



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SNIŽOVÁNÍ HMOTNOSTI OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ NA ZÁKLADĚ VOLBY MATERIÁLŮ

REDUCTION OF AUTOMOBILE WEIGHT BASED ON MATERIAL CHOICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

SVETOZÁR SVOBODA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV ŠENBERGER,
CSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Svetožár Svoboda

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Snižování hmotnosti osobních automobilů na základě volby materiálů

v anglickém jazyce:

Reduction of automobile weight based on material choice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedním z důležitých úkolů automobilového průmyslu je snižovat hmotnost vyráběných automobilů. Tento úkol se týká zejména výrobců polotovarů pro automobilový průmysl. Jejich úkolem je použít nové materiály, které jsou vhodné pro jednotlivé součástky jak z hlediska technologického (tenkostěnné výrobky), tak i z hlediska vyšších mechanických vlastností. Současně je nutné zachovat nebo snížit výrobní náklady.

Na základě rozboru literatury zvolit vhodné materiály pro dílce osobních automobilů s cílem snížit jejich hmotnost.

Údaje o možnostech, které skýtají nové materiály pro automobilový průmysl, používané technologie a jejich možnosti mohou být zajímavou informací pro budoucí strojírenské konstruktéry i technology.

Pozornost věnovat zejména moderním materiálům používaným při výrobě motorů s vyššími mechanickými a dobrými technologickými vlastnostmi.

Cíle bakalářské práce:

Seznámit studenta s postupem při volbě materiálů a technologií pro strojírenské výrobky (automobily).

Seznam odborné literatury:

1. ŠENBERGER, J., aj. Metalurgie oceli na odlitky. Brno: VUT v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2008. 311 s. ISBN 987-80-214-3632-9.
2. PTÁČEK, L., aj. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 391 s. ISBN 80-7204-248-3.
3. FREMUNT, P., PODRÁBSKÝ, T. Konstrukční oceli. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-85867-95-8.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 20.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou znižovania hmotnosti v automobilovom priemysle. Sú tu uvedené moderné materiály ktoré sa už používajú pri znižovaní hmotnosti osobných automobilov ale sú tu aj materiály ktoré majú budúcnosť pri znižovaní hmotnosti. V závere je popísaná problematika voľby materiálu.

Kľúčové slová

znižovanie hmotnosti v automobilovom priemysle, moderny materiál, budúcnosť materiálov v automobilovom priemysle

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the choice of a material to reduce the passenger vehicle weight. The thesis also introduces an integrated list of modern materials used in automotive industry and materials with the future in automobile weight reduction and basic criteria of their choice

.Key words

reduction of automobile weight, advanced material, future of automotive materials

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

SVOBODA, Svetozár. *Znižovanie hmotnosti osobných automobilov na základe voľby materiálu*. Brno 2015. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav slévarenské technologie. 25 s. Vedoucí práce. doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc..

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na téma **ZNIŽOVANIE HMOTNOSTI OSOBNÝCH AUTOMOBILOV NA ZÁKLADE VOĽBY MATERIÁLU** vypracoval(a) samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

Dátum

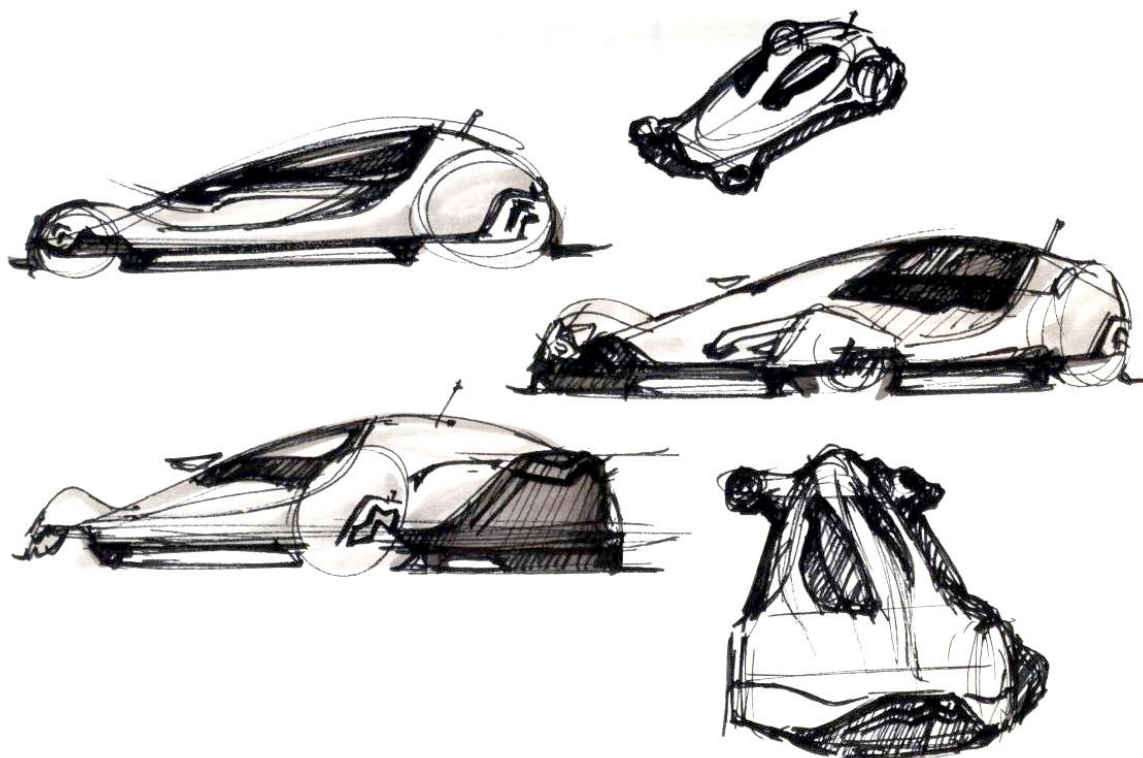
Svetozár Svoboda

POĎAKOVANIE

Ďakujem doc. Ing. Jaroslavovi Šenbergerovi, CSc. za cenné pripomienky a odborné vedenie pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

OBSAH

ÚVOD.....	8
1. Prínos znižovania hmotnosti u automobilov.....	9
1.1 Znižovanie hmotnosti a bezpečnosť	9
1.2 Znižovanie hmotnosti a spotreba	10
1.3 Zhrnutie	10
2. Moderný materiál v automobilovom priemysle	11
2.1 Multifázové ocele (Vysokopevnostne ocele HSS/AHSS)	11
2.2 Hlinikové zliatiny	14
2.3 Horčíkové zliatiny.....	15
2.4 Titanové zliatiny	16
2.5 Plasty	16
2.6 Kompozity	17
3. Trendy a technológie pri znižovaní hmotnosti	18
4. Voľba materiálu	22
Záver.....	23
Zoznam použitých zdrojov	24



ÚVOD

Táto práca je vypracovaná ako prehľad o moderných materiáloch vhodných pre automobilový priemysel. Mohol by to byť zaujímavý zdroj informácií pre ľudí ktorí sa zaujímajú alebo pracujú v automobilovom priemysle. Moja práca je písaná ako prehľad o materiáloch, ktoré sa už používajú pre sériovo vyrábané modely za účelom zníženia hmotnosti. Takisto sú tu aj materiály ktoré majú momentálne zastúpenie len pri športových vozidlách v malých sériách ale do budúcnosti majú veľký potenciál pre automobilky ktoré chcú znížiť hmotnosť pri svojich sériovo vyrábaných vozidlách.

Prvá kapitola je venovaná hlavným dôvodom, ktoré stoja za znižovaním hmotnosti a ich dôsledkom týkajúcim sa bezpečnosti ktorá je základným kameňom každej automobilky. Tiež sa venujem znižovaniu spotreby, ktorá súvisí s emisiami auta ktoré sú v posledných rokoch ostro sledované Európskou úniou.

Ďalšia kapitola je venovaná moderným materiálom, ktoré už sú používané v automobilovom priemysle, za účelom znížiť hmotnosť. Ich potenciál ešte nedosiahol maxima čo znamená že už sa vo väčšej alebo menšej miere podieľajú na stavbe každého osobného automobilu no ich využitie môže byť ďaleko väčšie. Ďalej sú tu materiály ktoré majú budúcnosť v automobilovom priemysle ako materiál ktorý redukuje hmotnosť no zatiaľ sa používa len pri športových automobiloch kvôli jeho vysokej cene alebo nedostačujúcej technológii spracovania pre sériovo vyrábané osobné automobily.

V závere je zhrnutie trendov a technológii ktoré sa momentálne už používajú pri redukovani hmotnosti alebo zatiaľ sú použité len na koncepty no ukazujú kadiaľ bude viesť budúcnosť v tomto trende.

Všetky poznatky použité v tejto práci vychádzajú so štúdiá použitých zdrojov, ktoré sú zhrnuté na konci tejto práce.

1. PRÍNOS ZNIŽOVANIA HMOTNOSTI U AUTOMOBILOV

1.1 Znižovanie hmotnosti a bezpečnosť [1]

Hmotnosť je jedným z viacerých faktorkv, ktorý sa podieľa na bezpečnosti automobilov. Bez ohľadu na skutočnosť, že využitie ľahkých materiálov na niektoré komponenty ešte nemusí znížiť celkovú hmotnosť vozidla, je klamlivé aj tvrdenie, že zvýšením hmotnosti vozidla zvýšime aj jeho bezpečnosť. Najdôležitejším faktorom z hľadiska bezpečnosti je správne využitie materiálov v konštrukcii, ktoré pri rôznych deformáciách dokážu pohltiť dostačujúce množstvo nárazovej energie. Zároveň platí, že pridanie alebo zdokonalenie vybraného ochranného prvku môže zvýšiť bezpečnosť v jednom ohľade, ale zároveň môže znížiť bezpečnosť v inom smere. Príklad: tuhá a ťažká konštrukcia predného nárazníka zvyšuje ochranu cestujúcich pri čelnom náraze, no zároveň predstavuje nebezpečenstvo pri strete s chodcom.

Najnovšie ľahké materiály majú vďaka svojmu zloženiu jedinečnú pevnostnú charakteristiku. Sú stlačiteľné a opakovane dokážu pohltiť dostačujúce množstvo nárazovej energie, zároveň odolávajú nárazom z rôznych smerov. Obstoja v porovnaní s kovovými či plastovými materiálmi.

Množstvo automobiliek využíva na prenos a rozptýlenie nárazovej energie, ktorú nepohltí zadný nárazník rezervné koleso. Výrobcovia však teraz rezervné koleso nahrádzajú sadou na opravu pneumatiky, ktorá vodičovi umožní dôjsť do najbližšieho servisu. Komponenty z ľahkého materiálu poskytujú nielen pohodlné miesto na uloženie sady na opravu pneumatík, ale zároveň rozširujú funkčnosť batožinového priestoru, pokiaľ je správne navrhnutý a namontovaný, môže výrazne prispieť k pohlteniu nárazovej energie.

Konštruktéri môžu voliť z veľkého množstva a typov materiálov, ktoré vozidlu zabezpečia požadovanú úroveň bezpečnosti. Ak materiál dokáže zvýšiť bezpečnosť cestujúcich a zároveň znížiť hmotnosť vozidla, je vítaným.

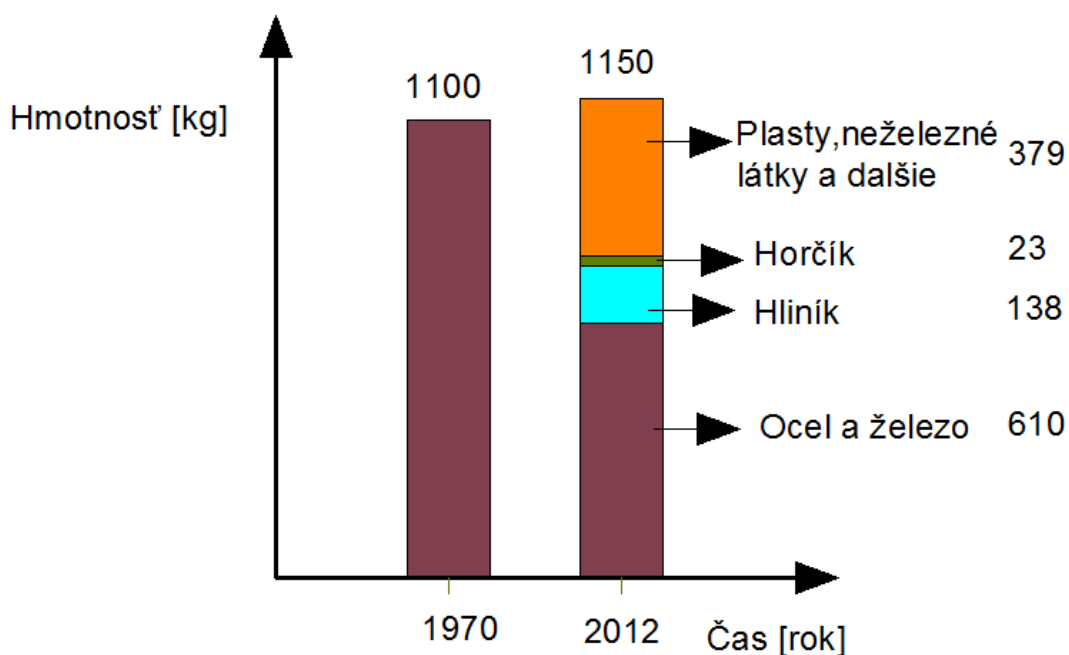


Obr. 1. Panel dverí z ľahkého materiálu ARPRO (BMW i8) [15]

1.2 Znižovanie hmotnosti a spotreba [1]

Zredukovaním hmotnosti vozidla sa znižuje aj spotreba paliva. Znižovaním hmotnosti automobilu o 10% sa znižuje spotreba paliva cca. o 7% , čo tiež znamená, že zredukovanie hmotnosti o 1 kg sa prejaví merateľne v znižovaní CO₂ emisií.

Automobiloví výrobcovia sa snažia znižovať emisie skleníkových plynov využívaním nových ultraľahkých materiálov. Jedinou prekážkou využitia takých materiálov je ich vysoká cena, práve preto sa kladie veľký dôraz aj na vývoj nových technológií a výrobných procesov.



Graf 1. Porovnanie rokov 1970-2012 [1]

Z obrázku vyplýva, že aj keď sú použité nové materiály na konštrukciu, hmotnosť stále nie je redukovaná dostatočne. Hlavným dôvodom prečo hmotnosť nedosiahla nižšiu hodnotu oproti roku 1970 je, že autá prešli zmenami ktoré sa dotkli hlavne ich veľkosti, bezpečnosti a vybavenosti. Tieto aspekty spôsobili, že auta sú väčšie bezpečnejšie a vezú viac doplnkovej výbavy. Pestrejšia škála materiálov spôsobila že, aj keď auta majú nové prvky ktoré spôsobujú nárast hmotnosti oproti roku 1970, hmotnosť narástla len o zlomok oproti tomu keby neboli použité tieto nové materiály.

1.3 Zhrnutie

Využitie nových materiálov ako sú plasty alebo kompozity umožňujú konštruktérom navrhnuť rôzne tvary komponentov. Dizajn moderných vozidiel má vplyv na bezpečnosť, výkon, aerodynamiku, spotrebu vozidla, výrobné náklady a mnoho ďalších dôležitých faktorov. Rovnako tak sa kompozitné materiály využívajú na zlepšenie vzhľadu v exteriéroch alebo aj v interiéroch ako napr. sedadlá, palubné dosky, krídla, nárazníky a pod.

2. MODERNÝ MATERIAL V AUTOMOBILOVOM PRIEMYSLE

2.1 Multifázové ocele (Vysokopevnostne ocele HSS/AHSS) [3],[4],[5],[6],[14]

Rozvoj vysokopevných nízkolegovaných ocelí vo svete bol vyvolaný potrebou zníženia spotreby pohonných hmôt a hmotnosti, no zároveň zvýšiť pevnosť a spoľahlivosť súčiastok. Multifázové ocele toto dosiahli pomocou zaistenia transportácie uhlíka do tvrdých štrukturálnych zložiek. Pomocou tepelného spracovania a legujúcich prvkov ovplyvňujú fázovo transformačné podmienky. Tieto ocele majú vyhovujúce vlastnosti (pevnosť, životnosť, pohlcovanie nárazovej energie, deformačné spevnenie) pre automobilový priemysel. Skladajú sa z minimálne dvoch štruktúr :

- Mäkká (matričná) fáza
- Tvrdá fáza

Medzi multifázové ocele patria :

- **DP ocele** (Dual Phase Steels) – Boli vyvinuté špeciálne pre automobilový priemysel ako vysoko pevnostné ocele s dobrou tvárnosťou a zvariteľnosťou. Majú martenzitické útvary dispergované vo feritickej matici. V číselnom vyjadrení štruktúra pozostáva zo 70 až 90% feritu a 10 až 30% martenzitu. Okrem týchto dvoch fáz nie je vylúčená ani prítomnosť bainitu, perlitu a zvyškového austenitu vo veľmi malých množstvách. Niekedy je prítomnosť bainitu v týchto oceliach žiadaná. Čo sa týka chemického zloženia, radíme ich k nízkouhlíkovým oceliam. Obsahujú

Tabuľka 1 percentuálny obsah prvkov v DP oceliach

Prvok	Od - do [%]	
Uhlík	0,05	0,4
Hliník	0,01	1,5
Kremík	0,01	1,5
Mangán	0,4	2,5
Dusík	0,002	0,009
Chróm	0,3	1
Molybdén	0,2	0,8
Titan	0,015	0,03
Niób	0,03	0,12
Fosfor	0,4	0,6
Vanád	0,05	0,15
Síra	0,01	0,012

Správne množstvo uhlíka zabezpečuje tvorbu martenzitu s dostatočnou pevnosťou pri ochladzovaní štandardnými rýchlosťami. Mangán, chróm, molybdén, vanád a nikel sa podieľajú na zvýšení tvrdosti a pevnosti. K prednostiam DP ocelí patrí plynulá medza sklzu, väčší exponent deformačného spevnenia, dobrý pomer plasticity a pevnosti, ľahká a jednoduchá zvariteľnosť všetkými dostupnými metódami, a vynikajúca odolnosť voči iniciácii a šíreniu únavových lomov. Medz klzu je okolo 300 až 780 MPa, medz pevnosti 400 až 1120 MPa a ťažnosť 5 až 60%. Pevnosť týchto ocelí je možné ešte zvýšiť BH efektom alebo deformačným starnutím. Zvlášť vhodné sú na

výrobu A, B, C a D stĺpikov, prahov dveri, výstuh striech, bočné rámy karosérie, predné nárazníkové konštrukcie, výstuhy podlahy a zadného nárazníka.

- **CP ocele** (Complex Phase Steels) – Sú to nízkouhlíkové ocele, ktorých základom je jemnozrnná feriticko-bainitická matrica s malým podielom perlitu, martenzitu a zvyškového austenitu. Tieto ocele majú vysokú pevnosť, tvrdosť a vysoký koeficient deformačného spevnenia. Medz klzu sa pohybuje okolo 600 až 920 MPa, medz pevnosti je 780 až 1130 MPa. Zjemnenie zrna sa dosiahne potlačením rekryštalizácie alebo precipitáciou mikrolegujúcich prvkov Ti a Nb. Jemné precipitáty sú potom distribuované rovnomerne v celej štruktúre. Pre CP ocele je typická vysoká schopnosť absorpcie mechanickej energie a teda veľká deformačná kapacita. CP ocele sú zostavene z malého množstva legujúcich prvkov:

Tabuľka 2 percentuálny obsah prvkov v CP oceliach

Prvok	Od - do [%]	
Uhlík	0,12	0,17
Mangán	0	2,2
Kremík	0	0,8
Fosfor	0	0,04
Chróm	0	1
Molybdén	0	1
Sira	0	0,015
Hliník	0	1,2
Vanád	0	0,2
Bor	0	0,005

Tieto ocele sa používajú na konštrukčné prvky, u ktorých sa vyžaduje vysoká schopnosť absorpcie nárazovej energie, napr. B-stĺpik, výstuhy dverí a nárazníkov.

- **TRIP ocele** (Transformation Induced Plasticity Steels) – Základom mikroštruktúry TRIP ocelí je feritická matrica, v ktorej je určitý podiel zvyškového austenitu, bainitu a martenzitu. Počas deformácie prebieha transformácia zvyškového austenitu na martenzit s doskovou morfológiou, čím sa zvýši celková pevnosť ocele. Mechanicky indukovaný martenzit vzniká zo zvyškového austenitu iba do istej teploty. Nad touto teplotou už nedochádza k indukcii martenzitu, ale k deformácii austenitu. Aby sa mohol uplatniť tento TRIP efekt je nutný minimálny podiel zvyškového austenitu v štruktúre 5-10%. Zabezpečuje sa to zvýšeným obsahom uhlíka a kremíka. Výhoda TRIP ocelí spočíva v ich schopnosti predĺženia (ťažnosť 20-80%) a vynikajúcich pevnostných vlastnostiach $Re = 390 - 800$ MPa, $Rm = 500 - 1050$ MPa. Ďalšou z výhod je odolnosť voči tenčeniu počas procesu tvarovania, čo poskytuje zlepšenie tváriteľnosti. TRIP ocele obsahujú relatívne málo legujúcich prvkov:

Tabuľka 3 percentuálny obsah prvkov v TRIP oceliach

Prvok	Od - do [%]	
Uhlík	0	0,24
Hliník	0	1,6
Mangán	0	2
Sira	0	0,01
Kremík	0	0,3
Fosfor	0	0,04
Bor	0	0,005
Chróm	0	0,6
Molibden	0	0,6
Niob	0	0,2
Titan	0	0,2

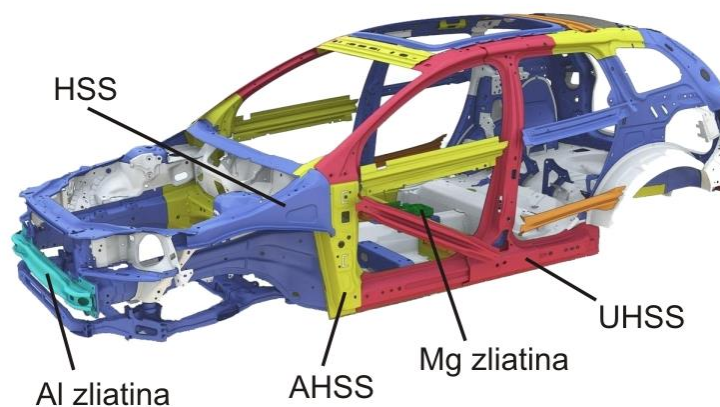
V posledných rokoch sa zvýšená pozornosť venuje CMnAl TRIP oceliam, z dôvodu zvýšeného obsahu hliníku, ktorý spôsobuje nárast množstva uhlíka v zvyškovom austenite. Podobne ako kremík, aj hliník je nerozpustný v cementite, čím spomaľuje jeho vznik a zároveň zvyšuje rýchlosť bainitickej premeny. Nevýhoda použitia hliníku spočíva v tom, že tento prvok znižuje efekt spevnenia tuhého roztoku oproti kremíku a zvyšuje teplotu M_s , ktorá by mala byť pod 0°C . Súčasný vývoj výroby TRIP ocelí smeruje iba k čiastočnému nahrádzaniu kremíka obmedzeným množstvom hliníka a použitiu 0,05 – 0,10 hm.% fosforu. Množstvo použitého fosforu je viazané na obsah hliníka, pretože fosfor takisto potláča tvorbu cementitu a je veľmi efektívnym prvkom pri spevnení tuhého roztoku. Vyšší obsah kremíka a hliníka podporuje tvorbu feritu a bainitu. Tieto prvky sú teda nápomocné pri snahe zachovať potrebné množstvo uhlíka vo zvyškovom austenite. Dôležité je potlačiť precipitáciu karbidov počas bainitickej premeny. K tomu slúžia kremík a hliník. Výsledkom ich vynikajúcich únavových vlastností a vysokej schopnosti absorbovať deformačnú energiu je ich aplikovateľnosť na také miesta, ako sú priečne a pozdĺžne nosníky karosérie, výstuže B - stĺpikov, alebo prahy dverí.

- **UHSS-B (Boron Steels)** – Su najpevnejšie z UHSS ocelí. Mikroštruktúra je tvorená martenzitom a zvyškovým austenitom. Malé množstvo bóru postačuje na potlačenie nukleácie feritu na hraniciach austenitických zŕn a podporuje tvorbu martenzitu alebo bainitu. Aby sa účinok bóru prejavil, je nutné zabrániť tomu, aby s bórom reagovali kyslík alebo dusík. Riešením je napríklad legovanie ocele hliníkom a titánom. V závislosti na tepelno-mechanickom spracovaní môže byť medz klzu a medz pevnosti v mimoriadne širokom intervale. Medz klzu začína na hodnote 430 MPa a po spracovaní až 1770 MPa. Medza pevnosti je v rozmedzi 500 – 2034 MPa, ťažnosť 5 – 41%. Výhodou materiálov s tak vysokými pevnostnými vlastnosťami je možnosť použiť menej masívne, ľahšie prvky konštrukcie. Nevýhodou je, že po deformácii sa nedajú opraviť do pôvodného tvaru. Ak je konštrukčný prvok z UHSS-B ocele zdeformovaný, je nutné ho vymeniť za nový. Vysoká pevnosť je predzveťou krehkosti. Pre svoju vysokú medzu klzu sú z nich vyrabane také konštrukčné prvky, ktoré by sa nemali

deformovať. Používajú sa predovšetkým na A,B stĺpiky, prahy a výstuže dvier, priečny stredový strešný oblúk, rám pod alebo za zadnými sedadlami, výstuže pod palubovkou. Chemické zloženie je :

Tabuľka 4 percentuálny obsah prvkov v UHSS-B oceliach

Prvok	Od - do [%]	
Uhlík	0,07	0,67
Titan	0,02	0,05
Nikel	0,15	3,8
Vanád	0,1	0,15
Mangán	0,3	2,05
Hliník	0,015	0,065
Bor	0,0005	0,005
Kremík	0,15	2,2
Chróm	0,13	1,45
Molibden	0,08	0,35
Síra	0,008	0,05
Fosfor	0,025	0,04



Obr. 2. Karoséria Volva XC60 (použitie ocelí) [14]

2.2 Hliníkové zliatiny [2],[10],[14]

Hliník, často označovaný ako kov tretieho tisícročia, sa stal v menšej alebo väčšej miere neoddeliteľnou súčasťou konštrukcie áut všetkých tried. Jeho atraktivita spočíva v nízkej hmotnosti. Hmotnosť s hustotou 2700 kg/m^3 má hliník približne tretinu hustoty ocele. Úsporu na hmotnosti však nie je možné posudzovať len na základe tohto parametra. Tým, že hliníkové zliatiny majú nižšie pevnostné vlastnosti, konštrukčné prvky musia byť masívnejšie. Ďalšou nemenej dôležitou vlastnosťou je pevnosť v ťahu, ktorú hliník dosahuje v rozmedzí od 70 a 700 MPa. Pre zliatiny používané pri technológii prietlačného lisovania je rozsah medzi 150 – 300 MPa. Na rozdiel od väčšiny druhov ocele sa hliník pri nízkych teplotách nestáva krehkým. Namiesto toho sa jeho pevnosť zvyšuje.

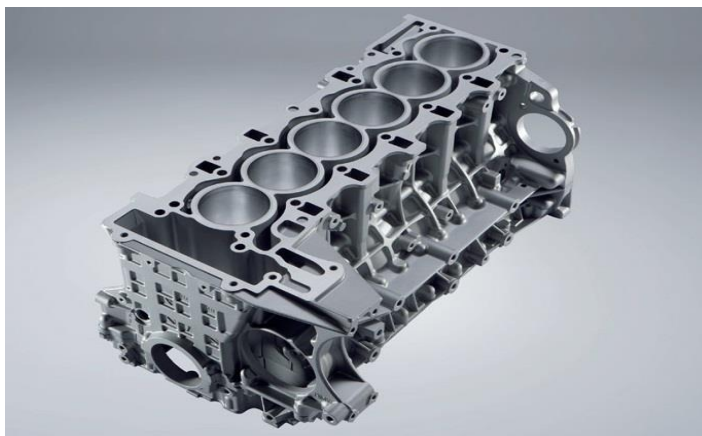
Tvarovateľnosť a opracovanie sú ďalšími jedinečnými vlastnosťami hliníka. Hliník je vynikajúco tvarovateľný za použitia rôznych technológií za tepla ako aj studena. Tento kov je taktiež ľahko opracovateľný použitím takmer všetkých spôsobov – frézovanie, vŕtanie, dierovanie, ohýbanie a ďalšie. Okrem toho, spotreba energie počas opracovania je pomerne nízka. Ochranu pred koróziou zabezpečuje tenká oxidová vrstva, ktorá vzniká na vzduchu pri reakcii hliníka s kyslíkom. Aj keď má táto vrstva hrúbku iba niekoľko stotín mikrometrov, vďaka svojej hustote poskytuje vynikajúcu ochranu. V prípade poškodenia sa vrstva sama obnoví. Povrchová úprava hliníka technológiou anodickej oxidácie zväčšuje hrúbku oxidovej vrstvy a tým zlepšuje ochranu pred prirodzenou koróziou. Plusom je tiež ľahká recyklácia.

Ako zliatiny sa používajú zliatiny triedy 5xxx (Al-Mg zliatiny), predovšetkým 5251, 5754, 5182, 5022, 5023. Pre vyššiu medzu sklzu, ktorá môže dosahovať hodnoty až 600 MPa, sú aktuálne aj zliatiny triedy 6xxx (Al-Si zliatiny), 6022, 6181, 6016, 6111, 6009 a iné. V Európskych autách sa zriedkavo používajú aj prvky zo zliatin triedy 2xxx (Al-Cu zliatiny), 2036 a 2117. Nie sú rozšírené kvôli zlej recyklovateľnosti, napriek tomu sú populárne v USA.

2.3 Horčíkove zliatiny [2],[12],[14]

Merná hmotnosť horčíkových zliatin je v porovnaní s hliníkovými o 25% nižšia. Hustota čistého horčíku je 1774 kg/m^3 , hustota zliatin sa pohybuje v závislosti na stupni legovania od $1350\text{--}1930 \text{ kg/m}^3$. Ďalšou kladnou vlastnosťou je možnosť použiť horčíkové zliatiny pre tlakové liatie ale aj pre kovanie, v roztavenom stave má dobrú zabiehavosť čo umožňuje odlievanie aj tenkostenných odliatkov. Zliatiny horčíka sa vyznačujú dobrou obrobitelnosťou a väčšina zliatin aj dobrou zvariteľnosťou pri oblúkovom zvarení v ochrannej atmosfére. Nedostatkom horčíkových zliatin je ich nižšia korózná odolnosť a vysoká reaktivita, v niektorých prípadoch aj pri obrábaní, nízka pevnosť za vyšších teplôt. Konštrukčný nedostatok má horčík vo vrubovej húževnatosti ktorú má nízku.

Horčík je atraktívny materiál pre použitie v automobilovom priemysle vďaka svojej nízkej hmotnosti. Z väčších dielov ktoré sa používajú sú to napríklad panely prístrojových dosiek a súčasti vyrobené odlievaním. Zatiaľ sa používa málo plechov alebo pretláčaných, kovaných dielov, no horčík tento potenciál má. Zliatiny horčíka sú pre tieto aplikácie legované mangánom (do 2,5%), zinkom (do 5-6%) a zirkónom (do 1,5%). Dominantné sú zliatiny s označením AZ91, AM50 a AM60.



Obr. 3. Horčíkový blok motora BMW [18]

Medza sklzu týchto zliatin sa pohybuje od 120 do 160 MPa, medza pevnosti od 210 do 240 MPa, a ťažnosť je 3 až 10%. Využitie týchto zliatin pri osobných automobiloch je hlavne v motoroch ale aj v súčiastkach podvozkov, časti karosérie a v neposlednom rade sú odlievane kolesa športových automobilov.

2.4 Titanové zliatiny [2],[11]

Titan bol prvý krát použitý v automobilovom priemysle v strede 50-tych rokov 20.storočia. Automobilová firma General Motors v roku 1956 uviedla na trh doteraz jediný automobil s titánovým vonkajším povrchom. Titánové zliatiny majú podobné mechanické vlastnosti ako legované ocele pričom titan ma hustotu 4500 kg/m^3 a stredná hodnota pevnosti 400 MPa. Momentálne najznámejšia a najpoužívannejšia titánová zliatina TiAl6V4 ktorá obsahuje 5,5-6,75% hliníku a 3,5-4,5% vanádu. Titan sa využíva na výrobu výfukových systémov, pružín, ventilov, spojok, diskov kolies a kotúčových brzd. Použitím titanu sa môže ušetriť približne 40% pôvodnej váhy súčiastok. Tieto súčiastky využívajú výrobcovia, ako Mitsubishi pri výrobe držiaku ventilových pružín. Ferrari a Honda pri výrobe ojníc a General Motors pri výrobe výfukových systémov. Medzi negatívne vlastnosti titanu patrí skutočnosť, že je to veľmi náročný prvok na obrábanie. Od tejto skutočnosti sa odráža aj jeho cena a to je hlavný dôvod prečo je používaný len na veľmi namáhané súčiastky u športových automobiloch, ktoré sú produkované v malých sériách.



Obr. 4. Titánové ojnice pre motor Honda [20]

2.5 Plasty [2]

Mimo vyššie uvedené skupiny kovov je tu tiež potenciál na redukciiu hmotnosti pomocou použitia plastov. Tieto materiály majú výrazne nižšiu hustotu v rozmedzí $1000\text{--}1300 \text{ kg/m}^3$, čo je menej ako všetky ostatne kovy spomínané vyššie. Donedávna mali tieto materiály tendenciu plniť konštrukčne nevýznamnú úlohu. Vďaka ich nízkej hustote sa podieľajú len na 8% hmotnosti auta ale objemovo tvoria 50%. Automobilový priemysel využíva širokú škálu rôznych typov plastov vrátane polypropylénu, polyesteru, vinil esteru. Tieto materiály sa používajú na výrobu interiérových panelov, dosiek držiakov a veľa ďalších dielov. Používajú sa predovšetkým ako náhrada nenosných dielov, ale takisto sa z nich vyrábajú sacie systémy kryty hláv valcov, čerpadla, filtračné prvky a veľa ďalších dielov ktoré sa donedávna vyrábali len z kovových materiálov. Nové štúdie ukazujú možnosť využitia plastov aj v progresívnych nárazových systémoch alebo u nosníkov z kompozitných materiálov. Existujú návrhy ktoré uvádzajú možnosť využitia pri nosných rámoch.



Obr.5. Nárazový systém z plastu [23]

2.6 Kompozity [2],[13]

Kompozit je materiál určený na vysoké namáhanie, pričom sa požaduje vysoká pružnosť. Tieto materiály vznikajú kombináciou základnej hmoty (matrica má funkciu pojiva) s druhou zložkou (má spevňujúci účinok). Do skupiny kompozitov možno zaradiť širokú škálu materiálov. Do skupiny kompozitov zaraďujeme latky, ktoré spĺňajú tieto podmienky:

- Sú vytvorené umelo
- Skladajú sa najmenej z dvoch, chemicky odlišných zložiek
- Zložky majú z makroskopického hľadiska rovnomerné rozloženie v celom objeme
- Výsledné vlastnosti kompozitov sú odlišné od vlastností zložiek

Použitie kompozitov v automobilovej výrobe vychádza najmä zo snahy nahrádzať oceľ a iné kovové materiály, zníženie hmotnosti, zvýšenie pevnosti, odolnosti a pod. Súčiastky z kompozitných materiálov majú vynikajúce vlastnosti, ktoré nie je možné dosiahnuť inými materiálmi. Na začiatku 90. rokov využívanie moderných kompozitných materiálov spôsobilo revolúciu vo svetovom automobilovom inžinierstve. McLaren v roku 1981 vyrábala monokok svojho vozidla F1 z uhlíkových vlákien.

Výhody kompozitov sú :

- odolnosť proti únave
- vysoká pevnosť a modul pružnosti
- odolnosť proti šíreniu trhlín
- vysoká rázová a vrubová húževnatosť
- nehorľavosť
- schopnosť tlmenia vibrácií
- kvalita povrchu
- korózna odolnosť
- balistické vlastnosti
- elektrická vodivosť
- opätovná použiteľnosť



Obr. 6. McLaren MP4/1 kabína z kompozitu [19]

V automobilovom priemysle sa najčastejšie stretneme s uhlíkovými vláknami v kombinácii s epoxidovými matricami.

Kompozitné materiály si v automobilovom priemysle zatiaľ našli uplatnenie hlavne pri konštrukcii výkonných športových automobilov. Hlavný podiel na tomto fakte je že výroba je náročná pracou, časom a automatizáciou. Tieto faktory sa odzrkadľujú na cene ktorá je vysoká pre sériovú výrobu. Avšak ich podiel pri sériovo vyrábaných automobiloch všetkých tried sa od roku zvyšuje za čo môže zlepšovanie ich výrobných technológií ako aj postupne znižovanie ich ceny. Pokiaľ bude tento trend pokračovať majú isté uplatnenie pri sériovo vyrábaných autách.

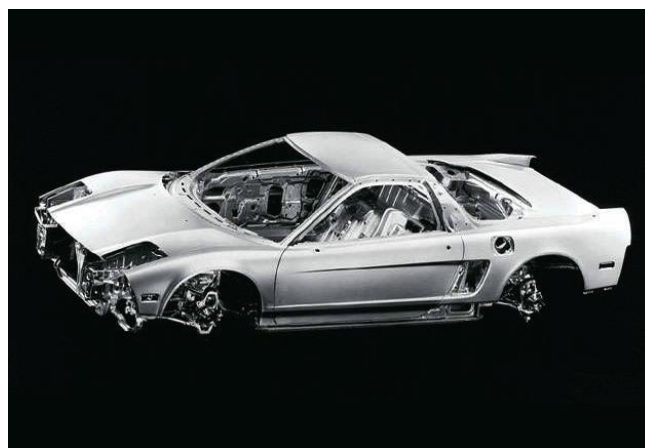
3. TRENDY A TECHNOLOGIE PRI ZNIŽOVANÍ HMOTNOSTI [1],[2],[7],[8],[9]

K dispozícii je pestrá škála postupov, ktoré boli a sú v automobilovom priemysle používané s cieľom zlepšiť ich efektívnosť a výkon. Postupy vedúce k znižovaniu hmotnosti možno sledovať v koncepcii návrhov pre budúce modely. Zníženie hmotnosti sa môže prejavovať v malých postupných zmenách, napríklad zníženie hmotnosti vozidiel časť po časť, alebo prostredníctvom zásadného prepracovania koncepcie celého vozidla.

V posledných rokoch sa začali viac používať vysokopevnostné ocele a hliník. Súčiastky motora a karosérie z mäkkších a nízko uhlíkových ocelí sa začali vyrábať z vysokopevnostných ocelí. Táto zmena umožnila vznik konštrukčných riešení ktoré sú pevnejšie a majú zároveň nižšiu hmotnosť. Vysokopevnostné oceľové zliatiny (HSS) sa používajú v takmer každom vozidle pri rôznych prvkoch pohonnej jednotky, volantov, čelných dielov, podvozkov, nosníkov a ukončovacích dielov karosérie. V tomto trende sú používané predovšetkým vyspelé vysokopevnostné oceľové zliatiny (AHSS). Niektoré automobilky vykazovali veľký nárast používania HSS u svojich modelov, napríklad u karosérie Hondy Civic bol nárast z 32% HSS na 50%, Mercedes triedy C sa posunul z 38% HSS na 74% pri svojej inovovanej karosérii a BMW X6 malo nárast o 32% AHSS. Hliník ktorý má nižšiu hustotu začal nahrádzať mäkké a nízkouhlíkové ocele. Väčšina hláv valcov a blokov motorov je vyrobených z hliníka. Hliník je vhodnou materiálovou náhradou veľkého počtu oceľových dielov vo vozidlách vrátane ventilových krytov, meničov krútiaceho momentu, krytov prevodoviek, kľukových skríň, ovládacích ramien, závesných spojov, rámov dverí, prístrojových dosiek a nosníkov. Spolu s týmito oblasťami sa skúmajú aj nové oblasti pre použitie hliníka, ktoré zahŕňajú všetky hliníkové časti karosérie, nárazníky, crash riadiace systémy a samonosné konštrukcie karosérií. Okrem zvyšujúceho sa využívania vysokopevnostnej ocele a hliníka sa tiež vyskytujú trendy smerom k výrazne vyššiemu použitiu horčíka. Horčík má najmenšiu hustotu medzi základnými automobilovými kovmi, približne o 30% nižšiu hustotu než hliník a o 75% nižšiu hustotu ako oceľ. V súčasnej dobe však horčík hmotnostne tvorí asi 4,5kg teda 0,2% nového vozidla. Diely z horčíka boli uvádzané na trh v celej rade rôznych vozidiel v priebehu niekoľkých rokov. Napríklad Volkswagen použil 20 kg horčíka vo svojich vozidlách v 70 rokoch minulého storočia a odkazuje na renesanciu horčíka pri jeho využití v prístrojových doskách takisto je súčasťou pohonného ústrojenstva a krytu prevodovej skrine. Hoci súčasné využitie horčíka vo vozidlách je nízke, niektoré odhady naznačujú, že by sa horčík mohol v blízkej budúcnosti stať pre automobily hlavnou materiálovú zložkou. Inžinieri z firmy Volkswagen naznačujú, že 60 kg horčíka na vozidlo je realistický odhad a 100 kg horčíka na vozidlo prichádza do úvahy pre časové obdobie 2010-2020. Ford predpokladá použitie asi 56kg horčíka na diely vozidla okolo roku 2020. Aj napriek zvýšeniu materiálových nákladov. Materiály ktoré sa pohybujú smerom k pevnejším a lepšie hmotnostne optimalizovaným kovom (HSS, hliník, horčík) a nekovom (napr. plasty, uhlíkové vlákna).

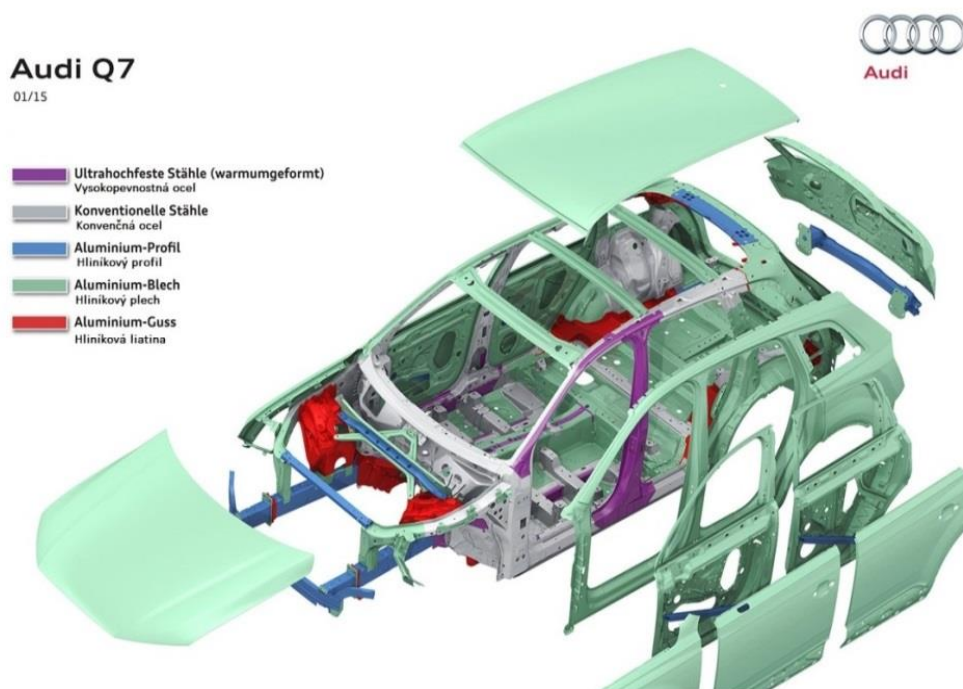
Úspory týkajúce sa hmotnosti motora súvisia s vyšším využitím vysokopevnostnej ocele, hliníka a horčíka u komponentov v celom motore aj v jeho prídavných prvkoch. Niektoré modely automobilky Ford dosiahli u blokov motora zníženie o približne 45kg pri prechode na hliník alebo zliatiny hliníka a horčíka. Rôzne iné pridružené súčasti motora môžu prejsť na materiály s menšou hustotou napr. ventily, ojnice, kľukové hriadele, rozdeľovacie potrubia a lôžka motorov, aby sa dosiahlo zníženie hmotnosti.

Prechod k hliníku v karosérii prebehol najmä u značiek Audi a Jaguar. Honda prvýkrát použila celohliníkovú karosériu pri modeli Acura NS-X v roku 1990. Audi odvtedy stále viac využíva pri svojich modeloch hliník. V roku 2000 Audi A2 bolo v Európe medzi prvými vozidlami vyrobenými s karosériou výhradne z hliníka, čo znamenalo 40% zníženie hmotnosti. Hlavné úspory v oblasti hmotnosti modelu vo výške 135kg u hliníkovej karosérie viedli k ďalším úsporám vo výške 75kg prostredníctvom



Obr.7. Acura NS-X celohliníková karoséria [17]

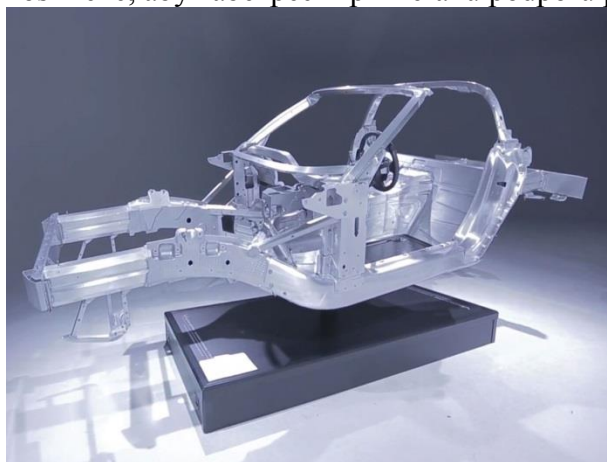
zniženia hmotnosti u hnacieho ústrojenstva, motora a podvozku. Model Audi A8 využíva 516kg hliníka, toto množstvo hliníka činí asi 25% z celkovej pohotovostnej hmotnosti súčasného modelu a je takmer trojnásobok priemerného množstva hliníka použitého na vozidlo vyrobené v USA. Audi naďalej rozširuje tieto koncepcie znižovania hmotnosti na základe používania hliníka aj na ďalšie modely vozidiel. Napríklad model TT z modelového radu pre rok 2008 používal hliník vo veľkej miere pre zníženie hmotnosti o 100kg, A6 z modelového radu pre rok 2011 používa v Audi vyvinutú druhú generáciu inovácií priestorového rámu pre 50% zníženie hmotnosti karosérie, a Audi využilo túto technológiu aj v modeloch A3 a Q7. Tiež najnovší model A5 využíva hliníkový rám pre zníženie hmotnosti o 108kg.



Obr.8. Audi Q7 priestorový rám z hliníku [16]

Honda sa stala významným priaznivcom vysokopevnostnej ocele pri výrobe karosérií vozidiel, to malo za následok vytvorenie vozového parku, ktorý je úspešný z hľadiska znižovania hmotnosti. Jaguár XJ je ukážkou využitia hliníkovej karosérie kde sú vo veľkej miere využité vysokopevnostnej ocele a kompozity, znížil sa počet spojov o 10%, použili sa plasty vystužené sklenými vláknami a redukovala sa tak hmotnosť vozidla o 315 kg. Porsche Cayenne znížil hmotnosť o 180kg pri motore V8 v porovnaní s modelovou radou z rokov 2010-2011. Menšia hmotnosť u tohto modelu spočíva v používaní vysokopevnostnej ocele v celom vozidle. Zvýšený obsah hliníka v podvozku, závesnom systéme, kapote, blatníkoch, dverách a piatych výklopných dverách.

Športové automobily môžu vykazovať nadštandardné množstvo technologických prvkov vedúcich k zníženiu hmotnosti vzhľadom k výslednému zlepšeniu výkonu. Ako tomu bolo u priekopníckeho modelu Honda NS-X tak aj u posledného modelu Chevrolet Corvette Z06 možno zistiť prvky smerujúce k hmotnostnému zníženiu. Napríklad sa tu nachádza veľmi pokročilý hliníkový priestorový rám, podlaha z bazového dreva vystužená tenkými uhlíkovými vláknami, strešný rám z horčíka, kryt prevodovky z hliníka, kľukové hriadele z vysokopevnostnej ocele, sacie ventily z titánu, titánové ojnice, stĺpik riadenia z horčíka, kryty kolies z uhlíkových vlákien. Využitie takýchto prvkov vedúcich k zníženiu hmotnosti pri takomto modeli orientovanom na vysoký výkon nemusí viesť k radikálnemu zníženiu hmotnosti. Jasný dôvod pre problematické znižovanie hmotnosti u týchto modelov je, že ich pohonné jednotky sú 2-3 krát väčšie ako by mali byť z hľadiska pomeru veľkosť vozidla / výkon. Motor Corvette má obsah 6,2 litra / 650 konských síl. Tato skutočnosť sa odzrkadľuje napríklad na jeho závesných systémoch ktoré musia byť zosilnené, aby zabezpečili primeranú podporu pre pohonnú jednotku.



Obr. 9. Hliníkový priestorový rám
Chevrolet Corvette Z06 [21]



Obr. 10. Podlaha z bazového dreva
Chevrolet Corvette Z06 [22]

Ďalší náznak toho, že automobilky sa môžu zamerať na zavádzanie inovácií na zníženie hmotnosti vozidiel a na väčšie využívanie vyspelých materiálov sa zakladá na priamych vyjadreniach automobilových inžinierov a dizajnérov ohľadom tohto trendu. Tabuľka 4 obsahuje priame citácie predstaviteľov priemyslu z rôznych mediálnych zdrojov a technických správ. Tieto výroky potvrdzujú, že silnejšie vyspelé materiály a hmotnostne optimalizované návrhy sú zásadnou súčasťou budúcich plánov automobiliek pre výrobu vozidiel. Tieto citácie sú od predstaviteľov General Motors, Ford, Nissan, Fiat a BMW a naznačujú význam technológií zameraných na znižovanie hmotnosti pre súčasné i budúce konštrukcie vozidiel.

Tabuľka 5. Výroky automobilových konštruktérov

Automobilka	Citácia konštruktéra
BMW	„Ľahká konštrukcia je základný aspekt pre udržateľne zlepšenie zahŕňajúce spotrebu paliva a emisie CO ₂ toto sú dva kľúčové prvky našej stratégie EfficientDynamics. Budeme môcť vyrábať z uhlíkových vlákien rozšírené komponenty vo veľkých objemoch za konkurenčnejšie cena po prvýkrát. To je obzvlášť dôležité pre elektromobily.“
Fiat	„Zníženie spotreby paliva dosahuje veľký význam, kvôli možnosti ekonomických úspor. Napríklad sú sledované viaceré možnosti v alternatívnych koncepciách motora (elektrické motory namiesto spaľovacích) alebo zníženie hmotnosti na konštrukcii vozidla za pomoci ľahkých materiálov a rôznych spojovacích techník, toto všetko pomáha pri dosahovaní tohto cieľa.“
Honda	„Túžba po redukcii váhy pre automobily rastie viac a viac. Nárast použitia hliníku bude určite potrebný. Spoločnosť Honda bude rada, ak niektorá z technológií využitia hliníku v karosérii vyvinutá spoločnosťou Honda, bude prospešná aj pre iné automobilky.“
Nissan	„Pracujeme na znižovaní hrúbky oceľového plechu tým , že zvyšujeme jeho pevnosť, rozširuje použitie hliníka a ďalších ľahkých materiálov a znižujeme hmotnosť vozidla prostredníctvom preklopenia konštrukcie vozidla.“
General Motors	„Používame veľa hliníka dnes okolo 135 kg na vozidlo a je pravdepodobné, že budeme používať viac ľahkých materiálov v budúcnosti.“

4. VOĽBA MATERIÁLU

Výslednú voľbu materiálu musí konštruktér voliť podľa viacerých faktorov ktoré mu pomáhajú pri rozhodovaní so širokej škály materiálov ktoré sú v dnešnej dobe k dispozícii pre automobilový priemysel. Konštruktér musí dbať pri výbere na ekonomické a technické vlastnosti materiálu no taktiež musí pozerieť aj na ekologickosť materiálu, je to kvôli rôznym nariadeniam na recyklovateľnosť ktoré musí materiál spĺňať.

Pri výbere materiálu je rozhodujúca aj cieľová skupina ľudí, pre ktorých je auto konštruované. Automobilky, ktoré sa zameriavajú na veľkosériovú výrobu aut pre strednú a nižšiu triedu kde zákazník dbá hlavne na cenu auta, budú vyberať z portfólia materiálov, ktoré sú cenovo dostupnejšie. Na opačnej strane sú automobilky, ktoré vyrábajú autá zamerané na výkon, luxus a pôžitok z jazdy. Tieto automobilky sa sústreďujú na pokrok a udávajú trendy ktoré sa neskôr dostávajú aj ku komerčným autám. Tieto automobilky udávajú v posledných rokoch nové trendy v rámci znižovania hmotnosti.

ZÁVER

V posledných rokoch sa začala venovať väčšia pozornosť hmotnosti osobných automobilov, čo je spôsobené hlavne normou emisií, ktorú vydáva Európska únia, no rovnako aj zákazníkmi, ktorí chcú čo najnižšiu spotrebu. Vznikol tak priestor pre vývoj nových materiálov, ktoré dôkazu znížiť hmotnosť auta a zároveň zlepšiť jeho vlastnosti.

Tato práca bola vypracovaná ako prehľad o nových materiáloch, ktoré sa používajú v automobilovom priemysle za cieľom zníženia hmotnosti. Sú tu uvedené materiály a ich uplatnenie pri znižovaní hmotnosti spolu so základnými mechanickými vlastnosťami. Ďalej sú v práci uvedené možnosti, aké materiály by sa mohli využívať pri výrobe v budúcnosti. Pri niektorých materiáloch je uvedené aj ekonomické zhodnotenie ktoré býva ich najväčším problémom prečo sa ešte nezaradili medzi tak často využívané materiály. Záver je venovaný trendom, technológiám a voľbe materiálu.

Tieto informácie môžu poslúžiť ako zdroj zaujímavých informácií pre konštruktérov alebo ľudí ktorí sa zaujímajú o automobilový priemysel.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- 1 Lutsey, Nicholas, Davis, Calif: *Review of Technical Literature and Trends Related to Automobile Mass-Reduction Technology*, Institute of Transportation Studies, University of California, 2010.
- 2 International Iron and Steel Institute. *Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines Version 5.0*. [Middletown, OH]: WorldAutoSteel, 2014. <<http://www.worldautosteel.org/projects/advanced-high-strength-steel-application-guidelines/>>
- 3 A. Herditzky, M. Kicková, M. Olexová: *Moderne koncipované ocele použité pri výrobe automobilovej karosérie*, In Transfer inovácií, , 2008, č.12, p. 106-109, ISSN 1337 – 7094.
- 4 Davies G.: *Materials for Automobile Bodies*. Printed and bound in Great Britain, Butterworth-Heinemann, 2003, ISBN 0-7506-5692-1.
- 5 Thomas, Alfred, and Michael Jund. *Collision Repair and Refinishing: A Foundation Course for Technicians*. 2014, ISBN 113-360-187-1
- 6 YAMAGATA H.: *The Science and Technology of materials in automotive engines*. CRC Press, Cambridge, England, 2003, ISBN-10:0-8493-2585-4.
- 7 COLE G. S., SHERMAN A. M.: *Lightweight Materials for Automotive Applications*. In Materials Characterization Vol.35, pp. 3-9, 1995. ISSN 1044-5803.
- 8 YAMADA Y.: *Materials for springs*. Springer Berlin Heidelberg New York, 2007, ISBN 978-3-540-73811-4.
- 9 Wessel J. K.: *Handbook of advanced materials – Enabling new design*. John Wiley & Sons, Inc., 2004, ISBN 0-471-45475-3.
- 10 Aluminum Association. *Aluminum The Corrosion Resistant Automotive Material*. [Washington, D.C.]: The Aluminum Association, 2001. <<http://bibvir.uqac.ca/bd/man.php?TD=ARC&IdNot=18237626&FORMAT=pdf>>
- 11 Leyens, C., and M. Peters. *Titanium and Titanium Alloys Fundamentals and Applications*. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. ISBN 978-352-730-534-6.
- 12 GREGER, Miroslav, et al. *Výkovky z hořčíkových slitin a jejich využití v automobilovém průmyslu*. Hutnické listy. 2008, 2, s. 53-60.
- 13 DÚBRAVČÍK, Michal, KENDER, Štefan: *Vplyv použitej technológie výroby na pevnosť uhlíkových kompozitov I*. Transfer inovácií č. 18, 2010. ISSN 1337-7094.
- 14 GIRMAN,V., HRABČÁKOVÁ,V.: *Kovové materiály automobilových konštrukcií – II Karoséria a karosárske plechy*. Materiálový inžinier. 2012, ISSN 1337 – 8953

FSI VUT	BAKALÁRSKA PRÁCA	List	25
---------	------------------	------	----

- 15 BMW i8 [.online] [.cit. 2015-04-19]. Dostupné z WWW:
<http://www.electricmotornews.com/news-ed-eventi/tecnica/arpro-e-le-innovative-porte-della-bmw-i8>

- 16 Fortitude.com [.online] [.cit. 2015-04-27]. Dostupné z WWW:
http://fortitude.com/galleries/?c=show_image;p=Events%20and%20Shows%2FIndustry%20Shows%2FNorth%20American%20International%20Auto%20Shows%2F2015%2FAudi%20Q7;i=68;img=Audi-Q7-technology-cutaways-311.jpg

- 17 Honda [.online] [.cit. 2015-05-03]. Dostupné z WWW:
<http://www.honda.com.au/cars/models/nsx.html>

- 18 BMW engine [.online] [.cit. 2015-04-19]. Dostupné z WWW:
[Forumshttp://forums.vwvortex.com/showthread.php?3227402-More-Engine-Awards-for-BMW/page2](http://forums.vwvortex.com/showthread.php?3227402-More-Engine-Awards-for-BMW/page2)

- 19 Wilson-benesch.com [.online] [.cit. 2015-04-14]. Dostupné z WWW:
<http://wilson-benesch.com/wp-content/uploads/2014/02/McLaren-MP4-1-Carbon-Fibre-Tub-Using-same-RTM-Technology-Wilson-Benesch.jpg>

- 20 Titan [.online] [.cit. 2015-05-18]. Dostupné z WWW:
http://www.bimmerboost.com/images/imported/2013/05/258402_546427072062091_1103122951_o-1.jpg

- 21 Motortrend.com [.online] [.cit. 2015-04-07]. Dostupné z WWW:
<http://wot.motortrend.com/explore-the-2014-chevrolet-corvettes-design-on-this-weeks-downshift-315865.html/2014-chevrolet-corvette-stingray-aluminum-frame>

- 22 Modelcarsmag.com [.online] [.cit. 2015-04-09]. Dostupné z WWW:
<http://www.modelcarsmag.com/forums/?showtopic=6542>

- 23 Plasteurope.com [.online] [.cit. 2015-05-16]. Dostupné z WWW:
http://www.plasteurope.com/news/PLASTICS_IN_THE_AUTOMOTIVE_INDUSTRY_t211984