

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

# **SENZORY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU**

(studijní opory)

Radim HERCÍK, Miroslav KVÍČALA

**Ostrava 2020**



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Název: Senzory v automobilovém průmyslu

Autor: Ing. Radim Hercík, Ph.D., RNDr. Ing. Miroslav Kvíčala, Ph.D.

Vydání: druhé, 2020

Počet stran: 160

Studijní materiály pro studijní program „Aplikovaná fyzika“ navazujícího magisterského studia Fakulty elektrotechniky a informatiky.

Jazyková korektura: nebyla provedena.

© Radim Hercík, Miroslav Kvíčala

© VŠB – Technická univerzita Ostrava

**ISBN 978-80-248-4247-9**

## **Poděkování**

Na tomto místě bychom rádi poděkovali kolegům, kteří svým úsilím a cennými radami přispěli ke vzniku tohoto studijního textu. Jmenovitě se jedná o Ing. Roberta Petříka, Ing. Aleše Filipce, Ing. Jiřího Baraňáka, Ing. Františka Mezuliána, Ing. Tomáše Bůžka, Ing. Pavla Žáčka, Ing. Leoše Chalupu, Ph.D., Ing. Josefa Vlka, Ing. Romana Polocha, Bc. Ondřeje Pražáka, Ing. Zdeňka Geryka, Ing. Miroslava Lepíka, Ing. Radka Mondeka, Ing. Hanu Šigutovou, Ing. Martina Matěje a Ing. Báru Janošcovou.

Dále bychom rádi poděkovali představitelům katedry fyziky, VŠB-TUO, jmenovitě prof. Ing. Liboru Hlaváčovi, Ph.D., doc. Ing. Ondřeji Životskému, Ph.D., a Mgr. Ing. Kamile Hrabovské, Ph.D.

Tento materiál vznikl za podpory projektu **Technika pro budoucnost**, číslo projektu **CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_015/0002338**.

## OBSAH

1	Úvod .....	7
2	Úvod do problematiky senzorů používaných v automobilovém průmyslu .....	8
2.1	Vitesco Technologies Czech Republic .....	8
2.2	Vývojová lokace Ostrava.....	9
2.3	Vývoje elektroniky v automobilech .....	10
2.4	Časová osa vývoje elektroniky v automobilech .....	12
2.5	Komunikace.....	15
3	Rozdělení a význam senzorů v automobilech, typy senzorů a jejich aplikace.....	20
3.1	Rozdělení a význam senzorů v automobilech .....	20
3.2	Aplikace senzorů v automobilech.....	22
4	Návrh designu nového výrobku, 3D modelování a simulace funkčnosti, realizace prototypů.....	27
4.1	Konstrukční návrh nového výrobku – úvod .....	28
4.2	Požadavky na výrobek (zákazník, společnost, legislativa).....	28
4.3	Návrh konstrukčního řešení – příprava, vyhodnocení a výběr konceptu. Tvorba 3D a 2D dokumentace .....	29
4.4	Simulace a testování .....	34
4.5	Příprava výroby prototypu.....	37
4.6	Faktory ovlivňující výběr materiálu .....	39
4.7	Materiálové vlastnosti.....	47
5	Testování použitých materiálů s ohledem na jejich fyzikálně mechanické vlastnosti, životnost a spolehlivost .....	52
5.1	Mechanické testování .....	52
5.2	Stanovení fyzikálně-chemických vlastností materiálu .....	57
6	Měření teplot na principu termoelektrického jevu, termorezistivity a optických metod Seznámení se s jednotlivými typy senzorů a jejich srovnání .....	65
6.1	Rozdělení senzorů.....	66
6.2	Fyzikální princip fungování teplotních senzorů s termočlánkem.....	68
6.3	Fyzikální princip fungování teplotních senzorů na optickém principu .....	70
7	Fyzikální vlastnosti ultrazvuku, využití ultrazvuku při měření hladiny a koncentrace, vlivy okolí a materiálů na kvalitu měření .....	73
7.1	Fyzikální vlastnosti ultrazvuku (UZ).....	73
7.2	Problémy s měřením ultrazvukem v dopravním prostředku .....	75
7.3	Měření koncentrace kapaliny ultrazvukovým signálem .....	76
7.4	Senzor hladiny a koncentrace .....	78
8	Fyzikální princip a fungování mechatronických senzorů polohy. Seznámení se s jednotlivými typy senzorů, jejich srovnání a použití.....	84
8.1	Základní klasifikace.....	84
8.2	Principy magnetických snímačů pozice s PM .....	86
8.3	Principy indukčních snímačů pozice .....	92

9 Fyzikální princip a fungování tlakových senzorů. Seznámení se s jednotlivými typy senzorů, jejich srovnání a použití .....	96
9.1 Sensory tlaku .....	96
9.2 Sensory rychlosti .....	101
9.3 Sensory zrychlení .....	103
10 Měřicí postupy a přístrojové vybavení používané v laboratoři při testování a validaci jednotlivých typů senzorů.....	107
10.1 Funkce laboratoře a proces akreditace.....	107
10.2 Normy, zkušební specifikace a proces testování .....	110
10.3 Vybavení laboratoří .....	112
11 Návrh schématu a desky plošných spojů s ohledem na elektrické vlastnosti a elektromagnetickou kompatibilitu pro automobilový průmysl .....	120
11.1 Požadavky na automobilovou elektroniku .....	120
11.2 Typická architektura elektroniky v automobilovém senzoru .....	122
11.3 Ochranné prvky .....	124
11.4 ASIC .....	126
11.5 Příprava sériové výroby.....	130
12 Mikroprocesory používané v automobilovém průmyslu, komunikační sběrnice, požadavky na vývoj softwaru (MISRA), vývojové nástroje .....	133
12.1 Mikroprocesory používané v automobilovém průmyslu.....	133
12.2 Komunikační sběrnice .....	135
12.3 MISRA C.....	140
12.4 Vývojové nástroje.....	140
12.5 V-Cycle.....	141
13 Vývoj výrobní technologie, vývoj výrobního procesu a jeho realizace .....	144
13.1 Vývoj výrobního procesu – úvod .....	144
13.2 Vývoj výrobních technologií a výrobního procesu .....	145
13.3 P-FMEA.....	147
13.4 Výrobní linka a průběh výroby.....	147
13.5 Výrobní linka – historie.....	148
13.6 Vybrané metody používané při definování výrobního konceptu .....	149
14 Cyklus životnosti výrobku, vývojový proces, metody a fáze vývoje, vazby mezi vývojovými kroky, kontrolní body (PLC – Product Life Cycle) .....	153
14.1 Vývojová fáze.....	154
14.2 Fáze vývoje.....	156

## **POKYNY KE STUDIUI**

### **Senzory v automobilovém průmyslu**

Pro předmět Senzory v automobilovém průmyslu 1. semestru magisterského studijního programu Aplikovaná fyzika jste obdrželi studijní materiál obsahující integrovaná skripta pro denní a kombinované studium, v nichž naleznete i pokyny ke studiu.

### **Cíl předmětu a výstupy z učení**

Cílem předmětu je seznámit studenty se základními principy fungování senzorů, které se používají v automobilovém průmyslu, tedy s nejnovějšími trendy v oblasti HW a SW vývoje senzorů v návaznosti na fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti použitých materiálů. Studenti se dále seznámí s procesem vývoje a testování těchto senzorů. Získané znalosti o fungování senzorů umožní přistupovat kvalifikovaným způsobem k problematice vývoje automobilových komponent. Součástí praktické části výuky jsou exkurze do laboratoří a vývojových pracovišť pro automobilový průmysl.

### **Pro koho je předmět určen**

Předmět je zařazen do magisterského studia programu Aplikovaná fyzika, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Studijní opora se dělí na kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně rozsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly členěny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

### **Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:**

Studijní oporu, která je rozčleněna na kapitoly, je potřeba nejprve pročíst jako celek. Teprve poté je vhodné ji začít studovat po jednotlivých kapitolách. Po prostudování odpovězte na otázky, zadané za každou kapitolou, klíč k nim je na konci studijní opory.

### **Způsob komunikace s vyučujícími:**

V rámci tohoto předmětu bude zadán k vypracování semestrální projekt na určené téma. Projekt vyučující zkontroluje do 14 dnů po odevzdání a výsledky budou studentům zaslány e-mailem prostřednictvím IS. Dotazy k zadanému tématu je možné konzultovat s přednášejícím po skončení přednášky či cvičení nebo e-mailem: [radim.hercik@continental-corporation.com](mailto:radim.hercik@continental-corporation.com) nebo [miroslav.kvicala@continental-corporation.com](mailto:miroslav.kvicala@continental-corporation.com). Podrobnější pokyny studenti obdrží na počátku výuky.

## 1 Úvod

Senzory jsou nedílnou součástí každého moderního dopravního prostředku. V automobilovém průmyslu nachází uplatnění celá řada nejrůznějších senzorů. Jedná se především o měření teplot, hladin, koncentrací, tlaků, rychlostí, poloh a dalších fyzikálních veličin. Cesta k plně funkčnímu senzoru se skládá z množství designových a vývojových kroků. Vývojový proces začíná specifikací požadavků na daný senzor, přičemž je kladen důraz na proveditelnost, vyrobiteľnost, kvalitu a cenu produktu. Dalším krokem je definování požadavků na mechanický design, vývoj příslušného softwaru a hardwaru při zachování požadavků na přesnost a spolehlivost výrobku. Vývoj senzorů pro automobilový průmysl zahrnuje celou řadu testů a verifikačních měření. V rámci vývoje nových produktů je potřeba naplnit velkou množinu kritérií daných automobilovými normami. Pro tyto účely je definován komplexní vývojový proces, který umožňuje plně kontrolovat a řídit jednotlivé vývojové fáze. Studenti se v rámci kurzu seznámí s nejmodernějšími trendy při vývoji senzorů používaných v automobilovém průmyslu. Součástí kurzu bude rovněž celá řada exkurzí do vývojových pracovišť a laboratoří.

### Způsob průběžné kontroly znalostí během semestru

Pro úspěšné absolvování předmětu je potřeba vypracovat semestrální práci, dále pak složit zápočtový test a zkoušku, která se bude skládat z písemné a ústní části. Bodové hodnocení jednotlivých částí je následující:

Zápočet		Zkouška	
Semestrální práce	max. 30 bodů	Písemná	max. 10 bodů
Zápočtový test	max. 30 bodů	Ústní	max. 30 bodů

### Zadání tématu semestrální práce:

Vypracujte odbornou zprávu o fungování vybraného senzoru v automobilu (konkrétní senzor vám přidělí vyučující na začátku semestru).

### Požadavky na obsah odborné zprávy / semestrální práce:

- Definice zadání
- Popis problematiky a umístění senzoru v automobilu
- Popis fyzikálního principu měření
- Definice rizik a limitů měření (přesnost, rychlost, spolehlivost, životnost, význam)
- Návrh alternativního způsobu měření
- Citace a literatura

## 2 Úvod do problematiky senzorů používaných v automobilovém průmyslu



**Čas ke studiu:** 1 hodina



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Definovat společnost Vitesco Technologies
- Základní přehled vývoje elektroniky v automobilech
- Základní znalost o množství senzorů v oblasti motoru automobilu



**Výklad**

### 2.1 Vitesco Technologies

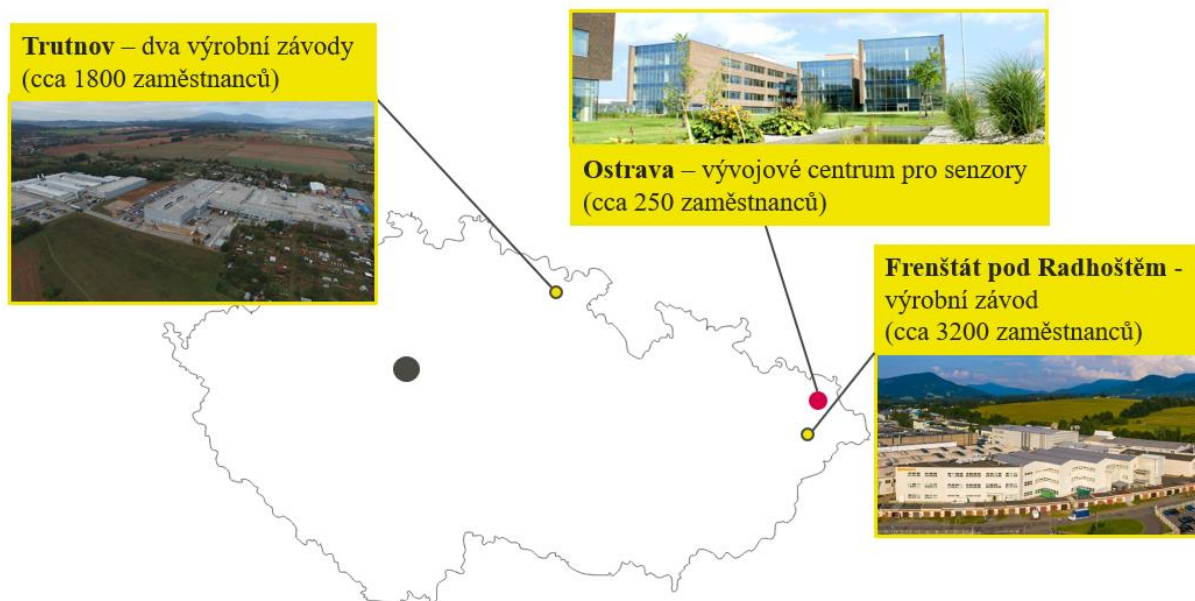
Vitesco Technologies je součástí holdingu Continental, který byl založen roku 1871 v německém Hannoveru a v současné době patří se svými více než 240 000 zaměstnanci v 60 zemích světa k předním světovým dodavatelům automobilového průmyslu. V roce 2019 došlo v rámci reorganizace společnosti k přechodu divize Continental Powertrain na nástupnickou společnost Vitesco Technologies s vlastním portfoliem, brandem a firemními hodnotami.

Vitesco Technologies je přední světovou společností, která vyvíjí a vyrábí nejmodernější technologie pohonu pro udržitelnou mobilitu. Svými chytrými systémovými řešeními a komponenty pro elektrické, hybridní a spalovací pohony přispívá Vitesco Technologies k čisté, efektivní a dostupné mobilitě. Výrobní portfolio zahrnuje elektrické pohonné systémy, elektronické řídicí jednotky, senzory a aktuátory a řešení pro zpětné odvádění výfukových plynů. Vitesco Technologies, oblast podnikání koncernu Continental, dosáhla v roce 2019 obratu 7,8 miliardy eur a zaměstnává téměř 40 000 pracovníků v asi 50 lokalitách po celém světě. Sídlo společnosti Vitesco Technologies je v německém Regensburgu.

[2.1]

Vitesco Technologies působí v České Republice pod názvem Vitesco Technologies Czech Republic se sídlem v Trutnově. Celkem zaměstnává přes 5000 zaměstnanců ve třech lokacích – výrobních závodech ve Frenštátu pod Radhoštěm a Trutnově a vývojovém centru v Ostravě.





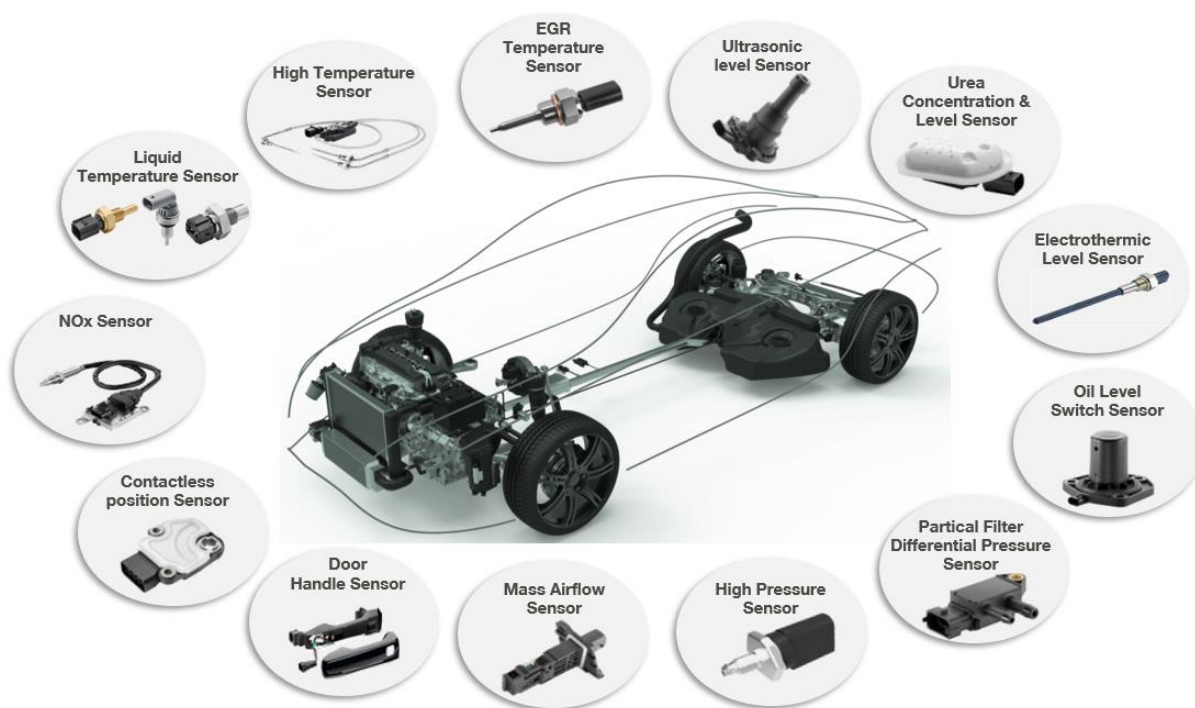
**Obr. 2.1** Lokace společnosti Vitesco Technologies v České republice

## 2.2 Vývojová lokace Ostrava

Vývojové centrum (R&D) v Ostravě se zaměřuje na vývoj teplotních, hladinových, tlakových, průtokových a mechatrických senzorů. Vývojová činnost v Ostravě zahrnuje oblast mechanického, materiálového, elektronického a softwarového inženýrství, realizaci prototypů a v neposlední řadě ověřování, testování a analýzy. Aktuálně zde pracuje přes 250 zaměstnanců (květen 2020), z toho téměř 2/3 tvoří vývojoví inženýři se zaměřením na SW/HW vývoj, testing a tooling, konstruktéři a systémoví inženýři.

Vývojové centrum bylo založeno v roce 2008 jako součást závodu ve Frenštátě pod Radhoštěm a od roku 2014 sídlí v Ostravě – Hrabové. Ostravské R&D patří mezi významné vývojové lokace Vitesco Technologies. Jeho součástí jsou nově vybudované vývojové laboratoře s plochou 2325 m<sup>2</sup> disponující nejmodernější technikou jako je například 3D rozměrová analýza, 3D scanner, 3D CT, 3D tiskárna, optický 3D mikroskop se zvětšením až 1200x, vysokoteplotní pece do 1200°C, zařízení pro měření hladiny nebo teploty oleje, komory pro akreditované zkoušky (suchým teplem, chladem, změnou teploty, vlhkým teplem cyklickým, konstantním) a další. EMC laboratoř (laboratoř realizující zkoušky z pohledu elektromagnetické kompatibility) a laboratoř pro environmentální a životnostní zkoušky jsou akreditované dle standardu ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

[2.2]



*Obr. 2.2 Portfolio senzorů vyvíjených v lokaci Ostrava*



*Obr. 2.3 Vývojové centrum Vitesco Technologies Ostrava*

## 2.3 Vývoj elektroniky v automobilech

V dnešní době si řízení vozidla bez elektronických systémů už jen těžko dokážeme představit. Navigace řidiči poradí, kudy má jet, a to i při nenadálém dopravním omezení, palubní počítač udržuje na přání konstantní rychlost a přizpůsobuje ji dopravnímu provozu, automatická

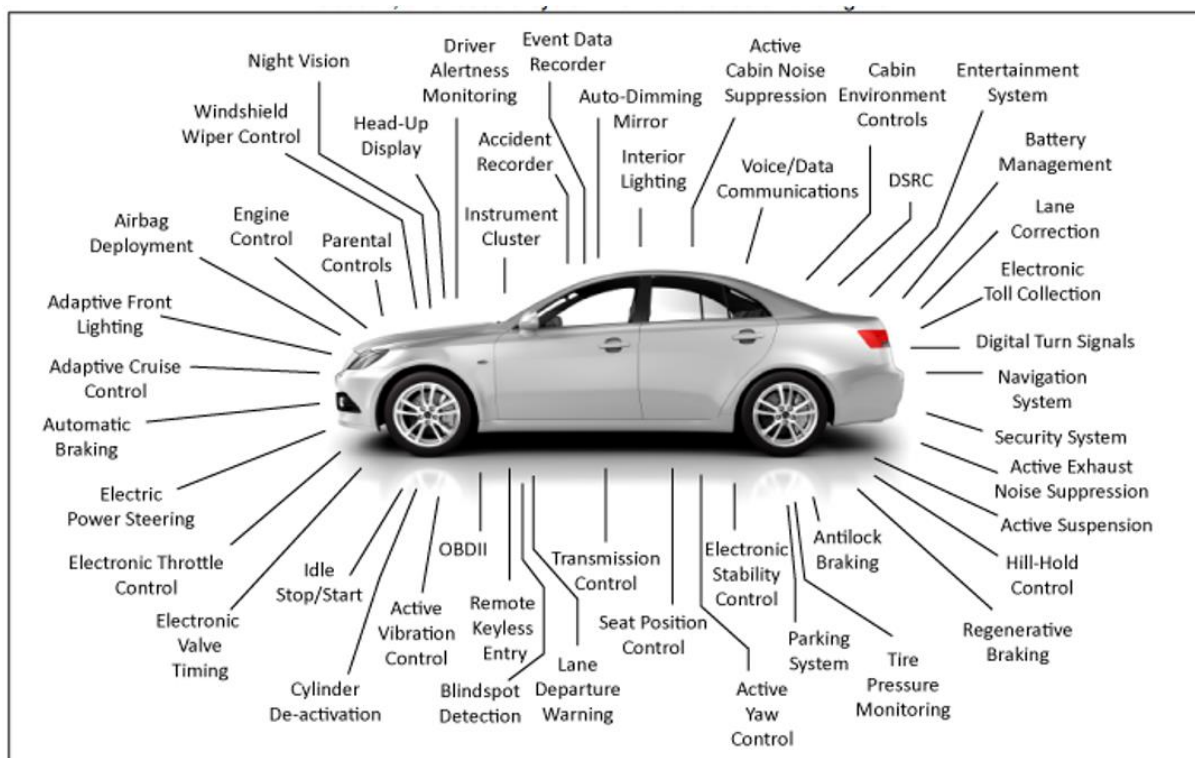
klimatizace udržuje požadovanou teplotu uvnitř vozu a řídicí jednotka se stará o přípravu co nejnvhodnější směsi, která je poté vstřikována do válce motoru.

Zatímco se výrobci automobilů dlouhou dobu soustředili především na vývoj mechanického řešení převodovek, motorů a podvozků, první elektronická komponenta, která se od roku 1955 začala objevovat ve vozidlech, byla umístěna na palubní desce. Jednalo se o první tranzistorová autorádia, používaná pro mnohé účely, jako například pro zlepšení příjmu dopravních informací. Proto v roce 1974 uvedl německý podnik Blaupunkt svůj model FM rádia se systémem ARI (Autofahrer Radio Information), tedy systémem dopravních informací pro řidiče. Autorádio mělo dekodér, který byl schopen zachytit charakteristický signál s dodatečnou nosnou frekvencí, přidaný do běžného vysílání, a na tomto základě automaticky přeladil stanici vysílající dopravní zprávy nebo zvýšil hlasitost, popřípadě vypnul přehrávání kazety.

Na konci 60. let začala elektronika pronikat i do motorů. Společnost Bosch vyvinula technologii D-Jetronic elektronického řízení vstřiku paliva pro zážehové motory, kterou poprvé použil v roce 1968 výrobce automobilů Volkswagen v modelu 1600E. Její funkcí byla regulace množství paliva, aby se dosáhlo lepší výkonnosti motoru a menší spotřeby paliva. Od té doby byl systém pro vstřikování značně vylepšen. V hybridních automobilech rozhoduje elektronika v závislosti na konkrétní situaci o tom, zda se má použít spalovací motor, popřípadě jak má pracovat společně s elektrickým motorem. Vozidla výhradně na elektrický pohon se bez elektroniky neobejdou. Ta zde řídí například nabíjení baterií.

Co se týká podvozkové části vozidla, zde se elektronika stará především o bezpečnost a pohodlí. Například v roce 1978 byl uveden na trh antiblokovací systém ABS, který vyvinula společnost Daimler ve spolupráci s firmou Bosch. Jedná se o systém se senzory měřící rychlost otáčení jednotlivých kol. Pokud řídicí jednotka vyhodnotí při brzdění, že došlo k zablokování jednoho z kol, sníží mu dočasně sílu brzdy. Tento systém tím pádem umožňuje zachování dobré ovladatelnosti vozidla v situacích, kdy je potřeba prudce brzdit. Brzdná dráha se liší v závislosti na stavu vozovky. Oproti vozidlům bez ABS je na suchém povrchu brzdná dráha delší, avšak na zledovatěném napomáhá systém ABS k lepší ovladatelnosti vozidla.

Do řízení zasahuje elektronika stále více. Jedním ze systémů používaných ve vozidlech je elektronický stabilizační program ESP. Z poskytnutých informací o rychlosti kol, kroticím momentu, otáčkách motoru a natočení volantu dokáže zjistit, zda je vozidlo ve smyku. Pokud ano, přibrzdí některé z kol a sníží výkon motoru tak, aby došlo ke stabilizaci vozidla. Tento systém se stal známým v roce 1997 po tzv. „losím“ testu, prověřujícím stabilitu vozu při vyhýbání se překážce, na voze Mercedes. Tehdy se v něm zmíněný vůz bez ESP převrátil a jako nápravné opatření se ESP začalo instalovat i do vozidel dalších výrobců.



Obr. 2.4 Množství elektronických senzorů ve vozidle

## 2.4 Časová osa vývoje elektroniky v automobilech

Následující kapitola obsahuje časové body, které mapují největší milníky v historii elektroniky ve vozidlech od roku 1958 až po současnost.

**1958** – Philips Auto Mignon AG2101:

Jedná se autorádio používající speciální 7” desky s možností nahrávání. První elektronková autorádia ve 30. letech byla velká a těžká.

**1961** – První tranzistorové rádio:

Firma Philips uvedla na trh první tranzistorové autorádio, které bylo schopné naladit stanice na velmi krátkých vlnách.

**1968** – Elektronické vstřikování:

Ve Volkswagenu 1600 E bylo použito nové vstřikování elektronicky připravující směs, avšak kvůli složitosti si s ním poradilo jen velmi málo autoopravářů.

**1977** – Palubní počítač:

První palubní počítač informující například o spotřebě a ujetých kilometrech, který je dnes naprostou samozřejmostí, byl použit ve vozidle BMW řady 7.

**1978** – Protiblokovací systém:

Zavedení antiblokovacího systému brzd ABS mělo velký přínos v automobilové bezpečnosti. Tento systém zabráňuje zablokování kol při prudkém brzdění.

**1980** – Airbag:

U vozu Mercedes řady S byl poprvé použit elektronicky řízený airbag. Jedná se o složený vzduchový vak, který je při nárazu vozidla schopný se velice rychle nafouknout pomocí vyvíječe plynu, a tak před pasažérem vytvořit ochranný prostor.

**1989** – Motory s TDI:

Nasazení TDI (Turbo Diesel Injection), které se do té doby používalo pouze v nákladních vozech, v osobních automobilech zvýšilo točivý moment u motorů a snížilo spotřebu nafty díky instalovanému turbodmychadlu, přímému vstříkovaní s elektronickou regulací a chladičem plnicího vzduchu.

**1990** – GPS navigace:

První automobilová zařízení pro navigaci potřebovala masivní anténu. Ke zmenšení velikosti zařízení došlo až v roce 2002.

**1994** – Parkovací asistenční systém a palubní navigace:

Ve vozech Mercedes řady S se začal instalovat ultrazvukový asistenční systém pomáhající s parkováním. Palubní navigace se objevila poprvé v BMW řady 7 a kromě GPS přijímače obsahovala i části z letecké navigace.

**1997** – Elektronický stabilizační systém:

Mercedes ve svých automobilech řady A začal instalovat systém ESP, pomáhající stabilizovat automobil pomocí přibrzdění jednoho z kol a snížením výkonu motoru, když například je nutné vyhnout se nečekané překážce.

**1999** – Bezpečná vzdálenost:

Při zapnutém adaptivním tempomatu hlídá systém ACC (Adaptive Cruise Control) pomocí malého radaru bezpečnou vzdálenost od vozidla před námi a v případě potřeby auto zpomalí.

**2001** – Přímé vstříkovaní:

System přímého vstřikování paliva do válců byl přenesen také do světa benzinových motorů. Stalo se tak poprvé u malého modelu Volkswagen Lupo s motorem FSI.

**2001** – Informace v zorném poli:

První tzv. Head-Up displej byl použit ve sportovním automobilu Corvette. Zobrazoval dopravní a další relevantní informace na předním skle, a tak byly stále v zorném úhlu řidiče.

**2005** – Noční vidění:

System nočního vidění (Night Vision) vyvinula firma Bosch. Při nepříznivých světelných podmínkách získává řidič lepší přehled o situaci před vozidlem pomocí infračerveného osvětlení, které neruší protijedoucí vozidla. Později byla do tohoto systému přidána i termovizní kamera zachycující osoby a zvířata.

**2008** – Komunikace automobilů:

Podle nového standardu mohou automobily mezi sebou komunikovat prostřednictvím bezdrátové sítě WLAN, která má zvýšit bezpečnost a také zrychlit dopravu.

**2017** – Autonomní řízení:

Ve vozidlech Tesla model 6 byl použit částečně autonomní systém. Vozidlo je schopné pohybovat se samo bez řidiče, ten však musí být kdykoliv připraven převzít řízení při nenadálé události. [2.3]

## **Současnost (2018)**

V současnosti jsou moderní automobily vybaveny inteligentními systémy. Jsou to systémy, které by měli řidičům usnadnit ovládání vozidla, zvýšit komfort jízdy a dopravní bezpečnost. Nově vznikající technologie do automobilů dnes více s řidičem spolupracují a jsou interaktivnější. Velice často se používá dotykový displej nebo ovládání pomocí lidského hlasu.

Inteligentní systémy se dělí na dvě kategorie. První kategorií jsou informační systémy INVIS (in Vehicle Information Systems). Patří sem různé navigační, komunikační systémy jako např. palubní počítač, mobilní telefon, navigace a autorádio. Druhou kategorií jsou pokročilé asistenční bezpečnostní systémy ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). Ty pomáhají řidičům v různých dopravních situacích buď varováním řidiče, nebo převzetím kontroly nad jednotlivými funkcemi vozidla.

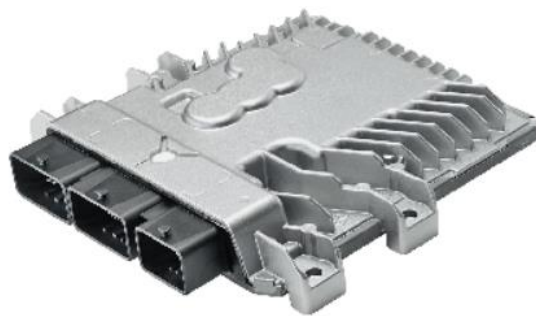
Pokročilé asistenční bezpečnostní systémy přímo zasahují do řízení. Cílem je snížit požadavky kladené na člověka při řízení, eliminovat případné chyby řidiče a zlepšit

ekonomické aspekty jízdy. Žádný asistenční bezpečnostní systém však nezbavuje řidiče zodpovědnosti za bezpečnost a vlastní jízdu. Pro dodržování bezpečné vzdálenosti se dnes využívají adaptivní tempomaty. Řidič pak může věnovat intenzivnější pozornost dalším aspektům dopravní situace. Pro monitorování bdělosti řidiče existují systémy, které snižují riziko mikrosnání. Při detekci ospalosti varuje automobil řidiče ještě dříve, než si řidič varovných signálů únavy vůbec všimne sám.

## Řídicí jednotky

V dnešních automobilech se nachází více než deset řídicích jednotek, které sbírají a vyhodnocují data ze stovek senzorů rozestých po celém automobilu a měří běh různých částí vozu či stavy okolního prostředí. Jsou důležité zejména pro snížení emisí, zvýšení bezpečnosti, a především musí zajistit, aby byly splněny nároky na motory o vysokém výkonu s malou spotřebou paliva. Mezi tyto jednotky patří například řídicí jednotka motoru, ABS, klimatizace, přístrojové desky, airbagu, automatické převodovky nebo dveří.

Některé z nich jsou jednoduché osmibitové procesory, které se starají o přenos povelů z jednoduchých senzorů umístěných například v klíče vozidla, po datové sběrnici, jiné jsou mnohem výkonnější 16- nebo 32bitové mikrokontroléry, které operují na vysokých frekvencích s velkou vnitřní pamětí. Z hlediska konstrukce musí řídicí jednotka splňovat mnohé požadavky například na teplotní odolnost, těsnost, odolnost vůči otřesům nebo na elektromagnetickou kompatibilitu.



*Obr. 2.5 Řídicí jednotka motoru [2.5]*

Ve srovnání s výpočetním výkonem zábavních, navigačních a připojených prvků se možná jedná o trpaslíky, jejich nástup a postupné nahrazení přímých vodičů datovými sběrnici ale znamenaly v automobilovém průmyslu v uplynulém čtvrtstoletí revoluci. Ta se projevila v uživatelském pohodlí, spolehlivosti, ekonomice provozu. V poslední době umožňuje řadu funkcí současných aut připojit, měřit a monitorovat na dálku.

Komunikace

## CAN

Současně s řídicími jednotkami motoru vznikaly další jednotky pro řízení různých částí vozu. Z toho na počátku 80. let vyplynula potřeba vytvořit platformu, která by zajistila jejich vzájemné propojení a komunikaci. Této iniciativy se roku 1983 ujala firma Bosch a vyvinula komunikační standard CAN (Controller Area Network). Jednalo se o provozní sběrnici vozidla pro připojení všech řídicích a funkčních jednotek. Postupně se využívala čím dál více, až se postupem času stala základem standardů ISO 11898. Vzhledem k tomu, že přední výrobci integrovaných obvodů implementovali podporu protokolu CAN do svých produktů, dochází ke stále častějšímu využívání tohoto protokolu i v různých průmyslových aplikacích. Důvodem je především nízká cena, snadné nasazení, spolehlivost, vysoká přenosová rychlost, snadná rozšiřitelnost a dostupnost potřebné součástkové základny. V současné době má protokol CAN své pevné místo mezi ostatními fieldbusy a je definován normou ISO 11898. Ta popisuje fyzickou vrstvu protokolu a specifikaci CAN 2.0A. Později byla ještě vytvořena specifikace CAN 2.0B, která zavádí dva pojmy – standardní a rozšířený formát zprávy (lišící se v délce identifikátoru zprávy). Tyto dokumenty definují pouze fyzickou a linkovou vrstvu protokolu podle referenčního modelu ISO/OSI. Aplikační vrstva protokolu CAN je určena několika vzájemně nekompatibilními standardy (CAL, CANopen, DeviceNet, CAN Kingdom). [2.6]

### SENT

SAE J2716 **SENT** (Single Edge Nibble Transmission) je protokol, který propojuje dvě zařízení, obvykle senzor a řídicí jednotku. Jedná se o přenos po jednom vodiči (datovém). Je určen k tomu, aby umožňoval přenos dat s vysokým rozlišením a nízkými náklady na systém. Data jsou přenášena v jednotkách 4 bitů (1 nibble), pro které je vyhodnocován interval mezi dvěma sestupnými hranami modulovaného signálu s konstantním amplitudovým napětím. Zpráva SENT je dlouhá 32 bitů a obsahuje následující součásti: 24 bitů datových signálů (6 nibblů), které reprezentují 2 měřicí kanály po 3 okruzích (jako je tlak a teplota), 4 bitů (1 nibble) pro detekci chyb CRC a 4 bity (1 nibble) informací o stavu/komunikaci. Volitelně mohou být data přenášena ve 20bitových zprávách (5 niblů), které se skládají z jednorázového měření 12 bitů, kontrolního součtu chyby CRC 4 bitů (1 nibble) a stavu 4 bitů (1 nibble). SENT komunikace je obvykle realizována pomocí 5V signálu a na první pohled může připomínat signál PWM.

### LIN

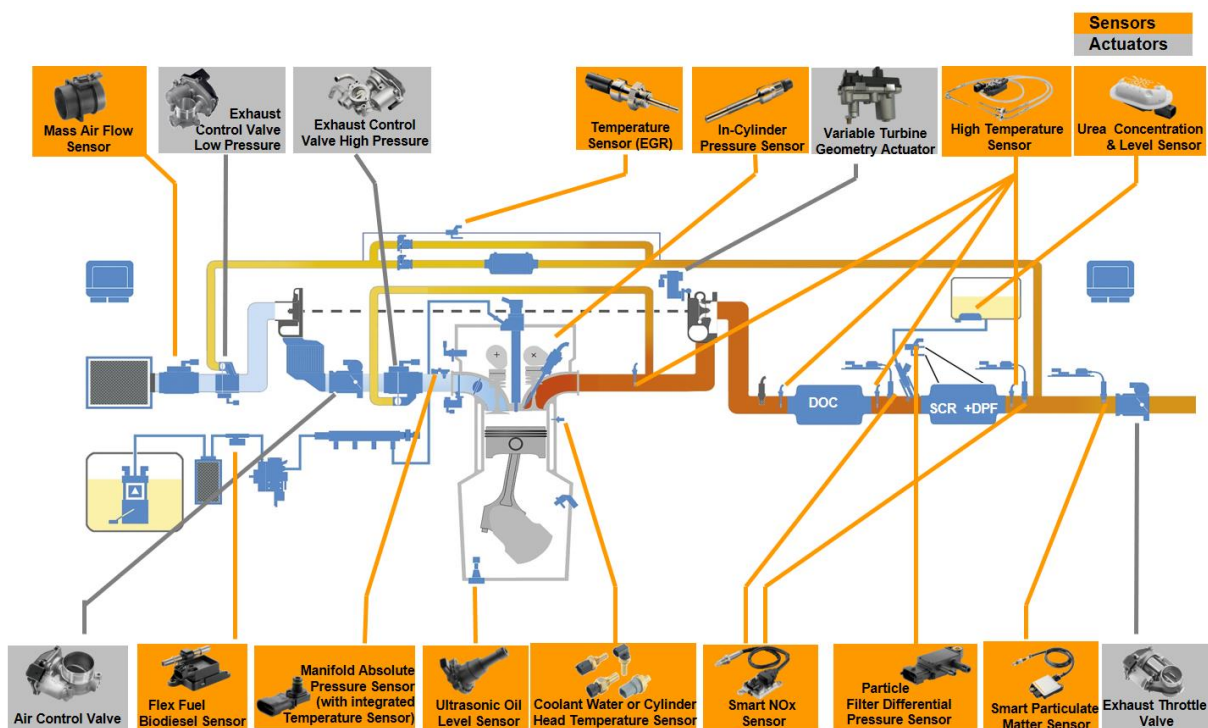
LIN (Local Interconnect Network) je jednoduchou jednovodičovou sběrnici na bázi klasické sériové asynchronní komunikace UART/RS-232, vhodnou pro přímou komunikaci a přenos dat mezi řídicí jednotkou nebo inteligentním smart senzorem a aktuátorem. Sériový přenos dat umožňuje implementaci na libovolném mikrokontroléru nebo PC. LIN je otevřený komunikační protokol primárně určený k propojování lokálních sítí v dopravních prostředcích (automobily, nákladní auta atd.), ale s možností využití v libovolných, pro tuto sběrnici se hodících, aplikacích, například v průmyslu. Specifikace zahrnuje jak definici protokolu a fyzickou vrstvu, tak i rozhraní pro vývojové nástroje a aplikační software. LIN umožňuje



cenově efektivní propojení a sériovou komunikaci inteligentních (smart) senzorů a aktuátorů v embedded real-time systémech, kde není požadována velká přenosová rychlost, univerzálnost a robustnost složitějších sběrnic, například CAN. Komunikace je založena na SCI (UART) formátu dat, single-master/multi-slaves dialogu, jednovodičové sběrnici (nejčastěji 12V) s časovou synchronizací bez stabilizované časové základny. LIN tedy poskytuje standardní low-cost síť pro komunikaci senzorů, ale s cenou například 2krát až 3krát nižší v porovnání s CAN. V případě porovnání s CAN by LIN měla být spíše komplement ke CAN a neměla by ji plně nahradit. To je dáno odlišnými vlastnostmi obou sběrnic. LIN protokol byl širší veřejnosti prezentován v roce 2000 konsorciem pěti automobilových partnerů (BMW, Volkswagen Group, Audi Group, Volvo Cars, Mercedes-Benz (Daimler)), kteří na něm začali pracovat v roce 1998. LIN síť je implementována prostřednictvím pouze 1 vodiče (1-wire network), což velmi snižuje náklady na realizaci, naopak však znamená vyšší hodnotu EME (Electromagnetic Emission) v porovnání se zkrouceným párem (twisted pair), jak je tomu například u CAN. Z tohoto důvodu musí být zajištěná malá rychlost přeběhu a tím i menší rychlost přenosu. Pro LIN se běžně používají hodnoty 2400, 9600 a 19200 bit/s. [2.7]

### **Senzory v oblasti motoru**

Moderní motor je složitý stroj, který obsahuje řadu senzorů a aktuátorů zabezpečujících jeho bezproblémový chod v optimálních pracovních podmínkách. Každý senzor či aktuátor má svou specifickou funkci. Například vysokoteplotní senzor měří teplotu spalin ve výfukovém potrubí a za turbem. Tyto informace využívá řídicí jednotka automobilu k nastavení množství vstříkovaného paliva, množství přisávaného vzduchu, předstihu zapalování a dalších, ať už benzinových, nebo dieselových variací. Obecně složitější motory, tedy z pohledu sensoriky, jsou motory dieselové, které například oproti benzinovým nově obsahují také senzor AdBlue pro měření výšky hladiny a koncentrace syntetické močoviny. Systém AdBlue se využívá v systémech tzv. selektivní katalytické redukce (systém SCR) pro snížení oxidu dusíku.



Obr. 2.6 Přehled senzorů a aktuátorů nacházejících se v oblasti motoru automobilu



#### Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [2.1] Vitesco Technologies – About us. Vitesco Technologies Global Site [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.vitesco-technologies.com/en/Home/Company>
- [2.2] CON: Xetra Stock Quote – Continental AG. Bloomberg. [online]. 28.2.2016 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.bloomberg.com/quote/CON:GR>
- [2.3] Časová osa: Elektronika v automobilech. CHIP [online]. Burda International CZ, 2010, 2010(3) [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.chip.cz/casopis-chip/earchiv/vydani/r-2010/chip-03-2010/casova-osa-03-10/>
- [2.4] Auta v moci počítačů. Jak se pod kapotou uhnízdily desítky čipů a stovky senzorů. LUPA [online]. 2015 [cit. 2018-12-19]. ISSN 1213-0702. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/auta-v-moci-pocitacu-jak-se-pod-kapotou-uhnizdily-desitky-cipu-a-stovky-senzoru/>
- [2.5] Vitesco Solutions: The Future In Motion [online]. Vitesco, 2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.vitesco-technologies.com/en/Home/Solutions>

- [2.6] POLÁK, K. Sběrnice CAN. *Electrorevue* [online]. 2015, **2003**(21) [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>
- [2.7] VOJÁČEK, A. LIN - Local Interconnect Network. *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. HW server, 2004 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005101501>



#### Shrnutí pojmů kapitoly

- Vitesco Technologies Czech Republic
- Senzory v automobilech
- Řídicí jednotka
- CAN, SENT, LIN



#### Otázky k probranému učivu

1. Jaký je význam senzorů v automobilu?
2. Co znamenají zkratky SENT, CAN, LIN?
3. Čím se zabývá společnost Vitesco Technologies?
4. Jaké je základní portfolio a zaměření společnosti Vitesco Technologies, vývojové lokace Ostrava?

## 3 Rozdělení a význam senzorů v automobilech, typy senzorů a jejich aplikace



**Čas ke studiu:** 30 minut



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Definovat typy senzorů v automobilech
- Popsat rozdělení a význam senzorů v automobilech
- Vysvětlit význam senzorů v automobilových aplikacích



**Výklad**

### 3.1 Rozdělení a význam senzorů v automobilech

Automobilové senzory můžeme dělit podle několika kritérií. Podle způsobu použití, funkce či aplikace. Základní dělení senzorů vychází ze způsobu jejich funkce – aktivní a pasivní.

**Pasivní senzory:** působením měřené veličiny se mění některé z parametrů senzoru (často elektrická veličina, např. indukčnost, kapacita, odpor, imitance, nebo optická veličina, např. změna barvy). Pro další zpracování signálu pomocí elektronických obvodů je nutné veličinu dále transformovat na analogový napěťový nebo proudový signál, přičemž měřicí veličinou je amplituda, kmitočet, fáze aj. U pasivních senzorů je na rozdíl od aktivních senzorů nezbytné napájení pro tuto transformaci.

**Aktivní senzory:** působením měřené veličiny se senzor chová jako zdroj energie (nejčastěji elektrické). Příkladem mohou být senzory pracující na principu převodu termoelektrickém, piezoelektrickém, indukčním atd. Mezi aktivní senzory můžeme zařadit také inteligentní senzory.

Senzory můžeme dále dělit podle měřené veličiny.

- Senzory polohy a otáček
  - Indukční
  - Wiegandův jev
  - Hallův jev
  - Magnetorezistory

- Senzory tlaku a síly
  - Piezorezistivní
  - Kapacitní
    - Dotykové
    - Zapouzdřené moduly
    - Snímače natočení a délky
  - Potenciometry
  - Hallův jev
  - Magnetorezistory
  - Optické kodéry
  - Magnetorestriktory
  
- Senzory teploty
  - Termorezistivní
  - Termočláňkové
  - Optické
  
- Ostatní snímače
  - Snímače průtoku vzduchu
    - Snímače výfukových plynů
  - Zahřívání výfukovými plyny
  - Zahřívání elektricky
  - Komorové
    - Senzory klepání motoru
    - Senzory podélného zrychlení
  - Piezorezistivní
  - Kapacitní
  - Rezonanční
    - Snímače natočení
  - Vibrační
    - Senzory světla – (přímé, odlesky, stmívání)
    - Senzory vlhkosti, deště
    - Senzory paliva
    - Senzory blízkých objektů
    - Senzory vzdálených objektů
  - Radary
  - Lidary
  - Pasivní IR
  - Videodetekce

Z výše uvedeného přehledu je patrné, že dělení automobilových senzorů vychází jednak z jejich použití a jednak ze způsobu funkce a měřicího principu. Mnohdy můžeme jednu fyzikální veličinu měřit mnoha způsoby a principy, přičemž každá z těchto metod poskytuje určité výhody, ale také nevýhody.

V dnešní době tvoří velkou skupinu automobilových senzorů tzv. inteligentní senzory, které řadíme mezi aktivní. Tyto senzory nejen měří dané fyzikální veličiny pomocí různých metod, ale také měřenou veličinu zpracovávají a vyhodnocují. Často obsahují inteligentní filtry a diagnostické algoritmy. Tyto senzory dokážou provádět diagnostiku samy sebe a jsou schopny komunikovat s řídicí jednotkou přes komunikační protokol, například CAN, LIN nebo SENT.

### **Význam senzorů**

V počátku moderního automobilového průmyslu byla potřeba měřit provozní veličiny vozidla nízká. Podstatnými informacemi byla teplota oleje či chladicí kapaliny, napětí baterie a množství paliva. S postupujícím časem se však měření provozních veličin vozidla stávalo čím dál důležitějším. K zajištění spolehlivého chodu motoru, ale i celého systému vozidla je potřeba neustále kontrolovat stav jednotlivých komponent a provozních veličin.

Zaměříme se nyní na oblast motoru vozidla. Moderní motor automobilu je komplexní stroj, pracující s vysokou účinností a spolehlivostí. Aby tomu tak mohlo být, je vyžadováno komplexní řízení (řídicí jednotkou) a monitorování jeho chodu. Například řízení přísunu vzduchu nebo vstřikování množství paliva.

Toto se zajišťuje řadou senzorů, jako například senzor klepání, senzor výšky hladiny a teploty oleje v olejové vaně, senzor váhy vzduchu, vysokoteplotní senzor výfukového potrubí, snímače tlaku sacího potrubí atd. Bez přesného a spolehlivého měření těchto veličin by nebylo vůbec možné dosahovat požadovaných výkonů při zachování požadavků na nízkou spotřebu paliva, optimální spalování (ekologie) a spolehlivosti.

### **3.2 Aplikace senzorů v automobilech**

V této kapitole se zaměříme především na aplikace automobilových senzorů v oblasti motoru a uvedeme příklady aplikace konkrétních senzorů a jejich význam.

#### **Vysokoteplotní senzor HTS (High Temperature Sensor)**

Vysokoteplotní senzor se využívá pro měření teploty spalin výfukového potrubí a turba. Je schopen měřit teploty v rozsahu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Je založen na termočláňkovém principu. Ve špičce sondy, která je umístěna v oblasti měření teploty spalin, se nachází termočlánek (typu N). Termoelektrické napětí je poté zpracováno vyhodnocovací elektronikou a periodicky předáváno dále do řídicí jednotky. Senzor komunikuje po sběrnici CAN nebo komunikačním protokolu SENT.



*Obr. 3.1 Vysokoteplotní senzor*

### **Senzor polohy škrticí klapky TPS (Throttle Position Sensor)**

Senzor je umístěn na tělese škrticí klapky a předává řídicí jednotce informaci o poloze. Řídicí jednotka signál vyhodnotí pro určení poměru palivové směsi a vzduchu. Senzor obsahuje potenciometr, kde rameno jezdecke potenciometru je spojeno s hřídelí škrticí klapky a potenciometr vyhodnocuje úhel natočení škrticí klapky. Poměr napětí je přenesen přes odpor do řídicí jednotky.



*Obr. 3.2 Senzor polohy škrticí klapky*

### **Senzor klepání (Knock Sensor – KS)**

Senzor klepání je umístěn na bloku motoru, obsahuje piezoelektrický disk, který rezonuje na kmitočtu klepání daného motoru (cca 6 až 9 kHz). Tím dochází k deformacím piezodisku a vzniká elektrické napětí. Klepání motoru je způsobeno detonačním spalováním, kde dochází k samozápalům palivové směsi, což snižuje životnost motoru. To řídicí jednotka kompenzuje zvětšením předstihu zážehu.



*Obr. 3.3 Senzor klepání*

### **Senzor tlaku paliva**

Senzor tlaku paliva se využívá u zážehových motorů s přímým vstřikem paliva a u vznětových motorů se vstřikováním nafty (systém Common Rail). Množství vstříknutého

paliva je určeno jeho tlakem, přičemž tlak paliva se snímá v tlakovém zásobníku paliva. Principem měření je deformace membrány, kde například tlak 150 MPa prohne membránu cca o 1 mm. Na senzory tlaku paliva jsou kladeny vysoké požadavky přesnosti měření s tolerancí max 2 %.



*Obr. 3.4 Senzor tlaku paliva*

### **Senzor tlaku v sacím potrubí – MAP (Manifold Absolute Pressure)**

Senzor tlaku měří absolutní tlak v sacím potrubí za škrtkovací klapkou. Spolu se signály snímače otáček a snímače teploty nasávaného vzduchu lze vypočítat hmotnost nasávaného vzduchu. Tato informace slouží jako podklad při přípravě směsi a doby vstřikování a bodu zapalování.



*Obr. 3.5 Senzor tlaku v sacím potrubí*

### **Senzor plicního tlaku**

Senzor plicního tlaku měří absolutní tlak před škrtkovací klapkou a signál slouží řídicí jednotce pro výpočet hodnoty korekce pro plicní tlak. Senzor je někdy doplněn senzorem teploty. Základem senzoru je keramická destička, která se skládá ze dvou částí. Jedná se o měřicí část (vypouklá membrána) s vrstvou piezorezistentních odporů a vyhodnocovací část. Principem je srovnání tlaku nasávaného vzduchu s tlakem referenčním.



*Obr. 3.6 Senzor plicního tlaku*



### **Ultrazvukový senzor výšky hladiny a teploty oleje**

Senzor výšky hladiny a teploty oleje je umístěn v olejové vaně motoru, kde měří jeho aktuální teplotu a výšku hladiny. Principem senzoru je ultrazvukové měření, kdy se nejprve vyšle ultrasonický signál (pomocí piezoelementu) a následně se vyhodnocuje čas, za jaký se signál vrátí zpět. Tento čas je pak při znalosti rychlosti zvuku přepočten na výšku hladiny. Teplota oleje se vyhodnocuje na základě rezistivity NTC prvku.



*Obr. 3.7 Senzor výšky hladiny a teploty oleje*

### **Ultrasonický senzor hladiny a koncentrace AdBlue**

Ultrasonický senzor hladiny a koncentrace AdBlue se využívá v systémech selektivní katalytické redukce (systém SCR). Měřicím principem je měření rychlosti zvuku (podobně jako v případě ultrazvukových senzorů výšky hladiny oleje a teploty) a teploty, na jejímž základě se následně vypočítává koncentrace AdBlue. AdBlue je redukční činidlo ke snížení obsahu oxidů dusíku a vyrábí se z močoviny a destilované vody. Je to bezbarvá průhledná kapalina s mírně štiplavým čpavkovým zápachem s koncentrací močoviny 32,5 %. Je speciálně vyvinutá pro naftové motory, jejichž výfukový systém je opatřen selektivní katalytickou redukcí.



**Obr. 3.8** Ultrasonický senzor výšky hladiny a koncentrace AdBlue kapaliny



#### Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [3.1] OTÝPKA, Miloslav. *Čidla a snímače: Technologie budoucnosti do výuky* [online]. In: . [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=44676&revision=-1&instance=1>
- [3.2] PŘIBYL, Ondřej. *Senzory ve vozidle: Měření a zpracování dat* [online]. In: . Praha: Ústav aplikované matematiky ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2016 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://zolotarev.fd.cvut.cz/mzd/ctrl.php?act=show,file,23846>



#### Shrnutí pojmů kapitoly

- Senzory v automobilech
- Aktivní a pasivní senzory
- AdBlue
- Vysokoteplotní senzor (HTS)
- Senzor klepání
- Senzor tlaku paliva
- Senzor tlaku v sacím potrubí
- Senzor plicního tlaku
- Senzor výšky hladiny a koncentrace AdBlue
- Senzor výšky hladiny a teploty oleje



#### Otázky k probranému učivu

1. Do jakých skupin rozdělujeme senzory v automobilech?
2. Jaký je rozdíl mezi aktivním a pasivním senzorem?
3. Uveďte příklady senzorů v okolí motoru a jejich aplikaci, popřípadě základní princip funkce.

## 4 Návrh designu nového výrobku, 3D modelování a simulace funkčnosti, realizace prototypů



**Čas ke studiu:** 2,4 hodiny



**Cíl** Po prostudování této kapitoly budete umět

- Definovat obecný postup návrhu nového výrobku
- Vysvětlit vliv faktorů kvalita, náklady, čas
- Vysvětlit úlohu projektového týmu
- Vybrat a rozlišit požadavky na legislativní, podnikové a zákaznické
- Popsat vlastnosti robustního výrobku
- Popsat postup návrhu výrobku
- Zohlednit všechny požadavky na výrobek při jeho návrhu
- Vybrat správný koncept výrobku
- Vysvětlit význam 3D a 2D dokumentace v průběhu projektu
- Vysvětlit simulační metodu konečných prvků
- Rozdělit druhy simulací a jejich použití
- Definovat typ požadovaného prototypu
- Odhadnout náročnost výroby prototypu
- Definovat základní klasifikaci materiálů z hlediska jejich fyzikálně-chemických charakteristik
- A mít povědomí o souvislosti mezi volbou materiálu, procesem, tvarem a funkcí produktu
- Definovat klíčová kritéria nezbytná pro optimální volbu materiálu
- Rozčlenit materiály z hlediska jejich ekonomické náročnosti
- Vybrat vhodný materiál na základě jeho fyzikálních a mechanických vlastností



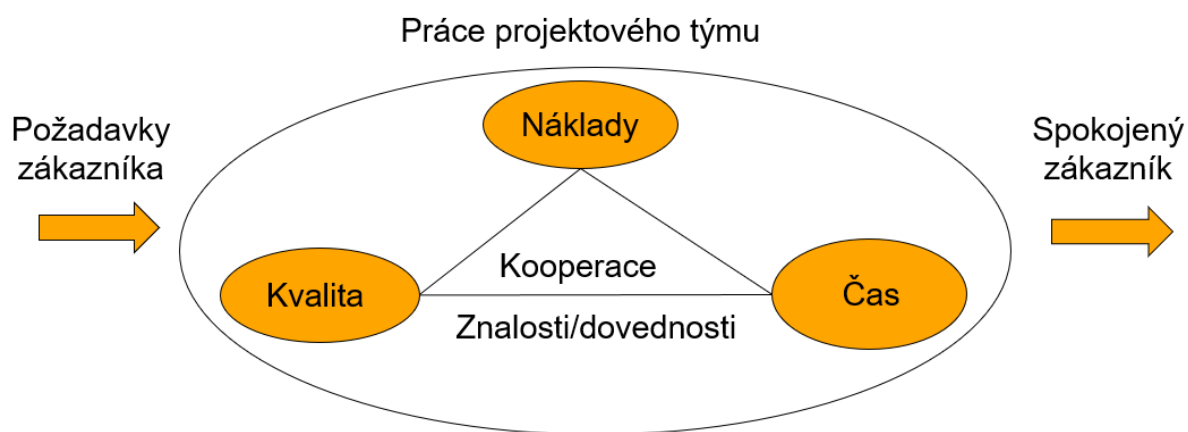
### 4.1 Konstrukční návrh nového výrobku – úvod

Návrh nového výrobku v prostředí automobilového průmyslu je rozsáhlý úkol a podílí se na něm celý vývojový projektový tým. Již při vytváření nabídky a dále při vlastním konstrukčním návrhu je potřeba zohlednit požadovanou časovou realizaci, kvalitu, robustnost výrobku a celkové náklady na vývoj výrobku – cílová cena.

Úkolem projektového týmu (projektový vedoucí, systémový inženýr, mechanický inženýr, elektroinženýr, softwarový inženýr, testovací inženýr, inženýr kvality a další) je navrhnout technický koncept požadovaného produktu s ohledem na zákaznické normy a specifikace, dostupné výrobní technologie, výrobní množství (sériová vyrobiteľnosť) a množství investic.

Pro řádné zpracování nabídky a realizaci návrhu výrobku je nutné detailně prostudovat vstupní dokumenty. Požadavky na výrobek jsou zpravidla shromážděny do tzv. zákaznické specifikace. Zejména dobrou kooperací a odbornou znalostí pracovníků projektového týmu může být naplněn hlavní cíl, tj. spokojenost zákazníka, viz **Obr. 4.1**.

Na základě těchto vstupů a součinností projektového týmu může začít proces konstrukčního návrhu nového výrobku.



*Obr. 4.1 Znárodnění spolupráce projektového týmu*

### 4.2 Požadavky na výrobek (zákazník, společnost, legislativa)

V obchodní společnosti se pro další zpracování a řízení požadavků na výrobek postupuje podle platné podnikové procedury vývoje výrobku. Ta však musí splňovat mezinárodní standardy a certifikační procesy EN ISO-9000, TS16949, VDI2221.

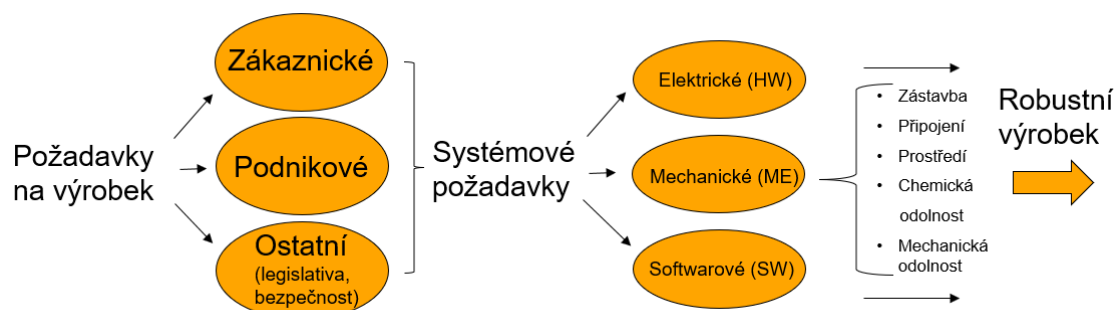
Obecně můžeme požadavky dělit na:

- **zákaznické** (funkční, základní, výkonnostní a výjimečné);
- **podnikové** (výrobní možnosti, uniformita, investice, ziskovost, kvalitativní atp.);
- **ostatní** (legislativní včetně ochrany životního prostředí, bezpečnostní, standardizace atd.).

Již v rané fázi projektu se **zákaznické požadavky** projednávají se zákazníkem.

Tyto požadavky se průběžně převádějí do interních požadavků společnosti – **systémové požadavky** a je vytvořen dokument Systémová produktová specifikace.

Systémové požadavky dělíme podle disciplín na mechanické, elektrické, softwarové a další.



obr. 4.2 Dělení požadavků

**Mechanické požadavky**, které tvoří základní vstup pro vlastní konstrukční návrh, jsou:

- tvarové: (zástavba, rozhraní, integrace do celkového zákaznického konceptu) – např. zákaznický konektor;
- vliv prostředí: (teplota, vlhkost, interakce s měřeným médiem, chemická odolnost, těsnost, hořlavost) – např. měření v oleji;
- vliv mechanického namáhání: (vibrace, působení sil, tlak) – např. vibrační profil v motorovém prostoru;
- legislativní požadavky: zakázané materiály, ochrana zdraví – např. restrikce použití karcinogenních látek (olovo, rtuť atd.).

Dále pak musejí být splněny požadavky **hardwaru** a **softwaru**.

Splněním všech výše uvedených požadavků docílíme robustního výrobku.

### 4.3 Návrh konstrukčního řešení – příprava, vyhodnocení a výběr konceptu. Tvorba 3D a 2D dokumentace

V rané fázi projektu, kdy jsou známy požadavky na produkt dané systémovou specifikací, respektive mechanické požadavky, dochází k tvorbě konceptu produktu, tzv. architektury a návrhu jednotlivých komponent.

Pokud již existují ověřená řešení a ta je možno nabídnout zákazníkovi, jedná se o tzv. aplikační projekt. V tomto případě už známe architekturu výrobku a pouze jeho modifikací plníme požadavky na funkci, přesnost, měřicí rozsah atd.

V případě, že neexistuje ověřené řešení, vzniká tzv. generický projekt. Dochází k prvotnímu vývoji architektury produktu, a jedná se tedy o zcela nový výrobek nebo princip měření. Tento výchozí produkt je vytvářen na základě analýzy trhu a poptávky po takovém produktu.



*obr. 4.3 Postup vývoje výrobku*

Jednou z metod, která se při vývoji výrobku používá, je tzv. Design for Six Sigma (DfSS). DfSS je souborem mnoha dílčích nástrojů, jež napomáhají ke správnému vyhodnocení požadavků na výrobek, výběru vhodného konceptu výrobku, jeho detailnímu rozpracování z pohledu konstrukce, dále pak jeho vyrobitelnosti, testování, a zda splňuje všechny požadavky v průběhu dané životnosti výrobku. [4.1]

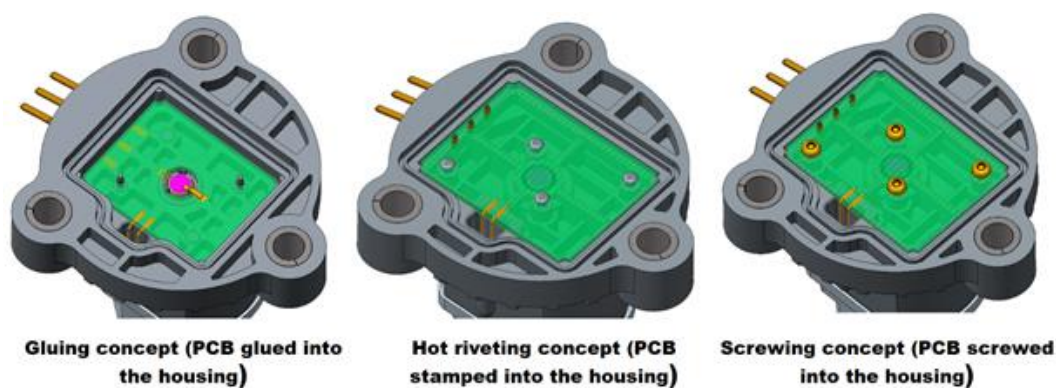
Výsledkem musí být robustní a kvalitní výrobek, který je možno nabídnout zákazníkovi. Metoda DfSS nemusí řešit návrh výrobku jako celku, zpravidla je vhodnější rozdělit výrobek na funkční či konstrukční uzly a tyto části řešit odděleně. Metoda DfSS se s výhodou dá využít rovněž v případě, kdy chceme či potřebujeme zjednodušit, zlevnit nebo vylepšit jednu z částí stávajícího výrobku.

Základem návrhu a vývoje nového produktu je tedy generický projekt. V první fázi takového projektu jsou vytvořeny koncepty budoucího výrobku. Konceptem se myslí zpravidla různá řešení z pohledu konstrukce, použitého materiálu a procesu výroby. Jelikož jde zpravidla o velmi náročný proces, jsou využívány různé metody k vytvoření a výběru vhodného konceptu.

Koncepty vznikají na základě zkušeností vývojového týmu. Musí upřednostnit co nejvíce standardních a ověřených dílčích řešení, materiálů, postupů výroby a použitých technologií.

V rámci inovací je možné zvážit i alternativy vzhledem k vývoji technologií a materiálů, ale pouze v případě, kdy nedojde k neúměrnému zvýšení nákladů a zvýšení rizik spojených s výrobou nebo kvalitou výrobku.

Koncepty jsou zpracovány ve formě náčrtků, teoretického popisu a často pouze povrchně. Slouží k vytvoření hrubého obrazu pro porovnání výhodnosti takového řešení.



Obr. 4.4 Příklad konceptů konstrukčního řešení

Pro porovnání konceptů a výběr toho nejvhodnějšího lze využít jednu z částí zmíněné metody DfSS – tzv. Pugh matrix.

*„Total Design is the systematic activity necessary, from the identification of the market/user need, to the selling of the successful product to satisfy that need – an activity that encompasses product, process, people and organisation.“ – Stuart Pugh [4.1]*

Jedná se o matici, kdy je jednotlivým kritériím, tedy požadavkům, přiřazena důležitost a jednotlivé koncepty se podle těchto kritérií vyhodnotí. Vyhodnocování se provádí vzhledem k původnímu řešení nebo základnímu známému řešení výrobku.

Důležitost kritérií se určuje podle tohoto klíče a v tomto pořadí:

1. **Voice of regulation:** Zákonem dané omezení – ekologie, bezpečnost, patentová ochrana atd.
2. **Voice of business:** Obchodní aspekt – rentabilita, využití stávajících procesů atd.
3. **Voice of customer:** Požadavky zákazníka – nejsou nadřazeny obchodním zájmům, není možné vždy vyhovět zákazníkovi na úkor obchodních zájmů nebo vystavení se riziku možných reklamací apod.

Pugh Matrix

			Alternative Solutions:								
Group	Selection Criteria	Weight	Baseline Solution - serial backing EPOXONIC 271 - 1K	Backing - EPOXONIC 3531 (preserial - 1K)	Backing - Wacker (serial - 2K)	Backing - Delo (development phase - 1K)	Backing - Delo (development phase - 2K)	Impregnation / coating (inside)	Impregnation (outside)	New cover material	Impregnation (Nasa component-inside)
Functional	No chemical influence to EE parts	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Available signal > 90%	5	0	0	-3	0	0	0	0	0	0
	Resist to humidity	4	0	2	2	2	2	2	2	2	2
Financial	Investment costs to serial line (equipments)	3	0	0	-2	-1	-2	-3	0	-1	-3
	BOM price	5	0	-1	-1	-1	1	-2	-3	-1	-3
	Supplier investment	2	0	0	0	0	0	0	-1	-2	0
Process	Amount of assembly steps	3	0	0	0	0	0	-2	0	0	-2
	Layout/initial setup	1	0	0	-2	-1	-2	-3	0	-1	-3
	Tact time	5	0	0	0	0	0	-3	0	0	-3
	Storage and transport conditions	1	0	0	1	0	1	-1	-2	0	-1
Weighted Score:			3	-19	-1	6	-36	-11	-5	-41	
Number of Better Scores:			1	2	1	3	1	1	1	1	
Number of Worse Scores:			1	4	3	2	6	3	4	6	

Obr. 4.5 Ukázka Pugh matrix s vítězným konceptem

Výstupem je vítězný koncept, který se dále do detailů rozpracovává.

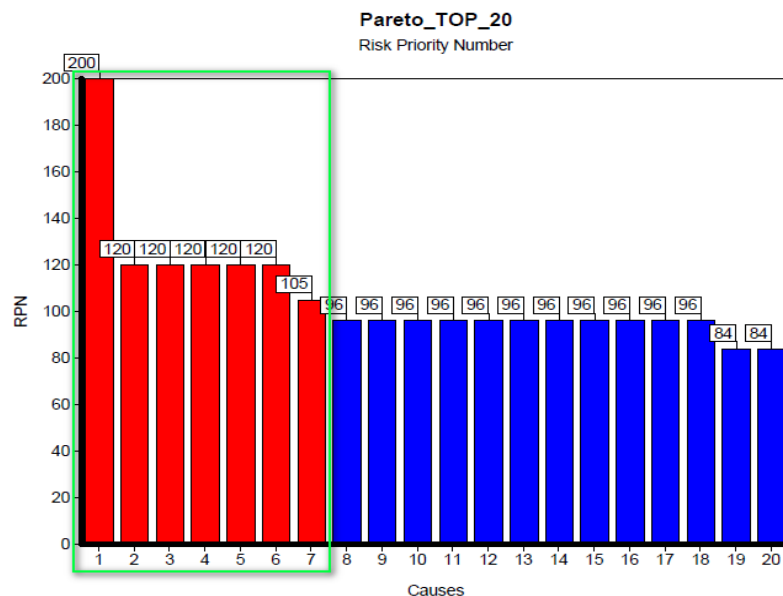
Při tvorbě a výběru konceptů je nutné rovněž dbát na vyhodnocení rizik souvisejících s konkrétním konceptem. V případě, že některý z konceptů nese výrazná objektivní rizika, je možné tato rizika eliminovat vhodnou úpravou takového konceptu. Pokud úprava není možná, není vhodné s tímto konceptem dále pracovat a je vyloučen z potenciálních možných řešení.

K analýze rizik slouží metoda Design Failure Mode and Effect Analysis (DFMEA). Jedná se o nástroj, který mapuje potenciální rizika a možné chyby daného návrhu. Tato rizika jsou ohodnocena:

- závažností (Severity);
- výskytem (Occurrence);
- detekcí (Detection).

Kombinací všech těchto parametrů Risk Priority Number (RPN) můžeme vyhodnotit kritická místa a nastavit preventivní opatření ke snížení výskytu této chyby a definovat detekční akce pro včasné odhalení chyby. Tímto postupem jsme schopni eliminovat rizika spojená s daným konceptem výrobku.





**Obr. 4.6** DFMEA Pareto –  $RPN = Severity \times Ocurrence \times Detection$

Ve fázi, kdy máme již výsledný koncept definovaný, začíná samotné detailní zpracování konstrukčního návrhu.

Standardním nástrojem pro tvorbu konstrukčního nástroje je CAD (Computer aided design) software. V automobilovém průmyslu se setkáváme s velkým množstvím typů CAD systémů a záleží na místě použití a druhu konstrukce.

Mezi nejrozšířenější CAD systémy patří: SolidWorks, NX, CREO a Catia (u konstrukčních návrhů pohledových prvků – karoserie, interiér).

Nejprve je v CAD systému vytvořen 3D návrh jednotlivých komponent již s ohledem na použitý materiál, technologii výroby a „sestavitelnost“ s ostatními komponentami. V průběhu vytváření 3D dat je již nutno návrh průběžně konzultovat s ostatními členy projektového týmu a brát ohled na funkcionalitu, vyrobiteľnosť a výslednou robustnosť.

Při vytváření sestav a podsestav finálního výrobku je zapotřebí provádět toleranční analýzy, aby se včas odhalily možné kolize při dosažení limitních rozměrů, kdy může dojít k ohrožení „sestavitelnosti“ anebo porušení funkcionality výrobku či jeho části.

Takto zpracovaná 3D data je vhodné u zatížených mechanických částí podrobit analýze metodou konečných prvků (MKP, resp. FEM – The finite element method), ve které zohledňujeme vnější i vnitřní vlivy za běžného provozu výrobku (viz kapitola 14). Většinou se jedná o mechanická a teplotní namáhání. Pokud jsou výsledky analýzy nevyhovující, je nutné návrh optimalizovat a celý postup zopakovat, dokud nejsou splněny požadavky.

Další možností ověření návrhu je 3D tisk součástí. Tímto způsobem můžeme odhalit potíže se „sestavitelností“, manipulací atd. V případě potřeby je žádoucí přepracovat konstrukční návrh.

Na základě finálních 3D dat je zpracována 2D výkresová dokumentace podle daných podnikových standardů. Tato dokumentace musí obsahovat veškeré informace potřebné k výrobě komponent a u výkresů sestav všechny informace k procesu výroby a sestavení výrobku. V jednotlivých fázích projektu se výkresová dokumentace liší, a to vzhledem k vyspělosti výrobku a účelu.

Rozlišujeme dokumentaci (viz kapitola 4.5):

- A vzorky – první prototypy (je ověřován tvar a zástavbové parametry výrobku);
- B vzorky – před sériové prototypy (funkcionalita výrobku s možnými odchylkami);
- C vzorky – sériový výrobek (plná funkcionalita);
- Sériová dokumentace.

Součástí výkresové dokumentace je tzv. zákaznický výkres (na základě zákaznické specifikace), který popisuje důležité parametry výrobku. Jsou to hlavně zástavbové rozměry, měřicí rozsah, komunikační rozhraní (konektor a jeho specifikace), základní kusovník atp. Zákaznický výkres neobsahuje detaily, které jsou součástí podnikového know-how.

Zákaznický výkres včetně 3D dat se předává zpravidla přes zákaznický portál, který má svá přísná pravidla jak z hlediska přístupnosti, tak z hlediska kontroly kvality dat.

#### 4.4 Simulace a testování

Nedílnou součástí práce každého konstruktéra při návrhu jakékoliv části či mechanismu je včasné předvídat jeho chování v provozu. Konstruktor provádí mnoho jednodušších i složitějších výpočtů v rámci přípravy řady technických konceptů. Často se však stává, že standardní analytické metody výpočtů nejsou dostačující pro řešení složitějších technických uzlů. Přílišné zjednodušení úlohy může vést k nesprávnému dimenzování těchto uzlů a v krajním případě k nesprávnému chování v provozu.

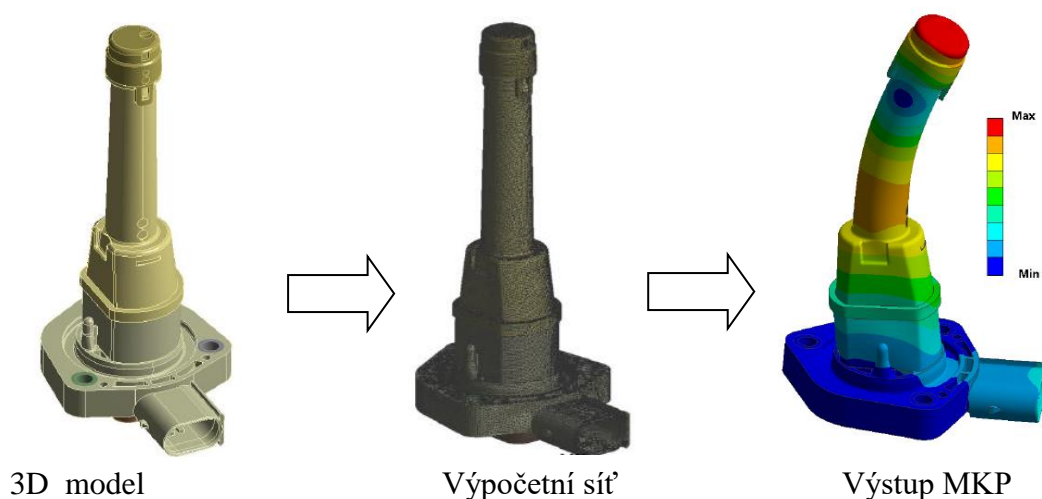
Je tedy nezbytné aplikovat takové metody, které celý proces přípravy návrhu značně zefektivní a zpřesní. Metoda konečných prvků je jednou z možností, jak tohoto docílit.

Základní myšlenka metody konečných prvků (MKP) vznikla ve 40. letech minulého století. Jedná se o numerickou výpočetní metodu. Její vznik je připisován matematikovi Richardu Courantovi, který v roce 1943 publikoval práci, v níž nastínil matematický postup, který se stal základem metody konečných prvků.

Rozvoj MKP pokračoval v leteckém kosmonautickém institutu NASA v 50. a 60. letech minulého století. NASA nechala vyvinout první komerční program NASTRAN (NASA Structural Analysis) pracující na principu MKP na konci 60. let. Tato metoda byla konstruktéry úspěšně použita v rámci programu Apollo. Matematický důkaz konvergence byl dokázán až po několika letech používání.

Rozvoj MKP v běžné konstrukční praxi byl možný až v 70. letech minulého století, kdy společnost INTEL vyvinula první mikroprocesor a následoval rozvoj výpočetní techniky. Dnes se tato metoda s úspěchem používá pro ověřování konstrukčních uzlů a také velkých celků. Rozsah použití v oblasti simulací je široký – od jednodušších statických mechanických simulací přes teplotní až po složité dynamické simulace, proudění kapalin apod.

Každou simulaci dělíme na přípravnou, řešitelskou a vyhodnocovací část. Pro přípravnou část je potřeba mít vstupní geometrii: nejčastěji 3D model, popř. 2D model. Samotný konstrukční 3D model však nestačí, je potřeba provést úpravy pro výpočetní model. Další částí je příprava výpočetní sítě modelu, tzn. rozdělení modelu na malé prvky. Příprava velikosti a typu sítě je další rozsáhlou úlohou. V neposlední řadě, v rámci přípravné části simulace, je zadání okrajových podmínek, jako jsou například stykové plochy, zatížení součásti a další omezení. Je třeba si uvědomit, že správné nastavení okrajových podmínek v každé simulaci je klíčové pro získání správných výsledků.



*Obr. 4.7 Ukázka ultrazvukového hladinového senzoru a jeho MKP modelu.*

Před spuštěním řešitelské části simulace je nezbytné správné zadání mechanických a teplotních vlastností materiálů. Definování jednotlivých materiálových vlastností je závislé na typu dané simulace.

Příklad materiálových vlastností:

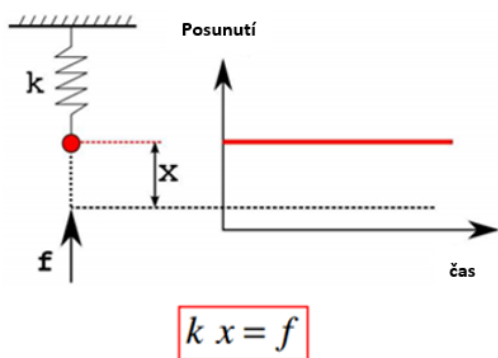
- mechanické – Youngův modul pružnosti, Poissonovo číslo;
- fyzikální – součinitel teplotní roztažnosti, měrná tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti, hustota atd.

Materiálové vlastnosti můžeme obvykle zjistit z materiálových listů od daného dodavatele. Tato data však slouží pouze pro základní provedení simulací a pro zjištění základních výsledků. V běžné praxi však tento postup není dostačující. Pro zpřesnění simulace potřebujeme znát ověřená vstupní data. Tato přesnější data můžeme získat například

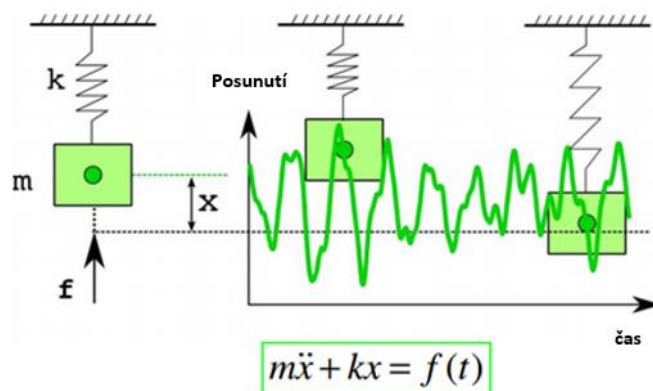
provedením základních mechanických zkoušek. První úrovní korelace mezi simulací a testem je zohlednění vstupních materiálových vlastností.

Základní rozdělení testů:

- statické (zkouška tahem, tlakem, smykem) – **Obr. 4.8**;
- dynamické (vibrační, rázové zkoušky) – **Obr. 4.9**;
- teplotní (viskoelastické vlastnosti).



**Obr. 4.8** Statická simulace (test)



**Obr. 4.9** Dynamická simulace (test)

Na **Obr. 4.9** můžete vidět příklad testovací stanice pro statické zkoušky: tah, tlak a smyk v závislosti na teplotě a na **Obr. 4.9** stanici pro dynamické mechanické zkoušky.



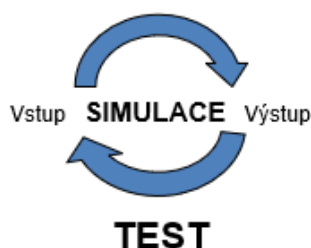
**Obr. 4.11** Testovací zařízení statické zkoušky



**Obr. 4.10** Testovací zařízení pro dynamické zkoušky

Poslední vyhodnocovací část simulace je nejnáročnější. Správné vyložení výsledků často není snadné a může dojít k dezinterpretaci. Například v rámci hodnocení základní statické úlohy je dostačující znát lineární elastické chování materiálu, tzn. hodnoty meze kluzu a maximální dovolenou deformaci pro daný materiál. Důležité je však znát také plastické chování materiálu. Lze říci, že hodnotící kritéria dané simulace jsou další velkou úlohou.

Pro úplné a správné vyhodnocení simulace je potřeba provést korelaci s testem funkční sestavy, resp. senzorem viz Obr. 4.12.



Obr. 4.12 Korelační smyčka

## 4.5 Příprava výroby prototypu

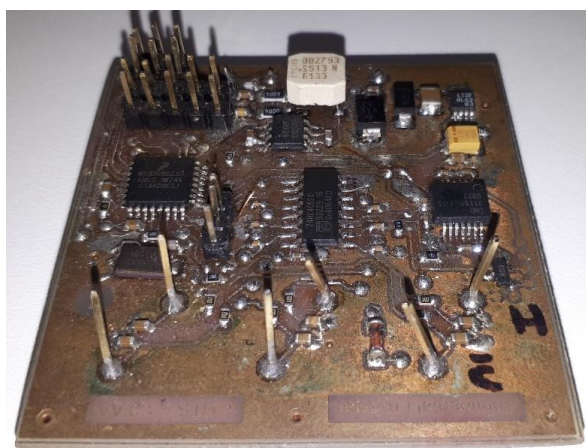
Typy prototypů dělíme především podle požadavků, které musí splňovat. Označení se může lišit podle zažitého názvosloví konkrétní automobilky či konkrétního dodavatele. Zpravidla se pro označení používají chronologicky písmena abecedy, tedy A, B, C... prototypy (vzorky), které svým pořadím určují i vývojový stav výrobku. I v samotných typech dochází k dalšímu označení následnou číslicí (např. B0, B1, B2...), kterou se rozlišuje opět chronologicky vývojový stav.

**A vzorky** slouží hlavně k základnímu ověření funkčnosti navrhovaného řešení, dílčích konstrukčních uzlů apod. v zamýšlených podmínkách aplikace. Není tedy požadována plná funkčnost ve všech podmínkách testování, ale dochází jen k verifikaci použitelnosti návrhu. Často se používá jako počáteční bod aktuálního řešení, kdy dojde jen k pozměnění některých konstrukčních uzlů za účelem ověření nového návrhu. Nebo může být aktuální řešení beze změny, jen pro první otestování pro novou konkrétní aplikaci (např. pro nové specifické požadavky zákazníka). V tomto stavu mohou být použity i jako tzv. demonstrační vzorky (demonstrátor) pro zákazníka např. při poskytování cenové nabídky. Pro A-vzorky neexistují žádné specifické požadavky pro jejich výrobu. Mohou to být jak upravené sériové díly, tak speciálně vytvořené díly nové. Hojně se využívá i možnosti 3D tisku (tzv. stereolitografie), který umožňuje snadno vyrobit prototyp finálního, téměř libovolného tvaru – vhodné především pro otestování zástavby výrobku či prvotního ověření smontovatelnosti výrobku. V současnosti již existuje celá řada možností 3D tisku – od velmi křehkých plastových výtisků přes pružné 3D síť až po pevné kovové díly. Právě podle použité technologie

a materiálu lze pak na vzorku ověřit i více funkcí – nejen finální tvar, ale i třeba mechanickou odolnost apod. Výroba 3D tisku je i časově poměrně nenáročnou operací, což je dalším pozitivem této technologie. Negativem může být naopak vyšší cena, jejíž celkový dopad však bývá snížena většinou požadovaným nižším množstvím vzorků.



*Obr. 4.13 A vzorek klipu, který slouží k ověření sestavitelnosti a první indikaci funkce klipu*



*Obr. 4.14 A vzorek desky plošných spojů, který slouží k celkovému ověření základních funkcí a diagnostice HW*

*Tab. 4.1 Přehled možností výroby tvarového plastového prototypu, referenční objem 1 cm<sup>3</sup>, střední složitost dílu*

Typ technologie výroby	Použitý materiál/vlastnosti	Dodací doba	Cena	Kapacita výroby
		(týden)	(Kč v řádech tis./ks nebo / nástroj)	(ks)
3D tisk	Vlastnosti blízké finálnímu plastru	1	1–2/ks	neomezeně
Silikonová forma, vstřikování plastru	Vlastnosti blízké finálnímu plastru	4	0,5/ks	20
			20/nástroj	
Hliníková forma, vstřikování plastru	Finální materiál	4	80/nástroj	1000
Ocelová forma, vstřikování plastru	Finální materiál	6	150/nástroj	>1000

**B vzorky** jsou podle definice vzorky vyrobené na prototypovém či sériovém zařízení za nesériových podmínek, avšak z finálních výrobních materiálů. Tento stav prototypu již tedy odpovídá finálnímu výrobku svou plnou funkčností, vzhledem a dalšími sounáležitostmi.

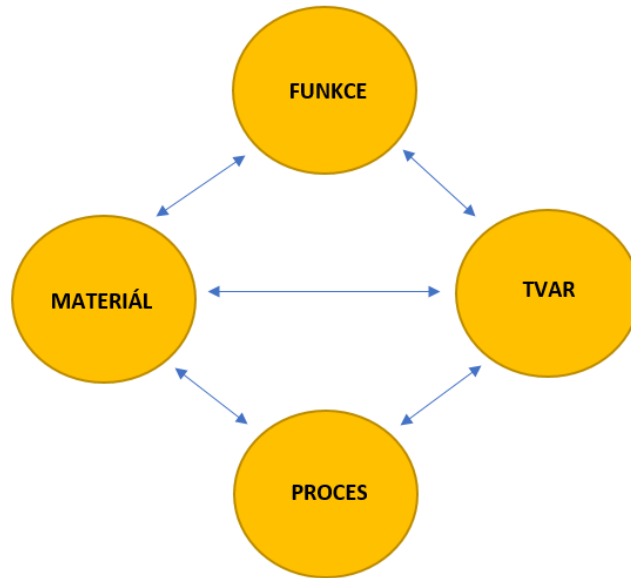
Jsou akceptovány pouze mírné odchylky, způsobené právě zatím nesériovými výrobními zařízeními, resp. podmínkami, které však nemohou mít vliv na funkci výrobku. Tyto vzorky jsou předmětem testů ověření návrhu (Design Validation). Při tomto testování dojde k prověření funkce zpravidla ve všech podmínkách testování (např. teplotní cykly, vibrace, chemické prostředí atd.). Tyto vzorky jsou určeny i k prvním testům ve vozidlech (tzv. Car test). Projde-li výrobek ověření návrhu s pozitivními výsledky, můžeme předpokládat, že byl navržen správně a bude v dané aplikaci řádně fungovat.

**C vzorky** jsou definovány jako vzorky vyrobené na sériovém zařízení za sériových podmínek. Jsou určeny k ověření produktu. Pozitivní výsledek testů říká, že je výrobek plně funkční a podle očekávání je za všech podmínek plně a stabilně vyrobitelný.

#### 4.6 Faktory ovlivňující výběr materiálu

Optimální volba materiálu je problém velmi komplexní a významný, přičemž na úspěšnosti volby materiálu do značné míry závisí užitné vlastnosti a cena budoucího výrobku. K řešení volby materiálu je nezbytné přistupovat z řady hledisek. Kromě samozřejmých úvah o vlastnostech, které by zvolený materiál ve vztahu k funkci navrhované součásti měl mít (např. pevnost, houževnatost, odolnost proti korozi, působení nízké či vysoké teploty, odolnost proti vlhkosti či opotřebení apod.) jsou nezbytné i úvahy o ekonomických aspektech dané volby materiálu, např. energetické a surovinové náročnosti, dopadu na životní prostředí atd. [4.1]

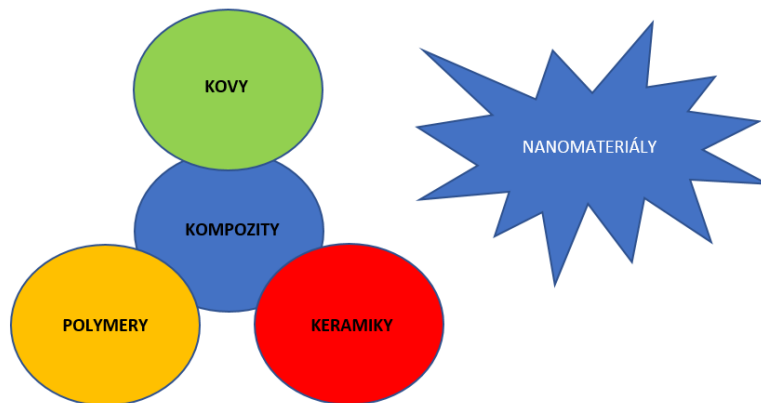
S postupujícím procesem upřesňování designu a jednotlivých charakteristik nově vyvíjeného produktu se postupně redukuje počet materiálů, které mohou být použity. V ideálním případě až na jediného kandidáta pro každou komponentu. Existují čtyři základní kategorie, které je nutné mít na zřeteli při vývoji nového produktu, případně při zdokonalování již existujícího produktu. Tyto čtyři kategorie jsou spolu úzce propojeny, viz **Obr. 4.15**.



*Obr. 4.15 Znárodnění interakce funkce, materiálu, procesu a tvaru výrobku*

Materiál není možné zvolit nezávisle na procesních parametrech, které jsou nezbytné pro jeho zpracování. Volba materiálu a výrobního procesu je úzce spojená s cenou vstupních surovin a s výrobními náklady.

Existují tři základní typy materiálů, které se používají v inženýrských aplikacích, a to kovy, polymery a keramické materiály. Dále pak existují kompozitní materiály, jež vznikají kombinací těchto tří základních typů materiálů, viz **Obr. 4.16**.



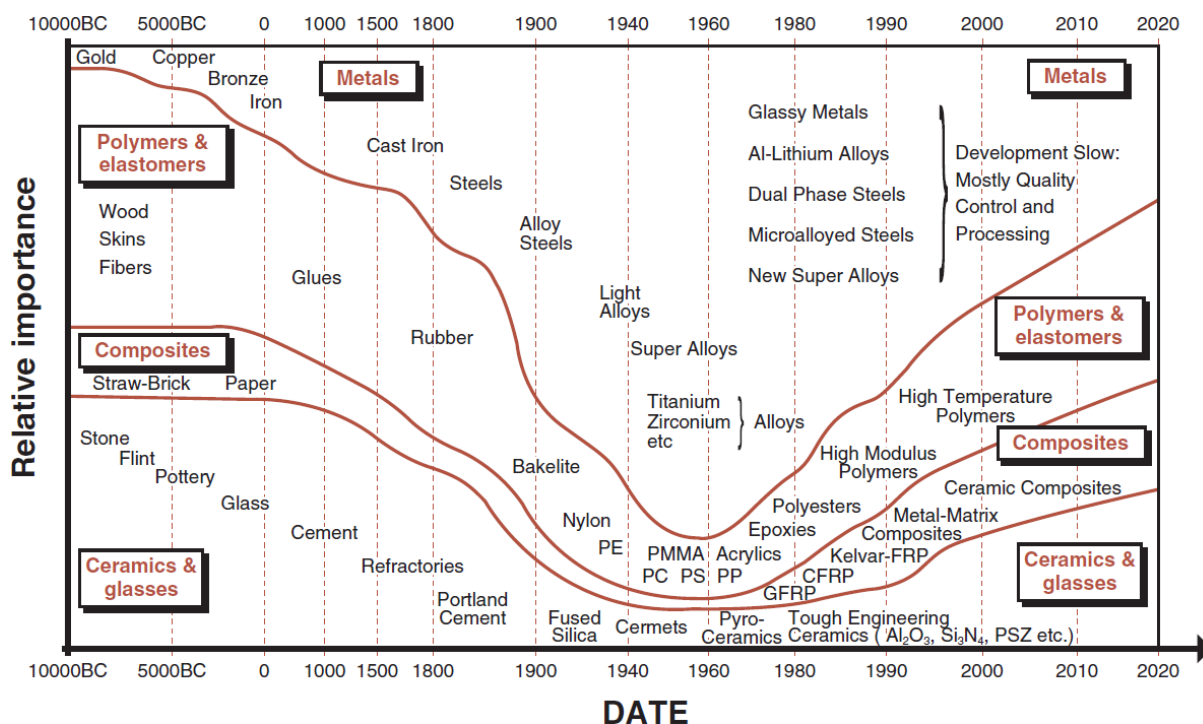
*Obr. 4.16 Základní klasifikace materiálů používaných v inženýrské praxi*

Poněkud mimo konvenční klasifikaci materiálů používaných v inženýrské praxi stojí specifická skupina materiálů, které budou v budoucnosti nacházet čím dál větší aplikační využití, jedná se o **nanomateriály**. Lze tak označit takové materiály, jejichž rozměry, případně alespoň jeden z nich má rozměry z intervalu 1–100 nm (např. rozměr zrn u nanokrystalických kovů dosahuje běžně 50 nm). [4.2]



Dalším klasifikačním kritériem z hlediska jednotlivých materiálů je jejich strukturní uspořádání, kdy látky dělíme na polykrystalické, semikrystalické, monokrystalické a amorfni. Na materiály lze nahlížet rovněž z hlediska jejich homogenity, resp. heterogenity. Dále pak z hlediska izotropie, resp. anizotropie jejich vlastností (např. mechanických). Z hlediska elektromagnetických vlastností materiálů rozdělujeme materiály na izolanty, polovodiče a vodiče.

Z historického hlediska se využití jednotlivých typů velmi zásadně mění, zatímco krátce po 2.světové válce jasně dominovaly železné a neželezné kovy, v současnosti jejich podíl klesá na úkor polymerních, keramických a kompozitních materiálů, viz **Obr. 4.17**.










**Obr. 4.17** Přehled relativní významnosti jednotlivých technických materiálů v historii lidstva [4.1]

V minulosti byly limitujícím aplikačním a designových kritériem dostupné materiály, ať už se jednalo o kovy, plasty, případně keramické materiály. V současnosti nacházejí v inženýrské praxi čím dál větší prostor kompozitní materiály, jež kombinují unikátní vlastnosti jednotlivých tradičních materiálů a současně eliminují některá jejich omezení. Jako příklad lze uvést polymerní kompozity, které po přidání měděných globulí či vláken vykazují dobrou tepelnou vodivost, vyšší pevnost a současně si uchovávají velmi nízkou hustotu a relativně nízké pořizovací náklady. Dalším příkladem může být měď disperzně zpevněná SiC. Tento kompozitní materiál vykazuje výbornou elektrickou vodivost a odolnost proti opotřebení, což se využívá při výrobě lamel vysokootáčkových motorů. V neposlední řadě lze uvést kompozitní keramické materiály na bázi C/SiC, které se využívají při výrobě brzdových kotoučů supersportovních aut. Tyto brzdy se vyznačují vysokou účinností při brzdění, vysokou oteřuvzdorností a pracovními teplotami až 1400 °C. Velká očekávání se vztahují k využití nanomateriálů v automobilovém průmyslu, jedná se např. o vývoj lehčích a současně

pevnějších karoserií, katalyzátory s vyšší účinností, miniaturizace senzorů a v poslední řadě zvýšení kapacity a bezpečnosti baterií ve vozech na elektrický pohon.  
[4.3][4.4],[4.5]

Přehled vybraných možností uplatnění nanomateriálů v automobilovém průmyslu shrnuje **Obr. 4.18**.

Applications of nanotechnologies in automobiles ■ Existing applications ■ Possible future applications

Application	Functionalities	Car body shell exterior	Car body	Interior	Chassis and tyres	Electrics and electronics	Engine and drive train
Effect							
Mechanical functionalities	Hardness, friction, tribological properties, breaking resistance	Nano varnish Polymer glazing	Nanosteel		Carbon black in tyres Nanosteel		Low-friction aggregate components
Geometric effects	Large surface-to-volume ratio, Poresize		Gecko effect	Nano filter Gecko effect		Super caps Fuel cell	
Electronic/magnetic functionalities	Size dependent electric and magnetic properties		Gluing on command		Switchable materials (rheology)	GMR sensors Solar cells	Piezo injectors
Optical functionalities	Colour, fluorescence, transparency	Ultra-thin layers Electro chromatic layers		Anti-glare coatings			
Chemical functionalities	Reactivity, selectivity, surface properties	Care and sealing systems	Forming of high strength steel Corrosion protection	Dirt protection Fragrance in the cabin			Catalysts Fuel additives

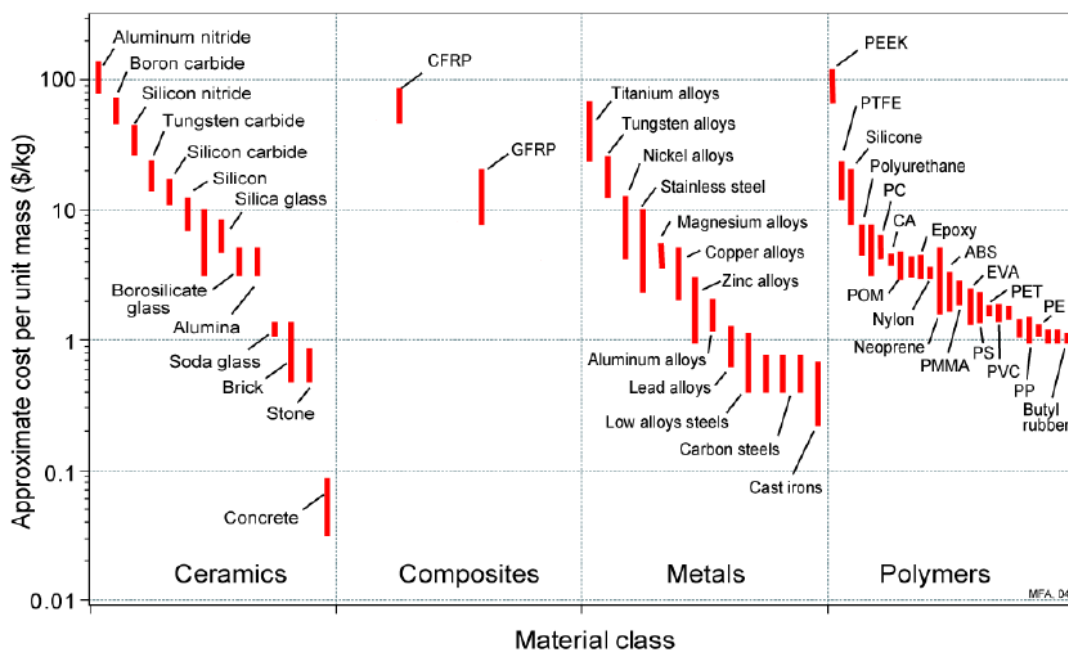
**Obr. 4.18** Přehled vybraných aplikací, u kterých se v současnosti uplatňují nanomateriály [4.6]

Jednotlivé materiály je možné klasifikovat na základě několika hledisek, přičemž při volbě nového materiálu je nutné splnit všechna požadovaná kritéria:

- Dostupnost materiálu;
- Cena materiálu;
- Zpracovatelnost materiálu (odlévatelnost, tvářitelnost, obrobitelnost apod.; např. titan a jeho slitiny vyžadují nejen adekvátní výrobní kapacity, ale také bohaté zkušenosti s odléváním a obráběním);
- Hustota;
- Elektrické a magnetické vlastnosti (relativní permeabilita, magnetická susceptibilita, elektrická vodivost, měrný odpor);
- Optické vlastnosti (index lomu, absorbance, transmitance, reflektance);
- Reologické vlastnosti (viskozita, viskoelastické moduly, smykové napětí, smyková deformace);
- Mechanické vlastnosti (mez kluzu a pevnosti v tahu, Youngův modul, houževnatost, tvrdost, ořezuvzdornost, creepové a únavové vlastnosti);

- Termofyzikální vlastnosti (koeficient teplotní roztažnosti, tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita, teplota tavení, teplota skelného přechodu);
- Korozní odolnost (volba materiálu musí zohledňovat provozní a skladovací podmínky, a to z hlediska teploty, vlhkosti, salinity apod.);
- Chemická čistota;
- Chemická stabilita (schopnost odolávat hydrolýze, fotodegradaci, oxidativní degradaci, prostředím o různém pH atd.).

Naprosto zásadní roli při výběru materiálu pro inženýrskou aplikaci má cena materiálu a jeho následné zpracování. Orientační přehled ceny jednotlivých materiálů shrnuje **Obr. 4.19**.



*Obr. 4.19 Orientační cena jednotlivých materiálů vztažená k jednotce hmotnosti [4.7]*

V následujícím textu jsou shrnuty vybrané veličiny, jejichž hodnoty mají zásadní vliv při rozhodování o volbě vhodného materiálu.

Tab. 4.2 Teploty tavení a teploty skelného přechodu vybraných skupin technických materiálů [4.7]

	$T_m, T_g$ (°C)		$T_m, T_g$ (°C)
<b>Metals</b>			
<b>Ferrous</b>		Leather (*)	107–127
Cast irons	1130–1250	Wood, typical (longitudinal) (*)	77–102
High carbon steels	1289–1478	Wood, typical (transverse) (*)	77–102
Medium carbon steels	1380–1514	<b>Polymers</b>	
Low carbon steels	1480–1526	<b>Elastomer</b>	
Low alloy steels	1382–1529	Butyl rubber (*)	–73––63
Stainless steels	1375–1450	EVA (*)	–73––23
<b>Non-ferrous</b>		Isoprene (IR) (*)	–83––78
Aluminum alloys	475–677	Natural rubber (NR) (*)	–78––63
Copper alloys	982–1082	Neoprene (CR) (*)	–48––43
Lead alloys	322–328	Polyurethane elastomers (elPU) (*)	–73––23
Magnesium alloys	447–649	Silicone elastomers (*)	–123––73
Nickel alloys	1435–1466	<b>Thermoplastic</b>	
Titanium alloys	1477–1682	ABS (*)	88–128
Zinc alloys	375–492	Cellulose polymers (CA) (*)	–9–107
<b>Ceramics</b>		Ionomer (I) (*)	27–77
<b>Glasses</b>		Nylons (PA) (*)	44–56
Borosilicate glass (*)	450–602	Polycarbonate (PC) (*)	142–205
Glass ceramic (*)	563–1647	PEEK (*)	143–199
Silica glass (*)	957–1557	Polyethylene (PE) (*)	–25––15
Soda-lime glass (*)	442–592	PET (*)	68–80
<b>Porous</b>		Acrylic (PMMA) (*)	85–165
Brick	927–1227	Acetal (POM) (*)	–18––8
Concrete, typical	927–1227	Polypropylene (PP) (*)	–25––15
Stone	1227–1427	Polystyrene (PS) (*)	74–110
<b>Technical</b>		Polyurethane thermoplastics (tpPU) (*)	120–160
Alumina	2004–2096	PVC	75–105
Aluminum nitride	2397–2507	Teflon (PTFE)	107–123
Boron carbide	2372–2507	<b>Thermoset</b>	
Silicon	1407–1412	Epoxies	n/a
Silicon carbide	2152–2500	Phenolics	n/a
Silicon nitride	2388–2496	Polyester	n/a
Tungsten carbide	2827–2920	<b>Polymer foams</b>	
<b>Composites</b>		Flexible polymer foam (VLD) (*)	112–177
<b>Metal</b>		Flexible polymer foam (LD) (*)	112–177
Aluminum/silicon carbide	525–627	Flexible polymer foam (MD) (*)	112–177
<b>Polymer</b>		Rigid polymer foam (LD) (*)	67–171
CFRP	n.a.	Rigid polymer foam (MD) (*)	67–157
GFRP	n.a.	Rigid polymer foam (HD) (*)	67–171
<b>Natural</b>			
Bamboo (*)	77–102		
Cork (*)	77–102		

Tab. 4.3 Hustota vybraných technických materiálů [4.7]

	$\rho$ (Mg/m <sup>3</sup> )		$\rho$ (Mg/m <sup>3</sup> )
<b>Metals</b>		<b>Natural</b>	
<b>Ferrous</b>		Bamboo	0.6–0.8
Cast irons	7.05–7.25	Cork	0.12–0.24
High carbon steels	7.8–7.9	Leather	0.81–1.05
Medium carbon steels	7.8–7.9	Wood, typical (longitudinal)	0.6–0.8
Low carbon steels	7.8–7.9	Wood, typical (transverse)	0.6–0.8
Low alloy steels	7.8–7.9	<b>Polymers</b>	
Stainless steels	7.6–8.1	<b>Elastomer</b>	
<b>Non-ferrous</b>		Butyl rubber	0.9–0.92
Aluminum alloys	2.5–2.9	EVA	0.945–0.955
Copper alloys	8.93–8.94	Isoprene (IR)	0.93–0.94
Lead alloys	10–11.4	Natural rubber (NR)	0.92–0.93
Magnesium alloys	1.74–1.95	Neoprene (CR)	1.23–1.25
Nickel alloys	8.83–8.95	Polyurethane elastomers (elPU)	1.02–1.25
Titanium alloys	4.4–4.8	Silicone elastomers	1.3–1.8
Zinc alloys	4.95–7	<b>Thermoplastic</b>	
<b>Ceramics</b>		ABS	1.01–1.21
<b>Glasses</b>		Cellulose polymers (CA)	0.98–1.3
Borosilicate glass	2.2–2.3	Ionomer (I)	0.93–0.96
Glass ceramic	2.2–2.8	Nylons (PA)	1.12–1.14
Silica glass	2.17–2.22	Polycarbonate (PC)	1.14–1.21
Soda-lime glass	2.44–2.49	PEEK	1.3–1.32
<b>Porous</b>		Polyethylene (PE)	0.939–0.96
Brick	1.9–2.1	PET	1.29–1.4
Concrete, typical	2.2–2.6	Acrylic (PMMA)	1.16–1.22
Stone	2.5–3	Acetal (POM)	1.39–1.43
<b>Technical</b>		Polypropylene (PP)	0.89–0.91
Alumina	3.5–3.98	Polystyrene (PS)	1.04–1.05
Aluminum nitride	3.26–3.33	Polyurethane thermoplastics (tpPU)	1.12–1.24
Boron carbide	2.35–2.55	PVC	1.3–1.58
Silicon	2.3–2.35	Teflon (PTFE)	2.14–2.2
Silicon carbide	3–3.21	<b>Thermoset</b>	
Silicon nitride	3–3.29	Epoxies	1.11–1.4
Tungsten carbide	15.3–15.9	Phenolics	1.24–1.32
<b>Composites</b>		Polyester	1.04–1.4
<b>Metal</b>		<b>Polymer foams</b>	
Aluminum/silicon carbide	2.66–2.9	Flexible polymer foam (VLD)	0.016–0.035
<b>Polymer</b>		Flexible polymer foam (LD)	0.038–0.07
CFRP	1.5–1.6	Flexible polymer foam (MD)	0.07–0.115
GFRP	1.75	Rigid polymer foam (LD)	0.036–0.07
		Rigid polymer foam (MD)	0.078–0.165
		Rigid polymer foam (HD)	0.17–0.47

Tab. 4.4 Modul pružnosti v tahu pro vybrané technické materiály [4.7]

	E (GPa)		E (GPa)
<b>Metals</b>		<b>Natural</b>	
<b>Ferrous</b>		Bamboo	15–20
Cast irons	165–180	Cork	0.013–0.05
High carbon steels	200–215	Leather	0.1–0.5
Medium carbon steels	200–216	Wood, typical (longitudinal)	6–20
Low carbon steels	200–215	Wood, typical (transverse)	0.5–3
Low alloy steels	201–217	<b>Polymers</b>	
Stainless steels	189–210	<b>Elastomer</b>	
<b>Non-ferrous</b>		Butyl rubber	0.001–0.002
Aluminum alloys	68–82	EVA	0.01–0.04
Copper alloys	112–148	Isoprene (IR)	0.0014–0.004
Lead alloys	12.5–15	Natural rubber (NR)	0.0015–0.0025
Magnesium alloys	42–47	Neoprene (CR)	0.0007–0.002
Nickel alloys	190–220	Polyurethane elastomers (elPU)	0.002–0.003
Titanium alloys	90–120	Silicone elastomers	0.005–0.02
Zinc alloys	68–95	<b>Thermoplastic</b>	
<b>Ceramics</b>		ABS	1.1–2.9
<b>Glasses</b>		Cellulose polymers (CA)	1.6–2
Borosilicate glass	61–64	Ionomer (I)	0.2–0.424
Glass ceramic	64–110	Nylons (PA)	2.62–3.2
Silica glass	68–74	Polycarbonate (PC)	2–2.44
Soda-lime glass	68–72	PEEK	3.5–4.2
<b>Porous</b>		Polyethylene (PE)	0.621–0.896
Brick	10–50	PET	2.76–4.14
Concrete, typical	25–38	Acrylic (PMMA)	2.24–3.8
Stone	120–133	Acetal (POM)	2.5–5
<b>Technical</b>		Polypropylene (PP)	0.896–1.55
Alumina	215–413	Polystyrene (PS)	2.28–3.34
Aluminum nitride	302–348	Polyurethane thermoplastics (tpPU)	1.31–2.07
Boron carbide	400–472	PVC	2.14–4.14
Silicon	140–155	Teflon (PTFE)	0.4–0.552
Silicon carbide	300–460	<b>Thermoset</b>	
Silicon nitride	280–310	Epoxies	2.35–3.075
Tungsten carbide	600–720	Phenolics	2.76–4.83
<b>Composites</b>		Polyester	2.07–4.41
<b>Metal</b>		<b>Polymer foams</b>	
Aluminum/silicon carbide	81–100	Flexible polymer foam (VLD)	0.0003–0.001
<b>Polymer</b>		Flexible polymer foam (LD)	0.001–0.003
CFRP	69–150	Flexible polymer foam (MD)	0.004–0.012
GFRP	15–28	Rigid polymer foam (LD)	0.023–0.08
		Rigid polymer foam (MD)	0.08–0.2
		Rigid polymer foam (HD)	0.2–0.48

Tab. 4.5 Mez kluzu a mez pevnosti vybraných technických materiálů [4.7]

	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_m$ (MPa)		$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_m$ (MPa)
<b>Metals</b>			<b>Natural</b>		
<b>Ferrous</b>			Bamboo	35–44	36–45
Cast irons	215–790	350–1000	Cork	0.3–1.5	0.5–2.5
High carbon steels	400–1155	550–1640	Leather	5–10	20–26
Medium carbon steels	305–900	410–1200	Wood, typical (longitudinal)	30–70	60–100
Low carbon steels	250–395	345–580	Wood, typical (transverse)	2–6	4–9
Low alloy steels	400–1100	460–1200	<b>Polymers</b>		
Stainless steels	170–1000	480–2240	<b>Elastomer</b>		
<b>Non-ferrous</b>			Butyl rubber	2–3	5–10
Aluminum alloys	30–500	58–550	EVA	12–18	16–20
Copper alloys	30–500	100–550	Isoprene (IR)	20–25	20–25
Lead alloys	8–14	12–20	Natural rubber (NR)	20–30	22–32
Magnesium alloys	70–400	185–475	Neoprene (CR)	3.4–24	3.4–24
Nickel alloys	70–1100	345–1200	Polyurethane elastomers (elPU)	25–51	25–51
Titanium alloys	250–1245	300–1625	Silicone elastomers	2.4–5.5	2.4–5.5
Zinc alloys	80–450	135–520	<b>Thermoplastic</b>		
<b>Ceramics</b>			ABS	18.5–51	27.6–55.2
<b>Glasses</b>			Cellulose polymers (CA)	25–45	25–50
Borosilicate glass (*)	264–384	22–32	Ionomer (I)	8.3–15.9	17.2–37.2
Glass ceramic (*)	750–2129	62–177	Nylons (PA)	50–94.8	90–165
Silica glass (*)	1100–1600	45–155	Polycarbonate (PC)	59–70	60–72.4
Soda-lime glass (*)	360–420	31–35	PEEK	65–95	70–103
<b>Porous</b>			Polyethylene (PE)	17.9–29	20.7–44.8
Brick (*)	50–140	7–14	PET	56.5–62.3	48.3–72.4
Concrete, typical (*)	32–60	2–6	Acrylic (PMMA)	53.8–72.4	48.3–79.6
Stone (*)	34–248	5–17	Acetal (POM)	48.6–72.4	60–89.6
<b>Technical</b>			Polypropylene (PP)	20.7–37.2	27.6–41.4
Alumina (*)	690–5500	350–665	Polystyrene (PS)	28.7–56.2	35.9–56.5
Aluminum nitride (*)	1970–2700	197–270	Polyurethane thermoplastics (tpPU)	40–53.8	31–62
Boron carbide (*)	2583–5687	350–560	PVC	35.4–52.1	40.7–65.1
Silicon (*)	3200–3460	160–180	Teflon (PTFE)	15–25	20–30
Silicon carbide (*)	1000–5250	370–680	<b>Thermoset</b>		
Silicon nitride (*)	524–5500	690–800	Epoxies	36–71.7	45–89.6
Tungsten carbide (*)	3347–6833	370–550	Phenolics	27.6–49.7	34.5–62.1
<b>Composites</b>			Polyester	33–40	41.4–89.6
<b>Metal</b>			<b>Polymer foams</b>		
Aluminum/silicon carbide	280–324	290–365	Flexible polymer foam (VLD)	0.01–0.12	0.24–0.85
<b>Polymer</b>			Flexible polymer foam (LD)	0.02–0.3	0.24–2.35
CFRP	550–1050	550–1050	Flexible polymer foam (MD)	0.05–0.7	0.43–2.95
GFRP	110–192	138–241	Rigid polymer foam (LD)	0.3–1.7	0.45–2.25
			Rigid polymer foam (MD)	0.4–3.5	0.65–5.1
			Rigid polymer foam (HD)	0.8–12	1.2–12.4

Tab. 4.6 Lomová houževnatost vybraných technických materiálů [4.7]

	$K_{IC}$ (MPa√m)		$K_{IC}$ (MPa√m)
<b>Metals</b>		<b>Natural</b>	
Ferrous		Bamboo	5-7
Cast irons	22-54	Cork	0.05-0.1
High carbon steels	27-92	Leather	3-5
Medium carbon steels	12-92	Wood, typical (longitudinal)	5-9
Low carbon steels	41-82	Wood, typical (transverse)	0.5-0.8
Low alloy steels	14-200		
Stainless steels	62-280	<b>Polymers</b>	
Non-ferrous		Elastomer	
Aluminum alloys	22-35	Butyl rubber	0.07-0.1
Copper alloys	30-90	EVA	0.5-0.7
Lead alloys	5-15	Isoprene (IR)	0.07-0.1
Magnesium alloys	12-18	Natural rubber (NR)	0.15-0.25
Nickel alloys	80-110	Neoprene (CR)	0.1-0.3
Titanium alloys	14-120	Polyurethane elastomers (elPU)	0.2-0.4
Zinc alloys	10-100	Silicone elastomers	0.03-0.5
<b>Ceramics</b>		Thermoplastic	
Glasses		ABS	1.19-4.30
Borosilicate glass	0.5-0.7	Cellulose polymers (CA)	1-2.5
Glass ceramic	1.4-1.7	Ionomer (I)	1.14-3.43
Silica glass	0.6-0.8	Nylons (PA)	2.22-5.62
Soda-lime glass	0.55-0.7	Polycarbonate (PC)	2.1-4.60
Porous		PEEK	2.73-4.30
Brick	1-2	Polyethylene (PE)	1.44-1.72
Concrete, typical	0.35-0.45	PET	4.5-5.5
Stone	0.7-1.5	Acrylic (PMMA)	0.7-1.6
Technical		Acetal (POM)	1.71-4.2
Alumina	3.3-4.8	Polypropylene (PP)	3-4.5
Aluminum nitride	2.5-3.4	Polystyrene (PS)	0.7-1.1
Boron carbide	2.5-3.5	Polyurethane thermoplastics (tpPU)	1.84-4.97
Silicon	0.83-0.94	PVC	1.46-5.12
Silicon carbide	2.5-5	Teflon (PTFE)	1.32-1.8
Silicon nitride	4-6	Thermoset	
Tungsten carbide	2-3.8	Epoxies	0.4-2.22
<b>Composites</b>		Phenolics	0.79-1.21
Metal		Polyester	1.09-1.70
Aluminum/silicon carbide	15-24	<b>Polymer foams</b>	
Polymer		Flexible polymer foam (VLD)	0.005-0.02
CFRP	6.1-88	Flexible polymer foam (LD)	0.015-0.05
GFRP	7-23	Flexible polymer foam (MD)	0.03-0.09
		Rigid polymer foam (LD)	0.002-0.02
		Rigid polymer foam (MD)	0.007-0.049
		Rigid polymer foam (HD)	0.024-0.091

Tab. 4.7 Měrná tepelná vodivost vybraných technických materiálů [4.7]

	$\lambda$ (W/m.K)		$\lambda$ (W/m.K)
<b>Metals</b>		<b>Natural</b>	
Ferrous		Bamboo	0.1-0.18
Cast irons	29-44	Cork	0.035-0.048
High carbon steels	47-53	Leather	0.15-0.17
Medium carbon steels	45-55	Wood, typical (longitudinal)	0.31-0.38
Low carbon steels	49-54	Wood, typical (transverse)	0.15-0.19
Low alloy steels	34-55		
Stainless steels	11-19	<b>Polymers</b>	
Non-ferrous		Elastomer	
Aluminum alloys	76-235	Butyl rubber	0.08-0.1
Copper alloys	160-390	EVA	0.3-0.4
Lead alloys	22-36	Isoprene (IR)	0.08-0.14
Magnesium alloys	50-156	Natural rubber (NR)	0.1-0.14
Nickel alloys	67-91	Neoprene (CR)	0.08-0.14
Titanium alloys	5-12	Polyurethane elastomers (elPU)	0.28-0.3
Zinc alloys	100-135	Silicone elastomers	0.3-1.0
<b>Ceramics</b>		Thermoplastic	
Glasses		ABS	0.19-0.34
Borosilicate glass	1-1.3	Cellulose polymers (CA)	0.13-0.3
Glass ceramic	1.3-2.5	Ionomer (I)	0.24-0.28
Silica glass	1.4-1.5	Nylons (PA)	0.23-0.25
Soda-lime glass	0.7-1.3	Polycarbonate (PC)	0.19-0.22
Porous		PEEK	0.24-0.26
Brick	0.46-0.73	Polyethylene (PE)	0.40-0.44
Concrete, typical	0.8-2.4	PET	0.14-0.15
Stone	5.4-6.0	Acrylic (PMMA)	0.08-0.25
Technical		Acetal (POM)	0.22-0.35
Alumina	30-38.5	Polypropylene (PP)	0.11-0.17
Aluminum nitride	80-200	Polystyrene (PS)	0.12-0.12
Boron carbide	40-90	Polyurethane thermoplastics (tpPU)	0.23-0.24
Silicon	140-150	PVC	0.15-0.29
Silicon carbide	115-200	Teflon (PTFE)	0.24-0.26
Silicon nitride	22-30	Thermoset	
Tungsten carbide	55-88	Epoxies	0.18-0.5
<b>Composites</b>		Phenolics	0.14-0.15
Metal		Polyester	0.28-0.3
Aluminum/silicon carbide	180-160	<b>Polymer foams</b>	
Polymer		Flexible polymer foam (VLD)	0.036-0.048
CFRP	1.28-2.6	Flexible polymer foam (LD)	0.04-0.06
GFRP	0.4-0.55	Flexible polymer foam (MD)	0.04-0.08
		Rigid polymer foam (LD)	0.023-0.04
		Rigid polymer foam (MD)	0.027-0.038
		Rigid polymer foam (HD)	0.34-0.06

**Tab. 4.8** Součinitel teplotní roztažnosti vybraných technických materiálů [4.7]

	$\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )		$\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )
<b>Metals</b>		<b>Natural</b>	
Ferrous		Bamboo	2.6–10
Cast irons	10–12.5	Cork	130–230
High carbon steels	11–13.5	Leather	40–50
Medium carbon steels	10–14	Wood, typical (longitudinal)	2–11
Low carbon steels	11.5–13	Wood, typical (transverse)	32–42
Low alloy steels	10.5–13.5		
Stainless steels	13–20	<b>Polymers</b>	
Non-ferrous		<b>Elastomer</b>	
Aluminum alloys	21–24	Butyl rubber	120–300
Copper alloys	16.9–18	EVA	160–190
Lead alloys	18–32	Isoprene (IR)	150–450
Magnesium alloys	24.6–28	Natural rubber (NR)	150–450
Nickel alloys	12–13.5	Neoprene (CR)	575–610
Titanium alloys	7.9–11	Polyurethane elastomers (elPU)	150–165
Zinc alloys	23–28	Silicone elastomers	250–300
<b>Ceramics</b>		<b>Thermoplastic</b>	
<b>Glasses</b>		ABS	84.6–234
Borosilicate glass	3.2–4.0	Cellulose polymers (CA)	150–300
Glass ceramic	1–5	Ionomer (I)	180–306
Silica glass	0.55–0.75	Nylons (PA)	144–150
Soda-lime glass	9.1–9.5	Polycarbonate (PC)	120–137
<b>Porous</b>		PEEK	72–194
Brick	5–8	Polyethylene (PE)	126–198
Concrete, typical	6–13	PET	114–120
Stone	3.7–6.3	Acrylic (PMMA)	72–162
<b>Technical</b>		Acetal (POM)	76–201
Alumina	7–10.9	Polypropylene (PP)	122–180
Aluminum nitride	4.9–6.2	Polystyrene (PS)	90–153
Boron carbide	3.2–3.4	Polyurethane thermoplastics (tpPU)	90–144
Silicon	2.2–2.7	PVC	100–150
Silicon carbide	4.0–5.1	Teflon (PTFE)	126–216
Silicon nitride	3.2–3.6	<b>Thermoset</b>	
Tungsten carbide	5.2–7.1	Epoxies	58–117
<b>Composites</b>		Phenolics	120–125
<b>Metal</b>		Polyester	99–180
Aluminum/silicon carbide	15–23	<b>Polymer foams</b>	
<b>Polymer</b>		Flexible polymer foam (VLD)	120–220
CFRP	1–4	Flexible polymer foam (LD)	115–220
GFRP	8.6–33	Flexible polymer foam (MD)	115–220
		Rigid polymer foam (LD)	20–80
		Rigid polymer foam (MD)	20–75
		Rigid polymer foam (HD)	22–70

Zvolená technologie výroby je dána složením, strukturou a vlastnostmi materiálu (obrobitelnost, svařitelnost, tvářitelnost za studena) a naopak sama tyto parametry materiálu může výrazně měnit (např. zpevnění při tváření za studena, tepelné zpracování aj.) a tím i výrazně ovlivňovat užité vlastnosti. [4.8]

#### 4.7 Materiálové vlastnosti

Pokud je k dispozici více vhodných materiálů, které splňují minimální požadavky kladené na jejich užité vlastnosti, lze výběr vhodného materiálu provést prostřednictvím matematicky jasně definovaných kritérií, a to podle následujícího vzorce:

$$H_i = \sum_i \frac{\alpha_i P_i}{R_i} \quad (4.1)$$

kde  $H_i$  představuje **hodnotu užitných vlastností**,  $\alpha_i$  je **váhový koeficient** (suma absolutní hodnota váhových koeficientů by měla být rovna jedné),  $P_i$  je **hodnota definovaného parametru** a  $R_i$  reprezentuje **referenční hodnotu daného parametru**. [4.9]

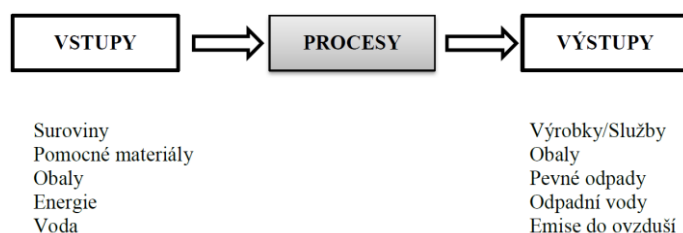
Součástí výběru materiálu a plánování technologických procesů je prescreening zátěže na životní prostředí, přičemž se dbá na to, aby nebyly zvoleny materiály, jejichž použití brání

legislativní opatření (např. organická činidla, která jsou karcinogenní či mutagenní, olovnaté pájky apod.).

Veškeré nakládání s chemickými látkami v České republice upravuje zákon 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích. [4.10]

Vyhláška 61/2018 Sb. pojednává o seznamu nebezpečných chemických látek, směsí a prachů a podmínkách nakládání s nebezpečnými chemickými látkami a směsmi a podmínkách výkonu činností spojených s nebezpečnou expozicí prachů. Z hlediska dopadů na životní prostředí, v závislosti na zvolených materiálech a výrobních procesech, se definují následující kategorie:

- **Produkce nebezpečných odpadů** (odpadní produkty z vlastního výrobního procesu, např. použité oleje; do této kategorie nespádají odpady, které se dají vytrdit a recyklovat).
- **Produkce těkavých organických látek** (VOC – volatile organic compounds; nevztahuje se pouze k samotnému výrobnímu procesu, ale také ke skladování a přepravě).
- **Emise skleníkových plynů z fosilních paliv.**
- **Spotřeba vody a produkce odpadních vod.**



Obr. 4.20 Schematické znázornění environmentálních aspektů výrobního procesu [4.11]



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[4.1] LERCH, K., D. SZEMKUS a H. WINKLER. *DfSS příručka: Interní dokumenty Continental AG*. Frenštát pod Radhoštěm, 2010.

[4.2] LENERT, J. *Úvod do metody konečných prvků*. Ostrava: VŠB-TUO, 1999. ISBN 80-7078-686-8.

[4.3] ISO 26262-1:2011: Road vehicles -- Functional safety -- Part 1: Vocabulary. *International Organization for Standardization: When the world agrees*, 2011 [cit. 2018-12-18].



- [4.4] ASHBY, M. F. *Materials selection in mechanical design*. 2nd ed. Boston, MA: Butterworth-Heinemann, 1999. ISBN 0750643579.
- [4.5] GAFFET, E. *Nanomaterials : a review of the definitions, applications, health effects. How to implement secure development*. Site de Sévenans (UTBM) – F90010 Belfort Cedex - France, 18. Dostupné také z: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00598817/file/E.Gaffet-GB.pdf>
- [4.6] *Nauka o materiálu: Přednáška č.14 – Kompozity* [online]. In: . Vysoká škola báňská-Technická Univerzita Ostrava [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_014/Vlastnosti%20a%20zkou%C5%A1en%C3%AD%20materi%C3%A1l%C5%AF/02%20Text%20pro%20e-learning/Vlastnosti%20a%20zkou%C5%A1en%C3%AD%20materi%C3%A1l%C5%AF%2013.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_014/Vlastnosti%20a%20zkou%C5%A1en%C3%AD%20materi%C3%A1l%C5%AF/02%20Text%20pro%20e-learning/Vlastnosti%20a%20zkou%C5%A1en%C3%AD%20materi%C3%A1l%C5%AF%2013.pdf)
- [4.7] GARCÍA, D. B. *Ceramic Matrix Composites: Manufacturing and Applications in the Automotive Industry* [online]. Bristol: University of Bristol [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.bristol.ac.uk/engineering/media/accis/cdt/news/bracho-garcia.pdf>
- [4.8] BERGER, M. *Nanotechnology in the automotive industry* [online]. 2010 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=18972.php>
- [4.9] *Nanotechnologies in Automobiles: Innovation Potentials in Hesse for the Automotive Industry and its Subcontractors* [online]. Wiesbaden: HA Hessen Agentur, 2008 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: [https://www.technologieland-hessen.de/mm/NanoAutomotive\\_web.pdf](https://www.technologieland-hessen.de/mm/NanoAutomotive_web.pdf)
- [4.10] ASHBY, M. *Materials and Process Selection Charts* [online]. UK: Engineering Department Cambridge [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: [http://www.grantadesign.com/download/pdf/teaching\\_resource\\_books/2-Materials-Charts-2010.pdf](http://www.grantadesign.com/download/pdf/teaching_resource_books/2-Materials-Charts-2010.pdf)
- [4.11] *Materiálem letem světem* [online]. In: . Praha: ČVUT [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/mattech/01\\_Materialem%20letem%20svetem.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/mattech/01_Materialem%20letem%20svetem.pdf)
- [4.12] SANDSTRÖM, R. *TALAT Lecture 1502: Criteria in Material Selection* [online]. Stockholm: European Aluminium Association, 2009, 36 s. [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/corematerials/talat-lecture-1502-criteria-in-material-selection>
- [4.13] *Zákon č. 350/2011 Sb.: o chemických látkách a chemických směsích a o změně některých zákonů (chemický zákon)*. In: . 2011. Dostupné také z:

[https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/3ED571E252E44B37C12571B0003F53B1/\\$file/Z%20350\\_2011.pdf](https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/3ED571E252E44B37C12571B0003F53B1/$file/Z%20350_2011.pdf)

- [4.14] ŠTUDENT, Jiří, Jaroslava HYRŠLOVÁ a Vojtěch VANĚČEK. *Udržitelný rozvoj a podnikání: environmentální reporting, hodnocení udržitelného rozvoje a environmentální účetnictví*. Praha: CEMC - České ekologické manažerské centrum, 2005. Edice CEMC - příručka pro odborníky a vedení organizací. ISBN isbn80-85990-09-1.



### Shrnutí pojmů kapitoly

- Požadavky zákazníka
- Projektový tým
- Robustní výrobek
- DfSS
- FMEA
- Pugh matrix
- Metoda konečných prvků
- Simulace
- Testování
- Prototyp
- 3D tisk
- Rozdělení materiálů
- Základní mechanické, fyzikálně-chemické vlastnosti materiálů
- Postup při výběru vhodného materiálu
- Environmentální legislativa



### Otázky k probranému učivu

1. Jaká je úloha projektového týmu při vývoji nového výrobku?
2. Vysvětlete souvislosti mezi kvalitou, náklady a časem.
3. Jaké jsou základní požadavky na výrobek (nakreslete schéma)?
4. Jak lze definovat robustní výrobek?
5. Jaké metodiky lze použít pro vývoj výrobku?
6. Jaký je význam 3D a 2D dokumentace?
7. Popište základní fáze simulace.
8. Vysvětlete potřebu korelace výsledku simulace a testu.
9. Jaké typy prototypů znáte?
10. Jaký typ prototypu zvolíte pro první prezentaci zákazníkovi?

11. Vysvětlete souvislosti mezi volbou materiálu, tvarem, procesem a funkcí produktu.
12. Jaké základní typy materiálů se používají v inženýrských aplikacích?
13. Vyjmenujte kritéria, která jsou rozhodující pro správnou volbu materiálu.
14. Definujte legislativní aspekty vztahující se k environmentální problematice, které jsou nezbytné pro správnou volbu materiálu.

## 5 Testování použitých materiálů s ohledem na jejich fyzikálně mechanické vlastnosti, životnost a spolehlivost



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Popsat základní typy mechanických zkoušek
- Zvolit správnou metodu mechanické zkoušky, a to s ohledem na její přednosti a omezení
- Popsat základní typy fyzikálně-chemických metod analýzy materiálu



**Výklad**

### 5.1 Mechanické testování

Testování materiálových vlastností senzorů a dalších produktů, respektive dílčích materiálů, ze kterých jsou vyrobeny, se vyznačuje určitými specifiky. Zatímco v materiálovém výzkumu se takřka výhradně testují jednotlivé materiály zvlášť a podle definované normy (ASTM, ČSN, DIN), v automobilovém průmyslu se testují velmi často jednotlivé produkty, resp. jejich části. Vzhledem k tomu, že tyto vzorky nemají normou definované rozměry, jedná se o specifické testy (např. požadované zákazníkem). Dalším specifikem testů v segmentu automobilového průmyslu je skutečnost, že výrobky jsou často testovány v jednotlivých sekvencích, které následují v přesně určeném pořadí. Mezi tyto specifické testy patří: teplotní šoky, dlouhodobé teplotní cyklické testy, měření doby odezvy, vibrační testy, testy korozní odolnosti, testy chemické odolnosti, nárazové testy, adhezní testy, vlhkostní testy a celá řada dalších.

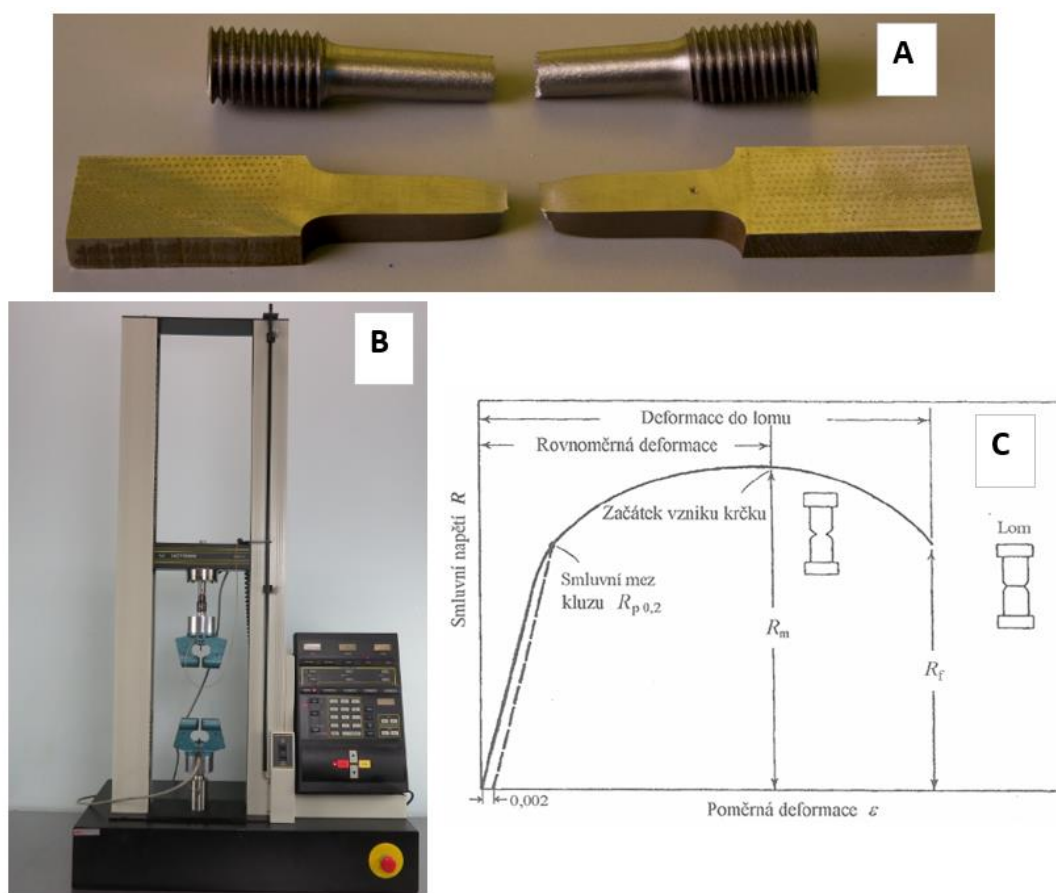
**Mechanické zkoušky** patří mezi nejdůležitější metody testování nových i stávajících materiálů, a to nejen v automobilovém průmyslu. Dělí se na zkoušky statické a dynamické. Mezi nejdůležitější a nejčastěji používané mechanické zkoušky patří:

#### Tahová zkouška

Tato zkouška má ze všech statických mechanických zkoušek největší význam a považuje se za základní zkoušku většiny materiálů. Zkušebním vzorkem je normovaná válcová nebo plochá tyč, jejíž konce jsou většinou zesíleny a vhodným způsobem upraveny pro uchycení v čelistech zkušebního stroje. [5.1]

V automobilovém průmyslu se ovšem velmi často provádějí nenormované tahové zkoušky, a to především na produktech či jejich částech. Je nutné podotknout, že výsledky normované a nenormované zkoušky, která je provedená na jinak identickém materiálu, se mohou poměrně zásadně lišit.

Tahové zkoušky se provádějí na kovech, plastech a kompozitních materiálech. Naopak, neprovádějí se u keramických materiálů. Tahová zkouška se standardně dělá při pokojové teplotě, nicméně vyžaduje-li to technická aplikace, mohou tahové zkoušky proběhnout i v teplotní komoře (u kovů např. až 800 °C). Mezi veličiny, které se stanovují prostřednictvím tahové zkoušky, patří mez kluzu, mez pevnosti, tažnost a kontrakce.



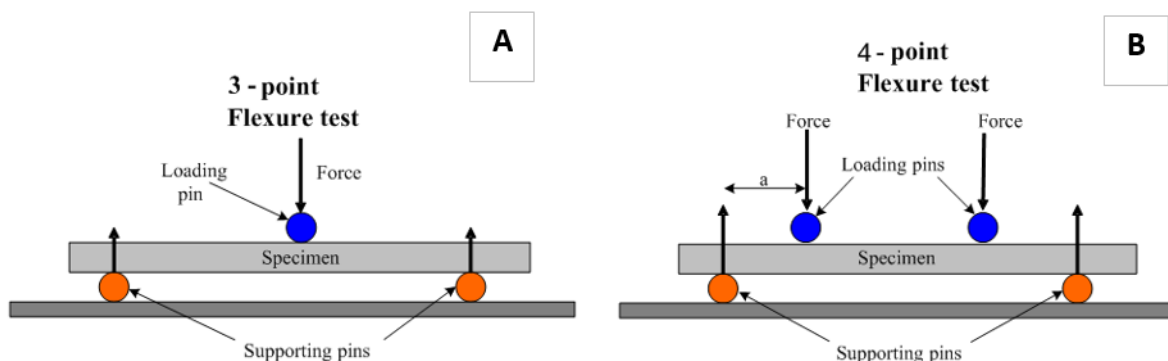
*Obr. 5.1 Porušená zkušební tělíska po tahové zkoušce – A[5.1]; univerzální testovací stroj – B[5.3]; záznam průběhu tahové zkoušky – C[5.4]*

## Tlaková zkouška

Princip tlakové zkoušky spočívá v tom, že je zkušební tělísko vystavené jednoosému tlakovému zatížení a vyhodnocuje se pevnost v tlaku. Tato zkouška probíhá na univerzálním testovacím stroji, přičemž se provádí u kovů, plastů, keramických materiálů i kompozitů.

## Zkouška ohybem

Při zkoušce ohybem je zkušební těleso zatěžováno tříbodovým, respektive čtyřbodovým ohybem. Čtyřbodový ohyb zohledňuje především uniformitu pevnosti v ohybu, kdežto u tříbodového zatížení se projeví více heterogenita materiálu. Pevnost v ohybu se provádí na univerzálním zkušebním stroji, přičemž se tato zkouška provádí u kovů, plastů, keramických materiálů a kompozitů.



*Obr. 5.2 Provedení zkoušky v ohybu (zobrazení tříbodové – A, čtyřbodové – B) [5.5]*

### Stanovení tvrdosti

Tvrdot se definuje jako odpor, který klade těleso proti vnikání cizího tělesa (identoru). Stanovení tvrdosti podle Shoreho se provádí především u plastů (v závislosti na tvrdosti materiálu se stanovuje Shore A, B, C, D, O).

Tvrdot podle Brinella (ČSN 420371) se provádí tak, že do zkušebního vzorku penetruje kalená ocelová kulička (není vhodné pro velmi tvrdé materiály).

Tvrdot podle Rockwella (ČSN 420373) se provádí tak, že do materiálu vniká diamantový kužel nebo ocelová kulička a sleduje se hloubka vniknutí zkušebního tělíska. Existují tři normované zkoušky podle Rockwella (HRA, HRB a HRC).

Tvrdot podle Vickerse se realizuje tak, že do materiálu vniká čtyřboký jehlan (ČSN 420374). Posléze se měří délka uhlopříček vtisku. Tvrdot podle Vickerse je bezrozměrná veličina, přičemž se uvádí velikost aplikované síly (HV10, HV0,5 apod.). Tvrdot podle Vickerse je nejrozšířenější zkouškou tvrdosti v technické praxi (vhodná i pro velmi tvrdé materiály).

Tvrdot podle Knoop se využívá především pro plasty, tenké kovové desky a křehké materiály. [5.6]

Tvrdot je mechanická vlastnost, která se stanovuje především u kovů, některých polymerních materiálů a kompozitů. Stanovení tvrdosti u keramických materiálů je velmi problematické.

## Zkouška lomové houževnatosti

Lomovou houževnatostí rozumíme odpor materiálu vůči vzniku a následnému růstu trhliny. Z praktického hlediska lze houževnatost definovat jako schopnost materiálu absorbovat energii před porušením, respektive před dosažením určitého limitního stavu. Proto druh lomu podle energetické závislosti rozdělujeme na houževnatý a křehký. [5.7]

Obzvláště křehké porušení materiálu představuje závažný problém. Mezi faktory ovlivňující lomovou houževnatost patří rozměr tělesa, teplota, prostředí, technologické operace (např. svařování) a volba materiálu (parametry jako mez kluzu, velikost zrna a tepelné zpracování mají zásadní vliv).

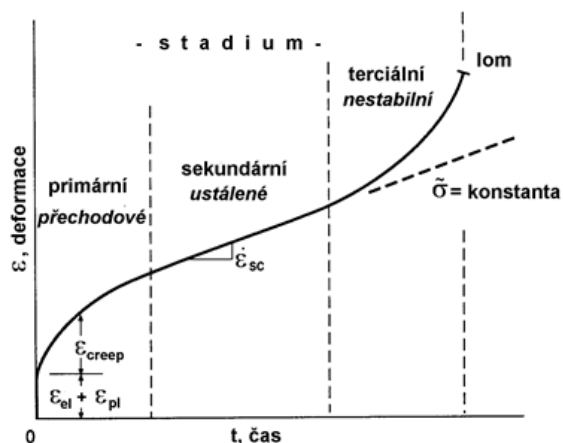
## Zkouška vrubové houževnatosti

Zkouška vrubové houževnatosti je dynamická rázová zkouška, která se provádí na kyvadlovém kladivu – Charpyho kladivo (alternativou je zkouška podle Izoda). [5.7]

Vzhledem k tomu, že se hodnoty při nárazu u kovových materiálů mění s teplotou, je nutno zkoušky provádět při specifikované teplotě. Výsledkem zkoušky je výsledná energie KV [J] pro těleso s V-vrubem, resp. KU [J] pro těleso s U-vrubem potřebná k přeražení zkušebního tělesa. [5.9]

## Creepová zkouška

Creepová deformace (česky tečení materiálu) je pomalá, spojitá deformace probíhající v čase. Creepové zkoušky se provádějí především u kovů, konstrukčních keramik a polymerních materiálů. Jedná se zejména o materiály, které jsou v průběhu své životnosti vystaveny dlouhodobému vysokoteplotnímu zatížení. Creepové tečení kovů lze rozdělit do tří fází, a to primární (začátek tečení, materiál zpevňuje, rychlost deformace se zmenšuje), sekundární (rychlost deformace je konstantní) a terciární (začínají se projevovat lokální poruchy, zmenšování plochy průřezu až do lomu). [5.10]



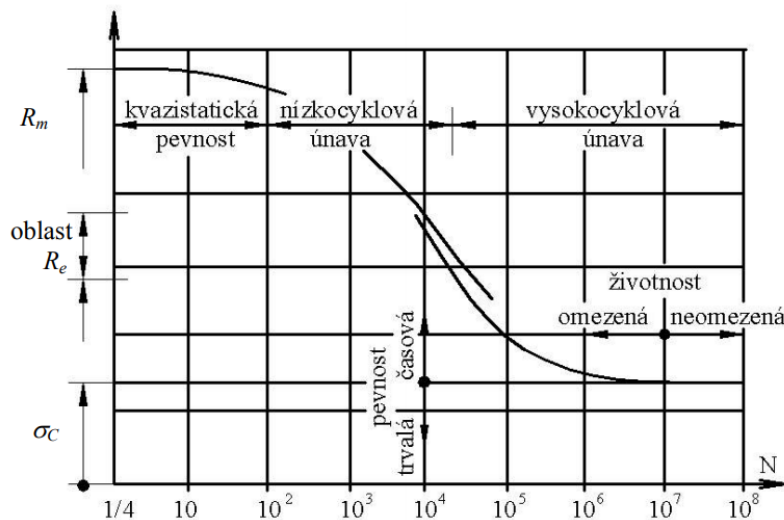
Obr. 5.3 Schematické znázornění creepového chování kovů [5.11]

Použití polymerů jako konstrukčních materiálů je limitováno právě creepem. Při teplotách pod teplotou skelného přechodu  $T_g$  daného polymeru se prakticky creep nevyskytuje a většinou jsou tyto materiály křehké. Nad teplotou  $T_g$  se creepové efekty stávají významné. Teplota  $T_g$  obecně u polymerů leží v rozmezí teplot  $-100\text{ }^\circ\text{C}$  až  $+200\text{ }^\circ\text{C}$ , a tedy u řady polymerních materiálů je hodnota  $T_g$  blízká pokojové teplotě. [5.11]

### Únavové zkoušky

Únava materiálu vzniká opakovaným zatěžováním konstrukce, příp. zkušební vzorku, a z toho plynoucími plastickými deformacemi v místech koncentrace napětí. Výsledkem postupujícího a kumulujícího se poškození materiálu může být únavový lom nebo v krajním případě destrukce celé konstrukce. Průběh únavového procesu je závislý na charakteru a počtu zatěžovacích cyklů. [5.12]

**Mez únavy**  $\sigma_c$  [MPa] definujeme jako největší napětí, při kterém součást zhotovená z tohoto materiálu vydrží teoreticky neomezený počet cyklů změn zatížení. Únava materiálu souvisí nejen s jeho vlastnostmi, ale i se stavem jeho povrchu, drsnosti, defekty, povrchovou korozí apod., které snižují mez únavy. Leštění či povrchová antikorozi ochrana naopak mez únavy zvyšují. Únavové diagramy se nejčastěji znázorňují ve formě Wohlerovy křivky. [5.13]



Obr. 5.4 Wohlerův diagram znázorňující souvislost mezi počtem zatěžovacích cyklů a velikostí aplikovaného napětí [5.14]

### DMA

Dynamicko-mechanická analýza (DMA) je důležitá technika používaná pro stanovení mechanických a viskoelastických vlastností takových materiálů, jako jsou termoplasty, termosety, elastomery a kovy. V DMA je vzorek vystaven periodickému napětí v jednom



nebo několika různých módech deformace. Analyzuje se amplituda síly a posunu a fázový posun jako funkce teploty, času a frekvence.

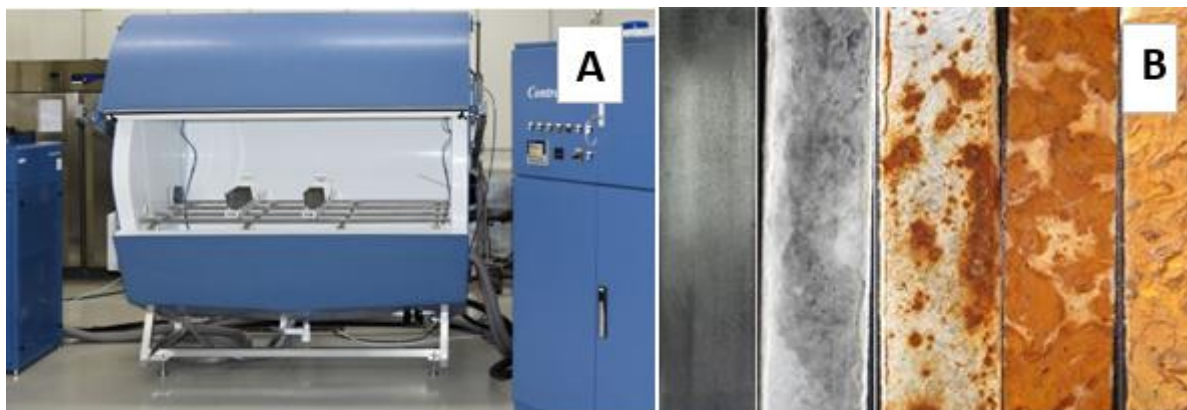
V rámci DMA analýzy lze u polymerních materiálů stanovit komplexní dynamický modul pružnosti, teplotu skelného přechodu a v omezené míře i koeficient teplotní roztažnosti. Tato metoda se v automobilovém průmyslu používá především při vývoji nových produktů, respektive jako nástroj pro detekci fyzikálně-chemických změn v materiálech (např. po vlhkostních testech nebo pro ověření správnosti vytvrzovacího profilu u polymerních materiálů).

## 5.2 Stanovení fyzikálně-chemických vlastností materiálu

### Korozní zkoušky

Atmosférická koroze nepříznivě ovlivňuje užité i estetické vlastnosti výrobků, zařízení a konstrukčních celků. Urychlené korozní zkoušky jsou nezbytnou pomůckou při výběru optimálního materiálu s požadovanou životností, pro kontrolu kvality a předpověď celkové a zbytkové životnosti kovových, polymerních a kombinovaných materiálů. Nejrozšířenější zkouškou je zkouška korozní odolnosti v solné mlze, při které jsou vzorky kontinuálně exponovány v mlze neutrálního chloridu sodného o koncentraci 5 hm. % při teplotě 35 °C. Alternativou k této zkoušce je zkouška v mlze roztoku chloridu sodného okyseleného kyselinou octovou, případně s přídavkem chloridu měďnatého.

V posledních desetiletích se zejména v automobilovém průmyslu využívají cyklické zkoušky, jež zahrnují střídající se fáze solné mlhy, fáze sušení a fáze ovlhčení. V některých postupech jsou definovány také fáze vymrazování, rychlé změny teploty a expozice v ultrafialovém záření (UV). Výsledky cyklických korozních zkoušek lépe odpovídají dlouhodobým zkušenostem a poskytují významně správnější predikci chování materiálů v servisních podmínkách. [5.15]



*Obr. 5.5 Komora pro korozní zkoušky – A [5.15], žárově pozinkovaná ocel po korozní zkoušce – B [5.16]*

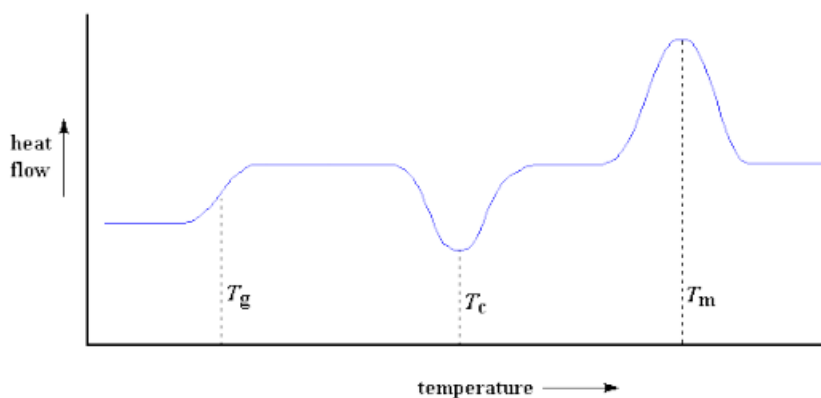
### Počítačová tomografie (CT)

Tato nedestruktivní metoda umožňuje 3D skenování senzorů, jejich částí a jednotlivých materiálů, přičemž výstupem není pouze obrazový výstup, ale s daty je možné dále pracovat (např. použití pro výpočty metodou konečných prvků).

Princip metody spočívá v tom, že je analyzovaný předmět vystaven dopadajícímu rentgenovému záření, které je částečně absorbováno. Pozice zdroje rentgenového záření vůči vzorku se mění, tudíž je možné rekonstruovat jeho 3D model. Klasický rentgen, tedy prozáření vzorku, je jednodušší a rychlejší alternativou, která má ovšem limitované využití. Prostřednictvím CT skenování je možné detekovat trhliny, výrazné chemické nehomogenity, případně delaminaci jednotlivých komponent.

### Diferenční skenovací kalorimetrie

Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) je metoda, při níž se zkoumají tepelné vlastnosti materiálů (probíhající exotermické a endotermické reakce ve vzorku vůči referenci). Analyzovat je možné jak plasty, tak i kovy a kompozity. Tato metoda se široce využívá pro určení teplot tání, skelných přechodů, překrytí a krystalizaci nejrůznějších materiálů. Dále se v automobilovém průmyslu používá ke kontrole správnosti procesu vytvrzování. Standardní teplotní rozsah přístrojů určených primárně pro polymery je  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Špičkové DSC, určené primárně pro analýzu kovů, mohou mít pracovní rozsah i přes  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

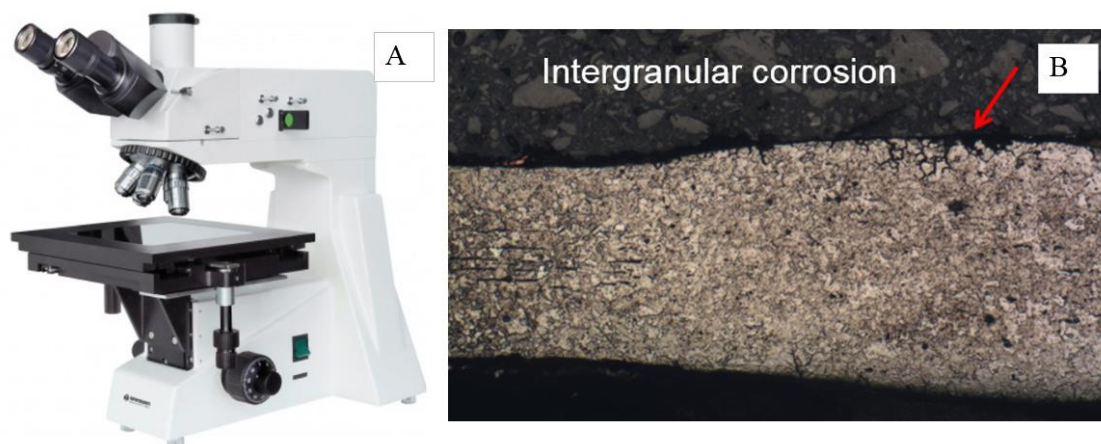


*Obr. 5.6 Schematické znázornění DSC analýzy:  $T_g$  – teplota skelného přechodu,  $T_c$  – teplota krystalizace a  $T_m$  – teplota tavení [5.17]*

### Metalografie

Metalografie je materiálův obor, který se zabývá vnitřní stavbou kovů a slitin. Cílem je zviditelnit mikrostrukturu materiálu a následně ji studovat prostřednictvím světelného či elektronového mikroskopu. Metalografie umožňuje: zjišťovat souvislosti mezi mikrostrukturou materiálu a jeho vlastnostmi, sledovat a kontrolovat vlastnosti materiálu při jeho výrobě a zpracování, hledat příčiny vad materiálu nevyhovujících výrobků nebo vysvětlit

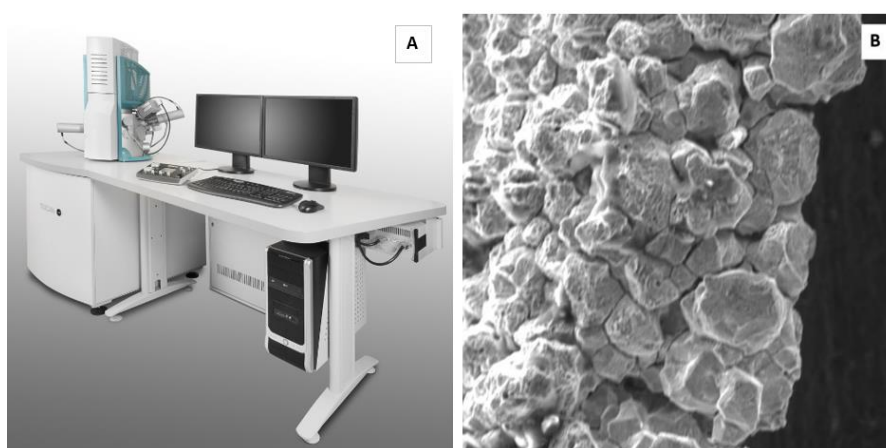
důvody selhání nějakého zařízení (např. korozní napadení materiálu, natažení po hranicích zrn, velikost zrn, jednotlivé fáze apod.).



*Obr. 5.7 Metalografický mikroskop – A [5.18], snímek z metalografického mikroskopu – B*

### **Elektronová mikroskopie s energiově-disperzní rentgenovskou spektroskopií**

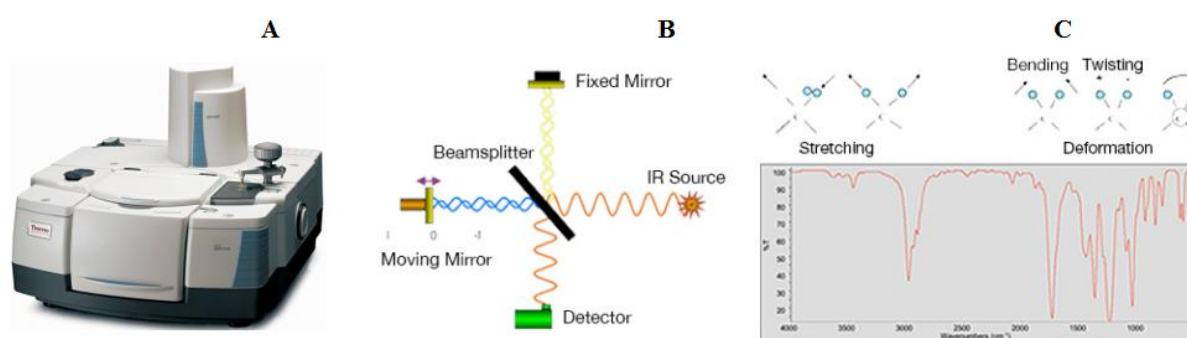
Elektronová mikroskopie s energiově-disperzní rentgenovskou spektroskopií (SEM-EDX) představuje jednu ze základních technik materiálového výzkumu, a to nejen v rámci automobilového průmyslu. Umožňuje dosáhnout mnohem většího zvětšení obrazu snímaného vzorku než u světelného mikroskopu (běžně až 600 000krát). Na SEM-EDX je možné analyzovat jak elektricky vodivé vzorky (typicky kovy), tak i vzorky špatně vodivé (polovodiče) či nevodivé (polymery a keramické materiály). Pro účely analýzy nevodivých vzorků se používá povrchové pokovení napařovačkou či napařovačkou. Elektronová mikroskopie se hojně využívá při analýze lomových ploch, vměstků v materiálu a při stanovení tloušťky povrchových vrstev. Energiově-disperzní rentgenovská analýza umožňuje základní prvkovou analýzu, nicméně bez možnosti detekovat vodík.



*Obr. 5.8 Elektronový mikroskop – A [5.19], snímek z elektronového mikroskopu – B*

### **Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací**

Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) je metoda založená na absorpci infračerveného záření při průchodu vzorkem, při které proběhnou změny rotačně-vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Výsledné infračervené spektrum se znázorňuje jako závislost absorbance, respektive transmitance na vlnové délce dopadajícího infračerveného záření. Výsledné spektrum se srovnává s referenční databází, která obsahuje stovky tisíc organických látek. FTIR je považována za metodu prvního sledu při analýze organických látek, přičemž vhodně doplňuje SEM-EDX. V automobilovém průmyslu nachází uplatnění všude tam, kde je zapotřebí identifikovat organické látky a případně je porovnat. Jedná se tedy o velmi častý nástroj kvality. FTIR rovněž představuje účinnou možnost studia degradačních procesů, které probíhají při zátěžových testech.



*Obr. 5.9 Znárodnění FTIR přístroje – A; principu fungování – B; naměřená data – C [5.20]*

## Dilatometrie

Dilatometrie představuje experimentální metodu, která slouží ke studiu délkové změny materiálu v důsledku fyzikálně-chemických procesů. Tyto děje mohou být zkoumány v závislosti na teplotě nebo čase. [5.21]

Dilatometrie se uplatňuje při stanovení koeficientu teplotní roztažnosti, stanovení teploty skelného přechodu, při studiu procesu slinování a žíhání. [5.22]

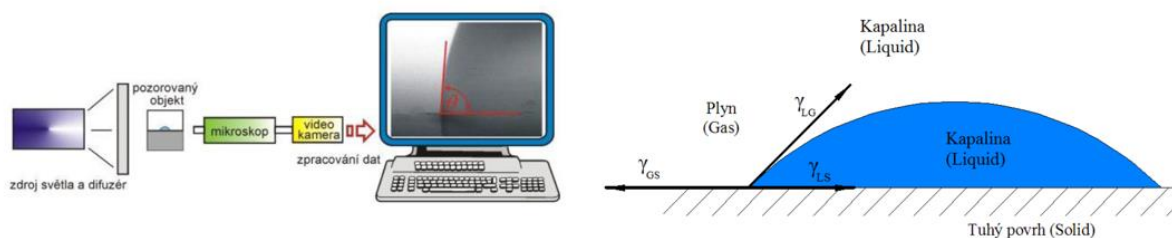
Dilatometrická měření lze realizovat prakticky na všech typech materiálů používaných v inženýrských aplikacích (kovy, keramiky, polymery, kompozity i skla). Princip této metody spočívá v tom, že při teplotní expanzi dochází k silovému působení vzorku na detektor, který zaznamenává roztažnost vzorku, viz **Obr. 5.10**.



*Obr. 5.10 Dilatometr v provedení push-rod (A) a znárodnění principu této metody (B) [5.23]*

## DSA

Řada procesních operací (např. čištění, barvení, lepení, pájení) závisí na tom, zda kapalina smáčí povrch tuhé látky. Pro tyto účely se používá přístroj označovaný zkratkou **DSA (drop shape analyzer, tedy analyzátor tvaru kapky)**. Analýza povrchového napětí a úhlu smáčivosti se v automobilovém průmyslu používá především při studiu polymerních materiálů, o nichž je známo, že bez patřičné povrchové úpravy vykazují relativně špatné adhezní vlastnosti. Povrchové vlastnosti materiálu jsou nejen funkcí skupin, které jsou schopny vytvářet fyzikální a chemické vazby, ale také závisí na povrchové drsnosti, míře chemické homogenity, teplotě a případné povrchové kontaminaci. Nicméně tato měření je možné využít u celé řady dalších materiálů (např. kovy a keramiky). Povrchové vlastnosti lze výrazně ovlivnit např. aktivací plazmatem, chemickou aktivací nebo laserovým působením. Povrchová energie se vypočítá prostřednictvím jedné rovnice z celé řady rovnic, přičemž je nezbytné stanovit úhel smáčivosti minimálně pro dvě různé kapaliny (jedna polární, druhá nepolární, např. voda a etylenglykol). Princip metody je znázorněn na **Obr. 5.11**.



**Obr. 5.11** Znáznornění principu stanovení úhlu smáčivosti, resp. povrchové energie [5.24]



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [5.1] HLADKÝ. *Vlastnosti kovových materiálů a jejich zkoušení* [online]. In: . Jihočeská univerzita [cit. 2018-12-18]. Dostupné z:  
[http://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/Ing\\_Hladky\\_4.pdf](http://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/Ing_Hladky_4.pdf)
- [5.2] *Testing tensile test specimens* [online]. [cit. 2018-08-24]. Dostupné z:  
[http://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/Ing\\_Hladky\\_4.pdf](http://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/Ing_Hladky_4.pdf)
- [5.3] INSTRON 4411 TENSILE STRENGTH TESTER. *The Lab World Group* [online]. Massachusetts [cit. 2018-12-18]. Dostupné z:  
<https://www.thelabworldgroup.com/instron-4411-tensile-strength-tester>

- [5.4] ŠTĚRBÁČEK, J. *Tahové a únavové zkoušky tenkých vláken a fólií*. Brno, 2008. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=7550](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=7550)  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5.5] KOPELIOVICH, D. Flexural strength tests of ceramics. *SubsTech: Substances & Technologies* [online]. 2012 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=flexural\\_strength\\_tests\\_of\\_ceramics](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=flexural_strength_tests_of_ceramics)
- [5.6] Tvrdost. *Měření tvrdosti* [online]. 2011 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <http://www.merenitvrdosti.cz/tvrdost.html>
- [5.7] KOSEK, L. *Lomová houževnatost kovových materiálů a její zkoušení*. Brno, 2011. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=41136](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41136)  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5.8] *Zkouška rázem v ohybu: zkouška vrubové houževnatosti* [online]. [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: [https://www.spszengrova.cz/texty/texty/KOM/KOM\\_3\\_9\\_SPU-zkouska\\_vrubove\\_houzenvnatosti.pdf](https://www.spszengrova.cz/texty/texty/KOM/KOM_3_9_SPU-zkouska_vrubove_houzenvnatosti.pdf)
- [5.9] ČSN ISO 148-1 (420381): Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy - Část 1: Zkušební metoda. In: . 2017. Dostupné také z: <https://shop.normy.biz/detail/502556>
- [5.10] *Vlastnosti a zkoušení materiálů: Přednáška č.9 – Plasticita a creep*[online]. In: . Ostrava: Fakulta strojní, VŠB-TUO, s. 17 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_014/Vlastnosti%20a%20zkou%C5%A1en%C3%AD%20materi%C3%A1l%C5%AF/02%20Text%20pro%20e-learning/Vlastnosti%20a%20zkou%C5%A1en%C3%AD%20materi%C3%A1l%C5%AF%2009.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_014/Vlastnosti%20a%20zkou%C5%A1en%C3%AD%20materi%C3%A1l%C5%AF/02%20Text%20pro%20e-learning/Vlastnosti%20a%20zkou%C5%A1en%C3%AD%20materi%C3%A1l%C5%AF%2009.pdf)
- [5.11] VLACH, B. *Creep a lom při creepu* [online]. In: . [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [www.zam.fme.vutbr.cz/~vlach/6ms/prednasky/creep.doc](http://www.zam.fme.vutbr.cz/~vlach/6ms/prednasky/creep.doc)
- [5.12] Únavové zkoušky materiálu. *Ústav konstruování* [online]. Brno: Fakulta strojního inženýrství Vysoké učení technické v Brně [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/vyzkum-unava-materialu/>
- [5.13] *Dynamické zkoušky* [online]. Olomoucký kraj: Elektronická učebnice [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1106>

- [5.14] RŮŽIČKA, M. *Únavové křivky a únavová bezpečnost: Přednášky část 2* [online]. In: . Praha: České vysoké učení technické v Praze [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://mechanika.fs.cvut.cz/content/files/DPZ/2016/DPZ\\_2016\\_predn\\_02.pdf](http://mechanika.fs.cvut.cz/content/files/DPZ/2016/DPZ_2016_predn_02.pdf)
- [5.15] HRUŠOVSKÝ, K. Urychlené korozní a klimatické zkoušky. *Technopark: Kralupy* [online]. Kralupy nad Vltavou: Technopark Kralupy VŠCHT Praha, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.technopark-kralupy.cz/urychlene-korozni-zkousky>
- [5.16] Salt Spray Test. *Ark Novin: Hot dip galvanizing* [online]. Teheran: Ark Novin, 2015 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://arknovin.com/en/quality-control/salt-spray-test.html>
- [5.17] *Diferenciální skenovací kalorimetrie* [online]. In: . Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, s. 9 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010367/cwl2js87vLAsPwUA.pdf?redirected>
- [5.18] Mikroskop Bresser SCIENCE MTL-201 50-800x. In: *Bresser: Naj športovná a prírodovedecká optika* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.dalekohlady.eu/p/281/mikroskop-bresser-science-mtl-201-50-800x>
- [5.19] VEGA3. In: *TESCAN: Tescan Vega* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.tescan.com/product/sem-for-materials-science-tescan-vega/>
- [5.20] FTIR Basics: Introduction to FTIR spectroscopy. In: *Thermo Fisher Scientific* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/cz/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-basics.html>
- [5.21] Dilatometrie. *Katedra fyziky materiálů MFF UK* [online]. Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://material.karlov.mff.cuni.cz/cs/pristroje/dilatometrie>
- [5.22] DILATOMETRY / TMA. *TAL: Thermal Analysis Lab* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://thermalanalysislabs.com/dilatometry/>
- [5.23] Dilatometry. In: *TA Instruments* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://www.tainstruments.com/wp-content/uploads/BROCH-DIL-2013-EN.pdf>
- [5.24] HOLUB, J. *Smáčivost povrchu vůči kapalinám a druhá viskozita kapalin*. Brno, 2010. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29171](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29171)  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.



### Shrnutí pojmů kapitoly

- Testování mechanických, fyzikálních a chemických vlastností
- Princip a fungování přístrojového vybavení a jeho využití
- Volba správné metody a omezující kritéria



### Otázky k probranému učivu

1. Vysvětlete rozdíl mezi světelným a elektronovým mikroskopem, a to včetně výhod a omezení.
2. Popište princip korozních zkoušek, experimentálního vybavení a význam pro reálné aplikace.
3. Které typy mechanických zkoušek znáte a k čemu slouží?



## 6 Měření teplot na principu termoelektrického jevu, termorezistivity a optických metod. Seznámení se s jednotlivými typy senzorů a jejich srovnání



**Čas ke studiu:** 1,5 hodiny



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Definovat fyzikální princip fungování jednotlivých vybraných teplotních senzorů
- Popsat teplotní senzory využívané v automobilovém průmyslu a jejich charakteristiky



**Výklad**

Obor zabývající se měřením teploty nazýváme termometrie. Teplotní stupnice je posloupnost číselných hodnot teploty, které jsou přiřazeny k různým stavům zvolené soustavy. Jsou definovány 3 základní teplotní stupnice:

- **Kelvinova teplotní stupnice** – jednotka Kelvin [K]. Kelvinova teplotní stupnice je odvozena dvěma body, a to absolutní nulou (0 K), což je minimální teplota, která je fyzikálně definována, a trojným bodem vody (273,16 K).
- **Celsiova teplotní stupnice** – jednotka stupeň Celsia [°C]. Je odvozena od Kelvinovy teplotní stupnice posunutím teploty o 0,01 K níž, než je termodynamická teplota trojného bodu vody, tj. o 273,15 K.
- **Fahrenheitova stupnice** – jednotka stupeň Fahrenheita [°F]. Definována dvěma referenčními body, 32 °F pro bod mrazu a 212 °F pro bod varu vody. [6.1]

Senzor teploty je zařízení, jímž měříme aktuální termodynamickou teplotu tělesa nebo jeho okolí, a to pomocí převodu teploty na jinou fyzikální veličinu.

Existuje celá řada kritérií, podle kterých je možné rozdělit teplotní senzory v autech. Lze je rozdělit na polovodičové, kovové, dilatační, monolitické PN senzory a termoelektrický článek. Z hlediska komplexity se rozlišují pasivní a aktivní. Teplotní senzory můžeme členit podle zvolené aplikace, rozsahu pracovních teplot, média, ve kterém se provádí měření. Další dělení je možné podle konstrukce (celoplastový/kovový, s kabelem/konektorový, šroubovací / fixovaný sponou).

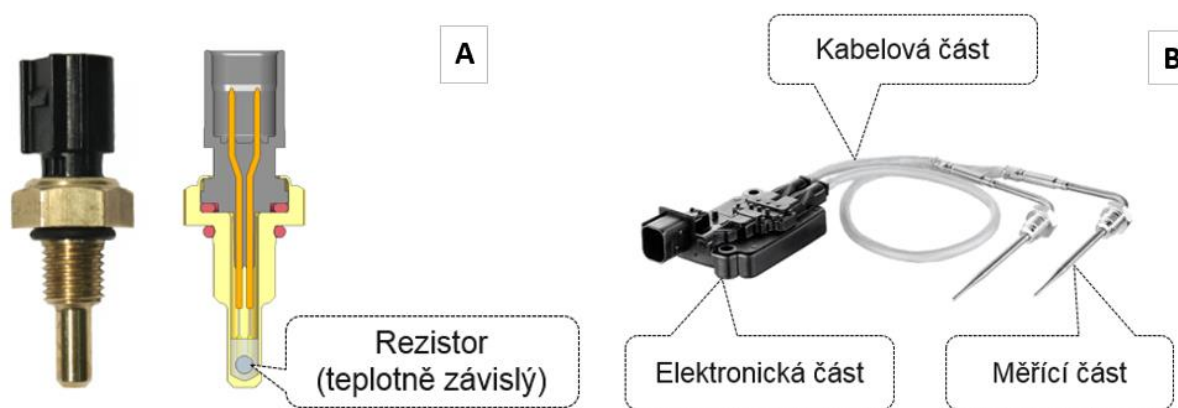
Teplotní senzory lze charakterizovat podle měřicího principu (NTC, PTC, PTx, termočlánek, optická měření a jiné). V neposlední řadě je možné dělit teplotní senzory podle jejich komunikačního rozhraní (analogové vs. digitální).

## 6.1 Rozdělení senzorů

### Základní rozdělení podle komplexity

**Pasivní** senzor je senzor, u kterého je nutné elektrickou veličinu (odpor, indukčnost, kapacitu atd.) dále transformovat na analogový napěťový nebo proudový signál. U pasivních senzorů je na rozdíl od aktivních senzorů nezbytné napájení.

**Aktivní** senzor je senzor, který se působením snímané veličiny (teplota) chová jako zdroj elektrické energie.



Obr. 6.1 Ukázka teplotních senzorů: A – pasivní senzor a B – aktivní senzor

### Rozdělení senzorů podle průmyslové aplikace

#### Teplota vnějšího okolí

Senzor teploty vnějšího okolí měří teplotu vzduchu vně automobilu. Tato informace je předávána řídicí jednotce klimatizace, která reguluje teplotu vnitřního prostoru vozu. Informace o vnější teplotě je také zobrazena na přístrojovém panelu ve formě číselné hodnoty nebo v levnější variantě symbolem vločky, pokud teplota poklesne pod 4 °C.

#### Teplota nasávaného vzduchu

Senzor teploty nasávaného vzduchu se přímo podílí na optimalizaci spalovacího procesu a redukci spotřeby. Díky tomuto snímači se horký vzduch, vracející se systémem pro zpětný odvod spalin z motoru, míchá ve správném poměru se studeným vzduchem z vnějšího prostředí. Optimální poměr zajišťuje nižší spotřebu a vylepšuje emisní hodnoty, a to jak množství, tak kvalitu emisí. Nejčastěji je senzor umístěn v oblasti vzduchového filtru, nasávacího potrubí nebo sběrného potrubí sání.

## Teplota chladicí kapaliny

Senzor měřící teplotu chladicí kapaliny předává informaci o teplotě řídicí jednotce. Ta pak upravuje podmínky vstřikování paliva, chladicího okruhu nebo hlásí překročení limitu teploty. Nejčastěji je senzor umístěn v oblasti chladiče či systému řízení motoru.

## Teplota oleje

Senzor měřící teplotu v olejové vaně motoru předává informaci o teplotě řídicí jednotce. Ta reguluje výkon motoru nebo hlásí překročení limitu teploty.

## Teplota paliva

Senzor měřící teplotu paliva předává informaci o teplotě řídicí jednotce. Ta pak upravuje podmínky vstřikování paliva (množství). Nejčastěji je senzor připojen k palivové pumpě.

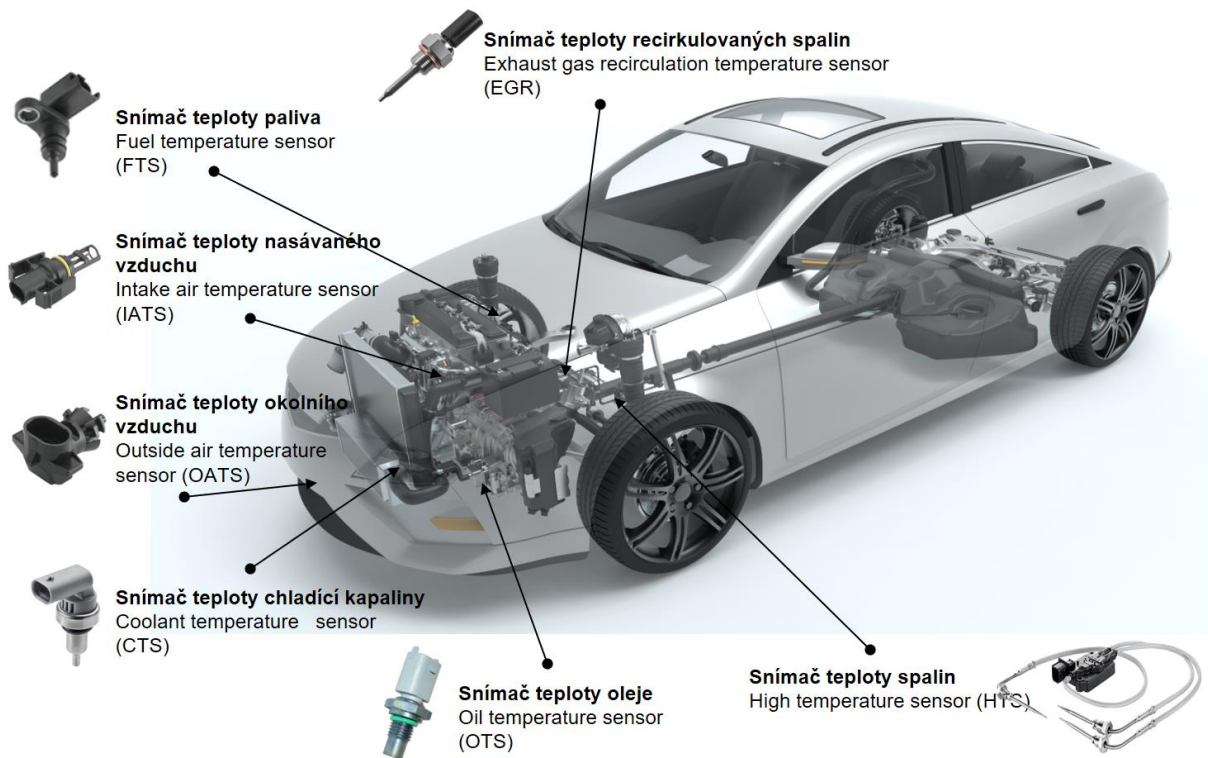
## Teplota výfukového plynu

Senzor měřící teplotu výfukových plynů předává informaci o teplotě řídicí jednotce. Senzor se přímo podílí na regulaci spotřeby a tvorbě emisí. Dále je to důležitý prvek systému, který pomáhá chránit ostatní komponenty (DPF, DOC, SCR, GPF, Turbo) před přehřátím v běžném režimu nebo při regeneračním cyklu. Pomáhá také diagnostikovat poškození některých komponent výfukového systému.

*Tab. 6.1* Rozdělení senzorů podle aplikace, podle rozsahu teplot a podle měřeného média

Aplikace	Rozsah teplot	Médium
Snímač teploty okolního vzduchu	-40 až 85°C	Vzduch
Snímač teploty nasávaného vzduchu	-40 až 150°C	Vzduch
Snímač teploty chladicí kapaliny	-40 až 140°C	Chladicí kapalina
Snímač teploty paliva	-40 až 150°C	Nafta / Benzín
Snímač teploty oleje	-40 až 150°C	Olej
Snímač teploty recirkulovaných spalin	-40 až 300°C (existují i 500°C nebo 650°C varianty)	Spaliny (směr plynů vzniklých spalovacím procesem)
Snímač teploty spalin	-40 až 1050°C	Spaliny (směr plynů vzniklých spalovacím procesem)

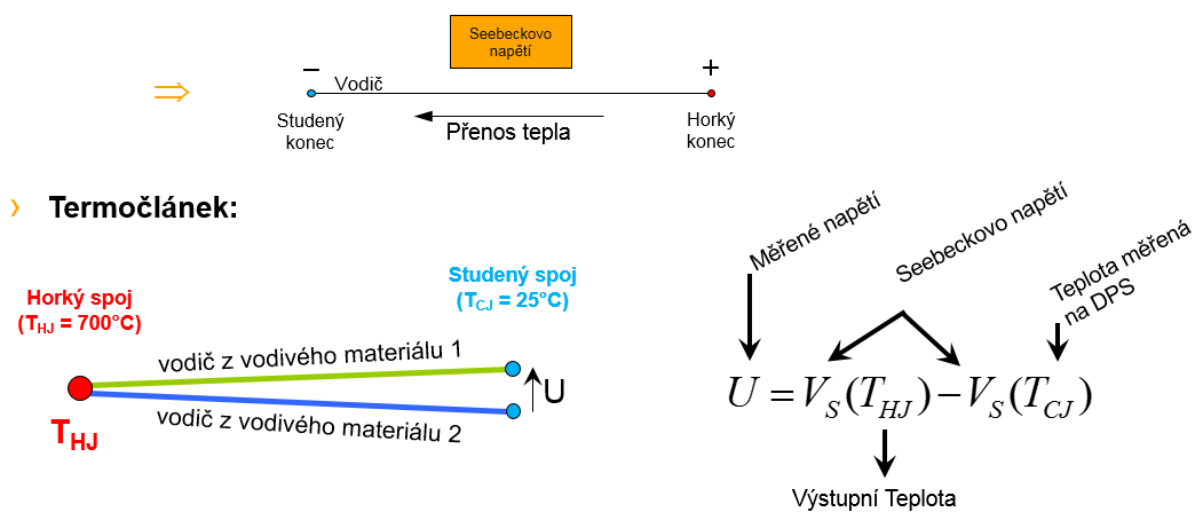
Celá řada teplotních senzorů vyráběných společností Vitesco Technologies nachází využití v osobních automobilech, patrně z **Obr. 6.2**.



Obr. 6.2 Přehled teplotních senzorů a jejich umístění v osobním automobilu

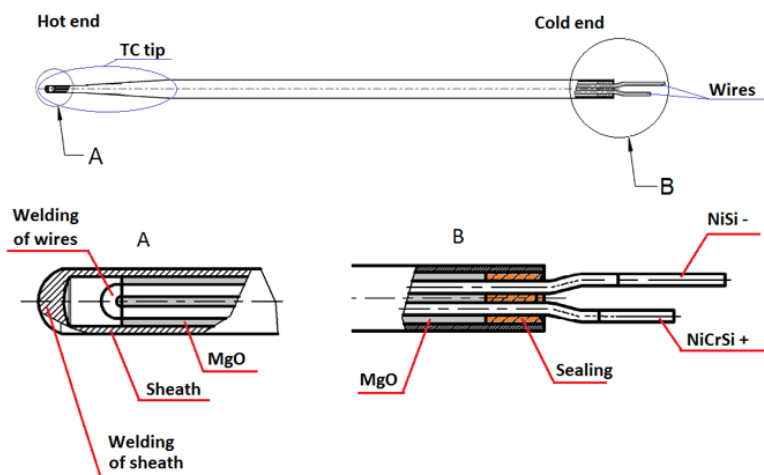
## 6.2 Fyzikální princip fungování teplotních senzorů s termočlánkem

**Termočlánky** využívají termoelektrický jev (Seebeckův jev). Teplotní gradient mezi teplým a studeným koncem termočlánku generuje napětí  $U$  mezi konci obou vodičů (typicky v  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ). Výsledné napětí závisí na typu použitých materiálů (Seebeckův koeficient,  $V_S$ ). Schematicky je princip fungování termočlánku znázorněn na **Obr. 6.3**.

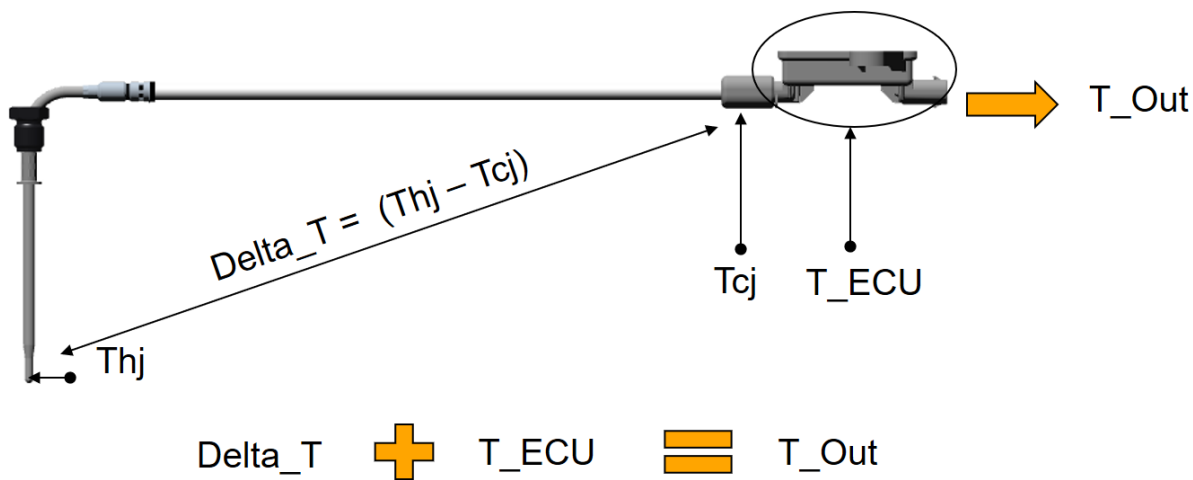


Obr. 6.3 Princip fungování termočlánku

Reálná ukázka termočláňku vyráběného společností Vitesco Technologies je na **Obr. 6.4**. Plášť termočláňku je z niklové superslitiny, uvnitř se nacházejí dva drátky NiCrSi a NiSi, které jsou ve špičce svařeny. Oxid hořečnatý je použit jako teplotní izolace. Studený konec termočláňku je pak chráněn izolací proti průniku vlhkosti a dalších případných korozních činidel.



*Obr. 6.4 Schematické znázornění termočláňku vyráběného společností Vitesco Technologies*



*Obr. 6.5 Měřicí princip termočláňku vyráběného společností Vitesco Technologies*

Výsledná teplota  $T_{Out}$  je vypočtena na základě dvou veličin:

- $T_{ECU}$  – reálná teplota PCB (měřená pomocí SMD NTC);
- $\Delta T$  – vypočtená hodnota z měřeného napětí generovaného termočláňkem TC na principu teplotního spádu mezi horkým koncem  $T_{hj}$  a studeným koncem  $T_{cj}$ .

Přehled termočláňkových kovů a jejich dvojic je znázorněn v **Tab. 6.2**.

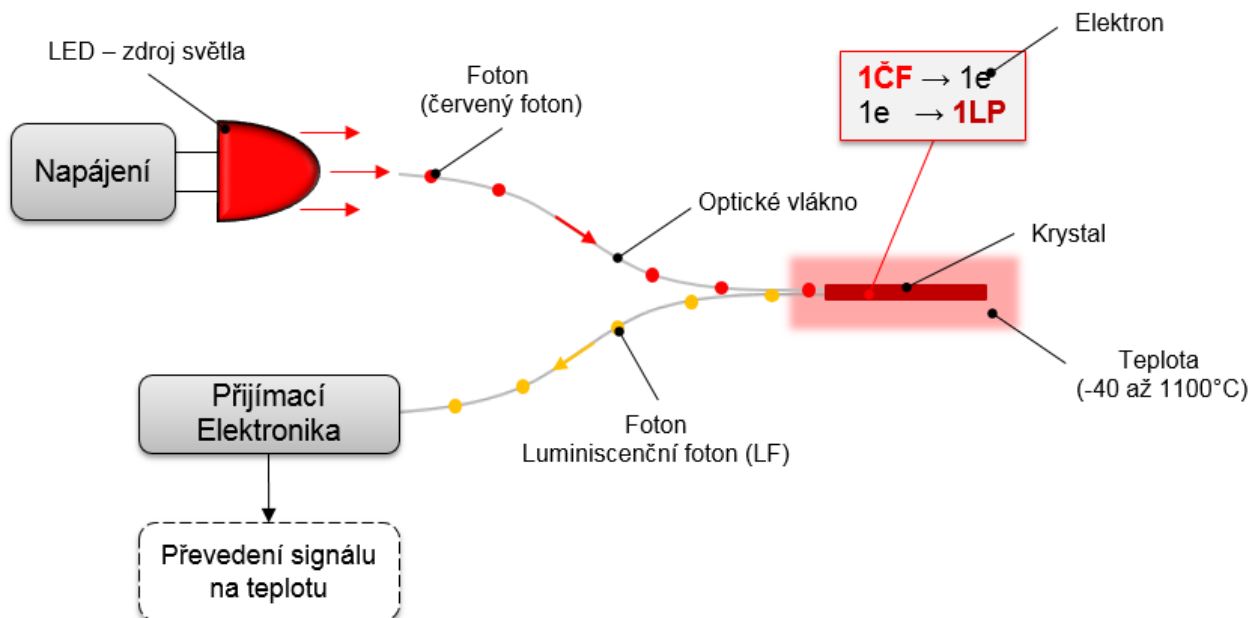
Tab. 6.2 Přehled průmyslově používaných termočlánků [6.2]

Typ	materiálové složení		barevné označení		měřicí rozsah krátkodobý	měřicí rozsah trvalý
	+ pól	- pól	+ pól	- pól	$\Delta\theta$ (°C)	$\Delta\theta$ (°C)
B	Pt - 30% Rh	Pt - 6% Rh	šedá	bílá	200 až 1820	0 až 1700
E	Ni-Cr	Cu-Ni	fialová	bílá	-40 až 900	0 až 800
J	Fe	Cu-Ni	černá	bílá	-180 až 800	0 až 750
K	Ni-Cr	Ni-Al	zelená	bílá	-180 až 1300	0 až 1100
N	Ni-Cr-Si	Ni-Si	růžová	bílá	-270 až 1300	0 až 1100
R	Pt - 13% Rh	Pt	oranžová	bílá	-50 až 1700	0 až 1600
S	Pt - 10% Rh	Pt	oranžová	bílá	-50 až 1750	0 až 1600
T	Cu	Cu-Ni	hnědá	bílá	-250 až 400	-185 až 300
C*	W - 5% Re	W - 26% Re	není definováno		0 až 2320	
G*	W	W - 26% Re				
D*	W - 3% Re	W - 25% Re				

\* uvedené typy termočlánků nejsou definovány v příslušných normách

### 6.3 Fyzikální princip fungování teplotních senzorů na optickém principu

**Optické teplotní senzory** společnosti Vitesco Technologies využívají dvou optických jevů, a sice pro teplotní rozsah  $-40\text{ °C}$  až  $300\text{ °C}$  se využívá jevu luminiscence krystalu a pro teplotní rozsah  $300\text{ °C}$  až  $1100\text{ °C}$  záření absolutně černého tělesa. Absolutně černé těleso je fyzikální koncept, který předpokládá těleso, které absorbuje veškeré elektromagnetické záření bez ohledu na frekvenci a úhel dopadu. Princip fungování optických teplotních senzorů je znázorněn na Obr. 6.6.



Obr. 6.6 Princip fungování optických teplotních senzorů

**Termistor** je teplotní senzor, který patří do odporových polovodičových senzorů. Je z polovodičových keramických materiálů, díky technologii výroby se může vyrábět v malých

rozměrech a různých tvarech. Termistor se dělí na dva typy: negastor (NTC termistor) a pozistor (PTC termistor).

**Negastor** (NTC termistor) je termistor s negativním teplotním koeficientem, což znamená, že se zahřátím součástky odpor klesá. Zpravidla se vyrábí práškovou, tenkovrstevnou nebo tlustovrstevnou metodou z oxidu kovu, např.  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO} + \text{CoO}$ , který je slinován za vysokých teplot. Jeho teplotní rozsah se pohybuje od  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  do  $+200\text{ }^\circ\text{C}$ . [6.1]

**Pozistor** (PTC termistor) se vyrábí z polykrytalické feroelektrické keramiky, např.  $\text{BaTiO}_3$ . Závislost odporu na teplotě je u pozistoru vyráběného standardním procesem velmi nelineární a má kladný teplotní součinitel odporu. Můžeme se setkat také s pozistory, které mají téměř lineární charakteristiku závislosti teplotě na odporu. To je zapříčiněno jiným výrobním procesem – dopováním materiálu křemíkem. Chování pozistoru vzhledem k teplotě můžeme popsat tak, že zpočátku jeho odpor se zvyšující se teplotou roste. Spínací teplotu je možné při různém chemickém složení materiálu zvolit od  $60\text{ }^\circ\text{C}$  do  $180\text{ }^\circ\text{C}$ .

[6.1]



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [6.1] FLEK, T. Elektronický termostat. Brno, 2009. Dostupné také z:  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=17274](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17274).  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [6.2] FRK, M. a Z. ROZSÍVALOVÁ. Přehled, přesnost a citlivost teplotních senzorů v praxi. *Electrorevue*. 2012, (14), 4. ISSN 1213-1539.



Shrnutí pojmů kapitoly

- Teplotní senzory
- Produktové portfolio společnosti Vitesco Technologies
- Princip fungování teplotních senzorů
- DPF (Diesel Particulate Filter) – filtr pevných částic odstraňující velmi jemné prachové částice z výfukových plynů vozidel s naftovým motorem
- GPF (Gasoline Particulate Filter) – filtr pevných částic pro vozidla s benzinovým (zážehovým) motorem
- DOC (Diesel Oxidation Catalyst) – katalyzátor spalín pro přeměnu CO a uhlovodíků na kyslíčník uhličitý a vodu
- SCR (Selective Catalytic Reduction) – selektivní katalytická redukce



### Otázky k probranému učivu

1. Jaké teplotní stupnice znáte a jaké jsou jednotlivé přepočtové vztahy mezi nimi?
2. Vysvětlete princip fungování termočlánků.
3. Kde všude se v automobilu uplatňují senzory teploty a k čemu slouží?



## 7 Fyzikální vlastnosti ultrazvuku, využití ultrazvuku při měření hladiny a koncentrace, vlivy okolí a materiálů na kvalitu měření



Čas ke studiu: 1 hodina



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Definovat základní vlastnosti ultrazvuku
- Popsat způsob využití ultrazvuku pro měření výšky hladiny a koncentrace
- Popsat vlivy působící na kvalitu ultrazvukového signálu



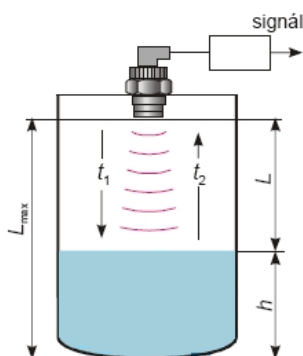
Výklad

### 7.1 Fyzikální vlastnosti ultrazvuku (UZ)

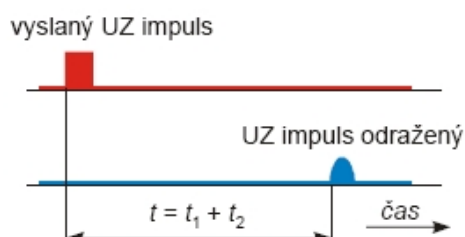
Ultrazvukové hladinoměry využívají několik principů. Při spojitém měření polohy hladiny se měří doba průchodu ultrazvukové vlny od vysílače přes odraz od hladiny zpět k přijímači a z naměřené doby se při známé rychlosti šíření ultrazvuku v daném prostředí vypočítá vzdálenost. K limitnímu měření úrovně hladiny se využívá jednak útlum (absorpce) ultrazvukových vln v závislosti na složení prostředí, kterým ultrazvuk prochází, a jednak měření odrazu ultrazvuku přes stěnu nádoby.

Na

**Obr. 7.1** je nakresleno zjednodušené schéma ultrazvukového hladinoměru, který využívá měření doby šíření ultrazvukového impulsu (metoda Time of flight).



*Obr. 7.1 Zjednodušené schéma ultrazvukového hladinoměru*



**Obr. 7.2** Šíření ultrazvukového pulzu

$$h = L_{max} - c \frac{t}{2} \quad (7.1)$$

*c ... rychlost ultrazvuku v prostředí,*

*t ... naměřený čas,*

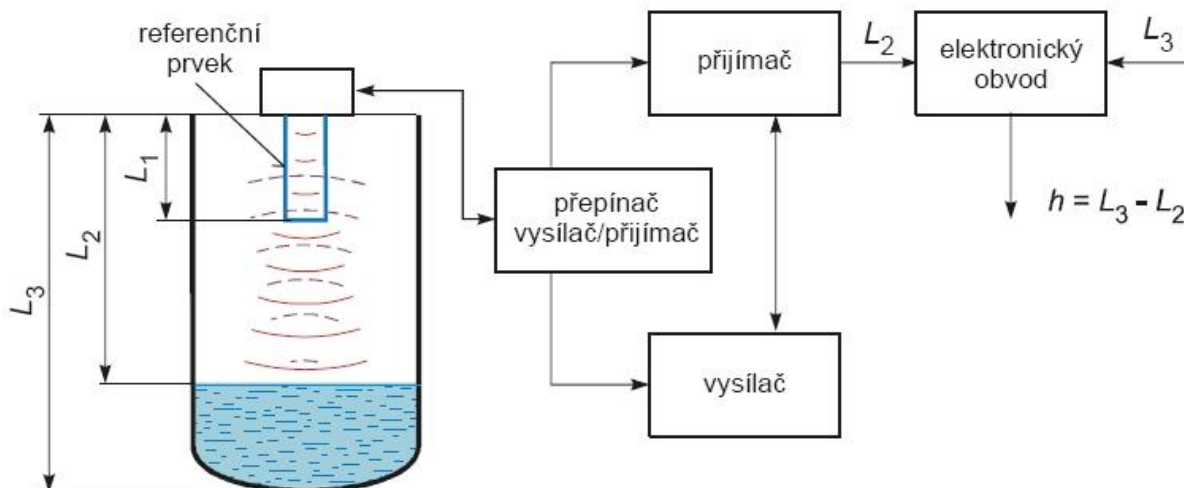
*L ... vzdálenost hladiny od snímače*

*L<sub>max</sub> ... vzdálenost snímače od dna nádrže*

Vysílač a přijímač UZ impulzů tvoří konstrukční celek, umístěný obvykle v horní části nádrže. Funkci celého zařízení řídí generátor pulzů. Na počátku měřicího cyklu je vyslán z vysílače UZ impulz, který se po odrazu od hladiny vrací k přijímači. Doba *t* naměřená elektronickým obvodem závisí na délce dráhy ultrazvuku, a tím i na poloze hladiny. Poloha hladiny *h* se stanovuje odečtením poloviny naměřené dráhy impulzu od maximální vzdálenosti (vzdálenost ke dnu nádrže). Měřené časové intervaly se pohybují od desetin až po jednotky sekund.

Jako vysílače a přijímače ultrazvuku se nejčastěji používají piezoelektrické, méně často magnetostrikční měniče. Piezoelektrický měnič se využívá v první fázi jako vysílač ultrazvukových impulzů a v druhé fázi pak jako detektor přijímané odražené ultrazvukové vlny. Pracuje se s ultrazvukem s frekvencí od 20 do 60 kHz, tudíž pro člověka v neslyšitelném pásmu.

V rámci vyšší přesnosti měření v závislosti na hustotě kapaliny a její teplotě je senzor opatřen referenčními prvky pro seřízení konstanty rychlosti ultrazvuku procházejícího kapalinou. Prvek je vyobrazen na schematicém obvodu měření výšky hladiny.

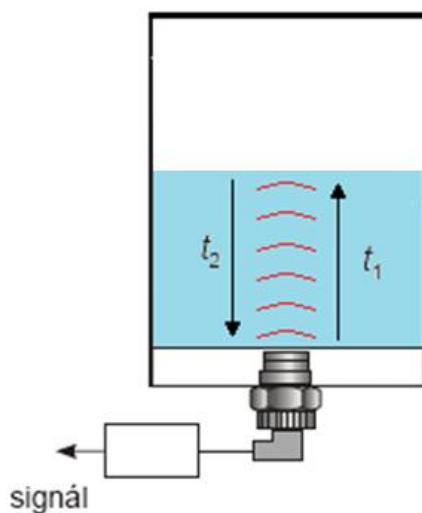


**Obr. 7.3** Blokové schéma ultrazvukového hladinoměru [7.3]

## 7.2 Problémy s měřením ultrazvukem v dopravním prostředí

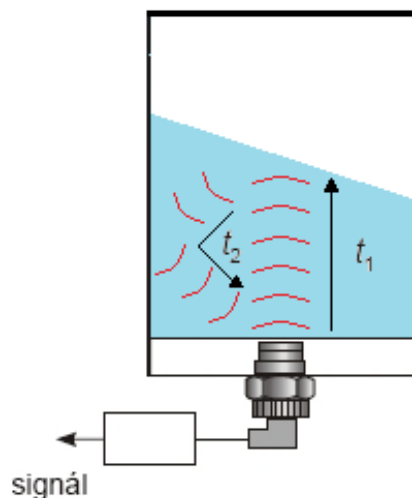
Při pohybu automobilu při zatáčení, akceleraci či deceleraci dochází vlivem změny kinetické energie a působení odstředivých sil k naklánění hladiny kapaliny v nádrži.

Hladina v klidném stavu je vodorovná, tudíž vycházíme z předpokladu, že  $t_1 = t_2$ .



**Obr. 7.4** Hladina v klidném stavu:  $t_1 = t_2$

Není-li hladina vodorovná a je-li nakloněna již pod značným úhlem, hlavní energie ultrazvukového signálu není od hladiny odražena zpět ve stejném (podobném) úhlu jako signál přichází a může dojít ke stavu zakreslenému na **Obr. 7.5**, kdy se signál od hladiny odrazí pod úhlem. Následně se odrazí od stěny nádoby zpět ke snímači, poté  $t_1 < t_2$ .



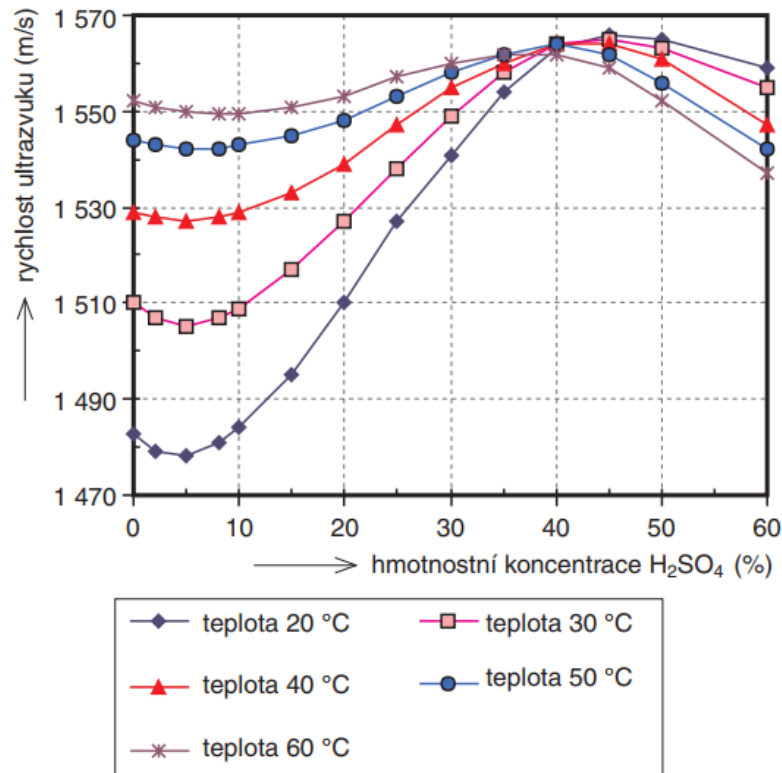
*Obr. 7.5 Hladina v nakloněném stavu:  $t_1 < t_2$*

Toto měření je nutné označit jako neplatné, neboť vycházíme z předpokladu, že tyto doby jsou totožné a dobu šíření k hladině vypočítáváme tím, že celkovou dobu dělíme dvěma. V tomto případě by prodloužení celkové doby průchodu signálu kapalinou způsobilo ve výpočtu zvýšení hodnoty výšky hladiny kapaliny.

Třetí možností je, že vyslaný signál se zpět k senzoru nevrátí v očekávaném čase nebo potřebné intenzitě pro vyhodnocení signálu. S tímto stavem se pojí i další problém, který nastává, když kapalina začne mrznout, vyslaný ultrazvukový signál narazí na krystal ledu a následně se roztříští do prostoru.

### 7.3 Měření koncentrace kapaliny ultrazvukovým signálem

Rychlost šíření ultrazvukových vln v kapalinách je závislá na složení kapaliny, její hustotě, viskozitě a teplotě. Závislost rychlosti zvuku v kapalných médiích nejde jednoznačně vyjádřit. Například pro solné roztoky jsou závislosti koncentrace a rychlosti zvuku lineární, u roztoků na bázi kyselin je tato charakteristika nelineární, což je i v našem případě. Příkladem budiž například závislost rychlosti zvuku na koncentraci kyseliny sírové (obdobně také AdBlue).



Obr. 7.6 Křivky závislosti koncentrace na rychlosti zvuku a teplotě

U měření koncentrace vycházíme ze základního vztahu pro rychlost zvuku:

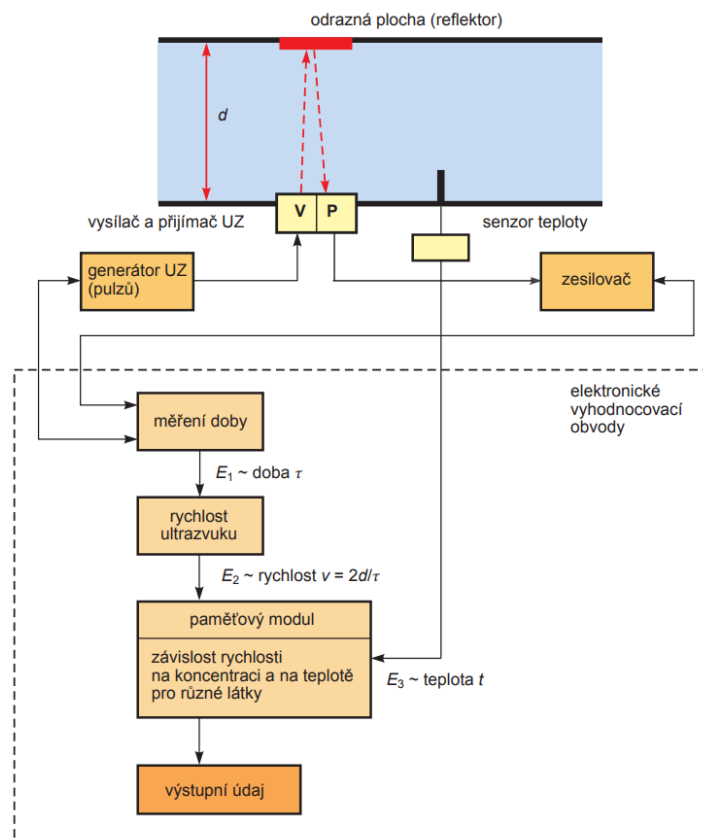
$$v = \frac{2 \cdot d}{t} \quad (7.2)$$

kde  $v$  je rychlost zvuku v prostředí [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $d$  vzdálenost referenční plochy [m] a  $t$  čas [s], za který se vyslaný zvukový signál vrátí zpět od referenční plochy. Známe-li rychlost v médiu.

$$v = \sqrt{\frac{C}{\rho}} \quad (7.3)$$

Dosazením do vztahu, kde  $C$  je modul objemové pružnosti prostředí a  $\rho$  hustota kapaliny, můžeme vypočítat koncentraci kapaliny. V našem případě však tohoto vztahu plně nevyužíváme, neboť v laboratorních podmínkách byla naměřena charakteristika závislosti teploty a koncentrace AdBlue kapaliny. Výsledná koncentrace je tedy pouze vyčtena z tabulky dat.

[7.4]



Obr. 7.7 Blokové schéma systému pro měření koncentrace kapaliny

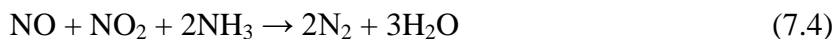
U měření koncentrace vyšleme ultrazvukový signál, jenž se odrazí od referenčních ploch s přesně definovanou vzdáleností, a z doby, za kterou se zvukový signál vrátí zpět, vypočteme rychlost zvuku. S ohledem na teplotu měřené kapaliny je z paměťového modulu zjištěna koncentrace kapaliny.

#### 7.4 Senzor hladiny a koncentrace

Ultrasonický senzor pro měření hladiny a koncentrace urea (AdBlue) kapaliny je součástí sofistikovaného systému na řízení emisí moderních osobních a nákladních vozidel, jež jsou vybavena dieslovým motorem. Tento motor, který vyniká vysokou termodynamickou účinností, produkuje značné množství prachových částic a také oxidů dusíku NOx. Oba tyto nežádoucí produkty jsou pro člověka nebezpečné. Emise prachových částic usazujících se v dýchacích cestách jsou již poměrně dobře vyřešeny použitím filtrů pevných částic (DPF, FAP), avšak emise oxidů dusíku (NOx) se s platnou euronormou EURO6 a obzvláště aférou diesel gate staly ve sféře osobních automobilů velkým terčem zájmů. Tyto emise oxidů dusíku, především oxidu dusičitého (NO2), jsou pro lidský organismus zvláště nebezpečné, neboť velmi snadno pronikají do plic a způsobují podráždění sliznic. Aby se snížily emise těchto oxidů, je do osobních automobilů integrován systém aktivní selektivní katalytické redukce, která vstříkáváním AdBlue kapaliny na aktivní vrstvu katalyzátoru způsobuje

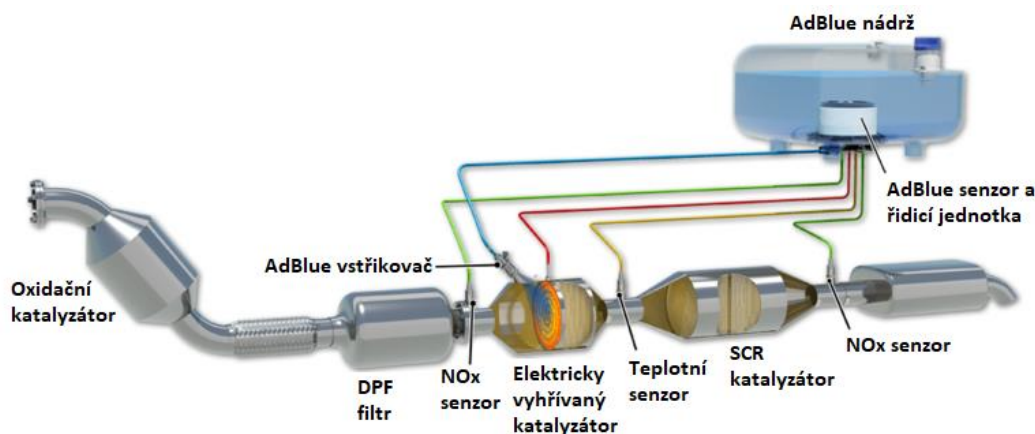
chemickou reakci, jejíž výsledkem je produkce dusíku a vody, látek, které jsou běžnou součástí našeho ekosystému.

[7.5]



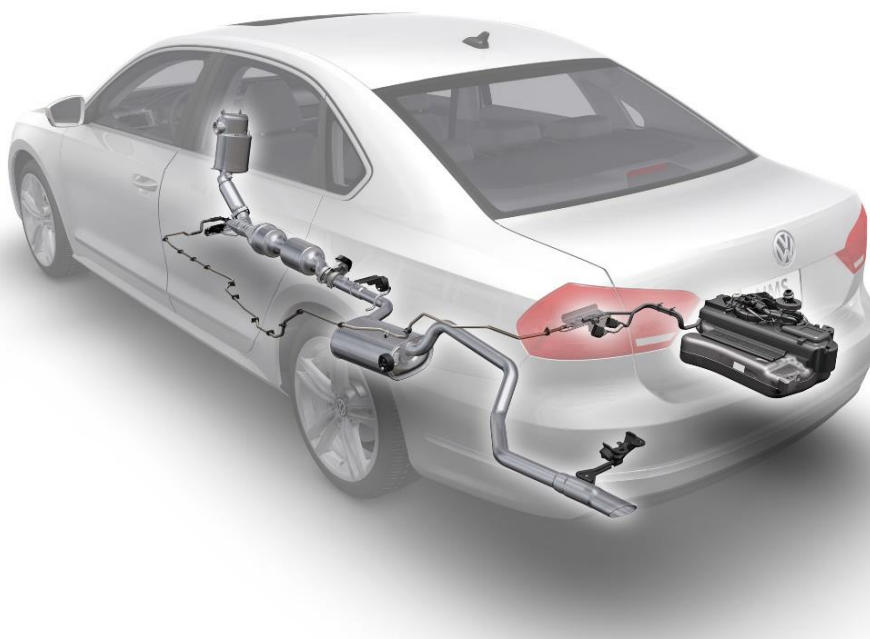
Účinnost této metody je poměrně vysoká (80–90 %), je však regulována tak, aby osobní automobil splňoval emisní normu, neboť se zvyšující se účinností a produkcí NO<sub>x</sub> je potřeba do katalyzátoru vstříknout větší množství kapaliny, což z pohledu uživatelské přívětivosti a nákladů na doplnění AdBlue je nežádoucí. Proto se výrobci snaží nalézt kompromis. Mezi výhody tohoto komplikovaného systému patří také zvýšení teploty spalin ve spalovací komoře, protože oxidy NO<sub>x</sub> jsou eliminovány přídavným zařízením. Není nutné využívat v takové míře zpětnou recirkulaci výfukových spalin, výsledkem pak je zvýšení termodynamické účinnosti motoru, z čehož zcela vyplývá i snížení spotřeby, která se pohybuje okolo 7 %.

[7.6]



*Obr. 7.8 Blokové schéma systému pro redukci oxidu dusíku*

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, cílem je vyvinout přípravek k testování jízdních režimů automobilu, tak jako by byl senzor umístěn v reálném vozidle. Samotný senzor se v automobilu nachází v nádrži na syntetickou močovinu, která bývá v automobilu nejčastěji umístěna v podběhu zadního kola nebo pod podlahou kufru. Velikost nádrže se v závislosti na velikosti a hmotnosti automobilu pohybuje okolo 15 litrů.



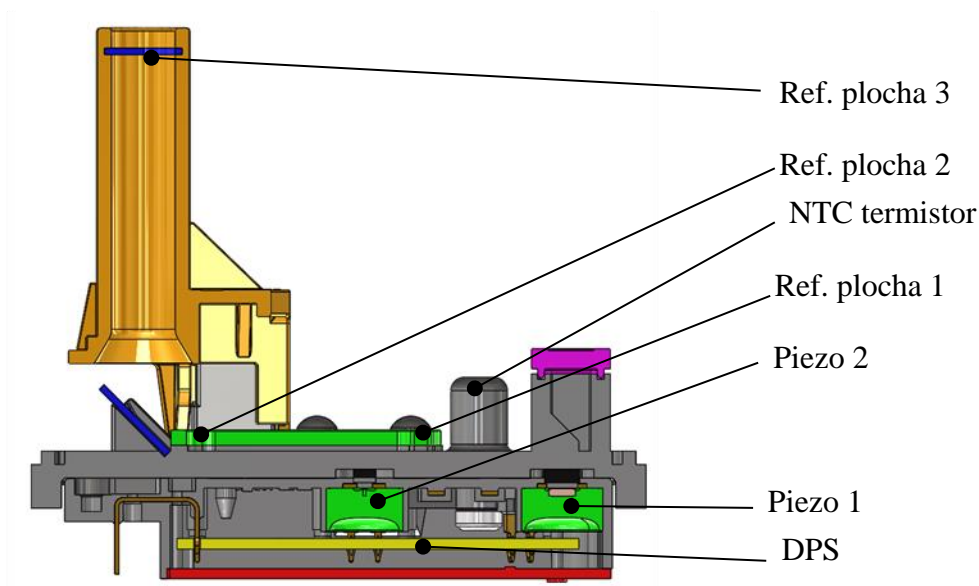
*Obr. 7.9 Umístění systému redukce oxidu dusíku ve vozidle [7.6]*

Při pohybu automobilu, obzvláště při změně rychlosti a směru jízdy, dochází vlivem odstředivé síly k naklánění hladiny kapaliny. Senzor měřící výšku hladiny kapaliny je umístěn na dně nádrže a využívá principu odrazu zvukové vlny od hladiny kapaliny. Tento princip byl využit obzvláště proto, že se jedná o bezkontaktní měření, což eliminuje jakékoliv mechanické části v nádržce. Současně tím snižuje i výrobní náklady na senzor a dále také jeho chemickou odolnost proti účinkům AdBlue kapaliny.

Uložení senzoru na dně nádoby nebylo vybráno náhodou. Vzhledem k faktu, že nádrž nemá vždy rovnoměrné tvary, je takové umístění na dně nádržky nejjednodušší volbou. Tomuto umístění vyhovuje i fakt, že roztok AdBlue při teplotách nižších než  $-11\text{ °C}$  zamrzá, tudíž je v tomto místě i uhlíková topná spirála. Další výhodou toho, že je na dně nádoby, je rovněž přesnější měření nižšího stavu kapaliny.

Na **Obr. 7.10** je řez ultrazvukového snímače hladiny. Tento snímač měří kromě výšky hladiny i teplotu a koncentraci AdBlue ve vodném roztoku. Je umístěn na dně nádrže, takže měří výšku hladiny nad snímačem.





Obr. 7.10 Řez senzorem

Snímač obsahuje dva piezoelementy a několik referenčních odrazových ploch v pevně daných vzdálenostech. První piezoelement slouží k určení rychlosti zvuku v kapalině. Jeho zvuk se odráží od referenčních ploch a z doby, za kterou se vrátí zpět, se vypočítá rychlost zvuku podle rovnice 7.5:

$$v = \frac{2 \cdot s}{t} \quad (7.5)$$

kde  $v$  je rychlost zvuku [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  $s$  vzdálenost referenční plochy [m] a  $t$  čas [s], za který se zvuk vrátí zpět od referenční plochy.

Protože snímač pracuje při různých teplotách, je nutné provádět teplotní kompenzaci takto zjištěné rychlosti. K tomu slouží integrovaný NTC termistor. Z rychlosti se pak dá určit koncentrace kapaliny podle experimentálně zjištěného vzorce:

$$C = a_0 + a_1 \cdot v + a_2 \cdot T + a_3 \cdot v^2 + a_4 \cdot T^2 + a_5 \cdot v \cdot T + a_6 \cdot v \cdot T^2 + a_7 \cdot v^2 \cdot T + a_8 \cdot v^3 + a_9 \cdot T^3 \quad (7.6)$$

kde  $C$  je koncentrace kapaliny [%],  $a_0$  až  $a_9$  jsou koeficienty určené experimentálně,  $v$  je rychlost zvuku [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] a  $T$  je teplota kapaliny [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Druhý piezoelement pak měří dobu odrazu zvuku od hladiny. Výsledná výška hladiny se pak určí podle vztahu 7.7:

$$h = \frac{v \cdot t}{2} \quad (7.7)$$

kde  $h$  je výška hladiny [m],  $v$  je rychlost zvuku [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ], a  $t$  čas [s], za který se zvuk vrátí zpět od hladiny.



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [7.1] TOTH, M. *Čtení a vizualizace dat z ultrazvukového senzoru pro měření hladiny a koncentrace kapalin v prostředí LabVIEW*. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [7.2] NOVICKÝ, D. *Zařízení pro simulaci jízdních profilů automobilů za účelem testování hladinových senzorů*. Ostrava, 2018. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [7.3] Ultrazvukové hladinoměry: Principy ultrazvukových hladinoměrů. *Měření hladiny* [online]. Jičín: JSP [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam\\_dle\\_kategorie/snimace\\_hladiny/teorie-hladina/ultrazvukove-hladinomeru/principy-ultrazvukovych-hladinomeru.html](http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam_dle_kategorie/snimace_hladiny/teorie-hladina/ultrazvukove-hladinomeru/principy-ultrazvukovych-hladinomeru.html)
- [7.4] KADLEC, K. Provozní snímače hustoty kapalin. *Automa* [online]. Automa, 2011 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/42735.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/42735.pdf)
- [7.5] HAVEL, M., V. VEBR a P. VÁLEK. Oxidy dusíku. *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://arnika.org/oxidy-dusiku>
- [7.6] SAJDL, J. AdBlue. *Autolexicon.net* [online]. Autolexicon.net, 2018 [cit. 2018-12-19]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/adblue/>



Shrnutí pojmů kapitoly

- Ultrazvukový signál
- AdBlue – obchodní název syntetické močoviny
- Koncentrace kapaliny
- Šíření ultrazvuku



#### Otázky k probranému učivu

1. Na jakém principu funguje ultrasonicky měřená výšky hladiny kapaliny?
2. Na jakém fyzikálním principu je založeno měření koncentrace kapaliny?
3. K čemu slouží u ultrasonických senzorů tzv. reference?
4. K čemu se využívají senzory pro měření koncentrace AdBlue kapaliny?

## 8 Fyzikální princip a fungování mechatronických senzorů polohy. Seznámení se s jednotlivými typy senzorů, jejich srovnání a použití



**Čas ke studiu:** 1 hodina



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Popsat základní klasifikaci snímačů pozice a jejich použití
- Budete mít povědomí o principech snímání



**Výklad**

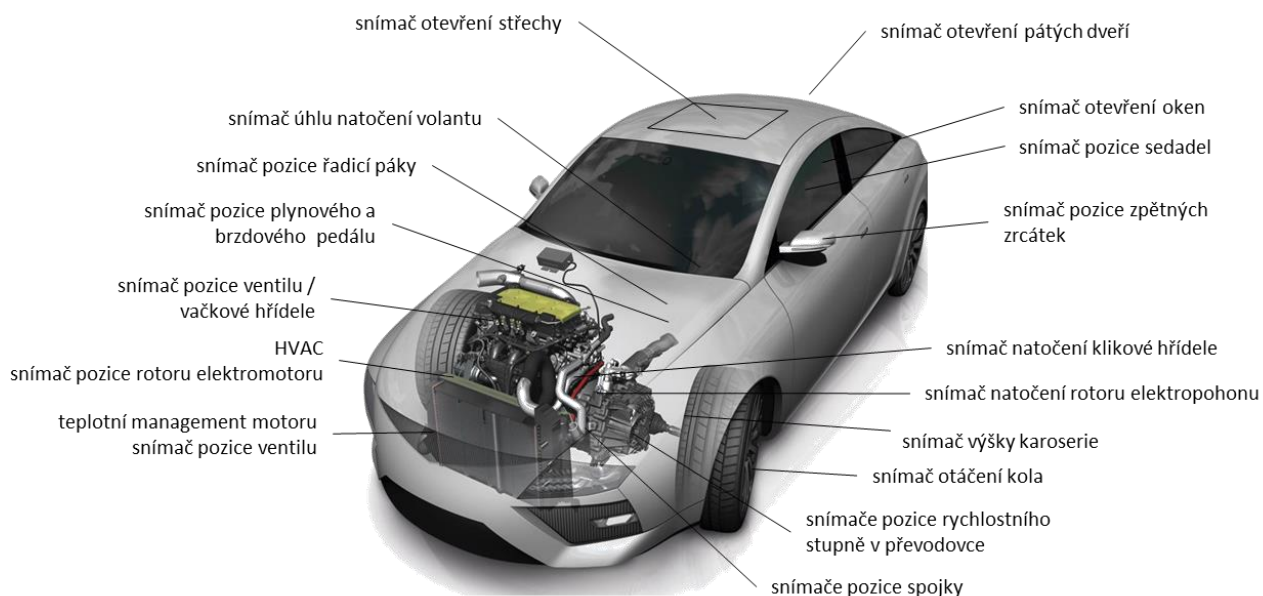
### 8.1 Základní klasifikace

V automobilovém průmyslu se často setkáváme s mechatronickými snímači pozice. Je to dáno převážně jejich snazší realizací a odtud snížením ekonomických požadavků a multifunkčností zařízení navrhovaného mechatronicky.

Pro návrh mechatronických snímačů jsou požadovány znalosti širokého spektra oborů (matematika, fyzika, mechanika, elektronika, výkonová elektronika, programování, teorie obvodů, teorie řízení, zpracování signálů atd.) a systémové myšlení. Nezbytná je schopnost týmové práce se specialisty z jiných oborů. [8.1]

## Příklad použití snímačů pozice

Na následujícím obrázku vidíte typické příklady použití snímačů pozice v osobním automobilu.



*Obr. 8.1 Typické příklady použití snímačů pozice v osobním automobilu*

## Rozdělení snímačů pozice

Rozdělení snímačů pozice na skupiny lze provést různými způsoby.

Nejčastěji se používá rozdělení s ohledem na:

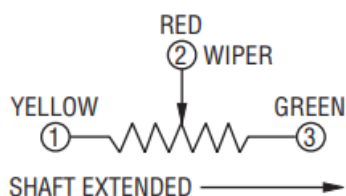
- mechanický pohyb (mechanický kontakt mezi referenční částí a měřenou pohyblivou částí);
- princip snímání;
- typ výstupu.

**Rotační snímače pozice** – snímán je úhel natočení pohyblivé části vůči referenční části, tyto snímače se dále dělí na jednootáčkové a víceotáčkové.

**Lineární snímače pozice** – snímán je posuv pohyblivé části vůči referenční části.

**Kontaktní snímače pozice** – snímače, kde se pohyblivá část, jejíž pozice se snímá, dotýká referenční části. Místo dotyku se přesouvá vlivem pohybu. Proto se musí řešit opotřebení tohoto místa vhodnou konstrukcí a výběrem vhodných materiálů tak, aby byla zajištěna požadovaná funkčnost senzoru po dobu plánované životnosti. Tento typ se používá pro aplikace se sporadickým pohybem, např. senzor polohy zpětného zrcátka.

Typickým představitelem principu kontaktního snímače pozice je potenciometr, který převádí mechanickou pozici na odpor.



*Obr. 8.2 Kontaktní snímač pozice na principu potenciometru [8.3]*

**Bezkontaktní snímače pozice** – tyto snímače odstraňují hlavní nevýhodu kontaktních snímačů, kterou je opotřebení. Bezkontaktní snímače nemají mechanický kontakt mezi pohyblivou a referenční částí. Přenos informace o poloze se provádí užitím jiných fyzikálních principů, jako je magnetické pole (statické s permanentními magnety, dynamické – indukční), optický signál. Tyto senzory jsou pro svoji robustnost vhodné na exponované komponenty, například snímač pozice volantu nebo pozice rotoru elektromotoru. Principy snímačů s využitím magnetického pole budou probrány podrobněji v další části.

**Princip snímání** – nejpoužívanější principy jsou odporový/potenciometrický, optický, magnetický s permanentními magnety (PM) a magnetický indukční.

Pro snímání statického magnetického pole vytvořeného PM se převážně využívá Hallova jevu, magnetorezistence (MR) nebo obří magnetorezistence (GMR).

Ke snímání dynamického magnetického pole vytvořeného elektromagnetem napájeným střídavým proudem se využívá Faradayův zákon elektromagnetické indukce.

**Typy výstupu snímače** – výstup snímače je v principu analogový (napětí, proud) nebo digitální (pulzně šířková modulace, SENT, SPI, LIN, CAN).

## 8.2 Principy magnetických snímačů pozice s PM

### Hallův jev a magnetorezistence

**Hallův jev** je proces generace Hallova elektrického pole v polovodiči za současného působení vnějšího elektrického i magnetického pole. Důsledkem toho se hromadí na jedné straně látky záporný náboj a na straně druhé náboj kladný. Díky tomu, že póly mají různý potenciál, vzniká Hallovo napětí.

Vložíme-li vodivou destičku tloušťky  $d$ , kterou protéká řídicí elektrický proud  $I$ , do magnetického pole s magnetickou indukcí  $B_y$ , kolmou na směr proudu, pak ve třetím

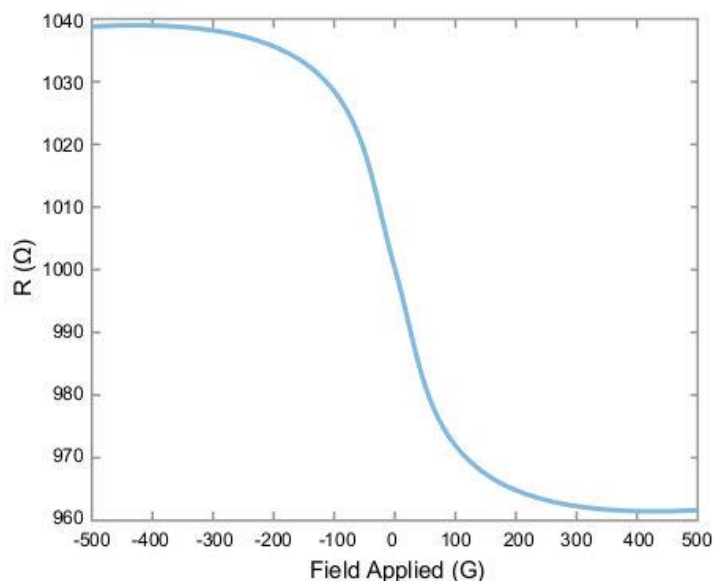
směru, kolmém na směr proudu a zároveň na směr magnetického pole změříme potenciálový rozdíl  $U_H$ .

$$U_H = R_H \cdot \frac{IB_y}{d} \quad (8.1)$$

kde  $R_H$  je Hallova konstanta, která má rozměr  $m^3 A^{-1} s^{-1}$ . Pro polovodič typu N má  $R_H$  hodnotu zápornou, kdežto pro polovodič typu P má hodnotu kladnou. [8.5]

**Magnetorezistence** je schopnost materiálu změnit svou hodnotu elektrického odporu vlivem vnějšího magnetického pole.

Původní materiály vykazovaly anizotropní magnetorezistenci (AMR) a odpor vzorku se měnil nejvýše o několik procent. Novější materiály (případně jejich kombinace ve vícevrstvých strukturách) vykazují mimořádně vysoké hodnoty magnetorezistence a jsou označovány jako obří magnetorezistence (GMR), kolosální magnetorezistence (CMR) a tunelovací magnetorezistence (TMR).



**Obr. 8.3** Typická závislost odporu GMR elementu na velikosti magnetického pole [8.6]

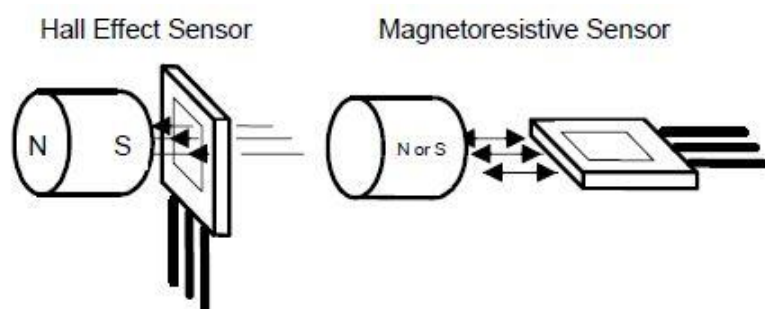
Oba jevy se běžně používají k detekci síly magnetického pole. Obě technologie jsou kompatibilní s procesorem integrovaného obvodu. Existuje nějaký rozdíl mezi nimi při návrhu senzorové aplikace?

Obecně platí, že magnetorezistivní snímače mají mnohem vyšší citlivost než snímače s Hallovým jevem. Citlivost magnetorezistivního obvodu je nastavitelná výběrem tloušťky

filmu a šířky vodivé cesty, což umožní vyladit senzor podle potřeb aplikace.  
[8.8]

Magnetorezistivní snímače nerozlišují polaritu magnetického pole (severní a jižní pól), zatímco Hallův snímač je vhodný pro vysoce lineární měření bez vlivů saturace na extrémně vysokou intenzitu pole.

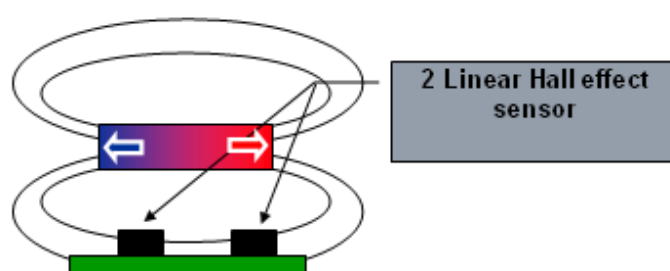
Následující obrázek ukazuje rozdílné umístění snímacího obvodu vzhledem ke statickému magnetickému poli.



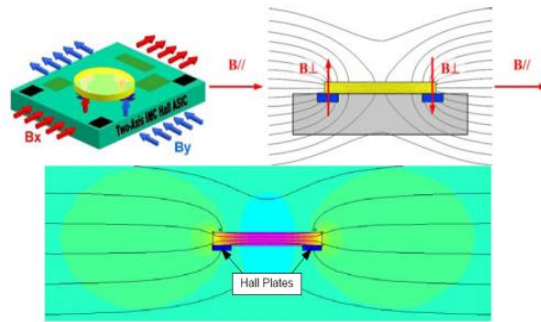
**Obr. 8.4** Umístění snímacího obvodu s Hallovým snímačem a snímačem s magnetorezistivním prvkem [8.8]

Snímač s Hallovým jevem reaguje na magnetické pole kolmé na snímací obvod, zatímco magnetorezistenční snímač reaguje na paralelní pole. Proto je magnetorezistenční snímač dobrý při unipolárním snímání pro bezkontaktní aplikace posunů a snímače magnetického pole, zatímco snímače s Hallovým jevem se běžně používají k určení blízkosti.

Snímání pozice se provádí na základě porovnání velikosti magnetické indukce ve dvou místech snímacího integrovaného obvodu, viz následující obrázek.

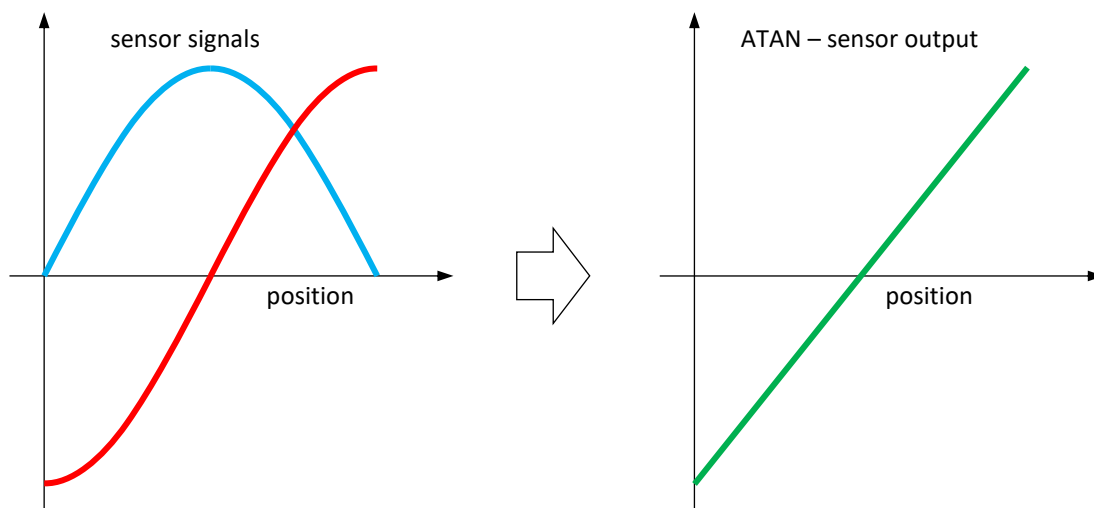






*Obr. 8.5 Princip snímání pozice s využitím dvou Hallovyh snímačů magnetického pole*

Hallovo napětí z obou snímačů je digitálně zpracováno v integrovaném obvodu (IC – integrated circuit) snímače. S výhodou se využívá sinová/cosinová závislost výstupních napětí na měřené poloze.



*Obr. 8.6 Získání polohy z napětí jednotlivých Hallovyh snímačů*

Výstupní hodnota polohy je potom úměrná inverzní goniometrické funkci tangens (arkus tangens) podle výrazu:

$$\frac{\sin x}{\cos x} = \tan x \rightarrow x = \text{atan} \left( \frac{\sin x}{\cos x} \right) \quad (8.2)$$

### Výpočet ATAN

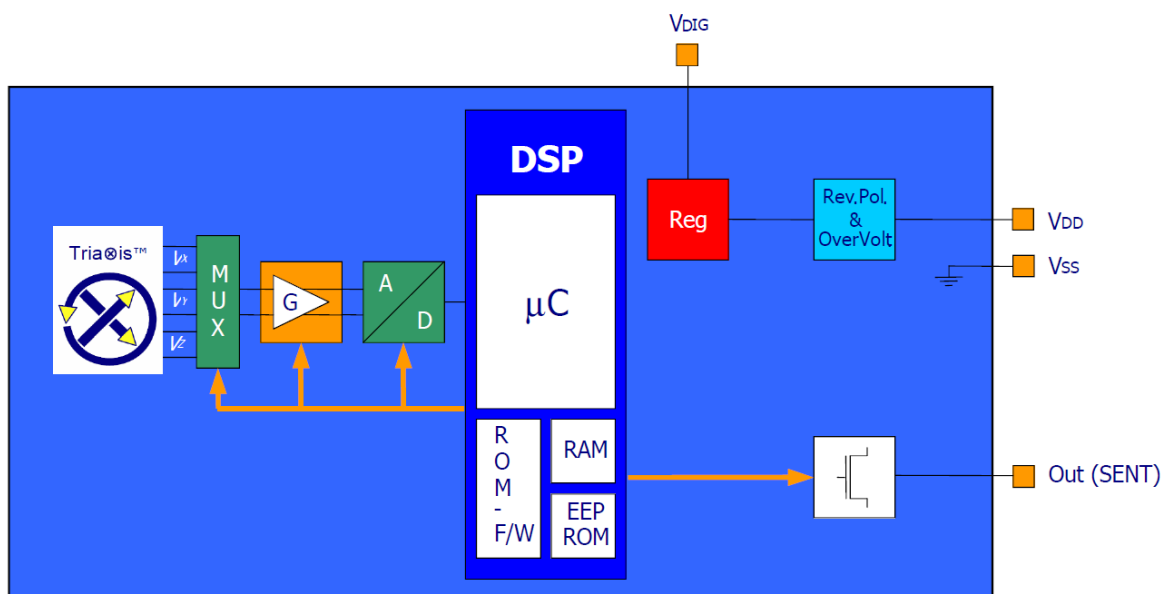
V principu existují následující metody výpočtu funkce ATAN v digitálních obvodech: tabulační a aproximační metody.

**Tabulační metoda** je nejrychlejší metoda, kdy jsou vstupně-výstupní hodnoty dány převodní tabulkou. Tato metoda nepožaduje matematické výpočetní kapacity použitého IC, nicméně nevýhodou je, že paměťové kapacity rostou s požadovanou přesností.

**Po částech lineární aproximace** – zde jsou tabulkou udány hodnoty jen na hranicích intervalů rozdělujících celý rozsah vstupních hodnot. Tímto se výrazně omezí nároky na paměť za cenu výpočtu lineární aproximace.

**Po částech polynomiální interpolace** – použitím polynomů se dosahuje nejvyšší přesnosti aproximace funkce ATAN, tabulkou jsou pak udány koeficienty polynomů na hranicích intervalů. Tato metoda je vhodná pro CPU typu DSP nebo CPU s rychlou jednocyklovou násobičkou.

**CORDIC algoritmus** je vhodný pro jednoduché CPU, výhodou je použití takových operací, které jsou v digitální technice implementovány relativně jednoduše. Jde o operace bitový posun, sčítání, odečítání a porovnání. Princip práce algoritmu CORDIC je postaven na vyjádření rotace vektoru v rovině o určitý předem definovaný úhel. Pro dosažení přesné nebo alespoň přibližné požadované hodnoty pak použijeme iterace, tedy více rotací na jednu či druhou stranu.



*Obr. 8.7 Typický blokový diagram monolitického IC (MLX90367) [8.11]*

Typický blokový diagram monolitického integrovaného obvodu se skládá ze vstupního analogového bloku (Hallův snímač, zesilovač a A/D převodník), bloku digitálního zpracování signálu (DSP jádro, paměti), výstupního bloku SENT (sériová komunikace s kódy korekcí chyb a uživatelsky definovanými hodnotami) a pomocných obvodů (napájení, teplotní kompenzace, diagnostika).

**Vstupní analogový blok** provádí analogové zpracování signálu, zesílení diferenciálním zesilovačem s klasickou korekcí offsetu. Upravené analogové signály jsou převedeny na digitální prostřednictvím 15bitového A/D převodníku a poté přivedeny do bloku DSP k dalšímu zpracování.

**Blok digitálního zpracování signálu DSP** je založen na 16bitovém mikroprocesoru RISC, jehož primární funkcí je extrakce polohy ze dvou analogových signálů. Vykonávání DSP funkcí se řídí mikrokódem (firmware – F/W), který je uložen v paměti ROM. Jakmile je poloha v daném kroku zjištěna, je dále upravena (mapována) oproti cílové přenosové charakteristice. Úpravu výstupní charakteristiky lze nastavit pomocí vícebodové, po částech lineární (Piece-Wise-Linear – PWL), kalibrace. Kalibrační parametry jsou uloženy v paměti EEPROM s Hammingovým kódováním a korekcí chyb (ECC). [8.11]

Kromě extrakce polohy ovládá F/W nastavení celého analogového řetězce, charakteristiky přenosu výstupu, výstupního protokolu, programování/kalibraci a také nastavení automatické diagnostiky. [8.10]



*Obr. 8.8 Příklad bezkontaktního snímače pozice s Hallovým snímačem od společnosti Vitesco Technologies[8.13]*

### 8.3 Principy indukčních snímačů pozice

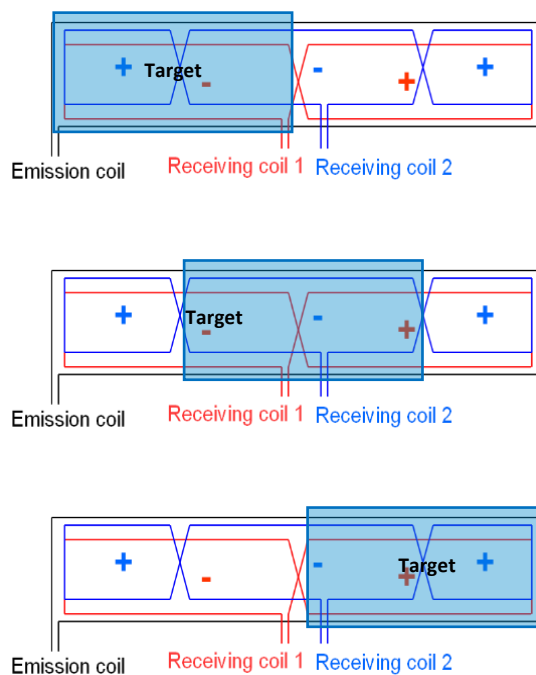
#### Faradayův zákon elektromagnetické indukce

Změnou magnetického pole v okolí cívky se v cívce indukuje elektrické napětí a v uzavřeném obvodu prochází indukovaný proud. Směr proudu je závislý na směru změny magnetického pole a na orientaci pólů magnetu vůči cívce,

$$\varepsilon_F(t) = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (8.3)$$

kde  $d\Phi$  představuje změnu celkového magnetického toku, který protéká smyčkou (obvodem). [8.7]

**Indukční snímač pozice** se skládá z budicí cívky napájené typicky několika MHz signálem, dvou snímacích cívek (1 a 2), na kterých se měří indukované napětí, a cílového elementu z neferomagnetického kovu (nejčastěji hliník) umístěného na pohyblivé části. Cílový element má vhodný tvar, takový, aby při posunu z počáteční do koncové polohy postupně stínil snímací cívky. Při umístění materiálu cílového elementu do magnetického pole budicí cívky se v něm indukují vířivé proudy, které vytvoří opačné magnetické pole. Výsledkem je utlumení výsledného magnetického pole pod cílovým elementem, a tím i zmenšení indukovaného napětí v přilehlé snímací cívce. Vhodnou konfigurací cívek lze dosáhnout toho, aby amplituda signálů ze snímacích cívek 1, 2 byla modulovaná se  $\sin(x)$  a  $\cos(x)$ , kde  $x$  je mechanická poloha (rotační nebo lineární).



**Obr. 8.9** Princip indukčního snímače pozice

Integrovaný obvod snímače zpracovává amplitudy sinových/cosinových signálů indukovaných napětí ze snímacích cívek 1 a 2. Princip zpracování takto získaných signálů je pak stejný jako v předchozím případě.

Následující obrázek ukazuje snímač natočení. Na tištěném spoji lze dobře rozeznat venkovní budicí cívku a vnitřní snímací cívky, které jsou rozdělené na jednotlivé segmenty. S cílovým elementem ve tvaru půlměsíce tento senzor snímá úhel v rozsahu 0° až 360°.



**Obr. 8.10** Příklad indukčního bezkontaktního snímače pozice od společnosti Vitesco Technologies[8.13]



## Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [8.1] Mechatronika. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mechatronika>
- [8.2] Transmission Systems. *Vitesco: The Future In Motion*[online]. Vitesco, 2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.vitesco-technologies.com/en/Home/Solutions/Products?solution=combustion&category=transmission>
- [8.3] Automotive Sensors. *Bourns* [online]. Bourns, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.bourns.com/products/automotive/automotive-sensors>
- [8.4] AMR Sensor Features of MRMS series. *MuRata: Innovator in electronics* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.murata.com/products/sensor/amr/basic/feature>
- [8.5] Hallův jev. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hallův\\_jev](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hallův_jev)
- [8.6] BUSH, S. Giant magneto-resistive sensing makes better current and magnetic field sensors. *Electronics Weekly* [online]. UK: Electronics Weekly, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.electronicsworld.com/news/design/giant-magneto-resistive-sensing-makes-better-current-magnetic-field-sensors-2018-04/>
- [8.7] Zákon elektromagnetické indukce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Zákon\\_elektromagnetické\\_indukce](https://cs.wikipedia.org/wiki/Zákon_elektromagnetické_indukce)
- [8.8] Magnetoresistive vs. Hall Effect in Sensor Applications. *Digi-Key: TechForum* [online]. 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://forum.digikey.com/t/magnetoresistive-vs-hall-effect-in-sensor-applications/1185>
- [8.9] Magnetorezistence. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*[online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetorezistence>
- [8.10] Position Sensor – Rotary or Linear Contactless – Hall Effect Technology. *Vitesco: The Future In Motion* [online]. Vitesco, 2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z:

<https://www.vitesco-technologies.com/en/Home/Solutions/Products/Position-Sensor-Rotary-Contactless-Inductive-Technology-en>

- [8.11] MELEXIS. *Datasheet for MLX90367*. Rev.5.2. Belgium, 2015. Dostupné také z: <https://www.melexis.com/-/media/files/documents/datasheets/mlx90367-datasheet-melexis.pdf>
- [8.12] SENT (protocol). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/SENT\\_\(protocol\)](https://en.wikipedia.org/wiki/SENT_(protocol))
- [8.13] Smart Position Sensor Cover. *Continental: The Future In Motion*[online]. Vitesco, 2017 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.vitesco-technologies.com/en/Home/Solutions/Products/Smart-Position-Sensor-Cover-en>



### Shrnutí pojmů kapitoly

- Rozdělení snímačů polohy
- Principy měření polohy se snímačem s Hallovým jevem a indukčním snímačem
- Princip výpočtu ATAN v integrovaných obvodech
- Typické blokové schéma monolytického integrovaného obvodu pro snímače polohy
- RISC – architektura mikroprocesorů s redukovanou instrukční sadou
- DSP – digitální signálový procesor pro digitální zpracování signálu
- SENT – sériová sběrnice používaná pro komunikaci v automotive [8.12]
- ATAN – arkus tangens



### Otázky k probranému učivu

1. Vysvětlete základní dělení snímačů s ohledem na druh mechanického pohybu a princip snímání?
2. Jak se získává poloha ve snímači s Hallovým jevem?
3. Která metoda výpočtu ATAN je nejpřesnější?
4. Proč byl vyvinut algoritmus CORDIC?
5. Jaké jsou hlavní bloky typického monolytického integrovaného obvodu pro snímače polohy?

## 9 Fyzikální princip a fungování tlakových senzorů. Seznámení se s jednotlivými typy senzorů, jejich srovnání a použití



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět:

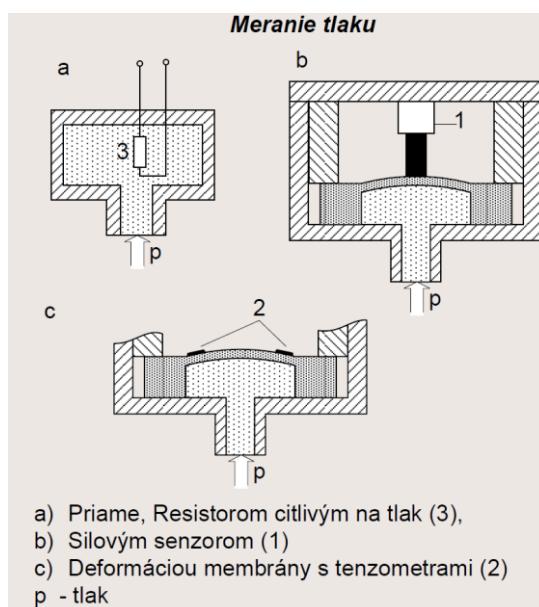
- Vyjmenovat jednotlivé typy tlakových senzorů a jejich využití
- Popsat princip fungování tlakových senzorů
- Vyjmenovat jednotlivé typy senzorů rychlosti a jejich využití
- Popsat princip fungování senzorů rychlosti
- Vyjmenovat jednotlivé typy senzorů zrychlení a jejich využití
- Popsat princip fungování senzorů zrychlení



Výklad

### 9.1 Sensory tlaku

**Měření tlaku** se realizuje přímo (přes rezistory citlivé na tlak) vyhodnocováním prohnutí membrány nebo silovými senzory. Přehled základních metod fungování tlakových senzorů je znázorněn na **Obr. 9.1**.

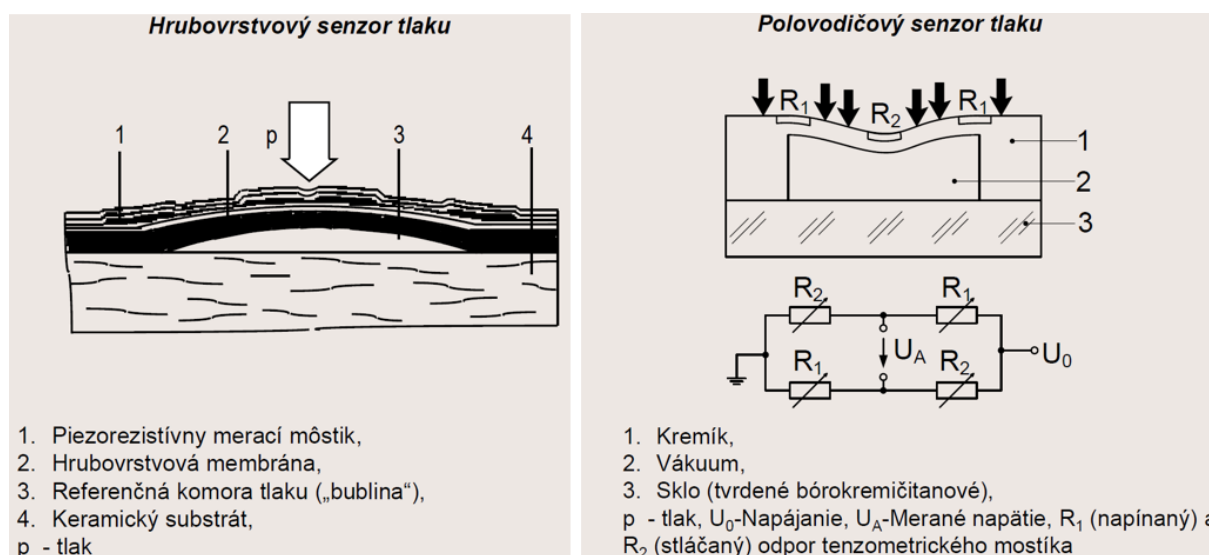


*Obr. 9.1 Základní princip fungování tlakových senzorů [9.1]*



**Tlustovrstvé senzory tlaku** využívají měřicí membránu a její deformace vyvolává odezvu tenzometrických rezistorů. Používají se pro měření absolutních tlaků do hodnoty 2 MPa.

**Polovodičové senzory tlaku** fungují na principu deformace křemíkové membrány (monokrystal Si), do které jsou difuzně zabudovány rezistory citlivé na tlak. Jedná se o tzv. MEMS (MikroElektroMechanický Systém), který převádí veličinu mechanickou na elektrickou (např. pohyb na odpor).

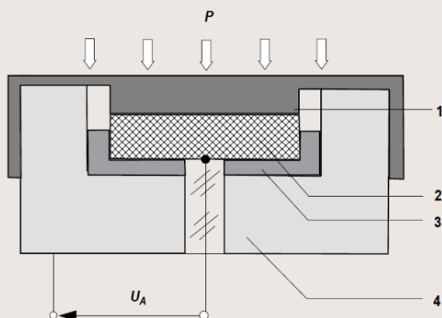


*Obr. 9.2 Tlustovrstvý a polovodičový senzor tlaku [9.1]*

**Piezelektrické senzory tlaku** umožňují dynamické měření tlaku. Senzor se skládá z tenké membrány, kterou se přímo nebo nepřímo přenáší tlak na válcový či čtyřhranný piezokeramický element.

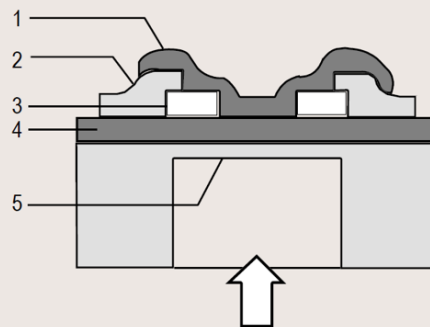
**Senzory vysokého tlaku s kovovou membránou** se uplatňují např. u common-rail dieselových a benzinových vstřikovacích systémů. U těchto senzorů je membrána vyrobená z vysoce kvalitní pružinové oceli, přičemž se využívá změna odporu křemíkového čipu pevně spojeného s kovovou membránou, podobně jako je tomu u tenkovrstevných senzorů, viz **Obr. 9.3**.

**Piezoelektrický senzor tlaku v nasávacom potrubí**



1. Kovový plášť,
  2. Piezoelektrický disk,
  3. Izolácia,
  4. Puzdro,
- p - tlak,  $U_A$  - Merané napätie

**Vysokotlakový senzor s kovovou membránou**



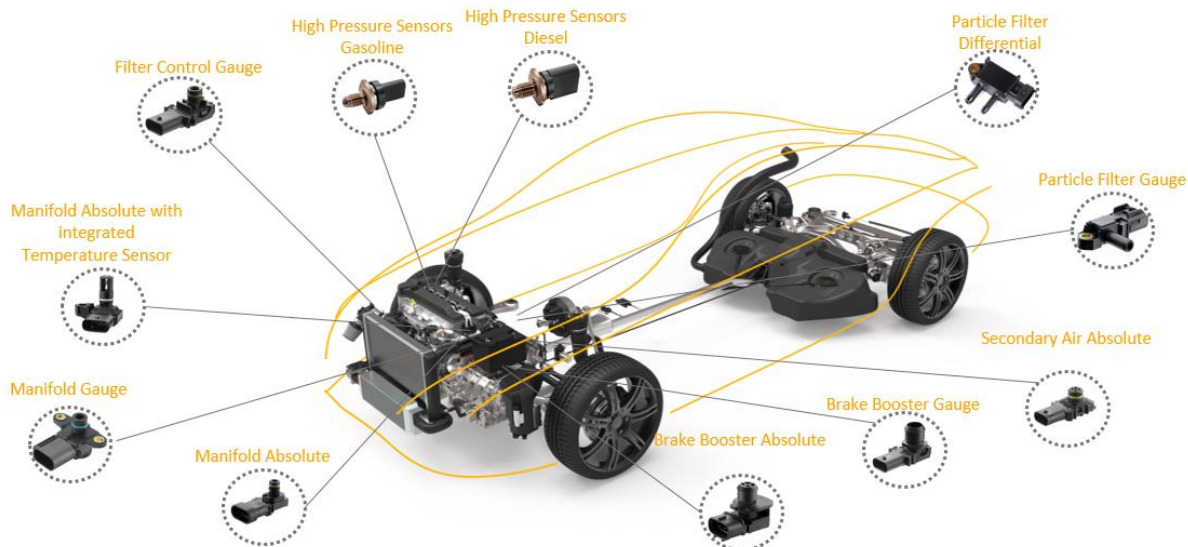
(Rozmery meracieho prvku a častí 1-4 sú neproporcionálne)

1. SiNx pasivácia,
  2. Zlatý kontakt,
  3. Tenzometrické prvky z polykrištálického kremíka,
  4. Izolácia SiO<sub>2</sub>,
  5. Oceľová membrána,
- p - tlak.

**Obr. 9.3** Piezoelektrický a vysokotlaký senzor[9.1]

V automobilech sa využíva celá rada senzorů tlaku. Jedná se například o modulátory tlaku v automatických převodovkách, senzory tlaku v brzdových soustavách, senzory tlaku paliva v palivových jednotkách, senzory tlaku ve spalovacích jednotkách, senzory tlaku chladicího média v klimatizacích, vysokotlaké jednotky vstřikování dieselového nebo benzinového paliva, měření tlaku v common-rail jednotkách (dieselové i benzinové motory), stanovení tlaku v pneumatikách, **sacím potrubí (intake manifold)** a další. [9.2]

Tlakové senzory představují širokou skupinu zařízení, která se používají k měření absolutního, relativního, případně diferenciálního tlaku v plynech nebo kapalinách. Senzory poskytují signál do řídicí jednotky, což umožňuje regulovat funkci motoru, diagnostikovat stav částicového filtru (DPF popř. GPF), monitorovat tlak paliva, a to vše s cílem maximálně zefektivnit provoz automobilu a dosáhnout optimální spotřeby paliva a minimalizovat emise. Přehled a rozmístění tlakových senzorů v automobilu je znázorněn na **Obr. 9.4**.

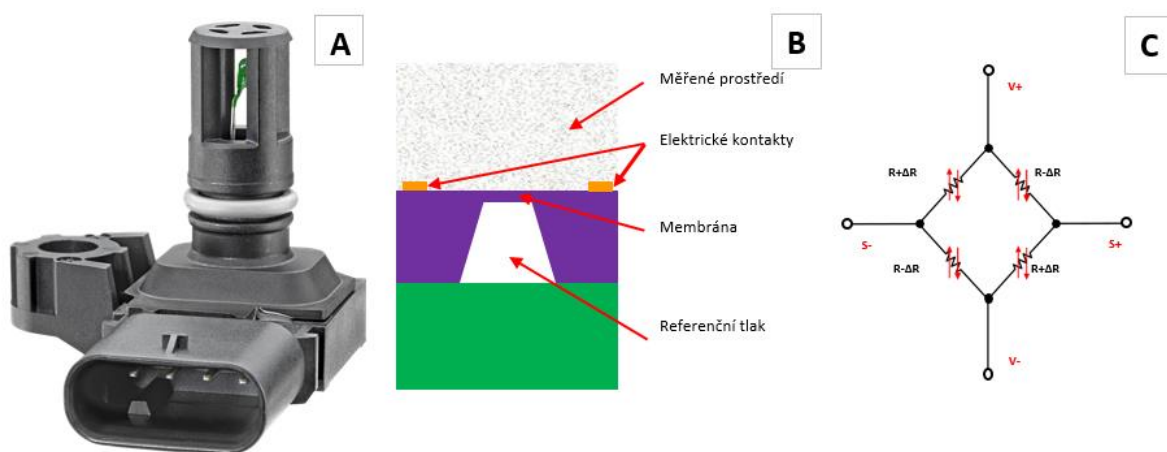


**Obr. 9.4** Přehled a rozmístění tlakových senzorů v osobním automobilu

Mezi nejvýznamnější tlakové senzory produkované společností Vitesco Technologies patří nízkotlaké absolutní senzory, nízkotlaké diferenciální senzory a vysokotlaké senzory. Nízkotlaké senzory využívají principu Wheatstonova můstku (změny odporu tenzometrického odporového snímače vyvolané v důsledku jeho deformace jsou velmi malé – řádově  $m\Omega$ , je nutné tyto snímače zapojovat do měřicích můstků). Metoda vyhodnocení velikosti odporu pomocí měřicího můstku patří do tzv. nulových metod měření, při kterých měřicí přístroj vykonává funkci nulového indikátoru.

[9.3]

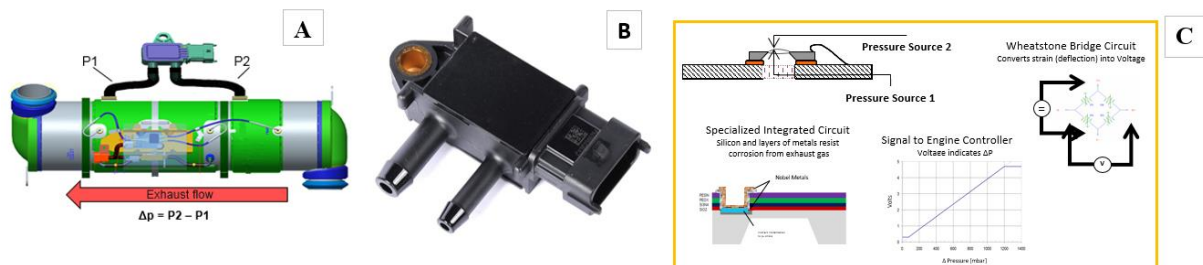
Wheatstonův můstek je vhodný pro měření středních hodnot odporu ( $10^{-1}$  až  $10^{-6} \Omega$ ). Příklad nízkotlakého diferenciálního senzoru teploty a tlaku vzduchu je uveden na **Obr. 9.5**.



**Obr. 9.5** Nízkotlaký diferenciální senzor teploty a tlaku vzduchu – A; princip fungování senzoru – B; Wheatstonův můstek – C

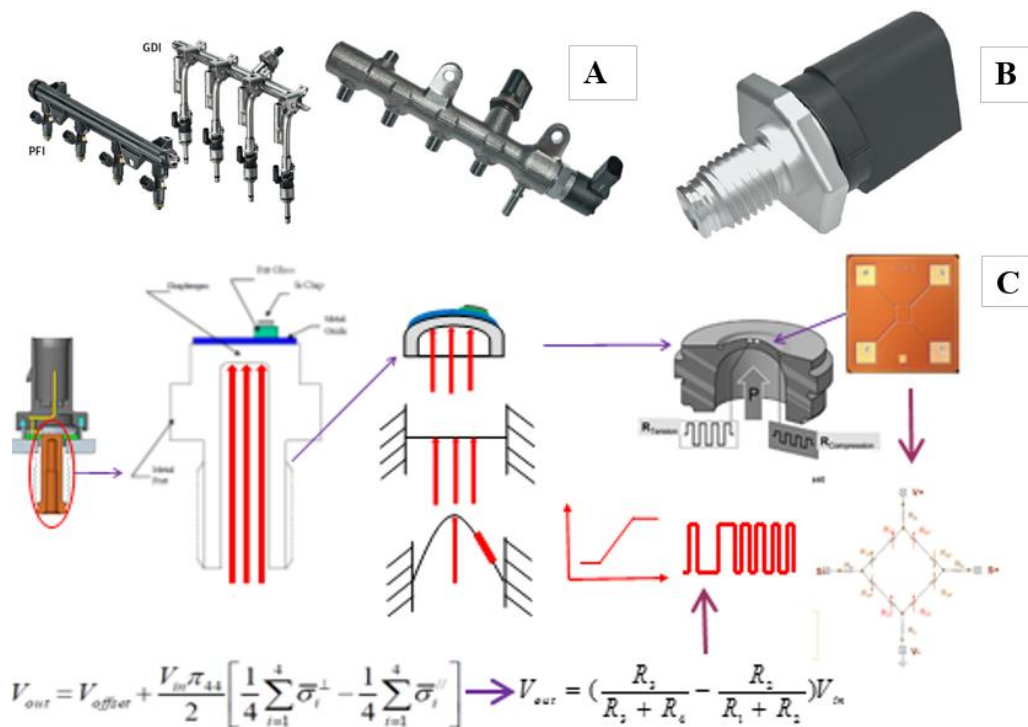
Pracovní rozsah tohoto senzoru je vymezen tlaky 7 až 500 kPa a teplotami  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Přesnost senzoru je na úrovni 1 % a doba odezvy je menší než 2 ms.

**Nízkotlaké diferenciální senzory** se využívají např. v částicových filtrech u dieslových i benzinových spalovacích systémů. Pracovní rozsah tlaků je 0 až 100 kPa a použitelný rozsah je -40 °C až 140 °C. Nízkotlaké diferenciální senzory se vyznačují přesností 0,5 % v celém rozsahu měření a dobou odezvy menší než 1 ms. Senzor samotný, jeho umístění a princip fungování jsou znázorněny na **Obr. 9.6**.



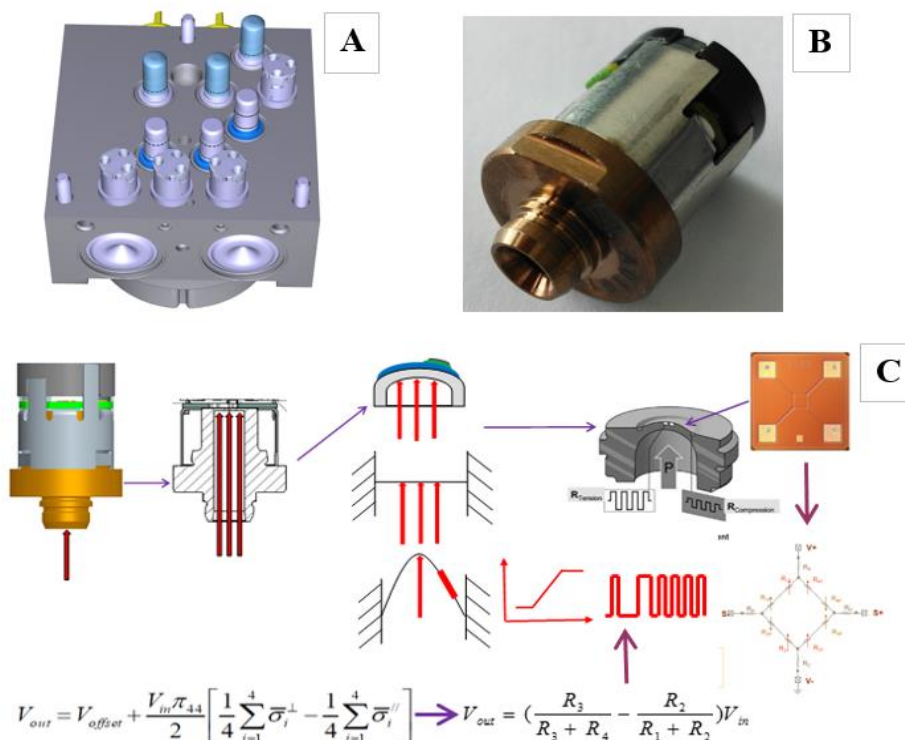
**Obr. 9.6** Schematické znázornění umístění nízkotlakého diferenciálního senzoru – A; senzor – B; znázornění fungování senzoru – C

Primární funkcí **vysokotlakých senzorů** je přímé měření tlaku u benzinových a dieslových palivových railů. Jejich další funkcí je schopnost měřit teplotu. Tyto senzory se vyznačují jiným měřicím rozsahem tlaků pro dieslové (0–300 MPa) a pro benzinové jednotky (0–50 MPa). Pracovní rozsah teplot je -40 °C až 140 °C, přesnost stanovení tlaku je 0,5 % na celém teplotním rozsahu. Doba odezvy senzorů je kratší než 1 ms. Princip fungování vysokotlakého senzoru je znázorněn na **Obr. 9.7**.



**Obr. 9.7** Umístění vysokotlakého senzoru – A; vysokotlaký senzor – B a princip fungování – C

Dalším významným vysokotlakým senzorem v portfoliu společnosti Vitesco Technologies je vysokotlaký senzor, který se používá k měření tlaku brzdové kapaliny.



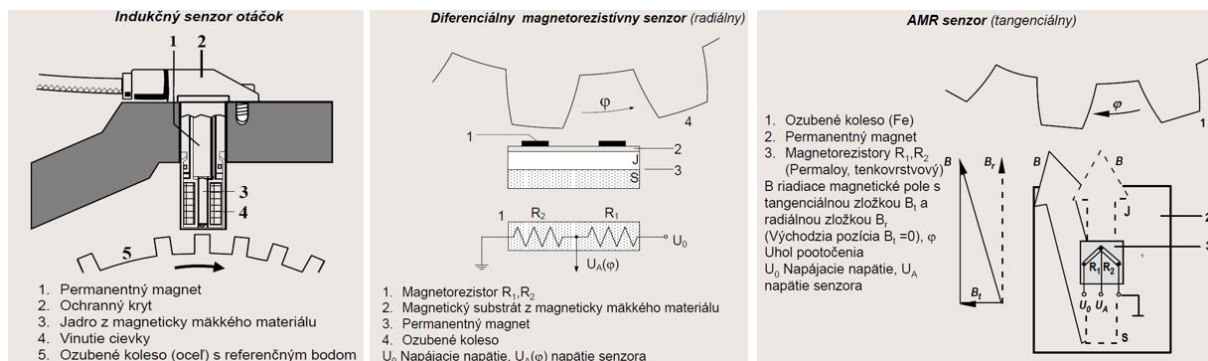
**Obr. 9.8** Umístění vysokotlakého senzoru brzdové kapaliny – A; senzor – B a princip fungování senzoru – C

## 9.2 Senzory rychlosti

V této kapitole se zaměříme především na senzory rotační rychlosti. Rozlišujeme mezi absolutní rotační rychlostí v prostoru a relativní rotační rychlostí mezi dvěma částmi. Příkladem absolutní rotační rychlosti je rychlost vozu při zatáčení kolem vertikální osy vozu. Příkladem relativní rotační rychlosti je rychlost klikové nebo vačkové hřídele, případně otáčky palivového čerpadla.

**Indukční senzory** patří do skupiny generátorových snímačů. Změna měřené neelektrické veličiny se převádí na změnu magnetického toku  $\Phi$  budicího obvodu, která vyvolá ve snímací cívce indukované napětí. Indukční senzory lze z tohoto důvodu rozdělit na elektromagnetické a elektrodynamické. U elektromagnetických senzorů působí neelektrická veličina na rychlost změny magnetického toku spojeného s  $N_z$  závitů pevné cívky. Magnetický tok se nejčastěji změní impedancí magnetického obvodu. [9.4]

Praktické využití nacházejí při snímání polohy klikové hřídele a snímání otáčení kol pro správnou funkci systému ABS. Příklad indukčního snímače rychlosti je znázorněn na **Obr. 9.9**.



Obr. 9.9 Ukázka indukčného, gradientného a tangenciálneho snímače [9.1]

**Hallové senzory** využívajú Hallův efekt, ktorý spočíva ve vychylování směru toku elektrického proudu v závislosti na velikosti indukce magnetického pole  $B$ , jež je kolmé na polovodičovou (křemíkovou) tenkou destičku, tzv. Hallův element. Výsledkem je generování rozdílového napětí na bočních stranách elementu úměrné právě velikosti působícího magnetického pole či jeho kolmosti vzhledem k destičce.

[9.5]

Současné induktivní snímače se většinou skládají z tyčového magnetu s magneticky měkkým pólovým nástavcem, na kterém je umístěna indukční cívka se dvěma vývody. Otáčí-li se před tímto snímačem feromagnetické ozubené kolo nebo jiný obdobně konstruovaný rotor, indukuje se v cívce přibližně sinusové napětí.

[9.6]

Typické uplatnění nacházejí tyto senzory při správném načasování zapalování a distribuci energie zapalování pro jednotlivé válce, dále pak v zařízení pro zamezení blokování brzd - ABS. Zde jsou snímače upevněny u kol vozidla a jejich signál je iniciován rotací ozubeného nebo děrovaného kotouče, sledujícího odvalování kola na vozovce. Standardní průběh signálu je ničím nepřerušovaná sinusovka. Až v okamžiku, kdy signál klesne na nulu, zaregistruje řídicí jednotka ABS zablokovaný stav kola a dá popud k uvolnění tlaku v dané větvi brzdové soustavy. Kolo se tím znovu roztočí a signál se obnoví. Signální kola ABS jsou nejčastěji namontována u kotouče nebo v bubnu brzd.

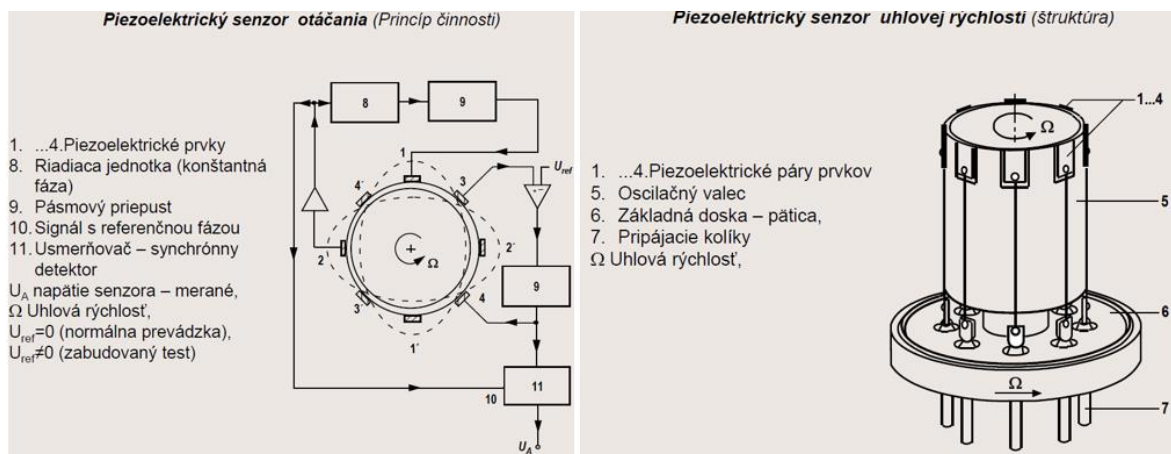
[9.6]

**Gradientní senzory** vycházejí z Hallových diferenciálních nebo diferenciálních magnetorezistivních senzorů. Obsahují permanentní magnet, jehož účinky jsou homogenizovány feromagnetickou destičkou. Ve vzdálenosti půl periody zubů jsou umístěny dvě Hallové sondy, což zajišťuje, že je vždy jeden Hallův senzor v pozici mezi zuby a druhý naproti zubu, viz Obr. 9.9.

**Tangenciální senzory** se liší od gradientních senzorů reakcí na změny polarity a velikosti tangenciálních složek magnetického pole vzhledem k obvodu rotoru. Tangenciální senzory nemusí být uzpůsobeny pozici zubů ozubeného kola, což je patrné z Obr. 9.9.

**Oscilační gyrometry** měří absolutní rychlost otáčení se vozidla kolem vertikální osy. Tento senzor se využívá např. v systému dynamického chování vozů (systém ESP) a dále při navigaci vozu.

**Piezelektrický senzor** rychlosti vybočení používá dva piezelektrické elementy, které leží přesně proti sobě a generují v dutém válci radiální rezonanční oscilace. Druhý piezelektrický pár udržuje konstantní amplitudu oscilací se čtyřmi uzly kmitání. Poloha uzlů odpovídá rychlosti otáčení okolo osy rezonančního válce, viz **Obr. 9.10**.

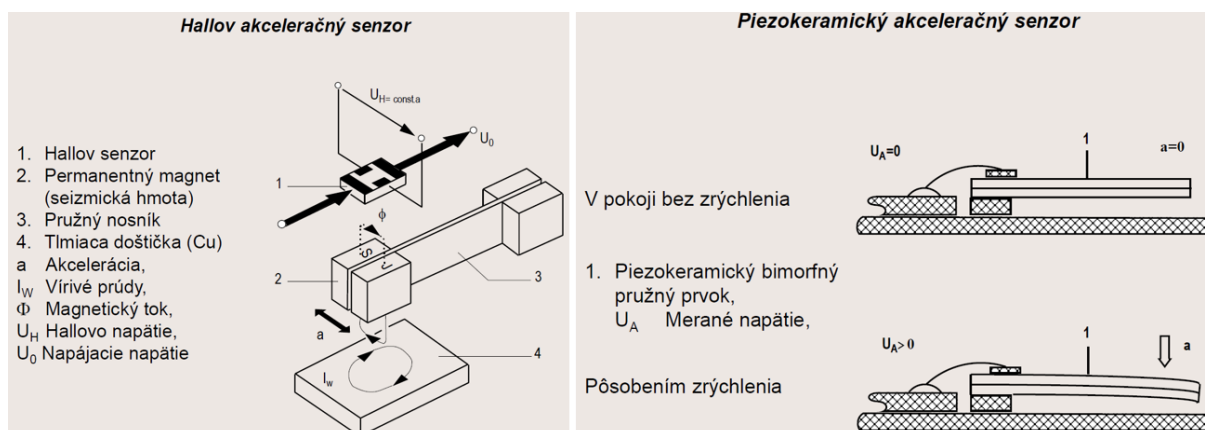


**Obr. 9.10** Piezelektrické senzory otáčania a uhlovej rýchlosti [9.1]

**Radary** využívajú elektromagnetické vlny v mikrovlnnom a rádiovom obore, pričom vzdálenosť objektu od automobilu sa zisťuje z doby príchodu odraženého signálu, ze zmeny frekvencie (Dopplerův jev) se vypočte rychlost objektu vzhledem k vozidlu. [9.7]

### 9.3 Senzory zrychlení

**Senzory akcelerace** fungující na principu Hallova jevu se uplatňují u vozidel vybavených systémem ABS, pričemž monitorují zrychlení v podélném a příčném směru. Hallův senzor zaznamenává vychýlení magnetu, který je upevněný na pružině. Senzor je navrhnutý pro činnost v úzkém frekvenčním rozsahu a je elektrodynamicky tlumený. Piezelektrické senzory zrychlení se využívají u airbagů a předpínačů pásů, kdy se využívají piezelektrické bimorfnní pružné elementy. Hybnost vlastní hmoty v důsledku akcelerace způsobuje vychýlení pružných elementů, což vytváří signál s dobrou frekvenční charakteristikou. [9.1]



Obr. 9.11 Hallův a piezokeramický senzor zrychlení [9.1]

**Křemíkový polovodičový senzor zrychlení** se vyrábí technologií selektivního leptání z monokrystalu křemíku, tedy technologií MEMS. Přesně definovanou mezeru mezi jednotlivými částmi oscilačního systému, který je hermeticky zapouzdřený, poskytují přesný a kompaktní senzor, u něhož je informační veličinou elektrická kapacita. [9.1]



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [9.1] GAMEC, J. *Automobilová elektronika* [online]. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2015 [cit. 2018-12-19]. ISBN 978-80-553-2084-7. Dostupné z: [https://data.kemt.fei.tuke.sk/Automobilova\\_elektronika/materialy/AE\\_prednasky/Automobilova\\_elektronika\\_I.pdf](https://data.kemt.fei.tuke.sk/Automobilova_elektronika/materialy/AE_prednasky/Automobilova_elektronika_I.pdf)
- [9.2] BOSCH GMBH, R. *Automotive Handbook*. 9th Edition. Wiley, 2014. ISBN 0837617324.
- [9.3] NOVOTNÝ, J. *Tenzometrický měřicí systém*. Brno, 2013. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=68058](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=68058) Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [9.4] ADÁMEK. *Indukční senzory* [online]. In: . Brno: Vysoké učení technické v Brně [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s\\_5\\_3.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_5_3.htm)
- [9.5] VOJÁČEK, A. Magnetické senzory s Hallovým efektem - 1. princip. *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. HW server, 2007 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-s-hallovym-efektem-1-princip>
- [9.6] *Snímače otáček* [online]. In: . Ostrava: Střední průmyslová škola, Ostrava - Vítkovice [cit. 2018-12-19]. Dostupné z:



[https://www.spszengrova.cz/texty/texty/AUE/AUE\\_snimace\\_spalovacich\\_motoru\\_JA\\_M.pdf](https://www.spszengrova.cz/texty/texty/AUE/AUE_snimace_spalovacich_motoru_JA_M.pdf)

- [9.7] Dopplerův jev. *Aldebaran* [online]. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.aldebaran.cz/zvuky/blyskani/docs/21.html>



## Shrnutí pojmů kapitoly

- Sensory rychlosti
- Sensory tlaku
- DPF (Diesel Particulate Filter) – filtr pevných částic odstraňující velmi jemné prachové částice z výfukových plynů vozidel s naftovým motorem
- GPF (Gasoline Particulate Filter) – filtr pevných částic pro vozidla s benzinovým (zážehovým) motorem



## Otázky k probranému učivu

1. Popište funkci, využití a princip fungování senzorů rychlosti.
2. Vysvětlete funkci, využití a princip fungování tlakových senzorů.

## 10 Měřicí postupy a přístrojové vybavení používané v laboratoři při testování a validaci jednotlivých typů senzorů



Čas ke studiu: 2,5 hodiny



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Definovat funkce laboratoře
- Popsat proces akreditace a jeho význam
- Definovat pojem norma a její smysl
- Popsat zkušební specifikace a jejich klíčové parametry
- Vysvětlit význam správného postupu při testování
- Definovat klíčová kritéria nezbytná pro optimální volbu materiálu
- Rozčlenit materiály z hlediska jejich ekonomické náročnosti
- Vybrat vhodný materiál na základě jeho fyzikálních a mechanických vlastností



**Výklad**

### 10.1 Funkce laboratoře a proces akreditace

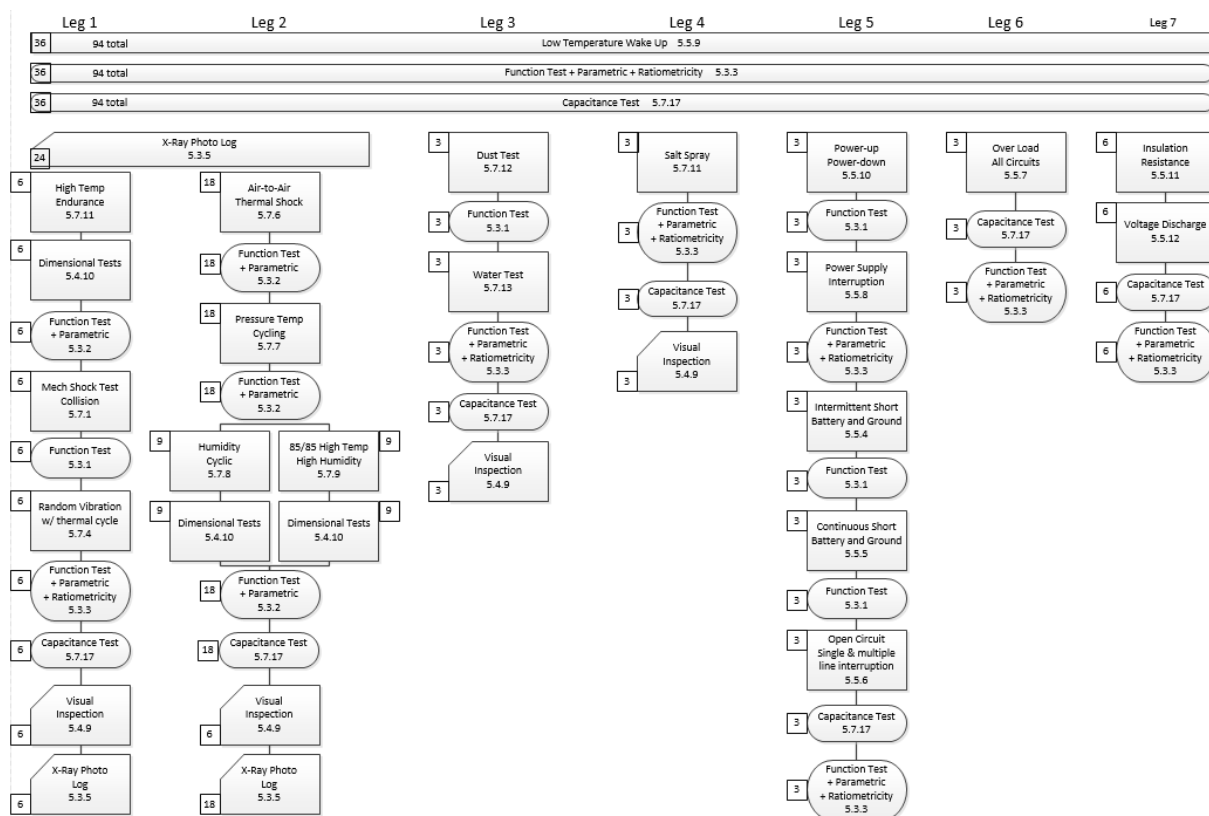
Laboratoř je nedílnou součástí každé společnosti, která se zabývá vývojem, popř. výrobou v automobilovém průmyslu. Během vývoje produktu je zcela nezbytné, aby byly empiricky ověřovány parametry produktu. Po fázi vývoje, kdy jsou využívány pro návrh nového produktu různé simulační SW nástroje, dojde každý produkt do fáze, kdy je třeba jej fyzicky vyrobit a začít ověřovat jeho parametry v praxi. Toto se děje v prostorách laboratoře. Zkoušení v laboratoři se dá obecně shrnout do několika různých typů – viz popis níže. V laboratoři dochází k ověřování parametrů zkušební položky, a to mechanicky, elektronicky, elektricky, environmentálně (zkoušky v simulovaném prostředí). Proto bývá laboratoř vybavena celou škálou různého náradí, měřicích přístrojů a zkušebních zařízení.

Označení skupin vzorků (zkušebních položek) podle jejich vývojové fáze:

- **A vzorky** (samples) – první fáze vzorků, tyto vzorky jsou vyrobeny prototypově v menších sériích, nemusí mít ještě konečný mechanický nebo elektrický design.
- **B vzorky** (samples) – druhá fáze vzorků, u kterých již předpokládáme, že design je konečný, ale stále se jedná o menší série prototypové výroby.
- **C vzorky** (samples) – tyto vzorky se už považují za konečné a jsou sériově vyráběny.

**Vývojové zkoušky (A nebo B vzorky)** – Tyto zkoušky jsou požadovány přímo ze strany vývojových oddělení (mechanický design, elektrický design, systémový inženýr, ...) a jejich cílem je vyřešit důležité otázky, které vznikají během návrhu produktu a které nelze ověřit simulací. Typicky se jedná o různé zkoušky vhodnosti materiálu, ověření menší částí designu, zda vyhovuje představám vývojářů apod. Tyto zkoušky nebývají nikde dopředu specifikovány a velice často se navrhují ve velmi krátkém čase a podle potřeb vývoje. Během nich velmi úzce spolupracuje vývojář přímo s konkrétním testovacím inženýrem, který mu pomáhá v provedení zkoušky. V každodenní činnosti laboratoře zabírají tyto zkoušky spíše menší část, protože vývojáři mají stále více k dispozici vlastní malé dílny/laboratoře, kde si tyto zkoušky mohou provádět zcela mimo systém laboratoře. Obvyklá délka zkoušek se počítá ve dnech.

**Designové validace neboli DV (B vzorky)** – Tyto zkoušky se řadí mezi ty nejčastěji prováděné v každé laboratoři. Po dohodě se zákazníkem bývá na začátku vývoje domluvena zkušební specifikace. Obsahuje detailní popis produktu, jeho parametry a souhrn všech zkoušek, které jsou požadovány pro jeho ověření – verifikaci. Tyto zkoušky se řadí do skupiny nazývané „leg“ a souhrn všech skupin se nazývá „test flow“. Pro každou skupinu je definován počet kusů, na kterém se zkoušky provádějí. Tyto kusy se nazývají DUT – Device Under Test. A zkoušky se pak vždy provádějí v definované posloupnosti.



*Obr. 10.1 Ukázka test flow a jednotlivých legů*

Oproti vývojovým zkouškám mají DV striktně nastavenou zkušební specifikaci, která musí být laboratoří dodržena, a průběh s výsledky zkoušek jsou formou zkušební zprávy zasílány zákazníkovi. Cílem zkoušení je vyhodnotit, zda navržený design produktu je zvolen správně a vyhovuje všem požadavkům. V této fázi zkoušení je možné ještě provést změny v designu produktu, pokud se ukáže, že je po zkouškách nevyhovující. Obvyklá délka DV se počítá v měsících.

**Produktové validace** neboli PV (C vzorky) – Struktura zkoušek je obdobná jako u DV. Zkušební specifikace obvykle vychází ze specifikace DV. Někdy je trochu změněné pořadí zkoušek v legu, popř. některé zkoušky nejsou požadovány. Cílem zkoušení je vyhodnotit, zda je produkt správně vyroben na lince a zda splňuje veškeré požadavky zákazníka. V této fázi zkoušení již nedochází ke změně produktu, pouze k ladění výrobní linky, pokud to je potřeba. Obvyklá délka PV se počítá v týdnech.

**Revalidace** (C vzorky) – Opět se požaduje specifikace, kde je obvykle popsán zkrácený test flow z PV. Revalidace se provádí vždy jednou ročně a slouží k ověření stálosti parametrů výrobní linky. Obvyklá délka revalidací se počítá v týdnech.

### **Co je akreditace a k čemu je dobrá**

Vývoj produktu je velmi náročný, klade velké finanční i časové nároky na firmu, která se jím zabývá. Zkoušení patří ve vývojové fázi mezi ty nejdražší položky, jež jsou velmi časově náročné. Je tedy velmi žádoucí, když má laboratoř nastaven systém kvality, jímž kontroluje a garantuje svým zákazníkům, že dané zkoušky provádí v souladu se specifikacemi/normami. Tyto systémy kvality se prokazují tzv. certifikací, a pokud firma některý certifikát získá, garantuje tím svému zákazníkovi, že splňuje dané požadavky na kvalitu. Nejvyšší forma takového ověření v ČR je takzvaná akreditace.

**Akreditace** vychází ze slova accredo – dávat důvěru. Pro laboratoř to znamená vytvořit systém kvality podle normy ČSN EN ISO/IEC 17025 vždy v aktuální revizi. Následně si musí zažádat u ČIA (Český institut pro akreditaci) o udělení akreditace. ČIA je státem vlastněná organizace, která vykonává nezávislý dohled nad laboratořemi, jež spadají do systému akreditace. Tento dohled je prováděn formou několikadenních auditů, kdy auditoři zkoumají nastavený systém kvality laboratoře, a teprve až usoudí, že tento systém je zcela v souladu s požadavky akreditační normy, udělí laboratoři akreditaci. Je nutno podotknout, že celý proces je finančně i časově velmi náročný a klade na laboratoř ty nejvyšší nároky. Po udělení akreditace celý proces nekončí. ČIA provádí i následné dozorové návštěvy, a laboratoř tak může svému zákazníkovi garantovat, že je zcela nezávislá, provádí zkoušky v souladu s normami a specifikacemi. A pokud dojde k nějakému pochybení, je toto pochybení systémově řešeno, napraveno a jsou vytvořena nápravná opatření, aby se již neopakovalo.

Akreditace se vždy musí vztahovat na určitý proces, který je možno zaštitit národní nebo mezinárodní normou. Je tedy obvyklé, že laboratoře mají část svých procesů (proces se dá v tomto případě považovat za konkrétní zkoušku z test flow) akreditovanou a část ne.

Laboratoř společnosti Vitesco Technologies Ostrava byla úspěšně akreditována v roce 2017 pro procesy týkající se klimatických zkoušek a v roce 2018 pro procesy týkající se EMC (electromagnetic compatibility). V následujících letech se nadále počítá s rozšiřováním akreditovaných procesů.

## 10.2 Normy, zkušební specifikace a proces testování

### Normy a zkušební specifikace

Nedílnou součástí zkoušení je znalost zkušebních specifikací a norem, jež se používají pro všechny druhy standardizovaných zkoušek. Každý zákazník, který chce po laboratoři provádět zkoušky/měření, musí dodat příslušnou specifikaci nebo normu a laboratoř vždy musí postupovat v souladu s těmito dokumenty. Pokud to není možné, je vždy nezbytné informovat zákazníka a domluvit s ním další postup, nejčastěji objednání zkoušek v externí laboratoři.

**Zkušební specifikace** (test specification) – Jedná se o stěžejní dokument pro DV a PV zkoušky. Před začátkem projektu dohodne systémový inženýr ve spolupráci s vývojovými inženýry a oddělením kvality podobu zkušební specifikace přímo se zákazníkem. Jakmile je specifikace schválena, je přiložena k požadavku na provedení zkoušek v laboratoři a laboratoř vždy musí postupovat v souladu s ní. Obsahuje popis zkoušek, test flow a jednotlivé legy. V některých zkouškách se odkazuje na normy.

**Normy** – Souhrn technických doporučení, která jsou pod záštitou národní nebo mezinárodní organizace. Typicky jsou značeny ČSN pro národní normy, EN pro evropské normy a ISO pro mezinárodní normy. Normy jsou nejvíce nadřazený dokument pro provádění zkoušek a akreditovaná laboratoř vždy vychází z konkrétní normy pro daný akreditovaný proces.

Rozdíl mezi normou a specifikací je v tom, že specifikaci si sepisuje zákazník ve spolupráci s vývojáři společnosti. Není nikde stanovena pevná struktura a zkoušky popisované ve specifikaci mohou být libovolné, pokud se na tom dohodne zákazník a dodavatel. Normy jsou oproti tomu pod záštitou národní nebo mezinárodní organizace, která je vydává, a výklad normy je závazný a nelze ho nijak měnit.

### Postup zkoušení v laboratoři

Jak vlastně probíhá proces zkoušení v laboratoři od úplného začátku?

**Zadání požadavku** - Zadání požadavku od zákazníka laboratoře do laboratoře probíhá formou vytvoření strukturovaného požadavku přes tzv. laboratorní databázi (LabDTB). Zákazník vyplní kartu požadavku, kde vypíše co největší množství informací. Mezi povinné

pole k vyplnění patří zkušební specifikace/norma, projekt (na který bude laboratoř účtovat své náklady), jméno zadavatele, termín dodání zkušební položky, termín ukončení zkoušení atp. Požadavek je přiřazen konkrétnímu testovacímu inženýrovi, který má daný projekt na starosti. Pokud nebyl v přípravě projektu žádný testovací inženýr nominován, je požadavek vystaven na vedoucího laboratoře, který jej přiřadí.

**Přezkoumání požadavku** – Testovací inženýr provede kontrolu zadaného požadavku, kdy se zaměří na prostudování zkušební specifikace. Rozhodne, zda je schopen splnit všechny požadavky specifikace, zkontroluje si dostupnost zařízení, jež je potřeba využít. Na základě těchto informací rozhodne, jestli je schopen požadavek v termínu dokončit, a přijme jej. V opačném případě vrátí požadavek zadavateli s komentářem, co je třeba napravit. V případě přijetí požadavku testovací inženýr okamžitě provádí rezervaci potřebných zkušebních zařízení v systému LabDTB.

**Předání vzorků do laboratoře** – Zadavatel požadavku donese zkušební položky do laboratoře, kde je umístí na speciální místo k tomu určené.

**Uchování zkušebních položek do doby, než započne zkoušení** – Zkušební položky jsou označeny číslem požadavku a jsou před zkouškou uchovány ve vhodných klimatických podmínkách. To znamená, že nejsou vystaveny nadměrné teplotě ani kondenzující vlhkosti.

**Příprava na zkoušení** – Testovací inženýr si připraví veškeré potřebné prostředky pro zkoušení, kabeláže, konektory, měřicí zařízení, monitorovací zařízení. Nastaví si potřebné zkušební profily ve zkušebních zařízeních. Zkušební položky si nafotí, popíše a zaznamená si případné veškeré požadované parametry.

**Zkoušení** – Testovací inženýr ve spolupráci s technikem laboratoře provede zkoušku, která se striktně řídí postupem daným ve zkušební specifikaci nebo v normě.

**Ukončení zkoušení** – Po ukončení zkoušky si testovací inženýr zaznamená výstupní parametry, připraví si veškerá naměřená data k vyhodnocení, připraví si k vyhodnocení záznamy ze zkušebního zařízení. Zkušební položky si opět nafotí.

**Předání zkušebních položek zpět zákazníkovi** – Testovací inženýr umístí zkušební položky zpět na místo k tomu určené a informuje zákazníka, že si je může odebrat.

**Vytvoření zkušební zprávy (test report)** – Testovací inženýr zpracuje veškerá data, která sesbíral během zkoušení, a vytvoří výstupní zkušební zprávu podle šablony, již má laboratoř vytvořenou.

**Ukončení požadavku** – Požadavek je ukončen ve chvíli, kdy laboratoř předá zákazníkovi zkušební položky, zkušební zprávu a zadavatel v LabDTB potvrdí, že je pro něj vše v pořádku.

### 10.3 Vybavení laboratoří

Laboratoř využívá nejrůznější vybavení pro verifikaci a validaci produktů. Vybavení lze rozdělit do dvou skupin. První skupina jsou zařízení, která si laboratoř nechává vyvinout na míru, případně si vyvine sama. Jedná se především o zařízení, jež nejsou na trhu dostupná, protože dané zkoušky nejsou obecně rozšířeny. V takových případech se velmi často využívají technické a softwarové prostředky od společnosti National Instruments (NI).

Druhá skupina jsou standardizovaná zařízení, která nabízejí výrobci nejrůznějších značek a která laboratoř pořizuje na základě technických specifikací pro daný okruh zkoušek.

#### **Typy zkoušek:**

##### Funkční zkoušky

Funkční zkoušky patří mezi základní činnosti zkušebny. Slouží k vyhodnocení a kontrole správných funkcí dané zkušební položky. Obsahem těchto zkoušek je celá řada zkoumaných parametrů, definovaných pro konkrétní zkušební položku, jeden z nich je např. měření elektrických veličin – zjištění odezvy požadované veličiny od zahájení po ukončení zkoušky (veličina: odpor). Sledované signály či veličiny jsou připojeny na vstupní karty počítače, který je průběžně zaznamenává a vzniklá data okamžitě zapisuje do diskové paměti. Z těchto důvodů se tyto zkoušky nejčastěji používají na začátku a konci celého procesu zkoušení (tzv. pre-test a post-test). Dále se s nimi setkáváme mezi jednotlivými po sobě jdoucími environmentálními zkouškami.

##### Environmentální zkoušky

Zkoušky působení vnějších vlivů.

##### Klimatické zkoušky

Pro tyto zkoušky se využívají speciální komory, které umožňují velice přesně simulovat podmínky prostředí, tedy teplotu a/nebo vlhkost. Obvyklý rozsah teplot, jež tyto komory umí nasimulovat, se pohybuje v rozmezí  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ale jsou i komory, které zvládají simulovat extrémní podmínky až do  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pro vlhkost se tento rozsah pohybuje mezi 0 až 99 % RH (relativní vzdušná vlhkost). Velmi často se tyto podmínky kombinují, simulují se tedy podmínky jak teplotní, tak vlhkostní najednou. Tyto zkoušky slouží k ověření odolnosti výrobku na různé teplotní a vlhkostní podmínky, které mohou nastat v místě instalace (například prostor motoru nebo výfukového systému), případně které mohou nastat v místě provozu výrobku (produkt musí fungovat stejně v chladné Kanadě, v teplé jižní Evropě nebo ve vlhkých prostředích subtropických oblastí). Těmito zkouškami je možné velmi zrychleně, v rámci týdnů až měsíců, nasimulovat celá životnost produktu na cca 10 let provozu nebo 200 000 km.

##### Šokové zkoušky



Jedná se o specifický případ klimatických zkoušek, které využívají speciální šokové komory. Tyto komory mají dvě (nejčastěji) až tři oddělené prostory, v nichž se dá nasimulovat teplota. Nejčastěji se využívá jeden prostor pro simulaci nízkých teplot a jeden pro simulaci vysokých. Mezi těmito prostory pak velmi rychle přejíždí koš, kde jsou uloženy vzorky, a tyto vzorky se tedy velice rychle dostávají z jednoho prostředí do druhého. Z těchto teplotních šoků se pak provádí definovaný počet, obvykle ve stovkách až tisících. Při každé teplotě je vzorek exponován tak dlouho, aby teplota stihla prostoupit celým jeho objemem.

Tyto zkoušky se nejčastěji používají pro ověření teplotních odolností použitých materiálů a také pro ověření kvality pájených spojů.



*Obr. 10.2 Ukázka klimatické (A) a šokové komory (B)*

### Zkoušky těsnosti

Tyto zkoušky se využívají pro určení těsnosti vzorků. Takto se ověřuje kvalita různých spojů. Mezi nejobvyklejší způsob zkoušení patří takzvaný bublinkový test (bubble test), kdy se vzorek naplní stlačeným vzduchem a ponoří do vody. Pokud se začnou objevovat bublinky, víme o přítomnosti netěsnosti. Tento způsob je velmi levný a časově nenáročný a umožňuje dobrou identifikaci místa úniku, bohužel neposkytuje exaktní hodnoty množství úniku, není vhodný pro malé úniky a nehodí se ani pro vzorky, které nesmí přijít do kontaktu s vodou.

Proto se v laboratořích využívají přesné tlakové kontrolery, které umožňují pomocí speciálních přípravků natlačit vzduch do vzorku, pak jej nějakou dobu časově stabilizovat na stále stejný tlak (kvůli teplotní kompenzaci) a poté umí měřit celkový únik ze systému.

Jelikož objem systému je známá konstanta, tak jsme poté schopni dopočítat hodnotu úniku velmi přesně, řádově se zde pohybujeme někde na úrovni tisícín baru na litr za sekundu. Tyto přístroje jsou již velmi dobře použitelné pro širokou oblast měření, mezi jejich nevýhody patří především velká teplotní závislost a požadavky na stabilitu okolního prostředí. Toto se dá částečně kompenzovat využitím podtlakové metody, která je analogická, ale dochází při ní k odsávání vzduchu ze systému a měří se pak množství nasátého vzduchu, který do sebe systém absorbuje.

V průmyslu se ovšem setkáváme i s případy, kdy potřebujeme měřit a identifikovat netěsnosti na úrovni miliontin baru na litr za sekundu i více. Pro tato měření se využívají heliové detektory, jež fungují na bázi hmotnostního spektrometru, který analyzuje množství molekul helia ve vakuu. Metod měření je více, principiálně se jedná o to, že na vzorek ve vakuu vypustíme helium a poté měříme množství molekul helia, které vzorkem prostoupí do samotného heliového detektoru. Tato metoda je velmi přesná a není příliš teplotně závislá, je však cenově i technologicky dosti náročná.

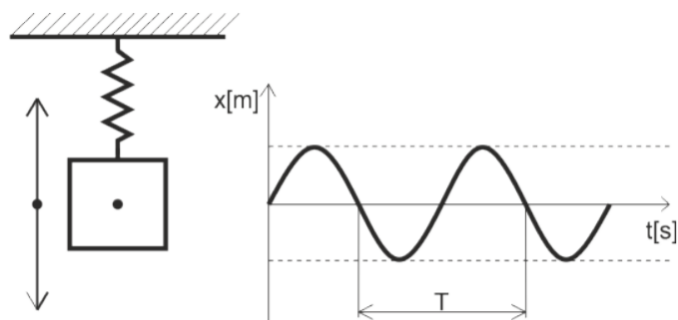


*Obr. 10.3 Přístroj používaný pro detekci netěsnosti produktů*

### Vibrační zkouška

V případě vibrační diagnostiky analyzujeme odezvu na působící příčinu čili vibrace, jejichž charakter závisí na druhu působící síly. Běžné typy budící síly jsou:

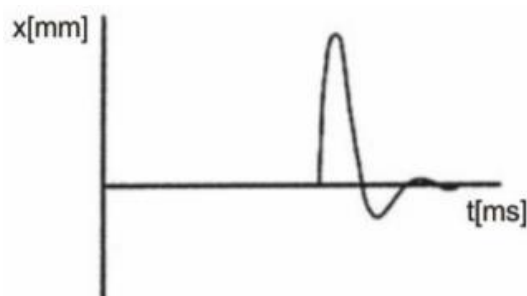
- **Periodická budící síla** – neustále se opakující budící síla shodného tvaru (harmonická),



*Obr. 10.4 Příklad čistě harmonického vibračního signálu [10.1]*

kde  $T$  je perioda,  $t$  je čas a  $x$  je aktuální výchylka. Typické zkoušení v automotive průmyslu probíhá za následujících parametrů pro harmonické vibrace: frekvenční pásmo 10 Hz – 2 kHz (výjimečně do 5 kHz).

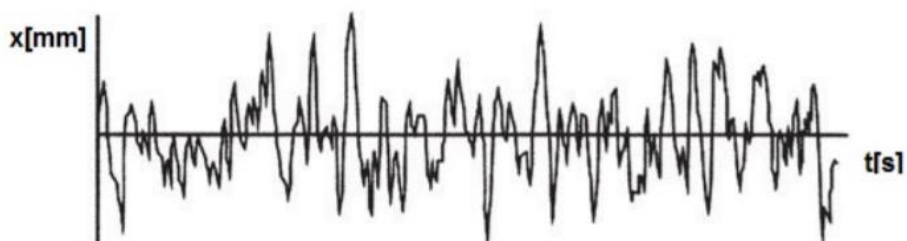
- **Impulzní budič síla** – ojedinělý impulz, který má krátké trvání a následně zmizí,



*Obr. 10.5 Příklad mechanického rázu [10.2]*

kde  $t$  je čas a  $x$  je aktuální výchylka. Typické zkoušení v automotive průmyslu probíhá za následujících parametrů pro vibrace mechanickým rázem: zrychlení 100 G, šířka pulzu 11 ms, průběh signálu half sinus.

- **Budič síla náhodného průběhu** – má vždy jinou velikost, je neperiodická a nelze ji vyjádřit funkcí. [10.2]



*Obr. 10.6 Příklad stacionárního náhodného vibračního signálu [10.2]*

Zkoušecí zařízení umožňuje současně provádět kombinované vibrační a klimatické zkoušky (v tomto případě je použita klimatická komora nad vibrační stolicí). Při těchto zkouškách lze naladit libovolný zadaný signál v rozsahu daného zařízení v libovolně zadaném bodě zkušební položky. Typickým výstupem je graf reálně zaznamenaného vibračního signálu z průběhu zkoušení.

### Korozní zkouška

Atmosférická koroze nepříznivě ovlivňuje užité i estetické vlastnosti zkušební položky. Urychlené korozní zkoušky jsou nezbytnou pomůckou při zkoušení kvality a životnosti kovových či polymerních materiálů.

Nejrozšířenější zkouškou je zkouška korozní odolnosti v solné mlze. Tato mlha může být tvořena neutrálním chloridem sodným o koncentraci 5 hm. % (NSS), chloridem sodným okyseleným kyselinou octovou (ASS) či s přídavkem chloridu měďnatého (CASS).

Z důvodu potřeby lépe odpovídajícím podmínkám různých korozních prostředí se stanovily testovací sekvence neboli cyklické korozní zkoušky, které se často používají v kombinaci solné mlhy, vlhkosti a vysoké či nízké teploty.

### Mezi další zkoušky patří:

- zkouška oxidem siřičitým (Kesternichova zkouška) – kombinace vysoké vlhkosti s oxidem siřičitým;
- zkouška odolnosti proti UV záření a vlhkosti. [10.3]

### IP zkoušky

Stupeň krytí (IP) udává odolnost elektrických zařízení proti vniknutí cizího tělesa a vniknutí kapalin, zejména vody.

Označení je vyjádřeno ve formátu IP XX, kde:

**První charakteristická číslice** udává stupeň ochrany před dotykem nebezpečných částí a před vniknutím cizích pevných těles.

IP 0X – Nechráněno.

IP 1X – Zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 50 mm a větších a před dotykem hřbetem ruky.

IP 2X – Zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 12,5 mm a větších a před dotykem prstem.

IP 3X – Zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 2,5 mm a větších a před dotykem nástrojem.

IP 4X – Zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 1 mm a větších a před dotykem drátem.

IP 5X – Zařízení je chráněno před prachem a před dotykem drátem.

IP 6X – Zařízení je prachotěsné a je chráněno před dotykem drátem.

**Druhá charakteristická číslice** udává stupeň ochrany proti vniknutí vody s nebezpečnými účinky.

IP X0 – Nechráněno.

IP X1 – Svisle kapající voda.

IP X2 – Voda kapající ve sklonu 15°.

IP X3 – Kropení, déšť.

IP X4 – Stříkající voda.

IP X5 – Tryskající voda.

IP X6 – Intenzivně tryskající voda.

IP X7 – Dočasné ponoření.

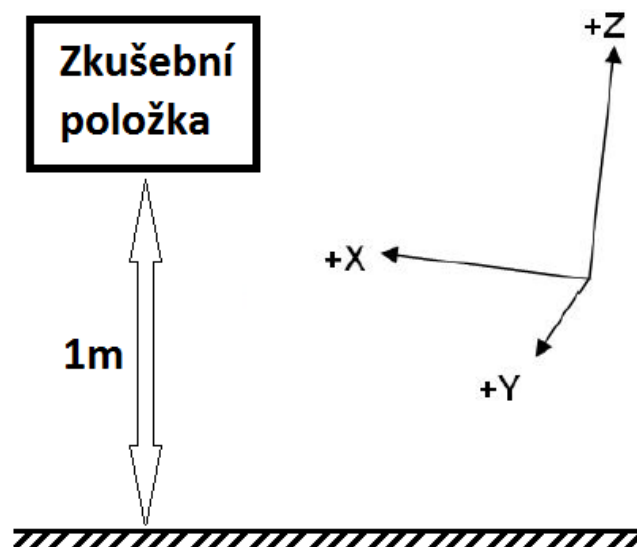
IP X8 – Trvalé ponoření.

[10.1]

Typické zkoušky realizované v laboratoři se rozdělují na dva typy, a to zkoušky proti vniknutí prachu IP 6X a zkoušky proti vniknutí vody IP X4 a IP X7, kde sledujeme funkčnost zkušební položky při působení konkrétní zkoušky.

#### Zkouška pádem (Drop test)

Zkouška reprezentuje možnost poškození pádem na podlahu z důvodu přepravy či manipulace. Sledujeme, zda po zkoušce vzniklo mechanické poškození. V případě poškození, které není viditelné, musí zkušební položka pracovat správně. Taková typická zkouška probíhá nastavením 1 m výšky zkušební položky nad betonovou deskou a následným volným pádem zkušební položky podle osy X, Y a Z.



*Obr. 10.7 Příklad provedení zkoušky pádem*

## Chemické zkoušky

Chemické zkoušky představují skupinu testů, jejichž primárním cílem je ověřit odolnost použitých materiálů a také odolnost proti působení vnějších vlivů (chemických látek), které mohou negativně ovlivňovat funkčnost a životnost senzorů a dalších produktů. Mezi nejčastěji volené zkoušky patří expozice senzorů, resp. jeho částí, činidlům, jako je voda, vodní páry, syntetická močovina, různé typy olejů (např. motorové a silikonové), oxidační či redukční atmosféra aj. Cílem je ověřit, zda prostá expozice chemickou látkou či při zvoleném synergickém působení této látky a dalšího parametru (např. proměnlivá teplota, vlhkost aj.) nedochází k ovlivnění funkce senzoru. Chemické zkoušky mají za cíl simulovat reálné environmentální vlivy, kterým jsou senzory vystaveny, avšak v podstatně kratším čase.



### Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [10.1] BILOŠ, J. a A. BILOŠOVÁ. *Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktérů a vývojářů: část Vibrační diagnostika* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2755-1.pdf>
- [10.2] WEIGL, M. *Měření vibrací*. Brno, 2011. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=41669](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41669)  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [10.3] HRUŠOVSKÝ, K. Urychlené korozní a klimatické zkoušky. *Technopark: Kralupy* [online]. Kralupy nad Vltavou: Technopark Kralupy VŠCHT Praha, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.technopark-kralupy.cz/urychlene-korozni-zkousky>



### Shrnutí pojmů kapitoly

- Funkce a vybavení laboratoří
- Normy a proces akreditace laboratoří
- Druhy testů, jejich význam a klasifikace



### Otázky k probranému učivu

1. Vysvětlete význam testování v automobilovém průmyslu.
2. Co to jsou normy a k čemu slouží?
3. Charakterizujte proces akreditace a její význam.
4. Popište test flow a jeho význam.
5. Definujte nejvýznamnější funkční a environmentální testy.

## 11 Návrh schématu a desky plošných spojů s ohledem na elektrické vlastnosti a elektromagnetickou kompatibilitu pro automobilový průmysl



**Čas ke studiu:** 1 hodina



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete:

- Umět definovat požadavky na automobilovou elektroniku
- Znat typickou architekturu elektroniky v automobilovém senzoru (blokové schéma)
- Mít přehled o automobilových sběrnících – HW architektuře (CAN, LIN, SENT, PSI5, PWM)
- Umět popsat ochranné prvky (přepěťová ochrana, reverz polarity, filtry)
- Znat základní informace o speciálních integrovaných obvodech (ASIC), validacích a přípravě sériové výroby



**Výklad**

### 11.1 Požadavky na automobilovou elektroniku

Automobilová elektronika pracuje v podmínkách, které bychom mohli v mnoha ohledech označit jako extrémní. Automobil by měl spolehlivě pracovat v různých zemích a klimatických podmínkách naší planety, kde může být vystaven silným mrazům, vysokým teplotám, vysoké vlhkosti, prachu, otřesům, chemickým vlivům apod. Zároveň musí odolat i nepříznivým podmínkám, které sám svou činností vytváří, jako je vysoká teplota, vibrace, elektromagnetické rušení apod. Tomu všemu musí být schopna automobilová elektronika odolávat, a to po celou dobu životnosti automobilu.

Podívejme se na tyto požadavky trochu podrobněji:

- Rozsah pracovních teplot může být od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , krátkodobě dokonce až  $+165\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tuto skutečnost je potřeba řešit výběrem komponent, které jsou pro takový teplotní rozsah kvalifikovány (AECQ100 grade 0).
- Teplotní cykly představují různě rychlé změny teploty z minusových do plusových hodnot a obráceně, automobilová elektronika jich musí vydržet až několik tisíc.



- Vlhkost může působit na elektronické obvody v podobě kondenzované vzdušné vlhkosti, povětrnostních vlivů nebo při mytí automobilu. Proti tomuto působení je potřeba elektroniku chránit vhodnou povrchovou úpravou hotových desek např. lakováním či utěsněním v mechanické zástavbě (krabice).
- Vibrace a mechanické rázy mohou dosahovat hodnot až několika desítek g. Nepříznivý vliv vibrací lze ovlivnit vhodnou volbou komponent (menší a lehčí komponenta odolá vibracím lépe než komponenta větší a těžší) nebo jejich mechanickou fixací (např. zakápnutí lepidlem).
- Elektromagnetická kompatibilita se týká vzájemného „soužití“ elektrických a elektronických zařízení na palubě automobilu i vzhledem k okolnímu prostředí. Elektronická zařízení vozidla musí být navržena tak, aby neprodukovala rušivá elektromagnetická pole větší, než jsou stanovené limity, a zároveň byla schopna odolat rušivým elektromagnetickým polím až do stanovené úrovně.
- Robustnost elektronického designu spočívá především v tom, že bude schopen správně pracovat s komponentami v celém rozsahu tolerancí a v různých kombinacích těchto tolerancí. Tento požadavek souvisí s tím, že automobilové díly se vyrábějí ve statisícových až milionových sériích a při výrobě se používají komponenty z celého tolerančního spektra.
- Životnost znamená, že parametry elektronických zařízení budou minimálně ovlivněny stárnutím jednotlivých komponent po dobu až několik desítek let.
- Stabilita dodávek znamená, že je potřeba zajistit dodávky komponent v požadovaném množství a kvalitě po celý výrobní cyklus (obvykle 4 až 8 let).

Z tohoto přehledu požadavků je patrné, že vyvinout elektroniku pro použití v automobilu a splnit všechny požadavky může představovat poměrně náročný úkol.

Aby vývojový inženýr věděl, co má navrhnout, je jedním z prvních dokumentů, který musí vytvořit, tzv. elektronická specifikace a EMC specifikace. Zde jsou kromě samotné funkce daného obvodu popsány další požadavky, které musí daný obvod splnit, např. rozsah napájecího napětí, rozsah pracovních teplot, proudový odběr apod.

Jedním z velice podstatných úkolů při tvorbě této specifikace je transformování zákaznických požadavků do detailních požadavků na elektronický modul. Jako příklad můžeme uvést zákaznický požadavek na měření nějaké fyzikální veličiny (například teplota  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  s přesností 1 %). Elektronika pak ale měří pouze elektrické veličiny, například napětí, a to z teplotního senzoru v rozsahu od 5 mV do 35 mV.

## 11.2 Typická architektura elektroniky v automobilovém senzoru

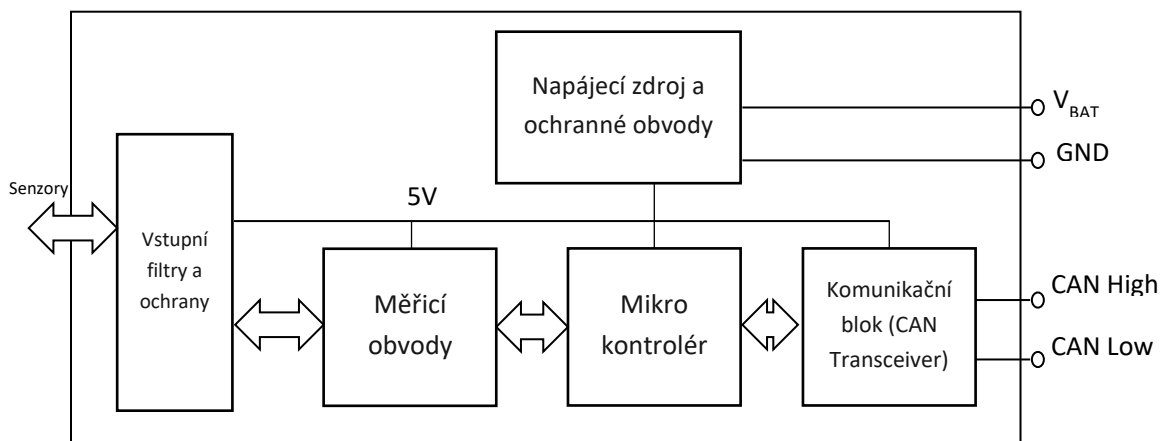
Na základě výše zmíněných požadavků na elektroniku se v prvním vývojovém kroku vytváří architektura, často také označovaná jako blokové schéma. Tento hrubý popis elektronického modulu definuje jednotlivé funkční bloky a jejich vztahy. Tímto způsobem se popisují základní požadavky jednotlivých bloků.

Podle rozsahu funkčnosti se pak architektura může lišit počtem a složitostí funkčních bloků.

Typy architektury:

- pasivní – obsahují jen ochranné obvody, přizpůsobení a filtry;
- aktivní – obsahují aktivní elektroniku, integrované obvody nebo zákaznické obvody;
- embedded (HW&SW) – součástí je mikrokontrolér, který vykonává často složité řídicí, výpočetní a kontrolní činnosti.

Vzhledem ke stále větším nárokům na funkčnost elektroniky se skupina programovatelných systémů stává nutností i u původně ryze pasivních systémů. Takováto elektronika je většinou založena na 8- a 16bitových mikrokontrolérech. U složitějších systémů se používají výkonné 32/64bitové procesory, které už musí zvládat náročné operace. Jako příklad je možné uvést řídicí jednotky motorových agregátů, informační a multimediální systémy, asistenty řízení a autonomní řízení.



*Obr. 11.1* Blokové schéma typické embedded architektury

**Napájecí zdroj a ochranné obvody** – zajišťuje napájení vnitřních obvodů elektroniky nízkým napětím (5 V). Zároveň chrání vnitřní obvody proti poruchovým stavům na napájecí síti automobilu.

**Měřicí obvod** – provádí měření vstupních veličin a předává je mikrokontroléru.

**Vstupní filtry a ochrany** – filtrují vnější šumy měřených veličin.

**Komunikační blok** – zajišťuje fyzickou vrstvu komunikace.

### Automobilové sběrnice

V minulosti byl jako hlavní komunikační kanál v automobilech používán napěťový signál (0 V/12 V, 0 V/5 V). Vzhledem k nutnosti měření nejrůznějších veličin se pak rozšířilo použití analogových signálů 0 V – 5 V, pulzně šířkové modulace a dalších.

Zavedení digitální techniky nutně znamenalo potřebu nahrazení analogové „komunikace“ digitální. Proto se postupem času vyvinulo více komunikačních protokolů určených pro automobilový průmysl.

V dnešní době patří k nejvíce používaným sběrnícím CAN BUS, SENT, PSI5, Digitální PWM, LIN BUS.

V následující tabulce jsou popsány tyto sběrnice včetně základních vlastností.

*Tab. 11.1 Sběrnice a jejich základní vlastnosti*

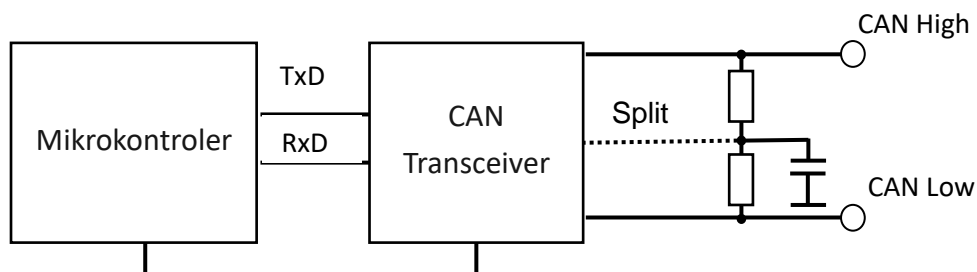
Název	Popis	Přenosová rychlost	Připojení	Topologie
SENT	Single Edge Nibble Transmission	11k Bit/s	3 vodiče	Interface
LIN	Local Interconnect Network	8k Bit/s	3 vodiče	Sběrnice
PSI5	Pheripheral Sensor Interface 5	100k Bit/s	2 vodiče	Interface/Sběrnice
CAN	Controller Area Network	1M Bit/s	4 vodiče	Sběrnice
FlexRay		10M Bit/s	4 vodiče	Sběrnice
MOST	Media Oriented Systems Transport	10M Bit/s	Optické vlákno	Kruhová

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, požadavky na automobilový průmysl se vyznačují specifickými charakteristikami. To platí zvláště u komunikačních sběrnic. V automobilech se vzhledem k ceně používají, až na výjimky, standardní měděné kabely v kabelových svazcích. Většinou se nepoužívají stíněné kabely, u některých sběrnic pak pouze kroucený pár. Jednotlivé vodiče jsou vedeny v kabelových svazcích a v takových případech dochází ke značnému ovlivňování signálů v jednotlivých vodičích a zařízeních.

Z toho vychází jeden z hlavních požadavků na sběrnice, a to spolehlivost. Vzhledem k vysoké koncentraci zdrojů rušení v automobilu je nutné, aby komunikace probíhala spolehlivě i v případě těchto rušení. Druhým zásadním požadavkem je naopak omezit na nejmenší možnou mez vyzařování těchto sběrnic.

Tyto požadavky velice dobře splňuje CAN BUS.

Typické zapojení CAN transceiveru



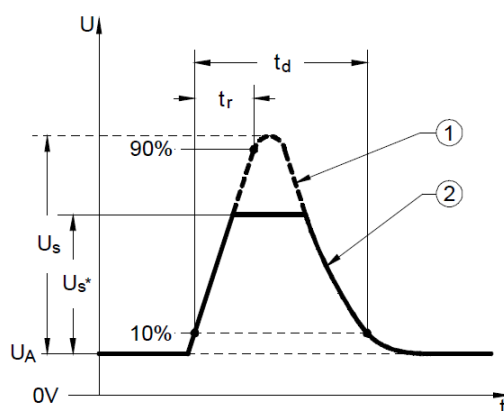
Obr. 11.2 Typické zapojení CAN transceiveru

### 11.3 Ochranné prvky

Ochranné prvky mají za úkol zabránit nesprávné funkci nebo poškození elektroniky, jež jsou způsobeny provozními a poruchovými stavy v systému automobilu.

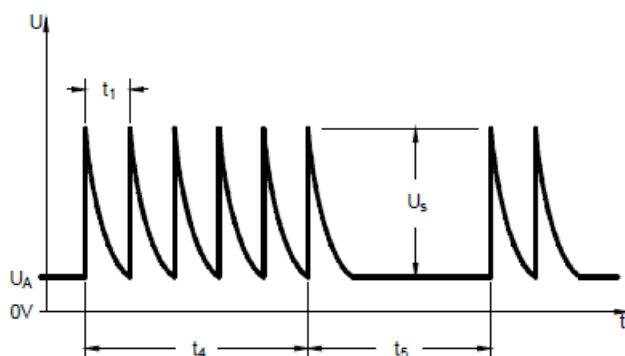
I když jsou elektronické moduly napájené standardně 12 V, 24 V, někdy 5 V, ve skutečnosti toto napětí vykazuje různé druhy dlouhodobých i krátkodobých odchylek. Obecně se tyto odchylky napájení nazývají transienční pulzy. Jejich základní charakteristiky jsou popsány v normě ISO7637.

Jako příklad lze uvést tzv. „Load Dump“ pulz – v normě označovaný jako pulz 5. Dochází k němu v okamžiku, kdy dojde z důvodu poruchy v automobilu k náhlému odpojení akumulátoru. Vzhledem k tomu, že regulační obvody v alternátoru mají určitou odezvu, tak napájecí napětí se u  $U_A = 28 \text{ V}$  systému zvýší o  $U_{S^*} = 32 \text{ V}$ . Tzn. že po dobu  $t_d = 600 \text{ ms}$  je napětí na napájecích vodičích až 60 V! Na obrázku níže je příklad charakteristik tohoto pulzu podle výše zmíněné normy.



Obr. 11.3 „Load Dump“ pulz

Jiným příkladem jsou transientní pulzy, které vznikají zapínáním různých indukčních spotřebičů nebo kapacitní vazbou v kabelových svazcích. Takovéto pulzy mohou dosahovat po krátkou dobu napětí řádově stovek až tisíců voltů.



*Obr. 11.4 Transientní pulzy*

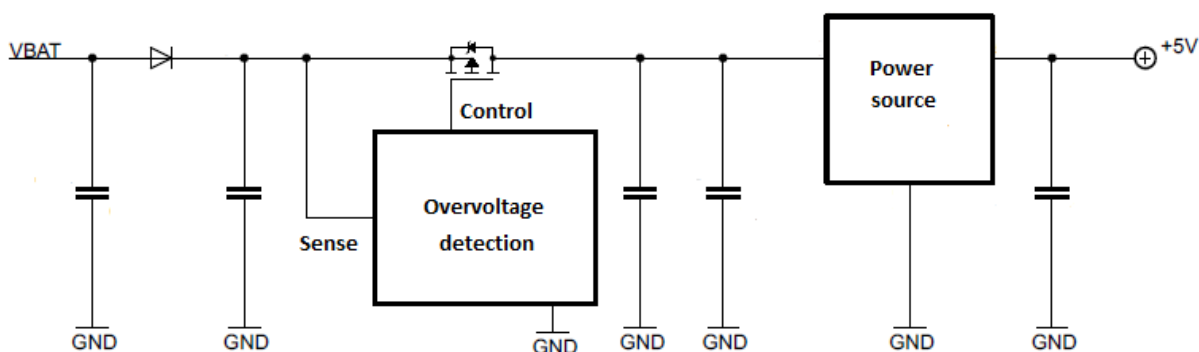
Typické hodnoty takového pulzu jsou  $U_A = 28 \text{ V}$ ,  $U_S = 150 \text{ V}$ ,  $t_1 = 100 \text{ }\mu\text{s}$ .

I v takových podmínkách musí být elektronika navržena tak, aby pracovala podle požadavků zákazníka. Proto se do napájecích a vstupních obvodů zařazují ochranné prvky, které chrání elektroniku.

V zásadě je možné ochranné principy rozdělit na ochranu:

- odpojením;
- blokováním.

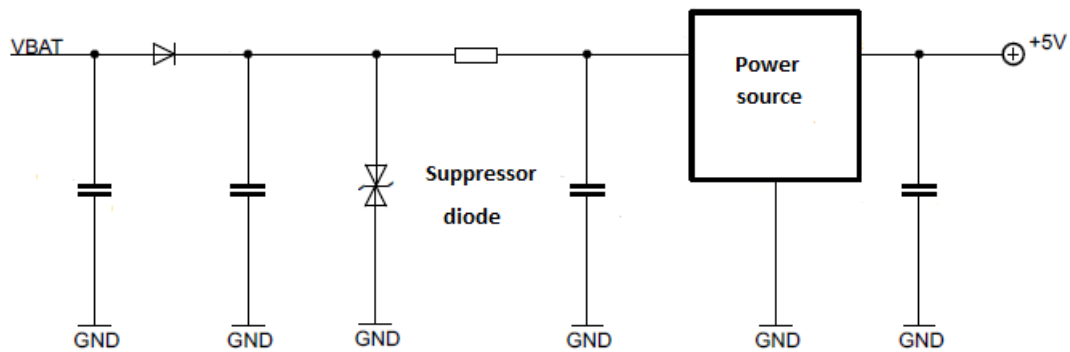
### Ochrana odpojením



*Obr. 11.5 Ochrana odpojením*

Tato ochrana je navržena tak, že je monitorováno napětí na daném signálu (napájení) a v okamžiku překročení určité úrovně napětí elektronika vnitřní obvody odpojí. Přepětí se pak nedostane do částí, které by se jím poškodily.

## Ochrana blokováním



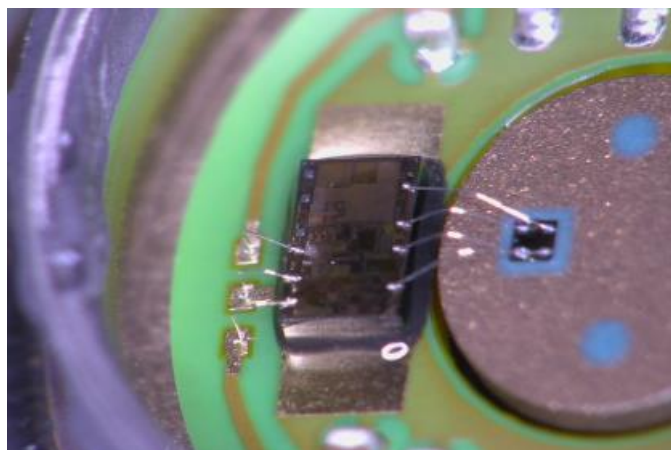
*Obr. 11.6 Ochrana blokováním*

U tohoto principu se do obvodu zapojují ochranné prvky, které aktivně omezují vysokonapěťové pulzy. U těchto typů ochran lze použít Zenerovy diody, suppresor diody, varistory či RC filtry. V těchto případech se energie pulzu přemění na tepelnou energii v dané součástce.

### 11.4 ASIC

Názvem ASIC (Application Specific Integrated Circuit) se označují speciální obvody navržené pro konkrétní použití v automobilech. Vzhledem k potřebě zmenšování a snižování ceny elektroniky se v určitých případech vyvíjejí zákaznické obvody, které nahrazují částečně nebo zcela diskretní obvodové řešení. Tyto obvody se používají například v tlakových senzorech, senzorech průtoku vzduchu (MAF), hladinových senzorech, NOx senzorech, ale i jako speciální vstupní obvody řídicích jednotek.

Vnitřní architektura může obsahovat kompletní diskretní obvodová řešení. Na fotografiích níže je možné vidět příklady aplikací s ASIC.



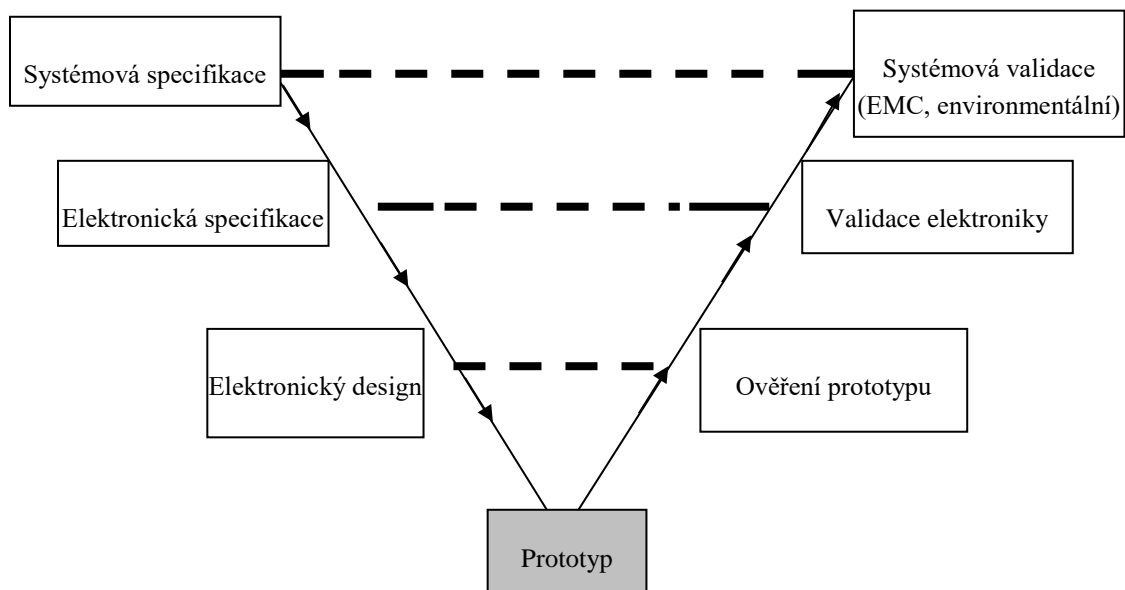
*Obr. 11.7 Nezapouzdřený ASIC, připojený pomocí Wirebond technologie*



*Obr. 11.8 ASIC v klasickém SO pouzdře*

## **Validace**

Stejně významnou součástí vývoje, jako je návrh elektronických obvodů, je i ověření, že skutečně splňují všechny požadavky, které jsou na ně kladeny. Tomuto procesu říkáme validace. Následující obrázek ukazuje provázanost specifikací a následných validací v průběhu vývojového procesu.



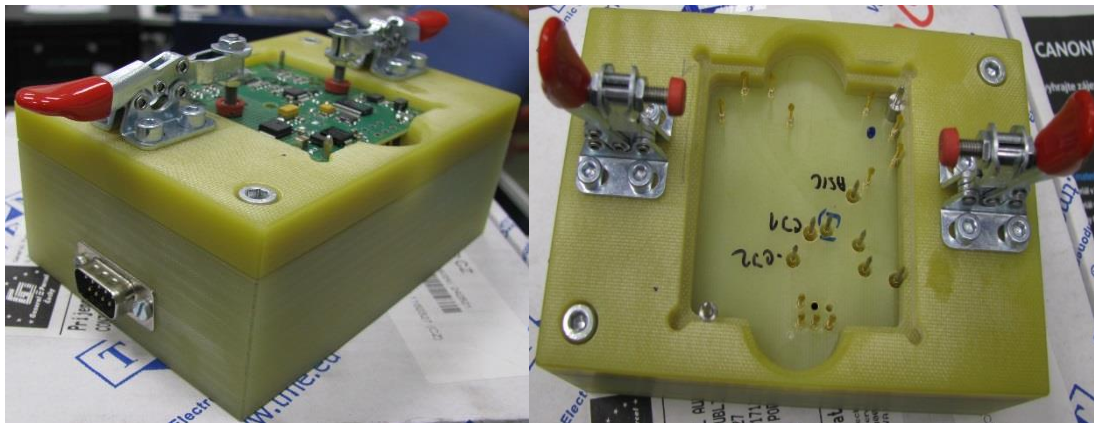
*Obr. 11.9 Provázanost dokumentace a validačního procesu*

Validace elektroniky se provádí podle testovací specifikace, kterou obvykle vytváří testovací inženýr na základě elektronické specifikace. Cílem těchto testů je ověřit, zda byl každý parametr z elektronické specifikace splněn. Testy se provádějí nejen v běžných laboratorních podmínkách, ale také v různých klimatických podmínkách. Důležité je provedení testů na více kusech, aby bylo možné zhodnotit výsledky testů i statisticky. Pokud některý z parametrů nevyhoví, je potřeba výsledky analyzovat. Pokud se jedná o chybu v návrhu, je potřeba jej opravit, postavit nové vzorky a provést nové testy. Tento proces se opakuje tak dlouho, až jsou výsledky testů vyhovující. Na desce elektroniky se provádějí desítky až stovky testů – podle složitosti elektronického obvodu. Mezi typické testy patří například:

- ověření funkčnosti při různé velikosti napájecího napětí (např. 8 V, 12 V, 16 V);
- ověření funkčnosti ochrany proti přepólování;
- proudový odběr v různých režimech činnosti;
- správná funkce napěťových stabilizátorů apod.

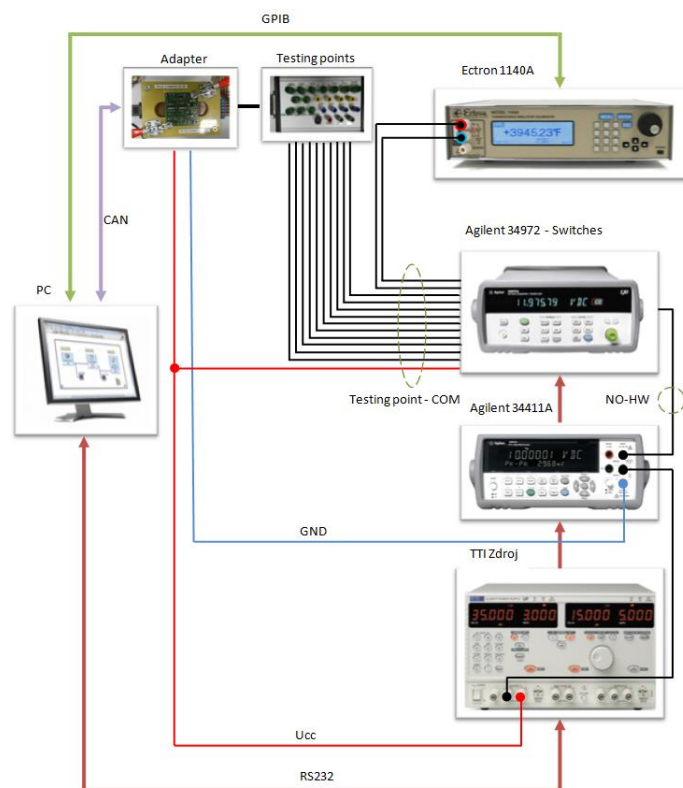
Vzhledem k velkému počtu testů a velkému počtu testovaných kusů (staví se desítky až stovky prototypů) je vhodné se zabývat automatizací testování. Pro rychlé a spolehlivé připojení desky elektroniky do testovacího obvodu se používají speciální adaptéry s kontaktními jehlami.





*Obr. 11.10 Adaptér s kontaktními jehlami*

Pro vytvoření testovací sekvence a řízení celé testovací sestavy se využívají programy vytvořené například v prostředí LabVIEW. Program ovládá přístrojovou techniku (napájecí zdroje, měřicí přístroje, teplotní komory) a zároveň čte a následně zpracovává a ukládá data z měřené desky. Takto je možné stiskem jednoho tlačítka otestovat velice efektivně všechny požadované parametry i na velkém počtu desek. Na **Obr. 11.11** je ukázka měřicí sestavy pro automatické testování desky elektroniky pro teplotní senzor. Měřicí přístroje se ovládají z počítače prostřednictvím rozhraní GPIB a RS232, s testovanou deskou se komunikuje pomocí rozhraní CAN.



*Obr. 11.11 Měřicí soustava pro automatické testování desky elektroniky pro teplotní senzor*

Systémové testy jsou zaměřené na celý výrobek – v našem případě senzor. A jejich cílem je ověřit splnění požadavků na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) a na vlivy prostředí. Souhrnně se tato kategorie testů označuje jako designové validace.

#### **Testy EMC mají prověřit především:**

- Odolnost vůči rušení od jiných zařízení šířenému vzduchem (elektromagnetická pole) nebo po vedení (indukované proudy, rušivé impulzy), samostatnou kategorií je odolnost proti elektrostatickému výboji.
- Dodržení limitů na úroveň rušení vznikajícího činností zkoušeného zařízení šířeného vzduchem (elektromagnetické pole) nebo šířeného po kabelech (rušivé impulzy, harmonické frekvence).

Metodika zkoušení je popsána mezinárodními normami a samotné zkoušení se provádí ve specializovaných laboratořích. Přestože se EMC testy provádějí až na kompletním výrobku, je běžnou praxí, že se již v průběhu vývoje dělají předběžné testy i na samotných deskách elektroniky. Tento postup může včas odhalit případné chyby v návrhu a opravit je.

#### **Testy environmentální mají prověřit především:**

- odolnost vůči teplotám a teplotním změnám;
- odolnost vůči vibracím;
- odolnost vůči prachu;
- odolnost vůči chemickým vlivům;
- odolnost vůči vlhkosti;
- životnost.

Přesný rozpis testů je dán tzv. testovací specifikací a může se odlišovat podle typu testovaného výrobku a konkrétního zákazníka.

### **11.5 Příprava sériové výroby**

Komponenty pro automobilový průmysl se obvykle vyrábějí ve velkých sériích (stovky tisíc až miliony kusů), proto již v průběhu vývoje je třeba s touto skutečností počítat. Je například nutné vybrat komponenty, které budou dostupné v dostatečných množstvích, je potřeba udělat návrh plošných spojů tak, aby bylo možné desky osazovat na automatických osazovacích linkách a následně i zkontrolovat správnost osazení, u malých desek navrhnout optimální seskupení do tzv. panelu apod.

Vývojový tým musí pro sériovou výrobu připravit celou řadu podkladů, jako jsou rozpisky komponent, osazovací plány, podklady pro naprogramování osazovacích strojů, podklady pro automatické testování osazených desek. Cílem je, aby každá komponenta na desce byla otestována elektricky, pokud to není možné, tak alespoň vizuálně.

Samotná sériová výroba desek elektroniky je dnes v podstatě standardní proces. Převážná většina desek používá technologii tzv. povrchové montáže – SMT (Surface Mounted Technology).

### Proces výroby

- Začíná obvykle laserovým označením ještě neosazených desek.
- Nanesení tenké vrstvy pájecí pasty.
- Rozmístění součástek pomocí osazovacího stroje – moderní vysokorychlostní stroje mohou osadit více než sto tisíc součástek za hodinu.
- Zahřátí desky a následné přetavení pájecí pasty na pevnou pájku v pájecí peci.
- Vizuální kontrola a elektrická kontrola.

Tím je proces výroby desky ukončen a deska může pokračovat na další výrobní operaci.

Vzhledem k vysoké rychlosti výroby musí výrobní závody zvládnout i náročnou logistiku tak, aby byl zajištěn kontinuální tok veškerého materiálu na osazovací linku, a nevznikaly tak prostoje.



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[11.1] TOMČÍKOVÁ, Iveta. *Základy elektrotechnického inženýrstva: přednášky*. Košice: Elfa, 2011. ISBN 9788080861797.

[11.2] BRTNÍK, Bohumil. *Teoretická elektrotechnika*. Praha: BEN - technická literatura, 2017. ISBN 9788073005474.

[11.3] BARTUŠEK, Karel. *Měření v elektrotechnice*. 2., přeprac. a dopl. vyd. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 9788021441606.



Shrnutí pojmů kapitoly

- HW architektura
- Automobilové sběrnice CAN, LIN, SENT
- ASIC – Application Specific Integrated Circuit
- Validace
- EMC – Elektromagnetická kompatibilita
- SMT – Surface Mounted Technology



## Otázky k probranému učivu

1. Definujte požadavky na automobilovou elektroniku.
2. Popište typickou architekturu elektroniky v automobilovém senzoru (blokové schéma).
3. Uveďte základní přehled o automobilových sběrnících – HW architektuře (CAN, LIN, SENT, PSI5, PWM).
4. Popište ochranné prvky (přepět'ová ochrana, reverz polarity, filtry).
5. Uveďte základní informace o speciálních integrovaných obvodech (ASIC), validacích a přípravě sériové výroby.

## 12 Mikroprocesory používané v automobilovém průmyslu, komunikační sběrnice, požadavky na vývoj softwaru (MISRA), vývojové nástroje



**Čas ke studiu:** 1 hodina



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Definovat požadavky na mikroprocesorové řízení
- Popsat základní komunikační sběrnice z pohledu softwaru
- Definovat pravidla pro vývoj softwaru
- Sestavit základní přehled o hlavních softwarových vývojových nástrojích
- V-cycle



**Výklad**

### 12.1 Mikroprocesory používané v automobilovém průmyslu

Automobilový průmysl využívá mikrokontroléry (MCU) pro stále se rozšiřující nabídku aplikací – od řízení motorů až po informační systémy a automatické řízení karoserie. Výběr správného mikrokontroléru je důležitý pro celkový výkon a stabilitu systému, spolehlivost a cenu. Mikrokontroléry musí být dostatečně robustní, aby odolaly drsnému automobilovému prostředí, a musí být k dispozici po delší dobu. Naštěstí existuje široké spektrum mikrokontrolérů, které splňují prakticky všechny potřeby automobilového průmyslu. Mezi největší výrobce patří Microchip, Renesas nebo například NXP. [12.1]

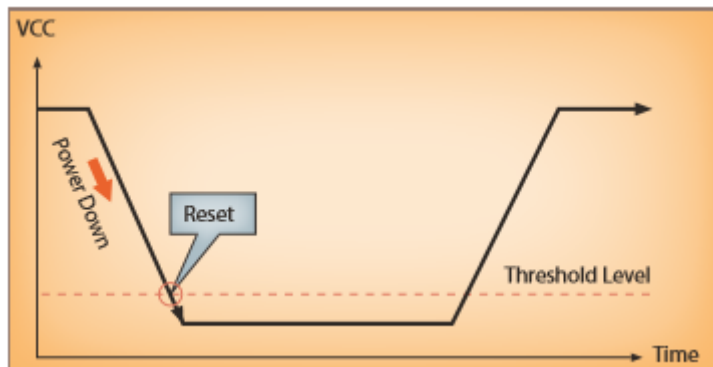
Jaké jsou klíčové funkce, které musejí mikrokontroléry splnit, aby byly vhodné pro použití v automotive?

#### 1. Detekce nízkého napětí (Low voltage detection)

Jedním z rizik selhání při provozu MCU je, když napájecí napětí nebo vnitřní napětí MCU klesne pod požadovanou úroveň v určitém kritickém bodě. Je zřejmé, že náhlý pokles napětí může způsobit závažnou poruchu, neboť dochází k posunu mezi definovanou pracovní oblastí mikrokontroléru, respektive jeho doporučeného napájecího napětí. Tradiční systémy používaly externí monitorovací obvody pro kontrolu napětí. Nově bývá tato funkce integrována do MCU s interním blokem, který sleduje jak vnitřní napětí MCU, tak i externí

napájecí napětí. Pokud hladina klesne pod přednastavenou prahovou hodnotu, MCU se resetuje automaticky, jak je znázorněno na **Obr. 12.1**.

Takový přístup eliminuje potřebu externích obvodů, a tím dochází ke snížení nákladů. [12.1]



*Obr. 12.1 Detekce nízkého napětí (Low voltage detection) [12.1]*

## 2. Watchdog

Dalším klíčovým prvkem je časovač Watchdog, který pomáhá v případě, kdy se vykonávaný kód na nějaký čas „zasekne“ například chybou softwaru nebo čekáním na specifickou externí událost. Watchdog provede restart mikroprocesoru, čímž umožní další fungování systému. Vestavěné systémy tradičně používají k provedení této funkce externí IC. Tato funkce je v MCU realizována tak, že jeden časovač funguje jako nezávislé hodiny mimo hodiny systému CPU. Druhý časovač pracuje na základě rychlejších periferních hodin. Watchdog obvykle také podporuje funkci okna, která resetuje MCU, když je časovač nulován příliš rychle, což bude pravděpodobně způsobeno nějakým chybným stavem. [12.1]

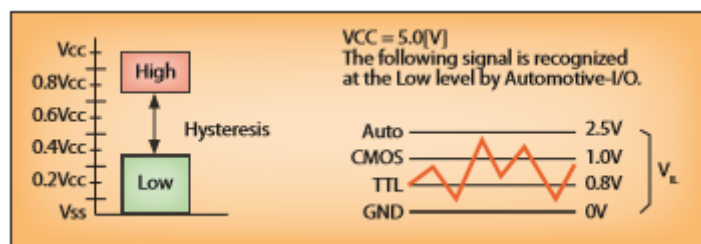
## 3. EEPROM

Paměti EEPROM se využívají k ukládání kalibračních dat a konfigurace systému. Podobně jako Watchdog jsou EEPROM tradičně externími součástmi MCU. Mikrokontroléry pro automotive mívají paměť EEPROM umístěnou přímo na sobě. To je výhodné jak z pohledu snížení nákladů, tak z důvodu snadnější implementace kontrolních mechanismů. Paměti EEPROM obvykle vydrží okolo 100 tisíc přepsání s životností přibližně 20 let, v závislosti na způsobu jejich provozu. [12.1]

## 4. Odolnost proti rušení

V automobilu se nachází celá řada systémů, které způsobují výrazné rušení. Patří mezi ně například alternátor, zapalování, systémy rekuperace energie anebo systém Start/Stop. Vlivem těchto rušení se mohou v obvodech objevovat napěťové špičky či nechtěné smyčkové proudy. Mikrokontroléry proto musejí být konstruovány tak, aby byly plně kompatibilní v oblasti EMC/EMI. Výrobci implementují do mikrokontrolérů systémy, které zvyšují stabilitu

systemu v případě rušení. Jedná se především o systémy, které dokážou pracovat s určitou úrovní nejistoty digitálního systému tak, jak je ukázáno na **Obr. 12.2**. [12.1]



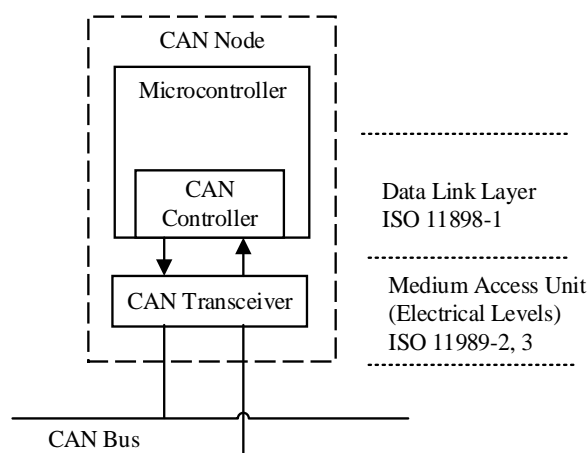
*Obr. 12.2 Šum digitálního signálu [12.1]*

## 12.2 Komunikační sběrnice

Komunikační sběrnice jsou klíčovým prvkem všech automotive aplikací, senzorů a aktuátorů. Nyní se podíváme na dva nejrozšířenější komunikační standardy v oblasti senzorů v automobilovém průmyslu.

### CAN

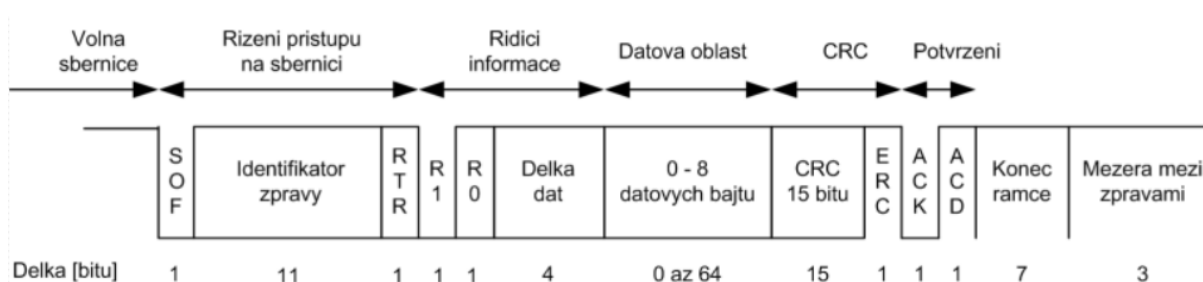
CAN se stala komunikační platformou v oblasti průmyslové automatizace. V automotive odvětví se na konci 90. let objevily i další komunikační standardy jako například LIN (Local Interconnect Network), který vyvíjelo konsorcium pěti výrobců automobilů (BMW, Volkswagen Group, Audi Group, Volvo Cars, Mercedes-Benz (Daimler)) jako výrazně levnější alternativu ke CAN. [12.2]



*Obr. 12.3 Blokový diagram CAN uzlu*

CAN sběrnice je ve vozidle nejčastěji realizovaná pomocí měděných kroucených vodičů a jejich izolace je barevně značená pro jednodušší identifikaci v kabelovém svazku. Kroucené spletení se aplikuje kvůli elektromagnetickému rušení. Rušení se pak projeví na obou

vodičích se stejnou mírou a při rozdílovém snímání uzlem na sběrnici je toto rušivé napětí nulové. Výhoda použití CAN sběrnice spočívá v nahrazení mnoha vodičů od jednotlivých senzorů v kabelovém svazku pouze dvěma vodiči.



*Obr. 12.4 Datová zpráva podle specifikace CAN 2.0A [12.2]*

CAN protokol je definovaný, jak již bylo zmíněno, normou ISO 11898. Existují dvě specifikace tohoto protokolu – CAN 2.0A a CAN 2.0B. Druhá specifikace CAN 2.0B, která byla vytvořena později, zavedla dva formáty zpráv, lišící se v délce identifikátoru. První formou je standardní zpráva (Standard Frame), jež je převzatá ze specifikace 2.0A, a délka jejího identifikátoru je 11 bitů. Jediným rozdílem je označení bitu R1, který je zde pojmenován a slouží pro rozlišení formátu zpráv pro CAN 2.0B. Druhá forma se označuje jako **rozšířený rámec** (Extended Frame) s délkou identifikátoru 29 bitů. [12.2]

Rychlost komunikace musí být přizpůsobena fyzické délce vedení, jelikož s větší délkou se zvyšuje kapacita mezi vodiči, což má za následek zmenšování napětí a deformaci datového signálu. Maximální užívaná rychlost CAN je 1 Mb/s, limitovaná délkou vodičů, jež může být maximálně 40 metrů. Při snižování rychlosti například až na 5 kb/s může být délka vedení 10 km – viz **Tab. 12.1** Závislost délky vedení na maximální rychlost sběrnice.

*Tab. 12.1 Závislost délky vedení na maximální rychlost sběrnice*

Maximální rychlost sběrnice	Délka vedení	Šířka bitu
5 kb/s	10 000 m	200 ms
10 kb/s	5200 m	100 ms
20 kb/s	2600 m	50 ms
50 kb/s	1340 m	20 ms
100 kb/s	640 m	10 ms
300 kb/s	300 m	3,3 ms
500 kb/s	112 m	2 ms
1000 kb/s	40 m	1 ms

## **SENT**

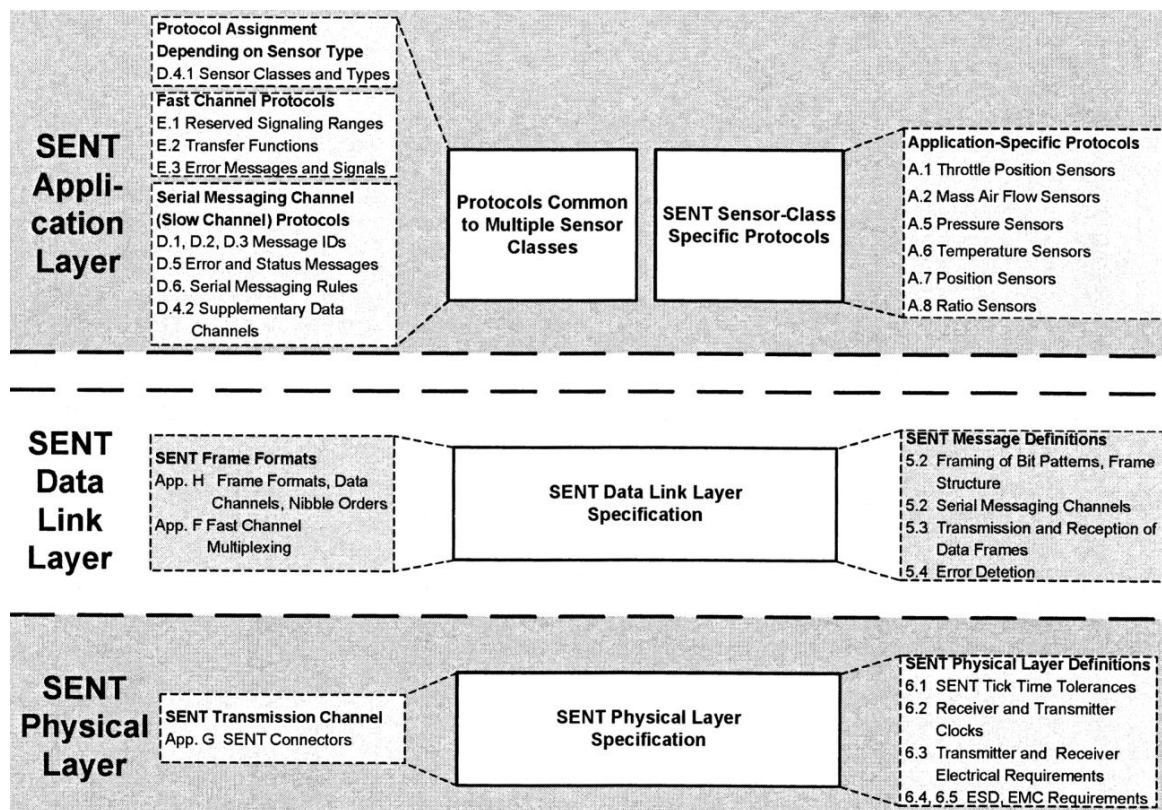
Přenos dat ze snímače je uskutečňován pomocí protokolu SENT, který je definován standardem SAE J2716. [12.3]



Fyzicky je pro přenos použit jeden vodič, kterým proudí data nepřetržitě ve formě zpráv ze snímače do ECU.

## Vrstvy protokolu

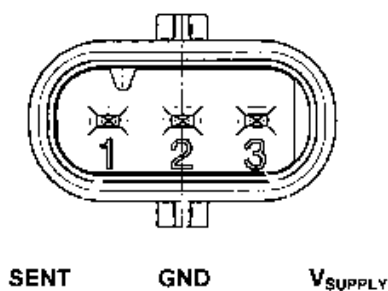
Na Obr. 12.5 jsou uvedeny vrstvy protokolu SENT tak, jak jsou popsány standardem SAE J2716.



Obr. 12.5 Vrstvy protokolu SENT

Fyzická vrstva definuje způsob elektrického připojení snímače, tj. tvar konektoru a polohu pinů, způsob komunikace, přenosovou rychlost a elektrické vlastnosti signálu.

Konektor snímače je 3pinový, dva piny jsou napájecí a jeden je signálový. Přenosová rychlost je závislá na hodinovém kmitočtu, který se od nominálního kmitočtu během přenosu nesmí lišit o více než 20 %. Nominální délka periody se může pohybovat mezi 3  $\mu$ s až 90  $\mu$ s. V závislosti na přenášených datech se tak může přenosová rychlost pohybovat mezi 24,7 kbit/s a 64,9 kbit/s při délce periody 3  $\mu$ s, a 0,8 kbit/s až 2,16 kbit/s při délce periody 90  $\mu$ s. V Tab. 12.2 jsou uvedeny tolerance hodinového kmitočtu.

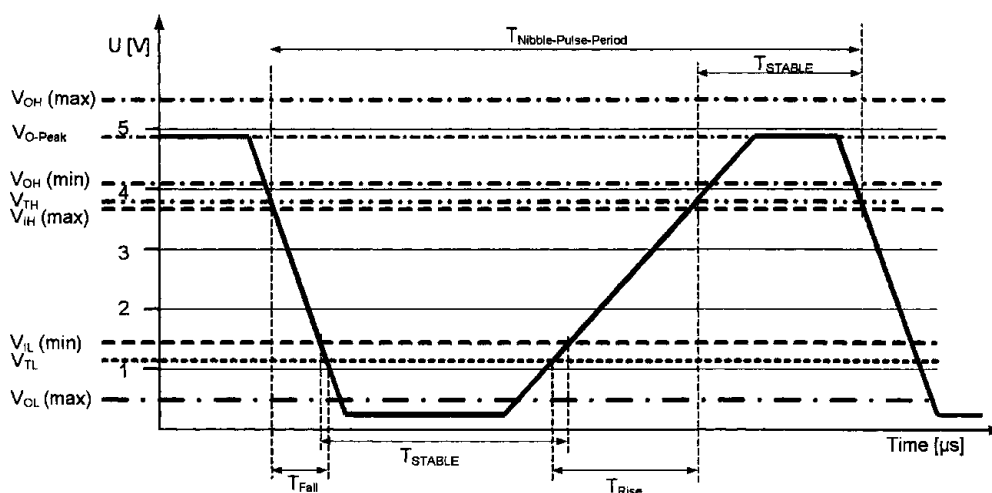


Obr. 12.6 Konektor snímače

Tab. 12.2 Tolerance hodinového kmitočtu

Zařízení	Parametr	Tolerance
Vysílač	Perioda hodinového kmitočtu	3 $\mu$ s až 90 $\mu$ s
	Přesnost hodinového kmitočtu	$\leq \pm 20\%$ bez pauzovacího pulzu
		$> -20\%$ , $< +18\%$ , s pauzovacím pulzem
Clock jitter a drift	$\leq 0,3 \mu$ s rozdíl maximální doby náběhu v porovnání s očekávaným časem odvozeným od doby kalibračního pulzu při periodě hodinového kmitočtu 3 $\mu$ s	
Přijímač	Clock jitter a drift	$\leq 0,3 \mu$ s rozdíl maximální doby náběhu v porovnání s očekávaným časem odvozeným od doby kalibračního pulzu při periodě hodinového kmitočtu 3 $\mu$ s

Na SENT signál můžeme pohlížet jako na signál obdélníkového tvaru o nominálním napětí 5 V, ale z důvodů rušení je nutné jej tvarovat. Na Obr. 12.7 lze vidět průběh jednoho pulzu SENT signálu a jeho parametry pro periodu hodinového kmitočtu 3  $\mu$ s jsou v Tab. 12.3. Při delší periodě je nutné časové parametry poměrově zvětšit.



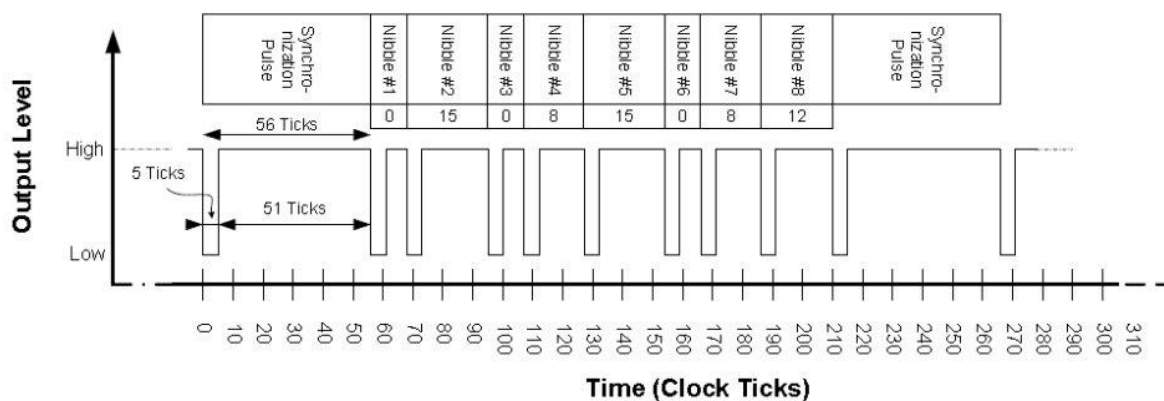
Obr. 12.7 Průběh SENT pulzu

Tab. 12.3 Parametry SENT pulzu

Parametr	Meze		Jednotky	Poznámka
	Min	Max		
V <sub>OL</sub>		0,5	V	Nízká úroveň
V <sub>OH</sub>	4		V	Vysoká úroveň
T <sub>FALL</sub>		6,5	μs	Sestupná hrana při I <sub>SUP</sub> ≤ 20mA
		5	μs	Sestupná hrana při 20mA < I <sub>SUP</sub> ≤ 50mA
T <sub>RISE</sub>		18	μs	Náběžná hrana
ΔT <sub>FALL</sub>		0,1	μs	Jitter
T <sub>STABLE</sub>	6		μs	Ustálená úroveň (nízká nebo vysoká)

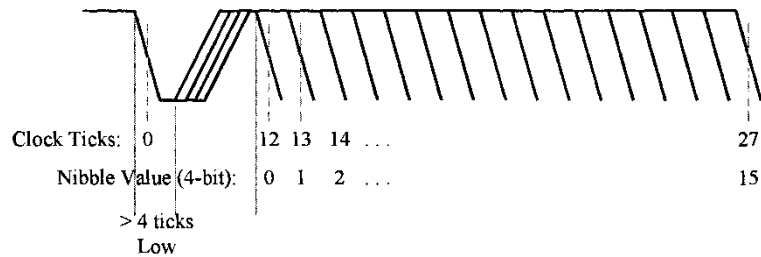
### Datová vrstva

Na Obr. 12.8 je příklad průběhu pulzů při přenosu jedné zprávy. Zpráva obsahuje 9, případně 10 pulzů, oddělených nízkou úrovní o délce větší než 4 hodinové cykly. První pulz je synchronizační a má délku 56 hodinových cyklů. Po něm následuje pulz Status and Serial Communication nibble (1 nibble odpovídá 4 bitům). Další pulzy obsahují podle typu snímače a aplikace až 6 nibblů, které obsahují přenášená data. Po datových nibblech je přenesen pulz s kontrolním součtem CRC4. Na konci zprávy je pak volitelný pauzovací pulz.



Obr. 12.8 Příklad přenosu SENT

Jednotlivé pulzy jsou ohraničeny dvěma sestupnými hranami signálu. Na Obr. 12.9 je grafická reprezentace způsobu kódování přenášené hodnoty nibblu. Délka pulzu závisí na přenášené hodnotě nibblu. Minimální délka pulzu je 12 hodinových cyklů pro nulovou hodnotu a maximální délka je 27 hodinových pulzů pro hodnotu 15.



*Obr. 12.9 Způsob kódování přenášených hodnot*

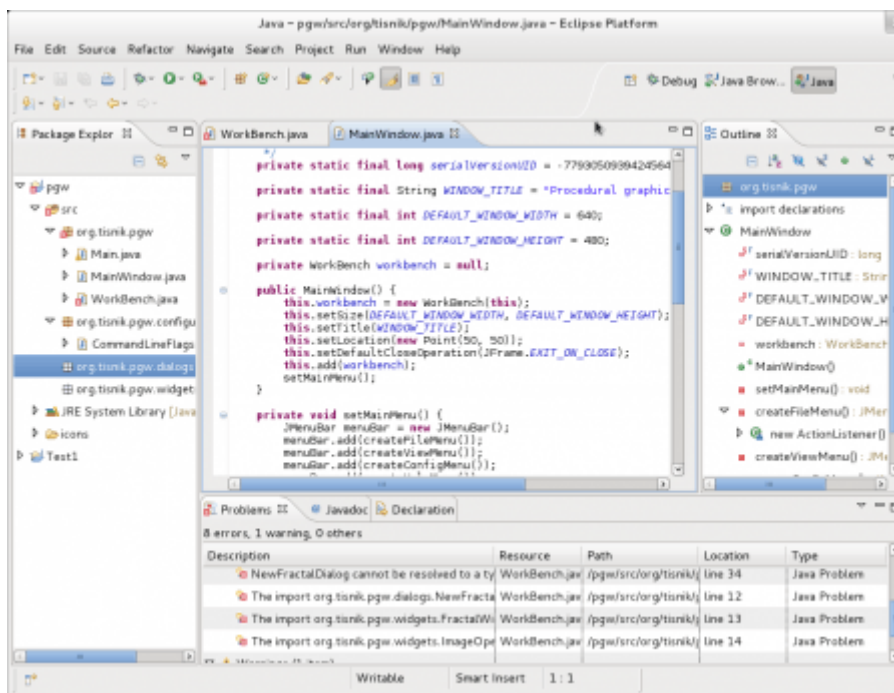
### 12.3 MISRA C

MISRA C je standard pro vývoj softwaru v programovacím jazyku C. Standard vyvinula MISRA (Motor Industry Software Reliability Association). Cílem standardu je napomáhání bezpečnosti kódu, přenositelnosti a spolehlivosti v kontextu vestavěných systémů, které jsou naprogramovány zejména v ISO C. Existuje také množina směrnic pro MISRA C++. V současnosti je více uživatelů MISRA mimo automobilový průmysl: „MISRA se vyvinula v široce přijímaný soubor nejlepších praktik vedoucími vývojáři v oblastech aerospace, telekomunikačních, zdravotnických zařízení, obranných, železničních a dalších.“ První vydání standardu MISRA C, „Guidelines for the use of the C language in vehicle based software“, bylo vydáno v roce 1998 a je oficiálně známé jako MISRA-C:1998. V roce 2004 bylo zveřejněno druhé vydání – „Guidelines for the use of the C language in critical systems“ nebo také MISRA-C:2004. Toto vydání obsahuje podstatné změny směrnic včetně úplného přecíslování všech pravidel. Nedávno byla zahájena práce na další revizi směrnic, které mají být zaměřeny na použití C99. Jako většina standardů (například ISO, BSI Group, RTCA, Incorporated atd.) nejsou směrnice MISRA C zdarma dostupné uživatelům ani programátorům. [12.4]

### 12.4 Vývojové nástroje

Vývojové prostředí (zkratka IDE, anglicky Integrated Development Environment) je software usnadňující práci programátorů, většinou zaměřený na jeden konkrétní programovací jazyk. Obsahuje editor zdrojového kódu, kompilátor, případně interpret a většinou také debugger. Jeden z univerzálních zástupců vývojového prostředí je Eclipse. [12.5]

Vývoj projektu Eclipse byl zahájen na přelomu tisíciletí ve společnosti IBM a v současnosti se jedná o aplikaci šířenou pod licencí EPL. EPL je licence v některých ohledech poněkud odlišná od známé GNU GPL, to však nijak neovlivňuje možnosti použití Eclipse ve funkci IDE. Původně se mělo jednat o integrované vývojové prostředí (IDE), které mělo představovat alternativu k tehdy již existujícímu prostředí Visual Age, založenému na programovacím jazyku Smalltalk (toto prostředí je nicméně stále nabízeno, používáno a existuje okolo něj loajální komunita).



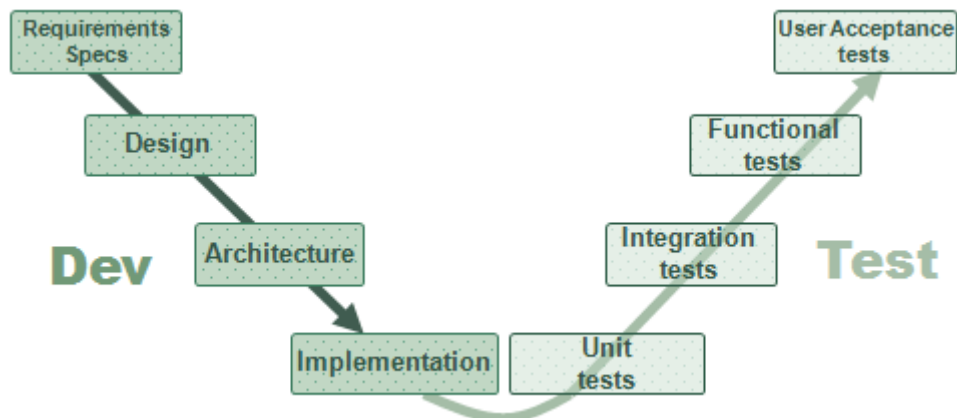
*Obr. 12.10 Ukázka použití Eclipse ve funkci IDE pro vývoj aplikací*

Aplikace Eclipse je však na rozdíl od zmíněného prostředí Visual Age postavena na programovacím jazyku Java, čímž je zaručena jeho poměrně snadná přenositelnost na různé platformy. Samotné jádro projektu Eclipse je relativně malé, zejména v porovnání s některými „monolitickými“ vývojovými prostředími, ovšem díky koncepci rozšiřujících modulů je možné do Eclipse přidávat další funkce – nové typy editorů, podporu pro další programovací jazyky, ladící nástroje, profily, návrháře grafického uživatelského rozhraní, napojení na aplikační servery atd. [12.6]

## 12.5 V-Cycle

V-cycle je grafickým znázorněním životního cyklu vývoje systému. V dalším textu se budeme věnovat především aplikaci V-cyclu na vývoj softwaru. V-cycle se skládá ze tří základních částí. Na levé straně cyklu se nachází blok definice požadavků, vedle pak návrh designu a architektury softwaru. Ve spodní části V-cyclu je implementace kódu. Pravá část V-cyclu se soustředí na testování funkcionality a dílčích částí softwaru. Jedná se především o testy modulů, integrační testy, regresní a funkční testy.

Zjednodušený náhled vývojového cyklu je znázorněn na Obr 12.11.



Obr. 12.11 Zjednodušené znázornění vývojového cyklu (V-cycle) [12.6]

V-cycle je základem vývoje software ve většině renomovaných firem. Můžeme se setkat s dílčími modifikacemi tohoto cyklu tak, aby lépe vyhovovaly daným vývojovým potřebám, nicméně základní logika je vždy stejná. První se provádí definice požadavků a návrh architektury, pak přichází na řadu implementace řešení následována důkladným testováním.

V případě, že je během testování zjištěna chyba anebo odchylka od definované specifikace či požadavků, dochází k opakování V-cyklu. V tomto případě se pak vracíme zpět k definici požadavků, kde je provedena jejich revize, dále procházíme fází návrhu designu a architektury, kde můžeme provádět dílčí modifikace tak, abychom byli schopni opravit předešlé nálezy. Na základě těchto kroků provedeme úpravu implementace následovanou testováním.

V-cycle opakujeme do té doby, než jsou zcela naplněny všechny požadavky a software funguje zcela správně. V praxi však nemůžeme provádět tento proces nekonečně mnohokrát, proto je potřeba během vývoje postupovat tak, abychom co největší počet možných nedostatků dokázali vyřešit či jim předejít v co nejdřívější fázi vývoje.



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [12.1] *10 Key Features of Fujitsu Automotive MCUs* [online]. USA: Fujitsu Semiconductor America, 2013 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://www.fujitsu.com/downloads/MICRO/fsa/formPDF/spbg/mcu/SPBG\\_MCU\\_Auto-MCU-10-Key-Features\\_TB.pdf](http://www.fujitsu.com/downloads/MICRO/fsa/formPDF/spbg/mcu/SPBG_MCU_Auto-MCU-10-Key-Features_TB.pdf)
- [12.2] *PIC18C CAN Routines in 'C'* [online]. Microchip Technology, 2001 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00738b.pdf>

- [12.3] SENT—Single Edge Nibble Transmission for Automotive Applications: J2716\_201001. *SAE International* [online]. SAE International, 2010 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [https://www.sae.org/standards/content/j2716\\_201001/](https://www.sae.org/standards/content/j2716_201001/)
- [12.4] Misra C. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/MISRA\\_C](https://cs.wikipedia.org/wiki/MISRA_C)
- [12.5] Vývojové prostředí. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDvojov%C3%A9\\_prost%C5%99ed%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDvojov%C3%A9_prost%C5%99ed%C3%AD)
- [12.6] TIŠNOVSKÝ, P. Eclipse – integrované vývojové prostředí pro Javu i další programovací jazyky. *Moje fedora* [online]. Fedora Project, 2012 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://mojefedora.cz/eclipse-integrované-vývojové-prostředí-pro-javu-i-další-programovací-jazyky/>
- [12.7] V-cycle. *Qual* [online]. online: Qual, 2019 [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: [https://www.xqual.com/documentation/tutorial\\_lifecycle.html](https://www.xqual.com/documentation/tutorial_lifecycle.html)



#### Shrnutí pojmů kapitoly

- Low voltage detection
- Watchdog
- EEPROM
- CAN
- SENT
- MISRA C
- IDE



#### Otázky k probranému učivu

1. Jaké požadavky klademe na mikrokontroléry pro automobilový průmysl?
2. Co je to Watchdog a k čemu slouží?
3. Jaký je význam paměti EEPROM v automobilových senzorech a aplikacích?
4. Jaký je rozdíl mezi CAN a SENT komunikačním protokolem?
5. Co je to MISRA C?
6. Co je IDE a k čemu se používá?

## 13 Vývoj výrobní technologie, vývoj výrobního procesu a jeho realizace



**Čas ke studiu:** 2 hodiny



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Popsat proces a aspekty vývoje a realizace výrobní technologie a výrobního procesu
- Vysvětlit důvody a přínos spolupráce mezi útvary výrobního a výrobního inženýringu při vývoji výrobku
- Popsat výrobní proces a průběh výroby
- Definovat pojmy DFM, DFSS, P-FMEA, „Just In Time“, Kanban, 5S



**Výklad**

### 13.1 Vývoj výrobního procesu – úvod

Vývojové aktivity představené v kapitolách výše směřují k jedinému cíli – vzniku nového produktu. Každý nový produkt v konečném důsledku vzniká výrobním procesem. Cílem vývojářů by proto mělo být nejen vytvořit spolehlivý produkt, který bude naplňovat potřeby zákazníků, ale také navrhnout produkt tak, aby byl vyrobitelný. Pokud by vývojář vyvinul produkt, který je sice špičkový, ale jeho cena bude příliš vysoká vlivem použití drahých komponent anebo z důvodů náročné výroby, nebude produkt pro konečného zákazníka zajímavý. Nejhorším případem by pak byl stav, kdy by vývojář navrhl produkt tak, že by jej nebylo možné ve větším měřítku vůbec vyrobit. Jako příklad uveďme příliš vysoké nároky na přesnost jednotlivých komponent, třeba mechanických dílů, kdy by nebylo možné s danými tolerancemi vůbec pracovat a daným tolerancím vyhoví jen jeden z mnoha předvyrobených dílů.

Aby k takovému problému nedošlo a dosáhlo se maximální efektivity výroby a celkově co nejnižších nákladů na realizaci výrobku, je potřeba identifikovat a vyřešit problémy s výrobou již v rané fázi vývoje produktu, což je i nejefektivnější přístup jak z hlediska nákladů, tak z hlediska času realizace změn. Změny ve fázi zavádění výrobku nebo v sériové výrobě dokonce nemusí být po nějakou dobu či vůbec možné realizovat.



## 13.2 Vývoj výrobních technologií a výrobního procesu

Vývoj a realizace výrobku probíhá od fáze ‚základní vývoj‘ souběžně s vývojem výrobních procesů/technologií ve vzájemné permanentní spolupráci jednotlivých útvarů, především při návrhu optimálního designu výrobku pro výrobu/vyrobitelnost, včetně použitých materiálů a designu komponent, při výběru optimálních výrobních technologií a procesů, při výrobě a testování prototypů atd.

V mnoha společnostech napříč odvětvími průmyslu se aplikuje metodika DFM (design for manufacturability) a DFSS (design for six sigma).

‚Design for manufacturability (známý také jako design for manufacturing nebo DFM) je obecný přístup k vývoji designu výrobků tak, aby bylo možné je snadno vyrobit. Koncept existuje pro téměř všechny vývojové disciplíny, ale použití se odlišuje v závislosti na výrobní technologii. DFM popisuje proces konstrukce nebo vývoje produktu se zaměřením na usnadnění výroby za účelem snížení výrobních nákladů.‘ ‚Vyrobitelnost mohou ovlivnit např. faktory jako typ základního materiálu, tvar základního materiálu, rozměrové tolerance a druhotné zpracování jako např. povrchová úprava.‘ [13.7]

DFSS je komplexní a strukturovaný přístup k vývoji produktu, včetně aspektů vyrobitelnosti. O DFSS je pojednáno v kapitole 4.

Při tvorbě designu nového produktu a konceptu výrobního procesu se vychází ze zkušenosti stávající sériové výroby s cílem použít známé a robustní výrobní procesy i do nových výrobků, optimálně při použití stejného designu a materiálů výrobku (pro daný výrobní proces). Mnoho konstrukčních prvků a výrobních procesů je standardizováno a jsou k dispozici předpisy pro design (možné materiály, tvary a rozměrové tolerance, povrchové úpravy atd.) i pro výrobní proces (specifikace stroje a procesu s parametry procesu, kontrolní systémy, plán validace procesu atd.).

V případě konceptu nového výrobku, kde je použita nová výrobní technologie, nová / neověřená konstrukce (design) výrobku, resp. konstrukční část, nový materiál a/nebo jsou vyšší požadavky na výrobní proces (mechanické vlastnosti, přesnost atd.), se dotčené výrobní procesy posuzují, testují, optimalizují a validují souběžně s vývojem nového výrobku před zavedením do sériové výroby (industrializací).

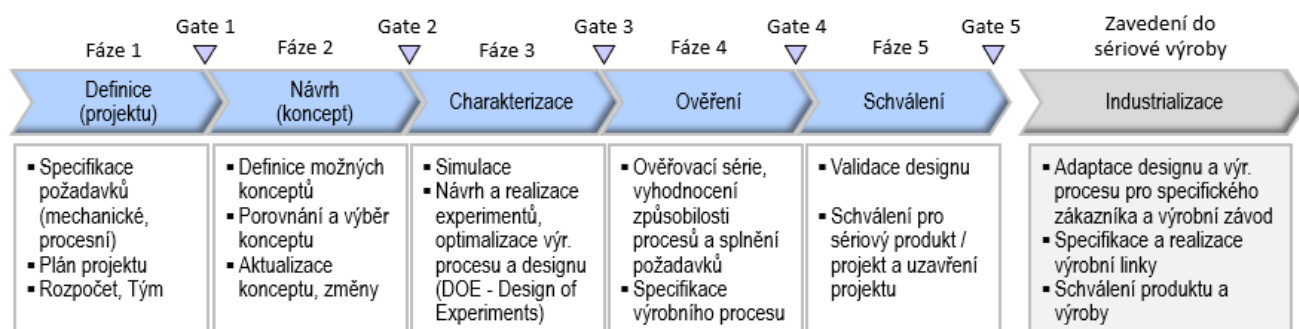
Výstupem vývojového procesu je pak specifikace ‚DFM‘ designu, specifikace výrobního procesu (detailní postup, klíčové parametry procesu, pomocný materiál, systém kontrol procesu a kvality produktu, konfigurace stroje a nástrojů), dokumentace, jako je P-FMEA, plán validace stroje a procesu, katalog možných vad a příčin, a to na úrovni jednotlivých konstrukčních částí pro konkrétní výrobní procesy výrobku.

Při vývoji a realizaci výrobní technologie a procesu výroby se zohledňují a vyhodnocují různá kritéria kvality a nákladů, jako jsou:

- splnění požadavků / parametrů specifikace a způsobilost výrobních procesů (pro SC a CC charakteristiky);
- robustnost a komplexita (P-FMEA – RPN, spolehlivost kontrol, citlivost na změny faktorů, náročnost nastavení a řízení procesu, náročnost údržby);
- zmetkovitost / kvalita výroby;
- požadavky na lidské zdroje včetně kvalifikace;
- návratnost investic do zařízení a potřebné infrastruktury;
- standardizace výroby, využitelnost investic, možnosti automatizace;
- vliv na životní prostředí (spotřeba energií a zdrojů, odpady).

Proces vývoje výrobní technologie a výrobního postupu probíhá také ve fázích a vývojových smyčkách ukončených vyhodnocením vůči požadavkům a rozhodnutím ohledně pokračování projektu (tzv. „stage-gate“ proces), čímž se postupně zvyšuje/naplňuje zralost výrobního procesu a produktu. Výsledek a další postup projednává projektový tým.

Cíl a obsah jednotlivých fází (vstupy, aktivity a výstupy) jsou detailně popsány v interních předpisech.



Proces vývoje výrobní technologie (výrobního procesu) a hlavní položky:

*Obr. 13.1 Příklad procesu vývoje a hlavní položky v jednotlivých fázích*

V rámci vývoje procesu se aplikují specifické nástroje a přístupy, zejména statistické vyhodnocení dat (DOE – Design of Experiments, způsobilost výrobního procesu a měřicích systémů).

Po vývojové fázi následuje fáze zavedení výrobku a výrobních procesů do sériové výroby pro specifického zákazníka a berou se v potaz jeho požadavky. Konstrukce výrobku a výrobní koncept vychází z výsledků základního vývoje. Zavedení do sériové výroby je řízeno podle specifického procesu, který je definován v rámci systému kvality společnosti.

### 13.3 P-FMEA

Failure Mode and Effect Analysis je volně přeloženo analýza možností vzniku vad a jejich následků. Tato metoda nachází využití při návrhu nového výrobku nebo procesu. FMEA pro proces výroby se označuje jako P-FMEA. Při zavádění se kladou otázky typu: V čem by mohla mít tato technologie slabé místo? Jaké jsou potenciální potíže při výrobě? Jak tomu předejít? Metoda se zaměřuje na tři vývojové fáze produktu: konstrukci, výrobu a systém. Již při konstrukci bychom měli identifikovat potenciální závady a problémy při výrobě na základě empirické zkušenosti konstruktérů a přizpůsobit tomu design a výrobní postupy. Ve výrobě se tato metoda zaměřuje též na výrobní procesy, jejich slabá místa a závady, to vše z důvodu nevyhovění konstrukčnímu záměru. FMEA obsahuje podle [13.4] šest obecných kroků. [13.5]

1. Určit rozsah a procesy, které budou analyzovány.
2. Určit možné závady.
3. Určit priority, které závady jsou vážnější a na ně se poté více soustředit.
4. Navrhnout opatření, která budou pro případ poruchy připravena.
5. Sledovat tuto problematiku a aktualizovat dokumentaci.
6. Dokumentovat procesy a zpřístupnit materiály i pro budoucí týmy.

Program		Date (orig)		Controlled?		User1		User2		User3		User4		User5								
Process	Function	Requirement ID	Potential Requirement	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	Severity	Main Class	Potential Cause	Prevention Method	Detection Method	Direction	Low	Risk PN	Actions Recommended	Who	Action Target Date	Actions Completed	Action Done Date	Severity	Document	Direction	Risk PN
Process Step # 140 of door finish line																						
Cur door hinge pockets	Meet code requirements	14	Top hinge placement (see Figure T)	Does not meet top of hinge to top of frame dimension	Fail to meet code	9	4	Incorrect requirement code template selected	2	NC program inputs verified by sensor input (D-C0019Cnc)	Machine lock-out if cause is detected. ST-SPC check. Scan traveler for Western or US Code Requirement	3	3	54	Develop Error-proof method to ensure cause never occur	HH	On-going	See Preventive Action D-CPA-00023478				
		15	Bottom hinge placement (see Figure T)	Does not meet bottom of hinge to finished floor dim.	Fail to meet code	9	4	Incorrect requirement code template selected	2	NC program inputs verified by sensor input (D-C0019Cnc)	Machine lock-out if cause is detected. ST-SPC check	2	2	36	Develop Error-proof method to ensure cause never occur	HH	On-going	See Preventive Action D-CPA-00023493				
	Meet pocket size requirements	16	Hinge pocket width & depth dimensions (see Table 3 B)	Hinge pocket width & depth do not meet dimensions	Door does not close properly	8	8	Incorrect hinge dimension in CNC program.	3	NC program inputs verified by sensor input (D-C0022Cnc)	Machine lock-out if cause is detected. ST-SPC check	3	3	72	Improve hinge width detection sensor performance to reduce	HH	7/8/2012	See Preventive Action D-CPA-00023480				
				Reduced durability		7					Visual inspection	8										

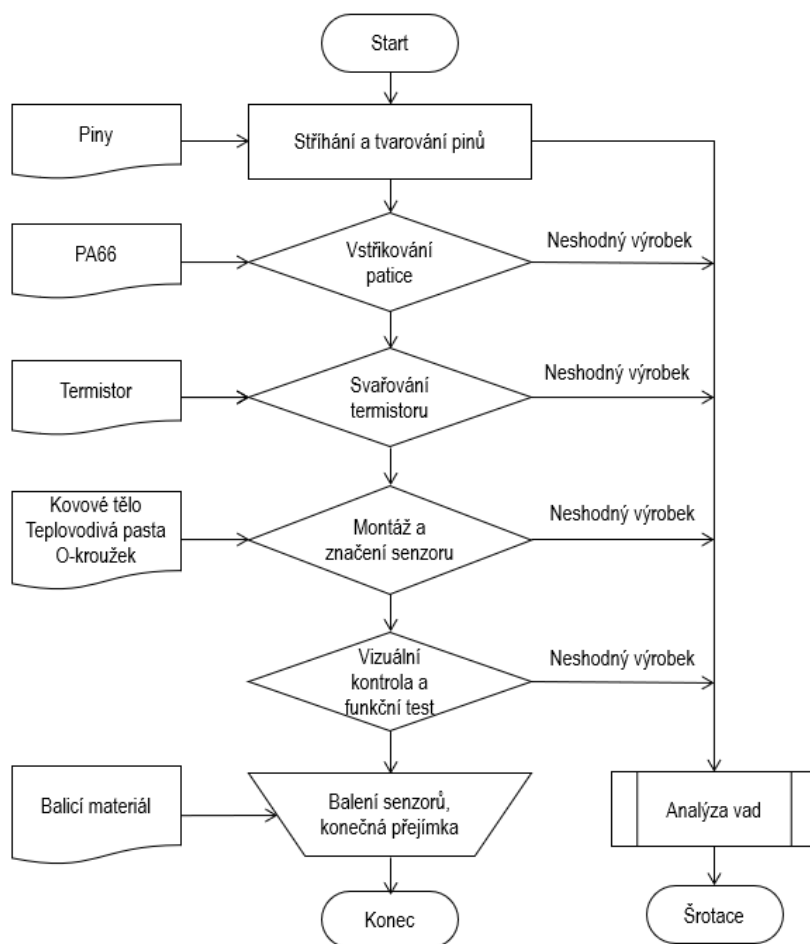
Obr. 13.1 Ukázka tabulky rozboru FMEA [13.6]

### 13.4 Výrobní linka a průběh výroby

Výrobní linka je výrobní proces, jehož části postupným způsobem utvářejí výsledný produkt, přičemž se použije optimální plánování logistiky, aby se vyráběl finální produkt

v požadovaném množství, kvalitě a čase co nejefektivněji, tj. bez prostojů ve výrobě a dodatečných nákladů.

Jedním z dokumentů, který popisuje výrobní proces pro konkrétní výrobek, je průběh výroby (proces flow chart), ve kterém jsou dokumentovány jednotlivé výrobní a kontrolní operace v časové posloupnosti, jak jsou postupně prováděny, a zpravidla také informace o materiálu vstupujícím do procesu. V dokumentu je také předepsáno, jak je naloženo s výrobkem, který nesplňuje požadavky na kvalitu. Výrobek s vadou je zpravidla podroben analýze vady pro účely optimalizace procesu nebo je umístěn k sešrotování (v případě známé vady). V automobilovém průmyslu jsou vadné výrobky v průběhu výroby opravovány nebo přepracovávány dodatečným procesem jen zřídka. Při výrobě je možné mnohdy nalézt další informace jako výrobní dokumenty (výkresy, předpisy pro provedení konkrétní operace, hlavní parametry nastavení procesu, předpisy pro kontrolu kvality apod.), identifikační údaje operací, pracovišť nebo výrobních zařízení.



Obr. 13.3 Příklad průběhu výroby – teplotní senzor na bázi termistoru

### 13.5 Výrobní linka – historie

Mezi lety 1908 a 1915 vyvinula společnost Ford Motor Company montážní linku. Tento způsob výroby vešel v následující dekádě ve všeobecnou známost díky sociálním změnám z důvodu zavedení sériové výroby, jako je například cenová dostupnost Fordu model T a vysoké mzdy pracovníků firmy Ford. Henry Ford byl první, komu se podařilo osvojit si tuto výrobní koncepci, a tím vylepšit i ostatní aspekty průmyslu (například redukce pracovních hodin potřebných na jeden vůz a zvýšení produkce). Nicméně některé předpoklady pro tento vývoj měly své kořeny hluboko v 19. století – od postupné realizace snu o univerzálních výrobních dílech ke znovuvynalezení workflow a popisu práce za použití analytických metod. Ford byl první firmou, která v rámci tohoto konceptu postavila velké továrny.

[13.1]

Masová produkce na montážních linkách je všeobecně považována za urychlující prvek, který napomohl ustanovení moderní spotřebitelské kultury snížením nákladů na vyráběné zboží. Často se říká, že Fordův výrobní systém byl důmyslný také proto, že z jeho vlastních pracovníků se rovnou stávali noví zákazníci. [13.1]



*Obr. 13.4 Výroba automobilů Ford [13.2]v historii (vlevo) a dnes (vpravo) [13.3]*

## 13.6 Vybrané metody používané při definování výrobního konceptu

### **Just-in-time**

Just-in-time je jedním ze dvou základních pilířů štíhlé výroby. Je to metoda, která se snaží eliminovat plýtvání, zapříčiněné především nadvýrobou, zbytečnými zásobami, čekáním a dopravou. Princip je jednoduchý – vyrobit přesné množství dílů v požadované kvalitě, jež budou vyrobeny v čase, který bude těsně navazovat na čas přepravy a poté na čas dalšího zpracování tohoto dílu. Příklad: Automobilka začíná produkci konkrétního motoru v úterý v 10:00 hod., přeprava pístní sady od dodavatele trvá hodinu a půl. To znamená, že dodavatel musí vyrobit dávku pístních sad do 8:30 hod. tak, aby se dávka rovnou naložila na kamion

a odvezla automobilce bez meziskladování. Výhodou systému je úspora místa (nemusí se vytvářet překladiště) a zkrácení cyklu výroby. Nevýhodou může být nastávající situace: při přepravě se porouchá kamion a dodávka dílů odběrateli se zpozdí, tím pádem mu stojí celá výroba, což je pro něj enormně ztrátové. [13.5]

## KANBAN

KANBAN znamená v japonštině doslova cedule a byl zaveden poprvé Taiichi Ohno ve společnosti Toyota. Systém je převzatý z obyčejného supermarketu, kdy je na skladě pouze zboží, o kterém se ví, že je nejžádanější a permanentně se prodává. Poté, když zboží již téměř dojde, jej pracovník doplní do regálu. Celý systém je postavený na poptávce zákazníka neboli na takzvaném tahovém systému. Ve výrobním podniku je zákazníkem výrobní linka, jež potřebuje materiál (zboží), se kterým se často nakládá a který (které) je vyroben(o) jinou linkou (dodavatelem) nebo nakupován(o). Systémem KANBAN je docíleno redukování zásob jen na ty potřebné a je zamezeno situaci, kdy další lince dojde materiál a nemůže vyrábět. Toho je docíleno zlepšením komunikace mezi linkami, a to především vizuálním managementem. V praxi to funguje tak, že v supermarketu, což je vlastně malá zásoba materiálu na lince, je tabule se štítky (kanbanovými kartami), které určují přesný počet materiálu, například 1 přepravka = 1 kanbanová karta. Pokaždé, když pracovník vezme přepravku s materiálem, odloží z ní kanbanovou kartu na tabuli. Když kartičky dosáhnou určitého předem domluveného počtu, je to jasný signál pro dodavatele, že má začít vyrábět materiál.

[13.5]

## 5S

Nástroj 5S se zaměřuje na základní optimalizaci pracoviště, aby bylo co nejbezpečnější, nejprehlednější a výhodné z hlediska materiálového toku. Proč využít 5S? Prvním a hlavním bodem je bezpečnost, dále je to první krok k dokonalosti. Tento nástroj odhalí plýtvání, a to hlavně prostorem, zlepšuje materiálový tok a je velmi levný, ačkoliv má na výrobní proces velký vliv. 5S je zkratka pěti japonských slov: Seiri – roztríd', Seiton – udělej pořádek, Seiso – uklid', Seiketsu – uveď tento stav ve standard, Shitsuke – udržuj tento stav. Nástroj 5S jednoduše udržuje pořádek na pracovišti, což má pozitivní vliv na čas výroby, předchází se totiž plýtvání časem při hledání náradí apod., má pozitivní vliv na kvalitu výroby a celkovou spokojenost pracovníka v zaměstnání. Ve výrobních podnicích probíhají také takzvané 5S audity, kdy je například každý týden namátkově vybrána jedna linka a auditor na ní hodnotí, jak dokonale mají 5S zvládnuté, jak je linka uklizená. Na základě tohoto auditu se přistoupí k opatřením, která vedou ke zlepšení stavu na lince. 5S nejlépe vystihuje **Obr. 13.5**. [13.5]

Vizuální management zajišťuje rychlé rozpoznání pracoviště na první pohled, ať už výrobního, nebo kancelářského. Na pracovišti jsou důležitá místa označena barevnými linkami na podlaze, na stěnách apod., které určují přesnou polohu, kde má například stát

regál, bedna s materiálem apod. Napomáhá to rychlé orientaci na pracovišti a pořádku. To znamená, že když například používám nějaký nástroj, vrátím ho na to stejné místo, odkud jsem ho vzal, které je označeno barevným obrysem. Takže tam ten samý nástroj zase vždy najdu.

[13.5]



Obr. 13.5 Ukázka pracoviště podle 5S před aplikací (vlevo) a po ní (vpravo) [13.4]



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [13.1] Montážní linka. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Mont%C3%A1%C5%BEEn%C3%AD\\_linka](https://cs.wikipedia.org/wiki/Mont%C3%A1%C5%BEEn%C3%AD_linka)
- [13.2] SADLER, M. Use a system to simplify and speed up your work. *Best Cad Tips* [online]. Mark S. Sadler and Vantage Building Consulting & Design, 2012 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://bestcadtips.com/use-a-system-to-simplify-work/>
- [13.3] Výroba aut v Británii je nejvyšší za 12 let. In: *Euro* [online]. Mladá fronta, 2016 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/vyroba-aut-v-britanii-je-nejvyssi-za-12-let-1321399/galerie?id=256972>
- [13.4] What is 5s?. *5S Today* [online]. 5s Today: Beaverton, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.5stoday.com/what-is-5s/>
- [13.5] PETŘÍK, A. *Balancování výrobní linky*. Plzeň, 2017. Dostupné také z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27114/1/BP\\_Balancovani\\_vyrobní\\_linky\\_-\\_A.\\_Peterik.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27114/1/BP_Balancovani_vyrobní_linky_-_A._Peterik.pdf) Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.

[13.6] FMEA template. *Systems2win: Empowering Leaders to Continuously Improve* [online]. Systems2win [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://www.systems2win.com/solutions/FMEA.htm>

[13.7] Design for manufacturability. *Wikipedia* [online]. Online: Web, 2019 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_for\\_manufacturability](https://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_manufacturability)



#### Shrnutí pojmů kapitoly

- Design for Manufacturing, Design for Six Sigma
- Proces vývoje výrobního procesu a konceptu výroby
- Kritéria hodnocení výrobní technologie
- Výrobní proces/technologie
- Výrobní linka
- Průběh výroby
- P-FMEA
- 5S
- KANBAN



#### Otázky k probranému učivu

1. Co znamená pojem DFM a proč je důležitý při vývoji výrobku?
2. Popište proces vývoje výrobní technologie a jeho hlavní položky.
3. Jaká jsou kritéria hodnocení výrobní technologie ve fázi výběru?
4. Co je to P-FMEA a k čemu slouží?
5. Popište pojmy výrobní linka, respektive výrobní proces.
6. Co je to KANBAN a k čemu slouží?
7. Co je to 5S a k čemu slouží?



## 14 Cyklus životnosti výrobku, vývojový proces, metody a fáze vývoje, vazby mezi vývojovými kroky, kontrolní body (PLC – Product Life Cycle)



**Čas ke studiu:** 4 hodiny



**Cíl:** Po prostudování této kapitoly budete umět:

- Popsat životní cyklus výrobku
- Popsat vývojový proces
- Vyjmenovat základní informace o odvětví Product Life Cycle Management



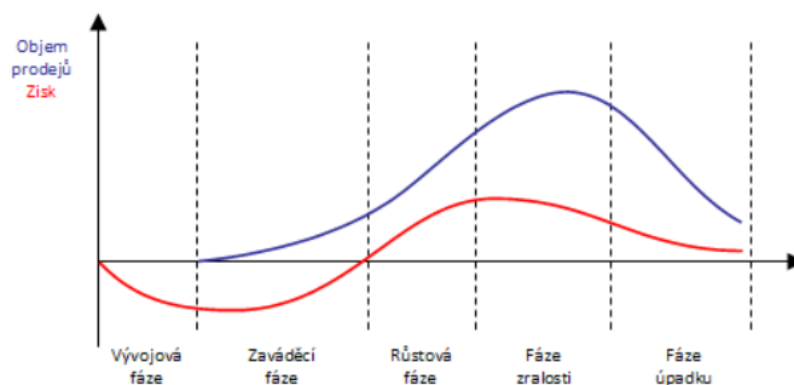
**Výklad**

V současné době firmy čelí vysoké konkurenci na trhu, která se projevuje především požadavky na rychlost, cenu a kvalitu dodávaných výrobků. Doba je charakterizována častými změnami, na které společnosti, pokud si chtějí udržet svou pozici na trhu, musí umět flexibilně reagovat bez ztráty kvality a spolehlivosti svých výrobků.

Většina firem využívá různých systémů pro standardizaci jako podpůrné prostředky pro svou činnost. Díky standardizaci a systémovému přístupu se snižuje riziko chybovosti a zvyšuje se rychlost a efektivita výroby/vývoje.

Jedním z odvětví současného marketingu je Product Life Cycle Management neboli řízení životního cyklu výrobků, které je ve většině případů charakterizováno několika fázemi.

- Vývojová – produkt ještě není uveden na trh, prodej je nulový, zisk je záporný.
- Uvedení na trh – produkt je uveden na trh, prodeje pomalu rostou.
- Růst – zvyšují se objemy výroby, zisk se dostává do plusových hodnot.
- Zralost – prodeje nadále rostou, ale cena klesá, a tudíž i zisk začíná opět klesat.
- Pokles – výrobek je ve „výběhu“, prodeje klesají a zisk také.



**Obr. 14.1** Životní cyklus výrobku [14.1]

Společnost Continental jako jedna z vedoucích firem na trhu si velmi uvědomuje důležitost vývoje a jeho významný vliv na prosperitu, a proto tuto fázi životního cyklu plně podporuje jak z procesního hlediska, tak z hlediska finančního. Proto se v rámci následující kapitoly nebudeme zabývat celým životním cyklem produktu, ale zaměříme se na důležitost vývojové fáze a na její základní požadavky, včetně jejich jednotlivých částí. [14.1]

### 14.1 Vývojová fáze

Jak již bylo uvedeno výše, prvním krokem k tomu, aby se výrobek dostal na trh a ke konečnému zákazníkovi, je jeho vývoj. Vývoj bývá často považován za jeden z nejdůležitějších článků celého řetězce a firmy na něj vynakládají nemalé prostředky, ať už finančního, nebo lidského charakteru.

Některé z teorií zahrnují vývojovou fázi jako součást uvedení výrobku na trh. Je ale velice důležité si uvědomit, že zdaleka ne všechny výrobky „přežijí“ fázi vývoje a pokračují dále ve svém životním cyklu. Velké množství z vyvíjených produktů se zrodí a zároveň skončí ve vývoji a nikdy se na trh nedostane.

Úspěšnost firem na globálním trhu je mimo jiné určena také úspěšností a efektivností jejich vývojových procesů. Lídři dokážou předvídat situaci na trhu, odhadovat jeho budoucí potřeby, a tím získávat konkurenční výhodu ve včasném zavedení nových výrobků na trh.

Cílem firem je díky efektivnímu a kvalitnímu vývoji vytvořit produkt, který:

- trh požaduje, tzn. existuje poptávka (máme zákazníky, kteří daný výrobek potřebují a jsou ochotni si jej za určitých podmínek koupit);
- je uveden na trh včas, tzn. výrobek je na trh uveden v době, kdy jej zákazníci požadují;
- cena produktu je akceptovatelná trhem, ale zároveň generuje pro firmu zisk;
- odpovídá požadavkům na kvalitu podle současných automotive standardů a norem (např. IATF, ISO...).

Trendem současné doby je zvyšování kvality výrobků a současné snížení ceny a času dodání na trh, tedy času na vývoj. Čas, peníze a zdroje určují hranice pro projektové týmy, ve kterých mohou vyvíjet svou činnost.

### **Přístupy k vývoji**

Pomocí kvalitního a efektivního vývoje si firmy snaží udržet konkurenční výhodu, a tím i svou pozici na trhu. Na základě toho, na jakou cílovou skupinu se zaměřují, se od sebe částečně liší vývojové procesy.

Prvním přístupem je tzv. **generický (base, základní) vývoj**.

Firma provádí aktivní, pravidelný průzkum trhu s cílem najít mezery na trhu, a tím i potenciál do budoucna. V rámci generického vývoje se firma zaměřuje na strategické projekty, tedy vývoj takových produktů, které zaplní mezeru na trhu v období cca 5 let, popř. na inovaci současných produktů. Vývoj většinou není soustředěn pouze na jednoho zákazníka, nýbrž na konkrétní aplikaci (např. vývoj baterií pro elektromobilitu, senzory pro autonomní řízení apod.) s cílem pokrýt více zákazníků, popř. tahouny na trhu.

Cílem generického vývoje je vyvinout a ověřit technicky i tržně nový produkt, který bude sloužit jako základ pro další „aplikační – zákaznické“ projekty (Conti PLC). [14.5]

Na základě výše určeného cíle dochází v průběhu generického vývoje k nadefinování požadavků na výrobek technického i finančního charakteru. Rozsah takto stanovených technických požadavků bývá zpravidla větší, než se očekává od budoucích konkrétních zákazníků (např. požadavky na měření teploty pro generický projekt v rozmezí  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , konkrétní zákaznické požadavky  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). V této fázi dochází také k definování finančních požadavků. Existuje několik přístupů ke stanovení ceny produktu. Zjednodušeně lze říci, že buď stanovujeme cenu přístupem Bottom-Up (definice ceny po sečtení požadovaných nákladů na materiál, vývoj a zisk), nebo Top-Down. V současné době se používá metoda Target costing (Top-Down přístup), kdy na základě trhem akceptovatelné ceny se po odečtení zisku a fixních nákladů dostaneme na maximální možné dovolené náklady na materiál a na vývoj produktu. Nedílnou součástí tohoto kroku je tedy definování potenciálních cílových zákazníků, které bychom na trhu chtěli oslovit.

Výsledkem generického vývoje je produkt, který byl otestován a ověřen a splňuje námi zadané požadavky, je možné ho sériově vyrábět a jeho cenové náklady jsou v souladu s požadavky trhu a budou sloužit k zajištění budoucího zisku.

Další přístup je **aplikační – zákaznický vývoj**.

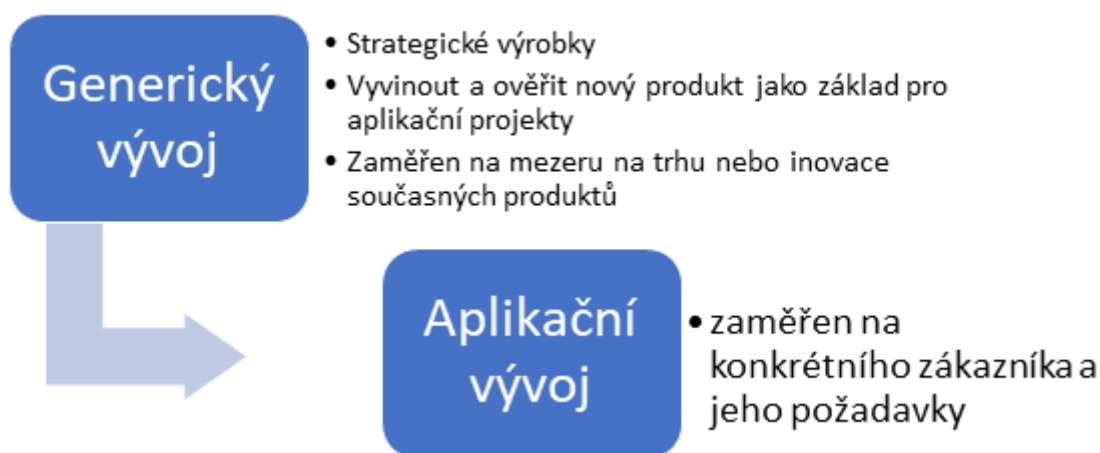
Je to vývojový projekt zaměřený na konkrétního zákazníka a jeho požadavky a potřeby. V ideálním případě bude vycházet z už známe aplikace, ať se bavíme o další generaci již stávajícího projektu (upravujeme, měníme současný výrobek podle nových požadavků

zákazníka), nebo projektu z ukončeného generického vývoje. Velice často dochází k vývoji výrobku „šitého“ zákazníkovi na míru.

Cílem je uspokojit požadavky konkrétního zákazníka, otestovat a ověřit výrobek na základě jeho požadavků.

V případě úspěšně ukončeného generického vývoje (popř. předcházející generace) lze využitím výsledků a poznatků snížit náklady na projekt a zrychlit jeho zavedení do sériové výroby, např. testování se nemusí dělat znovu, popř. se nemusí dělat v plném rozsahu.

Posloupnost projektů v ideálním případě je následující:



*Obr. 14.2 Rozdíl mezi generickým a aplikačním vývojem*

## 14.2 Fáze vývoje

Tak jako existuje životní cyklus výrobku, tak také vývoj má své jednotlivé fáze. Na základě zvolených teorií se uvádí 5–8 vývojových fází. Hlavní rozdíly plynou z toho, jestli se bavíme o vývoji generickém nebo aplikačním. Další rozdíly mohou být způsobeny také přístupem jednotlivých firem k vývoji – zda do něj zahrnují, nebo nezahrnují fáze hledání konceptu, průzkum trhu a konkurence, industrializace (náběh zavedení do série) apod.

U všech přístupů ale zůstávají základní fáze, které jsou stabilní a neměnné. Jedná se o fázi výzkumu trhu a definování požadavků na výrobek, fáze samotného vývoje a fáze testování a ověřování výrobků vzhledem k zadaným požadavkům.

Níže je uvedeno několik možností vývojových fází.

Příklad 1: 6fázový vývojový proces (odvozeno z [14.2] a [14.3])



*Obr. 14.3 Fázový vývojový proces – příklad 1*

Příklad 2: 8fázový vývojový proces (odvozeno z [14.4])



*Obr. 14.4 Fázový vývojový proces – příklad 2*

Příklad 3 Zdroj: [14.5]



Obr. 14.5 Fázový vývojový proces – příklad 3

Tak jako existuje několik přístupů k definici vývojových fází, existuje také několik přístupů k samotnému projektovému řízení projektů, např. Stage/Gate, Critical path, Functional/Departmental. Záleží na charakteru projektu a strategii firmy, který přístup preferuje. V rámci firmy Vitesco Technologies je nejčastěji používaným modelem Critical path, kdy jsme omezeni cílovým datem doručení hotového projektu – časově zaměření a řešíme poměrně komplexní projekty. Zároveň se s tímto přístupem prolíná Stage/Gate, kdy na konci každé vývojové fáze provádíme vyhodnocení zakončení jedné a přípravy druhé fáze.

Jak již bylo výše zmíněno, vývojová fáze je fází životního cyklu projektu, do které je nutné investovat finanční prostředky i lidské zdroje. Významné společnosti budují svá vývojová centra, kde se za podpory systémových řešení a standardizace práce snaží urychlit svou vývojovou činnost a zaplnit mezeru na trhu jako první.

Jelikož kvalita, čas a cena – ve smyslu zvýšení prvního a snížení ostatních dvou – jsou hlavními ukazateli úspěchu, stojí vývojové týmy před nemalou výzvou, kde najít dodatečné možnosti pro redukcii, aniž by byla ohrožena kvalita dodávaných výrobků.

Využívají různých podpůrných přístupů, s jejichž pomocí mohou splnit náročné tržní požadavky. Jedná se jednak o metodiky projektového řízení, podpůrné metodiky pro vývoj, analýzy chyb, řešení problémů, jako např. agile metodiky, design for six sigma, structured problem solving, lean company. Nedílnou součástí jsou také softwarové podpůrné systémy.

## Závěr

Fáze vývoje je jednou z nejdůležitějších fází v rámci životního cyklu projektu. Zjednodušeně by se dalo říci, že transformace nalezených mezer a příležitostí na trhu produktu, který lze prodat, se děje právě v této fázi.

Zajištění stabilní pozice na trhu, konkurenční výhoda, zajištění zisku – to vše je významně ovlivněno schopností vyvinout včas kvalitní produkt, který trh požaduje.

Významní hráči na trhu přikládají vývojové fázi velký význam a investují do ní nemalé materiálové i lidské prostředky. Díky tomu si udržují konkurenční výhodu a zajišťují budoucí zisky.



Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

- [14.1] Životní cyklus výrobku nebo služby (Product or Service Lifecycle). In: ManagementMania.com [online]. Wilmington (DE) 2011-2018, 17.11.2018 [cit. 28.11.2018]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/zivotni-cyklus-vyrobku-sluzby>
- [14.2] New Product Development Stages. *Product Life Cycle Stages*[online]. living Better Media, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://productlifecyclestages.com/new-product-development-stages/>
- [14.3] QUAIN, S. 6 Phases in New Product Development. *Chron*[online]. Hearst Newspapers, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://smallbusiness.chron.com/6-phases-new-product-development-18440.html>
- [14.4] New product development. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*[online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/New\\_product\\_development](https://en.wikipedia.org/wiki/New_product_development)
- [14.5] CA0300053 Product Life Cycle at P S&A



- [14.6] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 80-86851-38-9.
- [14.7] Životní cyklus produktu. *Marketingové noviny* [online]. 2001, (1) [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: [http://www.marketingovenoviny.cz/marketing\\_80/](http://www.marketingovenoviny.cz/marketing_80/)
- [14.8] Product Life Cycle Challenges. *Product Life Cycle Stages* [online]. Living Better Media, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://productlifecyclestages.com/product-life-cycle-challenges/>
- [14.9] What is Product Life Cycle Management. *Product Life Cycle Stages* [online]. Living Better Media, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://productlifecyclestages.com/what-is-product-life-cycle-management/>
- [14.10] NEWTON, C. 7 Steps of Product Development. *Chron* [online]. Hearst Newspapers, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://smallbusiness.chron.com/7-steps-product-development-18497.html>
- [14.11] LINTON, Ian. New Product Development and Introduction. *Chron* [online]. Hearst Newspapers, 2018 [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <https://smallbusiness.chron.com/new-product-development-introduction-61192.html>



#### Shrnutí pojmů kapitoly

- PLC
- Životní cyklus výrobku
- Product Life Cycle Management



#### Otázky k probranému učivu

1. Co je to Product Life Cycle Management?
2. Popište životní cyklus výrobku.

Autoři:	Radim Hercik, Miroslav Kvíčala
Katedra:	Katedra fyziky 480
Název:	Senzory v automobilovém průmyslu
Místo, rok, vydání:	Ostrava, 2020, II. vydání
Počet stran:	160
Vydala:	VŠB – Technická univerzita Ostrava
Tisk:	Vitesco Technologies Czech Republic s.r.o., Ostrava, Na Rovince 879, 720 00
Náklad:	50 kusů

Neprodejné

**ISBN 978-80-248-4247-9**