

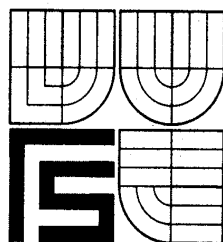
VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. XX

Radek KNOFLÍČEK

**PROJEKTOVÁNÍ MOBILNÍCH ROBOTICKÝCH SOUSTAV
VE VZTAHU K JEJICH APLIKACI, S PŘIHLÉDNUTÍM K
OPTIMALIZACI POHONNÝCH JEDNOTEK**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
Odbor robotiky a robotů



PROJEKTOVÁNÍ MOBILNÍCH ROBOTICKÝCH SOUSTAV VE VZTAHU K
JEJICH APLIKACI, S PŘIHLÉDNUTÍM K OPTIMALIZACI
POHONNÝCH JEDNOTEK

(Habilitační práce)

Autor: Dr. Ing. **Radek KNOFLÍČEK**

Brno 2000

© Radek Knoflíček

ISBN 80-241-1743-9

OBSAH:

1.0 Úvod do problematiky

2.0 Stanovení obecných zásad pro projekci a v konstrukci mobilních robotů

2.1 Hlavní části mobilního robotu a vymezení předmětu habilitační práce

3.0 Optimalizace vybraných elektromechanických veličin u pohonných jednotek lokomočních ústrojí mobilních robotů

3.1 Formulace úlohy

3.1.1 Definice řešené problematiky

3.1.2 Cíle a etapy řešení problematiky

3.2 Úvod do problematiky optimalizace užitím systémového přístupu

3.3 Určení optimální varianty prvkové struktury pohonné jednotky lokomočního ústrojí mobilního robotu

3.3.1 Optimalizace technických soustav

3.3.2 Optimalizace prvkové struktury pohonné jednotky z hlediska technicky nejvýhodnější varianty

3.3.3 Stanovení optimalizačních kritérií

3.3.4 Zpracování výsledků optimalizace metodou PATTERN

4.0 Metoda multikriteriálního hodnocení navrhovaných variant koncepce mobilních robotů jako celku

5.0 Závěr

5.1 Východiska pro další rozvoj vědního oboru

6.0 Literatura

Abstract

1.0 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Vývoj průmyslových robotů lze datovat již do konce padesátých let tohoto století. Z historického hlediska je možno považovat za první průmyslově využitelný robot jména VERSATRAN 500 severoamerické firmy AMF z roku 1961. Dokonce i v naší zemi, záhy po vzniku světových vzorových konstrukcí průmyslových robotů, došlo již v roce 1966 ke vzniku prvního průmyslového robotu MP 62 v tehdejším národním podniku TOS Kuřim. První projekční výkresy jsou datovány již v lednu 1962! Jednalo se o účelově vyvinutý manipulátor, určený k obsluze obráběcích strojů. Zpočátku se tedy jednalo (a co do počtu kusů vyráběných doposud se vlastně stále ještě jedná) o průmyslové roboty tzv. stacionárních konstrukcí. To znamená, že průmyslové roboty jsou pevně svázány se zemí, bez možnosti libovolného pohybu v rovině, či prostoru. Oproti stacionárním typům robotů, mobilní roboty mají výše psanou vlastnost. Již v roce 1966 na Universitě ve Standfordu (Kalifornie - USA) došlo k završení průkopnické práce tím, že poprvé spatřil „světlo světa“ mobilní robot, známý pod jménem SHAKEY. Na svoji dobu byl velmi pokrokové konstrukce a stal se vzorem pro další vývoj a výrobu mobilních robotů. Poprvé se v koncepci stavby prakticky uplatnily „výdobytky doby“ a to číslíkové počítače a prvky tzv. umělé inteligence (hardware-ové i software-ové prostředky).

Mobilní roboty jsou téměř vždy unikátních konstrukcí. Vyrábí se v jednotkách (max. desítkách) kusů, čímž se vyznačují mimo jiné i vysokou pořizovací cenou. Ovšem vzhledem k možným oblastem použití, mají své místo nejen na frontě teoretické, ale i praktické. Vynikají především v místech, definovaných jako nebezpečná člověku. Jedná se o oblast použití např. v jaderných elektrárnách (provozech s ionizačním zářením), vojenského - resp. policejního využití při odstraňování nebezpečných výbušnin apod. Současná doba je poznamenána rozvojem tzv. univerzitních konstrukcí mobilních robotů, kdy se sleduje ověření teoretických předpokladů v projekci a konstrukci mobilních robotů, vzhledem k účelům, k jakým má mobilní robot sloužit.

Základní koncepční myšlenky k tématu habilitační práce:

S přihlédnutím k současnému světovému trendu v oblasti konstrukce výrobních strojů (tedy obráběcích a tvářecích strojů), v jehož čele stojí světové průmyslové velmoci (USA, Japonsko, Německo), lze analogicky uvažovat tyto trendy i do oblastí mobilních robotů.

Jsou zastávány následující základní otázky komerční filozofie mezi zákazníkem a uživatelem strojů a zařízení. Zákazník tvrdí: **"Zaplatím za stroj právě takovou sumu peněz, kolik je nezbytně nutné vzhledem k mnou požadované užité hodnotě stroje."** Pro výrobce a dodavatele strojírenské techniky to znamená, že je nucen produkovat stroje v takové koncepci a s takovými technickými parametry, jaké požaduje zákazník. Jedná se tedy o problém optimalizace vztahu mezi náklady na zajištění funkce stroje a jeho funkcí (souboru funkcí). Ostatní nadbytečné funkce stroje (popřípadě technické nebo technologické možnosti) není nutno zabezpečovat a tím ani platit. Tuto myšlenku lze realizovat důsledným zaváděním typizovaných prvků a modulů ve stavbě a konstrukci nejen obráběcích strojů, ale i mobilních robotů. Smyslem je tedy co nejvyšší užité hodnoty výrobku pro konkrétního uživatele-zákazníka za co nejnižší pořizovací cenu. Nároky a požadavky uživatele, v souvislosti s prací tvůrce technického objektu, lze tedy zhruba rozdělit na technické (účel, použití, zajištění funkce parametry a vlastnosti a ekonomické (náklady na řešení, realizaci, fyzickou likvidaci). Souhrn faktů a východiska pro řešení habilitační práce: v podstatě se jedná o hledání a nalezení uspokojivých odpovědí na otázky **racionálního projektování mobilních robotů (jejich výzkum, vývoj, výroba a provoz) a hodnocení navrhovaných variant koncepcí mobilních robotů.**

Řešením otázek metodik konstruování se zabývala dizertační práce na téma "Metodika návrhu elektromechanické části mobilních robotických systémů" a řešení nemenšího souboru otázek **hledání vhodné koncepce mobilních robotů, optimalizace vybraných parametrů a způsoby hodnocení navrhovaných variant koncepce**, si klade za cíl tato předkládaná habilitační práce na téma "Projektování mobilních robotických soustav ve vztahu k jejich aplikaci, s přihlédnutím k optimalizaci vybraných parametrů konstrukčního uzlu – pohonné jednotky".

2.0 STANOVENÍ OBECNÝCH ZÁSAD PRO PROJEKCI A KONSTRUKCI MOBILNÍCH ROBOTŮ

Vytvoření mobilní robotické soustavy (dále v textu i jako MRS), vybavené prvky umělé inteligence a určené pro různé druhy a typy prostředí (částečně známá, i neznámá prostředí, indoor nebo outdoor), kde se bude pohybovat a plnit různé úlohy (např. manipulačního, obslužného nebo servisního charakteru), je náročný úkol nejen teoretický, ale i praktický [5].

Projekt jakéhokoliv mobilního robotu směřuje v etapách projekce, konstrukce a realizace buď:

- **k předprojektové a projektové přípravě výše uvedených etap vývoje a k simulaci dílčích procesů (například problematika navigace atd.) za pomoci velmi výkonných počítačů a SW balíků (počítačová realizace díla simulací)**
- **ke stavbě funkčního fyzikálního modelu (za účelem ověření funkčnosti subsystémů)**
- **ke stavbě prototypu pro konkrétní účel a užití**
- **vylepšování vybraných charakteristik a zdokonalování vlastností připravovaného nebo realizovaného díla (technického objektu) pomocí metod optimalizace**

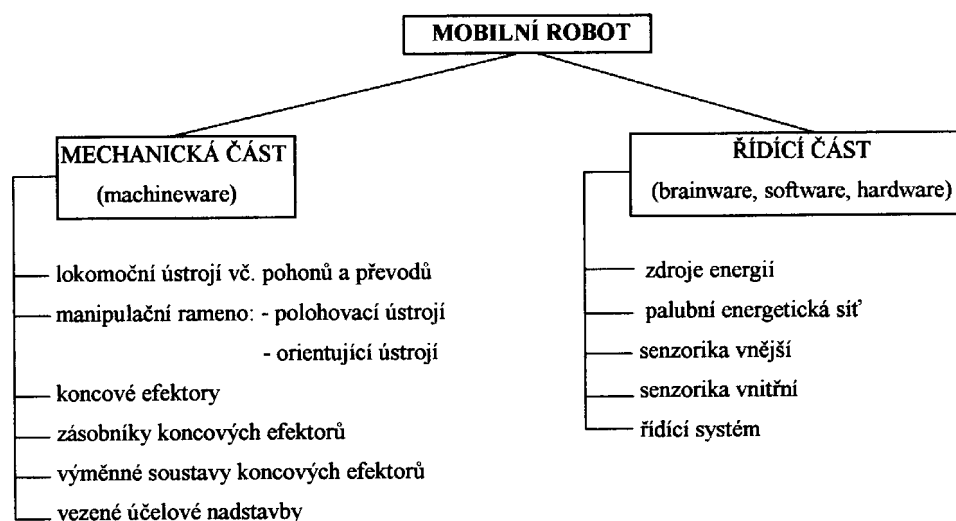
V posledních dvou případech budou téměř vždy postupně (po etapách danými plánem řešení) prakticky ověřovány jednotlivé funkční bloky a tyto dále kompletovány do vyšších celků.

Složitost stavby mobilního robotu a jeho funkce, je z hlediska komplexní teoretické přípravy a praktické realizace, úloha pro kolektiv odborníků (spoluřešitelů úkolu) z vybraných oblastí robototechniky a to nejen inženýrů strojního zaměření (konstrukce mechanické části, tj. machineware), ale i inženýrů z oboru silnoproudé i slaboproudé elektrotechniky, dále programátorů, tvůrců vnitřní a vnitřní senzorky a řídicích systémů (tj. software a hardware), včetně specialistů, zabývajících se umělou inteligencí (brainware), simulací jednotlivých činností mobilních robotů (aplikovaný software) a v neposlední řadě i řemeslníků-specialistů (fyzická realizace vybraných částí prototypu, včetně konečné montáže).

2.1 HLAVNÍ ČÁSTI MOBILNÍHO ROBOTU A VYMEZENÍ PŘEDMĚTU HABILITAČNÍ PRÁCE

Ve smyslu dekompozice mobilního robotu na hlavní části dle obr. 1, je předmětem řešení habilitační práce

elektromechanická část, se zaměřením na pohonnou jednotku lokomočního ústrojí MR.



Obr. 1: Hlavní části mobilních robotů

3.0 OPTIMALIZACE VYBRANÝCH ELEKTROMECHANICKÝCH VELIČIN Pohonných jednotek lokomočních ústrojí mobilních robotů

U

3.1 FORMULACE ÚLOHY

Světovým trendem v oblasti praktické robotiky je vývoj, realizace a užití mobilních robotických soustav v různých oblastech použití (např. energetika (provoz jaderných elektráren), strojírenství (automatické dopravní a manipulační vozíky), vojenské a policejní užití (mobilní prostředky pro manipulaci s výbušninami), zdravotnictví (vozíky pro pomocné a obslužné funkce atd.). Mobilní robotické soustavy (dále i jako MRS) přitom pracují v neznámých či částečně známých prostředích (aplikace indoor nebo outdoor), v mnohých případech definovaných jako nebezpečná prostředí pro člověka, přičemž terén může být nejrůznější povahy (od rovného hladkého povrchu s dobrou únosností až po rozbředlou zeminu či schodiště).

Základní koncepce mobilního robotu je obecně tvořena:

a) **MACHINEWARE**, obsahující:

- lokomoční ústrojí (podvozek - kolový, pásový, nohy, hybridní, příp. netradiční uspořádání)
- vlastní pohonné jednotky
- primární zdroj energie
- elektrickou palubní síť
- účelové nadstavby

b) **HARDWAREM**, obsahujícím:

- měniče elektrické energie pro napájení pohonných jednotek
- elektroniku pro řízení pohonů
- senzorický podsystém
- elektroniku pro řízení senzorického podsystému
- monitoring stavů zdroje energie
- vlastní řídicí systém MRS

c) **SOFTWAREM**, obsahujícím:

- řízení lokomoce

- plánování činnosti
- navigaci (lokální a globální)

a to bez ohledu na typ či funkci mobilního robota.

V současnosti nejsou vypracována žádná, všeobecně známá optimalizační kritéria a doporučení pro návrh koncepce jednotlivých typů lokomočních ústrojí mobilních robotů. Tato jsou obvykle osazována pohonnými jednotkami, určenými pro jiné aplikace bez ohledu na eventuálně přijatá hlavní i vedlejší optimalizační kritéria. Proto lze v následujícím textu přijmout slovní definici problematiky, která se má komplexně řešit.

3.1.1 DEFINICE ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V konstrukci elektromechanické části (machineware) mobilních robotů se užívají mimo jiné podsoustavy i lokomoční ústrojí (LÚ), zabezpečující pohyb mobilního robota. Nejčastěji používanými lokomočními ústrojími jsou používány různá uspořádání kolových podvozků, které mohou mít 3, 4, 6 a více kol. Jako kola se mohou používat klasická nebo tzv. všesměrová. Kola klasická mohou být hnána, nebo jsou řízena do směru a nebo jsou volně točná, či jejich kombinace. Hnací kolo (osa, náprava) je obvykle poháněna tzv. **monoblokem pohonné jednotky**, pozůstávající z následující struktury: **zdroje energie - hnací motor - převod - snímače - výkonová elektrotechnika - inteligentní řídicí elektronika**.

Tématem řešení je tedy provedení teoretického odvození a výpočtu optimalizace, včetně vyhodnocení výsledků optimalizace a to koncepce výše uvedené struktury monobloku pohonné jednotky a naplánování technického experimentu za účelem ověření vybraných elektromechanických parametrů pohonu.

3.1.2 CÍLE A ETAPY ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY

- Formulace cílů

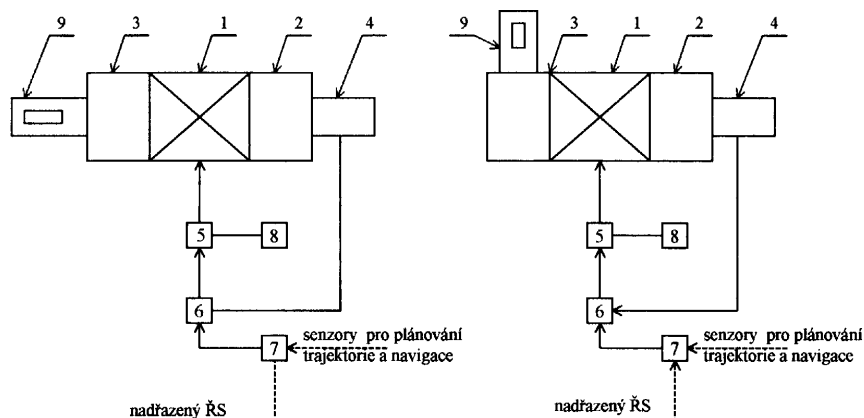
Obecnou formulaci cílů habilitační práce lze rozdělit do tří následujících oblastí:

a) vědecko-výzkumným cílem je výběr a užití vhodné optimalizační metody, definice jednotlivých optimalizačních kritérií, kvantifikace jejich významnosti (váhy) pro stanovení struktury a koncepce konkrétní pohonné jednotky kolového lokomočního ústrojí mobilního robota, určeného pro pojezd v rovině indoor prostorů. Výsledkem je formulace doporučení pro volbu základních technických parametrů jednotlivých komponent machineware.

b) výzkumně-vývojovým cílem je realizace a experimentální ověření výsledků vybrané optimální struktury a následná realizace inženýrského díla do podoby nového technického objektu – mobilního robota pod jménem VUTBOT 2

c) pedagogickým cílem je zavedení realizované soustavy do laboratorní výuky studentů 4. i 5. ročníku Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky a to nejen oboru Stavba výrobních strojů se zaměřením na konstrukci průmyslových robotů a manipulátorů, ale i oboru Mechatronika (interdisciplinární obor Ústavu mechaniky těles), s možností provedení vlastní experimentální práce při zpracovávání semestrálních projektů, diplomových prací, případně i v rámci dizertačních prací doktorského studia.

Obsahem je tedy navržení koncepce, realizace a experimentální ověření výsledků optimální struktury monobloku: **zdroje energie - hnací motor - převod - snímače - výkonová elektrotechnika - inteligentní řídicí elektronika** pro jednotlivé typy podvozků (lokomočních ústrojí MR) - viz obr. 2.



Obr. 2: Monoblok pohonné jednotky pro různá uspořádání výstupního hřídele

Legenda k obr. 2: 1 - hnací motor, 2 - brzda (provozní, klidová, nouzová), 3 - převodovka, 4 - senzory elektromechanických veličin, 5 - výkonová elektronika (měnič), 6 - inteligentní řídicí elektronika, 7 - řídicí systém MRS, 8 - zdroj energie, 9 - výstupní hřídel

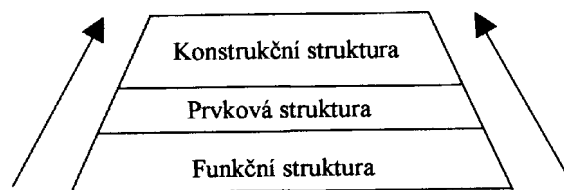
- Etapy řešení

Navrhovaný postup řešení lze rozčlenit do sebe navzájem zapadajících etap ve dvou oblastech řešení a to teoretické i praktické:

- 1) Výběr a užití vhodného matematického modelu, respektive optimalizační metody
- 2) Výběr kritérií optimalizace
- 3) Provedení optimalizačního výpočtu
- 4) Zpracování výsledků optimalizace například užitím vybrané metody multikriteriálního hodnocení navrhovaných variant řešení koncepce pohonných jednotek lokomočních ústrojí mobilních robotů
- 5) Stanovení optimální koncepce elektromechanické části pohonné jednotky, určené pro realizaci za účelem provedení technického experimentu ověřování vlastností pohonu
- 6) Zpracování výkresové dokumentace sestav a detailních výkresů vyráběných součástí, určených pro fyzické sestavení monobloku pohonné jednotky
- 7) Nákup potřebných komponent
- 8) Realizace měřicího pracoviště pro technický experiment
- 9) Plánování technického experimentu pro stanovení vybraných charakteristik pohonných jednotek
- 10) Provedení technického experimentu, tj. měření a zjišťování provozních elektromechanických veličin elektrických pohonných jednotek, určených pro mobilní roboty
- 11) Zpracování výsledků a jejich zevšeobecnění pro potřeby teorie a praxe v oblasti stanovování technických podmínek při konstrukci lokomočních ústrojí mobilních robotů

3.2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY OPTIMALIZACE UŽITÍM SYSTÉMOVÉHO PŘÍSTUPU

Vzhledem k užitému systémovému přístupu k řešení problematiky optimalizace koncepce a vybraných parametrů technického objektu lze konstatovat, že na pohonnou jednotku lokomočního ústrojí je možno nahlížet jako na **strukturovanou soustavu s prvky**. Prvky struktury jsou tedy základní komponenty tvořící mechanismus, který optimálně realizuje požadovanou **funkční strukturu** technické soustavy. Ve **strukturu konstrukční** je prvkem stavební skupina, která má schopnost provádět plánované účinky. Pokud výše popsané struktury hierarchicky uspořádáme (jak ukazuje obrázek 3), pak při vlastním systémovém pohledu k řešení problému optimalizace je možno přistupovat od funkční, přes prvkovou až ke konstrukční strukturu.



Obr. 3: Hierarchické uspořádání struktur tvorby technických objektů při systémovém řešení jejich optimalizace parametrů a vlastností

3.2.1 OPTIMALIZAČNÍ METODY V KONSTRUKČNÍ ČINNOSTI

Inženýr při návrhu nových strojů a konstrukcí, při řízení technologických procesů i plánování výroby řeší často složité komplexní úlohy, v nichž rozhoduje o použití nemalých finančních prostředků, materiálů, nákladů a lidské práce, o kvalitě i konkurenceschopnosti vyráběných produktů [16]. V současné době **nelze opírat závažná rozhodnutí pouze na intuici**, popřípadě spoléhat na vlastní předchozí zkušenosti. Jednou z nejnadhjnějších cest, jak zlepšit kvalitu inženýrské práce, zvýšením podílu exaktních postupů ve fázi rozhodování a urychlením i zpřesněním časově náročné tvůrčí práce konstruktéra nebo projektanta, představuje použití racionalizačních metod této práce s využitím metod optimalizace. Jako velmi výhodné se jeví aplikace metod optimalizace i při návrhu nového technického objektu nebo jeho zdokonalování - např. optimalizace technických parametrů, vlastností a charakteristik.

Předmětem výpočtu v každé **optimalizační úloze** jsou **optimalizační proměnné** nebo-li **parametry**.

3.3 URČENÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY PRVKOVÉ STRUKTURY POHONNÉ JEDNOTKY LOKOMOČNÍHO ÚSTROJÍ MOBILNÍHO ROBOTU

3.3.1 OPTIMALIZACE TECHNICKÝCH SOUSTAV

Splnění požadavků, kladených na pohonnou jednotku, je podmíněno správným výběrem prvkové struktury, sestavené do celků (funkčních, montážních). O tom, který celek bude co nejhodněji plnit požadavky na něj kladené, lze rozhodnout pomocí optimalizace, neboť optimalizační metody dávají možnost objektivního vyhodnocení.

Stručně shrnutu, **úloha optimalizace technických soustav spočívá:**

1. v určení pokud možno všech podstatných vlivů, působících na celou prvkovou strukturu, sestavenou do vyšších celků
2. následné provedení optimalizace celků prvkové struktury
3. vyhodnocení výsledků optimalizace

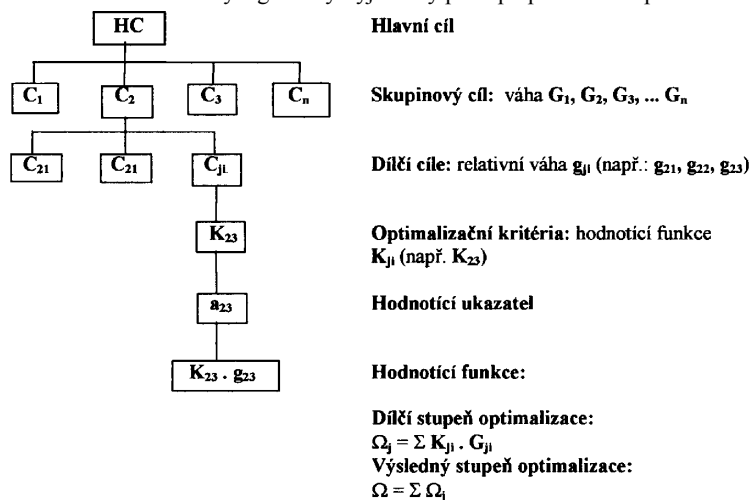
U technických soustav můžeme vlastnosti optimalizovat z pohledu:

- a) **technického** - technicky nejvýhodnější varianty
- b) **ekonomického** - provozně či jinak ekonomicky nejvýhodnější varianty
- c) **technicko - ekonomického**

Tato část habilitační práce se bude nadále zabývat **pouze optimalizací z hlediska technicky nejvýhodnější varianty, neboť v této fázi návrhu (tj. stanovování koncepce) je obtížné získávat údaje o provozních vlastnostech konkrétního mobilního robotu**. Tyto údaje jsou odvislé od konkrétního nasazení (aplikace) v příslušné technologické scéně a typu úloh, které má mobilní robot řešit (podrobněji viz lit. [9]). Konečný uživatel mobilního robotu může, ale nemusí zvážit rentabilitu vkládaných finančních prostředků té či oné nabízené variantě koncepce a proto optimalizace z pohledu provozně, výrobně a ekonomicky nejvýhodnější varianty nebude prováděna pro nedostupnost seriózních údajů.

3.3.2 OPTIMALIZACE PRVKOVÉ STRUKTURY POHONNÉ JEDNOTKY Z HLEDISKA TECHNICKY NEJVÝHODNĚJŠÍ VARIANTY

Obecné schéma skladby a graficky vyjádřený postup optimalizace prvkové struktury je uveden na obr. 4.



Obr. 4: Schéma postupu optimalizace v prvkové struktuře technické soustavy

Z hlavního cíle (označeno jako **HC**) je přímá návaznost přes cíle skupinové C_1 až C_n na cíle dílčí C_{21} až C_{ji} . Všechny cíle jsou navzájem diferencovány pomocí významnosti, tj. váhových faktorů (váhy G , relativní váhy g). Optimalizační kritéria, která jsou slovně formulována, je nutno formalizovat (z důvodů objektivního hodnocení) prostřednictvím hodnotících ukazatelů a_{ji} a hodnotících funkcí K_{ji} . Skladba m cílů C_1 až C_n vyžaduje m hodnotících funkcí K_1 až K_{ji} . Po vynásobení funkcí příslušnými relativními váhovými faktory g_{ji} , obdržíme stupeň optimalizace Ω jako součet dílčích stupňů optimalizace Ω_j , pak tedy takto: $\Omega_j = \sum K_{ji} \cdot G_{ji} \quad j = 1, 2, \dots, n$

$$\Omega = \sum \Omega_j \quad j = 1, 2, \dots, m$$

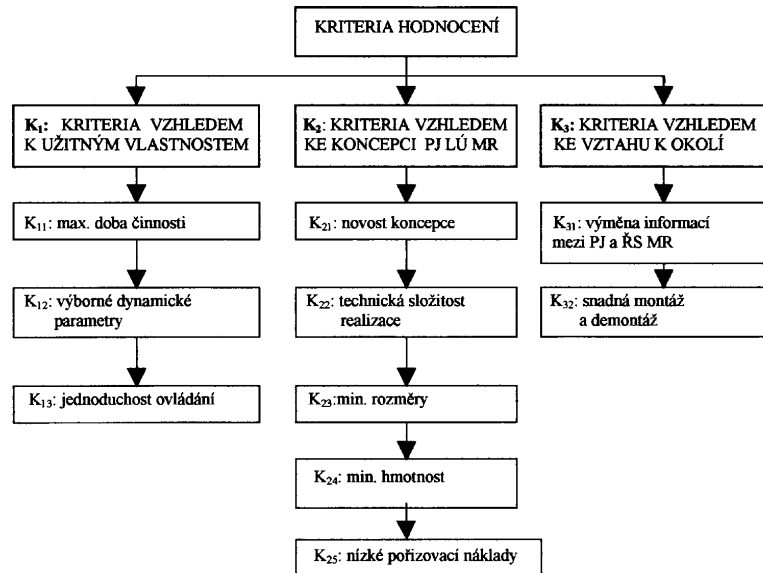
3.3.3 STANOVENÍ OPTIMALIZAČNÍCH KRITÉRIÍ

Mezi **hlavní optimalizační kritéria** (tj. požadovaná maxima a minima zvolených parametrů, vlastností a veličin), vyplývajících z požadavků na funkci a stavbu (konstrukci) pohonných jednotek lokomočních ústrojí mobilních robotů, patří:

- maximální doba činnosti mobilního robotu při dané zásobě energie v primárním zdroji
- výhodné mechanické charakteristiky na hřídeli [např.: požadovaná charakteristika $M = f(n)$]
- výhodné dynamické parametry elektromechanické soustavy (např. řízení dynamických parametrů v přechodových stavech, nebo min. rozběhový čas posuvných a rotačních hmot)
- minimální rozměry
- minimální hmotnost
- maximální uživatelský komfort (jednoduchost připojení, ovládání a napájení)

■ popřípadě netechnické kritérium: nízké náklady na pořízení komponent, výrobu a montáž pohonné jednotky

Protože monoblok pohonné jednotky (jeho prvková struktura) je konstrukčně sestaven z elementů, které jsou různě fyzikálně realizovány (různé typy motorů, převodů, brzd, snímačů, ovládací a napájecí elektroniky), existuje možnost je různě kombinovat do celků (sestav). Z těchto kombinací pro řešení tohoto případu budou vyhovovat jen některé, tzn. musí se provést optimalizace. Například pro konstrukci pohonné jednotky je možno zvolit vedle výše popsanych hlavních kritérií i **vedlejší optimalizační kritéria**, tak jak souhrnně vyjadřuje obrázek 5.



Obr. 5: Hlavní a vedlejší kritéria hodnocení pohonné jednotky lokomočních ústrojí mobilních robotů

• Kritéria vzhledem k užitným vlastnostem pohonné jednotky

■ **K₁₁: kritérium maximální doby činnosti pohonné jednotky** (resp. mobilního robotu) při dané zásobě energie v primárním zdroji

Toto kritérium je dáno poměrem doby nepřetržité činnosti srovnávané varianty S_e ku době nepřetržité činnosti t (hod) i-té varianty S_i.

Potom lze psát hodnotící ukazatel tohoto kritéria: $a_{11} = S_e / S_i$

Dále je nutné formalizovat funkci K₁₁ tak, aby vyjadřovala objektivní hodnocení pro všechna řešení:

1. optimální: více jak 50 % zvýšení doby nepřetržité činnosti, pak volme: $a_{11} = 0,67$ a $K_{11} = 100$
2. dobré: pro 33 % zvýšení doby nepřetržité činnosti, pak volme: $a_{11} = 0,75$ a $K_{11} = 70$
3. nepřijatelné: pro stejnou hodnotu doby nepřetržité činnosti, pak volme: $a_{11} = 1$ a $K_{11} = 20$

Formalizaci provedeme pomocí **aproximace metodou nejmenších čtverců**. Aproximační funkce bude **exponenciální funkce**.

Potom kritérium K₁₁ má po optimalizaci tvar: $K_{11} = 2724 \cdot a^{4,91} \cdot e^{-4,91 \cdot a_{11}}$

Obdobným způsobem budou odvozeny rovnice i pro další vybraná kritéria.

■ **K₁₂: kritérium dynamických parametrů pohonné jednotky**

Cílem je, aby instalovaný výkon pohonného motoru lokomočního ústrojí nového mobilního robotu byl srovnatelný s instalovaným výkonem motoru pohonné jednotky srovnávaného mobilního robotu. Ukazatelem je podíl výkonu motoru PJ pro i-tou variantu P_i k jmenovitému výkonu motoru PJ srovnávané varianty P_e.

$$a_{12} = P_i / P_e$$

Volme:

- | | | | |
|----|----------------|----------------|---------------------|
| 1. | $a_{12} = 1$ | $K_{12} = 100$ | optimální řešení |
| 2. | $a_{12} = 0,4$ | $K_{12} = 70$ | velmi dobré řešení |
| 3. | $a_{12} = 0,1$ | $K_{12} = 20$ | nepřijatelné řešení |

Potom kritérium K₁₂ má po optimalizaci tvar: $K_{12} = 319 \cdot a^{1,2} \cdot e^{-1,2 \cdot a_{12}}$

■ **K₁₃: kritérium jednoduchosti ovládání pohonné jednotky**

Cílem je, aby byl uživatelský komfort při ovládání PJ nového mobilního robotu srovnatelný s uživatelským komfortem srovnávaného mobilního robotu. Ukazatelem (kritérium) je dáno slovním vyjádřením, které určuje snadnost a jednoduchost ovládání z hlediska machinewaru, software a hardware.

Volme:

- | | | | |
|----|----------------|----------------|---------------------|
| 1. | $a_{13} = 1$ | $K_{13} = 100$ | optimální řešení |
| 2. | $a_{13} = 0,5$ | $K_{13} = 70$ | velmi dobré řešení |
| 3. | $a_{13} = 0,1$ | $K_{13} = 20$ | nepřijatelné řešení |

Potom kritérium K_{13} má po optimalizaci tvar: $K_{13} = 1184 \cdot a^{2,5} \cdot e^{-2,5 \cdot a^{13}}$

- Kriteria vzhledem ke koncepci pohonné jednotky lokomočního ústrojí

■ K_{21} : kritérium novosti koncepce

Ukazatel bude vyjádřen slovně - koncepce existuje nebo neexistuje.

Volme:

1. $a_{21} = 1$ $K_{21} = 100$ koncepce neexistuje
2. $a_{21} = 0,25K_{21} = 70$ koncepce existuje, ale má lepší parametry
3. $a_{21} = 0,01K_{21} = 20$ koncepce existuje

Potom kritérium K_{21} má po optimalizaci tvar: $K_{21} = 156 \cdot a^{0,44} \cdot e^{-0,44 \cdot a^{21}}$

■ K_{22} : kritérium technická složitost realizace

Cílem je vyloučit ty koncepce stavby monobloku pohonné jednotky lokomočního ústrojí mobilního robotu (PJ LÚ MR), které budou obtížně realizovatelné především z technických důvodů. Ukazatel (kritérium) je dáno slovním vyjádřením, které určuje snadnost technické realizace varianty.

Volme:

1. $a_{22} = 1$ $K_{22} = 100$ snadná realizace - optimální případ
2. $a_{22} = 0,25K_{21} = 70$ horší realizace - velmi dobré řešení
3. $a_{22} = 0,01K_{22} = 20$ obtížná realizace - nepřijatelné řešení

Potom kritérium K_{22} má po optimalizaci tvar: $K_{22} = 156 \cdot a^{0,44} \cdot e^{-0,44 \cdot a^{22}}$

■ K_{23} : kritérium minimálních rozměrů

Cílem je vyloučit ty pohonné jednotky LÚ MR, které budou mít vnější rozměry větší než např. hlavní rám mobilního robotu, budou přesahovat jeho jiný největší rozměr nebo nebudou vyhovovat podmínkám aplikace. Ukazatel (kritérium) je dáno slovním vyjádřením, které určuje minimální rozměry.

Volme:

1. $a_{23} = 1$ $K_{23} = 100$ malé (výborné) rozměry-optimální případ
2. $a_{23} = 0,25K_{23} = 70$ vyhovující rozměry - velmi dobré řešení
3. $a_{23} = 0,01K_{23} = 20$ nevhovující rozměry - nepřijatelné řešení

Potom kritérium K_{23} má po optimalizaci tvar: $K_{23} = 156 \cdot a^{0,44} \cdot e^{-0,44 \cdot a^{23}}$

■ K_{24} : kritérium minimální hmotnosti

Cílem je vyloučit ty pohonné jednotky LÚ MR, které budou mít celkovou hmotnost větší než hmotnosti vyhovující podmínkám aplikace. Ukazatel (kritérium) je dáno slovním vyjádřením, které určuje minimální hmotnost.

Volme:

1. $a_{24} = 1$ $K_{24} = 100$ malá (výborná) hmotnost - optimální případ
2. $a_{24} = 0,25K_{24} = 70$ vyhovující hmotnost - velmi dobré řešení
3. $a_{24} = 0,01K_{24} = 20$ nevhovující hmotnost - nepřijatelné řešení

Potom kritérium K_{24} má po optimalizaci tvar: $K_{24} = 156 \cdot a^{0,44} \cdot e^{-0,44 \cdot a^{24}}$

■ K_{25} : Kritérium nízkých pořizovacích nákladů

Cílem je vyloučit ty pohonné jednotky LÚ MR, které budou mít celkové pořizovací náklady neúměrně vysoké, neodpovídající finančním možnostem aplikace. Ukazatel (kritérium) je dáno slovním vyjádřením, které určuje minimální pořizovací náklady (PN).

Volme:

1. $a_{25} = 1$ $K_{25} = 100$ malé (výborné) PN - optimální případ
2. $a_{25} = 0,25K_{25} = 70$ vyhovující PN - velmi dobré řešení
3. $a_{25} = 0,01K_{25} = 20$ nevhovující PN - nepřijatelné řešení

Potom kritérium K_{24} má po optimalizaci tvar: $K_{25} = 156 \cdot a^{0,44} \cdot e^{-0,44 \cdot a^{25}}$

- Kriteria vzhledem ke vztahu pohonné jednotky lokomočního ústrojí k okolí

■ K_{31} : kritérium výměny informací mezi PJ a řídicím systémem MR

Cílem je zajistit plynulou výměnu informací pro ovládání PJ bez různých vlivů na její provoz, tedy na obsluhu MR nezáviselých výstupních informací. Ukazatel je dán poměrem času nutného pro výměnu informací při její změně t_i k času reakce PJ na změnu informace t_{reakce} .

Pro řízení bude využito osobních počítačů (resp. zabudovaných průmyslových karet - ovladačů, napáječů), kdy výstupy nezávisí na obsluze zařízení a tedy ztrátové časy jsou nulové a pak hodnotící ukazatel $a_{31} = 0$

$$a_{31} = t_i / t_{reakce}$$

Volme:

1. $a_{31} = 0$ $K_{31} = 100$ optimální řešení
2. $a_{31} = 0,02K_{31} = 70$ velmi dobré řešení

3. $a_{31} = 0,1$ $K_{31} = 20$ nepřijatelné řešení
Potom kritérium K_{31} má po optimalizaci tvar: $K_{13} = 100 \cdot e^{-16,2 \cdot a_{31}}$

■ **K_{32} : kritérium snadné montáže a demontáže**

Cílem je vyloučit ty koncepce stavby monobloku PJ LÚ MR, které budou obtížně smontovatelné a demontovatelné a to především z technických důvodů. Ukazatel (kritérium) je dáno slovním vyjádřením, které určuje snadnost technické realizace montáže a demontáže varianty PJ.

Volme:

1. $a_{32} = 1$ $K_{32} = 100$ snadná montáž a demontáž - optimální případ
2. $a_{32} = 0,25$ $K_{32} = 70$ horší montáž a demontáž - velmi dobré řešení
3. $a_{32} = 0,01$ $K_{32} = 20$ obtížná montáž a demontáž - nepřijatelné řešení
Potom kritérium K_{32} má po optimalizaci tvar: $K_{32} = 156 \cdot a^{0,44} \cdot e^{-0,44 \cdot a_{32}}$

• Vyčíslení hodnot jednotlivých hodnotících kritérií K_{11} až K_{32}

Vyčíslení hodnot kritérií po provedené optimalizaci (viz výše uvedené exponenciální rovnice) je možno přehledně zpracovat do následující tabulky:

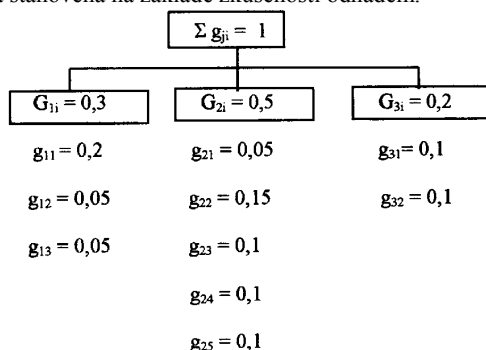
Kritérium K	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{21}	K_{22}	K_{23}	K_{24}	K_{25}	K_{31}	K_{32}
Hodnota	14,2	96,0	97,18	100,46	100,46	100,46	100,46	100,46	100	10,46
kritéria K	16,6	65,73	59,96	75,93	75,93	75,93	75,93	75,93	72,3	75,93
	20,08	17,85	2,91	20,47	20,47	20,47	20,47	20,47	19,7	20,47

Kde:

- K_{11} : max. doba činnosti K_{12} : výborné dynamické parametry
 K_{13} : jednoduchost ovládání K_{21} : novost koncepce
 K_{22} : technická složitost realizace K_{23} : min. rozměry
 K_{24} : min. hmotnost K_{25} : nízké pořizovací náklady
 K_{31} : výměna informací mezi PJ a ŘS MR K_{32} : snadná montáž a demontáž

• Stanovení relativní váhy g hodnotících kritérií K

Všeobecně lze konstatovat, že jednotlivá hodnotící kritéria mají různý význam, což může být zohledněno zavedením váhových faktorů (relativní váhy) g_{ji} , které se přiřadí jednotlivým hodnotícím funkcím - kritériím K. Dále platí, že: $\sum g_{ji} = 1$. Rozdělení jednotlivých faktorů - váhy a přiřazení hodnot je provedeno na obr. 6. Velikost jednotlivých relativních vah byla stanovena na základě zkušeností odhadem.



Obr. 6: Číselné hodnoty relativní váhy kritérií

• Stanovení dílčího stupně optimalizace v jednotlivých skupinách kritérií

Vážené hodnoty kritérií jsou určeny jako součin: $K_{ji} \cdot g_{ji}$, přičemž dílčí stupeň optimalizace je určen takto: $\Omega_j = \sum K_{ji} \cdot g_{ji}$ pro $j = 1, 2, \dots, n$.

Vyčíslení dílčího stupně optimalizace je důležité pro volbu optimálního druhu spojení jednotlivých konstrukčních prvků pohonné jednotky do vyššího celku - monobloku. **Nejlepší variantou je ten případ**, kdy je součet součinů, nebo-li Ω_j , **nejvyšší**.

I zde je možno využít přehledného tabulkového uspořádání hodnot dílčího stupně optimalizace v jednotlivých skupinách kritérií K_1 až K_3 .

Kriterium	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃
K _{ji} · g _{ji}	2,82	4,8	4,859
	3,32	3,2865	2,998
	4,016	0,8925	0,1455
$\Omega_j = \sum K_{ji} \cdot g_{ji}$	10,156	8,979	8,001

Kriterium	K ₂₁	K ₂₂	K ₂₃
K _{ji} · g _{ji}	5,023	15,069	10,046
	3,7965	11,3895	7,593
	1,0235	3,0705	2,041
$\Omega_j = \sum K_{ji} \cdot g_{ji}$	9,843	29,529	19,689

Kriterium	K ₂₄	K ₂₅	K ₃₁
K _{ji} · g _{ji}	10,046	10,046	10
	7,593	7,593	7,23
	2,041	2,041	1,97
$\Omega_j = \sum K_{ji} \cdot g_{ji}$	19,698	19,698	19,2

Kriterium	K ₃₂
K _{ji} · g _{ji}	10
	7,23
	1,97
$\Omega_j = \sum K_{ji} \cdot g_{ji}$	19,2

Kde:

K₁₁: max. doba činnosti
K₁₂: výborné dynamické parametry
K₁₃: jednoduchost ovládání
K₂₁: novost koncepce
K₂₂: technická složitost realizace
K₂₃: min. rozměry
K₂₄: min.
K₂₅: nízké pořizovací náklady
K₃₁: výměna informací mezi PJ a ŘS MR
K₃₂: snadná montáž a demontáž
hmotnost
K_{ji} · g_{ji} : vážená hodnota kritérií
 $\Omega_j = \sum K_{ji} \cdot g_{ji}$: dílčí stupeň optimalizace

3.3.4 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ OPTIMALIZACE METODOU PATERN

Metoda byla pojmenována zkratkou plného názvu Planning Assistance Through Technical Evolution of Relevance Numbers (pomoc v plánování prostřednictvím vyhodnocování relativních hodnot významnosti), který byl zvolen tak, aby zkratka dávala anglické slovo „pattern“, což česky znamená vzor.

Postup při aplikaci metody:

- pro vybrané **parametry** se určí jejich **váha významnosti q** a to nejlépe metodou porovnávání v trojúhelníku párů nebo metodou známkování významnosti parametrů (experti přidělují známky například v rozsahu 1 až 5 nebo 1 až 10) a využitím vícekritériálního hodnocení několika experty pro získání objektivnějšího názoru. Převládající názor se získá statistickým výpočtem střední hodnoty a doplní se výpočtem ukazatele variability (například rozptylem nebo průměrnou odchylkou), který charakterizuje shodu názorů.

- vypočtou se pro každý parametr **indexy změny parametru I_{ij}** vzhledem k základní hodnotě parametru H_{io} tak, aby zlepšování parametru bylo vždy vyjádřeno růstem indexu jako změny nad hodnotu 1,00. Proto je nutné rozdělit parametry do dvou skupin:

a) pro parametry, jejichž **žádoucí tendence je rostoucí**, vypočteme indexy I_{ij} ze vztahu: $I_{ij} = H_{ij} / H_{io}$,
kde: H_{ij} = hodnota i-tého parametru j-té varianty (typu)

H_{io} = bazická (základní) hodnota i-tého parametru

b) pro parametry, jejichž **žádoucí tendence je klesající**, vypočteme indexy I_{ij} ze vztahu: $I_{ij} = H_{io} / H_{ij}$

- vypočtou se **vážené indexy I_{ij}** s ohledem na významnost parametrů ze vztahu

$I_{ij}^v = I_{ij} \cdot q_i$, kde: q_i = váha významnosti i-tého parametru

- provede se **součet vážených indexů S_j**, vyjadřující relativní technickou úroveň (TE) úroveň j-té varianty j-tého typu

$S_j = \sum I_{ij}^v$

Vypovídací schopnost tohoto výsledku můžeme zlepšit tím, že relativní úroveň vyjádříme v procentech, kdy nejhorší (srovnatelná) varianta představuje hodnotu 100 %.

- stanoví se **pořadí variant**

- **Určení optimální varianty koncepce prvkové struktury pohonné jednotky**

Optimalizaci prvkové struktury pohonné jednotky je nutno provést pro všechny známé konstrukční a montážní prvky, které připadají ve stadiu hledání koncepce pohonné jednotky LÚ MR. Pro jednoduchost je uvedena optimalizace prvkové struktury pohonné jednotky pouze z hlediska **typu převodovky**. Výhodou metody **PATTERN** při hodnocení variant návrhů je v tom, že nám ukáže optimální variantu vzhledem ke kritériím a jejím vahám, která byly naředovány na zde řešený konkrétní případ, ale z obecného pohledu se jedná o metodu naprosto univerzální. Vyhodnocení variant, připadajících v úvahu při aplikaci vhodného **konstrukčního provedení** (typu **převodovky**), je provedeno v následující tabulce 1.

Tab. 1: Vyhodnocení variant konstrukčního provedení převodovky metodou PATTERN

Číslo	PARAMETR	Jedn.	váha q	převod s čelními oz. koly		planetová převodovka		harmonická převodovka		Cykloidální převod	
				2	3	3	5	4	4	5	
1.	velikost převodového poměru	[-]	0,3	1	0,3	1,1	0,33	1,2	0,33	1,2	0,36
2.	přenos kroutícího momentu od P_N motoru	[Nm]	0,25	1	0,25	1	0,25	1	0,25	1	0,25
3.	rozměry	[m]	0,3	1,1	0,3	1,2	0,33	1,1	0,3	1,1	0,3
4.	jednoduchost připojení k motoru	[-]	0,1	5	0,12	3	0,12	5	0,1	4	0,1
5.	hmotnost v poměru k M_k	[-]	0,05	1,2	0,065	1,2	0,055	1	0,05	1	0,05
				1,3		1,1		1		1	
CELKEM S_j			1,00	0,765		1,085		1,12		1,06	
RELATIVNÍ TECHNICKÁ ÚROVEŇ				100%		141 %		146 %		138 %	
POŘADÍ				4.		2.		1.		3.	

■ význam hodnot v tabulce:

hodnota parametru	vážený index I_{ij}^v
index změny parametru I_{ij}	

■ stupnice číselného hodnocení parametru 1 až 5 se slovním vyjádřením: 5: výborné 4: velmi dobré 3: dobré 2: vyhovující 1: nevyhovující

- **Vyhodnocení optimální varianty koncepce prvkové struktury pohonné jednotky**

Z výše uvedeného příkladu, kdy se pomocí metody PATTERN zcela jednoznačně určilo, že je nevhodnější použít jako komponentu pohonné jednotky harmonickou převodovku. Dále je zřejmé, že takto lze vybrat nevhodnější variantu i pro ostatní prvky pohonné jednotky lokomočního ústrojí mobilního robotu a to:

- typ hnacího motoru
- typ brzdy
- typ senzorů elektromechanických veličin
- typ měniče
- typ inteligentní řídicí elektroniky
- typ zdrojů energie

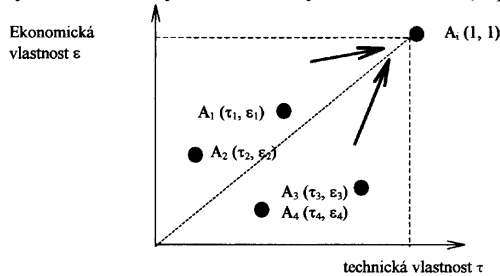
V souvislosti se stanovením dílčích stupňů optimalizace v jednotlivých skupinách autorem zvolených kritérií, lze teoreticky stanovit **zdůvodnitelnou optimální variantu pohonné jednotky lokomočního ústrojí mobilního robotu**.

4.0 METODA MULTIKRITERIÁLNÍHO HODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH VARIANT KONCEPCE MOBILNÍCH ROBOTŮ JAKO CELKU

Protože se varianty posuzují na základě většího počtu různých kritérií, lze k výše popsané analýze využít některou z **metod multikriteriálního hodnocení** [15]. Hodnocená hlediska jsou vyčíslitelná a to významně zjednodušuje proces

hodnocení. Proto je možno použít **bázičnou bodovací metodu**, kde porovnáváme hodnocenou variantu s nějakým vzorovým řešením - vzorovým etalonem - bází.

Hodnocení konkrétní varianty probíhá jak po stránce **technické** (označení τ), tak i po **ekonomické** (označení ϵ). Technická a ekonomická hodnota varianty se posléze umísťuje do roviny **hodnotícího diagramu** ($\epsilon = f(\tau)$) - viz obrázek 7, kde je její výhodnost zřejmá ve vztahu k jiným, rovněž zaneseným variantám. Každá varianta řešení je tedy určena svojí technickou a ekonomickou hodnotou (τ, ϵ), která jí pak umísťena v hodnotícím diagramu. Z diagramu je možno vybrat právě tu variantu, která se nejvíce blíží ideálnímu stavu - bázi (1, 1), nebo variantu s převažujícími vhodnými či splněnými požadovanými ekonomickými a technickými vlastnostmi (např. užitnou hodnotou za přijatelnou cenu ap.).



Obr. 7: Hodnotící diagram

5.0 ZÁVĚR

Obsah této habilitační práce úzce navazuje na dřívější rozsáhlou práci, zčásti obsaženou v řešení grantového projektu GA ČR reg. č. 101/93/0945 „Autonomní lokomoční roboty pro obslužná (hazardní) prostředí“, a rovněž navazuje na grantový projekt řešený v rámci Fondu vědy FS VUT v Brně „Určování a optimalizace vybraných elektromechanických veličin u pohonných jednotek lokomočních ústrojí mobilních robotů“, u kterých byl habilitant nejen nositelem a zodpovědným pracovníkem, ale i projektantem a konstruktérem. Habilitační práce je logickým pokračováním a navázáním na výsledky dizertační práce na téma „Metodický návrh elektromechanické části mobilních robotických systémů“, z roku 1996.

Výsledkem habilitační práce je ucelený soubor nově získaných a systematicky zpracovaných, především zcela původních poznatků, z praxe se rozvíjející oblasti technické robotiky – tedy výzkum, vývoj, projekce, konstrukce a provozování mobilních robotických soustav, byť pouze v podmínkách České republiky na univerzitní úrovni.

Jestli-že v dizertační práci z roku 1996, je vyvrcholením zcela nový a přísně účelový software v podobě znalostního systému, (napomáhajícího v nejrannějších fázích hledání koncepce mobilního robotu), pak v habilitační práci se jedná o obecnější systémový přístup, jak výše uvedený postup projektanta-konstruktéra zcela přizpůsobit potřebám teorie a praxe, s přísnou objektivizací výsledků koncepčních prací, vyplývajících z myšlenkového postupu a to právě při tvorbě nového technického objektu, jakým je mobilní robot, mající sloužit pro konkrétní úlohy a aplikaci. Jako nepochybnou výhodu těchto neintuitivních postupů, lze spatřovat nejen v částečném odstraňování subjektivních názorů a intuice, ale především v rychlosti vyřešení problému v oblasti návrhu a konstrukce mobilních robotů. Tohoto cíle lze především dosáhnout důsledným využitím objektivizujících postupů a metod, např. systémového přístupu a multikriteriálního hodnocení teoreticky navrhovaných variant mobilních robotů z hlediska technického a ekonomického, případně využití metody hodnotové analýzy na reálném technickém objektu - díle. Nezanedbatelný přínos je i využití metod optimalizace vybraných technických parametrů u konstrukčních uzlů mobilních robotů, opět s důsledným využitím hodnotitelských metod (metoda PATERN), s cílem dát do vlnku novému technickému objektu ty nejlepší vlastnosti a charakteristiky.

Výsledky dlouhodobé a cílevědomé teoretické práce jsou potvrzeny praktickými a cennými zkušenostmi ze stavby, výroby prototypů a provozování (prozatím jen v laboratorních podmínkách) mobilních robotů na Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky, Fakulty strojního inženýrství, Vysokého učení technického v Brně. Jedná se především o fyzikální modely mobilních robotů pojmenovaných MOBIL I. a MOBIL II. a autonomního lokomočního robotu VUTBOT 1. Nutno podotknout, že ani jeden ze třech výše uvedených mobilních robotů není produktem jednoho člověka, ale v celku se jedná dílo, ke kterému přispělo svojí usilovnou a mravenčí prací mnoho významných odborníků (a ve vysokoškolských podmínkách vlastně i nesmírných nadšenců a obětavců), kolegů na nejen na ÚVSSaR FSI VUT v Brně. **Za tuto odbornou práci patří všem zainteresovaným lidem z mého okolí můj upřímný dík.**

5.1 VÝCHODISKA PRO DALŠÍ ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU

Pro doplnění a rozšíření výše uvedených faktů, lze shrnout dosažení dílčích i konečných cílů, jakož i stávajících i budoucích projektů stavby mobilních robotů, v těchto následujících oblastech činnosti, za účelem další vědecké činnosti:

- stavba lokomočních ústrojí nejen kolových (všesměrových), ale i pásových a kráčejících
- experimentování s vhodnými zdroji energie na nových principech jejich akumulace (baterie)
- dimenzování palubních zdrojů energie
- modernizace monitoringu stavu akumulátorových baterií
- tvorba moderní palubní energetické sítě

- stavba nových typů infračervených aktivních proximitních senzorů
- stavba nového typu ultrazvukového skanovacího systému
- další experimenty v oblasti ultrazvukové skanovací soustavy
- tvorba programu řešícího globální navigaci autonomního lokomočního robotu v jednom poschodí a následně v jiných poschodích (jízda výtahem), včetně verifikace
- vývoj nových algoritmů pro lokální navigaci mobilního robotu s verifikací počítačově simulovaných výsledků
- tvorba matematického modelu autonomního lokomočního robotu jiných koncepcí než kolových
- tvorba koncepce a realizace dvouúrovňového řídicího systému na bázi PC nebo transputeru
- aplikace programovatelného laserového snímače s tvorbou základního SW na řídicí PC
- úspěšné ověření algoritmů pro ovládání pohybů podvozků nových typů autonomních lokomočních robotů, komunikace se senzorickým podsystémem a vytváření mapy prostředí na počítačích typu IBM PC a to na fyzikálním modelu nově vyvíjeného mobilního robotu pod jménem VUTBOT 2

6.0 LITERATURA

- [1] Dobřický, J., Dostál V.: Hodnotová analýza (skriptum VUT Brno, 1993)
- [2] Ehrenberger, Z., Kolíbal, Z.: Průmyslové roboty III. - Robotické systémy vyšších generací (skriptum VUT v Brně, 1993)
- [3] Hanuš, J., Opluštil, V.: Ultrazvukové a optoelektronické proximní senzory. Sborník konference ROBTEP '93, str. 123 - 126, Prešov, 1993.
- [4] Jirouš, F.: Teorie konstruování (skriptum ČVUT Praha 1988)
- [5] Knoflíček, R.: Dílčí zpráva o řešení grantového projektu GA ČR reg. č. 101/93/0945 „Autonomní lokomoční roboty pro obslužná (hazardní) prostředí“ za rok 1993 (VUT v Brně 1994)
- [6] Knoflíček, R.: Dílčí zpráva o řešení grantového projektu GA ČR reg. č. 101/93/0945 „Autonomní lokomoční roboty pro obslužná (hazardní) prostředí“ za rok 1994 (VUT v Brně 1995)
- [7] Knoflíček, R.: Dílčí zpráva o řešení grantového projektu GA ČR reg. č. 101/93/0945 „Autonomní lokomoční roboty pro obslužná (hazardní) prostředí“ za rok 1995 (VUT v Brně 1996)
- [8] Knoflíček, R.: Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu GA ČR reg. č.101/93/0945 „Autonomní lokomoční roboty pro obslužná (hazardní) prostředí“ (VUT v Brně 1996)
- [9] Knoflíček, R.: Metodický návrh elektromechanické části mobilních robotických systémů (dizertační práce VUT v Brně 1996)
- [10] Knoflíček, R.: Využití metody morfologické analýzy ve stavbě mobilních robotických systémů (Robotika v teorii a praxi - ROBTEP 95 Prešov, str.:110-113)
- [11] Knoflíček, R.: Autonomní lokomoční robot VUTBOT 1 (Robotika v teorii a praxi - ROBTEP 95 Prešov, str.: 221-224)
- [12] Knoflíček, R.: Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu v rámci Fondu vědy FS VUT v Brně „Určování a optimalizace vybraných elektromechanických veličin u pohonných jednotek lokomočních ústrojí mobilních robotů“ (VUT v Brně 1997)
- [13] Marek, J: Příspěvek ke konstrukci obráběcích center, Dizertační práce VUT v Brně, 1996
- [14] Šimeček K., Král R., Opluštil V., Svačina D., Gonda P.: Experimentální mobilní roboty (Robotika v teorii a praxi - ROBTEP 95 Prešov, str.: 217-220)
- [15] Král R., Šimeček K., Opluštil V., Svačina D., Gonda P. : Inteligentní autonomní mobilní robot - MOBIL II. Sborník z konference INŽENÝRSKÁ MECHANIKA '95 str. 185 - 190, Svratka 1995.
- [16] Matička R., Talácko J.: Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů (skriptum ČVUT v Praze, 1995)
- [17] Opluštil V., Svačina D. : Ultrasonic Scanning Sensory System and its Application in a Partially Known Environment. Proceedings of European Robotics and Intelligent Systems Conference '94, Vol.3, pp.1761-1770, Malaga, 1994.
- [18] Opluštil V., Král R. : Multi-senzorický subsystém pro lokální navigaci ALR. Inženýrská mechanika, podzim 1995.
- [19] Skařupa, J.: Metodika konstruování (skriptum VŠB – TU Ostrava, 1993)
- [20] Uličný, J.: Plánování cesty autonomních mobilních robotů (Inženýrská mechanika, roč. 2, 1995, č. 5, str.: 301 - 308)
- [21] Vlček, R.: Příručka hodnotové analýzy (SNTL - Alfa Praha 1986)
- [22] ČSN 010120 - Hodnotová analýza - definice a názvosloví
- [23] Fiala, P., Jablonský, J., Maňas, M: Vícekriteriální rozhodování (skriptum VŠE Praha, 1994)

ABSTRACT

The content of this postdoctoral thesis follows closely an earlier extensive study partly included in the grant-supported project GA ČR reg. No. 101/93/0945 “Autonomous locomotion projects for serviced (hazardous) environments” and also continues a grant project commissioned by Fond vědy FS VUT in Brno “Determining And Optimizing Selected Electrical-Mechanical Quantities In Drive Units Of Locomotion Assemblies Of Mobile Robots” where I acted as the awardee, manager, and designer. The postdoctorate is a logical continuation and follow-up to the results of the dissertation with the subject of “Methodology Of Designing Electrical-Mechanical Parts Of Mobile Robotic Systems” from 1996.

The result of the postdoctorate is a comprehensive set of newly acquired and systematically organized, and above all, quite original knowledge from the rapidly developing area of technical robotics – i.e. research, development, design, construction and operation of mobile robotic systems, at the university level in the Czech Republic.

While the dissertation of 1996 culminated in new and highly specialized software in the form of a primitive knowledge system (assisting in the earliest phases of searching for the concept of a mobile robot) the postdoctorate offers a more general system approach to adapting the procedure followed by the designer to theoretical and practical needs with strictly objective results of the conceptual work resulting from the thinking process precisely at the moment of creating a new technical object, such as a mobile robot that is to serve a special task and application. The obvious advantage of these non-intuitive procedures can be seen in the partial elimination of subjective opinions and intuition, but mainly in the speed of solving problems in the field of mobile robot design and construction. This goal can be achieved mainly by consistent utilization of objective procedures and methods, such as the system approach and multi-criteria evaluation of theoretically proposed alternatives of mobile robots from the technical and economical viewpoint, including the possible application of the value analysis method to a real technical object. A significant contribution is the application of optimizing methods to the selected technical parameters in construction nodes of mobile robots. Again with consistent evaluation methods (PATTERN method) with the aim of endowing the new technical object with the best properties and characteristics.

The results of long-term and applicable theoretical work are confirmed by valuable practical experience from the construction, manufacturing of prototypes and the operation (albeit in laboratory conditions) of mobile robots at the Institute of Manufacturing Machines, Systems, and Robotics, at the Faculty of Mechanical Engineering of the Technical University in Brno. This involves, above all, the physical models of the MOBIL I and MOBIL II mobile robots and the VUTBOT 1 autonomous locomotion robot. It should be noted that none of the three mobile robots above is the work of a single man but is the result of the diligent and patient efforts of a member of renowned experts (who at the same time have to show extreme enthusiasm and dedication) and colleagues from ÚVSSaR FSI VUT in Brno. I would like to extend my thanks to all the people around me for their expert and valuable contributions.

CURRICULUM VITAE



Radek Knoflíček (1962) přednáší a pracuje na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě strojního inženýrství, Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky jako odborný asistent odboru robotiky a robotů. V roce 1986 ukončil vysokoškolské vzdělání na VUT v Brně, FS v oboru stavba výrobních strojů a zařízení pro strojírenskou výrobu. Postgraduální studium absolvoval na VUT FS obhajobou dizertační práce na téma „Metodika návrhu mechanické části mobilních robotických systémů“, tj. v oboru konstrukčního a procesního inženýrství a to v roce 1996. V témže roce současně úspěšně dokončil v rámci celoživotního vzdělávání na VUT FS kurz Technického zručnosti v oboru ekonomika a strojírenství výrobních strojů, zařízení a systémů. V období 1994 - 1997 a listopad 1999 – leden 2000 působil jako senátor akademického senátu FS VUT v Brně. Od 1. 2. 2000 je proděkanem pro vnější styky, propagaci, výstavbu a dislokaci FSI VUT v Brně.

V letech 1986 až 1990 byl zaměstnán u VUKOV-u Prešov, detašovaném vývojovém a projektovém pracovišti v Brně jako projektant robotizovaných pracovišť. Od roku 1990 působí na VUT v Brně, Fakultě strojní (nyní FSI), na původní katedře výrobních strojů a průmyslových robotů, nyní Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky.

V roce 1995 se zúčastnil jednosemestrálního studijního pobytu v zahraničí - MSc. Course in Computer Integrated Manufacturing (CIM) - na Loughborough University of Technology, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough, Leicestershire, England.

Od roku 1995 působí, mimo jiné odborné oblasti, i jako soudní znalec jmenovaný ministrem spravedlnosti pro obor ekonomika, odvětví ceny a odhady se zaměřením na výrobní stroje, zařízení a systémy a pro obor strojírenství, odvětví všeobecné se specializací na posuzování výrobních strojů, zařízení a systémů.

V pedagogické činnosti na fakultě a ústavu – přednáškách je zaměřen především na Hydraulické a pneumatické mechanismy, Mechanizaci a automatizaci výrobních strojů, Průmyslové roboty a obráběcí centra, Nekonvenční obráběcí stroje, Technologii výroby, výrobní postupy a ekonomika výroby, Konstrukce výrobních strojů, Oceňování strojů a zařízení.

Je autorem nebo spoluautorem devíti interních výzkumných zpráv, více jak 52 původních vědeckých nebo odborných prací, které byly publikovány ve sbornících nebo časopisech u nás i v zahraničí, spoluautorem dvou knižních publikací a 13 projektů pro praxi, zpracovaných v rámci hospodářské činnosti fakulty. V minulosti byl zodpovědný řešitel a realizátor jednoho grantového projektu a spoluřešitel celkem čtyř grantových projektů.

Ve své současné práci se zaměřuje především na vývoj, projekci, konstrukci, laboratorní výrobu, funkční a prototypové zkoušky mobilních robotů – autonomních lokomočních robotů vlastních – univerzitních konstrukcí.

Od roku 1997 jmenován zástupcem předsedy rady expertů sekce oceňování technologických celků při Institutu oceňování majetku Vysoké školy ekonomické v Praze. Od roku 1998 je členem sboru hodnotitelů Certifikačního orgánu při Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně. Je členem skupiny hodnotitelů Vedeckej grantovej agentúry Slovenskej Republiky – VEGA, a externí oponent projektů TECHNOS Ministerstva průmyslu a obchodu ČR v Praze.

ISBN 80-241-XXX-X