

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**  
**Katedra výrobních systémů**

**Obor:** výrobní systémy

**Zaměření:** Pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu

## **Studie mobilního robotu**

KVS – VS – 131

**PAVEL RACH**

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef Cerha, CSc.  
Konzultant:

Počet stran: 63  
Počet příloh: 5  
Počet obrázků: 46  
Počet tabulek: 3  
Počet modelů  
nebo jiných příloh: -

Liberec, 8. května 2002



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

|                  |                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------|
| Jméno a příjmení | <b>Pavel R a c h</b>                                   |
| obor             | <b>2301 T Výrobní systémy</b>                          |
| zaměření         | <b>pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu</b> |

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

### **Studie mobilního robotu**

#### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Úvod, cíle práce.
2. Stávající stav řešené problematiky (literární rešerše).
3. Zhodnocení získaných poznatků.
4. Ideový návrh mobilního robotu (kinematická uspořádání, pohony, řízení)

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva 40 - 50 stran
- grafické práce podle potřeby

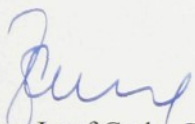
Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

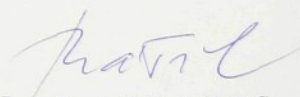
JONES, J.L.- FLYN, A. M.: *Mobile Robots. Inspiration to Implementation*. Published A. K. Peters Ltd., 1999  
KÁRNÍK, L.- KNOFLÍČEK, R.- NOVÁK – MARCINČIN, J.: *Mobilní roboty. MÁRFY SLEZKO*, Opava 2000

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Josef Cerha, CSc.

Konzultant diplomové práce:



  
Doc. Ing. Josef Cerha, CSc.  
vedoucí katedry

  
Doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.  
děkan

V Liberci dne 31. 10. 2001

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky



## **Téma: STUDIE MOBILNÍHO ROBOTU**

### **Anotace:**

Cílem této práce je provést průzkum současného vývoje mobilní robotiky s následným zhodnocením poznatků. Výsledkem zkoumání bude ideový návrh, který bude zakončením této práce. Plně funkční mobilní robot jako výsledek ideového návrhu bude sloužit na Katedře výrobních systémů Technické univerzity v Liberci pro výukové účely a k dalšímu zkoumání.

## **Theme: A MOBILE ROBOT STUDY**

### **Annotation:**

The goals of this work are to work out a study of mobile robotics developments with a consequential evaluation of scientific knowledge. The result of this scrutiny will be an ideological design, which will close up this work. A fully functional mobile robot as a result of the ideological design will serve the purpose of educational needs and further scrutiny at the Department of Manufacturing Systems at the Technical University of Liberec.

Desetinné třídění: 62-52: 621.8

Klíčová slova: STUDIE, MOBILNÍ, ROBOT

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno: 2002

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 63

Počet příloh: 5

Počet obrázků: 46

Počet tabulek: 3

Počet modelů

nebo jiných příloh: -



## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že se na mou diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 o autorském právu, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své diplomové práce či poskytnout licenci k jinému využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Datum: 8. května 2002

Podpis: .....

Pavel Rach

## **Místopřísežné prohlášení**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Liberci 8. května 2002

Podpis: .....  
Pavel Rach

## **Poděkování**

Úvodem této diplomové práce bych rád poděkoval především vedoucímu Doc. Ing. J. Cerhovi, CSc. za odborné vedení a cenné rady při řešení diplomové práce.

Dále děkuji Ing. P. Kellerovi za podnětné připomínky, všestrannou pomoc a praktické rady při zpracování této práce.



# Obsah

|          |                                                     |           |
|----------|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod .....</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>2</b> | <b>Stav současného vývoje mobilních robotů.....</b> | <b>10</b> |
| 2.1      | Charakteristika a rozdělení mobilních robotů .....  | 10        |
| 2.2      | Pohybová ústrojí mobilních robotů.....              | 12        |
| 2.2.1    | Mobilní roboty s kolovým podvozkem .....            | 12        |
| 2.2.2    | Kráčející roboty .....                              | 20        |
| 2.2.3    | Mobilní roboty s pásovým podvozkem.....             | 25        |
| 2.2.4    | Létající roboty .....                               | 26        |
| 2.2.5    | Jiné konstrukce podvozků .....                      | 28        |
| 2.3      | Snímače mobilních robotů .....                      | 29        |
| 2.3.1    | Relativní určování polohy robotu .....              | 29        |
| 2.3.2    | Absolutní určování polohy robotu .....              | 29        |
| 2.3.3    | Snímače vnitřní informace (interoreceptory) .....   | 30        |
| 2.3.4    | Snímače vnější informace (exteroreceptory) .....    | 32        |
| 2.4      | Pohony.....                                         | 36        |
| 2.4.1    | Motory a jejich řízení .....                        | 36        |
| 2.4.2    | Převodová ústrojí .....                             | 43        |
| 2.5      | Zdroj energie .....                                 | 44        |
| 2.6      | Řídící systém .....                                 | 47        |
| 2.7      | Programování mobilních robotů .....                 | 47        |
| <b>3</b> | <b>Ideový návrh mobilního robotu.....</b>           | <b>48</b> |
| 3.1      | Požadavky na pohyb a funkci .....                   | 48        |
| 3.2      | Volba pohybového ústrojí .....                      | 49        |
| 3.3      | Volba snímačů.....                                  | 51        |
| 3.4      | Volba pohonu .....                                  | 55        |
| 3.5      | Volba řídicího členu .....                          | 60        |
| 3.6      | Zdroj energie .....                                 | 60        |
| <b>4</b> | <b>Závěr .....</b>                                  | <b>61</b> |

# Seznam použitých symbolů a zkratek

|               |                                                     |
|---------------|-----------------------------------------------------|
| b             | - šířka [m]                                         |
| DC            | - stejnosměrné napětí, motor                        |
| D             | - průměr [m]                                        |
| EC            | - elektrická komutace, motor s elektrickou komutací |
| f             | - frekvence [Hz]                                    |
| HW            | - hardware                                          |
| i             | - převodový poměr [-]                               |
| J             | - moment setrvačnosti [ $\text{kgm}^2$ ]            |
| K             | - velikost kroku inkrementálního čidla              |
| KM            | - krokový motor                                     |
| l             | - délka [m]                                         |
| LSB           | - least significant bit (bit s nejmenší váhou)      |
| M             | - kroutící moment [Nm]                              |
| MSB           | - most significant bit (bit s největší váhou)       |
| n             | - otáčky [ $\text{s}^{-1}$ ]                        |
| NiCd          | - nikl-kadmium                                      |
| NiMH          | - nikl-metalhydrid                                  |
| r             | - poloměr [m]                                       |
| R             | - poloměr [m]                                       |
| SW            | - software                                          |
| t             | - čas [s]                                           |
| v             | - rychlost [ $\text{m s}^{-1}$ ]                    |
| z             | - počet zubů [-]                                    |
| $\varphi$     | - úhel natočení kola [rad]                          |
| $\varepsilon$ | - úhlová rychlost [ $\text{rad s}^{-2}$ ]           |
| $\omega$      | - úhlová rychlost [ $\text{rad s}^{-1}$ ]           |



# 1 Úvod

Mobilní robotika má dnes velmi široké pole působnosti a zabývá se jí mnoho laboratoří. Dají se zde aplikovat nejnovější poznatky z mnoha oborů, zejména z oboru umělé inteligence, které dělají z robotu inteligentní autonomní systém. Mobilní robot je takový počítačem řízený integrovaný systém, který je schopen autonomní cílově orientované interakce s okolním prostředím podle naprogramovaných instrukcí, tj. vnímání a rozpoznávání tohoto okolí, pohybování se v něm a plnění zadaných úkolů.

Vyvstává zde však celá řada problémů, která se přesouvá především do oblasti rozpoznávání scény, řízení, navigace, plánování trasy atd. Konstrukteři mobilních robotů si pak kladou za cíl nalézt nejefektivnější řešení z hlediska malého zastavěného prostoru, nízké energetické náročnosti, apod.

Mobilní roboty se jen velmi těžko uplatňují v praxi, což je způsobeno zejména jejich jedinečností a specifickým nasazením. Pro nahrazení lidské činnosti jsou stále ještě příliš „nedokonalé“ a ve srovnání s lidskou pracovní silou příliš drahé. Nacházejí však uplatnění v prostředí pro člověka nebezpečném nebo nepřístupném. Velké úsilí je v posledních letech věnováno vývoji mobilních robotů určených pro průzkum jiných planet. Za dosud nejvýznamnější projekt lze považovat mobilní sondu Mars-Pathfinder určenou k prozkoumání povrchu planety Mars.

Cílem této práce je provést průzkum současného vývoje mobilních robotů a problematiky s tím spojené. Výsledkem tohoto úsilí bude zhodnocení získaných poznatků, ideový návrh mobilního robotu včetně zvoleného kinematického uspořádání, výběru pohonů a způsobu řízení. Katedra výrobních systémů Technické univerzity v Liberci si klade za cíl realizovat tento návrh, který má sloužit pro výukové účely. Takto vytvořený robot nabízí velký prostor pro získání zkušeností s programováním zejména jednočipových mikroprocesorů, řízením motorů, pro sledování vlastností různých druhů snímačů a chování pohybového ústrojí.



## 2 Stav současného vývoje mobilních robotů

### 2.1 Charakteristika a rozdělení mobilních robotů

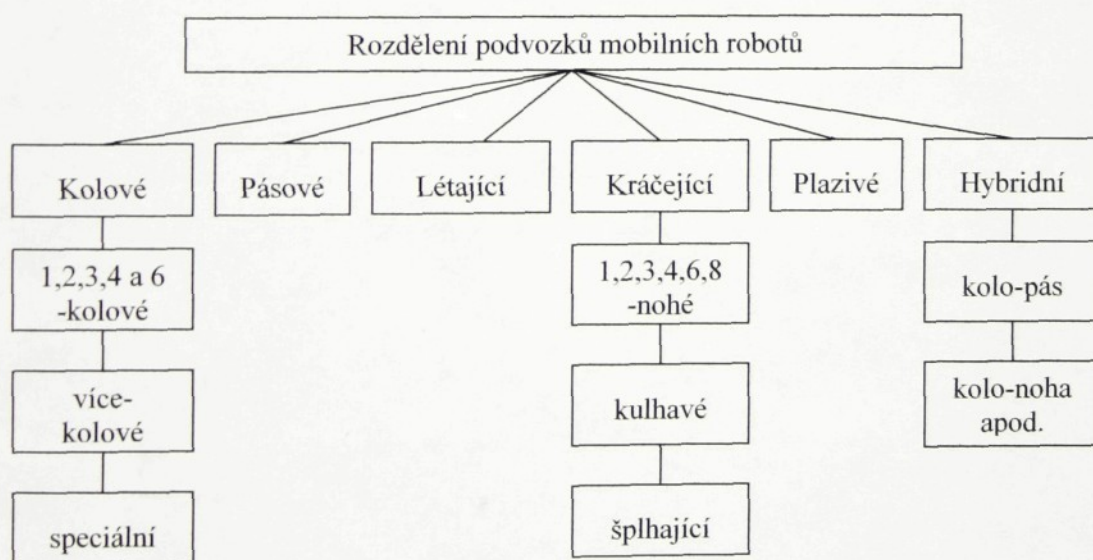
Mobilní robot se obvykle skládá ze tří základních skupin, které z něj dělají autonomní celek vykonávající uživatelem určené operace. Z konstrukčního hlediska lze tyto skupiny označit jako:

**mechanismus** - je základní mechanická část, která umožňuje vlastní pohyb robotu nebo jeho částí. Do této kategorie lze zařadit např. motor, převodovku, úchopné prvky apod.,

**hardware** - je elektronická část, která umožňuje podle programu zpracovávat vjemy z okolního prostředí a podle těchto vjemů ovládat mechanismus,

**software** - obsluhuje hardware podle uživatelem nadefinovaného programu, ve kterém mohou být zakomponovány různé strategie nebo prvky umělé inteligence.

Při konstrukci mobilních robotů je věnována pozornost zejména pohybovému ústrojí mobilních robotů, tj. technickým prostředkům umožňujícím pohyb. Tyto technické prostředky jsou také někdy označovány jako podvozky mobilních robotů, jejichž základní rozdělení je znázorněno na obr.1.



**Obr. 1** Rozdělení mobilních robotů podle druhu podvozku [3]

Dále lze mobilní roboty rozdělit do několika základních generačních skupin charakterizovaných způsobem řízení, využitím a mobilitou. Tyto generační skupiny se mohou v některých případech prolínat, a proto je toto rozdělení pouze orientační.

### **Generace I**

|                         |                                                  |
|-------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>řízení:</b>          | pevný stop, naučné body                          |
| <b>použití:</b>         | např. manipulace s materiálem, strojová kontrola |
| <b>mobilita:</b>        | žádná                                            |
| <b>datum zhotovení:</b> | 1982                                             |

### **Generace II**

|                         |                                                                      |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>řízení:</b>          | naučná cesta kontrolovaná servořízením a<br>proporcionálními snímači |
| <b>použití:</b>         | např. bodové svařování                                               |
| <b>mobilita:</b>        | může být spojován v posuvné celky                                    |
| <b>datum zhotovení:</b> | 1984                                                                 |

### **Generace III**

|                         |                                                                                      |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>řízení:</b>          | přesné servo řízení pomocí vidění, taktilními snímači<br>nebo off-line programováním |
| <b>použití:</b>         | např. montáž                                                                         |
| <b>mobilita:</b>        | posuvný robot                                                                        |
| <b>datum zhotovení:</b> | 1988-1990                                                                            |

### **Generace IV**

|                         |                                        |
|-------------------------|----------------------------------------|
| <b>řízení:</b>          | inteligentní snímače                   |
| <b>použití:</b>         | např. použití v továrnách při revizích |
| <b>mobilita:</b>        | pásový, kolový nebo krácející          |
| <b>datum zhotovení:</b> | 1995-2000                              |



## **Generace V**

|                         |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| <b>řízení:</b>          | řízené umělou inteligencí         |
| <b>použití:</b>         | např. vojenské a vesmírné využití |
| <b>mobilita:</b>        | kráčející, hybridní nebo létající |
| <b>datum zhotovení:</b> | 2005-2010 (předpoklad)            |

[3]

## **2.2 Pohybová ústrojí mobilních robotů**

### **2.2.1 Mobilní roboty s kolovým podvozkem**

U kolových mobilních robotů je prvotním problémem navrhnout koncepci (uspořádání) kolového podvozku, počet a uspořádání kol hnacích, hnaných a směrových. Dále určení hnacího kroutícího momentu a výkonu zvolené pohonné jednotky. Šest kol zajišťuje velkou stabilitu, zvláště jsou-li všechna poháněna. Jsou však konstrukčně složitější. Tříkolové podvozky jsou konstrukčně jednodušší, mají nižší hmotnost a lepší možnost manévrování. Kola větších průměrů dovolují překonat i malé překážky ležící na podlaze (prahy, kabely apod.). Na vědomí je třeba brát, že zvětšením průměru kola se zvyšuje těžiště podvozku, resp. celého mobilního robotu, což má za následek zhoršení jízdních vlastností a snížení stability. [4]

### **Jedno a dvoukolové mobilní roboty**

U jednokolových mobilních robotů je nezbytně nutné gyroskopické vyvažování, aby nedošlo k „překlopení“. Protože řízení přináší značné konstrukční obtíže, tyto roboty se příliš neprosazují.

Dvoukolové roboty jsou konstrukčně poněkud jednodušší, ale pouze za předpokladu, že těžiště robotu leží pod osou rotace kol. Avšak ani tyto konstrukce nenacházejí širší uplatnění.

### **Tří a čtyřkolové mobilní roboty**

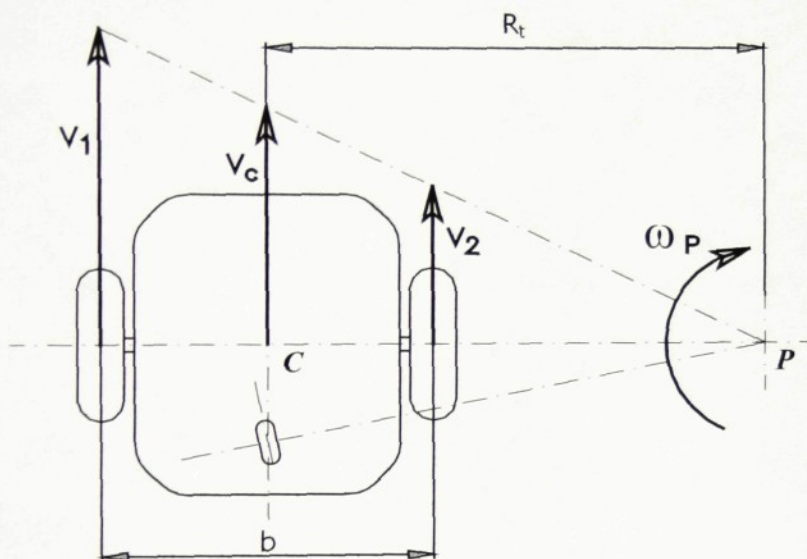
Do této skupiny lze začlenit celou řadu mobilních robotů, které můžeme rozdělit podle způsobu řízení směru pohybu. Mohou to být podvozky řízené diferenčně, synchronně, řízené Ackermanovým způsobem, podvozky s více stupni volnosti nebo podvozky s všesměrovými koly.



### a) Diferenční způsob řízení

Tento typ mobilních robotů se vyznačuje tím, že má dvě nezávisle poháněná kola a vepředu nebo vzadu volně otočné nepoháněné směrové kolo (popř. kola). Diferenčně řízený robot má směrová kola neřiditelná a řízení je zajištěno nezávislým otáčením každého z hnacích kol.

Pro stanovení polohy robotu nepřímou metodou lze sestavit soustavu jednoduchých geometrických rovnic. Pro určení velikosti vektoru rychlosti a poloměru otáčení podvozku se použijí kinematické rovnice odvozené z obr. 2.



**Obr. 2** Kinematické schéma diferenčně řízeného podvozku

Pro rychlost bodu  $C$  lze napsat rovnici

$$v_c = \frac{(v_1 + v_2)}{2}, \quad (1)$$

kde  $v_1$  a  $v_2$  jsou obvodové rychlosti příslušného kola. Pro  $v_1$  a  $v_2$  lze dále psát

$$v_1 = 2 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot \frac{D_{kskut}}{2} \quad \text{a} \quad (2)$$

$$v_2 = 2 \cdot \pi \cdot n_2 \cdot \frac{D_{kskut}}{2}, \quad (3)$$

přičemž  $n_1$  a  $n_2$  jsou otáčky příslušného kola a  $r_{kskut}$  je skutečný poloměr kol. Pól pohybu leží v průsečíku osy kol a spojnice vrcholů vektorů rychlostí  $v_1$  a  $v_2$ . Tento pól určuje teoretický poloměr zatáčení  $R_t$ , pro který platí:

$$R_t = \frac{v_c \cdot b}{v_1 + v_2}, \quad (4)$$

kde  $b$  je rozvor podvozku. V ideálním případě je to vzdálenost mezi body dotyku kola s podložkou, ve skutečnosti je to vzdálenost mezi těžišti kontaktních ploch.

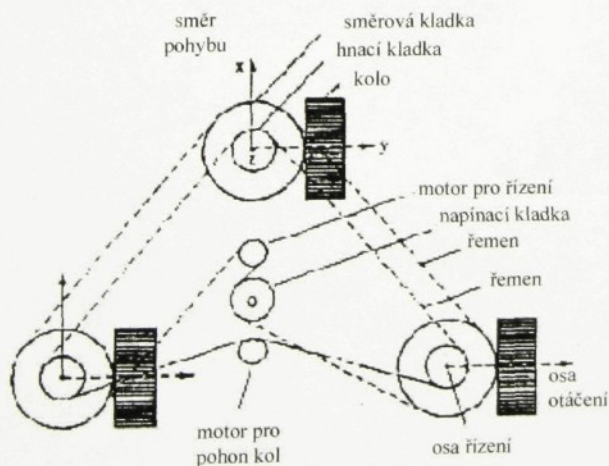
Úhlová rychlost otáčení podvozku kolem bodu  $P$  je dána rovnicí

$$\omega_p = \frac{v_c}{R_t}. \quad (5)$$

Z předchozích vztahů je vidět, že robot se může pohybovat přímočaře (pól  $P$  leží v nekonečnu), nebo se naopak může otáčet na místě (pól  $P$  je shodný s bodem  $C$ ).

## b) Synchronní způsob řízení

Tento typ podvozku má obvykle tři nebo čtyři kola, všechna poháněná a řízená tak, že mají navzájem stále stejné natočení a rychlost. Pro všechna kola se používá jeden společný řetěz na natáčení kol a jeden společný řetěz na pohon kol. Pohon kol lze pak realizovat např. kuželovým soukolím. Schéma synchronního podvozku je znázorněno na obr. 3.



**Obr. 3** Schéma synchronního podvozku [3]



Výhoda podvozku se synchronním pohonem spočívá v menší složitosti konstrukce s ohledem na vnitřní uspořádání, dobré manévrovací schopnosti a jednoduchém řízení.

Lze říci, že těchto podvozků, resp. mobilních robotů, se mnoho nevyskytuje. Jeden z robotů s tímto typem podvozku byl vyvinut na americké Clemson University v Jižní Kalifornii a byl označen názvem K2A. Robot je znázorněn na obr. 4.



**Obr. 4** Mobilní robot KA2 se synchronním pohonem [3]

### c) Ackermanův způsob řízení

Nejčastěji se lze setkat s tří nebo čtyřkolovým provedením. Čtyřkolový podvozek řízený Ackermanovým způsobem znázorněný na obr. 5 má dvě poháněná kola, která musí být vybavena mechanickým, tekutinovým nebo elektrickým diferenciálem a vepředu (popř. vzadu) otočná nepoháněná kola.

Jak ukazuje obr. 5, protažením středů os kol se získá jejich průsečík, který tvoří střed otáčení robotu. Tvoří se tak kružnice k nimž vektory rychlosti tvoří tangenty. Pro splnění Ackermanovy podmínky, tj. osy všech kol se protínají v jednom bodě, musí být dodržena geometrická podmínka

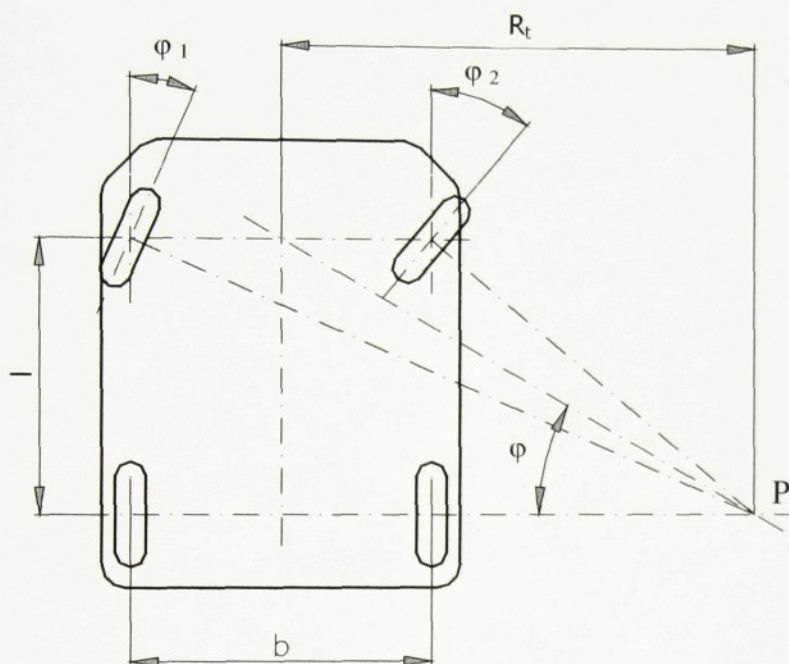
$$\cotg \varphi_1 - \cotg \varphi_2 = \frac{b}{l}, \quad (6)$$

kde  $b$  je rozvor,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  jsou úhly natočení kol a  $l$  je rozchod kol. Při zanedbání stranové tuhosti pneumatik je teoretický poloměr zatáčení

$$R_t = \frac{1}{\lg \varphi}. \quad (7)$$



Natáčení kol okolo svislé osy je zpravidla realizováno servopohonem. U podvozků s mechanickou vazbou mezi pravým a levým kolem, např. u automobilů, je tato vazba tvořena kloubovým lichoběžníkovým spojením. Pokud je každé kolo ovládáno samostatným servopohonem, je vazba splňující Ackermanovu podmínku řešena řídicím systémem.



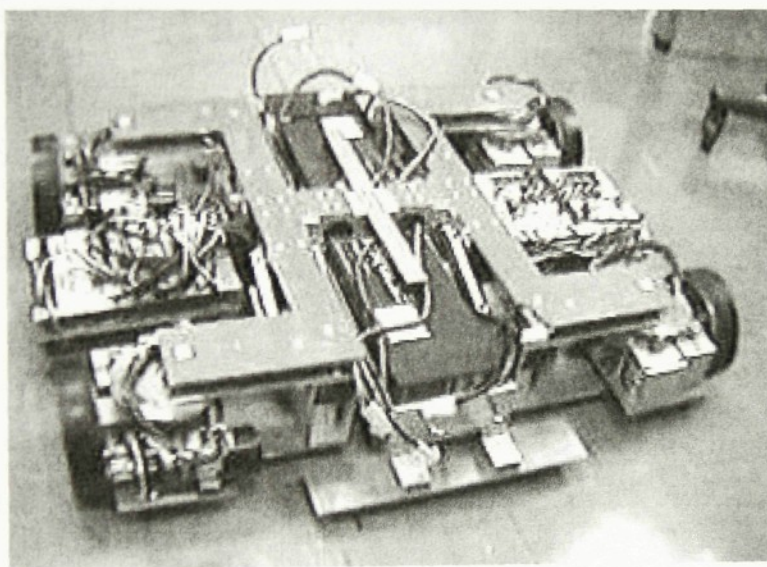
**Obr. 5** Čtyřkolový podvozek řízený Ackermanovým způsobem

Výsledkem vývoje a výzkumu Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky, fakulty strojní VUT v Brně bylo zkonstruování a sestavení mobilních robotů MOBIL I a MOBIL II. Cílem konstrukce těchto robotů bylo nahradit obyčejné indukční vozíky roboty s vyvinutější senzorikou a řídicím systémem. Velkou výhodou je např. použití infra-detektorů snímajících čáru nakreslenou na zemi místo pracného a zdoluhavého kladení vodičů pod podlahu tovární haly.

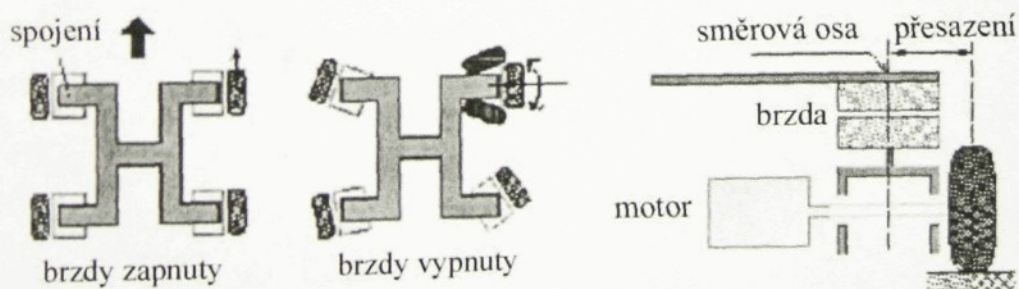
#### d) Podvozky s více stupni volnosti

Roboty tohoto typu mají některá nebo všechna kola řízená a zároveň poháněná. Tento robot může hnací kola libovolně natáčet, takže může provádět i velmi nezvyklé pohyby, jako je například jízda do boku, nebo zatáčení se středem křivosti, který se nepohybuje pouze na kolmici k tečně směru jízdy, ale pohybuje se kdekoliv okolo.

Výhodou tohoto podvozku je vysoká manévrovací schopnost, vysoká únosnost nákladu a stabilita. Na obr. 6 je znázorněn robot ODV9 vyrobený v NAKANO Advanced Robotics Lab. Každé kolo robotu je vybaveno vlastním motorem a brzdou. Když je brzda zapnuta, motor uděluje hnací sílu podvozku a když je brzda vypnuta, umožňuje natočení kola. Princip je znázorněn na obr. 7.



**Obr. 6** Robot ODV9 s více stupni volnosti [16]

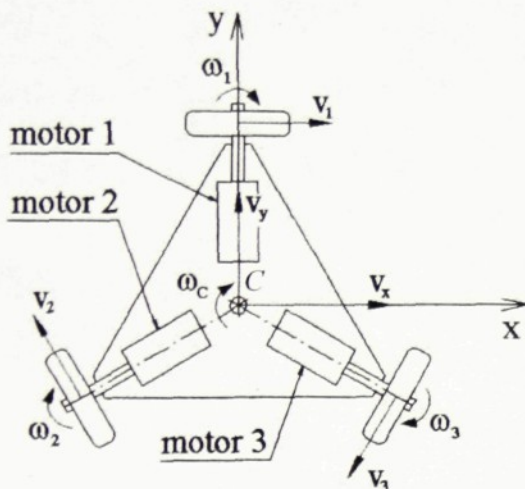


**Obr. 7** Princip podvozku robotu ODV9 [16]



### e) Podvozky s všesměrovými koly

U podvozku tohoto typu jsou používány speciální typy kol, které umožňují nejen rotaci kolem své osy, ale zároveň pohyb do strany. Nejčastěji jsou použita kola tři (rozmístěná po  $120^\circ$ ) nebo kola čtyři (rozmístěná po  $90^\circ$ ) a každé kolo má vlastní pohon. Pro kinematické schéma na obr. 8



**Obr. 8** Kinematické schéma podvozku s všesměrovými koly

lze odvodit soustavu rovnic

$$v_1 = v_x + \omega_c \cdot R, \quad (8)$$

$$v_2 = \omega_c \cdot R - \frac{1}{2} \cdot v_x + v_y \sqrt{\frac{3}{2}}, \quad (9)$$

$$v_3 = \omega_c \cdot R - \frac{1}{2} \cdot v_x - v_y \sqrt{\frac{3}{2}}, \quad (10)$$

kde  $v_1, v_2, v_3$  jsou obvodové rychlosti jednotlivých kol,  $v_x, v_y$  jsou rychlosti ve směru  $x, y$  daného souřadného systému a  $R$  je vzdálenost středu  $C$  od bodu dotyku kola s podložkou. Dosazením za  $v_x$  z rovnice (8) do rovnic (9) a (10) a následným sečtením dostaneme

$$\omega_c = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3 \cdot R} \quad (11)$$



resp.

$$v_y = \frac{v_2 - v_3}{\sqrt{3}}. \quad (12)$$

Zpětným dosazením  $\omega_c$  do rovnice (8) dostaneme rychlost

$$v_x = \frac{2v_1 - v_2 - v_3}{3}. \quad (13)$$

Robot s konstrukcí podvozku tohoto typu má výbornou manévrovací schopnost při zachování jednoduchého řízení. Protože nejnáročnější je vlastní konstrukce kol, je vhodné konstrukci provádět pro jasně definovaný povrch terénu.

## Šesti a více kolové mobilní roboty

Šestikolové mobilní roboty lze rozdělit do skupiny řízené smykem (obdobně jako pásové podvozky) a do skupiny s řiditelnými koly.

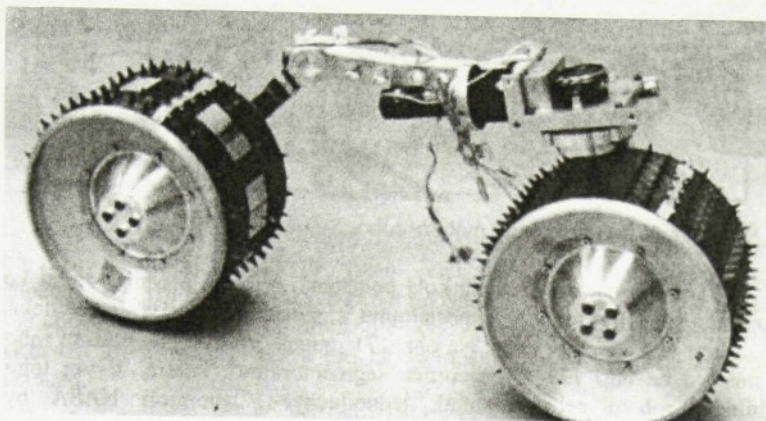
Šestikolové a vícekolové podvozky jsou konstruovány převážně pro venkovní použití, neboť dokáží zdolávat členitější terén a nerovnosti. Jelikož jsou konstruovány pro venkovní prostředí, je nutné, aby tomu odpovídaly i jejich pohony.

Technickou a technologickou převahu konstrukce robotů tohoto typu má dnes zcela jednoznačně americká společnost pro výzkum vesmíru NASA se svým programem. Asi nejznámějším mobilním robotem z této dílny je mobilní robot „Sojourner”, který byl zkonstruován za účelem průzkumu planety Mars. Tento šestikolový robot je znázorněn ve dvou pohledech na obr. 9.[3]



**Obr. 9** Šestikolový mobilní robot Sojourner a jeho otáčení [3]

Tento robot má všechna kola poháněná, přičemž přední a zadní kola jsou směrová. Díky tomuto a speciálnímu kinematickému závěsu kol dokáže překonávat velmi členitý terén. Na obr. 9 vpravo je např. znázorněno otáčení robotu na místě a na obr. 10 je znázorněn segment rámu s kolem.



**Obr. 10** Segment rámu s kolem robotu Sojourner [3]

V laboratoři NASA bylo zkonstruováno několik typů robotů určených pro průzkum cizích planet, které následně procházely náročnými testy. Vznikly tak unikátní prototypy mobilních robotů, u kterých lze vyznat některé konstrukční zvláštnosti. Nelze rovněž opomenout výkonný řídicí systém Sojourneru, který se vyznačoval vysokým stupněm umělé inteligence.[3]

Praktické využití více kolových robotů je zcela ojedinělé. Vznikají pouze laboratorní modely k dalšímu zkoumání lokomočních a navigačních vlastností.

### **2.2.2 Kráčející roboty**

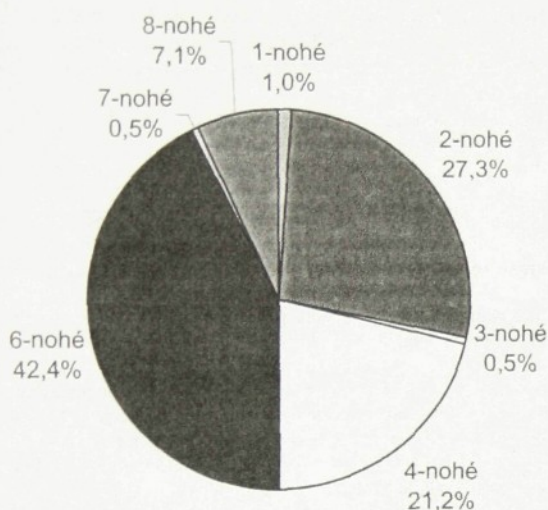
Kráčející roboty zaujímají významné postavení v oblasti mobilních robotů. Svým vzhledem a způsobem pohybu mohou napodobovat člověka, zvířata nebo hmyz. První konstrukce kráčejících mechanismů spadají do osmnáctého století, přičemž se jedná o celkem primitivní zařízení. Konstrukce nejnovějších kráčejících robotů jsou dokonalejší a jsou podstatně pohyblivější i při pohybu po členitém terénu.

Také způsob chůze je u jednotlivých typů odlišný a závisí na počtu nohou, po kterých se pohybuje. Za překážku lze v tomto případě považovat objekt, který musí



robot překonat (přelézt), dveře které musí otevřít apod. Mnoho robotů si samo zvolí způsob překonávání překážek. Některé konstrukce kráčejících robotů jsou uzpůsobeny tak, že jim nevadí ani když se překulí na záda. Mají schopnost se opět postavit na nohy a pokračovat v chůzi.

Na obr. 11 je pro názornost uvedeno zastoupení jednotlivých základních skupin kráčejících robotů v procentech. Nejsou zde zahrnuty mikroroboty a netypické konstrukce kráčejících robotů. Je vidět, že téměř polovinu všech doposud zkonstruovaných kráčejících robotů tvoří šestinohé roboty. Pravděpodobně je to způsobeno faktem, že šestinohé kráčející roboty splňují podmínky statické stability v každém okamžiku.[3]



**Obr. 11** Zastoupení jednotlivých základních skupin kráčejících robotů [3]

#### Výhody kráčejících robotů:

- mohou zdolávat relativně vysoké překážky (schody apod.),
- mohou překračovat prohlubně a příkopy, pohybovat se po extrémně členitém povrchu,
- mohou se hladce pohybovat po značně nerovném povrchu pomocí nastavitelné výšky těla nad povrchem terénu a to změnou natažení (vysunutí, zvednutí) nohy, a vyrovnávat tak vlnitost povrchu,
- nohy se méně <sup>brní</sup>zabořují do povrchu a způsobují menší poškození podloží než kolové podvozky.



### Nevýhody kráčejších robotů:

- vyšší počet nezávisle řízených stupňů volnosti,
- vyšší počet akčních členů (pohonů, převodů, snímačů, atd.),
- složitější řídicí systém z hlediska HW i SW,
- malá energetická účinnost,
- konstrukční a výrobní náročnost, složitost ožívování,
- nutnost dodávat energii po dávkách do různých míst. [3]

Všechny tyto výhody a nevýhody vyplývají z konstrukční povahy nohou - jedná se o soustavy několika kinematických dvojic, které jsou samostatně řízeny během jednoho kroku (oproti kontinuálně se otáčejícímu kolu na hřídeli). Ve spojení se všemi nevýhodami je jen nepatrné procento kráčejších robotů využito v praktických aplikacích. Naprostá většina jsou pouze laboratorní roboty využívané k výzkumným účelům.

Jsou-li nohy opatřeny aktivními přísavkami, které zaručují v každém okamžiku pevné spojení s příslušnou plochou, lze tyto roboty označit jako šplhající. Mohou se pohybovat po rovinných plochách skloněných pod úhlem stejně, jako po plochách svislých. Využívají se především k čištění oken, opravě a údržbě zdí výškových budov apod.

Velká pozornost je věnována konstrukci nohou, a to jak po stránce pohonu, tak i po stránce kinematiky. Při konstrukci nohou je třeba věnovat velkou pozornost efektivnímu využití energie. Energetickou účinnost lze podstatně zvýšit přenosem energie jednoho kroku na krok následující. Z energetického toku vyplývá rozdělení do tří režimů, které jsou:

- **pozitivní režim** – akční člen produkuje sílu nebo moment, aby vytvořil pracovní pohyb,
- **izometrický režim** – akční člen produkuje sílu nebo moment, ale není vyvozován žádný pohyb,
- **negativní režim** – akční člen produkuje brzdou sílu nebo moment.

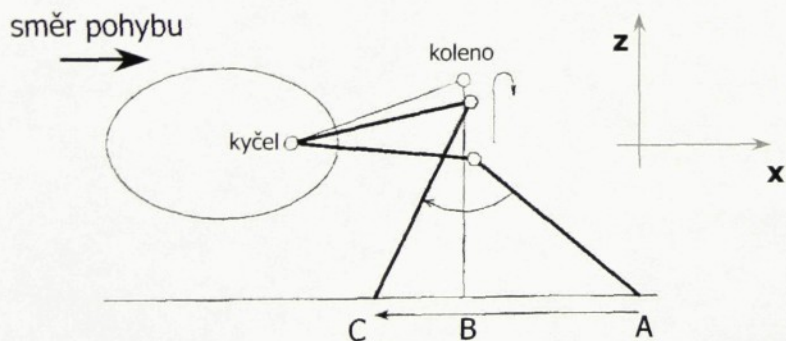
Akční člen, který spotřebovává energii během všech režimů, má nejmenší účinnost (např. sval). Akční členy, které mohou energii během negativního režimu

znovu získat pro použití v následujícím pozitivním režimu, mají nejvyšší účinnost. Většina kráčečích mechanismů používá akční členy pouze v pozitivním a brzdy v negativním režimu, čímž dochází k velkým ztrátám energie.[3]

Následující odstavce popisují nejčastěji používané konstrukce při stavbě kráčečích robotů. Kromě nich se lze setkat i s kombinací rotační a posuvné kinematické dvojice (kloub a píst), avšak pouze ve výjimečných případech.

#### a) Dvě rotační kinematické dvojice (kyčel – koleno)

Na obr. 12 je zobrazen pohyb nohy vycházející z polohy A do B a C, přičemž se robot pohybuje směrem doprava. Zatímco se tělo pohybuje vpřed, v pozici nohy B dochází k reverzaci pohybu horní části nohy a tím způsobuje velký odběr energie. Během pohybu nohy z bodu A do bodu B se horní část nohy pohybuje v kladném směru a akční člen kyčle pracuje v negativním režimu. V poloze B horní část nohy mění směr pohybu a z pozice B do C pracuje akční člen kyčle v pozitivním režimu. V kolením kloubu je situace opačná. Z pozice A do B pracuje akční člen v pozitivním režimu a z B do C v negativním režimu. Střídání pozitivního a negativního režimu během jednoho kroku (v poloze B) způsobuje velký odběr energie. Kinematické schéma je znázorněno na obr. 12.



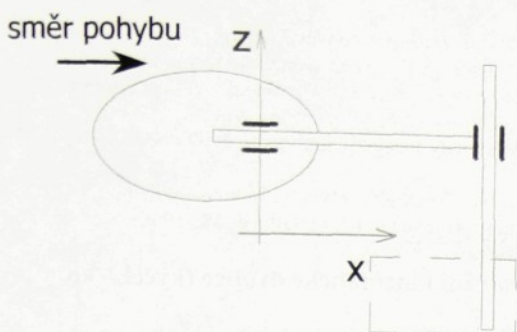
Obr. 12 Dvě rotační kinematické dvojice [3]

#### b) Dvě translační kinematické dvojice

Toto uspořádání nabízí jednoduché řešení, jak snížit odběr energie oproti konstrukci s dvěma rotačními kinematickými dvojicemi. Princip spočívá v odstranění vazby mezi pohonem pro zvedání nohy (nosným) a pohonem pro pohyb vpřed (posuvným). Jeden akční člen je zabrzděn a druhý koná pracovní pohyb. Energie se tedy



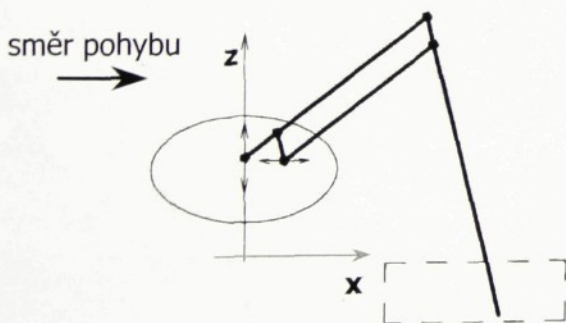
spotřebovává pouze v pozitivním režimu. Pohon je rozložen do dvou směrů - nosného (ve směru gravitačního zrychlení) a posuvného (kolmo ke gravitačnímu zrychlení). Kinematické schéma je znázorněno na obr. 13.



**Obr. 13** Dvě translační kinematické dvojice [3]

### c) Rovinný paralelogram

Vodorovný akční člen zajišťuje natažení nohy ve vodorovném směru a svislý akční člen zajišťuje zvedání nohy nebo těla ve svislém směru, pracuje tedy jako „zesilovač“ pohybů v osách  $x$  a  $z$ . Paralelogram dovoluje obsáhnout velkou plochu při malé hmotnosti nohy, což je jeho hlavní výhoda. Kinematické schéma je znázorněno na obr. 14.

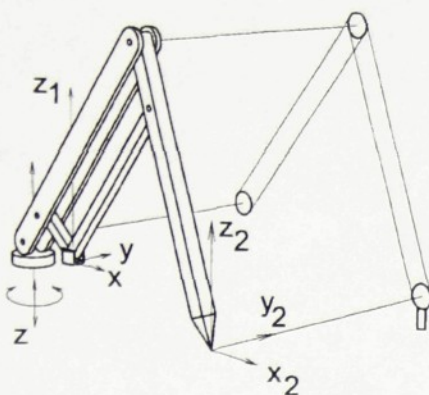


**Obr. 14** Rovinný paralelogram [3]

### d) Prostorový paralelogram

Prostorový paralelogram vznikne z rovinného přidáním třetího stupně volnosti - rotace okolo svislé osy  $z$ . Tím dosáhneme vyšší flexibility chůze. Jestliže jsou akční členy umožňující pohyb v osách  $x$  a  $y$  umístěny do průsečíků těchto os, pak se noha

zvedá automaticky při posunu ve směru osy  $y$ . Koncový bod nohy se pak pohybuje po přímce. Nutnost řízení v ose  $y$  se dá odstranit ztotožněním os  $z$  a  $z_1$  (singularita). Kinetické schéma je znázorněno na obr. 15.



**Obr. 15** Prostorový paralelogram [3]

Po provedení simulací s tímto uspořádáním nohy se ukázalo, že energetické ztráty při malých rychlostech byly o 80% menší než u předchozích typů. Při vysokých rychlostech je tedy nezbytné, aby se nevyužitá energie prvního kroku přenášela na kroky následující. Na obr. 15 je rovněž znázorněn způsob, jak lze chodidlo udržovat stále ve vodorovné poloze pomocí tří spojených kladek a dvou řetězů nebo řemenů. Kladka v kyčli je pevně spojena s tělem, kladka v kotníku je pevně spojena s chodidlem a kladka v koleni je volně otočná.

### 2.2.3 Mobilní roboty s pásovým podvozkem

Pásové podvozky slouží pro speciální outdoor aplikace a využívají tzv. řízení smykem. Pro tyto podvozky platí, že rozvor mezi pásy a jejich délka mají přímý vliv na jejich manévrovatelnost. Delší pásy a menší rozvor zvětšují třecí síly a zhoršují přesnost při otáčení. Protože odvození polohy mobilního robotu s pásy nepřímou metodou je značně nepřesné, používá se tento druh podvozků převážně pro soustavy s teleoperátorem nebo s velmi vyspělou senzorikou a vyvinutým řídicím systémem.

Jako příklad robotu s pásovým podvozkem lze uvést typ SR-10 znázorněný na obr. 16 [3]





**Obr. 16** Pásový robot SR-10 Inspektor [9]

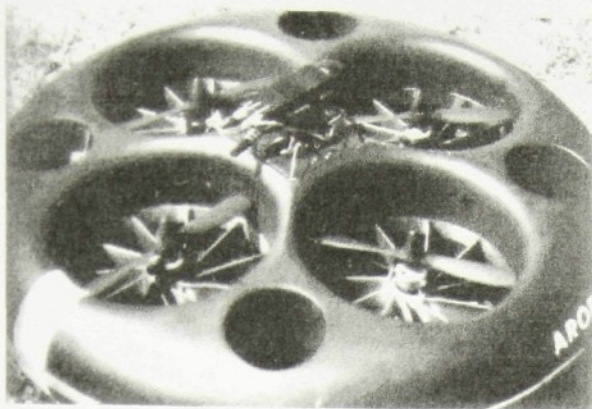
Současné konstrukce pásových podvozků využívají ve většině případů elektropohon a zdroj elektrické energie si robot nese sám. Jsou používány různé druhy materiálu ke konstrukci rámu, hnacích a podpěrných kol a dalších dílů. Počet kol jak hnacích tak podpěrných a jejich uspořádání bývá různé. Závisí to na velikosti podvozku, nosnosti robotu a prostředí, ve kterém se bude robot pohybovat.

Konstrukce pásových podvozků bývají i takové, že se jejich geometrický tvar v průběhu pohybu robotu může měnit. Takováto konstrukce podvozku umožňuje lépe najíždět na schody nebo z nich sjíždět. V opačném případě mohou vznikat při těchto přechodových situacích rázy, které mohou být nežádoucí např. ve vztahu k nesenému objektu apod. Při konstrukci podvozku tohoto typu jsou brány v úvahu následující požadavky:

- nízká hlučnost,
- nízká hmotnost,
- požadavky na nosnost,
- požadavky na velikost zdolávaných překážek apod. [3].

## 2.2.4 Létaající roboty

Létaající roboty jsou převážně určeny k provádění krátkých vzdušných průzkumů okolí. Jednou z konstrukcí je létaající robot s označením AROD znázorněný na obr. 17, který využívá ke svému letu tzv. VTOL – vertical-take-off-and-landing princip. Jedná se o čtyři vertikálně uložené vrtule umožňující vertikální vzlet i přistání.

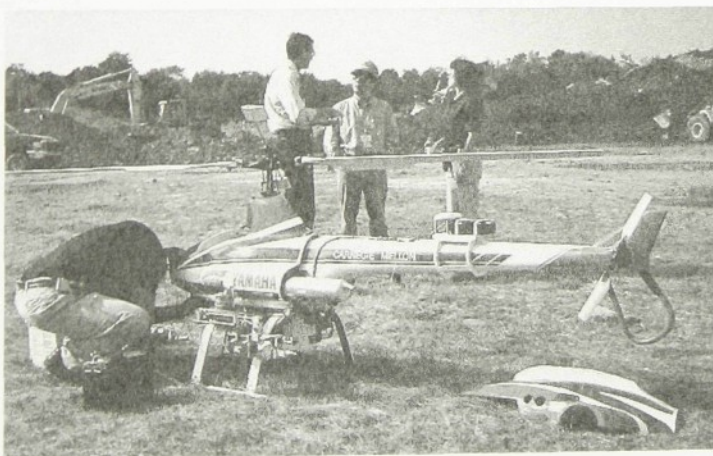


**Obr. 17** Létající robot AROD [12]

Jinou konstrukci létajících robotů jsou vrtulníky, které nacházejí využití v různých oblastech jako např.:

- provádění pátracích a záchranářských akcí,
- provádění dohledu na požadovaném území s identifikací a hlášením neobvyklých činností nebo osob, nepřetržitě držet dozor na přistávacích plochách apod.,
- provádění inspekční činnosti vysokého napětí, mostů, hrází nebo budov,
- provádění průzkumu terénu s cílem pořizování topologických map ve 3D.

Tyto létající roboty (vrtulníky) mohou samostatně vzlétnout i přistávat, jsou vybaveny kamerami, laserovými snímači a snímači podle účelu použití. Příklad robotu vyvinutého na Carnegie Mellon Robotics Institute v roce 1996 a využívaného pro výše uvedené účely je znázorněn na obr. 18.



**Obr. 18** Létající robot - vrtulník [11]



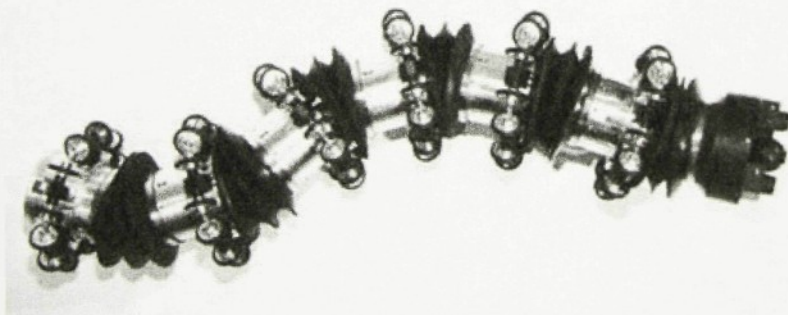
Další skupinou létajících robotů jsou takové, které jsou sestaveny podle létajících živočichů. To znamená, že ke svému letu používají křídla. Z praktického hlediska nemají tyto roboty příliš velký význam, protože let takto zkonstruovaného robotu není zcela plynulý. [3]

## 2.2.5 Jiné konstrukce podvozků

### Mobilní roboty s plazivým pohybem

Pro roboty tohoto typu je charakteristický plazivý pohyb a modelem pro jejich konstrukci je tělo hada. Roboty se mohou pohybovat dopředu nebo do strany v závislosti na jejich konstrukci a účelu použití. Většinou se využívají k inspekci potrubí, vzduchotechnických zařízení, chodeb s velmi nízkou světlostí apod. Jde v podstatě o prostředí, ve kterém by se jiný druh pohybu nedal uplatnit.

Robot GMD-SNAKE 2 vyvinutý v roce 1998 na GMD's Institute for System Design technology v Anglii je schopen plnit náročné inspekční úlohy. Každý článek robotu je po obvodu osazen 12 koly a může přenášet krouticí moment až 12 Nm. Robot je dlouhý 90 cm, má v průměru 18 cm a váží 10 kg. Robot se skládá z hlavového segmentu, pěti článků a ocasního segmentu. V každém článku jsou tři motory, které provádí natáčení v jednotlivých osách kloubu se třemi stupni volnosti a tento kloub spojuje vždy dva sousední články. Každý článek obsahuje snímače pro měření vzdálenosti a krouticího momentu. V hlavovém segmentu je umístěna kamera umožňující sledování prostředí na monitoru.



Obr. 19 Robot Snake 2 [10]

## **Mobilní roboty s hybridním podvozkem**

Mobilní roboty s hybridním podvozkem vznikají kombinací kinematických dvojic jako např.: kolo-pás, kolo-noha , pás-noha a nacházejí uplatnění pouze ve specifických aplikacích, přičemž jejich chování lze rovněž vyjádřit jako kombinace chování základních druhů podvozků.

### **2.3 Snímače mobilních robotů**

Snímače jsou nezbytnou součástí každého robotu, tedy i robotu mobilního. Bez snímačů by robot neměl informace o svém okolí ani o vnitřních vazbách vlastního mechanismu. I při použití velmi triviálních snímačů jako je mechanický koncový snímač, získává robot velmi cenné informace. Důležitá je správná volba snímače pro danou aplikaci s ohledem na jeho správnou funkci, nízkou spotřebu energie a pokud možno malé zatížení řídicího systému. Prostřednictvím snímačů rovněž dochází k určení polohy a orientace mobilního robotu v prostoru, ve kterém se právě pohybuje. Tato informace může mít charakter relativní nebo absolutní.

#### **2.3.1 Relativní určování polohy robotu**

U relativního určování polohy robotu se vychází z jím ujeté dráhy. Protože tato metoda není příliš přesná z důvodu prokluzu kol nebo pásu, nachází využití zejména u laboratorních robotů a robotů, u nichž občas dojde ke korekci polohy přesně definovanou referencí (opětovný start ze známého místa nebo kontakt s referenčním bodem). Předností této metody je zejména její jednoduchost.

#### **2.3.2 Absolutní určování polohy robotu**

U absolutního určování polohy je úloha mnohem komplexnější, a proto také náročnější na vyhodnocení. Pro tuto metodu lze využít tzv. *aktivních orientačních bodů*, pomocí kterých je absolutní poloha robotu počítána z měření směru dopadu signálu od tří nebo více aktivních vysílačů. Vysílače používají obvykle světelné nebo radiové vlny a musí být umístěny na „viditelných“ a známých místech. U další metody lze využít tzv. *umělých orientačních bodů* okolí (např. reflexní plochy). Výhodou je možnost optimálního rozmístění pro dobrou detekovatelnost i v nepříznivých podmínkách



okolního prostředí. Jako u aktivních bodů musí být v "zorném poli" alespoň tři nebo více orientačních bodů pro správné určení polohy. Další způsob určování polohy využívá *přirozených orientačních bodů*. Ten lze využít pouze tam, kde se dají odlišit výrazné body okolního prostředí. Výhodou je, že není nutná příprava okolí, takže se robot může hned adaptovat na jiné podobné prostředí, avšak vznikají vysoké nároky na řídicí systém a je zde nízká spolehlivost ve srovnání s předchozími dvěmi metodami. Další možností je použití *kompasů*, u kterého lze získat pouze absolutní směr, nikoli polohu. Moderní metodou, vhodnou pro outdoor použití, je *GPS (Global Positioning System)* vyvinutý původně pro účely armády USA. Poloha přijímače GPS je určena pomocí soustavy až 12 družic. V současné době lze pro civilní účely dosáhnout přesnosti lepší než 10 m. Tato metoda se hojně užívá ve vojenském i civilním letectví a mořeplavbě. Velký rozvoj zažívají metody tzv. *Model Matching*, tedy převádění informací získaných pomocí snímačů do modelu mapy okolí. Porovnáváním mapy získané pomocí snímačů a mapy uložené v paměti lze určit současnou polohu i směr.

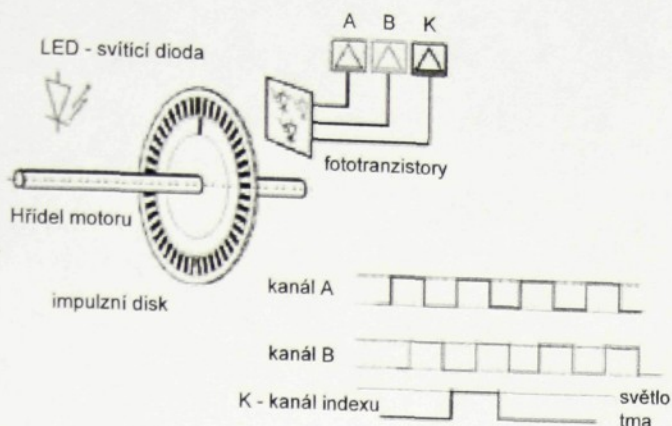
### 2.3.3 Snímače vnitřní informace (interoreceptory)

U mobilních robotů se snímače vnitřní informace (interoreceptory) využívají nejčastěji pro snímání vnitřních vazeb mechanismu, polohy chapadla, síly uchopení členů, jiných pomocných členů nebo pootočení některé z rotačních vazeb. U robotů s relativním určováním polohy se velmi často pro zjištění ujeté vzdálenosti, rychlosti nebo zrychlení vychází z pootočení kola nebo hřídele motoru. Pro měření úhlu natočení hřídele lze použít více způsobů odměřování, které mohou pracovat relativně, absolutně nebo cyklicky absolutně. Každý z těchto způsobů lze realizovat jiným fyzikálním principem a hodí se pro jinou úlohu. Pro svoji jednoduchost a přesnost se velmi často aplikují optická inkrementální čidla

#### Optická inkrementální čidla

Princip inkrementálního čidla je založen na přerušování světelného paprsku mezi zdrojem a snímačem. K přerušování dochází pohybem kotouče (pravítka) s tmavými a světlými ryskami mezi zdrojem a snímačem. Otočení rotoru (posun pravítka) o krok  $K$  odpovídá jednomu přerušení paprsku a tím vygenerování impulzů výstupního signálu.

V typickém uspořádání (obr. 20) je obrazec na rotoru rovnoměrný a skládá se z průhledných a neprůhledných proužků.

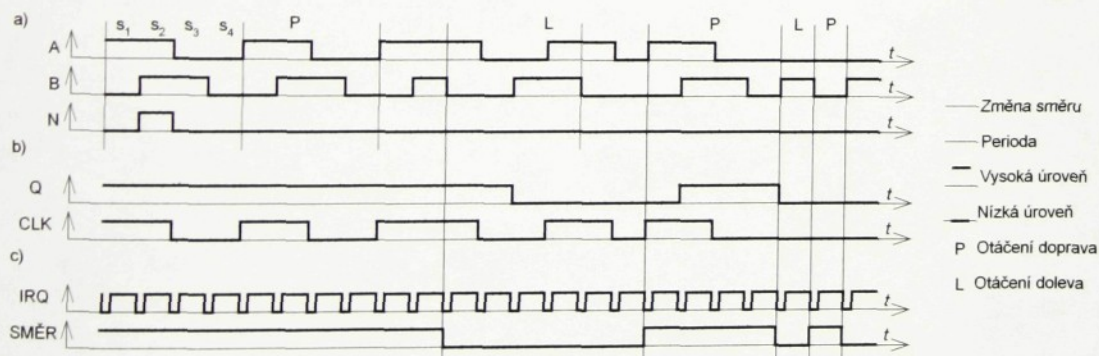


**Obr. 20** Optické inkrementální čidlo [7]

Nad obrazcem jsou zpravidla upevněny dvě čidla ( $A$  a  $B$ ) vzájemně posunuté o hodnotu

$$n \cdot K + \frac{K}{4}, \quad (14)$$

čímž se docílí zakódování směru otáčení do vzájemné fáze signálů  $A$  a  $B$ . (Posuv čidla může být docílen polohou clony). Fáze může být buď  $+90^\circ$  nebo  $-90^\circ$  ( $+270^\circ$ ). Průběh signálů při otáčení čidla je znázorněn na obr. 21a. Pootočení o jednu čárku reprezentuje jedna perioda signálu  $A$  ( $B$ ). Signály  $A$  a  $B$  bývají doplněny třetím kanálem  $N$ , který určuje počáteční polohu rotačního čidla a generuje se na něm pouze jeden impuls za jednu otáčku rotoru. Tento signál lze využít k indikaci nulové polohy čidla a ke kontrole správného počtu impulsů na otáčku.



**Obr. 21** a) průběh výstupních signálů inkrementálního čidla  
b) zpracování klopným obvodem D pro jednoduchou přesnost  
c) zpracování čtyřnásobnou přesností (tzv. kvadrurní mód) [17]



Hlavními výhodami těchto čidel jsou jejich jednoduchost, snadné vyhodnocení, bezkontaktní činnost a nízká cena. Mezi základní problémy patří rušení denním světlem, při kterém mohou vznikat falešné zákmity na výstupech snímače a mohou být následným zpracováním vyhodnoceny jako změna polohy. Zamezit tomu lze použitím různých filtrů nebo modulací světelného paprsku. Dalším problémem je ztráta absolutní polohy snímače např. při výpadku napájení, což vyplývá z principu čidla a nelze ho ovlivnit. [17]

### **2.3.4 Snímače vnější informace (exteroreceptory)**

Snímače vnější informace (exteroreceptory) dávají mobilnímu robotu nezbytně nutné informace o jeho okolním prostředí (případně jeho poloze). Bez těchto informací by robot nebyl schopen autonomního pohybu ani práce v neznámém prostředí. Tyto informace mohou být velice triviální (informace z kontaktních spínačů) nebo naopak velice komplexní (např. informace z kamery).

#### **Kontaktní spínače**

Jednoduché kontaktní (mikro)spínače lze s výhodou využít jako indikátor krajní polohy otočného nebo posuvného mechanismu, jako narážkové spínače umístěné na obvodu robotu pro určení okamžiku kolize robotu s překážkou nebo jiná dvoupolohová detekce. Velkou předností je jejich nízká cena, spolehlivá funkce i jednoduchá aplikace. Je však třeba si uvědomit, že při sepnutí dochází k odpružení kontaktů, a proto je nezbytné spínač ošetřit (elektronicky nebo programově) tak, aby bylo registrováno pouze jedno sepnutí.

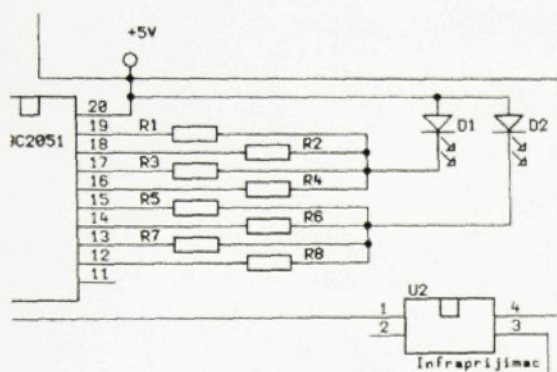
#### **Optické snímače**

Optické snímače jsou v zásadě rozděleny do dvou skupin, kde jednu skupinu tvoří snímače proximity a druhou snímače pro měření vzdálenosti.

U proximity snímačů je výstupní veličina požadována v podobě 1-bitového čísla, tedy dvě logické úrovně. Tyto snímače jsou často použity pro bezdotykovou detekci překážky, dorazu, přítomnosti předmětu apod. Často jsou aplikovány jako jeden celek, tedy zdroj světla (LED) i přijímač (fototranzistor, fotodioda) v jednom pouzdře.

Protože tyto snímače nejsou drahé, často nahrazují mechanické koncové spínače. Výhody jejich použití jsou především absence pohybujících se mechanických částí, rychlost spínání a životnost nezávislá na počtu cyklů.

Snímače pro měření vzdálenosti jsou využívány v mobilní robotice s velkou oblibou, protože u jednoduchých mobilních robotů jsou spolu se sonarem téměř jediným zdrojem měření vzdálenosti. Ačkoli tyto snímače pracují vždy na principu odrazu světla od překážky, mohou vzdálenost vyhodnocovat odlišně. Jedním ze základních způsobů měření je postupné snižování intenzity záření zdroje, kde při poklesu intenzity pod mezní hodnotu dojde k zastavení měření a následnému vyhodnocení.

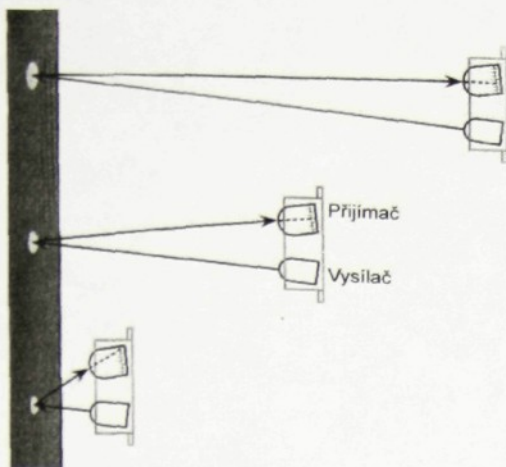


**Obr. 22** Metoda postupného snižování intenzity záření [13]

Část elektrického zapojení je znázorněna na obr. 22. Tento princip je vlastně obdoba D/A převodníku a tím využívá mnoho výstupních bran mikroprocesoru, což značně omezuje přesnost měření při omezeném počtu bran. O něco složitější obdobou tohoto měření je analogové měření intenzity záření na přijímači s konstantně zářícím zdrojem. Tato metoda vyžaduje A/D převodník, což je opět spojeno s velkým počtem vstupních bran mikroprocesoru (pro paralelní převodník) nebo větším počtem taktů (pro sériový převodník). Velkou nevýhodou výše zmíněných principů je výrazná závislost přesnosti měření na odrazivosti ploch.

Velkým pokrokem měření vzdálenosti bez závislosti na odrazivosti ploch je prodej snímačů, které pro měření vzdálenosti využívají triangulace. Způsob triangulačního měření je naznačen na obr. 23. Příklad snímače využívající triangulační metodu (snímač GP2D02 od firmy Sharp) a jeho charakteristika je uvedena na str. 54. (obr. 43.)



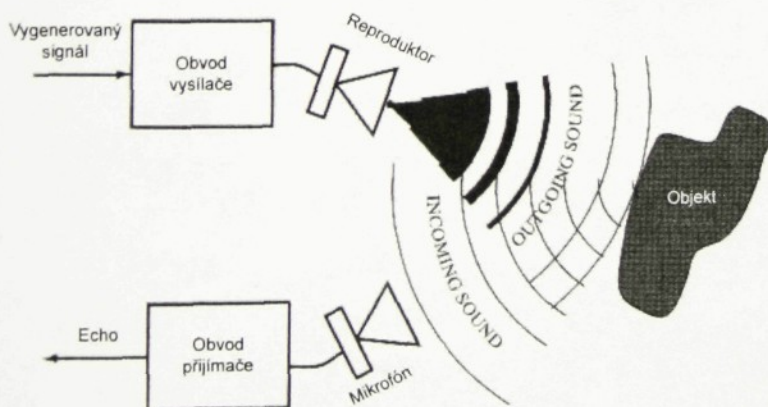


**Obr. 23** Triangulační způsob měření vzdálenosti [2]

Všechny optické snímače zpravidla používají infračervené záření s filtrem na denní světlo. Některé pak používají pro zlepšení parametrů modulovaný signál, přičemž přijímač je citlivý na frekvence např. 40 kHz.

### Ultrazvukové snímače - sonary

Ultrazvukové snímače jsou využívány k měření vzdálenosti, přičemž jejich princip je velice podobný principu radaru. Pro určení vzdálenosti se měří doba mezi vysláním ultrazvukové vlny a jejím přijetím. Protože současné mikroprocesory pracují velmi rychle ve srovnání s rychlostí šíření zvuku ve vzduchu, lze vzdálenost měřit řádově na centimetry bez velkých obtíží. Metoda měření je znázorněna na obr. 24.

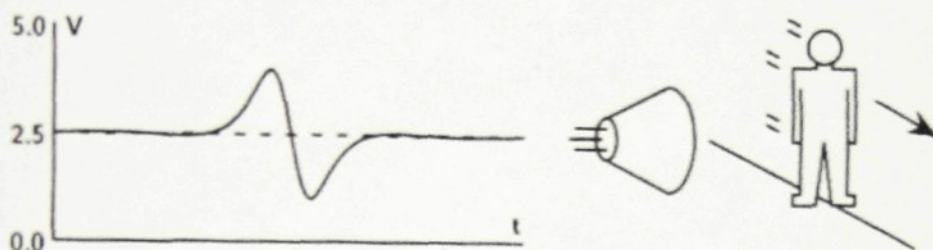


**Obr. 24** Princip měření vzdálenosti pomocí ultrazvuku [1]

Při měření touto metodou je však třeba mít na paměti, že intenzita zvuku klesá s druhou mocninou vzdálenosti. Pro kompenzaci je proto vhodné obvody doplnit zesilovačem s progresivní charakteristikou.

## Ostatní snímače

Roboty mohou být osazeny velmi různorodými snímači, které jsou svým použitím specifické. Lze tak použít např. pyroelektrické snímače, které reagují na změnu tepelného záření.



**Obr. 25** Výstupní signál z pyroelektrického snímače [2]

Snímač obsahuje krystaly (lithium-tantal), na kterých se vlivem změny tepelného záření objeví změna napětí, která je následně zesílena (obr. 25). Zdrojem tohoto záření může být člověk, zvíře nebo sálající zdroj tepla. Tyto snímače jsou velmi často aplikovány v zabezpečovací technice pro detekci pohybu osob.

Další snímače použitelné v mobilní robotice jsou snímače ultrafialového záření, které jsou citlivé na záření o vlnových délkách od 185 do 260 nanometrů. Pro většinu indoor aplikací je jediným zdrojem UV záření plamen, čímž jsou použitelné např. pro lokalizaci požáru.

Snímače využívající změnu odporu ohybem (tenzometry) jsou často aplikovány pro stanovení úchopné síly manipulačních ramen nebo pro kontrolu namáhání silně zatěžovaných součástí.

Ve stavbě mobilních robotů se začínají rozšiřovat i kamery, které se stávají cenově dostupnější a rozměrově malé. Vysoké hardwarové nároky a velmi náročné rozpoznání scény stále zabraňují hromadnému rozšíření. Při použití kamer se velmi často jedná pouze o přenos obrazu k řídicímu centru.



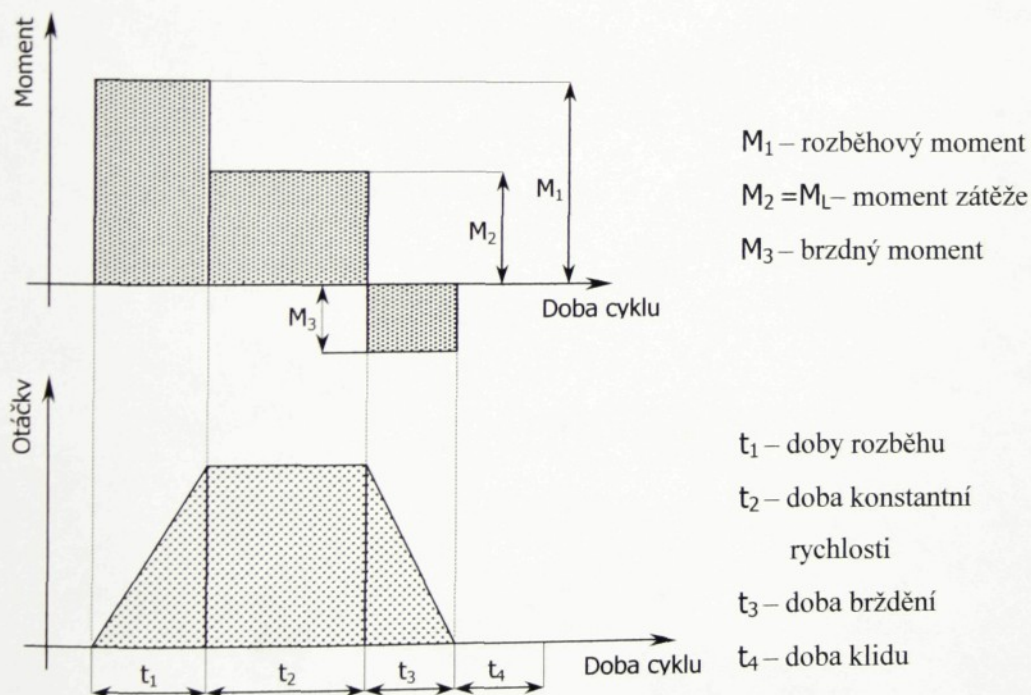
## 2.4 Pohony

### 2.4.1 Motory a jejich řízení

Volba pohonu je podmíněna nejen charakteristikou zvoleného motoru a způsobem jeho řízení, ale hlavně zatížením motoru během pracovního cyklu. Pro předběžný výběr elektrického pohonu lze sestavit několik podmínek, které je třeba splnit. Tyto podmínky jsou zejména:

- zátěžný moment  $M_L < M_N$  jmenovitý moment,
- otáčky při zatížení  $n_L < n_N$  jmenovité otáčky,
- moment setrvačnosti zátěže  $J_L < 3J_A$  moment setrvačnosti pohonu.  
(redukovaný na hřídel motoru)

Po splnění těchto podmínek lze podrobněji analyzovat pracovní cyklus, který může mít charakter jako cyklus znázorněný na obr. 26.



Obr. 26 Pracovní cyklus

Pro správné dimenzování pohonu je stěžejní stanovení rozběhového případně brzdného momentu, který je dán vztahem

$$M_1 = M_2 + (J_A + J_L) \cdot \varepsilon_L = M_2 + (J_A + J_L) \frac{2 \cdot \pi \cdot n_L}{t_1}, \quad (15)$$

kde  $\varepsilon_L$  je úhlové zrychlení rotoru při zatížení a  $n_L$  jsou otáčky rotoru při zatížení. Moment zátěže  $M_2$  je pro pohon pohybové ústrojí bez vykonání vnější pracovní síly určen zejména pasivními odpory např. podložkou a koly.

Pro splnění podmínky

$$M_{stř} < M_N, \quad (16)$$

kde  $M_{stř}$  je střední zátěžný moment a  $M_N$  jmenovitý moment pohonu uváděný výrobcem, lze vyjít ze vztahu (17).

$$M_{stř} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}. \quad (17)$$

Současně však musí být splněna podmínka

$$M_{max} < M_I, \quad (18)$$

kde  $M_{max}$  je maximální krouticí moment pohonu a  $M_I$  je rozběhový moment.

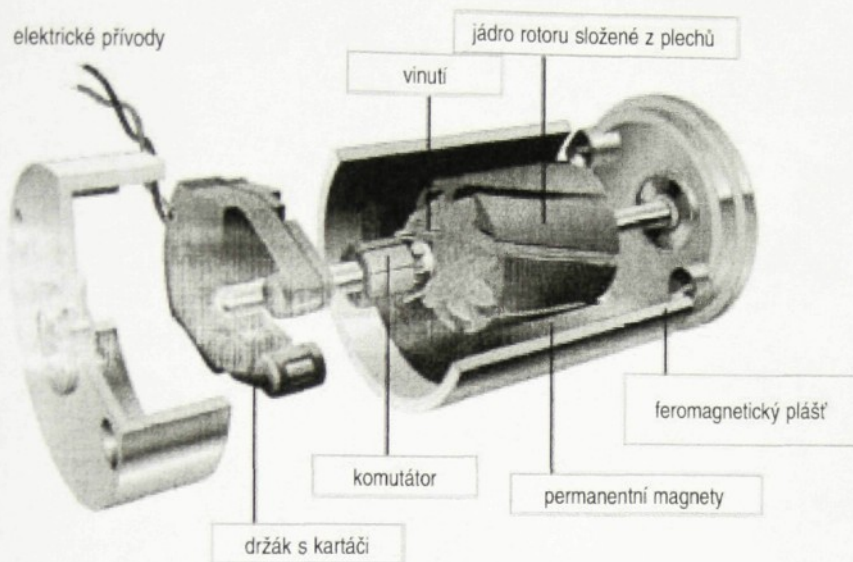
Některé podmínky jsou pouze doporučeny pro získání dobrých dynamických vlastností a dlouhé životnosti pohonu. [8]

## Stejnoseměrné motory (DC)

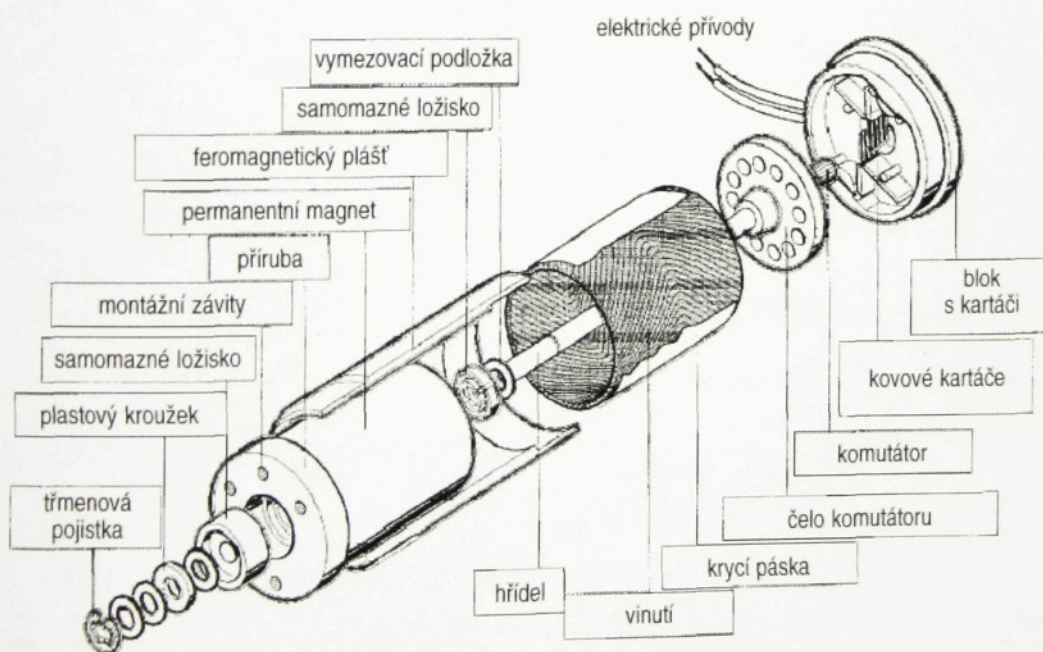
Společným konstrukčním znakem stejnosměrných motorů je stator s magnetickými póly a vinutím rotoru, na který je přes komutátor přiváděno stejnosměrné napětí. Magnetické pole statoru může tvořit elektromagnet nebo permanentní magnet. Podle druhu magnetu (případně jeho zapojení) se motory liší svými vlastnostmi i charakteristikou. Pro konstrukci mobilních robotů se nejčastěji zejména z důvodu účinnosti uplatňují motory s permanentními magnety a pro malé konstrukce pak motory se samonosným měděným vinutím rotoru. U motoru se samonosným vinutím se magnetické pole statoru neotáčí a jeho siločáry procházejí obvodovým pláštěm motoru, projdou vzduchovou mezerou pro vinutí a pak jádrem v dutině uvnitř vinutí, které je na čele spojeno se statorem. Konvenční motory mají



vinutí na železném jádru kotvy a permanentní magnety ve vnějším plášti motoru. Rozměrově i cenově výhodnější je uspořádání, u kterého je permanentní magnet uvnitř vinutí a plášť je z feromagnetického materiálu. Toto uspořádání je podmíněno použitím samonosného vinutí rotoru, v jehož dutině je umístěn stojící permanentní magnet. Konstrukce konvenčního DC motoru je znázorněna na obr. 27 a motor se samonosným vinutím pak na obr. 28. [7]



**Obr. 27** Vnitřní uspořádání konvenčního DC motoru [7]



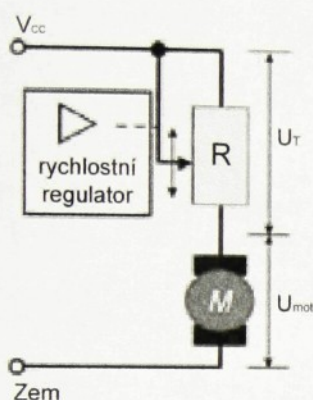
**Obr. 28** Vnitřní uspořádání DC motoru se samonosným vinutím rotoru [7]

## Řízení stejnosměrných motorů DC

Pro nejjednodušší řízení lze použít obvod (obr. 29), kde celkové napájecí napětí  $V_{CC}$  se rozdělí na úbytek na předřazeném odporu (např. reostatu nebo tranzistoru) a úbytek na motoru  $U_{mot}$ . Výkon

$$P_V = R \cdot I^2 \quad (19)$$

se přemění na teplo. Ztráty u malých výkonů jsou přijatelné a výhodou je rovněž slabé rušení a cena lineární jednotky.



**Obr. 29** Lineární proudový regulátor [7]

### Výhody lineárního proudového regulátoru

- jednoduchá elektronika,
- nízká cena,
- slabé elektromagnetické rušení,
- bez omezení indukčnosti motoru.

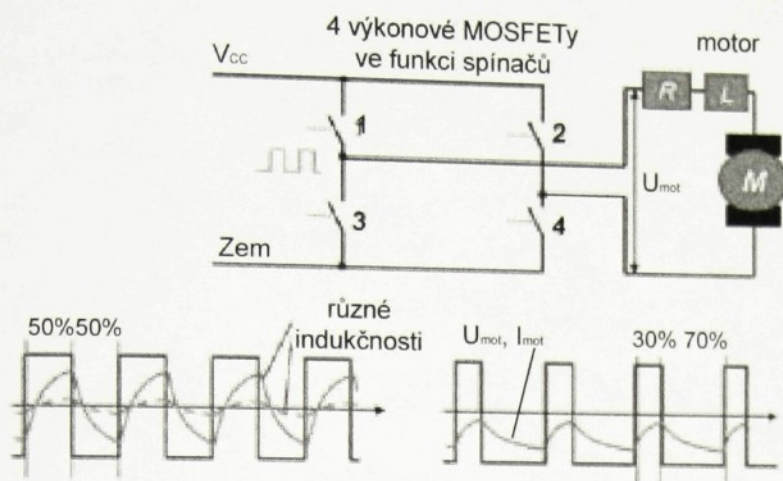
### Nevýhody lineárního proudového regulátoru,

- velké ztráty při velkých proudech,
- pro malé jmenovité výkony (30-50W).

Pro zamezení energetických ztrát lze využít řízení pulsní šířkovou regulací PWM (Pulse width modulation). U tohoto způsobu řízení je konstantní napájecí napětí časově rozděleno do impulsů s konstantní frekvencí a s řízenou šířkou pulsu. Protože výkonové tranzistory jsou buď zcela otevřeny nebo zcela zavřeny, nevznikají na nich téměř žádné ztráty. Indukčnost vinutí motoru způsobí, že proud do vinutí nestačí sledovat rychle změny napětí a průběh proudu je více nebo méně zvlněný. Proud se lépe vyhladí při



vyšší frekvenci a vyšší indukčnosti. Čtyřkvadrantová řídicí jednotka používající můstkové zapojení proudového regulátoru je zobrazena na obr. 30. [7]



**Obr. 30** Čtyřkvadrantový pulsní proudový regulátor [7]

#### **Výhody** pulsního proudového regulátoru (PWM)

- nízké ztráty výkonu,
- vysoká účinnost,
- pro vysoké jmenovité výkony.

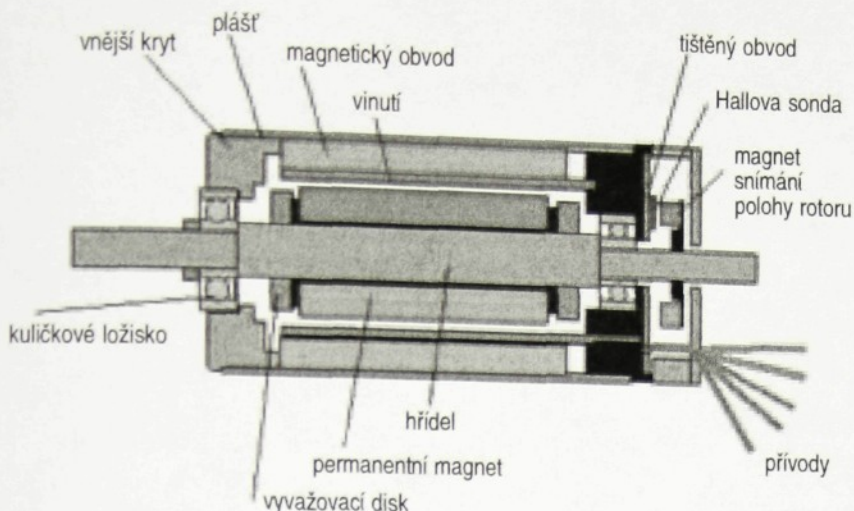
#### **Nevýhody** pulsního proudového regulátoru (PWM)

- elektromagnetické rušení na rozhlasových frekvencích,
- vysoké ztráty se zastaveným motorem,
- omezení minimální indukčnosti motoru. [7]

### **Stejnoseměrné motory s elektronickou komutací (EC)**

Základní myšlenkou, která vedla k vývoji motorů EC, je odstranit z komutátorových motorů DC mechanický komutátorový systém, tj. kartáče a komutátor. Ty ve většině aplikací omezují rychlost otáčení a životnost stejnosměrného motoru, který je zdrojem elektromagnetického rušení. Současně je však snahou uchovat významné vlastnosti DC motorů, kterými jsou zejména několikanásobná přetížitelnost, velký záběrový moment, nízká časová konstanta a malé rozměry.

Vinutí statoru je rozděleno na tři sekce, které jsou elektronicky postupně napájeny konstantním proudem v kladném nebo záporném směru. K elektronické komutaci, tj. ke změně napájení sekcí tak dochází 30° před a 30° za optimální polohou.

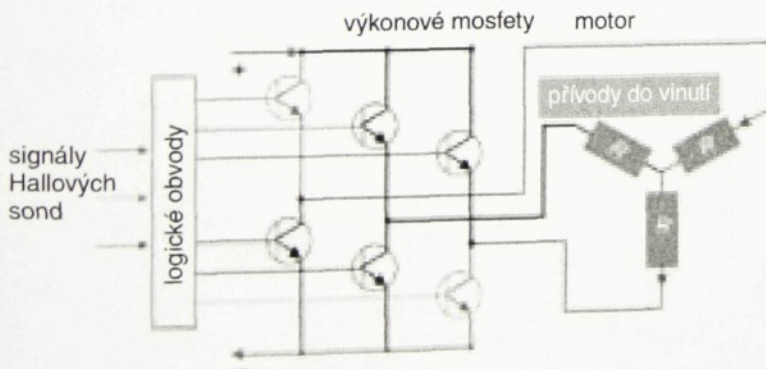


**Obr. 31** Vnitřní uspořádání EC motoru [7]

V optimální poloze, kdy jsou směry magnetických polí kolmé, se vyvozuje nejvyšší mechanický moment a při odchýlení od ní klesá podle sinusoid - v našem případě nejvýše o 18%. Obdobný jev se uplatňuje i při mechanické komutaci v rozsahu jedné lamely komutátoru. U motorů s elektronickou komutací je jediným omezením životnost ložisek rotoru. Vnitřní uspořádání motoru je naznačeno na obr. 31.

### Řízení stejnosměrných motorů s elektronickou komutací

Odstranění komutátoru vyžaduje přemístit vinutí do statoru, aby bylo možné připojení jeho přívodů napájení. Přepínání napájecího proudu do jednotlivých částí vinutí obstarávají elektronické spínací obvody na základě informace o okamžitém úhlu natočení rotoru zobrazené na obr. 32. Tato informace se získá ze tří Hallových sond, které jsou součástí statoru.



**Obr. 32** Elektronický obvod pro obdélníkovou komutaci [7]



Směr magnetického pole statoru tak udržuje optimální úhel vzhledem k permanentnímu magnetu rotoru obdobně, jako to zajišťuje mechanický komutátor DC motoru.

Elektronickou komutaci lze použít obdélníkovou i sinusovou. Jedny ze základních znaků obdélníkové komutace jsou skoková změna proudu, kolísání momentu v rozmezí 14 % a snímání polohy rotoru Hallovými sondami. Sinusová komutace má změny proudu plynulé, kolísání momentu teoreticky 0 % a poloha rotoru musí být měřena přesně pomocí resolveru nebo inkrementálního snímače.

## Krokové motory (KM)

Výrazné zlepšování technických parametrů pohonů s krokovými motory, tj. inovacemi a zvyšováním technických parametrů samotných krokových motorů, zejména výkonového řízení a ovládací elektroniky umožňuje podstatné rozšíření aplikací těchto pohonů ve stavbě robotů.

Aplikace pohonů s krokovými motory je v konstrukci mobilních robotů podmíněna jejich přednostmi, kterými jsou zejména:

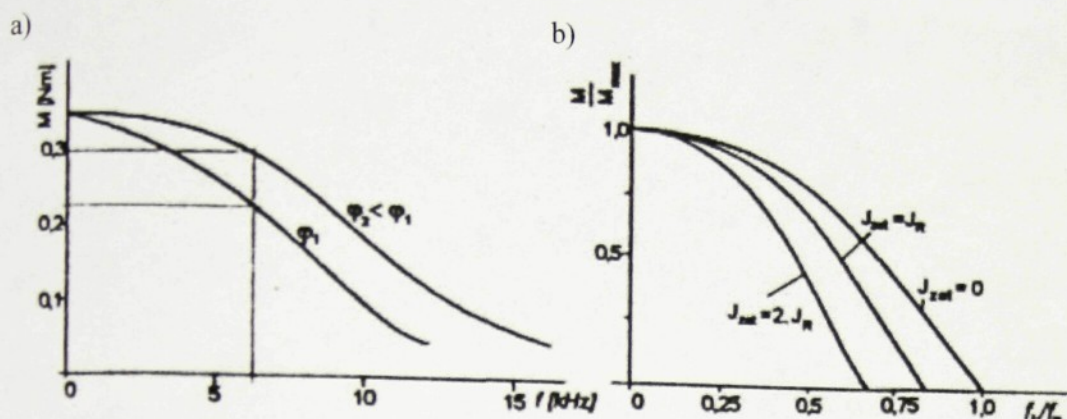
- vysoká přesnost polohování (v režimu tzv. mikrokrokování až 10000 kroků/ot.),
- jednoduché digitální řízení,
- možnost práce v otevřené smyčce (bez zpětné vazby), příp. pro dynamicky náročné aplikace lze využít zpětnovazebné polohové řízení,
- příznivý poměr mezi cenou a technickými parametry,

s respektováním negativních vlastností:

- nesnese přetížení (přetížení vede ke ztrátě kroku – při práci v otevřené smyčce porušení synchronizace s řídicími pulzy),
- ve srovnání s DC a EC pohony mají nízkou hodnotu měrného momentu,
- dynamické vlastnosti se mění a výrazně zhoršují s velikostí momentu setrvačnosti připojené zátěže.

Krokové motory mají poměrně jednoduchou vnitřní strukturu, kdy se řídicí impulzy pomocí výkonové elektroniky převádějí přímo na změnu polohy rotoru krokového motoru v přesně definovaném poměru k počtu pulzů. Reverzace pohybu se

provádí změnou sledu impulzů do jednotlivých fází a rychlost je přímo úměrná frekvenci impulzů. Základní charakteristiky jsou znázorněny na obr. 33.



**Obr. 33** Charakteristiky krokových motorů:  
a) závislost na velikosti kroku  
b) závislost na velikosti připojené zátěže [17]

### Řízení krokových motorů

Již z principu krokových motorů je zřejmé, že jejich řízení je jednoduché a přesné. Nejjednodušší řízení představuje případ, kdy jsou z řídicího systému vysílány dvě informace – krok a směr otáčení. Mezi řídicí systém a krokový motor je vložena výkonová elektronika, která tyto dvě informace zpracuje a ovládá příslušná vinutí motoru. Rychlost otáčení je pak přímo úměrná frekvenci impulzů vysílaných řídicím systémem. Pro tento typ řízení tedy stačí pouze dva digitální výstupy z řídicího systému.

### 2.4.2 Převodová ústrojí

Úlohou převodového ústrojí je převést velmi rychlý rotační pohyb motoru na velmi pomalý pohyb poháněného ústrojí (kol, úchopných ramen a hlavic apod.). U pohybového ústrojí se nejčastěji jedná o převod mezi elektromotorem a kolem (koly) mobilního robotu. Převodový poměr je pak dán vztahem

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2}, \quad (20)$$

kde  $\omega_1$  je úhlová rychlost motoru a  $\omega_2$  je úhlová rychlost kol(a).



Na realizaci tohoto převodu jsou ovšem kladeny specifické požadavky, které mohou být:

- malý moment setrvačnosti,
- velký převodový poměr v jednom převodovém stupni,
- minimální vůle při reverzacích,
- vysoká tuhost převodu,
- vysoká účinnost,
- minimální hmotnost,
- minimální hlučnost.

Klasické převodovky mohou jen stěží těmto požadavkům vyhovět, a proto se v současné době prosazují zejména tři typy speciálních převodovek:

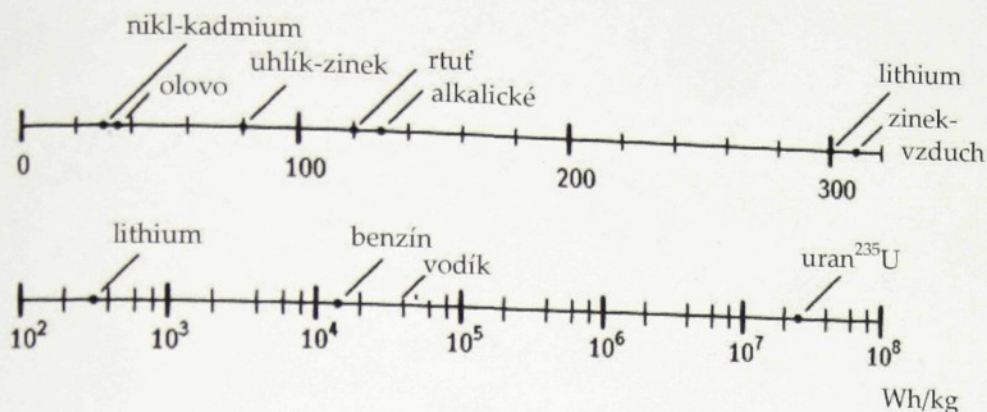
- planetové a speciální planetové,
- cykloidální ,
- harmonické (vlnové).

Pro stavbu experimentálních a laboratorních mobilních robotů jsou velmi často používány klasické (předlohové) převodovky (příp. převodovky používané v modelářství) z důvodu jejich jednoduchosti a dostupnosti.

## **2.5 Zdroj energie**

Mobilní roboty potřebují ke své funkci zdroj energie. Tímto zdrojem může být akumulátor, baterie, solární články, tlakový vzduch apod.. Na tento zdroj jsou kladeny specifické požadavky, z nichž nejdůležitějším je hustota energie .

Na obr. 34 je znázorněno porovnání hustoty energie jednotlivých zdrojů energie.



**Obr. 34** Porovnání hustoty energie látek vybraných zdrojů za pokojové teploty [2]

Každý akumulátor nebo baterie jsou charakterizovány základními parametry jako např. hustota energie, kapacita, napětí, vnitřní odpor a teplotní stabilita.

**Hustota energie** je maximální množství energie, kterou je článek schopen akumulovat v poměru k jeho váze.

**Kapacita** je množství energie, kterou je akumulátor schopen akumulovat. Obvykle se udává v Ah, pro články s menší kapacitou v mAh.

**Napětí** je dáno chemickou reakcí článku a je závislé na míře nabití.

**Vnitřní odpor** je dán stavbou článku a rovněž závisí na míře nabití.

**Teplotní stabilita** - většina vlastností baterií a akumulátorů (hlavně kapacita) se mění s měnící se teplotou.

Ideální akumulátor by měl mít vysokou hustotu energie, dodávat konstantní napětí, mít nízký vnitřní odpor a nezávislost na teplotě. S postupným vývojem se většina těchto parametrů zlepšuje (hlavně hustota energie), avšak některé parametry jsou dány fyzikálním principem, a proto nelze další zlepšení očekávat.

Tab. 1 znázorňuje porovnání vybraných druhů článků podle použité chemické látky, možnosti nabíjení článku, hustoty energie a napětí článku.



| chemikálie článku     | možnost nabíjení | hustota energie (Wh/kg) | napětí článku (V) |
|-----------------------|------------------|-------------------------|-------------------|
| alkalická             | ne               | 130                     | 1,5               |
| olovo-kyselina        | ano              | 40                      | 2,0               |
| lithium               | ne               | 300                     | 3,0               |
| rtuť                  | ne               | 120                     | 1,35              |
| nikl-kadmium NiCd     | ano              | 38                      | 1,2               |
| nikl-metalhydrid NiMH | ano              | 57                      | 1,3               |
| stříbro               | ne               | 130                     | 1,6               |
| zinek-vzduch          | ne               | 310                     | 1,4               |
| uhlík-zinek           | ne               | 75                      | 1,5               |

**Tab. 1** Porovnání charakteristik vybraných článků [2]

## Baterie

Baterie se příliš ve stavbě mobilních robotů neuplatňují z důvodu jejich velmi krátké životnosti, která je spojena s finanční náročností.

## Akumulátory

V současné době jsou akumulátory nejrozšířenějším zdrojem energie mobilních robotů. V předchozích letech byly nejčastěji aplikovány články nikl-kadmiové NiCd, které ovšem mají nepříznivý paměťový efekt. Nyní se stále více uplatňují články nikl-metalhydridové NiMH, které mají pouze zanedbatelný paměťový efekt a vyšší hustotu energie ve srovnání s články NiCd.

## Jiné zdroje energie

Jiné zdroje jsou buď velmi specifické ve svém použití, nebo jsou finančně nedostupné. V budoucnu však lze očekávat zlepšení parametrů stávajících zdrojů s nízkou účinností (např. fotovoltaické články) nebo použití nových zdrojů s vysokou hustotou energie jako např. použití palivových článků, ve kterých dochází přímou fyzikálně chemickou reakcí k přeměně např. vodíku na elektrickou energii.

## 2.6 Řídící systém

Pro řízení mobilních robotů se používají zejména mikroprocesory, které na základě instrukcí programu zpracovávají signály na vstupech a výstupech mikroprocesoru. Program umožňuje snadno měnit chování řídicího obvodu a celého robotu. Programování zpravidla probíhá na osobním počítači, přičemž program je následně nahrán do paměti mikroprocesoru pomocí programátoru nebo komunikační linky. Při použití komunikační linky (např. sériové) není nezbytné vyjímání mikroprocesoru z jeho patice, což usnadňuje a zrychluje práci i ladění programu. Pro řízení mobilních robotů s „jednoduchou“ senzorikou a chováním jsou často používány jednočipové mikroprocesory, které se vyznačují vysokými frekvencemi (desítky MHz), nízkou spotřebou energie, nízkou cenou (desítky až stovky korun), dostatečně velkou pamětí programu (tisíce instrukcí) apod.

## 2.7 Programování mobilních robotů

K vytváření programu pro jednočipové mikroprocesory se velmi často používá přímo programovacího jazyka Assembler, který se však svou instrukční sadou může lišit podle architektury použitého mikroprocesoru. Protože assembler je triviální programovací jazyk a programování v něm není příliš intuitivní, jsou často využívány jazyky vyšší (např. C, Pascal,...).



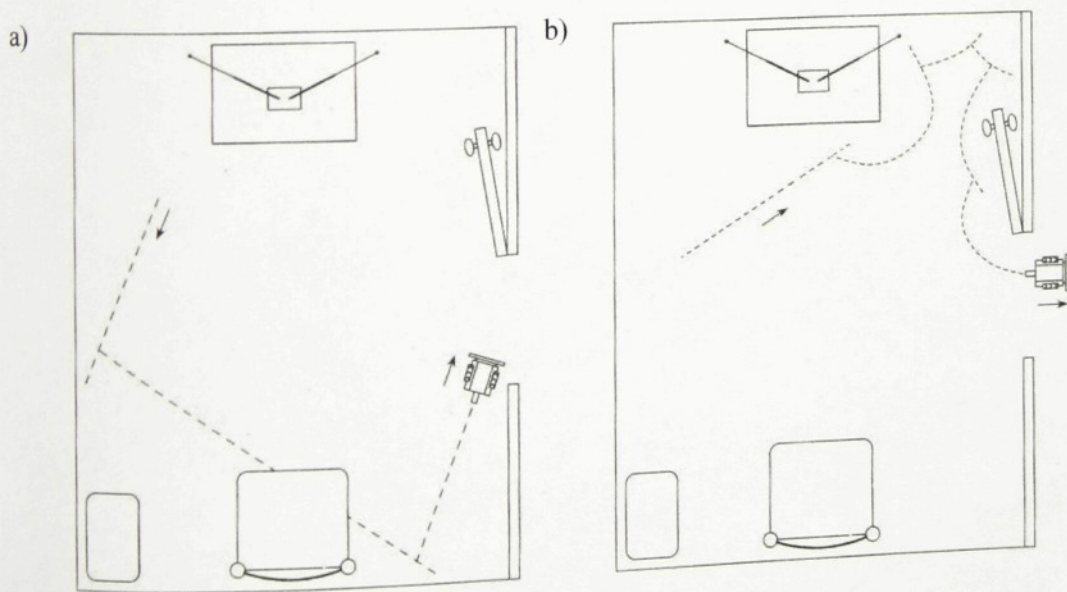
### 3 Ideový návrh mobilního robotu

V této kapitole bude popsán ideový návrh mobilního robotu, který má sloužit zejména k výukovým účelům. Požadavkem je, aby jeho stavba a výroba jednotlivých dílů byla zvládnutelná pomocí prostředků, které má katedra k dispozici. Od tohoto požadavku se bude odvíjet volba jednotlivých komponent i celý návrh. Protože však tento robot bude prvním pokusem naší katedry o stavbu mobilního robotu, bude snaha zvolit jednoduchou koncepci i konstrukci. Robot má plnit jednoduché pohybové a orientační úkoly. Po získání zkušeností s jeho chováním bude docházet k postupnému rozšiřování o další snímače a tím i ke zvýšení stupně jeho inteligence. Pro jeho způsob chování a pohyb v prostoru byl zvolen název *Slídil*.

#### 3.1 Požadavky na pohyb a funkci

Požadavky na pohyb a funkci nejsou striktně stanoveny a budou vycházet z nejjednoduššího možného chování. Postupným experimentováním a sledováním chování *Slídila* bude jeho program obohacován o strategické prvky.

První základní úlohou je jízda po stole nebo po zemi, přičemž při kolizi s překážkou musí dojít k couvnutí, pootočení a pokračování v jízdě jiným směrem. Při jízdě po stole musí *Slídil* odhalit okraj stolu, couvnout, pootočit se a opět pokračovat v jízdě. Toto chování je naznačeno na obr. 35a.



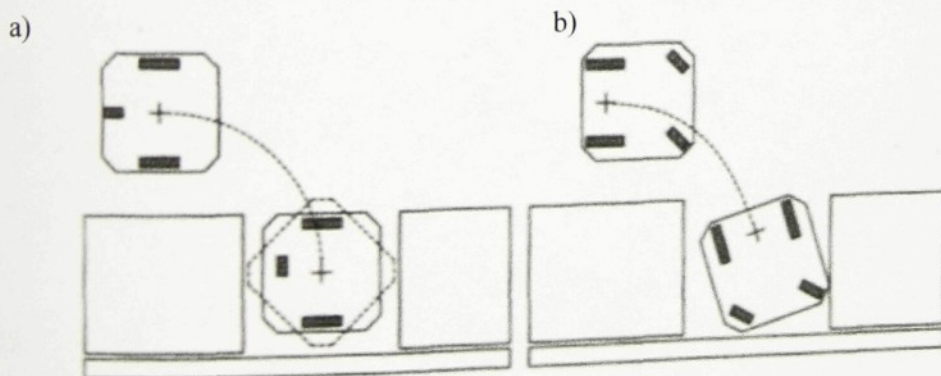
Obr. 35 Chování *Slídila* a) při kolizi b) při jízdě podél okraje [1]

Další úlohou je jízda podél stěny nebo okraje stolu. Tato strategie může být využita např. k nalezení východu z místnosti apod. Chování je velmi podobné tomu při kolizi, avšak místo přímočarého pohybu je použito dráhy představující oblouk (obr 35b). Je však vhodné, aby jízda do okamžiku první kolize byla přímočará, protože v opačném případě může dojít ke „kroužení“ uprostřed místnosti. Pro obě již popsané úlohy plně postačí pouze koncové mikropřepínače umístěné na obvodu *Slidila* s výjimkou jízdy po stole, kdy před každé kolo musí být umístěn optický snímač.

Po získání zkušeností z předchozích úloh budou tytéž úkoly provedeny s „vyšším stupněm inteligence“ pomocí bezkontaktních snímačů.

## 3.2 Volba pohybového ústrojí

Pro nasazení *Slidila* v indoor prostředí, tedy uvnitř místností, lze již z principu některá pohybová ústrojí vyloučit. Jako nejpříjemnější se zdají být podvozky kolové, případně pásové. Pásové podvozky však nejsou příliš vhodné pro své nepřesné určení polohy nepřímou metodou a při použití na koberci nebo jiné podložce s vysokým součinitelem tření mají také vysoké energetické ztráty při otáčení, kdy dochází ke smýkání pásu. Postupným vylučováním byl zvolen podvozek kolový. Z kolových podvozků je bezesporu nejjednodušší a nejelegantnější diferenčně řízený podvozek s dvěma hnanými a jedním volně otočným nepoháněným kolem. Tento typ podvozku má dobré manévrovací schopnosti při průjezdu mezi hustě rozmístěnými překážkami, při vjezdu do slepé uličky nebo při parkování do úzké mezery. Příklad parkování do úzké mezery je zobrazen na obr. 36.



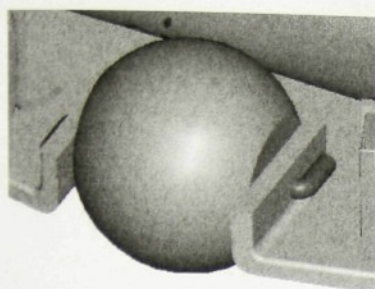
**Obr. 36** Parkování do úzké mezery

a) s diferenčně řízeným podvozkem

b) s podvozkem řízeným Ackermanovým způsobem [1]



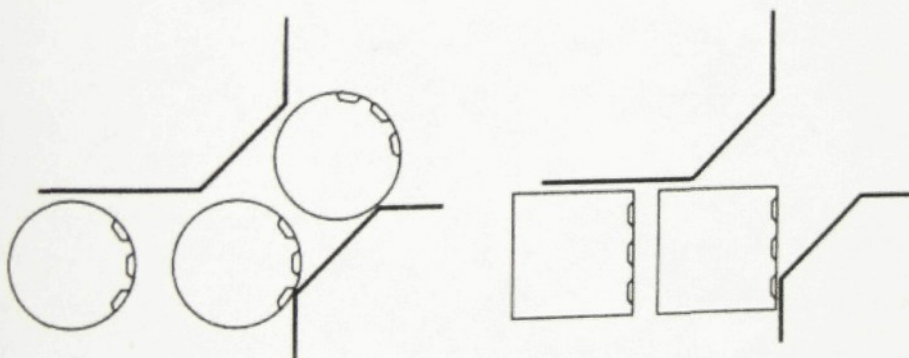
Použité volně otočné opěrné kolo lze pro zjednodušení nahradit zaobleným hrotem např. z umělé hmoty. Pro konstrukci *Slídila* byla zvolena kombinace volně otočného kola a zaobleného hrotu – otočná koule, znázorněná na obr. 37.



**Obr. 37** Otočná koule ve funkci podpěry

Výhodou této koule je zejména její jednoduchost, otáčení se při přímočarém pohybu a smýkání pouze při zatáčení robotu. Při zachování jednoduchosti se hlavně výrazně sníží energetické ztráty.

Neméně důležitá je vhodná volba půdorysného tvaru podvozku. Pro tuto volbu je třeba respektovat výhody i nevýhody různých půdorysných tvarů, které se projeví zejména při manévrovacích úkonech. Z obr. 38 jsou zřejmé výhody podvozku s kruhovým půdorysem zejména při průjezdu úzkou pasáží.



**Obr. 38** Průjezd robotu s obdélníkovým a kruhovým půdorysem úzkou pasáží [1]

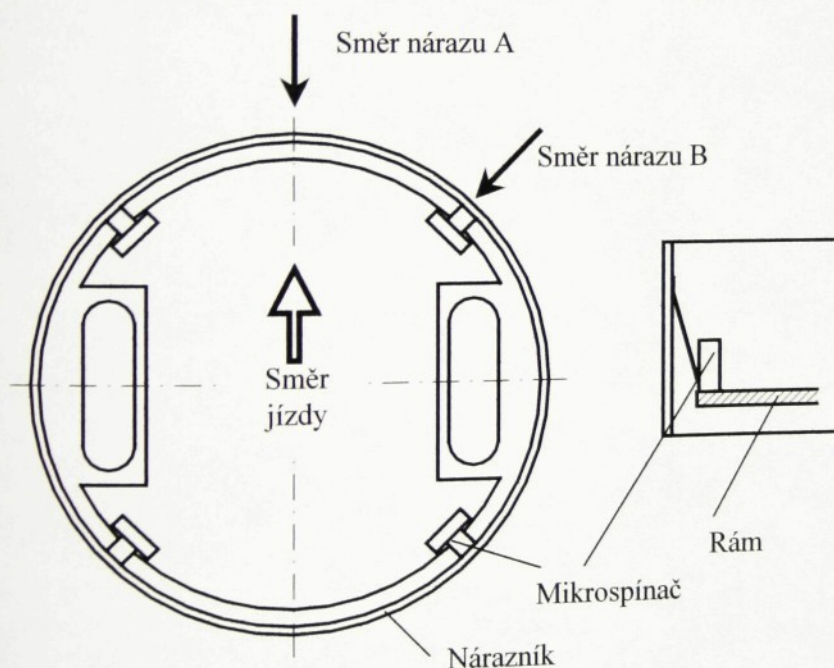
Pro konstrukci *Slídila* byl tedy zvolen kruhový půdorysný tvar, který lze s výhodou využít pro rozmístění dotykových snímačů popsanych v kapitole 3.3.

### 3.3 Volba snímačů

Při volbě snímačů bylo snahou volit především snímače s digitálním výstupem, přičemž v mnoha případech lze informaci vyhodnotit jedním digitálním vstupem na jeden takt mikroprocesoru. Toto vyhodnocení je rychlé a nenáročné na počet vstupních (případně výstupních) bran mikroprocesoru. Těmto požadavkům vyhovují např. kontaktní spínače, optické proximity snímače nebo analogové snímače použité pouze pro dvouhodnotové vyhodnocení. Pro analogové snímače je zpravidla zapotřebí analogově – digitálního (A/D) převodníku, který vyžaduje více vstupních bran (pro paralelní převodník) nebo více taktů mikroprocesoru (pro sériový převodník).

#### Kontaktní mikrospínače

Pro základní kolizní úlohy budou použity kontaktní mikrospínače umístěné na robotu podle obr. 39. Spínače budou opásány válcovým nárazníkem, který bezpečně zajistí sepnutí kontaktů při nárazu z kteréhokoli úhlu.

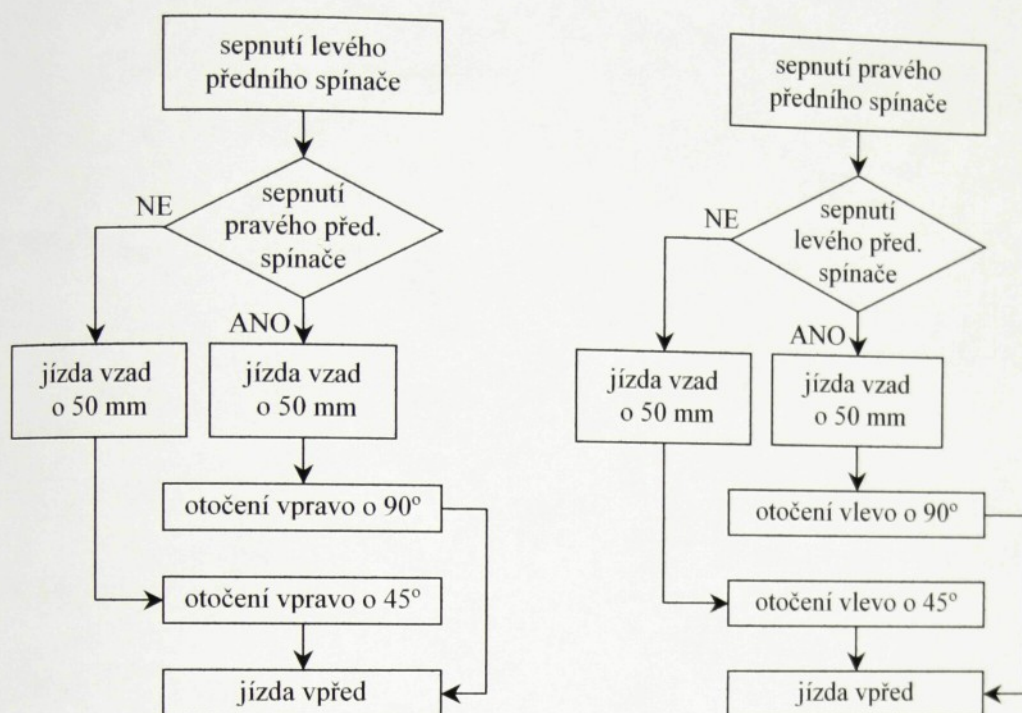


**Obr. 39** Rozmístění kontaktních mikrospínačů po obvodu *Slidila*

Při čtyřech mikrospínačích rozmístěných po 90° lze vyhodnotit směr přibližně z osmi stran. Přestože je přesnost takto získané informace o směru velmi malá, stačí pro rozhodnutí o dalším směru jízdy. V určitých situacích, např. při čelním nárazu („Směr nárazu A“ na obr. 39), dojde k sepnutí dvou spínačů, což je vyhodnoceno jako směr



mezi dvěma sousedními spínači. Rozhodovací strategie při nárazu pro jízdu vpřed je znázorněna v diagramu na obr. 40.



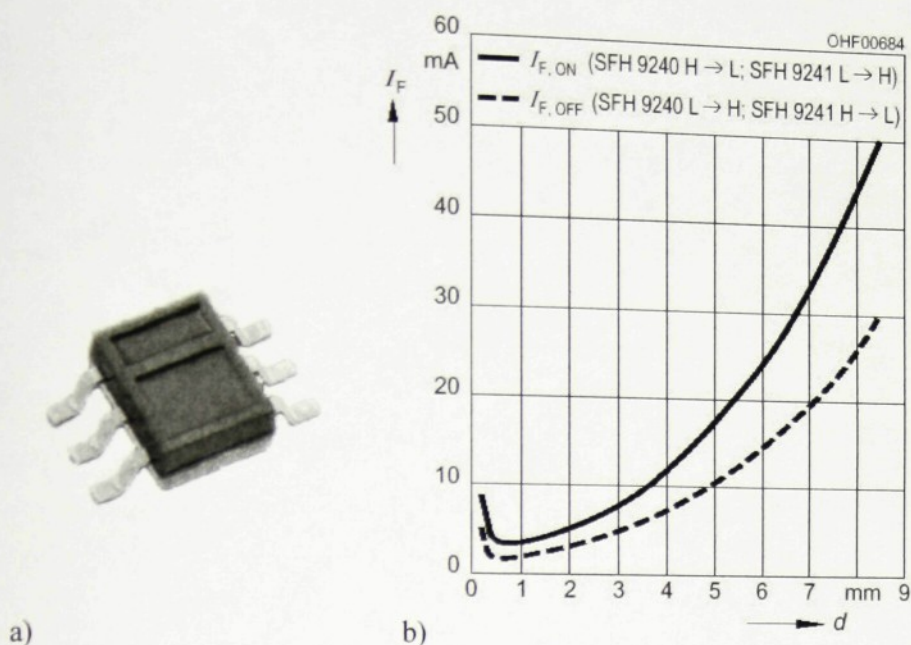
**Obr. 40** Rozhodovací strategie pro jízdu vpřed při sepnutí mikrospínačů

Je nutno dodat, že pro snímání nárazu pomocí kontaktních mikrospínačů teoreticky postačí pouze tři spínače. Z důvodu konstrukčního uspořádání a zpřesnění získané informace budou použity spínače čtyři.

### Optické proximní snímače

Tyto optické snímače budou využity pro snímání hrany stolu nebo jiných „propastí“, které představují nepřekonatelnou překážku. U proximních snímačů je informace vyhodnocována pouze jedním bitem (tedy dvě logické úrovně). Pro tento účel se nabízí použití snímačů pracujících v oblasti infračerveného záření s integrovaným vysílačem (IR LED) i snímačem (fotodioda nebo fototranzistor) v jednom pouzdru. Někteří výrobci nabízejí tyto snímače i s filtrem denního světla pro omezení rušení a digitálním výstupem. Jedním ze snímačů splňujícím tyto požadavky je např. SFH 9240 od výrobce OSRAM.

$$I_F = f(d)$$



**Obr. 41** Snímač SFH 9240

a) pouzdro snímače

b) charakteristika závislosti vzdálenosti na prahovém proudu

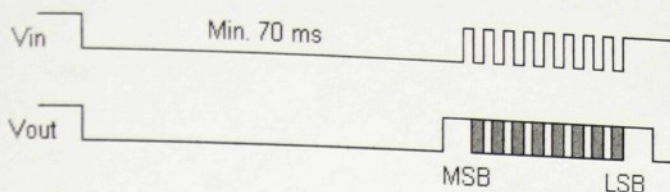
Tento optický snímač bude umístěn před levé i pravé kolo a lze ho spojit s koncovým mikrospínačem na příslušné straně pomocí logické funkce OR (oba snímače plní podobnou funkci) a ušetřit tím dvě vstupní brány mikroprocesoru.

### Optický snímač pro měření vzdálenosti

Z několika principů měření vzdálenosti bylo zvoleno měření triangulační metodou. Výrobce Sharp nabízí takový snímač pod označením GP2D02. Výstupem ze snímače je 8-bitové číslo (tedy 255 úrovní), přičemž snímač lze připojit přímo na mikroprocesor a komunikace probíhá sériově.

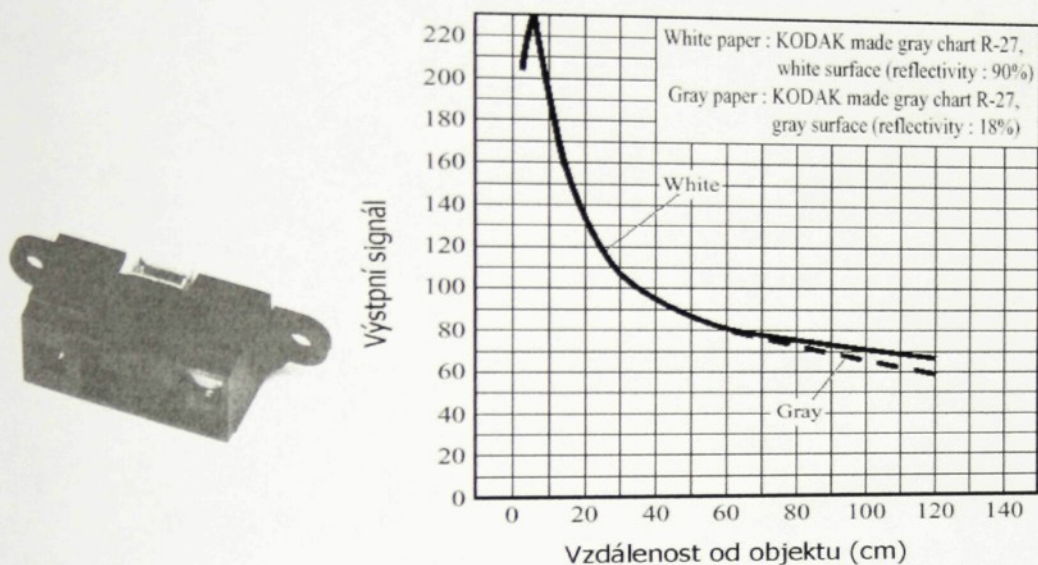
Vlastní řízení probíhá tak, že na vstup snímače  $V_{in}$  je přivedena logická nula, která trvá minimálně 70 ms. Je následována 8 pulsy, přičemž po každém pulsu je na výstupu snímače přítomen jeden bit počínaje bitem MSB a zakončen bitem LSB. Tento postup řízení je naznačen na obr. 42.





**Obr. 42** Časový průběh měření

Vzdálenost je pak dána 8-bitovým číslem získaným při jednom měřicím cyklu naznačeném na obr. 42. Závislost intenzity výstupního signálu na vzdálenosti od překážky je znázorněna na obr. 43b.



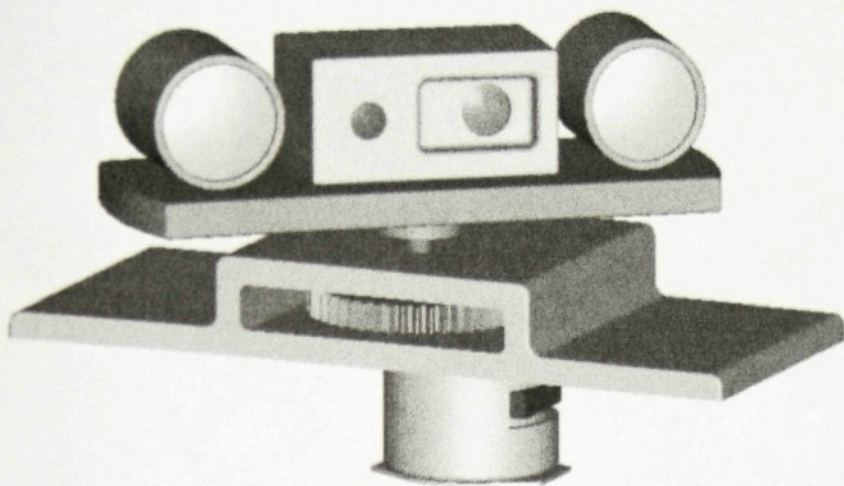
**Obr. 43** Snímač GP2D02 a) pouzdro snímače

b) charakteristika

### Ultrazvukový snímač pro měření vzdálenosti - sonar

Ultrazvukový snímač může sloužit jako doplněk optického měření vzdálenosti. Svými vlastnostmi se odlišuje od snímače GP2D02 hlavně větší maximální měřitelnou vzdáleností, větším rozptylem ultrazvukové vlny (oproti světelnému paprsku) a rozdílnou citlivostí na danou překážku. U sonaru, kde jeden element plní funkci vysílače i přijímače, je nezbytně nutné např. programově ošetřit dobu, kdy membrána stále ještě kmitá působením vyslané vlny. Tímto se také zvětšuje minimální měřitelná vzdálenost. Pro seznámení se s ultrazvukovým měřením bude výhodnější použít pro konstrukci *Slídila* sonar s jedním vysílačem a jedním přijímačem.

Sonar i optický snímač pro měření vzdálenosti budou umístěny na otočné hlavici, která umožní měření v rozsahu  $-180^\circ$  až  $+180^\circ$  s rozlišením 80 kroků na jednu otáčku hlavice. Pro tuto hlavici bude použit opět krokový motor stejný jako pro pohon pojezdu s připojenou převodovkou s převodovým poměrem  $i=4$ .



**Obr. 44** Otočná hlavice s optickým snímačem GP2D02 a sonarem

### 3.4 Volba pohonu

Na pohon *Slídila* nejsou kladeny příliš vysoké nároky, protože se má pohybovat pouze na vodorovné podložce, např. na zemi nebo po stole. Hlavní prioritou je jednoduchost zvoleného řešení, snadné řízení a přijatelná cena při dodržení funkčnosti robotu. Z koncepce podvozku a určování polohy nepřímou metodou vychází i řízení motorů, které musí být velmi přesné pro obdržení co nejpřesnější polohy robotu. V následujícím souhrnu jsou vyzdvíženy klady a zápory jednotlivých druhů motorů s respektováním požadavků pro pohon *Slídila*.

#### Stejnoseměrný motor (DC)

- + možnost krátkodobého přetížení,
- + dostupnost motorů (např. modelářství),
- + jednoduché řízení,



- pro relativní určování polohy nutná zpětná vazba,
  - složitější konstrukční uspořádání
  - vyšší cena
  - složitější řídicí program
- životnost omezená komutátorem a kartáči,
- zhoršený odvod tepla z vinutí motoru,
- složitější řízení pro dobré dynamické vlastnosti (např. PWD),
- převodovka s velkým převodovým poměrem.

### **Stejnoseměrný motor s elektronickou komutací (EC)**

- + téměř neomezená životnost (limitující je pouze životnost ložisek),
- + možnost krátkodobého přetížení,
- + dobrý odvod tepla z vinutí motoru,
- + motor vždy obsahuje zpětnou vazbu,
- motor musí pro svou funkci obsahovat snímač natočení rotoru s řídicí elektronikou,
  - složitější řídicí program
- vysoká cena,
- převodovka s velkým převodovým poměrem.

### **Krokový motor (KM)**

- + téměř neomezená životnost (limitující je pouze životnost ložisek),
- + převodovka s menším převodovým poměrem než u DC a EC,
- + není nutná zpětná vazba,
- + jednoduché řízení (zejména programové),
- nesnese přetížení (ztráta synchronizace).

Po zhodnocení kladů a záporů jednotlivých pohonů byly zvoleny pro pohon *Slidila* dva krokové motory. Největší výhody byly spatřeny v jednoduchém řízení motoru, možné absenci zpětné vazby a menším převodovém poměru připojené převodovky.

## Shrnutí vlastností a použitý způsob řízení krokových motorů

Krokové motory zvolené pro pohon *Slidila* jsou motory z disketové mechaniky osobního počítače a bohužel nejsou známy jejich charakteristiky. Tyto krokové motory však mají:

- 20 kroků na otáčku,
- maximální krokovací frekvenci 100 Hz,
- 5V napájení.

Takovéto malé krokové motory se obvykle budí unipolárně, tj. proud prochází jednotlivými cívkami jen jedním směrem a je tedy možno použít jednoduché řídicí obvody. Výkonový budič ULN 2803 firmy SGS se skládá z osmi spínacích obvodů s Darlingtonovými tranzistory s otevřeným kolektorem, které jsou vhodné pro zátěže až 500 mA. Integrovaný obvod obsahuje i potřebné ochranné diody pro buzení indukivní zátěže.

Řídicí obvody musí zajistit vytvoření točivého magnetického pole v motoru, kdy se sousední cívky postupně zapínají. Bude-li se spínat vždy jen jedna cívka, bude spínací schéma vypadat podle tab. 2.

| cívka 1 | cívka 2 | cívka 3 | cívka 4 | řídící hodnota |
|---------|---------|---------|---------|----------------|
| 1       | 0       | 0       | 0       | 8              |
| 0       | 1       | 0       | 0       | 4              |
| 0       | 0       | 1       | 0       | 2              |
| 0       | 0       | 0       | 1       | 1              |
| 1       | 0       | 0       | 0       | 8              |
| 0       | 1       | 0       | 0       | 4              |

**Tab. 2** Spínací schéma krokového motoru buzeného čtyřmi bity

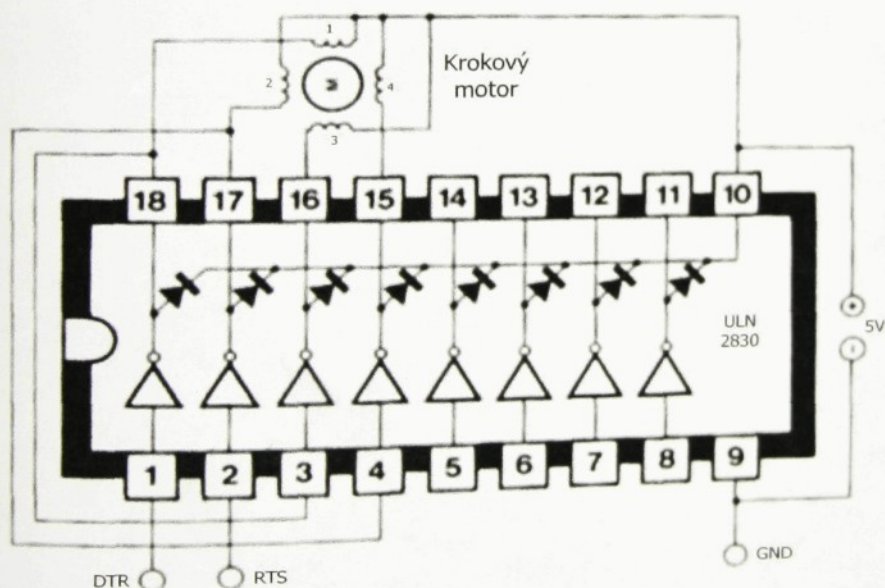
Je zřejmé, že jsou zapotřebí čtyři výstupní bity. Vzhledem k tomu, že se vyskytují jen čtyři různé stavy, lze řízení realizovat dvěma výstupními bity a dekodérem. Existuje však ještě jedna méně nákladná možnost, jak řídit krokové motory dvěma bity. Při tomto zapojení se zapínají vždy dvě sousední cívky společně. Spínací schéma je znázorněno v tab. 3.



| cívka 1 | cívka 2 | cívka 3 | cívka 4 | řídící hodnota |
|---------|---------|---------|---------|----------------|
| 1       | 0       | 0       | 0       | 3              |
| 0       | 1       | 0       | 0       | 1              |
| 0       | 0       | 1       | 0       | 0              |
| 0       | 0       | 0       | 1       | 2              |
| 1       | 0       | 0       | 0       | 3              |
| 0       | 1       | 0       | 0       | 1              |

**Tab. 3** Spínací schéma krokového motoru buzeného dvěma bity

U tohoto způsobu řízení teče krokovým motorem při stejném napětí dvojnásobný proud. Motor má zároveň dvojnásobný výkon. Při ovládání dvěma bity se vždy vybudí dvě cívky vzájemně inverzně a řídící signály pro cívku 3 vzniknou invertováním řídících signálů pro cívku 1. Obdobně je tomu u cívky 2 a 4. Na obr. 45 je znázorněno řízení jedním obvodem ULN 2803 buzeným dvěma bity. Protože každý stupeň zároveň provádí inverzi, je možné řídící signály pro budiče 3 a 4 odebrat přímo na výstupech pro cívky 1 a 2.[5]



**Obr. 45** Buzení krokového motoru dvěma bity

Pro zvýšení kroutícího momentu musí být k motoru připojena převodovka, která je navržena podle požadavku na rychlost jízdy. Vyjdeme-li při výpočtu převodového poměru ze zvolené rychlosti jízdy  $v = 0,05 \text{ m/s}$  a maximálních otáček motoru

$$n_m = \frac{f_{\text{krokovací max}}}{k} = \frac{100}{20} = 5 \text{ s}^{-1}, \quad (21)$$

kde  $f_{\text{krokovací max}}$  je maximální krokovací frekvence a  $k$  je počet kroků na otáčku motoru, pak převodový poměr

$$i = \frac{n_m}{n_{\text{kola}}}, \quad (22)$$

přičemž  $n_{\text{kola}}$  jsou otáčky kola odpovídající rychlosti  $v$  při maximální krokovací frekvenci, které jsou vyjádřeny ve vztahu

$$n_{\text{kola}} = \frac{2 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot D} = \frac{0,05}{\pi \cdot 0,053} = 0,3 \text{ s}^{-1}, \quad (23)$$

kde  $D$  je průměr kola. Po dosazení do rovnice (22) tedy vychází převodový poměr

$$i = \frac{n_m}{n_{\text{kola}}} = \frac{5}{0,3} = 16,65. \quad (24)$$

Pro realizaci takového převodu není na trhu k dispozici žádná vhodná převodovka, která by splňovala požadované vlastnosti, a proto bylo rozhodnuto o výrobě vlastní převodovky. Tato převodovka bude sestavena z ozubených kol určených pro modelářské účely a skříň vyrobené na stroji *Prodigy* pracujícím s technologií *Rapid Prototyping*. Při respektování omezené variace ozubených kol byl zvolen dvoustupňový převod s převodovými poměry

$$i = i_{12} \cdot i_{34} = 4 \cdot 4,83 = 19,32 \quad (25)$$

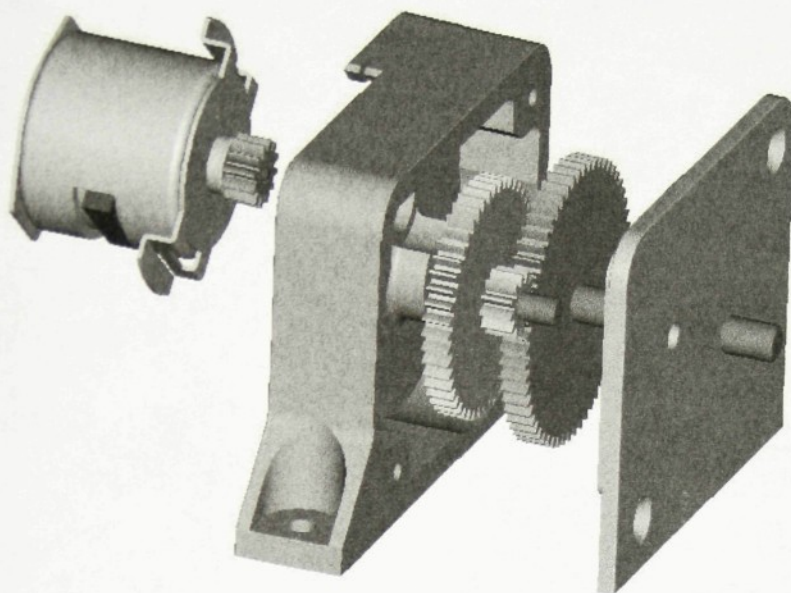
Při tomto zvoleném převodovém poměru bude maximální rychlost robotu

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_m \cdot D}{2 \cdot i} = \frac{\pi \cdot 5 \cdot 0,053}{19,32} = 0,043 \text{ m/s} = 43 \text{ mm/s} \quad (26)$$



Pro realizaci převodových poměrů  $i_{12}$  a  $i_{34}$  jsou použita kola o počtu zubů  $z_1=12$ ,  $z_2=48$ ,  $z_3=12$  a  $z_4=58$  s modulem 0,5mm.

Na obr. 46 je znázorněn počítačový model převodovky včetně krokového motoru.



**Obr. 46** Převodovka vyrobená metodou *Rapid Prototyping*

### 3.5 Volba řídicího členu

Pro řízení *Slidila* bude použit jednočipový mikroprocesor PIC 16F84. Tento mikroprocesor byl vybrán pro své vyhovující parametry a programátor, který má katedra k dispozici. PIC 16F84 nabízí dva digitální I/O porty (13 volitelně vstupně – výstupních bran), datovou paměť typu FLASH o velikosti 36 bytů a paměť programu (rovněž paměť typu FLASH) o velikost 1 kilobyte, do které lze uložit až 1024 instrukcí. Výhodou mikroprocesoru PIC tohoto typu je stejně dlouhá doba trvání většiny instrukcí.

### 3.6 Zdroj energie

Jako zdroj energie bude použit akumulátor na bázi nikl-metalhydridu složený ze tří článků velikosti AA  $\varnothing 15 \times 50 \text{ mm}$  poskytující napětí  $3 \cdot 1,3 = 3,9 \text{ V}$  s kapacitou 1,7 Ah.

## 4 Závěr

Cílem této práce bylo zhodnocení současného vývoje mobilních robotů, porovnání jednotlivých subsystémů a následné sestavení ideového návrhu mobilního robotu sloužícího pro výukové účely.

První část práce je zaměřena především na analýzu pohybového ústrojí, snímačů a způsobu určování polohy robotu, pohonu, zdroje energie a řídicího systému. Účelem této analýzy bylo získání důležitých a ucelených poznatků, které umožní vhodné a účelné navržení celého robotu.

V druhé části bylo snahou získané poznatky uplatnit a provést ideový návrh tak, aby byly postupně vybrány koncepce jednotlivých subsystémů, které nejvíce vyhovují zadané problematice a splní předem stanovená očekávání.

Na základě požadovaných kritérií byl s následným výběrem optimálních komponent proveden vlastní návrh v podobě prostorového počítačového modelu, který přináší výhody hlavně v realistickém v rozmísťování jednotlivých komponent, navrhování rozměrů nebo dalším zpracování na výrobních strojích.

V příloze I je zobrazen pohled na celý robot včetně popisu jednotlivých prvků a příloha II znázorňuje uspořádání pohonné jednotky pohybového ústrojí a jednotky pro rotaci snímačů. Příloha III zobrazuje schéma celého robotu se zakótováním hlavních rozměrů, příloha IV schéma pohonné jednotky pohybového ústrojí a příloha V schéma jednotky pro rotaci snímačů. Pro výrobu převodovek, případně jiných dílů, není nutná tvorba výkresové dokumentace, neboť se nabízí jejich zhotovení na CNC stroji metodou *Rapid Prototyping*. Stroj *Prodigy*, pracující s touto technologií, tvoří součásti vrstvením umělé hmoty ABS, přičemž pevnost takto vytvořeného dílu je pro tyto vývojové účely plně dostačující.

Jako výsledek tohoto návrhu má vzniknout mobilní robot, který plní základní pohybové a orientační úlohy. Postupným zdokonalování řídicího programu a přidáváním strategických prvků tak bude vznikat robot se stále vyšším stupněm inteligence, jehož hranice jsou však omezeny především řídicím systémem, snímači, stejně tak i velikostí celého robotu.



# Seznam použité literatury

- [1] Martin, F. G.: *Robotic Explorations – A Hands-On Introduction to Engineering*. Prentice Hall, New Jersey 2001
- [2] Jones, J. L.: *Mobile Robots – Inspiration to Implementation*, Second Edition, A K Peters, Massachusetts 1999
- [3] Kárník, L., Knoflíček, R., Novák-Marcinčin, J., *Mobilní roboty*, Máfy Slezsko 2000
- [4] Knoflíček, R., Haltmar, M.: *Konstrukce kolových mobilních robotů- část 1-6*, MM - Průmyslové spektrum - Technický měsíčník, 2000
- [5] Kainka, B., *Využití rozhraní PC – Měření, řízení a regulace pomocí standardních portů PC*, Hel, Ostrava 1996
- [6] McComb, G., *The Robot Builder's Bonanza*, Second Edition, McGraw-Hill, New Jersey 2001
- [7] Brož, V., *Malé stejnosměrné motory – část 1-18*, Technický týdeník, 2001
- [8] Stölting, H.-D., Beisse, A., *Elektrische Kleinmaschinen*, Teubner Studienbücher, Stuttgart 1987

## Zdroje na internetu

- [9] [http://www.cs.tcd.ie/research\\_groups/cvrg/teleautonomous.html](http://www.cs.tcd.ie/research_groups/cvrg/teleautonomous.html)
- [10] <http://ais.gmd.de/BAR/robots.htm>
- [11] [http://www-2.cs.cmu.edu/~marcol/research/flight\\_tests/html/flight\\_tests.html](http://www-2.cs.cmu.edu/~marcol/research/flight_tests/html/flight_tests.html)
- [12] <http://www.spawar.navy.mil/robots/images/>
- [13] [http://www.hw.cz/constrc/sonar/infra\\_scope.html](http://www.hw.cz/constrc/sonar/infra_scope.html)
- [14] <http://merkur.fme.vutbr.cz/old/pages/MOBILS/Mobil1.htm>
- [15] <http://merkur.fme.vutbr.cz/old/pages/MOBILS/MMOBIL2.JPG>
- [16] <http://www.robotics.is.tohoku.ac.jp/lab/robot/odv-9/abstract.html>
- [17] <http://www.yo.cz/char/i235ld/25a.html>

# Seznam příloh

Příloha I – virtuální fotografie mobilního robotu „*Slidil*“

Příloha II – virtuální fotografie pohonné jednotky pohybového ústrojí a otočné hlavice pro snímače

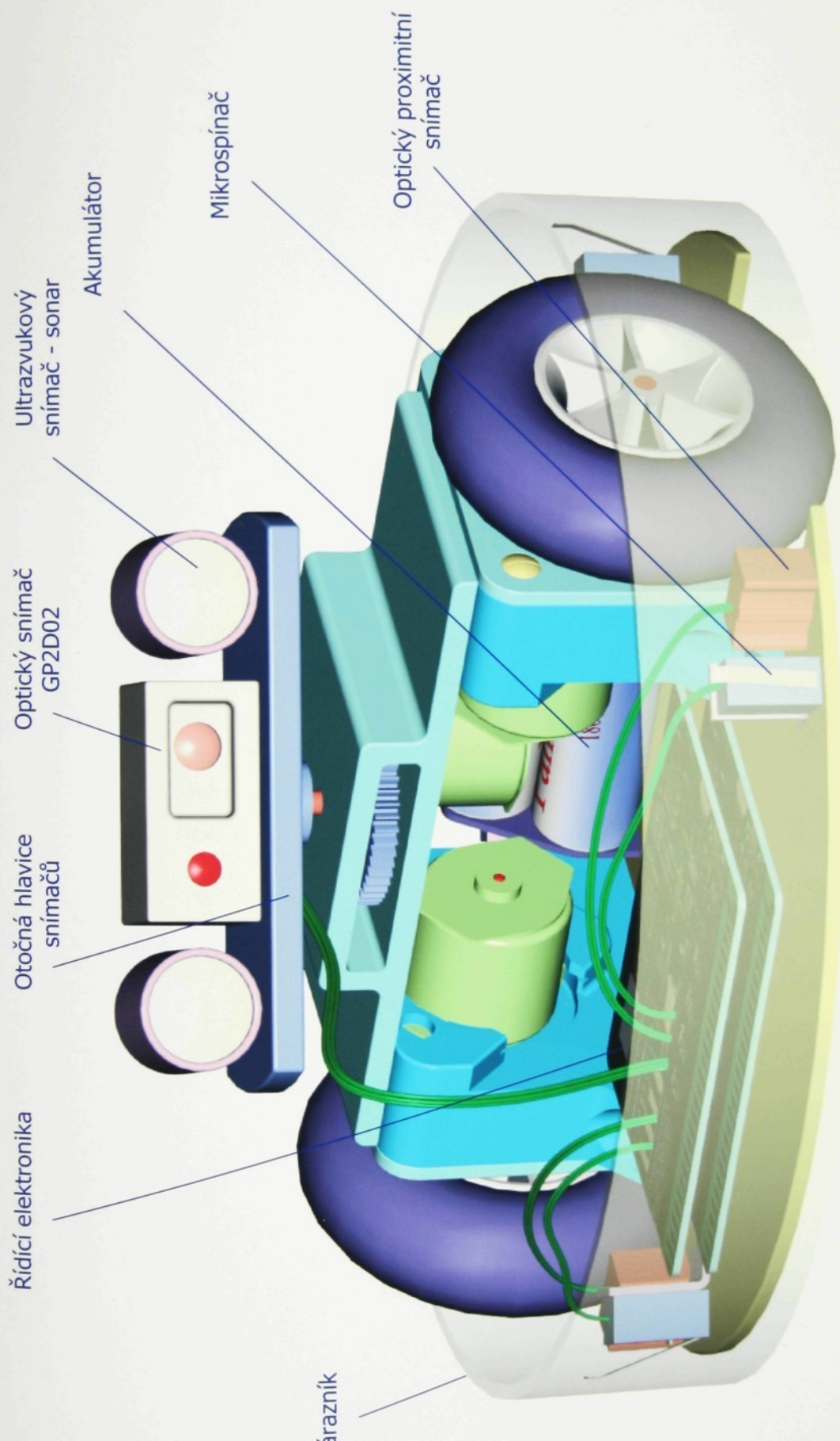
Příloha III – schéma mobilního robotu „*Slidil*“

Příloha IV – schéma pohonné jednotky pohybového ústrojí

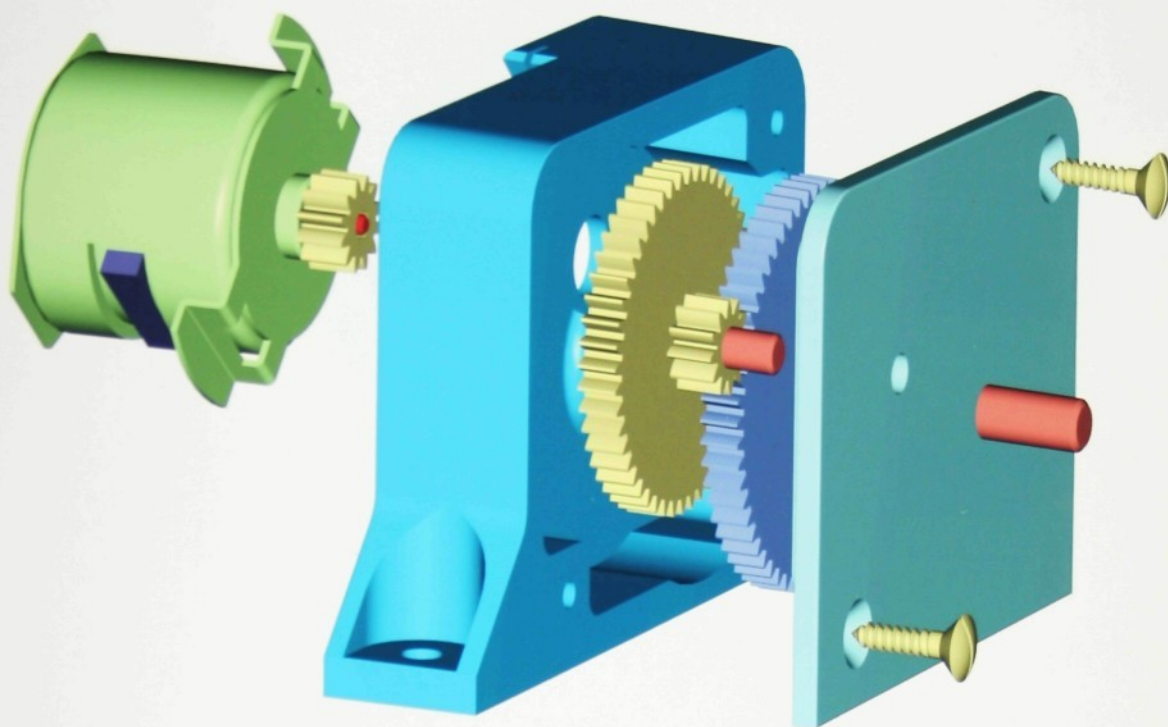
Příloha V – schéma pohonné jednotky rotačního ústrojí pro snímače



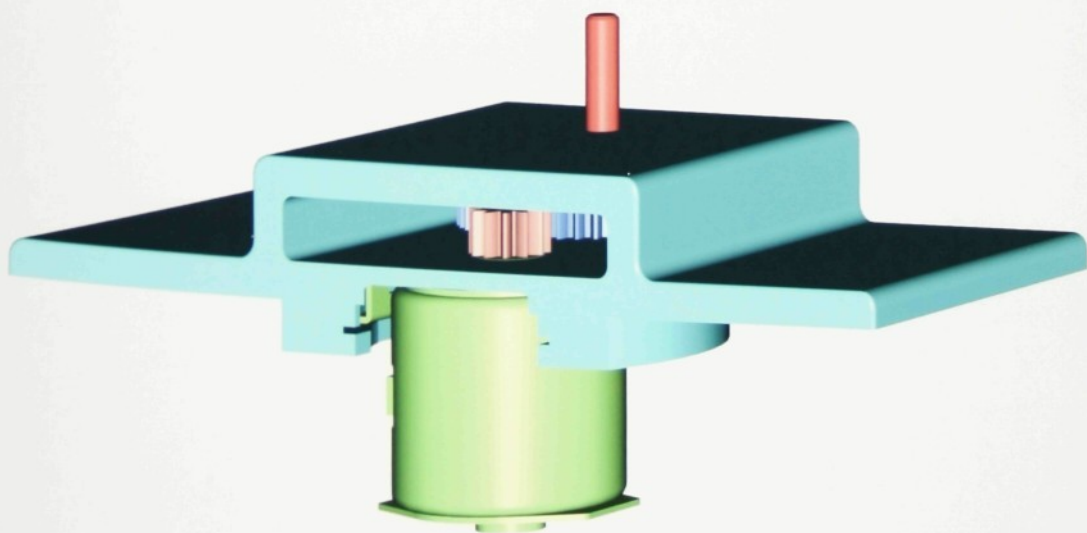
# Příloha I



## Příloha II



Pohonná jednotka pohybového ústrojí



Pohonná jednotka rotačního ústrojí pro snímače