Fakulta strojního inženýrství
Ústav konstruování / Odbor průmyslového designu

Faculty of Mechanical Engineering
Institute of Machine and Industrial Design / Department of Industrial Design

Design dopravního prostředku v systému udržitelné městské mobility

Design of the vehicle for the system of sustainable urban mobility

[Dizertační práce]
[Dissertation Thesis]

Autor práce: **Ing. David Škaroupka**
Author
Vedoucí práce: **Doc. Akad. soch. Miroslav Zvonek, Art.D.**
Supervisor

Brno 2012

ústav konstruování

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji profesoru Hartlovi a Davidu Palouškovi za metodické vedení při psaní dizertační práce, Josefu Sládkovi za přínosné diskuze o designu, Karolínce za pomoc při práci s textem a dále všem, kteří mě během mého studia podporovali.

PROHLÁŠENÍ O SAMOSTATNOSTI

Prohlašuji, že jsem předloženou dizertační práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury a pod vedením Doc. Akad. soch. Miroslava Zvonka, Art.D.

V Brně, dne 31. 7. 2012 .....

David Škaroupka

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠKAROUPKA, D. Design dopravního prostředku v systému udržitelné městské mobility. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012 73 s. Vedoucí dizertační práce Doc. Akad. soch. Miroslav Zvonek, Art.D.

ABSTRAKT

Tato dizertační práce je reakcí na negativní trendy v městské mobilitě, které mnoho autorů vedly k závěru o nutnosti nového přístupu k dopravě osob ve městech. Vlastní práce má tvůrčí charakter, ale v koncepční rovině zohledňuje specifické potřeby udržitelnosti městské mobility a vychází ze stávajících pokrokových řešení dopravních prostředků. Výsledkem je vize jednomístného vozidla, chápaného jako element městské mobility, který respektuje charakter zón s volným pohybem osob, ale zároveň je vhodný i pro dopravu na delší vzdálenosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

městská vozidla, zařízení pro mobilitu osob, udržitelná městská mobilita, individuální automobilová doprava (IAD)

ABSTRACT

This dissertation is a response to the negative trends in urban mobility, which led many authors to conclude on the need for a new approach to personal transport in the cities. The work has creative character, but in the conceptual level, it is taking into account the specific needs of sustainable urban mobility and build on the existing innovative transport solutions. The result of dissertation is a vehicle vision, understood as an element of urban mobility that respects the character of the zones of free movement of persons, but it is also suitable for transport over longer distances.

KEYWORDS

city cars, personal mobility devices, sustainable urban mobility, private car traffic

OBSAH

1 ÚVOD 11
1.1 Definice problému 11
1.2 Záměr dizertační práce 11

2 VYMEZENÍ PROBLEMATIKY 12
2.1 Ekonomické a environmentální indikátory 12
2.2 Poptávka po dopravě 13
2.3 Problémy infrastruktury 14
2.4 Princip udržitelnosti 15
2.5 Doprava a udržitelnost 15
2.6 Předpověď mobility do roku 2050 16
2.7 Redefinování pojmu automobil 18
2.8 Nástroje udržitelného designu 19
2.9 Klíčové body kapitoly 21

3 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ 23
3.1 Trendy v systémech dopravní obsluhy 23
3.2 Trendy v technologiích 24
3.3 Design vedený technologií 26
3.4 Design vedený vizí 27
3.5 Design pro budoucnost 31

4 ANALÝZA A INTERPRETACE POZNATKŮ 33
4.1 Řešení infrastruktury a urbanizace 33
4.2 Řešení mobility pomocí technologie 35
4.3 Klíčové vlastnosti vozidel pro městskou mobilitu budoucnosti 36
4.3.1 Bílé místo v designu dopravních prostředků 36
4.4 Řešení pro udržitelnost invenčního designu 36
4.4.1 Bílé místo v udržitelném designu invenčních produktů 38
4.5 Motivace k řešení tématu 38
4.6 Cíle dizertační práce (k pokrytí bílých míst) 38
4.6.1 Obecné cíle 39
4.6.2 Hlavní cíl 39

5 METODICKÝ PŘÍSTUP 40
5.1 Interpretace designu 40
5.2 Návrh způsobu řešení (metodický rámec) 42
5.3 Zajištění udržitelnosti skrze design 44

6 VÝSLEDKY DIZERTAČNÍ PRÁCE 45

6.1 Řešení konceptuálního designu (strategie) 45
6.1.1 Rozdělení urbánního prostředí na zóny 45
6.1.2 Rozdělení vozového parku dle dopravních módů 46
6.1.3 Koncept rozkladu na element městské mobility 48
6.2 Řešení formálně-estetického designu 49
6.2.1 Generátor siluet (realizace Čeněk Šandera) 49
6.2.2 Generátor textury (realizace Jiří Král) 50
6.3 Řešení technického designu – realizace virtuálního modelu 51
6.4 Finální podoba návrhu 54

7 ZÁVĚR 58

7.1 Diskuze 58

SEZNAMY 60

Seznam použitých zkratek a symbolů 60
Seznam obrázků 61

BIBLIOGRAFICKÉ ZDROJE 63

1 ÚVOD

Jednotící linií této dizertační práce jsou problémy udržitelnosti městské mobility a jejich návaznost na proces designu nového konceptu dopravního prostředku s výhledem do roku 2050.

1.1 Definice problému

Filozofie používání automobilu se od doby jeho vzniku zásadně nezměnila [1]. Jako produkt industriální doby znamenal automobil zásadní přínos pro kvalitu lidského života. V dnešní postindustriální společnosti, kdy se města výrazně rozrostla, jsou hodnoty nastaveny zcela jiným způsobem, avšak automobil ve své původní formě a významu přetrvává. Svou nenahraditelnost a unikátní postavení vůči svobodě pohybu sice již dávno ztratil, ale stále je fenoménem a symbolem lidské svobody. Jeho smyslem je čím dál častěji spíše naplnění potřeb pohodlí, životního stylu a společenského statutu než zásadních potřeb pohybu.

Kvalita života se začíná přičiněním automobilu naopak horšit, avšak méně nápadnými projevy, jako například zvyšováním emisí a drobnými ztrátami času, které v celkových součtech rostou do nebývalých hodnot. Ačkoli si někteří lidé jsou těchto problémů vědomi, stárnoucí populace a omezené možnosti alternativ k individuální automobilové dopravě (IAD) způsobují, že městský prostor je dále zahlcován automobily ať už v pohybu na komunikacích, nebo na parkovištích. Nejčastější řešení těchto problémů má podobu represivních opatření jako je omezování vjezdů do městských center či tvorba pěších zón. Tato ustanovení relativně zhoršují dostupnost městského centra, jehož původní funkce se tímto mění. Dochází tedy k paradoxu, že na jednu stranu je zapotřebí více dopravy, aby se do města dostal život, ale na stranu druhou její omezení, aby se v něm dalo kvalitně žít.

Tato dizertační práce z oblasti průmyslového designu pracuje s jádrem problému, kterým je tradiční koncepce automobilu, a usiluje o redefinování IAD prostřednictvím hledání jejích nových forem.

1.2 Záměr dizertační práce

Záměrem je navrhnout alternativní dopravní prostředek, který se vymyká tradičnímu pojetí slova automobil. Řešení má prokázat, že udržitelnou mobilitu je možné realizovat i s podporou individuální automobilové dopravy (IAD).

Oblasti, které tato dizertační práce zpracovává, spojuje princip udržitelného rozvoje (dále jen udržitelnost), který je průnikem ekonomických, environmentálních a sociálních aspektů. Principy udržitelnosti již byly v minulosti aplikovány na problémy designu a tato práce usiluje o jejich použití pro případ návrhu konceptu (vize) dopravního prostředku, s přínosem pro udržitelnost městské mobility.

2 VYMEZENÍ PROBLEMATIKY

2.1 Ekonomické a environmentální indikátory

Individuální automobilová doprava (IAD) bývá často označována za největšího viníka kongescí, to znamená škod vzniklých plýtváním časem v důsledku neúměrného množství dopravy. Každý Evropan podnikne za den v průměru tři cesty, což odpovídá jedné hodině strávené v dopravě [2]. Co se týče USA, lidé ztratí každoročně 3,7 miliard hodin kongescemi [3], což průměrně odpovídá 52 hodinám zpoždění ročně v přepočtu na jeden automobil. Vyjádřeno v penězích znamená hodina zdržení každé osoby přibližně 8 USD [4] a celková roční škoda způsobená kongescemi pak jen v USA dosahuje 200 miliard USD [3].

Kromě ekonomických ztrát mají kongesce i negativní environmentální dopady, převážně se jedná o vliv na míru znečištění ovzduší. **Ačkoli jsou nové automobily stále šetrnější k životnímu prostředí, produkce CO_2 silniční dopravy v EU rostla až do roku 2008** [5; 6]. Jedním z důvodů zastavení tohoto negativního trendu byla zřejmě i Úmluva starostů (Covenant of Mayors), která zahrnuje opatření EU vůči klimatu. Tento dokument zavazuje členské státy k omezení emisí CO_2 do roku 2020 alespoň o 20 % [7]. I tak budou dle předpovědi jedním z největších problémů v roce 2030 globální klimatické změny [8]. Hlavním cílem EU do roku 2050 v oblasti environmentálních opatření je omezit emisi skleníkových plynů o 80-95% pod hodnoty z roku 1990. Konkrétně v dopravě by mělo do roku 2030 dojít ke snížení o 20% hodnot z roku 2008. Doprava je dle Bílé knihy [9] čistší, ale kvůli jejímu narůstajícímu objemu je stále hlavním znečišťovatelem a zdrojem hluku.

Dalším problémem je i energetická náročnost dopravy, kdy 26 % světové spotřeby energie připadá pouze na oblast EU [10] a energetická náročnost se bude dle předpovědi dále zvyšovat [8]. Vzhledem k okolnostem je logické, že EU podporuje vývoj pohonných systémů pro udržitelná paliva [9]. Skutečnost je však taková, že alternativní pohony využívá pouze 2,9% osobních aut v EU. Ostatní motory jsou benzínové (61,8%) nebo dieselové (35,3%), přičemž nejvíce nových automobilů k roku 2010 má dieselový motor [11]. Co se týče využívání biopaliv, ani zde nevyznívají údaje optimisticky. K roku 2008 je podíl jejich spotřeby ve 27 zemích EU 3,5% a v Česku pouze 0,2% z celkového množství paliva spotřebovaného v odvětví dopravy [12].

Míra využívání ropných produktů samozřejmě nepřináší jen environmentální problémy, ale i fakt, že zdroje nerostného bohatství nejsou nekonečné. To se zdá být alarmující, zejména pokud energetické potřeby EU jsou závislé na ropě a ropných produktech z 96% [9].

Charakter spotřeby a těžby ropy odpovídá dle Hubertovy teorie ropného vrcholu (oil peak) křivce, která je podobná Gaussově. Podle této teorie musí, vzhledem k neobnovitelnému charakteru tohoto zdroje, nevyhnutelně dojít k vrcholu spotřeby ropy, která bude dále jen klesat. Současné známé zásoby ropy vystačí na výrobu pohonných hmot přibližně do roku 2050, avšak předpokládá se další vývoj v oblasti zlepšování výtěžnosti současných nalezišť a objevování nových, což zvyšuje odhad dostupnosti světových zásob do let 2080 až 2090 [10]. Není tedy divu, že hlavním strategickým cílem EU je odstranit závislost dopravy na ropě.

Města mají kromě kongescí další problém v podobě rychle stárnoucí a rozrůstající se populace [13; 14]. V Americe je aktuálně „pouze“ 9 měst s více než milionem obyvatel, zatímco v Číně 125. Předpokládáme-li, že jen v Číně do roku 2030 vzroste počet obyvatel o dalších 350 milionů, množství tamních milionových velkoměst se bude muset zvýšit na 225 [13]. Organizace spojených národů dokonce uvádí, že populace lidí starších 80 let bude do roku 2050 čtyřnásobná, což odpovídá 379 miliónům osmdesátníků [15]. Bude-li tento trend pokračovat, potom hrozí, že IAD nebudeme využívat jen kvůli svému pohodlí, ale že ji budeme dokonce nutně potřebovat.

V Česku zatím situace není tak dramatická. Přesto i zde vývoj naznačuje podobné tendence jako ve světě, ale navíc zde nejsou zdaleka tak dobře rozvinuté alternativní systémy dopravní obsluhy jako Park and Bike (viz kapitola 3.1) a podobně. Ze závěrů dopravních výzkumů společnosti Arthur D. Little [16] vyplývá, že **průměrná rychlost v Praze v důsledku vzrůstajícího počtu automobilů neustále klesá** (v současnosti 26 km/h). Pokud by tento trend takto dále pokračoval, v roce 2050 bychom v důsledku kongescí v Praze strávili přes 100 hodin namísto současných 30 a došlo by také k trojnásobnému nárůstu emisí [17]. V případě Brna je taktéž zaznamenán růst IAD, kterou město přikládá nízké atraktivitě městské hromadné dopravy, malému počtu cyklostezek a hlavně radiálnímu uspořádání silničních komunikací, které přetěžují dopravu v centru města [18].

Výzkumné záměry, které se týkají dopravy, v Česku do značné míry reflektují přístup EU. Jsou zde stanoveny priority mimo jiné v oblastech vytvoření podmínek pro budování integrovaných dopravních systémů (vývojem logistických metod jako citylogistika), celkové zlepšení technického stavu systému dopravní prostředek – infrastruktura, vývoj nových konkurenceschopných dopravních prostředků s filozofií snižování množství IAD a podobně [19].

2.2 Poptávka po dopravě

Právě poptávku po IAD bude EU řídit mimo jiné pomocí cenové politiky. Tento postup bude v evropských městech implementován v širokém měřítku jako součást jejich strategií mobilitní sítě [8]. Cílem je, aby lidé volili jiný dopravní prostředek než automobil. Úspěšným příkladem takového řízení poptávky je britský Darlington, kde se podařilo regulovat poptávku pouze pomocí nástrojů managementu mobility. Tímto způsobem došlo ke snížení poptávky po IAD o 8 – 12% jen vlivem účinné marketingové kampaně, tedy bez velkých investic do infrastruktury (workshop SUMP 1. června 2012 v Praze). Problémy časté volby IAD však netkví pouze v neinformování veřejnosti o možných alternativách. Centrum dopravního výzkumu (CDV) [20] provedlo průzkum na 600 respondentech, kdy jedním z cílů bylo zjistit důvody upřednostňování IAD před ostatními možnostmi dopravy. Nejčastější zjištěné faktory byly nedostatečná četnost spojů MHD a špatná kvalita infrastruktury a služeb v oblasti alternativních druhů dopravy. Nápravou této situace by podle výzkumníků z CDV mohla být tzv. „pružná mobilita“ s větší frekvencí spojů a více cíli [21].

Prokazování poptávky po IAD

Jak je tedy zřejmé, poptávka po IAD je stále velká i přes různé restrikce i motivace. Ukazatelem může být prodejnost osobních automobilů. Například v roce 2009 jen zákazníci v Číně nakoupili 13,6 miliónů aut a tato země se tak stala největším automobilovým trhem na světě [13]. V EU sice od roku 2007 počet nových registrovaných vozidel mírně klesá, ale v Asii je jich tolik, že bezmála dosahují poloviny celosvětové hodnoty. I tak je EU k roku 2009 dále domovem největšího celkového počtu automobilů a je zde i jejich největší hustota v porovnání s USA, Japonskem, Ruskem, Čínou, Brazílií a dalšími [11]. Pravděpodobnost vlastnictví automobilu dále roste s životní úrovní a klesá s hustotou zalidnění [1].

Statistické údaje k roku 2005 hovoří o počtu 164 automobilů na 1000 obyvatel ze sledovaných 133 zemí světa. Žebříček těchto hodnot však vede USA se 765 automobily. Česko se nachází na 22. pozici s hodnotou 399 automobilů [22] a v roce 2008 stoupá na 423 automobilů, což je vůči 27 zemím EU mírný podprůměr (470 automobilů) [12]. Pozitivním signálem může být to, že v roce 2010 byl projeven největší zájem o malé automobily jak v Evropě, tak i celkově ve světě. Konkrétně šlo o více než 30% z celkové poptávky [11].

Velký zájem o menší formy dopravních prostředků je i v Číně. Ta v roce 2010 disponovala 120 miliony elektrických dvoukolých dopravních prostředků [23]. Přitom elektrické skútry byly k dispozici pouze v posledních sedmi nebo osmi letech, což indikuje přinejmenším 15 milionů prodaných kusů ročně za toto období. [13]. Podle prognózy bude v roce 2015 v Číně 150 milionů elektrických kol. Předpověď dále naznačuje, že v letech 2010 – 2015 přibude 30 milionů těchto kol, což by ale znamenalo, že prodejnost klesne a že v roce 2010 se pravděpodobně nacházela na svém vrcholu [24].

2.3 Problémy infrastruktury

Nárůst počtu automobilů zvyšuje dopravní zátěž a klade nové nároky na infrastrukturu. Zmiňovaná Čína například plánovala v roce 2010 vynaložit 80 miliard jüanů na výstavbu nové infrastruktury v Pekingu [25].

Zásadním rozdílem mezi starými historickými městy a městy z 19. a 20. století je patrný zejména ve velkorysosti komunikací a v geometrickém uspořádání ulic novějších měst, kde je automobilový provoz v centrech více přirozený než například v těch evropských. Evropská města vznikala v souladu se svou dlouhou historií podle středověkých pravidel na významném místě toku řek, poblíž vyvýšeného místa a na křižovatkách tradičních obchodních cest. Města se rozvíjela směrem od svého historického centra a v mnoha případech docházelo ke vzniku nových lokálních center [26] na hlavních tazích k centru původnímu. V období průmyslové revoluce došlo k zásadním změnám v charakteru měst, způsobeným prudkým nárůstem zastavěné plochy, vznikem průmyslových zón a novými možnostmi dopravy, kterou nabízela železnice. V postindustriální fázi dochází k rozvolnění fyzické struktury města, decentralizaci výroby, centralizaci služeb, řídících funkcí a revitalizaci center [27].

Jádro současných urbánních problémů v Česku bývá spatřováno v totalitních a post-komunistických plánovacích principech dělení půdy dle funkce, které mimo

jiné způsobilo budování příměstských oblastí (suburbií), ve kterých je obtížné realizovat efektivní dopravu, protože jednotlivé body zájmu jsou roztroušeny [14]. Toto rozrůstání města do okolí se nazývá "urban sprawl" a v češtině se pro něj vžil název "sídelní kaše" [28]. Kromě vyšších nároků na energii pro bydlení způsobuje suburbanizace i závislost na IAD [29].

Význam udržitelnosti v urbánním kontextu je patrný z „Matice udržitelnosti", kterou navrhl v roce 1990 Osama Salem [30]. Matice zahrnuje pozitivní a negativní extrémy a má několik oddílů, jednímž z nich je právě urbánní kontext. Pozitivní extrémy v tomto oddíle představují atributy, které jsou ideálním stavem urbánního prostoru z hlediska udržitelnosti. Obsahují například upřednostnění nízkoenergetické a nízkoemisní dopravy, smíšené typy budov a zachování otevřených prostorů.

2.4 Princip udržitelnosti

Jak již bylo řečeno, principy udržitelnosti jsou pojítkem této dizertační práce. Mezi základní pilíře udržitelnosti patří životní prostředí, sociální aspekt (společnost, spravedlnost) a ekonomika. Komplexní udržitelnost je pak dána průnikem těchto tří oblastí. O udržitelném ekonomickém rozvoji můžeme hovořit v případě, kdy současná generace zachová pro následující generaci stejnou zásobu kapitálu na osobu, jakou měla pro sebe [2]. Mezi ekonomy najdeme zastánce jak „slabé udržitelnosti", tak i „silné udržitelnosti". Slabá předpokládá možnost nahrazení například spotřebovaných nerostných surovin jiným technickým výdobytkem civilizace a je tedy optimistická k lidské schopnosti nalézt alternativní řešení. Známější je udržitelnost silná, která je spíše skeptická a represivní. Zastánci této udržitelnosti hájí neobnovitelné zdroje a nabádají k omezení jejich používání. K posuzování udržitelnosti se často používají indikátory kvality života (quality of life - QoL), které se rozdělují především na objektivní (znečištění ovzduší, hluk, technické podmínky…) a subjektivní (hodnocení objektivních indikátorů jedincem) [31; 2].

2.5 Doprava a udržitelnost

Vzhledem k absenci obecně platné a uznávané definice udržitelné dopravy je možné uvést alespoň jednu z nejrozšířenějších, která je modifikací definice udržitelného rozvoje, na které se shodli členové WCED: **„Udržitelná doprava umožňuje uspokojení potřeb mobility současných generací bez omezení potřeb mobility budoucích generací."** Na bázi silné udržitelnosti tento pojem přesněji vymezuje OECD, když definuje udržitelnou dopravu jako takovou, která **neohrožuje veřejné zdraví, ekosystémy a nabízí ekonomicky životaschopný a sociálně přijatelný způsob dopravy v souladu s konceptem udržitelného rozvoje.** To především znamená, že čerpá zdroje energie pomaleji, než se obnovují, nebo pomaleji, než se rozvíjí jeho substituenty [32; 2].

Co se týče způsobů naplnění udržitelné dopravy, je nutné sáhnout k obecnějšímu pojmu, kterým je mobilita. V zásadě je možné říct, že **mobilita zahrnuje všechna technicky realizovaná přání změnit místo za účelem naplnění svých potřeb** [2]. Těch je možné dosáhnout prostřednictvím dopravy (v rozměru fyzickém)

a komunikační sítě (v rozměru virtuálním). Ačkoli složky mobility nemusejí být nutně podobné, současná fyzická i virtuální mobilita vychází ze stejných sociálních vlivů [33] a potřeba změnit místo je jejich společnou motivací. To znamená, že ne veškeré potřeby změny místa mají své naplnění ve fyzickém světě, který představuje doprava. Některé potřeby je však možné uspokojit přímo virtuálně (například prostřednictvím internetu) a jiné můžou mít pouze virtuální základ v podobě zprostředkování určité formy dopravy (volání Taxi, služby Door to door) nebo řízením a monitorováním dopravy (ITS, SeeTraffic).

V souvislosti se snahou EU motivovat města k aktivitám podporujícím udržitelnou mobilitu vznikají různé iniciativy jako například CIVITAS [34] nebo programy jako IEE (Intelligent Energy – Europe), jehož částí je hlavní evropský portál o městské mobilitě ELTIS [35].

Projekt Eltis Plus je zaměřen na tvorbu plánů pro udržitelnou městskou mobilitu SUMP (Sustainable Urban Mobility Plan) [36] ve městech EU. Jde o soubor doporučení pro přípravu a realizaci plánu udržitelné městské mobility, v němž je v 11 krocích a 32 aktivitách nastíněna cesta k úspěšnému dosažení požadovaných výsledků [37]. SUMP definuje cíle (formulované skrz diskuzi se všemi účastněnými stranami včetně občanů), strategii, jak těchto cílů dosáhnout, a v neposlední řadě také metody, jakými výsledky měřit.

SUMPy mají zpravidla jen doporučující charakter, ale jsou i případy v západní Evropě (např. Anglie, Francie), kde je povinnost tyto plány sestavovat dána zákonem nebo i vyšším dokumentem. V současné době se tvorba SUMPů stává aktuální otázkou také pro ČR, kde je propagována prostřednictvím CDV. Podle rozhovoru se zástupci odboru plánování brněnské dopravy by měly v Brně a Ostravě vzniknout v horizontu tří let (workshop SUMP 1. června 2012 v Praze).

CDV, které v Česku ve spolupráci s projektovým teamem ELTIS Plus organizuje workshopy a informační kampaně na propagaci SUMPů, je zapojeno také do evropského projektu EPOMM Plus, což je sdružení zemí EU na podporu řízení managementu mobility [38]. Jejich společné aktivity směřují k výměně know-how z různých zemí EU v oblasti udržitelného dopravního plánování a řízení mobility. Oba tyto projekty jsou financovány z evropského programu IEE.

Stále se zvyšující potřeba pohodlí, stárnoucí populace a omezené možnosti alternativ k IAD způsobují, že zahlcujeme městský prostor automobily ať už v pohybu na komunikacích, nebo na parkovištích.

Jak již bylo řečeno, v městské mobilitě existují tedy paradoxy, které se projevují tak, že na jednu stranu potřebujeme více dopravy, aby se do města dostal život, ale na stranu druhou její omezení, aby se v něm dalo kvalitně žít.

2.6 Předpověď mobility do roku 2050

I kdyby se infrastruktura městské dopravy optimalizovala k absolutnímu limitu své kapacity, finanční a prostorová omezení budou stále bránit úplnému přizpůsobení zvyšujícím se požadavkům na individuální mobilitu. V budoucnu budou upřednostněny služby a módy udržitelné dopravy zahrnující chůzi a cyklistiku, jež budou brány v potaz jako alternativy pro některé cesty. **Použití osobních automobilů v městském prostředí se nicméně významně nesníží.** Městský rozvoj

a environmentální politika, která se zabývá způsobem využívání půdy a plánování udržitelné městské mobility, se stanou stále silněji integrovanými. Celoevropské snahy generalizovat přístupy k plánům udržitelné městské mobility budou tento trend i nadále podporovat. To povzbudí vývoj směrem k polycentrickým městům a systém veřejné dopravy (autobusový a kolejový) přispěje k utváření budoucího městského prostředí [8].

Předpokládá se, že v budoucnosti budou využívány nové veřejné a kolektivní služby, sdílení cest či dokonce společné vlastnictví automobilu. To bude zaměřeno na zvyšující se poptávku mobility, zmírnění jejího dopadu na životní prostředí a také na výzvy prezentované vývojem zásobování energií společně s jejich rostoucími cenami. Přístup k těmto službám bude mnohem snazší, například díky jednojízdenkovému konceptu (single ticket concept), který umožní městskému spotřebiteli cestovat beze spěchu a plynuleji principem „door to door“ [8].

Odstranění závislosti dopravy na ropě bez zmenšení její účinnosti a ohrožení mobility se zdá jako řešení protichůdných požadavků. Základem je zlepšení energetické účinnosti pohonu napříč dopravními módy a vývoj pohonných systémů pro udržitelná paliva. Spotřeba energie a emise skleníkových plynů ze silniční dopravy se v budoucnu stabilizují také díky efektivním vylepšením motorů, vozidel, transportního systému a nahrazení zmíněných neobnovitelných zdrojů paliva za obnovitelné. **Největší přínos bude v lehkých užitkových vozidlech** [8]. Jedním z předpokladů je také upřednostnění ekologické IAD na závěrečné úseky cest a internalizace externích nákladů. To znamená, že uživatelé zaplatí dopravu v plné výši výměnou za méně přetíženou kvalitnější dopravu s lepšími službami [9].

Přestupní uzly budou poskytovat hladký a efektivní interface mezi dálkovým a městským transportem nákladů. Městský vozový park (osobní i nákladní) podstoupí přechod k energetické účinnosti, elektrifikaci a diverzifikaci v designu (například modularita), což zajistí, že vozidla budou vhodnější do městského prostředí a budou odpovídat rozšířeným požadavkům na mobilitu. Více než 15% nově prodaných vozů určených pro městské prostředí budou elektromobily, plug-in hybridy nebo jejich varianty. Elektrifikace zasáhne rovněž kola, mopedy a motocykly. **Rozšířené potřeby veřejné dopravy a dopravy městského zboží budou mít silný vliv na nový design vozů** [8].

Pro EU je důležitá optimalizace multimodálních řetězců a větší míra používání energeticky účinnějšího módu dopravy (obzvláště tam, kde u jiných módů není technologická inovace dostačující pro účinný a ekologický provoz – doprava na velkou vzdálenost). Účinnější dopravy a infrastruktury má být dosaženo zdokonalením systémů řízení dopravy a informačních systémů jako ITS, SESAR, ERTMS, SafeSeaNet či RIS [9]. Informační servis a servis elektronického obchodování se budou postupně stávat plně integrovanými v každodenním životě městského spotřebitele až do té míry, že ten bude on-line nepřetržitě, rovněž s neustálým přístupem k on-line obchodování, a stane se tak aktivní součástí živé virtuální komunity [8; 39]. Tím také vzrostou nároky zákazníka na pokročilé doručování zboží do domu a služby s tím spojené. Zvyšující se možnost mobility informací kombinovaných s ITS bude hrát hlavní roli v optimalizaci efektivnosti a dovolí cestujícímu výběr nejvhodnější kombinace cestovních módů pro specifickou destinaci. TTI (Traffic and travel information) navíc napomůže implementaci

pokročilých řídicích systémů (pomocí kooperativních systémů) a management mobility na požádání [8].

V roce 2030 se městská mobilita změní vlivem socio-demografických změn (stárnutí a imigrace), urbanizace, vzrůstem cen energií, implementací environmentálních regulací, pokračujícím urban sprawl a také další difuzí sofistikovaných informačních a komunikačních technologií (ICT) ve virtuálním aspektu života. Požadavek veřejných a společných módů dopravy se tedy značně zvýší. Výsledkem bude komplexní integrovaný mobilitní systém, vedený s větší efektivitou k odpovědím na výzvy redukování environmentálního dopadu a minimalizování kongescí, ale přitom poskytující komfortní mobilitu pro cestující. Požadavek individuální (personální) mobility v důsledku rozšíří volbu komfortních mobilitních řešení, často multimodálních, a nové informační služby je učiní snadno dostupné uživateli. Vhodně umístěné přestupní uzly poskytnou cestujícím snadný přestup mezi transportními módy [8].

2.7 Redefinování pojmu automobil

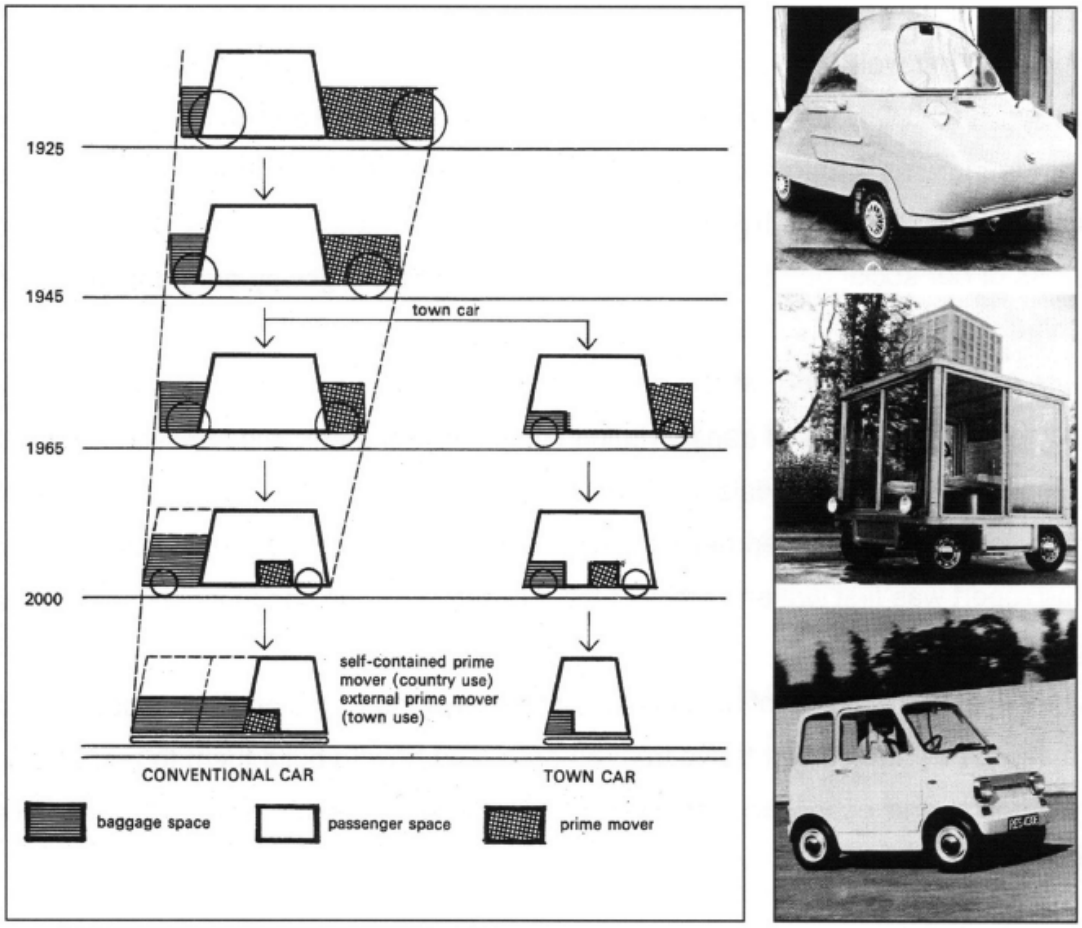
Automobil představuje technický superlativ, který vyjadřuje a budí emoce, jak je tomu například i s prohlášením Mika Simoniana, designéra ze San Franciska [40], jenž osočil automobilový byznys z pouhého vytváření nových obalů. Odsoudil obsesivní lpění automobilového průmyslu na parametrech výkonu a označil jej za viníka, který svým „vymytým mozkem“ strhává lidskou pozornost k dávno neplatným hodnotám. Tyto silné formulace, kvůli kterým je automobilový průmysl poněkud v neprávu, mají svůj racionální základ. Jádrem je totiž myšlenka, že **rychlost a výkon již dlouhou dobu nepředstavují hlavní hodnotu automobilismu**, což platí o to více pro městskou mobilitu.

Nejvýraznějším počinem ve smyslu redefinování pojmu automobil pochází z projektu Smart Cities. V závěrečné publikaci, která pochází z roku 2010 [1], autoři přicházejí se čtyřmi nosnými myšlenkami, jejichž kombinací by měl být dodržen příslib udržitelné mobility:

1. nové DNA automobilu
2. mobilitní internet
3. chytrá a čistá energie
4. elektronicky řízené trhy s dynamickými cenami

Nové DNA automobilu by mělo obsahovat především elektrický pohon získávaný z akumulátorů nebo z vodíkových článků. Předpokládá se dobíjení elektromobilů přímo v budovách, například v parkovacích domech. Automobil by měl být také elektronicky ovládán, měl by být inteligentní a propojený s okolím (tj. navigace GPS ve spojení s technologiemi car to car). Propojení mezi automobily by vytvořilo mobilitní síť podobnou internetu, díky které by bylo možné lépe sledovat pohyb vozidel, predikovat dopravní zácpy a podle toho dynamicky nastavovat například ceny mýtného. Takový interaktivní systém by pak umožňoval volit optimální trasu i s ohledem na cenu průjezdu danou lokalitou, což by zároveň mělo pozitivní vliv na hustotu provozu v daných oblastech.

Z pohledu nároků na fyzické parametry je patrný trend miniaturizace, který popsal už kolem roku 1970 Gabriel Bouladon [41] a výsledky projektu Smart Cities trvání tohoto trendu potvrzují [1]. Významným aspektem je potom konstrukční modularita ve smyslu skládání vozidla pro zmenšení parkovací plochy [42].



Obr. 2.1 trend miniaturizace automobilů [41]

2.8 Nástroje udržitelného designu

Design a udržitelnost

Sémantický význam slova design není jednoznačný. V anglofonním světě zahrnuje širokou škálu pracovních náplní, které předkládají určité řešení, zatímco v Česku bývá vnímán v úzkých výtvarných kontextech s důrazem na umělecký přesah. Paralelou vztahu fyzické a virtuální mobility je i vztah designu a udržitelného designu (viz kapitola 2.5). Jejich společným tématem je snaha o vyvážený produkt a schopnost prezentovat a předkládat alternativy možných řešení. Na rozdíl od obecného smyslu slova design, udržitelný design využívá nástroje managementu, jejichž vliv na výsledný produkt je vzdálený a méně konkrétní. Design pro udržitelný rozvoj, udržitelný design nebo také ekodesign [12] je zpravidla komplexním souborem postupů, které umožňují vývoj kvalitních a ekonomicky rentabilních

produktů, které mají minimální dopad na životní prostředí. **Usiluje tedy o „maximum kvality umělého prostředí a minimalizaci nebo eliminaci negativního dopadu na přirozené prostředí“** [43].

Existují i různé zpřesňující alternativy definicí udržitelného designu: „systematické začleňování principů udržitelného rozvoje (v oblasti ekonomické, sociální a environmentální) do procesu návrhu a vývoje produktu při zohlednění jeho celého životního cyklu. (...) Design pro udržitelný rozvoj naplňuje cíl udržitelné spotřeby a výroby na maximalizaci užitku produktů při minimalizaci jejich negativních dopadů v celém životním cyklu (...)“ [44; 45].

Udržitelný design bývá chápán jako zastřešující princip celého životního cyklu výrobku od výroby po recyklaci, který přitom klade důraz na běžné atributy produktu jako je užitná a estetická funkce [44]. Čím dříve (počínaje konceptem a technickou dokumentací) jsou principy udržitelného designu aplikovány, tím větší je jejich dopad.

Z hlediska designu jako vývoje produktu jsou nástroje a metody udržitelného designu spíše manažerské, určují strategii a hlídají proces. Tyto nástroje slouží k formulaci myšlenek zaměřených na to, co je dobré udělat vzhledem k současným znalostem problému. Jsou tedy vhodné v případech, kde je problém komplexní a předpokládá se vysoký počet vlivů.

Udržitelný design neexistuje jako samostatný nástroj a dostupné zdroje nejsou jednotné v metodice jeho uplatnění. Volba konkrétních nástrojů záleží na tom, zda pouze upravujeme stávající výrobek, navrhujeme nový anebo hodnotíme již provedený návrh. Existují však obecné principy i konkrétní postupy udržitelného designu. K obecným, až filozofickým přístupům, je možné zařadit principy podle J. F. McLennana [43]:

1. Učení se z přírodních principů (princip bio-mimiker)
2. Respekt k přírodním zdrojům energie (princip konzervace)
3. Respekt k lidem (princip Human Vitality)
4. Respekt k místu (princip ekosystému)
5. Respekt k budoucnosti (princip sedmi generací)
6. Způsob myšlení (holistický princip)

Nástroji aplikovatelnými na design mohou být analýza preferencí zájmových skupin, stanovení funkčního profilu produktu a jeho dopadů na zájmové skupiny v životním cyklu výrobku nebo využití různých oblastí pro zlepšení, například „osm strategií ekodesignu“ (viz metodika Design For Sustainability D4S, Delft University of Technology) [46].

Strategie pro udržitelný design

Přehled různých strategií jak dosáhnout udržitelného designu předkládá příručka OKALA [47], vytvořená organizací IDSA (Industrial Designers Society of America). V domorodém jazyce Hopi znamená OKALA „životní udržitelná energie“. Jedná se

o vizi, ve které je možné rozeznat hodnotu globální ekologie a cesty, jak zabezpečit její ochranu. OKALA nabízí:

- hodnocení dopadu životního cyklu (Lifecycle Impact Assessment)
- vliv faktorů pro 240 materiálů a procesů, které umožňují odhad ekologického výkonu jakéhokoliv produktu nebo systému
- změna globálního klimatu (v míře oxidu uhličitého) pro stejných 240 materiálů a procesů
- Vodítka „state of the art“ v designu pro demontáž a recyklaci
- environmentální etika, bio-mimikry, design k zastavení změny klimatu
- reference k socioekonomickým vztahům
- data pro Green Marketing a analýzy oceňování životního cyklu produktu

Konkrétní kroky aplikovatelné v procesu vývoje produktu předkládá „Deset principů udržitelného, cenově efektivního designu“ společnosti Rockwell Automation, která se zabývá technologiemi pro inovaci zákaznických produktů, často výrobních strojů [48]:

1. Eliminování nepodstatných mechanických částí
2. Minimalizování množství důležitých mechanických komponent
3. Nahrazení fluidního pohonu elektrickým pohonem kdekoli to jde
4. Provádění bezpečnostního auditu mechanických konstrukcí před návrhem řídicích systémů
5. Realizování ochrany nebo kontrolního přístupu u pohyblivých částí
6. Používání integrovaných bezpečnostních systémů pro snížení složitosti řízení
7. Kontrolování zařízení a jeho rozhraní v místě budoucího použití
8. Rozvíjení modulárního kódu (zejména v informačních technologiích IT usnadňuje řešení problémů)
9. Využívání diagnostiky
10. Zahrnutí IT konektivity

Jedním z exaktních nástrojů, které jsou schopné vyhodnotit environmentální dopad budoucího výrobku už při jeho vývoji, je plug-in Solidworks Sustainability, který je ve své podstatě kalkulačkou hodnocení životního cyklu (LCA). Vstupními daty jsou informace o velikosti a materiálech virtuálního 3D modelu, místo výroby a prodeje a podobně. Výsledkem jsou číselné hodnoty emisí a další ukazatele. Během procesu LCA je možné například zjistit, že je možné použít jiný materiál s menším environmentálním dopadem [49].

2.9 Klíčové body kapitoly

Existují pravidla pro udržitelný design, která je možné chápat jako strategii a základní vodítka pro návrh produktu ve smyslu udržitelného rozvoje.

Za klíčové dokumenty pro tuto dizertační práci je možné označit dokument ERTRAC (European Road Transport Research Advisory Council) pro výzkum v dopravě [8], v němž je vyslovena potřeba diverzifikování dopravních prostředků a vize dopravy v roce 2050. Publikace amerického projektu Smart Cities [1] představuje řešení či dokonce znovuvynalezení automobilu pro městský provoz a je tematicky velmi blízká této dizertaci.

3 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Pro nalezení dopravních možností v diverzifikované městské mobilitě budoucnosti (viz kapitola 2.5) je zapotřebí znát dosavadní přístupy, minulé snahy a současné trendy v systémech dopravní obslužnosti, v designu a technologiích, které umožňují revoluční přístup.

Tato kapitola předkládá konkrétní příklady v současné době známých dopravních prostředků, systémů a technických řešení.

3.1 Trendy v systémech dopravní obsluhy

Tato kapitola se zaměřuje na současné fungující systémy dopravní obsluhy, které řeší daný druh problému v dopravě (například nenaplněnost vozidel či přeplněnost center měst dopravními prostředky). Mezi nejdůležitější z nich patří [50]:

Car2Car

Tato technologie se zakládá na bezdrátové komunikaci mezi jednotlivými vozy (účastníky provozu) a má sloužit k odhalování potenciálních rizik v dopravě, tedy jako prevence nehodovosti [51; 52].

Door to Door (seamless mobility)

Princip založený na organizaci cestovní trasy s přestupními uzly tak, aby s celkovým časem cestujícího bylo naloženo efektivně, pokud možno beze ztrát při čekání na spoj. Tuto službu (organizaci cesty) začínají za poplatek nabízet přímo k tomuto účelu vytvořené agentury „Mobility Service Providers“. [53]

Car sharing

Tento systém dopravní obsluhy je založen na účelovém sdílení automobilu větším počtem uživatelů. Tímto způsobem lze dosáhnout efektivnějšího provozu automobilu, jehož převozní kapacitu je možné lépe využít, převézt více lidí a rozložit mezi ně náklady na provoz. Car sharing je ekologičtější a ekonomičtější, ale náročný na organizaci. Existují tři typy jeho realizace: organizovaná, přes známost (např. spolupracovníci) a náhodná. Princip car sharingu se poprvé objevil ve Spojených státech amerických už v období druhé světové války, kdy sloužil hlavně k úsporám zdrojů pohonných hmot. Následně prošel několika vývojovými fázemi až k dnešnímu stavu sofistikovaných strategií a technologií. [54]

Bike sharing

Jedná se o vypůjčování veřejně dostupných kol zvaných Social Bicycle, která není nutné hledat ve speciálních stojanech, ale díky GPS a chytrému telefonu je možné zjistit, kde se nejbližší volné kolo nachází, a bez problému si ho půjčit. [55]

Car pooling

Car pooling je jednou z forem car sharingu, která bývá organizována přes internet, telefon nebo fyzicky na k tomu určených místech. V USA se však objevují i reakce poukazující na jeho snižující se atraktivitu [4].

Park and Ride (P+R)

Tento systém je založen na parkovacích domech, které se zpravidla nacházejí mimo centra měst a jsou napojené na městskou hromadnou dopravu. Jeho cílem je dostat parkující automobily mimo exponovaná parkovací místa v centrech a usnadnit tak následující dopravu řidičům, kteří se rozhodnou svůj automobil takto odstavit. Systém P+R je v České republice zapojen např. do systému pražské integrované dopravy u stanic metra [50].

Park and Bike (P+B)

Jde o obdobný způsob jako Park and Ride. V tomto případě jsou ale na odstavných parkovištích k dispozici půjčovny kol. Na stejném místě, kde zaparkujete své auto, si tedy můžete zapůjčit kolo, které je součástí sítě výpůjčních stanic rozmístěných na vhodných místech po městě. Podmínkou správného funkce tohoto systému je kvalitní síť cyklostezek. Výborným příkladem je fungování P+B v Amsterdamu z projektu ELTIS [56].

Kiss and Ride (K+R)

Jedná se o systém vyhrazených zón pro krátkodobé zastavení automobilu za účelem výstupu nebo nástupu osob na místech s dopravní návazností, jako zastávky městské dopravy, letiště a podobně.

Hail and Ride

Princip hromadné dopravy, který je využívaný zejména ve Velké Británii. Řidiči autobusů zastavují pasažérům na nevyhrazených místech na signál.

3.2 Trendy v technologiích

Tento oddíl se zabývá technickými předpoklady pro realizaci dopravního prostředku v udržitelné městské mobilitě. Sumarizuje stěžejní technologie perspektivní pro dopravu v budoucnosti, které jsou využívány v níže uvedených konceptech.

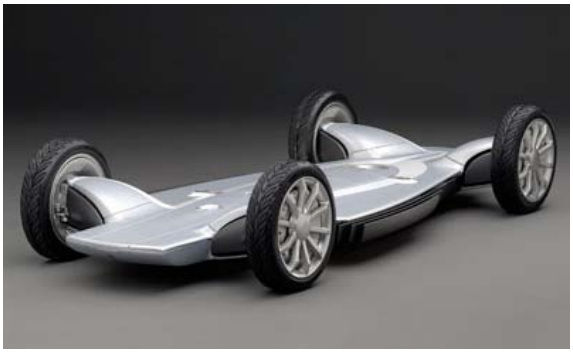
Segway technologie – gyroskopický senzor

Technologie, které Segway používá, jsou velkoformátové Li-Ion baterie jako zdroj pohonu, který je softwarově kontrolován (trakce, brzdění), drive by wire technologie ovládání, bezdrátové digitální sdělovače (stav baterie, rychlost, atd.) a **balanční gyroskopický senzor** Silicon Sensing. Technicky vzato představuje regulování jízdy Segwaye problém z oblasti **teorie řízení obráceného kyvadla**. Hlavním požadavkem na balanční systém je schopnost udržení rovnováhy, jestliže komponenty selžou. Vysoké nároky na robustnost a dvoj, až trojnásobnou redundanci takového systému vedly k vývoji sestavy balančních senzorů založené na gyroskopické technologii (VSG3 silicon MEMS gyro technologie). Revoluční řešení spočívá v uložení gyroskopů pod úhlem, kdy jsou pomocí trigonometrie snímána data z každého páru gyroskopů, čímž je možné dedukovat otáčení čistě ve směru jedné ze tří os. Dohromady pak získáváme požadovanou redundanci. Systém navíc obsahuje dva dvouosé kapalinové senzory a výsledná informace o náklonu je tak vyhodnocována jak elektronickými senzory, tak fyzikálně [57]. Na principu této

technologie vznikla kromě transportéru Segway řada obdobných mikrotransportních prostředků jako například Toyota Winglet (patent koupený od společnosti Sony), Honda U3-X nebo miniaturní Solowheel [58; 59], který se liší tím, že cestující nemá žádnou pomyslnou oporu (řidítka) a transportér je upevněn pouze za kotníky. Díky tomu je snadno přenosný a tím i lépe využitelný, ovšem za cenu nižšího výkonu a kratšího provozu.

Platforma Autonomy GM

Jedná se o první automobilovou platformu, jež byla od počátku konstruována pro elektrický pohon umístěný v kolech. Její hlavní přínos spočívá v široké využitelnosti, protože veškerá technologie související s pohonem je umístěna v základně – „skateboardové“ platformě, kterou je možné kombinovat s libovolnou karoserií. [59]



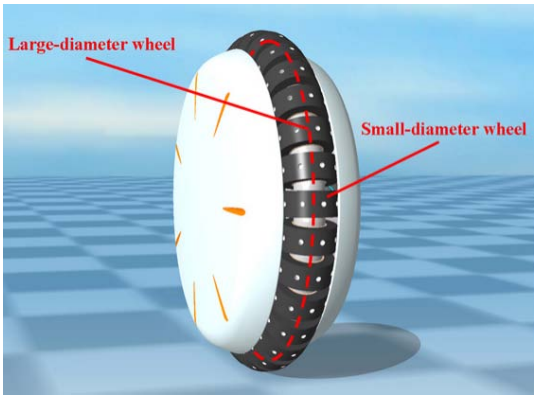
Obr. 3.1 Skateboardová platforma GM Autonomy

Robotické kolo

Někdy také označované wheel motors. V terminologii Smart Cities jsou tímto způsobem označována kola s motorem uvnitř. Zásadním přínosem je možná nezávislost kola, jednoduché zavěšení a úspora místa ve zbytku vozu. Prvním výrobcem, který jej pod názvem „Active Wheel“ uplatnil komerčně, byl v roce 2008 Michelin. Nevýhodou tohoto řešení je poměrně vysoká hmotnost kola.

Obr. 3.2 Michelin Active Wheel[60]

Podobným principem, který myšlenku robotického kola rozvádí dále je „HOT Drive System“ (Honda Omni Traction Drive System). Jde o planetově umístěná miniaturní kolečka s kolmou osou otáčení vůči nosnému kolu. Tímto způsobem je možné zajistit pohyb v příčném směru. Honda použila systém HOT drive například v prototypu U3–X (viz kapitola 3.3) [61].



Obr. 3.3 HOT Drive system

3.3 Design vedený technologií

P.U.M.A.

Personal Urban Mobility and Accessibility (P.U.M.A.) je výsledkem spolupráce automobilky GM a firmy Segway. Na platformě balančního systému silicon sensing (viz kapitola 3.2) vzniklo dvoumístné vozidlo pohybující se pouze na dvou kolech, takže zůstávají výhody „zero turning radius“. Vozidlo má sloužit k snadnému přesunu skrz kongesční zóny a je součástí představy leaderů v GM (viceprezidenta Larry Burnse) o bezdrátově propojené dopravě, kde spolu vozidla „komunikují“ pomocí sítě podobné internetu. Pomáhají tak dosáhnout větší bezpečnosti díky regulaci rychlosti, redukují kongesce, navigují a hledají parkovací místo. [62]

Obr. 3.4 P.U.M.A. GM & Segway [62]

Honda EV-N

Tento retro automobil odkazuje na produkční počátky Hondy. Podstatným přínosem je bimodalita dosažená vložením osobního dopravního prostředku U3-X do dveří [61]. Toto mobilitní zařízení prezentovala Honda na tokyjské motorshow v roce 2009 S rozměry 24x12x6 palců a váhou 10 kg jedním z vůbec nejmenších. Průlomové je použití tzv. „HOT Drive System“ (viz kapitola 3.2), které vyrovnává výchylky těžiště v kolmých směrech. Malé rozměry tohoto osobního transportéru jsou vhodné pro využití jako druhého módu dopravy, jak ukazuje koncept Honda EV-N. Jeho předností jsou malé rozměry a nízká váha, nevýhodou schopnost pohybovat se pouze po rovných površích prakticky bez překážek, jejichž překonávání by bylo rovněž nepříjemné co do komfortu (například kvůli neodpruženému sedu). Následníkem U3–X je Uni–Cub [63], který je pohodlnější a je možné ovládat jej pomocí smartphonu.

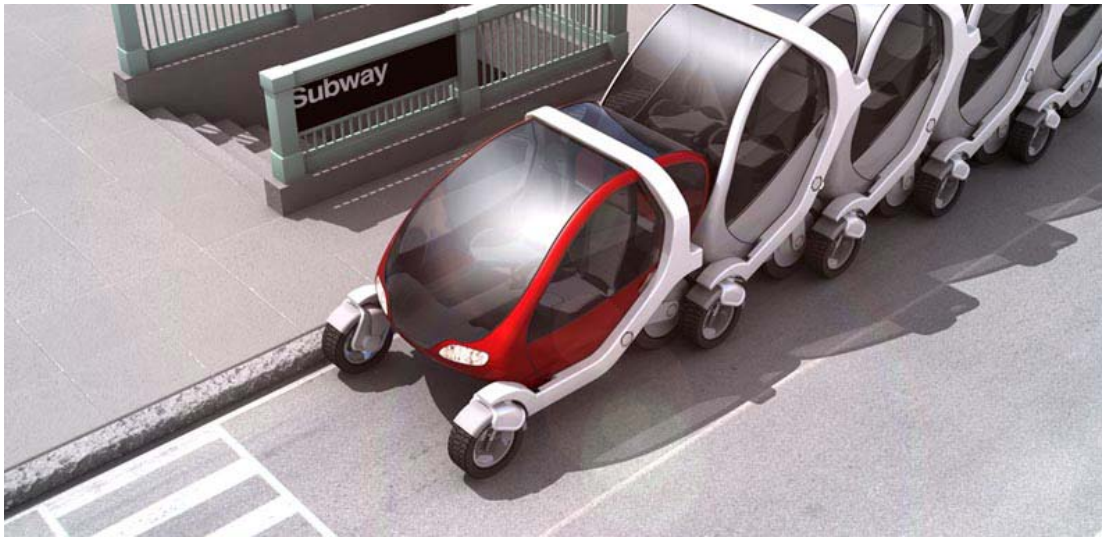
3.4 Design vedený vizí

Návrhy projektu Smart Cities

Práce projektu Smart Cities [64] směřují k vývoji sdíleného městského automobilu, k optimalizaci jeho platformy a městského prostředí a také k vývoji metod navrhování. Tento projekt spatřuje řešení v hledání úspor v oblasti parkování a to nejen za účelem ušetření místa jako takového, ale také v přesunutí parkovacích ploch blíže k místům, kde jsou zapotřebí (například přímo před domy v centrech měst). Tyto snahy jsou podstatnou částí uplatňované filozofie v „mobilitě na požádání" (mobility on demand).

Bit Car

Bit Car je stohovatelný automobil, který ve Smart Cities navrhl Franco Vairani. Jde o dvoumístný automobil na elektrický pohon využitelný pro krátké trasy ve městě. V praxi by byl provozován formou veřejné služby podobně jako sdílené automobily. [65]



Obr. 3.5 Bit Car [65]

Soft city car

Na základě pěti definovaných rysů pro nový automobil, které jsou paralelou LeCorbusierova manifestu „Pět bodů směrem k nové architektuře“, je navržen koncept městského automobilu, který sleduje cíle projektu Smart Cities [41].

Pět bodů směrem k novému konceptu automobilu:

1. robotická kola
2. chytrá sedadla
3. exoskeleton
4. otevřený interiér
5. měkká karoserie (kabina)

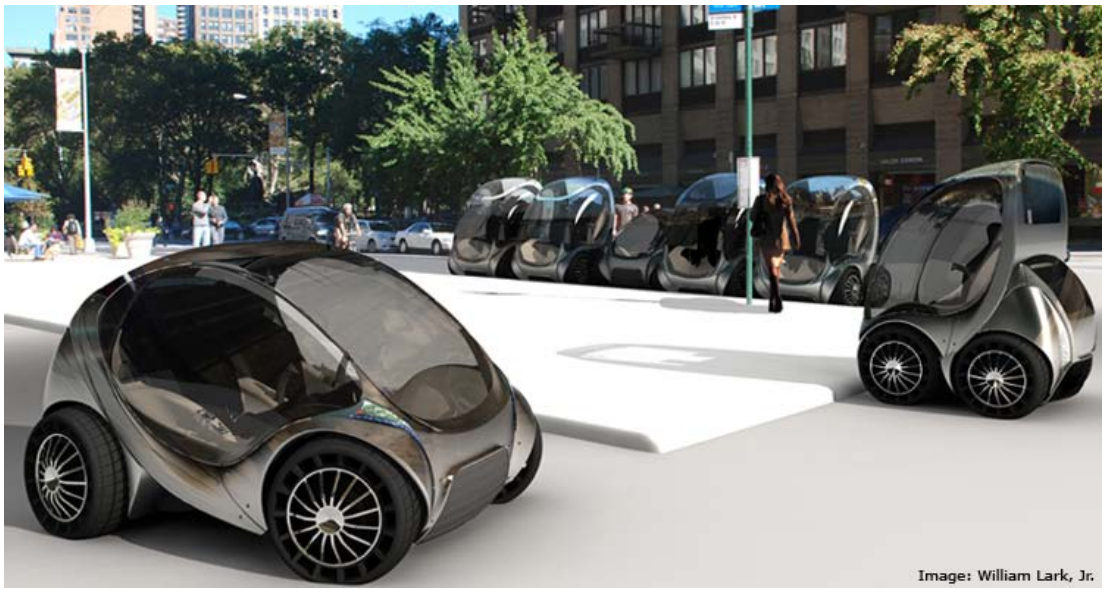
Soft City Car je vize využívající technologie robotických kol a principu autonomní platformy, která je vybavena bezpečnostními sedadly a měkkou interaktivní karoserií.

Obr. 3.6 Soft City Car [41]

MIT City Car

Je výsledným návrhem projektu Smart Cities [64] navazujícím na Bit Car. Každé kolo je nezávisle řízeno a poháněno uvnitř umístěným motorem (viz kapitola 4.1.2), a tím se stává vozidlo velmi dobře manévrovatelné. Princip skládání vozidla neslouží jen k zmenšení parkovacího prostoru a k usnadněnému nastupování, ale také k akumulaci energie při nárazu.

Tento koncept si v roce 2010 zvolilo konsorcium baskických firem pro možnou budoucí sériovou výrobu. V roce 2012 tak vznikla na jeho základě skládačka Hiriko [66] a do roku 2015 by její výroba měla dosáhnout 9000 kusů ročně.



Obr. 3.7 MIT City Car [64]

Projekt Connect

Autorem tohoto návrhu je designér Michal Vlček [67] pro L'Argus competition. Jde o futuristické modulární městské vozidlo inspirované mikrokosmem, který funguje jako komunita, kde spolu mohou interagovat dílčí elementy. Vozidlo tedy může být v určitých úsecích trasy spojováno s ostatními. Tímto shlukováním je možné například sdílet energii mezi vozidly, ale hlavně je jím dosažen autonomní provoz, kdy se řidič stává pasažérem. Plným kontaktem mezi vozidly se také docílí snížení pohybujícího se počtu vozidel ulicemi a tím teoreticky i efektivnější dopravy. Návrh sleduje myšlenku soukromého zážitku z veřejné dopravy "public transportation in a private space". Dle svých slov našel jeho autor odpověď převedením komplexnosti z fyzické úrovně na virtuální. [67]

Obr. 3.8 projekt Connect [67]

Autonomobile (ATNMBL)

Autoři Autonomobilu jsou Mike Simonian a Maaike Evers ze studia Mike & Mikee [40]. ATNMBL je vize automobilu pro rok 2040. Myšlenka návrhu je ukryta ve spojení slov autonomie a automobil. Jedná se tedy o plně autonomní vozidlo, pojízdný apartmán, obývací pokoj nebo kancelář, poháněné elektrickou energií ze solárních článků. Návrh je vzhledem ke zvyklostem (i v oblasti kreativního designu) zásadní a nekompromisní a přichází s myšlenkou úplně jiné dopravy, kde cestující jsou skutečně jen pasažéři a vozidlo je spíš futuristickou autonomní vlakovou kabinkou. Není zde ani náznak klasické koncepce pilotovaného vozu a radosti z jízdy, která je od počátku hybnou silou automobilového průmyslu. Jak již bylo řečeno, Mike Simonian komentoval návrh kontroverzním prohlášením:

„Automobilový průmysl má vymytý mozek svou vlastní kulturou, svou obsesí rychlostí, stylem a fantazií. Automobilový byznys se stal pouhým vytvářením nových obalů, zavedl pozornost lidí ke stylu a jednoduché definici výkonu, nikoliv k jejich skutečným potřebám." [68; 69]

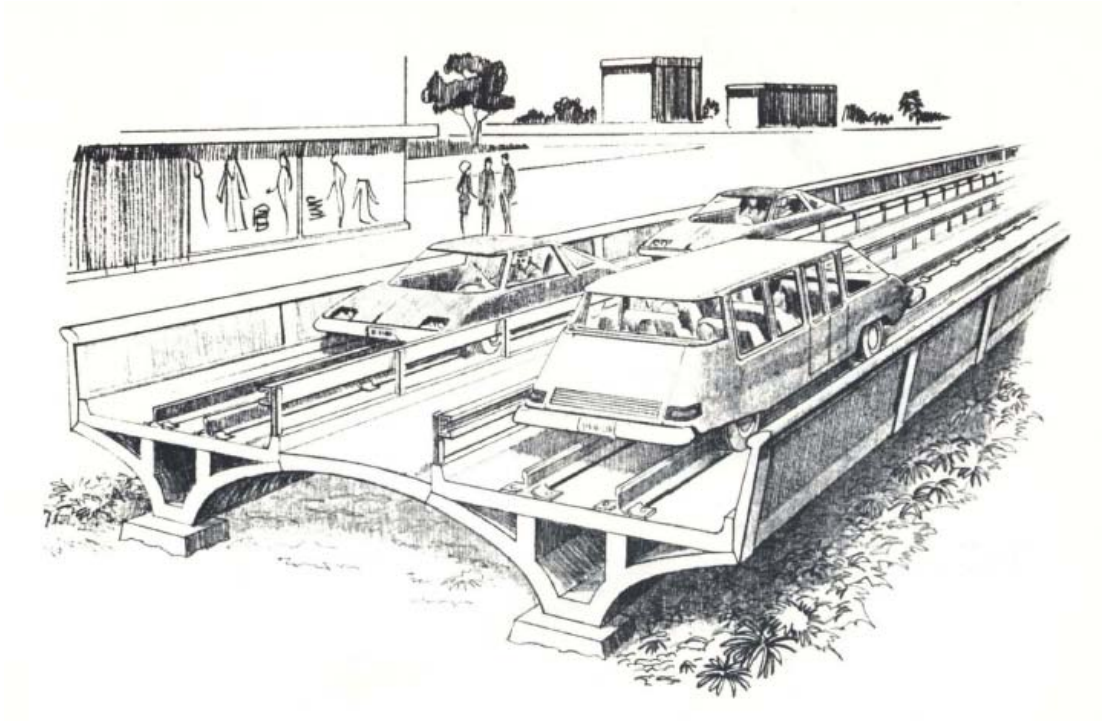
Mike Simonian

To, s čím návrh pracuje, je virtuální mobilita, zábava a sociální kontakt. Ve městech budoucnosti, která budou dle statistik přeplněná lidmi a kde dopravní proud bude zřejmě velmi pomalý, posouvá ATNMBL logicky fyzickou mobilitu (dopravu) na něco základního, co jde automatizovat, a dává prostor všemu ostatnímu, co je předmětem běžné denní činnosti.

Obr. 3.9 ATNMBL – Autonomobile [40]

Urbmobile MK-I

UrbMobil, duální automobil nebo také bimodální automobil je používán jednak klasicky na silnicích, jednak automaticky na řízené dráze [50]. Od počátku 60. let minulého století vznikal v Cornell Aeronautic Laboratories tento nový koncept bimodální dopravy na bázi PRT (Personal Rapid Transit) pod vedením Mortona O. Weinberga a Roberta A. Wolfa. Jejich práce byla pro vývoj PRT důležitá, protože rozeznali nutnost zkrácení „headways“ (času, kdy automobil urazí trasu rovnou vzdálenosti mezi automobily) pod půl sekundy a dokázali, že takový systém je možné bezpečně kontrolovat a řídit. [70]



Obr. 3.10 skica dráhy pro Urbmobile MK-I [71]

V popisu konceptu Weinbergova Urbmobilu MK-I z roku 1968 vidíme použití principů, které vedou ke snížení rychlosti před případnou srážkou, zvýšení bezpečnosti a tím k dosažení vysoké kapacity stejně jako jednoduchosti kontrolního systému. Synchronně kontrolovaná rychlost zajišťuje, že relativní rychlost srážky bude jen pár mil za hodinu. Weinberg uvažoval o použití nárazníků absorbujících část energie v případě kolize. Jednoduchost a spolehlivost kontrolního systému (open-loop) byla Wolfem posouzena jako technicky atraktivní, ale uvědomoval si, že teprve bude muset být vyhodnoceno, zda bude systém veřejně akceptovatelný stejně jako rozšíření více bimodálních systémů.

3.5 Design pro budoucnost

Dopravní prostředky jsou zde zařazeny proto, že vznikly v dané době jako utopické návrhy/vize, které nezpochybnitelně opomíjejí současné technické možnosti. Silnou stránkou designu pro budoucnost je schopnost vytvářet vizuálně

působivé objekty, která je dána možností oprostit se od technických a leckdy i fyzikálních limitů. Prezentované návrhy upozorňují na možnosti, které by jednou mohl přinést další mód dopravy, vzdušný prostor, nebo bezkontaktní pohyb.

YEE dual-mode car

Tento koncept bimodálního vozidla pochází z Číny. Je navržen pro pohyb na silnici i ve vzduchu. V režimu jízdy jsou přední kola nahrazena sklopenými křídly podobnými ploutvím, zatímco vzadu je jedno kolo. Řadí se tedy mezi tříkolová vozidla. Nevýhodou ale je, že koncept neumožňuje přecházet plynule z jednoho módu do druhého. Pro vzlétání, stejně jako pro přistání, musí totiž používat speciální plošinu, která mimo jiné funguje také jako solární nabíječka. [72]

Obr. 3.11 YEE dual-mode car [72]

VW – Hover Car

V roce 2012 byl v Číně představen nový koncept automobilu založený na principu pohybu těsně nad zemí díky pohybu po elektromagnetickém polštáři. Toto plně elektrické vozidlo je určeno pro městskou přepravu dvou osob. [73]

Obr. 3.12 VW – Hover Car [73]

4 ANALÝZA A INTERPRETACE POZNATKŮ

V této kapitole budou pojmenovány nedořešené a problematické jevy (bílá místa) ve zkoumaných oblastech.

Jak již bylo řečeno, významným problémem městské mobility je rostoucí využívání IAD (viz str. 12), jehož důsledkem jsou negativní ekonomické a environmentální škody a tím i celkový nepříznivý dopad na kvalitu života ve městech. Stále se zvyšující potřeba pohodlí způsobuje, že automobil volíme i při rutinních cestách, čímž město zahlcujeme. V lokálním měřítku tak vznikají dopravní zácpy a kongesce, zatímco v globálním měřítku dochází ke znečišťování životního prostředí a plýtvání neobnovitelnými zdroji [2]. Ačkoli je 40% kongescí v USA způsobeno zúženými místy v komunikacích [1], zkušenosti ukázaly, že optimalizace dopravního proudu stejně nevede k zásadnímu řešení, protože v důsledku způsobuje další nárůst dopravy [14].

Z podílů jednotlivých druhů dopravy na různých typech cest v Paříži [1] vyplývá, že v porovnání individuální a hromadné dopravy na různých vzdálenostních okruzích jasně dominuje IAD. Uvažujeme-li tři oblasti: centrum, první okruh a druhý okruh, nejvíce individuální dopravy se nachází v druhém (to znamená vnějším) okruhu a připadá jí 90% na úkor hromadné (10%). V centru naopak dominuje hromadná doprava s 65% a individuální dopravě připadá 35%. Podobnou tendenci vykazuje i doprava mezi okruhy, kde až v centrální oblasti hromadná doprava začíná dominovat a nejsilnější pozici má pak napříč všemi okruhy, kde jí připadá 69%. Celkově pak v Paříži připadá 68% individuální a 32% hromadné dopravě [1]. S rostoucí hustotou zalidnění klesají vzdálenosti, které automobily průměrně za den urazí, a vlivem kongescí pak klesá i průměrná cestovní rychlost. Z uvedených údajů vyplývá, že hromadná doprava je nejvíce využívána pro cestování uvnitř centra a dále na dlouhé cesty z centra do okrajových částí Paříže. **Jako nedostatečně vyřešená se jeví především doprava mezi zónami, kde je vyšší podíl IAD**. Možnou příčinou této vyšší poptávky by mohla být například rostoucí vzdálenost mezi jednotlivými zastávkami ve smyslu závěrů výzkumu, které provedlo CDV (viz kapitola 2.2).

Nejrychlejší způsoby řešení problémů v dopravě přináší management mobility, který motivuje například k volbě jiného dopravního prostředku než automobilu. Ekonomickým nástrojem je například internalizace externích nákladů, což v důsledku znamená zpoplatňování určitých aktivit, které mají negativní vliv na dopravu. Osvojení schopnosti řešit dopravní problémy logisticky na bázi aktuálně dostupných technologií by mělo vytvořit příležitosti pro nová technická a koncepční řešení, jež budou mít dlouhodobý charakter.

4.1 Řešení infrastruktury a urbanizace

Jednotlivé body zájmu (práce, škola, domov) jsou po městě roztroušeny, což si vynucuje více cestování [14]. Řešením by dle autora [14] mohla být vize tzv. „kompaktního města“, kde budou body zájmu místně sdruženy a kvalita života v obytných rezidenčních zónách zajištěna vymezením zón bez dopravy a diferenciací silničních komunikací na přístupové, obslužné apod. tak, aby byla omezena

průjezdová doprava. Jedním z řešení by mohla být i tzv. „nová urbanizace“, kde je v ideálním případě vše dosažitelné pěšky.

Sociálně prostorové struktury měst [74]

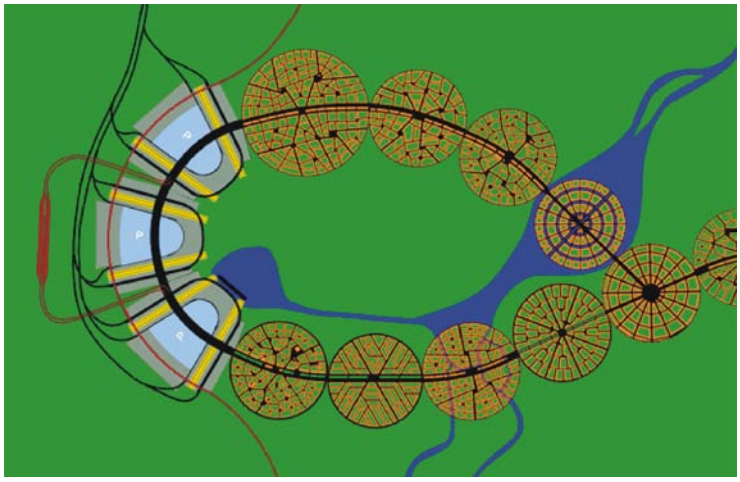
- Koncentrický model (Burgessův) vystihuje různé demografické změny v závislosti na vzdálenosti od centra. To znamená, že například společně se vzdáleností roste i počet potomků a klesá věkový průměr obyvatel.
- Sektorový model (Hoytův) nejlépe vystihuje koláčový graf, kdy jeho výseče reprezentují zastoupení obyvatel s různým stupněm vzdělání či odlišným pracovním zaměřením.
- Vícejaderný model (Harris-Ullmanův) vychází z předpokladu, že jsou ve městě různá centra, kdy každé z nich plní danou funkci (sport, průmysl apod.).

Nový urbanismus [75]

Princip nového urbanismu je založen na pěším pohybu, aby bylo město co nejméně zahlcováno hlukem a dopravou. Je pro něj tedy nezbytná blízkost všech služeb a potřeb, které člověk běžně využívá. Pro přepravu na vzdálenější místa pak má sloužit městská dráha a vlaky. V současné době existuje pouze USA již přes 4000 návrhů nebo projektů v počátcích realizace.

Topologie města bez aut [76]

Na následujícím obrázku je znázorněna nová koncepce města založená na principu na jednu stranu oddělených, ale zároveň i vzájemně propojených městských čtvrtí. V každé z nich se nachází vše, co lidé každodenně potřebují. Pokud chtějí cestovat do jiné části, umožňuje to efektivní metro, které má vždy jednu zastávku na okraji každé zóny. Nejdelší časový úsek strávený cestováním v rámci celého města je zde 35 minut. Těžký průmysl a parkovací místa se nacházejí ve speciálních oblastech mimo tyto čtvrti. Velmi důležitou součást tvoří zeleň, vždy okolo 80% v porovnání s 20% zastavěné plochy.



Obr. 4.1 Město bez aut, jen 35min cesty na kterékoli místo [76]

4.2 Řešení mobility pomocí technologie

Po technické stránce vozidla pro dopravu ve městě je trendem miniaturizace dopravních prostředků (viz kapitola 2.6). S rostoucí vhodností pro pohyb v centru města se zmenšuje nejen samotný automobil, ale především jeho půdorysný průmět. Tento fakt je částí jevu přibližování formy dopravního prostředku k vertikálnímu uspořádání, které je typické pro přirozený lidský pohyb a logicky vhodné do míst, které jsou spíš pěšími zónami.

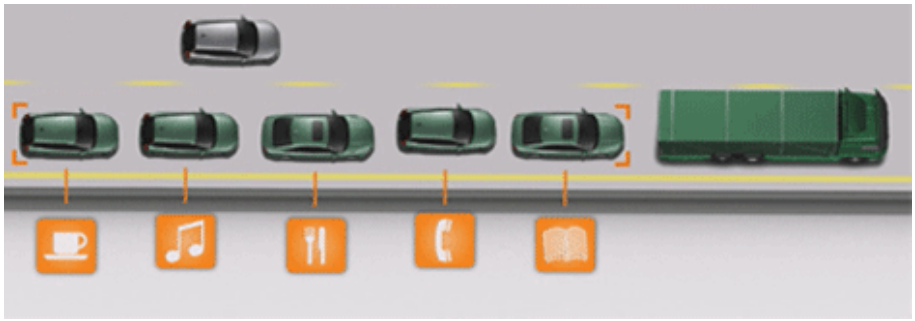
Miniaturizace se projevuje umisťováním pohonných jednotek a zdrojů energie do konstrukčních prostor jiných součástí (robotické kolo, autonomní platforma, (viz kapitola 3.2) a objevují se principy řízení vozidla v labilní vertikální poloze (obrácené kyvadlo).

V organizaci dopravy jsou zásadní trendy komunikačních technologií Car to Car, které směřují k propojení virtuální mobility s fyzickou, pomocí vzájemného virtuálního propojení automobilů budou účinnější telematické systémy a bude snazší naplánovat trasu tak, aby byla optimální s ohledem na čas jízdy, nebo případně i cenu za průjezd zvolenou lokalitou. Již nyní je možné stáhnout si do chytrého telefonu aplikace, které řidiči umožňuje vidět dopravní zácpy či uzavírky a vybrat si tak co nejvhodnější trasu [77]. Jestliže nebude možné se vyhnout dopravní zácpě, nebo naopak půjde o průjezd monotónním obchvatem, bude možné využít bezdrátové komunikace na principu platooning, který umožní věnovat se něčemu jinému než řízení (např. virtuální mobilitě). Tím zároveň dojde k optimalizaci dopravního proudu, který sice nevede k udržitelnosti, ale řeší vzniklou dopravní situaci.

Shlukování vozidel – platooning vehicles

SARTRE je projekt na podporu vývoje technologií pro automatizovaný provoz na dálnicích. Cílem je dosáhnout stavu automatického provozu, kdy se budou automobily schopny pomocí bezdrátové detekce držet v bezpečné vzdálenosti za vedoucím automobilem, který je řízen profesionálním trénovaným řidičem [78]. Tento princip řízení provozu se nazývá „vehicle platooning“ od slova platoon – četa a jde shlukování vozidel za provozu. K jeho výhodám patří úspora paliva a vyšší bezpečnost provozu [79].

Odhaduje se, že tímto způsobem by bylo možné zvýšit kapacitu komunikace dva až třikrát. Experimenty se dvěma automobily Ford prokázaly, že je tento princip provozu možné realizovat i s pomocí v současné době dostupných technologií [80].



Obr. 4.2 Shlukování vozidel – platooning[78]

ICARO (Increase of CAR Occupancy through innovative measures and technical instruments) se zabývá, jak vyplývá z názvu, zvýšením obsazenosti aut pomocí inovativních opatření a technických nástrojů.

4.3 Klíčové vlastnosti vozidel pro městskou mobilitu budoucnosti

Uvedené vize dopravních prostředků pracují s udržitelnými zdroji a se zcela novými technologiemi. Zahrnují tedy například robotická kola, autonomní (skateboardové) platformy a dokonce i ideu měkkých karoserií (viz kapitola 3.4). Dopravní prostředek pro udržitelnou městskou mobilitu by měl být přínosný v následujících oblastech:

Úspora parkovacího prostoru

Projekt Smart Cities (62) se z hlediska konceptu dopravního prostředku zabývá zejména problémem nedostatku parkovacích míst a nalézá řešení v podobě stohování výpůjčních vozidel principem nákupních košíků (Bit Car, viz kapitola 3.4).

Autonomní provoz

Schopnost vozidla samostatně se pohybovat je velmi důležitá pro řešení problému velmi pomalého dopravního proudu, který se v budoucnu předpokládá. Účelem je, aby člověk nebyl řidičem, ale jen cestujícím, který v průběhu přepravy může řešit své vlastní záležitosti (ATNMBL, viz kapitola 3.4).

Sdílení trasy

V úsecích, které mají vozidla společné, je možné jejich vzájemné propojení. To znamená, že dojde nejen ke sdílení energie a tím i k její nižší spotřebě, ale také k pohodlí řidiče, ze kterého se v tuto chvíli stává opět pouhý pasažér. Řešení například v Projektu Connect (viz kapitola 3.4) a princip platooning (viz kapitola 4.2).

4.3.1 Bílé místo v designu dopravních prostředků

Změna v koncepci automobilu je silně závislá na technologických možnostech. Inovace je zpravidla umožněna zásadním technologickým pokrokem, který je ale obtížné predikovat.

Nevyřešená oblast je řešení napříč městskými zónami. V současnosti neexistuje propojený systém komunikace a určité konstrukční kompatibility mezi dopravními prostředky, která by zaručovala potřebnou schopnost na sebe navazovat, aby byla zaručena kontinuita dopravní cesty. Je zapotřebí hledat víceúčelovost z hlediska městských dopravních módů.

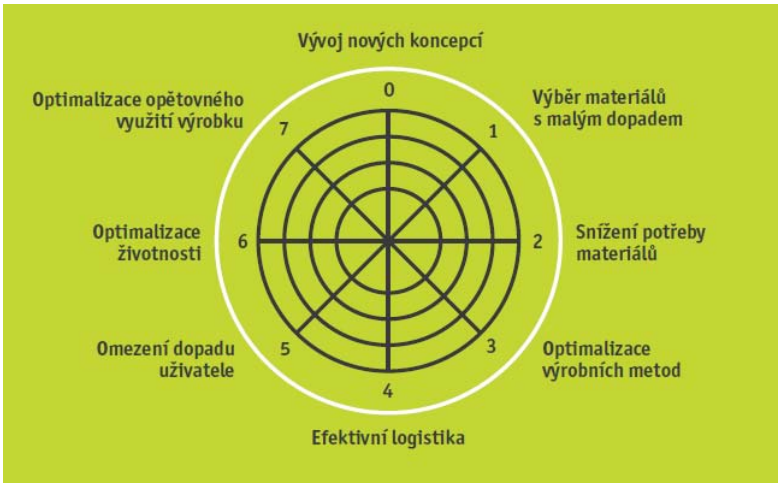
4.4 Řešení pro udržitelnost invenčního designu

Udržitelný design představuje soubor postupů, které umožňují navrhovat produkty s minimálním dopadem na životní prostředí. Současně je vnímán jako zastřešující princip životního cyklu výrobku, který systematicky začleňuje principy udržitelného rozvoje do procesu designu produktu. Pro tuto dizertační práci jsou podstatné ty aspekty udržitelného designu, které se zaměřují na inovaci produktu.

Inovace je nutná tam, kde nedostačuje evoluční vývoj, ale je zapotřebí zásadní změny.

Metodika Design For Sustainability [46] pocházející z půdy Delft University of Technology, představuje tzv. „faktorové myšlení“ ukazující stupeň úkonu dosahujícího udržitelnosti a kritickou potřebu vylepšit produktové procesy, produkty a systémy. Vylepšení faktoru 2 – 4 se týká postupného redesignu existujících produktů a má krátkodobý účinek. Pro dosažení dlouhodobého účinku faktory 10 – 20 je nutná radikální produktová inovace. Existují tři její úrovně, inkrementální, radikální a fundamentální. Inkrementální je vhodná pro zavedené (známé) produkty a společnosti. Radikální inovace drasticky mění zavedené produkty, otvírá nové možnosti na trhu, ale přináší značná investiční rizika. Fundamentální inovace je závislá na vědeckém a technologickém pokroku a také na nových znalostech, které jsou zapotřebí v počáteční fázi inovování.

Pro inovační proces designu je možné využít například „osm strategií ekodesignu“:



Obr. 4.3 Osm strategií ekodesignu[46; 12]

Základní strategií je vývoj nových koncepcí, který je pro udržitelný design ideální, protože je možné uvažovat o novém systému výrobek – služba [45], kdy je výrobek nahrazen službou, například spíše pronajímání podlahové krytiny než její prodávání [81]. Služba pak zahrnuje i zajištění servisu a zpětného odběru. Příkladem může být i vývoj pasivních staveb, které využívají jednoduše dostupné materiály z okolí, a stavba pak nepotřebuje tradiční vytápění [45].

V konceptu pro udržitelnost designu OKALA (viz kapitola 2.8) [82] je uvedeno několik základních strategií jak docílit udržitelného produktu pro inovaci [81]:

1. Přehodnocení způsobu jak poskytnout benefit
2. Flexibilita designu pro technologickou změnu
3. Poskytování produktu jako služby
4. Nabídnutí více podobných produktů v rámci jednoho (švýcarský nůž)
5. Podporování uživatelského sdílení produktu

6. Bio-mimikry (inspirace přírodou)
7. Používání živých organizmů
8. Využívání lokálních zdrojů surovin

4.4.1 Bílé místo v udržitelném designu invenčních produktů

Postupy, které nabízejí současná řešení, jsou velmi obecné, takže je možné je modifikovat a zpřesňovat pro konkrétní případy. Vzhledem k tomu, že zdroje neuvádí, jakou roli hraje udržitelný design v procesu kreativního designu, bude nutné vytvořit metodický rámec (viz kapitola 5.2), do kterého bude možné nástroje udržitelného designu zasadit.

4.5 Motivace k řešení tématu

Motivací pro zpracování tématu designu dopravního prostředku v systému udržitelné městské mobility je celospolečenský trend zájmu o problémy pohybu v městském prostředí. Díky němu mohla vzniknout řada inspirujících řešení v oblasti městské dopravy (viz kapitola 4.2), které dokazují nutnost intenzivní práce na vývoji jak malých vozidel nové generace, tak na samotném systému infrastruktury, ve kterém se budou pohybovat.

Za nejčastější příčinu problémů v městské mobilitě bývá považován automobilismus, ale zároveň je obtížné změnit trendy v dopravním chování obyvatelů měst. Výzkumy také ukazují, že alternativy k IAD neposkytují z různých důvodů adekvátní náhradu [21]. Proto je nutné se kromě managementu mobility a doporučování v současnosti známých alternativ zaměřit na jádro problému, kterým je charakter (nebo také DNA [1]) současného automobilu. Tato práce bude navazovat na řešení, která hledají odpověď na problémy městské mobility prostřednictvím návrhu dopravního prostředku individuální automobilové dopravy.

4.6 Cíle dizertační práce (k pokrytí bílých míst)

Fakta uvedená v kapitole 2 a 3 jsou ukazatelem problémů, pro které byla již dříve nalezena určitá řešení – návrhy a realizace dopravních prostředků (viz kapitola 3). Tato řešení jsou zpravidla zaměřena na jeden konkrétní problém v dopravě, nebo jen na určitou kategorii dopravní cesty. Vzhledem k potřebě větší diverzity v dopravě [8; 14; 9] je však nutné nalézt řešení pro dopravu napříč městskými zónami.

Jedním ze základních předpokladů pro udržitelnou městskou mobilitu na bázi IAD je diverzita dopravních prostředků [8; 14; 9]. Jak již bylo zmíněno, nároky na městský dopravní prostředek blízké budoucnosti budou odpovídat potřebám udržitelnosti městské mobility. Kromě typové diverzity to bude zejména čistý provoz a schopnost komunikace s infrastrukturou a mezi vozidly. Restrikce, které budou klasické automobily ve městech postihovat, budou v následujících desetiletích čím dál výraznější. To však neznamená, že klasické automobily zmizí z naší každodenní reality, a je možné, že jejich počet ani neklesne. Pouze se přestanou objevovat v centrech měst, do kterých, alespoň pokud jde o ta evropská, ani nepatří.

Velkou výzvou pro design je právě řešení nových forem dopravy, které i v centrech měst umožní motorizovanou dopravu, které se lidé téměř jistě nevzdají. V současnosti neexistuje propojený systém komunikace ani určité konstrukční

kompatibility mezi dopravními prostředky, které by zaručovaly potřebnou schopnost koherence ve smyslu zaručení kontinuity dopravní cesty.

V minulosti vznikla řada řešení designu dopravních prostředků s přínosem pro udržitelnost městské mobility. Tato dizertace na ně navazuje a navrhovaný dopravní prostředek staví na předpokladech definovaných v projektu Smart Cities, které dále rozšiřuje o představu diverzity formulované v dokumentu ERTRAC [8]. Vlastní řešení se bude omezovat na vizi motorizovaného dopravního prostředku, který vychází z reálných technických předpokladů, podložených současným stavem řešení a předchozími koncepty v dopravě.

Návrh se nebude zabývat ergonomickými, technickými (pevnostní dimenzování) otázkami ani otázkami určování cílové skupiny. Cíle práce navazují na záměr uvedený v kapitole 1.2.

4.6.1 Obecné cíle

- Definovat městské dopravní zóny.
- Formulovat argumenty pro tezi, že udržitelnou mobilitu je možné realizovat i s podporou IAD za předpokladu, že dojde k redefinování pojmu automobil.
- Určit kritéria pro návrh dopravního prostředku pro udržitelnou městskou mobilitu.
- Určit vztahy mezi jednotlivými faktory v procesu designu udržitelného produktu (metodika).

Tyto obecné cíle tvoří základní předpoklad, bez kterého není možné realizovat hlavní cíl dizertační práce.

4.6.2 Hlavní cíl

Navrhnout element IAD pro budoucí městskou mobilitu, který umožní propojení městských dopravních módů a provoz v nich prostřednictvím jediného vozidla uzpůsobitelného specifickým nárokům každé definované zóny.

5 METODICKÝ PŘÍSTUP

Shromážděné poznatky z oblasti dopravy budou zpracovány metodami systémové a klasifikační analýzy s cílem pochopit a vysvětlit vliv určitých jevů na problémy efektivity městské mobility, se zaměřením na roli IAD.

Metodika práce v oboru průmyslový design zahrnuje interdisciplinární propojení dalších vědních oblastí, které mají vliv na navrhovaný produkt. V tomto případě jsou zpracovávány informace z oblasti dopravy, managementu dopravy, sociologie a počítačové estetiky. Aby bylo možné takové interdisciplinární propojení realizovat a pochopit vliv jednotlivých oblastí na proces designu produktu, bude zapotřebí navrhnout způsob rozdělení obecného procesu designu na základní složky a vazby.

Následující ontologická argumentace o designu povede ke třem obecným přístupům řešení designu, přičemž dva z nich budou uplatněny při řešení této práce; metodou abstrakce jsou identifikovány problémy v současné koncepci dopravního prostředku a pomocí systémové klasifikační analýzy bude rozložen vozový park (viz kapitola 3) do tříd, které umožní formulaci přínosu navrženého systému dopravy, potažmo vlastního návrhu dopravního prostředku.

5.1 Interpretace designu

„Enormní odpor k myšlence systematických procesů v navrhování přichází od lidí, kteří správně rozpoznávají důležitost intuice, ale dělají z ní fetiš, který znemožňuje pokládat racionální otázky.“

Christopher Alexander

Citát, z práce Christophera Alexandera „Notes on the synthesis of form“ [83], varuje, že navrhování pouhou intuicí neřeší vždy problémy designu ideálním způsobem. Ačkoli přidaná hodnota designu spočívá z velké části v estetickém zážitku, který může být otiskem osobnosti tvůrce, základem každého praktického řešení jsou racionální otázky, na které je často vhodné hledat odpověď pomocí exaktních nástrojů. Designér je především člověkem zodpovídajícím za harmonii mezi funkčními a formálními vlastnostmi návrhu určované konceptem (skicou, schématem, postupem), který sám často bývá synonymem pro návrh (výsledek činnosti designéra).

Jak uvádí Prats [84], hranicemi mezi konceptuálním a formálním přístupem se zabývala řada prací [85; 86; 87] a bylo zjištěno, že designér tráví mnoho času rozváděním jen menšího počtu zásadních (koncepčních) myšlenek. Tyto koncepty jsou jádrem širšího okruhu alternativ, který bývá nazýván designová rodina (design family) [84], v jejímž rámci jsou rozdíly mezi jednotlivými návrhovými alternativami už pouze formální. Kategorií designu, která se orientuje na otázky formy, je styling.

Role stylingu se odehrává buď ve chvíli, kdy je koncept již hotov, nebo v celém procesu jeho tvorby, ale v obou případech jde o přístup z vnějšku, jakkoli logika produktu je vystavěna zevnitř. Design jako zastřešující pojem by měl sledovat veškeré potřebné souvislosti, propojovat je do účelných řetězců a postupovat vždy od jádra problému. Styling, je-li kvalitně řešen, by měl vždy ctít filozofii, se kterou je

celý design jako koncepce vystavěn. I přes nutnost uvědomovat si technické jádro produktu, styling vždy pracuje pouze s povrchem. Tato vlastnost dává mnoho prostoru k formální, se smyslem a filozofií produktu nepropojené tvorbě, což je pravděpodobně důvodem, proč bývá negativně vnímán. Styling, podobně jako kustomizace nebo personalizace, je projevem druhotného zásahu k již „předhotovenému“ objektu, ale má svoji působnost na širší (cílovou) skupinu lidí.

Styling je nejsilněji zakořeněn v oblasti počítačem podporovaného procesu navrhování, kde se vžil pod pojmem „Computer Aided Styling“ (CAS) a vytváří spojnici mezi klasickými způsoby návrhu formálně-estetických hodnot produktu, jako je kresba a modelování v průmyslové plastelíně (clay). Kromě řady článků publikovaných na toto téma [88; 89; 90] vznikly dva na sebe navazující projekty, založené Evropskou komisí, zaměřené na estetické aspekty virtuální 3D geometrie (CAAD Computer Aided Aesthetic Design). První z nich s názvem „Formalizace, integrace a optimalizace stylistických pracovních postupů v reverzním inženýrství“ (FIORES) [91] měl za cíl vytvoření softwarových nástrojů, které by dosáhly požadovaného tvaru v podobě virtuálních ploch s estetickým charakterem. Plochy tvořené pomocí postupů známých z reverzního inženýrství je možné editovat s ohledem na dosažení požadované stylistické úrovně různými nástroji, například modifikováním křivek na hranici odlesk/stín (Shadow Lines Modification). Následující projekt (FIORES II) implementoval softwarový prototyp a zabýval se dalším vývojem nástrojů. Z projektů FIORES vzešly i publikace zpracovávající otázky stylingu:

„Když se díváme na stylistické vlastnosti, zacházíme pouze s vnějším povrchem a nezajímáme se, jestli za tím stojí nějaké technické funkční vlastnosti. Styling sice obvykle podporuje funkční aspekty a zevnějšek musí zapadnout do celkového obrazu produktu i jeho technické implementace, ale z principu znamená styling svobodu projevu a umožňuje dělat cokoliv.“

Gerd Podehl [92]

Sémantika designu (design semantics)

Teorie produktového jazyka pocházející z Akademie umění a designu v Offenbachu zastává názor, že **design není pouze nástrojem pro prezentaci technické inovace, ale může sám vytvářet inovativní hodnoty** v podobě symbolického vyjádření sociokulturních změn [93]. Základem pro takové tvrzení je originální přístup k chápání vztahu uživatele a produktu. Je zvykem chápat design produktu jako problémy formy a funkce. Teorie produktového jazyka se spíše než na produkt samotný zaměřuje na funkci jako globální vztah produktu k uživateli (viz Obr. 5.1) a tuto funkci teprve rozděluje na funkci praktickou, což je její nejčastější pojetí, a na smyslové funkce neboli produktový jazyk. Teprve pod smyslové funkce zařazuje formální estetickou funkci a funkce sémantické (významové). Formální funkce komunikují hmotu – geometrii a sémantické funkce zase význam.

Inovativní hodnoty, které může design produktu přinášet, pak vznikají právě v oblasti sémantických funkcí (vystihnutí sociálních a kulturních hodnot). Například funkcionalismus a mezinárodní styl vyměnil tradiční symboliku sedacího nábytku za

symboliku moderní průmyslové doby. Úspěch, který zaznamenaly například židle z ohýbaných trubek, nebyl přímým důsledkem technologického pokroku, ale důsledek hodnot, které ztělesňovaly [93].

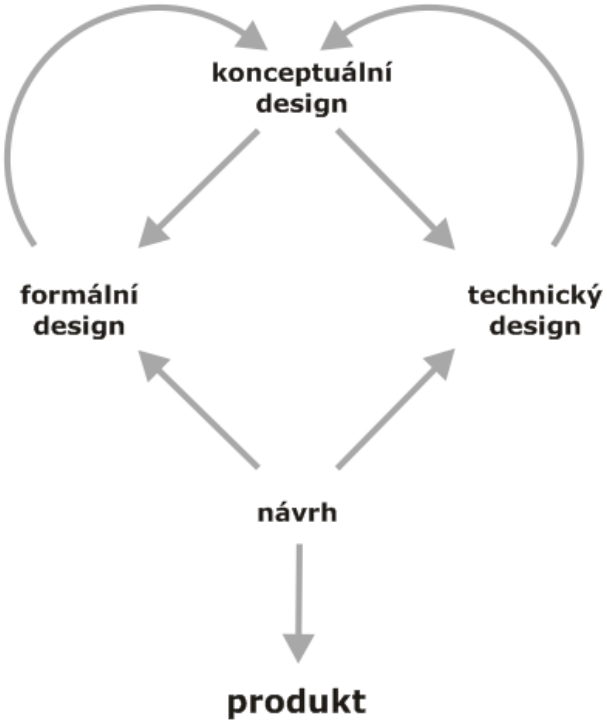
Obr. 5.1 Offenbašská teorie produktového jazyka

5.2 Návrh způsobu řešení (metodický rámec)

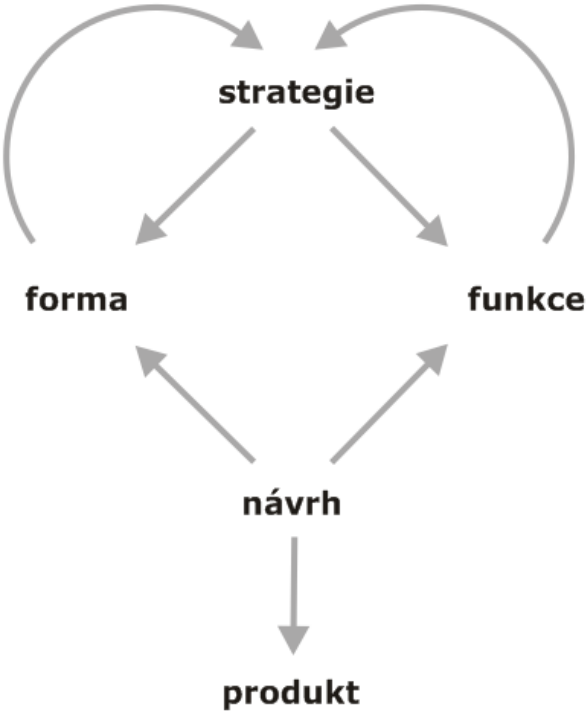
Metodika této dizertační práce se týká procesu designu a tedy vztahu produkt – designér. Smyslem metodického rámce je vytvoření podmínek pro implementaci nástrojů udržitelného designu pro invenční řešení.

Design je pojem se širokou působností na rozdílné druhy lidské činnosti. Je obtížné jej ostře vymezit nebo rozdělit, ale obecně lze říci, že design se týká následujících tvůrčích oblastí:

- **konceptuální design** – např. inovativní design či design management.
- **formalistický design** – např. styling či grafický design. Problémy v této oblasti jsou známé také jako problémy FORMY.
- **technický design** – např. invenční design, design engineering, konstrukce, technologie, projekční činnost či programování podmíněné znalostí programovacího jazyka. Problémy z této oblasti jsou známé také jako problémy FUNKCE.



Obr. 5.2 Tvůrčí oblasti v procesu designu produktu (metodický rámec)



Obr. 5.3 Proces designu produktu – podle výstupů jednotlivých tvůrčích oblastí

5.3 Zajištění udržitelnosti skrze design

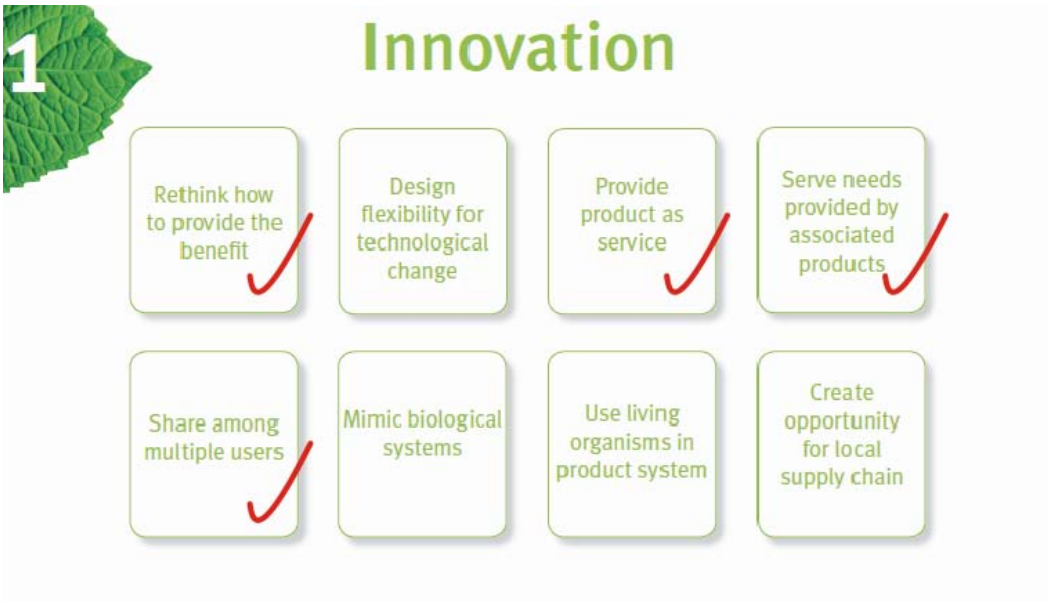
Uvedený metodický rámec objasňuje proces designu, který je sice obecným řešením, ale zároveň výchozím stavem pro implementaci nástrojů udržitelného designu, které spadají pod strategii a tedy koncepční design.

Vzhledem ke třem tvůrčím oblastem v designu (viz Obr. 5.2) je možné specifikovat roli udržitelného designu následovně:

- **V případě vize** (zaměření na konceptuální design) – důrazem na správnou volbu strategie pro plánované přínosy produktu
- **V případě produktů pro výrobu** (zaměření na technický design) – zohledňováním celého životního cyklu výrobku, používáním recyklovatelných a k přírodě šetrných materiálů
- **V případě vzhledu návrhu** (zaměření na formální design) – důrazem na vizuální projev, který přispívá ke správnému používání produktu jak ve smyslu praktické funkce, tak ve smyslu oslovení správné cílové skupiny

Zvolené strategie pro tuto dizertační práci:

1. Přehodnocení způsobu jak poskytnout benefit
2. Poskytování produktu jako služby
3. Nabídnutí více podobných produktů v rámci jednoho
4. Podporování uživatelského sdílení produktu



Obr. 5.4 Zvolené strategie pro dosažení inovativního produktu [81]

6 VÝSLEDKY DIZERTAČNÍ PRÁCE

S ohledem na metodický přístup uvedený v kapitole 5.2 bude řešení dizertační práce rozděleno na konceptuální, formálně-estetický a technický design.

6.1 Řešení konceptuálního designu (strategie)

Indikátory uvedené v kapitole 2 upozorňují na problémy plynoucí ze smíšeného provozu ve městech. Jako nejčastější řešení bývá uváděno vytvoření městských zón s omezením dopravy. Prezentované řešení rozvíjí tuto myšlenku tak, aby v každé zóně byl umožněn provoz určitého motorizovaného dopravního prostředku, který nenarušuje urbánní charakter příslušné zóny. Tím dojde k realizaci charakteristických typů dopravy – městských dopravních módů.

V postupu řešení bude nejdříve rozdělen městský prostor do zón a adekvátně k tomu budou rozděleny do kategorií i městské dopravní prostředky. Smyslem takového rozdělení je ukázat, že i současné dopravní prostředky je možné do těchto kategorií formálně zařadit, avšak bez funkčního dopadu (absence intermodality).

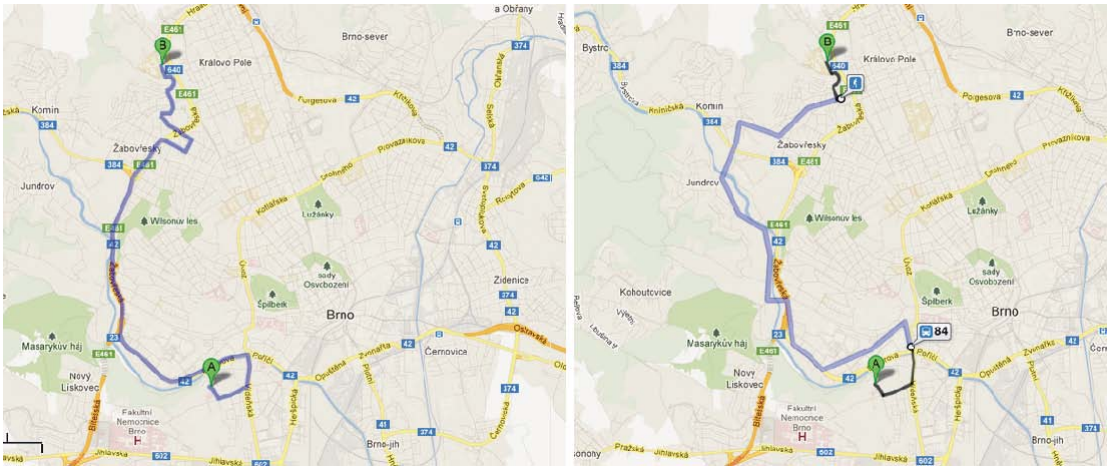
6.1.1 Rozdělení urbánního prostředí na zóny

Rozdělení zón vyplývá z vícejaderného modelu (Harris – Ullmanův model) sociálně prostorové struktury města [74], které se zároveň blíží představě nové urbanizace [14]. Město podle této představy obsahuje více center – rezidenčních oblastí, které odpovídají prvnímu typu městské zóny. Na pomezí těchto rezidenčních oblastí se nachází zóna druhého typu – obslužná zóna zahrnující účelovější a rychlejší dopravu. Poslední, třetí typ zóny, propojuje předchozí dvě a představuje nejrychlejší dopravní spojení (na úrovni dnešní hromadné dopravy). Zároveň jde o jedinou zónu, jejíž dopravní komunikace jsou ostře vymezeny vůči okolí (fyzicky – bezpečnostně, protihlukově), což je obdoba dnešních městských obchvatů.

1. zóna rezidenční
2. zóna obslužná
3. zóna základní

Příklad principu dopravy v reálném urbánním prostředí:

Na obrázku 6.1 jsou znázorněny dvě trasy v Brně, spojující adresy Technická 2 a Červený kopec 20. Varianta vlevo je nejrychlejší trasa automobilem a vpravo pomocí hromadné dopravy. Automobilem trvá cesta přibližně 12 – 25 minut v závislosti na dopravě a cesta pomocí hromadné dopravy jednou autobusovou linkou přibližně 45 minut. Největšími ztrátami jsou pěší přesuny k zastávkám (černá barva), které zaberou přibližně 25 minut. V případě startu i cíle je možné nahradit tyto úseky dalšími méně frekventovanými spoji, ale zpravidla je obtížné vyhnout se ztrátám času při čekání na spoj a doba cesty se příliš nezkrátí. Idea městských zón, popsaných výše, by byla na tento případ aplikována tak, že rezidenčními zónami by byly oblasti kolem cílových bodů v rozsahu pěší dostupnosti cca 10 minut od středu zóny k okraji. Druhou a třetí zónou by byly zbylé oblasti dle specifických potřeb.



Obr. 6.1 Příklad v reálném urbánním prostředí - Brno

6.1.2 Rozdělení vozového parku dle dopravních módů

S ohledem na závěry kapitoly 4.1.3 navrhuji následující klasifikaci městských dopravních prostředků dle dopravních módů a zón, které budou obsluhovat.

Elementární vozidla

Neboli osobní transportéry. Dopravní prostředky řešící tzv. „last mile problem“, tedy problém dojezdu přímo k cílovému místu, přičemž se předpokládá provoz především v zóně 1. Běžným dnešním dopravním prostředkem je například kolo, segway a podobně. Jde buď přímo o vlastnění a provozování malého dopravního prostředku, nebo používání sítě stanic výpůjčních dopravních prostředků, v případě kol tzv. Bike-Sharing (viz kapitola 3.1), který může být řešením pro intermodalitu mezi zónami 1 a 2.

Obr. 6.2 Příklady elementárních dopravních prostředků.
Z leva Honda UNI-CUB, Honda U3-X a Segway

Unimodální vozidla

Jsou vozidla určená pouze pro jeden dopravní mód, například dnešní automobily nebo tzv. POD cars, někdy také „paratranzit“. Příkladem je P.U.M.A. (viz kapitola 3.3), případně USV (ultra small vehicle) jako například Bit Car (viz kapitola 3.4).

Obr. 6.3 Příklady unimodálních dopravních prostředků.
Zleva koncept P.U.M.A., Bit Car

Bimodální vozidla

Taková vozidla, která v sobě zahrnují druhý dopravní mód, zpravidla tím, že převáží menší dopravní prostředek (např. z kategorie osobních transportérů).

Obr. 6.4 Příklady bimodálních dopravních prostředků
Nahoře zleva Honda EV-N a U3-X
Dole zleva GM Flextreme a BMW i8 Spyder

Transmodální vozidla

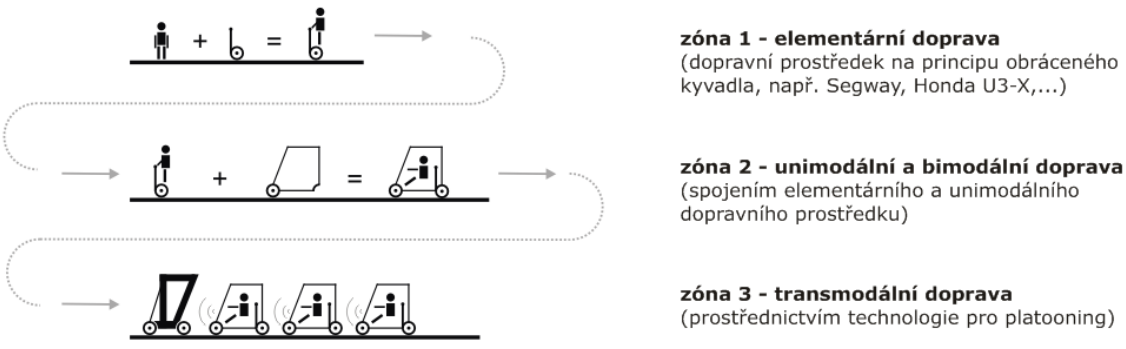
Vozidla nebo systémy fungující napříč městskými zónami a umožňující plynulý přechod mezi určitými dopravními módy. Mezi ně patří nadzemní dráhy, metra či hromadná doprava.

Obr. 6.5 Příklad transmodálního dopravního prostředku [94]
PRT na letišti v Heathrow, vize dle ultraprt.com

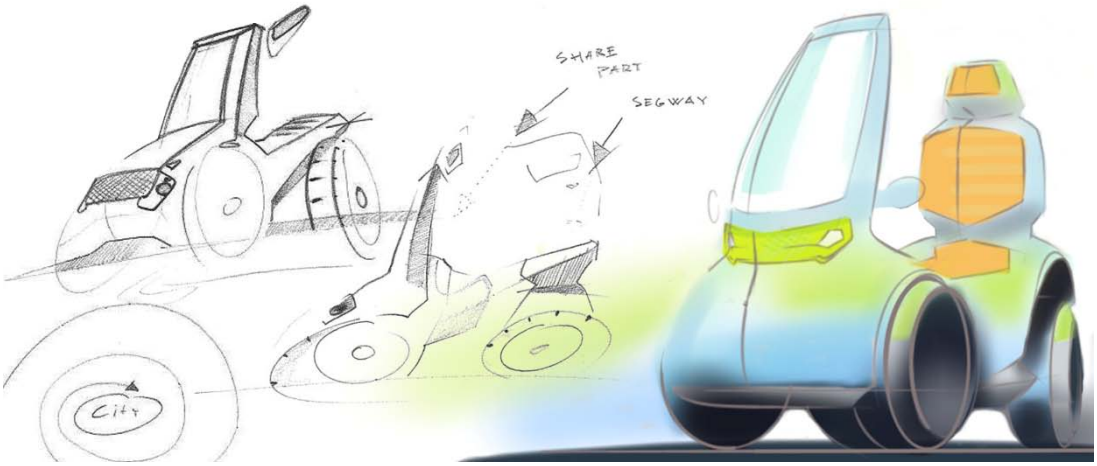
Společným jmenovatelem pro tyto kategorie je intermodalita a toto originální rozdělení urbánního prostředí a dopravních prostředků pro město je východiskem pro vlastní návrh konceptu dopravního prostředku.

6.1.3 Koncept rozkladu na element městské mobility

Návrh systému dopravy je založený na diverzitě dopravních prostředků a jejich rozdělení dle dopravních módů ve městě. Pointou vlastního řešení na úrovni konceptu je představa městské mobility realizované prostřednictvím dopravy umožňující intermodální vazby.



Obr. 6.6 Rozklad na element městské mobility



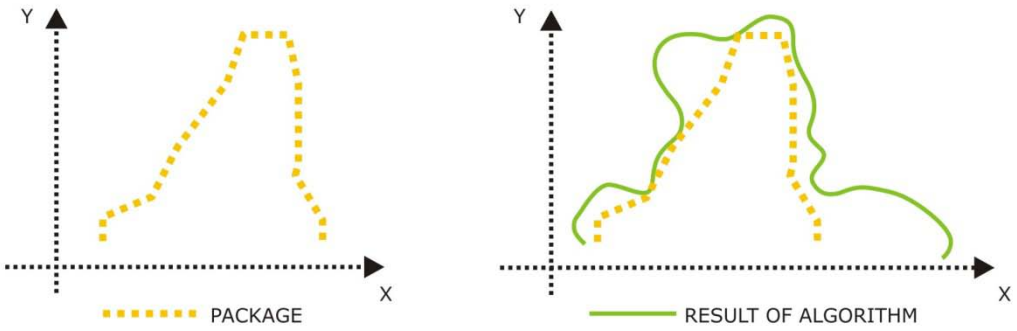
Obr. 6.7 Skici elementu městské mobility

6.2 Řešení formálně-estetického designu

Řešení prezentováná v této kapitole byla publikována, nebo přijata k publikování a jsou výsledkem spolupráce s uvedenými spoluautory.

6.2.1 Generátor siluet (realizace Čeněk Šandera)

Algoritmus, implementovaný v programovacím jazyce Python, zpracovává pomocí metody hlavních komponent (PCA) vektorově zadaná data, která nesou informaci o tvaru vzorových produktů. Abychom získali výsledek, který nejlépe odpovídá zadaným parametrům, je zapotřebí nalézt v mnohorozměrném prostoru hlavních komponent vhodné řešení odpovídající předepsaným kritériím. K tomuto účelu je použita optimalizační metaheuristika genetický algoritmus, která iteračními kroky založenými na umělé evoluci vybírá nejvhodnější prvky a po několika desítkách iterací dokonverguje k požadovanému řešení. Výsledky získané tímto algoritmem definují tvar nového automatického návrhu a ten se stává vstupní proměnnou pro návrh jeho bitmapové výplně (textury). [95]

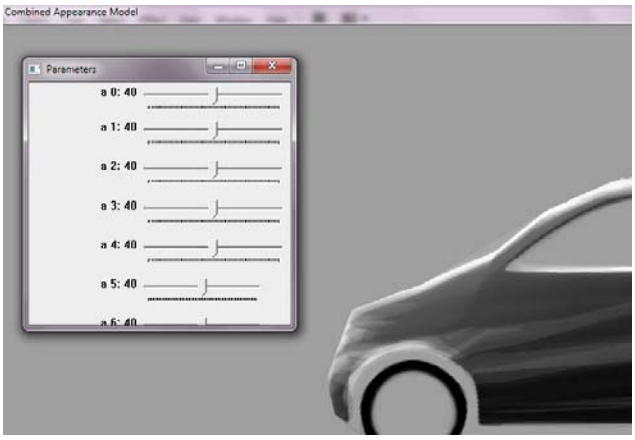


Obr. 6.8 Křivka vygenerovaná v bezrozměrném prostoru [95]

Obr. 6.9 Skica inspirovaná generovanou křivkou [95]

6.2.2 Generátor textury (realizace Jiří Král)

Pro návrh takové textury je použita statistická metoda z oblasti počítačového vidění známá jako Active Appearance Model (AAM) [96], která je upravena pro účely řešení tohoto projektu tak, aby přejímala tvarové výsledky z předchozího procesu a ovlivnila pouze bitmapovou informaci. Proces analýzy vstupních dat (trénovací bitmapy) je opět založen na metodě hlavních komponent (PCA), přičemž objektem analýzy jsou v tomto případě bitmapy (ručně kreslené skici) rozdělené triangulační sítí. Nová reprezentace textury v zadaném tvaru je generována buď náhodným nastavením hodnoty hlavních komponent, nebo jejich uvědomělou modifikací.



Obr. 6.10 Náhled na interface manipulativního generátoru textury (skici)

6.3 Řešení technického designu – realizace virtuálního modelu

Jako výsledek technického designu je zde prezentován virtuální návrh vytvořený v Rhinoceros 3D. Na obrázku 6.11 vidíme hrubou ergonomickou rozvahu a všechny stavy, ve kterých se vozidlo může nacházet. V tomto stavu byla podána žádost o zapsání průmyslového vzoru.

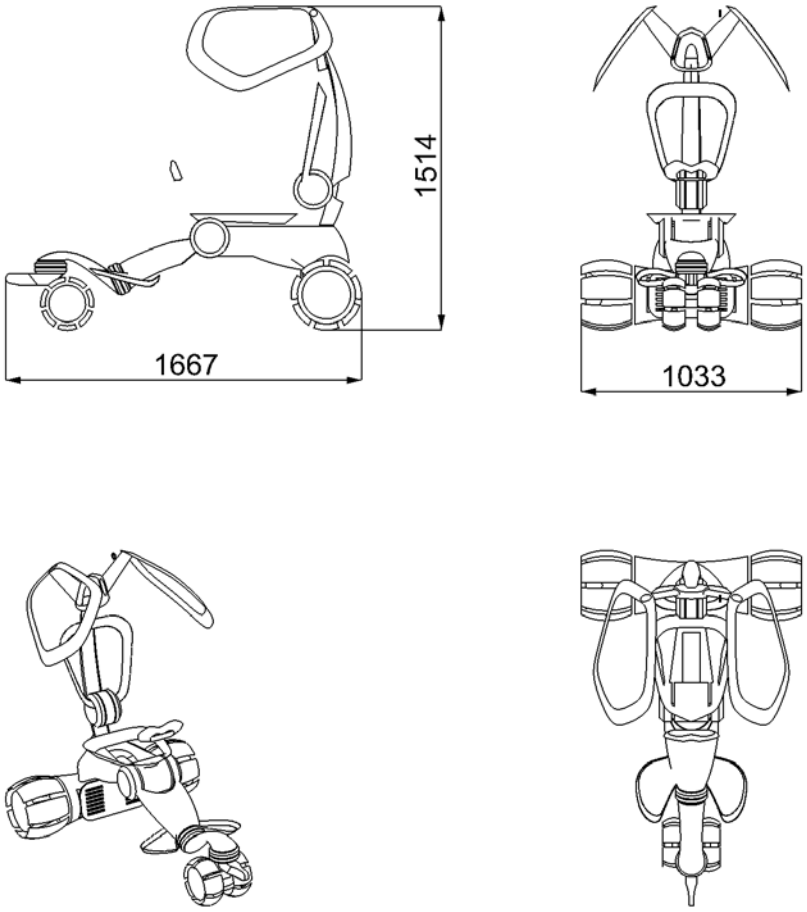
Návrh naplňuje hlavní cíl práce, který má být řešením pro dopravu napříč třemi definovanými zónami, která by byla realizovaná pouze jedním vozidlem.

Obr. 6.11 Návrh dopravního prostředku pro udržitelnou městskou mobilitu

Podrobný technický popis

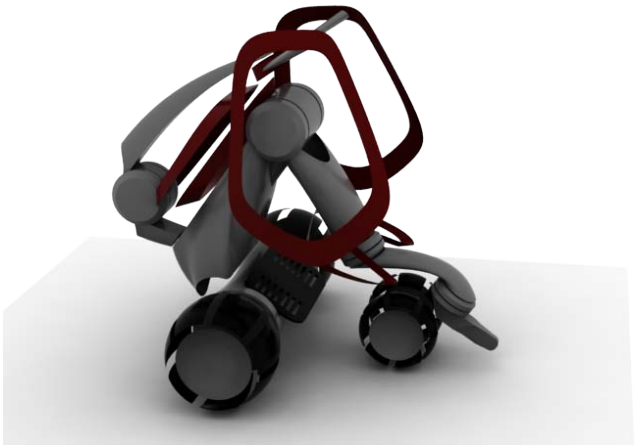
Nosná konstrukce dopravního prostředku je realizována jako ocelové rámy spojené kloubovými vazbami. Segmenty rámů, sedadla a clony chránící horní část těla pasažéra jsou z lehkých kompozitních materiálů. Pro průhledné výplně bude použit lexan, makrolon nebo jiné obdobné materiály. Pohon vozidla je elektrický, charakter pohybu a způsob ovládání se liší podle způsobu použití (viz níže).

Filozofie návrhu sleduje představu ohebné centrálně umístěné kostry, na které jsou zavěšeny segmenty (rámy s výplněmi), které mají různou funkci (sedadlo, opěradlo, střecha apod.). Cílem je dosáhnout maximálně přizpůsobivého víceúčelového produktu.



Obr. 6.12 Rozměry návrhu

Parkování: Vozidlo ve složeném stavu nepotřebuje stojan.



Obr. 6.13 Parkování

Dopravní mód pro pěší zóny: Princip pohybu jako na Segway. Gyroskopy detekují nerovnováhu způsobenou náklonem řidiče a uvádějí celek do rovnováhy zrychlováním nebo zpomalováním.

Obr. 6.14 Princip obráceného kyvadla (Segway); obsluha rezidenčních zón

Dopravní mód pro silniční komunikace: Vozidlo v plně rozloženém stavu je v rovnovážné poloze. Veškeré řízení probíhá bezdrátově ovladačem, který má řidič volně v rukou.
Pro jízdu na delší trasy mohou být jednotlivá vozidla spojena do vleku (mechanicky nebo virtuálně (platooning)), což je ideální pro delší rovné trasy typu městského obchvatu. V tomto případě se řidič stává pasažérem a nemusí se věnovat řízení. Pohyb může být rychlejší a každý s pasažérů má své soukromí.

Obr. 6.15 Rozložený trojkolový stav nahrazuje unimodální vozidla; obsluha 2. a 3. zóny

6.4 Finální podoba návrhu

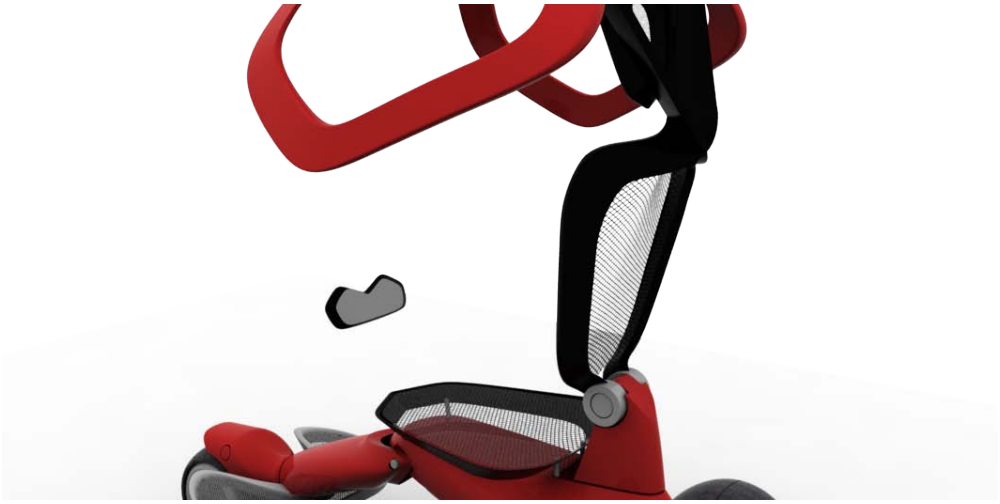
Během další práce na návrhu došlo k technickým zpřesněním, které ilustrují následující obrázky. Nejpodstatnější změna se týká shlukování vozidel, které je nyní pouze bezkontaktní, a také bylo přehodnoceno provedení páteřového sloupku, který je zastoupen konstrukcí sedla a tím vzniká menší odnímatelný zavazadlový prostor za zády cestujícího.

Obr. 6.16 Rozložený trojkolový stav

Obr. 6.17 Detail na kyvné upevnění k hnacímu tělesu

Obr. 6.18 Detail na přední dělené kolo

Obr. 6.19 Sedlo a zavazadlový prostor



Obr. 6.20 Po odejmutí zavazadlového prostoru

Obr. 6.21 Stav pro obsluhu rezidenčních a pěších zón

Obr. 6.22 Detail na výsuvná teleskopická madla

Obr. 6.23 Úsporné parkování

Obr. 6.24 Sumarizační pohled na všechny stavy finálního návrhu

7 ZÁVĚR

Tato práce představuje řešení dopravního prostředku, který se zakládá na předpokladech definovaných v projektu Smart Cities a ty rozšiřuje o představu diverzity formulované v dokumentu ERTRAC.

Tato práce dává do souvislosti pojmy udržitelnost, design a mobilita. Její řešení postupuje od obecných problémů udržitelné městské mobility přes pravidla pro udržitelný design až k základním otázkám teorie designu, které jsou nutné k pochopení a vysvětlení dílčích kroků, provedených během realizace vlastního návrhu.

Souhrn poznatků, výsledků a jejich význam pro obor:

Navržený systém vazeb uvnitř procesu designu umožňuje kategorizovat jednotlivé stěžejní vlivy na řešený úkol (design produktu) a to na tři klíčové aspekty – forma, funkce a strategie, které jsou pro obor fundamentální a polarizují metodický přístup v designérské praxi. K těmto klíčovým aspektům je potom možné přistupovat zvlášť dílčími metodami, tak jako v případě řešení této dizertační práce, kdy strategií byly principy udržitelného designu (zhodnocení společenských a environmentálních indikátorů), formálně – estetické otázky byly řešeny za pomoci automatizovaných metod návrhu a otázky techniky (praktické funkce) byly řešeny okrajově pomocí virtuálního 3D modelu.

Přínos výsledného řešení spočívá ve schopnosti intermodality, která dovoluje jedním vozidlem obsloužit většinu městských zón adekvátně k charakteru daných lokalit a jejich způsobu využití. Z pohledu městských mobilitních zón, jejichž vznik tato práce předpokládá, je navržený dopravní prostředek víceúčelový.

Konkrétní výsledky:

1. Pro návrh, který je výsledkem a cílem této práce, byla získána právní ochrana průmyslovým vzorem č. 35314 s názvem *„Vozidlo systému individuální městské mobility*“.
2. Publikovaný článek časopisu ze seznamu recenzovaných periodik Rady pro výzkum, vývoj a inovace.
3. Dva články do sborníku konference dle Thomson Reuters přijaté k publikaci.

7.1 Diskuze

Postup analýzy, započatý v 2. kapitole, směřoval ke zkoumání automobilu jako klíčového článku motorizované dopravy. Bylo zjištěno, že hlavním budoucím trendem v oblasti automobilové dopravy bude diverzifikace vozového parku na více typů vozidel, virtuální komunikace mezi vozidly a telematické řízení dopravy.

V analýze existujících řešení dopravních prostředků byly vytipovány perspektivní přístupy, jako je modularita, elektrický pohon a malá pohonná jednotka. Zároveň bylo zjištěno, že se vzrůstající vhodností k pohybu v centru města se zmenšuje kromě celkové velikosti vozidla zejména jeho půdorysný průmět a rostou

nároky na manévrovatelnost – agilitu vozidla. Charakter jízdy se celkově více podobá charakteru chůze (vzpřímená poloha).

Uvažujeme-li o městské mobilitě budoucnosti, odpovídající přibližně roku 2050, pracujeme především se značnou složitostí současné dopravy (viz kapitola 4.1), která bude dále růst [8]. Obecně známý postup řešení těchto problémů formou restrikcí vjezdu aut do center měst, vytváření pěších zón a podobně má za úkol chránit přirozený charakter města, pro které je prioritou svobodný pohyb chodců a otevřené prostory.

Ve smyslu předpovědí dalšího vývoje mobility ve městech, kde bude dále vznikat rozpor mezi svobodou pěšího pohybu a potřebou rychlé a efektivní dopravy, se zdá být jako jediné účinné řešení vyjít z pozitivních výsledků takových restrikcí a vytvářet důsledně městské zóny, chránící kvalitu života jejich obyvatel. Ze stejného důvodu je však zároveň nutné zachovat míru dopravní obslužnosti, která by ale měla být zajišťována dopravními prostředky vhodnými pro konkrétní městskou zónu. Jinými slovy, tranzitní doprava by měla být omezena na speciální případy a těžiště dopravní obslužnosti přesunuto na technická řešení přechodu mezi městskými zónami.

Omezování individuální automobilové dopravy (IAD) je poměrně častým celosvětovým jevem a způsobem, jakým se dá nejrychleji administrativně vyřešit negativní dopad přítomnosti automobilů v městském prostředí. Z dlouhodobého hlediska je však zřejmé, že dopravní prostředky pro městskou mobilitu se budou muset přizpůsobit novému prostředí a rychlost této změny závisí pouze na ekonomické síle společnosti a vůli zachovat nebo vytvořit novou kvalitu života.

Řešení zde prezentované rozvíjí myšlenku restrikcí IAD pozitivním směrem tak, aby urbánní prostor byl rozdělen do zón a v každé zóně byl umožněn provoz určitého městského dopravního módu, realizovaného prostřednictvím určitého typu motorizovaného dopravního prostředku.

Práce se týká tvůrčí činnosti ve smyslu odstavce (4) § 47 zákona č. 111/1998 SB a představuje nové, dosud neuveřejněné výsledky.

Uvedené výsledky odpovídají cílům práce, které byly splněny v plném rozsahu.

SEZNAMY

Seznam použitých zkratek a symbolů

AMM - Active Appearance Model
CAAD - Computer Aided Aesthetic Design
CAS - Computer Aided Styling
CDV - Centrum dopravního výzkumu
D4S - Design For Sustainability
ELTIS - European Local Transport Information Service'
EPOMM - European Platform on Mobility Management
ERTMS - European Rail Traffic Management System
ERTRAC - European Road Transport Research Advisory Council
FCD - Floating car data
GM - General Motors
GPS - Global Positioning System
IAD - Individuální automobilová doprava
ICARO - Increase of Car Occupancy
ICT - Information and communication technologies
IDSA - Industrial Designers Society of America
IEE - Inteligent Energy – Europe
iOS - iPhone Operation System
ITS - Intelligent Transportation System
LCA - Life Cycle Assessment
MIT - Massachusetts Institute of Technology
OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development
P+B - Park and Bike
PCA - Principal component analysis
P+R - Park and Ride
PRT - Personal Rapid Transit
P.U.M.A. - Personal Urban Mobility and Accessibility
QoL - Quality of Life
RIS - Routing Information Service
SARTRE - Safe Road Trains for the Environment
SESAR - Single European Sky ATM Research
SUMP - Sustainable urban mobility plans, plány udržitelné městské mobility
TTI - Traffic and Travel Information
USV - Ultra Small Vehicle
WCED - World Commission on Environment and Development

Seznam obrázků

Obr. 2.1 trend miniaturizace automobilů [41] 19
Obr. 3.1 Skateboardová platforma GM Autonomy 25
Obr. 3.2 Michelin Active Wheel[60] 25
Obr. 3.3 HOT Drive system 26
Obr. 3.4 P.U.M.A. GM & Segway [62] 26
Obr. 3.5 Bit Car [65] 27
Obr. 3.6 Soft City Car [41] 28
Obr. 3.7 MIT City Car [64] 29
Obr. 3.8 projekt Connect [67] 29
Obr. 3.9 ATNMBL – Autonomobile [40] 30
Obr. 3.10 skica dráhy pro Urbmobile MK-I [71] 31
Obr. 3.11 YEE dual-mode car [72] 32
Obr. 3.12 VW – Hover Car [73] 32
Obr. 4.1 Město bez aut, jen 35min cesty na kterékoli místo [76] 34
Obr. 4.2 Shlukování vozidel – platooning[78] 35
Obr. 4.3 Osm strategií ekodesignu[46; 12] 37
Obr. 5.1 Offenbašská teorie produktového jazyka 42
Obr. 5.2 Tvůrčí oblasti v procesu designu produktu (metodický rámec) 43
Obr. 5.3 Proces designu produktu – podle výstupů jednotlivých tvůrčích oblastí 43
Obr. 5.4 Zvolené strategie pro dosažení inovativního produktu [81] 44
Obr. 6.1 Příklad v reálném urbánním prostředí - Brno 46
Obr. 6.2 Příklady elementárních dopravních prostředků. 46
Z leva Honda UNI-CUB, Honda U3-X a Segway 46
Obr. 6.3 Příklady unimodálních dopravních prostředků. 47
Zleva koncept P.U.M.A., Bit Car 47
Obr. 6.4 Příklady bimodálních dopravních prostředků 47
Nahoře zleva Honda EV-N a U3-X 47
Dole zleva GM Flextreme a BMW i8 Spyder 47
Obr. 6.5 Příklad transmodálního dopravního prostředku [94] 48
PRT na letišti v Heathrow, vize dle ultraprt.com 48
Obr. 6.6 Rozklad na element městské mobility 48
Obr. 6.7 Skici elementu městské mobility 49
Obr. 6.8 Křivka vygenerovaná v bezrozměrném prostoru [95] 49

Obr. 6.9 Skica inspirovaná generovanou křivkou [95] 50
Obr. 6.10 Náhled na interface manipulativního generátoru textury (skici) 50
Obr. 6.11 Návrh dopravního prostředku pro udržitelnou městskou mobilitu 51
Obr. 6.12 Rozměry návrhu 52
Obr. 6.13 Parkování 52
Obr. 6.14 Princip obráceného kyvadla (Segway); obsluha rezidenčních zón 53
Obr. 6.15 Rozložený trojkolový stav nahrazuje unimodální vozidla; obsluha 2. a 3. zóny 53
Obr. 6.16 Rozložený trojkolový stav 54
Obr. 6.17 Detail na kyvné upevnění k hnacímu tělesu 54
Obr. 6.18 Detail na přední dělené kolo 55
Obr. 6.19 Sedlo a zavazadlový prostor 55
Obr. 6.20 Po odejmutí zavazadlového prostoru 55
Obr. 6.21 Stav pro obsluhu rezidenčních a pěších zón 56
Obr. 6.22 Detail na výsuvná teleskopická madla 56
Obr. 6.23 Úsporné parkování 57
Obr. 6.24 Sumarizační pohled na všechny stavy finálního návrhu 57

BIBLIOGRAFICKÉ ZDROJE

[1] MITCHELL, W.J., Ch.E. BORRONI-BIRD a L.D. BURNS. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Reinventing the Automobile: Personal Urban Mobility for the 21st Century. USA: MIT press, 2010. ISBN 978-0-262-01382-6.

[2] BRŮHOVÁ-FOLTÝNOVÁ, Hana. Doprava a společnost: Ekonomické aspekty udržitelné dopravy. Praha: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1610-0.

[3] *Americký národní program na redukci kongescí.* [Online] [Citace: 27. 7. 2012.] http://isddc.dot.gov/OLPFiles/OST/012988.pdf.

[4] *USA mobility report.* [Online] [Citace: 27. 7. 2012.] http://tti.tamu.edu/documents/mobility-report-2011.pdf.

[5] *Trendy vozidlových emisí.* [Online] [Citace: 27. 7. 2012.] http://www.internationaltransportforum.org/IntOrg/ecmt/environment/pdf/VehEmisse.pdf.

[6] *How clean are Europe cars.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.transportenvironment.org/sites/default/files/media/2011_09_car_company_co2_report_final.pdf.

[7] *Eumayors.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.eumayors.eu/.

[8] ERTRAC Road Transport Scenario 2030+: “Road to Implementation” [online]. European Road Transport Research Advisory Council, 2009[cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.ertrac.org/pictures/downloadmanager/1/5/ERTRAC_Scenario_2030.pdf.

[9] Bílá kniha: Plán jednotného evropského dopravního prostoru [online]. Brusel: Evropská komise, 2011[cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://register.consilium.europa.eu/pdf/cs/11/st08/st08333.cs11.pdf.

[10] VANČURA, M. Doprava a energie pro dopravu. In: POSPÍŠIL, Karel. Udržitelná doprava - šance pro budoucnost. Brno: CDV, 2008, s. 6. ISBN 978-80-86502-51-9.

[11] The Automobile Industry Pocket Guide 2011. Brusel: ACEA european automobile manufacturers association, 2011. Dostupné z: www.acea.be.

[12] Statistická ročenka životního prostředí ČR 2010. CENIA česká informační agentura životního prostředí, Český statistický úřad, Ministerstvo životního prostředí, 2010.

[13] Hanlon. [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.gizmag.com/dual-mode-transport/22284/.

[14] SCHMEIDLER, Karel. Trendy rozvoje individuální automobilové dopravy v ČR. Urbanizmus a územní rozvoj. 2005, roč. 8, č. 5, s. 15-21. Dostupné z: http://www.uur.cz/images/publikace/uur/2005/2005-05/04_trendy.pdf.

[15] J. WEINERT et al., The future of electric two-wheelers and electric vehicles in China, sborník Energy Policy 36 (2008), strany 2544–2555.

[16] *A. D. Little.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.adlittle.com/travel-press-releases.html?&no_cache=1&view=87.

[17] ČT. [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.ceskatelevize.cz/ct24/regiony/168734-praze-chybi-vize-dopravniho-rozvoje/.

[18] STRATEGIE PRO BRNO [online]. Statutární město Brno, Kancelář primátora města Brna – Kancelář strategie města, 2007[cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.brno.cz/fileadmin/user_upload/sprava_mesta/Strategie_pro_Brno/kompletni_strategie2009.pdf.

[19] *Struktura a systém řízení národního programu orientovaného výzkumu a vývoje.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.vyzkum.cz/Priloha.aspx?idpriloha=5454.

[20] Centrum dopravního výzkumu (CDV) [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: www.cdv.cz.

[21] PLÍŠKOVÁ, R. Management mobility a jeho vliv na život ve městech. In: POSPÍŠIL, Karel. Udržitelná doprava - šance pro budoucnost. Brno: CDV, 2008, s. 4. ISBN 978-80-86502-51-9.

[22] Motor vehicles by country. NationMaster [online]. 2005 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.nationmaster.com/graph/tra_mot_veh-transportation-motor-vehicles.

[23] *e-bikes in China.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.bloomberg.com/news/2011-12-12/china-s-150-million-electric-bicycles-bolstering-lead-demand-commodities.html.

[24] *e-bikes in 2015.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.businessweek.com/news/2011-12-22/china-s-150-million-electric-bikes-bolstering-lead-commodities.html.

[25] *The Economist.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.economist.com/node/16909167?story_id=16909167.

[26] RODRIGUE, Jean-Paul. Evolution of the Spatial Structure of a City. THE GEOGRAPHY OF TRANSPORT SYSTEMS [online]. 2012, č. 1 [cit. 2012-06-28]. Dostupné z: http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch6en/conc6en/evolcore.html.

[27] VOŽENÍLEK V., STRAKOŠ V. et al.(2009): City logistics : dopravní problémy města a logistika . Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 192s.978-80-244-2317-3.

[28] HNILIČKA, P. Sídelní kaše: Otázky k suburbánní výstavbě kolonií rodinných domů. Suburbanizace.cz [online]. 2005, č. 1 [cit. 2012-06-28]. Dostupné z: http://www.suburbanizace.cz/odborne_sidelni_kase_hnilicka.htm.

[29] SÝKORA, Luděk. ÚSTAV PRO EKOPOLITIKU O.P.S. Suburbanizace a její sociální, ekonomické a ekologické důsledky. Praha, 2002, 191 s. Dostupné z: https://web.natur.cuni.cz/~sykora/pdf/Sykora_2002_Suburbanizace%20a%20jej i%20dusledky_In_Sykora_Suburbanizace.pdf.

[30] *Design for Sustainability - The Hannover Principles.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.mcdonough.com/principles.pdf.

[31] *Evropské město - Trvale udržitelná přeprava ve městech.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.evropskemesto.cz/cms/index.php?option=com_content&task=view &id=501.

[32] *Antonín Tym.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0 CG8QFjAH&url=http://iss.fsv.cuni.cz/ISS-50-version1-080319_tym_final.ppt&ei=z1HOT_PNBYKF4gSjhIy2DA&usg=AFQjCNGgd1 srSt6PqpdfQCYIfjcm4vfh7w&sig2=J9nGTAIb9k-03B0-OovuCQ.

[33] KELLERMAN, Aharon. Personal mobilities. Oxon: Routledge, 2006. ISBN 041-53-915-98.

[34] CIVITAS: Cleaner and Better Transport in Cities [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.civitas-initiative.org/index.php?id=69.

[35] ELTIS - The urban mobility portal [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.eltis.org/index.php?ID1=4&id=31.

[36] Sustainable urban mobility plans (SUMP) [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: http://www.mobilityplans.eu/.

[37] Guidlines: Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan. (part of Deliverable 2.2) [online]. pracovní dokument. 2011[cit. 2012-05-18]. Dostupné z: http://mobilityplans.eu/docs/SUMP_guidelines_web0.pdf.

[38] *EPOMM.* European platform on mobility management [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: http://www.epomm.eu/index.php.

[39] RADANNE, Pierre a Isabelle DURANT. A Sustainable Future for Transport [Now!] [online]. 5. vyd. 2011[cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://gef.eu/uploads/media/A_Sustainable_Futute_for_Transport__Now__.pdf.

[40] *Simonian.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.mikeandmaaike.com/#p_mandm.

[41] JOACHIM, Mitchell Whitney. Ecotransology - Integrated Design for Urban Mobility. Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology, 2006.

[42] LARK, William Jr. City-Car: Optimizing vehicle and urban efficiencies through a shared adaptive platform. Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology, 2003.

[43] *Sustainable Design Principles.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://engineering.dartmouth.edu/~cushman/courses/engs44/DesignPrinciples.pdf.

[44] *Design pro udržitelný rozvoj.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.portal-inovace.cz/cz/udrzitelna-spotreba-a-vyroba/informacni-centrum-usv/usv-a-jeho-nastroje/design-pro-udrzitelny-rozvoj/.

[45] *Manuál udržitelné spotřeby a výroby.* [Online] http://www.cenia.cz/__C12572160037AA0F.nsf/$pid/CPRJ7JKEX9N6/$FILE/Manual-USV-web.pdf.

[46] *Design for Sustainability.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.d4s-de.org/manual/d4stotalmanual.pdf.

[47] *Okala Strategy Wheel.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/blog/okala-strategy-wheel-free-download-inventor-app-store.

[48] *10 Principles of Sustainable, Cost-Effective Design.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.ien.com/article/10-principles-sustainable/155162.

[49] *Sustainable Design Guide.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.solidworks.com/sustainability/sustainable-design-guide.htm.

[50] VONKA, J., DRDLA, P., BÍNA, L., ŠIROKÝ, J. Osobní doprava. 1. vydání, Pardubice: UPCE, 2001, 170s., ISBN 80–7194–320–7.

[51] NOOR, A.K. Training for the next wave. Mechanical Engineering. 2012, č. 3.

[52] ŠTOHANZL, M. a J. PROKOPEC. Car2X a Car2Car komunikace. Elektrorevue. 2012, č. 1. ISSN 1213-1539.

[53] Door-to-Door Seamless Mobility & Public Transportation Management: Czech ITS Forum. Brusel, 2011, 5 s. Dostupné z: http://www.telematika.cz/download/doc/itsf_11_D2D_Mobility_PTM_Conclusions_final.pdf.

[54] *Car sharing.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://dynamicridesharing.org/resources/Chan%20and%20Shaheen%20%282011%29%20Ridesharing%20in%20North%20America.PDF.

[55] *SoBi - sdílení kol pomocí chytrého telefonu.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://reporti.net/inspiration/sobi-sdileni-kol-pomoci-chytreho-telefonu.

[56] *Park and Bike in Amsterdam.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.eltis.org/index.php?id=13&study_id=1350.

[57] Segway. SILICON SENSING. Silicon Sensing: everything in motion [online]. 2010 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.siliconsensing.com/segway.

[58] *Solowheel: self-balancing last miletransport for the upstanding commuter.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.gizmag.com/solowheel-gyro-stabilized-electric-unicycle/17900/.

[59] *General Motors - Autonomy.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.adrianchernoff.com/pages/AUTOnomy.html.

[60] *Michelin Active Wheel.* [Online] [Citace: 30. 7. 2012.] http://images.thecarconnection.com/med/michelin-active-wheel_100189705_m.jpg.

[61] *Honda U3-X.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://world.honda.com/news/2009/c090924New-Personal-Mobility-Device/.

[62] *Autopia.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.wired.com/autopia/2009/04/gm-and-segway-b/.

[63] *Honda Uni-Cub.* [Online] [Citace: 30. 7. 2012.] http://world.honda.com/UNI-CUB/introduction/index.html.

[64] *Smart Cities.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://smartcities.media.mit.edu/.

[65] VAIRANI, Franco. Bit Car - Concept for stackable city car. [Online] [Citace: 4. květen 2010.] http://web.mit.edu/francov/www/citycar/.

[66] Skládačka Hiriko: Elektrovůz do města. Techmagazín. 2012, roč. 3, č. 3, s. 1. ISSN 1804-5413..

[67] *Michal Vlček.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://vlcekmichalportfolio.blogspot.cz/.

[68] *Autonomobile.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.hybrid.cz/tagy/autonomobile.

[69] *Truth about cars.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.thetruthaboutcars.com/2009/07/google-phone-designers-present-the-autonomobile/.

[70] *WEINBERG, M. I. The Urbmobile: A Dual-Mode Vehicle System Design Concept. SAE Technical Paper. 68. DOI: 10.4271/680397.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://papers.sae.org/680397/.

[71] *WALLER, Patricia. Mushrooming Technology new directions in highway safety. 4. vyd. North Carolina: University of North Carolina Highway Safety Research Center, 1971.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.hsrc.unc.edu/research_library/PDFs/NC%20symposium%20on%20highway%2.

[72] *YEE Dual-Mode Car.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.tomsguide.com/us/yee-flying-dual-mode-car,news-6923.html.

[73] *Volkswagen´s Hover Car.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.gizmag.com/vw-crowdsources-its-way-to-a-hover-car/22439/.

[74] *ČERBA, Otakar. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, Fakulta aplikovaných věd, oddělení geomatiky. Geografie města. 2012.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://gis.zcu.cz/studium/dbg2/Materialy/html/ch06s02.html.

[75] *Nový urbanismus.* [Online] [Citace: 30. 7. 2012.] http://www.newurbanism.org/.

[76] *Crawford.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://carfree.com/topology.html.

[77] *See traffic.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.ce-traffic.cz/.

[78] SARTRE: Safe Road Trains for the Environment [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.sartre-project.eu/en/Sidor/default.aspx.

[79] *Challenges of Platooning on Public Motorways.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.sartre-project.eu/en/publications/Documents/ITS%20WC%20challenges%20of%20platooning%20concept%20and%20modelling%2010%20b.pdf.

[80] *Experimentation with a vehicle platoon control system.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?reload=true&tp=&arnumber=1623722&url=http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10807/34086/01623722.pdf?arnumber=1623722.

[81] *Okala Ecodesign Strategy App.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.idsa.org/2012-okala-ecodesign-strategy-app.

[82] *Okala Ecodesign Guide.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.idsa.org/okala-ecodesign-guide.

[83] ALEXANDER, Christopher. (1964) Notes on the Synthesis of Form, Cambridge (Mass.): Harvard University Press, 216 pages, ISBN 0-674-62751-2.

[84] *PRATS, Miguel. THE OPEN UNIVERSITY DEPARTMENT OF DESIGN AND INNOVATION. Shape Exploration in Product Design: Assisting Transformation in Pictorial Representations. 2007, 226 s.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://design.open.ac.uk/research/documents.

[85] CROSS, N. Engineering Design Methods: Strategies for Product Design, 4. vydání, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, 2008. ISBN: 978 0 470 51926 4.

[86] GOEL, V. Sketches of Thought,The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1995, 279 s., ISBN 0-262-07163-0.

[87] GOLDSCHMIDT, G. On visual design thinking: the vis kids of architecture. Design Studies, 15(2), 1994, s. 158-174.

[88] KARA, L.B., D'ERAMO, Ch.M., SHIMADA, K. Pen-based Styling Design of 3D Geometry Using Concept Sketches and Template Models, 2006, s. 149-160, ACM 1-59593-358-1/06/0006.

[89] LIN, M.C.; YAN, I.H. Development of a computer-assisted procedure for car style design, IJVD Vol. 35, 2004, s. 289-306, ISSN: 0143-3369.

[90] LIN-LIN, Ch., HSIEN-CHANG, K., WEI-KEN, H. Effects of design features on automobile styling perceptions, IASDR'07 - International Association of Societies of Design Research 2007, Proceedings, Hong Kong, 16 s.

[91] *Evropské projekty Fiores.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.fiores.com/.

[92] *PODEHL, Gerd. Terms and Measures for Styling Properties. In: Proceedings of the 7th International Design Conference. Dubrovnik: Croatia, 2002, s. 879-886.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.fiores.com/FIORES2/publication/TermsAndMeasuresForStylingProperties_english.p.

[93] *STEFFEN, Dagmar. DEPARTMENT OF ART AND DESIGN HISTORY, Bergische Universität Wuppertal, Germany. Design semantics of innovation. 2007, 7 s.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www2.uiah.fi/sefun/DSIU_papers/DSIU_Steffen%20_%20Design%20Semantics%20of%20Innovation.pdf .

[94] *PRT.* [Online] [Citace: 30. 7. 2012.] http://www.ultraprt.com/prt/implementation/costs-summary/.

[95] ŠKAROUPKA, David a Čeněk ŠANDERA. Automated design of vehicle silhouette using genetic algorithms and statistical analysis. MECCA: Journal of Middle European Construction and Design of Cars. 2011, č. 3, s. 7. ISSN 1214-0821. DOI: 10.2478/v10138-011-0.

[96] COOTES, T.F., et.al. Active appearance models. IEEE Transactions: Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2001, č. 6, 681 - 685. ISSN 0162-8828. DOI: 10.1109/34.927467.

[97] *GM´s EN-V Concept.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.gizmag.com/gm-en-v-concept-vehicle/14617/.

[98] *Mike Hanlon.* [Online] [Citace: 28. 7. 2012.] http://www.gizmag.com/author/mike-hanlon/.

DALŠÍ ZDROJE

CEBIT 2012: Pohled do budoucnosti. *Techmagazín*. 2012, roč. 3, č. 4, s. 1. ISSN 1804-5413.

Sdružení automobilového průmyslu: *AIA - Automotive Industry Association of the CR* [online]. 2002 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.autosap.cz

A Vision for Integrated Road Transport Research [online]. Brusel: EARPA - European Automotive Research Partners Association, 2010[cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.earpa.eu/ENGINE/FILES/EARPA/WEBSITE/UPLOAD/FILE/2010/earpa_position_paper_2010.pdf

Divize statistiky - Organizace spojených národů [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://unstats.un.org/unsd/default.htm

Technologická platforma - Vozidla pro udržitelnou mobilitu [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.tp-vum.cz/

JodiOil: *Joint Organisations Data Initiative* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.jodidata.org/database/a-global-overview.aspx

Automobilová evoluce nebo revoluce?. *Techmagazín*. 2012, roč. 3, č. 5, s. 1. ISSN 1804-5413.

Intelligent Transport Systems for Urban Areas. *European Commission* [online]. 2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/transport/its/road/action_plan/its_for_urban_areas_en.htm

Country Profiles - CZECH REPUBLIC. *ACEA* [online]. 2007 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.acea.be/index.php/country_profiles/detail/czech_republic#text

Strategická výzkumná agenda „Vozidla pro udržitelnou mobilitu“. 2011, 174 s. Dostupné z: http://www.tp-vum.cz/page4/page4.php

AGARWAL, M. a J. CAGAN. A blend of different tastes: the language of coffeemakers. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 1998, č. 25, 205 - 226.

GIANNINI, Franca, Marina MONTI a Gerd PODEHL. Aesthetic-driven tools for industrial design. *Journal of Engineering Design*. 2006, č. 3, 193–215.

GIPS, J. a G. STINY. An investigation of algorithmic aesthetics. *Leonardo*. 1975, č. 3, s. 213-220.

HOENIG, Florian. JOHANNES KEPLER UNIVERSITAET,. *Defining Computational Aesthetics*. Linz, 2005, 6 s. Dostupné z: http://www.cg.tuwien.ac.at/courses/CA/material/papers/[Hoenig2005]%20On%20the%20Origins%20of%20the%20Term%20Computational%20Aesthetics.pdf

HUANG, Jingyuan, et.al. DAVID R. CHERITON SCHOOL OF COMPUTER SCIENCE UNIVERSITY OF WATERLOO. *An Evaluation of Shape/Split Grammars for Architecture*. Canada, 2009, 37 s. Dostupné z: http://www.cs.uwaterloo.ca/research/tr/2009/CS-2009-23A.pdf

CHIN, Ryan. MIT - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. *Product Grammar*: *Constructing and Mapping Solution spaces*. Massachusetts, 2004, 78 s.

JOWERS, Iestyn. THE OPEN UNIVERSITY DEPARTMENT OF DESIGN AND INNOVATION. *Computation with Curved Shapes: Towards Freeform Shape Generation in Design*. 2006, 190 s. Dostupné z: http://design.open.ac.uk/research/documents/iestynsthesis.pdf

KUTÁČEK, S. *Možnosti alternativ k individuální automobilové dopravě*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, Ekonomicko-správní fakulta, Katedra veřejné ekonomie, 2003. ISBN 80-210-3305-3.

LIM, Sungwoo, et.al. Shape Exploration in Design: Formalising and Supporting a Transformational Process. *International Journal of Architectural Computing*. 2008, č. 4, s. 415-433. DOI: 10.1260/147807708787523303. Dostupné z: https://pure.strath.ac.uk/portal/files/379566/strathprints013632

ORSBORN, Seth, Jonathan CAGAN a Peter BOATWRIGHT. Automating the Creation of Shape Grammar Rules. In: *3rd International Conference on Design Computing and Cognition*. Atlanta, USA: Georgia Institute of Technology, 2008, s. 3-22.

PÍPA, M., M. HÁJEK a M. ŠČERBA. Dopravně telematické aplikace. In: POSPÍŠIL, Karel. *Udržitelná doprava - šance pro budoucnost*. Brno: CDV, 2008, s. 3. ISBN 978-80-86502-51-9.

POSPÍŠIL, Karel. *Udržitelná doprava - šance pro budoucnost*. Brno: CDV, 2008. ISBN 978-80-86502-51-9.

PRATS, M. a C. EARL. Exploration through drawings in the conceptual stage of product design. In: *Design Computing and Cognition*. Eindhoven: Springer, 2006, s. 415-433. ISBN 1402051301.

PRATS, Miguel, Sungwoo LIM, Iestyn JOWERS, Steve W. GARNER a Scott CHASE. Transforming shape in design: observations from studies of sketching. *Design Studies*. 2009, roč. 5, č. 30, s. 503-520. DOI: 10.1016/j.destud.2009.04.002.

RUSEV, Zdravko. *Infrastructure of city public transport, social and psychological aspects*. 1. vyd. Praha: Euroarch, 2005. ISBN 80-903478.

STEFFEN, Dagmar. DEPARTMENT OF ART AND DESIGN HISTORY, Bergische Universität Wuppertal, Germany. *Design semantics of innovation*. 2007, 7 s. Dostupné z: http://www2.uiah.fi/sefun/DSIU_papers/DSIU_Steffen%20_%20Design%20Semantics%20of%20Innovation.pdf

STEPHAN, Craig.H. FORD RESEARCH AND ADVANCED ENGINEERING. *PRISM*: *A Program for Individual Sustainable Mobility*. Ann Arbor, MI, 2003, 8 s. Dostupné z: http://www.ceeti.org/articles/PRISMGPCPaper.pdf

STINY, George a James GIPS. Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture. In: FREIMAN, C.V. *Information Processing 71*. Amsterdam: North-Holland, 1972, 1460–1465.

VLASTNÍ PUBLIKACE K DANÉ PROBLEMATICE

1. ŠKAROUPKA, David a Čeněk ŠANDERA. Automated design of vehicle silhouette using genetic algorithms and statistical analysis. MECCA: Journal of Middle European Construction and Design of Cars. 2011, č. 3, s. 7. ISSN 1214-0821. DOI: 10.2478/v10138-011-0.

2. ŠANDERA, Č.; ŠKAROUPKA, D. Heuristic statistical generation of graphical curves. In Mendel 2012, Mendel Journal series. 2012. p. 494 - 499. ISBN 978-80-214-4540-6, ISSN 1803-3814.

3. ŠKAROUPKA, D.; ŠANDERA, Č.; SEDLÁČKOVÁ, V.; KRÁL, J. Developing of the manipulative sketch generator for the product design. In 53. Mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů. Brno. 2012. (6 p.). ISBN 978-80-214-4533-8.

DALŠÍ VLASTNÍ PUBLIKACE

1. ČOUPEK, P.; ŠKAROUPKA, D.; PÁLKOVÁ, J.; KONVIČNÝ, J., KREJČIŘÍK , M., RADOŠ, J. Experimental Mobile Robot with Hybrid Undercarriage. In Mechatronics. p. 405 - 410. ISBN 978-3-642-23243-5.

2. SYLLA, C., BRANCO, P., COUTINHO, C., COQUET, M. E., ŠKAROUPKA D. TOK - a Tangible Interface for Storytelling. In HUMAN-COMPUTER INTERACTION. Vancouver, ACM New York, NY, USA 2011. 2011. p. 1363 - 1367. ISBN 978-1-4503-0268-5, ISSN 0737-0024.

SEZNAM PŘÍLOH

1. ŠKAROUPKA, David a Čeněk ŠANDERA. Automated design of vehicle silhouette using genetic algorithms and statistical analysis. MECCA: Journal of Middle European Construction and Design of Cars. 2011, č. 3, s. 7. ISSN 1214-0821. DOI: 10.2478/v10138-011-0.

2. ŠANDERA, Č.; ŠKAROUPKA, D. Heuristic statistical generation of graphical curves. In Mendel 2012, Mendel Journal series. 2012. p. 494 - 499. ISBN 978-80-214-4540-6, ISSN 1803-3814.

3. ŠKAROUPKA, D.; ŠANDERA, Č.; SEDLÁČKOVÁ, V.; KRÁL, J. Developing of the manipulative sketch generator for the product design. In 53. Mezinárodní konference kateder částí a mechanismů strojů. Brno. 2012. (6 p.). ISBN 978-80-214-4533-8.

Automated design of vehicle silhouettes using genetic algorithms and statistical analysis

David Škaroupka
Institute of Machine Design
Brno University of Technology
yskaro03@stud.fme.vutbr.cz

Čeněk Šandera
Institute of Mathematics
Brno University of Technology
ysande01@stud.fme.vutbr.cz

Shrnutí
Tento článek popisuje metodu automatického návrhu siluety vozu. V průběhu historie vzniklo mnoho automobilů jejichž rysy jsou do značné míry podobné. Tyto rysy (siluety) můžeme extrahovat pomocí statistické metody analýzy hlavních komponent a použít je pro návrh nové siluety, která je dále optimalizována pomocí genetických algoritmů. Proces optimalizace zohledňuje zadané fyzikální parametry jako je objem prostoru pro motor, zavazadla a pasažéry. Výsledek produkovaný algoritmem pak slouží jako inspirace pro člověka-designéra a může být zobecněn na vybraný typ produktu.

Klíčová slova:
návrh automobilů, styling automobilů, produktový design, styling, PCA (analýza hlavních komponent), genetické algoritmy, vývoj a návrh produktu

Abstract
This paper describes a method for the automatic design of vehicle silhouettes. Over the years many different vehicles have been created, but most of them share similar features. We can extract these features through statistical analysis (principal component analysis) and use them in creating the shape of a vehicle's silhouette. To produce the new original silhouettes we utilize an optimization method (a genetic algorithm) which fits the new silhouette to the prescribed physical conditions, e.g. space for the engine, space for the passengers etc. This algorithm serves as a source of inspiration for human designers and can be generalized to produce many kinds of products.

Keywords
vehicle design, vehicle styling, product design, styling, PCA (principal component analysis), genetic algorithms, Design and Product Development

1. Introduction and problem statement:

This paper focuses on the use of computational mathematics to create a valuable contribution to vehicle design and styling. The strong design potential of the computer was considered with interest in the 60s (Alexander, 1964). Alexander observes that although many design tasks have a lot of variables (product

requirements), there is only one ideal solution. The quantity of the variables (product requirements) is a problem that a human designer overcomes through personal experience and habits. Of course, it is not feasible to check all the possibilities, and this is why the best solution will never be found. Therefore the author suggests using a computer in a specific way. It is clear that the role of the computer is important, and this was true even in 60s. It is not a question of whether to use a computer or not. The point of Alexander's ideas rests in the question of what to use it for. He noted that there are some common tasks that a computer is ideal at dealing with, but nobody uses it.

Problems like these exist in computational aesthetics, and this topic still gives rise to animated discussions about aesthetics and its possible computability. In the 70s Stiny and Gips (Stiny et al., 1972) brought Shape Grammars into the discussion. They used a logical structure of rules to define how new artwork, such as a painting or sculpture will look. Stiny and Gips have many followers. Seth Orsborn et al. are known in the field of vehicle design and styling. Firstly they defined how principal component analysis (PCA) can be used for evaluating product shapes and the relationships between them (Orsborn et al., 2008, *Identifying Product Shape Relationships Using Principal Component Analysis*). Later they employed the shape grammars to build orthogonal views of vehicles (Orsborn et al., 2008, *Automating the Creation of Shape Grammar Rules*) and they also developed a method for quantifying the customer's aesthetic form preference (Orsborn et al., 2009). The computer as a tool for designers can be used in the sense of Computer Aided Styling (CAS), for example 3D applications in combination with marketing research tools (Lin-Lin et al., 2007), or enhancing 3D modeling using tools for extracting curves from sketches (Kara et al., 2006) (Lin et al., 2004). Thus the computer can contribute to creating an idea or new design.
This paper provides a contribution to the realization of the idea. Every new product has many predecessors and the designer makes choices as to which features of the predecessors will influence his new product. It is not possible for the human designer to extract all these features in an exact way, even if the number of the chosen samples (inspirations) is significantly reduced. Our **main goal**, presented in this paper, **is to develop a methodology for the exact consideration of inspirations for a new design** and to verify it with a working example.

2. Analysis of the stated problem

The design process for a new product involves taking the product's history into account. The designer faces the problem of selecting suitable features of its predecessor and integrating them into the new composition. We propose a novel method, based on principal component analysis and genetic algorithms, for an algorithmic treatment of such tasks. A proper understanding of the algorithm requires us to state our interpretation of the design process and define the opportunities for its computational improvement. For the sake of simplicity, we describe the design process as a sequence of objectives, which we will also use as a basis for prescribing suitable conditions of the algorithm.

2.1 Design process without any algorithm:

1. A human designer considers his inspiration (consciously or not) and defines the vehicle shape by free hand (applying some features of predecessors into the new design).

2. The shape is fitted to the correct dimensions with respect to the product's architecture (Chin, 2004). The architecture can be represented by simple shapes defining its volumes and spaces (a package).
3. Design finishing using an arbitrary method.

2.2 Design process including an algorithm:

1. Defining the product (a package) architecture. Collecting samples of the product's predecessors.
2. Running the algorithm and determining a new silhouette in the correct scale.
3. Design finishing using an arbitrary method.

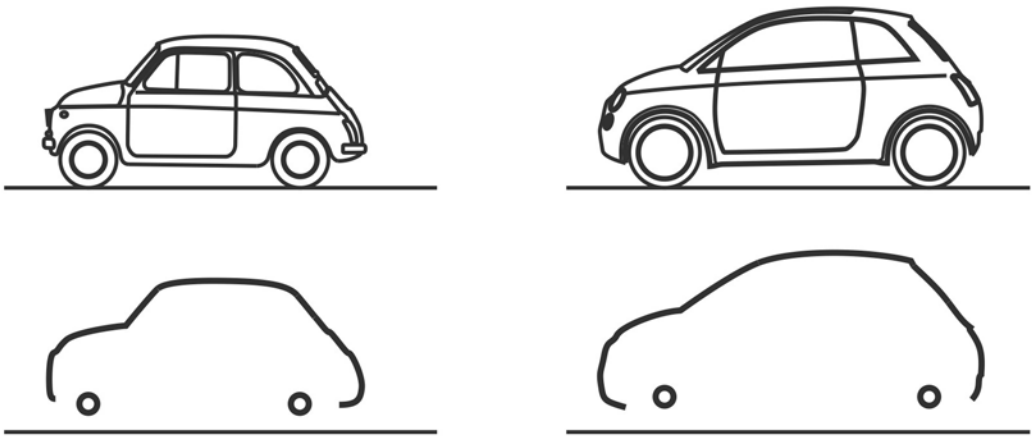
2.3 Vehicle silhouettes, extracting of a silhouette:

The majority of a vehicle's visual aspects can be seen from a side view, where the silhouette plays the key role. Dealing only with one silhouette, represented by a curve, reduces the complex design task to a simple form and allows us to start to develop an effective algorithm.

The design style of vehicles can be divided into two basic categories, evolutionary and revolutionary (Tumminelli, 2006). Those two kinds can by ramified by different approaches as rational or emotional. The problem of classifying the design style is in fact more complex, but for this paper it is important to describe only evolutionary and revolutionary kinds.

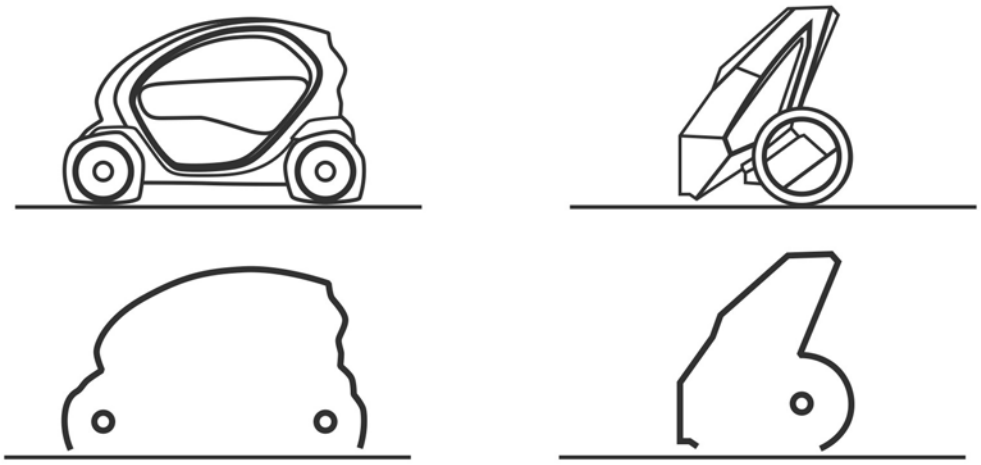
- **Evolutionary design:** A designer considers obligatory needs (utility, ergonomics, economy, ecology, aesthetic, etc.) and aims to achieve an original and aesthetically well balanced product. Every new design carefully adapts features of all its predecessors in history. For an example see Figure 1.

Figure 1: Example of evolutionary design.
Obrázek 1: Příklad evolučního návrhu.



- **Revolutionary design:** A designer also considers all the needs relating to the essence of the product. A deep rethinking can give rise to fundamental innovations and originality of design. The predecessors are chosen arbitrarily by a designer. For an example see Figure 2.

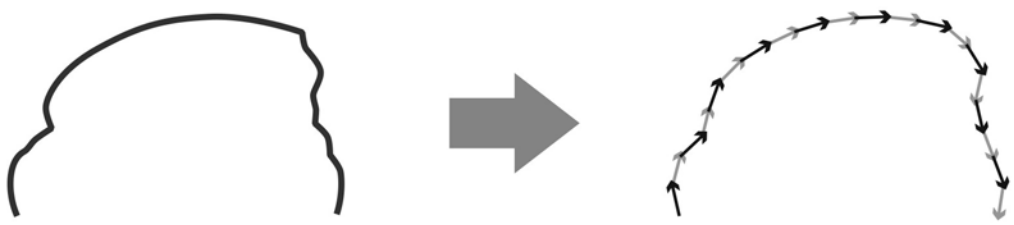
Figure 2: Example of revolutionary design.
Obrázek 2: Příklad revolučního návrhu.



3. Statistical analysis of silhouette curves

Several methods can be used to analytically describe a plane curve. The popular methods include description by Bezier curves, by splines or by a series of space coordinates connected by straight lines. We approximate our curves by the continuous connection of linear vectors (see the example in Figure 3), where each vector contains two real-valued components (increments on the perpendicular axis of the plane). For instance, if we have one hundred vectors we have two hundred real numbers which define a curve in the plane. From the statistical point of view, these points form a random vector with two hundred dimensions. The components of the random vector are not independent, but they have some strong correlation between each other. The highest correlation is between components which define close plane vectors of the curve.

Figure 3: Example of used method of statistical analysis of vehicle silhoutte.
Obrázek 3: Příklad použité metody statistické analýzy siluety vozidla.



Not all the possible curves in the plane look like vehicle silhouettes. The key idea is to define a few real vehicle silhouettes and find correlations between their vector descriptions. Afterwards, the subclass of all the curves which have similar correlations to real vehicles is considered to be the set of all the possible vehicle designs.

Principal component analysis (PCA) is a convenient statistical method for describing a set of vectors with given correlations. It identifies linear combinations of the vector components where the obtained outcomes have the highest variance. The obtained linear combinations are called principal components and they are, in fact, transformations of the initial space into the space with the new basis. In general, the method gives the same number of components as the initial space has, but most of them have very small variance and therefore they can be omitted without substantial loss of information. Each of these principal components is independent and uncorrelated with each other. This lets us set the most significant components to arbitrary values, neglecting the unimportant components, and by inverse transformation obtain a vector from the initial space with similar correlations to the original elements.

Mathematically speaking, the linear combinations are represented by the eigenvectors of the covariance matrix and the variances of their transformations are their related eigenvalues.

Let us denote a matrix of the original data as X, where its rows are particular elements x_i and columns are their components. The vector μ_X represents a mean of each column in matrix X.

Matrix $B = X - \mu_X$ is then a normalized data matrix and v_i are its eigenvectors with corresponding eigenvalues λ_i. If the eigenvalue λ_i is greater than 1, we consider the eigenvector v_i to be the significant principle component. Matrix W composed of the significant components is the transformation matrix and its transposed matrix W^T represents the inverse transformation.

Now, if we have some element x_{orig} from the original space, we can transform it into the new space by $x_{transf} = (x_{orig} - \mu_X) \cdot W$. Conversely, an element y_{transf} from the principal component space can be transformed to the original space by $y_{orig} = y_{transf} \cdot W^T + \mu_X$. For more details about the PCA method see (Johnson, 2007).

3.1 Algorithm for identifying an appropriate vehicle silhouette

The subspace of all curves which look like vehicle silhouettes is described by several real numbers related to the principal components. Now, the main question is how to choose a curve which satisfies our prescribed constraints. The constraints include smoothness of the curve, adhering to required dimensions, etc. Most of these requirements have a strong nonlinear character and therefore it is nearly impossible to obtain an accurate solution. A class of algorithms capable of giving sufficiently good solutions are soft computing methods. These methods are usually based on some heuristics and artificial intelligence approaches. We selected a genetic algorithm designed for searching for numerical vectors with predefined properties.

The main idea of the genetic algorithms is based on Charles Darwin's theory of evolution. This theory states that a population of some species is adapted to its environment by producing new better individuals. The more adapted the parents are, the better offspring they can produce. Thus the genetic algorithms try to mimic this evolutionary process and use it for solving computationally complex problems. At the beginning, the algorithm creates a set of random candidate solutions (population of species), and by choosing a pair of high quality individuals (parents) it produces new solutions (offspring). If the new offspring is better than some individual in the current population, then the old one is deleted and replaced by this newly produced solution. The algorithm repeatedly produces new individuals and thereby the population improves with each iteration. The final solution is the best individual discovered during the whole algorithm run. The genetic algorithms have many variations and for a more precise description see (Yang, 2008).

3.2 Utilized algorithm

The initial step of the whole procedure is to create a few vehicle silhouettes and compute all the necessary parameters using the PCA method. The set of all the silhouettes will serve as a database for new vehicle designs. Our implementation approximates each of these silhouettes with one hundred real vectors (similar to Figure 3) and the sequence x_i is obtained from the components of these vectors. Then the matrix X is constructed by putting all the vectors x_i into separate rows. Finally, the matrix W of n principal components is computed using a PCA algorithm for the created matrix X.

Now the aim of the algorithm is to find the curve which is as close as possible to the predefined package and which has similar properties to the cars in the database. This can be achieved by the aforementioned genetic algorithm used in the space of principal components. At the beginning, a few initial curves are randomly created and then the new curves are produced by one-point genetic crossover (combination of random parts of two selected curves) (Yang, 2008). The mutation is performed with the probability at 0.05 such that one of the principal components is randomly changed to a new value.

All these operations are carried out in the space of principal components, i.e. the curve is represented only by n numbers and for verifying its quality it is necessary to transform it back to the initial space. The transformed curve is obtained by multiplying the principal components by W^T and its fitness can be computed by comparison with the defined package. We use the Hausdorff metric for quantifying the proximity between the curve and the package, defined as a maximum of Euclidean distances between each point of the curve and the package. The other important conditions, laid down on the curve, are that none of its points can be inside the package (see Figure 4) and also its smoothness should be sufficiently low (minimum number of points of inflection). The objective is therefore to minimize a linear combination of the Hausdorff distance, the number of points inside the package and the number of points of inflection.

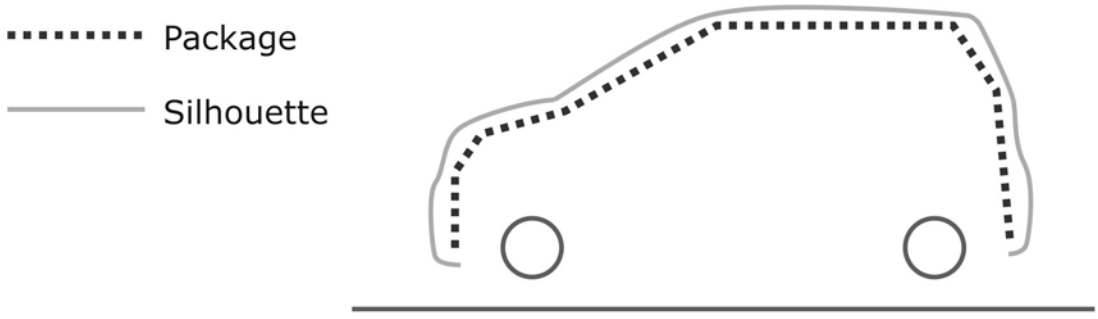
The algorithm ends when the quality of the best curve is satisfactory or when a predefined number of iterations is reached.

The following pseudocode describes the algorithm:

```
X = matrix of approximated silhouettes (one row is one silhouette).
W = computed matrix of principal components by PCA algorithm from X.
n = the number of the principal components
population = set of 70 randomly created real vectors of length n
while termination is not met
      parents = select two vectors from the population
```

offspring = crossover the parents and produce one new vector
with low probability mutate the *offspring*
new_silhouette = W^T * *offspring*
compute the *fitness* of the *new_silhouette* (proximity + inside points + smoothness)
if the *fitness* is better than some other member in the *population*, then replace it.
End while

Figure 4: Example of generated silhoutte around defined package
Obrázek 4: Příklad vygenerované siluety kolem určené obálky



4. Experiments

We conducted several experiments belonging to two categories with different objectives. The first category contains experiments on the evolutionary method of design, and the second category on the revolutionary method. The evolutionary experiments compared two different brands of standard vehicles on the same package. We took ten samples from both brands and let the algorithm evolve a new design for each brand separately. Unfortunately, the obtained results did not meet our expectations. They did look different for each brand, but did not have the appropriate quality of a standard vehicle design. The results of experiments from this category are not intended to cover the history of the predecessors, but rather only some chosen samples.
The experiments from this category can briefly be described as follows:

- We take ten different vehicles into account (chosen silhouettes) and these vehicles form a group of the initial patterns for our experiment.
- We create a package (the physical conditions) and ran the algorithm (PCA + genetic algorithm).
- The obtained curve is finished using standard designing procedure.

Description:
The first step of the algorithm is to choose the set of predecessors and convert them to the same scale and form suitable for the algorithm. The chosen samples are shown in Figure 5; these vehicles are mainly experimental and innovative cars developed in the recent past.

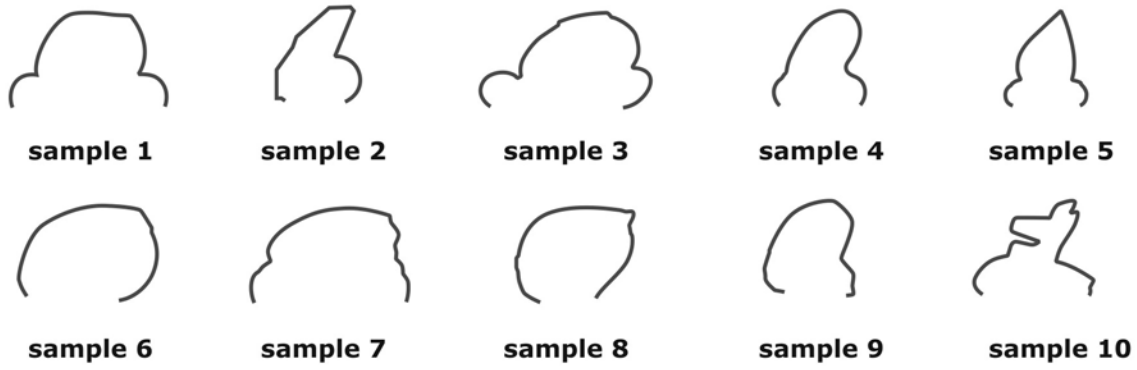
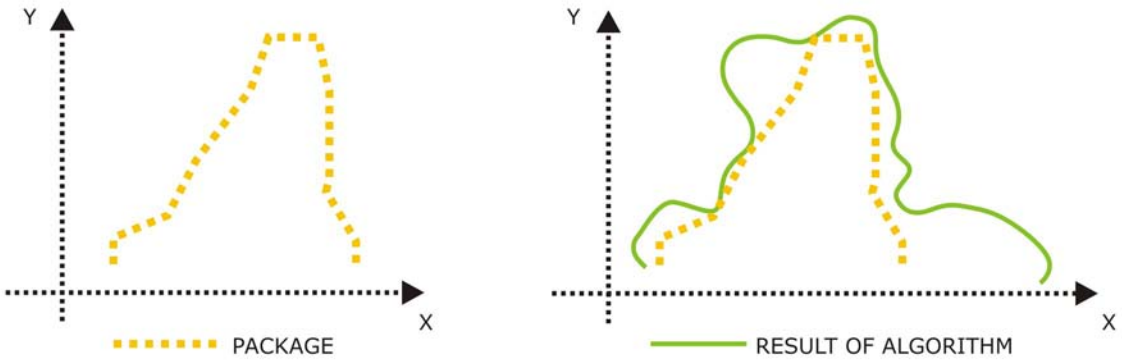


Figure 5: Example of initial pattern set
Obrázek 5: Příklad iniciační množiny
Legend:
sample 1: Nissan Pivo2
sample 2: Honda Individual Articulating Commuter
sample 3: Elph by Rizki Tarisa (Indonesia)
sample 4: Suzuki Pixy
sample 5: Peugeot MoVille by Woo-Ram Lee (France)
sample 6: Peugeot Moovie by André Costa (Portugal)
sample 7: Renault Twizy
sample 8: 2028 One by Sergio Luna (Mexico)
sample 9: GM EN-V
sample 10: Toyota i-Real

The package, describing the physical conditions for the new design, is shown on the left side of Figure 6. It is represented by a poly-line and graphically specifies a space for passengers, an engine, a trunk etc. The algorithm finds nine principal components of the initial samples, and by setting them to the new values it creates a new curve displayed on the right side of Figure 6.

Figure 6: Package and newly generated silhoutte
Obrázek 6: Obálka a nově vygenerovaná silueta



Each particular algorithm run can produce a different curve, and a few samples are shown in Figure 7. A human designer has a few computed results and he can select the one which inspires him the most. In simple terms, these results represent the initial samples melted down according to the dimensions of the defined package. We selected one most inspiring result (result 7 in Figure 7) and continued manually with the sketching and designing in 3D software.

Figure 7: Examples of vehicle silhouttes generated by different algorithms
Obrázek 7: Příklad siluet vozidel vygenerovaných různými algoritmy

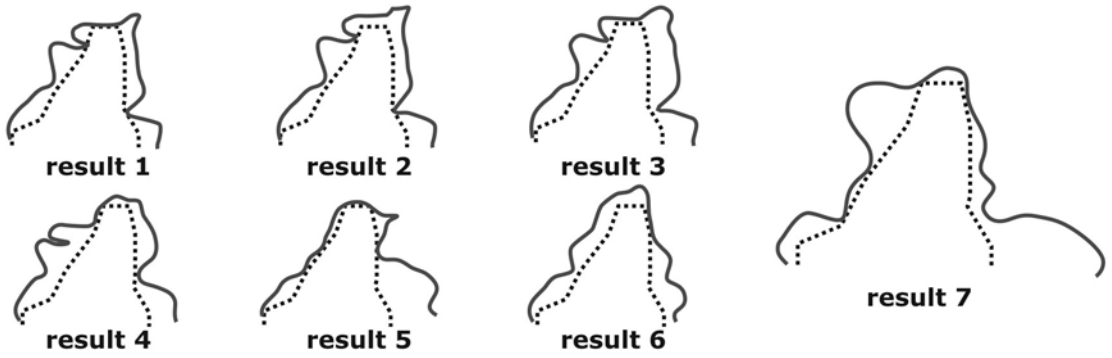


Figure 8 shows the sketch made on the basis of result 7 with an LCD tablet. Although the curve on the back side runs unexpectedly far from the package, it was also an inspiration for us and we used it for presentation of a trailer concept behind the vehicle.
The next step after making the sketch was to model the vehicle in 3D. Figure 9 shows a visualization of the experimental vehicle for individual urban mobility and it represents the final result of our experiment.

Figure 8: Sketch inspired by the algorithm's curve
Obrázek 8: Skica inspirovaná produktem algoritmu

Figure 9: Final design - virtual 3D model to scale
Obrázek 9: Výsledný design – virtuální 3D model v měřítku

Figure 10: The left side shows a comparison between the predefined package, automatically generated curve and the created sketch. The right side represents a comparison of the package, the generated curve and the final design.
Obrázek 10: Na levé straně je vidět porovnání mezi předdefinovanou obálkou, automaticky vygenerovanou siluetou a náčrtem vozidla. Na pravé straně obrázku je srovnání obálky, vygenerované siluety a konečným uspořádáním vozidla.

The experiment has three phases described graphically in Figure 11. The first phase translates predecessors' features to the innovative shape. In the second phase we (human designers) choose the most suitable silhouette and create sketches, which are usually at the beginning of the design process. The last part represents an arbitrary kind of finalization; in our case it is the creation of a 3D model.

Figure 11: Graphical representation of different phases of design process.
Obrázek 11: Grafické znázornění různých fází postupu návrhu.

5 Conclusions and further research:

This paper deals with the process of evolving a new vehicle design. Our main objective was to answer the question of how exactly to consider inspirations for a new design and obtain useful shapes - vehicle silhouettes that serve as a source inspiration for human designers. The proposed method is part of the creative work and provides original results arising from two main aspects:

1. What is known about the product's look (considering the history and predecessors)
2. What new conditions have to be met (defining a package)

A human designer usually starts with new ideas on a blank sheet of paper. His inspiration comes from the depth of his mind and it makes the development process subconscious. The method we presented in this paper contributes to the process of designing a new product usually handled by a human designer. Using the algorithm leads us through a conscious process to new original silhouettes, which are statistically influenced by the character of their predecessors. The obtained results provide inspiring patterns to help the human designer with innovative design.
Future research will focus on the process of obtaining samples. We envisage having an application with automatic image recognition, where the user just uploads his data (as bitmap images) and the algorithm automatically processes their features and evolves a new vehicle silhouette. Further progress can be made in incorporation of other analyzed features, such as window shapes etc. We have been thinking about 3D applications, but this needs a huge database with accurate data. Since we have developed a method for analyzing a given set of samples, there is still a big challenge to find out how to obtain samples and how to consider the quality and suitability of results.

6Acknowledgement:

Funding for this research was provided by grant FSI-S-11-30/1454.

References:

[1] Alexander Ch. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press, 216 pages, ISBN 0-674-62751-2

[2] Chin & Ryan C. C. (2004). *Product Grammar: Constructing and Mapping Solution spaces.* Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology, 78 pages, Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Media Arts and Sciences

[3] Johnson R.A. & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis.* Prentice Hall, 800 pages, ISBN-10: 0130925535

[4] Kara L.B., D'Eramo Ch.M. & Shimada, K. (2006). *Pen-based Styling Design of 3D Geometry Using Concept Sketches and Template Models*, pp. 149-160, ACM 1-59593-358-1/06/0006

[5] Lin M.C. & Yan I.H. (2004). Development of a computer-assisted procedure for car style design. *IJVD*, Vol. 35, 2004, pp.289-306, ISSN: 0143-3369

[6] Lin-Lin Ch., Hsien-Chang K. & Wei-Ken H. (2007). Effects of design features on automobile styling perceptions, IASDR'07 - International Association of Societies of Design Research 2007, Proceedings, Hong Kong, 16 pages

[7] Orsborn S., Cagan J. & Boatwright P. (2008). *Automating the Creation of Shape Grammar Rules*. 3rd International Conference on Design Computing and Cognition, pp. 3-22, ISBN: 978-1-4020-8727-1

[8] Orsborn S., Cagan, J., Boatwright, P. (2008) Identifying Product Shape Relationships Using Principal Component Analysis. *Research in Engineering Design*, 184, pp. 163–180, ISSN: 0934-9839.

[9] Orsbor, S., Cagan J. & Boatwright P. (2009). Quantifying Aesthetic Form Preference in a Utility Function. *Journal of Mechanical Design* Vol. 13, ISSN: 1050-0472

[10] Stiny G. & Gips J. (1972). Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture. Information Processing 71, Amsterdam 1460-1465.

[11] Tumminelli P. (2006). *Car Design*. teNeues, 400 pages, ISBN-10: 3-8238-4561-6

[12] Yang X.-S. (2008). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithm*. Luniver Press, 128 pages, ISBN-10: 1905986106

HEURISTIC STATISTICAL GENERATION OF GRAPHICAL CURVES

Čeněk Šandera[1], David Škaroupka[2]

Brno University of Technology
Institute of Mathematics[1], Institute of Machine and Industrial Design[2]
Technická 2, 616 69 Brno
Czech Republic
ysande01@stud.fme.vutbr.cz[1], yskaro03@stud.fme.vutbr.cz[2]

Abstract: *This article presents an algorithm that generates graphical curves with properties corresponding to a given set of patterns. The algorithm statistically extracts features from the sample curves and combine them to get the new curve with a new innovative style. The algorithm has very general nature and can be utilized for any kind of continuous curves. We demonstrate its functionality through designing new car silhouettes based on a set of a few common contemporary automobiles. The main tool for the initial statistical exploration is the principal component analysis and the creation logic of the new curves is controlled by a sequence of tabu search methods.*

Keywords: *heuristic design, tabu search, principal component analysis, graphical curves*

1 Introduction

The main purpose of our algorithm is to bring innovative ideas into the designing shapes of new products. When the classical designer creates new product shape (a car, a teapot, a furniture, etc.) he has to take into account various important aspects. Among the most significant aspects are the fulfillment of the product functionality and innovative attractiveness of its visual design. The former is highly individual for each product and cannot be generalized, but the latter usually comes from the historical evolution of similar products and can be automatized by our presented algorithm.

Automatization of designing process has been previously studied from several perspectives. One important way of automatic design is by fulfilling some prescribed physical requirements (e.g. optimal wing shape by evolutionary algorithms [1]) but this way requires detailed insight into the designed product and create its parametrization. Another way is focused on designing visual aspects without consideration of any physical constraints. Among these algorithms, which serve as a new source of inspiration, can be, for example, put a work incorporating genetic algorithms [3] or shape grammar [4] or their combination [5]. Our presented algorithm can be also viewed as an approximation algorithm and therefore it can be compared with some traditional methods like Bézier curves or NURBS [2]. But the main difference is that the algorithm proposed here produces only curves with required shape characteristics, in contrary to the traditional methods which generate curves with no explicit relationship to the designed products.

The article is organized as follows. The second section sketches the main idea of the algorithm and the further sections three explains how the main utilized theoretical tools work (PCA and tabu search). The more detailed description of the algorithm is in the section four and its demonstrated experiment shows the section five.

2 Algorithm Outline

To generate the graphical curves we need to determine which features the new curve has to have. Not every curve can represent a vehicle (or any other designed product) and therefore we need to explore only a small subset of all the possible curves. Thus the first step in the algorithm is to extract important features from the products with similar shapes to allow us to deal only with the curves which look like a vehicle (or any other designed product). Very general way for solving this task is to use multivariate statistical method known as principal component analysis (PCA). As same as all the other statistical methods, the PCA processes a numerical dataset and therefore we need to transform the graphical curves into it. So every curve from the set of similar shapes is approximated by the same given number of small linear vectors (see example in Figure 1), and therefore we can create a dataset with rows representing the particular curve and columns representing the relative coordinates of the computed vectors.

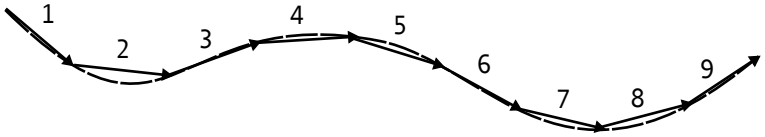


Figure 1: An example of approximation of a smooth curve by a set of 9 vectors. The corresponding dataset is composed from relative coordinates of the particular vectors $v = [\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta x_2, \Delta y_2, \ldots, \Delta x_9, \Delta y_9]$.

The obtained dataset will have many dimensions (columns) and the PCA method allows further transformation from this high dimensional space to the space with much lower number of dimensions. Every curve from the given set can be therefore represented by only a few numerical values and its graphical form can be easily obtained by an inverse transformation. The generation of new curves is then provided by finding new values for these few parameters and the subsequent inverse transformation assures that the outcome curve has similar look like the initial set.

Usually a classical designer does not create a new product shape without defining any prior physical requirements (height, length, rough proportions, ...). For this reason our algorithm lets the designers define a set of points which the new curve should go through. This allows roughly shaped the required outcome and the algorithm therefore *only* fills the gaps between the defined points.

To obtain the course between each consecutive pair of the defined points, the algorithm splits the whole curve into corresponding subparts and computes them independently. The algorithm then only needs to find a suitable curve which starts and ends in the defined points and by sequential computation of all the separated parts it produces the whole new curve. The finding of a suitable curves which connect the defined points are performed by tabu search algorithm in the space of principal components obtained by the PCA method. After the initial random guess of these components the tabu search optimizes them in such a way that the inverse transformation (the graphical representation) fulfills the connection criterion.

3 The main tools in the algorithm

3.1 Principal Component Analysis (PCA)

The Principal Component Analysis is one of the main tools used in multivariate statistical analysis. Its fundamental intention is to uncover hidden relations in the given dataset and thereby significantly reduce the dimension of the explored problem. Mathematically speaking, the PCA is an orthogonal linear transformation such that the new coordinate system reflects magnitude of the variance in the data. The new coordinates are called the principal components and the projection with the greatest variance lies on the first of them, the second greatest variance is projected on the second principal components and so forth. The number of principal components is the same as the number of dimension in the original data, but by omitting the new axes with the lowest projected variance, the dimension of the new space can be reduced without significant loss of information. For the dataset represented by a matrix $D_{m\times n}$ (m samples with n values), the PCA computes the transformation matrix $A_{k\times n}$ (k principal components) which can be used to transform a sample $c_{n\times 1}$ to the vector $v_{k\times 1}$. The inverse transformation is computed by the inverse transformation matrix A^{-1}.

$$v_{k\times 1} = A_{k\times n} \cdot c_{n\times 1}$$
$$c_{n\times 1} = A^{-1}_{n\times k} \cdot v_{k\times 1}$$

The PCA method is explained in the most of the multivariate statistics textbook (for instance in [6]) and the reader is referred there for more detailed description.

The most important feature of PCA for our algorithm is that it can allow us to describe the graphical curve (divided into a set of many linear vectors) by a small number of new principal components. The transformation itself therefore contains the general shape properties of the given graphical samples encoded into the transformation matrix A.

3.2 Tabu search

Whereas the PCA provides a method for drawing a curve from a few given numbers (the principal components), the Tabu search algorithm is used for finding those values which lead to the most suitable curve. The Tabu search algorithm was created by F. Glover and is detailed described in [7]. It belongs to the class of metaheuristic algorithms and therefore its main purpose is to iteratively explore the space of all possible solutions and try to

find the best possible one. The algorithm starts with randomly generated solution and evaluation its quality by an objective function. In our implementation the objective function takes the values of principal components and by inverse PCA transformation computes the corresponding graphical curve. Then, the objective value is the Euclidean distance between its end point and the required one. If the computed objective value is not within the given tolerance then the algorithm evaluates a few other curves with slightly modified principal components (neighbourhood of the current solution) and the best one is taken as a next starting solution. The algorithm stops either after predefined number of iterations or if the solution reaches the desired quality.

The main reason for incorporating the Tabu search into our algorithm is that the curves are deformed continuously with respect to their principal components and therefore the local search algorithms, like Tabu search, is effectively able to find the suitable solution.

4 The algorithm description

A brief outline of the presented algorithm is described in the section 2 and this section extends it to more accurate form. The first part of the procedure consists of the analytic extracting important features form the initial samples. The given curves are approximated by constant number of linear vectors and flowingly processed by the PCA method. Thereafter the splitting points are computed. These points can be modified by a designer to influence the final shape of the designed curve. Although they can be generally chosen arbitrarily, it is wise to use some traceable way. One such way is described by Pseudocode 1

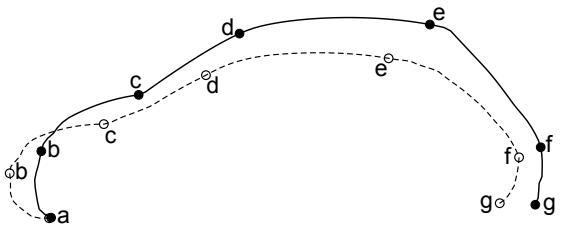


Figure 2: Two curves with the same principal components, except of the sign of the first component. (The step 4 in the Pseudocode 1.)

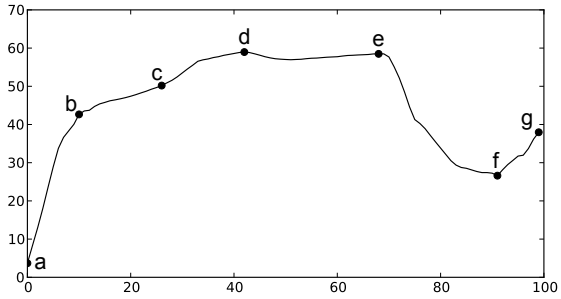


Figure 3: Distances between all of the corresponding points of the two curves. (The step 5 in the Pseudocode 1.)

Pseudocode 1: the heuristics for obtaining the splitting points

1. create a dataset from the whole graphical curves
2. compute PCA of the dataset and obtain the transformation matrix A
3. denote one of the sample curve as c_1 and compute its projection $v_1 = A \cdot c_1$
4. multiply the first principal component (the highest variability) of v by -1 and compute the corresponding curve $c_2 = A^{-1} \cdot v_2$
5. compute Euclidean distances for all corresponding points between curves c_1 and c_2
6. find k splitting points (local extremes or points of inflection) of the computed distance function

The splitting points obtained by the aforementioned heuristics are the points which maintains the roughest shape of the curve. The course of the curve between these points can be found by heuristics described in the following Pseudocode 2

Pseudocode 2: for each consecutive pair of the splitting points p_n, p_{n+1} do

1. compute $\Delta x_{n,n_1}$, $\Delta y_{n,n_1}$ - the distances between the coordinates of p_n and p_{n+1}
2. create a dataset $D_{n,n+1}$ from the initial sample curves by considering only the parts between p_n and p_{n+1}
3. perform the principal component analysis on the $D_{n,n+1}$ and compute the transformation matrix $A_{n,n+1}$
4. max_i, min_i = maximal (minimal) values of the principal component i among all the initial samples

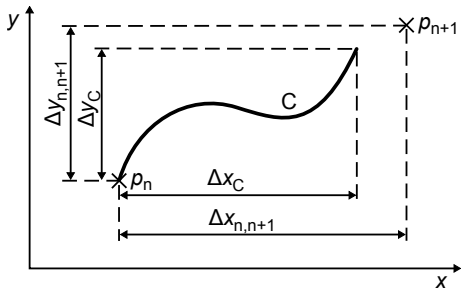


Figure 4: Visualized objective of the Tabu search method from Pseudocode 2. The objective is to connect the curve C with the point p_{n+1}.

5. randomly generate vector v (the values for all the principal components) from the uniform distribution $U(\alpha \cdot min_i, \alpha \cdot max_i)$
6. by the inverse PCA transformation compute its corresponding curve $C = A^{-1} \cdot v$
7. compute the distances Δx_C, Δy_C
8. if $\sqrt{(\Delta x_C - \Delta x_{n,n_1})^2 + (\Delta x_C - \Delta x_{n,n_1})^2} < \varepsilon$ stop the algorithm and return C
9. generate a set of neighbors for the vector v by small modification of its components
10. select acceptable vector v_j with the smallest value of $\sqrt{(\Delta x_{C_j} - \Delta x_{n,n_1})^2 + (\Delta x_{C_j} - \Delta x_{n,n_1})^2}$
11. $C = C_j$, $v = v_j$ and update the tabu list by v_j
12. go to step 8

The steps 8-12 describe standard tabu search algorithm with maintaining usual tabu list. There can be used any other optimization heuristics instead of the tabu search, but the important is to use only local search, not the global one, to preserve features included in the actual curve.

The parameter α used in the step 5 controls the innovativeness of the designed curve. The value $\alpha = 1$ causes generation of the curve within the boundaries given by the initial samples. But higher values (e.g. $\alpha = 1.5$) allows the principal components to exceed the initial boundaries and therefore it allows higher variation in the curve design. It must be said that too high values give rise to undesired shapes which are too far away from the intended goals. Our recommendation is to use the values $\alpha \in (0.5, 1.5)$.

5 Experiment and discussion

The algorithm was tested by designing car silhouettes based on a set of 10 automobiles of the similar types (shown in Figure 5). Each silhouette was approximated by 100 vectors.

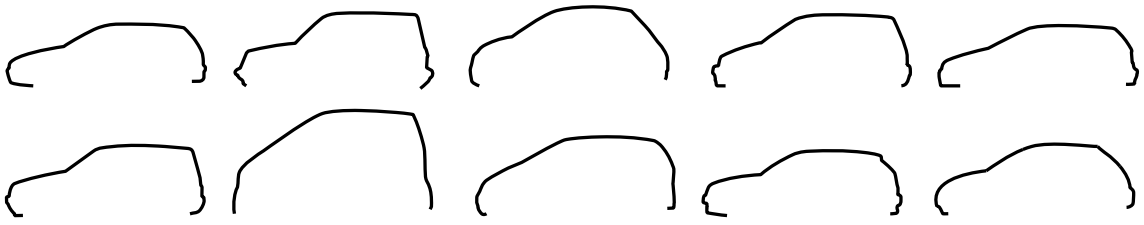


Figure 5: The sample curves.

The first step in the algorithm is to determine the splitting points and we used the points shown in Figure 2 obtained from the distance function shown in Figure 3. The coordinates of the splitting points were chosen in such a way that the resultant vehicle looks like a common one (see Figure 6-a). To demonstrate the effect of modification of the splitting points we prepared three other results with similar setting. The solid curves in Figures 6-b,c,d have coordinates of the splitting points exactly the same as the curve in Figure 6-a except for one point. The moves of these different points are represented by the depicted arrows and, for comparison's sake, the original shape is drawn by dashed line.

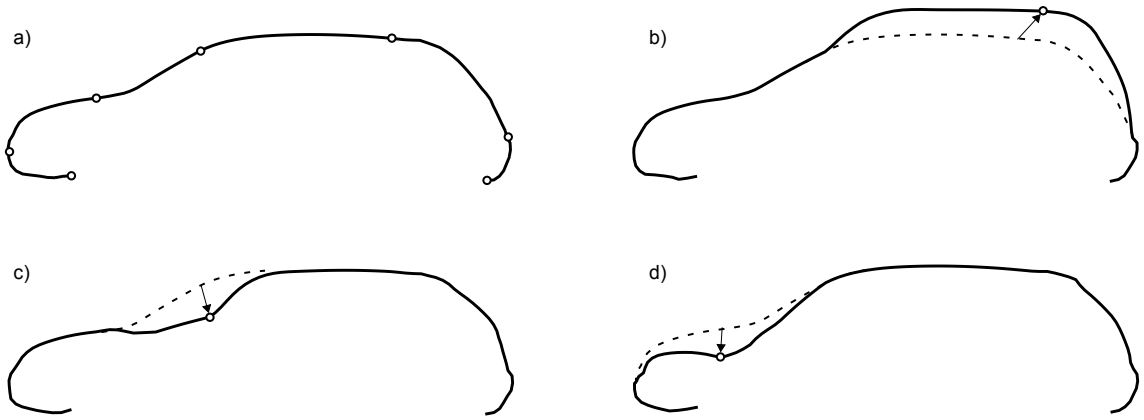


Figure 6: Four different generated curves with very similar initial setting

The computed results have several important features and interpretations. The most obvious feature is its ability to combine shape of various initial silhouettes and therefore it is able to produce a kind of *average* vehicle. The principal components of the new curve determine its analogy with the initial samples and particularly the first components play the most dominant roles in the forming of the shape. At the first sight, the Figure 6-a looks like one of the initial samples, but in fact, it is not one of them and it only shares the values of the principal components and therefore the correlations arisen from the inverse transformation.

By moving some of the controlled points far from the usual position we can obtain new curves with preservation of the relationships given by the initial samples. In other words, it answers the question – how would the car silhouette evolves, if the designer's requirements be significantly changed. The Figures 6-b,c,d show silhouettes of such vehicles and represent the innovativeness brought by statistical analysis. All these effects can be combined by simultaneous moving the controlled points to get the final shape of required quality. An illustration of a simple vehicle with new features arisen from the algorithm is shown in Figure 7 and for better impression it is completed by an undercarriage and wheels.

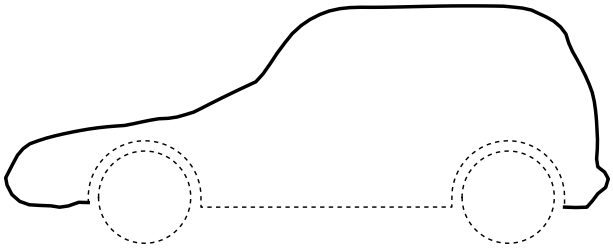


Figure 7: An example of the output curve, for illustration's sake it is supplemented by a bottom part.

6 Conclusion

This paper presents a simple method for creating graphical curves. The general class of the curve is defined only by a given set of samples and consequent designer's requirements are tailored by controlling positions of a few splitting points. The algorithm does not need any prior parametrization of the curves, because it extracts all the necessary information by the principal component analysis.

The algorithm is demonstrated on the example of designing vehicle silhouettes and it successfully shows its ability to produce new curves with required properties. The utilization for this algorithm can be either in bringing new ideas by randomization of the designing process or in modification of current shapes by unusual requirements. Many designers faces to tasks that are based on the adapting their curves to the new demands or to the actual trends and the presented algorithm is able to encompass these needs by a few simple steps. Due to the tabu search operates in the space of principal components, it is ensured that the final curve will always have similar features like the initial sample set and therefore they will be from the same *class*. This feature makes

the greatest difference with respect to the traditional methods for generating curves (Bézier curves, splines, NURBS, ...).

Our example was based on 10 similar sample curves and further extension of this initial set would bring new possibilities. For instance, the initial sample curves can be selected from wider range of vehicle silhouettes (not only one kind of vehicles) and therefore the matrix A obtained by PCA analysis would contain information about more general class of vehicles and consequently newly produced curves would not be so similar to each other but rather more heterogeneous.

Moreover, incorporation of actual trends could be easily done by adding new trendy curves among the initial classical samples and all of the consequent computations naturally encompass it. The algorithm also allows straightforward extension for 3D applications. Other possible implementation areas can be addressed to off-line recognition of noisy shapes (e.g. handwriting text or image reconstructions). Investigation of these possibilities will be the subjects of the further research, as well as determination of the limitations and extensions for the proposed designing application.

Acknowledgement: The authors thank for the support given by authorities of Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology.

References

[1] Oyama A., Obayashi S., Nakahashi K., Nakamura T., Euler/Navier-Stokes Optimization of Supersonic Wing Design Based on Evolutionary Algorithm, *Parallel Computation Fluids Dynamics*, Elsevier Science, 1999, pp. 249-258

[2] Foley J.D., Dam A. van, Feiner S.K, Hughes J.F, Computer Graphics: Principles and Practice in C, second edition, Addison-Wesley Professional, 1995

[3] Škaroupka D., Šandera Č., Automated Design of Vehicle Silhouettes Using Genetic Algorithms and Statistical Analysis, *MECCA - Journal of Middle European Construction and Design of Cars*, Czech Technical University in Prague, Vol 03, 2011, pp. 1-8

[4] Orsborn S., Cagan J., Boatwright P., Automating the Creation of Shape Grammar Rules, *Design Computing and Cognition '08*, Springer Netherlands, 2008, pp. 3-22

[5] Ang M.C., Chau H.H., McKay A. and Pennington A., Combining Evolutionary Algorithms and Shape Grammars to Generate Branded Product Design, *Design Computing and Cognition '06*, Springer Netherlands, 2006, pp. 521-539

[6] Johnson R.A., Wichern D.W *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Prentice Hall, 2007

[7] Glover F., Tabu Search - Part 1, *ORSA Journal on Computing 1*, 1989, pp. 190-206.

53rd International Conference of Machine Design Departments

Developing of the manipulative sketch generator for the product design

David Škaroupka,[1] Čeněk Šandera,[2] Veronika Sedláčková,[3] & Jiří Král[4]

Abstract: The parametric sketch manipulator, presented in this paper, provides solution for decision making in the process of evaluating a new design concept alternatives. This helping tool for designers is based on statistical analysis of the predecessors and takes in to account a physical conditions prescribed by designer. Pictorial representation of the output is not only a source of inspiration for further designer's work, but can be even used as pre-sketched draft, dedicated for manual retouching by designer. The wide scope of this article is computer aided methods of dealing with formal-aesthetic tasks.

Keywords: product language, design, styling, formal-aesthetic tasks, computer aided styling (CAS), design and product development, design reasoning, inspiration, active appearance model (AAM), principal component analysis (PCA), genetic algorithms

1. Introduction

According to conceptual model of the Offenbach theory of product language [4], which was originally presented by Gros, product language (sensual functions of the product) can be distinguish to semantic and and formal aesthetic functions. Design can be understood as dealing with **formal-aesthetic tasks**. Depend on the kind of dealing; we can distinguish it in **conceptual** and **stylistic** ways.

One of the first efforts in this field was developing and using shape grammars [5] influenced also fine arts and it is also dealing with aesthetic aspects [6]. Shape Grammars are formalism provides base for many later investigations and practicing in exploring product language in brand identity defining [7].

Shape of the composed solution is usual, but not always strictly rectilinear. It can be also represented by cubic Bézier curves to achieve freeform shapes [11] dedicated to organic product forms. Exploring of rules for shape grammars can begin with investigation how sketches arises [8,9]. Authors accomplish an empirical study of guiding principles in sketching to obtain guidelines leads to shape grammar rules. First they concerned on participant's design movements to gain sequence of the sketch transformations. Secondly they clustered sketches form each participants into design families, represents alternatives with different features and

[1] *Ing. David Škaroupka; Institute of Machine and Industrial Design, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology; Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic; yskaro03@stud.fme.vutbr.cz*
[2] *Ing. Čeněk Šandera; Institute of Mathematics, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology; Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic; ysande01@stud.fme.vutbr.cz*
[3] *Ing. Veronika Sedláčková; Institute of Machine and Industrial Design, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology; Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic; ysedla41@stud.fme.vutbr.cz*
[4] *Bc. Jiří Král; Faculty of Information Technology, Brno University of Technology; Božetěchova 1/2, 612 66 Brno, Czech Republic; jikral@centrum.cz*

finally they got and tested seven general rules (like outline transformation, structure transformation, substitution of the element, etc). Research proved ability to describe shape transformations along sketching process and shows, how this can be used by designer while exploring new ideas through shapes [9,12]. Those methods, based on shape grammars, may serve for conceptual design purposes, if it is able to produce results through design families (to provide new design language possibilities). On the other side, there are methods dealing with pure style. The stylistic approach are mainly part of the field called computer aided styling (CAS) or computer aided aesthetic design (CAAD) which is often beside of computer aided design (CAD) as tool for implementing aesthetic aspects into modeling while creating 3D geometry [14]. It assumes a few conditions as formalization of verbal terms [15], which enables facilitating automatic optimization of modeling procedures by global shape modeling modifiers. Finally we can conclude, that there are methods provides tool for decision making in design process or optimizing product's features.

2. Problem statement

Methods, using shape grammars, are based on composition of pictorial fragments; therefore we can see it closer to the conceptual formal-aesthetic approach then only styling. This statement seems to be promoted by Prats: "*If the previous set of transformations is replaced by a different set of transformations, then a new design family is formed.*" [10]. Later efforts in automated creating shape grammar rules [3] shows using statistical analysis (principal component analysis - PCA) to describe features of the predecessors. Anyway the output has finally typical set of lines and arcs, which could be handled by mentioned cubic Bézier curves [11] to obtain smoother results. The idea of having natural smooth curves leads us to employ PCA's strong potential in dealing with exact shapes and using genetic algorithms to obtain smoothed silhouettes [13]. The solution like this is characterized by noticeable distance from result of the algorithm to the final product. Motivation for the research presented in this paper was to shrink this gap by creating free form shape and texture generator (sketch generator).
Design tasks are often ill-structured and catching the best solution is tough decision making problem. **Our goal is to provide contribution into solving of the formal-aesthetic tasks** between computer aided styling and decision making methods.

3. Shape and texture generator (method)

Shape and texture generator is considering predecessors described by initial set of curves and manually created sketches. The first step in our algorithm is to generate vehicle silhouettes suitable for further processing. The silhouette must fulfill several constraints required by designers. Firstly, it has to preserve features from the initial set of curves (see Figure 1) and secondly, it has to respect desired physical proportions.

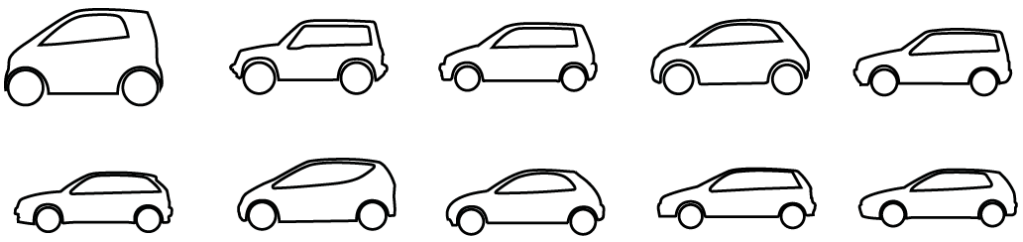


Fig. 1. Initial set of curves.

A designer can determine these proportions by drawing a few rectilinear shape (package) which will be contained entirely inside the final shape and the generated curve will embrace them as close as possible (see Figure 2).

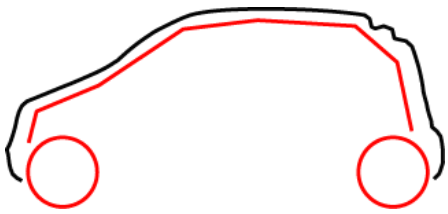


Fig. 2. Prescribed physical conditions (package – red line, solution – black line).

The silhouette is represented by a fixed number of straight line segments interconnected into one continuous curve. We divide the curve on 100 segments, to ensure smooth appearance of the silhouettes. The relative coordinates of the entire curve in the initial set form a statistical dataset representing features of the designed shapes. Further computation of the principal component method reduces this high dimensional space to only a few components, and allows us to deal with much lower complexity. The aim of this part of the algorithm is to produce a silhouette bounded by the given rectangular boxes. For this reason, we use heuristic optimization technique, called genetic algorithm, which find the best curve complying with these requirements. The genetic algorithm operates in the space of principal components and by systematic examination of various possibilities it iteratively searches for the curve with the highest quality. During each iteration, there are chosen several new values the principal components and corresponding silhouettes is computed by inverse PCA transformation. The quality of a curve is thereafter obtained by determining the highest distance between the curve and the required rectangular boxes. The curve with the smallest distance is the resulted silhouette. For exhausting description of this method, with an illustrative example, see [13]. The second step of the algorithm is generating the most suitable sketch for already existing silhouette. If we want to consider the texture as a sketch, it has to be generate from already existed sketches due to its strictly limitation to given silhouette.

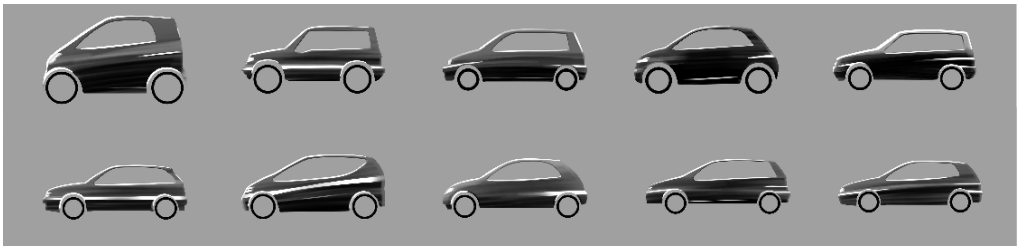


Fig. 3. Initial set of sketches.

For possibility of the designer to generate different sketches for given silhouette is the process of making sketches controlled only by the value of few certain parameters. As in input for already existing silhouette is used significant point representation of the shape with relatively entered positions. Each point shows significant location of the contour. Final sketch is represented by the model. For the process of making the model is used method called Active Appearance Model (AAM) [16]. This method requires training set of the sketches with geometric information for the description of their contour. The AAM method with using the principals of PCA makes the model of the sketch that only by changing values of limited

number of parameters generates different representations of the model. For itself generating of the texture is used pre-trained AAM model to which is given entered shape. The AAM model is a combination of the shape model and texture model and by changing the value of parameters is also changed the final shape and texture in the same time. That is way is the generated shape replaced by input shape. After this is the final texture generated only in the entered shape.

4. Results and working examples (manipulating)

For generating new sketches can be used two different ways. The first way is manual setting of the values of each parameters of the model of the sketch. Each parameter influences certain properties of the sketch. These properties come out with the basics of PCA, where each property represents certain components and parameters are ordered by the size of these components. The second way of generating sketches is automatically generate sketches and the core of this method is randomly setting of the value of certain parameters in given extent of the sizes of the components.

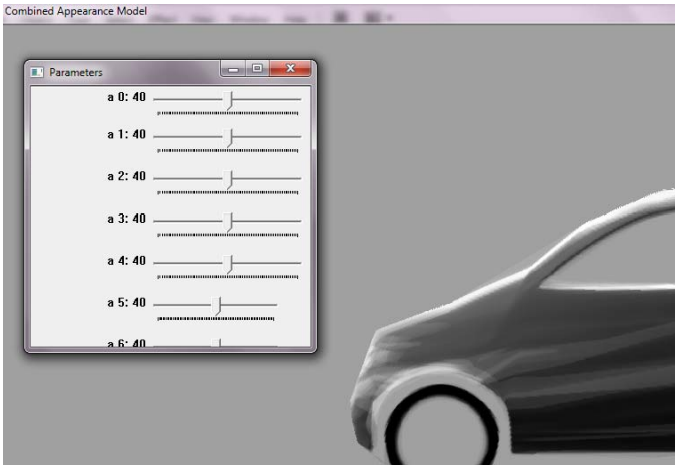


Fig. 4. Interface of manipulative sketch generator.

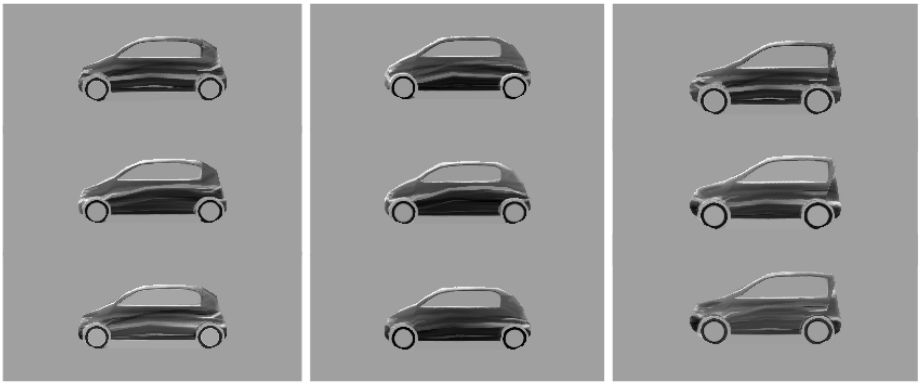


Fig. 5. Results examples.

5. Discussion - critical conclusions

The contribution of this method can be evaluated from stylistic perspective of the industrial design. Main theme to discuss seems to be a measure of the computational aesthetics' contribution. However some efforts arose to support aesthetics in design process [1], we suppose that the major benefit consist in decision making process rather than improving aesthetic values. Our method is closer to the shape grammars perspective of generating alternatives and for that we can say: "*the grammar alone cannot guarantee aesthetic results*" [2]. Also the considering of predecessors by algorithm does not make any new aesthetic value initially, but it requires human act of understanding if the results match some context or not.

A particular problem in technical way of our method inheres in generating inside shapes. There is not robust solution, how to define correct relationships between each shape. Some issues reside also in the second part of generating sketch texture, which now requires manual selections of significant points of the shapes. Another issue and maybe the biggest one is the resolution of the sketch in term of quantity of shape information. Our method is accurate enough for the presented rough sketches, but it is not well suited for high detailed ones. Nevertheless described issues can be objective for further research.

6. Conclusions - summary

The algorithm implemented in Python programming language uses principal component method (PCA) for processing entered vector data that carry information about the shape of the sample products. To obtain a result that best fits to the specified parameters is necessary to find out suitable solution that follows accurate standards in a multidimensional space of principal components. For this purpose we used optimization metaheuristic that due to iterative steps in artificial evolution choose the best features and after a few tens of iterations finds desired solution. Solution obtained by this algorithm defines the shape of the new automatic design that becomes an input variable for the design of its bitmap fill (textures).
For designing this kind of texture is used statistical method known from computer vision field as Active Appearance Model (AAM) that was adjusted for our purpose just to take only shape results from previous process that influence the final bitmap information. The process of analyzing input data (training bitmaps) was again based on the principal component method (PCA) but in this case was an analyzed object bitmap (hand-drawn sketches) divided by triangulation network. A new representation of texture in a specified shape we generated either randomly setting of values of principal component or their conscious modification.

We provided contribution in solving of the formal-aesthetic tasks between computer aided styling and decision making methods, by development of presented manipulative sketch generator. The motivation for using this tool should consist in its strength in complex problem solving.

References

[1] HOENIG, Florian. JOHANNES KEPLER UNIVERSITAET,. *Defining Computational Aesthetics*. Linz, 2005, 6 s. Dostupné z: http://www.cg.tuwien.ac.at/courses/CA/material/papers/[Hoenig2005]%20On%20the%20Origins%20of%20the%20Term%20Computational%20Aesthetics.pdf

[2] HUANG, Jingyuan, et.al. DAVID R. CHERITON SCHOOL OF COMPUTER SCIENCE UNIVERSITY OF WATERLOO. *An Evaluation of Shape/Split Grammars for Architecture*. Canada, 2009, 37 s. Dostupné z: http://www.cs.uwaterloo.ca/research/tr/2009/CS-2009-23A.pdf

[3] ORSBORN, Seth, Jonathan CAGAN a Peter BOATWRIGHT. Automating the Creation of Shape Grammar Rules. In: *3rd International Conference on Design Computing and Cognition*. Atlanta, USA: Georgia Institute of Technology, 2008, s. 3-22.

[4] STEFFEN, Dagmar. DEPARTMENT OF ART AND DESIGN HISTORY, Bergische Universität Wuppertal, Germany. *Design semantics of innovation*. 2007, 7 s. Dostupné z: http://www2.uiah.fi/sefun/DSIU_papers/DSIU_Steffen%20_%20Design%20Semantics%20of%20Innovation.pdf

[5] STINY, George a James GIPS. Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture. In: FREIMAN, C.V. *Information Processing 71*. Amsterdam: North-Holland, 1972, 1460–1465.

[6] GIPS, J. a G. STINY. An investigation of algorithmic aesthetics. *Leonardo*. 1975, č. 3, s. 213-220.

[7] AGARWAL, M. a J. CAGAN. A blend of different tastes: the language of coffeemakers. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 1998, č. 25, 205 - 226.

[8] PRATS, M. a C. EARL. Exploration through drawings in the conceptual stage of product design. In: *Design Computing and Cognition*. Eindhoven: Springer, 2006, s. 415-433. ISBN 1402051301.

[9] PRATS, Miguel, Sungwoo LIM, Iestyn JOWERS, Steve W. GARNER a Scott CHASE. Transforming shape in design: observations from studies of sketching. *Design Studies*. 2009, roč. 5, č. 30, s. 503-520. DOI: 10.1016/j.destud.2009.04.002. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X09000295

[10] PRATS, Miguel. THE OPEN UNIVERSITY DEPARTMENT OF DESIGN AND INNOVATION. *Shape Exploration in Product Design*: *Assisting Transformation in Pictorial Representations*. 2007, 226 s. Dostupné z: http://design.open.ac.uk/research/documents/PhDThesisMiquelPratsMay2007.pdf

[11] JOWERS, Iestyn. THE OPEN UNIVERSITY DEPARTMENT OF DESIGN AND INNOVATION. *Computation with Curved Shapes: Towards Freeform Shape Generation in Design*. 2006, 190 s. Dostupné z: http://design.open.ac.uk/research/documents/iestynsthesis.pdf

[12] LIM, Sungwoo, et.al. Shape Exploration in Design: Formalising and Supporting a Transformational Process. *International Journal of Architectural Computing*. 2008, č. 4, s. 415-433. DOI: 10.1260/147807708787523303. Dostupné z: https://pure.strath.ac.uk/portal/files/379566/strathprints013632

[13] ŠKAROUPKA, David a ŠANDERA Čeněk . Automated design of vehicle silhouette using genetic algorithms and statistical analysis. *MECCA*: *Journal of Middle European Construction and Design of Cars*. 2011, č. 3, s. 7. ISSN 1214-0821. DOI: 10.2478/v10138-011-0012-2.

[14] GIANNINI, Franca, Marina MONTI a Gerd PODEHL. Aesthetic-driven tools for industrial design. *Journal of Engineering Design*. 2006, č. 3, 193–215.

[15] PODEHL, Gerd. Terms and Measures for Styling Properties. In: *Proceedings of the 7th International Design Conference*. Dubrovnik: Croatia, 2002, s. 879-886.

[16] COOTES, T.F., et.al. Active appearance models. *IEEE Transactions*: *Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2001, č. 6, 681- 685. ISSN 0162-8828. DOI: 10.1109/34.927467.