

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 365

ISSN 1213-4198

thesis IS

Ing. Martin Vyšín

**Hybridní mobilní robot
Návrh a simulace chování
lokomočního ústrojí
hybridního robotu**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta strojního inženýrství
Ústav výrobních strojů, systému a robotiky

Ing. Martin Vyšín

HYBRIDNÍ MOBILNÍ ROBOT

Návrh a simulace chování lokomočního ústrojí hybridního robotu

HYBRID MOBILE ROBOT

Design and simulation of behavior of hybrid robot locomotion mechanism.

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství

Školitel: Doc. Dr. Ing. Radek Knoflíček

Oponenti: Prof. Ing. Josef Novák-Marcinčin, PhD.
Doc. Ing. Vladislav Singule, CSc.
Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Datum obhajoby: 26.1.2006

KLÍČOVÁ SLOVA

robot, mobilní robot, hybridní lokomoční ústrojí, simulace

KEY WORDS

robot, mobile robot, hybrid locomotive mechanism, simulation

ULOŽENÍ PRÁCE

Práce je uložena na Oddělení vědy a výzkumu Fakulty strojního inženýrství na Vysokém učení technickém v Brně.

© Martin Vyšín 2006

ISBN 80-214-3141-5

ISSN 1213-4198

OBSAH

1 ÚVOD	5
2 SOUČASNÝ STAV V PROBLEMATICE MOBILNÍCH ROBOTŮ	6
2.1 Aplikace mobilních robotů	7
2.2 Analýza městského prostředí	7
3 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	7
4 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	8
4.1 Výběr aplikační oblasti a prostředí hybridního robotu	8
4.2 Analýza uspořádání lokomočních ústrojí HR	8
4.3 Popis hybridního robotu	8
4.3.1 Popis jednotlivých částí robotu	9
4.3.2 Jízdní schopnosti hybridního podvozku	10
4.4 Simulace chování hybridního lokomočního ústrojí	10
4.4.1 Popis simulačního programu ADAMS	11
4.4.2 Ověření vhodnosti programu ADAMS	11
4.4.3 Počítačová simulace hybridního lokomočního ústrojí	11
4.4.4 Překonávání výškových stupňů	13
4.4.5 Shrnutí výsledků počítačové simulace	14
4.4.6 Doporučení pro simulování chování mobilních robotů	16
4.5 Zjištění energetické náročnosti HR	17
4.5.1 Energetická náročnost hybridního robotu	17
4.5.2 Odhad spotřeby elektrické energie na vybraném úseku	18
5 ZÁVĚR	19
POUŽITÁ LITERATURA	21
AUTOROVY PUBLIKACE SOUVISEJÍCÍ S DISERTAČNÍ PRACÍ	23
ABSTRAKT	25

1 ÚVOD

Vývoj robotů je možné rozdělit na vývoj robotů stacionárních a mobilních. Zatímco vývoj a výrobu stacionárních obvykle průmyslových robotů zajišťují velké společnosti jako ABB, FANUC, KUKA atd., kde vývoj je zaměřen především na optimalizaci konstrukce, modernizace pohonů a zejména na zlepšování řídicích systémů, mobilní roboty (MR) jsou většinou vyvíjeny na univerzitách a vysokých školách, kde vznikají nové, technicky dokonalejší konstrukce. Tento trend je dán tím, že stacionární roboty mají uplatnění v průmyslu, kupují se ve větších počtech a jejich vývoj probíhá ve větším měřítku již několik desítek let. MR jsou většinou navrhovány jako prototyp určený pro řešení jedné konkrétní úlohy. Výjimkou jsou automatické dopravní vozíky (ADV), které se používají pro automatickou dopravu výrobků, polotovarů a materiálu ve výrobních linkách.

K masovějšímu uplatňování robotů v průmyslu zatím nedochází zejména z důvodu jejich vysoké pořizovací ceny. Stacionární roboty se nasazují nejčastěji pro zrychlení výroby a odstranění monotónní, namáhavé a zdraví škodlivé práce (automobilový průmysl, manipulační operace). Mobilní roboty se většinou používají v nevýrobní oblasti, tzn. nepodílí se na vzniku výrobků, ale nacházejí uplatnění v oblasti služeb. Nejčastěji se jedná o servisní roboty, které se mohou uplatnit při činnosti pro člověka nebezpečné (roboty pracující s výbušninami nebo jinými nebezpečnými materiály, provádějící vojenské a policejní operace), činnosti pro lidské zdraví škodlivé (práce v chemicky, biologicky a radiačně zamořeném prostředí), činnosti pro člověka nepřístupné (inspekce potrubí a ventilačních zařízení, průzkum mořských hlubin), při stále se opakující a monotónní práci v zemědělství (výsev a ošetřování zemědělských plodin), ve stavebnictví (stavba zdí a stropních krytin), ve zdravotnictví (doprava léků a odpadů), v domácnosti (automatické travní sekačky a vysavače, roboty pro mytí oken výškových budov). Další neustále se rozšiřující je kategorie zábavných mobilních robotů, které sice nepřinášejí člověku přímý užitek, ale souží k jeho zábavě. Nejčastěji se jedná o napodobeniny zvířat (Sony, Sega) nebo člověka (Honda).

Vývoj a výroba nových mobilních robotů (zejména nových konstrukcí) je umožněna vznikem nových typů pohonů, senzorů, elektroniky a konstrukčních materiálů, jejichž pořizovací cena se neustále snižuje. Použitím vyspělé elektroniky a řídicích algoritmů (fuzzy systémy, neuronové sítě) je možné docílit jistého stupně vlastní umělé inteligence mobilního robotu. Robot by mohl v jednoduchých případech sám rozhodovat o svém dalším postupu a tím rozšířit jeho použitelnost a zjednodušit ovládání.

Stávající konstrukce hybridních robotů, jenž byly navrženy do městského prostředí, jsou velmi technicky i elektronicky vyspělé. Přídavná zařízení umožňují provádět i velmi složité operace (např. s výbušninami). Pořizovací ceny těchto robotů jsou velmi vysoké, proto je snaha vyvíjet nové konstrukce mobilních robotů, které by měli podobné užité vlastnosti jako stávající konstrukce, ale s nižšími náklady.

Tato disertační práce ukazuje jeden z možných postupů při navrhování mobilních robotů. Po teoretickém úvodu, ve kterém je nastíněn současný stav mobilních a zejména hybridních mobilních robotů, následuje analýza aplikací a prostředí mobilních robotů. V těchto kapitolách je vybrána aplikační oblast a prostředí, na které bude navrženo hybridní lokomoční ústrojí mobilního robotu. Další kapitoly jsou zaměřeny na výběr vhodného typu hybridní konstrukce, návrhu pohonné jednotky a podrobného popisu vlastní konstrukce. Pro zjištění lokomočních vlastností byl podvozek mobilního robotu počítačově simulován v programu ADAMS. Následuje rámcový návrh řídicího systému, sensorického osazení a příslušenství hybridního mobilního robotu.

2 SOUČASNÝ STAV V PROBLEMATICE MOBILNÍCH ROBOTŮ

Užitná sféra mobilních robotů se v poslední době rozšířila o další možnosti nasazení. Je charakteristické, že se jedná především o nasazení MR při vojenských a policejních akcích, kde tyto roboty prohledávají budovy, odstraňují výbušniny a zjišťují výskyt nebezpečných předmětů či osob. Konstrukce vychází z požadavku na velkou odolnost robotů, jak proti mechanickému poškození, tak i proti elektromagnetickému rušení. Typickým příkladem je kolový robot Cobra, jehož rameno se sedmi stupni volnosti umožňuje manipulaci s nebezpečnými předměty i ve stísněných prostorách jako je např. vnitřek letadla nebo podvozek automobilu. Nesmíme opomenout význam robotů sloužících pro civilní účely. Jedná se například o hasičské roboty (Brouček vyrobený pod záštitou ČVUT, Inspektor PIAP Polsko) a dále roboty záchrannářské (např. Orpheus vyrobený na FEKT VUT v Brně). Velká pozornost je věnována robotům vyslaným k planetě Mars. Tyto roboty disponují vysokou technickou úrovní a umělou inteligencí. Další kategorií robotů jsou tzv. servisní roboty (SR). Těmto robotům je odborníky předpovídána budoucnost srovnatelná s dnešním významem automobilového průmyslu [2].

Pro vývoj nového robotu jsou prvotními požadavky prostředí, ve kterém se bude pohybovat, a aplikace, na kterou bude používán. Podle těchto kritérií můžeme roboty rozdělit na roboty pro vnitřní (indoor) prostředí a venkovní (outdoor) prostředí. Rozdíl bude hlavně v robustnosti konstrukce, dimenzování pohonů a způsobu navigace. Robot konstruovaný pro venkovní prostředí má většinou takové manévrovací schopnosti, že bez problémů zvládá i jízdu v budovách. Různorodost možných aplikací MR je velmi velká. Zde jsou vypsány základní prostředí, ve kterých se MR používají [1, 5]:

- Městské prostředí
- Budovy
- Potrubí a vzduchové rozvody
- Kosmický prostor
- Životu nebezpečné prostředí (radiačně, chemicky, biologicky zamořené prostředí)
- Ve vzduchu (létaající)
- Lesy a louky
- Na vodě a pod vodou
- ostatní

Mobilní robot je elektromechanické zařízení, tzn. není tvořen pouze mechanickou částí. Bez dokonalého řízení (ovládání) je jeho použití velmi omezené. Stupeň inteligence je odvozen od úrovně řešené úlohy, kterou má robot provádět. Například robot provádějící inspekci v potrubí nemusí mít složité řízení, pro běžné použití mu stačí ovládat pohyb vpřed a zpět. Robot odstraňující výbušniny nebo kontrolující zařízení v jaderné elektrárně musí mít řízení na vyšší úrovni. Aby nedocházelo k přetěžování obsluhy, musí řídicí systém zpracovávat řídicí povely pro pohyb robotu a manipulačního ramene, dále sbírat data ze senzorů a obsluze dává pouze potřebné již zpracované informace. Robot pracující v automatickém provozu musí mít určitý stupeň vlastní inteligence, aby se mohl samostatně rozhodovat v určitých krizových situacích. Roboty určené pro průzkum vesmírných těles (v současné době se jedná vesměs o průzkum na planetě Mars) disponují nejvyšším

stupněm úrovně řídicích systémů. Samozřejmostí je vybavení robotu prvky umělé inteligence, počínaje jednoduchými rozhodovacími algoritmy a konče fuzzy řízením a neuro-novými sítěmi.

2.1 Aplikace mobilních robotů

Mobilní robot je většinou navrhován na konkrétní aplikaci, od níž se pak odvíjí i jeho konstrukce. Robot provádějící inspekci v kanalizačním potrubí bude mít zcela jistě jinou konstrukci než robot odstraňující výbušniny. Mobilní roboty, které mají rozsáhlejší uplatnění, se již staly výrobním artiklem mnoha firem. Jedná se především o roboty provádějící operace pro člověka nebezpečné (REMOTEC, PIAP), roboty sloužící k údržbě domů a trávníků (Elektrolux, Husquarna) a dále se jedná o roboty určené pro zábavu (Sony, Omron). Další kategorie, jenž získává stále větší zastoupení v oblasti mobilní robotiky, je tvořena servisními roboty. Jde o roboty, které vykonávají služby (práce užitečné pro lidi nebo technická zařízení) částečně nebo plně automaticky [5]. Pro mnoho úkolů není možné použít jiné zařízení, než servisní robot.

2.2 Analýza městského prostředí

Analýzou městského prostředí potřebujeme zjistit nejmenší přípustné rozměry překážek, které je schopen člověk pohodlně překonávat (např. min. šířka dveří, max. sklon schodů, max. výška obrubníků atd.), jak jsou udány v literatuře a normách pro příslušné stavební odvětví [13]. Tyto rozměry jsou velmi důležité pro návrh lokomočního ústrojí mobilního robotu.

3 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce s názvem *Hybridní mobilní robot* je navrhnout novou, zcela původní konstrukci mobilního robotu se zaměřením na elektromechanickou část lokomočního ústrojí. Dále pomocí počítačové simulace ověřit vhodnost navržené hybridní konstrukce a pohonů.

Stávající konstrukce hybridních mobilních robotů jsou velmi dobře konstrukčně navrženy, mají dobré lokomoční vlastnosti a snadno překonávají překážky. Pořizovací ceny těchto robotů jsou poměrně vysoké, proto je snaha vyvíjet nové konstrukce mobilních robotů s nižšími náklady.

Dílejší cíle lze formulovat v následujících bodech:

1. Shrnutí současného stavu v oblasti konstrukce a aplikace mobilních robotů.
2. Analýza aplikací a prostředí v nichž se bude mobilní robot pohybovat.
3. Analýza možných konstrukcí hybridního lokomočního ústrojí.
4. Detailní propracování zcela nové konstrukce hybridního mobilního robotu.
5. Ověření předpokládaných vlastností hybridního lokomočního ústrojí počítačovou simulací.
6. Vyhodnocení získaných výsledků.

4 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

4.1 Výběr aplikační oblasti a prostředí hybridního robotu

Navrhovaný hybridní mobilní robot je určen pro servisní a inspekční činnosti ve vnitřním i vnějším prostředí městského charakteru. Pod pojmem *servisní činnost* rozumíme kontrolní činnost s možností odstranění poruchy nebo údržbové a čistící práce, *inspekční činností* je pouze kontrolní popř. hlídací činnost.

Cílem bude navrhnout univerzální lokomoční ústrojí hybridního mobilního robotu, který bude schopen pohybu v městském prostředí s možností osazení různými aplikačními nadstavbami a senzory, čímž bude možné použít robot např. pro manipulaci s nebezpečným materiálem, hlídání rozsáhlých komplexů budov a jejich okolí, dopravu lehkých předmětů, hledání osob v nebezpečných prostorech (při požáru, zamoření), v nestabilních prostorech (hrozící sesunutím), atd.

Pro analyzování městského prostředí byly jako hlavní statické překážky, které nejvíce ovlivní návrh mobilního robotu, vybrány tyto: dveře, schody, obrubníky, zatravněné svahy a příčný příkop. Tyto překážky musí umět robot zdolávat (konstrukce podvozku musí umožnit jejich překonávání).

- Běžná šířka často používaných úzkých dveří je 600 mm. Šířka robotu tedy nesmí přesáhnout tuto hodnotu.
- Schody se sklonem 18/27, čemuž odpovídá úhel 35°.
- Přejezd obrubníku (nebo podobné překážky) o výšce 200 mm.
- Jízda po zpevněném zatravněném svahu do sklonu 35° při jízdě kolmo na svah a do sklonu 25° při jízdě podél svahu.
- Překonání příčného příkopu o délce 450 mm.

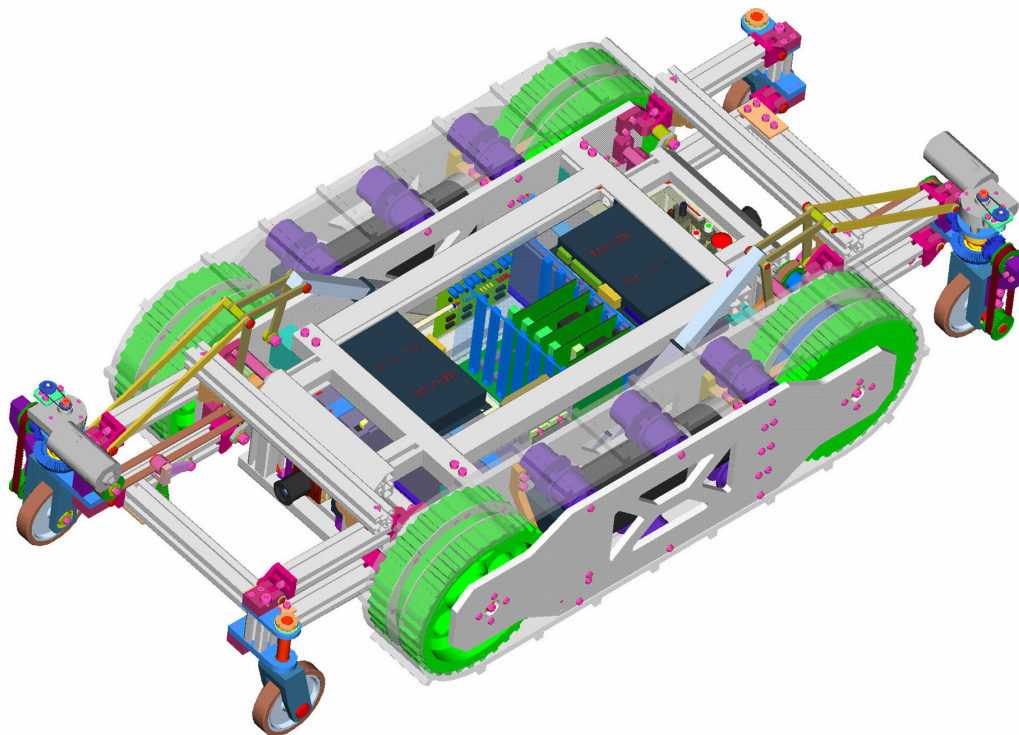
4.2 Analýza uspořádání lokomočních ústrojí HR

Pro návrh nové varianty hybridního lokomočního ústrojí byla použita morfologická analýza, jež je moderní metoda sloužící k snadnému nalezení nových konstrukčních variant. Morfologická matice názorně zobrazuje, jakým způsobem je možné řešit jednotlivé části nově hledané konstrukce. Postupným výběrem je možné získat jednu nebo více konstrukčních variant, které odpovídají předem stanoveným požadavkům (výběrovým kritériím). Pro výběr optimální varianty z několika možných konstrukcí je možné použít několik metod [11]. Pro posouzení hybridních konstrukcí byla použita multikriteriální bodovací metoda, která porovnává jednotlivé technické a ekonomické parametry se vzorovým (etalonovým) řešením. Výsledná technická hodnota (vyjádřená v procentech) názorně udává vhodnost použití porovnávaných variant.

4.3 Popis hybridního robotu

Tato kapitola je věnována popisu vlastní konstrukce podvozku hybridního robotu. Hybridní robot se skládá ze tří hlavních částí: rám s příslušenstvím, kolečka se systémem naklápění a převodů a jednotky pásů s hnacími motory. Při návrhu byly použity konstrukční komponenty, které se již osvědčily u projektů řešených na ÚVSSaR. Všechny komponenty jsou běžně dostupné a cenově přijatelné. Robot je navržen tak, aby byl

umožněn snadný přístup k součástem, které vyžadují průběžnou údržbu nebo seřízení, a naopak součásti citlivé na nečistoty jsou chráněny. Počítačový model byl vytvořen v parametrickém systému Pro/ENGINEER. Celkový pohled na hybridní mobilní robot je znázorněn na obrázku 4.1. Hlavní rozměry robotu jsou 1248 x 589 x 301 mm. Hmotnost celého robotu je 80 kg.



Obr. 4.1: Hybridní robot

4.3.1 Popis jednotlivých částí robotu

Jednotka pásu:

Jednotky pásu se skládají z pásu, pohonu (motor s brzdou, planetovou převodovkou a kuželovým převodem), předního a zadního kola, bočnic a podpůrných rolen. Uspořádání pravé a levé jednotky pásu je stejné, pouze s tím rozdílem, že pravá jednotka má výstupní hřídel na předním kole a levá jednotka na kole zadním. Na tuto hřídel je připevněn převodový stupeň s jednokotoučovou spojkou, které spíná hnací moment z jednotky pásu na hnací kolečko.

Naklápěcí mechanismus:

Naklápěcí mechanismus slouží k výškové změně kolové části hybridního podvozku. Celý mechanismus je přišroubován k vnitřním bočnicím jednotek pásu. Pohon zajišťuje lineární aktuátor MHG 120/1. Při vysouvání jezdce se přes dvoučlankový pákový mechanismus naklápějí ramena, na jejichž koncích jsou nasazeny kolečka.

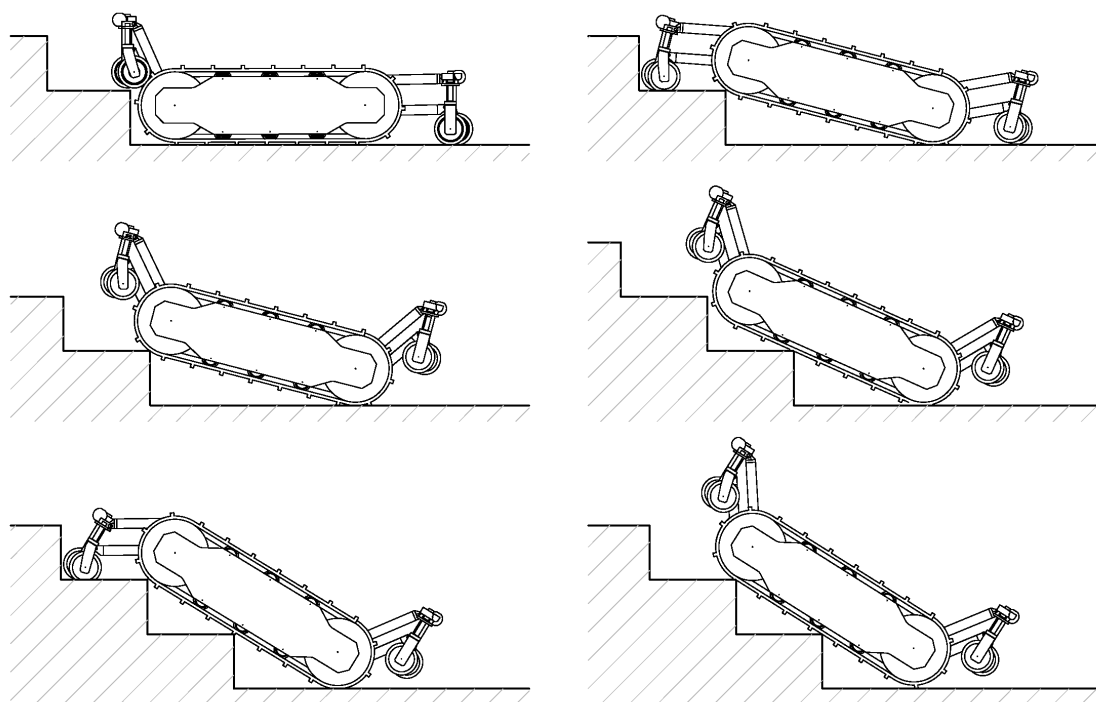
Hnací kolečko: Kolový podvozek hybridního robotu se skládá ze čtyř koleček, z nichž dvě jsou poháněná a dvě volně otočná. Poháněná kolečka jsou upevněna pomocí dvou čepů

k naklápěcímu mechanismu a přenos hnacího momentu z převodového ústrojí na hnací řemenici je zajištěn ozubeným řemenem. Tato soustava převodů zajišťuje převod hnacího momentu z hlavního motoru jednotky pásu na hnací kolečko. Převody jsou navrženy tak, aby měly pásy i kolečka stejnou obvodovou rychlost. Natáčení hnacího kolečka v rozsahu $\pm 110^\circ$ zajišťuje DC motor s integrovanou šnekovou převodovkou.

Další použité konstrukční uzly jako např. volně otočné kolečka, napínání řemenů a rám jsou sestaveny z běžně dostupných komponentů.

4.3.2 Jízdní schopnosti hybridního podvozku

Hybridní konstrukce podvozku mobilního robotu byla zvolena z důvodu velké manévrovatelnosti a schopnosti překonávat překážky. Pásové ústrojí řízené smykem je vhodné pro jízdu v nerovném terénu a překonávání malých překážek. Kolové ústrojí umožňuje robotu jízdu všemi směry i otáčení s nulovým poloměrem (na místě). Hybridní mechanismus je navržen pro překonávání velkých překážek jako jsou obrubníky nebo schody jak je zobrazeno na obrázku 4.2. Zobrazené diskrétní stavy jsou zobrazeny v programu Pro/ENGINEER.



Obr. 4.2: Jízda po schodech

4.4 Simulace chování hybridního lokomočního ústrojí

Abychom zjistili, jak se bude chovat hybridní lokomoční ústrojí v reálných podmínkách, můžeme toto chování testovat na fyzikálním modelu. Výroba fyzikálního modelu je většinou velmi nákladná a složitá. Při testování se většinou model upravuje, aby bylo docíleno lepších výsledných vlastností. Tím dochází k dalšímu zvyšování finančních

nákladů. Další možností je použití simulačních programů, které umožňují testovat model v podmínkách připomínajících reálné zatěžování. Následné úpravy se provádějí pouze na počítačovém modelu. Tento způsob vede ke zrychlení procesu navrhování, testování a zejména ke zlevnění výroby prototypu.

VUT v Brně vlastní multilicenci na simulační software ADAMS, který bude použit pro ověřování chování lokomočního ústrojí hybridního robotu.

4.4.1 Popis simulačního programu ADAMS

Programový systém ADAMS patří do skupiny programů, které se nazývají MSS, multi-body systém software [26, 30]. Těmito programy lze obecně řešit mechanický systém vytvořený jako soustava tuhých nebo pružných těles navzájem spojených kinematickými dvojicemi a obsahující dále nehmotné silové prvky jako například pružiny, tlumiče, osamělé síly, momenty atd. Celý mechanický systém může vykonávat rozsáhlé obecné nelineární pohyby. Je-li počet nezávislých parametrů určující jednoznačně polohu objektu roven počtu stupňů volnosti, řešíme pak úlohu kinematiky, naopak je-li počet stupňů volnosti větší než nula, řešíme pak úlohu dynamiky a můžeme zjistit časový průběh pohybu, tj. polohu, rychlost a zrychlení jednotlivých prvků v závislosti na působících silách.

4.4.2 Ověření vhodnosti programu ADAMS pro simulaci chování mobilních robotů

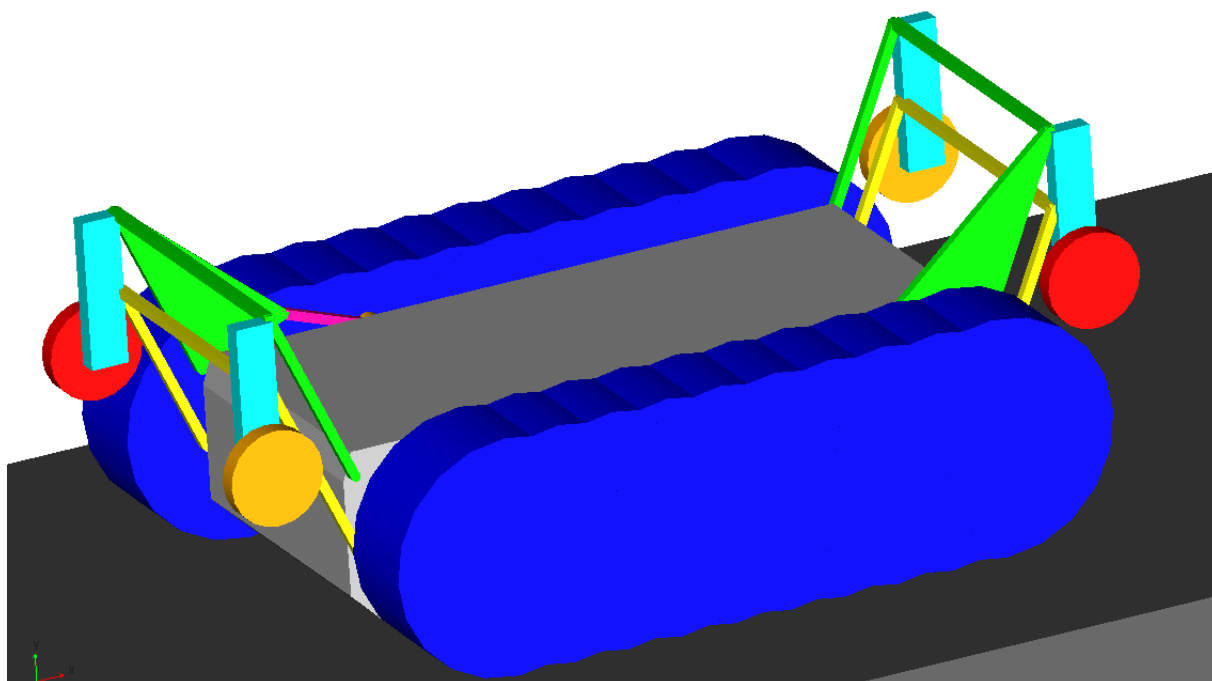
V dostupné literatuře je popsáno několik způsobů, jak simulovat pohyb robotu po předem stanovené trajektorii, zkoumat přitom posuvy určitých částí robotu a potřebné hnací momenty [10, 20]. Jedná se ale především o programy vytvořené přímo pro konkrétní řešenou úlohu, které jsou naprogramovány pomocí C++ nebo Matlab. U hybridního robotu WorkPartner byl použit program ADAMS s cílem ověřit navržené pohony a zjistit chování robotu při přejíždění překážek. Na tomto příkladu a v literatuře [8, 7] jsou vidět výhody simulace, ale i nutnost ověřit naměřené hodnoty experimentem na reálném modelu. Z důvodů finančních nebylo možné vyrobit prototyp (fyzikální model) navrhovaného hybridního mobilního robotu. Pro ověření vhodnosti použití simulačního softwaru ADAMS byl proto využit již realizovaný mobilní robot VUTBOT 2 [12]. Tento robot se nachází v těžkých laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky a autor této disertační práce se aktivně podílel na jeho vývoji a realizaci. V programu ADAMS byl výpočtový model VUTBOTU 2 podroben sérii testů. Tytéž testy byly provedeny i na reálném robotu.

Při měření na reálném mobilním robotu VUTBOT 2 byl průměrný hnací moment při jízdě rovnoměrnou rychlostí po rovné podložce 12 – 16 Nm. U počítačové simulace jsou hodnoty momentu 13,5 – 14,8 Nm. Špičkové momenty při najíždění na překážky dosahují přibližně stejných hodnot. Porovnáním výsledků počítačové simulace a experimentu můžeme konstatovat, že výsledky obou metod jsou velmi podobné a počítačový simulační program ADAMS je vhodný pro ověřování jízdních vlastností lokomočních ústrojí mobilních robotů.

4.4.3 Počítačová simulace hybridního lokomočního ústrojí

Počítačový model hybridního mobilního robotu můžeme rozdělit na čtyři části, které jsou navzájem propojeny, a to: rám, jednotky pásu, hřídelové spojky a naklápací kolečka. Rám

je tvořen jedním tělesem, v němž jsou umístěny pohony, převody a spojky, je to zjednodušení oproti reálnému robotu, který má pohony umístěné v jednotkách pásů. Toto zjednodušení nemá vliv na výsledné měřené hodnoty. Jednotky pásů, jsou tvořené soustavou kol, které jsou propojeny převody. Pásový podvozek lze namodelovat v programu ADAMS pomocí modulu ATV a ASCII databáze [19]. Bohužel tyto softwarové prostředky nebyly k dispozici. Výsledný model s dostatečnou přesností vystihuje chování pásového podvozku u námi simulovaných situací a měřených veličin. Dále bude používán termín "pásový podvozek", jelikož nahrazení pásů soustavou koleček je pouze u výpočtového modelu a slouží pouze pro potřeby výpočtu. Přední a zadní kolečka se mohou pomocí pákového převodu a lineárního motoru naklápět v rozsahu +180 a -160 mm. Pohon předního pravého a zadního levého kolečka je zajištěn převodem od hlavního pohonu přes spojku. Konstantní převodový poměr zajišťuje stejnou obvodovou rychlost pásu i koleček. Hřídelová spojka je realizována jako torzní pružina spojující dva hřídele [31]. V průběhu simulace je možné pomocí splinové křivky měnit koeficient tuhosti a koeficient tlumení torzní pružiny a docílit tak spínání a rozpínání hřídelové spojky.



Obr. 4.3: Výpočtový model hybridního lokomočního zařízení

Výpočtový model je vytvořen tak, aby hmotnosti jednotlivých částí a umístění těžiště robotu odpovídalo navrženému hybridnímu robotu. Veškeré konstrukční detaily byly zanedbány a předpokládá se tuhý rám i kola.

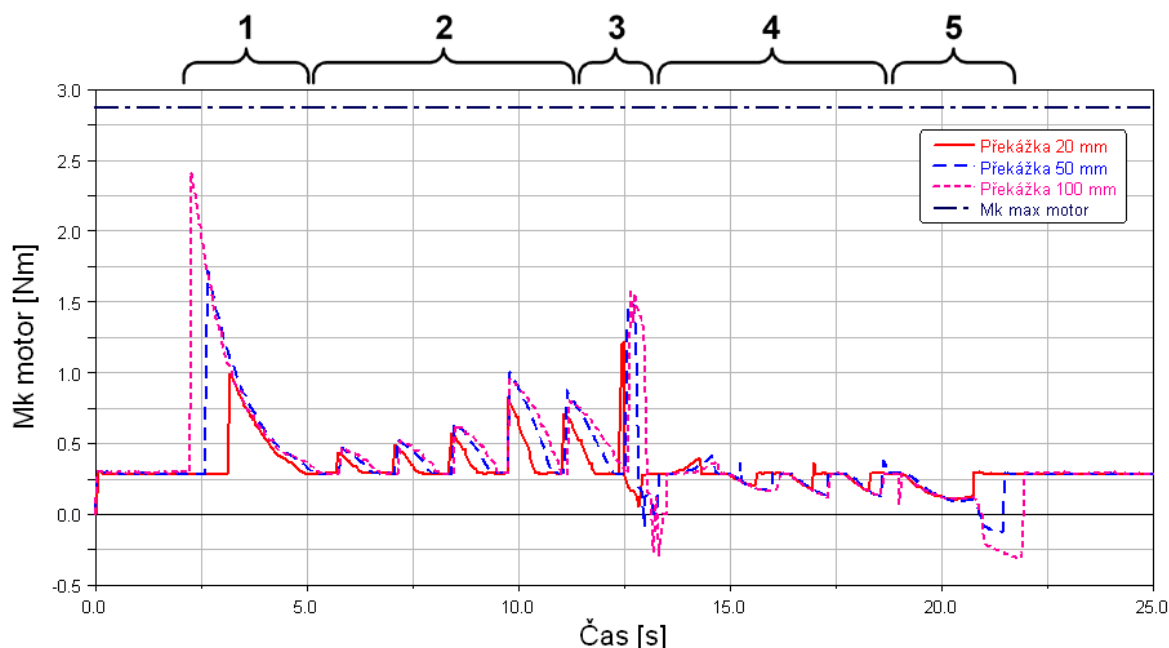
Při simulování jízdy byly použity vždy stejné otáčky hnacího motoru (20°s^{-1}), čemuž odpovídá rychlost robotu $0,043 \text{ ms}^{-1}$. U simulací nebyla zkoumána dynamika pohybu, ale měřily se hnací momenty potřebné k překonání překážek.

Aby bylo možné porovnávat výsledky simulací, jsou hnací momenty přepočteny na hřídel motoru. Tento přepočet zahrnuje reálné převodové poměry převodů a jejich účinnosti.

Simulace jízdy pásového podvozku

Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole, nebyly k dispozici softwarové prostředky a knihovny pro vytvoření pásového podvozku, proto byl pás nahrazen soustavou vzájemně

propojených kol. Pásový podvozek byl testován na třech různých výškách překážek (20 mm, 50 mm, 100 mm). Šířka překážky je vždy 40 mm. Velký nárůst momentu představuje najetí robotu na překážku, dále jede podvozek po hraně překážky. Výkyvy momentů jsou způsobeny najížděním dalších koleček na hranu překážky. Přibližně uprostřed dojde k překlopení robotu a velkým výkyvům momentů. V následující části robot sjíždí z překážky, aby měl robot neustále konstantní rychlost, musejí motory při sjíždění z překážek přibrzďovat, proto mohou momenty nabývat i záporných hodnot. Tmavě modrá čerchovaná čára označuje maximální proud, který jsou schopny dodat hnací motory.



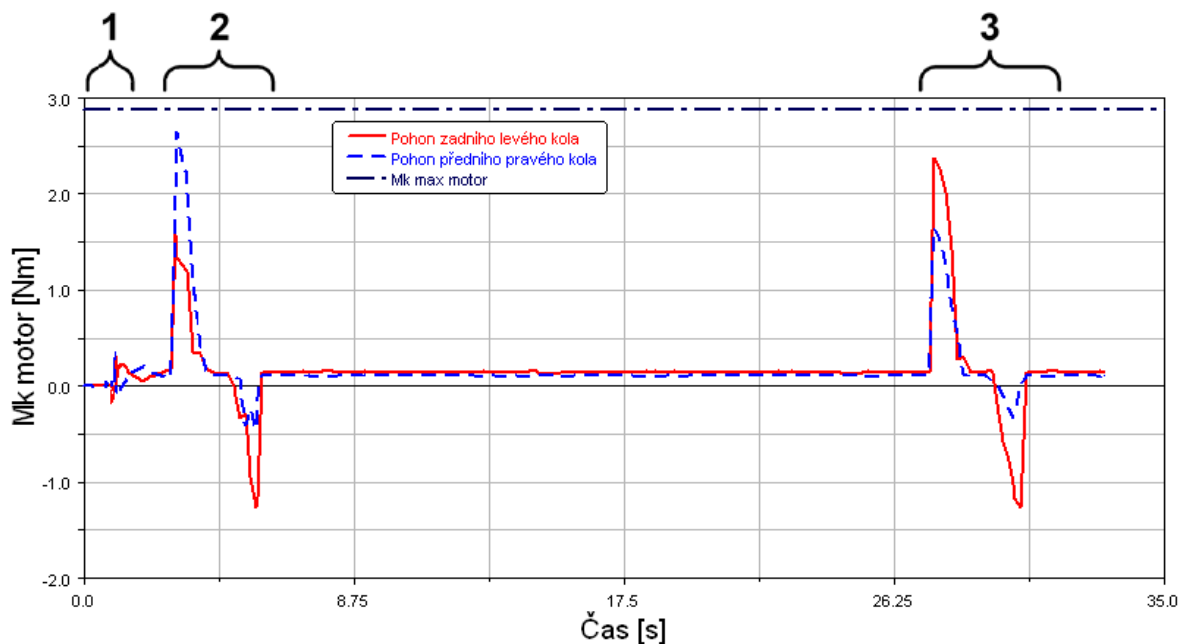
Obr. 4.4: Průběhy momentů při přejíždění překážek pásovým podvozkem

Simulace jízdy kolového podvozku

Kolový podvozek by testován na dvou různých výškách překážek (10 mm a 20 mm). Šířka překážky je vždy 40 mm. Průběhy momentů při přejíždění 20 mm vysoké překážky jsou zobrazeny na obrázku 4.5.

4.4.4 Překonávání výškových stupňů

K překonání větších překážek než je poloměr pásu, je nutné použít mechanismus naklápění koleček. Pomocí tohoto kolo-pásového hybridního mechanismu je možné překonávat překážky až do výšky 215 mm. K docílení správného výsledného pohybu při používání hybridního ústrojí je nutné postupně zapínat jednotlivé pohony a spojky. Jelikož se jedná o poměrně složitý proces, musejí být při simulaci jednotlivé pohony řízeny splinovacími křivkami. Tímto způsobem je možné jednoduše zapínat i vypínat lineární motory a spojky, nastavovat požadované otáčky hnacích motorů. Celá simulace probíhá obdobně jako v předchozích případech. Pohon je nastaven na určité otáčky a měří se potřebné momenty pro překonání překážek.



Obr. 4.5: Průběhy momentů při přejíždění 20 mm vysoké překážky kolovým podvozkem

Překonání 100 mm vysokého stupně

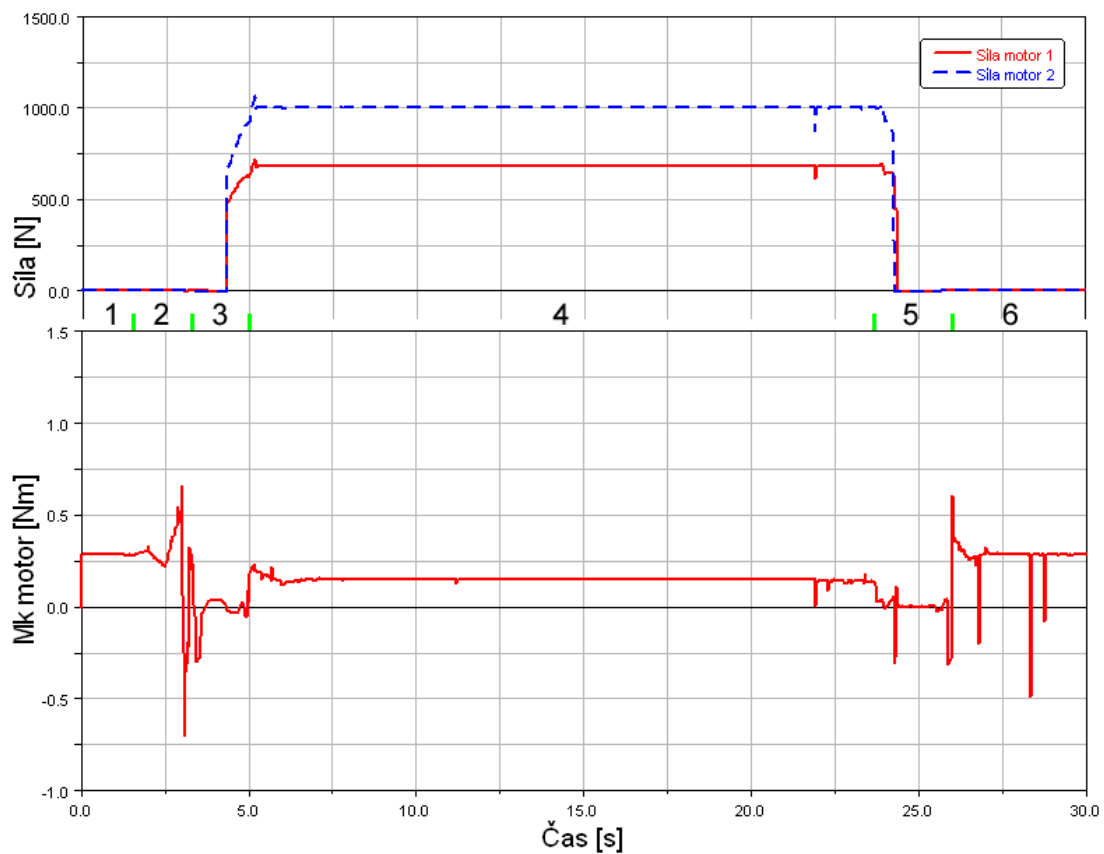
V úseku č. 1 přijede robot pomocí pásového lokomočního ústrojí těsně k překážce. V úseku č. 2 robot zastaví a sepne přední hřídelovou spojku. V úseku č. 3 jsou spuštěny lineární aktuátory a robot je zvednut na kolečka, přičemž přední kolečka jsou již na překážce. Ke konci tohoto úseku jsou již sepnuty obě hřídelové spojky. V úseku č. 4 jede robot pomocí kolového lokomočního ústrojí, na obrázku 4.6 lze pozorovat snížení potřebného hnacího momentu. V úseku č. 5 se motory zastaví, rozepne se zadní spojka a robot se spustí na pásový podvozek. Následuje jízda pomocí pásového lokomočního ústrojí (úsek č. 6).

Překonání 200 mm vysokého stupně

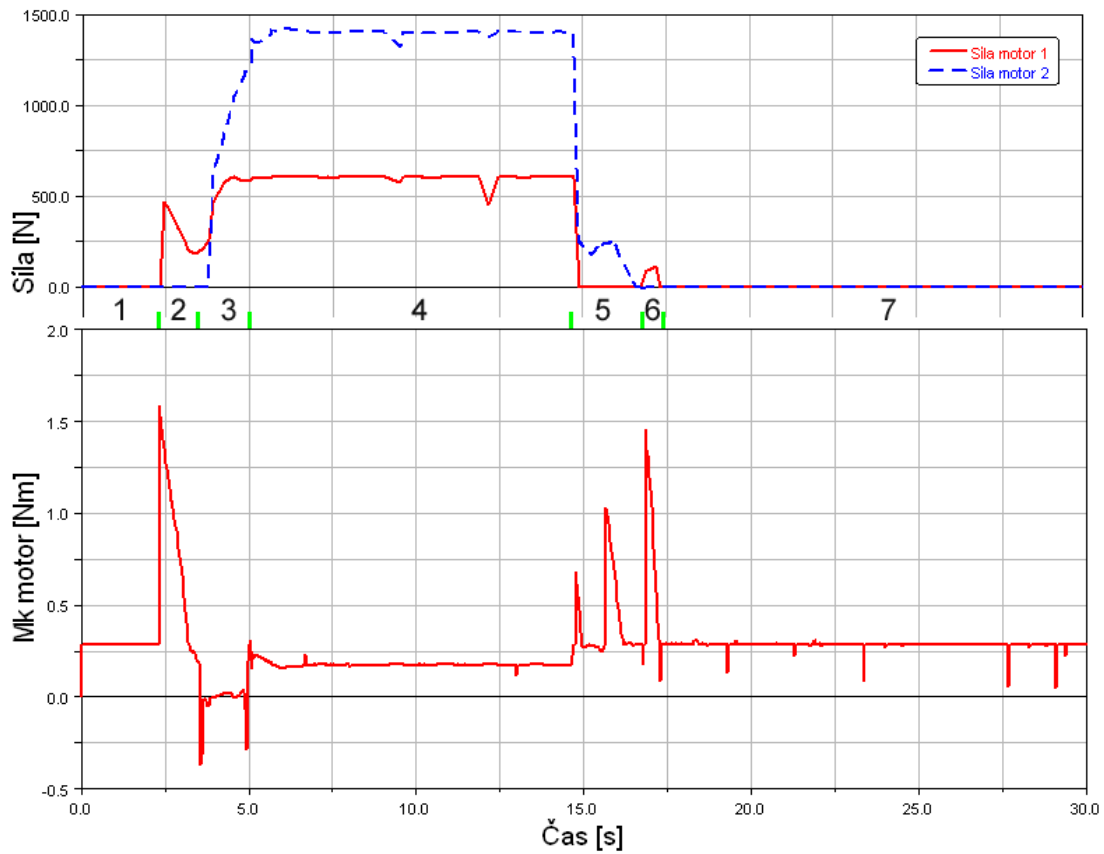
Kolečka se mohou sklopit 160 mm pod úroveň pásů. Pokud robot překonává vyšší překážku, nastane okamžik, kdy se pásy dotknou hrany překážky. Obdobně je tomu i při překonávání 200 mm vysoké překážky. Postup přejíždění je obdobný jako v předchozím případě až do úseku č. 5 kdy se dotknou pásy hrany překážky. Následně přejíždí pás po hraně překážky (vždy, když najede kolečko nahrazující pás na hranu překážky, dojde k výraznému zvýšení momentu). Přední kolečka se nyní nedotýkají podložky a zadní kolečka udržují robot v rovnováze. V úseku č. 6 dojde k překlopení robotu na přední kolečka (těžiště robotu se dostalo za hranu překážky). Ihned po překlopení se začínají přední i zadní kolečka zvedat a robot se celou plochou pásů dotkne podložky. Následuje jízda pomocí pásového lokomočního ústrojí (úsek č. 7).

4.4.5 Shrnutí výsledků počítačové simulace

Z výsledků simulace hybridního lokomočního ústrojí vyplynuly maximální velikosti překážek, které je schopen mobilní robot překonat. Výsledky simulace potvrdily vhodnost navrženého hybridního mechanismu a pohonů. Potřebné hnací momenty při jízdě konstantní rychlostí pomocí pásového lokomočního ústrojí jsou 0,28 Nm a při jízdě pomocí kolového lokomočního ústrojí 0,14 Nm.



Obr. 4.6: Průběhy momentu a sil při překonávání 100 mm vysoké překážky



Obr. 4.7: Průběhy momentu a sil při překonávání 200 mm vysoké překážky

Maximální velikosti překonatelných překážek:

Pásové lokomoční ústrojí	cca 125 mm
Kolové lokomoční ústrojí	cca 30 mm
Hybridní lokomoční ústrojí	215 mm

Při překonávání překážek pásovým podvozkem je výška omezena velikostí poloměru pásů, u kolového lokomočního ústrojí je omezena výška překážek maximálním kroutícím momentem hnacích motorů. Při použití hybridního lokomočního ústrojí je výška překážky omezena pouze mechanickým dosahem pákového mechanismu naklápějícího kolečka a potřebnou silou lineárního aktuátoru. Prodloužením ramen a výměnou lineárního aktuátoru za silnější verzi by bylo možné překonávat i vyšší překážky.

Při simulacích nebylo zkoumáno dynamické chování lokomočního ústrojí, ale pouze hnací momenty a síly potřebné k překonání překážek. Rychlosti robotu byly velmi nízké, aby byl co nejvíce potlačen vliv setrvačných sil. Nebylo proto nutné vytvořit přesný model robotu s propracovaným pohonným systémem. Pro potřeby simulace zcela postačoval způsob, kdy byly nastaveny otáčky pohonu a měřily se průběhy potřebných momentů při překonávání překážek.

4.4.6 Doporučení pro simulování chování mobilních robotů

Při simulování byl nejprve vytvořen výpočtový model přímo v modeláři ADAMSU, poté byly doplněny vazby a pohony. Následně byl spuštěn simulační výpočet. Tento zjednodušeně popsaný postup byl použit při simulování mobilního robotu VUTBOT 2 a výsledky byly ověřeny v následném experimentálním měření na reálném robotu. Pro zpřesnění výsledků simulace a umožnění měření více veličin (např. zrychlení robotu), jsou zde vypsány obecná doporučení pro simulování chování mobilních robotů.

Vytvoření vhodného modelu v parametrickém systému Pro/ENGINEER a jeho následné přenesení do výpočtového systému ADAMS. Nevýhodou softwaru ADAMS je nedokonalý modelář pro vytváření modelu, naproti tomu v Pro/ENGINEERU lze velmi snadno vytvořit model robotu. Exportováním 3D těles do ADAMSU získáme velmi snadno model robotu, který ale musí být ručně doplněn o údaje týkající se hmotnostních a materiálových parametrů.

Vytvoření vazeb, pohonů a vnějších sil, kterými se doplní výpočtový model mobilního robotu.

Vytvoření vnitřních proměnných (state variables) definujících vstupy a výstupy výpočtového modelu, čímž je výpočtový model připraven pro potřeby simulace.

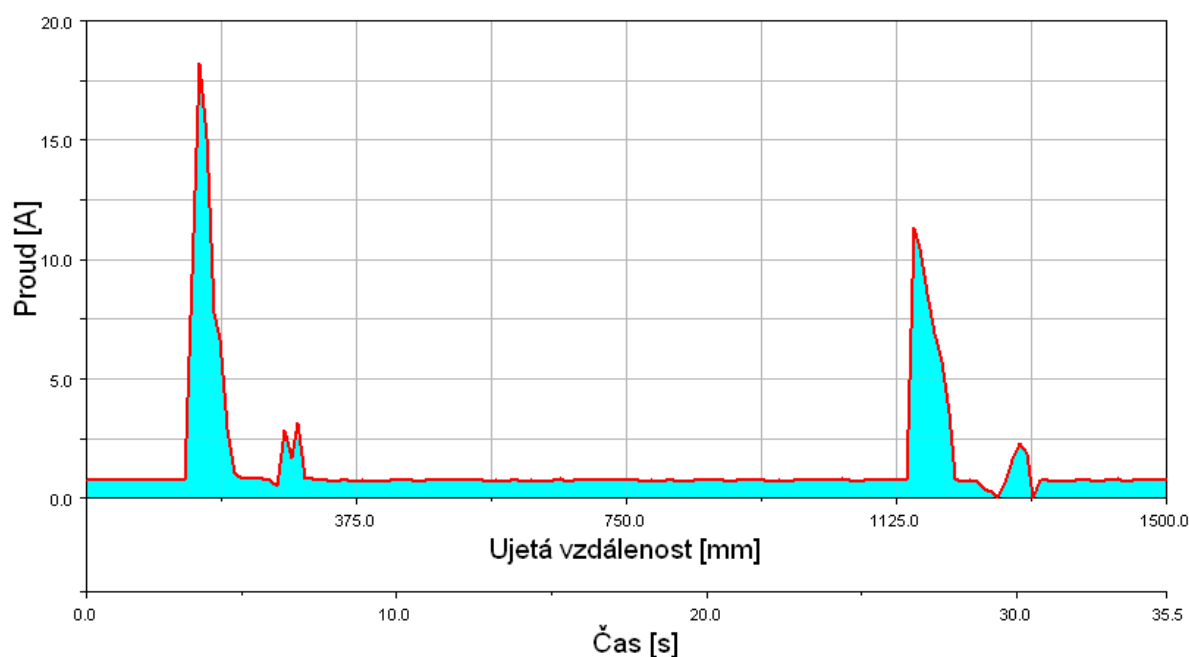
Vytvoření modelu řídicího a pohonného systému v prostředí Matlab/Simulink.

Matlab/Simulink lze propojit se systémem ADAMS a získat tak univerzální prostředek pro simulování komplexních mechatronických systémů včetně mobilních robotů [20]. V Matlabu je možné vytvořit model stejnosměrného motoru, měniče (na principu pulzní šířkové modulace), zpětných vazeb a další obvody sloužící k vytvoření plnohodnotného servo pohonu.

Při simulacích založených na výše vypsáních doporučení, lze sledovat pohyb relativně dokonalého modelu mechanismu s pružnými články vybaveného ložisky, nelineárními vazbami, pružinami apod. Současně lze sledovat proudové zatížení pohonů [20].

4.5 Zjištění energetické náročnosti hybridního robotu

Výsledky počítačové simulace lze použít pro zjištění energetické náročnosti hybridního mobilního robotu při přímé jízdě, ale i při překonávání překážek. Průběhy hnacích momentů lze pomocí momentové konstanty přepočítat na průběhy napájecích proudů motorů. Pokud budeme znát energetickou náročnost mobilního robotu a prostředí, ve kterém se bude robot pohybovat, můžeme odhadnout, jak dlouho bude robot schopen pracovat na jedno nabití akumulátorů. Na obrázku 4.8 je zobrazen průběh potřebného proudu pro překonání 20 mm vysoké překážky kolovým podvozkem. Při sjíždění z překážky potřebují motory vyvinout brzdny moment, který má zápornou hodnotu (působí proti směru jízdy). I když jsou momenty v záporných hodnotách, při přepočítávání na průběhy proudů se uvažuje pouze jejich absolutní hodnota. Čtyřkvadrantní měniče dokáží rekuperovat brzdovou energii. Při přejíždění malých překážek se neuvažuje dobíjení akumulátorů, jelikož časový interval ve kterém robot sjíždí z překážky je velmi krátký. Pokud známe plochu pod křivkou můžeme zjistit kolik elektrické energie robot spotřebuje v určitém časovém intervalu. Pro výpočet plochy pod křivkou byla použita lichoběžníková metoda [29].



Obr. 4.8: Průběhy proudu při překonávání 20 mm vysoké překážky kolovým podvozkem

4.5.1 Energetická náročnost hybridního robotu

V následující tabulce jsou vypsány hlavní spotřebiče elektrické energie. Pokud se robot pohybuje rovnoměrnou rychlostí pomocí kolového nebo pásového podvozku ($0,2 \text{ ms}^{-1}$), potřebuje pro svůj pohon konstantní proud (uvažujeme-li konstantní hodnoty pasivních odporů). Hodnoty proudu jsou vypočteny pro oba hnací motory. Při překonávání překážek

jsou hodnoty potřebné elektrické energie vypočteny z výsledků simulace, kdy se robot pohyboval rychlostí $0,043 \text{ ms}^{-1}$ a ujel určitou vzdálenost (1000 mm, 1500 mm). Jelikož známe ujetou vzdálenost a rychlost robotu, můžeme spotřebovanou energii potřebnou pro překonání překážky vyjádřit v Ah. Do těchto hodnot je započítána i spotřeba hřídelových spojek a lineárních aktuátorů.

Tab. 4.1: Spotřeba elektrické energie

Jízda po rovné podložce pomocí pásového podvozku	4,86 A
Jízda po rovné podložce pomocí kolového podvozku	4,56 A
Jízda po nakloněné rovině se sklonem 10° pomocí pásového podvozku	14,3 A
Jízda po nakloněné rovině se sklonem 10° pomocí kolového podvozku	17,3 A
Zatáčení pomocí pásového podvozku	20,0 A
Zatáčení pomocí kolového podvozku	3,00 A
Jednokotoučová spojka	0,80 A
Elektronika	2,00 A
Změna lokomočního ústrojí	0,02 Ah
Ujetí vzdálenosti 1000 mm + přejetí 50 mm vysoké překážky pomocí pásového podvozku	0,044 Ah
Ujetí vzdálenosti 1500 mm + přejetí 20 mm vysoké překážky pomocí kolového podvozku	0,083 Ah
Ujetí vzdálenosti 1500 mm + překonání 100 mm vysokého schodu pomocí hybridního lokomočního ústrojí	0,095 Ah
Ujetí vzdálenosti 1500 mm + překonání 150 mm vysokého schodu pomocí hybridního lokomočního ústrojí	0,096 Ah
Ujetí vzdálenosti 1500 mm + překonání 200 mm vysokého schodu pomocí hybridního lokomočního ústrojí	0,259 Ah

4.5.2 Odhad spotřeby elektrické energie na vybraném úseku

Pro lepší představu energetické náročnosti hybridního robotu byla vybrána simulovaná úloha, kdy robot musí prověřit neobvyklý předmět v restauraci Q v areálu Fakulty strojního inženýrství. Robot se musí dostat z parkoviště (které je před budovou) do restaurace, zde určitý čas pracovat a následně se dostat zpět. Robot se pohybuje rychlostí $0,2 \text{ ms}^{-1}$ při jízdě po rovné podložce a $0,04 \text{ ms}^{-1}$ při překonávání překážek.

Na to, aby se robot dostal z místa startu na cílové místo, spotřebuje přibližně 2,6 Ah. Celková kapacita akumulátorů je 12 Ah. Robot tedy bude mít dostatek energie pro další popojíždění a napájení příslušenství (např. manipulační rameno).

Pokud by měl být robot nasazen v prostředí, ve kterém je možné odhadnout překážky a ujetou vzdálenost, můžeme pomocí výsledků simulace a tohoto výpočtu odhadnout kolik energie robot spotřebuje. Výsledek je možné použít pouze informativně a je nutné aby řídicí systém robotu byl vybaven monitoringem stavu akumulátorových baterií a okamžitý stav byl zobrazován operátorovy.

5 ZÁVĚR

Tato disertační práce se zabývá návrhem nové konstrukce hybridního mobilního robotu a ověřením jeho vlastností počítačovou simulací. V teoretickém úvodu je uvedeno rozdělení mobilních robotů a přehled současných hybridních mobilních robotů. Dále byla provedena analýza aplikací mobilních robotů a městského prostředí s cílem specifikovat, na jakou aplikaci bude robot navržen a v jakém prostředí se bude pohybovat (jaké překážky musí být schopen překonávat). Robot bude navržen pro servisní činnosti ve vnitřním i vnějším prostředí. Pro vznik nové varianty hybridního lokomočního ústrojí byla použita morfologická analýza, pomocí které byly navrženy tři nové konstrukce hybridního lokomočního ústrojí. Pro porovnání vlastností nových návrhů s konstrukcemi ověřenými v praxi, byly do morfologické analýzy zahrnuty další dvě již detailně propracované konstrukce hybridních robotů. U těchto pěti návrhů byla multikriteriální bodovací metodou vyjádřena jejich technická hodnota s cílem vybrat optimální konstrukci hybridního lokomočního ústrojí.

Nejvyšší technickou hodnotu z nových návrhů měla kolo–pásová konstrukce. Pásový podvozek s pohonem umístěným v jednotkách pásů slouží k jízdě v nerovném terénu a překonávání malých překážek. Dvě kola, která jsou poháněna od jednotek pásů, jsou umístěna na paralelogramu, který umožňuje jejich zvedání. Pomocí paralelogramu může robot překonávat velké překážky. Každé hnací kolo se může samostatně natáčet. Výhodou tohoto uspořádání je velmi vysoká manévrovatelnost při jízdě po hladké podložce a překonávání vysokých překážek.

Po výběru optimální konstrukce byla navržena a výpočtem zkontrolována pohonná jednotka se zaměřením na volbu vhodného motoru a měniče. V programu Pro/ENGINEER byl dále vytvořen 3D model hybridního mobilního robotu včetně výkresové dokumentace a také zde byly jednoduše zkontrolovány mechanické možnosti hybridní konstrukce při překonávání překážek a jízdě po schodech.

V dalších kapitolách je stručně popsán distribuovaný multiprocessorový řídicí systém založený na sběrnici CAN, jehož využití se předpokládá pro řízení mobilního robotu a návrh sensorického osazení.

Pro ověření lokomočních schopností hybridního robotu byl použit simulační software ADAMS. Vhodnost softwaru ADAMS pro simulování chování mobilních robotů bylo nutné ověřit experimentem na reálném robotu. Vzhledem k nedostatkům finančních prostředků pro realizaci fyzikálního modelu hybridního lokomočního ústrojí byl jako verifikační model pro ověření vhodnosti tohoto výpočtového systému použit mobilní robot VUTBOT 2, který se nachází v těžkých laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky. Na reálném robotu se experimentálně testovalo přejíždění čtyř různě vysokých překážek a průběhy hnacích momentů se zaznamenávaly digitálním osciloskopem. Výpočtový model VUTBOTU 2 byl simulován při přejíždění stejných překážek. Porovnáním průběhů hnacích momentů získaných simulací a experimentem byla zjištěna velká shoda výsledků obou metod a lze tedy konstatovat, že software ADAMS je vhodný pro simulování mobilních robotů. Následně byl vytvořen výpočtový model navrženého hybridního lokomočního ústrojí. Chování tohoto modelu a průběhy hnacích momentů byly sledovány při simulacích, kdy robot překonával různé překážky pásovým i kolovým ústrojím a větší překážky pomocí hybridní konstrukce. Při jízdě pomocí kolového ústrojí je robot schopen překonat překážku vysokou cca 30 mm, pomocí pásového ústrojí je to 125 mm. U pásového podvozku není maximální výška překážky omezena momentem motorů, ale po-

loměrem předního kola pásu. Hybridní lokomoční ústrojí umožňuje překonávání překážek až 215 mm vysokých. Při překonávání překážek pomocí hybridního ústrojí není nutný velký hnací moment, jelikož se robot dostane nad překážku pomocí paralelogramu a předních koleček, pohon slouží pouze k dopředné jízdě. Výsledky simulace potvrdily předpokládané schopnosti hybridního lokomočního ústrojí a vhodnost jeho použití pro servisní úlohy v městském prostředí. Robot je schopen překonat všechny vybrané překážky a jeho manévrovatelnost na hladkém podkladu je možné srovnat s manévrovatelností všesměrových robotů. Na konci této kapitoly jsou vypsána obecná doporučení pro simulování mobilních robotů např. v dynamických úlohách.

Další výhodou výpočtového systému ADAMS je možnost využití výsledků simulace např. pro zjištění spotřeby elektrické energie při překonávání překážek. Energetická náročnost hybridního mobilního robotu byla vypočtena na vybraném úseku, kdy robot musí prověřit neobvyklý předmět v restauraci Q v areálu Fakulty strojního inženýrství. Pro takto simulovanou úlohu spotřebuje robot 2,6 Ah, čímž byla ověřena i vhodnost navržených akumulátorů s celkovou kapacitou 12 Ah.

Počítačová simulace ověřila funkčnost nově navržené konstrukce hybridního lokomočního ústrojí mobilního robotu použitelného pro servisní úlohy v městském prostředí.

Předkládaná práce tvoří základ pro další výzkum v oblasti mobilních robotů a ověřování jejich vlastností počítačovou simulací.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Kárník, L., Knoflíček, R., Novák–Marcinčin, J.: Mobilní roboty, Máfy Slezsko Opava, vytiskl Vladimír Pravda Opatisk Opava, 1. Vydání, 500 ks, 212 stran, 254 obrázků, listopad 2000, ISBN 80–902746–2–5
- [2] Skařupa, J., Mostýn, V.: Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů, Vienaľa, vytiskl Vienaľa Košice, 1, vydání, 190 stran, Košice 2002, ISBN 80–88922–55–0
- [3] Kárník, L., Novák–Marcinčin, J.: Biorobotická zařízení, MÁRFY SLEZKO, 1999, ISBN 80–902746–0–9
- [4] Smrček, J., Petruška, P.: Servisné roboty, subsystemy mobility, prístupy k riešeniu. TU Košce
- [5] Kárník, L.: Servisní roboty, VŠB – TU, Ostrava 2004
- [6] Knoflíček, R.: Mobilní roboty pro průmyslové využití, vydalo Akademické nakladatelství CERM, Brno 2005, ISBN 80–7204–387–0
- [7] Ylönen, S., Halme, A.: Mechatronics structure of the centaur like wheeled service robot, 2nd IFAC Conference on Mechatronic Systems, Berkeley, California, December 9–11 2002.
- [8] Aarnio, P., Koskinen, K., Salmi, S.: Simulation of the Hybtor Robot, CLAWAR 2000 3rd Int. conference on Climbing and Walking Robots Madrid, Spain, 2–4. Oct 2000
- [9] Samuel, N. C.: A 6–Legged Hybrid Walking And Wheeled Vehicle, 7th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice
- [10] Suján, V., Dubowsky, S.: An Optimal Information Method for Mobile Manipulator Dynamic Parameter Identification, IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, June 2003
- [11] Skařupa, J.: Metodiky konstruování, Vysoká škola báňská v Ostravě, Ostrava 1993, ISBN 80–7078–167–x
- [12] Kolíbal, Z.Vyšín, M... : Výstavba modelového modulárního bezobslužného výrobního systému pro výrobu a diskretní montáž. Výzkumná zpráva – projekt: Automatická manipulace v technologických pracovištích a ve výrobních systémech (robotizace a výrobní logistika), datum vydání zprávy: 8.12.2003, Brno, VUT Brno – FSI – ÚVSSaR, VCSVTT , ČVUT Praha 2003
- [13] Neufert, E.: Navrhování staveb, Nakladatelství Consultinvest Praha 2000, druhé vydání, ISBN 80–901486–6–6
- [14] Vyšín, M.: Multikriteriální vyhodnocení hybridních lokomočních ústrojí, interní výzkumná zpráva, ÚVSSaR FSI VUT v Brně, 2005
- [15] Jeřábek, J.: Stroje pro zemní práce a silniční stroje, SNTL Praha 1997
- [16] Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel, 2. vyd., Brno 2003, ISBN 80–239–0024–2

- [17] Vala, M., Tesař, M.: Teorie a konstrukce silničních vozidel I, 1.vyd., Univerzita Pardubice, ISBN 80-7194-503-X
- [18] Kratochvíl, C., Slavík, J.: Mechanika těles - Dynamika, Učební texty VUT v Brně, 1997
- [19] Slattengren, J.: Predicting tracked vehicle performance, MSC. ADAMS User Conference, USA 2002
- [20] Mostýn, V., Skařupa, J.: Metody modelování mechatronických systémů, seminář servisní robotika, Ostrava Česká republika, 19. listopadu 2003, ISBN 80-248-0494-8
- [21] Szabó, I., Singule, V., Opluštil, V., Král, R.: Autonomous mobile robot with multiprocessor control systém. 7th International Workshop on Advanced Motion Control, AMC 2002. 3.7.2002-5.7.2002 Maribor, Slovenia. ISBN: 0-7803-7479-7
- [22] Szabó, I., Opluštil, V.: Distributed CAN Based Control System for Robotic and Airborne Applications. 7th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2002. 2.12.2002-5.12.2002 Singapore, Singapore. ISBN: 981-04-7480-6
- [23] Singule, V., Szabó, I.: Multiprocessor control system for autonomous mobile robot. 3rd International Conference on Advanced Engineering Design, AED 2003. 1.6.2003-4.6.2003 Praha. ISBN: 80-86059-35-9.
- [24] Szabó, Š.: Řízení mobilního robotu s využitím metod umělé inteligence, Pojednání ke státní doktorské zkoušce, VUT Brno 2003
- [25] Vyšín, M.: Pásový podvozek mobilního robotu VUTBOT 3, Diplomová práce, VUT Brno, FSI ÚVSSaR, 2002
- [26] Chvatík, L.: Modelování kinematických charakteristik nápravy McPherson, Diplomová práce, Brno 1997
- [27] Fong, T.: Collaborative Control: A Robot-Centric Model for Vehicle Teleoperation, Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, November 2001, The Robotics Institute Carnegie Mellon University 5000 Forbes Avenue Pittsburgh, Pennsylvania 15213
- [28] Tolnay, M., Červeňan, A., Šunderlík, R.: Systémový přístup k řešení lokomočního subsystému servisního robota, Seminář servisní robotika, Ostrava Česká republika, 19. listopad 2003, ISBN: 80-248-0494-8
- [29] Orvis, W.: Excel pro vědce a inženýry, Vydavatelství s nakladatelství Computer Press, Praha 1996, ISBN: 80-85896-49-4
- [30] Porteš, P., Slavata, P.: ADAMS- stručný přehled příkazů, Návod ke kurzu výpočtové metody ve stavbě motorových vozidel, Brno 1995
- [31] Documentation and Help MAS.ADAMS2005
Dostupná z: <http://www.vutbr.cz/>

AUTOROVY PUBLIKACE SOUVISEJÍCÍ S DISERTAČNÍ PRACÍ

Vyšín, M.: Hybrid Locomotion Mechanism of Mobile Robot, 7TH International Research/Expert Conference, Trends in the Development of Machinery and Associated Technology TMT 2003, Lloret de Mar, Barcelona, Spain, 15. - 16. September, 2003, ISBN: 9958-617-18-8

Vyšín, M.: Mobilní robot VUTBOT 2, I. Konference PhD studentů konstrukčních oborů s mezinárodní účastí PhD 2003, Srní, 10. - 12. listopadu 2003, ISBN: 80-7043-246-2

Vyšín, M., Knoflíček, R., Szabó, Š.: Koncepce mechanické konstrukce mobilního robotu VUTBOT 2, Seminář servisní robotika, Ostrava Česká republika, 19. listopad 2003, ISBN 80-248-0494-8

Szabó, Š., Vyšín, M.: Hybridní robot SENTINEL, I. Seminář servisní robotika, Ostrava Česká republika, 19. listopad 2003, ISBN: 80-248-0494-8

Vyšín, M., Knoflíček, R.: The Hybrid Mobile Robot, International Conference on Industrial Technology IEEE ICIT 2003, Maribor, Slovenia, 10. - 12. December 2003, ISBN: 0-7803-7853-9

Vyšín, M.: Hybrid architectures of mobile robots, Engineering mechanics 2004, 10. - 13. May 2004, ISBN: 80-85918-88-9

Vyšín, M.: The mobile robot with hybrid locomotion mechanism, 2nd International PhD Conference of Mechanical Engineering - PhD 2004, Srní, 8. - 8. November 2004, ISBN: 80-7043-330-2

Knoflíček, R., Szabó, I., Vyšín, M.: Multiprocessor control system for mobile robot, Engineering Mechanics 2005, 9. - 12.5.2005, Svratka, ISBN: 80-85918-93-5

Vyšín, M.: Undercarriage of hybrid robot, International Scientific Conference 55th anniversary of foundation of the Faculty of Mechanical Engineering, Ostrava, 7-9 September 2005, ISBN 80-248-0905-2

CURRICULUM VITAE

Osobní údaje:

Jméno: **Martin Vyšín, Ing.**
Datum Narození: 13.6.1979
Bydliště: 1. Máje 296 Náchod
Email: vysin@uvss.fme.vutbr.cz

Dosažené Vzdělání:

Od 2002 **Doktorské studium**
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství,
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Obor: Průmyslové roboty a manipulátory

1997–2002 **Vysoké učení technické v Brně**, Fakulta strojního inženýrství,
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství,
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Obor: Průmyslové roboty a manipulátory

1997–2002 **Střední průmyslová škola v Novém městě nad Metují**
Obor: Automatizace

Zahraniční stáže:

2001 (1 semestr) TU Chemnitz, Německo

Jazykové znalosti:

Němčina dobře
Angličtina základy

Účast na projektech:

- Autonomní mobilní robot VUTBOT 2, pro účely automatické manipulace a mezioperační dopravy mezi technologickými pracovišti výrobní soustavy v rámci výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii.
- Návrh konstrukce křížového stolu pro bezkontaktní měření rozměrů sít.
- Studijní opory do kurzu Hydraulické a pneumatické mechanismy.

Ostatní:

- Řidičský průkaz A, B, C, T
- AutoCAD, Pro/ENGINEER, základy: Adams, SolidWorks, Ansys, Visual Basic

ABSTRAKT

V dnešní době nacházejí mobilní roboty uplatnění v řadě aplikací, ve kterých tyto zařízení dříve nebylo možné použít zejména pro jejich nedostatek, nevyhovující spolehlivost a velkou pořizovací cenu konstrukčních prvků jako jsou pohony, senzory a elektronika. Nové konstrukce mobilních robotů, které umožňují člověku objevovat nová místa nebo jej zastupují při nebezpečné a namáhavé práci, nacházejí stále větší a častější uplatnění.

Předmětem této disertační práce je návrh nové konstrukce lokomočního ústrojí mobilního robotu a ověření jeho funkčnosti počítačovou simulací.

Práce obsahuje rozdělení mobilních robotů podle několika kritérií a přehled hybridních robotů vyvinutých nebo vyrobených v současné době. Dále analyzuje možné aplikace a prostředí, ve kterém se bude mobilní robot pohybovat, aby bylo možné optimalizovat lokomoční ústrojí na vybranou aplikaci a cílové prostředí. Následuje nalezení tří nových konstrukcí lokomočních ústrojí pomocí morfologické analýzy. Tyto tři nové návrhy byly ohodnoceny multikriteriální bodovací metodou s cílem vybrat nejlepší variantu (konstrukce s nejvyšší technickou hodnotou). Pro porovnání nových návrhů lokomočních ústrojí a robotů, které jsou již detailně propracovány a jejich vlastnosti jsou již zjištěny praxí, byly zahrnuty do morfologické analýzy a multikriteriální bodovací metody dvě existující konstrukce hybridních robotů.

V programu Pro/ENGINEER byl vytvořen počítačový 3D model kolo–pásového hybridního lokomočního ústrojí mobilního robotu včetně základního příslušenství jako jsou např. akumulátory a elektronika. Pohony byly navrženy pro normální provozní podmínky a zkontrolovány pro zhoršené provozní podmínky a překonávání vybraných překážek.

Aby bylo možné zjistit lokomoční možnosti nově navržené hybridní konstrukce aniž by bylo nutné postavit prototyp hybridního robotu, byl použit simulační program ADAMS. ADAMS je programový systém, kterým lze řešit mechanické systémy vytvořené jako soustava tuhých nebo pružných těles navzájem spojených kinematickými dvojicemi a obsahující dále nehmotné silové prvky. V ADAMSU byl nejdříve sestaven výpočtový model mobilního robotu VUTBOTU 2, který byl testován při přejíždění čtyř překážek. Na stejných překážkách byl testován i reálný mobilní robot VUTBOT 2. Pomocí digitálního osciloskopu byly měřeny průběhy napájecích proudů hnacích motorů, které je možné pomocí momentové konstanty přepočítat na průběhy hnacích momentů. Průběhy hnacích momentů ze simulace byly porovnány s výsledky experimentu a můžeme konstatovat, že výsledky obou metod jsou velmi podobné a počítačový simulační program ADAMS je vhodný pro ověřování kinematických a dynamických vlastností lokomočních ústrojí mobilních robotů. Popsaným postupem byl vytvořen a simulován výpočtový model navrženého hybridního lokomočního ústrojí. Přejíždění nízkých překážek bylo simulováno samostatně pro pásové i kolové lokomoční ústrojí. Hybridní lokomoční ústrojí bylo simulováno při překonávání větších výškových překážek (100, 150 a 200 mm). V obou případech byly měřeny hnací momenty potřebné pro překonání překážky. Provedené simulace ověřily vhodnost navržené hybridní konstrukce a navržených motorů. V závěru této práce jsou vypsány v několika bodech obecná doporučení pro simulování chování mobilních robotů.

V následující kapitole jsou výsledky simulace použity pro výpočet energetické náročnosti hybridního robotu na vybrané úloze, kdy robot musí prověřit potenciálně nebezpečný předmět v restauraci Q v areálu Fakulty strojního inženýrství.

Tato disertační práce může sloužit jako podklad při navrhování nových konstrukcí mobilních robotů a zjišťování jejich lokomočních vlastností počítačovou simulací.