



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Illia Melnyk

**Návrh konstrukce bočních dveří pro experimentální
městské EV**

Bakalářská práce

2024

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Illia Melnyk

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Návrh konstrukce bočních dveří pro experimentální městské EV**

Název tématu (anglicky): Design of the Side Door Structure for an Experimental Urban EV

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Proveďte rešerši používaných typů konstrukčních řešení bočních dveří automobilu
- Popište požadované vlastnosti dveří vozidla z hlediska pasivní bezpečnosti
- Zpracujte přehled aktuální legislativy a normativních požadavků týkajících se bezpečnosti a konstrukce dveří pro vozidla kategorie M1
- Proveďte návrh konstrukčního řešení bočních dveří vozidla včetně všech funkčních částí (závěsy, zámky, klika ...) v souladu s platnou legislativou
- Veškeré návrhy a postupy cílte na užití v projektu experimentálního městského EV, které vzniká na ústavu K616 FD ČVUT



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucích

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: FIRST, Jiří a kol.: Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha: S&T CZ, 2008, ISBN 978-80-254-1805-5.

František Vlk: Stavba motorových vozidel, Brno 2003, ISBN 80-238-8757-2

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Cenker
Ing. Josef Mík, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

25. června 2023

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

5. srpna 2024

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Illia Melnyk
jméno a podpis studenta

V Praze dne 25. června 2023

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval svým vedoucím panu Ing. Michalu Cenknerovi a panu Ing. Josefu Míkovi, Ph.D. za odborné rady, ochotu a vstřícnost během zpracování této práce. Zároveň bych chtěl poděkovat také mé rodině a blízkým přátelům za jejich podporu během studia.

PROHLÁŠENÍ

„Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).“ (pokud nebyla tato závěrečná práce zadána jako utajená dle čl. 15 odst. 11 aktuální Směrnice děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů)

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací a Rámcovými pravidly používání umělé inteligence na ČVUT pro studijní a pedagogické účely v Bc. a NM studiu“.

V Praze dne 5.8.2024

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh konstrukce bočních dveří pro experimentální městské EV

bakalářská práce

srpen 2024

Illia Melnyk

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí bočních dveří malého městského elektrického vozidla. Jsou řešeny různé typy konstrukčního řešení a požadované vlastnosti. Závěrem práce je návrh konstrukce bočních dveří pro vozidlo Evgen.

Klíčová slova: městské vozidlo, dveře, konstrukce rámu, Evgen, legislativní požadavky, modelování, Citroën Ami, aktivní bezpečnost, pasivní bezpečnost, design.

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with construction side doors of a small city electric vehicle. During the research were solved different types of constructional solution and required properties. The conclusion of the work is the design of the side door structure for the vehicle Evgen.

Keywords: city vehicle, side doors, frame construction, Evgen, law properties, modeling, Citroën Ami, active safety, passive safety, design.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	6
1 Úvod	7
2 Používané typy konstrukčních řešení bočních dveří	9
2.1 Mechanismus otevírání a zavírání	9
2.2 Boční okno	14
2.3 Nosný rám dveří	17
2.4 Závěsy	20
2.5 Zámky	21
2.6 Kliky	22
2.7 Omezovače dveří	25
2.8 Používané materiály při konstrukci dveří	26
3 Požadované vlastnosti dveří	29
3.1 Tuhost a pevnost	29
3.2 Bezpečnostní aspekty při nárazu	30
3.2.1 Aktivní bezpečnost v kontextu bočních dveří	30
3.2.2 Pasivní bezpečnost v kontextu bočních dveří	31
3.2.3 Legislativní požadavky	31
3.3 Životnost	33
3.3.1 Ověření životnosti	35
3.4 Závěsy a zámky	37
3.5 Vyrobitelnost a opravitelnost	38
3.6 Redukce ceny a hmotnosti	38
3.7 Ovládací charakteristiky	38
3.8 Zasklení	39
3.9 Akustika a těsnění	40
4 Okrajové podmínky návrhu bočních dveří	42

5	Definování cílů práce	43
5.1	Vozidlo Evgen	43
5.1.1	Rám karoserie vozidla Evgen	43
5.1.2	Vozidlo Evgen dnes	44
5.1.3	Design karoserie vozidla Evgen.....	44
5.2	Inspirace v kategorii L7.....	45
5.3	Rekapitulace a shrnutí cílů a stanovených požadavků.....	46
6	Vstupní prvky před návrhem	47
6.1	Definované okrajové podmínky	47
7	Návrh dveří vozidla Evgen	49
7.1	Návrh rámu dveří.....	50
7.2	Zástavba dveřních pantů	50
7.3	Krycí panely karoserie	51
7.4	Boční okno	52
7.5	Zámková soustava	54
7.6	Návrh bezpečnostních překrytů	55
7.7	Těsnicí plocha karosérie.....	56
7.8	Omezovač otevírání dveří	57
8	Ověření návrhu	58
8.1	Shrnutí výsledků.....	60
9	Závěr.....	61
	POUŽITÉ ZDROJE.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	66
	SEZNAM TABULEK.....	68
	SEZNAM PŘÍLOH	68

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

EU	Evropská unie
UV	Ultrafialové (záření)
FD	Fakulta dopravní
ČVUT	České vysoké učení technické

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh konstrukce bočních dveří pro experimentální městské elektrické vozidlo Evgen, které vzniká na ústavu K616 fakulty dopravní ČVUT v Praze.

První auta byla vytvořena v šedesátých letech osmnáctého století a byla poháněna parními motory [23]. Z technického hlediska se jednalo o průlom, ale krátkodobý. Taková vozidla potřebovala hodně času na nastartování a měla velmi omezený dojezd. Automobily se jako každé technické zařízení stále zdokonalují. Brzy tedy nastoupila vozidla se spalovacími motory, potažmo elektromobily. Lidstvo věnuje také bezpečnostním prvkům velkou pozornost. Například Volvo zavedlo ve vozidlech tříbodové bezpečnostní pásy již v roce 1959. Zatímco karosérie starších vozů se při velkých nárazech hroutila, současná auta mají chráněný prostor pro posádku, a přesně definované deformační zóny. Postupný vývoj průmyslu přivádí víc a víc modernějších součástí, které jsou zaměřeny na komfort na bezpečnost řidiče a cestujících.

Automobilové dveře jsou nedílnou součástí konstrukce každého automobilu. V současné době automobilové dveře nabývají většího významu, protože neslouží jen k nastupování a vystupování cestujících, ale jsou také důležitým prvkem jak aktivní, tak i pasivní bezpečnosti [101]. Aktivní bezpečností se rozumí souhrn vlastností vozidla, které se snaží zabránit vzniku dopravní nehody; pasivní bezpečností se rozumí souhrn vlastností vozidla, které minimalizují škody v průběhu dopravní nehody. U dveří aktivní bezpečnost zaručuje dobrý výhled, jízdní pohodlí a spolehlivost a jistota obsluhy. Pasivní bezpečnost zaručuje správné provedení dveřní konstrukce.

Zároveň se stále zvyšují nároky na každé vozidlo v oblasti zkoušení všech konstrukčních částí kvůli neustálému vývoji v oblasti aktivní a pasivní bezpečnosti. Tato testování jsou klíčová pro získání homologace, což je certifikace potvrzující, že vozidlo splňuje všechny nutné bezpečnostní požadavky [15].

Dveře vozidla jsou multifunkčním prvkem, který také hraje roli v ochraně majetků a nákladů [16]. Tuto roli plní především zadní dveře. Zadní dveře jsou často odlišné od dveří pro cestující, aby co nejlépe vyhověly požadavkům na přístup a bezpečnost nákladu. U některých modelů, jako jsou dodávky nebo SUV s velkým nákladovým prostorem, mohou zadní dveře zahrnovat více segmentů (například dvoukřídlé dveře nebo kombinaci horních sklápěcích a dolních výklopných dveří), které usnadňují nakládání a vykládání.

Cílem této práce je analyzovat různé typy konstrukčních řešení dveří využívané ve vozidlech, zjistit a zpracovat požadované vlastnosti dveří vozidla z hlediska bezpečnosti a ochrany

cestujících v souladu s aktuální legislativou. Na závěr bude udělán vlastní návrh bočních dveří cílený na výše zmíněný projekt městského elektromobilu Evgen.

Práce se tak snaží o komplexní přístup k návrhu, který spojuje technické, funkční a legislativní aspekty, s cílem osvojit si znalosti návrhu na tomto velmi komplexním problému.

2 Používané typy konstrukčních řešení bočních dveří

Tato kapitola je zaměřena na analýzu a porovnání různých typů konstrukčních řešení bočních dveří, které je možné vidět v automobilech.

2.1 Mechanismus otevírání a zavírání

Při návrhu bočních dveří hraje velkou roli právě mechanismus otevírání a zavírání. Na základě typu je pak definována například velikost dveří, směr otevírání, celkové působící síly na závěsy a zámky a z toho odvozená i celková tuhost a také hmotnost dveří. Aktuálně známe celou řadu typů mechanismu otevírání:

Konvenční dveře

Nejběžnější a nejpoužívanější typ automobilových dveří jsou takzvané dveře konvenční. Jsou zavěšeny dvěma panty na své přední hraně (viz obrázek 1). Tento typ je považován za bezpečnější než jiné typy dveří [1], protože není pravděpodobně že by se za jízdy otevřeli. I když za jízdy dojde k otevření, okamžitě začne působit aerodynamický odpor, který udrží dveře zavřené.



Obrázek 1 – Konvenční dveře [1]

Posuvné dveře

Posuvné dveře jsou zavěšeny na vodorovné kolejnici a otevírají se podél bočnice vozidla (viz obrázek 2) [3]. Nejčastěji tento typ dveří je možné vidět na dodávkách a minivanech. Posuvné dveře jsou nejmíň náročné na prostor vedle vozidla, oproti jiným typům poskytují pasažérům velký vstupní otvor dovnitř vozidla a umožňují snadné nastupování a vystupování a snadnou nakládku a vykládku nákladů.



Obrázek 2 – Posuvné dveře [3]

Nůžkové dveře

Jedná se o typ dveří, které jsou zavěšeny na své přední hraně a vyklápějí se svisle nahoru (viz obrázek 3) [3]. Nůžkové dveře jsou vhodné pro parkování auta ve stísněných a úzkých poměrech díky svému mechanismu otevírání, který minimalizuje prostor zabíraný na boku vozu, avšak problém může dělat výška stropu parkovací garáže, jelikož dveře často dosahují vysoko nad střechu vozidla. Tento typ dveří se používá převážně na sportovních vozech.



Obrázek 3 – Nůžkové dveře [3]

Motýlkové dveře

Motýlkové dveře lze přirovnat k nůžkovým dveřím, mají podobný styl otevírání a celkový vzhled, jenže se otevírají směrem ven a nahoru (viz obrázek 4) [3]. Hlavní výhodou oproti nůžkovým dveřím spočívá v tom, že poskytují širší otvor, což usnadňuje nastupování a vystupování. Nevýhodou je, že je potřeba k jejich otevření mít širší parkovací plochu.



Obrázek 4 – Motýlové dveře [3]

Baldachýnové dveře

Jako baldachýnové dveře se označuje typ dveří kde střecha, čelní sklo a boky vozidla tvoří jeden celek, který se pohybuje nahoru a dopředu, aby umožnil přístup do interiéru (viz obrázek 5). Jedná se o typ, který je k vidění pouze na exotických autech [3]. Tak zvané baldachýnové dveře jsou hodně nepraktické pro každodennost a nepoužitelné za špatného počasí, jako je déšť nebo sníh. Navíc jsou technicky náročné a nákladné na výrobu a při nekvalitním návrhu můžou mít vliv na tuhost vozidla.



Obrázek 5 – Baldachýnové dveře [3]

Dveře typu “Dihedral Synchro-helix”

Tento typ dveří je zcela podobný nůžkovým dveřím (viz obrázek 6). Jediný rozdíl je v tom, že se při otevření pohybují vodorovným směrem ven, už pak se otáčejí nahoru o 90 stupňů [3]. Dveře jsou technicky náročné, ale díky takovému mechanismu otevření nejsou téměř žádné spáry mezi dveřmi a karoserií, což přispívá k lepším aerodynamickým vlastnostem.



Obrázek 6 - Dveře typu "Dihedral Synchro-helix" [3]

Přední kloubové dveře

Tento typ dveří se nejvíce používal v modelech BMW Isetta. Jedná se o takzvané dveře s předním závěsem, kde celá přední část karosérie je výklopná, což umožňuje řidiči a spolujezdci nastoupit pouze zepředu (viz obrázek 7). Funkčnost mechanismu je podmíněna polohou motoru vzadu a sklopnou přístrojovou deskou a volantem.



Obrázek 7 - Přední kloubové dveře [3]

Křídlové dveře

Dveře s takzvanými „racčími křídly“ jsou zavěšeny na střeše vozidla uprostřed, a otevírají se nahoru (viz obrázek 8). V uzavřené poloze dveře tvoří „stěnu“ a část střechy vozidla. Svoji konstrukcí poskytují větší prostor pro nástup a výstup cestujících než konvenční dveře [3]. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je, že dveře znemožňují výstup posádky, pokud dojde k převrácení vozidla v důsledku dopravní nehody.



Obrázek 8 – Křídlové dveře [3]

Sebevražedné dveře

Tento typ dveří je zavěšen na C sloupku automobilu a otevírají se vodorovně směrem dozadu (viz obrázek 9). V podstatě se jedná o zrcadlově otočené konvenční dveře. Avšak co je považováno za bezpečnost u konvenčních dveří, u sebevražedných je naopak považováno za nebezpečnost [3]. Jedná se o situaci, když se dveře auta otevřou během jízdy. V takovém případě aerodynamický odpor bude působit ještě větším tlakem na jejich otevření.



Obrázek 9 – Sebevražedné dveře [3]

Vertikální posuvné dveře

Tento typ dveří se zasouvá svisle dolů do prahu (viz obrázek 10). Díky zvýšeným prahům toto konstrukční řešení poskytuje větší ochranu proti bočnímu nárazu [4].



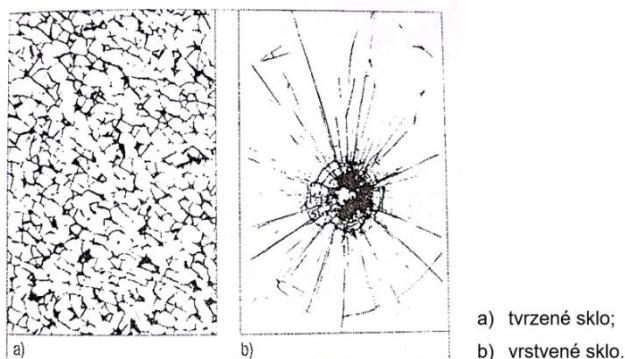
Obrázek 10 – Vertikální posuvné dveře [4]

2.2 Boční okno

Jednou z velmi důležitých částí každých dveří jsou okna [101]. U bočních dveří to platí ještě mnohem více. Okno u bočních dveří zajišťuje řidiči potřebný výhled z vozu a tak přispívá k aktivní bezpečnosti. Zároveň velmi záleží na použitém typu skla, kdy na boční okna se používá z pravidla odlišné sklo než na okno čelní, a to sklo tvrzené. Díky jeho vytvrzení dochází při rozbití k lomu na malé neostré úlomky, které dále nezpůsobují na cestujících vážná zranění. Tímto boční sklo přispívá k bezpečnosti pasivní.

Tvrzené sklo (u bočních oken) se při nárazu rozpadne na malé úlomky s tupými hranami (viz obrázek 11) [101]. Výhody: levná výroba, vysoká odolnost vůči nárazu deformovatelného předmětu a drobení při nárazu. Nevýhody: při menším nárazu se sklo neroztříští ale zůstane v rámu a je neprůhledné.

Vrstvené sklo (u čelních oken) se skládá ze dvou nebo více vrstev, které jsou spojené mezivrstvami (viz obrázek 11) [101]. Mezivrstva drží při rozbití úlomky skla pohromadě a zabraňuje poranění. Výhody: dostatečný výhled při prasknutí skla a malá možnost poranění. Nevýhody: drahá výroba a možnost zamlžení okrajů (omezení výhledu).



Obrázek 11 - vzhled lomu u různých automobilových skel [101]

Další klíčovou funkcí bočních oken, je přístup řidiče mimo vozidlo bez nutnosti otevřít dveře. Toto je nutné například na placených parkovištích, kdy řidič musí stisknout tlačítko a vyzvednout lístek umožňující výjezd. Aktuální přehled možných řešení otevírání bočního okna je sepsán dále:

Skládací okno

Skládací boční okno je nejběžnější a nejpoužívanější typ konstrukčního řešení bočního okna osobního automobilu [5]. Skládá se svisle dolů do dveřního prostoru a je ovládáno buď manuálně klikou nebo elektrickým motorem, který aktivujeme stisknutím tlačítka (viz obrázek 12). Tento typ okna umožňuje snadné a rychlé otevření a zavření, což je užitečné v městském provozu. Nevýhodou je jeho složitost a tvarová náročnost, jelikož se skládá nejen ze samotného skla ale také z vodící lišty a dalších komponent, které jsou umístěné v samotném prostoru dveří, kam se umísťují i všechna táhla a další komponenty dveří, a kam se následně okno při zatažení skládá.



Obrázek 12 - Skládací boční okno [5]

Výklopné okno

Výklopné okno je ovládáno pomocí pantů umístěných na horní straně okna (viz obrázek 13). Tento typ umožňuje otevření okna směrem ven, což poskytuje ventilaci s menším rizikem, že by do vozidla vnikly předměty z venku. Výklopné okno je užitečné i v případě, kde není možné použít standardní skládací okno z důvodu omezeného prostoru nebo specifického designu vozidla. Tento typ okna se často objevuje v karavanech nebo užitkových vozidlech.



Obrázek 13 - Výklopné okno [6]

Posuvné okno

Posuvné okno se skládá ze dvou a více částí (viz obrázek 14). Minimálně jedna část okna se posouvá po vodorovné kolejnici a často je vybavena zámky pro zajištění v bezpečné pozici. Posuvné okno poskytuje široké otevírání bez zasahování do vnitřního dveřního prostoru a vnějšího prostoru vozidla, jak to je u výklopného okna, což je výhodné například v úzkých parkovacích místech.



Obrázek 14 - Posuvné okno [7]

Okno s pevnými panely

Tento typ okna neumožňuje otevření (viz obrázek 15), protože je navrženo tak, aby optimalizovalo aerodynamické vlastnosti vozidla a snižovalo hmotnost. I když okno s pevnými panely neposkytuje ventilaci, přispívá k celkové strukturální pevnosti vozidla. Je typické pro sportovní automobily nebo vozidla s velmi nízkým aerodynamickým profilem. Pro zajištění praktičnosti je u řidičovy strany často instalováno malé posuvné okénko třeba pro komunikaci s okolím bez nutnosti otevírání hlavních dveří vozidla.



Obrázek 15 - Okno s pevnými panely [8]

Sklopné okno

Sklopné okno má zcela podobný mechanismus jako i výklopné. Je také zavěšeno pomocí pantů, ale mohou být umístěny buď na horní nebo dolní straně okna. Díky tomuto řešení se celé okno může sklopit směrem dovnitř nebo ven pro maximalizaci otevřeného prostoru.

2.3 Nosný rám dveří

Jsou známé různé typy nosných rámu dveřních konstrukcí, které se liší používanými montážními technologiemi [108]. Je to dáno tím, že hlavním cílem je snížení hmotnosti a nákladů na výrobu a zároveň dosažení dobré tuhosti dveří bez výrazného prodloužení doby výroby. Nejpoužívanější typy dveřních konstrukcí používaných v současnosti jsou napsány níže:

Lisované dveře

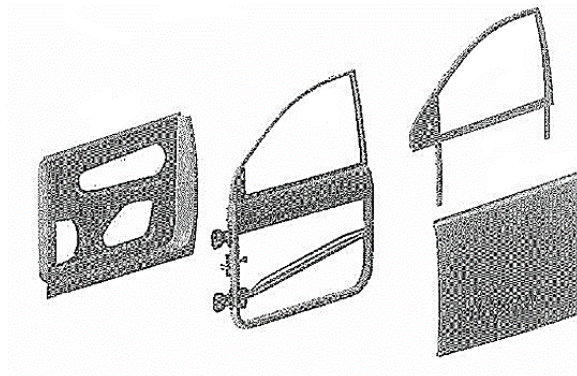
Tyto dveře jsou vyrobeny ze dvou velkých lisovaných plechů – vnějšího a vnitřního panelu [108]. Oba panely nesou část okenního rámu. Panely jsou obvykle lemované: vnější panel je olemován dolů a poté lemován přes vnitřní, po vytlačení strukturálního lepidla na okraj panelu a s omezeným počtem bodových svarů (viz obrázek 39). Sestava také obsahuje několik výztuh včetně kanálu okenního rámu, který je bodově přivařen k jednomu nebo oběma panelům. Toto řešení je nejlevnější, vezmeme-li v úvahu všechny součásti dveří, nejpřesnější a nejpevnější: z toho důvodu jsou široce používány u levných osobních vozidlech. Nejsou však preferovanou volbou designéra, vzhledem k velikosti okenního rámu (viz obrázek 16).



Obrázek 16 - jednotlivé lisované dveře [9]

Dveře s okenním křídlem

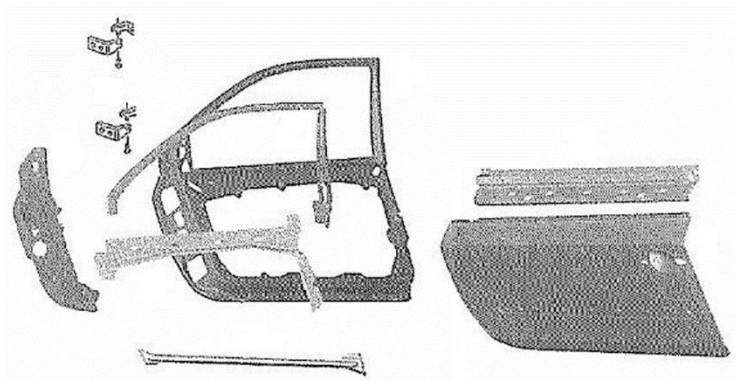
Sestava dveří s okenním křídlem se skládá ze dvou lisovaných panelů (vnitřního a vnějšího) a sestavy okenního křídla vyrobeného z válcovaných, ohýbaných a svařovaných profilů tvořících rám okna (viz obrázek 17) [108]. Okenní křídlo je přivařeno k vnitřnímu panelu před lemováním vnitřního a vnějšího panelu. Křídlové dveře mají silný okenní rám úzkého průřezu; jsou dražší než lisované dveře, ale levnější než hybridní řešení.



Obrázek 17 - dveře s okenním křídlem [108]

Hybridní dveře

Hybridní dveře jsou směsí výše uvedených řešení, protože lisovaný vnitřní panel zahrnuje okenní rám, zatímco vnější panel je prodloužen až k linii pásu (viz obrázek 18) [108]. Před lemováním hlavních panelů se k vnitřnímu panelu obvykle přivaří válcovaný příčný profil, aby byla zajištěna dostatečná tuhost okenního rámu v krutu. Z hlediska kvality a výkonu jsou hybridní dveře preferovanou volbou designérů, protože okenní rám je užší a lze jej zcela zakrýt estetickými lištami.



Obrázek 18 - hybridní dveře [108]

Bezrámové dveře

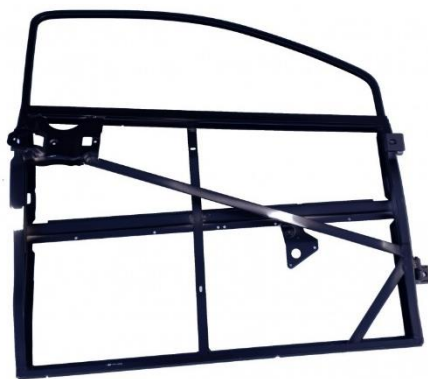
U tohoto řešení není okenní rám, přičemž těsnění skla zajišťují boční a střešní závětrné lišty karoserie (viz obrázek 19) [108]. Obvykle se používá u kabrioletů, ale někdy se vyskytuje i u sedanů nebo kupé.



Obrázek 19 - bezrámové dveře [108]

Dveře s profilovým rámem

Je nezbytné zmínit i dveře s profilovým rámem, které se v současné době téměř nepoužívají v běžně prodávaných automobilech na globálním trhu (viz obrázek 20) [108]. Tento typ dveří může být stále viděn u specializovaných projektů, kde si jednotlivci sami staví vozidla, nebo tam, kde nejsou na dveře kladeny vysoké bezpečnostní požadavky a prioritou je nízká cena. Typicky se takové dveře objevují u vozidel nižších kategorií, jako jsou L6 a L7, kde nejsou požadavky na bezpečnost tak striktní. Krycí panely těchto dveří mohou být vyrobeny z méně pevných materiálů, jako je sklolaminát, což dále snižuje náklady na výrobu.



Obrázek 20 - profilový rám dveří vozidla Aixam [108]

2.4 Závěsy

Automobilové dveře se zavěšují do skeletu karoserie pomocí závěsů [101]. Závěsy dveří jsou klíčovým prvkem ve funkčnosti a bezpečnosti automobilových dveří. Tyto komponenty umožňují pohyblivost dveří (otevírání a zavírání) a také hrají významnou roli v udržování strukturální integrity vozidla během nehod. Závěsy jsou velmi tuhé a pevné a umožňují snadnou demontáž dveří z karoserie. Skládají se ze dvou křídel – pohyblivé a pevné vůči karoserii. Pohyblivé křídlo je přišroubováno na dveře, pevná – na sloupek karoserie. Dveřní závěsy mohou být v různém provedení: vnější viz obrázek 21 (převážně víko kufru u dodávek) a vnitřní viz obrázek 22 (obvykle u bočních dveří).



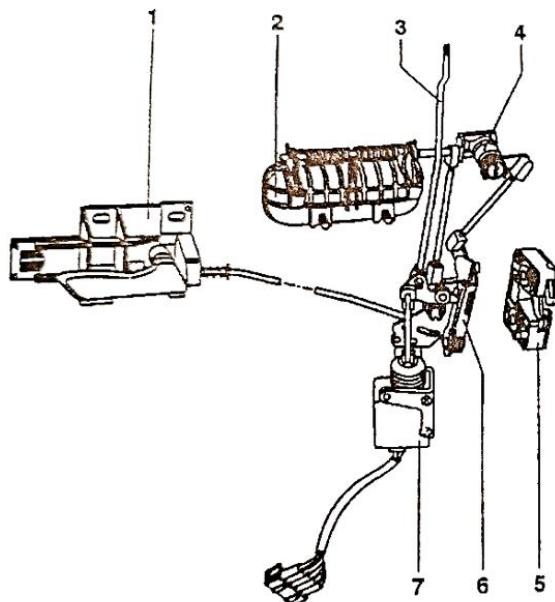
Obrázek 21 - vnější závěs



Obrázek 22 - vnitřní závěs Hyundai i20

2.5 Zámky

Zámkovou soustavou dveří se rozumí celý mechanismus, který umožňuje otevírání a zavírání dveří zevnitř a zvenčí, včetně uzamčení klíčem (viz obrázek 23). Zámky dveří mají dvě polohy zaklapnutí a je možné je zajistit tlačítkovou pojistkou z kabiny vozu. Vnější a vnitřní kliky jsou s zámkem spojeny táhlem. Zámky a pojistky chrání dveře před samovolným otevřením během jízdy a nárazu díky aretaci v příčném i podélném směru. Přehled možných řešení zámků dveří je sepsán dále:



- 1 — vnitřní klika zámku dveří;
- 2 — vnější klika zámku dveří;
- 3 — táhlo zajišťovacího tlačítka;
- 4 — zámek dveří na patentní klíč;
- 5 — vnější část zámku dveří;
- 6 — vnitřní část zámku dveří;
- 7 — jednotka centrálního zamykání (pokud jí je auto vybaveno).

Obrázek 23 - schéma zámku dveří [101]

Tradiční mechanický zámek

Mechanické zámky jsou nejstarším typem zámku do auta [25]. K odemknutí vyžadují fyzický klíč. Jedinečné výřezy klíče odpovídají kolíkům uvnitř zámku, což mu umožňuje otáčet se a ovládat. S technologickým pokrokem se však tyto zámky staly méně běžnými. Přesto zůstávají důležitou součástí automobilové historie a bezpečnosti.

Dálkový bezklíčový zámek

Pouhým stisknutím tlačítka se dveře odemknou bez dotyku fyzického klíče [25]. Tento systém funguje prostřednictvím dálkového ovladače, který komunikuje s vozem a přikazuje mu zamykat nebo odemykat na dálku.

Zámek s centrálním zamykáním

Systém centrálního zamykání se stal standardní součástí moderních vozidel a nabízí jednotný způsob zabezpečení vozu [25]. Všechny dveře se zamykají nebo odemykají jedním kliknutím. U pokročilejších modelů lze tento systém aktivovat fyzickým klíčem, dálkovým ovladačem nebo systémem chytrého klíče. Centrální zamykání zvyšuje bezpečnost a přidává vrstvu pohodlí.

Zámek na biometrický klíč

Biometrické systémy využívají k zabezpečení vozidla otisk prstu, rozpoznávání obličeje nebo dokonce skeny sítnice [25]. I když tyto systémy nejsou široce dostupné, představují vrchol personalizovaného zabezpečení, které zajišťuje, že k vozidlu mají přístup pouze oprávnění uživatelé.

2.6 Kliky

Jedním z funkčních designových prvku, který se s automobilem neustále vyvíjí, je klika dveří [24]. Klika má velký vliv na to, jak vozidlo vypadá, a může dokonce ovlivnit jeho aerodynamiku, pokud není provedena správně. Aktuální přehled možných řešení klik dveří je sepsán dále:

Výsuvný typ

Tento typ kliky dveří je dnes nejběžněji používaným pro moderní vozidla [24]. Důvodem jejich nárůstu popularity je to, že za prvé se nejedná se o křehký design, protože se ve srovnání s jejich shybovými protějšky tak snadno nerozbijí. Za druhé, její výroba je také mnohem dostupnější, protože klika se skládá pouze z jednoho kusu (viz obrázek 24), což vede k nákladově efektivnějšímu a jednoduššímu designu.



Obrázek 24 - výsuvný typ kliky [24]

Typ klapka

Klika dveří funguje tak, že pro otevření dveří musíte zatáhnout za klapku (viz obrázek 25) [24]. Otevírání může to být obtížné, pokud je klika dveří mokrá nebo pokud je namrzlá. Je důležité poznamenat, že design funguje také na vertikální orientaci, ale převládající verze byla v horizontální rovině. Od tohoto druhu designu se však pomalu upouští ve prospěch výsuvných dveřních klik, protože je mnohem přirozenější na ovládání.



Obrázek 25 - klika typu klapka [24]

Tlačítkový typ

Uživatel musí nejprve stisknout tlačítko, než bude moci otevřít dveře (viz obrázek 26) [24]. Tento typ kliky dveří byl nakonec z bezpečnostních důvodů vyřazen, ale pak se na chvíli vrátil a některá moderní vozidla jsou tímto typem vybavena.



Obrázek 26 - klika tlačítkového typu [24]

Typ spoušť

Dveřní klika typu spoušť funguje na principu stisknutí spoušťovacího mechanismu pro odemknutí dveří (viz obrázek 27) [24]. Tento typ dveřní kliky převládal v 70. letech, ale byl také vyřazen kvůli měnícím se bezpečnostním předpisům.



Obrázek 27 - klika typu spoušť [24]

Tlačný typ

Tento druh dveřní kliky je v automobilovém průmyslu vzácným jevem, protože tento styl převzalo jen málo vozidel [24]. Místo tahání za klapku je třeba tento typ kliky zatlačit, aby se dveře otevřely (viz obrázek 28). V některých případech se rukojeť vyklopí z auta, než se za ni zatáhne a dveře se otevrou.



Obrázek 28 - klika tlačného typu [24]

Dotykový typ

Dotykové kliky dveří mají docela futuristický design (viz obrázek 29) [24]. Jak název napovídá, pro otevření dveří je potřeba se dotknout kliky podobným způsobem, jako byste použili snímač otisků prstů k otevření smartphonu. Málo běžných vozidel má tento druh kliky dveří, protože jeho výroba je nákladná.



Obrázek 29 - dotykový typ kliky [24]

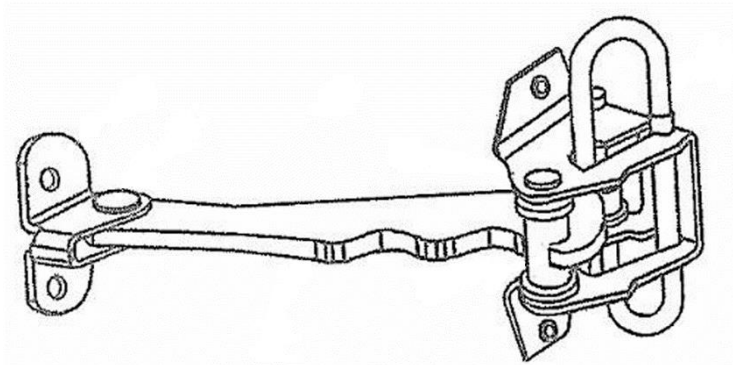
2.7 Omezovače dveří

Omezovač dveří je mechanický prvek, který reguluje úhel otevření automobilových dveří a zabraňuje jejich náhodnému nebo nekontrolovanému pohybu [108]. Tento prvek pomáhá udržet dveře v stabilní poloze během nástupu a výstupu z vozidla, čímž zvyšuje komfort cestujících. Omezovač také chrání dveře a sousední karoserii před poškozením, které by mohlo vzniknout prudkým a nekontrolovaným otevřením dveří. U dveří současných vozidel se většinou používají dva typy dveřních omezovačů. Přehled používaných řešení omezovačů dveří je sepsán dále:

Typ A

Typ A používá tvarovanou deskovou tyč klouzající mezi dvěma válečky, přičemž jeden z nich je tlačěn otočně uloženou pružinou, zatímco druhý klouže po nerovném profilu [108]. U tohoto

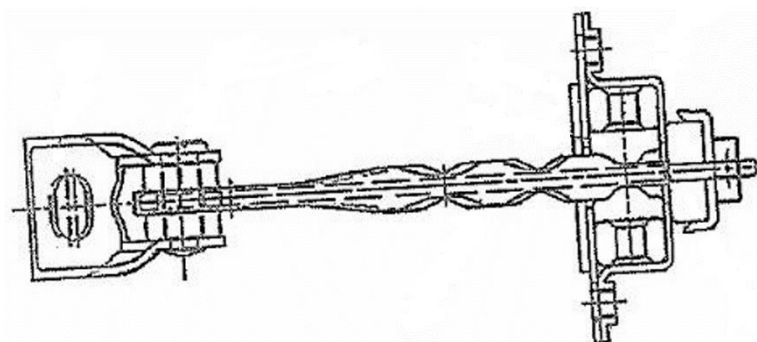
typu dveřní brzdy je koncová poloha určena kontaktem válečku s hákovým článkem (viz obrázek 20).



Obrázek 30 - omezovač dveří typu A [108]

Typ B

U typu B má článek tvarovanou tloušťku a klouže mezi dvěma válečky, přitlačovanými ke článku dvěma elastomerovými zařízeními (viz obrázek 31) [108]. U typu B je koncová poloha určena kontaktem koncového nárazníku.



Obrázek 31 - omezovač dveří typu B [108]

2.8 Používané materiály při konstrukci dveří

U moderních vozidel se při konstruování karosářských dílů používá kombinace nejrůznějších materiálů. Díky tomu lze docílit požadovaných vlastností v každé části celku. Určité díly se tak mohou starat o tuhost a jiné (například krycí) mohou být zase z lehkých materiálů. Standardně se používají tyto materiály:

Ocel

Ocel je tradiční spolehlivý materiál [108], který má dlouhou životnost. Ocel má vysokou odolnost proti nárazům a odolnost v tahu a tlaku. Ocel je cenově dostupná v porovnání s jinými materiály, což přispívá k celkové ekonomičnosti výroby vozidel. Pomocí tváření a tepelného zpracování výrobce může optimalizovat vlastnosti oceli zlepšující strukturální integritu bez

zvýšení hmotnosti vozidla. Pro boční dveře automobilu je často používána vysoce pevnostní ocel a ultra vysoce pevnostní ocel [108], protože jsou schopné absorbovat velké množství energie při nárazech (viz obrázek 32), což je klíčové vzhledem k velikosti boční deformační zóny (viz kapitola 3.1).

Hliník

Hliník se stává populárnější v automobilovém průmyslu díky své lehkosti, která přispívá ke zmenšení celkové hmotnosti vozidla a zlepšení palivové účinnosti [17]. Hliník má také výbornou odolnost proti korozi a je 100% recyklovatelný [18], což z něj dělá ekologičtější alternativu k oceli. V oblasti bočních dveří umožňuje použití hliníku výrobcům snížit hmotnost, aniž by byla ohrožena pevnost nebo bezpečnost (viz obrázek 32). Navíc hliník umožňuje složitější a esteticky příjemnější designy dveří díky své flexibilitě ve zpracování a schopnosti tvarování.

Kompozity

Kompozitní materiály nabízejí nejlepší poměr pevnosti ku hmotnosti mezi všemi materiály využívanými v automobilovém průmyslu. Tyto materiály jsou vysoce ceněny ve sportovních a luxusních automobilech kvůli tomu, že dokážou značně snížit hmotnost vozidla nebo dokonce zlepšit bezpečnostní charakteristiky. Kompozity jsou také známé svoji vysokou tuhostí a odolností proti nárazům, což je důležité pro ochranu zóny cestujících. Integrace kompozitů do bočních dveří může výrazně zlepšit jak pasivní bezpečnost, tak i dynamické vlastnosti vozidla.

Karbon a sklolaminát jsou nejběžnější kompozity v automobilovém průmyslu [19]. Oba materiály mají svá pro a proti v závislosti na aplikaci. Seznam je sepsán dále:

- Tuhost

Sklolaminát má tendenci být flexibilnější než karbon a je přibližně 15krát levnější. Sklolaminát je upřednostňovaným materiálem pro aplikace, které nevyžadují maximální tuhost, jako jsou panely karoserie.

- Síla

Karbon je jen o málo silnější než sklolaminát, ale v kombinaci se správnými epoxidovými pryskyřicemi se stává velmi pevným. Karbon je ve skutečnosti silnější než mnoho kovů, pokud je vyroben správným způsobem. Uhlíková vlákna umožňují větší pevnost v tahu při nižší hmotnosti.

- Trvanlivost

Sklolaminát je celkově trvanlivější (houževnatější) než karbon. Uhlíková vlákna jsou mnohem pevnější než sklolaminát, ale tato tuhost také znamená, že není tak odolná.

- Cena

Sklolaminát se také často používá ve velkoobjemových aplikacích, kde jsou prioritou nízké jednotkové náklady.

Termoplasty

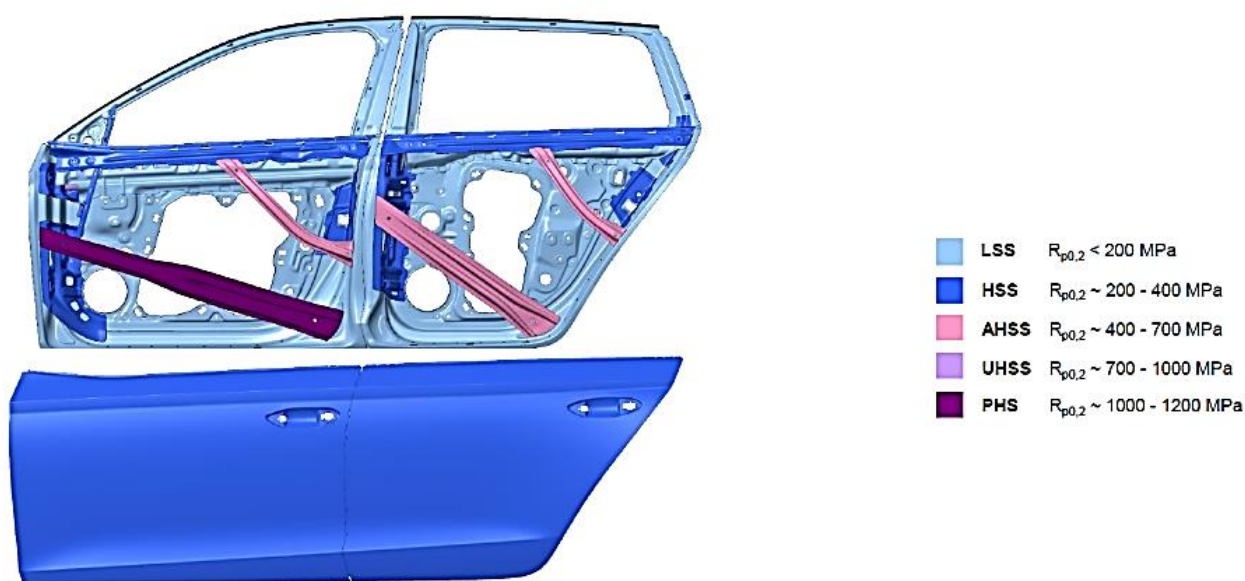
Termoplasty jsou široce používány ve výrobě většiny komponent dveří z důvodu dobrých mechanických vlastností a snadného tváření ale nejčastěji se používají v místech, které nejsou vystaveny povětrnostním podmínkám kvůli jejich malé odolnosti na změny teplot [20]. Typicky se používají na výplně dveří, které byly kdysi jen rovnou deskou. Dnes jsou tvarově složitým dílem s opěrkou pro loket, schovanou mřížkou na reproduktory a s odkládací kapsou. Komponenty jako jsou klíčky a mechanismy pro ovládání oken jsou také vyrobeny z termoplastů, které vydrží časté používání.

3 Požadované vlastnosti dveří

Tato kapitola se zaměřuje na klíčové vlastnosti bočních dveří osobního automobilu, které jsou zásadní pro zajištění jak optimální ochrany posádky, tak i funkčnosti a pohodlí využití.

3.1 Tuhost a pevnost

Dveře automobilů musí být navrženy tak, aby odolaly extrémním nárazům bez kompromisů v strukturální integritě. Dveře se často řeší kombinací mnoha různých materiálů, které zajišťují splnění všech funkčních požadavků. Boční struktura karosérie je schopná pohltit jen malé množství nárazové energie [101] vzhledem k malým deformačním zónám cca 100-150 mm, oproti přední a zadní deformační zóně 300-800 mm. Při bočním nárazu jsou nosné díly dveřní struktury (nosníky, prahy) v oblasti prostoru pro cestující namáhány na ohyb (ve směru příčné osy). Tento druh namáhání umožňuje mnohem menší absorpci energie než například stlačování nosníku při čelním nebo zadním nárazu. Malé boční deformační zóny musí být nahrazeny protinárazovými výztuhami z vysokopevnostní oceli (viz obrázek 32) a zesílenými prahy (viz obrázek 33), které zvyšují boční tuhost prostoru pro posádku a vytváří uzavřenou vazbu s boční strukturou.

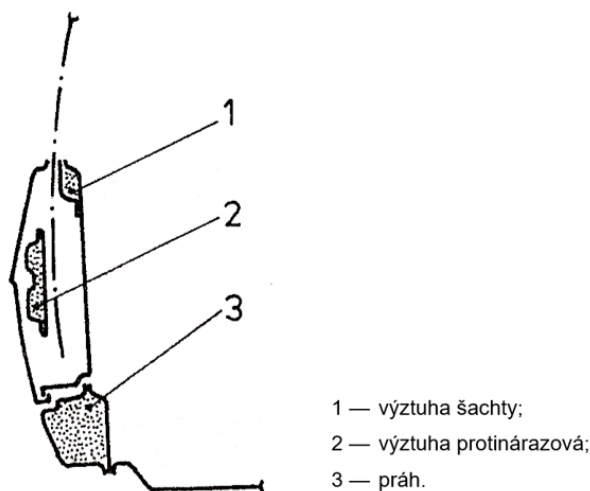


Obrázek 32 - Struktura dveří Škoda Octavia 4. generace [9]

Seznam jednotlivých druhů oceli [9] k obrázku číslo 15:

- LSS – hlubokotažná ocel, která se používá pro povrchové a tvarově složité díly;
- HSS – mikrolegovaná ocel se zvýšenou mezi kluzu, která se používá pro díly s vyššími nároky na pevnost a životnost;

- *AHSS* – vysokopevnostní dvojfázová ocel, která se používá pro crashové oblasti s požadavkem na absorpci energie deformací dílu;
- *UHSS* – ultrapevná vícefázová komplexní ocel a martenzitická ocel pro tváření za studena, která se používá pro crash výztuhy s jednodušším tvarem (válcované, ohýbané);
- *PHS* – ocel pro tváření za tepla a následné zakalení, která se používá pro extrémně zatížené a tvarově složité výztuhy pro crashové oblasti.



Obrázek 33 - Části struktury dveří zachycující energii při bočním nárazu, příčný řez [101]

3.2 Bezpečnostní aspekty při nárazu

V současné automobilové výrobě je nezbytně nutné, aby boční dveře zůstaly uzamčené během jízdy a zároveň umožňovaly snadný výstup cestujících nebo rychlý přístup záchranářů po nehodě [101].

3.2.1 Aktivní bezpečnost v kontextu bočních dveří

Aktivní bezpečnost se dělí na [101]:

- Jízdní – vlastnosti zmenšující jízdní nedostatky;
Dveře jsou součástí exteriérového prostoru vozidla, proto musí být navrženy tak, aby se dokonale hodily do celkového tvaru vozidla bez ostrých hran nebo výstupků, které by mohly narušit proudění vzduchu.
- Kondiční – opatření zajišťující jízdní pohodlí;
U bočních dveří vozidla odhlučnění je důležité, protože správně navržené odhlučnění dveří může výrazně přispět ke snížení hluku z vnějšího prostředí a zlepšení celkového akustického komfortu v interiéru vozidla. Další prvek kondiční aktivní bezpečnosti je

utěsnění, které zabraňuje vnikání vody a prachu do vozidla, což prodlužuje životnost interiérových komponent a zlepšuje pohodlí posádky.

- Pozorovací – „vidět aby být viděn“;
Výhled z vozidla je klíčovým aspektem bezpečnosti a komfortu při řízení, a konstruktéři musí dbát na jeho optimalizaci při návrhu vozidla, včetně bočních dveří. Zajištění dobrého výhledu z vozidla souvisí nejen s bezpečnostními aspekty, ale také s celkovým zážitkem z jízdy.
- Ovládací – spolehlivost a jistota obsluhy.
Do té kategorie patří zajištění dveří proti nechtěnému otevření a ochraně dětí. Tento aspekt bezpečnosti se stává prioritou při designu bočních dveří, aby se zabránilo náhodnému otevření dveří během jízdy.

3.2.2 Pasivní bezpečnost v kontextu bočních dveří

Pasivní bezpečnost se dělí na [101]:

- Vnější – provedení obrysu vozidla tak, aby zranění ostatních účastníků dopravy bylo co nejmenší;
V kontextu bočních dveří se vnější pasivní bezpečnost vozidla týká designových prvků a prvků jako jsou kliky a vnější panty (viz kapitola 2.4), které mají za cíl minimalizovat riziko zranění chodců, cyklistů a jiných účastníků silničního provozu v případě nehody. Zaměřuje se především na zaoblení a zešíkmení vnějších hran. Tyto prvky jsou navrženy tak, aby při kolizích s chodci nebo při nehodách minimalizovaly potenciální zranění.
- Vnitřní – opatření k zabránění nebo zmenšení zranění posádky.
Vnitřní pasivní bezpečnost v kontextu bočních dveří zahrnuje odolnost při bočním nárazu, odolnost zámků a závěsů silám vznikajícím při nárazech a materiály, ze kterých je vyrobeno boční sklo.

3.2.3 Legislativní požadavky

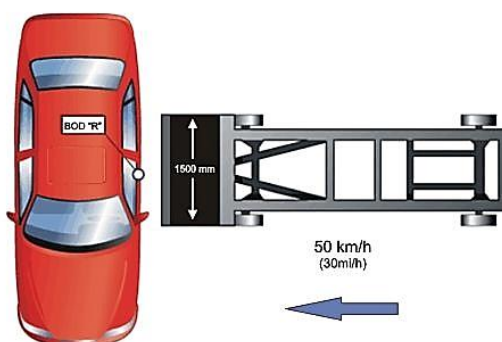
Legislativní požadavky na zamykací mechanismy a bezpečnostní systémy, které musí odpovídat mezinárodním normám pro ochranu při bočním nárazu, jsou sepsány v dokumentu *EHK 95*¹. Tato norma klade důraz na odolnost dveří proti nárazům a zajišťuje, že dveře

¹ Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 95 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska ochrany cestujících v případě bočního nárazu

poskytují nejen pasivní ochranu v rámci strukturální integrity vozidla, ale také aktivně přispívají k bezpečnosti cestujících tím, že zůstanou uzamčené v kritických momentech a snadno se otevrou, když je to nezbytně nutné. Tato dvojitá funkčnost je zásadní pro splnění současných bezpečnostních standardů a zvyšuje celkovou bezpečnost vozidla.

Postup provedení boční nárazové zkoušky [102]:

- Zkouška se provádí na stojícím vozidle;
- V okamžiku nárazu musí mít pohyblivá deformovatelná bariéra rychlost 50 ± 1 km/h. Tato rychlost se musí ustálit nejméně 0,5 m před nárazem (viz obrázek 34 a 35);
- Bariéra narazí kolmo do boku na straně řidiče, musí být zamezeno druhému nárazu;
- Podélná svislá střední rovina bariéry je totožná (s tolerancí ± 25 mm) s příčnou svislou rovinou procházející bodem R (H) předního sedadla;
- Vodorovná střední rovina bariéry je při nárazu mezi dvěma rovinami určenými před zkouškou a umístěnými 25 mm nad a pod předem definovanou rovinou.



Obrázek 34 - Stav před bočním nárazem [10]



Obrázek 35 – kontakt bariéry s bokem vozidla [10]

Požadavky, které musí být splněné po nárazu [102]:

- Během zkoušky se nesmí otevřít žádné dveře (viz obrázek 36);
- Boční dveře na nenárazové straně musí být po nárazu odemčeny;

- Po nárazu musí být možné bez použití náradí otevřít dostatečný počet dveří běžně používaných k nastupování a vystupování cestujících a podle potřeby sklopit opěradla nebo celá sedadla a evakuovat všechny cestující;
- Žádné zařízení nebo součást interiéru se nesmí uvolnit tak, aby se výrazně zvýšilo riziko zranění od ostrých výstupků nebo roztržených hran;
- Praskliny jako následek trvalé deformace jsou přijatelné, pokud nezvyšují riziko zranění.



Obrázek 36 - Renault Megane po bočním nárazu s jiným vozidlem [crash test léto 2023]

3.3 Životnost

Koncepty co největší životnosti jsou nezbytně nutné pro splnění obecních bezpečnostních standardů a zajištění celkové spolehlivosti vozidla. Životnost karosérie a jednotlivých součástí je v podstatě určena odolností karosérie proti korozi [101]. Dlouhodobá odolnost proti korozi je nezbytná pro udržení strukturální integrity dveří. Postupy, které používají různí výrobci jsou velmi rozdílné a navíc jsou výrobním tajemstvím. Většinou se používá pozinkovaná ocel na většině panelů karosérie [21]. Zinkový povlak chrání základní kov tím, že působí jako bariéra proti korozivním prvkům a bude přednostně korodovat na ocel pod ním. Kroky v procesu galvanizace jsou následující:

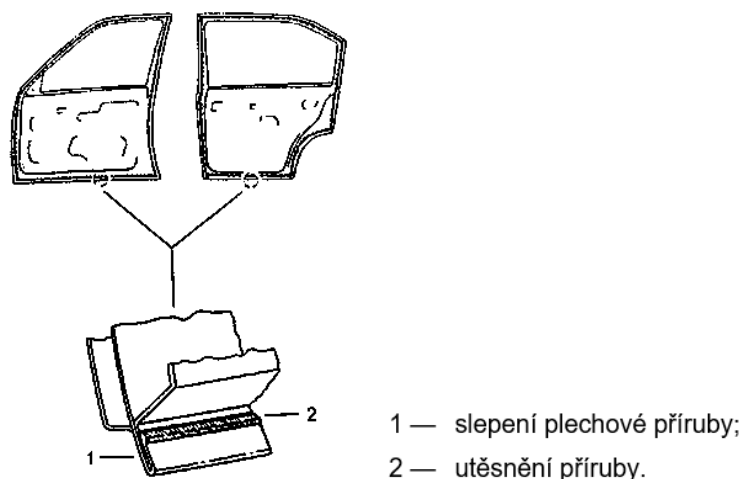
- Ocel se čistí v odmašťovacím roztoku
- Po vyčištění se ocel moří tak, že se spustí do kádě se zředěnou horkou kyselinou
- Ocel se poté taví ve vodném roztoku
- Po tavidle se ocel galvanizuje ponořením do kádě s roztaveným zinkem
- Poté ocel je kontrolována z hlediska konzistence a kompletního povlaku

Jedná se o přístup dávkového zinkování, kdy je celá karosérie ponořena do zinkové lázně (viz obrázek 37). Pozinkovaná ocel má dlouhou životnost. Nátěry mohou mít životnost až 50 let a mohou odolat městskému a pobřežnímu vystavení. Každý centimetr pozinkované oceli je chráněn – to zahrnuje ostré hrany a těžko přístupné štěrby.

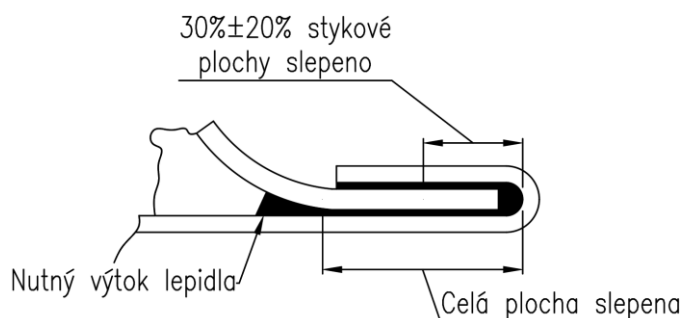


Obrázek 37 – Ponoření karoserie vozidla do zinkové lázně [21]

Pro snížení rizika koroze neslouží pouze antikorozní nátěry, ale také různá konstrukční opatření jako například poloha lepených spojů a utěsnění dveří (viz obrázek 38) [106]. Obrázek 39 znázorňuje příklad slepeného lemu u dveří a jeho správné vyplnění lepidlem na obou stykových plochách.



Obrázek 38 - Poloha lepených spojů a utěsnění dveří [101]



Obrázek 39 - vzor slepeného lemu [106]

3.3.1 Ověření životnosti

Pro zajištění maximální životnosti a spolehlivosti automobilových dveří a karoserie v celku provádějí výrobci řadu testů s cílem ověření a získání jistoty kvality výrobku [105]. Prováděné testy simulují různé podmínky používání, jimiž mohou dveře během životního cyklu vozidla projít. Tyto testy jsou klíčové pro ověření odolnosti materiálů, funkčnosti mechanických komponent a celkové trvanlivosti dveří.

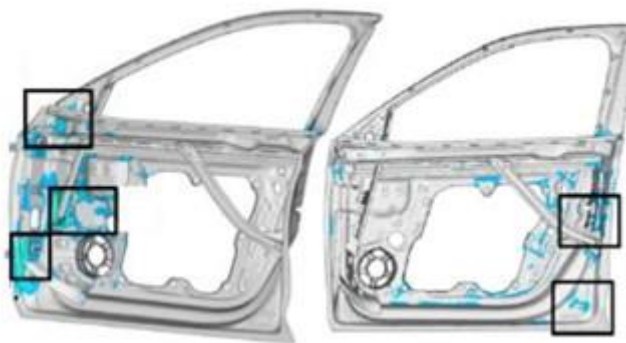
Počítačové simulace jsou široce využívány jako primární nástroj pro předběžné testování [22]. Tyto simulace umožňují efektivně identifikovat a řešit potenciální problémy, čímž šetří čas a náklady před realizací reálných zkoušek. Grafické výstupy z těchto simulací jsou klíčové pro optimalizaci designu a materiálů před fyzickým testováním. Níže jsou uvedeny nejběžnější zkoušky.

Zkouška opotřebení závěsů a zámků dveří:

Jedním z klíčových testů je cyklické otevírání a zavírání dveří [101], které simuluje dlouhodobé používání. Během testu se dveře automaticky otevírají a zavírají až několik desítek tisíc cyklů, aby se zjistila odolnost závěsů, zámků, dalších pohyblivých částí a posoudila se únava materiálů po dlouhodobém cyklu zatížení. Tento test pomáhá identifikovat potenciální slabiny ve funkčnosti a odolnosti těchto součástí.

Únava materiálů je charakterizována snižováním pevnosti materiálů v důsledku opakovaného aplikování zatížení, což může vést k postupnému vzniku trhlin a konečnému selhání materiálu [107].

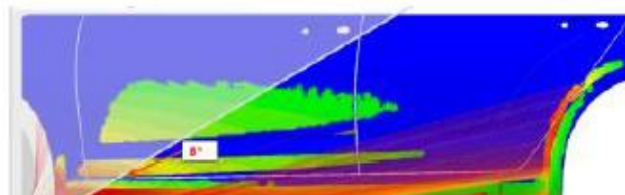
Požadavky: zkoušené komponenty dveří by měly vykazovat minimální nebo žádné známky únavového poškození, jako jsou trhliny nebo lomy, po předepsaném počtu cyklů. Materiály by měly udržet svoji integritu a funkčnost i po intenzivním dlouhodobém zatěžování. Obrázek 40 znázorňuje grafický výstup ze simulace životnosti dveří vozidla. Barvy na obrázku reprezentují úroveň namáhání jednotlivých komponent, přičemž intenzivnější barvy označují kritické oblasti potenciálního opotřebení. Tato vizualizace umožňuje identifikovat kritická místa, která jsou vystavena největšímu mechanickému namáhání a mohou vyžadovat zesílení nebo úpravu designu pro zvýšení celkové odolnosti a životnosti dveří. Analytické údaje zobrazené na obrázku slouží jako klíčový nástroj pro optimalizaci konstrukce a výběr materiálů, což přispívá k lepší funkčnosti a dlouhodobé udržitelnosti vozidla.



Obrázek 40 - grafický výstup ze simulace životnosti dveří [9]

Zkouška odolnosti proti otrysku a kamínkům:

Pro testování odolnosti lakovaného povrchu a plechů dveří proti mechanickému poškození se provádějí testy odolnosti proti otrysku a kamínkům. Při těchto testech se na dveře ve vysoké rychlosti vystřelují malé částice (např. štěrk), což simuluje reálné podmínky jízdy, kde vozidlo může být vystaveno podobnému opotřebení. Požadavky: lak a materiál dveří by měly odolat těmto vlivům bez významného poškrábání, promáčknutí nebo jiného viditelného poškození. Obrázek 41 znázorňuje grafický výstup ze simulace odolnosti dveří vozidla proti otrysku a kamínkům. Čím jasnější je barva na obrázku, tím více je karoserie vystavena dopadu částic. Tento vizuální výstup umožňuje detailně posoudit místa největšího rizika poškození. V případě, že simulace odhalí nedostatečnou odolnost, je možné provést úpravy tvaru karoserie, což změní proudění vzduchu kolem vozidla a tím i míru vystavení otrysku. Tyto úpravy pomáhají optimalizovat design karoserie tak, aby lépe odolávala běžnému opotřebení při jízdě.



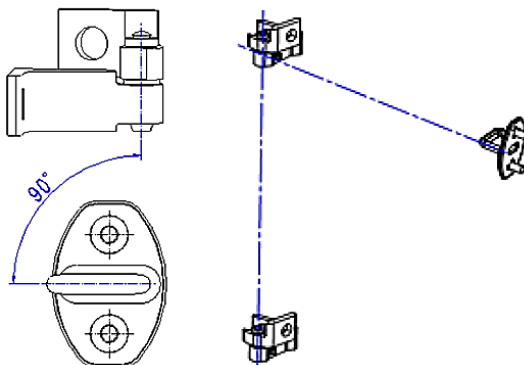
Obrázek 41 - grafický výstup ze simulace odolnosti dveří proti otrysku [9]

Zkouška odolnosti proti korozi:

Dalším důležitým testem je zkouška korozní odolnosti, kde jsou dveře vystaveny uměle vytvořeným korozivním podmínkám v simulovaném prostředí. To může zahrnovat střídavé cykly vlhkosti, solné mlhy a vystavení UV záření. Tyto testy napodobují různé klimatické podmínky a jejich vliv na materiály použité v dveřích. Požadavky: materiály a povrchové úpravy by měly zabránit jakékoli korozi, která by mohla oslabit strukturální integritu nebo estetický vzhled dveří.

3.4 Závěsy a zámky

Na obrázku číslo 42 jsou znázorněny požadavky na vzájemné umístění pantů a protikusu zámku.



Obrázek 42 - požadavky na vzájemné umístění pantů a protikusu zámku [9]

Aby byla zachována funkčnost dveří po nárazu, musí přípevňovací prvky ke karoserii zůstat nepoškozeny, tedy být vhodným způsobem ochráněny. Předpis *EHK 11*² se věnuje závěsům s zámky dveří vozidel, které musí být vytvořeny tak, aby nedošlo k vytržení dveří při bočním nárazu a vzpříčení při čelním nárazu.

Každý systém závěsných dveří musí být vybaven nejméně jedním systémem primárního dveřního zámku [103]. Každé dveře musí být vybaveny nejméně jedním zámekem, který, je-li zapojen, musí zabránit fungování vnější kliky nebo jiného vnějšího mechanismu pro uvolnění a který má provozní prostředky a zařízení pro otevření/zamknutí zámku umístěné uvnitř vozidla.

Každý systém závěsů dveří musí [103]:

- držet dveře;
- nepovolit při působení podélného zatížení 11 000 N;
- nepovolit při působení příčného zatížení 9 000 N;
- u dveří, které se otvírají ve svislém směru, nepovolit při působení vertikální silou 9 000 N.

² Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) č. 11 – Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska zámků dveří a součástí upevnění dveří

3.5 Vyrobiteľnosť a opraviteľnosť

Dveře by měly být navrženy tak, aby byly snadno vyrobiteľné a opraviteľné, což je v zájmu výrobce. To zahrnuje použití standardizovaných komponent a spojovacích prvků, což umožňuje rychlé výměny a opravy bez potřeby specializovaných nástrojů. Díky tomu dveře mohou být přizpůsobeny různým modelům vozidel.

Neexistuje žádný předpis, který by se přímo zaměřoval na vyrobiteľnosť a opraviteľnosť automobilových komponent. Nicméně, Evropská unie v rámci obecnějšího přístupu k udržitelné spotřebě a cirkulární ekonomice podporuje iniciativy, které zlepšují opraviteľnosť výrobků [104]. Tento záměr se odráží ve snahách o zavedení pravidel, které by usnadnily opravy a prodloužily životnost produktů, což zahrnuje i automobilové komponenty. V automobilovém sektoru se EU snaží podporovat design vozidel a komponent tak, aby byly snadno opraviteľné a recyklovatelné. To zahrnuje:

- Modulární design: vozidla by měla být navržena tak, aby bylo možné jednotlivé komponenty snadno demontovat a vyměnit, což usnadňuje opravy a zvyšuje možnosti recyklace;
- Standardizace komponent: umožňuje lepší kompatibilitu dílů mezi různými modely a značkami, což zjednodušuje opravy a snižuje potřebu produkce nových dílů;
- Dostupnost náhradních dílů a opravárenských informací: výrobci vozidel jsou povzbuzováni, aby poskytovali potřebné informace o opravách a udržovali dostupnost náhradních dílů po delší dobu.

3.6 Redukce ceny a hmotnosti

Redukce hmotnosti vozidla je zásadní pro zlepšení jeho energetické účinnosti a zmenšení jízdních odporů [11]. Lehké materiály, jako je hliník a kompozity, snižují celkovou hmotnost dveří při zachování pevnosti, což přispívá k lepšímu jízdnímu výkonu a nižší spotřebě energie. Zároveň je důležité, aby tyto materiály byly dostupné za rozumnou cenu, což zajišťuje, že konečný produkt je cenově dostupný pro široké spektrum zákazníků.

3.7 Ovládací charakteristiky

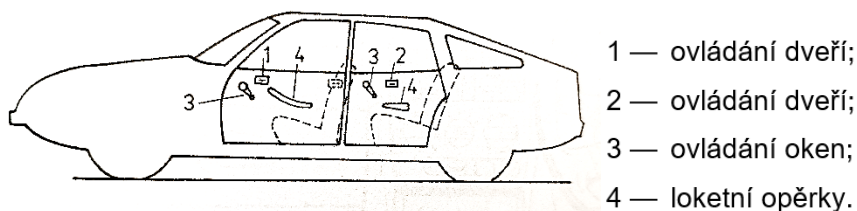
Jedním z důležitých prvků aktivní bezpečnosti automobilu je ovladatelnost vozidla [105]. Pracovní místo řidiče musí být uspořádáno tak, aby byla zajištěna spolehlivá obsluha vozidla (viz obrázek 43). Rozmístění ovládacích prvků v operačním dosahu a zorném poli řidiče má vliv na bezpečnost. Jednotné umístění ovládacích prvků má vliv na rutinní činnost při řízení, při kterém pozornost řidiče není odváděna nežádoucím směrem. U probírané problematiky se

jedná o tlačítka spouštění bočních skel, tlačítka nastavení vyhovující polohy zpětných zrcátek a kliku otevírání a zavírání dveří, případně nastavení polohy sedadla řidiče (u modernějších vozidel).

Dosažitelnost ovladačů je určena prostorem, ve kterém je člověk schopen při normální pozici sedění a zapnutých bezpečnostních pásech vykonávat příslušné ovládací úkony [101]. Mezi ovládače patří výše zmíněné prvky, jako jsou tlačítka spouštění bočních skel atd.

Kritéria pro umístění ovladačů [101]:

- poznatelnost – optická a polohová;
- dosažitelnost – ergosféra ruky;
- ovládání – potřebná síla.



Obrázek 43 - Schéma uspořádání ovladačů dveří a oken [101]

Taký se řeší maximální úhel otevírání dveří, výška nástupní hrany a celkově velikost otvoru pro nastupování a vystupování. Tyto kritéria musí být vyhovující pro pohodlné nastupování a vystupování všech osob. Zároveň když dveře jsou moc dlouhé a je nutné dveře otevřít do velkého úhlu, může být nastupování a vystupování problematické ve stísněném městském prostoru.

3.8 Zasklení

Na zasklení karoserie osobního vozidla jsou kladeny následující požadavky [101]:

- uzavření prostoru pro posádku;
- možnost vidění na všechny strany;
- ochrana cestujících před vnikajícími částmi (např. kameny);
- při prasknutí skla nesmí vzniknout střepiny způsobující zranění;
- dobrá viditelnost po prasknutí;
- co největší plastické vlastnosti při dostatečné pevnosti.

3.9 Akustika a těsnění

Akustika a těsnění automobilu přímo ovlivňují snížení hluku a vibrací uvnitř vozidla [101]. Efektivní těsnění je zásadní pro minimalizaci vnějšího hluku od silnice a větru, zatímco pokročilé akustické materiály jsou používány k izolaci a absorpci zvuků, což významně zvyšuje akustický komfort.

Optimalizace akustických vlastností dveří znamená efektivní izolaci od silničního a provozního hluku, což zvyšuje komfort jízdy [12]. Používají se následující druhy odhlučňujících materiálů:

- izolační pěny [12]: polyuretanová a melaminová pěna jsou široce používány a mají vynikající schopnost absorbovat zvuk. Tyto pěny jsou často umístěny v dveřích (viz obrázek 44), stropu a podlahových panelech vozidla;



Obrázek 44 - odhlučnění dveří izolační pěnou [12]

- antivibrační materiály [12]: jsou to speciální materiály, jako je například dynamická hmota, které jsou aplikovány na kovové části vozidla (viz obrázek 45), jako jsou dveřní panely a podvozek. Používají se k eliminaci rezonance kovových komponent dveří. Tyto materiály jsou samolepicí a mohou být aplikovány přímo na kovové části dveří, kde snižují vibrace hluk vznikající při jízdě.



Obrázek 45 - odhlučnění dveří antivibračním materiálem [12]

Kvalitní těsnění zabraňuje pronikání hluku od silnice a větru [13]. Těsnění musí být navrženo tak, aby odolalo různým povětrnostním podmínkám a zůstalo účinné po celou životnost vozidla. Efektivní těsnění zajišťuje lepší udržení nastavené teploty v interiéru a zabraňuje vnikání prachu, vody a jiných znečišťujících částic do kabiny, což přispívá k lepší kvalitě vzduchu a obecnému komfortu. Moderní těsnění se vyrábí z různých materiálů, včetně gumy (viz obrázek 46), silikonu, a speciálních polymerů, které jsou vybírány na základě jejich odolnosti, pružnosti a dlouhodobé trvanlivosti. Vývoj materiálů pro těsnění se neustále posouvá s cílem zlepšit jejich výkonnostní charakteristiky, včetně akustické izolace. Například, pokročilé polymerní směsi mohou poskytnout lepší akustickou izolaci a zároveň zůstat flexibilní v širokém rozsahu teplot.



Obrázek 46 - gumové těsnění do dveří auta [13]

Určitě se dá tvrdit, že tato izolace nejenže zvyšuje komfort cestujících, ale také umožňuje řidiči lépe se soustředit na řízení, což přispívá k bezpečnosti všech.

4 Okrajové podmínky návrhu bočních dveří

Při návrhu bočních dveří automobilu musí konstruktéři zohlednit řadu okrajových podmínek, které ovlivňují jak funkčnost, tak bezpečnost a estetiku vozidla. Tyto podmínky definují parametry, v rámci kterých musí být dveře navrženy, aby splňovaly technické požadavky a očekávání zákazníků. Následující seznam uvádí klíčové okrajové podmínky, které jsou běžně zohledňovány při návrhu bočních dveří:

Dveřní prostor a tloušťka

Dveřní prostor v karoserii je předem definován a dveře musí být navrženy tak, aby přesně zapadly do tohoto prostoru bez nutnosti dalších úprav karoserie. Všechny nezbytné komponenty dveří jako jsou závěsy, zámky, těsnění, stahovačky, reproduktory a kabely musí být umístěny v tomto prostoru. Ve výrobě a montáži dveří je potřeba dosáhnout přesnosti, která je klíčová pro zajištění bezpečného a efektivního fungování dveří.

Hmotnost a cena

Hmotnost dveří má přímý vliv na celkovou hmotnost vozidla, tím pádem i na jeho jízdní vlastnosti. Je důležité najít optimální rovnováhu mezi použitými materiály a konstrukčním řešením, aby byla hmotnost co nejnižší, ale zároveň nebyla ohrožena bezpečnost nebo funkčnost dveří. S hmotností je těsně spojena cena, která hraje zásadní roli. Je potřeba najít rovnováhu mezi kvalitou materiálů, výrobními náklady a finální prodejní cenou vozidla. Použití inovativních, ale cenově dostupných materiálů a technologií je klíčové pro udržení konkurenceschopnosti.

Výrobní omezení

Výrobní omezení zahrnují dostupné technologie, kapacity a logistiku výrobní linky. Navrhované dveře by měly být kompatibilní s existujícími výrobními procesy, aby se zabránilo potřebě nákladných úprav výrobních zařízení. Efektivita výroby a montáže jsou také klíčové, aby bylo možné zachovat nízké náklady a vysokou kvalitu.

5 Definování cílů práce

Praktická část bakalářské práce se bude zabývat návrhem konstrukčního řešení bočních dveří pro experimentální městské elektrické vozidlo Evgen, které vzniká na ústavu K616 FD ČVUT a je klasifikováno jako vozidlo kategorie L7. Tato kategorie zahrnuje lehká čtyřkolová vozidla s omezením hmotnosti do 450 kg pro vozidla určená pro přepravu osob a výkonem motoru do 15 kW, což je ideální pro městskou mobilitu s nízkou spotřebou energie a minimálním dopadem na životní prostředí.

Cílem praktické části bakalářské práce je navrhnout funkční boční dveře pro výše zmíněné vozidlo Evgen a zohlednit aspekty, které jsou popsány v kapitole číslo 3, jako jsou funkčnost, hmotnost, náklady na výrobu a montáž. Při návrhu také bude pohlíženo na všechny bezpečnostní normy a požadavky (viz kapitola 3).

5.1 Vozidlo Evgen

Evgen (viz obrázek 47) znamená elektrické vozidlo generace 1 a bude to dvoumístní vozidlo, které je bráno jako modulární platforma pro výuku a výzkum různých stavebních řešení, typů pohonů, testování systémů HMI a jízdní dynamiky.

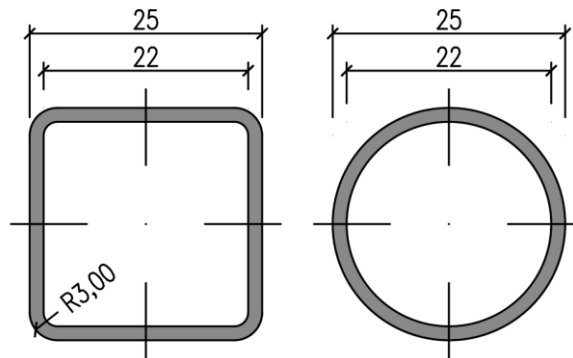


Obrázek 47 - 3D koncept vozidla Evgen

5.1.1 Rám karoserie vozidla Evgen

Karoserie vozidla Evgen je rámová (viz obrázek 47) a je navržena z profilů v provedení jeklů a kulatých trubek z konstrukční oceli (viz obrázek 48). Rám je navržen s důrazem na modulárnost a flexibilitu, což bude umožňovat možné snadné adaptace pro různé typy pohonů a technologických experimentů. Díky této konstrukci Evgen může být použit nejen jako

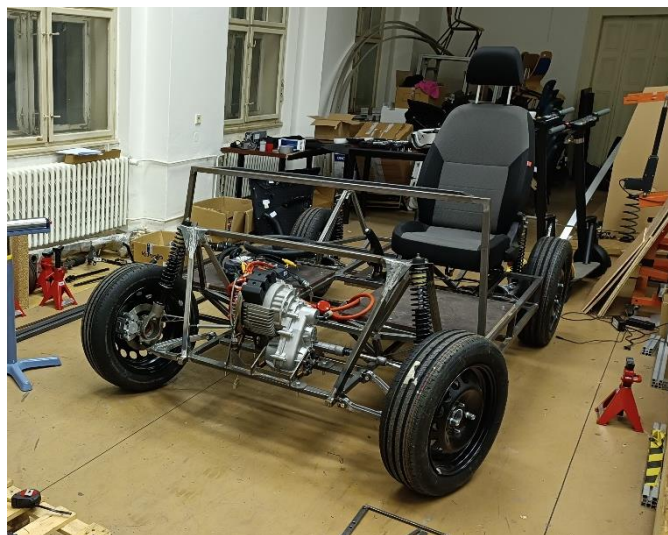
testovací platforma pro elektrické pohony, ale i pro hybridní nebo alternativní palivové systémy v budoucnu.



Obrázek 48 - výkres profilů, použitých pro konstrukci rámu vozidla Evgen

5.1.2 Vozidlo Evgen dnes

V dnešní době je již postaven dolní rám vozidla (viz obrázek 49), je umístěn do své správné polohy střídavý synchronní elektrický motor MotoEnergy ME 30 s trvalým výkonem 12 kW (viz obrázek 49), což splňuje podmínky zařazení vozidla do kategorie L7. Dále jsou zkompletovány dva bateriové boxy, které budou umístěny pod podlahou (viz obrázek 47). Taký je realizováno tlumení, pérování a zavěšení plechových kol a brzd na nápravy, včetně propojení předních kol s motorem pomocí poloos (viz obrázek 49).



Obrázek 49 - vozidlo Evgen současný stav

5.1.3 Design karoserie vozidla Evgen

Karoserie je navržena ze sklolaminátu, který nabízí různé výkonnostní výhody oproti tradičním kovovým karoseriím [14]:

- Lehkost: sklolaminátové karoserie jsou výrazně lehčí než jejich kovové protějšky, což má za následek lepší spotřebu paliva a akceleraci a přispívá k celkové koncepci projektu Evgen;
- Pevnost: sklolaminát poskytuje vynikající odolnost proti nárazu a pevnost v tahu, díky čemuž jsou odolnější vůči srážkám a poskytují ochranu cestujícím;
- Odolnost: sklolaminátové karoserie automobilů jsou vysoce odolné vůči korozi, opotřebení a roztržení;
- Recyklovatelnost: sklolaminátové karoserie automobilů lze na konci své životnosti snadno recyklovat, čímž se snižuje odpad a dopad na životní prostředí;
- Flexibilita designu: sklolaminát umožňuje větší flexibilitu designu, což umožňuje složitější tvary a struktury, které nejsou možné u kovových těles.

Navržený design karoserie vozidla Evgen (viz obrázek 50) je díky sklolaminátu charakteristický svou jedinečností. Poměr lehce zakulacených a rovných hran karoserie zvyšuje jeho vizuální přitažlivost. Blankytná barva karoserie je doplněna bílým logem českého vysokého učení technického a dalšími černými díly a přidává automobilu výraznost a unikátnost.



Obrázek 50 - navržený design vozidla Evgen

Projekt Evgen již získal podporu řady partnerů, kteří poskytují cenné poznatky pro stavbu vozidla, stavební díly a finanční podporu, ačkoliv projekt je jenom na začátku svého rozvoje.

5.2 Inspirace v kategorii L7

V rámci projektu byly provedeny analýzy konstrukčních řešení na reálných dveřích vozidel, jako jsou Citroën Ami (viz obrázek 51) a Aixam (viz obrázek 52). Stejně jak i vozidlo Evgen, tyto vozidla patří k lehkým čtyřkolkám s maximálním výkonem motoru 6kW. Citroën a Aixam mají modulární rámovou karoserii a je v kombinaci s použitím kompozitních materiálů. Vozidla jsou hmotnostně a rozměrově podobná. Hlavní výhodou těchto automobilů je levnost, dostupnost jednotlivých komponent, jednoduchost údržby, funkčnost, a hlavně mobilita ve stísněných městských prostorech. Zmíněné východy se shodují s požadavky pro vozidlo

Evgen, což vedlo k inspiraci těmito modely při návrhu. Při analýze byl kladen důraz na ergonomii a snadnou manipulaci s dveřmi, což je zvláště důležité pro vozidla určená pro časté používání v městském prostředí.



Obrázek 51 – vozidlo Citroën Ami



Obrázek 52 - vozidlo Aixam

5.3 Rekapitulace a shrnutí cílů a stanovených požadavků

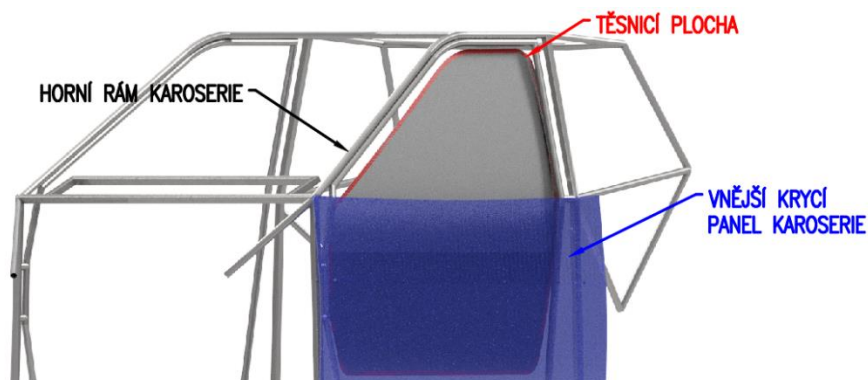
Požadavky, které jsou kladeny na navrhované dveře vozidla Evgen, jsem definoval takto:

- Dveře musí být otevíratelné a uzavíratelné;
- Dveře musí být otevíratelné do vhodného úhlu;
- Dveře musí být navrženy z vhodných materiálů;
- Dveře musí být dostatečně utěsněné;
- Dveře musí mít boční okno, které bude otevíratelné a uzavíratelné;
- Dveře musí mít funkční komponenty, jako jsou kliky a zámek, které budou umístěny do vhodných poloh.

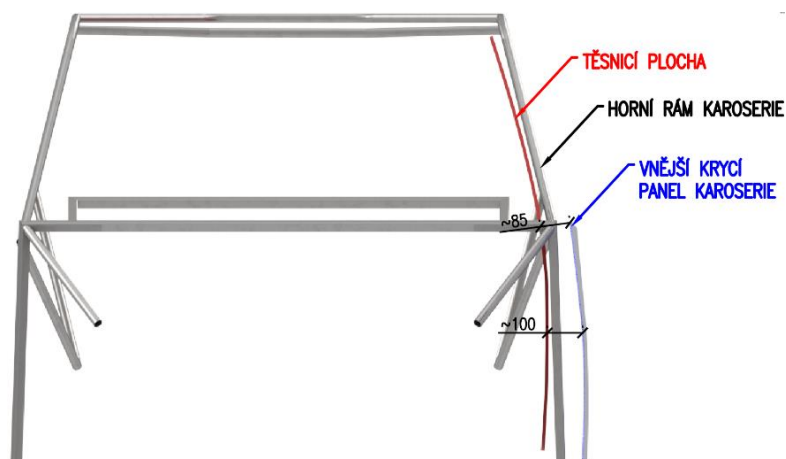
Na konci této bakalářské práce splnění těchto požadavků bude ověřeno.

6 Vstupní prvky před návrhem

Od vedoucího projektu Evgen jsem dostal následující vstupní prvky: horní rám vozidla Evgen z konstrukčních ocelových trubek a jeklů, vnější spojitý krycí panel karoserie ze sklolaminátu a navrhovanou předpokládanou těsnicí plochu (viz obrázek 53 a 54). Tyto tři vstupní prvky dohromady tvoří uzavřenou oblast, kam musí být umístěny všechny komponenty dveří, rám a okno a následně navrhovány spáry na vnějším krytu pro umožnění otevírání dveří.



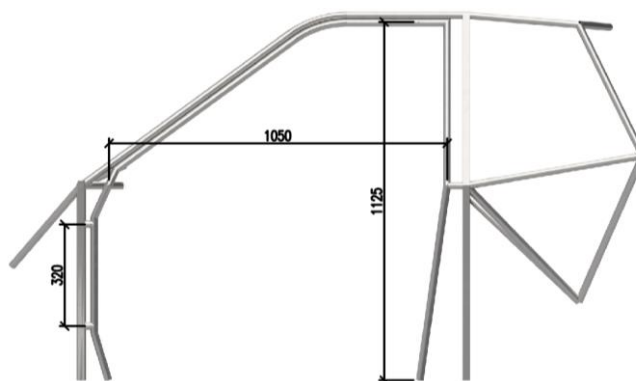
Obrázek 53 - vstupní prvky, pohled z boku



Obrázek 54 - vstupní prvky, pohled zepředu

6.1 Definované okrajové podmínky

Hlavní okrajovou podmínkou v mé práci je velikost poskytnutého dveřního prostoru (viz obrázek 55), tvořeného rámovou konstrukcí karoserie. Do toho prostoru musí být umístěny dveře se všemi funkčními součásti.



Obrázek 55 - velikost dveřního prostoru

Další okrajovou podmínkou je hmotnost. Finální hmotnost musí být co nejmenší, aby byly splněny kritéria pro zařazení vozidla do kategorie L7. Hmotnost musí být taková, aby bylo zajištěno snadné otevření a zavření dveří bez jakýchkoliv úsilí. V této práci nenavrhuji vlastní dveřní panty (viz kapitola 7.2), ale používám odmontované z jiného auta. Z toho důvodu je potřeba, aby panty unesly navrženou hmotnost celých dveří.

Poslední mojí okrajovou podmínkou jsou výrobní omezení. Při návrhu dveří bude pohlíženo na to, aby všechny součásti byly co nejjednodušší a snadno vyrobitelné v dílně na FD ČVUT v Praze, ale zároveň funkční a spolehlivé.

7 Návrh dveří vozidla Evgen

Vzhledem k výrobním omezením a snížení komplexnosti celého návrhu bylo rozhodnuto převzít některé komponenty z jiného vozu. To při návrhu zaručí funkčnost bez potřeby většího ověřování. Bylo však potřeba pečlivě vybírat aby vybrané komponenty splnili všechny definovaná kritéria. Vozidla, použité pro inspiraci (viz kapitola 5.2) nebyly pro tyto účely vyhovující vzhledem k jejich omezené dostupnosti na českém trhu. Proto byl po pečlivém zvážení vybrán jiný malý vůz z u nás rozšířené kategorie malých hatchbacků kategorie M. Při výběru hrála roli primárně dostupnost dílů. Celé dveře, jako dárce komponentů byly pořízeny z vozu Peugeot 206 (viz obrázek 56), který je v České republice velmi rozšířen. Je rozměrově srovnatelný s vozidlem Evgen a jeho díly jsou levné, snadno dostupné a osvědčené časem. Bylo rozhodnuto o koupi samotných funkčních dveří na vrakovišti (viz obrázek 57). Jednotlivé komponenty, které byly použity pro návrh konstrukce dveří byly vybrány a upraveny tak, aby splňovaly specifické potřeby projektu Evgen. Pro realizaci návrhu dveří byl zvolen CAD software Autodesk Inventor.



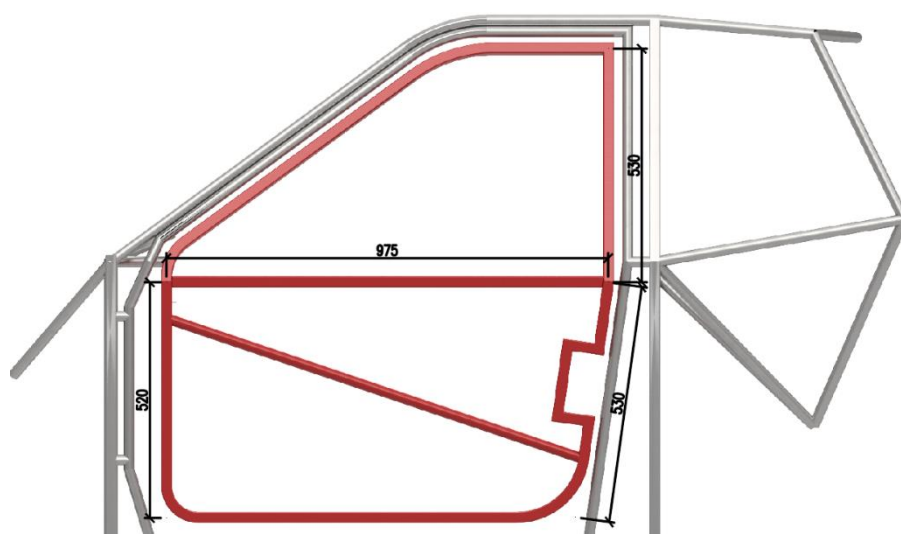
Obrázek 56 - Peugeot 206



Obrázek 57 - dveře Peugeot 206 ve fázi rozebírání

7.1 Návrh rámu dveří

Rám dveří byl navržen ze stejných ocelových profilů jako i rám celého automobilu Evgen. Při návrhu rámu jsem se zaměřil na vytvoření jednoduché, ale pevné konstrukce, která musí vyplnit co nejvíc volného prostoru dveří (viz obrázek 58). U B sloupku je navržena „kapsa“ pro umístění zámkové jednotky (viz obrázek 69). Tato úprava byla nutná z důvodu jeho velikosti a nutností spojení s protikusem zámku. Vzdálenost mezi dolním vodorovným profilem a prostředním vodorovným profilem rámu je navržena s ohledem na výšku poskytnutého krycího panelu karoserie (viz kapitola 6 a obrázek 53). Také byla navržena šikmá vzpěra, která nahrazuje výztuhu pro nárazovou oblast. Na obrázku 57 je také vidět základní rozměry rámu dveří, detailnější výkres je součástí přílohy číslo 1.

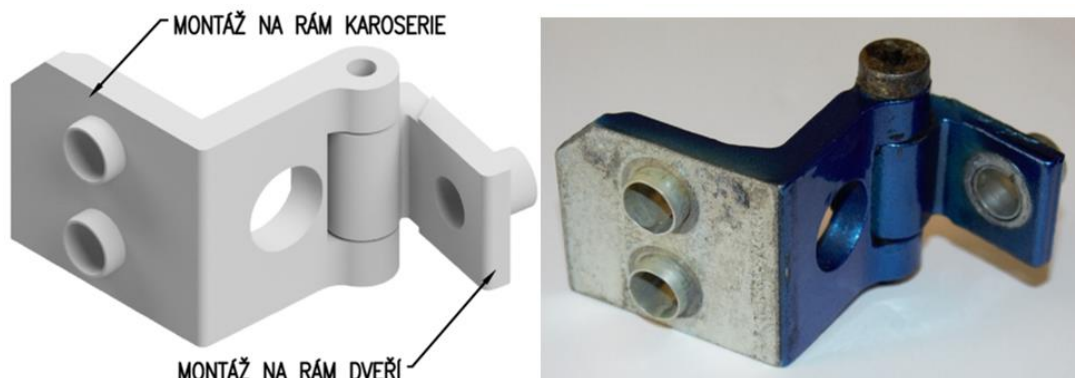


Obrázek 58 - umístění rámu dveří do volného prostoru

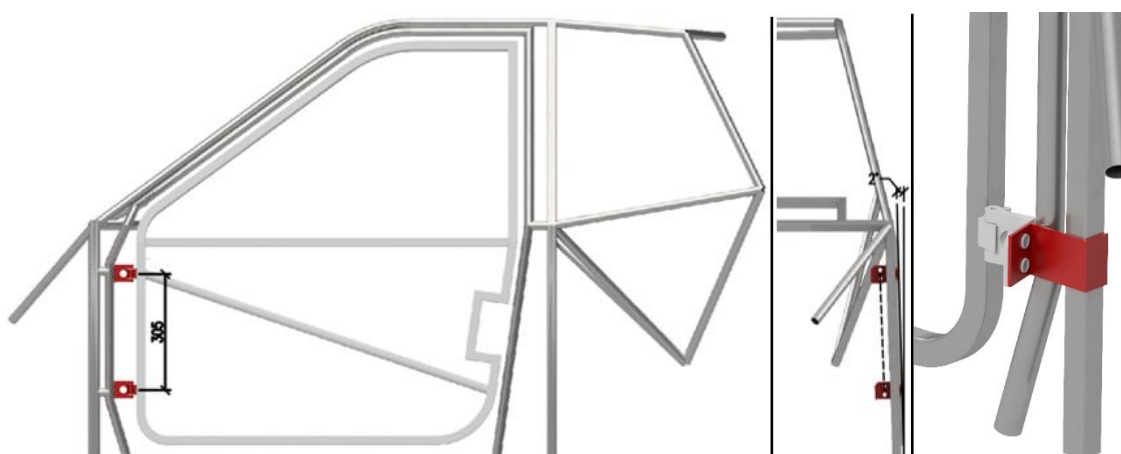
7.2 Zástavba dveřních pantů

Jak bylo uvedeno v úvodní části kapitoly číslo 7, panty byly převzaty z modelu Peugeot 206. Byl vytvořen detailní model pantů, během zpracování kterého jsem kladl důraz na geometrickou přesnost a přesnost všech montovacích ploch. Srovnání skutečného pantu s jeho modelovanou verzí je zobrazeno na obrázku číslo 59. Dále byly panty namontovány na rám dveří, čímž bylo zajištěno jejich přesné umístění v jedné ose. Vzdálenost mezi panty byla stanovena na maximálních 305 mm, což respektuje geometrii rámu karosérie, jak je vidět na obrázku číslo 60. Poté byly navrženy dva pomocné plechy tloušťky 3 mm pro usnadnění upevnění pantů k rámu vozidla (viz obrázek 60). Dveřní rám společně s A-sloupkem je navíc mírně nakloněn o 2 stupně vůči ose X (viz obrázek 60), což zajišťuje, že se dveře při otevírání lehce zvedají. Toto uspořádání usnadňuje manipulaci s dveřmi a zvyšuje bezpečnost: zavírání

dveří je podporováno jejich vlastní tíhou, zatímco při otevírání je vyžadována trochu větší síla, aby ten proces byl více kontrolovaným.



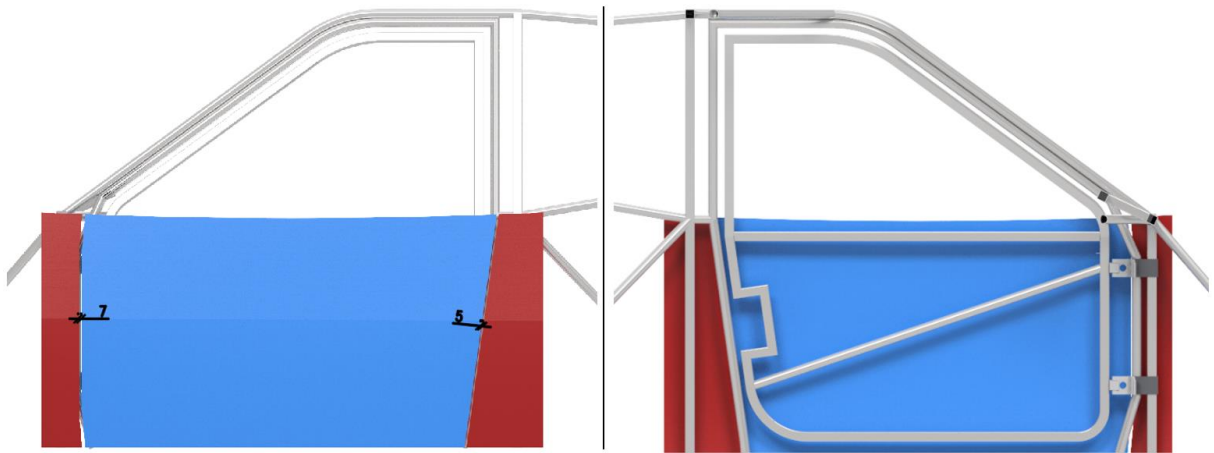
Obrázek 59 - porovnání reálného pantu a modelu



Obrázek 60 - poloha umístění pantů

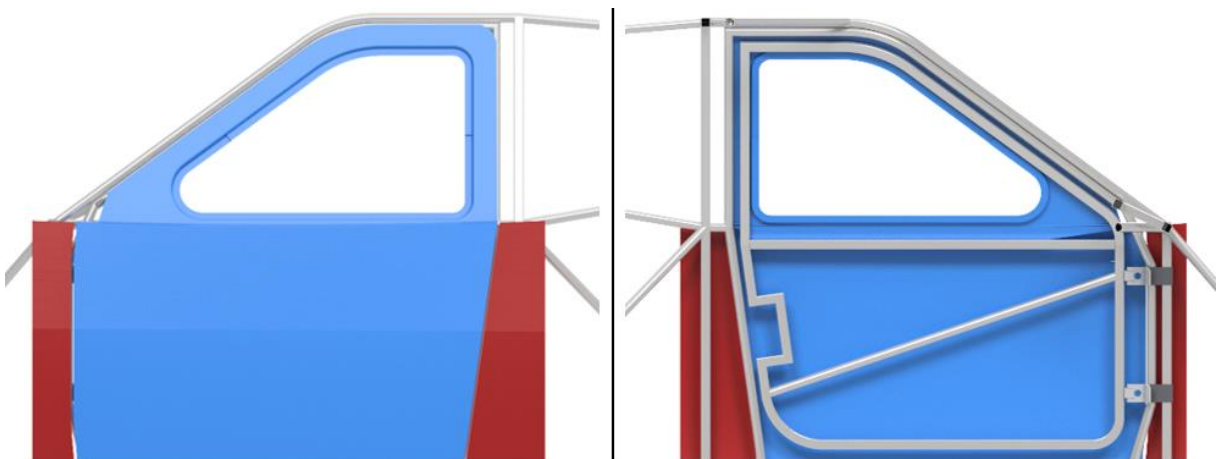
7.3 Krycí panely karoserie

Jak je zmíněno v kapitole číslo 6, jako vstupní prvek jsem obdržel vnější krycí panel karoserie, který zároveň definuje okrajové podmínky pro můj návrh (viz kapitola 6.1). Jelikož jsem dostal spojitý panel, byla potřeba ho oříznout vhodným způsobem, aby bylo možné oddělit krycí panel karoserie od krycího panelu rámu dveří, a navrhnout dostatečně široké spáry pro umožnění pohybu dveří. Výsledek je zobrazen na obrázku číslo 61. Po opakovaných testech otevírání a zavírání dveří a zkoušení různých tvarů spáry (rovná, oblouková, zalomená) byla stanovena optimální tloušťka spár: 7 mm u A sloupku a 5 mm u B sloupku. Při návrhu tloušťky spár byly stanoveny dvě podmínky: spára musí mít co nejmenší tloušťku a zároveň musí umožnit otevření dveře do vhodného úhlu. Při návrhu spár jsem se snažil respektovat tvar dveřního prostoru, který je tvořen rámem vozidla.



Obrázek 61 – návrh dolního vnějšího krycího panelu auta

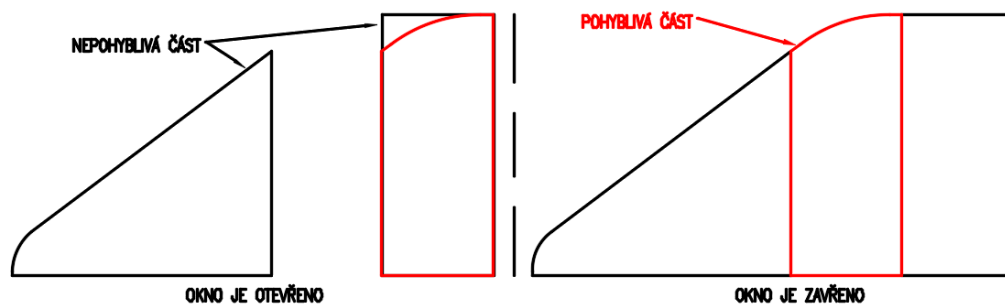
Následně byl navržen krycí panel pro horní část rámu dveří, přičemž byl kladen důraz na možnost dalšího umístění skla. Finální design tohoto vnějšího krytu rámu dveří odpovídá vzhledu lisovaných dveří, popsaných v kapitole 2.3, avšak v tomto případě byl použit sklolaminát, o kterém je podrobněji napsáno v kapitole 5.1.3.



Obrázek 62 - návrh horního vnějšího krycího panelu dveří

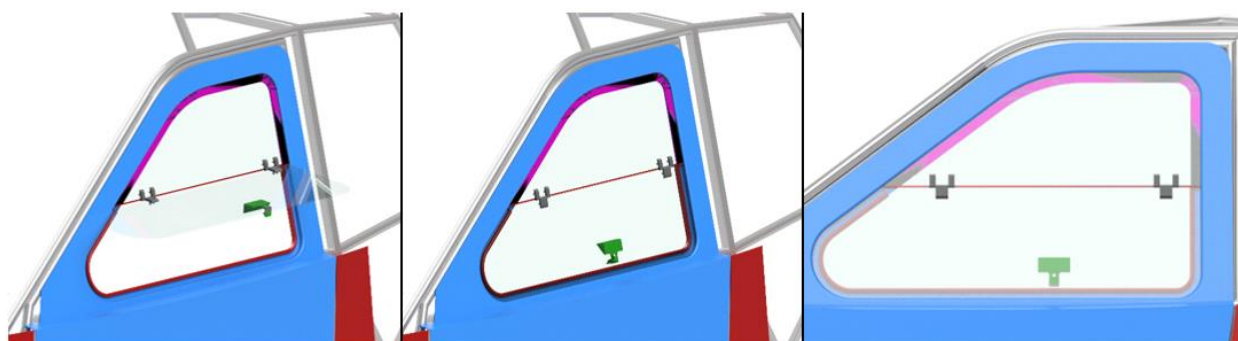
7.4 Boční okno

Celkem jsem zvažoval tři typy bočních oken – skládací, výklopné a posuvné. Skládací okno bylo zamítnuto kvůli složitosti jeho konstrukce, která by byla těžko realizovatelná vzhledem k složitosti výroby skla přesného zaoblení a celkové složitosti skládací konstrukce. V této variantě by se jako řešení nabízelo převzetí bočního skla, ale opět by bylo nutné přizpůsobit zaoblení okna a stahovačky celkový tvar poskytnutého krycího panelu a dostupnému prostoru dveří. Posuvné okno bylo odmítnuto kvůli jeho nepraktičnosti a esteticky nevyhovujícímu vzhledu (viz obrázek 63).

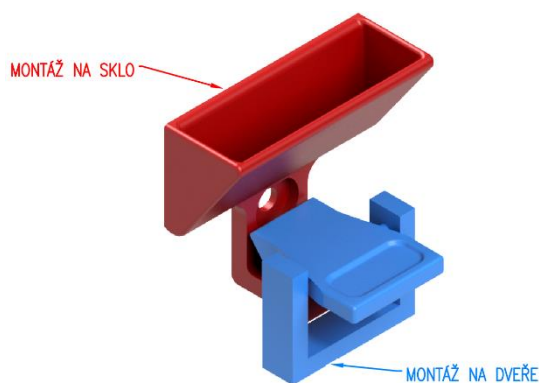


Obrázek 63 - skica posuvného okna

Jelikož jsem se při návrhu bočního okna hodně inspiroval automobilem Citroën Ami (viz kapitola 5.2), rozhodl jsem se navrhnout okno, které bude výrazně podobné tomu, které používá Citroën. Jedná se o výklopné okno. Konkrétně je výklopná dolní polovina okna směrem nahoru (viz obrázek 64) a horní polovina je pevná. Rozměry okna jsou součástí přílohy číslo 2. Růžovou barvou je znázorněna plocha dotyku horní části okna k krycímu panelu rámu dveří. Okno a krycí panel budou pevně spojeny lepidlem, které zároveň bude zabraňovat vniku vody dovnitř vozidla. Obě části okna jsou spojeny dvěma panty. Výkres pantů je součástí přílohy číslo 3. Zelenou barvou, na obrázku číslo 64, je zvýrazněn navržený zámek, jedna část kterého je namontována na sklo, druhá na dveře (viz obrázek 65). Výkres okenního zámku je součástí přílohy číslo 4. Červenou barvou na obrázku číslo 64 je vybarveno gumové těsnění a je umístěno po obvodu pohyblivé části okna.



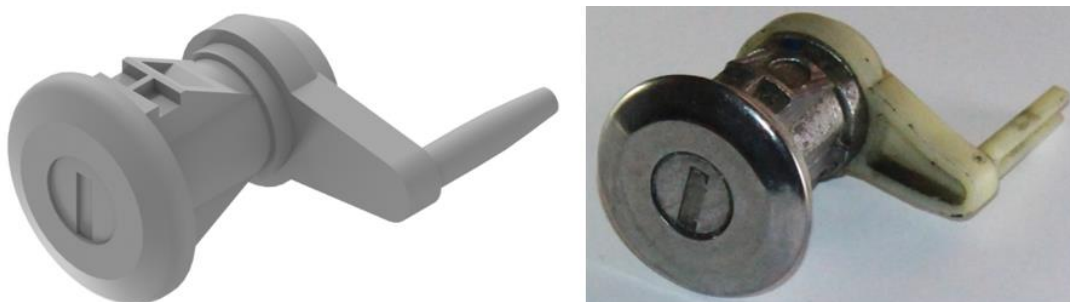
Obrázek 64 - návrh výklopného bočního okna



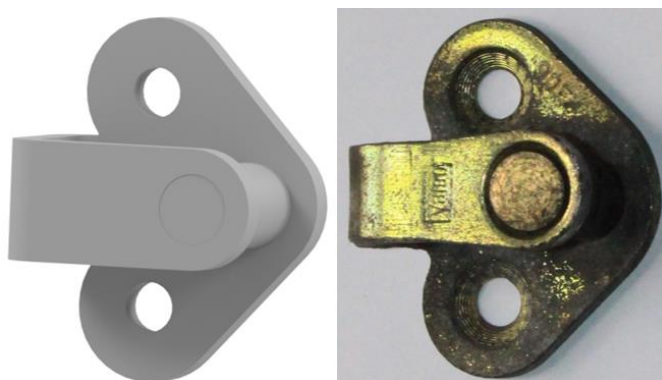
Obrázek 65 - okenní zámek

7.5 Zámková soustava

Zámková soustava, stejně jak i panty, byla převzata z automobilu Peugeot 206 (viz úvodní část kapitoly číslo 7). Zámková soustava obsahuje zámkovou jednotku, protikus a zámkovou vložku. Následně byly všechny součásti zaměřeny a pak byl vytvořen jejich model. Srovnání skutečných dílů s jejich modelovanou verzí je zobrazeno na obrázcích číslo 66, 67 a 68.

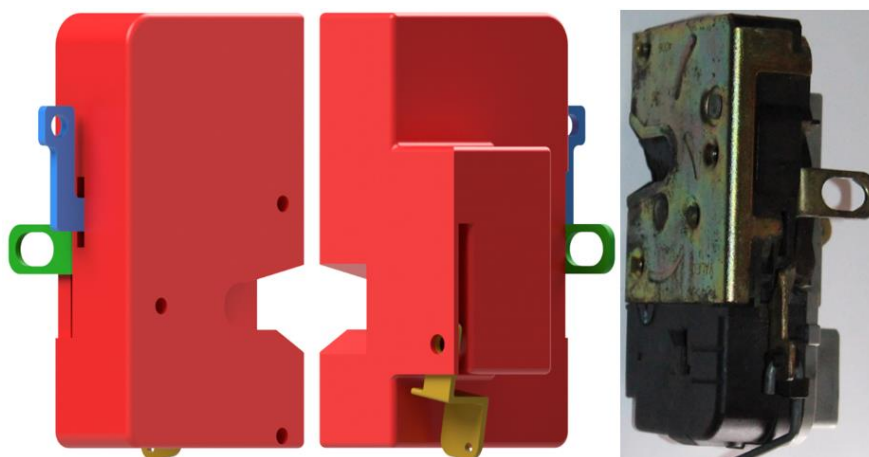


Obrázek 66 - porovnání reálné zámkové vložky a modelu



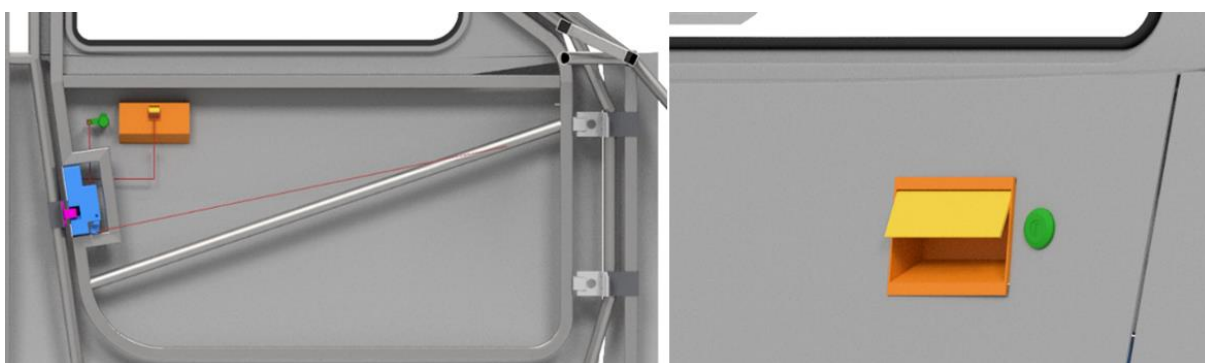
Obrázek 67 - porovnání reálného protikusu zámku a modelu

Na obrázku číslo 68 je zobrazena zámková jednotka, která propojuje jednotlivé součásti zámku. Červenou barvou je vybarveno tělo jednotky, které bude namontováno na rám dveří (viz obrázek 69). Zelenou, modrou a oranžovou barvou jsou vybarveny páky, které jsou propojeny s dalšími součásti zámkové soustavy pomocí táhel. Modrá páka je spojena táhlem s oranžovou klikou na obrázku číslo 69. Zatáhnutím za kliku se modrá páka posune dolů a dojde k otevření dveří. Zelená páka je spojena s zámkovou vložkou. Když uživatel pootočí klíč ve vložce, dojde k pootočení páky konektoru, která zatáhne zelenou páku buď dolů (zablokování dveří) nebo nahoru (odblokování dveří). Oranžovou barvou je vybarvena páka, která je spojena s klikou uvnitř vozidla (slouží k vystupování). Zatáhnutím za kliku se oranžová páka pootočí a dojde k otevření dveří.



Obrázek 68 - porovnání reálné zámkové jednotky a modelu

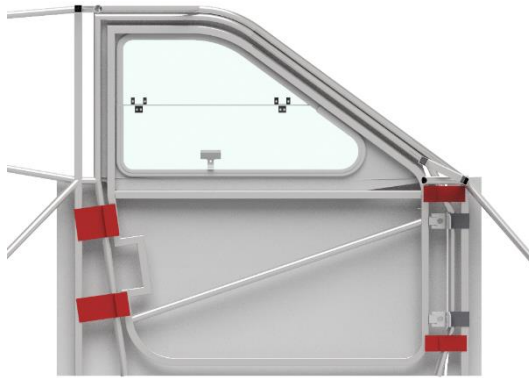
Na obrázku číslo 69 je vidět finální uspořádání všech komponent zámkové soustavy. Červenou barvou jsou vybarveny jednotlivá táhla, která vedou k klikám a konektoru. Růžovou barvou je vybarven protikus, který je umístěn v jedné ose s závěsy (viz obrázek 42) a upevněn na rámu karoserie pomocí pomocného plechu. Oranžovou barvou je vybarvena klika sloužící pro nástup, výkres které je součástí přílohy číslo 5.



Obrázek 69 - umístění zámkové soustavy do dveří

7.6 Návrh bezpečnostních překrytů

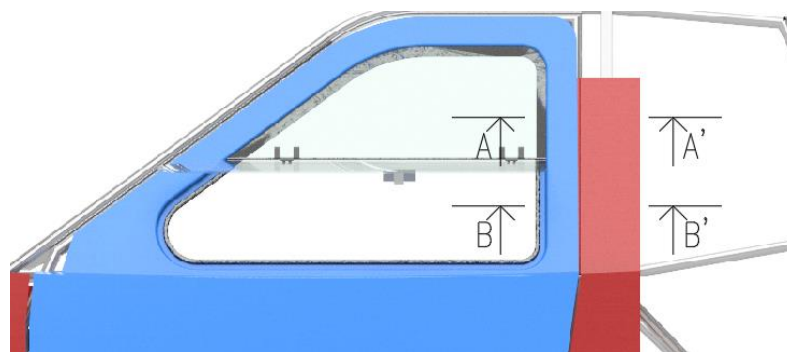
Abych přispěl k pasivní bezpečnosti vozidla Evgen a posílil ochranu při bočním nárazu, pokusil jsem se navrhnout čtyři plechové překryty, jak je ilustrováno na obrázku 70. Toto řešení by mělo posilovat boční integritu a zvyšovat tuhost karoserie. V důsledku toho, v případě bočního nárazu, dojde k výraznému snížení rizika promáčknutí dveří a rámu do interiéru vozidla, což zvyšuje bezpečnost cestujících.



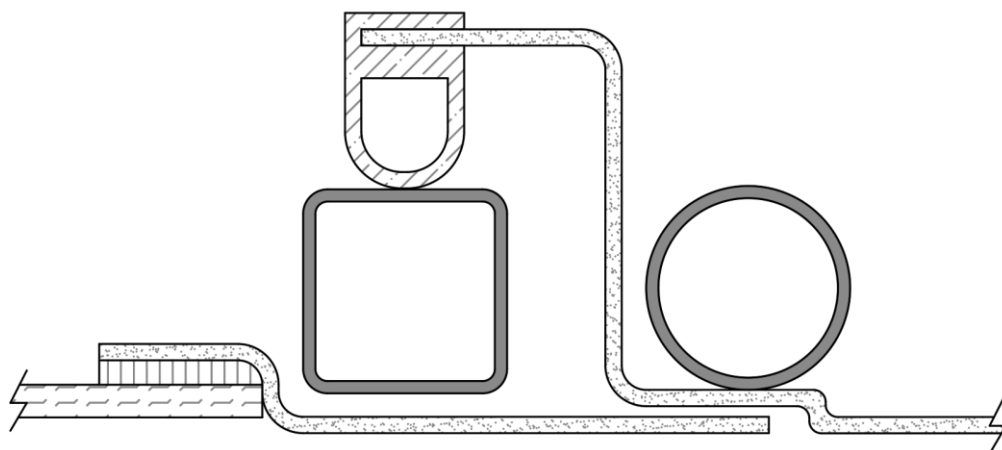
Obrázek 70 - umístění překrytů

7.7 Těsnicí plocha karosérie

Abych zajistil dokonalé přilnutí dveří k laminátové karoserii a těsnění vozidla, a udržel celistvost konstrukce, je nezbytné, aby dveře těsně doléhaly na karoserii. Kolem celého obvodu doléhací plochy je navrženo gumové těsnění, které brání pronikání vody do interiéru. Z toho důvodu jsem připravil návrh vnějšího krycího panelu karoserie, pomocí kterého je možné ukázat, jak bude těsnění dveří realizováno (viz obrázek 71). Z toho důvodu jsem připravil návrh vnějšího krycího panelu karoserie, pomocí kterého je možné ukázat, jak bude těsnění dveří realizováno (viz obrázek 72). Detailní výkres řezu těsněním je součástí přílohy číslo 6.



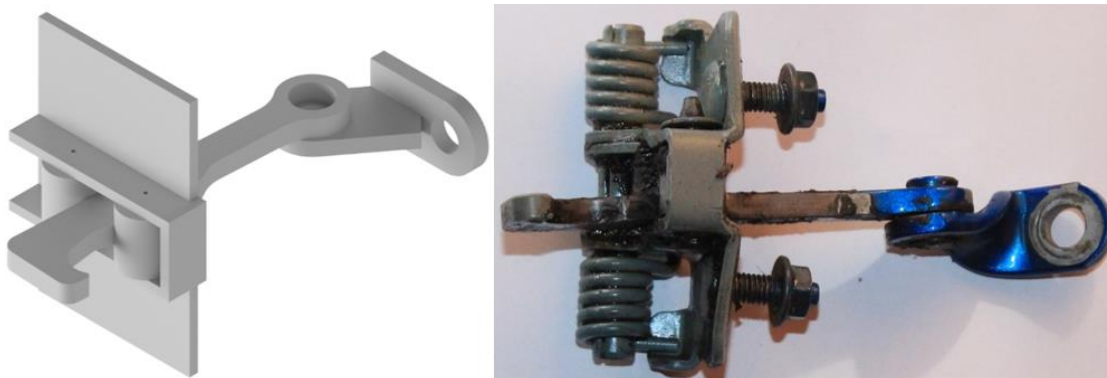
Obrázek 71 - znázornění místa řezu



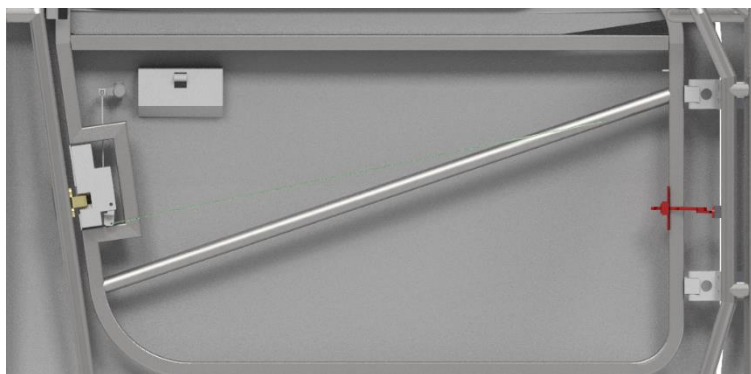
Obrázek 72 - schematický řez A-A'

7.8 Omezovač otevírání dveří

Omezovač dveří byl také převzat z automobilu Peugeot 206 (viz úvodní část kapitoly číslo 7). Srovnání převzatého omezovače typu A (viz kapitola 2.7) s jeho modelovanou verzí je zobrazeno na obrázku 73. Po opakovaných testech otevírání a zavírání dveří a zkoušení různých poloh byla vybrána ta nejvhodnější, která je znázorněna na obrázku číslo 74.



Obrázek 73 - porovnání převzatého omezovače s modelem



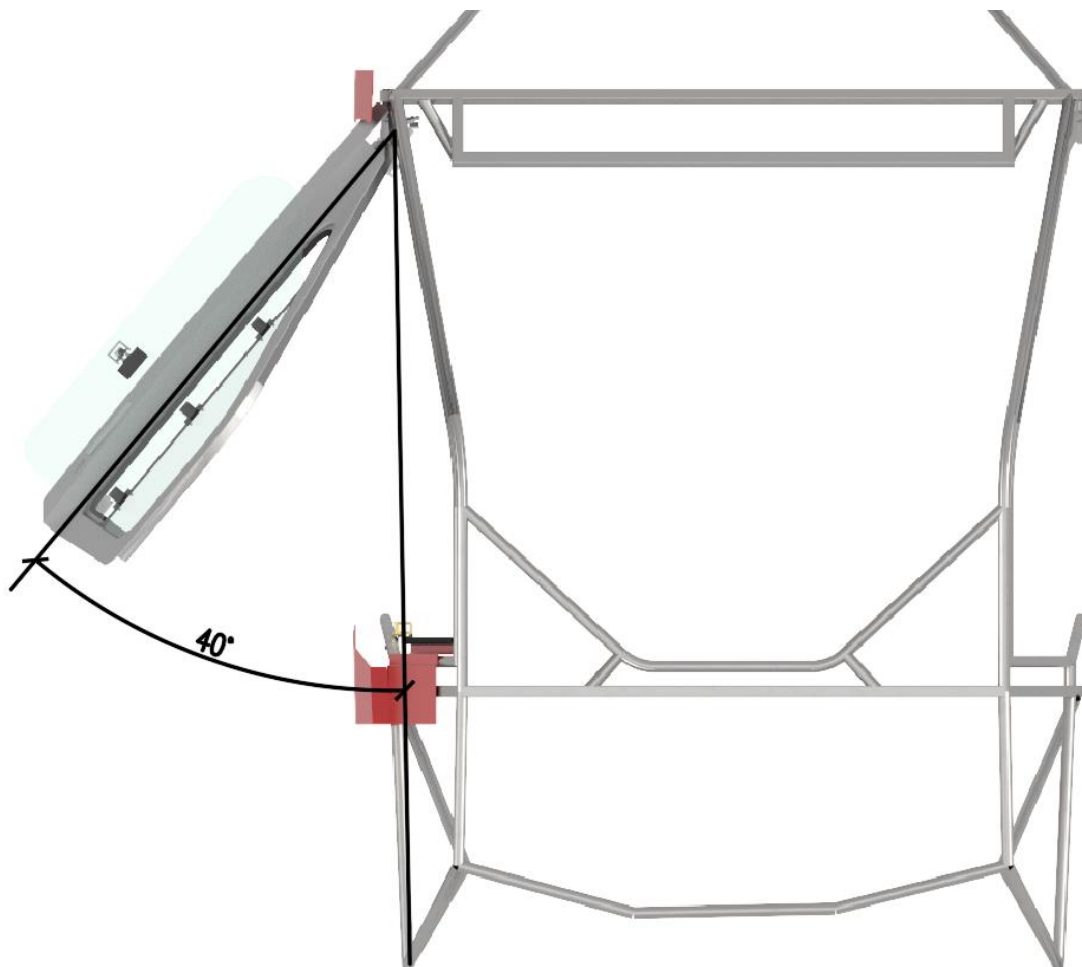
Obrázek 74 - umístění omezovače

8 Ověření návrhu

Na závěr jsem se pokusil udělat ověření svého návrhu, abych zjistil, jestli splňuje předem stanovené požadavky (viz kapitola 5.3).

Úhel otevření dveří:

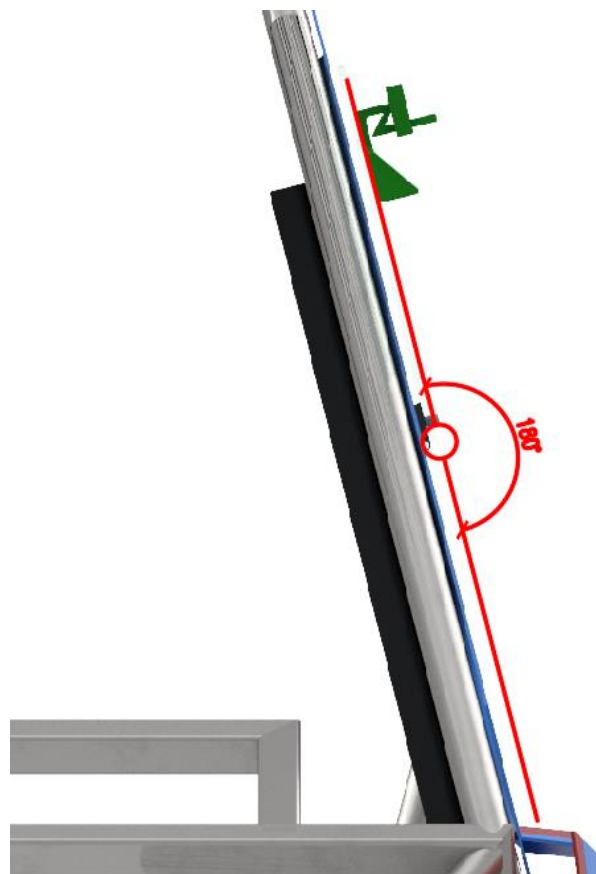
Dveře se otevírají do úhlu 40 stupňů (viz obrázek číslo 75). Tento úhel by měl být pro vozidlo Evgen vyhovující, vzhledem k velikosti dveří a prostorovým možnostem vozidla.



Obrázek 75 - maximální úhel otevření dveří

Úhel otevření okna:

Okno se vyklápí do maximálně možného úhlu 180 stupňů (viz obrázek 76). Díky celkovému sklonu dveří v horní části tak boční okno v otevřeném stavu zůstane lépe zafixované a nebude mít tak velkou tendenci k zavření se vlastní vahou.



Obrázek 76 - maximální úhel otevření okna

Těsnění dveří a okna:

Dále bylo ověřeno, jestli dveře a okno plně doléhají na gumové těsnění. Výsledkem tohoto ověření jsou řezy A-A' a B-B' v příloze číslo 6. Řez A-A' prochází B sloupkem a nepohyblivou částí okna, řez B-B' prochází B sloupkem a pohyblivou částí okna (viz obrázek 71).

Hmotnost:

Nakonec byla porovnána hmotnost navržených dveří s dveřmi od vozidla Peugeot 206 (viz obrázek 57). Hmotnosti jednotlivých komponent jsou sepsány v tabulce číslo 1. Výsledná hmotnost navržených dveří je 12,8 kg, což je znatelně méně než dveře vozidla dárce komponent, která je 22 kg včetně vnitřní výplně, bočního zrcátka reproduktorů. I když můj návrh nepředstavuje kompletní dveře, dá se tvrdit, že výsledná hmotnost dveří po výrobě bude pod 22 kg. Je to z důvodu toho, že všechny základní a nejtěžší součásti jsou již navrženy.

Tabulka 1 - hmotnosti jednotlivých dveřních součástí

Součást dveří	Hmotnost
Ocelový rám	5,8 kg
Plexisklo	2,5 kg
Sklolaminátová karoserie	2,5 kg
Těsnění, zámková sestava, lepidlo, klika	2 kg
Celkem	12,8 kg

8.1 Shrnutí výsledků

Výsledkem bakalářské práce je vizualizace, jak by mohly dveře pro vozidlo Evgen vypadat. Jedná se o kompletní návrh, avšak není zatím žádným způsobem ověřen. Před zpracováním praktické části jsem stanovil vlastní zjednodušené požadavky, které musí splňovat dveře. Celý návrh byl udělán v 3D softwaru Autodesk Inventor, kde jsem měl možnost udělat zjednodušené otestování návrhu. Otestoval jsem úhel otevírání dveří a okna. Zkontroloval jsem hmotnost navržených dveří, ovšem nemusí být přesná, protože před a během výroby určitě proběhne řada úprav a doladění celého systému. Ujistil jsem se, že navržené dveře jsou lehčí než reálné, proto se dá tvrdit, že převzaté panty jsou pro můj návrh vyhovující. Ovšem bude nezbytně nutné udělat statické a dynamické analýzy pomocí dalších sofistikovanějších softwarů.

9 Závěr

Obsahem této bakalářské práce je komplexní analýza struktury bočních dveří včetně základních součástí, které jsou klíčové pro bezpečnost a funkčnost automobilů. Nejprve byly rozebrány různé mechanismy otevírání bočních dveří automobilů, varianty provedení bočních oken, zámků, závěsů, klik, omezovačů dveří a používaných materiálů.

V další kapitole byly popsány požadované vlastnosti dveří z hlediska pevnosti a bezpečnosti, životnosti, vyrobitelnosti, hmotnosti, ceny a dalších kritérií, které mají vliv na bezpečnost a pohodlí posádky. Byly popsány předpisy evropské hospodářské komise, které nařizují výrobcům splňovat určitá kritéria pro umožnění provozu automobilů v běžném provozu. Bylo zjištěno, že dveře jako takové ale i jednotlivé komponenty dveří mají velký vliv na bezpečnost a funkčnost celého automobilu a neslouží jen k nastupování a vystupování cestujících.

Dále byly popsány okrajové podmínky, s kterými se setkávají výrobci a konstruktéři, jelikož návrh dveří a celého automobilu je složitý proces, který vyžaduje koordinaci mezi mnoha lidmi/týmy lidí. Výsledný návrh tak podléhá celé řadě kompromisů mezi různými odděleními a velkému množství alternativních iterací návrhů právě z důvodu splnění zájmu každého.

Druhou velkou část bakalářské práce tvoří návrh konstrukčního řešení bočních dveří pro experimentální městské elektrické vozidlo Evgen. Nejprve bylo popsáno samotné vozidlo Evgen jako projekt. Dále byl popsán celý návrh, jak budou dveře vypadat. Při návrhu byl brán velký ohled na zpracovanou rešerši všech konstrukčních řešení. Byly rozebrány vlastní požadavky, které nejsou tak striktní jako požadavky na reálné konstruktéry vozidel, jelikož se stále jedná o vozidlo z kategorie L, tedy těžkou čtyřkolku. Pro snížení komplexnosti návrhu byly panty, zámkové a omezovače dveří převzaty z vozidla Peugeot 206. Ty byly do návrhu zakomponovány a další součásti návrhu a samotný nosný rám dveří byl těmto komponentům přizpůsoben.

Nakonec bylo uděláno ověření, které znázorňuje splnění vlastních požadavků pro projekt Evgen. Jednalo se o splnění požadavků, které jsou obsahem kapitoly číslo 5.3. Dveře váží skoro 13 kg a otevírají se do úhlu 40 stupňů. Dveře mají funkční okno a navržené těsnění. Stejně tak bylo navržené i těsnění mezi dveřmi a karoserií. Dále se dá tvrdit, že mají funkční zámek a kliku a rám dveří včetně krycího panelu je z vhodného materiálu, jelikož je navržen ze stejných materiálů, jak i karoserie vozidla Evgen.

V úplném závěru tvorby bakalářské práce byla vypracována výkresová dokumentace navrhovaných součástí dveří, včetně dvou řezů B sloupkem.

Tento návrh však nepředstavuje konečnou verzi, která by mohla být přímo realizována pro vozidlo Evgen. Pro budoucí vývoj je nezbytné provést statické a dynamické analýzy, včetně testování kritických zátěžových stavů, aby bylo zajištěno, že dveře vyhovují všem bezpečnostním a funkčním standardům. Tyto ověření a případné úpravy již navržených dveří by mohly představovat téma mé diplomové práce, kde bych se zaměřil na detailní zkoumání a optimalizaci konstrukce dveří pro zajištění jejich maximální efektivity a bezpečnosti.

Pevně věřím, že veškeré znalosti získané při psaní této bakalářské práce využiji v nadcházejících letech při navazujícím studiu a budoucí praxi, současně pak pro další rozvoj a stavbu zmíněného lehkého městského elektromobilu.

Pro tvorbu textové části mé práce byl použit program MS Word, 3D model a výkresová dokumentace byla vytvořena v programu Inventor (Autodesk Inc.) a Autocad (Autodesk Inc.)

POUŽITÉ ZDROJE

Internetové zdroje

- [1] Car door. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Car_door. [cit. 2024-07-11].
- [2] Vývoj bezpečnosti automobilů. Online. Bezpečné cesty. 2024. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/vyvoj-bezpecnosti-automobilu>. [cit. 2024-08-05].
- [3] All 12 Different Types of Car Doors Explained. Online. In: HEYOCAR: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023. Dostupné z: <https://www.heyocar.com/all-12-different-types-of-car-doors-explained/>. [cit. 2024-07-11].
- [4] BMW Z1: Buying guide and review. Online. In: AUTO Express: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018. Dostupné z: <https://www.autoexpress.co.uk/bmw/105001/bmw-z1-buying-guide-and-review-1986-1991>. [cit. 2024-07-11].
- [5] ARE YOUR WINDOWS ROLLING DOWN AUTOMATICALLY? HERE'S WHY. Online. In: BestRide.com: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2012. Dostupné z: <https://blog.bestride.com/research/are-your-windows-rolling-down-automatically-heres-why/>. [cit. 2024-07-11].
- [6] Citroën Ami Prices. Online. Car Keys. 2024. Dostupné z: <https://www.carkeys.co.uk/citroen/citroen-ami-electric>. [cit. 2024-07-31].
- [7] Slider Window. Online. In: Westfalia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018. Dostupné z: <http://www.griffco.ca/VW/slider.htm>. [cit. 2024-07-11].
- [8] Lexan Windows. Online. In: MartinMotosports: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018. Dostupné z: <http://www.pm-motorsports.com/index.php/custom-fabrication/custom-fabrication/lexan-windows>. [cit. 2024-07-11].
- [9] Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.
- [10] SAJDL, Jan. Euro NCAP – boční náraz. Online. In: Autolexicon.net: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/euro-ncap-bocni-naraz/>. [cit. 2024-07-11].

- [11] Are New Cars and Trucks Getting Heavier? Online. In: Capitalone.com: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022. Dostupné z: <https://www.capitalone.com/cars/learn/finding-the-right-car/are-new-cars-and-trucks-getting-heavier/1260>. [cit. 2024-07-11].
- [12] KONEČNÝ, Karel. *Tlumení vs. odhlučnění dveří - jaké jsou rozdíly?* Online. AHIFI. 2021. Dostupné z: <https://www.ahifi.cz/clanky/detail/jak-vytlumit-dvere-auta.htm>. [cit. 2024-07-10].
- [13] Přimrzající těsnění na autě: proč o něj pečovat a jak? Online. In: Detailingzavas.cz: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: <https://www.detailingzavas.cz/pece-o-primrzajici-tesneni-v-aute>. [cit. 2024-07-11].
- [14] Sklolaminátová karoserie. Online. Tstar. 2022. Dostupné z: <https://www.tch-fiberglass.com/cs/fiberglass-car-body-shell/>. [cit. 2024-07-30].
- [15] Homologace vozidel. Online. TÜV SÜD. -. Dostupné z: <https://www.tuvsud.com/cs-cz/odvetvi/mobilita-a-automobilovy-prumysl/vyrobci-vozidel-oem/homologace-vozidel>. [cit. 2024-07-31].
- [16] VENKATESHBABU, Sarvesh. Design of backdoor. Online. Skill Lync. 2020. Dostupné z: <https://skill-lync.com/student-projects/design-of-backdoor-41>. [cit. 2024-07-31].
- [17] Použití průmyslových hliníkových profilů ve výrobě. Online. Goldapple-Alu. 2024. Dostupné z: <https://www.goldapple-alu.com/cs/top-10-uses-of-industrial-aluminum-profiles-in-manufacturing.html>. [cit. 2024-07-31].
- [18] Hliník: problematický odpad nebo recyklační poklad? Online. Komunální ekologie. 2021. Dostupné z: <https://www.komunalniekologie.cz/info/hlinik-problematicky-odpad-nebo-recyklaalni-poklad>. [cit. 2024-07-31].
- [19] CARBON FIBER VS. FUBERGLASS TUBING. Online. XINBO.KOMPOSITE. 2019. Dostupné z: <http://cz.composite-china.com/news/carbon-fiber-vs-fiberglass-tubing-which-is-b-24791493.html>. [cit. 2024-07-31].
- [20] KOHOUTOVÁ, Miroslava. Od výkonu po design. Role plastů je v automobilovém designu zásadní. Online. Hospodařské noviny. 2020. Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-66822260-od-vykonu-po-design-role-plastu-je-v-automobilovem-designu-zasadni>. [cit. 2024-07-31].
- [21] Automotive Steel Processing: AHSS and Galvanized Steel. Online. NMC. 2020. Dostupné z: <https://www.nationalmaterial.com/automotive-steel-processing-ahss-and-galvanized-steel/>. [cit. 2024-07-31].
- [22] Počítačová simulace. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%A1_simulace. [cit. 2024-07-31].

[23] How Cars Have Changed and Improved Over Time. Online. Drive Safely. 2024. Dostupné z: <https://www.idrivesafely.com/defensive-driving/trending/evolution-automobile>. [cit. 2024-08-01].

[24] Car door handles: Why there are so many different types. Online. AUTODEAL. 2022. Dostupné z: <https://www.autodeal.com.ph/articles/car-features/car-door-handles-why-there-are-so-many-different-types>. [cit. 2024-08-01].

[25] The Most Common Types Of Car Locks. Online. COAST2COAST LOCKSMITHS. 2024. Dostupné z: <https://www.coast2coastlocksmiths.com.au/5-most-common-types-of-car-locks>. [cit. 2024-08-01].

Tištěné zdroje

[101] VLK, František. Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomika, biomechanika, struktura, kolize, materiály]. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.

[102] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 95: Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska ochrany cestujících v případě bočního nárazu. In: . 2015.

[103] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 11: Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska zámků dveří a součástí upevnění dveří. In: . 2010.

[104] Nový akční plán pro oběhové hospodářství: Čistší a konkurenceschopnější Evropa. In: 2020.

[105] FIRST, Jiří. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.

[106] PETR, Jan. Posuzování kvality lepených spojů při stavbě karoserií. Bakalářská práce. Dopravní fakulta Jana Pernera: Univerzita Pardubice, 2009.

[107] MACHEK, Václav a SODOMKA, Jaromír. Nauka o materiálu: kovy a kovové materiály. Praha: České vysoké učení technické, 2002. ISBN 80-010-2568-3.

[108] PUMILIA, Alessandro. A door opening system: from case studies to the design of a hinge system for small series vehicles. Master's degree thesis. Torino: POLITECNICO DI TORINO, 2020.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Konvenční dveře [1].....	9
Obrázek 2 – Posuvné dveře [3].....	10
Obrázek 3 – Nůžkové dveře [3].....	10
Obrázek 4 – Motýlové dveře [3]	11
Obrázek 5 – Baldachýnové dveře [3]	11
Obrázek 6 - Dveře typu “Dihedral Synchro-helix” [3]	12
Obrázek 7 - Přední kloubové dveře [3].....	12
Obrázek 8 – Křídlové dveře [3]	13
Obrázek 9 – Sebevražedné dveře [3].....	13
Obrázek 10 – Vertikální posuvné dveře [4]	14
Obrázek 11 - vzhled lomu u různých automobilových skel [101]	14
Obrázek 12 - Skládací boční okno [5]	15
Obrázek 13 - Výklopné okno [6].....	16
Obrázek 14 - Posuvné okno [7].....	16
Obrázek 15 - Okno s pevnými panely [8]	17
Obrázek 16 - jednotlivé lisované dveře [9]	18
Obrázek 17 - dveře s okenním křídlem [108]	18
Obrázek 18 - hybridní dveře [108].....	19
Obrázek 19 - bezrámové dveře [108].....	19
Obrázek 20 - profilový rám dveří vozidla Aixam [108]	20
Obrázek 21 - vnější závěs	20
Obrázek 22 - vnitřní závěs Hyundai i20.....	21
Obrázek 23 - schéma zámku dveří [101].....	21
Obrázek 24 - výsuvný typ kliky [24].....	23
Obrázek 25 - klika typu klapka [24]	23
Obrázek 26 - klika tlačítkového typu [24].....	24

Obrázek 27 - klika typu spoušť [24].....	24
Obrázek 28 - klika tlačného typu [24]	25
Obrázek 29 - dotykový typ kliky [24].....	25
Obrázek 30 - omezovač dveří typu A [108]	26
Obrázek 31 - omezovač dveří typu B [108]	26
Obrázek 32 - Struktura dveří Škoda Octavia 4. generace [9]	29
Obrázek 33 - Části struktury dveří zachycující energii při bočním nárazu, příčný řez [101] ..	30
Obrázek 34 - Stav před bočním nárazem [10].....	32
Obrázek 35 – kontakt bariéry s bokem vozidla [10].....	32
Obrázek 36 - Renault Megane po bočním nárazu s jiným vozidlem [crach test léto 2023] ...	33
Obrázek 37 – Ponoření karoserie vozidla do zinkové lázně [21]	34
Obrázek 38 - Poloha lepených spojů a utěsnění dveří [101]	34
Obrázek 39 - vzor slepeného lemu [106].....	34
Obrázek 40 - grafický výstup ze simulace životnosti dveří [9].....	36
Obrázek 41 - grafický výstup ze simulace odolnosti dveří proti otrysku [9]	36
Obrázek 42 - požadavky na vzájemné umístění pantů a protikusu zámku [9]	37
Obrázek 43 - Schéma uspořádání ovladačů dveří a oken [101]	39
Obrázek 44 - odhlučnění dveří izolační pěnou [12]	40
Obrázek 45 - odhlučnění dveří antivibračním materiálem [12].....	40
Obrázek 46 - gumové těsnění do dveří auta [13]	41
Obrázek 47 - 3D koncept vozidla Evgen	43
Obrázek 48 - výkres profilů, použitých pro konstrukci rámu vozidla Evgen	44
Obrázek 49 - vozidlo Evgen současný stav.....	44
Obrázek 50 - navržený design vozidla Evgen	45
Obrázek 51 – vozidlo Citroën Ami.....	46
Obrázek 52 - vozidlo Aixam	46
Obrázek 53 - vstupní prvky, pohled z boku	47
Obrázek 54 - vstupní prvky, pohled zepředu.....	47

Obrázek 55 - velikost dveřního prostoru.....	48
Obrázek 56 - Peugeot 206	49
Obrázek 57 - dveře Peugeot 206 ve fázi rozebírání	49
Obrázek 58 - umístění rámu dveří do volného prostoru	50
Obrázek 59 - porovnání reálného pantu a modelu	51
Obrázek 60 - poloha umístění pantů	51
Obrázek 61 – návrh dolního vnějšího krycího panelu auta	52
Obrázek 62 - návrh horního vnějšího krycího panelu dveří	52
Obrázek 63 - skica posuvného okna	53
Obrázek 64 - návrh výklopného bočního okna	53
Obrázek 65 - okenní zámek.....	53
Obrázek 66 - porovnání reálné zámkové vložky a modelu	54
Obrázek 67 - porovnání reálného protikusu zámku a modelu	54
Obrázek 68 - porovnání reálné zámkové jednotky a modelu.....	55
Obrázek 69 - umístění zámkové soustavy do dveří.....	55
Obrázek 70 - umístění překrytů.....	56
Obrázek 71 - znázornění místa řezu	56
Obrázek 72 - schematický řez A-A'	57
Obrázek 73 - porovnání převzatého omezovače s modelem.....	57
Obrázek 74 - umístění omezovače	57
Obrázek 75 - maximální úhel otevření dveří.....	58
Obrázek 76 - maximální úhel otevření okna.....	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - hmotnosti jednotlivých dveřních součástí	60
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – výkres rámu dveří

Příloha 2 – výkres bočního okna

Příloha 3 – výkres okenního pantu

Příloha 4 – výkres okenního zámku

Příloha 5 – výkres kliky dveří

Příloha 6 – výkres řezů těsněním okna a dveří