



Ústav konstruování a částí strojů

Design lehkého, nízkoemisního městského dopravního prostředku – návrh a konstrukce karoserie

Lightweight, low emission urban vehicle design – body design and construction

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Bc. Martin BARTOŠ

Studijní program: N0716A270001 Dopravní a transportní technika
Studijní obor: Transportní technika
Vedoucí práce: Ing. Král Jiří

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Design lehkého, nízkoemisního městského dopravního prostředku – návrh a konstrukce karoserie“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Král Jiří s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze.....

Martin Bartoš.....

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval. Děkuji mnohokrát. Sám bych titul nezískal. A jsem nesmírně rád, že mě studium naučilo nejen vědomosti, ale i moudrosti, že s přáteli a dobrými společníky se jeden dostane vždy daleko dále než na vlastní pěst.

Děkuji Mamince, Tatínkovi, Dědovi, Babičce, že měli trpělivost a opakovaně se mě snažili vychovat a vést správným směrem.

Děkuji sestřičce za mnohé moudré rady a podporu, kdykoliv bylo třeba.

Děkuji kamarádům a kumpánům, kteří se zasloužili o udržení mé přítelkyni během studií a za získání krásných vzpomínek.

Děkuji své přítelkyni, za podporu a chytré připomínky, které mi ukázaly, že mince má vždy dvě strany.

Děkuji...

ANOTAČNÍ LIST

- Jméno autora: Martin Bartoš
- Název DP: Design lehkého, nízkoemisního městského dopravního prostředku – návrh a konstrukce karoserie
- Anglický název DP: Lightweight, low emission urban vehicle design – body design and construction
- Studijní program: N0716A270001 Dopravní a transportní technika
- Obor studia: Transportní technika
- Ústav: Ústav konstruování a částí strojů
- Vedoucí DP: Ing. Král Jiří
- Konzultant:
- Bibliografické údaje:
- | | |
|-------------|-----|
| Počet stran | 75 |
| Obrázků | 110 |
| Tabulek | 3 |
| Příloh | 3 |
- Klíčová slova: Design, Karoserie, Materiály karoserií, Kompozitní karoserie, CFD analýza
- Keywords: Design, Car body, Materials of car body, Composites car body, CFD analysys
- Anotace: Diplomová práce se zabývá návrhem tvaru karoserie pro nízkoemisní městské vozidlo na základě původní verze vozidla. Byl vybrán vhodný materiál a technologie výroby pro novou karoserie. Byl zpracován koncept deformačních zón, míst pro osvětlení vozidla a spojení karoserie s rámem. Karoserie s rámem byla podrobena CFD analýze.
- Abstrakt: The master thesis deals with the problem of design of a body shape for a low-emission urban vehicle based on the original version of the vehicle. A suitable material and manufacturing technology for the new bodywork was selected. The concept of deformation zones, locations for vehicle lighting and the connection of the body to the frame was developed. The body and frame were subjected to CFD analysis.

OBSAH

A) Úvod.....	1
B) Teoretická část práce.....	3
1.Konstrukce karoserií.....	3
1.1. Základní požadavky na karoserii.....	3
1.2. Dělení karoserií dle vztahu k podvozku.....	4
1.3. Dělení karoserií dle tvaru.....	5
1.4. Výhled řidiče z kabiny.....	5
2.Materiály karoserií.....	7
2.1. Ocel.....	8
2.2. Hliníkové slitiny.....	8
2.3. Titanové slitiny.....	9
2.4. Kompozitní materiály.....	10
2.4.1. Matrice.....	11
2.4.2. Výztuže.....	12
2.4.2.1. Skelné vlákno.....	16
2.4.2.2. Uhlíkové vlákno.....	16
2.4.2.3. Bórové vlákno.....	17
2.4.2.4. Aramidové vlákno.....	18
2.5. Volba materiálu.....	18
3.Technologie výroby kompozitních materiálů.....	20
3.1. Ruční kladení za mokra.....	20
3.2. Stříkání.....	22
3.3. Lisování za studena.....	22
3.4. Lisování pomocí vakua.....	23
3.5. Lisování v autoklávu a vakuové peci.....	24
3.5.1. Prepregy.....	25
3.6. Technologie sendvičových konstrukcí.....	25
3.7. Lisování za tepla.....	26
3.8. Technologie výroby.....	27
C) Analytická část práce.....	29
4.Karoserie Ekona v.1.....	29
4.1. Sken původní karoserie.....	31
4.2. Tvorba referenčního CAD modelu.....	34
5.Karoserie Ekona v.2.....	37
5.1. Úpravy oproti v.1.....	37
5.1.1. Zvětšení kabiny.....	39
5.1.2. Deformační zóny a místa pro přichycení osvětlení... ..	41
5.2. Modelování.....	44
5.3. Servisní otvory.....	55
5.4. Uchycení karoserie na rám.....	57

6.CFD simulace.....	60
7.3D tisk nové karoserie v měřítku 1:5.....	65
8.Závěr.....	66
Seznam symbolů a zkratk	67
Seznam použité literatury.....	68
Seznam obrázků.....	71
Seznam tabulek	74
Seznam příloh.....	75

A) ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývala designem nízkoemisního městského dopravního prostředku, konkrétně návrhem tvaru karoserie. Původní návrh vycházel z vozidla Ekon, které navrhoval a stavěl Ing. Král společně se svým otcem. Hlavní myšlenkou původního návrhu byla filozofie spotřebitelské skromnosti.

Významnou motivací této práce byla také zhoršující se situace na silnicích ve velkých městech. Kupříkladu průměrná obsazenost aut v Praze byla v roce 2022 1,3 osoby na auto, z toho plyne i veliká ekologická zátěž prostředí vztažená na 1 osobu.

Jedním z mnoha řešení tohoto problému bylo vytvoření jednomístného lehkého vozidla. Taková už v této době existovala, ale jejich rozšířenost nebyla veliká. Možné důvody byly: vysoká cena, neestetický vzhled, malý úložný prostor, nebo se jedná o vozy sportovního typu, které nejsou navrhovány pro nízkoemisní městský provoz.

Původní Ekon splňoval veškeré požadavky dříve zmíněné, bohužel byl konstruovaný pouze pro jízdu na závodním okruhu a do malé kabiny se vešel pouze řidič podprůměrného vzrůstu.

Ekon v.2. byl navrhován a konstruován pro průměrně vzrostlého člověka, s tím bylo spjato i respektování příslušných norem a vyhlášek (Především vyhlášky o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích v aktuálním znění). Cílem bylo, aby Ekon v.2 splnil veškeré požadavky, které byly potřebné k prohlášení vozidla za způsobilé pro provoz na pozemní komunikaci.

Tato diplomová práce byla zaměřena na návrh tvaru karoserie pro Ekona v.2. Výroba samotná zde řešena nebyla, pouze se připravily podklady pro ni (materiál, technologie výroby, model pro tvorbu formy)

Při návrhu se vycházelo z původního tvaru karoserie. Zachovala se převážná část spodní poloviny karoserie. U vrchní poloviny došlo ke zvětšení světlé výšky a celkové šířky karoserie, aby se do kabiny vešel průměrně vzrostlý člověk a na bocích vznikly deformační zóny.

Krom návrhu nového tvaru bylo řešeno i uchycení karoserie na rám, v tomto úseku práce bylo spolupracováno s kolegou Bc. Martinem Mazurou, který navrhoval rámovou konstrukci pro Ekona v.2. Uchycení karoserie na rám bylo třeba navrhnout tak, aby spoj byl dostatečně pevný a vydržel provozní zatížení po celý provozní cyklus vozidla.

Součástí návrhu karoserie byly i servisní otvory a jejich umístění, včetně vstupu pro řidiče.

Výsledný návrh byl podroben CFD analýze (*Computational Fluid Dynamics*) aby se zjistilo, jestli je z hlediska aerodynamiky funkční.



Obr. 1. Boční pohled na Ekona v.1.



Obr. 2. Horní pohled na Ekona v.1.



Obr. 3. Přední pohled na Ekona v.1.

B) TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE

Teoretická rešeršní část byla nejprve zaměřena na řešení karoserií lehkých dopravních prostředků, včetně designu (celkový tvar s přihlédnutím k celkové hmotnosti, tuhost a uchycení na rám) a jejich případného uplatnění v této práci.

Navazovaly materiály, ze kterých by bylo možné karoserii vyrobit a diskuse jejich kladů a záporů v kontextu karoserie Ekona v.2.

Byla zakončena technologií výroby vybraného typu materiálu pro konstrukci karoserie Ekona v.2.

Část teoretických podkladů byla čerpána z prací formule student (ČVUT i VUT).

Na základě těchto podkladů bylo vybráno vhodné řešení dané problematiky. Hlavní faktory, které ovlivnili volbu materiálu, celkový design a technologii výroby, byly: hmotnost, náročnost výroby a cena.

Cílem bylo navrhnout koncept vozidla, který bude realizovatelný v podmínkách fakulty strojní ČVUT a aby posléze byl schopen vyhovět všem podmínkám pro uvedení do provozu na pozemní komunikaci.

1. Konstrukce karoserií

Karoserie je tou částí vozidla, která ohraničuje prostory pro použití vozidla dle jeho účelu. Chrání před vnějšími vlivy posádku, náklad i jednotlivé části vozidla, včetně poháněcího a převodového ústrojí. Musí splňovat vysoké požadavky na bezpečnost (deformační zóny), funkčnost (výhled řidiče za kabiny, umístění světlometů) a estetičnost. [1]

1.1. Základní požadavky na karoserii

Základní požadovanými vlastnostmi jsou pevnost a tuhost, vysoká bezpečnost, těsnost a životnost konstrukce. Karoserie musí být schopná snášet různé druhy namáhání, a to po celou dobu životnosti vozidla, bez vzniku poruchy, a při případné havárii dostatečně ochránit posádku.

Z energetického hlediska je ideální, když má karoserie co nejnižší hmotnost a minimální součinitel odporu vzduchu (C_x). Tyto faktory přímo ovlivní spotřebu pohonných hmot.

Co se uživatelské obsluhy vozidla týče, dobře navržená karoserie by měla umožňovat dostatečný výhled z kabiny řidiče a

v případě potřeby umožňovat dobrý přístup k užitkovým prostorům vozidla, včetně k motoru a orgánům strojového celku.

Karoserie též zprostředkovává ochranu před vnějšími vlivy. Musí mít tedy dostatečnou těsnost, která bude zabraňovat proniknutí vlhkosti a prachu do kabiny a strojních prostor. Zároveň se ale dbá na dostatečné odvětrávání kabiny a přívod čerstvého vzduchu.

Dalšími důležitými vlastnostmi, které karoserie musí mít jsou dostatečná zvuková izolace, pohlcování vibrací a tepelná těsnost. [1]

1.2. Dělení karoserií dle vztahu k podvozků

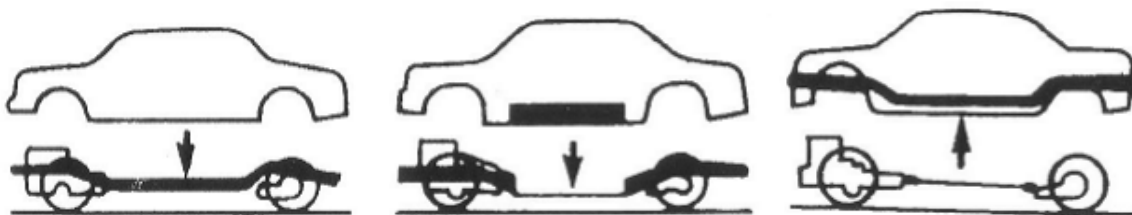
Toto dělení je adekvátní vzhledem k tomu, že jedním z problémů, kterým se tato diplomová práce bude zabývat, je spojení rámu a karoserie (ve spolupráci s kolegou Mazurou M.).

Toto rozdělení člení karoserie na podvozkové, polonosné a samonosné.

Podvozková je upevněna na rám (strojový spodek vozidla), přičemž nemá nosnou funkci. I bez podvozkové karoserie je vozidlo schopno jízdy.

Polonosná karoserie se společně s rámem nosnou část vozidla. Rám sám o sobě není schopen samostatné jízdy a je trvale spojen s karoserií. Tento typ konstrukce je lehčí než karoserie podvozková.

Samonosná karoserie kompletně nahradí rám a zcela přebírá nosnou funkci. Poháněcí soustava a části podvozku jsou upevněny přímo na ni. Je nejlehčí ze všech tří variant a při jejím použití dosahuje výsledná konstrukce vysoké pevnosti a tuhosti. [1]



Obr. 4. (zleva) Podvozková, polonosná a samonosná karoserie [1]

Ideálním případem pro Ekona v.2. by byla samonosná karoserie, avšak složitost a komplexnost návrhu takové karoserie přesahuje rozsah zaměření této práce. Proto byla zvolena karoserie podvozková, která byla i u Ekona v.1. a její návrh a konstrukce budou snadno realizovatelné.

1.3. Dělení karoserií dle tvaru

Na volbě tvaru karoserie závisí výsledný odpor vzduchu, a tedy zákonitě i spotřeba paliva. Mezi základní typy náleží karoserie blatníková, pontonová, kapotová, polokapotová, bezkapotová a proudnicová.

Neaerodynamičtější je karoserie proudnicová. Je řešena tak, aby výsledný součinitel vzduchu (C_x) byl co nejmenší. U nejlépe tvarovaných karoserií (proudnicových) komerčně vyráběných aut nabývá C_x hodnot 0,35 (viz Obr. 4.). [1]



Obr. 5. (zleva) Blatníková, pontonová a proudnicová karoserie [1]

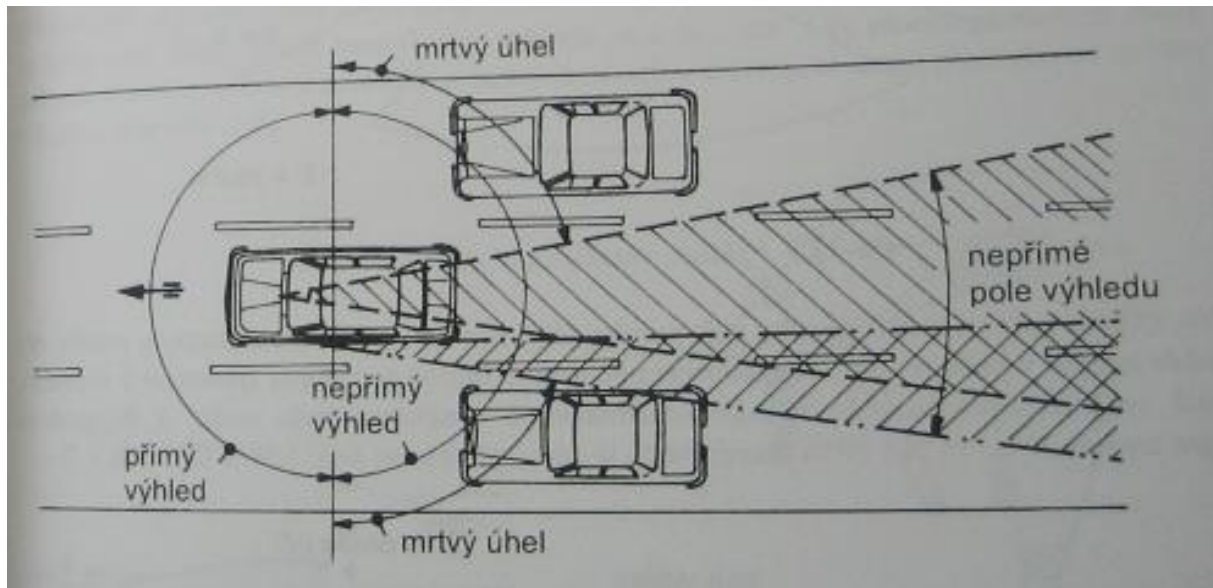
Tvar karoserie Ekona v.2. vycházel opět z jeho předchůdce, přičemž tvar původní kabiny byl velmi podobný tvaru kabiny ultralightového letounu. (viz Obr. 1., Obr. 2., Obr. 3.). U tvarování bylo především dbáno na dobré aerodynamické vlastnosti a aby nová karoserie vyvozovala co nejmenší odpor vzduchu.

1.4. Výhled řidiče z kabiny

Nejdůležitějším údajem při řízení motorového vozidla je optický vjem. Tuto problematiku lze stručně shrnout: vidět a být viděn, neoslňovat a nebýt oslňován. Řidič musí mít dostatečně dobrý přehled o dění na pozemní komunikaci, aby byl schopen bezpečně řídit vozidlo a byl schopen včas reagovat na podněty ovlivňující řízení.

Při návrhu tvaru karoserie je třeba už od začátku počítat s tím, kde budou okna, zpětná zrcátka a zakomponovat tyto faktory do návrhu nové karoserie.

Při návrhu výhledu je třeba uvažovat tyto oblasti: přímý výhled, nepřímý výhled dozadu vnitřním a vnějším zrcátkem a mrtvý úhel. Přičemž je snaha správným návrhem co nejvíce zmenšit mrtvý úhel (viz Obr. 6.). [2]



Obr. 6. Oblasti výhledu z kabiny [2]

2. Materiály karoserií

Materiály používané při výrobě dopravních prostředků pokrývají široké spektrum, od nízkouhlíkových ocelí, lehkých hliníkových a titanových slitin, až po kompozity.

Jedním z předních cílů vývoje nových materiálů je snížení hmotnosti. Důvodem je požadavek na ekonomičtější spotřebu paliva a s tím spojené snížení znečištění prostředí.

Hlavními faktory ovlivňujícími spotřebu jsou: rychlost jízdy, účinnost převodovky, účinnost motoru, typ paliva, jízdní odpory (valivé, vzduchu, stoupání, zrychlení) a v neposlední řadě i napájení příslušenství vozidla (světla, klimatizace a rádio).

Všechny zmíněné jízdní odpory, až na odpor vzduchu, jsou přímo úměrné hmotnosti vozidla. Tudíž snížení hmotnosti vozidla, za užití lehčích materiálů, může způsobit výrazný pokles jízdních odporů a následně i zlepšení spotřeby paliva.

Studie ukázaly, že snížení hmotnosti vozidla o 10 %, může vést až k 8% zlepšení spotřeby.

Snížení hmotnosti vozidla má i další benefity, kupříkladu energie potřebná k akceleraci a deceleraci se snižuje. Z toho vyplývá možnost volby kompaktnějšího motoru, převodovky a brzdného systému.

Na druhou stranu, snížení hmotnosti může vést ke zhoršení jízdního komfortu a bezpečnosti. Tyto parametry však lze ovlivnit designem a správnou volbou materiálu karoserie.

Největší potenciál k snížení hmotnosti má rám a karoserie. Ty spolu tvoří až 60 % celkové hmotnosti vozidla.[3]

Nyní zde budou zmíněny materiály použitelné na výrobu karoserií a budou rozebrány aspekty pro a proti jejich použití při výrobě karoserie Ekona v.2.

2.1. Ocel

Největšími přednostmi ocele oproti ostatním materiálům jsou nízká cena a vysoký modul pružnosti (207 GPa) a výborná tvárnost.

Ocel se jako materiál karoserií tohoto typu vozidla však příliš nehodila. I přes všechny své výhody byla ocel s hustotou $7\,870 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ příliš těžkým materiálem pro použití v této aplikaci. [3] [4]



Obr. 7. Ocelová karoserie Lancia Lambda [5]

2.2. Hliníkové slitiny

V porovnání s ocelí jsou hliníkové slitiny mnohem lehčí (hustota $2\,700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a dokážou pojmout více deformační energie (vztaženo k jednotce váhy).

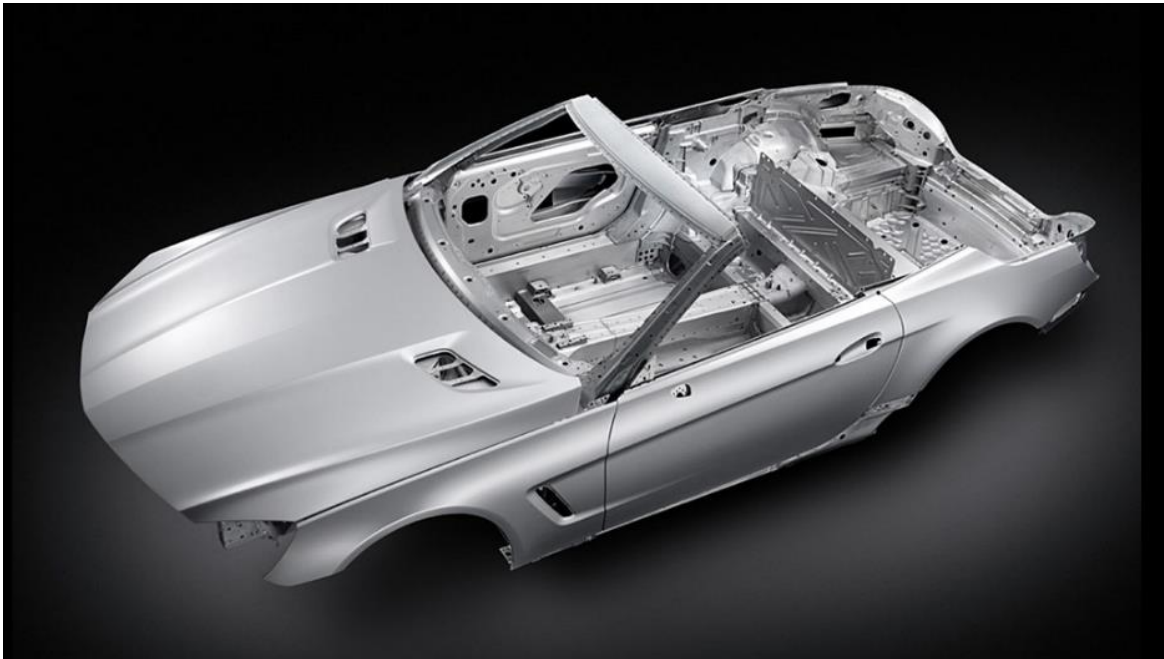
Jak tvářené, tak lité hliníkové slitiny nacházejí uplatnění v automobilovém průmyslu. Od sacích potrubí motorů, přes skříně převodovek, bloky motorů až po hlavy válců.

Modul pružnosti hliníkových slitin se pohybuje níže než u ocelí, a to okolo hodnoty 70 GPa . To je však vyváženo nízkou hmotností. Při nahrazení ocelového rámu vozidla hliníkovým, při zachování stejných mechanických vlastností, dojde k cca 50 % úbytku váhy.

Co se karoserií týče, jsou hliníkové slitiny hojně využívány, především v kombinaci s uhlíkem a hořčíkem.

Avšak nelze nezmínit vysokou cenu hliníkových materiálů, která je až 4krát vyšší než u oceli. [3]

Hliníkové slitiny nebyly vybrány pro výrobu karoserie Ekona v.2. především kvůli své ceně.



Obr. 8. Celohliníkové tělo a karoserie Mercedesu kabriolet SL [6]

2.3. Titanové slitiny

Výhody titanových slitin spočívají především v jejich nízké hustotě (ergo nízké hmotnosti), vysokému poměru pevnosti ku hustotě, excelentní korozivzdornosti a schopnosti udržet si stálou pevnost i při zvýšených teplotách (platí do 500 °C)

Hustota titanu je $4\,430\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, což je podstatně menší než hustota oceli. Modul pevnosti je 114 GPa , což lehce přesahuje poloviční hodnotu modulu pružnosti oceli.

Největší nevýhodou, stojící v cestě při použití titanu, je jeho cena. Při porovnání s hliníkem může být až o 2 řády dražší.

I když ho jeho vlastnosti silně předurčovaly pro konstrukci karoserie pro Ekona v.2, tak jeho cena a náročnost vystávající při práci s ním (obrábění, svařování, tváření), činí tuto variantu naprosto nerealizovatelnou. [3]



Obr. 9. Titanová karoseria Ikon Vulcan [7]

2.4. Kompozitní materiály

Přední výhodou kompozitních materiálů oproti dříve zmíněným materiálům je jejich váha a pevnost. Pohybují se na čtvrtinové váze ve srovnání s ocelí, avšak například kompozit s matricí z epoxidové pryskyřice a jednosměrně orientovanými karbonovými vlákny (viz 2.4.1. a 2.4.2.) má ve směru orientace vláken hodnotu modulu pružnosti 207 *GPa*, což je srovnatelné s ocelí.

Nutno říct, že kompozitní materiály jsou silně anizotropní tzn. pokud je kompozitní materiál zatěžován v jiném směru, než bylo uvažováno při návrhovém výpočtu, konkrétně v tomto ukázkovém příkladu příčně na vlákna výztuže, je jeho modul pružnosti pouze 14 *GPa*, což je o 93,3 % méně než ve směru podélném vláken. Na to je třeba pamatovat při návrhu a nepřipustit zatížení kompozitního materiálu v nesprávném směru. [3]

Technologie nutná při jejich výrobě je nenáročná, pokud se nejedná o speciální případy (viz 3).

Kompozitní materiály se nejlépe přibližovali zadaným kritériím a byly vybrány pro výrobu karoserie Ekona v.2. Nyní zde budou detailněji popsány kompozitní materiály, jejich typy, vlastnosti a technologie výroby.



Obr. 10. Uhlíkový kompozitní monokok formule FS.13 [8]

Kompozitní materiály jsou tvořeny dvěma či více složkami (fázemi), z nichž každá plní odlišnou funkci a má jiné materiálové vlastnosti. Když se tyto složky spojí dohromady, vzniká takzvaný synergický efekt a výsledný materiál má vlastnosti lepší než jednotlivé fáze samostatně. Fáze se dělí na matrice a výztuže. [9]

2.4.1. Matrice

Jedná se o spojitou fázi, která zajišťuje celistvost kompozitního tělesa (spojení výztužných fází), včetně ochrany před vnějšími vlivy. Udává též tvar výsledného výrobku a pomáhá roznést zatížení na jednotlivé výztužné fáze i mezi nimi. V automobilovém průmyslu se nejvíce používají matrice polymerní. Ty jsou výrazně poddajnější než vlákna, pevnost v tahu polymerních matic je až o dva řády nižší než u výztužné fáze. Polymerní matrice se dělí na dvě základní skupiny, reaktoplasty (termosety) a termoplasty.

Reaktoplasty se tepelně vytvrzují k dosažení požadovaných vlastností. Jedná se o chemickou reakci, při které dochází k nevratným změnám v materiálu. Výhodou je, že při opětovném zahřátí už nedochází k chemickým změnám a materiál zůstává nadále v pevné fázi. Díky tomu jsou matrice z reaktoplastů více odolné proti creepu a tepelnému namáhání. Nevýhodou je, že se musí speciálně uchovávat, aby nedocházelo k jejich degradaci.

Používají se v konstrukčních aplikacích vláknových kompozitů (viz 2.4.2.)

Termoplasty při zahřátí nad kritickou teplotu měknou a jsou tvarovatelné, avšak nedochází k chemické reakci a proces natavení a tuhnutí je teoreticky nekonečně opakovatelný. Tudíž při opětovném zahřátí nad kritickou teplotu dochází k tečení a měknutí (snižuje se modul pružnosti a konstrukce ztrácí svůj původní tvar). Další nevýhodou je jejich vysoká viskozita (o 2-4 řády větší než u reaktoplastů). To může způsobovat defekty jako tvorba bublin nebo nesmočení vláken výztuže. Tomu se dá zabránit použitím předimpregnovaného vlákna, tím ovšem naroste i cena použitého materiálu.

Termoplastické matrice však disponují skvělou tažností a dají se uchovávat v nesespecifických podmínkách neomezeně dlouho.

Obecné požadavky na matrici jsou dobrá adheze (přilnavost) k výztužné fázi a dobrá tažnost (ϵ).

Nejpoužívanější matrice jsou za reaktoplasty nenasycené polyestery (UP), vinylestery (VE) a epoxidy (EP) a za termoplasty polypropyleny (PP) a polyamidy (PA). [10, 11]

Tabulka 1. Mechanické vlastnosti vybraných reaktoplastů [11]

	ρ	E	R_m	ϵ
	10^3 kg.m^{-3}	GPa	MPa	%
Epoxidové pryskyřice	1,1-1,4	2,1-6,0	25-90	1-10
Polyestery	1,1-1,5	1,3-4,5	45-85	1-5
Vinylestery	1,1-1,2	2,9-4,2	30-120	1-7

Tabulka 2. Mechanické vlastnosti vybraných termoplastů [11]

	ρ	E	R_m	ϵ
	10^3 kg.m^{-3}	GPa	MPa	%
Polypropyleny	0,9	1,1-1,5	28-41	10-700
Polyamidy	1,42	2,4-2,8	76-83	60-300

ρ – hustota, E – modul pružnosti, R_m – mez pevnosti, ϵ – tažnost

2.4.2. Výztuže

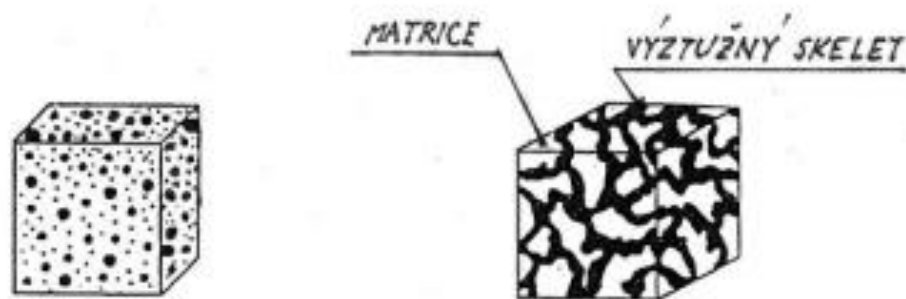
Je to tvrdší, tužší, pevnější a nespojitá fáze kompozitních materiálů. Vytváří nosnou strukturu, která zachycuje zejména tahové napětí. Typ a orientace výztuže udává mechanické vlastnosti výsledného kompozitu (celková pevnost, houževnatost). Proto bude

vhodné rozdělit zkoumané kompozitní materiály dle geometrie a orientace výztužné fáze.

Toto dělení výztuže rozřazuje kompozitní materiály na částicové, skeletové a vláknové.

Částicové výztuže mohou být tvaru koule, krychle, kvádrů etc. Jsou v matrici dispergovány náhodně nebo s přednostní orientací. Podílí se též na přenosu namáhání, stejně jako vláknové výztuže, ale v podstatně menším měřítku. Jejich hlavní funkcí je omezování rozvoje plastických deformací v kompozitu, zvyšují tím mez kluzu, mez pevnosti a tvrdost. Ovlivňují též elektrickou a tepelnou vodivost výsledného kompozitu.

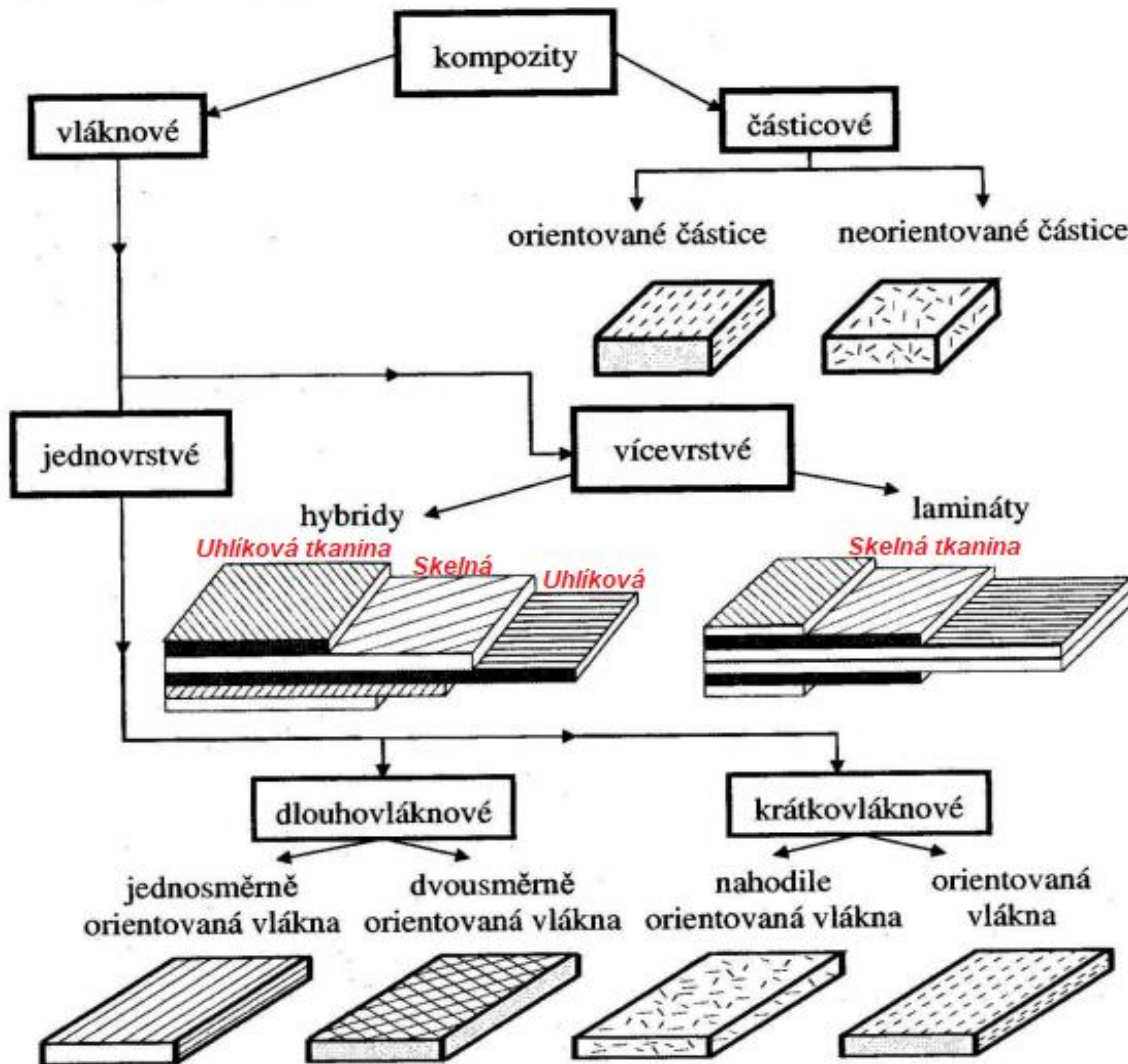
Skeletové kompozity jsou tvořeny pórovitou matricí vyplněnou souvislým nosným skeletem. [12]



Obr. 11. Částicový a skeletový kompozitní materiál [11]

Vláknové výztuže jsou útvary, které mají délkový rozměr násobně větší než průřezový. Pevnost vlákna je vždy větší než pevnost stejného materiálu v kompaktní formě. Je to kvůli malému příčnému průřezu vlákna. Tenké vlákno (průměr 10^0 až $10^2 \mu m$), mající oproti stejně dlouhým vláknům větších průměrů podstatně menší povrch i obsah, neumožní vznik velkých vrozených vad a povrchových poruch. Defekty existují pouze v podobě submikroskopických až mikroskopických trhlin a dutin. Ty jsou přednostně orientovány v podélném směru vlákna.

Vlákna se technologicky vyrábějí ve svazcích, kde je rozdělení těchto trhlin a dutin náhodné. Následkem toho vznikají lokální koncentrace napětí a některé vlákna ve svazku prasknou již při počátku zatěžování. Z toho důvodu se uvažuje průměrná pevnost vláken ve svazku menší, než je pevnost jednoho vlákna. [11, 12]



Obr. 12. Dělení vláknových kompozitů dle typu a orientace vláken [12]

Nejvyužívanější jsou vícevrstevné kompozity, skládající se z více různě orientovaných vrstev jednosměrných vláknových kompozitů. Pokud jsou materiály jednotlivých vrstev stejné, jedná se o lamináty, pokud jsou vrstvy z rozdílných typů vláken jedná se o hybridy. [12, 13]

Tabulka 3. Mechanické vlastnosti vybraných vláken [11]

	ρ	E	R _m	ϵ
	10 ³ kgm ⁻³	GPa	MPa	%
Skelné vlákno-E (vysoce tuhé)	2,54	72,4	3500	2,5
Skelné vlákno-S (vysoce pevné)	2,48	85,5	4600	2,5
Uhlíkové vlákno-E (vysoce tuhé)	1,9	390	2100	0,7
Uhlíkové vlákno-S (vysoce pevné)	1,9	240	2500	0,7
Bórové vlákno	2,63	385	2800	0,8
Aramidové vlákno	1,5	130	2800	2,5

Jednotlivá vlákna jsou spřádána do pramenů a ty pak tkány do různých textilních vazeb. Nebo lze alternativně jednotlivé prameny sdružovat do rovingu. Jedná se o paralelně jdoucí prameny navíjené bez zákrutu. Či lze použít vlákna samostatně tzv. filamenty.

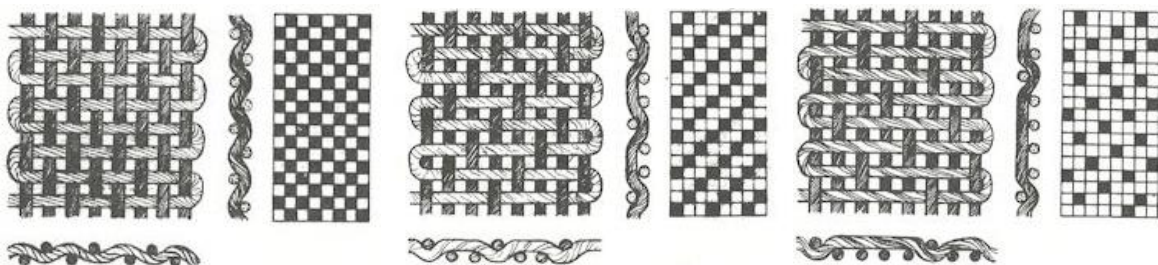
Volba typu textilní vazby má vliv na výsledné vlastnosti kompozitu, jmenovitě pevnost a tuhost. Vazba je též vybírána s ohledem na tvarovou členitost formy, jelikož některé vazby jsou poddajnější a jiné tužší. Základní tři typy vazeb jsou plátnová, keprová a atlasová.

Plátnová vazba vláken je nejpevnější a také nejméně poddajná při tvarování. Je to nejběžněji používaná textilní vazba.

Keprová vazba vláken umožňuje lepší tvarování tkanin než plátnová, ovšem vlákna musí mít měkkou povrchovou úpravu.

Atlasová je nejméně pevnou textilní vazbou vláken. Povrch tkaniny je hladký a lesklý s dlouhými ploškami. Avšak umožňuje dosáhnout velkého objemového podílu vláken ve výsledné vrstvě kompozitu a téměř se nevlíní. Je dobře tvarovatelná (splývá) a zároveň díky velkému podílu vláken umožňuje získání pevnějšího a tužšího výsledného kompozitu než za užití předchozích vazeb.

Dalším druhem kompozitních výztuží s přednostně orientovanými vlákny jsou pleteniny. Pletením, resp. háčkováním lze dosáhnout i prostorové vazby vláken. [13]



Obr. 13. Vazby tkanin (zleva): Pláno, Kepr, Atlas [14]

Kromě tkanin a pletenin existují i netkané textilie, tzv. rohože. Jsou tvořeny delšími kontinuálními vlákny náhodné orientace, nebo kratšími sekanými prameny. Sekaná vlákna jsou pro udržení konzistence spojena pojivy, která jsou rozpustná v matričních materiálech. U rohoží z dlouhých vláken není třeba vzájemnou polohu vláken zajišťovat pojivem, protože jednotlivá vlákna jsou do sebe zamotána. Rohože jsou dobře tvarovatelné a lze je použít i na tvarově složitější díly, avšak nedosahují takových pevností jako tkaniny a pleteniny. [13]



Obr. 14. Rohož z kontinuálních skelných vláken [15]

2.4.2.1. Skelné vlákno

Jedná se o nejběžnější materiál na poli kompozitních výztuží. Vysoká pevnost, odolnost proti působení vnějších vlivů, skvělá únavová odolnost a nízká cena, to vše jsou benefity, kterými bude výsledný kompozit disponovat, pokud se použije skelné vlákno jako výztužná fáze.

Používá se ve dvou základních provedeních, S (vysoce pevné vlákno) a E (vysoce tuhé vlákno) a využití nachází většinou v kompozitech s epoxidovou matricí. [11, 13]



Obr. 15. Rolet tkanin a rovingů ze skelných vláken [16]

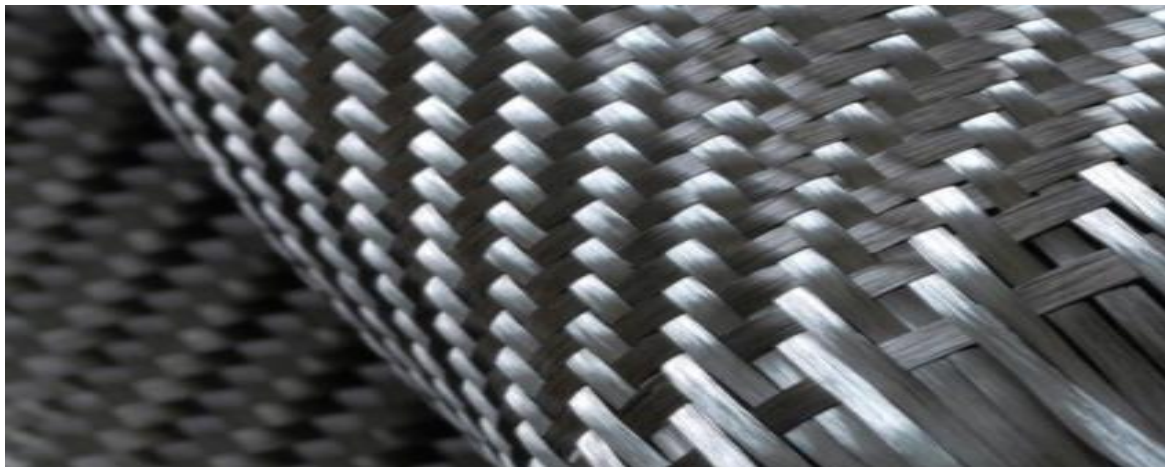
2.4.2.2. Uhlíkové vlákno

Je silně anizotropní a pokud se zatěhuje ve směru kolmém na osu vlákna, tak může modul pružnosti klesnout až na úroveň polykrystalického grafitu (10 GPa).

Oproti skelnému vláknu je křehčí a kvůli tomu se musí vyrábět v tenkých pramenech. Menší průměry vláken totiž lze lépe ohýbat a umožní se tím výroba tkanin a pletenin.

Nejsignifikantnějším kladem uhlíkových vláken je jejich velmi vysoká únavová životnost. Při zatěžování ve stejných podmínkách, kdy by skelné vlákno vydrželo 10^7 cyklu, uhlíkové vlákno vydrží 10^8 cyklu. Mají velmi nízkou hmotnost a vysokou pevnost ve směru podélném na vlákna. Dokážou též skvěle absorbovat rázy.

Stejně jako skelné vlákno se vyrábí ve dvou základních variantách E a S. [11, 13, 17]

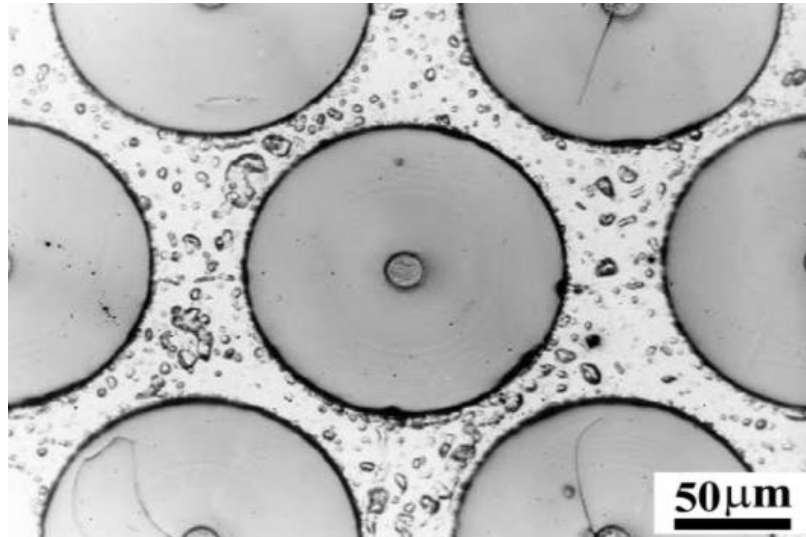


Obr. 16. Uhlíkový tkanina [18]

2.4.2.3. Bórové vlákno

Má dobrou adhesi k matricím. Kvůli vysoké hustotě disponuje nízkou měrnou pevností. Největší nevýhoda je v neohebnosti bórových vláken, způsobena jejich velkým průměrem. Kvůli tomu je nelze tkát ani plést.

Využití nachází v plošných konstrukcích, kde je zapotřebí vysoká tuhost a není třeba vlákna ohýbat. [13]



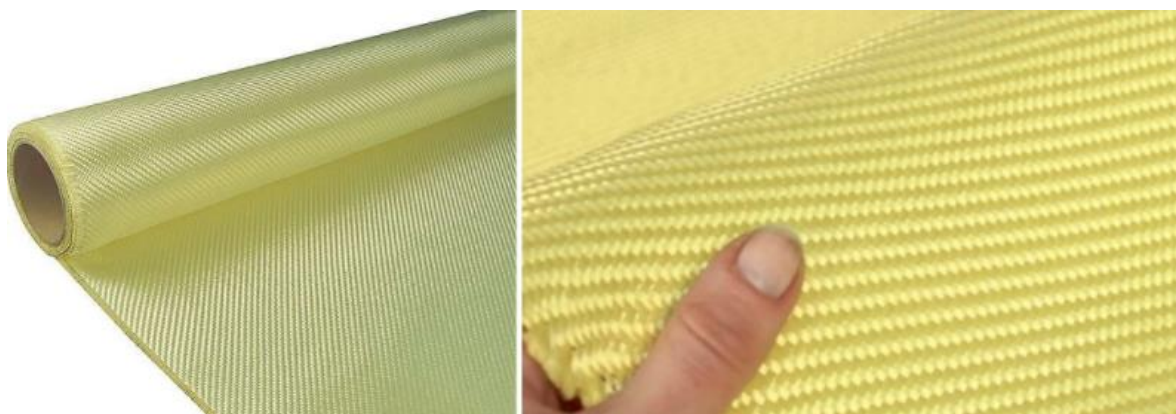
Obr. 17. Bórové vlákno v hliníkové matrici [19]

2.4.2.4. Aramidové vlákno

Jedná se o aromatický polyamid (organický polymer) s vysokou pevností a malé měrné hmotnosti. Přesné složení je chráněno obchodním tajemstvím. Známe je i pod obchodním označením kevlar, či Twaron.

Vyznačuje se velkou odolností proti abrazi a schopností se plasticky deformovat, při působení síly kolmo na osu vlákna (využíváno u neprůstřelných vest).

Nevýhodou je jeho vysoká cena a hydroskopičnost, kvůli té musí být aramidová vlákna před impregnací vysušena. [11, 13]



Obr. 18. Aramidová tkanina [20]

2.5. Volba materiálu

Pro výrobu karoserie pro Ekona v.2. byla zvolena epoxidová matrice v kombinaci se skelným vláknem. Jedná se o kompozit běžně

používaný v mnoha aplikacích a je tedy velmi snadné pořídit příslušný materiál v přijatelné cenové relaci což bude klíčové při výrobě. Tato kombinace též zajistí dobré propojení jednotlivých fází, jelikož epoxidová matrice má dobrou přilnavost ke skelným vláknům.

Není třeba používat pevnější a odolnější materiály, jelikož karoserie samotná nebude příliš namáhaná. To také umožní použití pouze 2-3 vrstev výztuže s dlouhými orientovanými vlákny s plátňovou vazbou. To též zajistí udržení tvaru karoserie, při zachování nízké hmotnosti.

Takto zvolený kompozitní materiál zaručí i požadovanou těsnost karoserie a zabrání působení vnějších vlivů na strojový vnitřek vozidla a kokpit řidiče.

3. Technologie výroby kompozitních materiálů

Volba vhodné technologie výroby ovlivňuje výsledné mechanické vlastnosti dílu a má majoritní podíl na celkové ceně.

Určující parametry pro výběr správné technologie jsou: sériovost výroby, velikost a tvarová variabilita výrobku, potřebná kvalita povrchu, požadované mechanické vlastnosti (především pevnost a houževnatost) a náklady na výrobu. Nutné je pamatovat na správné spojení výztuže a matrice, pokud se zvolí špatná technologie, mohou v kompozitu vznikat defekty jako nesmočená vlákna a vzduchové bublinky. Ty mohou výrazně narušit homogenitu výsledného materiálu a mohou vést ke kolapsu celé konstrukce.

Při výrobě karoserie pro Ekona v.2. bylo nutné, aby zvolená technologie byla cenově přijatelná a proveditelná v prostorách FS-ČVUT (viz B).

3.1. Ruční kladení za mokra

Jedná se o základní způsob výroby kompozitu. Tato technologie je velmi nenáročná, co se týče požadovaného vybavení a ceny. Lze vyrobit i rozměrné díly složitého tvaru při zachování přijatelné kvality. Touto technologií byla vyráběna karoserie původního Ekona v.1.

Nevýhodou je časová náročnost technologie a nehomogenita výsledné struktury.

Základem této technologie je forma, může být jednodílná nebo vícedílná (viz Obr. 19.)



Obr. 19. Dvoudílná forma karoserie původního Ekona (Horní, spodní)

Forma vychází z návrhového modelu dílu. U nízkosériové a prototypové výroby se forma vyrábí nejčastěji ze dřeva, různých pěn, tmelů, polystyrenu, či laminátů samotných. Strana formy, která je v kontaktu s výztuží a matricí, se musí speciálně povrchově upravit,

kvůli zajištění požadované kvality povrchu ale hlavně snadnému vyjmutí/sejmutí finálního výrobku. Povrchová úprava je zajištěna gelcoatingem (povlakováním).

Pokud bude vytvrzování probíhat při zvýšených teplotách, je třeba i formu samotnou stabilizovat na požadovanou teplotu.

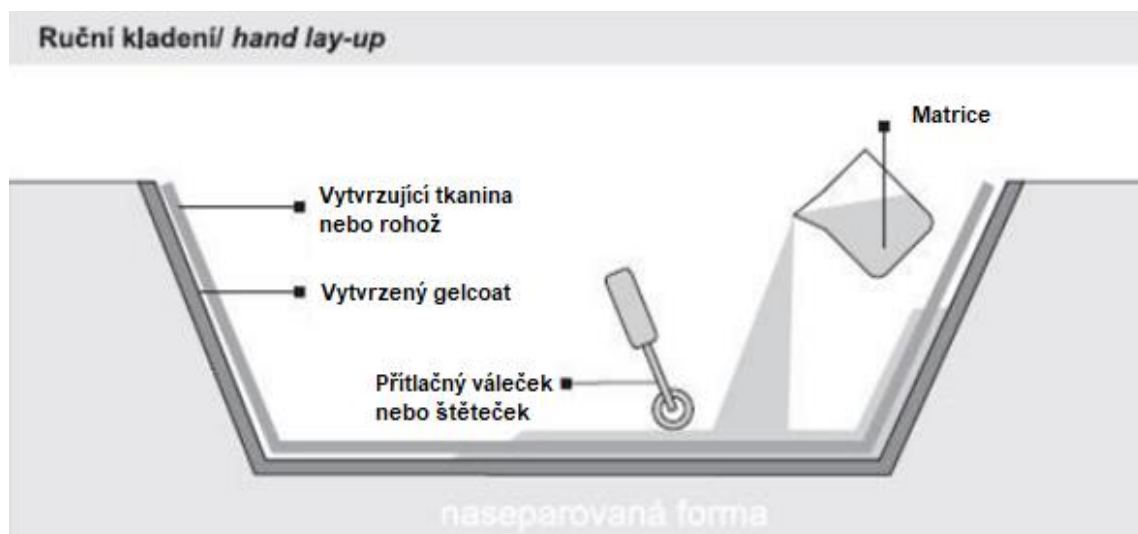
U vícedílných forem se musí dělicí roviny osadit čepy pro přesné usazení jednotlivých dílů.

A pokud při vytvrzovacím procesu dochází k velkým pnutím v materiálu, musí být i forma dostatečně robustní, aby těmto pnutím odolala a zachovala tak tvar výsledného výrobku.

Připravená forma se vyloží jednou vrstvou tkaniny nebo rohože a pak se prosytí příslušnou matricí pomocí štětečku či válečku. Mezi kladením jednotlivých vrstev musí být příslušný časový odstup pro zajištění patřičného vytvrzení vrstvy. Po ztvrdnutí předchozí vrstvy se pokračuje kladením vrstvy další. Vkládaný materiál kopíruje geometrii formy a tím se dosahuje požadovaného tvaru finální součásti.

Vytvrzování laminátu u ručního kladení probíhá ve většině případů za pokojové teploty a bez aplikace tlaku, avšak teplota může být zvýšena na doporučení výrobce matrice. Výjimkou pro použití tlaku jsou sendvičové konstrukce, které jsou tvořeny zabudováním lehkého jádra (pěna, voština, balza) do vrstev laminátu. U těch je třeba vytvořit přítlak tkaniny na jádro pro zajištění správného spojení jednotlivých fází.

Při ručním kladení se nejčastěji používají výztuže ze skelných, uhlíkových, nebo aramidových vláken. Jsou většinou ve formě tkanin a rohoží. Matrice používané v tomto případě jsou polyesterové nebo epoxidové pryskyřice. [21]



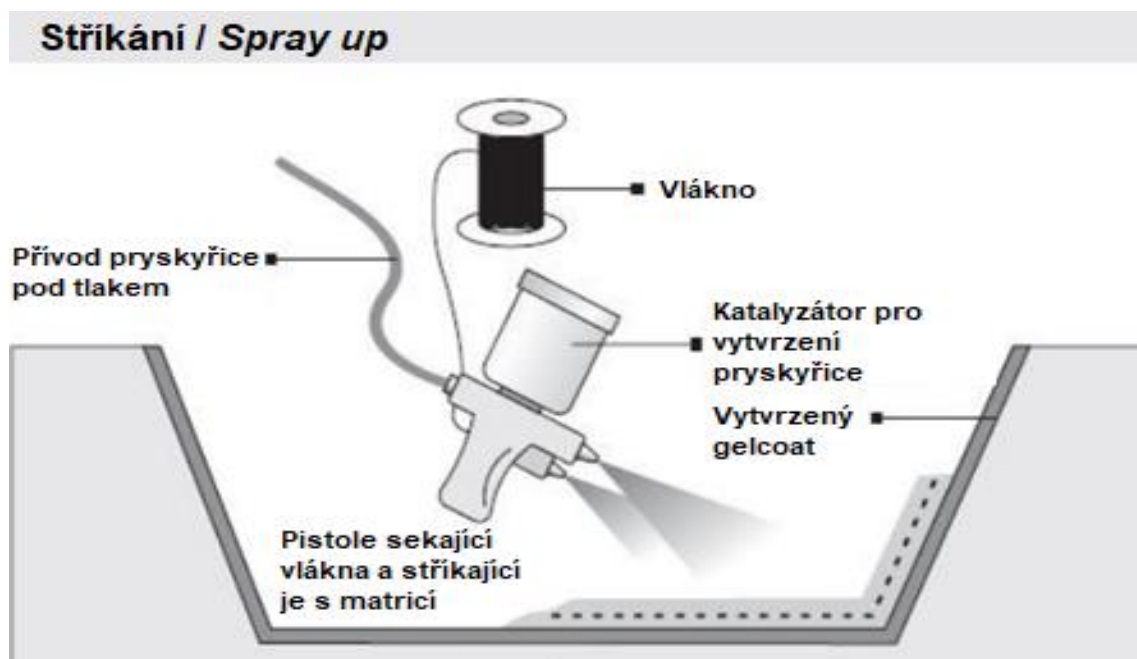
Obr. 20. Ruční kladení kompozitu do negativní formy [21]

3.2. Stříkání

Technologie stříkání je vhodná pro výrobu středních až velkých dílů, které nejsou příliš tvarově složité. Optimální využití nachází ve vysokosériových výroбах, díky tomu, že lze nanášet velké množství materiálu najednou a celý proces lze automatizovat.

Princip spočívá v pneumatickém nanášení sekaných pramenů výtzuže a současně pryskyřice opět do formy (viz 3.1.). Nanáší se speciální stříkací pistolí. Lze ručně i strojně.

Nevýhodou je vysoké množství odpadního materiálu a velké vstupní náklady na požadované strojní zařízení. [21]



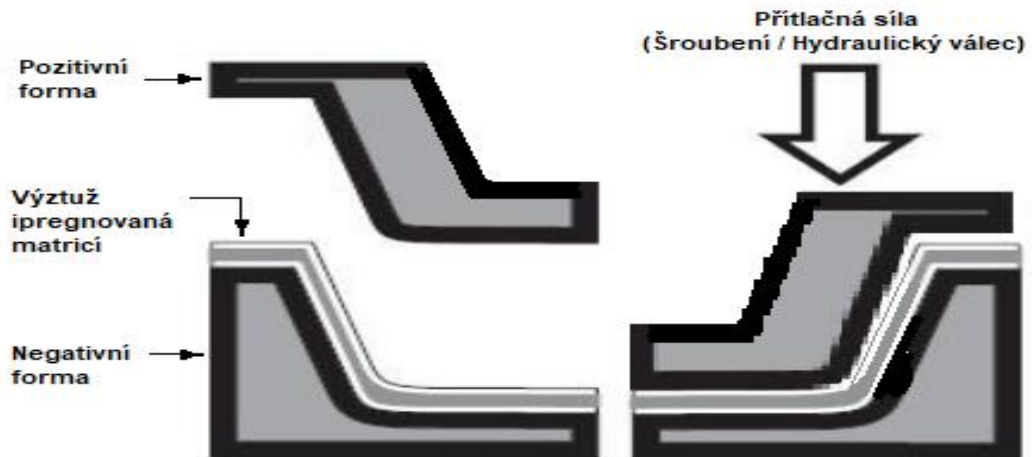
Obr. 21. Technologie stříkání kompozitu [21]

3.3. Lisování za studena

Proces probíhá za užití relativně nízkého tlaku (3-100 kPa) při pokojové teplotě. Opět se zde používají formy. Ty nejsou vyhřívány, takže je lze vyrábět z cenově dostupných materiálů (laminát, plech etc.). Formy jsou dvoudílné a požadovaného tlaku se dosáhne použitím šroubových spojek nebo hydraulických válců. Negativní forma se vyloží tkaninou a naimpregnuje se matricí. Používají se skelné a polyesterové tkaniny. Pak se přitlačí forma pozitivní a je vyvinut příslušný tlak. Výsledný kompozit má oboustranně hladký povrch.

Technologie je cenově nenáročná a schopna zajistit dobrou kvalitu povrchu a lze jí vyrábět i tvarově složitější díly. [21]

Lisování za studena / Press moulding



Obr. 22. Lisování kompozitu za studena [21]

3.4. Lisování pomocí vakua

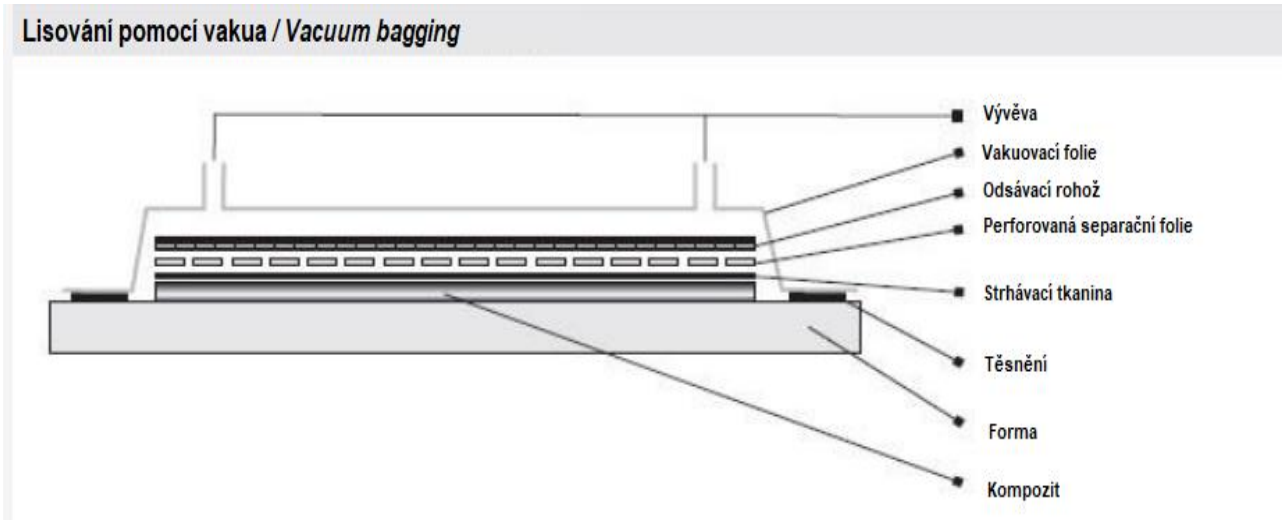
Tato metoda se volí, pokud je třeba zvýšit obsah výztuže a odsát přebytečnou matrici z kompozitu, případně pro zlepšení mechanických vlastností výsledného výrobku. V případě sendvičových konstrukcí se používá k vytvoření dostatečného přítlaku pro správné spojení tvrdého jádra a laminátu.

Matricí prosycená výztuž se aplikuje do formy stejným způsobem jako u ručního kladení a na poslední vrstvu prosycené výztuže se aplikuje strhávací tkanina, která usnadní další operace s laminátem, neboť ji lze po vytvrzení odtrhnout a odhalený povrch je možno bez dalších úprav (odmašťování, broušení a zdrsňování) dále využívat, kupříkladu ke kladení dalších vrstvy či k lakování. Následuje perforovaná separační folie a odsávací rohož, ty slouží k odsátí přebytečného matričního materiálu a případných vzduchových bublin. Nakonec se aplikuje vakuovací folie, která se musí po obvodu pečlivě utěsnit, aby nedocházelo k nasávání vzduchu z okolí a vzniku nežádoucích bublin.

Evakuace vzduchu a následný přítlak jsou vyvozovány relativně malým podtlakem (0,3-0,9 bar) a formy tedy nemusí být robustní a jsou nákladově nenáročné (lze použít totožné formy jako u technologie ručního kladení).

Využívají se tkaniny ze skelných nebo uhlíkových vláken a jejich kombinace (hybridní výztuž) a polyesterové nebo epoxidové pryskyřice.

Tato technologie nevyžaduje vysoké vstupní náklady do vybavení, vyjma vakuové pumpy. Výsledný díl má oboustranně hladký povrch s vysokým obsahem výztuže a velmi dobrými mechanickými vlastnostmi. [21]



Obr. 23. Lisování kompozitu pomocí vakua [21]

3.5. Lisování v autoklávu a vakuové peci

Je to nejnákladnější a nejsložitější technologie kterou lze k výrobě laminátových konstrukcí použít. Výchozím materiálem jsou pouze prepregy (viz 3.5.1.) na bázi skelných, uhlíkových i aramidových vláken v kombinaci s epoxidovými matricemi. Skladba vrstev je totožná jako u lisování vakuem. Avšak forma musí být stabilizovaná vysokou teplotou, jelikož díl bude vytvrzován v autoklávu nebo vakuové peci a dojde k podstatnému zvýšení teploty.

Vytvrzování ve vakuové peci probíhá tak, že do pece je vložen připravený díl ve formě se stejnou přípravou jako u vakuového lisování, pak nastane evakuace podtlakem vzduchu z formy a pec se zahřeje na požadovanou vytvrzovací teplotu (120-200 °C). Celý cyklus trvá do hodiny a výsledná kvalita je velmi dobrá.

Vytvrzování v autoklávu je používáno pro získání dílu excelentní kvality. Stejně jako u vakuové pece je nejprve podtlakem odstraněn vzduch z formy, ale pak je ještě postupně zvyšován tlak v celém autoklávu na cca 6 bar. Pec musí být velmi robustní, aby vydržela daný přetlak. Také nahřátí na požadovanou teplotu trvá podstatně déle než u vakuové pece a celý proces vytvrzení je proto časově náročný (v rozmezí několika hodin). [21, 22]



Obr. 24. Vakuová pec (vlevo) a autokláv (vpravo) [22]

3.5.1. Prepregy

Jedná se o tkaniny používané pro technologii autoklávu a vakuové pece. Jsou to zásadně tkaniny, které byly předimpregnovány pryskyřicí (matricí). Musí se uchovávat při snížených teplotách (cca – 20 °C) a to po dobu nejvýše 6 měsíců, aby u nich nedocházelo k postupné degradaci. Před použitím se musí nechat rozmraznout a mohou se i nahřát pro zvětšení lepivosti a snazšího nanášení do formy.

Díky tovární předimpregnaci jsou vlákna dokonale smočena a nedochází ke vzniku vzduchových bublin a jiných defektů spojených s nedokonalým prosycením výztuže matricí, jako u předchozích technologií. Další výhodou je velký podíl výztuže ve výsledném kompozitu.

Jsou určeny hlavně pro kusovou výrobu a díly z prepregových tkanin dosahují excelentních mechanických vlastností a jsou používány ve všech odvětvích, kde je potřeba vysoká kvalita materiálu (zdravotní, kosmické, vojenské). [21, 22]

3.6. Technologie sendvičových konstrukcí

Jedná se o technologii, kterou je možné využít obecně při laminovacích procesech lisování za studena, pomocí vakua nebo pomocí autoklávu. Výsledná konstrukce se vyznačuje vysokou pevností a tuhostí při zachování nízké hmotnosti. Principem je vložení lehkého jádra mezi kompozitní potahy. Jádro je odolné proti smykovému namáhání a přenáší tento typ zatížení mezi potahy. Potahy mají vysokou tuhost a pevnost v tahu a tlaku.

Jádra jsou nejčastěji vyrobená z voštiny, balzy nebo tvrzené pěny a potahy jsou vláknové kompozity.

Ohybová tuhost sendviče je úměrná druhé mocnině jeho tloušťky. Avšak hmotnost se při zvětšení tloušťky téměř nemění. Je

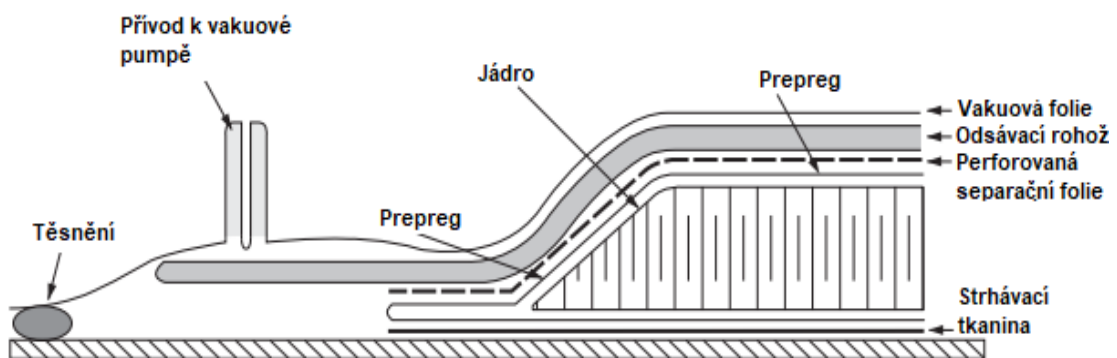
to díky nízké hustotě jádra (obvyklá hustota je $80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). [12, 22, 23]

	Kompaktní materiál	Tloušťka jádra t	Tloušťka jádra $3t$
Tuhost	1.0	7.0	37.0
Pevnost v ohybu	1.0	3.5	9.2
Hmotnost	1.0	1.03	1.06

Obr. 25. Mechanické vlastnosti sendvičové struktury v závislosti na tloušťce jádra [22]

Vysoká tuhost a dobrá ohybová pevnost nejsou jedinými benefity. Další jsou vysoká únavovou odolnost, odolnost proti šíření trhlin, odolnost proti rázům, odolnost proti ohni a tepelná a akustická izolace. Tyto faktory jsou ovlivněné výběrem materiálu jádra. Obecně se dá ale uvažovat, že materiály dnes používané při výrobě sendvičových struktur těmito výhodami disponují.

Sendvičové struktury se krom desek dají vyrábět i ve složitějších tvarech. Tudíž to neklade omezení pro výrobu dílu složitější geometrie. [23]



Obr. 26. Technologie výroby sendvičové struktury z prepregu vakuovým lisováním [22]

3.7. Lisování za tepla

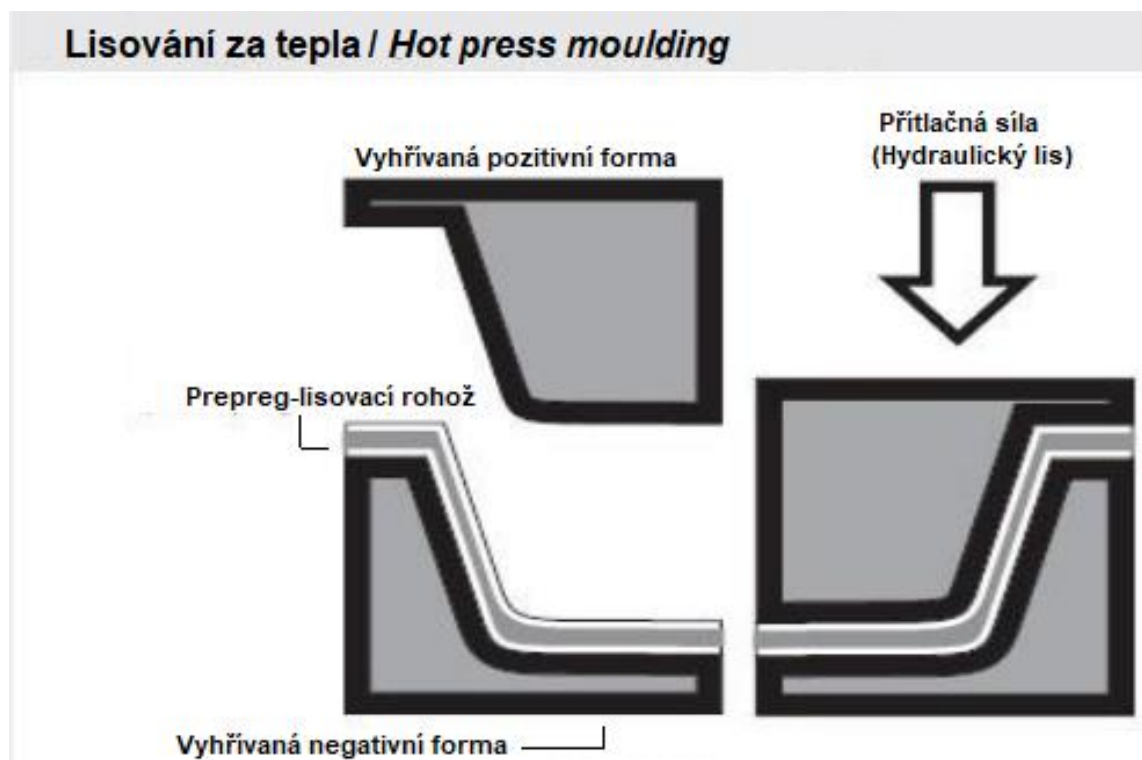
Provádí se za zvýšené teploty a tlaku, přičemž teplota je obdobná autoklávu a tlak dosahuje hodnot $0,1 - 3 \text{ MPa}$. Používají se dvoudílné a vícedílné kovové formy s leštěnými nebo chromovanými

povrchy. Vyhřívání je realizováno elektricky nebo topným médiem. Příslušný tlak je vyvozován hydraulickými lisami.

Postup je stejný jako u lisování za studena, což se týče přípravy kompozitu do formy. Odlišuje se vstupním materiálem. Používají se prepregové rohože, lisovací těsta a lisovací směsi. Pojivem jsou matrice na bázi polyesterových a vinylesterových pryskyřic. Prepreg se do formy vkládá v částečně vytvrzeném stavu. Při působení tlaku a teploty je materiál ve formě schopen dalšího toku. Díky tomu se dokonale zaplní všechny dutiny.

„Lisování za tepla je jednou z nejproduktivnějších výrobních technologií pro velkosériovou výrobu malých a středně velkých dílů. Výhodou jsou krátké výrobní cykly (v řádu minut), vysoká reprodukovatelnost kvality a rozměrů a možnost automatizace procesu.“

Nevýhodou je velmi vysoká pořizovací cena lisů a forem. [21]



Obr. 27. Lisování za tepla [21]

3.8. Technologie výroby

Ze zmíněných technologií byla pro výrobu karoserie Ekona v.2. vybrána technologie ručního vakuového lisování. Jelikož sériovost nepřesáhne 5 kusů, bylo možné zvolit neautomatizovaných procesů.

Jelikož karoserie Ekona v.2. bude obsahovat sendvičovou strukturu, bylo třeba zvolit technologie vakuového lisování pro

zajištění dostatečného přitlaku kvůli správnému spojení jednotlivých fází.

Vybraný způsob výroby též zajistil dostatečnou kvalitu výsledné konstrukce, včetně kvality textury povrchu.

C) ANALYTICKÁ ČÁST PRÁCE

Praktická část byla zaměřena na návrh tvaru karoserie Ekona v.2. a její vymodelování CAD prostředím (Autodesk Inventor). Součástí práce byla i výroba prototypového modelu.

Nejprve byla zdigitalizována karoserie Ekona v.1, která byla následně použita jako šablona pro tvorbu nové karoserie dle počátečního zadání (viz A). Dále byla na hotové karoserii provedena CFD simulace pro zjištění aerodynamických vlastností.

A nakonec byl vyroben prototypový model v měřítku 1:5, který posloužil pro lepší vizualizaci výsledného tvaru a kontrolu návrhu. Výroba karoserie samotné nebyla součástí této práce, pouze se zde připravily kompletní podklady k umožnění její výroby.

4. Karoserie Ekona v.1.

Karoserie původního Ekona vycházela z trupu ultralightového letounu. Nepřepokládalo se, že by původní Ekon byl uveden do běžného provozu, takže jeho karoserie nedisponovala místy k uchycení osvětlení, neměla dostatečnou ochranu před případnou havárií (deformační zóny) a nebyla uzpůsobena svou velikostí pro průměrně vzrostlého řidiče.

Vstupní otvor byl zakryt tvarovaným plexisklem, které bylo úplně odnímatelné.



Obr. 28. a Obr. 29. Vstup do kabiny zakrytovaný / nezakrytovaný

Servisní otvory byly nahrazeny plně odnímatelnou zadní částí karoserie, pod kterou se nacházel motor a zadní náprava.



Obr. 30. a Obr. 31. Odnímatelná zadní část karoserie

Přední náprava prostupovala karoserií a byla uchycena na rám. Přičemž u původní verze nebylo řešeno odpružení a náprava byla pevná bez odpružení. Karoserie měla na každé straně pouze 2 otvory. Jeden na nosnou tyč a druhý na řídicí táhlo.



Obr. 32. a Obr. 33. Otvory v karoserii pro přední nápravu a řízení

Zpětné zrcátko bylo na karoserii pouze jedno, a to na levé straně ve směru jízdy.



Obr. 34. a Obr. 35. Pohled na přední zpětné zrcátko

4.1. Sken původní karoserie

Forma původní karoserie byla použita jako šablona pro tvorbu 3D modelu karoserie na Ekona v.2. Pomohla udržet správné rozměry a měřítko při modelování.

Ale pokud by byly dané rozměry z formy měřeny v reálu a pak dle nich modelováno, tak by to bylo časově velmi náročné a některé hodnoty či tvary, by nebylo možné zachytit klasickými měřeními.

Proto byl model převeden do digitální podoby za pomoci 3D skeneru. To umožnilo komplexní a přesné zachycení příslušných tvarů.

Bylo využito skenovací zařízení zapůjčené z ústavu konstruování FS-ČVUT. Skenována ovšem nebyla samotná karoserie ale její dvoudílná negativní forma.

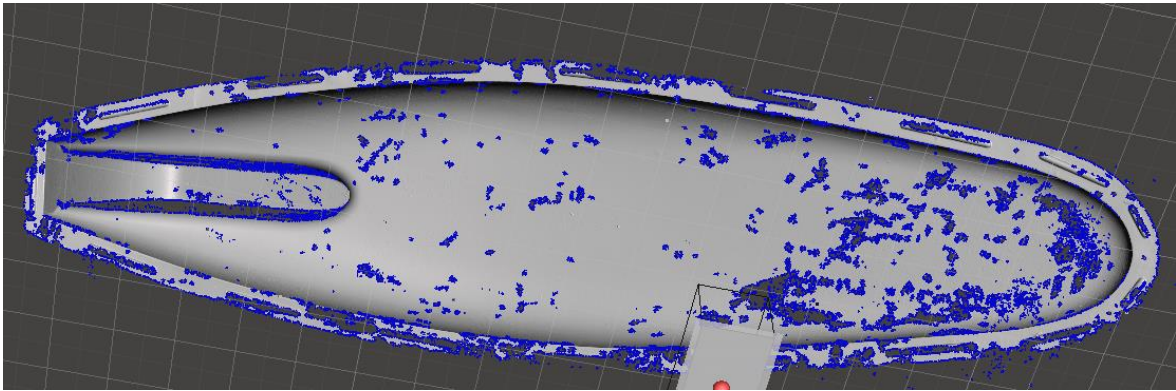


Obr. 36. Skenování spodní části formy původního Ekona

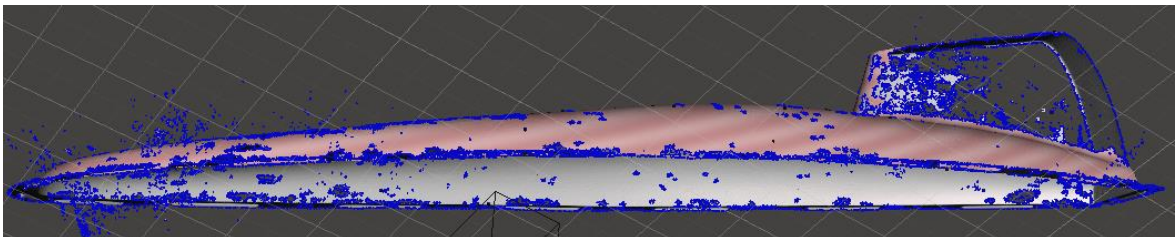
S pomocí kolegy M. Mazury byla naskenována horní a dolní část formy.

Výsledný sken se musel nejprve upravit, aby ho bylo možné použít pro tvorbu referenčního modelu.

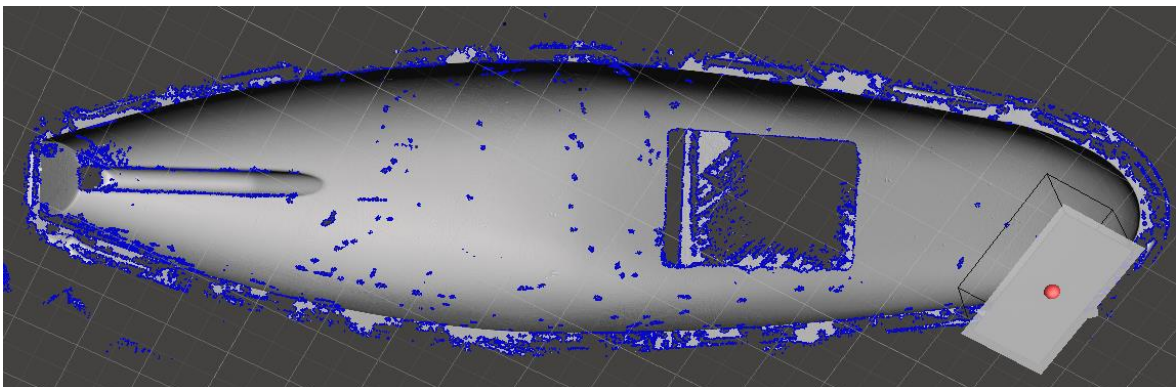
Pro úpravu byl použit Solidworks a následně Autodesk Meshmixer. Solidworks byl využit pouze k převedení typu formátu souboru, aby skeny byly čitelné pro Autodesk meshmixer, kde probíhaly následné úpravy.



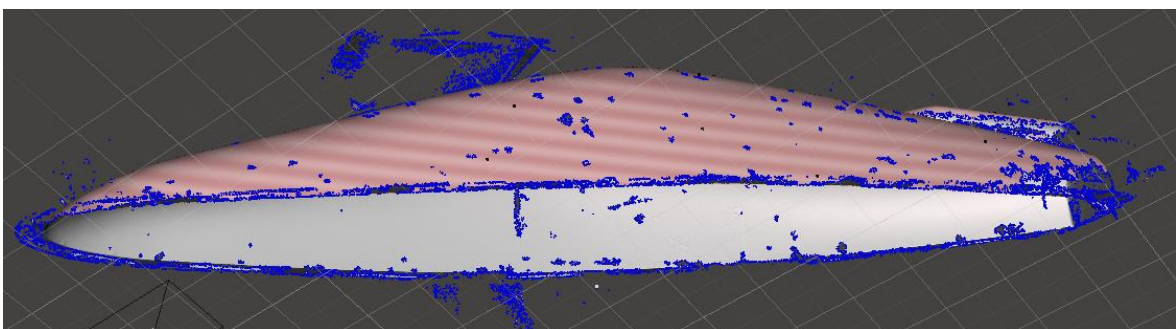
Obr. 37. Neupravený sken spodní části formy karoserie



Obr. 38. Neupravený sken spodní části formy karoserie (Pohled 2)



Obr. 39. Neupravený sken horní části formy karoserie



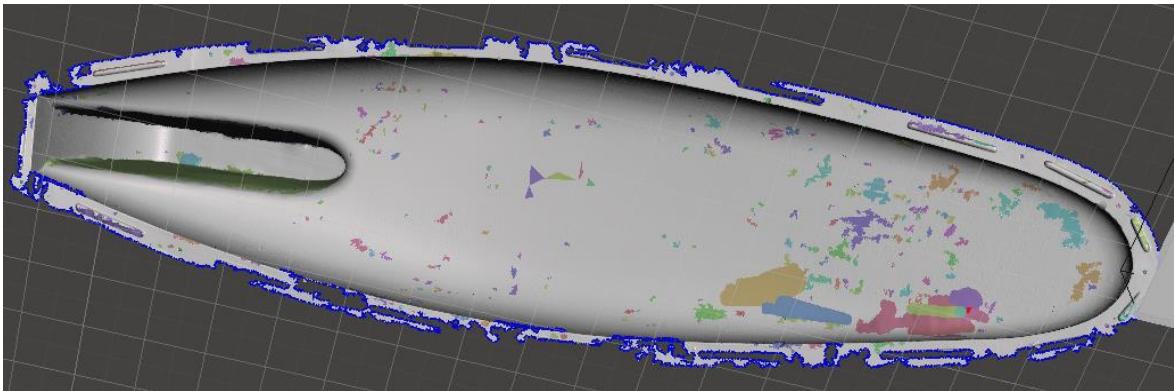
Obr. 40. Neupravený sken horní části formy karoserie (Pohled 2)

Na obrázcích ze softwarového prostředí Autodesk meshmixer je vidět, že sken není dokonalý, vyskytují se na něm plošky, které

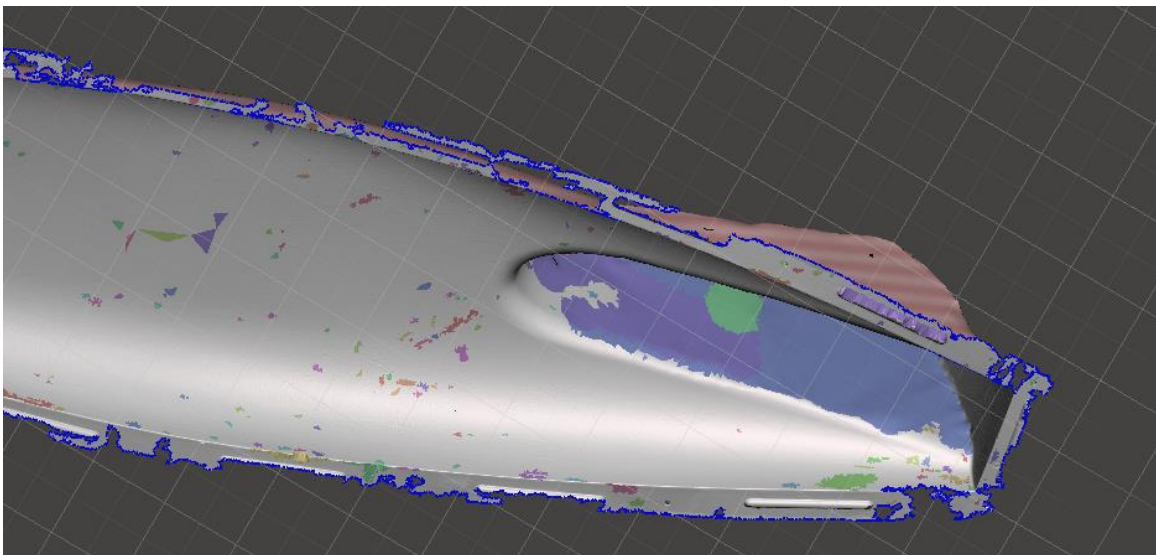
Design lehkého, nízkoemisního městského dopravního prostředku –
návrh a konstrukce karoserie

vznikly chybným naskenováním, ty levitují v prostoru okolo. Dále pak skener v určitých místech nebyl schopen zachytit povrch kvůli přílišnému lesku, a proto byly scany děravé („prožrané rzí“). (*např. ploutev spodní formy karoserie viz Obr. 38.*)

Sken byl upraven a „očištěn od nečistot“. Místa, kde byl sken nekompletní, byla vyplněna (*barevné oblasti viz Obr. 41.*), tam kde byl sken více nekompletní a díry byly již příliš velké a okraje už neležely v jedné rovině, než aby je zacelilo prosté vyplnění díry, byly vytvarovány patřičné záplaty (*ploutev zadního kola viz Obr. 42.*).



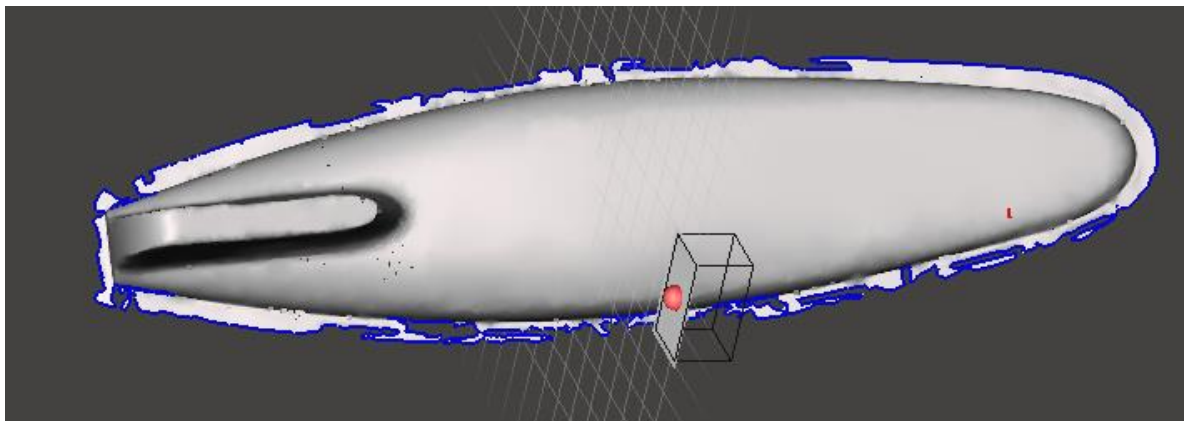
Obr. 41. Sken spodní formy opravený



Obr. 42. Sken spodní části formy opravený – detail zadní ploutve

Takto upravený model byl již připraven pro export do softwarového prostředí Autodesk Inventor. Když byl však exportován, zjistilo se, že se jedná o plochu složenou z více než 1 milionu základních plošek (trojúhelníky). Takto objemný model není možné používat v reálném čase v prostředí Inventoru, aniž by neohrozilo zahlcení operační paměti. Sken se tedy musel

v meshmixeru dále upravit, konkrétně bylo nutné zredukovat množství základních plošek. Počet byl zmenšen na 400 tisíc základních plošek a takto upravený sken už byl použitelný pro další práci bez hrozby zahlcení paměti.



Obr. 43. Sken spodní části s redukovaným množstvím základních plošek

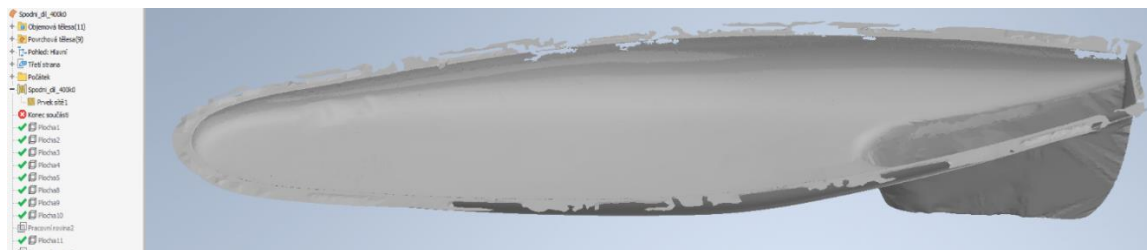
Simultánně s těmito úpravami spodního dílu formy byl upraven i vrchní díl formy karoserie.

4.2. Tvorba referenčního CAD modelu

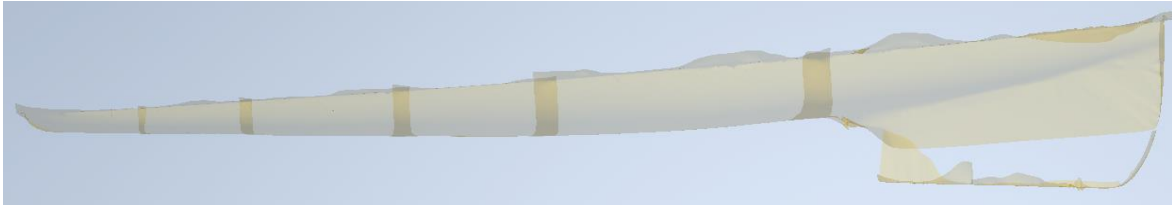
Upravené skeny vrchní a spodní formy byly exportovány do prostředí Autodesk Inventoru. I když se v meshmixeru upravené skeny jeví jako plochy, tak ve skutečnosti se jednalo o jemné sítě, které měly mezery mezi jednotlivými uzly pouze graficky vyplněny.

Proto musel být vložený sken (sítě) převeden na plochu, s kterou bylo možné dále pracovat a umožnit vymodelování „plného“ tělesa.

Byla využita funkce „Přizpůsobit plochu síť“ To umožnilo označit část sítě a ve vybrané oblasti ji nahradit plochou. Opět kvůli velikosti operační paměti nešlo označit celou síť najednou a bylo třeba ji rozdělit do 9 úseků.

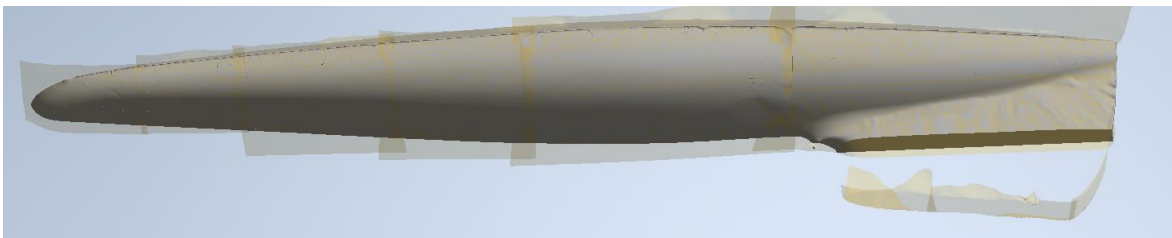


Obr. 44. Upravený sken spodní formy – síť (Autodesk Inventor)



Obr. 45. Upravený sken spodní formy nahrazený plochami

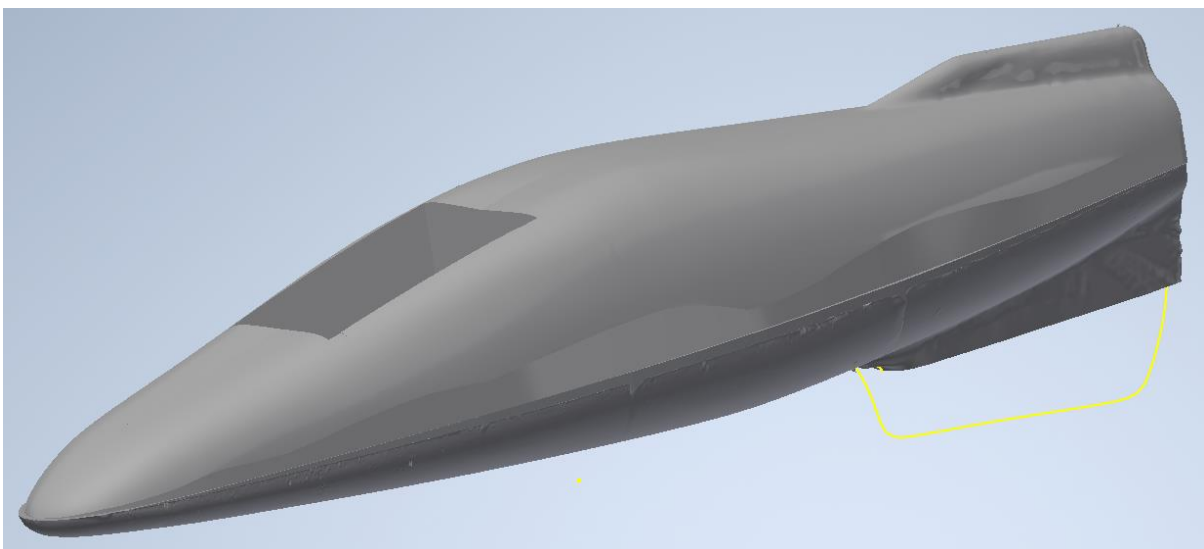
Za pomoci ploch už bylo možné pomocí oříznutí získat model „plného“ tělesa.



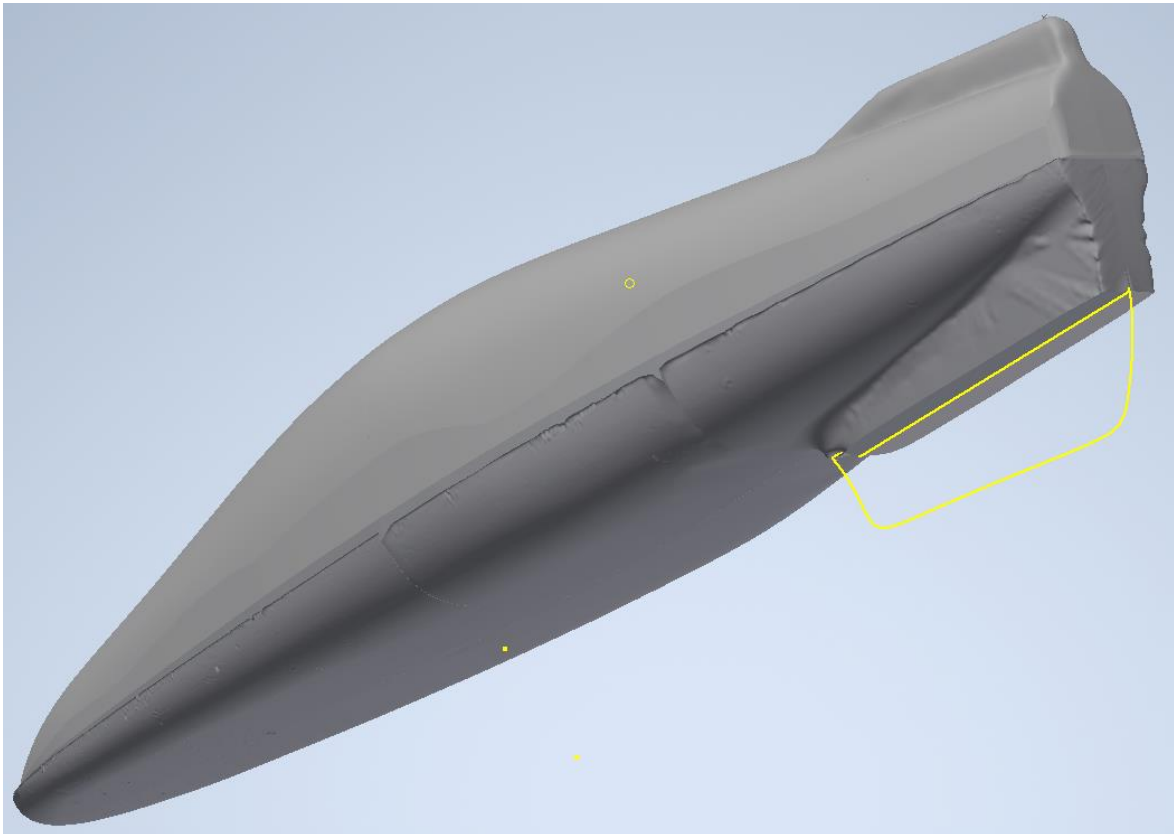
Obr. 46. „Plný“ model spodní formy

Díky tomu, že byla naskenována negativní forma, bylo možné sken takto využít a výsledné oříznuté těleso už mělo přímo tvar karoserie původního Ekona.

Stejné úpravy jako u spodní karoserie byly provedeny i u horního dílu formy. Výsledné modely spodní a vrchní části karoserie byly spojeny dohromady a vznikl tak referenční „plný“ model karoserie původního Ekona. (viz Obr. 47., Obr. 48.)



*Obr. 47. Referenční model karoserie původního Ekona
(Axonometrický pohled 1)*



*Obr. 48. Referenční model karoserie původního Ekona
(Axonometrický pohled 2)*

V horní části je vidět obdélníkový otvor, který odráží přístupový otvor v původní vrchní formě Ekona. Ten byl využíván při nanášení vrstev laminátu do negativní formy složené z horního a spodního dílu formy. I když u nové karoserie tento otvor nebyl potřeba, nebylo nutné jej vyplnit, jelikož v bokorysu byl obrys vozidla i tak plně definován.

Ploutev, která kryje zadní kolo, vymodelována nebyla, místo toho byla nahrazena pouze skicou tvaru ploutve v nárysu. Sken, i když opravený a „zazáplatovaný“, byl natolik nepřesný v části zadní ploutve, že se od modelování zadní ploutve upustilo. I přes toto zjednodušení bylo možné použití modelu karoserie jako šablony pro karoserii Ekona v.2.

5. Karoserie Ekona v.2.

Nová karoserie využila část prvků z původního návrhu. Zachován zůstal tvar spodní části karoserie, byť byl mírně rozšířen do stran. Stejná zůstala i celková délka a bez velkých změn prošla i spodní část „čumáku“.

Téměř totožná zůstala i ploutev kryjící zadní kolo. Byla jen lehce rozšířena, aby se zvětšil prostor pro kolo.

Typ karoserie zůstal podvozkový, především pro svou jednoduchost a dostačující funkčnost.

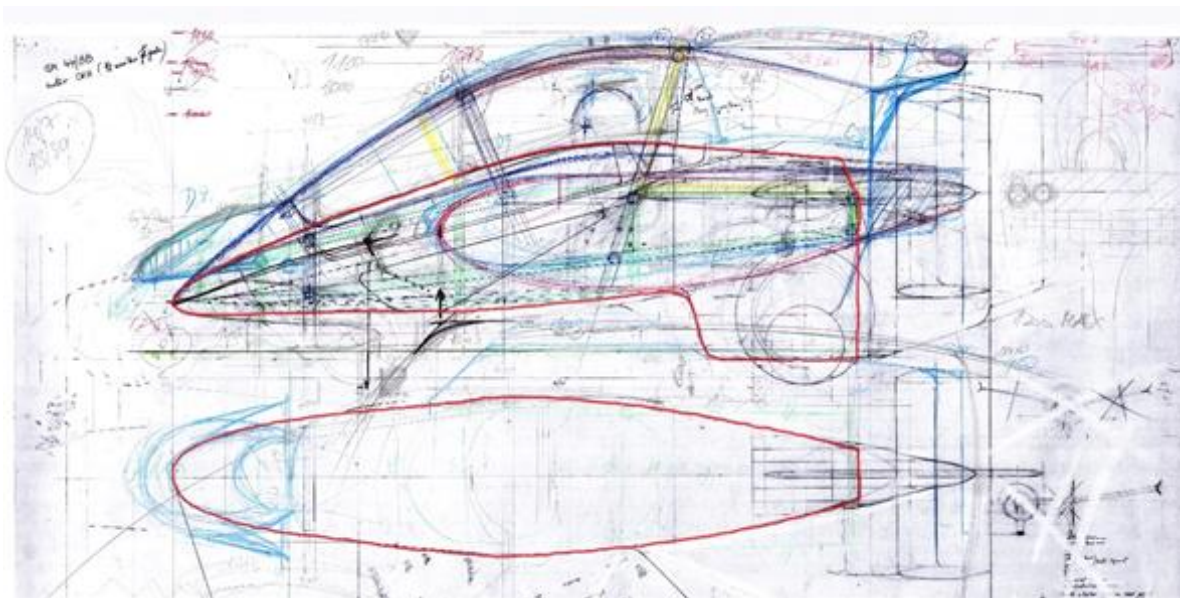
Materiálem karoserie byla zvolena skelná tkanina s epoxidovou pryskyřicí, a to hlavně díky své nízké ceně, dobré dostupnosti a snadné práci s ní.

5.1. Úpravy oproti v.1.

V porovnání s původní karoserií bylo nutné realizovat poměrně markantní změny, aby nová karoserie splnila všechna zadaná kritéria (viz A).

K prvotnímu návrhu všech plánovaných změn byl použit původní návrhový výkres Ekona v.1., kde se navrhované změny nejprve naskicovaly. Následně byl vytvářen 3D model karoserie s patřičnými změnami.

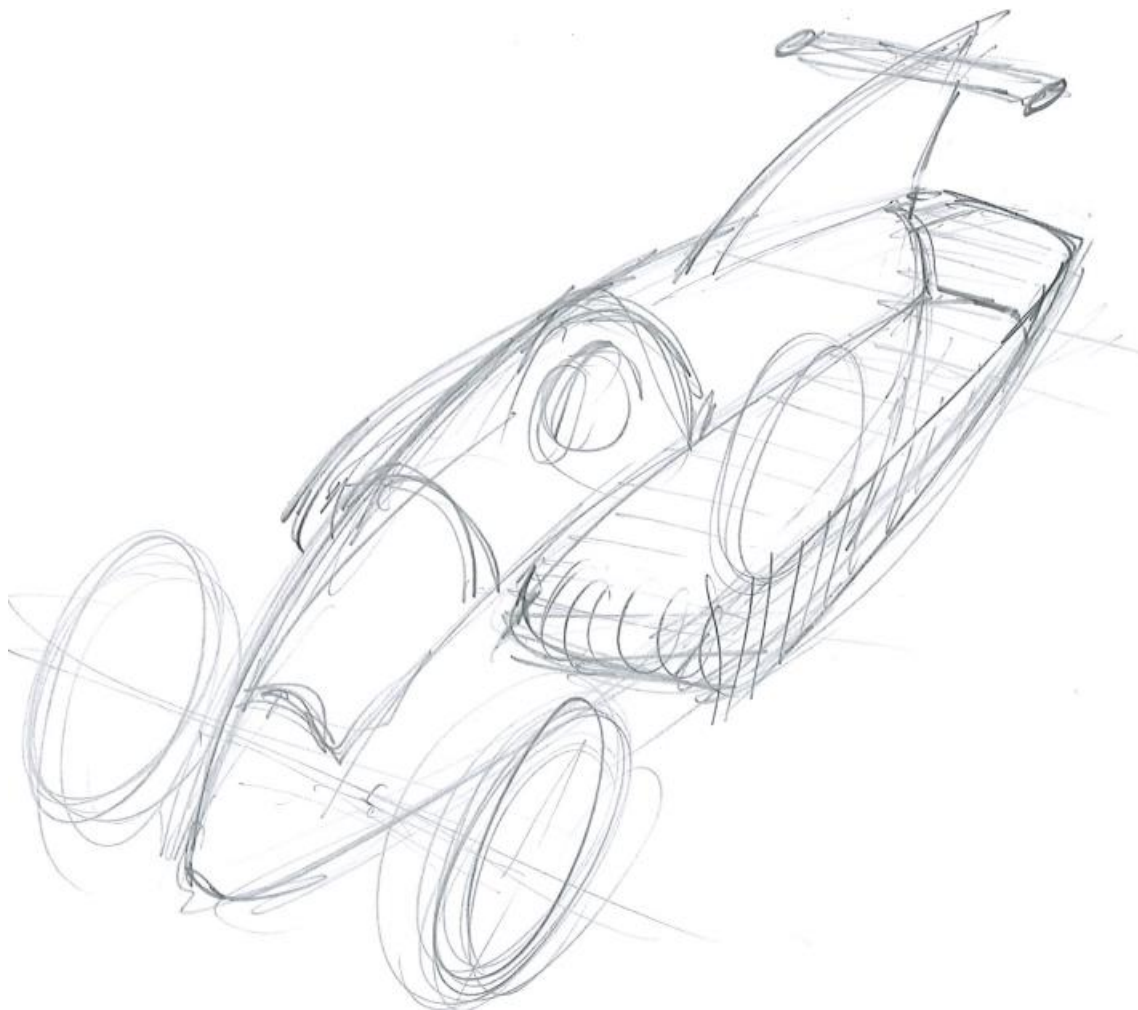
Krom návrhového výkresu s úpravami byly vytvořeny ještě návrhové sketchy, s detailními pohledy na navrhované úpravy karoserie.



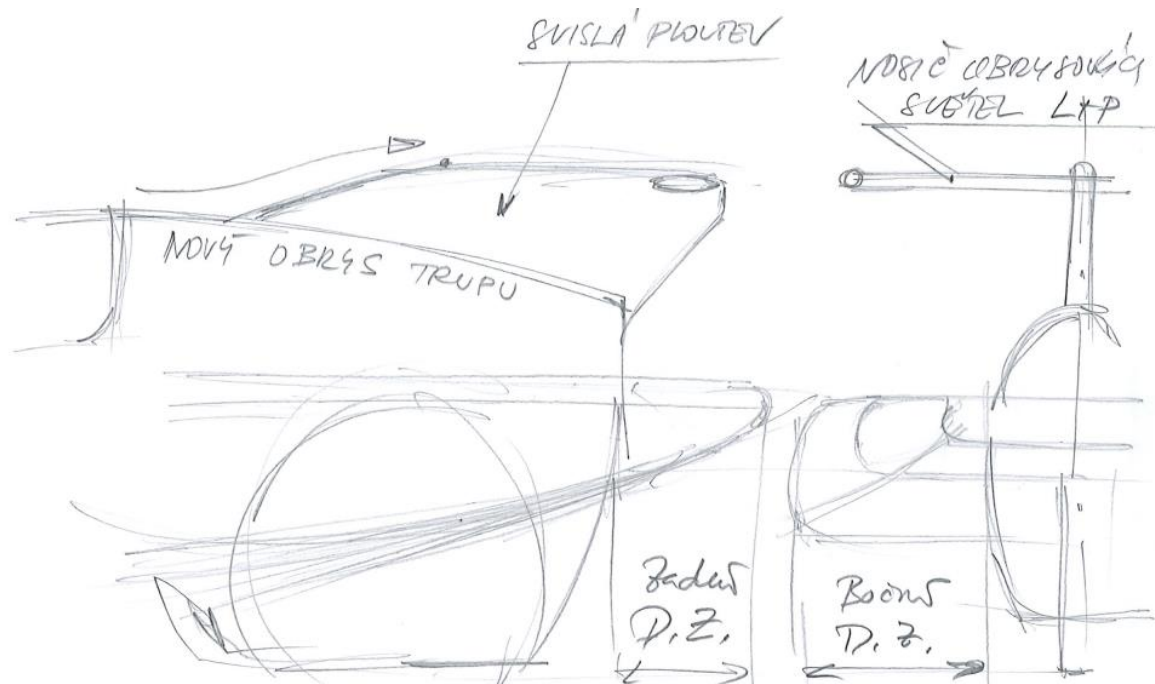
Obr. 49. Návrhový výkres s vyznačeným tvarem původního Ekona

Sketche vycházely z původního modelu a zachycovaly prvotní návrh celkového vzhledu nové karoserie (viz Obr. 50.) a důležité detaily. Konkrétně zadní část karoserie s ploutví pro uchycení světel (viz Obr. 51.). Dále sketche zobrazovaly první návrhy tvarů deformačních zón a jejich umístění (viz Obr. 55., Obr. 57., Obr. 58., Obr. 59.). Součástí prvních návrhů byl i sketch vykreslující řez karoserií s vloženým rámem (viz Obr. 52.).

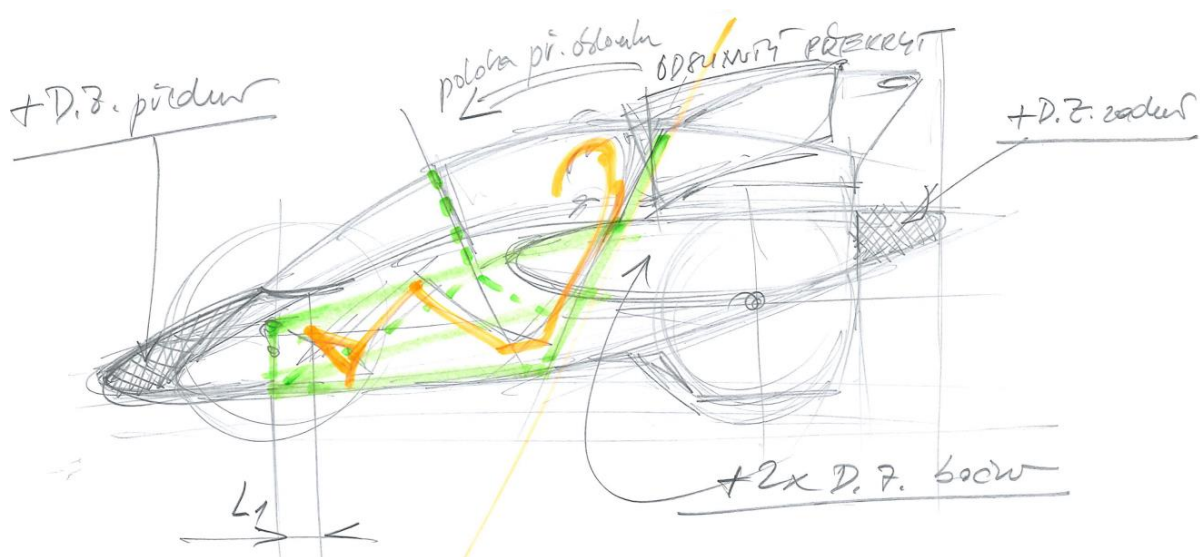
Sketche byly součástí zadání od vedoucího diplomové práce Ing. Krále. Sloužili jako upřesnění k samotného návrhu, jenž byl náplní této práce. Návrh samotný byl realizován a upravován pouze v CAD prostředí Autodesk Inventor.



Obr. 50. Návrhový sketch 1: Axonometrické zobrazení nové karoserie



Obr. 51. Návrhový sketch 2: Pohled na zadní část nové karoserie



Obr. 52. Návrhový sketch 3: Umístění rámu v nové karoserii

5.1.1. Zvětšení kabiny

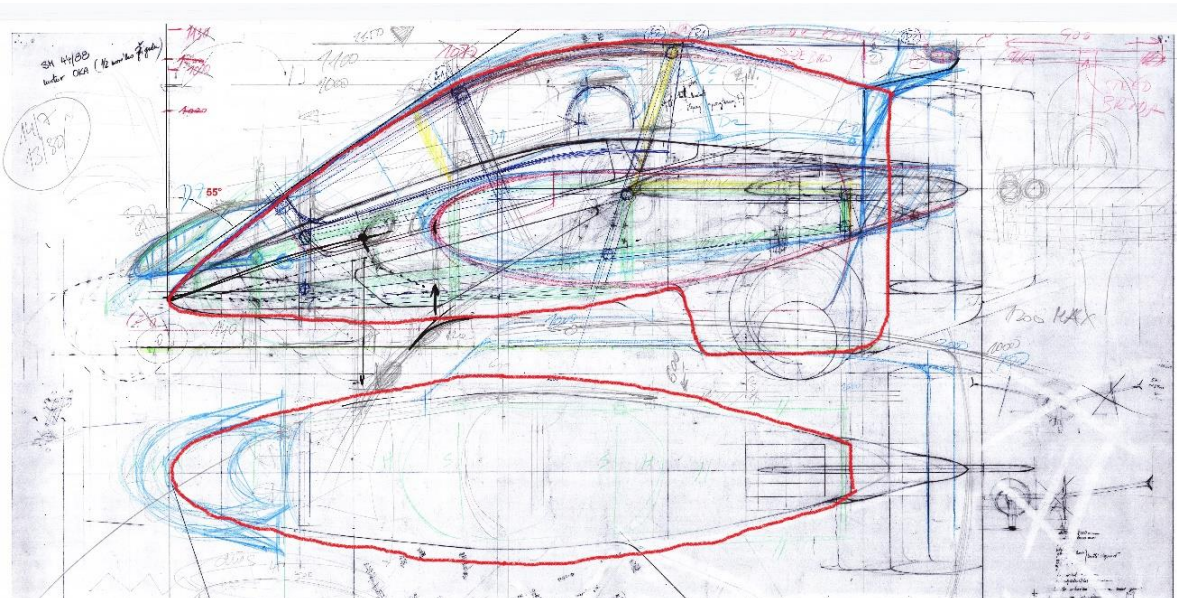
Do původního Ekona se vešel pouze malý chlapec, takže bylo třeba zvětšit prostor pro řidiče a z toho vyplývalo i zvětšení karoserie.

Nejprve byl do původního stroje posazen člověk (kolega M. Mazura) a bylo změřeno, o kolik přesahuje původní karoserii. Na základě této hodnoty byl proveden první návrh kabiny.



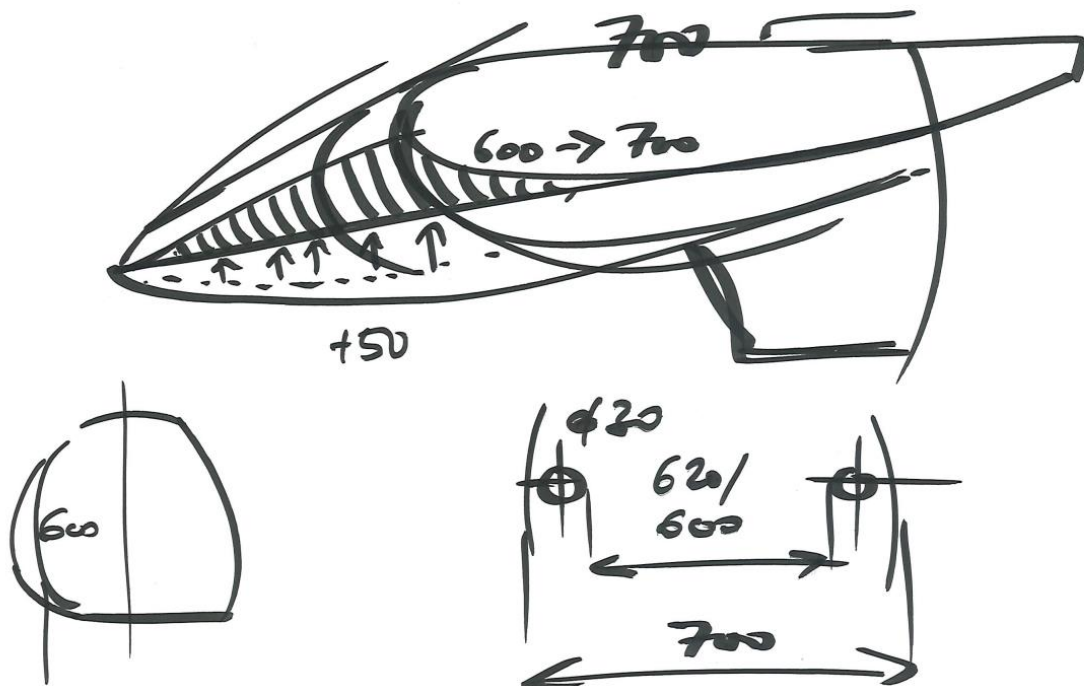
Obr. 53. Kolega M. Mazura v původním Ekonu v.1.

Přesah činil cca 500 mm. Na původní výkres byl nakreslen náčrt nového tvaru kabiny v bokorysu a půdorysu s přihlédnutím k naměřené hodnotě. Upravená výška nové karoserie byla 1 250 mm.



Obr. 54. Návrhový výkres s vyznačeným novým tvarem kabiny

Karoserii bylo též třeba rozšířit do stran. Původní rozměr 590 mm nebyl dostatečně veliký, aby se do kabiny vešel průměrně vzrostlý člověk, především v oblasti ramenou. Zde byla pro první návrh navržena hodnota 700 mm v nejširším místě. Tato hodnota v sobě zahrnovala i prostor pro trubky nosného rámu.



Obr. 55. Návrhový sketch 4: Šířka karoserie a zobrazení náběhu boční deformační zóny

V neposlední řadě bylo třeba upamatovat na dostatečný výhled z kabiny. Za jakéhokoliv provozu a jakéhokoliv počasí musel být zajištěn největší možný výhled.

Bylo navrženo řešení za užití plexisklového krytu, stejně jako u původní verze. Nejdůležitější bylo, aby plexisklo nebylo příliš skloněné a ohnuté, čímž by způsobovalo deformaci výhledu z kabiny. Hraniční hodnota sklonu předního skla vůči rovině, kolmé k zemi a kolmé k podélné rovině vozidla, byla cca 70 stupňů.

Návrh (viz Obr. 54.) tento parametr splnil, přičemž sklon byl 55 stupňů.

5.1.2. Deformační zóny a místa pro přichycení osvětlení

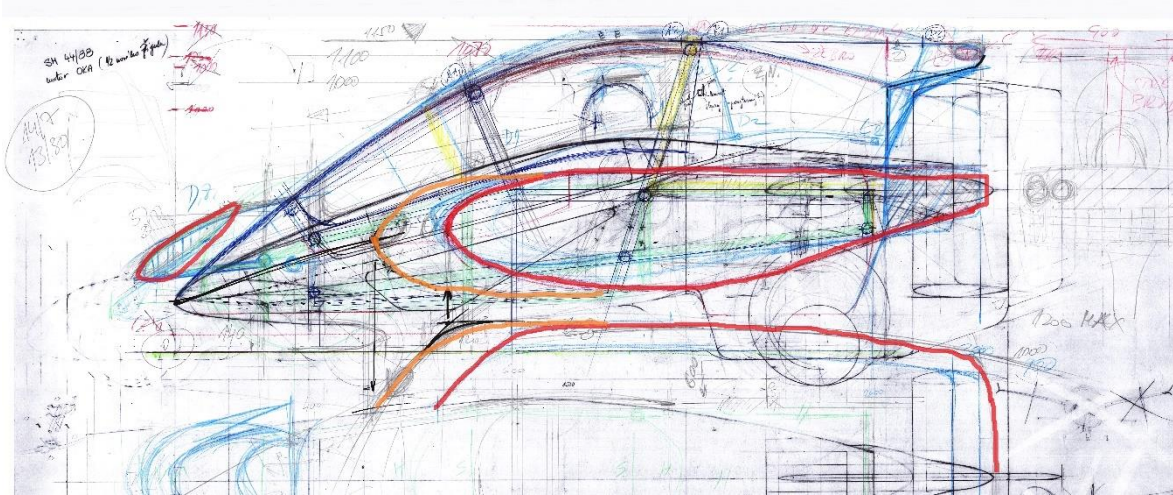
Poslední z hlavních změn oproti původní karoserii byly deformační zóny. Jak už bylo řečeno, Ekon v.1. nebyl konstruován pro běžný provoz a deformačními zónami nedisponoval.

Celkově byly na karoserii přidány 4 deformační zóny. Přední, zadní a 2 boční. Zadní a boční zóny spolu byly spojeny.

Deformační zóny byly též ideální pro umístění světelné signalizace vozidla.

Jmenovitě přední světla (potkávácí a obrysová) byla umístěna na přední deformační zónu.

Zadní světla byla situována nad zadní deformační zónu na spoiler, a to kvůli zvýšení viditelnosti světelné signalizace v provozu.



Obr. 56. Návrhový výkres s vyznačenými deformačními zónami

Deformační zóny měly zajistit ochranu před nárazem jiného vozidla. Jejich umístění muselo být zvoleno tak, aby ležely ve výšce nárazníků klasických automobilů (cca 500 mm nad vozovkou). Kdyby byly umístěné níže, tak by při srážce „proklouzly“ pod nárazníkem druhého vozidla a řidič Ekona by byl kompletně nechráněný.

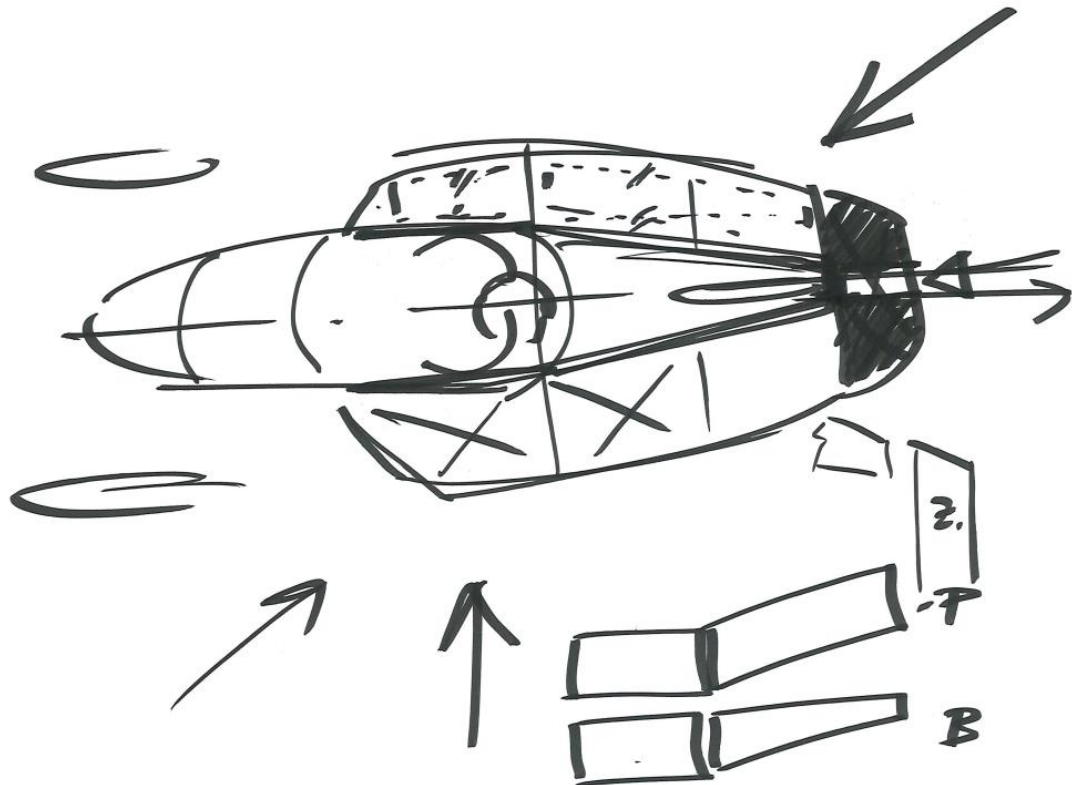
Jako výplň deformačních zón byl zvolen materiál, který je schopen dobře pohltit nárazovou energii. Jednalo se o hliníkovou voštinu.

Na základě volby tohoto materiálu byla odhadnuta adekvátní velikost deformačních zón, aby tloušťka voštiny byla dostatečná, pro pohlcení příslušného množství nárazové energie. Exaktní výpočet by přesahoval rámec této práce, a proto místo něj byl proveden pouze odhad podpořený zkušenostmi vedoucího diplomové práce.

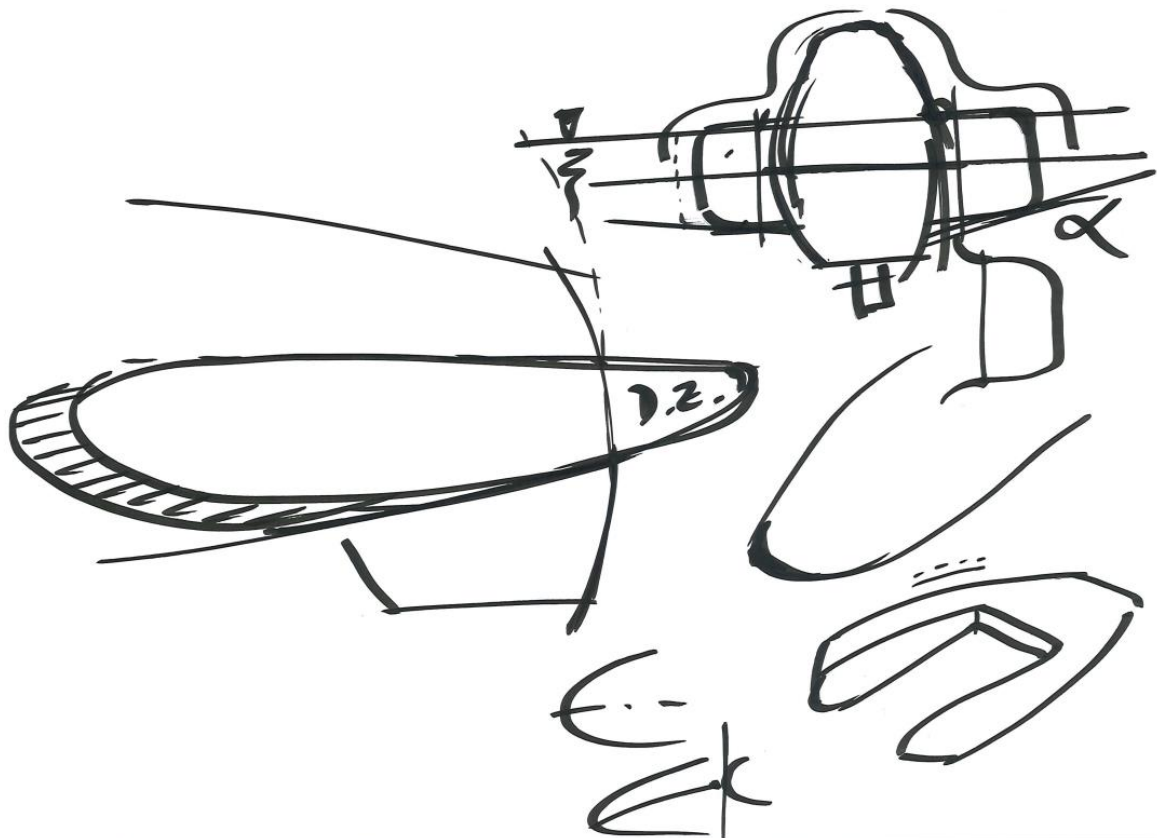
Boční deformační zóny byly opřeny o vnitřní rám a bylo tedy třeba ve spolupráci s kolegou Mazurou M. navrhnout tvar rámu tak aby v příslušných místech byl rám adekvátně tvarován a aby byl schopen zachytit a vydržet případnou sílu nárazu při havárii.

Přední deformační byla navržena z voštiny jen částečně. Hlavní deformační prvek byl realizován 4 nosníky, které spojovali voštinový „nárazník“ s rámem.

Kvůli možnému nárazu a následnému poškození byly deformační zóny navrhnuté jako odnímatelné. Tím byla zajištěna jejich snadná výměna v případě poškození.



Obr. 57. Návrhový sketch 5: Umístění deformačních zón a naznačení možných směrů nárazu (šipky)



Obr. 58. Návrhový sketch 6: Tvary deformačních zón



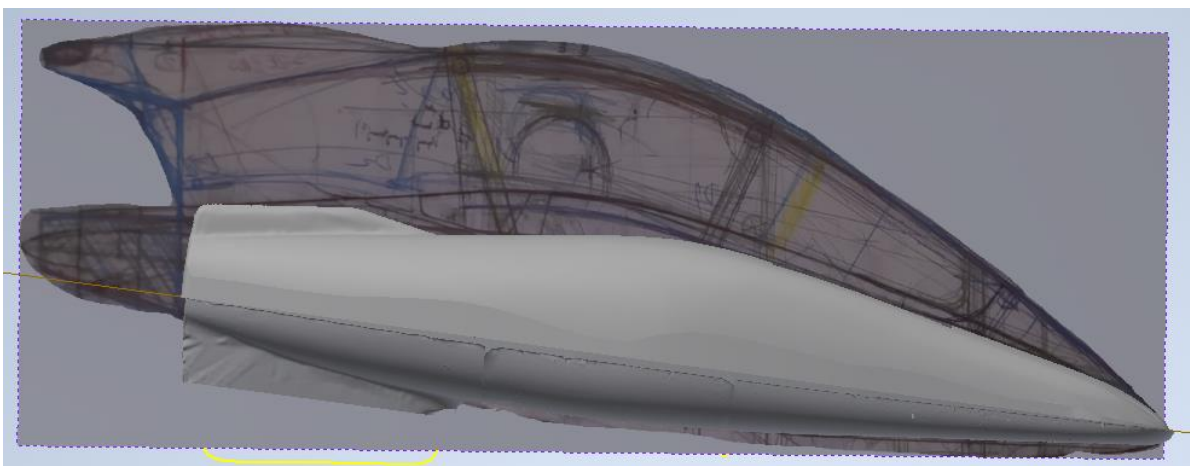
Obr. 59. Návrhový sketch 7: Tvary odnímatelných deformačních zón

5.2. Modelování

S takto připravenými podklady se přistoupilo k samotnému modelování.

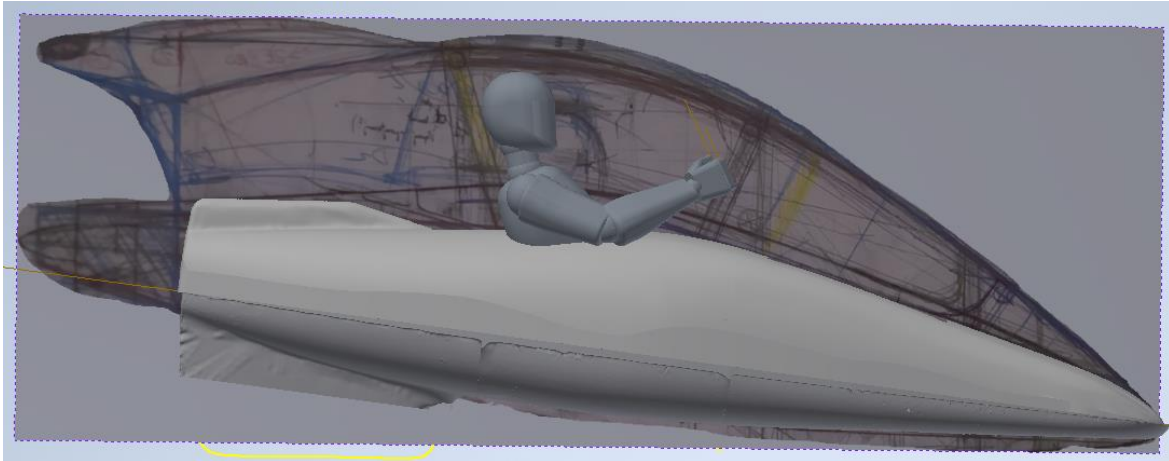
Práce na návrhu probíhala v softwarovém prostředí Autodesk Inventor, za použití nástroje *tvorba volného tvaru*. Tento program byl zvolen pro svou snadnou ovladatelnost. Nejednalo se o klasický designový software, ale pro potřeby této práce byl dostačující.

Nejprve byl do prostředí vložen referenční model karoserie Ekona v.1. a společně s ním i v měřítku zobrazen návrhový výkres.



Obr. 60. Model karoserie Ekona v.1. s návrhovým výkresem

Pro další modelování to byl dostatečný základ, ale pro zpřesnění návrhu byla ještě přidána figurína průměrně vzrostlého muže (1 770 mm).

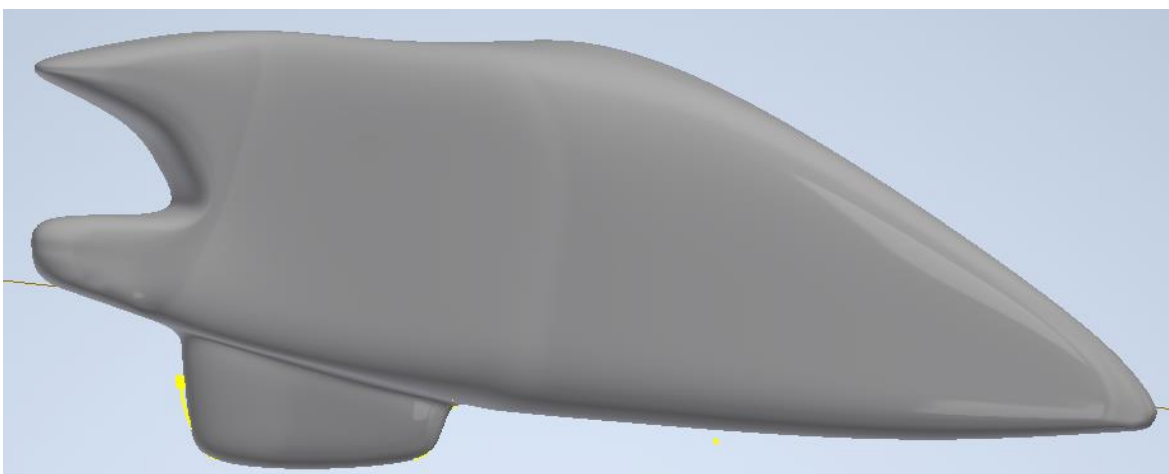


Obr. 61. Model karoserie Ekona v.1. s návrhovým výkresem a figurínou

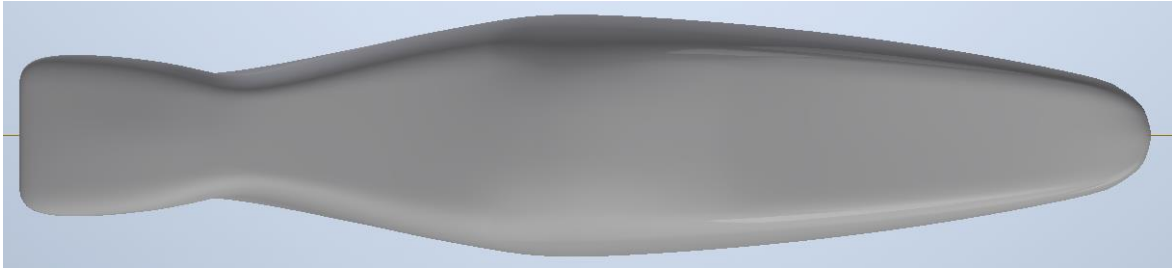
Model ukázal, že návrhový výkres byl nepřesný (viz Obr. 61.). Figurína byla vyšší, než se předpokládalo a bylo ji nutno usadit dále do vozu, aby nohy vpředu nevykukovaly. Další návrh a modelování se řídilo podle umístění figuríny.

Princip modelování volným tvarem byl následovný. V prostoru se umístila síť z konečného množství bodů, která se posléze aproximovala hladkou plochou. Pokud byla potřeba přesných tvarů, byla síť zhuštěna, aby plocha nabyla požadovaného tvaru. Pokud byly třeba ostré hrany, byla využita funkce přehybu.

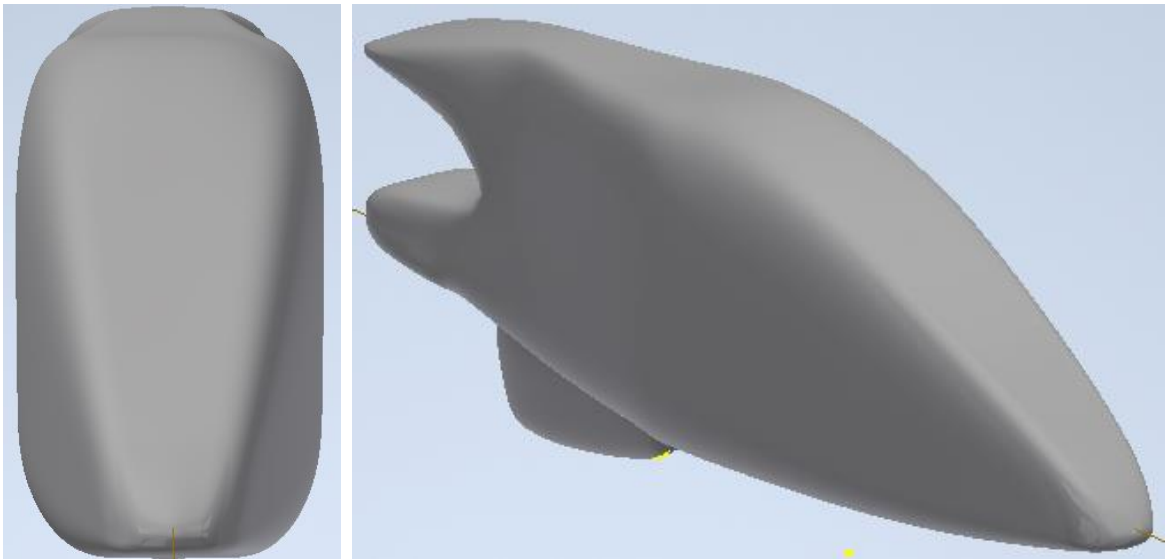
S použitím karoserie Ekona v.1. jako šablony, hlavně pro spodní část karoserie, návrhového výkresu a figuríny byla namodelována první verze nové karoserie.



Obr. 62. Karoserie Ekona v.2. verze 1. (Bokorys)



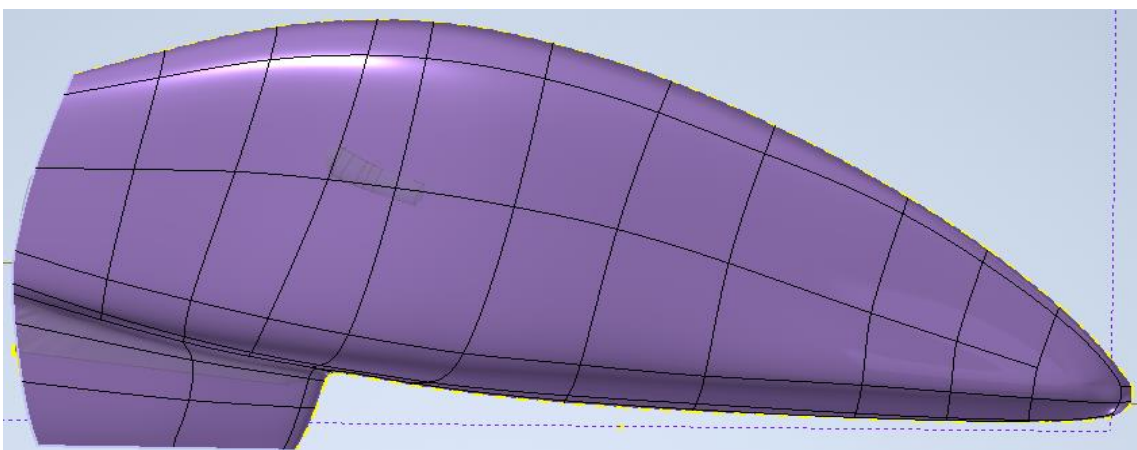
Obr. 63. Karoserie Ekona v.2. verze 1. (Půdorys)



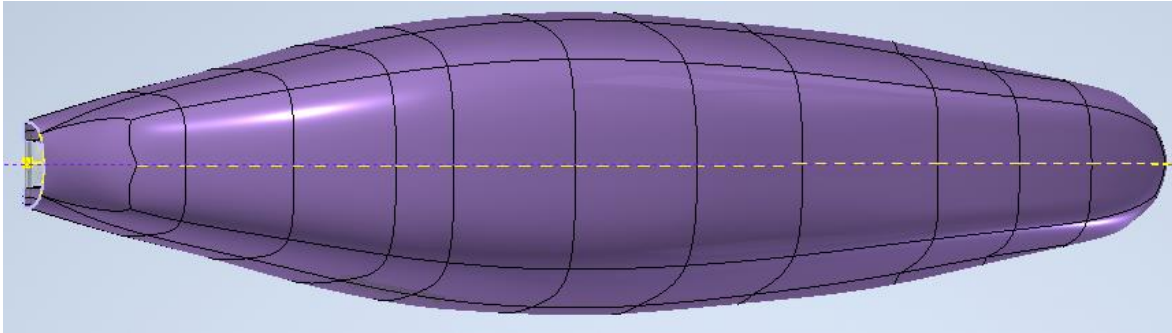
Obr. 64. Karoserie Ekona v.2. verze 1. (Nárys)

Obr. 65. Karoserie Ekona v.2. verze 1. (Axonometrický pohled)

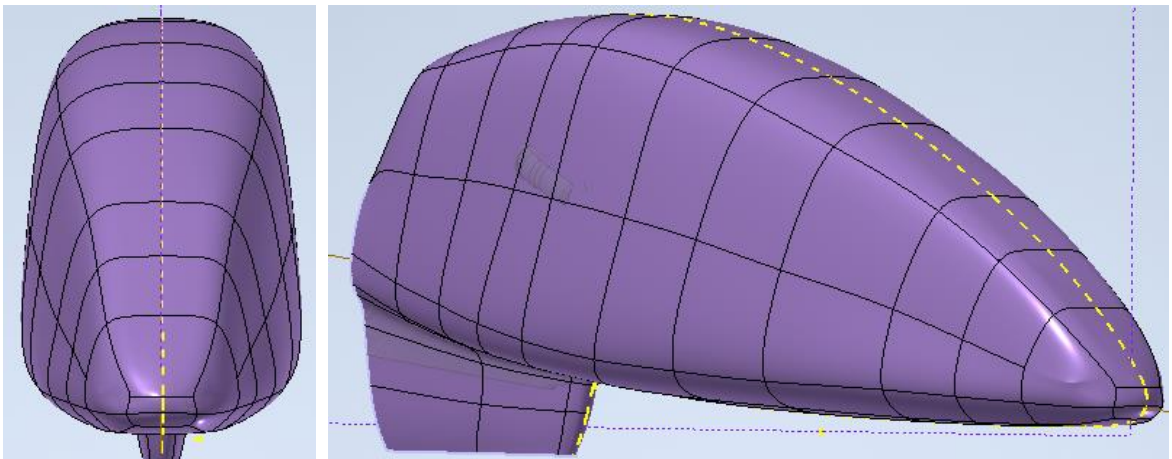
Verze 1. měla mnoho nedostatků. Byla příliš hranatá a aerodynamicky vzato ne příliš funkční. Vymodelovaná zadní deformační zóna neměla ideální tvar a zadní spoiler byl vymodelován příliš tlustý. V širším kontextu se spíše jednalo o vyzkoušení chování modelovacího programu.



Obr. 66. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Bokorys)

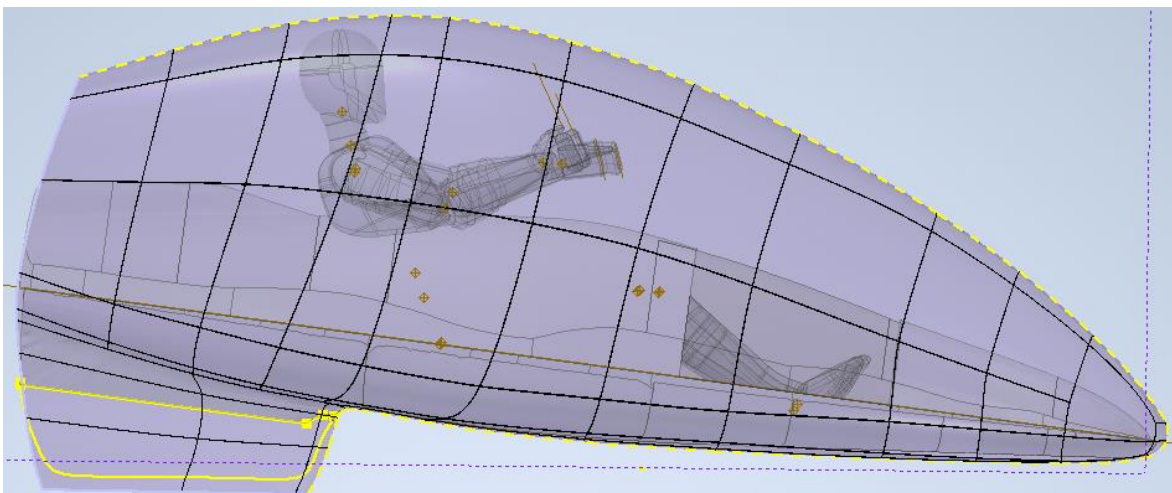


Obr. 67. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Půdorys)

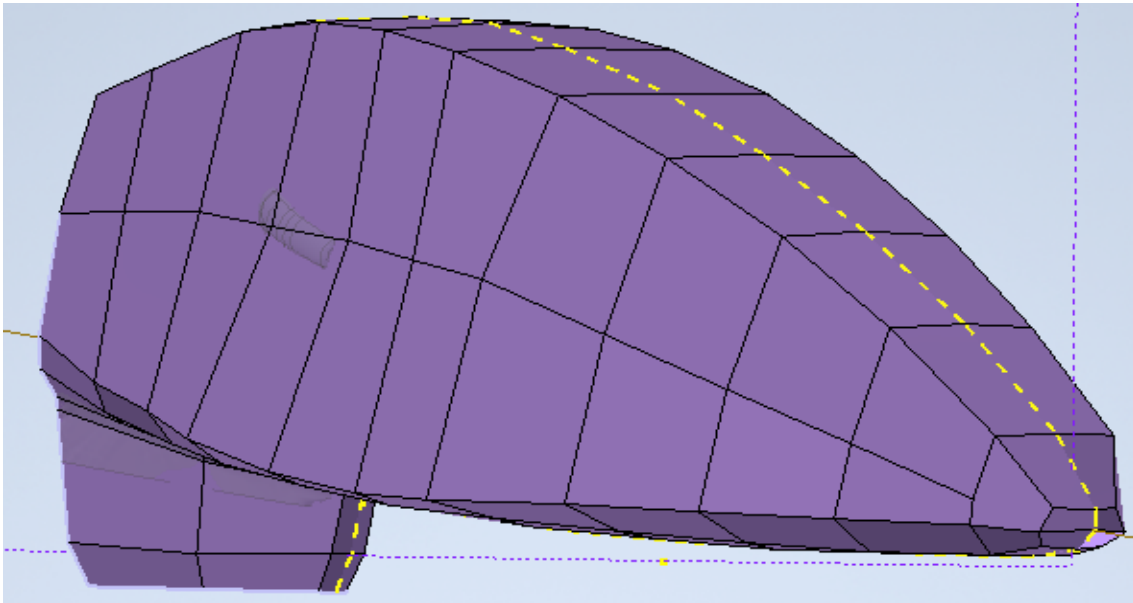


Obr. 68. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Nárys)

Obr. 69. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Axonometrický pohled)



Obr. 70. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Bokorys průhledný)

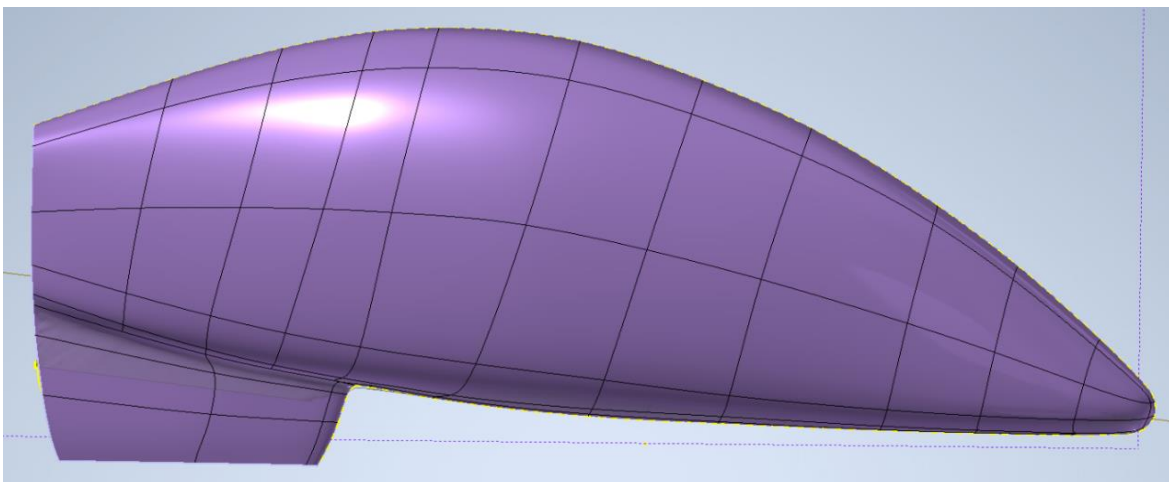


Obr. 71. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Axonometrický pohled - Nevyhlazený)

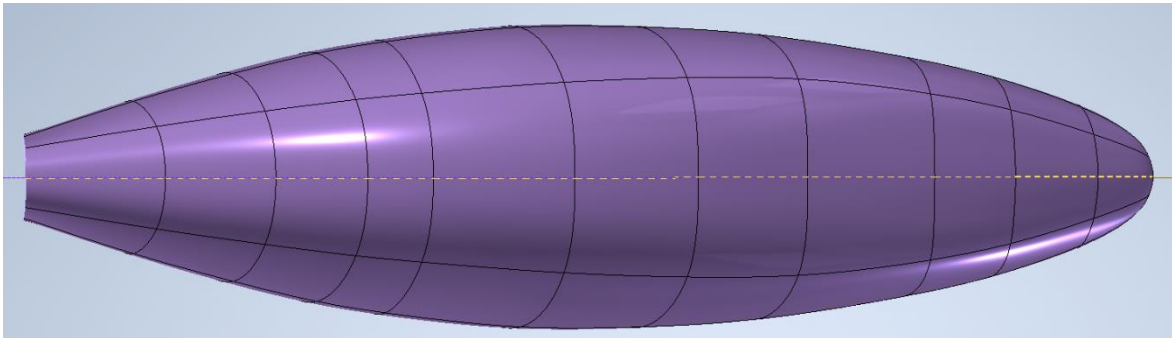
Ve verzi 2. se upustilo od modelování deformačních zón jako součást karoserie, protože příliš narušovaly tvar po sítě po vyhlazení.

Tato iterace už byla tvarově lepší, hlavně v bokorysu (viz Obr. 66.) bylo dosaženo lepšího tvaru, který už byl aerodynamicky přijatelnější. Přijatelný tvar měl též čumák a ploutev zadního kola.

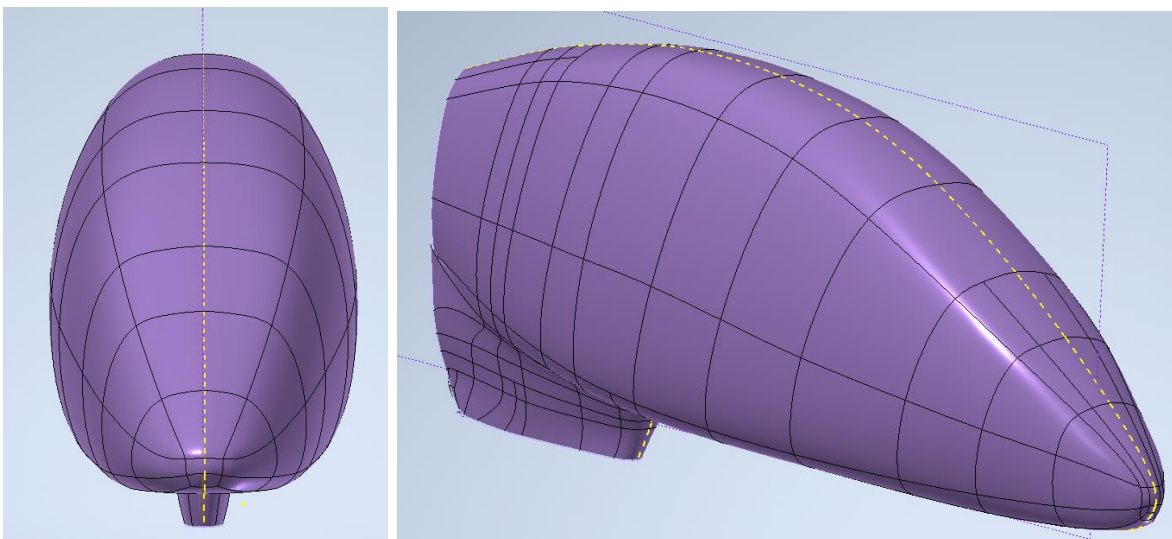
Ovšem v půdorysu byl stále patrný velký zlom přibližně v půlce karoserie (viz Obr. 67.) a v nárysu byly boky příliš propadlé (viz Obr. 68.). Dále byla pak zadní hrana (nad zadní ploutví) příliš skloněná dopředu (viz Obr. 70.). Tyto nedostatky byly odstraněny v další verzi.



Obr. 72. Karoserie Ekona v.2. verze 3. (Bokorys)



Obr. 73. Karoserie Ekona v.2. verze 3. (Půdorys)



Obr. 74. Karoserie Ekona v.2. verze 3. (Nárys)

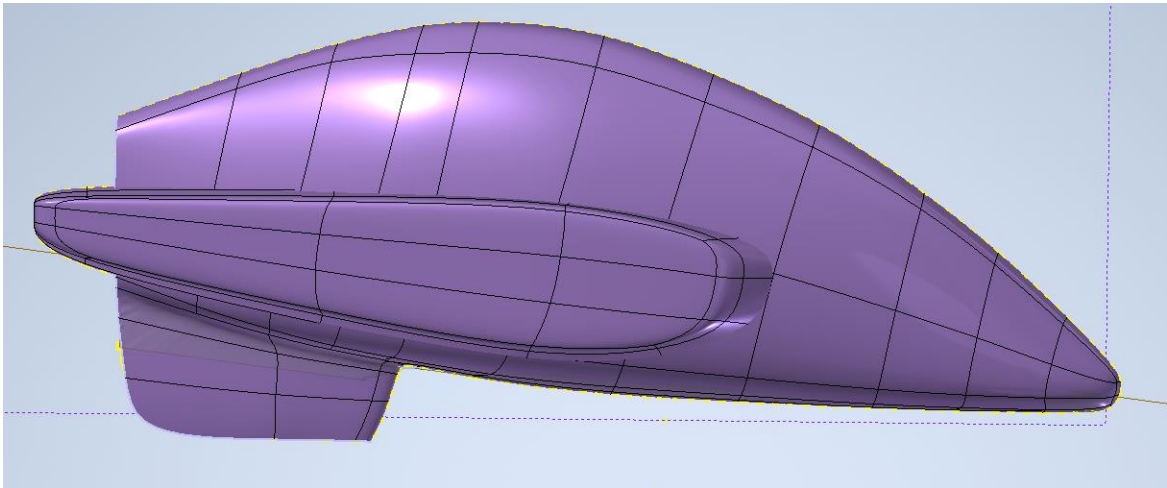
Obr. 75. Karoserie Ekona v.2. verze 3. (Axonometrický pohled)

Takto vymodelovaný tvar (verze 3.) základního těla karoserie bez deformačních zón byl finální. Dále byly modelovány deformační zóny. Základ tvaru byl brán z návrhových sketchů a návrhového výkresu.

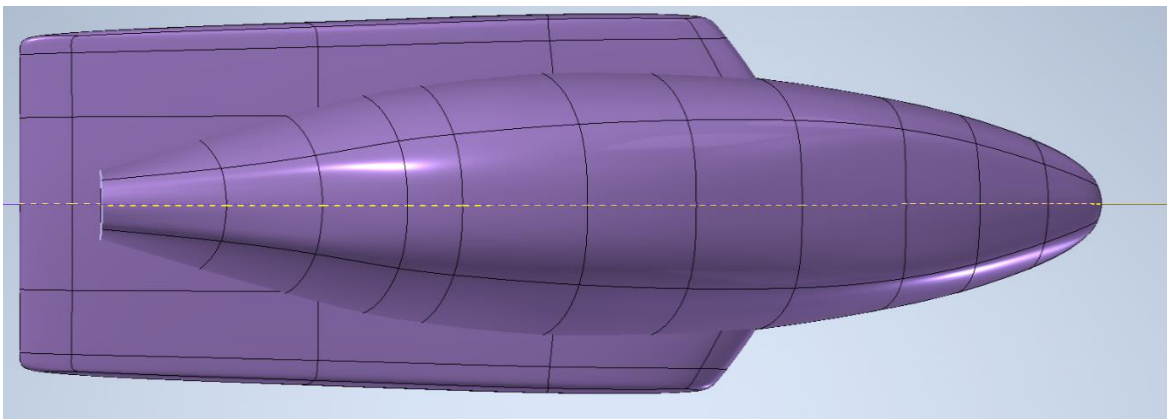
Začalo se vymodelováním zadní a bočních deformačních zón, které na sebe byly napojeny. Byly modelovány jako samostatný volný tvar, jenž se překrývá s modelem nové karoserie. Spojením těchto 2 volných tvarů pak vznikl homogenní model karoserie.

Tvar bočních deformačních zón byl navržen jako profil obráceného křídla, aby bylo dosaženo přitlaku při jízdě.

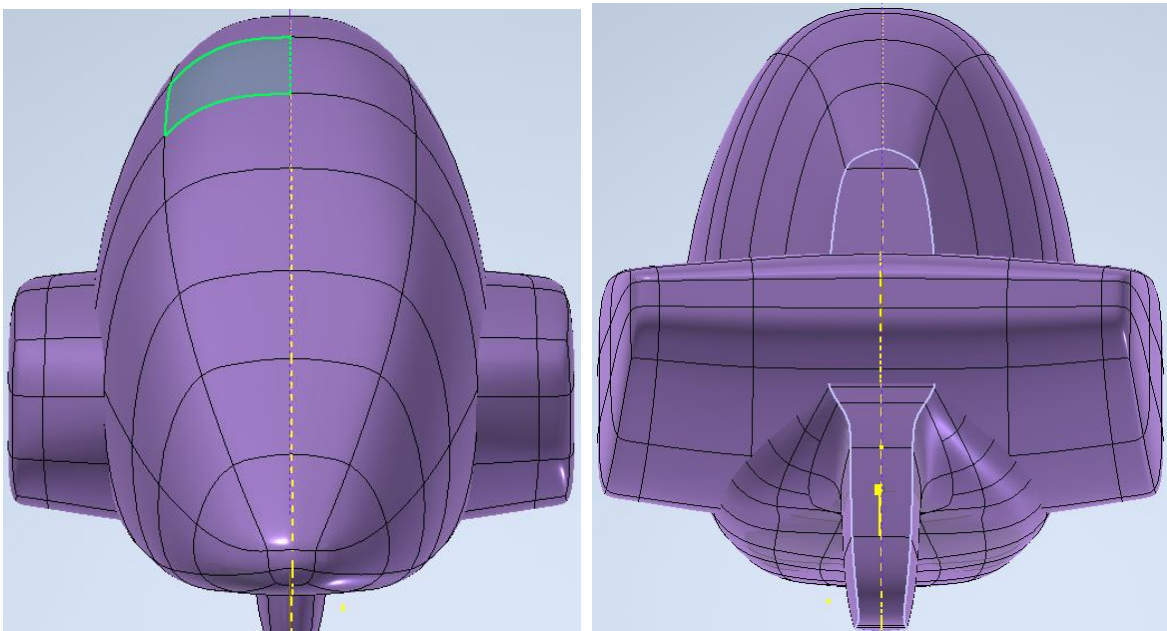
Přechod mezi deformačními zónami a karoserií byl bez plynulých přechodů a zaoblení. Bylo to dáno tím, že deformační zóny byly plánovány odnímatelné a vytvářet přechod mezi nimi a karoserií nebylo nutné.



Obr. 76. Karoserie Ekona v.2. verze 4. (Bokorys)



Obr. 77. Karoserie Ekona v.2. verze 4. (Půdorys)



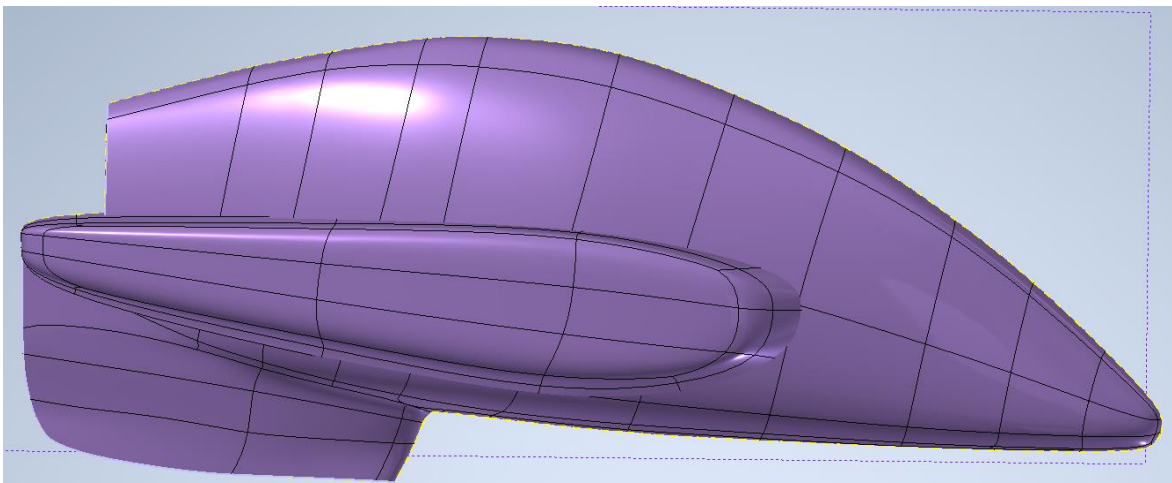
Obr. 78. Karoserie Ekona v.2. verze 4. (Nárys-přední)

Obr. 79. Karoserie Ekona v.2. verze 4. (Nárys-zadní)

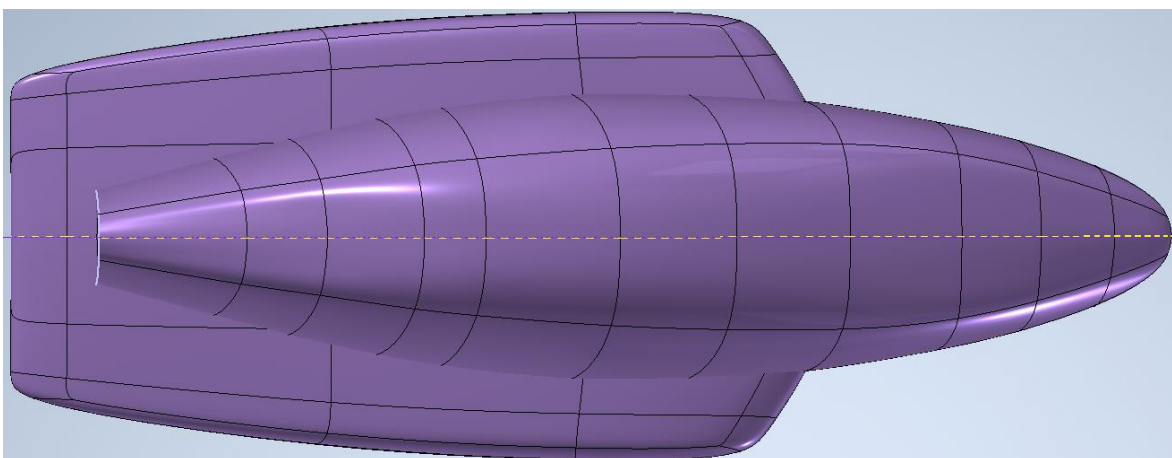
I ve 4. verzi se vyskytly nedostatky, které byly následně změněny. Zadní deformační zóna byla „nasazena“ i na zadní ploutev a vnikl tím tvar T. Bylo tak činěno kvůli tomu, kdyby nárazník bourajícího auta poklesl pod úroveň dosavadní zadní deformační zóny (v důsledku brždění), tak by nedošlo k patřičnému zdeformování zadní deformační zóny a nepohlcená energie nárazu by mohla zapříčinit zranění řidiče Ekona v.2.

Boční deformační zóny byly v půdorysu směrem k zadní části zúženy. Tato úprava zdokonalila aerodynamické vlastnosti karoserie, jmenovitě obtékání vzduchu okolo boků, avšak zachovala funkci bočních deformačních zón.

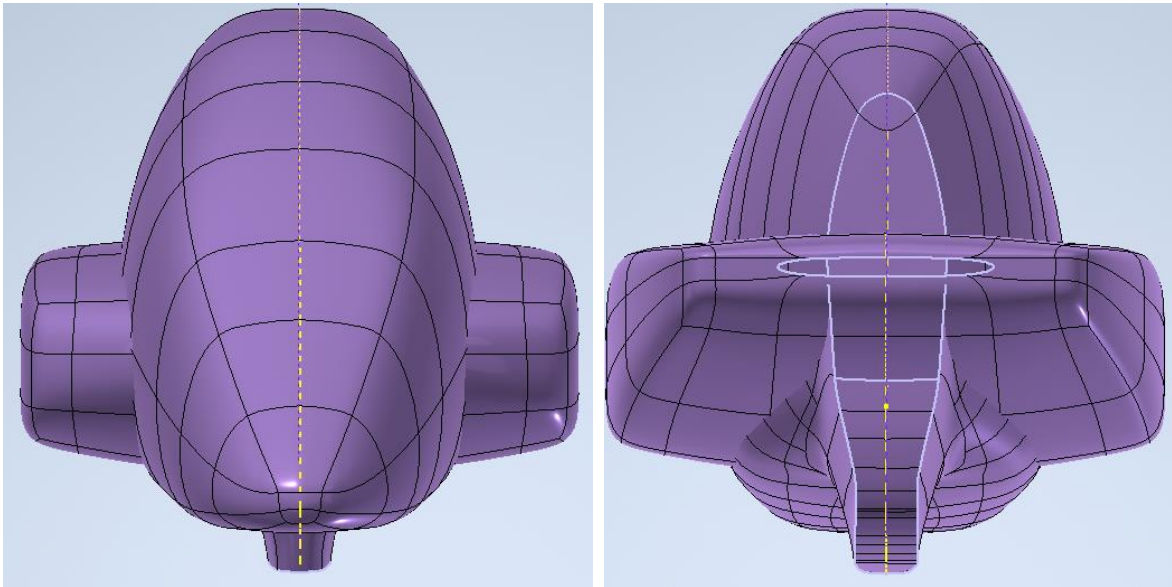
Krom deformačních zón byl ještě upraven základní tvar těla karoserie. Z důvodu zamezení odtrhávání mezní vrstvy a snížení tvorby vírů za zádí byla zvednuta zadní část kabiny a zadní ploutev byla ještě více rozšířena, aby se do ní vešel náboj zadního kola.



Obr. 80. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Bokorys)

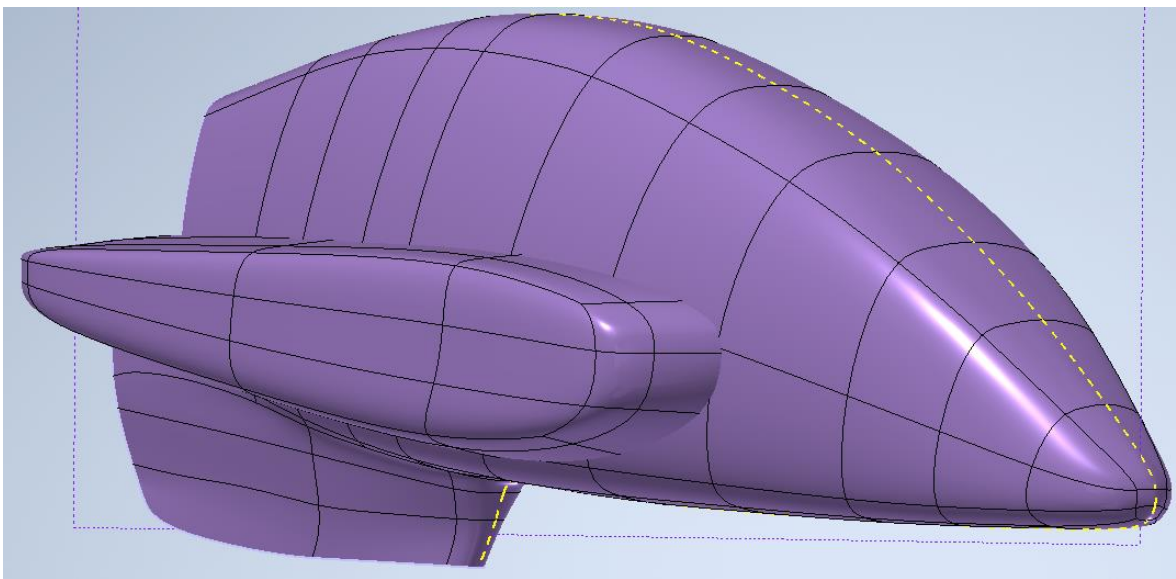


Obr. 81. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Půdorys)



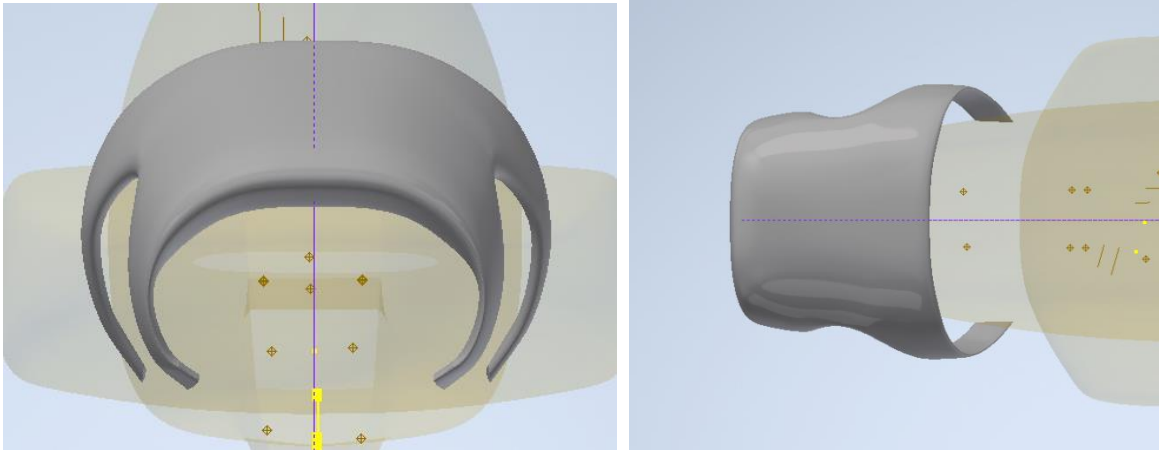
Obr. 82. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Nárys-přední)

Obr. 83. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Nárys-zadní)



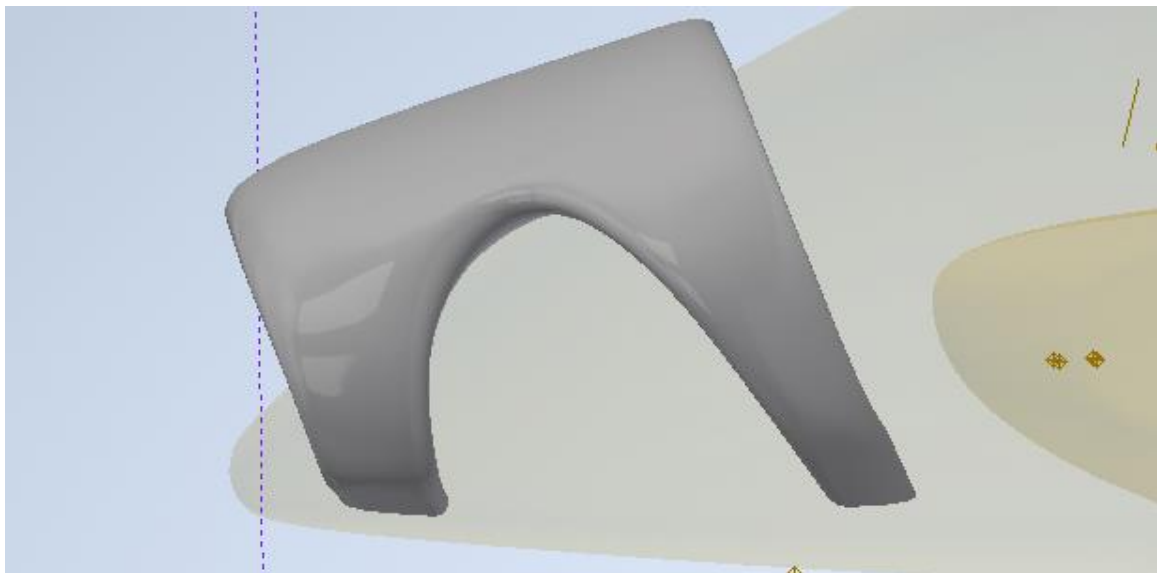
Obr. 84. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Axonometrický pohled)

Takto vymodelovaná karoserie (verze 5.) s přidánými deformačními zónami měla přijatelný tvar a mohla se začít modelovat další část a tou byla přední deformační zóna, která byla opět vytvářena jako samostatné volné těleso.



Obr. 85. Přední deformační zóna verze 1. (Nárys)

Obr. 86. Přední deformační zóna verze 1. (Půdorys)



Obr. 87. Přední deformační zóna verze 1. (Bokorys)

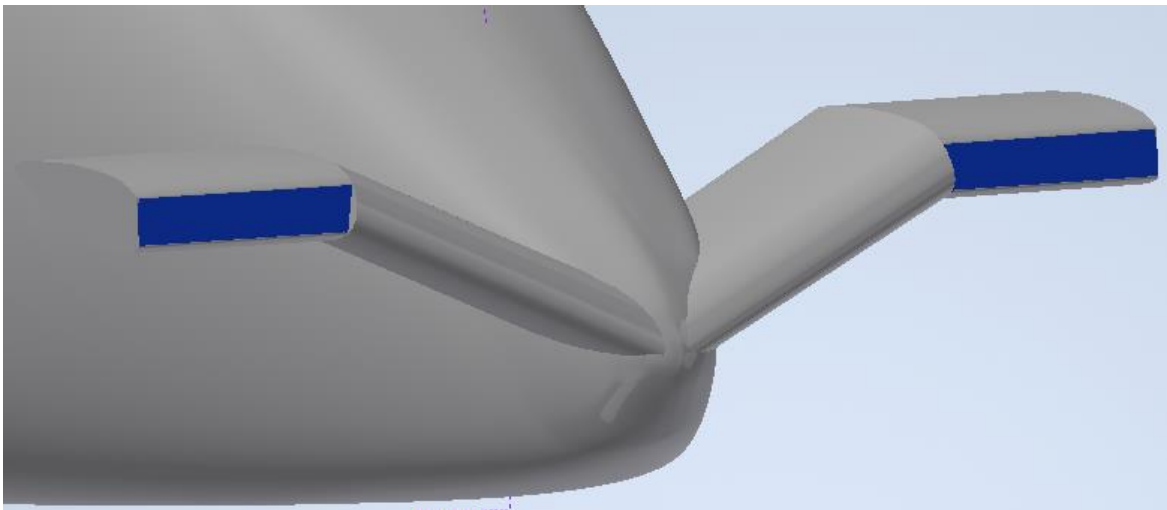
Modelové návrhy budou dále zobrazovány už jen jako uzavřená tělesa (šedé barvy), a nikoliv vyhlazené sítě. Je to dáno tím, že sítě jednotlivých volných tvarů se kryly a vizuální výstupy přestávaly být přehledné.

Tento koncept přední deformační zóny se ukázal jako slepá vývojová větev, jelikož takový tvar přední deformační zóny je velmi složitý a jeho funkčnost jakožto deformační zóny by nebyla dostatečná. Další návrh upravil počáteční podmínku. Už tedy neplatilo, že přední deformační zóna nebude součástí základního tělesa karoserie a že deformační prvek byl realizován 4 nosníky a voštinovým nárazníkem.

Místo toho byl čumák protažen o cca 200 mm dopředu, a byly přidány rohy, které budou fungovat jako nárazníky, aby čumák při čelním nárazu nezajel pod nárazník druhého vozu. Jak do rohů, tak

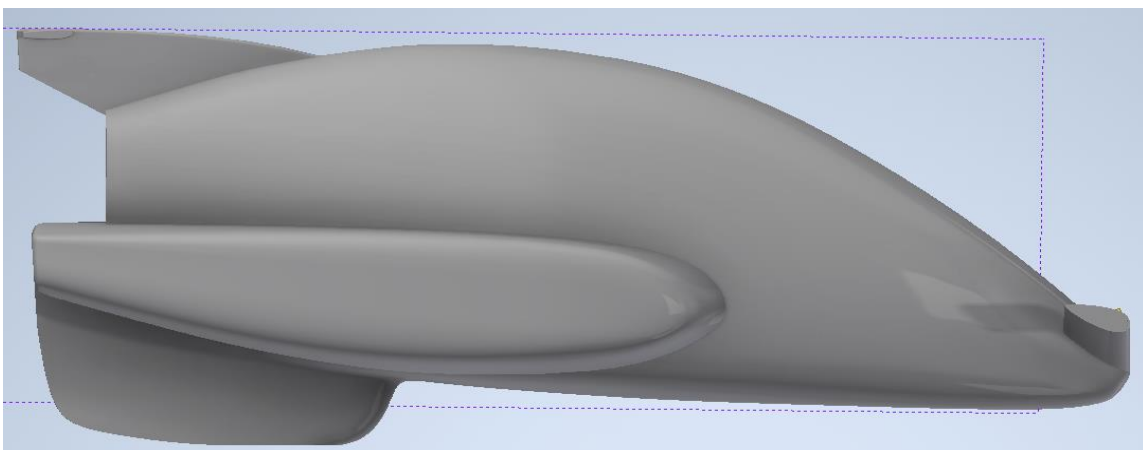
do vytaženého čumáku bude vložena hliníková voština. Rohy budou ještě k tomu vyztuženy vloženým profilem z oceli. Rohy též disponovali plochami pro umístění předních světel (modře vyznačeno viz Obr. 88.). Příslušný prostor pro umístění předních potkávacích světlometů musel být svým nejnižším bodem plochy ne níže než 500 mm nad rovinou vozovky.

Jelikož na daný prostor budou připevněna i obrysová světla, tak museli být bodem, který je nejbližší rovině vymezející maximální šířku vozidla, vzdáleny maximálně 400 mm od této roviny. A zároveň vzdálenost mezi plochami nesměla být menší než 600 mm .

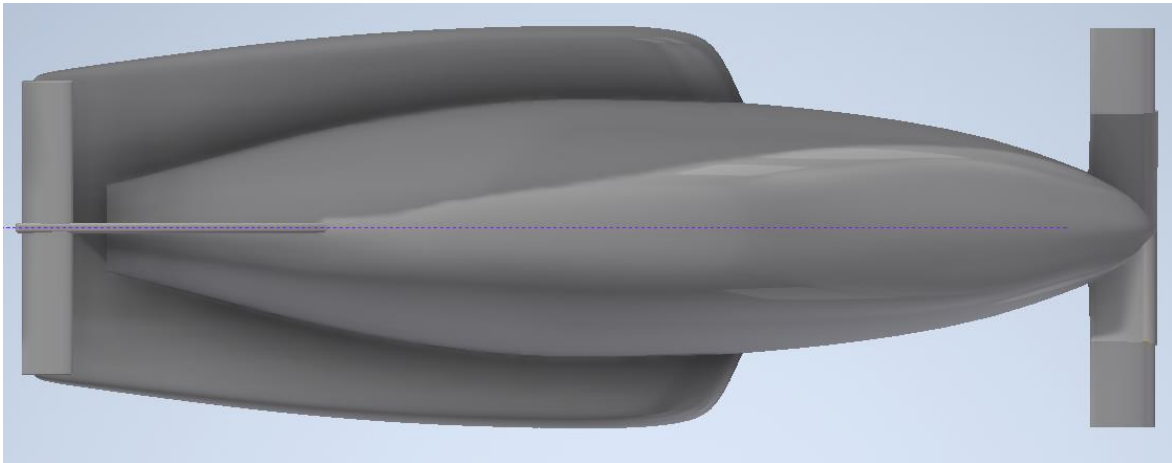


Obr. 88. Přední deformační zóna verze 2. (Axonometrický pohled)

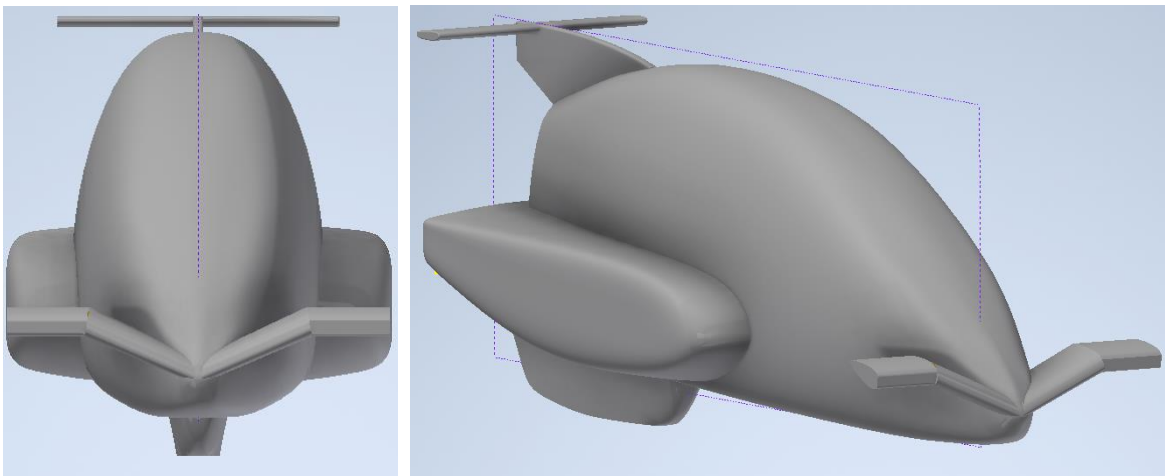
Tento tvar přední deformační zóny byl finální a nyní byla domodelována zadní horní ploutev a spoiler, jejichž tvar a rozměry jakožto nosiče světlometů byly pevně dány. Musely být maximálně $1\ 500\text{ mm}$ nad rovinou vozovky a co se šíře týče, platili stejné rozměry jako u ploch pro přední potkávací světla.



Obr. 89. Karoserie Ekona v.2. finální tvar (Bokorys)



Obr. 90. Karoserie Ekona v.2. finální tvar (Půdorys)



Obr. 91. Karoserie Ekona v.2. finální tvar (Nárys)

Obr. 92. Karoserie Ekona v.2. finální tvar (Axonometrický pohled)

Kompletní model karoserie je obsažen v příloze 1.

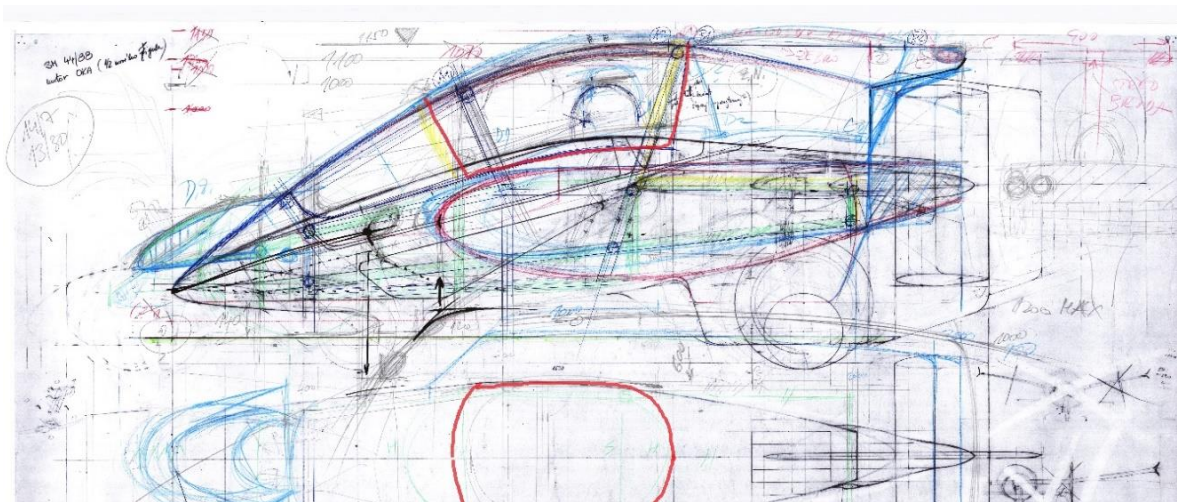
Příloha 1. Model karoserie Ekona v.2.

5.3. Servisní otvory

Když už byl tvar nové karoserie hotový, muselo se navrhnout umístění servisních otvorů, včetně vstupu do kabiny.

Vstup byl realizován, stejně jako u původního Ekona, odnímatelným krytem z ohnutého plexiskla požadovaného tvaru umístěný viz Obr. 93. Příslušná část karoserie se odstraní a po okrajích bude vyztužena sendvičovou konstrukcí, aby byla zachována tuhost. Implementace sendvičové struktury musí být

provedena při samotném laminování, kvůli správnému zakomponování sendviče do laminátu.

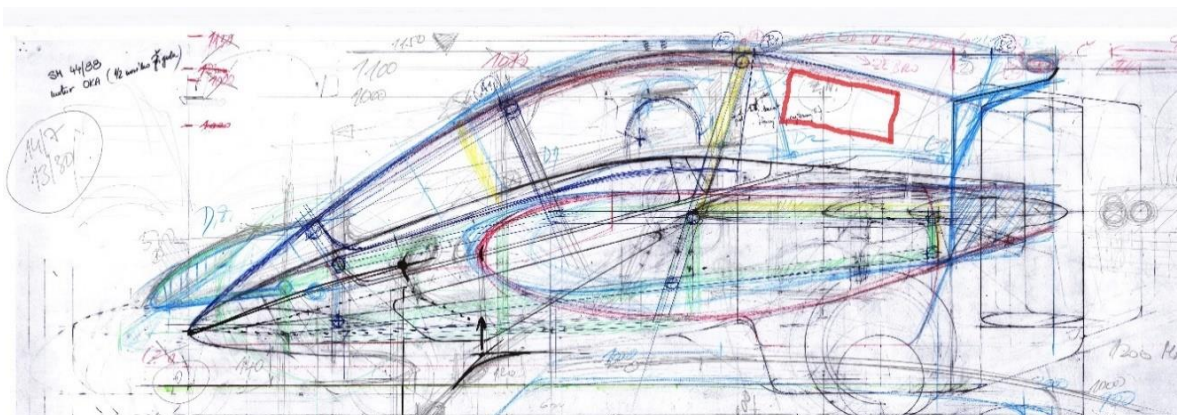


Obr. 93. Návrhový výkres s vyznačeným vstupním otvorem

Zadní část karoserie už nebude odnímatelná, jako u původního Ekona, tento prvek bude nahrazen servisními otvory, které umožní přístup k motoru a zadní části nápravy a díky zachování větší homogenity karoserie, se zvýší celková tuhost konstrukce.

Servisní otvory budou podstatně menší než vstupní otvor, proto není potřeba jejich okraj vyztužovat sendvičovou konstrukcí. Jejich umístění je znázorněno viz Obr. 94.

Servisní otvory byly na karoserii umístěny symetricky. Z jedné strany bude otvor pro přístup k motoru a zadní nápravě a na druhé straně bude otvor pro ukládání zavazadel.

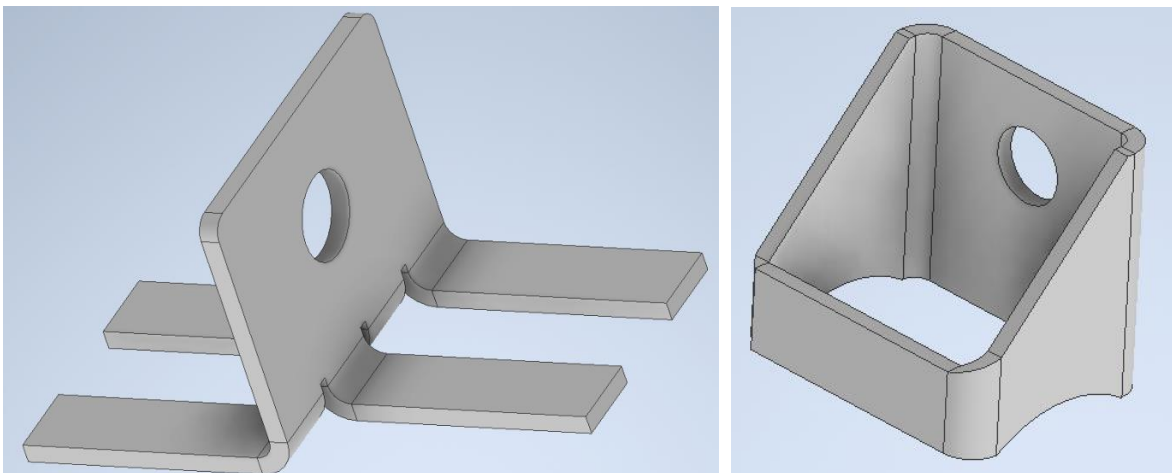


Obr. 94. Návrhový výkres s přibližným umístěním servisních otvorů

5.4. Uchycení karoserie na rám

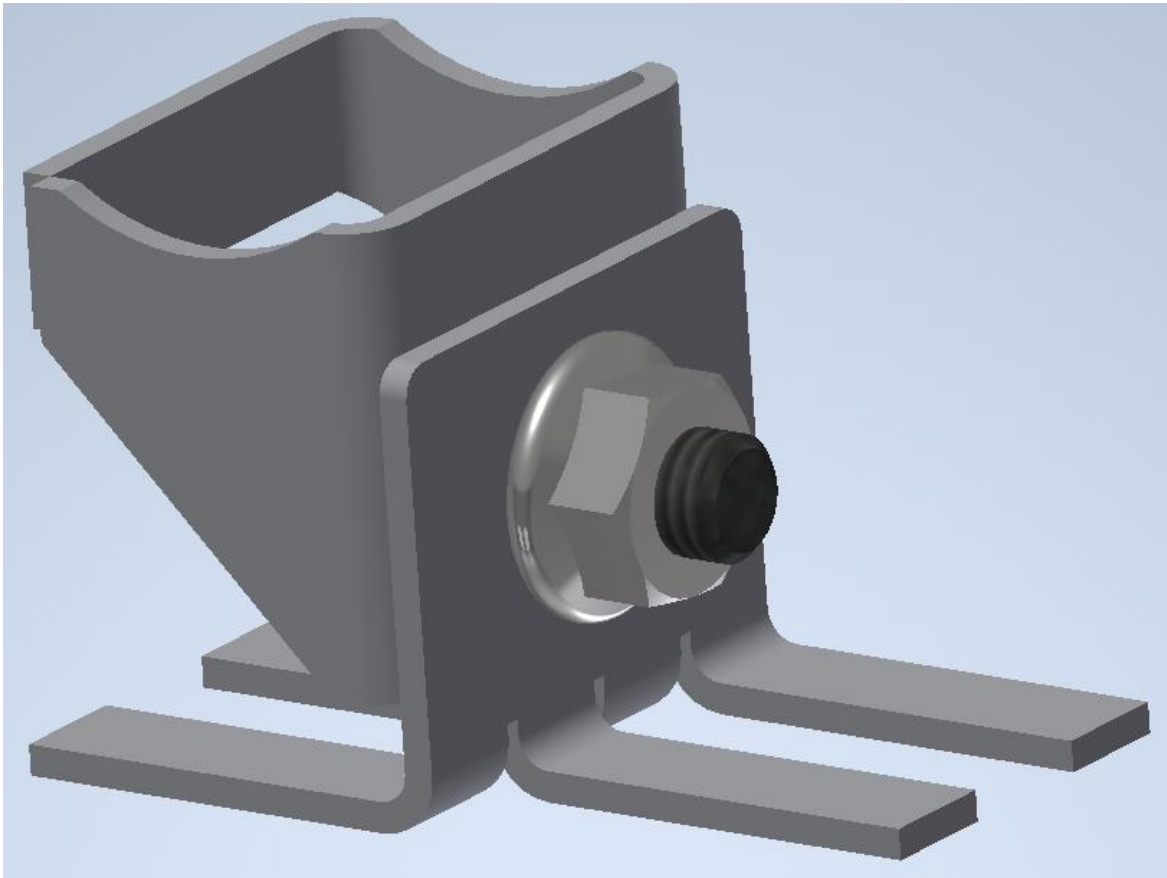
Hotovou karoserii bylo třeba uchytit na rám. Toho bylo docíleno příslušně tvarovanými držáky. Výběr míst, kde ke spojení dojde byl závislý hlavně na tvaru rámu. Karoserie umožňovala uchycení držáku téměř v jakémkoliv místě, krom ploch s extrémní křivostí.

Tvar držáku byl součástí práce M. Mazury. Umístění držáků bylo řešeno v této práci. Umístění bylo řízeno hlavně tvarem rámu. Karoserie musela ve vybraných bodech být dostatečně blízko rámu, aby bylo možné spojení provést. Spoj byl dimenzován na vzdálenost 33 mm mezi profilem rámu a plochou karoserie.



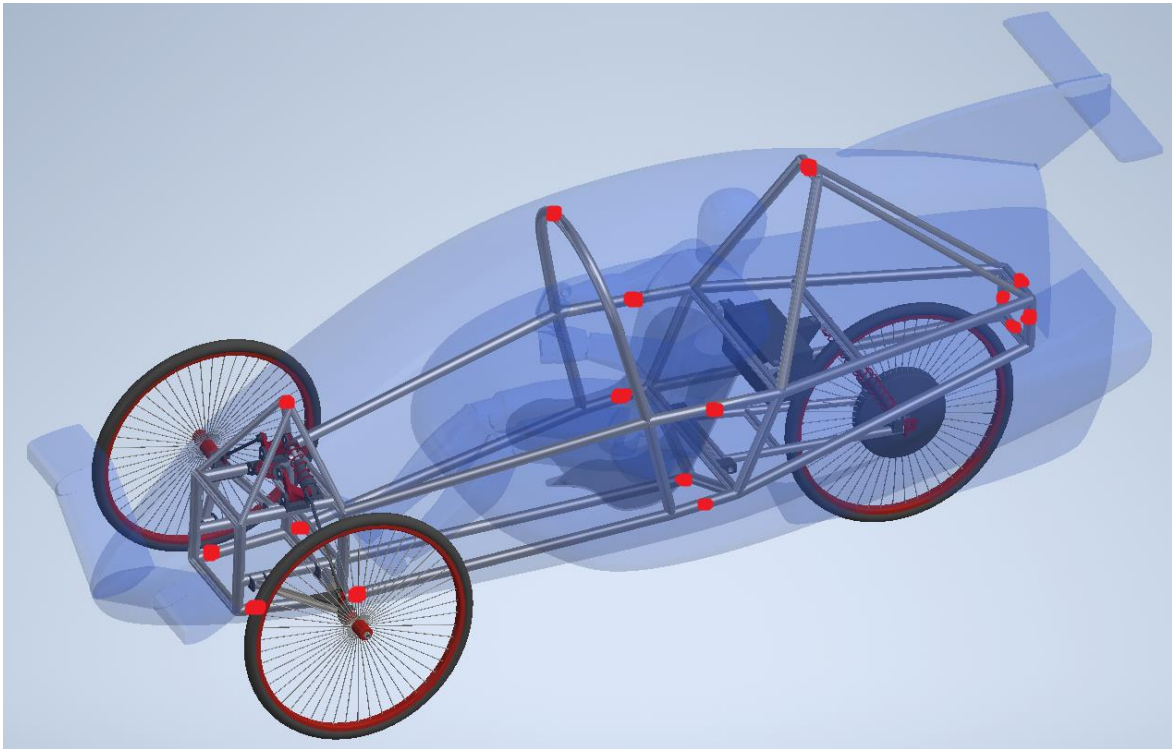
Obr. 95. Úchyt na karoserii (Návrh M.Mazura)

Obr. 96. Úchyt na rám (Návrh M.Mazura)



Obr. 97. Sestava pro uchycení karoserie na rám (Návrh M.Mazura)

Spojovacích míst bude 16 a byla rozmístěna po celém rámu, aby bylo zajištěno dostatečně pevné a tuhé spojení rámu a karoserie, které vydrží po celý životní cyklus vozidla.



Obr. 98. Umístění spojů karoserie-rám

Držáky navržené M. Mazurou budou do karoserie laminovány a na rám vařeny. Následně budou úchyty na rámu spojeny šroubovým spojem s příslušnými protikusy. To zajistí dostatečně pevné spojení a tuhost konstrukce.

Díky šroubovému spojení (viz Obr. 97.) bude možné karoserii z rámu v případě potřeby sejmout a zajistit tak lepší přístup k vnitřnostem vozidla.

6. CFD simulace

V rámci této práce bylo řešeno obtékání navrhnuté karoserie a odporové síly tímto prouděním vyvozené.

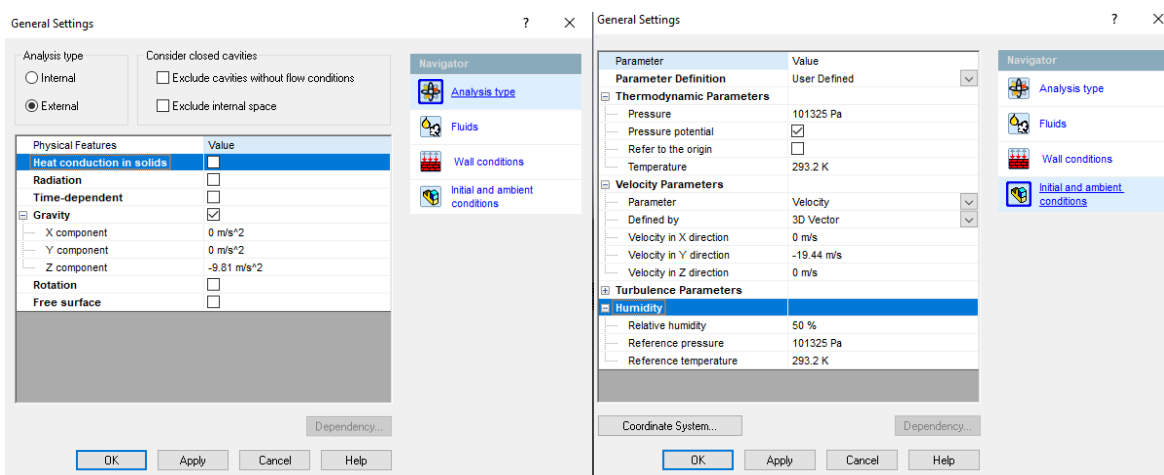
Byl využit „Flow modul“ softwarového prostředí Solidworks, který umožnil vymodelování virtuálního větrného tunelu a vyhodnocení příslušných parametrů.

Modul umí řešit laminární i turbulentní proudění a je vysoce intuitivní a snadno ovladatelný a přitom jeho simulace dosahují vysokých přesností a odpovídají reálnému modelu.

Vstupem do simulace byl model karoserie Ekonu v.2. s přidánými koly.

Hodnocenými parametry byly odporová síla ve směru jízdy a přítlačná síla v normálovém směru k vozovce.

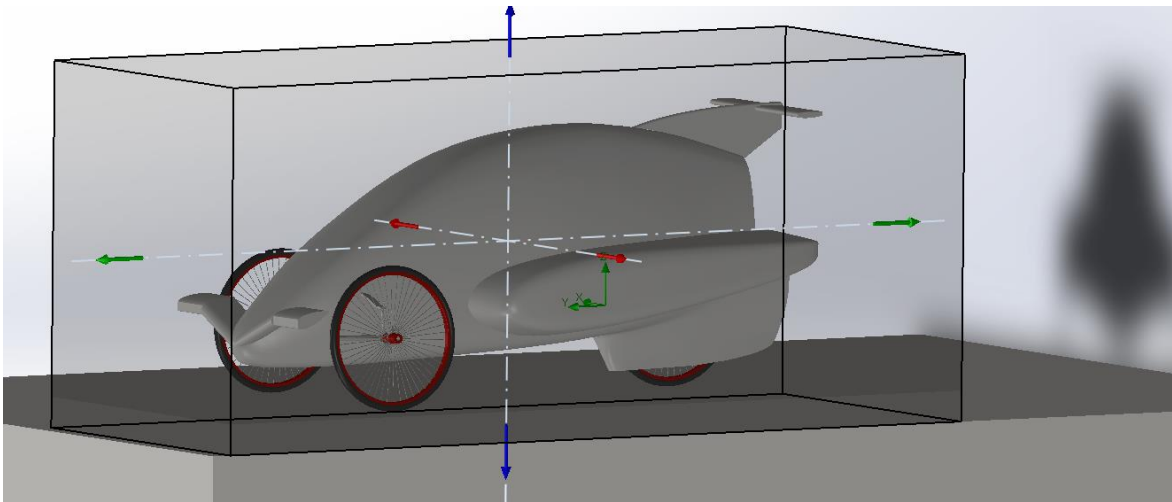
Okrajové podmínky zadané do programu byly: rychlost proudícího větru $v_y = 70 \text{ km/h}$, směr proudění větru (volen proti směru jízdy), Tlak okolního prostředí $p_a = 101\,325 \text{ kPa}$, Relativní vlhkost prostředí $\Phi = 50 \%$, Gravitační zrychlení $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ a okolní teplota $T = 293,2 \text{ K}$.



Obr. 99. Počáteční podmínky CFD simulace

Model byl automaticky zavazben v počátku souřadnicového systému a okolo něj bylo třeba nastavit výpočetní oblast. Mimo tuto oblast neprobíhal výpočet, a proto bylo třeba do výpočetní oblasti zahrnout celý model Ekonu v.2. s dostatečně velkým prostorem okolo, aby výstupní výpočet CFD simulace byl smysluplný.

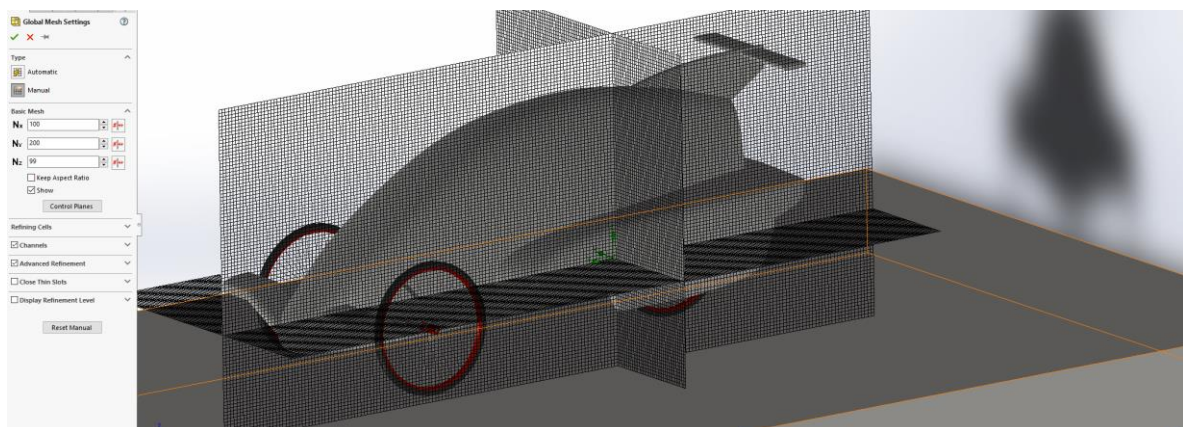
Do modelu byla přidána i vozovka, reprezentovaná plochou pod modelem Ekonu v.2., pro zajištění správných okrajových podmínek simulace.



Obr. 100. Výpočetní oblast CFD simulace

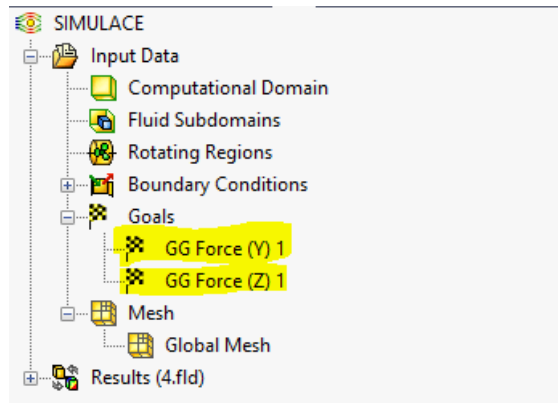
Síť (mesh) bylo možné automaticky vygenerovat, ovšem základní dělení sítě přednastavené v programu nebylo dostatečně jemné.

Bylo proto třeba síť manuálně upravit. Definice sítě byla dána třemi vzájemně ortogonálními rovinami. V každé rovině byl určen počet základních prvků sítě (např. N_x = počet prvků ve směru osy x) jako samostatný parametr. Čím více prvků, tím více přesná simulace byla. Tvar základního prvku byl předdefinován jako čtvercový a nebyl měněn. Počty prvků byly nastaveny následovně: $N_x = 100$, $N_y = 200$ a $N_z = 100$.



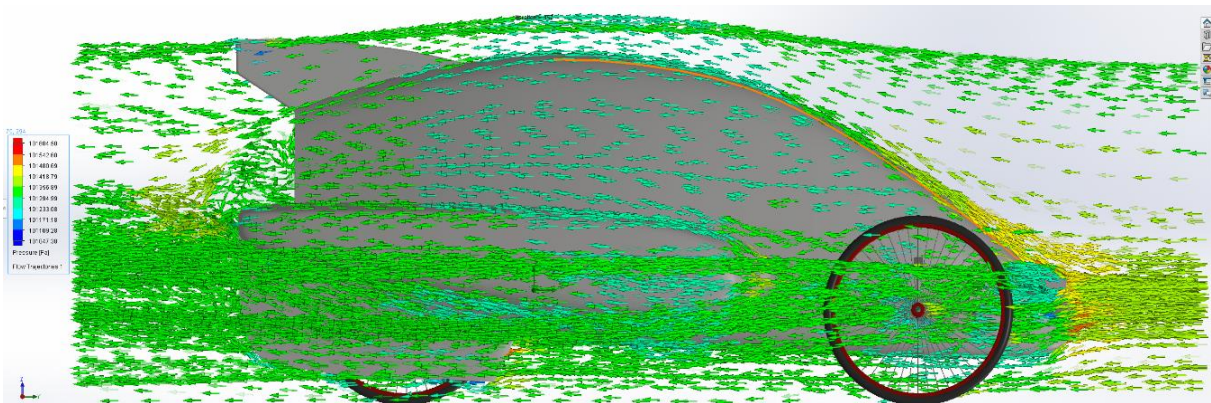
Obr. 101. Síť CFD simulace

Před samotnou simulací se do programu ještě muselo zadat, co má simulace vypočítat. V tomto případě se jednalo o odporovou sílu (GG Force (Y)) a přítlačnou sílu (GG Force (Z)).

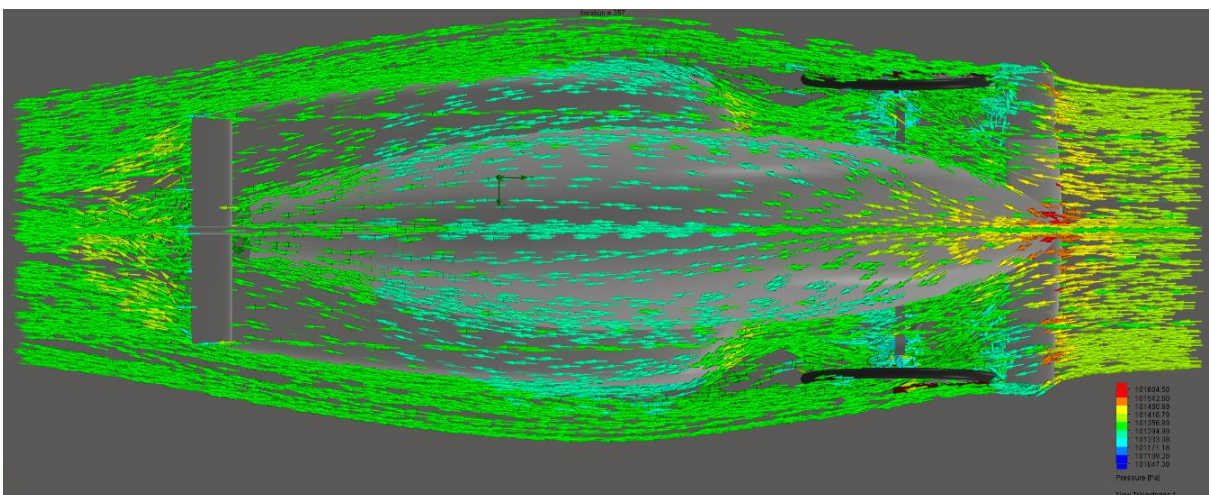


Obr. 102. Zvolené cíle výpočtu

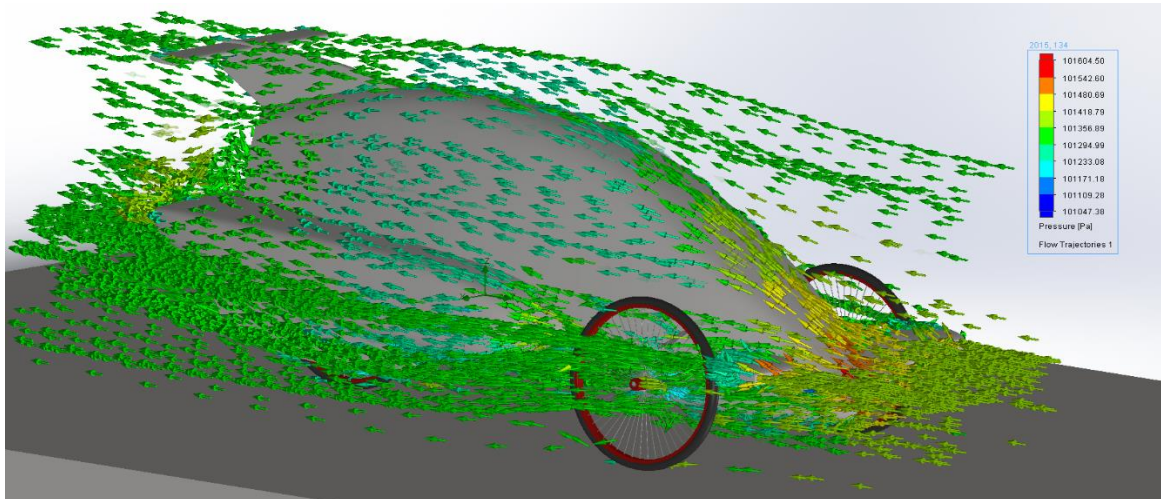
Takto byly počáteční podmínky výpočtu definovány a simulace byla spuštěna.



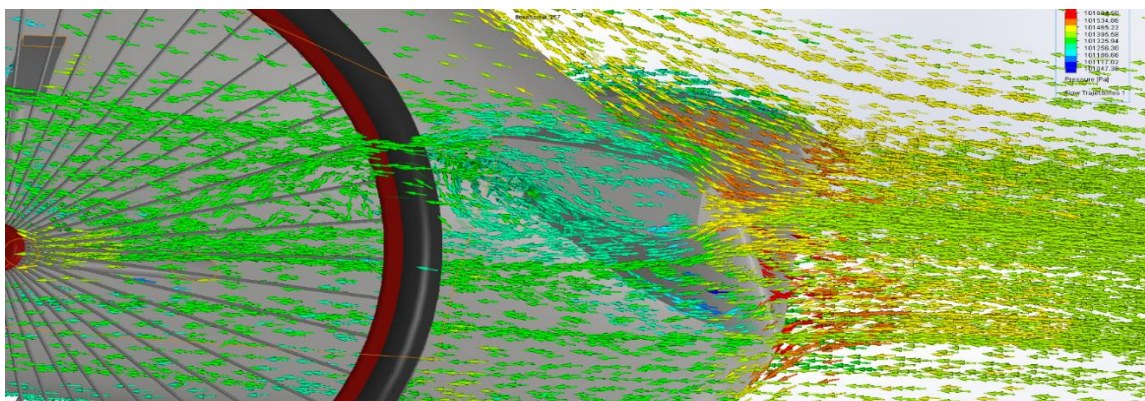
Obr. 103. Proudění okolo karoserie (Bokorys)



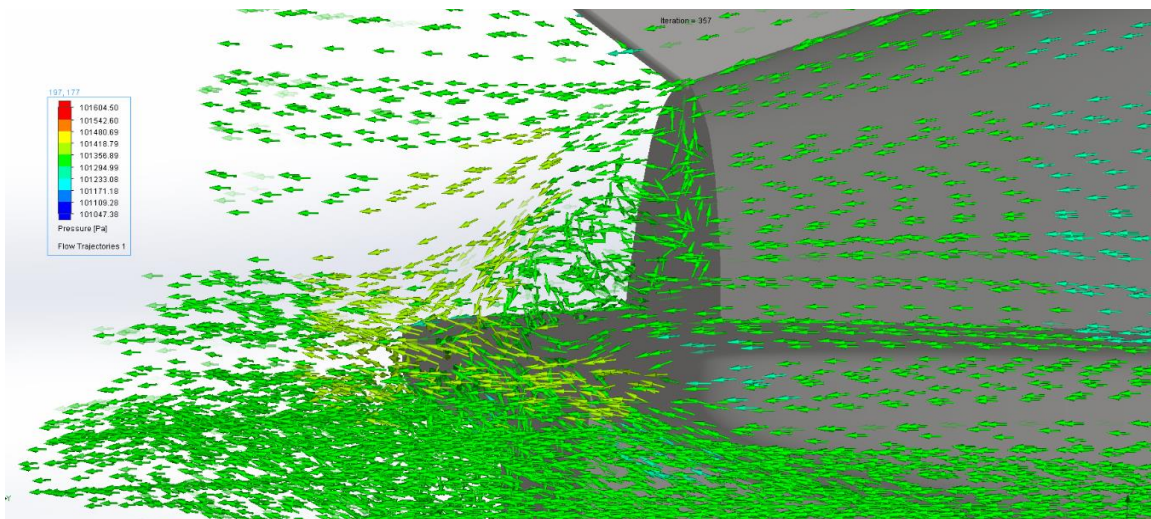
Obr. 104. Proudění okolo karoserie (Půdorys)



Obr. 105. Proudění okolo karoserie (Axonometrický pohled)



Obr. 106. Proudění okolo karoserie (čumák)



Obr. 107. Proudění okolo karoserie (zadní část)

Šipky znázorňují směr proudění a barva šipky vyznačují tlak v daném místě. Červená indikuje přetlak, modrá podtlak. Zelená barva znamená, že v daném místě není podtlak ani přetlak.

Při příslušné orientaci a rychlosti proudění vyšla odporová síla $F_y = 51,093 \text{ N}$ a přítlačná síla $F_z = 17,922 \text{ N}$.

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (Y) 1	[N]	-51.093	-51.096	-51.257	-50.986	100	Yes	0.271	4.847
GG Force (Z) 1	[N]	-17.922	-18.166	-18.657	-17.672	100	Yes	0.986	4.554

Obr. 108. Výsledky simulace CFD

Záporná znaménka jsou dána rozdílem orientací odporových sil a souřadného systému simulace.

Simulace ukázala, že při obtékání navržené karoserie se tvoří turbulentní proudění (víry) za přední deformační zónou (viz Obr. 106.) a v zadní části (viz Obr. 107.). Ty byly ovšem nepatrné a nebylo nutné karoserii upravovat.

Největší tlak ($101\,604 \text{ Pa}$) a tudíž největší odpor vzduchu byl změřen na předku karoserie, což se očekávalo. Veškeré výsledky CFD simulace byly vloženy do Příloha 2.

Příloha 2. CFD simulace v Solidworks – Flow Module

Z naměřené hodnoty odporové síly F_y a při příslušných okolních podmínkách bylo možné dopočítat součinitel odporu vzduchu.

Příloha 3. Výpočet Součinitele aerodynamického odporu C_x

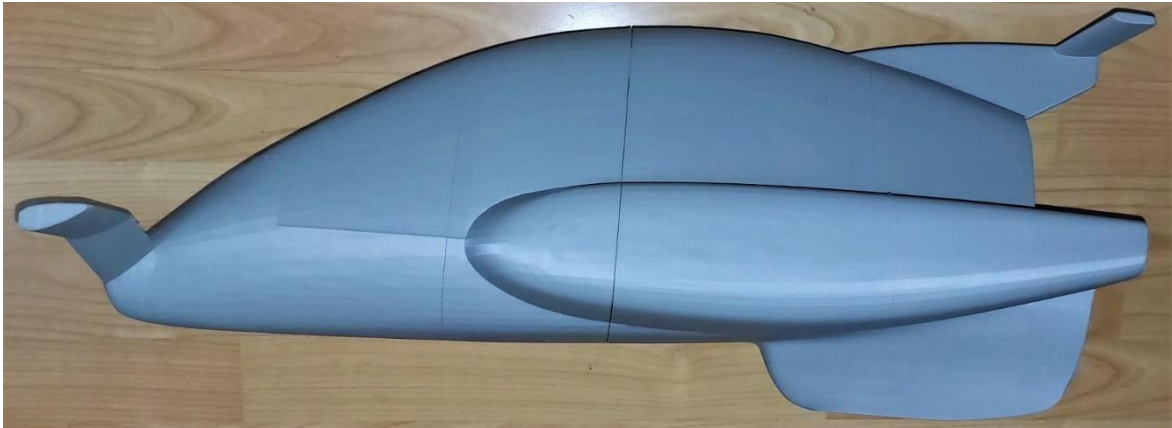
Výsledná hodnota byla 0,232 což odpovídalo výborně tvarované karoserii, co se aerodynamických vlastností týče.

Přítlačná síla F_z vyšla ve směru proti vozovce, což znamená, že při proudění vzduchu okolo takto navrhnuté karoserie bude Ekon v.2. přítlačován k vozovce. Díky tomu bude lépe ovladatelný.

Přítlačná síla však nebyla ani příliš velká, aby podstatně ovlivnila jízdní odpory, jmenovitě odpor valení pneumatik, odpor při stoupání a odpor při akceleraci.

7. 3D tisk nové karoserie v měřítku 1:5

Než bude vytvořena forma pro výrobu samotné karoserie, tak byl pro lepší vizualizaci vytvořen prototypový model karoserie v měřítku 1:5 metodou 3D tisku.



Obr. 109. 3D model karoserie Ekona v.2. pohled 1



Obr. 110. 3D model karoserie Ekona v.2. pohled 2

Na vytisknuté maketě byly zkontrolovány příslušné tvary, přechody mezi jednotlivými plochami a celkový vzhled. Bylo tak učiněno z obavy, že softwarové prostředí zkreslí tvar karoserie a případné nedostatky by byly odhaleny až při tvorbě formy.

Fyzický model však odpovídal ve všech směrech své virtuální předloze (viz Příloha 1) a bylo možné prohlásit, že takto vymodelovaná karoserie je připravena pro výrobu.

8. Závěr

V diplomové práci byl řešen design tvaru karoserie pro nízkoemisní městské vozidlo Ekon v.2.

V rešeršní části byla řešena problematika typu karoserií, materiálů karoserií a technologie výroby vybraného typu materiálu. Vše specificky pro karoserii Ekona v.2.

Na základě zpracovaných informací byla vybrána podvozková karoserie ze skelného vlákna a epoxidové matrice, která bude vyráběna ručním laminováním v kombinaci s vakuovým lisováním.

Praktická část řešila samotný návrh tvaru. Vycházelo se z tvaru karoserie původního Ekona, návrhových sketchů od designéra a konstruktéra původního Ekona Ing. Jiřího Krále (vedoucí DP) a také z příslušných článků vyhlášky o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích v aktuálním znění.

Byl vytvořen model tvaru nové karoserie, včetně tvaru a umístění deformačních zón, umístění servisních otvorů a vytvoření míst pro osvětlení. (viz Příloha 1.)

Ve spolupráci s M. Mazurou bylo vyřešeno uchycení karoserie na rám pomocí speciálních držáků. (viz 5.4.)

Karoserie s rámem byly podrobeny CFD simulaci, která ukázala správnost designu tvaru nové karoserie z aerodynamického hlediska. Z výsledků simulace byl dopočten součinitel aerodynamického odporu $C_x = 0,232$. (viz 6.)

Kvůli kontrole tvaru nové karoserie byl vytisknut 3D model v měřítku 1:5, který měl odhalit nedostatky, které by v 3D modelu nebyly rozpoznatelné. Fyzický model však byl naprosto tvarově vyhovující a nebylo třeba provádět jakékoliv úpravy virtuálního modelu. (viz 7.)

Takto navržená a vymodelovaná karoserie včetně zvoleného materiálu a technologie výroby tvoří kompletní podklad pro výrobu fyzického modelu karoserie 1:1.

Seznam symbolů a zkratek

C_x	<i>Součinitel aerodynamického odporu</i>
ρ	<i>Hustota</i>
E	<i>Modul pružnosti</i>
R_m	<i>Mez pevnosti</i>
ε	<i>Tažnost</i>
v_y	<i>Rychlost větru (ve směru osy y)</i>
p_a	<i>Tlak prostředí (atmosférický tlak)</i>
Φ	<i>Relativní vlhkost vzduchu</i>
g	<i>Gravitační zrychlení</i>
T	<i>Teplota</i>
N_x	<i>Počet prvků sítě ve směru osy x</i>
N_y	<i>Počet prvků sítě ve směru osy y</i>
N_z	<i>Počet prvků sítě ve směru osy z</i>
F_y	<i>Odporová síla</i>
F_z	<i>Přítlačná síla</i>

Seznam použité literatury

- [1] MACHÁČOVÁ, Ing Dana a Pavel MACHÁČ. Stavba karoserií a skříní. nedatováno, 102.
- [2] VLK, František. *Karoserie motorových vozidel: Ergonomika. Biomechanika. Pasivní bezpečnost. Kolize. Struktura. Materiály*. 1. vyd. B.m.: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 978-80-238-5277-6.
- [3] MALLICK, P. K., ed. *Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles*. 1st pub. Boca Raton, Fla. : Oxford: CRC Press ; Woodhead, 2010. Woodhead Publishing in materials. ISBN 978-1-84569-463-0.
- [4] MACHEK, Václav. *Nauka o materiálu*. Vyd. 1. B.m.: ČVUT, 2001. ISBN 978-80-01-02424-9.
- [5] *Samonosná karoserie* [online]. 2021 [vid. 2021-11-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Samonosná_karoserie&oldid=20364108
- [6] Fotogalerie: Karoserie nového Mercedesu SL. *iDNES.cz* [online]. [vid. 2021-11-02]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/celohlinikove-telo-noveho-mercedesu-funguje-jako-reproduktor.A111202_193720_ak_aktual_ada/foto
- [7] KARLÍK, Jan. Icona Vulcano: první titanové auto má výkon 679 koní a stojí 80 milionů Kč. *auto-mania.cz* [online]. 12. srpen 2016 [vid. 2021-11-02]. Dostupné z: <https://auto-mania.cz/icona-vulcano-prvni-titanove-auto-ma-vykon-679-koni-a-stoji-80-milionu-kc/>
- [8] *FS.13 – CTU CarTech* [online]. [vid. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://cartech.cvut.cz/fs-13/>
- [9] KOŘÍNEK, Zdeněk. Definice a historie kompozitů. *Google Docs* [online]. [vid. 2021-11-04]. Dostupné z: https://drive.google.com/file/d/1buTHQ0wJf-MA5sFzvi89f5Tm9r0qKFAb/view?usp=sharing&usp=embed_facebook
- [10] KOŘÍNEK, Zdeněk. Kompozity-Matrice. *Google Docs* [online]. [vid. 2021-11-07]. Dostupné z: https://drive.google.com/file/d/1xKu2cZA3gkL3PC_DgIXrOVUoFScaVFtL/view?usp=embed_facebook

- [11] VRBKA, Jan. *MECHANIKA KOMPOZITŮ* [online]. [vid. 2021-11-08]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/19075854-Mechanika-kompozitu-prof-rndr-ing-jan-vrbka-drsc-ustav-mechaniky-telesmechatroniky-a-biomechaniky-fakulta-strojního-inženýrství-vut-v-brně.html>
- [12] LAŠ, Vladislav a ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA. FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD. *Mechanika kompozitních materiálů* [online]. 2. přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008 [vid. 2021-11-10]. Book, Whole. ISBN 978-80-7043-698-1. Dostupné z: <https://go.exlibris.link/r56LC4Br>
- [13] KOŘÍNEK, Zdeněk. *Kompozity-Vlákna* [online]. [vid. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/13laXaUZ1GDDetCdz1KaufjHLRdTLNomu/view>
- [14] *Z historie čalounických materiálů - tkané textilie* [online]. [vid. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.nabytek-dnes.cz/z-historie-calounicky-ch-materialu-tkane-textilie-p144>
- [15] *Skelná rohož 225g/m² | Boatpark.cz* [online]. [vid. 2021-11-21]. Dostupné z: https://www.boatpark.cz/skelná-rohož-225gm2.html?gclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZC6llwXbTYsV2MUEhQT4ue7C7hFT6ZYDLiFRCXdB4kyEGF0AzGufwaAp7HEALw_wcB
- [16] Výztuže - Koral Tišnov | Výroba a distribuce kompozitů. *Koral Tišnov* [online]. [vid. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.koral.biz/produkty/vyztuze/>
- [17] *Uhlíková vlákna - karbonové kompozity - Materiály - Duratec* [online]. [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.duratec.cz/cs/techinfo/pouzivane-materialy/uhlikova-vlakna-karbonove-kompozity/>
- [18] UHLÍKOVÁ TKANINA 160G / M2 (1000 * 1200MM) (2/2 vazba - kepr). *Modelemax* [online]. [vid. 2021-11-16]. Dostupné z: <https://modelemax.pl/cs/uhlikove-tkaniny/26726-uhlikova-tkanina-160g-m2-1000-1200mm-2-2-vazba-kepr>
- [19] *Kompozit s hliníkovou maticou spevněný bórovými vlákny* [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <http://www.umms.sav.sk/6499-sk/kompozit-s-hlinikovou-maticou-spevněny-borovými-vlákny/>
- [20] ELEMENT-SHOP.CZ. Aramidové tkaniny. *element-shop.cz* [online]. [vid. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://www.element-shop.cz/aramidove-tkaniny/>

- [21] *HAVEL COMPOSITES-technologie výroby kompozitů* [online].
[vid. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://www.havel-composites.com/uploads/files/Technologie%20v%C3%BDroby%20kompozit%C5%AF.pdf>
- [22] *Technology Manuals | Hexcel | Prepreg honeycombs* [online].
[vid. 2021-11-29]. Dostupné z: https://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/Prepreg_Technology.pdf
- [23] *Sendvičové konstrukce | MM Průmyslové spektrum.*
www.mmspektrum.com [online]. [vid. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/sendvicove-konstrukce>

Seznam obrázků

Obr. 1. Boční pohled na Ekona v.1.	2
Obr. 2. Horní pohled na Ekona v.1.	2
Obr. 3. Přední pohled na Ekona v.1.	2
Obr. 4. (zleva) Podvozková, polonosná a samonosná karoserie [1]	4
Obr. 5. (zleva) Blatníková, pontonová a proudnicová karoserie [1]	5
Obr. 6. Oblasti výhledu z kabiny [2]	6
Obr. 7. Ocelová karoserie Lancia Lambda [5]	8
Obr. 8. Celohliníkové tělo a karoserie Mercedesu kabriolet SL [6]	9
Obr. 9. Titanová karoseria Icona Vulcan [7]	10
Obr. 10. Uhlíkový kompozitní monokok formule FS.13 [8]	11
Obr. 11. Částicový a skeletový kompozitní materiál [11]	13
Obr. 12. Dělení vláknových kompozitů dle typu a orientace vláken [12]	14
Obr. 13. Vazby tkanin (zleva): Pláno, Kepr, Atlas [14]	15
Obr. 14. Rohož z kontinuálních skelných vláken [15]	16
Obr. 15. Rolet tkanin a rovingů ze skelných vláken [16]	16
Obr. 16. Uhlíkový tkanina [18]	17
Obr. 17. Bórové vlákno v hliníkové matici [19]	18
Obr. 18. Aramidová tkanina [20]	18
Obr. 19. Dvoudílná forma karoserie původního Ekona (Horní, spodní)	20
Obr. 20. Ruční kladení kompozitu do negativní formy [21]	21
Obr. 21. Technologie stříkání kompozitu [21]	22
Obr. 22. Lisování kompozitu za studena [21]	23
Obr. 23. Lisování kompozitu pomocí vakua [21]	24
Obr. 24. Vakuová pec (vlevo) a autokláv (vpravo) [22]	25
Obr. 25. Mechanické vlastnosti sendvičové struktury v závislosti na tloušťce jádra [22]	26
Obr. 26. Technologie výroby sendvičové struktury z prepregu vakuovým lisováním [22]	26
Obr. 27. Lisování za tepla [21]	27
Obr. 28. a Obr. 29. Vstup do kabiny zakrytovaný / nezakrytovaný	29
Obr. 30. a Obr. 31. Odnímatelná zadní část karoserie	30
Obr. 32. a Obr. 33. Otvory v karoserii pro přední nápravu a řízení	30
Obr. 34. a Obr. 35. Pohled na přední zpětné zrcátko	30
Obr. 36. Skenování spodní části formy původního Ekona	31
Obr. 37. Neupravený sken spodní části formy karoserie	32
Obr. 38. Neupravený sken spodní části formy karoserie (Pohled 2)	32
Obr. 39. Neupravený sken horní části formy karoserie	32
Obr. 40. Neupravený sken horní části formy karoserie (Pohled 2)	32
Obr. 41. Sken spodní formy opravený	33
Obr. 42. Sken spodní části formy opravený – detail zadní ploutve	33
Obr. 43. Sken spodní části s redukováním množstvím základních plošek	34
Obr. 44. Upravený sken spodní formy – síť (Autodesk Inventor)	34
Obr. 45. Upravený sken spodní formy nahrazený plochami	35
Obr. 46. „Plný“ model spodní formy	35
Obr. 47. Referenční model karoserie původního Ekona (Axonometrický pohled 1)	35
Obr. 48. Referenční model karoserie původního Ekona (Axonometrický pohled 2)	36
Obr. 49. Návrhový výkres s vyznačeným tvarem původního Ekona	37
Obr. 50. Návrhový sketch 1: Axonometrické zobrazení nové karoserie	38
Obr. 51. Návrhový sketch 2: Pohled na zadní část nové karoserie	39
Obr. 52. Návrhový sketch 3: Umístění rámu v nové karoserii	39
Obr. 53. Kolega M. Mazura v původním Ekonu v.1.	40
Obr. 54. Návrhový výkres s vyznačeným novým tvarem kabiny	40

Obr. 55. Návrhový sketch 4: Šířka karoserie a zobrazení náběhu boční deformační zóny	41
Obr. 56. Návrhový výkres s vyznačenými deformačními zónami	42
Obr. 57. Návrhový sketch 5: Umístění deformačních zón a naznačení možných směrů nárazu (šipky)	43
Obr. 58. Návrhový sketch 6: Tvary deformačních zón	43
Obr. 59. Návrhový sketch 7: Tvary odnímatelných deformačních zón	44
Obr. 60. Model karoserie Ekona v.1. s návrhovým výkresem	44
Obr. 61. Model karoserie Ekona v.1. s návrhovým výkresem a figurínou	45
Obr. 62. Karoserie Ekona v.2. verze 1. (Bokorys)	45
Obr. 63. Karoserie Ekona v.2. verze 1. (Půdorys)	46
Obr. 64. Karoserie Ekona v.2. verze 1. (Nárys)	46
Obr. 65. Karoserie Ekona v.2. verze 1. (Axonometrický pohled)	46
Obr. 66. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Bokorys)	46
Obr. 67. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Půdorys)	47
Obr. 68. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Nárys)	47
Obr. 69. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Axonometrický pohled)	47
Obr. 70. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Bokorys průhledný)	47
Obr. 71. Karoserie Ekona v.2. verze 2. (Axonometrický pohled- Nevyhlazený)	48
Obr. 72. Karoserie Ekona v.2. verze 3. (Bokorys)	48
Obr. 73. Karoserie Ekona v.2. verze 3. (Půdorys)	49
Obr. 74. Karoserie Ekona v.2. verze 3. (Nárys)	49
Obr. 75. Karoserie Ekona v.2. verze 3. (Axonometrický pohled)	49
Obr. 76. Karoserie Ekona v.2. verze 4. (Bokorys)	50
Obr. 77. Karoserie Ekona v.2. verze 4. (Půdorys)	50
Obr. 78. Karoserie Ekona v.2. verze 4. (Nárys-přední)	50
Obr. 79. Karoserie Ekona v.2. verze 4. (Nárys-zadní)	50
Obr. 80. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Bokorys)	51
Obr. 81. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Půdorys)	51
Obr. 82. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Nárys-přední)	52
Obr. 83. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Nárys-zadní)	52
Obr. 84. Karoserie Ekona v.2. verze 5. (Axonometrický pohled)	52
Obr. 85. Přední deformační zóna verze 1. (Nárys)	53
Obr. 86. Přední deformační zóna verze 1. (Půdorys)	53
Obr. 87. Přední deformační zóna verze 1. (Bokorys)	53
Obr. 88. Přední deformační zóna verze 2. (Axonometrický pohled)	54
Obr. 89. Karoserie Ekona v.2. finální tvar (Bokorys)	54
Obr. 90. Karoserie Ekona v.2. finální tvar (Půdorys)	55
Obr. 91. Karoserie Ekona v.2. finální tvar (Nárys)	55
Obr. 92. Karoserie Ekona v.2. finální tvar (Axonometrický pohled)	55
Obr. 93. Návrhový výkres s vyznačeným vstupním otvorem	56
Obr. 94. Návrhový výkres s přibližným umístěním servisních otvorů	56
Obr. 95. Úchyt na karoserii (Návrh M.Mazura)	57
Obr. 96. Úchyt na rám (Návrh M.Mazura)	57
Obr. 97. Sestava pro uchycení karoserie na rám (Návrh M.Mazura)	58
Obr. 98. Umístění spojů karoserie-rám	59
Obr. 99. Počáteční podmínky CFD simulace	60
Obr. 100. Výpočetní oblast CFD simulace	61
Obr. 101. Síť CFD simulace	61
Obr. 102. Zvolené cíle výpočtu	62
Obr. 103. Proudění okolo karoserie (Bokorys)	62
Obr. 104. Proudění okolo karoserie (Půdorys)	62
Obr. 105. Proudění okolo karoserie (Axonometrický pohled)	63
Obr. 106. Proudění okolo karoserie (čumák)	63
Obr. 107. Proudění okolo karoserie (zadní část)	63



Obr. 108. Výsledky simulace CFD	64
Obr. 109. 3D model karoserie Ekona v.2. pohled 1	65
Obr. 110. 3D model karoserie Ekona v.2. pohled 2	65



Seznam tabulek

Tabulka 1. Mechanické vlastnosti vybraných reaktoplastů [11]	12
Tabulka 2. Mechanické vlastnosti vybraných termoplastů [11].....	12
Tabulka 3. Mechanické vlastnosti vybraných vláken [11]	14



Seznam příloh

Příloha 1. Model karoserie Ekona v.2.....	55
Příloha 2. CFD simulace v Solidworks – Flow Module.....	64
Příloha 3. Výpočet Součinitele aerodynamického odporu C_x	64