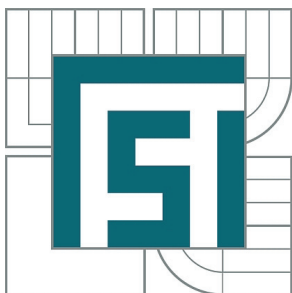


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

DESIGN EXPERIMENTÁLNÍHO MOBILNÍHO ROBOTU

DESIGN OF EXPERIMENTAL MOBILE ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ MALÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL ČOUPEK

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Malík

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

obor: **Průmyslový design ve strojírenství (2301R008)**

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 bakalářské práce:

Design experimentálního mobilního robotu

v anglickém jazyce:

Design of experimental mobile robot

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je vytvořit design experimentálního mobilního robotu s kolovým podvozkem.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat:

1. Vývojová, technická a designérská analýza tématu
2. Variantní studie designu
3. Ergonomické řešení
4. Tvarové (kompoziční) řešení
5. Barevné a grafické řešení
6. Konstrukčně-technologické řešení
7. Rozbor dalších funkcí designérského návrhu (psychologická, ekonomická a sociální funkce).

Forma bakalářské práce: průvodní zpráva (text), sumarizační poster, model.

Seznam odborné literatury:

- DREYFUSS, H. - POWELL, E.: Designing for People. New York : Allworth, 2003.
JOHNSON, M.: Problem solved. London : Phaidon, 2002.
NORMAN, D. A.: Emotional Design. New York : Basic Books, 2004.
TICHÁ, J., KAPLICKÝ, J.: Future systems. Praha : Zlatý řez, 2002.
WONG, W.: Principles of Form and Design. New York : Wiley, 1993.
Časopisy: Design Trend, Designum, Form, ID, Idea magazine ap.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Čoupek

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


V Brně, dne 16.11.2010

L.S.



prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu





prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá designem experimentálního mobilního robotu Car4, který byl vyvinut ve spolupráci Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky s Ústavem konstruování, Odborem průmyslového designu. Výsledkem práce je funkční prototyp karoserie mobilního robotu. Řešení zohledňuje veškeré technické požadavky s ohledem na funkčnost, ergonomii a estetiku.

KLÍČOVÁ SLOVA

mobilní robot, karoserie, design, experimentální robot

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with a design of the experimental mobile robot Car4, which was developed in the cooperation of Institute of Solid Mechanics, Mechatronics and Biomechanics with Institute of Machine and Industrial Design, Department of Industrial design. The result of the thesis is a functioning prototype of a mobile robot body. The solution considers all technical requirements regarding to functionality, ergonomics and aesthetics.

KEYWORDS

mobile robot, body, design, experimental robot

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MALÍK, Jiří. *Design experimentálního mobilního robotu*. Brno, 2011. 48 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma Design experimentálního mobilního robotu jsem vypracoval samostatně za použití zdrojů uvedených v seznamu použité literatury.

Jiří Malík

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Pavlu Čoupkovi za cenné rady, podnětné poznámky a důsledné a obětavé vedení.

Dále bych pak rád poděkoval panu akademickému sochaři Josefu Sládkovi za připomínky ke kompozici, konstruktérům robota Car4 z Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky za spolupráci, panu docentu RNDr. Jaroslavu Petružovi, CSc. z Fakulty chemické za konzultace ohledně materiálů, panu Vladimíru Molíkovi za ochotu a trpělivost a panu Ing. Filipu Uhlířovi za profesionální fotodokumentaci.

Na závěr děkuji svým přátelům, známým a rodině za jejich ochotu, inspirující postřehy a podporu.

OBSAH	
ABSTRAKT	5
KLÍČOVÁ SLOVA	5
ABSTRACT	5
KEYWORDS	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	5
PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI	7
PODĚKOVÁNÍ	9
OBSAH	11
ÚVOD	13
1 VÝVOJOVÁ ANALÝZA	14
1.1 Počátky - automatony	14
1.2 Počátky - roboty	15
1.3 Současnost	18
2 TECHNICKÁ ANALÝZA	20
2.1 Technický vývoj	20
2.2 Kategorizace robotů	20
2.2.1 Ve vzduchu	21
2.2.2 Ve vodě	21
2.2.3 Po zemi	21
2.3 Robot RT-Mover	22
2.4 Robot NMT	23
2.5 Robot Seekur	23
3 DESIGNÉRSKÁ ANALÝZA	25
3.1 Přístupy designérského řešení	25
3.2 Lockheed F-117A Nighthawk	26
3.3 Robot WowWee Rovio	26
3.4 Robotický vysavač iRobot Roomba 770	27
4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU	28
4.1 Varianta 1	28
4.2 Varianta 2	28
4.3 Varianta 3	29
4.4 Finální řešení	30
5 ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ	32
6 TVAROVÉ (KOMPOZIČNÍ) ŘEŠENÍ	33
7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ	34
8 KONSTRUKČNĚ-TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ	35
8.1 Technické parametry	35
8.2 Elektronika	35
8.3 Karoserie	36
8.4 Technologie výroby karoserie	37
8.4.1 Pozitivní forma (kopyto)	37
8.4.2 Negativní forma	37
8.4.3 Skořepina	38
9 ROZBOR DALŠÍCH FUNKCÍ DESIGNÉRSKÉHO NÁVRHU	39
9.1 Psychologická funkce	39
9.2 Ekonomická funkce	39
9.3 Sociální funkce	39

ZÁVĚR	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	42
SEZNAM PŘÍLOH	43

ÚVOD

Když v roce 1920 Karel Čapek představil světu svou divadelní hru R.U.R., kde krkolonné mechanické humanoidy nazval slovem robot, asi netušil co všechno bude s tímto výrazem v příštím století spojováno.

Dnes máme díky lexikologické zdatnosti bratří Čapků, protože to byl Josef, který slovo robot Karlovi doporučil, jméno pro veškeré průmyslové výrobní linky, automatické pomocníky v domácnosti, chirurgické operační asistenty nebo člověku podobné prezentační modely. Robot je v podstatě každý stroj, který je schopen samostatně nebo s dopomocí člověka vykonávat daný úkon.

Mnozí z nás to tolik nevnímají, ale roboti jsou nedílnou součástí našeho života. Těžko říci, odkdy přesně tomu tak je, protože datovat zrod robotiky se dá již k počátkům společnosti. Důležité však je, že díky nim se fyzicky náročná práce již nekládá na bedra člověka, ale vykonávají ji za nás stroje.

A jelikož čím dál více pronikají mezi nás, je třeba řešit problémy s nimi spojené. Zde přichází na řadu také designéři. Jsou to totiž lidé s kým roboti interagují a jelikož je robot stroj, je třeba se postarat o co největší míru jeho humanizace. Vzhled robota musí lidem napovídat, že jsou tady od toho aby nám pomáhali.

1 VÝVOJOVÁ ANALÝZA

Význam robotů a robotických systémů neustále roste. Jejich aplikace mají velkou perspektivu, své užití však roboti našli už v minulosti.

1.1

1.1 Počátky - automatony

Je poněkud překvapivé, že sledovat počátky něčeho tak novodobého, jako je robot lze již v antickém Řecku. Právě tam totiž tvořil Hérón Alexandrijský (období 1. století n.l.) přezdívaný Méchanikos. Jeho práce využívaly nejjednodušších fyzikálních zákonů a jejich účelem bylo zaujmout dav přihlížejících lidí. Za možnou paralelu v Asii lze považovat vynálezce v Číně, kteří poháněli své mechanismy vodou. Ve středověku je spojen technický pokrok se jménem Leonardo da Vinci, který se mimo jiné také zabýval stavbou automatonů. Projekty Burgundského lva (obr. 1) a rytíře jsou podle nákrešů realizovatelné i dnes po téměř 500 letech. [1]



Obr. 1 Replika Burgundského lva

Daleko bylo s vývojem Japonsko v 17. století, kde se podařilo sestrojít ve své podstatě opravdového robota. Byla jím pohyblivá loutka Karakuri (obr.2), určená na roznášení čaje. Její vyjímečnost spočívala v tom, že již byla obdařena “programy”, jež sloužily k volbě trasy. V 18. století výrazně pomohl robotice vynález hodinového stroje. V tomto období působí takové osobnosti jako Jacques de Vaucanson, vynálezce mechanického programátoru, rodina Drozeů (automatony písaře (obr.3) a kreslíře) či Wolfgang von Kempelen, rodák z Bratislavy a autor prvního mluvícího stroje.[2]



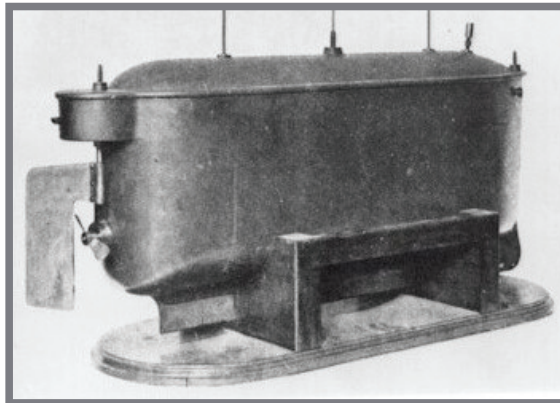
Obr. 2 Loutka Karakuri



Obr. 3 Automaton písaře

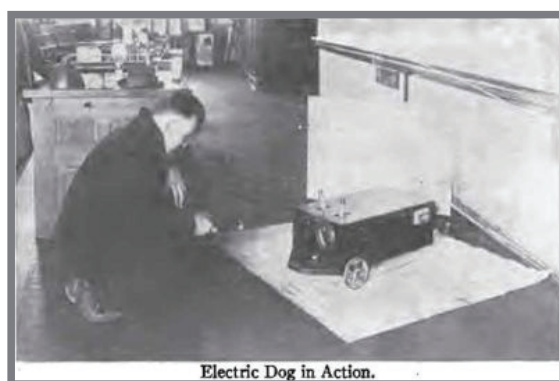
1.2 Počátky - roboty

Podstatu slova robot, to, co si pod ním většina z nás představí, začaly naplňovat až objekty sestrojené počátkem 20. století, čemuž předcházela objev a rozvoj elektřiny a elektrotechniky. Člověkem, který zásadně ovlivnil vývoj na sklonku 19. století byl Nikola Tesla (1856 - 1943). Roku 1898 představil americké armádě dálkově řízenou loď (obr. 4) ve víře, že by jeho nápadu armáda mohla využít. Později jeho nápadu zužitkovala při projektu dálkově řízených torpéd, což se dá považovat za první užití armádních robotů.[1]



Obr. 4 N. Tesla - robotická loď

Dalším milníkem v historii byl robotický pes Seleno z roku 1912 navržený a sestrojený dvěma vynálezci Johnem Hammondem a Benjaminem Miessnerem. Jejich robot byl ojedinělý tím, že díky fotocitlivým čidlům v přední části dokázal najít a následovat zdroj světla. Tříkolová konstrukce fungovala ovšem jen v zatemněné místnosti. I tak to znamenalo veliký skok kupředu, jelikož se jednalo o prvního robota se zárodkem inteligence a autonomního chování.[7]



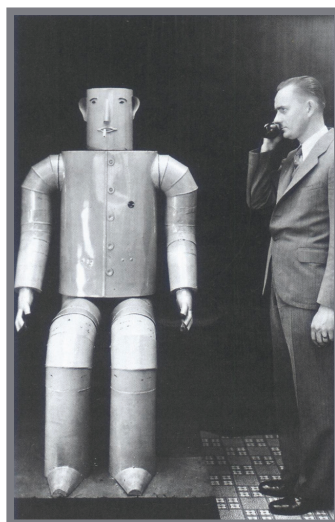
Obr. 5 Elektrický pes Seleno

Píše se rok 1921 a v Národním divadle má premiéru hra Karla Čapka R.U.R. (Rossumovi univerzální roboti), která znatelně ovlivnila svět všech androidů a automatů. A to nejen kvůli slovu robot, které spatřilo světlo světa právě díky Čapkovi, ale také kvůli jeho vizi budoucnosti, kterou okupují humanizovaní roboti. Mnoho firem se tedy

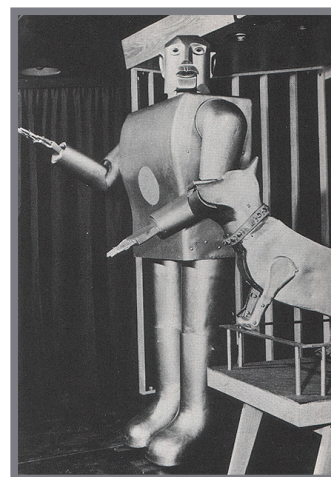
věnuje “lidštějším” variantám robotů. Jedna z nich, americká Westinghouse, představila tři modely: první z nich nazvaný Mr. Televox (1927, obr. 6), byl to přístroj podobný telefonní centrále, který dokázal rozpoznat příkazy dané telefonicky (na základě určité frekvence a výšky hlasu) a následně provést úkon (například zapnout spotřebič). Jeho podoba se blížila člověku, jen díky kartonové siluetě, která byla k ústrojí připevněna. V roce 1930 to byla vylepšená verze s názvem Willie Vocalite (obr. 7). Ten se androidovi blížil více, byl totiž oproti svému kartonovému předchůdci pohyblivý a zároveň uměl provést příkazy, které člověk vyslovil (na některé i odpověděl). Nejpokročilejším byl robot Elektro (1937, obr.9), dominoval jak svou technickou vyspělostí tak i výškou, jeho konstrukce dosahovala výšky necelých 230 cm. Pohybové schopnosti tohoto modelu byly rozvinuté (plně pohyblivé nohy, ruce). Poměrně dokonalá již byla i jeho komunikace, dokázal rozpoznat i složitější příkazy a ze zásoby asi 700 slov dokázal utvářet základní věty. Později k němu inženýři firmy Westinghouse přidali i robotického psa jménem Sparko. Mimo Ameriku to byl také robot Alpha z roku 1932, který si získal svou pozornost. Sestrojil jej profesor Harry May v Anglii. Konstituce robota Alpha byla poměrně mohutná, jeho váha se pohybovala v rozmezí jedné až dvou tun. Zvládl odpovídat na určité předem dané otázky a to díky syntéze hlasu zprostředkované několika voskovými válečky.[2]



Obr. 6 Mr. Televox



Obr. 7 Willie Vocalite

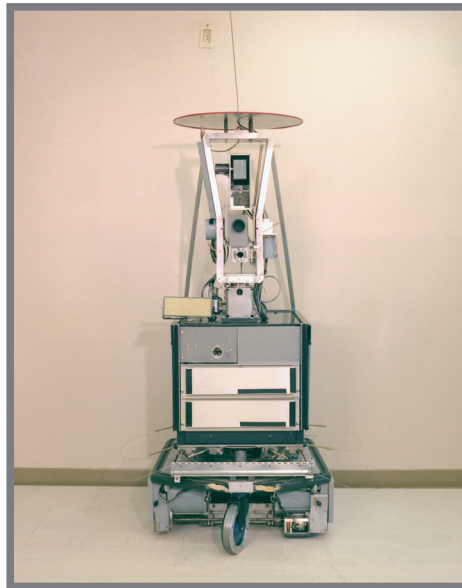


Obr. 8 Robot Elektro a robotický pes Sparko

Své zastoupení v této době mají i vojenští roboti, nejvýraznějším počinem byla dálkově naváděná pásová mina, Goliath. Německo ji používalo během 2. světové války.[3] Ačkoli roboti tohoto období uměli reagovat a plnit příkazy, neoplývali jakoukoliv známkou inteligence. To dokázal změnit americký neurofyziolog William Gray Walter, který postavil dva želvu připomínající roboty (Elmer a Elsie), bylo to v období konce 40. let. Želva dokázala díky fotosenzorům reagovat na světlo, pohybovat se v místnosti s tím, že při nárazu na překážku (byla také vybavena taktilními senzory) si zapamatovala její polohu a tak si utvářela vlastní model svého pohybového prostoru. Tvůrce dokonce experimentálně pozoroval jejich chování a testoval nepodmíněné reflexy. Takovýto postup připomínal organickou evoluci, začínalo se od nejjednodušších úloh, roboti pak reprezentovali jednobuněčné organismy.[2]

Druhou cestu umožnil až velký boom v podobě vynálezu prvních počítačů v 50. letech, rozvoj robotů pak šel ruku v ruce s nimi. Ten úplně první víceúčelový počítač

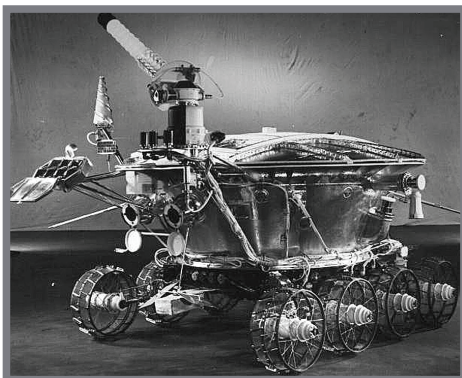
byl ENIAC z roku 1946. Navázaly projekty EDSAC a EDVAC. Nově tedy nastala možnost řídit pohyb robota počítačovým programem. Prvním projektem, který na tomto předpokladu stavěl byl robot Shakey. Vyjímečností Shakeyho bylo, že dokázal přemýšlet o prostředí ve kterém se nacházel. Byl vybaven televizní kamerou a dokázal za pomoci počítače, se kterým komunikoval upravovat model místnosti ve které se nacházel. Jednalo se o projekt laboratoří SRI (Stanford Research Institute) z roku 1966, jehož zásluhou byl v robotice udán nový směr, směr tvorby umělé inteligence.[4][26]



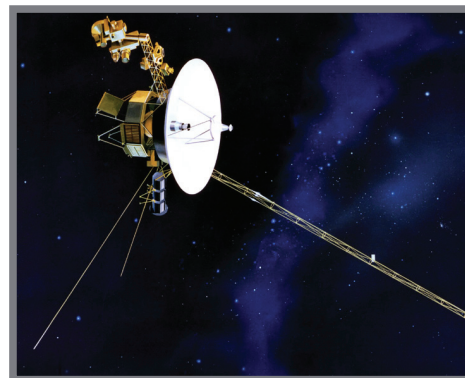
Obr.9 Shakey

V 60. letech byla v průmyslových zemích tovární výroba na poměrně vysoké úrovni, jedním z cílů byla tedy i snaha o automatizaci. V roce 1961 byl vyvinut první průmyslový robot Unimate, součást montážní linky General Motors.[5]

Lunokhod byl název Ruského vesmírného programu, jehož součástí byl i robotický osmikolový průzkumník (obr. 10), který v roce 1970 přistál na měsíci. Šasi robota byla osazena materiálovými spektrografy, energii čerpal díky solárním panelům a dobíjecím akumulátorům. Program měl i své pokračování o tři roky později. Amerika se se svým programem zaměřila na průzkum hlubokého vesmíru, vyslala dvě robotické sondy Voyager (obr. 11) na konci 70. let. Informace vysílají dodnes.[6]



Obr.10 Lunokhod



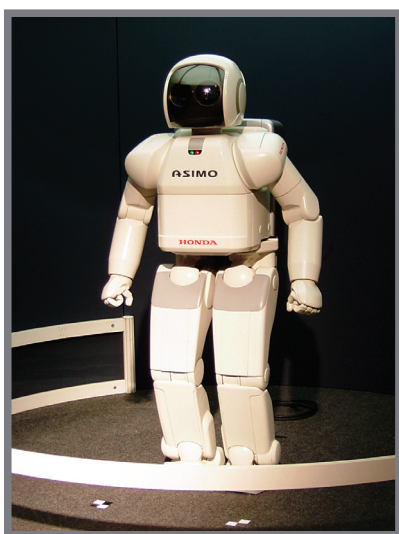
Obr.11 Voyager

Vynález mikroprocesoru z roku 1971 umožnil osazovat roboty svým vlastním počítačem, výrazně se také zvýšil jejich výpočetní výkon, objevilo se několik programovacích jazyků přímo pro účely umělé inteligence (např.: PROLOG z r. 1973). V rámci experimentů se začalo pracovat s roboty na univerzitách. Vznikaly projekty mechanických končetin a inteligentních androidů.[1]

1.3

1.3 Současnost

Společnost Honda se začala podílet v 80. letech na výzkumu humanoidních robotů. Produktem byly řady E a P s posledním modelem celosvětově známého typu ASIMO. Dnes je Honda jedna z nejnápadnějších společností na poli robotiky.



Obr. 12 ASIMO



Obr. 13 ASIMO v chůzi

Ke konci 20. století vzniká velké množství firem zabývajících se roboty. Mezi nimi i společnost iRobot, založená roku 1990. Orientují se i na oblast vojenské a policejní techniky. Experimentální pásová platforma Urbie byla určena pro průzkum v obtížném terénu. Jejich PackBot je dokonce současně používán na armádních misích v Iráku a Afghánistánu. Jeho úkolem je odhalování výbušnin a průzkum nepřátelského území. [5][7]

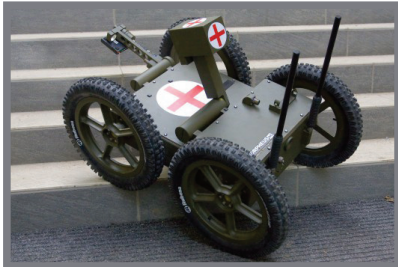
Dalším poměrně novým výrobcem robotů, převážně mobilních, je korporace MobileRobots (zal. 1995). V jejich portfoliu se nachází čtyřkolové konstrukce, mj. univerzální model, s pohonem všech čtyř kol, Seekur. Jak jeho název napovídá (z angl. seek hledat) je to průzkumný robot vybavený kamerami a senzory. Kompaktnější verze Pioneer 3-AT, P3-DX jsou dokonce vybaveny ramenem pro manipulaci. Jejich produkty využívá řada společností, mj. armáda Spojených států.[9]

Práce na projektu Orpheus brněnské VUT měla za výsledek průzkumný záchranářský systém postavený na čtyřkolové platformě s využitím pro vyhledávání osob a distribuci léků[12].

Vyspělým kolovým robotem byl Sojourner, součást další vesmírné mise, tentokrát průzkumu planety Mars. Byl osazen počítačem s procesorem kmitočtu 100 Hz, jeho hlavním účelem byla analýza hornin na povrchu planety.[13]

V souvislosti s novodobými konflikty některé společnosti vyvíjejí takzvané UGV, bezpilotní pozemní vozidla. Jako příklad je možné uvést pásové vozidlo Gladiator,

momentálně ve výbavě amerického námořnictva. Bezpilotní robotika se také využívá ve vzduchu, nejužívanější UAV (bezpilotní letadlo) je model Reaper.[10]
Svůj projekt bezpilotního letounu má také VUT v Brně. Jedná se o letoun Marabu, jehož vývoj byl dokončen v roce 2009 a který slouží k testování elektronických systémů automatické pilotáže pro bezpilotní prostředky.[11]



Obr. 14 Orpheus - projekt VUT



Obr. 15 VUT 001 Marabu

V roce 2003 univerzita v Osace dokončuje svůj projekt Actroid, android dosud nejvíce podobný člověku.

2010 se zavazuje firma General Motors ve spolupráci s NASA k vytvoření robotického astronauta (Robonaut 2), který je následně o rok později součástí posádky na palubě raketoplánu Discovery při jeho posledním startu na orbitu Země.[5]



Obr. 16 Robonaut 2

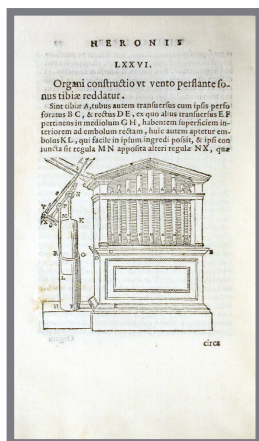
Vývoj robotů se v posledních letech rapidně urychlil. Jsou součástí každodenního života, jejich přesnost a neúnavnost je využívána v továrnách a na výrobních linkách, pomáhají nám při úklidu v domácnosti, nahrazují člověka v situacích, které by mohl jen obtížně zvládnout. Jejich budoucnost byla nastíněna v mnoha filmech a knihách, většinou s katastrofickým podtextem. Avšak kam se budou ubírat doopravdy lze jen těžko odhadnout, vzhledem k tomu v kolika oblastech jsou uplatňováni.

2 TECHNICKÁ ANALÝZA

Původ slova robot byl v této práci citován již několikrát, jeho význam však nikoliv. To co za tímto slovem hledat, je značně ovlivněno tím, v jakém časovém úseku se pohybujeme.

2.1 Technický vývoj

V úplných prvopočátcích byly roboty stavěny ze snadno dostupných materiálů jako bylo dřevo a kámen, poháněni byli vodou, vodní parou nebo větrem (obr. 17). Přenos pohybu zajišťovaly jednoduché stroje: páka, kladka. S postupem času a novými technologiemi na zpracování železa se začali stavět roboti z kovových materiálů. Příkladem může být DaVinciho automaton (obr. 18) s kovanou zbrojí, jehož dokázala rozpo-
hybovat jednoduchá soustava kladek a lan. Vzhled i mechanickou obratnost posunul dále rovněž hodinový stroj (18. st.) a díky Vaucansonovu vynálezu programátoru byli roboti schopni vykonávat více funkcí. Stroje z této doby už byly také schopny vykonávat pohyb, sice omezený, ale oproti minulosti, kdy byli roboti nepohybliví nebo jen s velice nejistým krokem to byl znatelný rozdíl. Složitě soustrojí ozubených koleček a pružin často zakrývaly šaty a napodobeniny lidské kůže. Tehdejší roboti již byli schopni vykonávat i poměrně složité pohyby jako psaní, kreslení nebo hraní na nástroj. Do dnešní podoby se roboti přiblížili díky rozvoji elektrotechniky v 18. a 19. století. Tehdy využívali elektrické energie, byli dokonce ovládáni bezdrátovými technologiemi. Také materiály výrazně pokročily, šasi robotů tvořily ocelové konstrukce s hliníkovými plechy. Začaly se objevovat i první počítače, roboti tak byli ovládáni vlastní řídicí jednotkou, popř. komunikovali s počítači. [1][5]



Obr. 17 Herón Alexandrijský - varhany poháněné větrem



Obr. 18 L. DaVinci - automaton rytíře

2.2 Kategorizace robotů

V dávné minulosti měli roboti vesměs stejnou podobu, byly to mohutné objekty s omezenou pohyblivostí, vývoj šel však kupředu a dnes jich existuje tolik, že každý má svou specifickou konstrukci. Roboty lze kategorizovat podle mnoha kritérií (vzhled, účel, použití, konstrukce), z obecného hlediska je lze dělit na mobilní a nepohyblivé-

-stacionární. Zadáním bakalářské práce je design mobilního robotu, proto se jako nejlepší způsob dělení jeví druh a prostředí pohybu.

Robot může vykonávat pohyb:

2.2.1 Ve vzduchu

Pohybující se ať už pomocí motorů (turbovrtulových či proudových) nebo jako horokovzdušné balóny nadnášeny médiem lehčím než vzduch. Nejlepším příkladem vzdušných robotů ze současnosti jsou bezpilotní letadla (obr. 19). Naváděcí robotické systémy se také využívají k řízení raket, zajímavé jsou robotické vzducholodě, experimentální projekty schopné autonomního pohybu a mapování okolí.



Obr. 19 General Atomics MQ-1 Predator

2.2.2 Ve vodě

Mohou plavat, vykonávat pohyb jako ryby, nebo podobně jako lodě se mohou plavit pomocí lodního šroubu, nebo kola. Zajímavé řešení představili američtí vědci, sestrojili robota, který dokáže po vodě chodit, podobně jako vodoměrka (obr. 20).



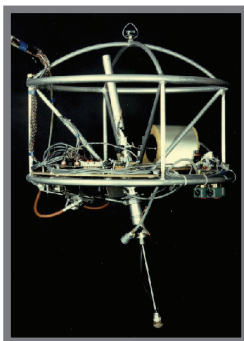
Obr. 20 Carnegie Mellon University - robot STRIDE

2.2.3 Po zemi

Jednoduchý a nejčastější způsob pohybu. Pro roboty nejvhodnější prostředí. Konstrukcí podvozků, které umožňují pohyb po zemi je více proto lze tuto kategorii dále dělit

Kráčející roboty

Existují i jednoohé „poskakující“ konstrukce (obr. 21), užitečnější jsou dvounohé šasi, velké množství platform se pohybuje i na více nohách. Pohyb mechanických noh je pomalý, ale nabízí možnost překonávat těžší terén.



Obr.21 3D One-Leg Hopper

Hybridní

Jedná se o moderní efektivní řešení, kombinující výhody dvou zmíněných konstrukcí. Kola jsou umístěna na koncích kráčejících noh, robot se tedy může v upraveném terénu pohybovat rychle, zároveň však dokáže překonávat obtížně průchodný terén pomocí mechanických noh.

Kolový

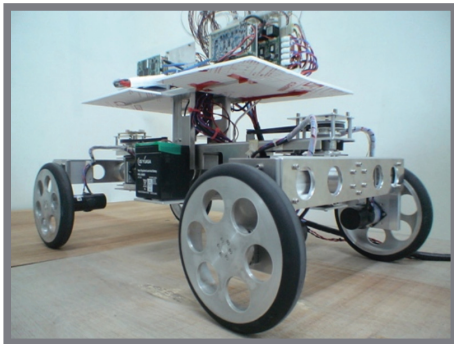
Kola jsou nejčastějším prvkem pohybu robotů, jedná se o rychlý a energeticky nenáročný způsob. Vlastnosti takového robota úzce souvisí s počtem kol, jednokolové modely jsou poměrně nestabilní, navíc nezcela jednoduše dokážou měnit směr. Dvoukolové verze jsou již v jednom směru stabilní, pomocí rozdílné rychlosti otáčení kol dokážou také zatáčet. Úspěšně této platformy využívá firma Segway. Plnou stabilitu získávají až podvozky osazené třemi koly. Pro vyšší rychlost je však lepší podobně jako u aut mít čtyřkolový podvozek. To je také nejčastěji užívaná varianta, nicméně je možno vidět i roboty s více koly.[2]

Tématem mé bakalářské práce je robot čtyřkolový, proto je vhodné si ukázat technické řešení na některých již fungujících projektech.

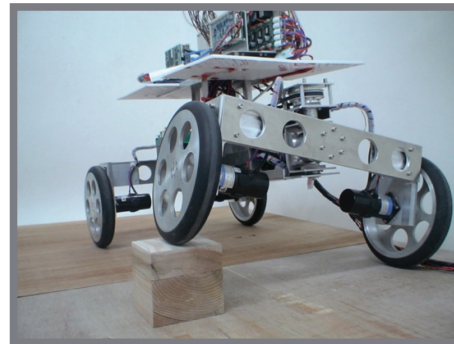
2.3

2.3 Robot RT-Mover

RT-Mover (obr. 22, 23) je modelové označení pro robota japonského Chiba Institute of Technology. Jedná se o experimentální projekt pro výzkumné účely. Jeho podvozek, který tvoří čtyři kola umístěná na dvou nápravách je uzpůsoben pro pohyb v náročném terénu. Nápravy se natáčejí vzhledem ke společné ose, umožňují tak i jakési kráčení, robot může překonávat i vysoké schodovité překážky. Změnu směru umožňuje Ackermannův mechanismus řízení (podobně jako u automobilu, dvě kola jsou pevná dvě mohou zatáčet). K podvozku je také připevněna pohyblivá plošina, která je robotem udržována stále ve vodorovné poloze. Možné aplikace tohoto robota jsou přeprava materiálů popřípadě zraněných osob ve stíženém terénu. Pohon kol zajišťují čtyři elektromotory, které nezávisle dodávají točivý moment. Další serva jsou použita pro zatáčení a vyrovnávání plošiny.[14]



Obr. 22 RT-Mover

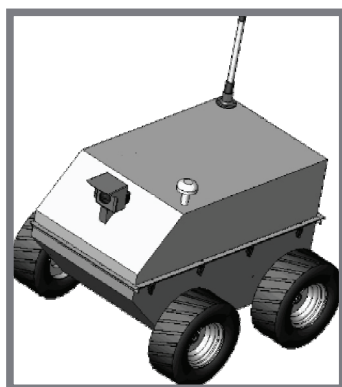


Obr. 23 RT-Mover - pohyb přes překážku

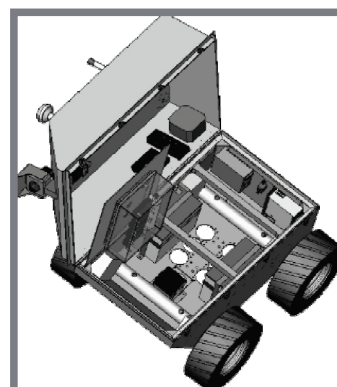
2.4 Robot NMT

2.4

Bezesporu přínosná je nízkonákladová koncepce robotu pro detekci nášlapných min postavená v laboratořích NMT (New Mexico Tech), který by při této riskantní činnosti měl nahradit člověka. Robustní čtyřkolová šasi je vyrobena z hliníkových plátů, pohon všech čtyř kol umožňuje poměrně jednoduchý systém zatáčení. Řízení smykem spočívá v tom, že ke změně směru dochází díky rozdílným rychlostem otáčení kol. Tento princip využívají např. i tanky nebo malé nakladače. Konstrukce obsahuje dvě úrovně, které oddělují pohonný systém a navigační elektroniku s počítačem (obr. 25). Robot je možno ovládat buď dálkově, nebo přes PC rozhraní určením trajektorie, popřípadě oblasti, kterou má prohledat. Jelikož jsou jeho kola vertikálně nepohyblivá, nedosahuje takové průchodnosti terénem jako předchozí model, nicméně to mu dovoluje operovat ve vyšších rychlostech (vyšších ve srovnání s krácejícími modely, rychlost kolem 4 kmh^{-1}). Dbáno je i na nízké náklady (cena kolem 15000 \$), vzhledem k tomu v jakém prostředí se robot používá.[15]



Obr. 24 NMT Robot



Obr. 25 NMT Robot - pohled na elektroniku

2.5 Robot Seekur

Model používaný pro průzkum a zabezpečení okolí není experimentální platformou, jedná se o sériově vyráběný model. Oproti předchozím robotům je mohutnější (výška 1,1 m a hmotnost 350 kg). Všechna jeho čtyři kola jsou poháněna a robot je schopen je jakkoliv natočit. Takový systém umožňuje prakticky okamžitou změnu směru a díky

nulovému poloměru otáčení je velice obratný. Kola jsou sice odpružená ale zdolání těžkého terénu je nemožné. S počítačem umístěným v konstrukci se robot dokáže chovat zcela samostatně a odesílat informace a obraz na LCD rozhraní. K průzkumu prostředí používá pohyblivou kameru a laserový dálkoměr.[16]



Obr.26 Průzkumný robot Seekur

Přestože naše představy o robotovi plní lépe humanoidní modely, kolové roboty jsou používány daleko častěji a jejich rychlost a spolehlivost je využívána hlavně na průzkum rozsáhlých oblastí. Možnost ovládat je dálkově nebo je osadit autonomními systémy z nich činí ideální prostředky pro průzkumné a vojenské mise.

3 DESIGNÉRSKÁ ANALÝZA

3

Slovo design pochází z angličtiny a znamená navrhovat, plánovat, vynalézat. V posledních letech se však v povědomí veřejnosti usadilo jako slovo s jiným významem, pro mnohé totiž znamená krásu, vkusnost, originalitu. Nahrazovat pojem design těmito ekvivalenty je chybné, avšak ne zcela zcestné, všechny tyto atributy by totiž měl správný výsledek práce designéra mít. Nicméně opravdový design se podřizuje funkčnosti, k čemu by například byla nádherná židle, na kterou by se člověk nemohl ani posadit? Každý předmět má svou užitnou hodnotu a většina průmyslových výrobků, s nimiž člověk přichází do kontaktu by měla svým vzhledem napovědět svou funkci.

3.1 Přístupy designérského řešení

3.1

Přístupů jak utvářet nosný vzhled objektu je několik. Každý z nich má svá pro a proti. Spoustu moderních značek užívá oblíbeného minimalismu a s heslem v jednoduchosti je síla razí cestu k marketingově úspěšnému designu. Základní tvary, doplněné zajímavými detaily a netradičními materiály, to jsou prvky, které z obyčejného dělají jedinečné. Audiotechnika dánských Bang & Olufsen nebo počítače a elektronika americké firmy Apple, to jsou soudobé značky, které teží z tohoto jednoduchého avšak oblíbeného a komerčního designu. Z architektury by to mohla být tvorba Ludwiga Miese van der Roeho, jehož "Méně je více" vystihuje podstatu minimalismu. V současnosti tento směr užívá asi největší obliby, má spoustu výhod: je jednoduchý, efektivní, dobře se vyrábí a hlavně dobře se prodává.



Obr. 27 Beosound 9000 - minimalistický CD přehrávač značky Bang & Olufsen



Obr. 28 L. Mies van der Rohe - vila Tugendhat

Některé záležitosti si však vyžadují, ať už ze své podstaty nebo chtěného efektu, složitější tvarování. Vzniklý objekt je však více sochou než-li užitkovým předmětem, to však neznamená, že by bylo nemožné jej pohodlně užívat. Takové tvarosloví však vyžaduje velkou dávku fantazie a obrovský cit pro kompozici v souladu s ergonomií a praktičností. Za příklad takové tvorby já osobně považuji tvorbu španělského architekta Antoniho Gaudího, jehož stavby spíše připomínají detailně opracované kameny. Při navrhování některých věcí ani není třeba designérů, jejich vzhled vyplývá čistě z účelu a fyzikálních zákonů. Jedná se především o vojenské stroje (technologie stealth vyžaduje přesné tvarové uspořádání) nebo například závodní monoposty formule (s ohledem na optimální aerodynamiku karoserie a bezpečnost pilota). Trup letadla má svůj unikátní tvar čistě proto, aby poskytoval co nejlepší vlastnosti při pohybu ve vzduchu.

Přestože existují i další možnosti, jak při samotném navrhování postupovat, výhodnější bude uvést ke každému zmíněnému přístupu příklad.

3.2 Lockheed F-117A Nighthawk

Ačkoliv se nejedná o robot, alespoň ne svou podstatou, tento neviditelný bombardér pro mě představuje ohromný inspirační zdroj. A přitom jeho vzhled není výsledkem snahy o líbivost. Uspořádání ploch vzniklo v důsledku použití technologie stealth, která tento letoun činí neviditelným pro radary. Podstatou je použití povlaku materiálu RAM (radar absorbing material) a vzájemné uspořádání ploch. Na trupu letadla se nesmí vyskytovat žádná místa, kde by vznikl koutový reflektor (místo styku třech na sebe vzájemně kolmých ploch). Takové plochy vznikají nejčastěji v ocasní části letadla, pokud vlny radaru dospějí k tomuto místu, odrazí se přímo ke zdroji. U letounu Nighthawk jsou ocasní plochy zkoseny. Stroj svým tvarem klade poměrně velký odpor proudícímu vzduchu, moderní technologie pokročily a dnešní neviditelné bombardéry nabývají dalekoho hladších tvarů. Trysky motorů jsou zapuštěny v trupu, aby mohly být výfukové plyny dostatečně rychle ochlazené a letadlo tak nezanechávalo tepelnou stopu zachytitelnou termosenzory. Černá barva letoun zneviditelňuje opticky pro noční mise. Veškerá výzbroj je umístěna uvnitř draku letounu, munice zavěšená pod křídly by bombardér prozradila.

Všechny tyto faktory jsou nezbytné pro správné fungování technologie stealth a přitom utváří velice zajímavou a opticky vyváženou kompozici.[17]



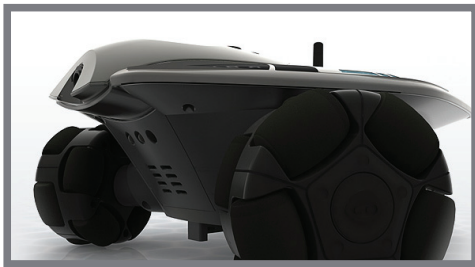
Obr. 29 Lockheed F-117A Nighthawk



Obr. 30 Letoun F117A Nighthawk - Čelní pohled

3.3 Robot WowWee Rovio

Kanadská společnost WowWee v roce 2008 představila robot Rovio, bezdrátově ovládanou mobilní webkameru. Rovio komunikuje s počítačem uživatele přes Wi-Fi rozhraní a poskytuje streamované audio a video záznamy. Základní tvar je zajímavý a působí velice futuristicky, tak trochu naplňuje představu o robotu z vědecko-fantastické literatury. Tři mohutná všesměrová kola osázena po obvodu válečky umožňují robotu změnit směr bez toho aby se musely natáčet. Pozornost opticky strhává dvoukloubové rameno se zabudovanou kamerou. Robot vypadá velice esteticky a nevýrazná černo-šedá barevnost akcentovaná modrým indikačním osvětlením je vhodně zvolena. Přestože je Rovio složitě tvarovaný robot, plný výrazných prvků, jako jsou kola, rameno a grafické členění horní strany, není jeho vzhled rušivý a celá koncepce si zachovává harmonii a jedinečný výraz.[18]



Obr.31 Wowee Rovio



Obr.32 Wowee Rovio - vysunuté rameno

3.4 Robotický vysavač iRobot Roomba 770

3.4

V poslední době získávají robotické vysavače na výrazné oblibě, jejich chod je nezávislý, tichý a ušetří spoustu času. Těži z toho hlavně firma iRobot, která jich ve svém portofilu má několik. Model Roomba 770 má jednoduchý tvar válce a s výškou 91 mm je schopný vysát i prostory pod nábytkem. Půdorys kruhu je nevhodnější tvarová konfigurace, nejprostupnější a všesměrová, zaručuje robotu, že se nezaklíní o roh nábytku. Černá barva je velice elegantní poskytuje kontrastní doplňek pro zelené podsvícení tlačítek. Základní tvar je minimalistický, vzhled robotu je díky citlivě voleným detailům a hmotovému členění moderní a působivý.[19]



Obr.33 iRobot Roomba 770 - čelní pohled



Obr.34 iRobot Roomba 770

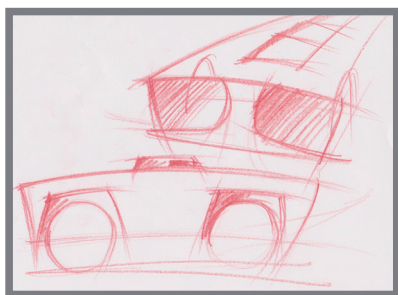
Tvar robotu dokáže vypovědět o jeho funkci hodně. Je jedno, jestli vychází ze základního tělesa nebo je tvořen dynamickými křivkami, pokaždé může jeho design vypadat vyspěle a elegantně. Výsledný dojem hodně ovlivňují také použité materiály a barvy, které však musí doplňovat základní myšlenku a nepřekážet správnému fungování.

4 4 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

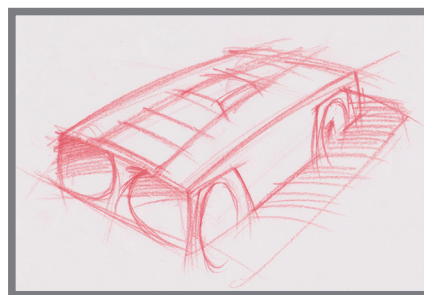
V průběhu vlastního navrhování vznikly desítky variant na papíře, několik variant v počítači a z nich byly vybrány tři nosné koncepce. K zadanému úkolu jsme se přihlásili dva, každý z nás musel vypracovat svou trojici konceptů robotu. Následovala prezentace konceptů, které se účastnili konstruktéři robota Car4 z Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky a vedoucí bakalářské práce. Z trojice konceptů byl vybrán jeden, nejzajímavější, který jsme rozpracovali do podoby připravené k výrobě. Poslední prezentace rozhodla, který model se bude realizovat. Nyní bych rád představil své tři koncepty.

4.1 4.1 Varianta 1

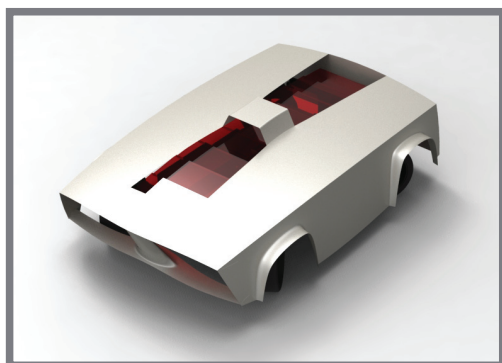
První varianta nese podobnost k osobnímu automobilu, kterou jsem se snažil potlačit podélným otevřením karoserie (obr. 38). Tento otvor slouží k jednoduchému přístupu k součástkám robotu, aby člověk mohl operovat s nastavením elektroniky bez nutnosti sejmout karoserii. Otvor je však překryt několika segmenty deskového plexiskla, ty mají zabránit vniku nečistot. Masivní nasávací otvory slouží k odvětrávání a zároveň pro uchycení nárazníku, jenž je u této koncepce odnímatelné. Výhodou koncepce je umístění kamery, které je koncipováno ve středu horního otvoru karoserie. Toto je pro kameru nejvodnější umístění..



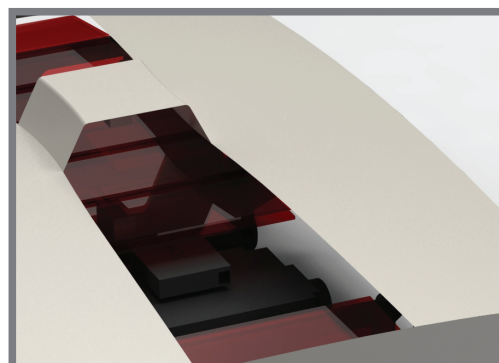
Obr.35 Skica 1, první varianta, autor



Obr.36 Skica 2, první varianta, autor



Obr.37 Vizualizace druhého konceptu, autor



Obr.38 Otevření karoserie pro manipulaci s elektronikou, vizualizace, autor

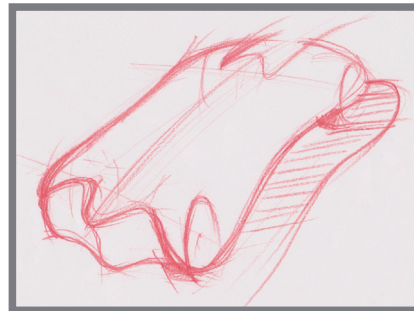
4.2 4.2 Varianta 2

Cílem druhé varianty bylo odlišit vzhled a podpořit charakter vozidla Car4. Výsledný tvar je futuristický a připomíná roboty prezentované ve science fiction literatuře a kinematografii. Oproti prvnímu návrhu má tento organické tvary s asymetrií v podobě umístění kamery. Kamera kontroluje prostor před vozidlem, u této varianty jsem totiž

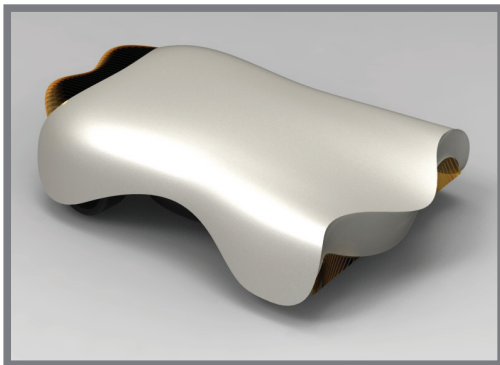
uvažoval, že by mohly být použity kamery dvě. Každá v jednom rohu karoserie, dohromady by tak byly schopny pokrýt celý prostor kolem robotu. Karoserii ozvláštňuje žebrování v přední a zadní části. Plexisklo (ze kterého by žebra byla vyrobena) v kombinaci s nasvícením LED diodami může vytvářet zajímavý efekt. Zároveň působí jako zámek pro umístění nárazníků, které, tvarovány jako protikus, se nasunou do žebro-



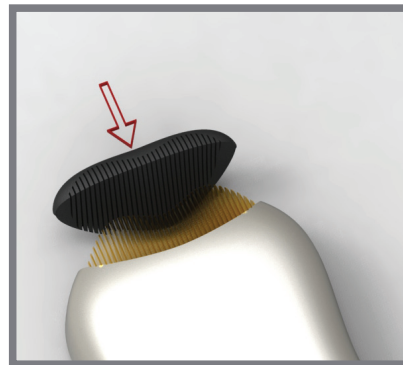
Obr.39 Skica 1, druhá varianta, autor



Obr.40 Skica 2, druhá varianta, autor



Obr.41 Vizualizace druhé varianty, autor



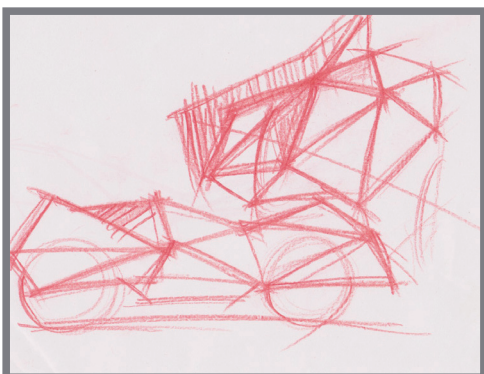
Obr.42 Uložení nárazníku, autor

vání (obr. 42).

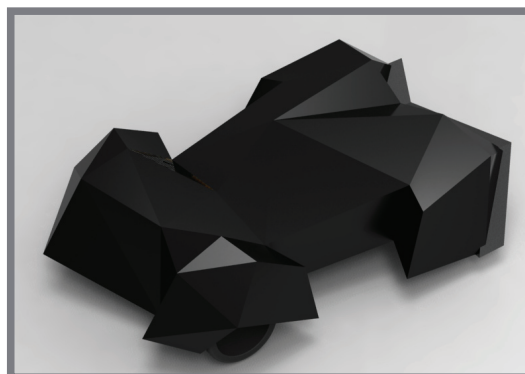
4.3 Varianta 3

Poslední koncept je tvarově zcela odlišný. Jeho strukturu tvoří rovinné trojúhelníkové plochy. Základní ideou je připodobnění robotu k válečnému stroji, nebo pozorovacímu prostředku. Výhodou technického řešení je zabudování nárazníků do karoserie. Jejich hmota je dostatečně mohutná a schopná tlumit nárazy. Kamera je výsuvná, umístěná pod jedním z polygonů v přední části karoserie.

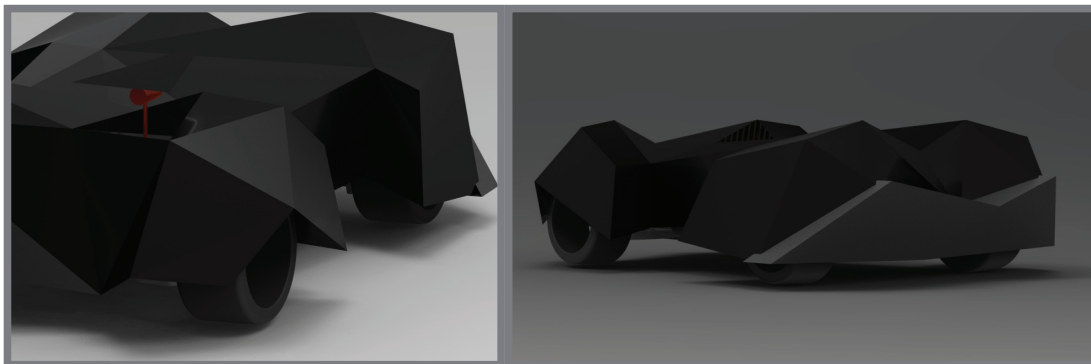
4.3



Obr.43 Skica, autor



Obr.44 Vizualizace třetí varianty, autor



Obr. 45 Mechanismus kamery, autor

Obr. 46 Řešení nárazníků, autor

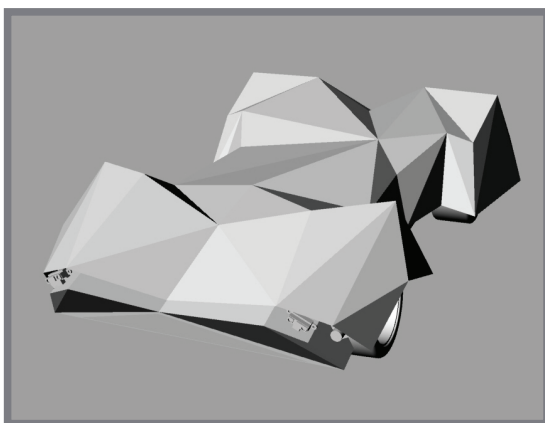
4.4

4.4 Finální řešení

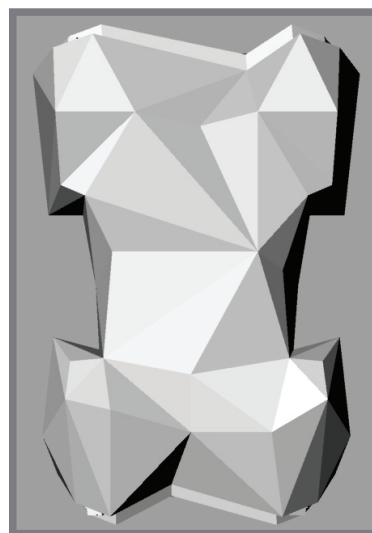
Následně po první prezentaci byla k rozpracování vybrána třetí varianta. Bylo třeba tedy dořešit technické záležitosti, především navrhnout kryt, který by podvozek chránil zespodu, propracovat nárazníky a jejich upevnění a vymyslet uložení karoserie. Kompozice kapotáže byla vyvážena a upravena tak, aby nepůsobila příliš dynamicky. Rozpracován byl zamýšlený mechanismus vysouvání kamery.

Rozhodující bylo navrhnout technologický postup výroby. V zadání bylo použití laminátu jakožto materiálu pro negativní formu a samotnou karoserii. Problémem bylo navrhnout výrobu kopyta, které musí co nejpřesněji reprezentovat digitální model návrhu. Důraz byl kladen na funkčnost a vyrobitelnost. Kontrola technologických úkosů všech navržených forem před samotnou výrobou byla nutností.

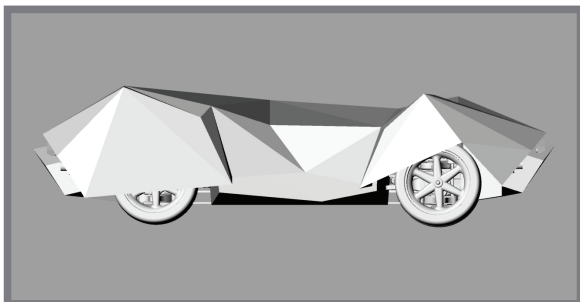
Karoserie robota prošla od konceptu k výslednému modelu mnoha zásadními změnami. Všechny aspekty finálního návrhu jsou podrobně rozebrány v navazující průvodní zprávě



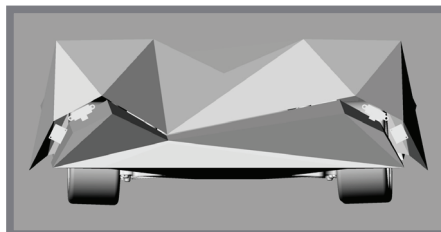
Obr. 47 Finální řešení, perspektivní pohled 1, autor



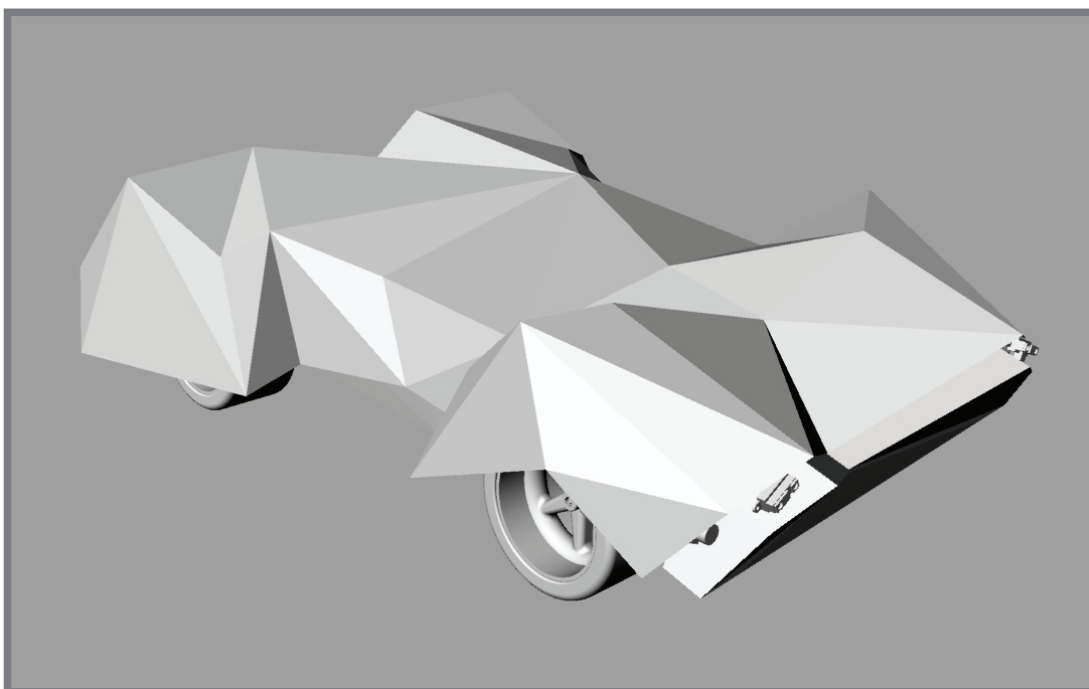
Obr. 48 Vizualizace finálního řešení, pohled shora, autor



Obr. 49 Vizualizace finálního řešení pohled z boku, autor



Obr. 50 Vizualizace finálního řešení, pohled zepředu, autor



Obr. 51 Vizualizace finálního řešení, perspektivní pohled 2, autor

5 5 ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

Tématem mé bakalářské práce je design experimentálního mobilního robota. Projekt byl vyvinut ve spolupráci Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky s Odborem průmyslového designu na FSI VUT v Brně. Výstupem této práce je funkční karoserie, která musí splnit veškeré požadavky na konstrukci robota a nesmí jej omezit v pohybu.

Robot samotný není v žádném přímém vztahu k člověku, jeho rozměry se nemusí podřizovat žádným požadavkům. Člověk se však podílí na řízení robota pomocí bezdrátového ovladače a dále na zpracování dat, k čemuž je nutný přístup k elektronice. Tato musí být co nejjednodušeji přístupná pro operátora. Elektronika je ukryta pod kapotáží, její demontáž by měla být pokud možno co nejméně náročná. Hmotnost horní skořepiny se pohybuje kolem 2 kilogramů, zacházení s ní by neměl být pro člověka problém. Uložení karoserie zajišťují zámky konzolí rámu a pouzdra karoserie. Uložení musí být dostatečně těsné aby odolávalo vibracím vznikajícím při jízdě, ne však natolik aby pro snímání karoserie bylo překážkou.

Výhodné je použití základního ovládacího rozhraní, které by sloužilo k zapínání, případně resetu řídicí elektroniky. Na boční straně spodního krytu je vyhrazen prostor pro hlavní spínač, resetovací tlačítka a kontrolní LED diody. Prostor je částečně překryt horní karoserií kvůli ochraně rozhraní, nemělo by však dojít k omezení přístupu. Celková montáž a demontáž spodních segmentů karoserie je díky své konstrukci snad-



Obr. 52 Umístění ovládacího rozhraní, autor

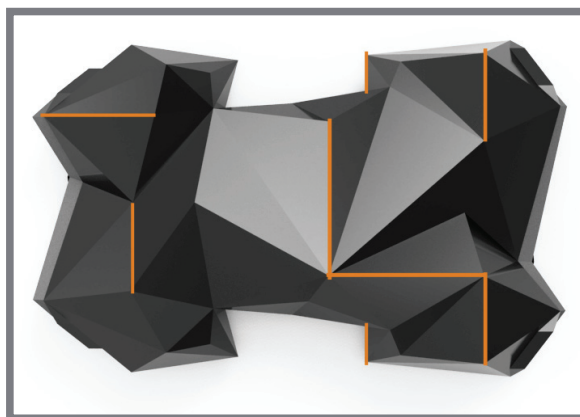
ná a výměnu lze rychle zvládnout za použití imbusového šroubováku. K uchycení těchto částí je použito běžných metrických šroubů M3 s imbusovou hlavou.

Co se týče možnosti oprav karoserie, díly k jejichž poškození dojde během provozu není zpravidla možné jednoduše opravit, v případě větších škod je časově výhodnější zhotovení nového kusu. Výrobu jakéhokoliv dílu karoserie je díky využití technologie laminování do negativních forem možné zvládnout do několika hodin, kdežto opravy poškozených skořepin jsou problematické a výsledná pevnost takového dílu je sporná.

6 TVAROVÉ (KOMPOZIČNÍ) ŘEŠENÍ

Základní ideou formující vzhled mého návrhu bylo dosažení specifického výrazu a stavby hmot charakterizující samotnou podstatu a účel projektu. Podvozek, který je usazen na čtyřech kolech může silně evokovat auto, snažil jsem se potlačit tento fakt tím, že jsem karoserii vystavěl v jistých pasážích asymetricky. Svým výrazem tak spíše připomíná válečný stroj, což je logické, protože mezi mé hlavní inspirační zdroje patří neviditelný bombardér Lockheed F-117 Nighthawk jehož tvarování vychází z technologie stealth. Tvarování robotu může obhájit i to, že se zvažuje jeho použití jakožto průzkumného prostředku.

Složitým členěním se z objektu karoserie stala skulptura, jejíž plochy jsou ve vzájemném kompozičním vztahu. Vyváženost hmot je při estetickém řešení mého návrhu klíčová. Tříštění může být pro pozorovatele poměrně rušivým elementem a tak bylo třeba uskupení ploch určitým způsobem uklidnit. Vizualní stabilizaci mohou přinést ortogonální hrany, které dokáží dodat celku harmonii. Rozhodl jsem se tedy některé z hran napřímít, zvláště potom dvě výrazné hrany zadních blatníků (obr. 53).



Obr.53 Pohled na ortogonální hrany, autor

Poměrně důležitá je také velikost jednotlivých trojúhelníků a jejich poměr. Pokud by byla karoserie tvořena příliš drobnými plochami, mohla by být kompozice příliš složitá a připomínala by pak spíše polygonovou síť počítačového modelu. Nejmenší plochy obepínají kola a vytváří tělesa-blatníky. Prostor mezi nimi vyplňují plochy větší, dávají tak místo pro případné využití plošné grafiky.

Důležitým prvkem tvarování jsou nárazníky robota, ty svým členěním dotváří celkovou koncepci. Na nárazníky navazují skid plates, které nejsou zcela vidět a využívají jednoduchého a ryze funkčního tvarování. Podobně je tomu u spodního krytu, který je členěn na trojúhelníky, ale výraznější tvarování má pouze na bocích, které ovlivňují pohledovost ze strany.

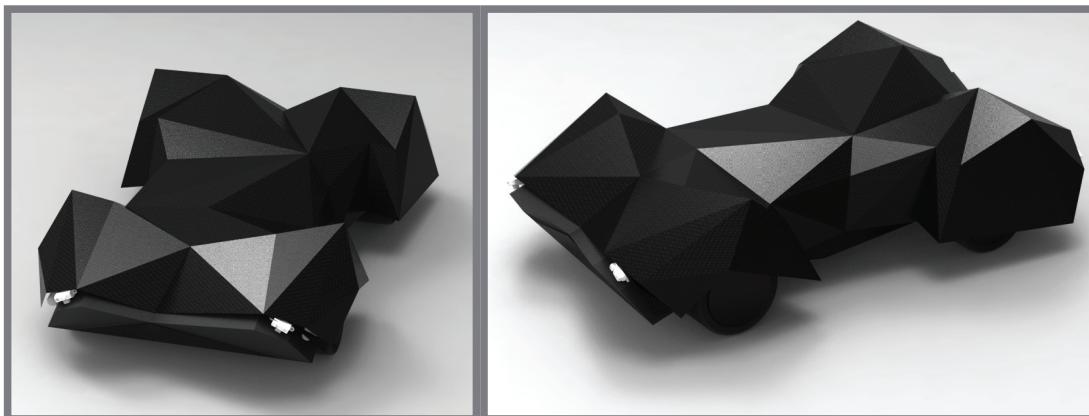
7 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

Povrch robotu reflektuje barvu a strukturu uhlíkové tkaniny, bez další povrchové úpravy. Většina neviditelných bombardérů je vyrobena z uhlíkových kompozitů a opatřena barvou pohlcující nebo odrážející elektromagnetické vlnění radaru. Výrazný vzor karbonu odpovídá myšlence průzkumného vozidla.

Zvažované barevné varianty jsou: bílá pro sanitárního robota, armádní verze budou pravděpodobně využívat patřičné kamufláže apod. Struktura dává možnost i grafickému členění karoserie. Například kombinace barvy karbonu a světlé střední části.

Nevýrazná barva a porézní povrch polymerní pěny nevybočují z konceptu.

Jak spodní kryt, tak skid plates jsou bez povrchové úpravy, v barvě konstrukčního materiálu, tedy uhlíkové tkaniny.

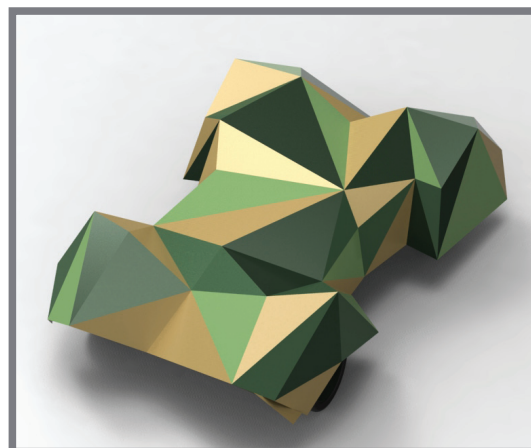


Obr.54 Vizualizace výsledného barevného provedení, autor

Obr.55 Výsledné barevné provedení, perspektivní pohled 2, autor



Obr.56 Barevná varianta 1 - sanitární robot, autor



Obr.57 Barevná varianta 2 - kamufláž, autor

8 KONSTRUKČNĚ-TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ

8

Car4 je čtyřkolový mobilní robot se systémy AWD a 4WS. To znamená, že všechna jeho kola jsou nezávisle poháněna a řízena. Robot slouží pro testování a vývoj systémů řízení a kontroly trakce, bezpečnostních systémů, dále také jako výukový a experimentální nástroj. Délka původní konstrukce je 794 milimetrů, v nejširších místech robot dosahuje rozměru 482 milimetrů.

8.1 Technické parametry

8.1

Základní rám robotu je tvořen z duralových desek. Dvě základní části tloušťky tři milimetry nosné pro elektorniku a pohon jsou spojeny dvěma konzolami s uložením pro tlumiče o tloušťce pět milimetrů. Vpředu a vzadu jsou ke spodní části připevněny nárazníky.

Kola robota pohání čtyři stejnosměrné kartáčové elektromotory pracující při napětí 24 Voltů. Kroučící moment o maximální hodnotě 30 kgcm je přenášen pomocí klínového řemene na kola. Jumbo servo motory SSV 9960MG obsatřávají jejich řízení.

Každé kolo se dokáže natočit o maximální úhel 30 stupňů na každou stranu a zdvih tlumičů je 40 milimetrů, k plnému propružení a kontaktu podvozku s vozovkou však dochází už při stlačení tlumičů o 34 milimetrů. Prostor, který vytváří kola v jejich úvratích otáčení a zdvihu nesmí být narušen. Maximální rychlost robota se pohybuje v rozmezí 20-30 kmh⁻¹. Karoserie by měla odolat mírnému čelnímu nárazu, při rychlosti 4 kmh⁻¹, volba materiálu je v tomto případě klíčová. Kapotáž by měly doplňovat nárazníky, které část energie vzniklé při nárazu dokáží pohltit.

8.2 Elektronika

8.2

Pohyb a trakci kontrolují dvě řídicí jednotky nápravy, které spolupracují s centrální řídicí jednotkou. Veškerá poskytovaná data snímačů zpracovávají tyto řídicí jednotky. Elektromotory jsou ovládány výkonovými jednotkami. Informace o stabilitě a poloze získává gyroskopický senzor. V rozích robotu jsou umístěny čtyři infračervené dálkové senzory detekující překážky. Dalším možným využitím projektu je vývoj automatických parkovacích systémů. Tyto senzory musí být umístěny kolmo vůči směru jízdy a karoserie by je neměla žádnou svou částí zakrývat.



Obr. 58 Umístění senzorů v přední části, vizualizace, autor

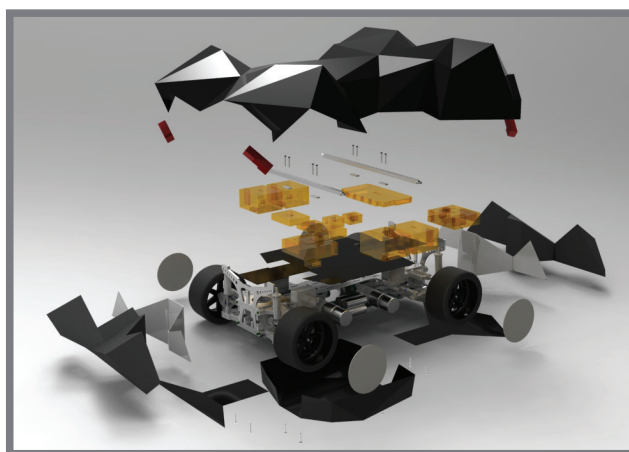
Obr. 59 Umístění senzorů v zadní části, vizualizace, autor

Do budoucna se uvažuje také o vybavení robotu ultrazvukovými senzory, které mají větší dosah. Veškerá elektronika zaujímá poměrně velkou část prostoru, se kterou řešení karoserie musí počítat. Navíc napájení a přenos dat elektroniky je realizován kabelovými vodiči vyvázanými do svazků. Součástky mají také tendenci se zahřívát, nasávací otvory chladícího vzduchu mohou být součástí návrhu. Nicméně výkonové jednotky, jediná výrazněji se zahřívající elektronika, jsou osazeny naddimenzovanými pasivními chladiči, které jsou schopny teplo efektivně odvádět. Důležitou komponentou je přijímač bezdrátové komunikace, který se přednostně umísťuje co nejvýše, kvůli rušivým elementům, které by komunikaci bránily.

8.3

8.3 Karoserie

Koncept, který jsem navrhl a rozpracoval sestává ze čtyř základních částí: hlavní kapotáž, která shora zakrývá celý robot, spodní kryt karoserie (vana) sloužící k ochraně elektroniky a jemné mechaniky řízení a dvou navazujících prvků, skid plates, které zajišťují přední a zadní část proti nárazu a následnému poškození ramen nápravy. Toto členění jsem zvolil z důvodu, že v případě poškození například najetím na překážku bude stačit výměna jediné snadno vyrobitelné komponenty. Jako materiál byl zvolen laminát, ten svými mechanickými vlastnostmi, cenou a technologií výroby nejlépe odpovídá zadaným požadavkům. Navíc karoserie bude mít i přes své rozměry nízkou hmotnost, horní skořepina tloušťky maximálně 2 milimetry by neměla vážit více než 2 kilogramy. Na více namáhané části je možno použít uhlíkovou tkaninu o vyšší gramáži, která zaručí karoserii dostatečnou tuhost. Uchycení počítá s uložením na konzoly, které tomu jsou uspůsobeny. Jejich profil obsahuje zámky, jež se zasunou do těsných pouzder na vnitřní straně kapotáže. Takovéto řešení podporuje jednoduchou manipulaci, pokud by se však ukázalo jako nedostatečné, je možno jej doplnit o duralové sloupky, na které by se karoserie rovněž nasunula a navíc zajistila závlačkami. Vana a podběhy jsou naopak přichyceny pevně k rámu šroubovými spoji.



Obr. 60 Členění karoserie, vizualizace, autor

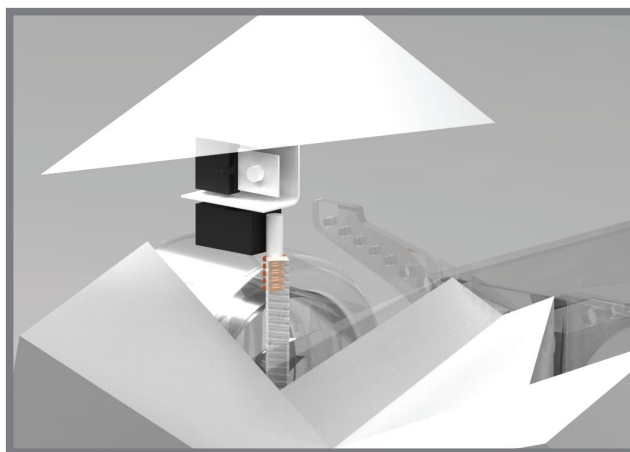
Výsledné řešení ještě doplňují dva nárazníkové bloky. Jako materiál vzhledem k jejich funkci se nabízí polyuretan, polyetylen nebo jiné polymerní pěnové materiály. Další variantou je polypropylenový kaučuk. Vybraný materiál by však měl mít mechanické vlastnosti schopné absorbovat hybnost robota. Aby nárazníky plnily svou funkci, je třeba správného uchycení, to je realizováno pomocí laminátových výztuh o které by se

bloky opíraly. Laminátové vzpěry jsou upevněny pomocí šroubů k duralovému rámu, ten je nejpevnější částí robotu.

Doplňkem jsou i disky, které zakrývají ráfky kol. Materiálem je tvrzený polystyren, popřípadě laminát. K ráfkům jsou uchyceny pomocí lepeného spoje, nebo v případě požadované snadné demontáže šrouby, magnety či suchým zipem duallock.

Veškerá elektronika je osazena na laminátovou desku přišroubovanou k rámu. Gyroskopický senzor je pak přímo upevněn k nosnému rámu kvůli přesnosti měření dat, aby poskytoval co nejpřesnější data.

Jako součást sensoriky robota je také zvažována kamera, která by získávala vizuální záznam. Můj návrh počítá s mechanismem, jež by byl schopný kameru ukryt v útrobách karoserie. Objektiv včetně servomotorů je umístěn na lineárním vedení které se společně s jedním polygonem karoserie vysouvá za pomoci elektromotoru s šnekovým ozubením. Serva umožňují rozhlížení kamery ve vertikálním i horizontálním směru. Robot v současné době kamerou nedisponuje, proto je můj návrh pouze ve fázi možného řešení. Mechanismus vysouvání kamery je třeba přizpůsobit přesně vyčleněnému prostoru.



Obr. 61 Mechanismus kamery, vizualizace, autor

8.4 Technologie výroby karoserie

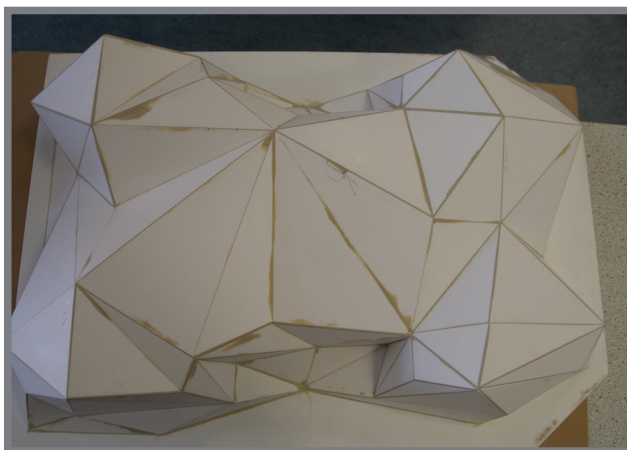
Jak již bylo zmíněno, materiálem karoserie je laminát. Technologický postup výroby je následující:

8.4.1 Pozitivní forma (kopyto)

Jelikož je karoserie sestavena z rovinných ploch je možno k jejich výrobě použít technologie řezání laserem, která je na Ústavu konstruování dostupná. Trojuhleníky se ustaví na žebra a zafixují vteřinovým lepidlem, forma se pak v místech styku ploch vytmelí dvousložkovým polyesterovým tmelem a vybrousí (obr. 62). Před výrobou formy je třeba kopyto natřít třemi vrstvami separačního vosku a PVA separátorem.

8.4.2 Negativní forma

Naseparované kopyto se opatří nátěrem vrstvy gel coatu. Ten zaručí hladký povrch formy. Následuje druhý nátěr, směsí epoxidové pryskyřice s tixotropními plnivými (sekané skelné vlákna a termicky expandované skleněné mikrobaly), kterou se vyplní problematická místa kopyta (ostré hrany a úzké prostory). Poté se pokládá první vrstva tkaniny s nižší gramáží, lépe kopíruje povrch pozitivní formy. Pro zaručení dostatečné



Obr. 62 Pozitivní forma - kopyto připraveno na výrobu negativní formy, foto, autor

pevnosti formy je třeba dalších minimálně sedmi vrstev tkaniny s gramáží 390 gm⁻², každou vrstvu je nutno důkladně prosytit epoxidovou pryskyřicí. Poté je třeba nechat formu vytvrdnout a sejmut z kopyta. Očištěný a odmaštěný povrch je třeba opět důkladně separovat - tři vrstvy vosku plus PVA separátor.



Obr. 63 Negativní forma po vyjmutí kopyta, foto, autor

8.4.3 Skořepina

Na první vrstvu skořepiny karoserie je vhodné použít tkaninu o velice nízké gramáži. Do formy opatřené nátěrem pryskyřice vložíme tkaninu s nízkou gramáží - 50gm⁻². Ta dokáže dobře pokrýt problematická místa formy. Druhou vrstvu tvoří uhlíková tkanina o gramáži 200 gm⁻². Ta s dalšími dvěma vrstvami skelné tkaniny poskytne skořepině žádané mechanické vlastnosti.

Na závěr se ještě přilaminují uhlíkové výztuhy do oblastí pro uložení karoserie a k vyztužení spodní hrany kapotáže. Vzor uhlíkové tkaniny poskytuje zajímavý prvek vzhledu karoserie. V případě povrchové úpravy je třeba karoserii zbrousit a opatřit plnicím tmelem a poté lakovat dvousložkovým barevným lakem.

9 ROZBOR DALŠÍCH FUNKCÍ DESIGNÉRSKÉHO NÁVRHU

9

9.1 Psychologická funkce

9.1

Tvrdá nekompromisní forma návrhu může svým výrazem vzbuzovat obavy. Klid a harmonie organického tvarosloví se na karoserii nevyskytuje v žádné části. Ostré hrany a nespočet ploch vytváří dojem brutality, nebezpečí. Jedinečný výraz karoserie je dobře zapamatovatelný a proto expresivní vzhled robotu může být v konečném důsledku výhodný.

V úzké souvislosti s tvarem byla zvolena barva a povrchová úprava. Celek se snaží zdůraznit nekonvenční pojetí objektu a podpořit designérský záměr odlišit robot od osobních automobilů. Proporce karoserie a čtyřkolový podvozek takovou podobnost vytváří.

9.2 Ekonomická funkce

9.2

Určujícím při vývoji projektu byl fakt, že výsledkem práce je funkční model, výroba tedy musí být provedena s ohledem na odolnost, technologické možnosti a v neposlední řadě na celkovou cenu. Cena prototypu se odvíjí nejen od množství použitého materiálu, ale také od pracovních hodin strojů. Při výrobě pozitivních forem bylo použito segmentů z tvrzeného polystyrenu, které byly vyřezány na laserovém ploteřu. Na výrobu forem bylo spotřebováno určité množství skelné tkaniny a laminovací pryskyřice. Dále na úpravu konzol pro uložení karoserie a tlumičů bylo třeba pořídit duralové pláty, ze kterých byly části vyrobeny technologií řezání vodním paprskem. Na výrobu bloků nárazníků byla použita polymerní pěna tvarově upravená počítačem řízeným procesem řezání horkým drátem. To všechno jsou faktory, které mohou náklady spojené s výrobou prototypu navýšit. Na druhou stranu laminátové formy lze opětovně použít a výroba nových dílců v případě poškození je technologicky snadná. S každým dalším vyrobeným kusem pak náklady na výrobu části klesají. Následuje seznam množství spotřebovaného materiálu a přibližná kalkulace ceny.

Položka/Materiál	Množství	Cena [Kč]
Tvrzený polystyren HPS tl. 1 mm	1.82m ²	273
HPS tl. 2 mm	1.6 m ²	480
HPS tl. 3 mm	1 m ²	450
Duralové konzole	2 ks	552
Dvousložkový polyesterový tmel	1 kg	210
Pryskyřice L285	9 kg	4410
Tužidlo 286	3.6 kg	2520

Gelcoat F200 + tužidlo F250	2.5 kg	1525
Tixotropní plniva	0.7 kg	385
Separáční vosk	2.5 kg	810
Separátor PVA	1 kg	240
Technick� l�h	1 l	120
Aceton	2 l	68
Plastov� misky	10 ks	60
�t�tce	15 ks	210
Dřev�n� míchátka	20 ks	40
Rukavice jednor�zov� PE	60 ks	240
Smirkov� brusn� papír		300
Vteřinov� lepidlo 50 ml	3 ks	150
Aktivátor vteřinového lepidla 150 ml	1 ks	99
Injekcn� stříkačky	10 ks	20
Jehly injekcn�ch stříkaček	10 ks	20
EPP expandovan� polypropylen 30g/cm ³ blok	(600x900x150) mm	1500
48g/m ² aeroglass	2,5 m ²	150
280g/m ² aeroglass	8 m ²	400
390g/m ² aeroglass kepr	8 m ²	512
390g/m ² aeroglass platno pevnostn�	2 m ²	128
200g/m ² diolen	3,5 m ²	1239

200g /m2 uhlíková tkani- na	4,5 m ²	3375
	Cena celkem:	20486

9.3 Sociální funkce

Společnost vnímá slovo robot spíše jako člověku podobného humanoida, může za to převážně science fiction literatura a film. Čtyřkolový podvozek a rozměry auta na dálkové ovládání robot připomínat nemusí, nicméně poté, co se vozidlo začne pohybovat a vykazovat autonomní chování je zřejmé, že se nejedná o RC model. Vztah robota Car4 ke společnosti není zcela patrný, jeho opravdový přínos spočívá v jeho potenciálu. Jedná se o experimentální platformu, jejímž prostřednictvím může být učiněn pokrok na poli bezpečnostních systému a autonomních systému řízení a kontroly trakce. Velkou cenu má také pro studenty, jelikož se využívá jako pomůcka při testování elektroniky a algoritmů řízení.

Další, podle mého, důležitou součástí sociálních aspektů jsou názory ostatních. Co se týče tvarové kultivace setkal jsem se s názorem, že obecně se upřednostňuje organické tvarování. Je elegantnější a více odpovídá slovu robot z pohledu sémantického a tomu, co si za tímto slovem mnozí z nás představí. Předmětem kritiky byl také vyšší koeficient odporu vzduchu karoserie. Avšak tato argumentace je bezpředmětná, nejvyšší rychlost kterou se robot dokáže pohybovat je 30 kmh-1. Jiný názor, kterého si velice vážím je, že by z návrhu měla být čitelnější funkce, designérský záměr. Funkcí může robot vykonávat více jelikož se jedná o univerzální experimentální platformu.

ZÁVĚR

Závěrem bych rád zhodnotil své řešení a objasnil přínos realizace. Po tvarové stránce se domnívám, že se mi podařilo robot odlišit od osobního automobilu. Svým vzhledem dokáže podobnost potlačit, zároveň je však tvarování natolik složité, že zajisté existují vhodnější technologie výroby než laminování do negativní formy, ty však vzhledem ke své náročnosti na finanční prostředky nebyly brány v potaz. Další možností je zvolit jiný postup. Například použití kopolymerní vakuovací fólie by mohlo dopomoci k vyšší kvalitě povrchu skořepin. Diskutabilní je rovněž koncepční řešení systému kamery. Ta je umístěna na pohyblivém mechanismu. Výroba i usazení mechanismu by mohla výrazně navýšit cenu a čas potřebný na realizaci. Lepším přístupem by bylo kameru zpracovat jako nepohyblivou součást konceptu.

Použití uhlíkové tkaniny vytváří jak zajímavý grafický efekt, tak dostatečnou tuhost a odolnost karoserie. Laminát poskytuje skořepinám vhodné mechanické vlastnosti při zachování nízké hmotnosti, což je výhodou při časté manipulaci. Navržené nárazníky jsou dostatečně robustní na to, aby dokázaly odolat nárazům v nízkých rychlostech (do 4 kmh^{-1}) a ochránily tak karoserii před poškozením.

Ačkoliv byl projekt časově náročný a výsledkem práce není po technologické stránce dokonalá skořepina, mohu směle tvrdit, že požadavky, které byly na tento projekt kladeny byly beze zbytku splněny. Velký přínos osobně vidím v množství vědomostí a zkušeností, které jsem díky projektu získal. V konečném důsledku jsem rád, že jsem se navrhování a výroby karoserie mobilního experimentálního robotu mohl zúčastnit, protože možnosti přijít do styku s moderními technologiemi, které se v dnešní době používají nejen k výrobě sportovních vozů, si nesmírně cením.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2010-01-30 [cit. 2011-02-21]. *History of robots*. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_robots>.
- [2] Rozhlas.cz [online]. 2010 [cit. 2011-02-22]. Technologie - Roboti a robotika. Dostupné z WWW: <http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/_themeline/877>.
- [3] Military robot. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2003-05-26, last modified on 2011-02-07 [cit. 2011-02-24]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Military_robot>.
- [4] The New York Times [online]. ©2011 [cit. 2011-03-02]. Shakey. Dostupné z WWW: <<http://video.nytimes.com/video/2010/06/16/science/1247468057234shakey.html>>.
- [5] Razor Robotics [online]. ©2011 [cit. 2011-02-24]. History of Robotics. Dostupné z WWW: <<http://www.razorrobotics.com/history/>>.
- [6] Lunokhod 1. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 20 March 2002, last modified on 20 March 2011 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Lunokhod_1>.
- [7] Jet Propulsion Laboratory [online]. 2001-06-26 [cit. 2011-02-24]. Urbie, the Urban Robot. Dostupné z WWW: <<http://www.jpl.nasa.gov/news/features.cfm?feature=485>>.
- [8] Seleno, The Electric Dog. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-02-24]. Dostupné z WWW: <http://www.beam-wiki.org/wiki/Seleno,_The_Electric_Dog>.
- [9] MobileRobots Inc. [online]. ©2011 [cit. 2011-02-24]. Research Robots. Dostupné z WWW: <<http://www.mobilerobots.com/ResearchRobots/ResearchRobots.aspx>>.
- [10] Military Channel [online]. ©2011 [cit. 2011-02-24]. Military Robots. Dostupné z WWW: <<http://military.discovery.com/technology/robots/robots.html>>.
- [11] Vysoké učení technické v Brně [online]. ©2011 [cit. 2011-02-24]. Nový experimentální letoun VUT 001 MARABU. Dostupné z WWW: <<http://www.vutbr.cz/temata-vut-f18829/novy-experimentalni-letoun-vut-001-marabu-d35823>>.
- [12] ŽALUD, Luděk. Vysoké učení technické v Brně [online]. ©2011 [cit. 2011-02-24]. Orpheus – robot záchranář. Dostupné z WWW: <<http://www.vutbr.cz/temata-vut-f18829/orpheus-robot-zachranar-d35803>>.
- [13] Sojourner (rover). In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2007-06-13, last modified on 2010-09-18 [cit. 2011-02-24]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Sojourner_\(rover\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Sojourner_(rover))>.
- [14] NAKAJIMA, Shuro. Development of Four-wheel-type Mobile Robot for Rough Terrain and Verification of Its Fundamental Capability of Moving on Rough Terrain. 2008 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND BIOMIMETICS 2009, VOLS 1-4, s. 1968-1973.

- [15] WADEWARD, Kevin, et al. Low-cost outdoor mobile robot: A platform for landmine detection. 42ND MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS, PROCEEDINGS. 1999, VOLS 1 AND 2, s. 131-134.
- [16] Www.mobilerobots.com [online]. ©2011 [cit. 2011-04-05]. MobileRobotsSeekur outdoor research robot platform. Dostupné z WWW: <<http://www.mobilerobots.com/researchrobots/researchrobots/seekurugv.aspx>>.
- [17] Lockheed Martin [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. F-117 Nighthawk. Dostupné z WWW: <<http://www.lockheedmartin.com/products/f117/index.html>>.
- [18] WowWee [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. Rovio. Dostupné z WWW: <<http://www.wowwee.com/en/products/tech/telepresence/rovio/rovio>>.
- [19] iRobot Roomba 770 [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. iRobot. Dostupné z WWW: <<http://store.irobot.com/product/index.jsp?productId=11305110>>.
- [20] Catholic and Loving it! [online]. 17th August 2009 [cit. 2011-05-22]. Leonardo Da Vinci's Lion. Dostupné z WWW: <<http://www.lovingit.co.uk/2009/08/leonardo-da-vincis-lion.html>>.
- [21] Jaquet-Droz automata. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 28 December 2005, last modified on 11 July 2010 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Jaquet-Droz_automata>.
- [22] FOYOYOH Entertainment [online]. 12-01-2009 [cit. 2011-05-22]. The Greatest Inventions Nikola Tesla Never Created. Dostupné z WWW: <http://fooyoh.com/geekapolis_gadgets_wishlist/929741>.
- [23] Cyberneticzoo.com [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. 1927 – Televox – Roy J. Wensley (American). Dostupné z WWW: <<http://cyberneticzoo.com/?p=656>>.
- [24] Cyberneticzoo.com [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. 1931 – Willie Vocalite – Joseph M. Barnett (American). Dostupné z WWW: <<http://cyberneticzoo.com/?p=1201>>.
- [25] Cyberneticzoo.com [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. 1937 – Elektro – Joseph M. Barnett (American). Dostupné z WWW: <<http://cyberneticzoo.com/?p=1304>>.
- [26] SRI International's Artificial Intelligence Center [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. Shakey. Dostupné z WWW: <<http://www.ai.sri.com/shakey/>>.
- [27] Voyager The Interstellar Mission [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. Jet Propulsion Laboratory. Dostupné z WWW: <<http://voyager.jpl.nasa.gov/>>.
- [28] ASIMO. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 3 March 2004, last modified on 14 May 2011 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/ASIMO>>.
- [29] Robonaut2, the Next Generation Dexterous Robot [online]. 02.03.10 [cit. 2011-05-22]. NASA. Dostupné z WWW: <http://www.nasa.gov/topics/technology/features/robonaut_photos.html>.
- [30] History of Science [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. Niversity of Oklahoma Libraries. Dostupné z WWW: <<http://hos.ou.edu/galleries/01Ancient/HeroOfAlexandria/1575/HeroOfAlexandria-1575-00v3v-image/>>.

- [31] Robotic History in da Vinci's Automated Knight [online]. Jul 3, 2010 [cit. 2011-05-22]. Suite101. Dostupné z WWW: <http://www.suite101.com/view_image_articles.cfm/2129693>.
- [32] General Atomics MQ-1 Predator. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2 February 2002, last modified on 17 May 2011 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator>.
- [33] IHNED.cz [online]. 19. 1. 2010 [cit. 2011-05-22]. Robot, který chodí po vodní hladině jako vodoměrka. Dostupné z WWW: <<http://tech.ihned.cz/roboti/c1-40020970-robot-ktery-chodi-po-vodni-hladine-jako-vodomerka>>.
- [34] MIT Laboratory [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. 3D One-Leg Hopper (1983-1984). Dostupné z WWW: <http://www.ai.mit.edu/projects/leglab/robots/3D_hopper/3D_hopper.html>.
- [35] Bang & Olufsen [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. Beosound9000. Dostupné z WWW: <<http://www.bang-olufsen.com/beosound9000>>
- [36] Villa Tugendhat [online]. ©2011 [cit. 2011-05-22]. Stavba. Dostupné z WWW: <<http://www.tugendhat.eu/cz/dum/stavba.html>>.

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 Replika Burgundského lva [20]	14
Obr. 2 Loutka Karakuri [1]	14
Obr. 3 Automaton píše [21]	14
Obr. 4 N. Tesla - robotická loď [22]	15
Obr. 5 Elektrický pes Seleno [8]	15
Obr. 6 Mr. Televox [23]	16
Obr. 7 Willie Vocalite [24]	16
Obr. 8 Robot Elektro a robotický pes Sparko [25]	16
Obr. 9 Shakey [26]	17
Obr. 10 Lunokhod [6]	17
Obr. 11 Voyager [27]	17
Obr. 12 ASIMO [28]	18
Obr. 13 ASIMO v chůzi [28]	18
Obr. 14 Orpheus - projekt VUT [12]	19
Obr. 15 VUT 001 Marabu [11]	19
Obr. 16 Robonaut 2 [29]	19
Obr. 17 Herón Alexandrijský - varhany poháněné větrem [30]	20
Obr. 18 L. DaVinci - automaton rytíře [31]	20
Obr. 19 General Atomics MQ-1 Predator [32]	21
Obr. 20 Carnegie Mellon University - robot STRIDE [33]	21
Obr. 21 3D One-Leg Hopper [34]	22
Obr. 22 RT-Mover [14]	23
Obr. 23 RT-Mover - pohyb přes překážku [14]	23
Obr. 24 NMT Robot [15]	23
Obr. 25 NMT Robot - pohled na elektroniku [15]	23
Obr. 26 Průzkumný robot Seekur [16]	24
Obr. 27 Beosound9000-minimalistický CD přehrávač značky Bang & Olufsen[35]	25
Obr. 28 L. Mies van der Rohe - vila Tugendhat [36]	25
Obr. 29 Lockheed F-117A Nighthawk [17]	26
Obr. 30 Letoun F117A Nighthawk - Čelní pohled [17]	26
Obr. 31 Wowwee Rovio [18]	27
Obr. 32 Wowwee Rovio - vysunutá ramena [18]	27
Obr. 33 iRobot Roomba 770 - čelní pohled [19]	27
Obr. 34 iRobot Roomba 770 [19]	27
Obr. 35 Skica 1, první varianta, autor	28
Obr. 36 Skica 2, první varianta, autor	28
Obr. 37 Vizualizace druhého konceptu, autor	28
Obr. 38 Otevření karoserie pro manipulaci s elektronikou, vizualizace, autor	28
Obr. 39 Skica 1, druhá varianta, autor	29
Obr. 40 Skica 2, druhá varianta, autor	29
Obr. 41 Vizualizace druhé varianty, autor	29
Obr. 42 Uložení nárazníku, autor	29
Obr. 43 Skica, autor	29
Obr. 44 Vizualizace třetí varianty, autor	29
Obr. 45 Mechanismus kamery, autor	30
Obr. 46 Řešení nárazníků, autor	30

Obr. 47	Finální řešení, perspektivní pohled 1, autor	30
Obr. 48	Vizualizace finálního řešení, pohled shora, autor	30
Obr. 49	Vizualizace finálního řešení pohled z boku, autor	31
Obr. 50	Vizualizace finálního řešení, pohled zepředu, autor	31
Obr. 51	Vizualizace finálního řešení, perspektivní pohled 2, autor	31
Obr. 52	Umístění ovládacího rozhraní, autor	32
Obr. 53	Pohled na ortogonální hrany, autor	33
Obr. 54	Vizualizace výsledného barevného provedení, autor	34
Obr. 55	Výsledné barevné provedení, perspektivní pohled 2, autor	34
Obr. 56	Barevná varianta 1 - sanitární robot, autor	34
Obr. 57	Barevná varianta 2 - kamufláž, autor	34
Obr. 58	Umístění senzorů v přední části, vizualizace, autor	35
Obr. 59	Umístění senzorů v zadní části, vizualizace, autor	35
Obr. 60	Členění karoserie, vizualizace, autor	36
Obr. 61	Mechanismus kamery, vizualizace, autor	37
Obr. 62	Pozitivní forma - kopyto připraveno na výrobu negativní formy, foto, autor	38
Obr. 63	Negativní forma po vyjmutí kopyta, foto, autor	38

SEZNAM PŘÍLOH

zmenšené postery (A4)
fotografie modelu (A4)
postery A1
model