

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

MONITOROVÁNÍ HAZARDNÍHO PROSTŘEDÍ

MONITORING OF DANGEROUS AREA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. et Bc. MARTIN BILÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Bilík

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

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

Monitorování hazardního prostředí

v anglickém jazyce:

Monitoring of hazardous environment

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je koncipována na monitoring vybraných fyzikálních veličin v neradioaktivním prostředí jaderné elektrárny Temelín.

Rešerše možností monitorování vybraných fyzikálních veličin.

Rešerše možností překonávání překážek ve známém prostředí.

Návrh koncepce mobilního monitorovacího zařízení pro vybraná nebezpečí ve známém hazardním neradioaktivním prostředí.

Cíle diplomové práce:

Rešerše možností monitorování vybraných fyzikálních veličin.

Rešerše mobilních průmyslových robotů a manipulátorů.

Rešerše možností překonávání překážek ve známém prostředí

Návrh koncepce mobilního monitorovacího zařízení.

Seznam odborné literatury:

www.infozdroje.cz

[www stránky výrobců senzorů](#)

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 23.11.2010



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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Diplomová práce Monitorování hazardního prostředí se zabývá možnostmi návrhu monitorovacího zařízení pro Jadernou elektrárnu Temelín. V úvodní části práce je provedeno přesné vydefinování požadavků na monitorovací zařízení, zjištění jednotlivých rizik a překážek a možností jejich překonávání. Dále je proveden popis základních možností pro měření teploty a monitorování prostředí. Pomocí multikriteriální analýzy je proveden také výběr jednotlivých komponent, ze kterých je možné sestavit první vývojovou verzi monitorovacího zařízení. V programovém prostředí Autodesk Inventor byly vytvořeny 3D modely jednotlivých komponent a také celková vizualizace návrhu zařízení. V závěru je uveden přehled finančních nákladů na sestavení zařízení.

Abstract

Diploma thesis Monitoring of hazardous environment deals with possibilities of construction of monitoring device for the nuclear power station Temelín. In the first part are accurate requirements for monitoring device, individual risks and identify obstacles and opportunities how to overcome them. There is also description of basic options for measuring temperature and environmental monitoring. Using multi-criteria analysis was done the selection of all components, from which is possibility to construct the first development release of monitoring device. 3D models for each component and the overall design visualization facilities were created in the programming environment of Autodesk Inventor. The conclusion provides an overview of the financial cost of the equipment is assembled.

Klíčová slova

Bezkontaktní měření, dosah, kamera, překážka, přenos, pyrometr, nebezpečí, teplota, těžiště.

Keywords

Contactless measuring, range, camera, obstacle, transmission, pyrometer, danger, temperature, center of gravity.

Bibliografická citace

BILÍK, M. *Monitorování hazardního prostředí*. Brno: Fakulta strojního inženýrství, 2011. 59 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Monitorování hazardního prostředí zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis diplomanta

Poděkování

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval panu doc. Ing. Petru Blechovi, PhD. za odborné konzultace, rady a připomínky při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za jejich podporu při studích.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

OBSAH

OBSAH	8
1 ÚVOD	10
2 SPECIFIKACE POŽADAVKŮ NA MOBILNÍ MONITOROVACÍ ZAŘÍZENÍ	11
2.1 Analýza prostředí.....	11
2.2 Specifikace možných nebezpečí	14
2.3 Další požadavky	14
2.4 Konstrukční přístupy	16
2.4.1 Vývoj speciálního zařízení	16
2.4.2 Sestavení z komponent dostupných na trhu	17
2.4.3 Výběr vhodné konstrukčního přístupu	17
2.5 Požadavky na pohybové ústrojí.....	18
2.5.1 Kráčedlo.....	18
2.5.2 Pásové vozidlo.....	19
2.5.3 Kolové vozidlo.....	20
2.5.4 Výběr optimální varianty	22
3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH MONITOROVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	26
3.1 Podvozek.....	27
3.2 Nástavba	28
4 NÁVRH SENZORICKÉHO VYBAVENÍ	29
4.1 Monitorování teploty	29
4.1.1 Měření teploty a tepelného množství	29
4.1.2 Použití termokamery	32
4.2 Snímání obrazu	33
4.2.1 Stacionární kamera.....	33
4.2.2 Natáčecí kamera.....	35
4.3 Snímání zvuku.....	35
4.4 Video komunikace	36
4.5 Další měřicí zařízení.....	36
5 NÁVRH ZDROJŮ ENERGIE	37

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5.1	Zdroj energie pro pohyb zařízení	37
5.2	Zdroj energie pro senzorické vybavení	38
6	NÁVRH FUNKČNÍHO USPOŘÁDÁNÍ.....	39
6.1	Experimentální stanovení těžiště podvozku.....	40
6.2	Vytvoření 3D modelů, výpočet těžiště komponent	41
6.2.1	<i>Baterie</i>	<i>42</i>
6.2.2	<i>Stacionární kamera.....</i>	<i>42</i>
6.2.3	<i>Otočná kamera</i>	<i>43</i>
6.2.4	<i>Pyrometr</i>	<i>44</i>
6.2.5	<i>Naklápací zařízení pro hlavici pyrometru</i>	<i>45</i>
6.3	Návrh platformy nástavby	45
6.4	Návrh rozmístění	46
6.5	Ověření stability	48
7	OVLÁDÁNÍ	49
8	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	51
9	ZÁVĚR.....	53
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	57
12	SEZNAM PŘÍLOH	58

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 ÚVOD

Hazardním prostředím je myšleno obecně prostředí, ve kterém hrozí lidem nějaké zvýšené riziko. Toto riziko nejčastěji znamená například možnost poranění, či v nejhorším případě smrti. Takovým prostředím mohou tedy být například prostory budov, které mají poškozenou statiku, bitevní prostory, zamořené oblasti atd.

Pro člověka je tedy pohyb v těchto oblastech velmi riskantní, či zcela nemožný. Mnohdy ale existují potřeby se do takových prostor dostat a zjistit co přesně se v nich odehrává. Je tedy potřeba zajistit monitorování těchto prostor. Nebezpečí, které tyto prostory představují pro člověka, nemusejí být totožná s nebezpečími, které hrozí v těchto prostředích strojům a zařízením. Nejčastěji se jedná o stísněné prostory, vysoké teploty a výskyt životu nebezpečných látek. Všechny tyto překážky lze překonat vhodným návrhem mobilního monitorovacího zařízení.

Obdobná zařízení již existují, jejich nejčastější využití však bývá pro záchranné práce – například robot Orfeus sestavený na VUT v Brně. Další velmi časté využití je ve vojenské oblasti – špionážní zařízení, pro lokalizaci a případnou likvidaci nepřítele, či zařízení pro vyhledávání a zneškodňování min. Většina těchto zařízení, je ale úzce specializovaná na daný typ hazardního prostředí a nelze je používat univerzálně. Například ve výrobní továrně, kde hrozí možné úniky stlačených médií při poškození potrubí (páry, vzduchu, oleje a vody), je potřeba použít zařízení, které je dostatečně odolné, ale má také vhodné rozměry. Důvodem je skutečnost, že před samotnou opravou místa poškození být toto místo přesně lokalizováno. Pokud totiž známe jeho pozici, je možné se k němu přiblížit ze správného směru a snížit tak riziko úrazu. K lokalizování místa poruchy by pak právě mělo složit mobilní monitorovací zařízení, které zjistí požadované hodnoty místo člověka.

Tato práce se tedy zabývá návrhem takového zařízení, konkrétně pro Jadernou elektrárnu Temelín, od které vznikl námět na zadání tématu této diplomové práce. V úvodní části je provedena analýza hazardního prostředí v Jaderné elektrárně Temelín, ve kterém je uvažován pohyb monitorovacího zařízení. Dále je uvedena specifikace požadavků na konstruované mobilní monitorovací zařízení.

Další kapitoly jsou zaměřeny na možnosti monitorování jednotlivých fyzikálních veličin pomocí různých metod a jejich srovnání. V posledních kapitolách je proveden možný návrh monitorovacího zařízení, včetně vizualizace. V předposlední kapitole je také provedeno finanční zhodnocení pro sestavení navrhovaného mobilního monitorovacího zařízení.

2 SPECIFIKACE POŽADAVKŮ NA MOBILNÍ MONITOROVACÍ ZAŘÍZENÍ

Hlavním úkolem této práce je vytvoření koncepce zařízení pro monitorování vybraných fyzikálních veličin v neradioaktivním prostředí Jaderné elektrárny Temelín (JETE). Pro správné navržení mobilního monitorovacího zařízení je nutné si nejprve upřesnit parametry prostředí, ve kterém se má monitorovací zařízení pohybovat. Proto byla provedena osobní návštěva v JETE, pro kterou je návrh monitorovacího zařízení vytvářen. Výsledkem této návštěvy, byl přesný popis prostor pro monitorování. Na základě tohoto popisu, je pak možné navrhovat vhodné zařízení.

V první řadě musí být provedena specifikace prostředí především z pohledu rozměrů a překážek, které je nutné překonat. V dalším kroku je pak možné provést rešerši možností monitorování vybraných fyzikálních veličin. Následně je možné provést celý návrh koncepce mobilního monitorovacího zařízení, které bude schopno snášet vybraná nebezpečí ve známém hazardním neradioaktivním prostředí.

Nejprve je ale nutné, důkladně zanalyzovat hazardní prostředí v JETE.



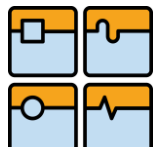
Obr. 1: Letecký snímek jaderné elektrárny Temelín¹ [1]

2.1 ANALÝZA PROSTŘEDÍ

Analýza povrchů, po kterých se bude monitorovací zařízení pohybovat

Po osobní návštěvě v Jaderné elektrárně (JE) Temelín, dne 22. 10. 2010, a prohlídce uvažovaných prostor, lze konstatovat následující: zařízení se bude vždy

¹ www.atlas-cs.logis.cz

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

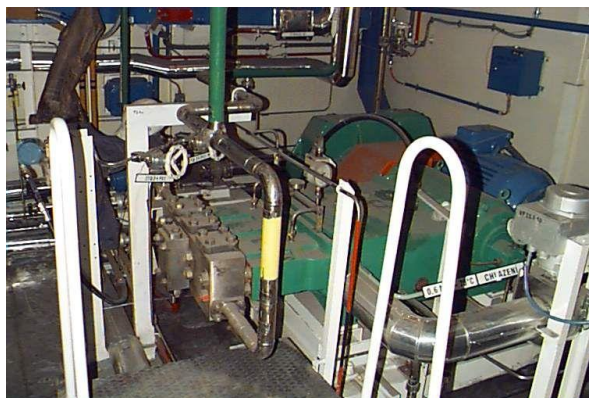
pohybovat jen po zpevněných površích. Nejčastěji vyskytující se povrchem je hlazený betonu, dále jsou velmi často použity pochozí plechy. Variantu pohybu zařízení po nezpevněném povrchu je teoreticky možné zcela vyloučit.



Obr. 2: Turbína a její okolí v JETE² [2]

Terénní profil

V absolutní většině případů se jedná o rovné podlahy na jednotlivých patrech v bloku elektrárny. Nerovnosti na podlahách jsou řádově v milimetrech a netvoří významnější překážky. Jednotlivá patra bloku jsou propojena výtahy, které je možno případně využít pro přesun mezi patry. Další možností, pro přesun mezi patry, je využití schodišť. Pokud se na jednotlivých patrech vyskytují schody, jsou ve většině případů vysoké do 15 centimetrů.



Obr. 3: Potrubní vedení v JETE³ [2]

Maximální průjezdový profil

Obecně není možné průjezdovou výšku ani šířku přesně stanovit. V prostorech, kde je uvažován pohyb zařízení, se vyskytují trubkové, či kabelové vedení v různých výškách a pozicích. Bylo by tedy nutné je všechny přesně zaměřit. Minimální hodnoty by pak odpovídaly maximálním průjezdovým rozměrům. Je však jasné, že čím nižší a

² Zdroj: JETE

³ Zdroj: JETE

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

užší zařízení bude, tím lepší bude ovladatelnost a manévrovatelnost. Z prohlídky prostor vyplynulo, že ideální výška celého zařízení bude do 35 centimetrů. Šířka zařízení je omezena „uličkami“ a rozestupy jednotlivých vedení. Na základě subjektivního odhadu lze konstatovat, že celková šířka zařízení menší než 50 centimetrů bude vyhovovat.



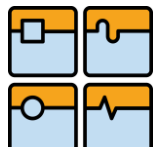
Obr. 4: Ukázka prostor pro monitorování⁴ [2]

Použité stavební materiály a tloušťky

Jedná se o vnitřní prostory bloku elektrárny, tzn. uvnitř železobetonové stavby. Vertikálně jsou prostory rozděleny podlahami jednotlivých pater (železobeton, nebo plech), skrz které vede velké množství kabelů a potrubí.

Při prohlídce místa, vznikl první požadavek na zařízení - možnost ovládat zařízení na dálku přibližně 15 až 20 metrů (pro „první generaci“ zařízení), která už by měla být pro bezpečí obsluhy dostatečná. Jelikož jsou soustavy vedení mnohdy velmi husté a tím pádem téměř neprůhledné, byl specifikován další požadavek na zařízení - vybavit zařízení kamerovým systémem, aby bylo možné manévrovat a navádět monitorovací zařízení na požadovaná místa.

⁴ Zdroj: JETE

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.2 SPECIFIKACE MOŽNÝCH NEBEZPEČÍ

Největším nebezpečím, které celému zařízení v daných prostorech při vykonávání zamýšlené činnosti hrozí, je „zásah“ horkou párou. To znamená nejen teplotu okolo 300 °C, ale také riziko vlhkosti. Je tedy nutné vyřešit otázku ochrany a odolnosti celého monitorovacího zařízení především vůči těmto dvěma vlivům, například pomocí návrhu vhodného zakrytování zařízení. Dalším možným rizikem, pro běžný provoz zařízení, je pád celého zařízení z jednotlivých pater, či schodišť.

Budeme-li uvažovat i situaci vážnější poruchy a závady, vyskytne se nebezpečí zásahu zařízení elektrickým proudem.



Obr. 5: Ukázka poruchy potrubí s únikem páry⁵ [2]

2.3 DALŠÍ POŽADAVKY

Snímané veličiny

Zařízení by v prvotní fázi mělo být schopno monitorovat úniky na parních vedeních. Tím pádem je nutné, aby byla možnost snímat teplotu. Z hlediska bezpečnosti zařízení je nutné měřit nejen teplotu samotného vedení, ale také teplotu v nejbližším okolí samotného monitorovacího zařízení. Pro možnost lepší lokalizace závady na potrubí by bylo vhodné snímat také obraz a zvuk.

⁵ Zdroj: JETE

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Měření teploty na potrubí musí být prováděno ideálně dálkově a bezkontaktně. Pro měření teploty v okolí zařízení je možné použít kontaktní čidlo, nebo teplotní spínač, který bude varovat o případné nadlimitní pro zařízení již nebezpečné teplotě. Pro možnost přesnějšího zaměření bezkontaktním teploměrem je nutné monitorovací zařízení osadit kamerou s možností zoomu. Kamery, které se v současnosti vyskytují na trhu umožňují také snímání zvuku. Pro přesné zaměření teploměru bude také vhodné použití tzv. laserového kříže.

Požadovaná výdrž a dosah

Jak bylo již napsáno dříve v kapitole 2.1. , minimální požadovaný dosah zařízení je 15 metrů. Z hlediska výdrže nebyly zadány žádné požadavky. Výsledná výdrž se bude odvíjet především od kapacity akumulátorů či baterií a počtu odebírajících zařízení.

Bezdrátový přenos informací a dat

Tato možnost se naskytuje a je víceméně ideální, není však pro první vývojovou generaci zařízení požadována. Varianta provedení, kdy si zařízení za sebou „potáhne“ spojovací kabel je pro tento případ méně výhodná. Především kvůli členitosti celého prostoru se vyskytuje vyšší riziko, že se kabel někde zachytí. Další nevýhodou použití kabelu je jeho třecí odpor, u kterého je reálné (především u větších vzdáleností), že přesáhne tažné možnosti celého zařízení a celé zařízení uvízne. Nicméně výhodou kabelového přenosu dat je určitá jistota úspěšného přenosu dat. Pro bezdrátový přenos dat je nutné správně dimenzovat přenosovou soustavu.

Přídavné zdroje světla

V prostorech, které byly v rámci návštěvy v JETE navštíveny, se nachází dostatek světla pro navigování a pohyb zařízení. Nicméně osazení zařízení například vysoce svítivými LED diodami by bylo vhodné, nikoliv však nutné. Přidání světelných zdrojů, by zajistě zvýšilo komfort jak samotného pohybu zařízení, tak především měření v temnějších prostorech.

Celkové rozměry a zatížení

Předem bohužel není možné specifikovat, kolik bude celé zařízení vážit. Kvůli komfortu práce s celým zařízením a jeho přenositelnosti je vhodné, aby byla hmotnost a rozměry zařízení byly co možná nejnížší. Ideální výsledkem je stav, kdy pracovník je schopen bez větších obtíží celé zařízení přinést do prostoru, kde je nutné monitorování provádět, tam zařízení vypustit a provést vlastní monitorování.

2.4 KONSTRUKČNÍ PŘÍSTUPY

Z pohledu zadání, je cílem sestavit jedinečné zařízení, které bude plnit požadované funkce. Lze však předpokládat, že se ve finále bude jednat o jediné, případně několik málo kusů navrhovaného zařízení. V zásadě se tedy vyskytují dvě základní možnosti jak sestavit požadované monitorovací zařízení. První možností je vývoj zcela speciálního jednoúčelového zařízení s výskytem většího počtu unikátních komponent, druhou variantou je sestavit zařízení z komponent běžně dostupných na trhu. V následující části porovnam oba možné přístupy k vyřešení problému.

2.4.1 Vývoj speciálního zařízení

Nespornou výhodou tohoto přístupu je výsledek, kdy zařízení bude zcela přesně odpovídat účelu, pro který mělo být vytvořeno. Ovšem z hlediska případné poruchy či závady na zařízení je zde vysoké riziko, že právě poškozená komponenta bude jedinečná a nenahraditelná. Tím bude její výměna jak časově, tak třeba i finančně nákladná. Předejít takové situaci by se ovšem dalo vytvořením dostatečných zásob náhradních dílů. Toto by ale mělo za následek vyšší cenu celého zařízení. Z časového hlediska je tato varianta také náročnější, protože je nutno vše vymyslet, navrhnout a vytvořit do „posledního šroubku.“



Obr. 6: Zařízení pro práci v nebezpečném prostředí⁶ [3]

⁶ www.lastampa.com

2.4.2 Sestavení z komponent dostupných na trhu

Cílem tohoto postupu je využít co nejvíce prvků běžně dostupných na trhu a celé zařízení pojmout formou jakési stavebnice. V případě poruchy tedy bude možné jednotlivé celky či komponenty nahradit totožnými nebo podobnými výrobky. Tím pádem bude omezen jak počet jedinečných součástí, tak nutnost vytvářet velké skladové zásoby náhradních dílů pro provoz zařízení. Hlavní představou je rozdělit monitorovací zařízení na tři základní, na sobě co možná nejméně závislé části: část zabezpečující pohyb celého zařízení, část zabezpečující monitorování a část zabezpečující přenos dat. Bude tedy „pouze“ nutné vyřešit co nejuniverzálnější propojení a spojení těchto částí.

2.4.3 Výběr vhodné konstrukčního přístupu

Pro výběr vhodné varianty se nabízí jako ideální možnost provedení multikriteriální analýzy. V následující tabulce je tedy proveden výběr pomocí této analýzy. Hodnocení jednotlivých kritérií je provedeno subjektivně (subjektivním hodnotitelem je autor této práce) za použití bodové stupnice 0 – 10 bodů, kdy 0 bodů znamená, že daný způsob je pro určité kritérium zcela nevhodný. Naopak 10 bodů znamená, že daný způsob je zcela ideální. Vítěznou variantou je tedy ta varianta, která obdrží v součtu více bodů.

Tabulka 1: Multikriteriální analýza možnosti sestavení

Varianta / kritérium	splnění požadavků	časová náročnost	finanční náročnost	možnost následných úprav	rychlost případné opravy	dostupnost komponent	zaměnitelnost komponent	nutnost skladových zásob	počet unikátních komponent	Součet
vývoj celého zařízení	10	6	4	7	3	4	2	5	3	44
sestavení z komponent	8	7	5	6	5	7	8	7	8	61

Z hlediska splnění a vhodnosti pro jednotlivé požadavky se tedy jeví jako výhodnější varianta sestavení mobilního monitorovacího z co nejvíce komponent dostupných na trhu. Pro návrh monitorovacího zařízení bude tedy varianta zvolena.

V následující části bude proveden popis a porovnání základních možností pro sestavení a vytvoření jednotlivých částí celého zařízení.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.5 POŽADAVKY NA POHYBOVÉ ÚSTROJÍ

V daném prostoru existují dvě základní možnosti, jak se může monitorovací zařízení pohybovat, a to po zemi a ve vzduchu. Variantu pohybu zařízení vzduchem si dovoluji na základě značných nevýhod zavrhnout. Hlavním důvodem pro zamítnutí je skutečnost, že by výsledné zařízení fungovalo na principu vrtulníku, který je obecně velmi náročné ovládat. I kdyby se podařilo pracovníky, obsluhující zařízení, dostatečně vyškolit a zaučit, tak manévrování v daných prostorech by bylo na velmi obtížné až téměř nemožné. Další nevýhodou jsou poměrně velké rozměry zařízení, při požadavku schopnosti unést další části. Z těchto důvodů si dovoluji variantu pohybu vzduchem zamítnout, ačkoliv by byl případný výsledek jistě nejen technicky velmi zajímavý.



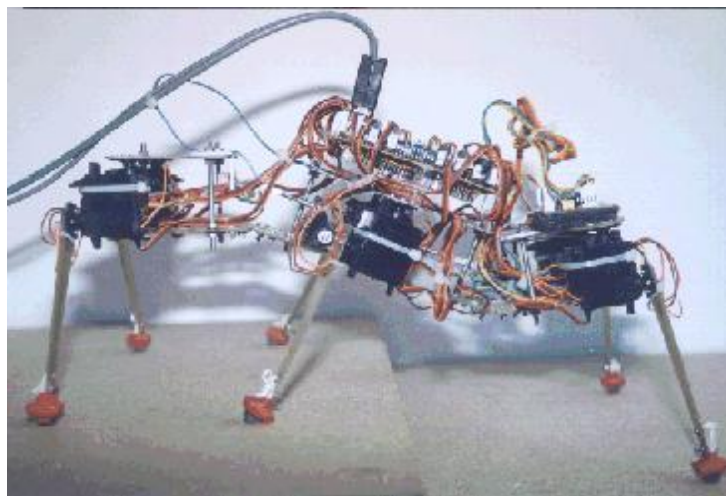
Obr. 7: Model vrtulníku⁷ [4]

Varianta pohybu zařízení po zemi je nejen běžnější, snáze ovladatelná a přirozenější, ale existuje také více komponent a možností jak pohyb celého zařízení vyvodit: pásové vozidlo, kolové vozidlo a „kráčedlo“.

2.5.1 Kráčedlo

Tento způsob je nejvhodnější z hlediska překonávání větších terénních překážek, za které v našem případě lze považovat schody, schodiště či trubky vedoucí těsně nad zemí. Tato varianta je hojně využívána například u stavebních strojů, které pracují v obtížných terénech a náročných podmínkách. Přes uvedené výhody však převažují následující nevýhody: složité ovládání - je potřeba synchronizovat všechny „nohy“, případně je ovládat jednotlivě. Dále rychlost pohybu celého zařízení nelze očekávat nijak vysokou. V případě náhlého rizika ohrožujícího zařízení, například vysoké teploty, by tedy byl dostatečně rychlý „únik“ před zničením či poškozením zařízení jen velmi málo reálný. Další nevýhodou je menší počet použitelných komponent.

⁷ www.rcguru.cz



Obr. 8: Kráčivý robot⁸ [5]

2.5.2 Pásové vozidlo

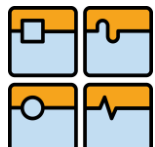
Varianta pásového vozidla je u obdobných zařízení (nejrůznější vojenská či záchranná průzkumná zařízení) poměrně běžná a hojně využívaná. Toto provedení při vhodně zvolených rozměrech disponuje také poměrně dobrou schopností překonávat, či pohybovat se po schodech a dalších překážkách.

Tato varianta by mohla být ideální i z pohledu celkové výšky zařízení při vhodném uspořádání - například při umístění velkých pásů na bocích a měřících a přenosových zařízeních uprostřed zařízení. Bohužel drtivá většina takových zařízení jsou jednoúčelové a speciálně vyvinuté stroje s vysokou pořizovací hodnotou.



Obr. 9: Robot pro hledání a zneškodňování bomb⁹ [6]

⁸ www.robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Také obvyklé rozměry těchto zařízení jsou větší, než je pro tento případ přípustné. V současné chvíli se tedy bohužel na trhu nevyskytuje žádné zařízení vhodných rozměrů, které by poskytovalo základ pro tvorbu navrhovaného monitorovacího zařízení. Na trhu rádiem řízených modelů se sice vyskytují modely tanků a bagrů, které by bylo možné využít, ale pro zamýšlené účely jsou tyto příliš malé. Jejich užitečné zatížení by odhadem dostačovalo pouze na nejjednodušší kamery, přídatné baterie či akumulátory a velmi jednoduché měřicí přístroje. Výsledné vlastnosti by tak nejspíše nedostačovaly požadavkům.

Dalším problémem je také řízení. Uvážíme-li variantu dálkového ovládání pomocí programu s pamětí posloupnosti provedených kroků a příkazů, je výsledek jejich zpětného provedení pro „ústup“ v případě ohrožení, značně nejistý. Pásová vozidla se totiž řídí smykem, který je jen velmi těžko zopakovatelný, natož ve zpětném provedení. Prosté zpětné vykonání všech povelů by s největší pravděpodobností nezpůsobilo požadovaný ústup do bezpečnějších prostor. Z výše uvedených důvodů by volba pásového vozidla nemusela být zcela ideální.

2.5.3 Kolové vozidlo

Pohyb pomocí kol je nejznámější, nejběžnější a v praxi nejvíce využívanou variantou pro přesun z místa na místo. I když z hlediska překonávání například schodů nemá tak ideální vlastnosti jako předešlé způsoby. Tento nedostatek je však možno překonat například zvolením správné velikosti rozměrů kol. Výhodou je však vyšší dosažitelná rychlost, poměrně dobrá prostupnost terénem, možnost pohonu dvou či více kol, poměrně dobrá manévrovatelnost atd. Dalším plusem je široká škála produktů na trhu s RC modely, které se jeví jako vhodný základ pro pohybovou část zařízení. Trh poskytuje nejrůznější provedení modelů automobilů jak silničních, tak terénních či závodních speciálů. Modely se také vyrábějí v různých měřítkách - je tedy možné vybrat optimální velikost.



Obr. 10: RC model offroad automobilu - crawleru¹⁰ [7]

Pohonné jednotky modelů se vyskytují jak spalovací tak elektrické. Z důvodu možné regulace je vhodné zvolit elektrickou pohonnou jednotku, tedy elektromotor. Motory se mezi sebou dají vyměňovat - je tedy možné vybrat motor disponující dostatečným výkonem. Obecně je možné zaměnit i elektromotor za spalovací, ovšem za cenu dalších úprav – chybějící prostor pro regulátor a baterie atd. Co se provedení samotného modelu týká, z hlediska výškového, by bylo ideální použít jako výchozí silniční model. Byla by však relativně nízká schopnost překonávat i menší překážky - obyčejný 1,5 cm vysoký práh už by mohl být výrazným problémem. Tyto modely totiž obvykle nedisponují vysokou světlou výškou. Naopak modely terénních závodních speciálů mají výbornou světlou výšku, ovšem na úkor prostoru, který je možné využít pro další zařízení. Podle oslovených prodejců a dovozců se nabízí také možnost nechat postavit model na zakázku, jako nevýhody však lze zmínit vyšší pořizovací cenu a nedostupnost náhradních komponent.



¹⁰ www.rcauto.cz

Obr. 11: RC model silničního vozidla¹¹ [8]

2.5.4 Výběr optimální varianty

I v tomto případě se pro výběr vhodné varianty opět nabízí využití multikriteriální analýzy. Také v tomto případě je použito subjektivní hodnocení s bodovou stupnicí 0 bodů (nevhodné) až 10 bodů (maximálně vhodné). Bylo stanoveno devět kritérií, podle kterých byla vybírána nejvhodnější varianta.

Tabulka 2: Výběr varianty

Varianta / kritérium	složitost ovládání	rychlost pohybu + manévrovatelnost	finanční náročnost	možnost užitečného zatížení	počet dostupných variant	schopnost překonávat překážky	rozměry	robustnost zařízení	možnost úprav	Součet
vtulník	5	9	4	2	6	8	3	4	3	44
kráčedlo	5	4	4	6	3	9	6	8	4	49
pásové vozítko	6	7	6	7	4	8	7	9	5	59
kolové vozítko - silniční	8	7	9	5	9	3	5	5	5	56
kolové vozítko - crawler	8	5	5	9	6	9	6	9	6	63
kolové vozítko - offroad	8	9	7	8	7	7	7	8	7	68

Z provedeného srovnání možností tedy vychází jako nepřijatelnější - model offroad vozidla disponující pohonem všech čtyř kol a dostatečnou světlou výškou. Výrobci nabízejí několik modelových řad v různých měřítkách. Vyskytují se hobby modelové řady, většinou menších rozměrů, které jsou vyrobeny z plastů. Šasi těchto zařízení se tak nevyznačují přílišnou trvanlivostí ani odolností. Taktéž motory jsou ve většině případů nevyměnitelné. Modely v kategorii hobby celkově nenabízí mnoho prostoru jak pro úpravy, tak pro umístění dalších zařízení. Ve „střední“ třídě jsou k dispozici modely, u kterých je již možné provádět výměny motorů. Vyskytují se olejové tlumiče a některé prvky jsou vyrobeny z kovu. Z hlediska počtu nabízených modelů je tato třída největší. V nejvyšší, tedy „profí“ kategorii, se vyskytují modely téměř ve všech možných měřítkách. Tyto modely jsou však již vyrobeny především z lehkých kovů či lehkých slitin. Kvalitnější a odolnější plasty jsou použity pouze u méně významnějších a náchylnějších součástí modelu. Samozřejmostí je možnost výměny motoru, regulátoru a dalších důležitých komponent podle potřeb.

¹¹ www.hpiracing.com

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Problematika náhradních dílů je v této kategorii dobře propracovaná a případné zničené či poškozené díly jsou snadno dostupné.

Pro požadované účely jsem se proto zaměřil na výběr co možná největšího modelu, především z důvodu snadného překonávání menších překážek, ale také kvůli výkonnějším motorům. Dalším a nejvýznamnějším důvodem je i větší prostor pro umístění dalšího vybavení. Po prozkoumání katalogů, www stránek, diskusních fór a jiných zdrojů, jsem zvolil produkty značky HPI Racing - a to konkrétně na model HPI Savage FLUX HP.



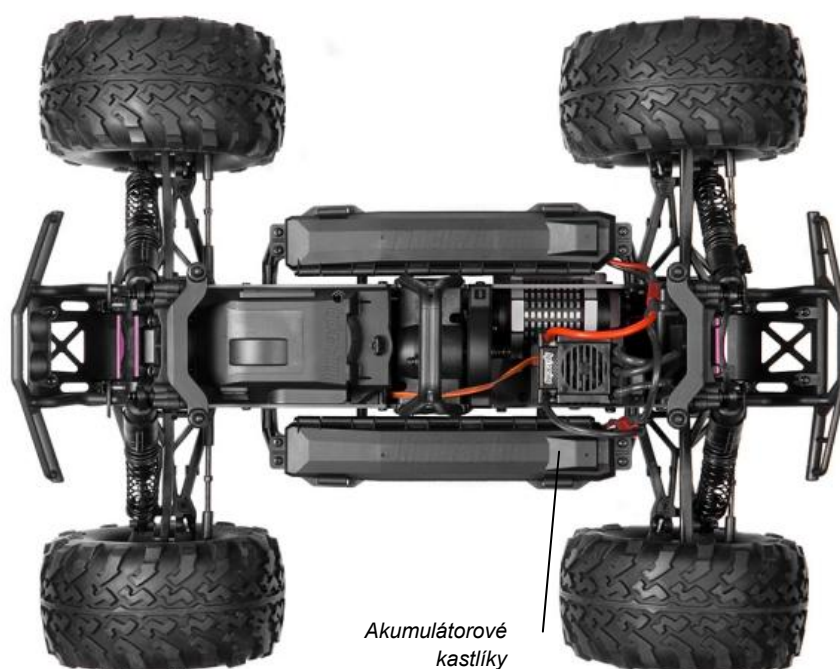
Obr. 12: Pohled na model Savage Flux HP bez karoserie¹² [8]

Zdůvodnění výběru

Společnost HPI patří k absolutní světové špičce mezi výrobci rádiem řízených modelů. Dalším důvodem proč se zajímat o jejich výrobky jsou spousty kladných a minimum záporných ohlasů na jejich modely. Zvolený model Savage Flux HP je dostatečně robustní a jeho stěžejní součásti jsou zhotoveny z kovu. Tímto je model řádově odolnější oproti ostatním modelům, jejichž součásti jsou v plastovém provedení. A to nejen v porovnání s modely od jiných výrobců, ale také v sortimentu HPI. Regulátor dodávaný v základní verzi je připojitelný přes USB sadu (kterou je ovšem nutno dokoupit) k počítači a pomocí dodávaného programu je možné navolit požadované charakteristiky. Model má umístěny akumulátorové kastlíky po stranách, pokud by tedy nedostačovala kapacita největších dodávaných akumulátorů (v řádu desítek minut), existuje možnost rozšíření o totožné kastlíky s akumulátory vedle těch stávajících. Také provedení převodovky včetně převodových kol je kovové, což samozřejmě zvyšuje spolehlivost a odolnost celého zařízení. Další výhodou je nabízená možnost výměny pastorku na motoru a ozubeného kola v převodovce čímž

¹² www.hpiracing.com

je přímo výrobcem zaručena možnost upravit si výkonové a rychlostní parametry podle svých představ. Jak je z následujícího obrázku patrné, všechny významné části, tedy přijímač, servo řízení, motor a regulátor jsou minimálně částečně zakrytované či jinak chráněné proti nepříznivým vlivům, což se u ostatních modelů nevyskytovalo.



Obr. 13: Pohled na model shora¹³ [8]

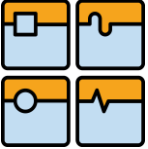
Tabulka 3: Základní parametry modelu Savage Flux HP¹⁴ [9]

Délka modelu	534 mm
Šířka modelu	427 mm
Výška modelu	254 mm
Rozvor	337 mm
Průměr kol	159 mm
Motor	střídavý Flux Tork 2200 Kv
Regulátor otáček	programovatelný Flux Blur

Z dalšího vybavení modelu, je možné zmínit kovový plně uzavřený diferenciál a čtyři nastavitelné olejové tlumiče, v případě nutnosti by bylo možné drobnou úpravou tento počet zdvojnásobit. Regulátor otáček disponuje schopností aktivního a pasivního chlazení. Další chladič se nachází přímo v motoru a zajišťuje ideální teplotní podmínky pro nejdůležitější součást modelu. Otázka chlazení je tedy řešena daleko podrobněji než je tomu u ostatních modelů a případné teplotní zatížení by měl

¹³ www.hpiracing.com

¹⁴ www.savage.cz

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

tento model snášet lépe než ostatní dostupné modely. Samotný motor je posazen oproti ostatním modelům níž, čímž dochází ke snížení těžiště a zvýšení jízdní stability, což maximálně vyhovuje záměrům přidat na model další komponenty a vytvořit tak mobilní monitorovací zařízení.

3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH MONITOROVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Jak bylo již v dřívější kapitole 2.4.2. zmíněno, bude nejvýhodnější metodou rozdělit zařízení na několik samostatně fungujících, ale navzájem spolupracujících celků. V zásadě tedy bude zařízení rozděleno na tři hlavní části – podvozkovou, monitorovací a přenosovou. Základem celého zařízení bude podvozková část, ke které by mělo být možno výměnným systémem připevňovat ostatní části. Záměrem je využít ke spojení částí dohromady nabízí čtyři body, na nichž bývá přichycena plastová karoserie modelu, jak je patrné z následujícího obrázku.

Úchvt pro karoserii



Obr. 14: Detail závěsu předního kola a tlumiče¹⁵ [8]

Monitorovací a přenosová část budou tedy umístěny na jakési platformě, která bude odnímatelná od podvozku. Výhodou tohoto řešení je možnost vytvoření více „nástaveb“ na podvozek v případě, že by všechny požadované snímače nevlezly na jednu nástavbu, ať už z rozměrového či hmotnostního hlediska. Bude tedy možná jednoduchá a velmi rychlá výměna za jinou nástavbu osazenou dalšími snímači. I z hlediska případné poruchy na některé z částí, bude možné rychle nahradit poškozenou část za jinou. Dvě části, přenosovou a monitorovací, bude možné sloučit v jeden komplet. Zařízení by tedy mělo mít dvě základní, na sobě nezávisle fungující součásti - podvozek a monitorovací nástavbu.

¹⁵ www.hpiracing.com

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.1 PODVOZEK

Základním prvkem podvozku bude model HPI Savage Flux HP, který byl představen v dřívější části práce. Tento model bude osazen dodávaným ovládáním a vhodnou sadou akumulátorů.

V případě, že bude nutno využít také světla pro pohyb ve zhoršených světelných podmínkách, budou základní světla umožňující osvětlení v nejbližším okolí zařízení připevněny k modelu a stanou se tak součástí podvozku. V současné době trh poskytuje vysoce svítivé LED diody, které se používají pro tzv. denní svícení u osobních automobilů. Jejich poměr spotřeba/ světelný výkon je pro naše účely ideální.

Jednou z variant je i možnost, že podvozek bude také zahrnovat přídatné a rezervní zdroje energie pro ostatní části a přenosové zařízení pro jeho ovládání. Toto řešení bude ovšem vyžadovat drobné úpravy.

Pro dosažení absolutní nezávislosti podvozku na nastavbě by bylo nutné podvozek dovybavit kamerou se schopností natáčení, nebo umístit kameru na otočný mechanismus poháněný servomotorkem, či zařízení fungující na podobném principu, které by umožnilo změnit polohu kamery.

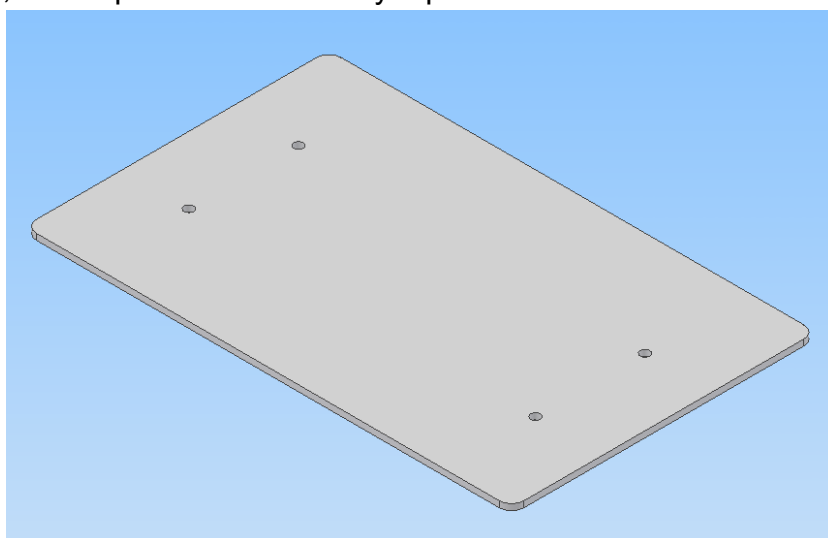
Lze však předpokládat, že pro potřeby monitorování bude také potřeba kamera a tím pádem bude pro navigaci zařízení využita tato. Budou tak ušetřeny nejen náklady, ale také prostor.

3.2 NÁSTAVBA

Základním prvkem bude platforma (nejlépe z kovu nebo tvrzeného plastu) s příslušnými otvory pro uchycení k podvozku a dalšími tvarovými elementy pro uchycení jednotlivých snímačů, kamer, vysílačů atd. Platforma bude tedy jednou z mála jedinečných součástí, které bude nutné navrhnout přesně pro účely zařízení. Další součástí nástavby bude také kryt celého zařízení, který bude navrhován v pozdějších částech celého projektu.

Jedním z cílů, je možnost bezdrátové komunikace obsluhy s monitorovacím zařízením, pokud však nebude možné bezdrátové ovládání zařízení, bude nutno nástavbu osadit i zařízením pro práci s kabelem. Lze předpokládat, že pouhé tažení kabelu bude mít řadu nevýhod. Od jasně limitovaného dosahu a vysokého třecího odporu taženého kabelu, přes možnost „zamotání“ v prostoru až po případné přetržení kabelu. V takovém případě by monitorovací zařízení muselo disponovat vybavením na principu navijáku, který by cestou vpřed odvíjel komunikační kabel a při návratu by jej naopak navíjel. Odpadly by tak problémy spojené s velkým třecím odporem položeného a taženého kabelu, a také „omotání“ okolo rohů překážek. To ovšem za cenu, že „naviják“ sníží jak využitelný prostor, tak hmotnost zatížení, které jsme schopni na podvozek umístit. Dalším nevýhodou by kvůli použití kabelu byl i návrat zařízení – při zpětném navíjení kabelu by bylo nutné nejspíš couvat, což v principu není problém, protože podvozek disponuje zpátečkou. Jsou tím však kladeny podstatně vyšší nároky na ovládání zařízení, které by se tímto stalo značně méně komfortním. Z výše popsanych skutečností je tedy ideální aby bylo možno komunikovat se zařízením bezdrátově.

Pro první generaci mobilního monitorovacího zařízení nebude platforma nástavby složitě tvarovaná, jak je patrné z následujícího obrázku. Rozteče děr jsou 90 a 290 mm, což odpovídá rozteči úchytů pro karoserii na modelu Savage Flux HP.



Obr. 15: 3D model platformy vytvořené v Inventoru [10]

4 NÁVRH SENZORICKÉHO VYBAVENÍ

4.1 MONITOROVÁNÍ TEPLOTY

Monitorování teploty je stěžejním a základním úkolem celého zařízení, po návštěvě a debatě s pracovníky JE Temelín, byla nejčastější situace, kdy by mělo být zařízení využíváno popsána následovně: Na potrubí dojde k závadě a tím pádem nejčastěji k úniku páry. Tuto závadu je potřeba co nejrychleji a přesně lokalizovat a následně odstranit. K lokalizaci by právě mělo být využíváno zařízení, které bude monitorovat především teplotu a stav potrubí, na kterém se vyskytla závada. Bude tedy potřeba zařízení osadit jedním, či více teplotními snímači.

4.1.1 Měření teploty a tepelného množství¹⁶ [11]

Teplota je základní fyzikální veličina vyjadřující míru tepelného stavu tělesa. Teplo je formou energie, jejíž původ je v neuspořádaném pohybu elementárních částic. Pro kvantitativní popis různých tepelných stavů je nutné jim přiřadit číselné hodnoty a definovat tak stupnici teploty. Měření teploty pak spočívá v tom, že porovnáváme teplotu daného tělesa s definovanou teplotní stupnicí. Pro měření teploty byly stanoveny stupnice dvě. **Termodynamická absolutní (Kelvinova) teplotní stupnice** - je dána dvěma pevnými body: 0K se nazývá absolutní nulová teplota a odpovídá stavu, při němž by ustal termický pohyb elementárních částic. **Mezinárodní teplotní stupnice (Celsiova)** - definuje 17 pevných bodů, odpovídajících rovnovážným stavům mezi fázemi (tj. trojné body, body tání, tuhnutí při definovaném tlaku) vybraných látek (He, H₂O, Hg, Ga, In, Ag, Au, Cu) velikost jednotek obou stupnic je stejná

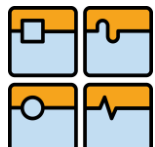
Snímače teploty dělíme: **Dotykové** - elektrické, dilatační, tlakové, speciální **Bezdotykové** – pyrometry.¹⁷ [12]

Dotykové snímače teploty

Dotykové snímače jsou založeny na principu změny vlastností měřených těles – odpor, vodivost atd. v závislosti na teplotě. V případě dotykového měření teploty vzniká obecně určitá chyba měření způsobená právě dotykem snímače a povrchu tělesa. Tento dotyk totiž způsobuje změnu sdílení tepla mezi oběma objekty a okolním prostředím. Tímto je také z určité části narušeno i teplotní pole uvnitř měřeného tělesa – ve většině případů, včetně našeho, bývá tato nepřesnost zanedbatelná, ale i tak vzniká jistá odchylka naměřené hodnoty od teploty původní, která by byla na daném místě bez čidla. Dále také platí, že pokud je teplota

¹⁶ Dostálek, M. Měření teplotních polí v elektrických strojích

¹⁷ www.snimace.xf.cz/mereni-teploty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

měřeného objektu vyšší než teplota okolního prostředí, tak naměřená teplota je vždy menší, než je skutečná teplota měřeného tělesa.

Při dotykovém měření teploty povrchu tělesa se nejčastěji používají **termoelektrické články**, které využívají tzv. kontaktního potenciálu, jejichž vodiče musí mít nejmenší možný průřez a malý součinitel tepelné vodivosti. Termoelektrické senzory teploty neboli termočlánky, tvoří dva vodiče z různých kovových materiálů. V místě, kde probíhá měření teploty, jsou k sobě oba vodiče vodivě spojeny. Na druhém konci jsou vodiče připojeny na svorky měřicího přístroje. Na rozpojeném konci termočlánku vzniká měřitelné termoelektrické napětí.

Výhody termočlánků jsou: vysoký teplotní rozsah, rychlá odezva na změnu teploty, velká odolnost proti vibracím a dlouhá životnost. Na výsledek měření však působí několik vlivů, a to především: změna teploty ve srovnávacím spoji, špatný kontakt nebo špatné vedení tepla podél termočlánku, vliv odporu spojovacího vedení, velikost vnitřního odporu měřicího přístroje, mechanické napětí a deformace atd.

Z pohledu využití kontaktního snímače pro navrhované monitorovací zařízení, se však vyskytují nejméně dva nedostatky: jak je patrné z obrázků v kapitole 2.1, hustota a rozmístění potrubí vždy nezaručí možnost kontaktu s požadovaným místem; ne všechny komponenty zařízení jsou schopny snášet stejně vysoké teploty jako kontaktní sonda. Především z těchto důvodů se jeví jako výhodnější varianta bezkontaktního měření teploty, kdy zařízení může měřit teplotu z větší, a především bezpečnější, vzdálenosti.



Obr. 16: Schéma termočlánku¹⁸ [13]

¹⁸ www.snimace.xf.cz/termoelektricke-snimace-teploty

Bezdotykové snímače teploty

Použití bezdotykových snímačů pro měření teploty patří k jednoduchým a přesným způsobům měření teploty. Přístroje, které lze pro bezdotykové měření teploty využít, dosáhly v posledních letech pokroku, na kterém má hlavní podíl pokrok v optice a elektronice. Původně se tzv. radiační pyrometry využívaly k měření vyšších teplot, což vyhovuje našim požadavkům. Následkem pokroku a vývoje je dnes možno měřit i teploty pod bodem mrazu. Tento způsob měření, jehož základem je fyzikální poznatek, že každé těleso o povrchové teplotě vyšší než 0 K vysílá elektromagnetické záření odpovídající dané teplotě tělesa, se využívá v nejrůznějších odvětvích průmyslu. Mezi **výhody** bezdotykového měření teploty patří zejména skutečnost, že měřicí zařízení má zanedbatelný vliv na měřený objekt; dále je to schopnost měření i velmi rychlých změn teplot; další výhodou je také schopnost měřit vysoké teploty (až 3000 °C). Pro z hlediska monitorovacího zařízení je však hlavní výhodou možnost měřit teplotu v bezpečné vzdálenosti a to jak pro obsluhu, tak pro celé zařízení. Samozřejmostí je možnost digitálního zpracování dat.

Emisivita vyjadřuje poměr vyzařované energie měřeným objektem při jeho teplotě k energii vyzařované ideálně černým tělesem při stejné teplotě. ε - emisivita $\varepsilon = \frac{q}{q_0}$ [-], kde q je celkový zářivý tok [W], q_0 je tok vyzařený absolutně černým tělesem [W]. Emisivita je důležitým faktorem, který se při měření nesmí zanedbávat. Závisí na materiálu a úpravě povrchu. K emisivitě se vztahuje též odrazivost materiálu ρ (schopnost odrážet záření) a prostupnost τ (schopnost propouštět záření), přičemž platí vztah: $\varepsilon + \rho + \tau = 1$. Emisivita není stejná pro všechny povrchy a materiály, uvažujeme-li tedy absolutně černé těleso, pak je jeho emisivita 1,00, naopak například emisivita zoxidovaného ocelového plechu je 0,75 a pro ocelový plech lesklý je emisivita 0,25. Objekty s emisivitou pod hodnotou 0,2 jsou obtížně měřitelné. U materiálů s velmi vysokou odrazivostí v infračervené oblasti je přesné měření vyloučeno. Jednou z nejčastějších chyb při bezkontaktním měření teploty je špatné určení emisivity. Pro správné měření je nutné dobře nastavit emisivitu.



Obr. 17: Řídicí jednotka a pyrometr řady MI3 do firmy Raytek¹⁹ [14]

¹⁹ www.tsisystem.cz

4.1.2 Použití termokamery

Použití termokamery patří mezi účinné a rychlé způsoby měření teploty. Principem měření je zjišťování teplotních polí na povrchu měřeného tělesa pomocí měření intenzity infračerveného záření.

Elektronická soustava kamery detekuje tuto energii měřícím systémem a pomocí infračerveného detektoru ji převede na elektrický signál. Samozřejmostí je možnost měřit i vzdálenější a těžko přístupné povrchy. Pomocí termokamery lze také měřit teplotu elektrických zařízení v provozu nebo pod napětím. Termografické měření je navíc schopno zaznamenat mnohem rychleji teplotní změny než kontaktní měření. Výstupem z termokamery je 2D obraz měřeného objektu s rozložením oteplení jeho jednotlivých částí. Následně pomocí softwaru, který je schopen vyhodnotit jednotlivé body na snímku, je možné získat hodnotu teploty požadovaných bodů.

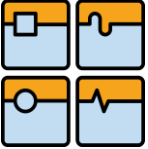
Termokamera nám tedy poskytne pohled na celkové rozložení tepelného pole. Téměř okamžitě tak je možné vyhodnotit, které části jsou nejvíce tepelně namáhány nebo ve kterých oblastech dochází k únikům tepla. V současné době jsou termokamery nejčastěji využívány pro zjišťování úniku tepla v obytných stavbách. Jejich využitelnost je však od průmyslového nasazení až po záchranné složky, které je využívají například k pátrání po osobách.

I v případě termokamery je správné nastavené emisivity velmi důležité pro obdržení správně naměřených hodnot. Emisivita totiž může značně ovlivnit vzhled termogramu a výrazné rozdíly v zobrazované teplotě. Z finančního pohledu však mají termokamery nevýhodu v ceně, která je řádově vyšší než cena kontaktních, či bezkontaktních snímačů a pohybuje se v řádech desítek až stovek tisíc korun.



Obr. 18: Stacionární termokamera od firmy CHINO²⁰ [15]

²⁰ www.termokamery.cz

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.2 SNÍMÁNÍ OBRAZU

Aby bylo možné dosáhnout bezpečného, uživatelsky příjemného a především efektivního dálkového ovládání zařízení, je nutné, aby obsluha zařízení měla k dispozici dostatek informací. Kromě okolní teploty, kterou je schopen zjišťovat pyrometr, je nutné mít přehled co se děje v okolí, tedy „vidět“ případně „slyšet“. Pokud by byla na měření teploty použita termokamera, mohl by být problém „vidění“ částečně vyřešen. Lze však předpokládat, že použití jedné kamery pro zařízení bude nedostatečné a to z několika důvodů – omezený úhel záběru kamery, možnost 3D vidění, bezpečnost atd.

Pro optimální ovládání by bylo vhodné mít přehled o kompletním okolí, tzn. mít k dispozici zorné pole o velikosti 360 °. Běžné kamery mívají úhel záběru okolo 60 °, což by znamenalo nasazení minimálně šesti stacionárních kamer pro dostatečné pokrytí prostoru. Na trhu se ale vyskytují kamery, které mají schopnost natáčení a to jak horizontálního – 270 ° tak vertikálního – 120 °. Použití dvou takových kamer by tedy mělo dostatečně pokryt celý požadovaný prostor.

Pro možnost 3D vidění je nutno použít buď speciální kameru, nebo dvě jednoduché kamery. Pořizovací hodnota 3D kamery je v současnosti ještě několikanásobně vyšší než jsou náklady na pořízení dvou jednoduchých kamer. Z hlediska navigace ve složitém prostoru je ale 3D vidění velmi vhodnou variantou. Pro tuto variantu je však nutno obstarat ještě další komponenty jako 3D brýle atd., což má za následek nárůst celkové ceny zařízení. Pro uvažovanou první generaci zařízení ale bude postačovat „obyčejné vidění“ pomocí jedné či více kamer.

Z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti je jednoznačně nutné, aby bylo použito několik na sobě nezávislých kamer. V případě poruchy některé z kamer by tedy měla být k dispozici další a nemělo by dojít ke ztrátě orientace v prostoru. Proto by tedy bylo vhodné, aby zařízení disponovalo několika různými kamerami, například: 1 pohyblivá kamera + 2 stacionární kamery.

Na trhu se v současné době vyskytuje mnoho druhů kamer. Pro správný výběr je tedy nutné stanovit následující kritéria – možnost bezdrátového přenosu, hmotnost do 1 kg, rozměry nepřesahující velikost modelu a ideálně možnost venkovního použití – tzn. alespoň částečná odolnost proti povětrnostním podmínkám. Na základě těchto kritérií jsem tedy musel vyloučit kvalitní, ale bohužel velké a těžké kamery, které jsou používány například pro zabezpečení budov. Druhým extrémem jsou mikrokamery, jejichž rozměry umožňují jejich umístění například do psacího pera, ovšem za cenu nižší kvality obrazu. Je tedy nutné zvolit určitý kompromis mezi velikostí kamery a jejím rozlišením.

4.2.1 Stacionární kamera

Současná nabídka kamer, které vyhovují požadovaným kritériím, zahrnuje jak kamery s bezdrátovým, tak kamery s klasickým, tedy kabelovým, přenosem signálu.

Protože je snahou a cílem, aby bylo celé zařízení bezdrátové, byl výběr omezen pouze na kamery disponující bezdrátovým přenosem dat. Dále se také na trhu vyskytují kamery, které disponují tzv. nočním viděním, nejčastěji pomocí přisvícení infračervených LED diod. Dosah tohoto vidění je okolo sedmi metrů, což je pro ovládání dostatečné. Jako stacionární kamera by se tedy dala použít například bezdrátová kamera CAMSETW15.



Obr. 19: Bezdrátová kamera CAMSETW15 s přijímačem²¹ [16]

Vlastnosti kamery a přijímače²² [17] - kamera: barevná, bezdrátová, dosah 100 m, rozlišení 628 x 582 pixelů, úhel záběru 55 °, vhodná i pro venkovní použití, 4 nastavitelné přenosové kanály, vestavěný mikrofon pro současný přenos zvuku, průměr 49 mm, délka 62 mm, hmotnost 185 g, přenosový kmitočet 2,4 GHz; přijímač: 4 kanály, hmotnost 92 g, rozměry 91 x 70 x 12,5 mm. Lze tedy použít až čtyři kamery při použití jednoho přijímače. Na trhu se v současné době vyskytuje cenově výhodná sada dvou kamer s označením CAMSETW16.

Použití mikrokamery

Na trhu existuje mikrokamera Fly Cam od výrobce ACME a k ní příslušná přenosová souprava. Tato kamera je určena především pro RC modely, čemuž odpovídá i její velikost a rozlišení. Výhodou tohoto zařízení je skutečnost, že dosah přenosu signálu odpovídá dosahu ovládání modelu. Samozřejmostí je možnost připojení kamery přes port k počítači, další možností je nahrávání záznamu na paměťovou kartu. Kamera je také dálkově ovladatelná s možností natáčení 180 ° horizontálně a 270 ° vertikálně. Přenosová frekvence u této kamery je také 2,4 GHz. Kamera umožňuje také nahrávání zvuku.

²¹ www.pselectronic.cz

²² www.hledejsoucastky.cz



Obr. 20: Mikrokamera s přenosovou soustavou od společnosti ACME²³ [18]

4.2.2 Natáčecí kamera

Také pro natáčecí kameru byl stěžejním požadavkem bezdrátové provedení. Na trhu se opět vyskytují jak obyčejné kamery, tak kamery s nočním viděním. Provedení kamer se vyrábí pro vnitřní i venkovní použití – to je ale v současné době podstatně dražší. Pokud se tedy použije levnější varianta kamery pro vnitřní použití – např. wi-fi kamera F8908W, je nutno zajistit její ochranu. Tato kamera má zorný úhel 67 ° a disponuje také vlastním vestavěným infra-přisvětlením s dosvitem 8 m. Natáčení této kamery je možné v rozsahu 120 ° horizontálně a 270 ° vertikálně. Kamera je kompatibilní s bezdrátovým standardem IEEE 802.11b/g. Rozlišení kamery je 640 x 480 pixelů. Velikost kamery je 100 x 58 x 38 mm a její hmotnost je 500 g.



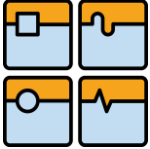
Obr. 21: Otočná wi-fi kamera F8908W²⁴ [19]

4.3 SNÍMÁNÍ ZVUKU

Všechny vybrané kamery mají vestavěné mikrofony. Pomocí kamer bude tedy možné snímat i zvuk. Pokud by se ovšem vyskytla potřeba i zvukového vysílání, bylo

²³ www.rcm-pelikan.cz

²⁴ www.kameryip.cz

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

by nutné dovybavit zařízení další přenosovou soustavou s reproduktorem, či vysílačkou nebo jiným obdobným zařízením.

4.4 VIDEO KOMUNIKACE

Pokud by byla tato varianta nutná, pak se jako jedno z řešení nabízí použití obdobného bezdrátového kamerového systému s tím rozdílem, že na zařízení bude nutné umístit obrazovku. Další variantou je osadit na zařízení displej, na který bude možné případně zobrazovat pokyny či informace. Tyto možnosti však také nejsou pro navrhovanou první generaci mobilního monitorovacího zařízení stěžejní a proto nebudou dále rozpracovávány.

4.5 DALŠÍ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Osazení modelu dalšími měřicími a snímacími zařízeními zatím nebylo specifikováno. Až podle finálních požadavků budou stanoveny další možnosti a zařízení na monitorování požadovaných veličin, duplikaci měřicích zařízení atd. Z dalších monitorovaných veličin můžeme předpokládat třeba měření tlaku či měření radiace. V takovém případě by mělo být zařízení osazeno dozimetrem, jehož cena se pohybuje v i řádu stovek tisíc korun. Šlo by tak o nejdražší komponentu zařízení.

5 NÁVRH ZDROJŮ ENERGIE

Navrhované mobilní monitorovací zařízení musí disponovat dostatečnými energetickými zdroji jak pro samotný pohyb zařízení, tak pro jeho senzorické vybavení. Všechny komponenty vyžadují (nejlépe vlastní) zdroj energie. Je tedy potřeba vyřešit jak napájení podvozku, tak i nastavby – tzn. napájení všech snímačů. Pro možnost případného vytvoření více nástaveb s různým vybavením, je vhodné, aby zůstalo napájení nastavby a podvozku odděleno, což znamená minimálně dva zdroje energie. Z hlediska bezpečnosti a případné poruchy by však bylo také vhodné a by byly zdroje mezi sebou nahraditelné, což znamená, že v případě selhání jednoho zdroje, bude možné napájet celé zařízení z druhého zdroje, či případně z třetího – záložního zdroje.

5.1 ZDROJ ENERGIE PRO POHYB ZAŘÍZENÍ

Zdroj energie pro pohyb, tedy energie pro podvozek, bude vyřešen pomocí akumulátorů, které budou umístěny v příslušných akumulátorových kastlících po stranách na podvozku. Akumulátory se nejčastěji dodávají ve formách tzv. packů, ve kterých je spojeno několik článků. Na model Savage Flux HP lze standardně umístit dva více článkové packy, které zajistí energii v průměru na půl hodinu provozu. Doba provozu se odvíjí od spotřeby motoru – čím rychlejší pohyb je požadován, tím nižší výdrž.

V současné době se vyskytují na trhu nejčastěji čtyři typy akumulátorů: *nikl-kadmiové (NiCd)* – které jsou nejrozšířenější, jejich výhodou je nižší cena, dále schopnost dodávat vyšší vybíjecí proud, vyšší spolehlivost a delší životnost; *nikl-metalhydridové (NiMH)* – které mají při stejné velikosti jako NiCd, vyšší kapacitu, ale poskytnou menší vybíjecí proud při vyšším poklesu napětí při zatížení a jejich životnost a schopnost snášet hrubé zacházení je nižší; *olověné (Pb)* – které nejčastěji slouží jako zdroje pro žhavení svíček spalovacích motorů, pro startéry a palivová čerpadla; *Lithium polymerové (Li-poly)* – které představují nejmodernější zdroj energie pro pohon modelů, jejich hlavní výhodou je především nízká hmotnost a vysoká energetická hustota - tj. velikost uloženého elektrického náboje vztahovaná na jednotku hmotnosti.²⁵ [20]

Z důvodu uživatelského komfortu je jasné, že čím delší bude mít zařízení výdrž, tím lépe se s ním bude pracovat, protože nebude nutné neustále měnit či dobíjet akumulátory. Proto jsem se při výběru akumulátorů zaměřil přímo na sady s co možná nejvyšší kapacitou a výstupním napětím 7,2 V. Pro model Savage Flux HP by bylo možné použít i akumulátory s vyšším výstupním napětím, jejich kapacita však není vyšší. Jediným rozdílem by byla vyšší rychlost modelu, která je však už při

²⁵ www.heliservis.eu

uvažovaných 7,2 V více než dostatečná. Při uplatnění těchto kritérií se tedy nabízí následující tři varianty, které jsou uvedeny v tabulce 4 včetně cen.

Tabulka 4: Srovnání variant akumulátoru pro podvozek

Typ	Název	Kapacita / napětí	Cena / ks
NiCd	RC Sanyo 6čl. Powerpack	2400 mAh / 7,2 V	973,- Kč
NiMH	NOSRAM / LRP Team pack	5000 mAh / 7,2 V	949,- Kč
Li-pol	NOSRAM LiPo X-treme Race Hardcase	5900 mAh / 7,2 V	2 199,- Kč

Srovnáme-li tedy jednotlivé možnosti, jeví se jako nejpříjemnější varianta, z poměru cena / kapacita akumulátoru, zvolit NiMh akumulátor LRP Team pack 5000 od firmy NOSRAM.



Obr. 22: Akumulátor NOSRAM / LRP Team pack 5000²⁶ [4]

Při odzkoušení těchto akumulátorů byla výdrž v průměru 25 minut při maximálním odběru, tzn. maximální rychlosti okolo 70 km/h. Pro monitorovací účely je tato rychlost až příliš vysoká – ovládání pouze na základě pozorování obrazu z kamer je značně obtížné. Je tedy nutné nastavit softwarově omezení regulátoru. Při odzkoušení jízdy pomalou rychlostí – cca 5 km/h, byla výdrž přibližně 75 minut, což by pro běžné užívání mělo dostačovat. V případě nutnosti vyšší výdrže podvozku je nutné zakoupit další akumulátory, které by bylo možné umístit do dalších kastlíků, vedle těch stávajících, nebo je bylo nutné vyměnit. Pro tento případ by bylo vhodné, aby kvůli výměně, nemusela být demontována nástavba se snímači.

5.2 ZDROJ ENERGIE PRO SENZORICKÉ VYBAVENÍ

Pro určení správného zdroje energie pro kamery a ostatní zařízení je nutné nejprve zjistit energetické požadavky jednotlivých zařízení.

Tabulka 5: Energetické požadavky snímacích zařízení

²⁶ www.rcguru.cz

Název zařízení	Napájení	Spotřeba
Pyrometr MI3	8 – 32 V DC	500 – 125 mA
Kamery CAMSETV16	8 V DC	80 mA / 200 mA
Kamera F8908W	5 V DC	2,0 A

Jak je z předchozí tabulky patrné, každé zařízení má zcela jiné napájecí požadavky. Proto se tedy nabízí varianta ke každému zařízení přiřadit vhodnou baterii. Tato varianta ovšem znamená nákup minimálně tří baterií a k nim příslušných dobíjecích adaptérů, což při průměrné ceně 1500 Kč za baterii s adaptérem není z finančního pohledu zcela ideální řešení. Také z pohledu zabraného prostoru je tato možnost méně výhodná. Na trhu se ovšem vyskytují baterie, sloužící jako záložní zdroje pro notebooky a obdobná zařízení, které disponují možností napájet současně více zařízení o různých napětích. Kapacita takových baterií se přibližně pohybuje v rozmezí 6 000 – 22 000 mAh. Kapacitě a počtu výstupních napětí také odpovídá cena, která se zhruba pohybuje v rozmezí 600 – 7 500 Kč. Pro výdrž zařízení je tedy opět dobré vybírat baterii s co možná největší kapacitou. Jakou možnou variantu jsem tedy zvolil napájecí baterii od firmy ENERGIZER s označením Victor XP18000. Kapacita této baterie je 18 000 mAh, možné výstupní napětí jsou 5 V, 9 – 12 V a 16 – 20 V. Hmotnost baterie je 515 g a rozměry jsou 181 x 110 x 20 mm.



Obr. 23: Baterie ENERGIZER Victor XP 18000²⁷ [21]

Při maximálním proudovém odběru 2,9 A od kamer a pyrometru (2 x 0,2 + 2 + 0,5 A) by tedy kapacita baterie měla postačovat přibližně na šest hodin provozu.

6 NÁVRH FUNKČNÍHO USPOŘÁDÁNÍ

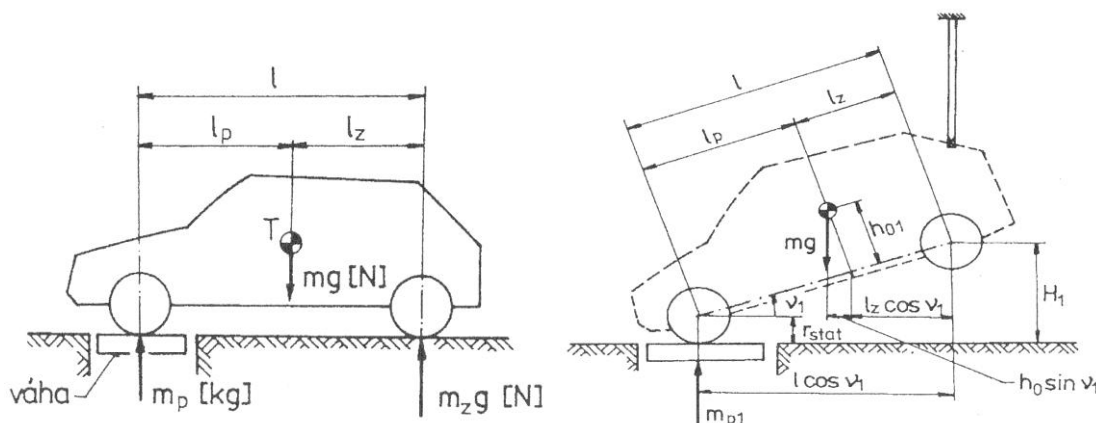
Pro dosažení co nejlepších jízdních vlastností zařízení je nutné dodržovat některé zásady, které obecně platí pro automobily – tzn. těžiště celého zařízení co nejnižší a zároveň v podélné i příčné ose. Výrobce bohužel neuvádí, kde přesně se

²⁷ www.softcom.cz

nachází těžiště modelu. Lze jej však experimentálně zjistit pomocí metodiky, která se využívá u osobních automobilů. Také u ostatních komponent není těžiště známo a je nutné jej alespoň přibližně zjistit, aby mohlo být následně provedeno co nejideálnější rozmístění komponent.

6.1 EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ TĚŽIŠTĚ PODVOZKU

Pro zjišťování délkové polohy těžiště vozidla se určuje pomocí vážení hmotnost vozidla připadající na jednotlivé nápravy. Při měření je nutné a by se vozidlo nacházelo na plošině vodorovné s váhou – v takovém případě se pak součet hmotnostní připadající na jednotlivé nápravy (či kola) musí rovnat celkové hmotnosti vozidla. Vzdálenost těžiště od přední nápravy pak dostaneme z výpočtového vztahu: $l_p = \frac{m_z}{m_p + m_z} \cdot l$, kde l je rozvor vozidla, m_p hmotnost naměřená na přední nápravě a m_z hmotnost naměřená na zadní nápravě. Výšková poloha těžiště se vozidla se zjišťuje obdobným způsobem. V tomto případě je však nutné, aby byla měřená náprava byla na váze, zatímco druhá náprava je nadzvednuta o známou výšku či úhel – jak je patrné z následujícího obrázku. Z naměřeného přírůstku hmotnosti Δm pak můžeme určit kolmou vzdálenost těžiště vozidla od spojnice středů předního a zadního kola ze vztahu: $h_{01} = \frac{\Delta m_{p1}}{m} \cdot \frac{l}{\tan \vartheta_1}$. V tomto případě je k vypočtené výšce nutné přičíst poloměr kol, abychom dostali skutečnou výšku.²⁸ [22]



Obr. 24: Schéma zjišťování polohy těžiště²⁹ [22]

Protože model nemá rozměry osobního automobilu, bylo nutné pro měření použít odpovídající velikost váhy, tzn. „kuchyňskou váhu“. Rozměry modelu však neumožňují umístit obě kola nápravy na váhu současně, byly tedy měřeny váhy na jednotlivých kolech. Protože nebylo zatím určeno, zdali budou využity standardně dodané kola, bylo proto měření provedeno s koly i bez kol, přičemž byly naměřeny tyto hodnoty:

²⁸ VLK, F.: *Automobilová technická příručka* str. 681-682

²⁹ tamtéž

Tabulka 6: Naměřené hodnoty

Místo měření	Hmotnost [kg]									
Rovinné měření	bez kol					průměr				
levé přední kolo	0,87	0,90	0,88	0,86	0,88	1,17	1,18	1,17	1,17	1,17
pravé přední kolo	0,89	0,88	0,88	0,87	0,88	1,15	1,16	1,17	1,17	1,16
levé zadní kolo	1,09	1,07	1,05	1,07	1,07	1,36	1,35	1,35	1,35	1,35
pravé zadní kolo	1,07	1,08	1,06	1,07	1,07	1,35	1,34	1,34	1,36	1,35
přední náprava	1,76	1,78	1,76	1,73	1,76	2,32	2,34	2,34	2,34	2,34
zadní náprava	2,16	2,15	2,11	2,14	2,14	2,71	2,69	2,69	2,71	2,70
celek	3,92	3,93	3,87	3,87	3,90	5,03	5,03	5,03	5,05	5,04
Nadzvednutá PN										
levé zadní kolo	1,14	1,14	1,13	1,14	1,14	1,43	1,42	1,44	1,44	1,43
pravé zadní kolo	1,14	1,15	1,14	1,13	1,14	1,42	1,43	1,43	1,43	1,43
zadní náprava	2,28	2,29	2,27	2,27	2,28	2,85	2,85	2,87	2,87	2,86

Model při měření nebyl osazen bateriemi. Z naměřených hodnot je patrné, že těžiště modelu leží v příčné ose modelu (naměřená hmotnost na obou kolech téže nápravy je shodná). Podélná a výšková poloha těžiště byla vypočtena podle uvedených vztahů. Vypočítané polohy těžiště jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 7: Vypočítané polohy těžiště modelu Savage Flux HP

Měření	vzdálenost těžiště od	[mm]
<i>bez kol</i>		
	přední nápravy	184,9
	zadní nápravy	152,1
	výška	64,6
<i>včetně kol</i>		
	přední nápravy	180,5
	zadní nápravy	156,5
	výška	136,7

Z výpočtů je patrné, že těžiště se nachází téměř uprostřed modelu. Vhodným umístěním pohonných baterií (jejich rozměry jsou menší než rozměry bateriových kastlíků) tedy bude možné docílit, aby se těžiště nacházelo přesně uprostřed modelu, což je ideální pro stabilitu a také jízdní vlastnosti.

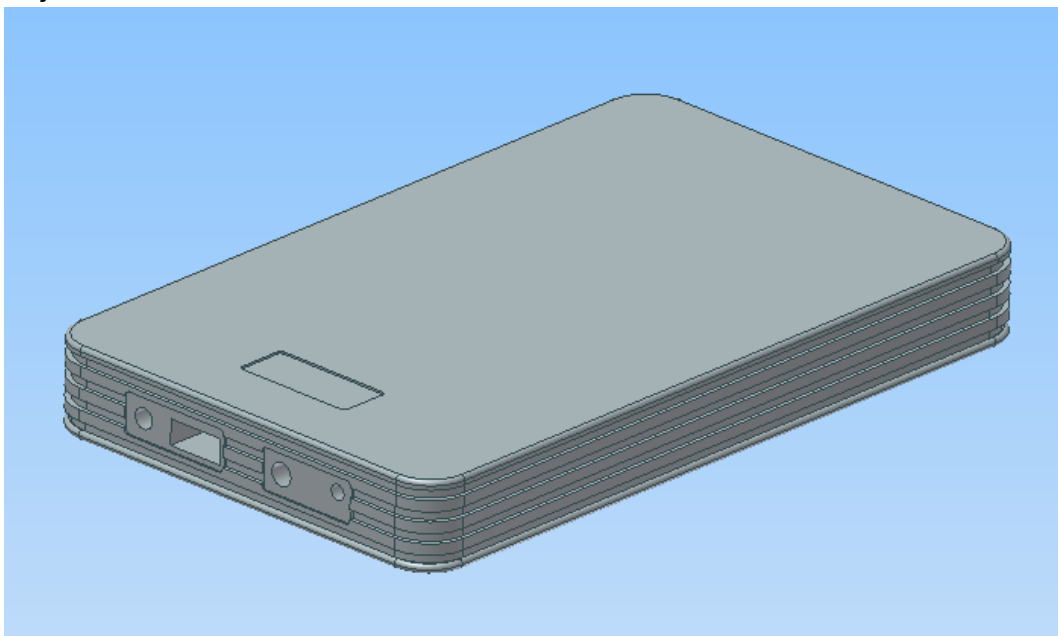
6.2 VYTVOŘENÍ 3D MODELŮ, VÝPOČET TĚŽIŠTĚ KOMPONENT

Pro provedení přesného návrhu monitorovacího zařízení je nutné získat výkresovou dokumentaci jednotlivých komponent, či přímo jejich 3D modely. Oslovení prodejci a dovozci, bohužel požadovanými informacemi nedisponují, proto bylo nutné ročně vytvořit alespoň přibližné modely těchto součástí. RC model Savage Flux HP, který bude sloužit jako základ podvozku, byl naskenován pomocí

optického 3D skeneru, vzhledem k časové náročnosti, však dosud nebyl vytvořen ideální model – byly vytvořeny dvě verze, z nichž jedna o velikosti 3 MB – málo podrobný model, a druhá o velikosti 125 MB – podrobný model, ovšem ne pro celou součást.

6.2.1 Baterie

Z pohledu hmoty a hmotnosti se jedná o téměř homogenní součást, pro požadované účely tedy lze uvažovat, že těžiště baterie se nachází v geometrickém středu tělesa, tj. ve vzdálenosti 90,5 mm od přední, 55 mm do boční a 10 mm od spodní strany součásti. Jako čelní strana je uvažována strana s konektory výstupního napětí, která je pro naše záměry nejdůležitější a je vyobrazena na následujícím obrázku.



Obr. 25: 3D model baterie [10]

Baterie bude upevněna pomocí přesně vytvarovaného bočního vedení – využití postranních drážek, které lemují všechny strany baterie. Z důvodu případné demontáže baterie budou využity drážky na bočních a zadní straně. Na přední straně bude baterie zajištěna záložkou, která po vyjmutí umožní snadnou demontáž baterie, pro případnou výměnu, či dobíjení.

6.2.2 Stacionární kamera

Tato kamera je složena ze tří základních komponent, podstavce kamery – který je kovový a zároveň nejtěžší komponenta, tělo kamery - které je převážně tvořeno plastem a v porovnání s podstavcem je výrazně lehčí. Poslední částí je ochranný přesuvný kryt kamery, který je také z kovu. V zadní části těla kamery se nachází vysílací anténa a připojovací kabel s konektorem pro napájení. Přibližně vprostřed kabelu je umístěn mikrofón. Pro upevnění kamery budou využity 3 díry,

které se nachází na podstavci a jsou umístěny s roztečí 120 stupňů na kružnici o poloměru 20 mm.

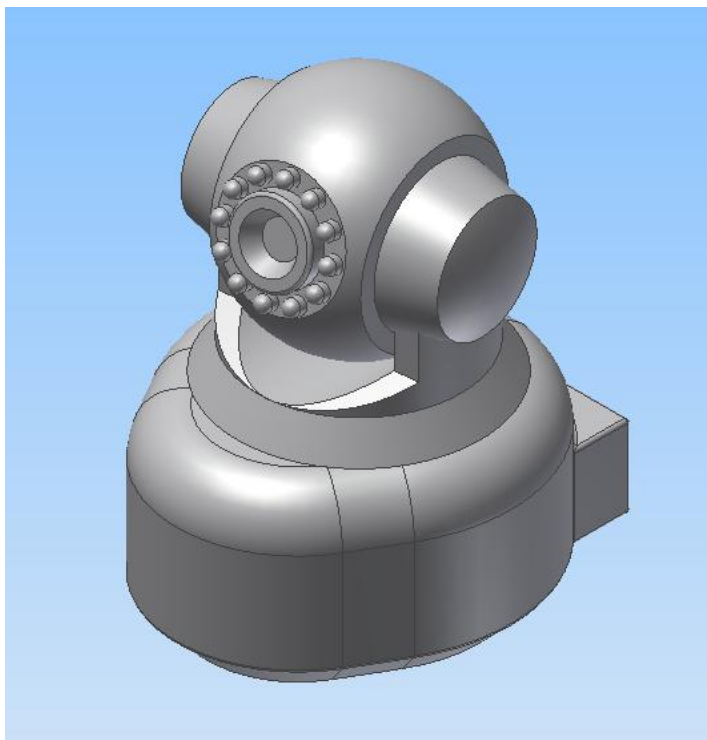


Obr. 26: 3D model stacionární kamera [10]

Pro určení těžiště této kamery je nutné opět uvažovat určité zjednodušení, tj. předpoklad, že těžiště se nachází v ose podstavce kamery, který má v nejširším místě průměr 53 mm.

6.2.3 Otočná kamera

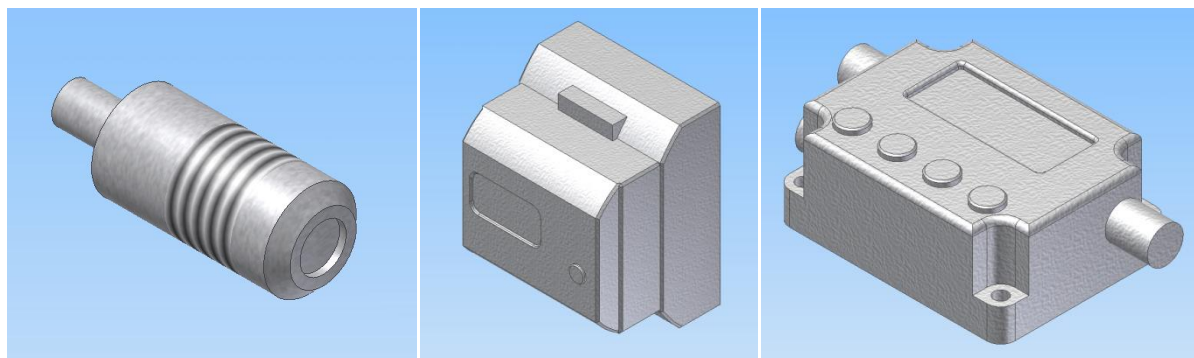
Většina komponent této kamery je tvořena plastem, z pohledu určení těžiště tedy uvažovat zjednodušení, že se jedná o homogenní těleso, jehož těžiště se nachází horizontální ose otáčení kamery. Upevnění této kamery k platformě bude provedeno pomocí šroubu M5. Otvor se závitem, pro upevnění, se nachází v ose horizontální rotace na spodní straně kamery.



Obr. 27: 3D model otočné wi-fi kamery [10]

6.2.4 Pyrometr

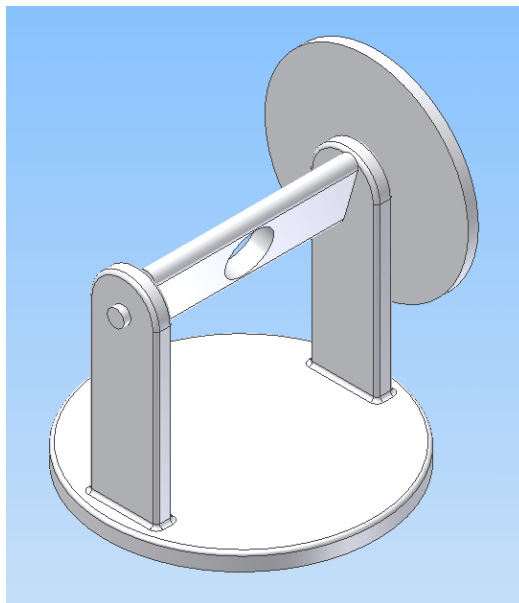
Na základě konzultací a doporučení byl zvolen pyrometr MI3 od firmy Raytek, bohužel následkem komplikací způsobených přírodními živly v Japonsku se termín dodací lhůty posunul a pyrometr bohužel nebyl před odevzdáním fyzicky k dispozici. Pyrometr se skládá ze dvou částí – snímací hlavice a řídicí a komunikační jednotky, která se vyrábí ve dvou provedeních. Modely těchto součástí byly vytvořeny na základě informací dodaných českým zastoupením, tj. firmou TSI system. Výběr řídicí jednotky pyrometru nebyl prozatím specifikován. Jednotky se od sebe liší možností upevnění a použitím rozhraní. Pro komunikaci lze využít USB, či adaptér pro RS 485. Velikost adaptéru bohužel ze získaných prospektů není možné určit. Proto jsou na následující obrázku uvedeny obě možnosti.



Obr. 28: 3D model hlavice pyrometru a provedení řídicích jednotek [10]

6.2.5 Naklápěcí zařízení pro hlavici pyrometru

V této fázi se jedná pouze o přibližný návrh. Naklápěcí zařízení bude soužit pro přesné zacílení pyrometru na měřený objekt, protože provedení tohoto úkonu pouze pomocí podvozku by bylo značně obtížné. Jasným požadavkem je tedy naklápění kolem horizontální i svislé osy. Z hlediska provedení se nabízí například varianta znázorněná na dalším obrázku.



Obr. 29: Návrh naklápěcího mechanismu [10]

Přesný návrh zařízení bude realizován až po fyzickém obdržení pyrometru, zejména jeho snímací hlavičky, která je spojena kabelem s řídicí jednotkou. Návrh mechanismu musí zahrnovat omezení kvůli možnostem ohybu spojovacího kabelu. Pohon naklápěcího zařízení může být realizován například pomocí dvou obdobných serv, jako je servo řízení modelu. Jedno servo bude upevněno na platformě nástavby a druhé na otočné plošině mechanismu. Ovládání těchto serv je rovněž dálkové, je však nutné uvažovat s vícekanálovým vysílačem a přijímačem, pro možnost ovládání podvozku a naklápění pomocí jednoho vysílače. Druhou variantou je možnost samostatného ovládání pro mechanismus.

6.3 NÁVRH PLATFORMY NÁSTAVBY

V první fázi návrhu, tedy pro odzkoušení funkčnosti jednotlivých komponent, postačuje jednoduchý obdélníkový tvar mírně přesahující rozchod a rozvor modelu. Pro efektivnější využití prostoru bude případně v další fázi návrhu nutné navrhnout tvarově složitější součást. Z hlediska materiálových požadavků je nutné, aby se jednalo o materiál dostatečně pevný, odolný a především lehký. Těmto požadavkům vyhovuje například použití hliníkového plechu o rozměrech 250 x 400 mm.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 46
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

6.4 NÁVRH ROZMÍSTĚNÍ

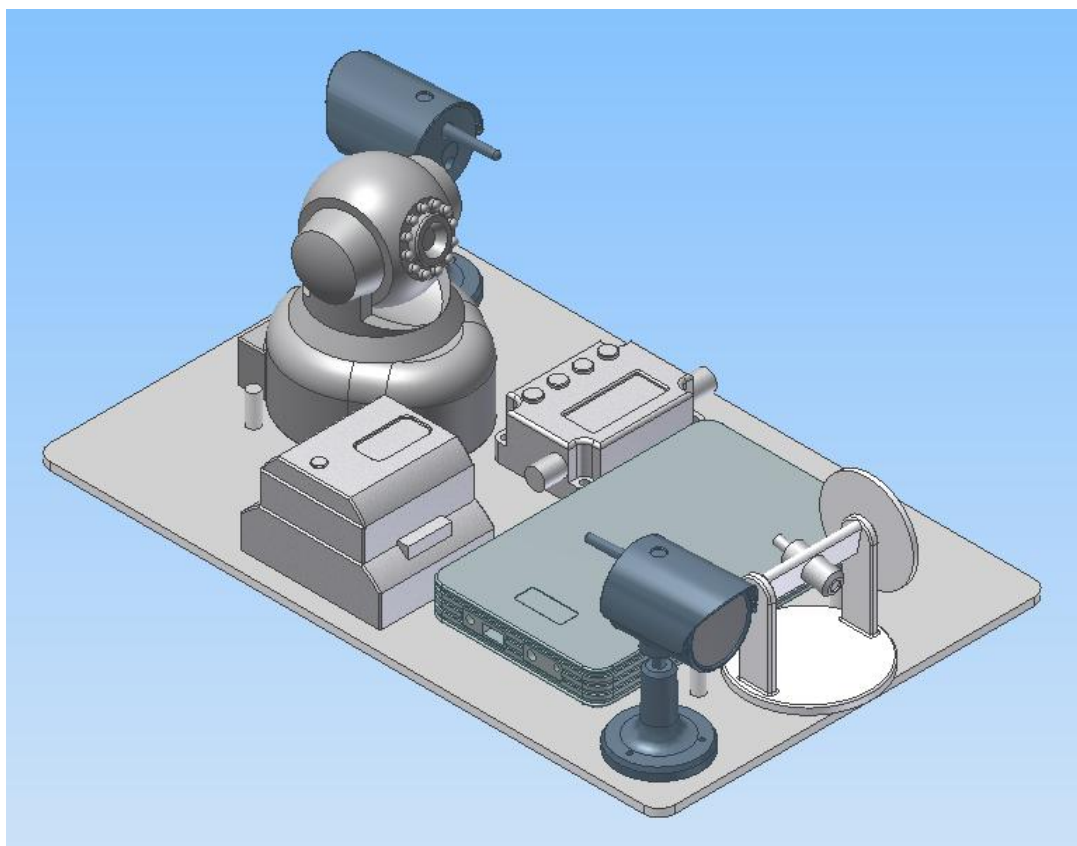
Při rozmístění komponent, je nutné zohlednit několik skutečností. Při odzkoušení modelu, bylo zjištěno, že při rychlém plném zmáčknutí akcelerační páčky dochází k výraznému nadzvedávání přední nápravy, případně až k převrácení. V prvé řadě, je možné tuto skutečnost eliminovat zvýšením tuhosti tlumičů zadní nápravy pomocí přidání vymezovacích kroužků. Tímto je částečně zamezeno nadzvedávání, ne však zcela. Je tedy nutné zatížit přední část, tzn. umístit „těžší“ komponenty dopřední části.

Dále je nutné udržení ideální příčné polohy těžiště v ose podvozku. Jednotlivé komponenty tedy musí být umístěny v ose, nebo tak aby se navzájem vyvažovaly. Udržení těžiště zařízení v ose podvozku má vliv na jízdní stabilitu – čím více je těžiště odkloněno do strany, tím větší je pravděpodobnost převrácení, což je samozřejmě nežádoucí jev.

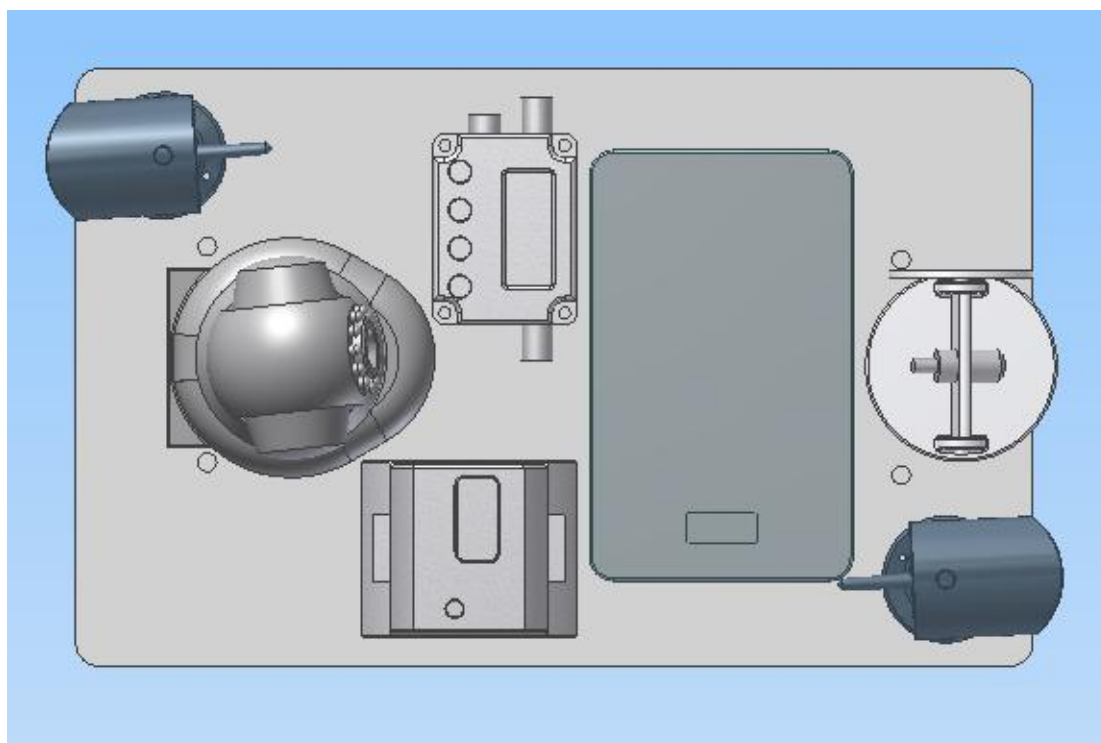
Třetím požadavkem je umístění naklápacího zařízení s měřicí hlavicí pyrometru, tak aby nic nebránilo v jeho rozhledu, tedy nejlépe na některý z krajů nástavby. S tím také souvisí umístění otočné kamery, která musí mít zorné pole nejlépe totožné s měřicí hlavicí pyrometru. Zaměřování měřeného cíle bude provedeno pomocí laserového paprsku či laserového kříže. K samotnému zaměření a kontrole objektu bude sloužit právě otočná kamera.

Umístění řídicí jednotky pyrometru je limitováno pouze délkou a poddajností spojovacího kabelu. Je ovšem vhodné, aby se zobrazovací display nacházel v zorném poli některé z kamer, kvůli možnosti poruchy na při přenosu dat. V takovém případě bude možné data odečítat rovnou z displaye pomocí kamery.

Pro umístění stacionárních kamer je, v první vývojové fázi zařízení, důležité dodržet podmínku co nejlepšího rozhledu. Pomocí těchto kamer bude monitorováno okolí zařízení, navigace a ovládání zařízení. K dispozici jsou momentálně dvě kamery, které budou nasměrovány, tak aby snímaly situaci před a za monitorovacím zařízením. Přenosová soustava těchto kamer umožňuje připojit další dvě kamery za použití jediného přijímače. Pro další fázi je uvažováno s možností 3D vidění pro lepší vjem při ovládání zařízení, což znamená možnost umístit kamery do přesně stanovené pozice. V takovém případě by nejspíš bylo nutné vyrobit širší platformu nástavby. Na následujících obrázcích je znázorněno možné rozmístění komponent.



Obr. 30: Rozmístění měřicích a monitorovacích zařízení [10]



Obr. 31: Pohled na nástavbu shora [10]

Výkres rozmístění komponent je umístěn v příloze 1.

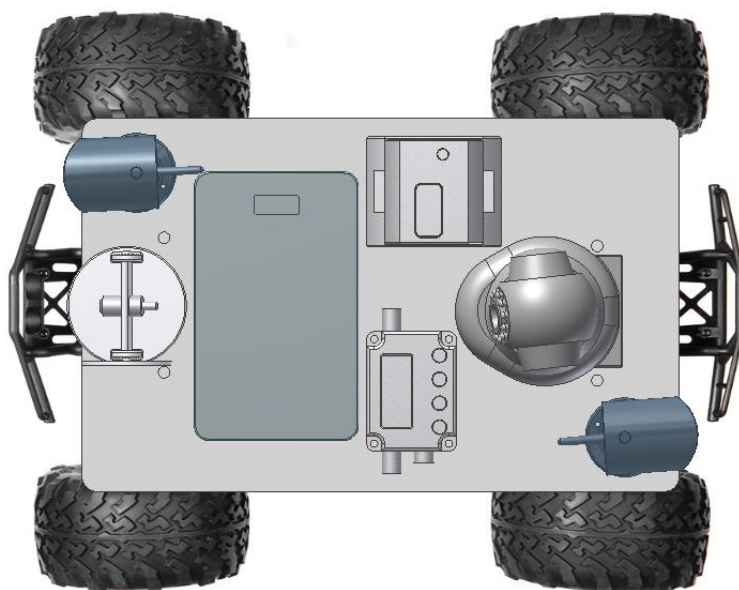
6.5 OVĚŘENÍ STABILITY

Protože známe polohy a přesné či přibližné hmotnosti všech komponent, je možné spočítat výslednou polohu těžiště na základě momentové věty ze vztahů: $x = \sum \frac{m_i \cdot x_i}{m_{celk}}$ [mm]; $y = \sum \frac{m_i \cdot y_i}{m_{celk}}$ [mm], kde x a y je vzdálenost od okrajů platformy. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 8: Vypočítané výsledné polohy těžiště

Součást	hmotnost [kg]	Podélná vzdálenost X [mm]	Příčná vzdálenost Y [mm]	Mx [Nm]	My [Nm]
platforma	0,800	200,0	125,0	0,1600	0,1000
stacionární kamera 1	0,189	363,5	214,5	0,0687	0,0405
stacionární kamera 2	0,189	36,5	36,5	0,0069	0,0069
otočná kamera	0,350	90,1	125,0	0,0315	0,0438
baterie	0,515	269,8	125,0	0,1389	0,0644
hlavice pyrometru	0,050	370,0	125,0	0,0185	0,0063
řídící jednotka	0,370	179,3	67,3	0,0663	0,0249
komunikační jednotka	0,125	164,3	200,0	0,0205	0,0250
naklápěcí mechanismus	0,200	370,0	125,0	0,0740	0,0250
podvozek + baterie	5,820	200,0	125,0	1,1640	0,7275
Celkem	8,608			1,7495	1,0642
Výsledná poloha těžiště od okrajů platformy		203,2	123,6		

Jak je z provedených výpočtů a jejich výsledků patrné, zvoleným způsobem umístění komponent se bude těžiště celého zařízení 3,2 mm před příčnou osou a 1,4 mm vlevo od podélné osy. Z hlediska jízdní stability tedy je v ideální oblasti.



Obr. 32: Vizualizace návrhu monitorovacího zařízení [10]

7 OVLÁDÁNÍ

Pro ovládání pohybu první generace zařízení je využit pákový ovladač s volantem a přenosová soustava dodávaná k RC modelu. Vysílací frekvence je 2,4 GHz. Dosah ovládání je závislý na počtu a druhu překážek mezi vysílačem a mobilním monitorovacím zařízením. Požadovaných 20 metrů, však splňuje. V případě ztráty řídicího signálu je přijímač naprogramován tak, že vyše pokyn motoru k zastavení a řídicímu servu k vyrovnání kol. Po opětovném obdržení řídicího signálu může zařízení pokračovat ve svém pohybu.

Otočná kamera je ovládána pomocí notebooku s wifi kartou a příslušného dodaného softwaru. Přenosová frekvence je také 2,4 GHz. Přenos signálu stacionárních kamer je ve stejném vysílacím pásmu. Přepínání mezi jednotlivými kanály (kamerami) se provádí pomocí dodaného ovladače.

Pyrometr měří neustále od sepnutí spínače až do opětovného sepnutí (nebylo možno ověřit, protože v současnosti není k dispozici). Data jsou zobrazována na panelu komunikační jednotky, případně jsou dostupná přes komunikační rozhraní. Spouštění pyrometru je tedy manuální, přes řídicí jednotku je možné ale provést i dálkově. V první fázi vývoje zařízení budou data odečítána pomocí otočné kamery, což znamená především ušetření nákladů na další komponenty, ale také „odečítat“ hodnot z dalších zařízení pomocí jedné kamery – například kontrolovat stav baterií.

Návrh pro další generace

Z hlediska uživatelského komfortu by byl vhodný výsledek, kdy bude možné ovládat jak podvozek, tak komponenty z nástavby, pomocí jednoho zařízení. Tímto zařízením by mohl být například průmyslový notebook s wifi či jiným vysílačem. Bude tedy nutné vytvořit či získat software, pomocí kterého budou vysílány signály pro řídicí serva modelu. Samotné ovládání by pak mohlo probíhat například pomocí joysticku, či podobného zařízení.



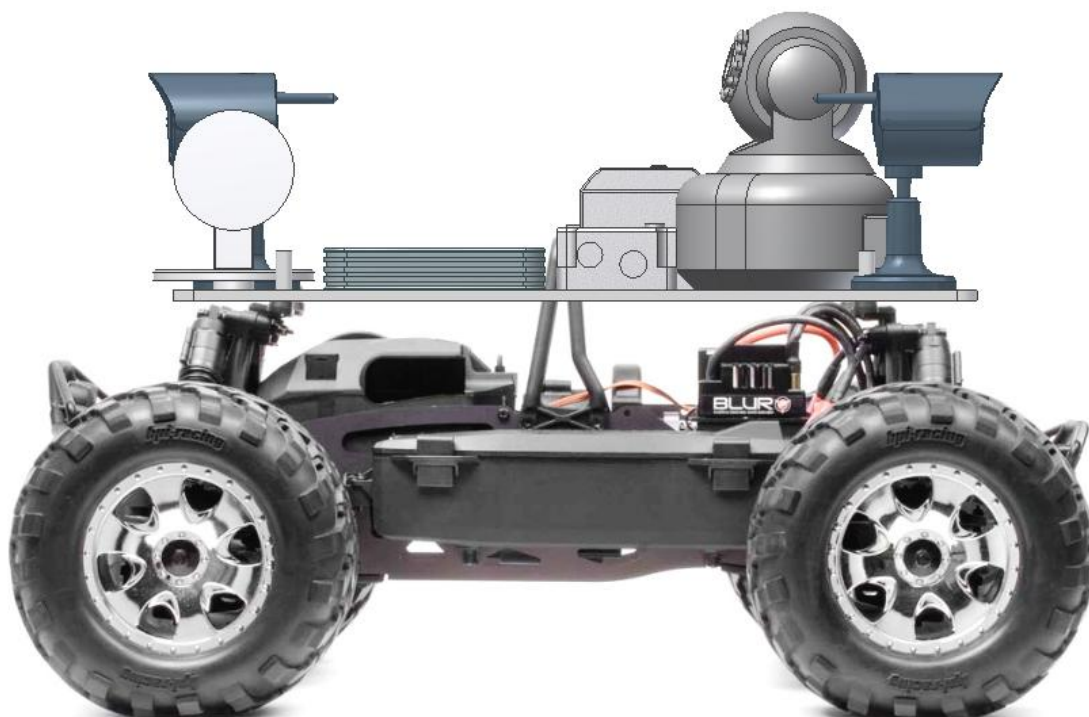
Obr. 33: Vysílač, průmyslový notebook a joystick³⁰ [23]

Pro další vývojové generace je také nutné uvažovat o systémech, které zajistí bezpečnost celého zařízení, tzn. například automatické měření teploty okolí

³⁰ www.alza.cz

monitorovacího zařízení – při překročení se zpustí výstražné oznámení, případně bude „zahájen ústup do bezpečnějších prostor“ nezávisle na vůli obsluhy.

Z hlediska bezpečnosti celého zařízení bude pro další generace také vhodné použít senzory a logické obvody, které budou vyhodnocovat situaci v tzv. mrtvých úhlech, tak aby nedošlo například k pádu zařízení.



Obr. 34: Vizualizace monitorovacího zařízení – boční pohled [10]

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Stanovit zcela přesnou pořizovací cenu monitorovacího zařízení není bohužel z důvodu pohybu cen možné. V následující tabulce jsou tedy uvedeny přibližné ceny, za které je možné jednotlivé komponenty v současné době (tj. květen 2011) pořídit.

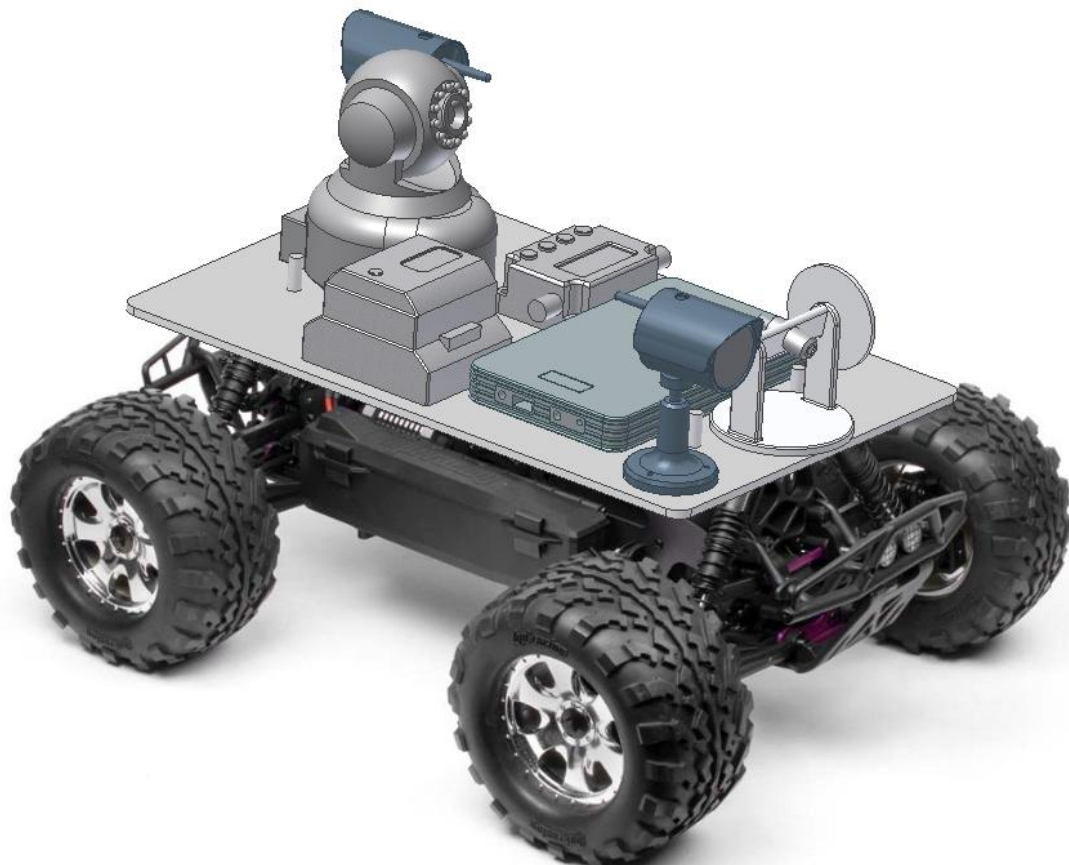
Tabulka 9: Pořizovací náklady na sestavení monitorovacího zařízení

	<i>komponenta</i>	<i>cena/ks</i>	<i>počet ks</i>	<i>cena celkem</i>
PODVOZEK				
	Savage Flux HP	16 690	1	16 690
	akumulátor Nosram	719	2	1 438
				18 128
NÁSTAVBA				
	plato - cena dle materiálu- odhad	750	1	750
	baterie energizer	2 887	1	2 887
	stacionární kamery	4 120	1	4 120
	otočná kamera	2 590	1	2 590
	další materiál			500
				10 847
CELKEM				<u>28 975</u>
MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ				
	pyrometr	21 228	1	21 228
	IP termokamera	51 000	1	51 000
				72 228
DALŠÍ VYBAVENÍ				
	průmyslový notebook	55 500	1	55 500
	joystick	900	1	900
	souprava pro přenos dat	6 500	1	6 500
	naklápěcí mechanismus + serva	2 500	1	2 500
				65 400
CELKEM				<u>166 603 Kč</u>

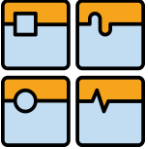
Počáteční investici pro sestavení první generace zařízení, které bude dálkově ovladatelné a schopné nést další monitorovací a komunikační přístroje, lze odhadnout přibližně na 50 000,- Kč. Za tuto částku by mělo být zařízení zcela provozuschopné a mělo by být možné na něm provést testy funkčnosti ovládání, únosnosti a dosahu celého zařízení.

Finální cena monitorovacího zařízení se bude ovšem odvíjet především od použitých snímacích zařízení, která budou tvořit dominantní položku ceny celého

zařízení. I když není provoz v radioaktivním prostředí uvažován, tak nasazení dozimetr, byť pouze z bezpečnostního důvodu, bude mít za cenu navýšení ceny o desítky až stovky tisíc. Podle osazených snímačů tak lze výslednou cenu zařízení, za současného stavu cen, odhadnout v řádu desítek až stovek tisíc korun.



Obr. 35: Vizualizace návrhu první generace monitorovacího zařízení [10]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

9 ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce byl vytvořen návrh koncepce monitorovacího zařízení pro Jadernou elektrárnu Temelín, od níž vznikl námět na zadání této diplomové práce.

Ve druhé kapitole je provedena podrobná základní charakteristika úkolu. Dále je provedena analýza prostředí, především z pohledu možných překážek a rizik pro zařízení. V kapitole 2.2 jsou uvedeny specifikace požadavků na mobilní monitorovací zařízení, které byly stanoveny na základě konzultací s pracovníky elektrárny.

V kapitole 2.4 jsou porovnávány dvě základní možnosti přístupů, jakými lze monitorovací zařízení navrhnout a sestavit. Jsou popsány výhody a nevýhody jednotlivých přístupů a je proveden výběr vhodné varianty pomocí multikriteriální analýzy. Další podkapitola obsahuje analýzu jednotlivých možností pohybu zařízení a výběru nejvhodnější varianty. Ve třetí kapitole je představena základní myšlenka jak celé zařízení zkonstruovat a jsou zde popsány základní komponenty.

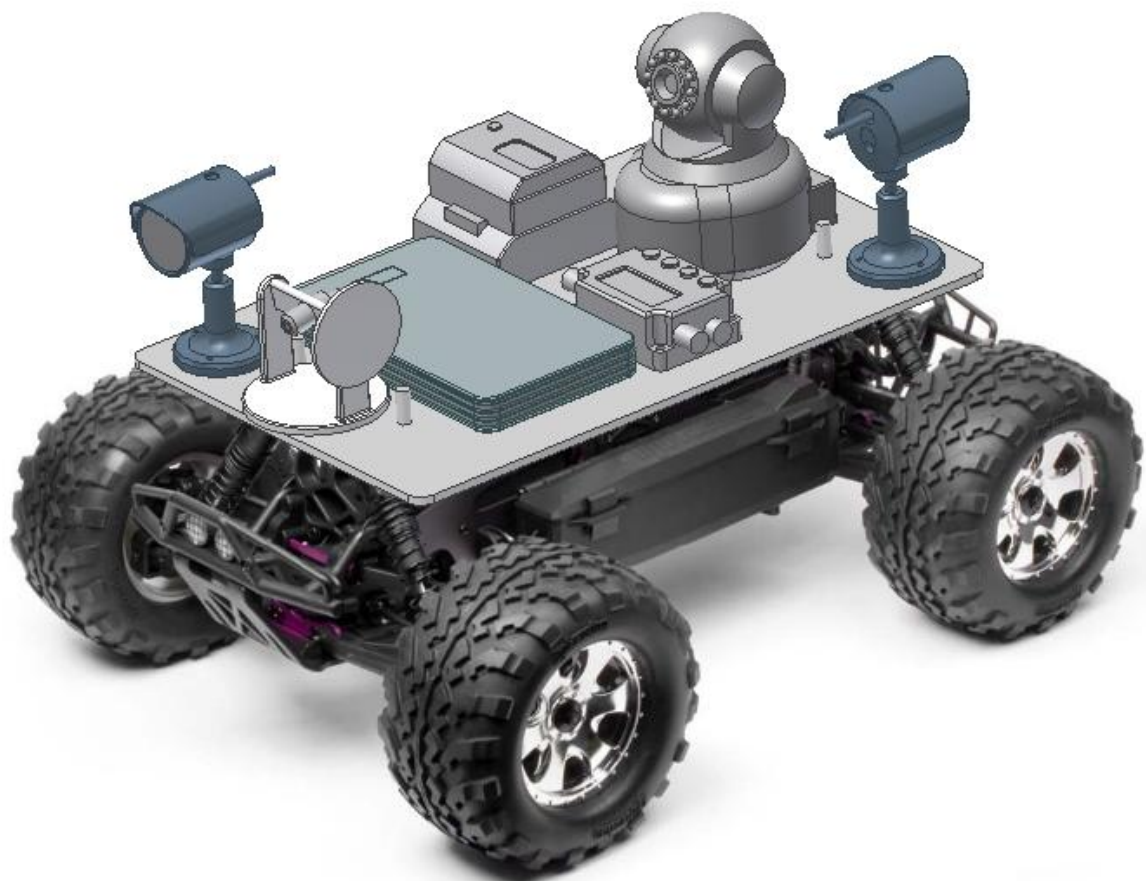
V kapitole čtyři je proveden návrh senzorického vybavení pro zařízení. Je provedena rešerše možností použití jednotlivých snímačů pro monitorování teploty, které je stěžejním úkolem první generace zařízení. Jsou zde porovnány základní přístupy měření, tedy kontaktní a bezkontaktní způsob. Pro každý ze způsobů jsou uvedeny použitelné snímače, včetně jejich výhod a nevýhod při použití, včetně přibližných rozměrů a cen. Tématem podkapitoly 4.2 je výběr vhodných kamer jak pro monitorování, tak především pro ovládání zařízení.

Pátá kapitola obsahuje návrh jednotlivých zdrojů energie pro napájení monitorovacího zařízení. Jsou zde představeny způsoby, jakými je možné zajistit energii a realizovat napájení podvozkové a monitorovací části zařízení.

V kapitole šest je proveden návrh funkčního rozmístění jednotlivých komponent v rámci monitorovací části. V úvodní podkapitole je provedeno experimentální zjištění těžiště podvozku na základě využití metodiky používané pro osobní automobily. Dále byly ve studentské verzi programu Autodesk Inventor 2010 vytvořeny 3D modely všech komponent monitorovací součásti a určeny polohy jejich těžišť – detaily jednotlivých komponent jsou vždy umístěny v příslušné podkapitole. V podkapitole 6.4 je pak proveden možný návrh rozmístění jednotlivých komponent. Výkres k tomuto rozmístění je umístěn v příloze 2. Dále je proveden kontrolní přepočet posunu těžiště celého zařízení.

Předposlední kapitola popis způsobu ovládání jednotlivých součástí pro první generaci zařízení. Dále je představen návrh a představy jak by měly být ovládány další vývojové generace mobilního monitorovacího zařízení. Ve stručnosti lze přepokládat následující vývoj – částečné autonomní rozhodování v případě nebezpečí nezávislé na vůli obsluhy, možnost samostatného automatického pohybu, přenos dat a informací výhradně bezkontaktním způsobem, odesílání výsledků provedeného monitorování pomocí internetu či GSM atd.

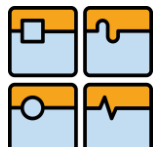
V poslední kapitole je provedeno finanční zhodnocení celého návrhu na sestavení mobilního monitorovacího zařízení. Pro nultou generaci vychází náklady na materiál a jednotlivé komponenty na přibližně 50 000 Kč, pro první generaci pak přibližně 100 000 Kč (bez průmyslového notebooku). Za tuto cenu by již zařízení mělo být schopno plnit požadované činnosti a úkoly místo pracovníků, kteří je museli plnit doposud. I když se náklady mohou zdát vysoké, lze však konstatovat, že náklady na sestavení zařízení jsou zlomkové v porovnání s cenou objektu JETE v řádech miliard, ve kterém je zamýšlen jeho pohyb. Ale především v porovnání s hodnotou lidského zdraví a života jsou tyto náklady minimální.



Obr. 36: Vizualizace návrhu mobilního monitorovacího zařízení pro Jadernou elektrárnu Temelín [10]

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Obrázek jaderné elektrárny Temelín*, dostupné z: www.atlas-cs.logis.cz
[Citováno dne: 15. 2. 2011]
- [2] Firemní materiály Jaderné elektrárny Temelín.
- [3] *Zařízení pro práci v nebezpečném prostředí* [Online], dostupné z: www.lastampa.com [Citováno dne: 18. 2. 2011]
- [4] *Obrázky vrtulníku a baterie NOSRAM* [Online], dostupné z www.rcguru.cz
[Citováno dne: 1. 3. 2011]
- [5] *Servisní roboty* – online text, dostupné z:
www.robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty [Citováno dne: 10. 5. 2011]
- [6] *Obrázek vojenského robotu* [Online], Dostupné z: www.flickr.com
[Citováno dne: 1. 3. 2011]
- [7] *Crawler*, dostupné z: www.rcauto.cz [Citováno dne: 15. 3. 2011]
- [8] *Firemní www stránky společnosti HPI Racing* [Online], www.hpiracing.com
[Citováno dne: 5. 3. 2011]
- [9] *Parametry Savage Flux HP* [Online], dostupné z: www.savage.cz
[Citováno dne: 20. 3. 2011]
- [10] *Vlastní galerie autora*
- [11] Dostálek, M. *Měření teplotních polí v elektrických strojích*, Brno: FEKT VUT v Brně, 2010. 63 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Marcel Janda, PhD.
- [12] *Měření teploty* – online text, dostupné z: www.snimace.xf.cz/mereni-teploty
[Citováno dne: 28. 3. 2011]
- [13] *Termoelektrické snímače* – online text, dostupné z:
www.snimace.xf.cz/termoelektricke-snimace-teploty
[Citováno dne: 28. 3. 2011]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [14] *Firemní www stránky společnosti TSI System* [Online], www.tsisystem.cz
[Citováno dne: 2. 4. 2011]
- [15] *IP termokamera* [Online] , dostupné z: www.termokamery.cz
[Citováno dne: 2. 5. 2011]
- [16] *Bezdrátová kamera CAMSETW15* [Online], dostupné z:
www.pselectronic.cz [Citováno dne: 3. 5. 2011]
- [17] *Vlastnosti kamery a přijímače* [Online], dostupné z: www.hledejsoucastky.cz
[Citováno dne: 5. 5. 2011]
- [18] *Mikrokamera ACME* [Online], dostupné z: www.rcm-pelikan.cz
[Citováno dne: 2. 4. 2011]
- [19] *Wifi kamera F8908W* [Online], dostupné z: www.kameryip.cz
[Citováno dne: 17. 3. 2011]
- [20] *Jak vybrat správnou baterii*, online text, dostupné z: www.heliservis.eu
[Citováno dne: 1. 3. 2011]
- [21] *Energizer VICTOR* [Online], dostupné z: www.softcom.cz
[Citováno dne: 1. 3. 2011]
- [22] VLK, F. *Automobilová technická příručka*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2003. 791 s. ISBN 80-238-9681-4
- [23] *Průmyslový notebook, joystick, wifi anténa*, [Online] dostupné z
www.alza.cz [Citováno dne: 7. 5. 2011]

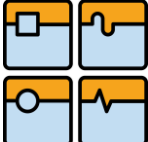
Firemní www stránky společnosti Qtest [Online], dostupné z: www.qtest.cz

Firemní www stránky firmy Jakar [Online], dostupné z: www.newport.cz

Firemní www stránky společnosti Raytek [Online], dostupné z:
www.raytek.com

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

mm – milimetr
 cm – centimetr
 m – metr
 g – gram
 kg – kilogram
 ε – emisivita
 q – zářivý tok
 ρ – odrazivost
 τ - propustnost
 GHz – gigahertz
 K – stupeň kelvina
 $^{\circ}\text{C}$ – stupeň celsia
 W – Watt
 V – Volt
 A – ampér
 mA – miliampér
 mAh – miliampérhodina
 Kč – česká koruna
 JE – jaderná elektrárna
 JETE – jaderná elektrárna Temelín
 RC – radio controlled – rádiem řízený
 PN – přední náprava
 ZN – zadní náprava
 m – hmotnost
 h – výška těžiště

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 58
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – *Výkres rozmístění komponent* - 1 strana

Příloha 2 – *Katalogové listy pyrometru* – 7 stran