



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MODERNÍ MATERIÁLY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

MODERN MATERIALS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Vaníček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Jan Vaníček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

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:

Moderní materiály v automobilovém průmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nároky na konstrukci automobilů se rok od roku zvyšují, současnými trendy ve vývoji vozidel jsou například:

Snižování hmotnosti při zachování bezpečnosti posádky a ostatních účastníků dopravy.

Snižování ekologické zátěže způsobené výrobou a likvidací automobilu.

Plnění stále přísnějších emisních limitů, elektro–mobilita a mnoho dalších.

Avšak standardní materiály nemusí svými vlastnosti již vyhovovat náročnějším požadavkům, proto se hledají materiály nové, které tyto náročnější potřeby uspokojují.

Cíle bakalářské práce:

Souhrn konvenčních materiálů a jejich využití při konstrukci automobilu.

Přehled nových materiálů v automobilovém průmyslu.

Odhad možných budoucích trendů v oblasti materiálů pro automobily.

Seznam doporučené literatury:

DAVIES, Geoffrey. Materials for Automobile Bodies. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0-7506-5692-1.

HOVORUN, Tetiana, et al. Modern Materials for Automotive Industry, Journal of Engineering Sciences, Volume 4, Issue 2. Sumy: Sumy State University, 2017.

HENRIKSSON, Fredrik. Introducing New Materials in the Automotive Industry - Managing the Complexity of Introducing New Materials in Existing Production Systems. Linköping: Linköping University, 2017. ISBN 978-91-7685-397-9.

SHASHANK, Modi. Material Qualification in the Automotive Industry. Ann Arbor: Center for Automotive Research, 2016.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na popis konvenčních a nekonvenčních materiálů, které jsou využívány ke stavbě automobilu. Jednotlivé druhy materiálů jsou řazeny dle šíře uplatnění a charakterizovány z hlediska vlastností a reálného využití. Konec každé kapitoly je věnován možným budoucím trendům.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automobil, karoserie, motor, baterie, podvozek, ocel, litina, hliník, kompozit, hořčík.

ABSTRACT

This work is focused on the description of conventional and unconventional materials that are used to build a car. Individual types of materials are sorted according to their application and characterized in terms of properties and real use. The end of each chapter is devoted to possible future trends.

KEYWORDS

Car, body, engine, battery, chassis, steel, cast iron, aluminum, composite, magnesium.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VANÍČEK, Jan. *Moderní materiály v automobilovém průmyslu* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116858>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Petr Hejtmánek.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Hejtmánka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2019

.....

Jan Vaniček

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Petru Hejtmánkovi, Ph.D. za všechny jeho rady v průběhu tvorby této práce.

Velké děkuji patří také mým rodičům, kteří mě po celou dobu studia podporovali a dělali vše pro to, abych školu úspěšně dokončil.

OBSAH

Úvod.....	9
1 Materiály karoserií.....	11
1.1 Ocel.....	12
1.2 Hliník.....	15
1.3 Plasty.....	16
1.4 Kompozity.....	18
1.5 Sklo.....	20
1.6 Budoucnost karoserií.....	22
2 Materiály pohonných jednotek.....	25
2.1 Litina.....	25
2.2 Hliník.....	27
2.3 Ocel.....	28
2.4 Ostatní materiály.....	29
2.5 Materiály katalyzátorů.....	30
2.6 Budoucnost spalovacích motorů.....	31
2.7 Materiály akumulátorů elektromobilů.....	32
3 Materiály podvozkových komponent.....	35
3.1 Ocel.....	35
3.2 Hliník.....	36
3.3 Litina.....	37
3.4 Hořčík.....	37
3.5 Kompozity.....	38
3.6 Titan.....	39
3.7 Materiály plášťů.....	39
3.8 Materiály brzdových destiček.....	40
3.9 Budoucnost podvozkových komponent.....	41
Závěr.....	43
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	53

ÚVOD

První pokusy o zkonstruování automobilu pocházejí už z konce 18. století. Tyto stroje poháněl parní motor, takže byly velmi náročné na provoz a určené jen pro ty nejbohatší. Koncem 19. století byl vynalezen spalovací motor a roku 1886 získal Karl Benz patent na čtyřtaktní tříkolku, která se považuje za první automobil v historii. Od té doby uplynula spousta času a dnešní vozy vypadají vedle svého prapředka jako kosmické lodě. Benzova tříkolka totiž nemá nejen střechu, ale ani karoserii či volant. Její ovládání je zajištěno pomocí ručních pák. Cíl ale měla stejný jako dnešní vozy – dát člověku svobodu v cestování. Tehdejší svoboda v cestování byla bohužel hodně limitována nejen nízkou konstrukční rychlostí vozu, ale také zákonem, který přikazoval, aby před každým vozem šel člověk mávajícím červeným praporem. Ten byl naštěstí nedlouho poté zrušen. Brzy po premiéře této tříkolky se zrodila spousta dalších výrobců těchto revolučních strojů. Kromě Mercedes-Benzu (1886) si lidé v devatenáctém století mohli užít jízdu v Peugeotu (1896), Renaultu (1898) či Fiatu (1899). Letopočty v závorkách znamenají, kdy daná značka vyrobila svůj první vůz. [1], [2]

Obr. 1 – První automobil v historii [3]



Automobil byl na počátku 20. století nedostupným snem pro většinu lidí. Tento fakt se podařilo změnit muži jménem Henry Ford, který roku 1908 poslal do výroby Ford model T. Toto auto se stalo dostupným širokému spektru lidí a motorizovalo USA. Masová výroba byla umožněna použitím montážních linek namísto individuální ruční výroby. Z města Detroit se tak rázem stalo centrum automobilového průmyslu. Bylo vyrobeno 16,5 milionu kusů modelu T a tuto cifru překonal až Volkswagenu Beetle o téměř padesát let později. Jak šla doba dopředu, tak i do levnějších aut se postupně dostávaly vymoženosti jako brzdy na všech čtyřech kolech, stěrače či nízkotlaké pryžové pneumatiky. Dále proběhla výrazná inovace karoserií, kdy první celokovovou karoserii představil Citroen a první samonosnou karoserii Lancia. [1], [2]

Během 2. světové války řada automobilek pomáhala vyzbrojovat armády a produkce běžných vozidel musela být odstavena na vedlejší kolej. Po válce automobilky trpěly nedostatkem surovin a jejich nabídku většinou tvořila předválečná vozidla s vylepšeným vzhledem. Až v padesátých letech se začalo blýskat na lepší časy a vznikla spousta vozů s inovativní technikou. Například firma Jaguar představila první vůz s kotoučovými brzdami a Citroen DS přinesl revoluční hydropneumatické odpružení. V padesátých letech se také začaly rozevírat nůžky mezi motorismem v USA a Evropě. Zatímco ve válkou nedotčené USA se staly populárními velké vozy s objemnými motory, tak v Evropě tomu bylo přesně naopak. Silnice brázdila malá a úsporná vozítka jako Fiat Nuova 500 či Volkswagen Beetle. [1], [2]

Následující dekádu charakterizuje přechod z koncepce „vše vzadu“ na koncepci „vše vpředu“. Tento trend byl nastolen už v padesátých letech a významně se podílel na zlepšení ovladatelnosti aut. Dále byl inovován vzhled. Designéři se snažili navrhovat nižší a širší karoserie s větší prosklenou plochou a menším užitím pochromovaných ozdob. Mnoho lidí považuje právě vozy z šedesátých let za ty nejkrásnější a při pohledu na takový Jaguar E-Type se tomu nelze divit. Konec dekády zaznamenal příchod japonských výrobců, kteří se snažili nalákat zákazníky na skvělý poměr mezi kvalitou a cenou. Situaci jim usnadnila ropná krize, která vypukla začátkem sedmdesátých let. Američané totiž přestali mít zájem o neúspěšná auta velké trojky z Detroitu a začali více kupovat úspornější evropské či japonské vozy. Kromě spotřeby se automobiloví konstruktéři čím dál více zabývali také otázkou bezpečnosti. Vůz Oldsmobile Tornado poskytl jako první ochranu řidiče airbagem a dále byl vyvinut systém ABS, který při intenzivním brždění brání zablokování kol. [1], [2]

Při zmínce o osmdesátých letech nelze opomenout motorsport. Ve Formuli 1 úřadovaly turbomotory a zásluhou velice charismatických pilotů se ze závodů stala opravdová show, která lákala lidi z celého světa. Mezi nejlepší stáje startovního pole tehdy pravidelně patřily týmy Williams a McLaren, kterým mnohdy úspěšně konkurovalo také Ferrari či Lotus. Ve světě Rally zase vznikla divácky atraktivní Skupina B, kde jezdily stroje schopné zrychlit z klidu na 100 km/h pod 3 sekundy. Největšími úspěchy se chlubila značka Lancia s jejími ikonickými vozy 037 a Delta S4. Skupina B ale byla kvůli řadě vážných nehod roku 1986 ukončena. Osmdesátá léta se dále nesla ve znamení zlepšování životnosti automobilů, neboť výrobci začali své vozy chránit vůči korozi. V průběhu devadesátých let se bezpečnostní prvky jako ABS či posilovač řízení začaly dostávat i do levnějších aut a také vznikla organizace EURO-NCAP, která hodnotila ochranu posádky při nárazu. V polovině tohoto desetiletí přišla automobilka Mercedes-Benz se systémem ESP, který v krizové situaci pomáhá stabilizovat automobil přibrzděním některého z kol. Tento systém je důležitým bezpečnostním prvkem hlavně u vozů s vyšší stavbou karoserie. [1]

Koncem devadesátých let vzniklo první hybridní auto, Toyota Prius, které bylo odpovědí na čím dál přísnější emisní limity. Prius je poháněn kombinací elektřiny a spalovacího motoru, čímž dosahuje velmi nízké spotřeby paliva. Postupem času docházelo k zavádění dalších vylepšení, které měly za cíl snižovat spotřebu a emise. Mezi tyto prvky patří například filtr pevných částic, systém start-stop či doplněk paliva AdBlue. Kromě této problematiky výrobce moderních vozů trápí také čím dál přísnější nárazové testy, které konstruktéry nutí využívat pevnějších materiálů. K dobrému ohodnocení bezpečnosti již nestačí pouze skvělá ochrana posádky při nárazu, neboť se hodnotí také asistenční systémy či ochrana chodců.

Z historického vývoje vyplývá, že moderní automobil je oproti svým předkům velice složitá věc, která musí plnit bezpečnostní, emisní a jiné předpisy a to vše poskytnout za podobnou cenu jako dříve. Takového pokroku by nešlo dosáhnout bez výrazných inovací v použitých materiálech a výrobních technologiích. V této bakalářské práci se věnuji materiálům, které nachází uplatnění při výrobě různých komponent osobního vozu. Práci člením do tří rozsáhlých kapitol – materiály karosérií, materiály pohonných jednotek a materiály podvozkových komponent. V každé kapitole řadím materiály dle šíře uplatnění a rozebírám jejich strukturu, vlastnosti a reálné využití. Konec každé kapitoly věnuji budoucnosti. Zmíním se tak například o podvozkových komponentách z kompozitů, bezvzduchových pneumatikách či karosériích z hořčíku.

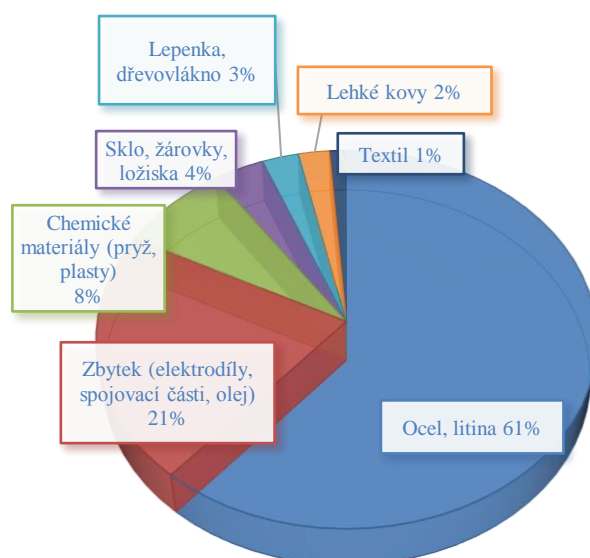
1 MATERIÁLY KAROSERÍ

Mnoho lidí si myslí, že karoserie je ryze uměleckým problémem, který má za cíl vytvořit líbivý automobil. Ale není tomu tak. Karoserie totiž přejímá funkci nosného rámu podvozku a tvoří dostatečně tuhý a pevný celek, ve kterém jsou upevněny veškeré komponenty včetně motoru, převodovky či podvozku. Nejrozšířenější koncepcí karoserie je takzvaný samonosný skelet vzniklý svařováním plechů o různých materiálech, na který jsou přidělovány povrchové díly. Z předchozích řádků je patrné, že karoserie tvoří velmi důležitou část automobilu, která musí plnit řadu požadavků. Mezi tyto požadavky patří například:

- krásný design
- výborná ochrana cestujících při nárazu,
- ochrana cestujících a zavazadel před povětrnostními vlivy
- omezení vnitřního a vnějšího hluku
- nízký aerodynamický odpor
- výborná pevnost a tuhost
- nízká hmotnost
- odolnost vůči opotřebení a korozi
- dobré zorné pole řidiče, minimalizace mrtvých úhlů
- snadná opravitelnost po havárii
- dobré těsnění proti působení vody a prachu
- snadná recyklovatelnost

Karoserie se ve většině těchto ohledů neustále zdokonalují a toho by nebylo možné dosáhnout bez využití inovativních materiálů a nových výrobních postupů. Rozmanitost materiálů, které se využívají při stavbě karoserie, nemá u jiných hromadně vyráběných strojírenských výrobků obdoby. V současné době patří k nejdůležitějším surovinám ocel, kterou se ale výrobci snaží nahradit lehčími materiály z důvodu snížení hmotnosti. Hmotnost karoserie má totiž vliv nejen na spotřebu paliva a emise, ale i na řadu jiných věcí včetně lepších jízdních vlastností či životnosti podvozkových komponent. Následující stránky charakterizují jednotlivé typy materiálů užívané ke konstrukci karoserií. [4], [20]

Obr. 2 – Materiálové složení konvenční karoserie [4]



1.1 OCEL

Nejrozšířenějším materiálem pro výrobu karoserií je ocel, neboť nabízí:

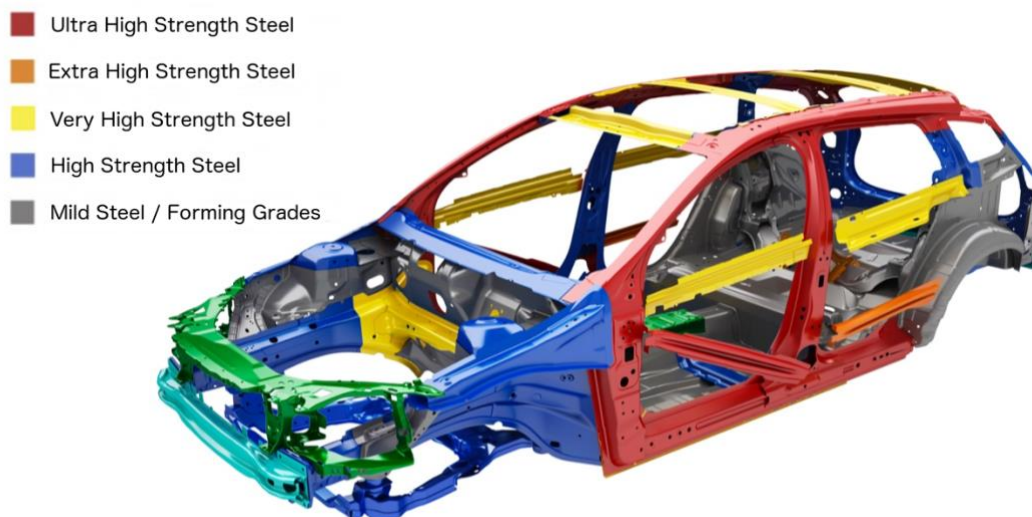
- vysokou pevnost, snadnou tvárnost (tažnost)
- lehkou svařitelnost a spojování pájením
- dostatečnou životnost při použití antikorozi ochrany
- nízkou cenu materiálu oproti hliníku či hořčíku

Ocelové plechy jsou dodávány v tabulích, pásech a svitcích. Dnešním standardem je používání pozinkovaných plechů, které chrání karoserii proti korozi. Ocel má mnohem vyšší hustotu než hliník či hořčík a z toho vyplívající vyšší hmotnost. Problém s vysokou hmotností karoserie se podařilo částečně eliminovat metodou ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body), která spočívá na principu sendvičové konstrukce. Jedná se o použití dvou tenkých ocelových plechů, mezi kterými je uzavřen polypropylen (PP) o větší tloušťce. Tento typ plastu se využívá zásluhou jeho skvělé ohybatelnosti, dobré svařitelnosti a nenáchylnosti k vnitřnímu pnutí. Dva tenké ocelové plechy mají tloušťku kolem 0,14 mm a polypropylenové jádro kolem 0,65 mm. Ocelový plech přenáší hlavní namáhání a střední plastová výplň zvyšuje tuhost dílu při jakémkoliv způsobu namáhání. Výroba karoserií touto metodou zajišťuje o 25% nižší hmotnost, o 80% vyšší odolnost vůči namáhání v krutu a o 52% vyšší ohybovou odolnost. [4], [7]

K nižší hmotnosti ocelové karoserie přispívá také metoda tailored blanks. Velkorozměrový svařenec je sestaven z mnoha druhů ocelí o rozdílné pevnosti, tloušťce a povrchové úpravě. Tato metoda umožňuje využít speciálních vlastností materiálů a tloušťek plechů vždy tam, kde je jich zapotřebí ke snížení hmotnosti a zvýšení tuhosti daného dílu. Používá se například na boční vnější stěně automobilu, která je zhotovena z pěti druhů plechu. Mezi nevýhody této metody patří snížené plastické schopnosti a ovlivněná oblast svaru. Svařování probíhá laserovou technologií. [4]

Další možností, jak ušetřit cenné kilogramy a zároveň zlepšit bezpečnost vozů, je využívání vysokopevnostních a hlubokotažných plechů. Využití těchto materiálů je znázorněno na obrázku struktury karoserie vozu Volvo V60. Červená barva zvýrazňuje aplikaci velmi pevných martenzitických ocelí. Žlutá a oranžová barva zachycuje využití dvoufázových, vícefázových a TRIP ocelí. Modrou barvou jsou vyvedeny plechy z IF ocelí a šedá barva znázorňuje hlubokotažné plechy. [36], [37]

Obr. 3 – Využití ocelí u vozu Volvo V60 [36]



1.1.1 DRUHY HLUBOKOTAŽNÝCH A VYSOKOPEVNOSTNÍCH PLECHŮ

HLUBOKOTAŽNÉ PLECHY Z OCELÍ UKLIDNĚNÝCH HLINÍKEM

Hlubokotažné plechy z ocelí uklidněných hliníkem se využívají pro lisování tvarově složitých výlisků. Podle kvality se rozdělují do následujících skupin:

- CQ – plechy běžné kvality (Comercial Quality)
- DQ – tažné plechy (Drawing Quality)
- DDQ – hlubokotažné plechy (Deep Drawing Quality)
- EDDQ – zvlášť hlubokotažné plechy (Extra Deep Drawing Quality)
- EDDQ-S – super hlubokotažné plechy (Extra Deep Drawing Quality - Super) [8]

Tab. 1 – Mechanické vlastnosti hlubokotažných plechů různé kvality [8]

Skupina	R _{p0,2} [MPa]	A ₈₀ [%]	R _m / R _{p0,2} [-]	KUT [-]
CQ	240 – 260	26 – 30	1,2 – 1,3	30 – 40
DQ	220 – 240	30 – 36	1,3 – 1,4	40 – 50
DDQ	200 – 220	36 – 38	1,4 – 1,5	50 – 57
EDDQ	180 – 200	38 – 40	1,5 – 1,67	57 – 67
EDDQ-S	< 180	> 40	> 1,67	> 67

PLECHY Z IF OCELÍ BEZ INTERSTICIÍ (INTERSTITIALS FREE STEELS)

Tyto plechy mají feritickou matici a vyznačují se velmi malým množstvím intersticiálního uhlíku a dusíku. Jsou mikrolegovány titanem či niobem. Vznikají tak karbidy TiCN a NbCN, které zajišťují dobrou pevnost a tváritelnost. Plechy z IF ocelí nachází uplatnění na tvarově složitě díly jako například blatníky či kryty dveří. Mez pevnosti těchto ocelí se pohybuje mezi 340 – 460 MPa, mez kluzu je 180 – 340 MPa. [8], [35]

PLECHY Z IF OCELÍ S BH EFEKTEM (BAKE HARDENING)

Pomocí BH efektu se zvyšuje smluvní mez kluzu. Tato úprava probíhá 20 minut za teploty 170 °C. Vyšší obsah uhlíku v oceli snižuje množství titanu či niobu, díky čemuž stačí nižší vypalovací teplota k dosažení BH efektu. Při nižším obsahu uhlíku je nutné vypalovací teplotu zvýšit. Takto upravené oceli nabízí o 30 – 80 MPa vyšší mez kluzu v porovnání s neupravenými a jsou vhodné pro kapoty, dveře či víka zavazadlového prostoru. [8], [35]

PLECHY Z REFORIZOVANÉ IF OCELI

Reforizované oceli obsahují vyšší procento fosforu, který zvyšuje mez kluzu a mez pevnosti. Takováto ocel vyniká dobrou tvrdostí, ale zároveň je křehčí. Využití nachází na kapotě či střeše. Mez pevnosti se pohybuje mezi 360 – 540 MPa a mez kluzu mezi 180 – 420 MPa. [8], [35]

PLECHY Z MIKROLEGOVANÉ IF OCELI

Mikrolegované oceli obsahují řadu legujících prvků zlepšujících jejich mechanické vlastnosti. Mezi tyto prvky patří křemík, mangan, titan či vanad, které jsou v oceli přítomny jen v menším množství. Tento druh IF ocelí charakterizuje dobrá svařitelnost, tváritelnost a pevnostní vlastnosti. Mají velmi různorodou strukturu. Mez pevnosti je 350 – 590 MPa a mez kluzu 240 – 520 MPa. [8], [35]

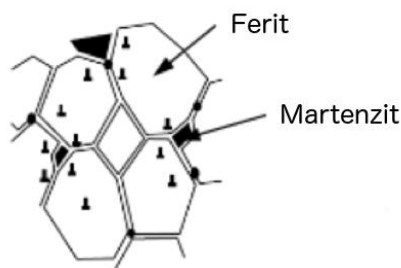
PLECHY Z DP OCELÍ (DUAL PHASE STEELS – DVOUFÁZOVÉ OCELI)

Jedná se o plechy z nízkouhlíkové oceli, které obsahují ze 70 – 90% feritickou matici, dále z 10 – 30% oblast martenzitu a nakonec zbytkový austenit. Oblast martenzitu zajišťuje vysokou pevnost a zbytkový austenit dobrou tvářitelnost. Mezi další dobré vlastnosti těchto plechů patří odolnost vůči únavě a snadná svařitelnost. Mez pevnosti dosahuje 450 – 1200 MPa a mez kluzu 280 – 780 MPa. Využití nachází na náraznících či spojovacích materiálech. [8], [35]

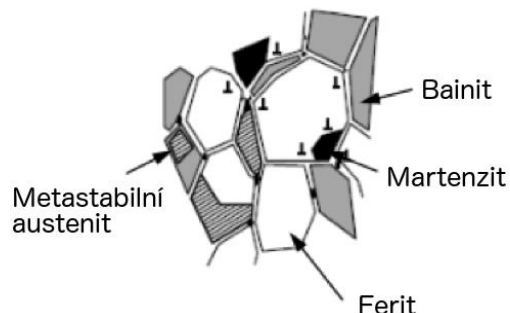
PLECHY Z OCELÍ S TRANSFORMAČNĚ INDUKOVANOU PLASTICITOU (TRANSFORMATION INDUCED PLASTICITY – TRIP OCELI)

Tyto materiály z nízkouhlíkové oceli mají feriticko-bainitickou matici a 6 – 10% zbytkového austenitu. Charakterizuje je dobrá tvářitelnost, výborné únavové vlastnosti a schopnost absorpce velkého množství energie. Při deformaci se austenit transformuje na martenzit a ocel tak nabývá vysoké meze pevnosti 590 – 900 MPa a tažnosti 20 – 80%. Mez kluzu je 380 – 550 MPa. Využití nachází na B sloupcích a nosnících karoserie. [8], [35]

Obr. 4 – Struktura DP ocelí [8]



Obr. 5 – Struktura TRIP ocelí [8]



PLECHY Z TWIP OCELÍ (TWINNING INDUCED PLASTICITY)

Tyto plechy mají austenitickou matici s obsahem 15 – 20% manganu a jiných legur (Al, Si). Dosahují extrémně vysoké tažnosti 80 – 100% a velmi vysoké meze pevnosti pohybující se mezi 580 – 1470 MPa. Mez kluzu dosahuje hodnot 280 – 1350 MPa. V průběhu plastické deformace plechu austenit zůstává zachován a pouze dojde ke změně jeho krystalografické orientace. Mechanismem plastické deformace je dvojčatění. Plechy z TWIP ocelí nachází uplatnění na B sloupky a různé výztuhy. [8], [35]

PLECHY Z CP OCELÍ (COMPLEX PHASE STEELS – VÍCEFÁZOVÉ OCELI)

Jedná se o nízkouhlíkové oceli, jejichž struktura se skládá ze základní feritické matrice, bainitu a martenzitu. Charakterizuje je vysoká pevnost, rozměrová stálost, vysoké deformační zpevnění a výborná absorpce energie. Proto se využívají na výztuhy a deformační zóny karoserie. Mez pevnosti se pohybuje mezi 600 – 1200 MPa a mez kluzu 360 – 950 MPa. [8], [35]

PLECHY Z MS OCELÍ (MARTENSITIC STEELS – MARTENZITICKÉ OCELI)

Mají minimálně ze 30% martenzitickou strukturu, která zajišťuje vysokou tvrdost a pevnost. Mez pevnosti nabývá hodnot 800 – 1650 MPa a mez kluzu 720 – 1200 MPa. Zásluhou velmi malého množství feritu mají tyto oceli nízkou tažnost. Využití na výztuhy tvaru U. [8], [35]

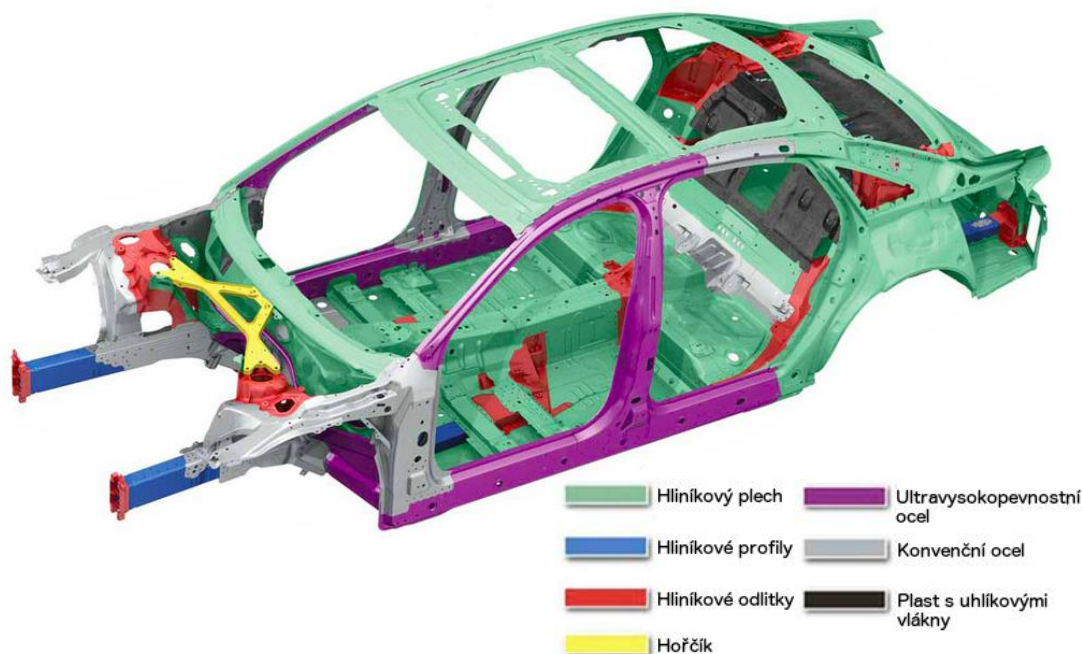
1.2 HLINÍK

Hliník je nejpoužívanějším lehkým kovem při konstrukci karoserie automobilů. Oproti ocelím vyniká hlavně v nízké hmotnosti. Projekt SLC (Super Light Car) před pár lety prokázal možnost úspory hmotnosti až 37% a u povrchových dílů dokonce 50%. Mezi důvody, proč hliník nachází uplatnění pouze u drahých vozů, patří jeho vysoká cena, náročnost na výrobu a dražší recyklace. Hliník má v porovnání s ocelí snazší deformovatelnost a zároveň nižší pevnost. Tyto nedostatky lze eliminovat použitím silnějších plechů. Karoserie pak lépe absorbuje nárazovou energii. Běžně se využívají plechy s mezí kluzu 250 MPa a ve fázi vývoje jsou nové druhy s mezí kluzu přes 400 MPa. Je nutné volit kompromis mezi pevností a technologickou zpracovatelností. Lepší zpracovatelnosti lze dosáhnout například tvářením za vysokých teplot. Odolnost proti korozi je u tohoto lehkého kovu velmi dobrá, zvýšené riziko hrozí akorát ve spojích mezi hliníkovým dílem a dílem z oceli. Tento jev se dá snížit využitím eloxovaných plechů. Dále vznikají problémy při svařování a pájení, které lze eliminovat ochranou proti oxidaci. [4], [5]

V automobilovém průmyslu se nejběžněji využívají hliníkové slitiny s označením 5xxx a 6xxx. Slitiny 5xxx mají jako hlavní přísadový prvek hořčík. Vyznačují se dobrou pevností, skvělou svařitelností, korozní odolností a odolností vůči vibračnímu namáhání. Nejčastěji nachází uplatnění na nádržích, krytech motoru či různých víkách. Slitiny 6xxx obsahují jako hlavní legující prvky hořčík a křemík. Dále se legují přísadami manganu či chromu z důvodu lepší pevnosti a houževnatosti materiálu. Dochází také ke zjemnění zrn. Tyto slitiny mají vyšší pevnost než slitiny 5xxx a ke konstrukci karoserie se využívají hojněji. [12], [31]

Největší zkušenosti s výrobou hliníkových karoserií má firma Audi, která pracuje na vývoji této technologie už od osmdesátých let. Automobilka využívá konceptu ASF (Audi Space Frame), což je nosný prostorový rám vyrobený ze slitin hliníku, na který jsou postupně umísťovány vnější panely. Tento koncept byl v průběhu tří generací modelu A8 neustále zdokonalován z hlediska tuhosti i hlučnosti. Současný model A8 už slitin hliníku nevyužívá v takovém množství jako jeho předchůdci. Hliník má podíl na nosné struktuře vozu 58%, různé druhy oceli 40%. Je to dáno hlavně tím, že v poslední době prošla značným vývojem technologie zpracování oceli. [9], [11]

Obr. 6 – Nosná struktura Audi A8 [9]



S výrobou hliníkových karoserií má velké zkušenosti také firma Lotus, která si vždy zakládala na nízké hmotnosti svých vozů. Její model Elise, vyráběný od roku 1996, se chlubí titulem prvního sériově vyráběného vozidla, které využívalo hliníkové lepené konstrukce. Strukturu vozu Elise tvoří prostorový rám, který je slepený z hliníkových tažených profilů. Z oceli jsou vyrobené jen nosné konstrukce motoru, ochranný rám a držáky závěsů. Prostorový rám váží pouhých 65 kg a poskytuje vysokou tuhost ve zkrutu a také dostatečnou bezpečnost při nárazu. Stejně technologie využívají také jiné modely od této firmy, například Exige či Evora. Lotus Evora má z hliníku kromě prostorového rámu také karosářské panely. [38], [39]

Obr. 7 – Hliníkový prostorový rám modelu Evora [38]



1.3 PLASTY

Plasty svými mechanickými vlastnostmi nevyhovují požadavkům na materiály skeletu karoserie, neboť by posádce nezajišťovaly dostatečnou bezpečnost při nárazu. Jejich vlastnosti naopak vyhovují ke konstrukci kapot, nárazníků či interiérových dílů. Mezi přednosti plastů patří nízká hmotnost, vysoká pevnost, tuhost, tlumení hluku, odolnost proti korozi, tepelná izolace a také lehká smontovatelnost. Mezi nevýhody lze zařadit nákladnou výrobu a obtížnou opravitelnost. Z hlediska ochrany životního prostředí je důležitá důkladná recyklace tohoto materiálu. V automobilovém průmyslu se využívá tří skupin plastů, a to termoplastů, termosetů a elasticky modifikovaných plastů. [4]

1.3.1 TERMOPLASTY

Jedná se o plasty se schopností opakovaně ohřevem měknout a ochlazením tuhnout v teplotním intervalu charakteristickém pro daný typ. Existují následující druhy termoplastů:

ABS (akrylnitril-butadien styrol) – využívá se na palubní a přístrojové desky, mřížky, vnitřní vybavení a pouzdra zrcátek. Je odolný vůči chemickým vlivům, mechanickému poškození a výkyvům teplot. Charakterizuje jej vysoká houževnatost.

PVC (polyvinylchlorid) – existuje v měkčené a neměkčené variantě. Nachází uplatnění na přístrojové desce, vnitřním vybavení a těsnění. PVC vyniká chemickou odolností a dobrými mechanickými a elektroizolačními vlastnostmi.

PE (polyethylen) – využívá se na elektrické komponenty, palivové nádrže či podběhy kol. Dále jako tepelná izolace. PE charakterizuje dobrá chemická odolnost a nízká nasákavost.

PP (polypropylen) – nachází uplatnění na palubní desce, náraznicích, přední masce či blatnicích kol. Má nižší hustotu než PE, vyšší teplotu tání a lepší mechanické vlastnosti. Jeho nevýhoda spočívá v křehkosti za nízkých teplot a horší odolnosti vůči atmosférickému stárnutí.

PMMA (polymethylmetakrylát) – v praxi se využívá jako organické sklo. Vyniká naprostou číroostí a odolností vůči povětrnostním vlivům. Prostupnost světelného záření má větší než 90%.

PA (polyamid) – nachází využití na kostře palubní desky, systému chlazení, elektrických komponentách, kapotě či řadicí páce. Polyamid vyniká houževnatostí, pevností, tvrdostí či odolností proti opotřebení

PS (polystyrén) – existují dva druhy polystyrénu, rázuvzdorný a pěnový. Rázuvzdorný se uplatňuje u krytů svítlen a pěnový nachází využití na izolační výplně panelových stropů. Standardní polystyren je tvrdý, křehký a chemicky odolný plast. Pro technické použití se vylepšuje přísádkou kaučuku.

PUR (polyuretan) – jedná se o homogenní termoplastický elastomer, který je vysoce houževnatý. Nachází využití na přesných lisostřikových výliscích. Tuhá PUR pěna se využívá pro výplně sendvičových panelů a dutin karoserie. Izoluje od hluku, chrání proti vlhkosti a také zvyšuje absorpci nárazové energie. Polotuhá PUR pěna se využívá na bezpečnostní obklady v interiéru vozidel a bezpečnostní nárazníky. Charakterizuje ji dokonalá absorpce energie při nárazu. Dále existuje integrální pěna (IPUR), která se využívá na věnce volantu či opěrky sedadel. Posledním typem je měkká PUR pěna, která má uplatnění na celopěnové konstrukci sedadel.

PC (polykarbonát) – uplatnění nachází u světel, nárazníků, zpětných zrcátek či sedadel. Má velkou rázovou houževnatost, pevnost v tahu, odolnost vůči povětrnostním vlivům a rozměrovou stálost. Dále se chlubí velkou propustností světla.

PBT (polybutylentereftalát) – charakterizuje jej vysoká pevnost, tuhost, teplotní odolnost a rozměrová stabilita. Využití nachází na světlometech, mřížkách či prvcích pod kapotou.

SAN (styrol-akronitril kopolymer) – využití na kryty s dobrou odolností při nízkých teplotách.

AC (acetátcelulosa) – použití na věnce volantu. [4], [6]

1.3.2 TERMOSETY

Jedná se o teplem tvrditelné materiály, které při opakovaném ohřevu neměknou. Při přehřátí degradují, až zuhelnatí. Do této kategorie patří nenasyčené polyesterované pryskyřice PESL a SMC (Sheet Molding Compound), ze kterých se vyrábí velkoplošné tenkostěnné díly. PESL má největší pevnost v tahu (120 MPa) a modul pružnosti (11 000 MPa) ze všech plastů. Dále tato kategorie zahrnuje epoxidové a formaldehydové pryskyřice. Epoxidové pryskyřice nachází uplatnění jako lepicí materiál a formaldehydové pryskyřice se využívají na výlisky vytvrzované za tepla. [4]

Při výrobě plastových kapot či dveří se uplatňuje sendvičová konstrukce. Ta je založena na kombinaci tří vrstev materiálu – SMC/PA/SMC. Vnější vrstvy zhotovené ze SMC mají tloušťku 1,5 mm a vnitřní vrstvu tvoří 5,5 mm tlustá polyamidová desková vložka. [4]

1.3.3 ELASTICKY MODIFIKOVANÉ PLASTY

Mezi elasticky modifikované plasty patří PP-EPDM kaučuk, který vzniká mechanickým míšením zhomogenizované směsi polypropylenu a EPDM kaučuku (ethylen-propylen-diénterpolymer). Takto zhotovený materiál má zpracovatelské vlastnosti polypropylenu a mechanické vlastnosti přechodového typu mezi elastomery a termoplasty. Zpracovatelskými vlastnostmi polypropylenu je myšlena schopnost stříkání s výbornou zatékavostí. EPDM kaučuk je elastomerní materiál, který má podle chemického složení vlastnosti buď termoplastu nebo termosetu. Elasticky modifikované plasty nachází uplatnění především na náraznicích či přístrojových deskách. [4]

1.4 KOMPOZITY

Protože samotné termoplasty či termosety svými vlastnostmi nevyhovují požadavkům kladeným na skelet karoserie, tak je nutné jejich vlastnosti modifikovat za použití různých aditiv. Aditivy jsou myšleny organické i anorganické látky, které zvyšují houževnatost, tuhost či teplotní odolnost. Výraz kompozit značí složený heterogenní systém tvořený alespoň dvěma fázemi o odlišném chemickém složení a různých mechanických a fyzikálních vlastnostech. Tyto dvě fáze se nazývají matrice a plnivo. Matrice je houževnatější složka kompozitu, která zajišťuje tvar výrobku a přenos sil na plnivo. Plnivo hraje roli výztuže a má lepší mechanické vlastnosti než matrice. Výsledné vlastnosti kompozitu závisí na rozložení a vzájemném ovlivňování těchto dvou složek. Matrice je složena z některého druhu termoplastu, například polypropylenu nebo polyamidu. Ty se tvrdí plnivem z krátkých či dlouhých vláken. Krátká vlákna mají poměr délka/průměr menší než 100, dlouhá vlákna naopak větší. Mezi nejznámější využívaná vlákna patří skelná, uhlíková, kevlarová a whiskery. Dále jsou v kompozitu přítomny stabilizátory a pigmenty, které mají za úkol vylepšit jeho vlastnosti. [19], [28], [29]

1.4.1 SKELNÁ VLÁKNA

Výztuž pomocí skleněných textilních vláken je tvořena vlákny s kruhovým průřezem o průměru 5 – 24 μm . Vyrábí se tažením z roztavené skloviny, která je převážně složena ze směsi oxidů (Si, Al, Ca, Mg, Pb, B) s malým podílem oxidů alkalických kovů (Na, K). K výrobě skelných vláken se využívá tři základních typů skloviny s různými vlastnostmi. Největší zastoupení má sklovina typu E. Jedná se o aluminium-borosilikátové sklo s výbornými elektroionizačními vlastnostmi. Tato sklovina dosahuje tahové pevnosti 2 – 3,5 GPa a modulu pružnosti v tahu 70 – 80 GPa. Dalším druhem je sklovina typu S, která má vyšší obsah oxidů křemíku, hliníku i manganu než předešlý typ. Vyniká tak o 30 – 40% vyšší pevností. Poslední typ skloviny nese označení C a charakterizuje ji vysoká chemická odolnost. [19], [29]

1.4.2 UHLÍKOVÁ VLÁKNA

Uhlíková vlákna nabízí lepší mechanické vlastnosti a nižší hmotnost než vlákna ze skla. Hmotnostní rozdíl je přibližně 0,5 g/cm^3 . Jedná se o dlouhý a tenký pramen materiálu o průměru 5 – 8 μm , který je složen převážně z atomů uhlíku. Atomy uhlíku jsou spojeny dohromady v mikroskopické krystaly, které jsou orientovány paralelně k dlouhé ose vlákna. Přibližně 90% uhlíkových vláken se vyrábí z polyakrylonitrilových vláken (PAN). Zbývajících 10% vláken je vyrobeno z viskózoových vláken nebo ze smol dehtu. Postup výroby uhlíkového vlákna z PAN se dělí na tři etapy. Prvním stádiem je stabilizace probíhající při teplotách 200 – 300 $^{\circ}\text{C}$. Vlákno se stane netavitelným. Druhou etapu tvoří karbonizace, která probíhá při teplotách 1000 – 1800 $^{\circ}\text{C}$. Vlákno zde dosahuje maximální pevnosti v tahu (až 6 GPa). Třetí fází je grafitizace, která se uskutečňuje při teplotě kolem 3000 $^{\circ}\text{C}$. V této fázi se zvyšuje tuhost vlákna na úkor jeho pevnosti. Výsledkem je značná anizotropie materiálových charakteristik. [19], [30]

1.4.3 KEVLAROVÁ VLÁKNA A WHISKERY

Kevlarová vlákna charakterizuje vysoká pevnost v tahu, tepelná a abrazivní odolnost, nízká hustota a vysoké moduly pružnosti v tahu a ohybu. Vyrábí se tak, že polymer rozpouštěný v koncentrované kyselině sírové je vytlačován tryskami do studené vody, kde je propírán a následně sušen na cívkách. Pod pojmem whiskery se nachází monokrystalová vlákna o tloušťce 0,1 – 30 μm a délce 0,25 – 25 mm. Nabízí velmi vysokou specifickou pevnost a modul pružnosti v tahu. Dále se chlubí výbornou elektrickou vodivostí. Existují také amorfnní whiskery složené z hliníku a boru či hliníku a oxidu křemičitého, které mají skvělé vyztužující schopnosti díky své extrémní pevnosti. [19], [30]

1.4.4 OSTATNÍ VLÁKNA

Patří sem vlákna přírodní, která se dělí na lýková (juta, len, kenaf), semenná (bavlna, kokosové vlákno) či listová (novozélandský len, sisal, abaka). Dalším druhem jsou vlákna polymerní, mezi které patří například polyesterová, polypropylenová, či polyethylenová vlákna. [30]

Tab. 2 – Mechanické vlastnosti vybraných vláken [40]

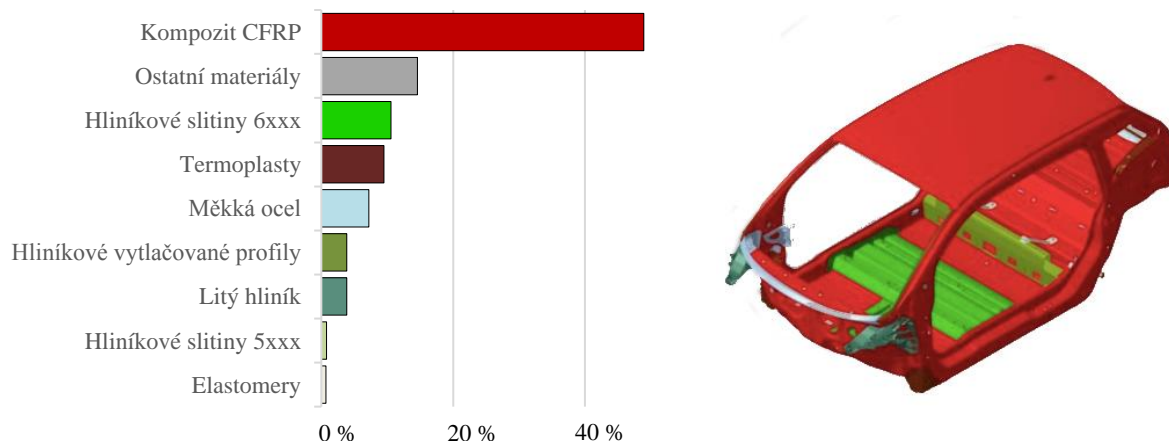
Materiál	E_t [GPa]	σ_{Pt} [MPa]	ρ [kgm ⁻³]	σ_{Pt} / ρ [MPa/kgm ⁻³]	$\epsilon_{f,krit}$ [%]
Sklovina typu E	72,4	3500	2540	1,38	2,5
Sklovina typu S	85,5	4600	2480	1,85	2,5
Grafit typu E	390	2100	1900	1,10	0,7
Grafit typu S	240	2500	1900	1,30	0,7
Aramid Kevlar 49	130	2800	1500	1,87	2,5
Polyethylen Spektra	172	3000	970	3,09	1,7
Whiskery SiC	250	2200	2600	0,85	0,9

1.4.5 VYUŽITÍ KOMPOZITŮ

Kompozitní materiály v současnosti nacházejí uplatnění u některých elektrických a sportovních vozů, pro které je důležitá nízká hmotnost. Znáмым příkladem elektromobilu s kompozitní karoserií je BMW i3. Tento vůz využívá kompozitního materiálu tvořeného výztuží z uhlíkových vláken, které jsou zalité ve speciální pryskyřici. Materiál má zkratku CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). Výztuže jsou tvořeny krátkými a častěji dlouhými vlákny. Jejich uspořádání má výrazný vliv na vlastnosti produktu. [24]

Vysokopevnostní kompozitní schránka vnitřního prostoru pro cestující nazývaná modul Life se nešroubuje, nenýtuje a nesvařuje, pouze slepuje za pomoci plně zautomatizovaných strojů. Využívá se nově vyvinutých lepidel, která umožňují další zpracování po pouhých 90 sekundách od nanesení. Po půlhodině je lepidlo zcela vytvrzené. Proces tvrzení lze ještě urychlit zahříváním. Modul Life je poté připevněn ke hliníkovému modulu pojmenovanému Drive a následně se přimontují vnější panely z plastu. Celý modul Life váží pouhých 140 kg. Na této hmotnosti má téměř poloviční podíl kompozitní materiál CFRP. Důležitou roli hrají také různé slitiny hliníku, nejčastěji 6xxx, a termoplasty. Ocel tvoří pouze 10 kg hmotnosti tohoto modulu. [23], [25]

Obr. 8 – Materiály využívané ke stavbě modulu Life [23]



BMW klade důraz na minimální spotřebu energie při výrobě uhlíkových vláken. Veškerá energie potřebná k jejich výrobě je získávána trvale udržitelným způsobem z místní vodní elektrárny, což zajišťuje nulové emise CO₂. Takto získaná vlákna se v další továrně zpracovávají na tkaninu, která je poté použita na karosářské díly. Až vozidlo doslouží, tak dojde řeč na recyklaci kompozitní karoserie. Přibližně 10% uhlíkových vláken používaných v modelu i3 pochází z recyklace, což je v automobilovém světě unikátní. V recyklačním procesu se rozlišuje recyklace uhlíkových vláken bez pryskyřice (suchého materiálu) a s pryskyřicí (mokrého materiálu). Nejprve je uhlíkový kompozit průmyslově oddělen ze směsi s ostatními plasty a zpracován pyrolýzou. Teplo z procesu rozkladu pryskyřice se využívá k oddělování nepoškozených uhlíkových vláken, která pak nachází uplatnění například na panelu pod zadním sedadlem či mimo automobilový průmysl. Kompozity vyztužené uhlíkovými vlákny mají při recyklaci nevýhodu v tom, že ztrácí své mechanické vlastnosti a nemohou se tak opakovaně využít k namáhaným částem karoserie. [25], [26]

V současné době mají kompozity z uhlíkových vláken pověst nejlehčích materiálů používaných v konstrukci karoserie. Mezi jejich další klady patří skvělá absorpce nárazové energie a odolnost vůči poškození. Vyšší cena a horší recyklovatelnost jim ale brání k většímu rozšíření. [27]

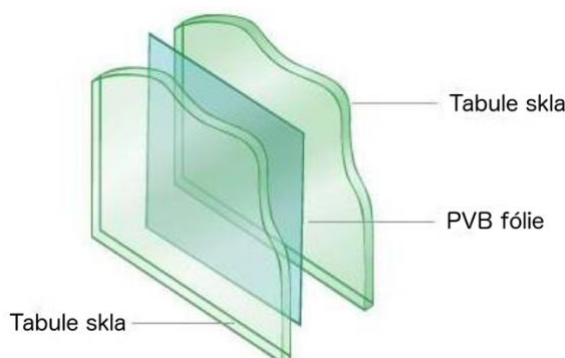
1.5 SKLO

Moderní skla používaná v automobilovém světě jsou bezpečnostní, takže eliminují možnost poranění střepy při havárii. K výrobě tabulí skla se využívá písku, sody, vápence a dolomitu. Produkce těchto tabulí je založena na technologii floatu, která spočívá v plavení skla po hladině tekutého cínu. Takto vyrobený materiál se upravuje do formy laminovaných či kalených skel. [16], [18]

1.5.1 LAMINOVANÁ SKLA

Strukturu laminovaných skel charakterizují dva kusy skla, která jsou spojena polyvinyl butyralovou fólií (PVB). Jedná se vždy o kombinaci tenčího a tlustšího skla. U konvenčních vozů má tenčí sklo tloušťku 1,6 mm a to tlustší 2,1 mm. Z důvodu snižování hmotnosti je dnes moderní využívat kombinaci tlouštěk 1,4 mm a 1,8 mm s nainstalovanou protihlukovou fólií. Tato fólie je u tenčích skel nezbytná, protože bez ní by hůře absorbovaly hluk než konvenční typy. Důležitou částí laminovaných skel je PVB fólie, která zajišťuje celistvost předního okna při havárii. Nedojde tak k roztříštění skla na drobné střepy, které by mohly zranit posádku. Tohoto jevu si lze všimnout například při nárazových testech EURO-NCAP. PVB je pro tuto aplikaci vhodný díky své výborné houževnatosti, elasticitě, optické čistotě a přilnavosti ke sklu. [13], [15], [18]

Obr. 9 – Struktura laminovaného skla [33]



Kromě bezpečnosti mají tato skla výhodu v možnosti řezání podle šablony při opravách. Naopak nevýhodou je větší náročnost montáže. Při zasklení musí být PVB fólie uložena bez prnutí a v průběhu montáže se nesmí dostat do kontaktu s kovem. Kromě čelního okna mohou laminovaná skla najít uplatnění také v boční a zadní části karoserie u luxusnějších vozů. Takovéto uspořádání poskytuje výborný akustický komfort, ale komplikuje práci záchranářům při nehodě. Laminovaná skla se totiž mnohem obtížněji rozbíjí než kalená skla. [15], [18]

1.5.2 KALENÁ SKLA

Kalená skla jsou většinou jednovrstvá bez PVB fólie a nachází uplatnění v boční a zadní části automobilu. Při výrobě se ohřívají na vysoké teploty a pak rychle ochlazují, díky čemuž dochází k rychlejšímu ochlazení vnější části skla. Ve skle se vytvoří přepětí. Kvůli tomu se kalené sklo při nehodě roztříští na drobné neostře částice, které nezraní posádku. Další skvělou vlastností kalených skel je jejich snadná destrukce, což pomáhá záchranářům při vyprošťování cestujících z vozu. Konvenční automobily mají v boční části stahovací skla o tloušťce 5 – 6 mm a pevně ukotvená skla o tloušťce 3,5 mm. [15], [18], [20]

1.5.3 MATERIÁLY VYUŽÍVANÉ K ÚPRAVĚ SKEL

FLUORIDOVÁ VRSTVA

Tato vrstva nanesená na povrchu skla zabraňuje usazování kapek vody. Kontaktní úhel mezi klasickým sklem a kapkou vody je 20° až 40°. Fluoridová vrstva zapříčiní zvětšení tohoto úhlu na 100° i více. Kvůli tomu se zachová tvar kapky vody, která tak může snadněji stéct. Kromě zlepšení výhledu z vozidla za deště má takto upravené sklo i další výhody, mezi které patří například snadné odstranění špíny či sněhu a ledu. [14]

VRSTVA OXIDU STŘÍBRNÉHO

Vrstva oxidu stříbrného je zodpovědná za odrážení infračerveného záření směrem od vozu. Redukuje tak teplotu kabiny v letních měsících. [17]

ELEKTROKOVOVÁ VRSTVA

Tato vrstva zabezpečuje atmosférický efekt. Zákazník si může sám zvolit, jakou chce propustnost světla do interiéru. Využití nachází hlavně na panoramatické střeše. [17]

Obr. 10 – Funkce fluoridové vrstvy [22]



1.6 BUDOUCNOST KAROSERÍ

Nová nařízení Evropské komise, která výrazně zpřísní emisní limity automobilů, zapříčiní rozmach hybridních vozidel kombinujících pohon na elektřinu se spalovacím motorem. Problémem je, že takovéto vozy váží v průměru o 200 kg více než jejich kolegové využívající pouze spalovací motor. Snaha o redukci této přebytečné hmotnosti se projeví také na materiálech karoserií. Představí se nové druhy ocelových a hliníkových plechů a možná dojde k rozmachu nekonvenčních materiálů. [28]

1.6.1 KAROSERIE Z HOŘČÍKU

V současné době automobilky intenzivně pracují na karoserii z hořčíkových slitin. Tento materiál je totiž o třetinu lehčí než hliník a o 75% lehčí než ocel, což by umožnilo výrazně snížit hmotnost i spotřebu vozidla. Podle průzkumů by automobil zhubnul až o 100 kg. Další skvělou vlastností hořčíku je dokonalá recyklovatelnost. Hořčík recyklací neztrácí své vlastnosti a po roztavení jej lze opět použít k výrobě té samé součásti. Za zmínku stojí také prakticky nevyčerpatelné zásoby hořčíku na naší planetě, neboť je obsažen v mořské vodě, slaných jezerech či podzemí. Díky této skutečnosti se jeho cena drží na přijatelné úrovni. K nevýhodám lze zařadit špatnou korozní ochranu a horší pevnost. Tyto neduhy se dají zmírnit vhodnými legurami, zpevňovacími vlákny či zjemněním zrn. Hlavní přísadou hořčíku je hliník, který zlepšuje pevnost, tvrdost a slévárenské vlastnosti. Dále se uplatňuje přísada manganu, která zlepšuje odolnost proti korozi, a přísada zirkonia zvyšující pevnost a zjemňující zrno. Výrazného vylepšení mechanických vlastností lze dosáhnout vyztužením hořčíku uhlíkovými vlákny. Už dnes tvoří hořčíkové slitiny drobný podíl na konstrukci nosných částí karoserie, například nejnovější Audi A8 má z hořčíku vyrobenou výztuhu mezi předními podběhy. V budoucnu se podíl tohoto lehkého kovu pravděpodobně zvýší. Musí se ale vyřešit různé problémy způsobené chemickými vlastnostmi hořčíkových slitin. [10], [12], [32]

1.6.2 KAROSERIE Z KOMPOZITŮ

Dalším řešením otázky redukce hmotnosti by mohlo být rozsáhlejší využití kompozitů z uhlíkových vláken. Ty se od devadesátých let rozšiřují směrem k čím dál levnějším autům a už dnes si je lze dopřát u vozů s cenou lehce nad jeden milion korun. Důvodem je zvýšená efektivnost výroby a také nižší cena tohoto materiálu. Ta ale stále není dostatečně nízká k tomu, aby kompozity z uhlíkových vláken nahradily ocel i u levnějších aut. Dalším problémem tohoto materiálu jsou špatné recyklační vlastnosti. Nemůže se tak opětovně využít ke konstrukci namáhaných částí karoserie, což zvyšuje cenu vozidla a zatěžuje životní prostředí.

Roku 2010 představila společnost Inrektor Ltd. kompozit s názvem Inrektor. Jeho využitím může výrazně klesnout hmotnost automobilu při zachování dobré pevnosti. Tento materiál je ve srovnání s kompozity tvzenými uhlíkovými vlákny o hodně levnější a také kompletně recyklovatelný. Panely Inrektoru tvoří lehká pěna na bázi polypropylenu (PP), která je sevřená mezi dvěma tenkými hliníkovými plechy. S tvarováním tohoto materiálu se nepočítá. Konstrukce z Inrektoru je totiž jednoduše poskládána jako stavebnice z přesně opracovaných dílů, které se k sobě pouze lepí. Několik nezávislých nárazových testů ověřilo bezpečnost této konstrukce s výsledkem, že materiál výborně absorbuje energii. Tato konstrukce poskytuje podobnou bezpečnost jako pětihvězdičkový ocelový typ. Oproti konvenčnímu typu je ale o 40 kg lehčí. Poprvé byl tento materiál využit ke stavbě speciálního prototypu repliky Porsche 356, která je stejně pevná jako replika z konvenčního materiálu, ale váží o 15% méně. Dále má firma Inrektor na svých webových stránkách koncept platformy čtyřsedadlového vozu o hmotnosti pouze 170 kg namísto obvyklých 300 kg. [41]

1.6.3 KAROSERIE Z OCELI

Blízká budoucnost bude samozřejmě patřit karoseriím převážně z oceli. Mezi její velké výhody patří možnost úplně recyklace bez zhoršení vlastností, nízká cena a také obrovské zásoby železné rudy sloužící k její výrobě. Vývoj ocelí ještě zdaleka nedosáhl konce a budou se objevovat nové typy s lepšími vlastnostmi, poskytující vyšší bezpečnost posádky při nárazu a zároveň nižší hmotnost vozidla. Společnost NanoSteel se zabývá vývojem třetí generace AHSS ocelí, které by měly vyšší pevnost a tvářitelnost. Roku 2016 byla dodána ocel NanoSteel NXG 1200 koncernu General Motors pro účely zkoušení. Takováto ocel dosahuje pevnosti v tahu 1200 MPa a tažnosti 50%. Její struktura je tvořena feritickou maticí a sekundární fází z boridů a nanoprecipitátů. Při vývoji této oceli se dbalo na to, aby její použití a výroba byly co nejjednodušší a nejméně nákladné. Obsahuje tak běžně dostupné legury a na výrobu výlisků je možno aplikovat metodu tváření za studena díky tažnosti 50%, což snižuje cenu součástí. Vysokopevnostní oceli s menší tažností často vyžadují tváření za tepla. Bylo provedeno porovnání tvářitelnosti této oceli s ocelí DP 980, která má pevnost v tahu 1050 MPa a tažnost 11%. Výsledek je takový, že ocel NanoSteel vykazuje výrazně lepší tvářitelnost. [21]

1.6.4 KAROSERIE VYROBENÁ 3D TISKEM

Automobilka Ford nedávno oznámila, že začíná testovat 3D tiskárny k produkci větších součástí svých vozů, mezi které patří například spoilery. Výrobce uvádí, že takto vymodelovaný spoiler by byl až o polovinu levnější než ten vyrobený konvenční technologií. Mezi další výhody patří nižší hmotnost produktu a kratší výrobní doba. Mnozí malosérioví výrobci ale zašli s využíváním této moderní technologie ještě o kus dál než Ford. [101]

Metoda 3D tisku se ve velmi široké míře uplatnila například při stavbě konceptu elektrického roadsteru Local Motors Strati. Ten byl představen už v roce 2014 a jeho velmi nekonvenční způsob výroby přináší několik výhod. První z nich je velice jednoduchá konstrukce, neboť je složen pouze ze 49 součástí, zatímco konvenční vozy jich obsahují kolem 5000. Druhou výhodou tvoří výsledná cena tohoto roadsteru, která se pohybuje v rozumných mezích. Strati je tisknuto z termoplastu vyztuženého uhlíkovými vlákny. Karoserie působí velmi pevným dojmem, neboť je poskládána z 227 vrstev materiálu. K výrobě autoři využili tiskárnu nadstandardních rozměrů, která je schopna vytisknout díly až 3 metry dlouhé a 1,7 metru vysoké. Samotná výroba se skládá ze tří fází. První fází tvoří 3D tisk karoserie včetně vnějších panelů a interiérových částí. Tato část zabere 44 hodin času a následně jsou vytištěné díly zdokonalovány broušením a různými dalšími metodami, které zaberou zhruba jeden den času. Třetí část tvoří sestavení vozidla, které trvá asi 2 dny. Kompletní výroba zabere pět dní a prý by se dala mnohem urychlit. Koncept Strati nabízí elektrický pohon s dojezdem 200 km a maximální rychlost 60 km/h. [99], [100]

Obr. 11 – Elektromobil Local Motors Strati [100]



1.6.5 KAROSERIE Z BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH MATERIÁLŮ

Ve vzdálenější budoucnosti se výrobci automobilů mnohem více zaměří na ekologičnost výroby a snazší recyklaci. Jednou z cest, jak snížit emise způsobené výrobou a recyklací automobilů, je využití biologicky rozložitelných materiálů, které by rostly poblíž místa výroby. Jejich využívání by zcela eliminovalo emise vzniklé recyklací, neboť takovýto materiál se recykluje sám od sebe. Dále by se výrazně snížily emise spojené s výrobou.

AUTOMOBIL LINA

Studenti Technické univerzity v nizozemském Eindhovenu již v dnešní době sestrojili vůz, který z velké části využívá biologicky rozložitelných materiálů. Automobil se jmenuje Lina a je zhotoven z pryskyřice vyráběné z cukrové řepy, která je vyztužena tkaným lnem kombinovaným s polypropylenem. Z důvodu lepší tuhosti a houževnatosti obsahují panely karoserie voštinovou strukturu umístěnou mezi dvěma vrstvami lněného kompozitu. Velkou výhodou takového vozu je ekologičnost výroby, neboť k produkci součástí z řepy a lnu je potřeba pětikrát méně energie ve srovnání s ocelovými či hliníkovými díly. Dále stojí za zmínku téměř nulové emise spojené s recyklací, protože s výjimkou baterie a některých podvozkových komponent je celý vůz biologicky rozložitelný. Nevýhodou tohoto konceptu je slabá ochrana posádky při nárazu. Materiál má totiž tendenci se lámat a tříštit, zatímco například kov se pouze ohne. Další nevýhodou tohoto řešení je cenově nákladná výroba. Vzhledem k vývoji ale lze očekávat její snížení. Lina má maximální rychlost kolem 80 km/h, dojezd asi 100 km a místo si v ní najdou čtyři lidé. Váží pouhých 310 kg a je poháněna Li-ion baterií s výkonem 8 kW. [95] až [97]

AUTOMOBIL NOAH

Druhý existující prototyp vozu z biologicky rozložitelných materiálů se jmenuje Noah, který těchto materiálů využívá z 90%. Noah se od Liny liší v tom, že místo polypropylenu využívá kyseliny polymléčné. Ta poskytuje lepší pevnost a snazší recyklovatelnost. S výjimkou baterie, kol a závěsných systémů je vůz kompletně biologicky rozložitelný. Již proběhly virtuální nárazové testy, které prokázaly relativně uspokojivé výsledky. Problémy ale může dělat odolnost takového vozu vůči ultrafialovému záření. Noah nabízí maximální rychlost 100 km/h, dojezd 240 km a účinnost baterie při jízdě konstantní rychlostí až 100%. [94], [98]

Obr. 12 – Řez panelem karoserie vozu Noah [94]



Oba projekty poukazují na fakt, že již zanedlouho by některé méně namáhané části karoserie, například kapoty, boční panely či interiéry, mohly být vyráběny z těchto lehkých a velmi ekologických materiálů. Plně biologicky rozložitelná auta jsou ale hubbou velmi vzdálené budoucnosti, neboť v současnosti neexistuje takový materiál, který by vyhovoval pevnostním požadavkům kladeným na materiály skeletu karoserie či podvozkových komponent. Dalším faktorem, který bude brzdít rozšiřování těchto materiálů, je vyšší výrobní cena.

2 MATERIÁLY POHONNÝCH JEDNOTEK

Klasický spalovací motor existuje již od časů prvních automobilů. Během této doby prodělal velký vývoj nejen v oblasti poskytovaného výkonu či vylučovaných emisí, ale také v materiálech využívaných k jeho stavbě. Jejich volbu je nutno přizpůsobit následujícím požadavkům, které jsou kladeny na moderní pohonné jednotky:

- vysoký objemový výkon
- nízká spotřeba paliva
- malá měrná hmotnost
- malé zástavbové rozměry motoru
- vysoká spolehlivost a životnost
- co nejmenší údržba
- splnění emisních limitů
- automatická montáž ve výrobě

Spalovací motor pracuje na principu spalování paliva. To vede k velké mechanické, chemické i tepelné námaze jednotlivých komponent. Součásti motoru je tak nutné konstruovat z pevných a houževnatých materiálů, které jsou odolné vůči chemickým vlivům a vysokým teplotám. Následující podkapitoly charakterizují jednotlivé druhy materiálů spalovacích motorů včetně reálného použití. [20], [47]

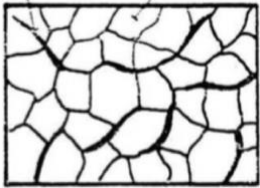
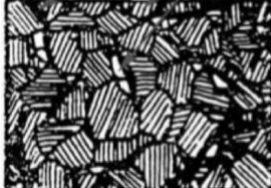
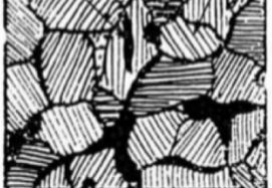
2.1 LITINA

Litinou je nazývána slitina železa s uhlíkem, která obsahuje více než 2,14% uhlíku podle binárního diagramu Fe – Fe₃C. Dělí se na bílé a grafitické. V automobilovém průmyslu se nejčastěji využívá grafitických litin s lupínkovým, kuličkovým a vločkovým grafitem. [20], [50]

2.1.1 LITINA S LUPÍNKOVÝM GRAFITEM (ŠEDÁ LITINA)

Jedná se o nejvyužívanější druh litiny ke konstrukci motorů. Charakterizuje ji vysoká mez pevnosti v tlaku, velmi nízká tažnost, dobré kluzné vlastnosti, zvýšená schopnost útlumu a dobrá zabíhavost. Její pevnostní vlastnosti lze zlepšit očkovaním. Na pevnost a tvrdost litiny má výrazný vliv typ matrice. [50]

Tab. 3 – Vliv matrice na vlastnosti šedé litiny [50]

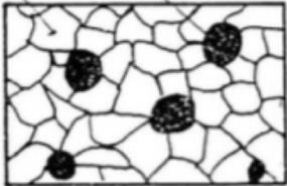

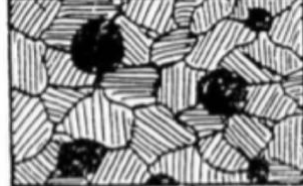
Typ litiny	Feritická matrice	Feriticko-perlitická matrice	Perlitická matrice
Litina s lupínkovým grafitem	100 – 155 HB	120 – 195 HB	145 – 215 HB
	R _m = 100 – 200 MPa	R _m = 150 – 300 MPa	R _m = 250 – 350 MPa
			

Šedé litiny se využívá ke konstrukci bloku motoru, vložených válců, klikové skříně a hlav válců. Blok motoru z šedé litiny má dobré třecí vlastnosti, odolnost vůči opotřebení a je vhodný pro konstrukci válců přímo v bloku na rozdíl od bloku motoru z hliníkových slitin, který musí využívat vložených válců. Vložené válce se vyrábí také z šedé litiny a oproti válcům přímo v bloku mají několik výhod, například vyšší odolnost vůči opotřebení a možnost výměny. Kliková skříň z šedé litiny vyniká velkou tuhostí, korozivzdorností a dobrým tlumením kmitů. Další aplikaci těchto litin tvoří hlavy válců. Ty musí odolávat vysokým tlakům a značnému tepelnému namáhání, kvůli čemuž je nutné jejich dobré chlazení. Chlazení se provádí kapalinou či vzduchem. [20], [46]

2.1.2 LITINA S KULIČKOVÝM GRAFITEM (TVÁRNÁ LITINA)

Jedná se o nejkvalitnější druh litiny, její kvality bylo dosaženo pomocí očkování a modifikace. Typ matrice tvárné litiny má velký vliv na výsledné vlastnosti. Perlitická matrice zvyšuje pevnost, tvrdost a modul pružnosti, feritická matrice zase vylepšuje tažnost a nárazovou práci. Maximální pevnosti při zachování dobré houževnatosti lze dosáhnout izotermickým zušlechťováním na bainitickou matici – ADI litiny (Austempered Ductile Iron). [50]

Tab. 4 – Vliv matrice na vlastnosti tvárné litiny [50], [51]

Typ litiny	Feritická matrice	Feriticko-perlitická matrice	Perlitická matrice
Litina s kuličkovým grafitem	A = 15 – 22%	A = 3 – 10%	A = 2%
	R _m = 350 – 400 MPa	R _m = 400 – 600 MPa	R _m = 600 – 900 MPa
			

Z tvárné litiny se vyrábí více namáhané pístní kroužky. Nejvíce namáhan je první kroužek a proto se tvrdě chromuje. Tím dojde ke snížení opotřebení kroužku a zvýšení jeho odolnosti vůči korozi. Mezi další úpravy pístních kroužků z tvárné litiny patří fosfátování a pokovení oxidem železa. Sníží se tak ztráty třením a zlepší záběh motoru. Vrstvička molybdenu zase zlepší tepelnou vodivost a odolnost vůči korozi. Další součástí vyráběnou z této litiny je ojnice. Jedná se ale o ojedinělé řešení, mnohem častěji se totiž ojnice vyrábí z legovaných ocelí. [46], [47]

Dále stojí za zmínku využívání těchto litin na klikové hřídele výkonnějších motorů. Jejich materiál musí vzdorovat velkému dynamickému namáhání. Litinové hřídele vynikají nad ocelovými v nižší hmotnosti, příznivější ceně, lepším tlumením kmitů a také lepších třecích vlastnostech. Tvárné litiny se využívá také ke konstrukci výfukových svodů. Kvůli vysokým teplotám, které panují uvnitř svodů, je pro jejich konstrukci vhodná například litina s označením EN-GJS-400-15 o pevnosti v tahu 400 MPa a tažnosti 15%. Charakterizuje ji výborná obrobitelnost, odolnost proti nárazům a velká tvrdost. Svody se vyrábí odléváním. [43], [46], [47]

2.1.3 LITINA S VLOČKOVÝM GRAFITEM (TEMPEROVANÁ LITINA)

Pomocí tepelného zpracování s názvem temperování lze dosáhnout tvorby vločkového grafitu. Jedná se o grafitizační žíhání, při kterém dochází k rozložení eutektických karbidů v ledeburitu na volný temperovaný grafit. Jestliže se tato operace provádí v oduhličujícím prostředí, tak vznikne temperovaná litina s bílým lomem, v neoduhličujícím prostředí temperovaná litina s černým lomem. Tento typ litiny charakterizuje dobrá pevnost a tažnost, odolnost vůči vibracím, žáruvzdornost a otěruvzdornost. V při konstrukci motoru se temperovaná litina ojediněle využívá ke stavbě ojníc. Větší uplatnění má v brzdové soustavě. [50], [46]

Tab. 5 – Vlastnosti temperovaných litin [50]

Typ litiny	R_m [MPa]	A [%]	HB
Temperovaná litina s bílým lomem	350 – 550	4 – 12%	200 – 250
Temperovaná litina s černým lomem	350 – 800	1 – 10%	140 – 320

2.2 HLINÍK

Tento lehký kov nachází uplatnění na velkém množství součástí motoru. Velmi známé jsou bloky motoru vyrobené z tohoto materiálu. Oproti bloku motoru z litiny musí hliníkový typ obsahovat vložené válce, vložky válců a nebo je nutné třecí plochu upravit pro lepší třecí vlastnosti a odolnost vůči opotřebení. [46]

Obr. 13 – Hliníkový blok motoru Boxer od Porsche [52]



Při konstrukci hliníkových bloků spalovacích motorů se hojně využívá speciálních provedení válců z různých slitin hliníku. Nejčastěji z nich nachází uplatnění metoda Alusil:

Metoda Alusil – celý blok válců je odlit ze slitiny AlSi. Poté proběhne honování pracovní plochy, během kterého se odleptá vrstva hliníku mezi křemíkovými zrny. Zrna tvrdého křemíku vystoupí na povrch stěny válce a vytvoří velmi odolnou dráhu pro píst a pístní kroužky. Písty se musí povrchově upravit, aby nedocházelo k výraznému opotřebení.

Vložky válců ze slitin hliníku a křemíku – oproti vložkám ze šedé litiny mají nižší hmotnost a lepší odvod tepla do hliníkového bloku motoru. Nevýhodou je vysoká povrchová tvrdost, která vyžaduje drahé obráběcí nástroje s diamantovými břity.

Kompozitní slitiny – jedná se o vlákny zesílenou hliníkovou slitinu MMC (Metal Matrix Composite), která je využívána automobilkami Porsche, Lotus či Honda k úpravě povrchu stěn válců. Tuto slitinu tvoří krátká uhlíková a keramická vlákna na bázi oxidů hliníku. Tvrdá keramická vlákna zabraňují styku pístních kroužků s hliníkovou stěnou a uhlíková vlákna mají výborné samomazací vlastnosti. Slitina MMC umožňuje vyšší provozní teplotu a z toho vyplývající vyšší účinnost a úspornost motoru. Nevýhodou jsou zvýšené výrobní náklady. [46]

Slitin hliníku se hojně využívá také při konstrukci pístů. Písty musí čelit namáhání vysokými tlaky, teplotami a třením. Těmto podmínkám úspěšně vzdorují slitiny hliníku a křemíku. Jedná se o nejpoužívanější materiály sloužící k výrobě pístů. Mezi jejich výhody patří nízká hmotnost a dobrá tepelná vodivost. S rostoucím obsahem křemíku dochází ke zhoršení obrobitelnosti pístů, ale zároveň dosahují nižšího opotřebení a menší tepelné roztažnosti. Písty dvoudobých motorů jsou více tepelně namáhány a proto se vyrábí ze slitin s větším obsahem křemíku, například AlSi18 a AlSi25. Písty čtyřdobých zážehových motorů jsou tepelně méně namáhány a tak je stačí vyrábět ze slitin, které mají nižší obsah křemíku, například AlSi12. Méně namáhané písty se odlévají do kokil, ty více namáhané je nutno vyrobít kováním. [46], [48]

Mezi další součásti, které využívají slitin hliníku, patří hlavy válců, klikové skříně a ojnicní ložiska. Pro výrobu hlav válců jde o nejčastěji využívaný materiál a například hlavy válců pro vzduchem chlazené motory se konstruují pouze z těchto slitin. Klikové skříně se vyrábí jako odlitky z hliníkové slitiny legované křemíkem, manganem a hořčíkem. Hliníkové klikové skříně mají oproti litinovým výhodu v nižší hmotnosti a lepším odvodu tepla. Aby dosahovaly podobné tuhosti jako litinové, tak musí mít větší rozměry. Mezi jejich další nevýhody patří slabší tlumení vibrací a horší korozivzdornost. U ojnicních ložisek se využívá hliníkové slitiny AlSn20 k tvorbě kluzné plochy. Jde o slitinu hliníku a cínu, která je vhodná pro aplikaci u zážehových motorů. U vznětových motorů tvoří kluznou plochu olovnatý bronz. [20], [46], [47]

2.3 OCEL

Různé druhy ocelí se uplatňují převážně při konstrukci výfukového systému a také k výrobě ojnic, pístních kroužků, pístních čepů, klikových hřídelí a těsnění hlav válců.

Mezi součásti výfukového systému, které se vyrábí z ocelí, patří tlumiče a přední potrubí. K jejich konstrukci se využívají korozivzdorné oceli. Ty korodují mnohem pomaleji než klasické oceli a zajišťují tak vysokou životnost dané součásti. Mezi korozivzdorné oceli se řadí oceli schopné pasivování. Vytvoření této tenké ochranné vrstvy je umožněno při obsahu alespoň 11,74% legujícího chromu. Korozivzdorné oceli se dělí podle chemického složení na chromové, chrom-niklové a chrom-manganové. Klasická chromová ocel má 12 – 30% legujícího chromu. Přísadou niklu lze dosáhnout vyšší houževnatosti, plasticity a korozní odolnosti. Nikl je ale drahý prvek, takže jej často nahrazuje mangan. Jeho nevýhodou oproti niklu je menší korozivzdornost a žáruvzdornost. [42], [44], [46]

Obr. 14 – Řez tlumičem z korozivzdorné oceli [44]



Legovaná ocel 34CrMo4 slouží k výrobě ojnic. Jedná se o nejčastější materiál této součásti, protože dobře odolává tahovým, tlakovým a setrvačným silám. Ocel se dále využívá na pístní kroužky. V poslední době dochází k rozmachu ocelových pístních kroužků vyrobených práškovou technologií. Oproti kroužkům z konvenčních materiálů mají lepší pružnost, vyšší těsnicí schopnosti, pomalejší opotřebení a podílí se na nižších emisích. Pístní čepy vyžadují materiál odolný vůči deformaci. Pro tyto účely se hodí houževnaté cementační a nitridační oceli. Pro méně namáhané čepy se využívá materiálů 15CrNi6 či 16MnCr5. Velmi namáhané čepy vznětových motorů je nutné konstruovat z ocelí 32AlCrMo4 či 34CrAl6, které mají velmi tvrdý povrch. Další uplatnění ocel nachází na klikových hřídelích. Slabší motory mají klikovou hřídel vyrobenou z uhlíkové oceli, silnější z legovaných ocelí (například 36CrNiMo4). Ocelové hřídele se vyrábí technologií zápustkového kování a charakterizuje je výborná pevnost a tuhost. [46], [49]

Za zmínku jistě stojí také aplikace ocelí na těsnění hlav válců. To je neustále namáháno palivem, výfukovými plyny, motorovým olejem a chladicí kapalinou. Proto musí být vyrobeno z chemicky, tepelně a tlakově odolného materiálu, který bude schopen se pružně přizpůsobovat provozním podmínkám. V dnešní době se uplatňují následující typy těsnění:

Metalelastomerová těsnění – jedná se o moderní konstrukci těsnění, která má na ocelových vložkách navulkanizovány pružné profily z některého druhu elastomeru. Zajišťuje dokonalé utěsnění všech otvorů průchodu chladicí kapaliny. Utěsnění otvorů spalovacího prostoru existuje ve dvou variantách, a to kovově s plným prolisem a lemováním nebo v kombinaci s ferrolastickým těsněním. Mezi výhody tohoto typu těsnění patří dokonalé utěsnění otvorů s chladicí kapalinou, absence provozního sedání a vysoká tepelná odolnost.

Vícevrstvá kovová těsnění – charakterizuje je několik kovových vrstev, které jsou opatřeny speciální povrchovou úpravou. Většinou se jedná o složení dvou funkčních vrstev a jedné či více středních vrstev. Funkční vrstvy se vyrábí z austenitické pérové oceli. Plech má tloušťku 0,1 – 0,3 mm. Střední vrstvy jsou zhotoveny z korozivzdorné chromniklové oceli. Kvůli perfektní těsnosti musí být na kovových vrstvách naneseny pružné povlaky, které dokáží dobře přizpůsobit svůj tvar.

Ferrolastické těsnění – skládá se z nosného vroubkovaného plechu, na který je z obou stran nanesena vrstva z měkké hmoty. Ta je složena z vláken, plničů a jiných materiálů. Okraje spalovacího prostoru tvoří kovový lem. [20], [46]

2.4 OSTATNÍ MATERIÁLY

2.4.1 NIKL

Niklu se využívá ke speciálnímu provedení válců metodou Niklasil. Ta spočívá v galvanickém nanesení vrstvy niklu s krystalky křemíku (Ni – SiC) na pracovní povrch válce. V současnosti je využívánější než metoda Alusil. [46]

Dále nikl nachází uplatnění při konstrukci kluzné vrstvy uložení klikového hřídele. Jedná se o třívrstvé ložiskové pánve. Na ocelové podložce je nanesena nosná vrstva olovnatého bronzu (CuPb23Sn4) o tloušťce 0,3 – 1,5 mm. Na tu navazuje mezivrstva ze slitiny niklu (NiCu30) o tloušťce 0,001 – 0,002 mm. Ta má za cíl zabránit průniku kluzné vrstvy do nosné. Třetí vrstvu tvoří kluzná záběhová vrstva, která je vyrobena z bílého ložiskového kovu (PbSn10) či hliníkové slitiny (AlSn20Cu). Má tloušťku 0,01 – 0,03 mm. Vyniká výbornými třecími vlastnostmi a odolností proti opotřebení. [20], [46]

2.4.2 OLOVNATÝ BRONZ

Tohoto materiálu se využívá ke konstrukci kluzné vrstvy uložení klikového hřídele. Má dobré třecí vlastnosti a dostatečnou únosnost. Dále nachází uplatnění na kluzné ploše ojnicích ložisek vznětových motorů a na ojnicích pouzdrech. [46]

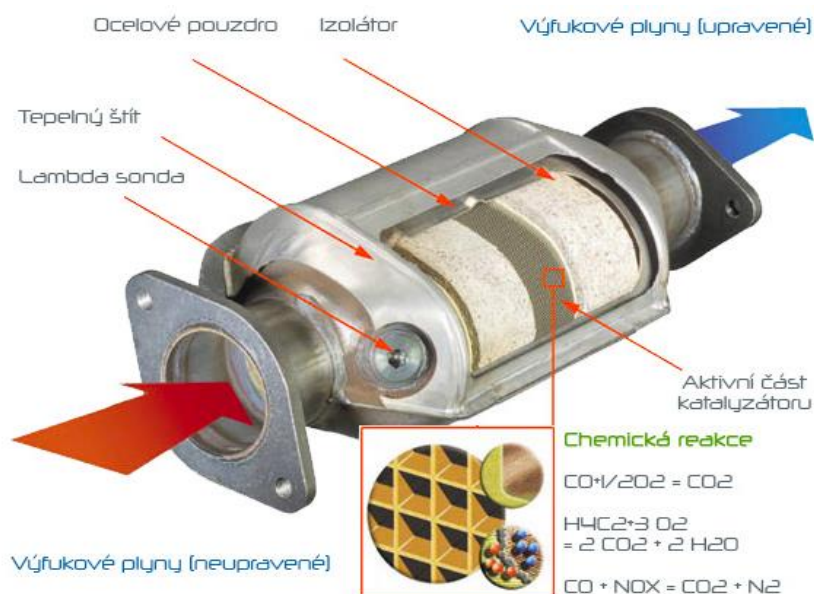
2.4.3 TITAN

U závodních vozů nachází využití ojnice ze slitin titanu (TiAlV4), které charakterizuje nízká měrná hmotnost a zároveň vysoká pevnost. [46]

2.5 MATERIÁLY KATALYZÁTORŮ

Materiály této součásti jsou natolik specifické, že si zaslouží zvláštní podkapitolu. Katalyzátor se výraznou měrou podílí na šetrnosti vozu k životnímu prostředí, neboť v něm probíhají chemické reakce přeměny nebezpečných látek na neškodné. Oxid uhelnatý (CO) a oxidy dusíku (NO_x) se mění na neškodnou vodu (H_2O), oxid uhličitý (CO_2) a dvouatomární dusík (N_2). Tyto přeměny probíhají za teploty 300 – 600°C. Na reakční ploše katalyzátoru jsou naneseny vzácné drahé kovy jako platina, rhodium, palladium a wolfram. Palladium tvoří oxidační část, wolfram redukční část. Pro úspěch tvorby neškodných látek je nutná co největší reakční část. Proto je vnitřek katalyzátoru tvořen malými dutinkami s velmi jemnou strukturou, které připomínají včelí plástve. [45]

Obr. 15 – Struktura katalyzátoru [45]



Katalyzátory se dělí dle použitých materiálů na keramické a kovové. Katalyzátory s keramickou vložkou jsou citlivé na mechanické a chemické poškození, které může nastat špatným seřízením motoru či při poruše. Jejich výhodou je nižší cena oproti kovovým katalyzátorům. Katalyzátory s kovovou vložkou jsou odolnější, neboť u nich nehrozí poškození vlivem horšího chodu motoru. Kromě benzínových motorů jsou vhodné také pro dieselové agregáty či vozy na alternativní pohony LPG a CNG. U vozů na LPG a CNG mají zvýšený obsah titanu kvůli vyšší spalovací teplotě. [45], [62]

2.6 BUDOUCNOST SPALOVACÍCH MOTORŮ

2.6.1 BLOK MOTORU Z KOMPOZITU

Jednou z možných cest ke snížení hmotnosti automobilu může být využití kompozitů na různé části motoru. V současnosti existuje koncept jednoválcového motoru, který má horní část bloku vyrobenou z fenolické pryskyřice vyztužené skelnými vlákny. Skelná vlákna tvoří 55% struktury směsi a pryskyřice 45%. Tento materiál byl využit z důvodu dobré odolnosti vůči vyšším teplotám a také kvůli dostupné ceně. Jeho hlavní výhodou oproti konvenční oceli je o 20% nižší hmotnost. Vložka válce tohoto motoru je vyrobena z kovu, díky čemuž kompozit nepřichází do kontaktu s hořením ve spalovací komoře. Všechny dotčené díly jsou vyvinuty takovým způsobem, aby byl kompozit zatěžován teplem co nejméně. Pro sériovou výrobu takového bloku motoru lze využít moderní metodu vstřikování roztavené pryskyřice už smíchané se skelnými vlákny. Následné opracování odlitku je jednodušší než v případě ocelového typu. Zkoušky motoru s kompozitním blokem prokázaly, že je schopen poskytovat stejný výkon jako konvenční typ. Dále nabízí tišší chod, menší vibrace a do okolí vydává méně tepla. [53]

2.6.2 OJNICE Z KOMPOZITU

Výzkumné a vývojové centrum automobilky Lamborghini pracuje na ojnících vyrobených z kompozitů vyztužených uhlíkovými vlákny. Takovéto ojnice by byly o 40 – 50% lehčí než současný typ využívaný v supersportu Aventador. Jejich nízká hmotnost se pozitivně projeví na výkonu motoru a také na rychlosti odezvy plynového pedálu. Vyrábět se budou revoluční metodou kování kompozitů. Tato metoda spočívá v sypání směsi vláken a pryskyřice do formy, následném zahřátí a stlačení do požadovaného tvaru. Celý proces trvá pouze tři minuty, což je výrazně méně než v případě tradičních metod. [54]

2.6.3 HLAVY VÁLCŮ Z KOMPOZITU

Tato součást se již velmi dlouhou dobu vyrábí převážně z hliníkových slitin, které nahradily dříve hojně používané litiny. Roku 2017 ale představila automobilka Ford patent na hlavu válců motoru, která je částečně vyrobena z polymerového kompozitu. Vnitřní struktura bloku je vyrobena z litiny a nese horní část spalovacích prostorů, vodítka ventilů, ventily a také opěrné plochy pro pružiny sacích a výfukových ventilů. Ke konstrukci vnější části se využívá kompozitu. Tato část slouží k přívodu oleje do hydraulických vymezovačů ventilové vůle sacích a výfukových ventilů a také je zodpovědná za přívod oleje pro vačkové hřídele. Cílem aplikace kompozitního materiálu je snížit hmotnost této komponenty. Dříve vývojáři společnosti Ford experimentovali s návrhem hlavy válců z keramiky vyztužené uhlíkovými vlákny či z klasické keramiky. Ani jeden z těchto materiálů ale nebyl využit kvůli špatné odolnosti vůči vysoké teplotě, tlaku a obtížnému tvarování v ocelové formě. [55]

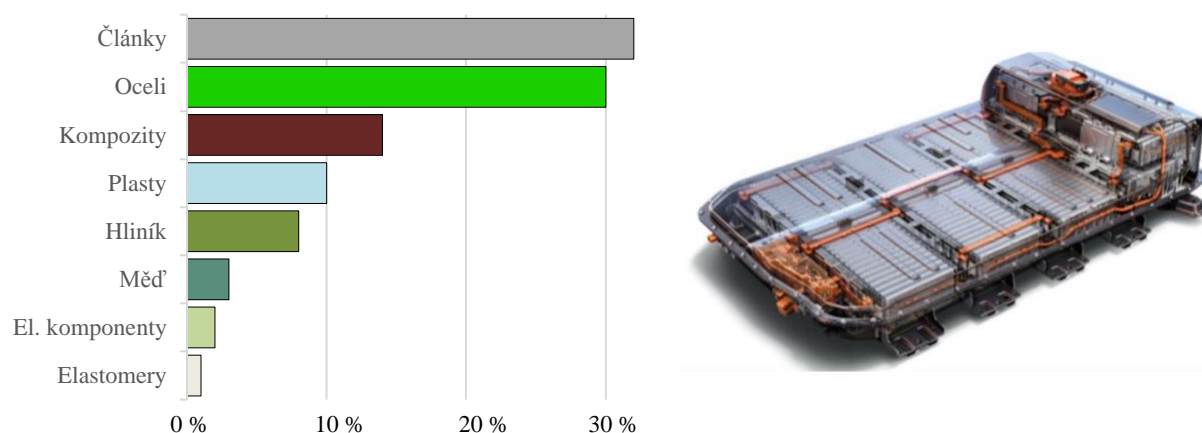
2.6.4 KATALYZÁTOR NOXICAT

Katalyzátory moderních vozů využívají k přeměně nebezpečných látek na neškodné především platiny. V automobilovém průmyslu se ročně využije asi 100 tun tohoto drahého kovu, z nichž část pochází z recyklace. Platina je ale přibližně stejně drahá jako zlato a výrazně tak zvyšuje cenu katalyzátoru. Výrobci se proto snaží omezit její využití. Nedávno vznikl katalyzátor Noxicat, ve kterém je platina kompletně nahrazena nanočásticemi. Za pomoci levnějších materiálů se vývojářům podařilo napodobit katalytické vlastnosti platiny. Výhodou tohoto katalyzátoru je kromě nízké ceny také o 45% vyšší účinnost v porovnání s konvenčními typy. [56]

2.7 MATERIÁLY AKUMULÁTORŮ ELEKTROMOBILŮ

Vozy s hybridním či plně elektrickým pohonem dnes zažívají velký rozmach. Například v Norsku je třetina nově prodaných aut čistě elektrických a velkou část trhu tvoří také v USA či Číně. Tento typ pohonu se využívá hlavně kvůli snížení emisí a lze očekávat, že jednoho dne nahradí klasické spalovací motory. Nejzajímavější část pohonného ústrojí elektromobilů tvoří akumulátory, nejčastěji typu Li-ion, které se vyrábí z velmi rozmanitého množství materiálů znázorněných v grafu. Baterie váží asi 250kg a na této hmotnosti mají nejvyšší podíl její články (80kg). Dále obsahuje velké množství oceli (75kg), kompozitních materiálů (35kg), plastů (26kg), hliníku (21kg) a mědi (7kg). Zbytek tvoří elektrické komponenty a elastomery. Z hlediska materiálů elektrod se akumulátory dělí na mnoho různých typů, z nichž ty nejběžnější jsou charakterizovány v následujících řádcích. [59]

Obr. 16 – Hmotnostní složení baterie Li-ion [59], [66]



2.7.1 OLOVĚNÉ

V nabitém stavu aktivní hmotu u kladné elektrody tvoří oxid olovičitý (PbO_2) a u záporné elektrody se využívá houbovitě olovo (Pb). Elektrolytem je vodou zředěná kyselina sírová (H_2SO_4) o koncentraci asi 35% u zcela nabitého akumulátoru. Z technických důvodů může být tento roztok nasáklý do vaty ze skelných vláken či ztužený do gelu. V průběhu vybíjení se aktivní hmota kladné i záporné elektrody přetváří na síran olovnatý ($PbSO_4$) a elektrolytu klesá koncentrace kyseliny sírové a naopak stoupá koncentrace vody. Pokud se vybitý akumulátor nechá v tomto stavu delší dobu, pak na jeho elektrodách dojde k nevratným změnám nazývaným sulfatace. Sulfatace výrazně snižuje kapacitu baterie. Proto je nutné olovený akumulátor neustále udržovat v dobitém stavu. Tento typ akumulátorů je velmi vhodný k aplikaci pro automobily díky schopnosti dát velký proud za nízkou cenu. Kvůli vysoce toxickým materiálům, ze kterých se skládají, jsou neekologické. Společně s nikl-kadmiovými akumulátory se jedná o nejhorší možnost z hlediska ochrany životního prostředí. [57]

Mezi hlavní výhody olovených akumulátorů patří cenová dostupnost. Cena olova je totiž asi desetinná v porovnání s niklem. Další výhodou je schopnost dodávat velké proudy. Mezi nevýhody patří nutnost ekologické likvidace, menší počet dobíjecích cyklů (asi 500 – 800), malá hustota energie na kilogram (30 – 40 Wh/kg) a horší účinnost dobíjení (70 – 92%). Ekologická likvidace těchto akumulátorů je již dnes velmi dobře technologicky zvládnutá. [57]

2.7.2 NIKL-KADMIOVÉ

Nikl-kadmiové baterie mají anodu tvořenou hydroxidem nikelnatým, do kterého je kvůli zlepšení vodivosti přidán grafit. Katodu tvoří hydroxid kadmia. Elektrolytem je hydroxid draselný s přísadou hydroxidu lithného. Těmto bateriím na rozdíl od olovených nevádí skladování ve vybitém stavu a jsou schopny dodávat vysoké proudy. Oproti oloveným a Li-ion akumulátorům mají nižší měrnou kapacitu. Z hlediska ekologie jsou nikl-kadmiové akumulátory nejhorší volbou společně s oloveným typem. Jedna elektroda totiž obsahuje jedovaté kadmium a proto je nutné tyto baterie řádně recyklovat. Další nevýhodou tvoří přítomnost paměťového efektu. Jedná se o stav, kdy baterie ztrácí svoji maximální kapacitu v případě, že je opakovaně dobíjena jen po částečném vybití. [57]

Mezi hlavní výhody těchto akumulátorů patří možnost skladování ve vybitém stavu, dostačující počet dobíjecích cyklů (přes 2000) a možnost nabíjení vyššími proudy. K záporným vlastnostem se řadí nižší účinnost dobíjení (66 – 90%), dražší výroba, paměťový efekt, nutnost ekologické likvidace, rychlé samovybíjení (až 20% za měsíc) a nižší hustota energie na kilogram (40 – 60 Wh/kg). [57]

2.7.3 NIKL-METAL HYDRIDOVÉ

Kladnou elektrodu nikl-metal hydridového akumulátoru tvoří nikl, zápornou hydrid směsi kovů. Elektrolytem je draselný louh. Tyto baterie se chlubí dvojnásobnou až trojnásobnou kapacitou oproti nikl-kadmiovému typu. Mezi další klady patří schopnost dodávky velkého proudu, nízká cena, dobrá ekologičnost a schopnost udržet garantované napětí až do úplného vybití baterie. K nevýhodám se řadí nižší hustota energie na kilogram (30 – 80 Wh/kg), nižší účinnost dobíjení (66%), paměťový efekt, nižší počet dobíjecích cyklů (asi 1000) a u některých typech rychlejší samovybíjení (až 20% za měsíc). [57]

2.7.4 LI-ION

Jde o typ nabíjecí baterie, ve které dochází k pohybu lithiových iontů mezi anodou a katodou. Katodu tvoří směs kysličníků lithia s jiným kovem a anodu uhlík se směsí dalších chemikálií. Elektrolytem je směs esterů. Mezi hlavní nevýhody těchto baterií patří výrazné stárnutí, které hodně snižuje jejich kapacitu. Stárnutí Li-ion baterií závisí na teplotě skladování. Při teplotě 20°C kapacita poklesne o 20% za rok a při teplotě 40°C až o 40% ročně. Další nevýhodou tohoto typu akumulátoru je možnost exploze při přehřátí či při připojení vyššího napětí. Mezi výhody patří nízká toxicita, vysoká hustota energie (160 Wh/kg), absence paměťového efektu, vysoká dobíjecí účinnost (80 – 90%), malé samovybíjení a možnost navrhnout tvar baterie dle konkrétních požadavků. [57]

2.7.5 LI-ION FOSFÁTOVÉ

Jedná se o speciální typ Li-ion baterie. Katoda těchto akumulátorů je vyrobena z lithium-železo-fosfátu a anoda z uhlíku. Oproti předešlému typu mají schopnost dodávat vyšší proud a při zhoršených podmínkách nevybuchují. Mezi další výhody patří vysoký počet dobíjecích cyklů (2000 – 3000), vysoká životnost (3 – 10 let), výborná dobíjecí účinnost (95%), vysoká hustota energie (80 – 120 Wh/kg), netoxicita a také poměrně nízká cena. K nevýhodám patří možnost předčasného selhání při větším množství vybití pod 33% a nedělá jim dobře rychlé nabíjení. Jsou velmi vhodné pro aplikaci v elektromobilech. [57]

2.7.6 EKOLOGIČNOST AKUMULÁTORŮ

Vozy s čistě elektrickým pohonem neprodukují žádné emise, takže by se mohlo zdát, že jsou velmi šetrné k životnímu prostředí. Existuje ale několik problémů, kvůli kterým tomu tak není. Během výroby elektromobilů je vyprodukováno až o 50% více CO₂ ve srovnání s klasickými auty. Tuto skutečnost způsobuje hlavně materiálové složení akumulátorů. Následující tabulka dává představu o ekologičnosti výroby tří typů vozů, a to Mercedesu A170, Škodě Octavii 1.9 TDI a elektrickém Nissanu Leaf. [60]

Tab. 6 – Ekologičnost výroby různých vozidel [60]

Název vozidla	Mercedes A170	Škoda Octavia TDI	Nissan Leaf
Produkce CO ₂ během výroby vozu	6200 kg	6725 kg	7625 kg
Produkce CO ₂ během výroby baterie	0 kg	0 kg	6006 kg
Celková produkce CO ₂ během výroby	6200 kg	6725 kg	13636 kg

Dalším problémem elektromobilů je ekologická likvidace baterií. Nejhojněji nachází uplatnění různé Li-ion akumulátory, které se považují za nevhodné při poklesu kapacity pod 80%. Při recyklaci bateriových článků je nejčastěji využívána pyrometalurgická technologie a ve fázi testování se nachází hydrometalurgické procesy. Pyrometalurgie je založena na tepelném a elektrickém procesu, při kterém se získává kobalt, nikl či měď. Získávání lithia recyklací je ale finančně mnohem dražší. Proto se dnes spousta lithia jednoduše vyhodí a vytěží nové. Lithium lze recyklovat pomocí hydrometalurgie, která je ale méně produktivní než pyrometalurgie. Probíhá za nízkých teplot, což má příznivý dopad na ekologičnost recyklování. [58], [61]

2.7.7 BUDOUCNOST AKUMULÁTORŮ

Vědci na celém světě již roky zkoumají možnosti výroby baterií typu kov-vzduch. Ke konstrukci anody testují čistou formu lithia, železa, hliníku, hořčíku či zinku. Největší teoretickou hustotu energie slibuje baterie typu lithium-vzduch, konkrétně 11,1 kWh/kg. Tato hodnota se blíží benzínu, který má 13kWh/kg. Lithium-vzduchové baterie fungují tak, že vydávají energii oxidací lithiových desek, tedy vstřebáváním kyslíku. Při nabíjení probíhá tato reakce opačně. Výzkumníci zaměřují pozornost na čtyři druhy těchto baterií, které se od sebe odlišují typem elektrolytu. Existuje aprotický, vodný, pevný a hybridní elektrolyt. Aprotický elektrolyt je složen ze směsi soli lithia rozpuštěné v aprotickém rozpouštědle. Vědcům dělá problémy stabilita takového elektrolytu, zejména pak při rychlém nabíjení. Velmi nadějně se tváří také vodný elektrolyt. Zde musí být vyřešen nulový kontakt lithia s vodou.

Intenzivně se pracuje také na hliník-vzduchových člancích, které poskytují teoretickou hustotu energie až 8,1 kWh/kg. Výhodou těchto baterií by byla snazší recyklace, vyšší bezpečnost a také nižší cena oproti lithiovému typu. Problémem je fakt, že hliník při provozu nevratně oxiduje a k nevratným změnám dochází také v elektrolytu. Nedávno ale vědci uvedli, že vyvinuli takový elektrolyt, který v baterii cirkuluje a zůstává funkční. Změnili totiž chemické složení elektrolytu, kde oxidy manganu doplnili o stříbrné nanočástice. [63] až [66]

3 MATERIÁLY PODVOZKOVÝCH KOMPONENT

Podvozek se stará o bezpečnou a plynulou jízdu automobilu po různém povrchu. Jeho úkolem je poskytovat dobrou ovladatelnost vozidla, přenášet hnací momenty od motoru na silnici a zajišťovat komfort posádky. Lze jej rozložit do pěti částí – zavěšení kol, odpružení, brzdy, kola a řízení. Podvozkové komponenty jsou často velmi namáhány a musí se proto konstruovat z odpovídajících materiálů. Řada z nich navíc spadá do neodpružených částí vozidla, takže je nutné tyto součásti konstruovat co nejlehčí. V současné době převažuje využívání ocelí, litin a slitin hliníku. Důraz na snižování hmotnosti a zlepšování jízdních vlastností vozidel zapříčiňuje vývoj podvozkových komponent z kompozitních materiálů. Nedávno došlo k premiéře pružiny z kompozitů a v budoucnu lze očekávat představení nápravnic z tohoto materiálu. Pro závodní či sériové sportovní vozy se některé komponenty konstruují z hořčíku či titanu. V samostatných podkapitolách budou zmíněny také materiály pláště a brzdových destiček. [20]

3.1 OCEL

Oceli nachází uplatnění při konstruování mnoha různých komponent podvozku. Velmi známá je jejich aplikace k výrobě odpružení vozidla. Pro výrobu listových pružin, vinutých pružin a torzních tyčí se využívá pružinové oceli. Tyto oceli musí splňovat několik kritérií, mezi které patří například dobrá odolnost vůči únavě, vysoká mez pružnosti a nízký obsah nekovových vměstků. Pružinové oceli mohou být legovány chromem, který zvyšuje prokalitelnost a tvrdost. Dále křemíkem zlepšujícím elasticitu či odolnost proti popouštění. Legury manganu zlepšují pevnostní vlastnosti a snižují tažnost. Vanad zase zjemňuje zrna a molybden zlepšuje prokalitelnost. [20], [92]

Listové pružiny – vyrábí se kováním z vysoce legovaných ocelí tříd 13 – 16. Příkladem je pružinová ocel 14 260 zušlechtná na pevnost 1500 – 1800 MPa, kterou charakterizuje vysoká houževnatost. Mezi výhody listových pružin patří spolehlivost a výborná odolnost, díky které nachází uplatnění především u užitkových a nákladních vozů. K nevýhodám se řadí konstrukční složitost, velké rozměry a náročnost na údržbu. [20]

Vinuté pružiny – patří k nejpoužívanějším pružinám u osobních automobilů. Protože vinuté pružiny nemají vnitřní tření, tak je charakterizuje lineární závislost mezi zatěžovací silou a deformací. Kvůli tomu je nutno zařadit do konstrukce také tlumící prvky. Vinuté pružiny se vyrábí z ocelí tříd 14 – 16, které jsou legovány křemíkem, vanadem či chromem. Jejich povrch se zpevňuje kuličkováním. Vinuté pružiny charakterizuje konstrukční jednoduchost, nenáročnost na údržbu a spolehlivost. K nevýhodám se řadí větší prostorová náročnost a neschopnost vést nápravu. [20]

Torzni tyče – využití nachází zejména na zadní nápravě osobních vozů. Musí se konstruovat z materiálu odolného vůči krutu a zároveň povrchově tvrdého. Těmto požadavkům vyhovují nízko a středně legované oceli, které je možné tepelně zpracovávat. Využívají se například oceli 14 260, 15 230 či 16 640, které jsou zušlechtny na pevnost 600 – 1000 MPa. Jejich povrch se upravuje kuličkováním a jemným broušením, čímž lze zvýšit odolnost materiálu proti prasknutí. Tento typ pérování má řadu výhod, například dobrou odolnost, bezúdržbový provoz či záběr malého množství prostoru v porovnání s vinutými pružinami. Dále stojí za zmínku také snadná nastavitelnost světlé výšky pomocí stavěcích šroubů, které mění předpětí v pružině a to vyvolá změnu výšky. U některých vozidel se toto nastavení provádí pomocí elektromotorů, čímž je dosaženo lepší reakce na zátěž či stav vozovky. Nevýhodou torzních tyčí je nemožnost zajištění progresivní charakteristiky odpružení. [20], [34]

Další využití nachází ocel při výrobě disků. Ty se vyrábí pomocí plechů z dvoufázových ocelí, které jsou složeny z feritu, martenzitu a zbytkového austenitu. Oblast martenzitu poskytuje skvělou pevnost a zbytkový austenit dobrou tváritelnost. Dále tyto oceli charakterizuje snadná svařitelnost a odolnost vůči únavě. Kromě nízké ceny nabízí ocelové disky také dobrou odolnost vůči posypovým materiálům a lepší ochranu brzd před létajícími kamínky v porovnání s hliníkovým typem. K nevýhodám patří horší chlazení brzd a vyšší hmotnost. Vyšší hmotnost těchto disků má negativní vliv na jízdní vlastnosti vozidla. [35], [80]

Ocel hraje hlavní úlohu také při konstrukci nápravnic. Ty musí být dostatečně tuhé, pevné a musí umožňovat přesné vedení kol. Nápravnice je důležité konstruovat co nejlehčí, neboť patří do neodpérovovaných částí vozidla. Vyrábí se jako zápusťkový výkovek s profilem I, který na obou koncích přechází do plného kruhového, oválného či obdélníkového profilu. Další možností je produkce nápravnic z bezešvých trubek. Z ocelí se ještě vyrábí také ramena, stabilizátory, brzdové čelisti či membránové pružiny. [20]

3.2 HLINÍK

Slitin hliníku se využívá především ke konstrukci nápravnic, které charakterizuje nižší hmotnost oproti ocelovému typu. Takováto nápravnice lépe eliminuje vibrační síly a zajišťuje lepší jízdní vlastnosti. K jejich výrobě se uplatňují tepelně odolné slitiny Al-Mg, například AlMg3Mn či AlMg3,5Mn. [93]

Zadní nápravnice – příkladem vozu, který má zadní nápravnici ze slitin hliníku, je BMW řady 5. Skládá se z hydroformovaných trubek a hlubokotažných plechů spojovaných svařováním metodou MIG. Trubky podélně švově svařované tvoří asi 70% podílu na nápravnici a zbylých 30% zaujímají hlubokotažné plechy válcované za studena. Komplexního tvaru trubek je dosaženo pomocí 3D ohýbání, vhodného předtvarování a finálního hydroformování. Využití nachází slitiny hliníku AlMg3,5Mn a AlMgSi0,5. Nápravnice váží jen 11,5 kg a přináší úsporu hmotnosti 40% ve srovnání s ocelí. Duté nosné trubky zajišťují vysokou ohybovou a torzní tuhost, což minimalizuje negativní vliv nižšího modulu pružnosti hliníku. [93]

Tab. 7 – Mechanické vlastnosti materiálů nápravnice BMW 5 [93]

Materiál	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
Hliníkové trubky	>105	>240	$A_5 > 18$
Hliníkové plechy	>190	>270	$A_5 > 8$

Jiný způsob výroby byl použit pro zadní nápravnici vozu Mercedes-Benz třídy S. V tomto případě jsou komponenty nápravnice vyrobeny převážně z hlubokotažného hliníkového plechu a několika výlisků. Podélné členy a zadní příčný nosník sestávají z dutých konstrukcí, které se vyrábí montováním poloskořepin dohromady. Takováto nápravnice váží pouze 12,5 kg a je tak o 40% lehčí než ocelová. K produkci se využívá slitin hliníku AlMgSi0,5 a AlMg3Mn. [93]

Přední nápravnice – příkladem může být dvojitá kloubová přední nápravnice vozů BMW, která je o 30% lehčí než ocelový typ. Hliníková konstrukce je natolik stabilní, že přední kola mají vždy optimální trakci na povrchu vozovky, což vozidlu zajišťuje skvělé jízdní vlastnosti. Dalším autem využívajícím hliníkovou přední nápravu je Volkswagen Lupo. V tomto případě se využila velice jednoduchá skládaná plechová konstrukce. Po vícestupňovém hlubokém tažení a lisování je hliníkový plech složen tak, aby vznikl dutý příčný člen. K příčnému členu se připojují hliníkové konzoly a kovaná řídicí ramena. Konečná hmotnost této nápravnice je 2,6 kg, což je o 45% méně než v případě ocelového typu. K výrobě plechů se využívá hliníkové

slitiny AlMg3Mn. Takovéto plechy poskytují smluvní mez kluzu vyšší než 85 MPa, mez pevnosti přes 215 MPa a tažnost vyšší než 17%. [93]

Dále se ze slitin hliníku vyrábí hliníkové disky. K jejich produkci se využívá slitiny s názvem dural, který má mírně vyšší hustotu než čistý hliník, ale mnohem větší pevnost v tahu a tvrdost. Dural je složen převážně z hliníku (95,8 – 98,6%), dále z manganu (0,8 – 1,2%), křemíku (0,4 – 0,8%), mědi (0,15 – 0,4%) a chromu (0,04 – 0,35%). Výroba disků probíhá tak, že se nejdříve odlévají gravitačním nebo nízkotlakým litím a poté se na ně nanese ochranná vrstva laku. Další možnou technologií výroby je kování. Takovéto hliníkové disky jsou pevnější a lehčí než ty vyrobené litím, ale také mnohem dražší. Mezi kladné vlastnosti hliníkových disků patří dobré chlazení brzd, nízká hmotnost a zajišťují lepší jízdní vlastnosti oproti ocelovému typu. Naopak k záporným vlastnostem patří nižší odolnost vůči posypovým materiálům v zimním provozu a také nižší tuhost. Kvůli nižší tuhosti hliníku je nutné utahovat matice kol s citem a dávat pozor při parkování u obrubníku. Slitin hliníku se využívá také k výrobě ramen. [80], [81], [84]

3.3 LITINA

Různé druhy litin nachází uplatnění především při výrobě bubnových a kotoučových brzd. Bubnové brzdy se využívají na zadní nápravě levných vozů. Materiál brzdového bubnu musí mít dobrou stálost rozměrů, tepelnou vodivost a odolnost proti otěru. Těmto podmínkám vyhovují různé druhy šedé litiny, temperované litiny či ocelolitiny. Třecí plochy je nutno upravit jemným soustružením nebo broušením. Také u modernějších kotoučových brzd konstruktéři upřednostňují litiny před jinými materiály. Využití nachází hlavně šedá litina kvůli nízké ceně a jednoduché výrobě. Existují ale alternativy v podobě Al-MMC slitin či keramiky vyztužené uhlíkovými vlákny, které vozidlu poskytují kratší brzdnou dráhu. [20], [72]

3.4 HOŘČÍK

Hořčíkové slitiny nachází uplatnění na discích sportovních automobilů. Diskům z tohoto materiálu se říká elektrony, protože jsou tvořeny stejnojmennou slitinou 90% hořčíku a 10% hliníku. Do slitiny mohou být namíchány i přísady zinku a manganu. Tyto disky se vyznačují vysokou pevností a zároveň nízkou hmotností. Jejich hustota činí pouze 1,8 g/cm³. Mezi nevýhody patří vysoká cena a horší korozivzdornost. Mohou začít korodovat zevnitř a poté prasknout. Další špatnou vlastností disků z hořčíkových slitin je jejich hořlavost, kvůli které byly na některých závodech úplně zakázány. [80], [82]

Obr. 17 – Disk vyrobený z hořčíkové slitiny [80]



3.5 KOMPOZITY

Kompozity se dnes uplatňují při výrobě pružin a brzdových kotoučů. V nedávné době došlo k představení prvních pružin z kompozitů vyztužených skelnými vlákny. Jádrem takovéto pružiny tvoří dlouhá vzájemně stočená skelná vlákna impregnovaná epoxidovou pryskyřicí, na které se navijí další vlákna střídavě pod úhlem $+45^\circ$ a -45° k podélné ose. Jejich jednoznačnou výhodou je nízká hmotnost. Uvádí se, že pružina z oceli váží 2,7 kg, zatímco pružina z kompozitu jen 1,6 kg. Dále vylepšují jízdní vlastnosti, komfort cestování a nepodléhají korozi. V současné době je tento typ pružin velmi neobvyklý, využití nachází pouze u sportovních Renaultů či u Audi A6. Bohužel stejně jako u kompozitů z uhlíkových vláken platí, že také kompozity ze skelných vláken recyklací ztrácí své vlastnosti a nepůjdou tak opětovně aplikovat ke konstrukci pružiny. [68]

Obr. 18 – Srovnání kompozitní a ocelové pružiny [68]



Další aplikací kompozitních materiálů tvoří brzdové kotouče. Využívá se slitiny Al-MMC či keramiky vyztužené uhlíkovými vlákny. Slitina Al-MMC značí hliníkový kompozit s kovovou maticí. Ve srovnání s šedou litinou vyniká nižší hmotností, lepšími vlastnostmi při vysokých teplotách a vyšší specifickou tuhostí a pevností. Mezi nevýhody patří obtížná obrobitelnost, horší recyklační vlastnosti a také cena, která brání většímu rozšíření. [20], [73]

Keramické brzdové kotouče nachází uplatnění především u sportovních a výkonných vozů. Oproti litinovým kotoučům mají řadu výhod, například o polovinu nižší hmotnost, vyšší tepelnou stabilitu, větší odolnost vůči poklesu brzdového účinku, nepodléhání korozi a také životnost. Dosahují životnosti až 300 000 km, což je přibližně stejně jako plánovaná životnost vozidel. Keramický kotouč je tvořen karbidem křemíku (SiC), který je nejtvrdějším a nejlehčím keramickým materiálem. SiC charakterizuje výborná tepelná vodivost, malá tepelná roztažnost a také chemická odolnost. Odolává teplotě až 1400°C . Při využití těchto kotoučů musí být upravena celá brzdová soustava včetně tvrdších brzdových destiček. Existují dva druhy keramických brzdových kotoučů – CCB (Carbon Ceramic Brake) a CCM (Carbon Composite Material). Jejich společným rysem je kotouč vyztužený uhlíkovými vlákny. Kotouče CCB využívá koncern Volkswagen a Mercedes-Benz. Modernější CCM kotouče nemají dodatečnou třecí vrstvu a montují se například do aut od Ferrari, Aston Martinu, Maserati či Jaguaru. [75]

Tab. 8 – Porovnání vlastností materiálů brzdových kotoučů [73]

Materiál	ρ [g/cm ³]	λ [W/mK]	α [10^6 K^{-1}]
Šedá litina (3,7% C)	7,8	62	10 – 13
Al-MMC	2,7	182	18 – 25
Karbonový kompozit	1,7	300	0,1 – 1,5

3.6 TITAN

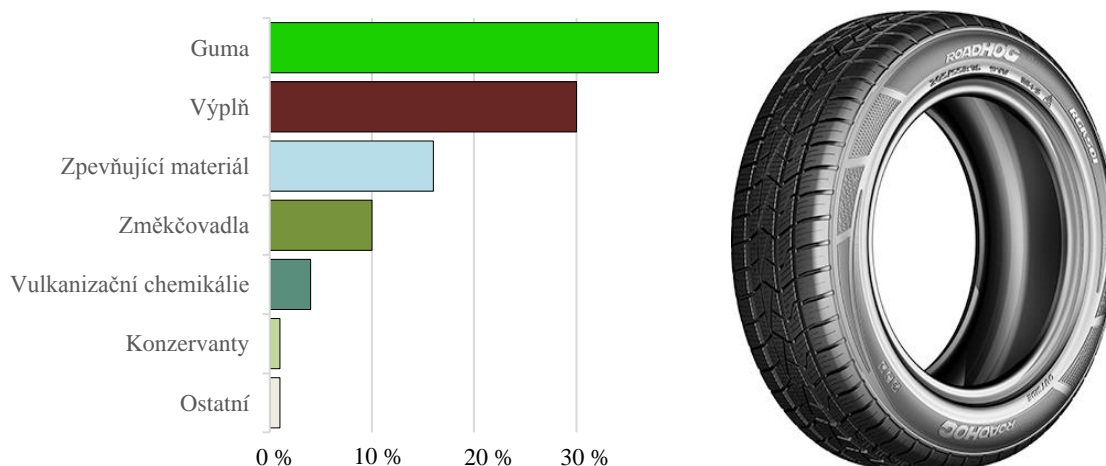
Tento pevný a velmi lehký materiál nachází uplatnění na ramena závodních vozů. Titanová ramena se během závodu téměř nekrotí a dobře drží nastavené vlastnosti. Zajišťují vysokou tuhost podvozku. Soutěžní vozy mají ze slitin titanu často vyrobené také poloosy. [69]

3.7 MATERIÁLY PLÁŠŤŮ

Mezi základní vstupní suroviny potřebné k výrobě pláště patří pryž, kordy a různé typy vláken. Pryž má podíl zhruba 80%, různé typy vláken tvoří asi 16% a ocelové a speciální kordy mají podíl přibližně 4%. Dnešní konstrukce pláště využívají moderních materiálů, mezi které patří například polymery, elastomery, maziva či viskózní, polyamidová, polyesterová a ocelová vlákna. [20]

Při výrobě pláště je velmi důležitý kaučuk. Existuje v syntetické a přírodní podobě. Syntetický kaučuk je získáván zpracováním koksárenských produktů a ropy. V mnoha oblastech převyšuje přírodní typ, například nabízí vyšší odolnost při styku s oleji či některými ropnými produkty a vyšší odolnost proti vysokým a nízkým teplotám. Přírodní kaučuk totiž při vyšších teplotách měkne a při nízkých teplotách ztrácí pružnost a tvrdne. Proto se do něj musí přidávat další chemické komponenty tak, aby výsledné vlastnosti pryže odpovídaly požadavkům na kvalitu pláště. Přírodní kaučuk je získáván z latexového mléka kaučukovníku. Nové vlastnosti kaučuku lze získat pomocí vulkanizace. Před tímto procesem je ale nutné do materiálu přidat další látky, které zajistí nezbytnou pevnost, pružnost a odolnost vůči chemikáliím, povětrnostním vlivům a stárnutí. Těmito dalšími látkami jsou myšlena vulkanizační činidla, aktivátory, plnidla, antioxidanty, změkčovadla či ztužovadla. Do směsi se přidává jako plnidlo také síra a uhlík ve formě sazí. Uhlík ve formě sazí má kromě funkce plnidla také funkci aktivátoru pro dobré smíšení látek. Moderní je využívání směsi s názvem silika. Tato směs je založena na bázi křemíku a pláštům poskytuje vyšší životnost. [20]

Obr. 19 – Materiálové složení konvenční pneumatiky [83], [85]



Pláště s technologií ContiSeal – běžný plášť při defektu ztrácí svou funkci a je nutné jej okamžitě vyměnit. Existují ale pláště s technologií ContiSeal, která zajišťuje okamžité zacelení průpichů běhounu bez ztráty tlaku. Tato technologie využívá lepidloviskózní těsnicí vrstvy, která se aplikuje do vnitřního prostoru v oblasti běhounu. Výborně funguje v momentě, kdy se do pláště zapichne hřebík či jiný předmět o průměru menším než 5 mm. S vozem lze pokračovat v jízdě bez omezení rychlosti a dojezdové vzdálenosti. [89]

3.8 MATERIÁLY BRZDOVÝCH DESTIČEK

Kvalita materiálů používaných k výrobě brzdových destiček hraje důležitou roli v délce brzdné dráhy vozidla. Klade se na ně mnoho požadavků pramenících z důležitosti této komponenty:

- vysoká tepelná a mechanická pevnost
- necitlivost vůči vodě a nečistotám
- vysoká životnost
- nízké náklady na výrobu
- šetrnost k životnímu prostředí
- dobrý akustický komfort
- odolnost vůči vzniku sklovité povrchové vrstvy při vysokém tepelném zatížení
- stálý součinitel tření při vysokých teplotách a kluzných rychlostech (jedná se o omezení slábnutí brzd neboli fadingu) [20]

K výrobě obložení je využíváno různých třecích materiálů, které se liší třecím koeficientem, tepelnou odolností a akustickým komfortem. Existují následující typy obložení:

Polokovové – obložení je ze 30 – 65% tvořeno kovy. Skládá se z nasekané mědi, železného prachu a ocelové vlny smíchané s modifikátory tření. Brzdové destičky s polokovovým obložением mají výbornou tepelnou vodivost a životnost. Mezi negativa patří větší opotřebení brzdových kotoučů a hlučnost.

Organické – třecí materiál je tvořen vlákny organických látek, například gumou, sklem, uhlíkem, kevlarom a plnidly. Takovéto brzdové destičky jsou měkčí a méně hlučné než polokovové, ale rychleji se sjíždí a hodně praší.

Nízkokovové – obložení je vyrobeno z organických látek s příměsí mědi (10 – 30%) nebo ocelové vaty. Tyto příměsi zvyšují tepelnou vodivost. Mínusem je hlučnější chod.

Keramické – třecí materiál je vyroben z keramických vláken a plnidel. Takové brzdové destičky se vyznačují tichým a čistým chodem, výbornou účinností a také vyšší cenou. [76]

Součástí, na které je přilepeno brzdové obložení, se říká opěrná deska. Ta je vyrobena z rovné měkké oceli o tloušťce 3 mm pro lehčí osobní automobily či 7 mm pro užitkové vozy. V motorsportu mohou být opěrné desky vyrobeny také ze slitin hliníku. Z důvodu dostatečné tuhosti je nutné tento typ konstruovat ze silnějších plechů. [74]

3.8.1 EKOLOGICKÉ BRZDOVÉ DESTIČKY

V dnešní době se čím dál více mluví o postupném omezování mědi v brzdových destičkách kvůli její škodlivosti vůči životnímu prostředí. Vědci totiž upozornili na fakt, že polovina ze 60 tun mědi, které ročně znečišťují Pugetův záliv, připadá na prach z brzdových destiček. Negativní vliv na ekologii mají také další přísady jako zinek a antimon. Americké legislativní požadavky říkají, že do roku 2021 musí být obsah mědi v brzdových destičkách menší než 5% a do roku 2025 menší než 0,5%. Omezit se má také používání zinku a antimonu.

Tyto požadavky dokáží už dnes plnit brzdové destičky Ferodo Eco-friction. Ty jsou složeny z třiceti různých materiálů, které zahrnují řadu sulfidů kovů, nerostných látek, abraziv, vláken, keramických částic a tuhy. Kromě skvělé ekologičnosti se tyto destičky chlubí také dobrou brzdou dráhou a nízkou cenou. Testy prokázaly, že ekologické brzdové destičky bez mědi vykazují vyšší účinnost než klasický typ. [70], [71], [77]

3.9 BUDOUCNOST PODVOZKOVÝCH KOMPONENT

3.9.1 NÁPRAVNICE Z KOMPOZITŮ

Společnost Magna je zodpovědná za koncept nápravnice vyrobené z kompozitů vyztužených uhlíkovými vlákny. Uvádí se, že tvarově i rozměrově obdobná nápravnice vyrobená z kompozitu je o 34% lehčí než ocelová. Další výhodou tohoto řešení je podstatné zjednodušení výroby. Běžné nápravnice jsou dnes složeny z až 45 různých částí, které je nutno svařit do požadovaného tvaru. Nápravnice od Magny obsahuje pouze šest komponent, které se k sobě lepí či nýtují. Nevýhodou takovéto součásti bude vyšší cena, která zapříčiní její využití pouze pro sportovní či luxusní vozy. Dalším záporem je nemožnost využití recyklovaného kompozitu ke stavbě nápravnice nové. [67]

Obr. 20 – Koncept nápravnice od firmy Magna [86]



3.9.2 DISKY Z TITANU

V současnosti probíhá projekt disků vyrobených z titanového prášku. Jejich střed tvoří celkem šest dílů, které jsou titanovými šrouby připevněny k límci z karbonu. Kompletně titanové tedy tyto disky nejsou. Vyrábí se novou technologií 3D tisku nazvanou HRE3D+, která výrazně omezuje množství odpadu při výrobě. U konvenčního hliníkového disku se během produkce odstraňuje až 80% materiálu, zatímco v případě titanového pouze 5%. Toto drobné množství materiálu je následně recyklováno. Jednotlivé díly disku se spojují metodou elektronového paprsku, který způsobuje roztátí titanového prášku. Výsledek je poté ručně vybroušen a vzhledem k výborné korozivzdornosti titanu není nutné aplikovat žádné ochranné nátěry. Z důvodu případné extrémně vysoké ceny těchto disků nelze očekávat jejich aplikaci u konvenčních automobilů. Předpovídají ale možný směr, kterým se v nadcházející době budou ubírat disky určené pro supersportovní či luxusní vozy. [87], [88]

3.9.3 PLÁŠTĚ Z PAMPELIŠEK

Moderní pláště pro osobní vůz obsahují 10 – 30% přírodního kaučuku a verze pro nákladní automobily dokonce více než 40%. Očekává se, že v budoucnosti nebude možné toto množství nahradit umělými materiály. Proto firma Continental zkoumá možnosti získávání přírodního kaučuku z nekonvenčních zdrojů. Její zaměstnanci přišli na fakt, že kořen některých druhů pampelišek obsahuje latex s vysokým obsahem přírodního kaučuku. Kvalita gumy z kořene pampelišek je stejně dobrá jako kvalita gumy z kaučukovníku. Tato skutečnost by umožnila pěstování přírodního kaučuku v přímé blízkosti továren na pláště, což by mělo pozitivní vliv na životní prostředí a také na cenu výrobku. Pampelišky totiž lze pěstovat i v mírném pásu a zároveň v oblastech s málo úrodnou půdou, zatímco kaučukovník roste pouze v úzké oblasti

okolo rovníku. Pro zpracování pampelišek ale neexistují žádné standardní zemědělské stroje. Vývojáři se proto snaží upravovat stávající techniku tak, aby šlo z pampeliškového kořene snadno získat latexové mléko. Již dnes existují prototypy pláštů vyrobených z pampelišek, které vykazují stejně dobré provozní vlastnosti jako klasické typy. Do sériové výroby se dostanou v horizontu pěti až deseti let. [90], [91]

3.9.4 BEZVZDUCHOVÉ PLÁŠTĚ

V nadcházejícím období dojde také k představení prvních bezvzduchových pláštů pro osobní automobil. Ty už dnes nalézají využití u nízkorychlostních strojů, mezi které patří těžká vojenská a průmyslová technika či golfové vozíky. Jsou složeny kompletně ze syntetického polyuretanu, který vzniká polyadici izokyanátů a vícesytných alkoholů. Jedná se o pružný materiál velice podobný pryži, který je odolný vůči otěru a také poskytuje dobrou adhezi k jiným materiálům. Důvodem, proč zatím nenašel uplatnění v automobilovém světě, je jeho sklon k zahřívání při vysokých rychlostech. Při zahřívání polyuretan měkne a dochází ke zhoršení jízdních vlastností. Dalším problémem je tvrdnutí tohoto materiálu za nízkých teplot. Výrobci pneumatik se snaží tyto nedostatky eliminovat a vytvořit tak první sériovou bezvzduchovou pneumatiku pro osobní vůz. Takováto pneumatika by nevyžadovala dofukování a kontrolu tlaku, dále by měla skvělé schopnosti pohlcovat terén a vysokou odolnost. Zvýšil by se i komfort cestování.

Firma Michelin má už čtrnáct let v nabídce bezvzduchovou pneumatiku jménem Tweel určenou pro těžké vojenské a nákladní stroje, které se pohybují nízkou rychlostí. Tyto stroje využívají pouze silných stránek pneumatik z polyuretanu, mezi které patří například průchodnost terénem a odolnost. [20], [78], [79]

Obr. 21 – Bezvzduchová pneumatika určená pro testy [78]



ZÁVĚR

Současné vozy se vyrábí z velmi rozmanitého množství materiálů. Jejich inovace probíhá především kvůli lepší bezpečnosti, spolehlivosti a nižším emisím. Tyto trendy budou pokračovat i v nadcházející době, neboť se zpřísní nárazové testy a také emisní limity. Nutnost použití ještě pevnějších a zároveň lehčích materiálů zapříčiní vznik nových druhů ocelí, slitin hliníku či rozsáhlejší aplikaci nekonvenčních materiálů.

Konvenční vůz blízké budoucnosti bude i nadále složen především z materiálů na bázi železa, které čeká vylepšení jak po stránce mechanických vlastností, tak z hlediska redukce hmotnosti. Díky velkým zásobám železné rudy na naší planetě nehrozí nedostatek těchto materiálů a problémy nedělá ani recyklovatelnost. Ta ale dělá potíže řadě kompozitních materiálů. Současné kompozity totiž recyklací ztrácí své vlastnosti a nelze je tak opětovně použít k namáhaným částem vozidla. Tento fakt neprospívá životnímu prostředí a také zvyšuje cenu součásti. Bude proto nutné vyvinout kompozit s lepšími recyklačními vlastnostmi a nebo vymyslet lepší recyklační proces stávajících kompozitů. Poté mohou tyto velmi lehké materiály nalézt rozsáhlejší uplatnění. Dalším velmi rozšířeným prvkem v automobilovém světě je hliník. Ten se bude i nadále hojně aplikovat na motorové a podvozkové díly. Zároveň si myslím, že doba celohliníkových karoserií skončila, neboť díky vývoji ocelí už nepřináší takové výhody jako dříve. Zajímavou volbou, jak ušetřit několik desítek kilogramů hmotnosti, by mohla být širší aplikace hořčíku. Musí se ale vyřešit problémy způsobené chemickými vlastnostmi těchto slitin. Může se zdát, že širší využívání plastů by také mohlo vést ke snížení hmotnosti vozidla. Plasty ale svými vlastnostmi vůbec nevyhovují požadavkům na materiály podvozkových komponent, motoru či skeletu karoserie. Budou se tak i nadále využívat jen v omezené míře na některé vnější panely karoserie či interiéry.

Na poli využívaných materiálů tedy v blízké době neočekávám zásadnější změny. K těm ale pravděpodobně dojde v oblasti koncepce pohonu. Elektromobily se v poslední době rojí jako houby po dešti, neboť velký vývoj akumulátorů zlepšil jejich každodenní použitelnost. Reálný dojezd nejlepších moderních elektromobilů dosahuje téměř 500 km, což už není daleko od konvenčních aut. Problémy zatím dělá ekologičnost takovýchto vozů. Ty sami o sobě sice nevypouští žádné emise, ale jejich výroba je náročnější a také recyklace použitých Li-ion baterií zatím není dokonale zvládnutá. Jistým východiskem by mohly být hliník-vzduchové baterie, které jsou ve fázi vývoje. Dalším adeptem na provedení revoluce v automobilovém světě jsou bezvzduchové pláště. Jejich velkou výhodou je skvělá životnost a minimální údržba. Už dnes se tyto pláště používají u pomalejších nákladních strojů či golfových vozíků a probíhá jejich intenzivní vývoj pro použití u osobních vozů.

Vzdálenější budoucnost bude podle mě patřit biologicky rozložitelným materiálům, neboť výrobci automobilů budou klást čím dál větší důraz na ochranu životního prostředí. Takové materiály by se dokázaly recyklovat samy od sebe, což by výrazně eliminovalo emise. Dále stojí za zmínku také ekologičtější výroba v porovnání s ocelí či hliníkem. Již v dnešní době existují prototypy, které jsou téměř kompletně složeny z těchto materiálů. Bohužel ale nedokáží splňovat současné bezpečnostní požadavky a dále jsou velice nákladné na výrobu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Michael Bowler. Klasické automobily. 1. vydání. Dobřejiovice: Rebo Productions CZ, spol. s.r.o., 2002. 304 s. ISBN 80-7234-264-9. [kniha]
- [2] David Lillywhite. Encyklopedie klasických automobilů. 1. vydání. Praha: Ottovo nakladatelství, s.r.o., 2005. 544 s. ISBN 80-7360-312-8. [kniha]
- [3] www.wikiwand.com [online]. [cit. 2019-03-25]. Benz Patent Motorwagen číslo 1. Dostupné z WWW: <http://www.wikiwand.com/cs/Benz_Patent_Motorwagen_č%C3%ADslo_1>. [webová stránka]
- [4] VLK, František. Karosérie motorových vozidel. 1. vydání. Brno: Vydavatelství a nakladatelství Vlk, 2000. 243 s. ISBN 80-238-5277-9. [kniha]
- [5] www.mmspektrum.com [online]. 13.4.2016 [cit. 2019-01-25]. Lehké konstrukce osobních automobilů – použití hliníku. Dostupné z WWW: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/lehke-konstrukce-osobnich-automobilu-pouziti-hliniku.html>>. [webová stránka]
- [6] BĚHÁLEK, Luboš. webnode.cz [online]. 2006 [cit. 2019-02-16]. PŘEHLED ZÁKLADNÍCH TERMOPLASTŮ, REAKTOPLASTŮ A TERMOPLASTICKÝCH ELASTOMERŮ. Dostupné z WWW: <<http://files.jiri-botula.webnode.cz/200000078-410ba4208a/IV.nejdůležitější%20plasty.pdf>>. [webová stránka]
- [7] www.vmplast.cz [online]. [cit. 2019-02-01]. Polypropylen - PP. Dostupné z WWW: <<https://www.vmplast.cz/sortiment/polypropylen/>>. [webová stránka]
- [8] ZEMANOVÁ, Ilona. docplayer.cz [online]. 2016 [cit. 2019-02-01]. Pevnostní materiály v karoserii. Dostupné z WWW: <<https://docplayer.cz/14385059-Pevnostni-materialy-v-karoserii.html>>. [webová stránka]
- [9] VACULÍK, Martin. www.auto.cz [online]. 16.4.2017 [cit. 2019-01-28]. Karoserie nového Audi A8: Hliník na ústupu. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/karoserie-noveho-audi-a8-hlinik-na-ustupu-105526>>. [webová stránka]
- [10] BENEŠ, Libor. <http://users.fs.cvut.cz> [online]. 15.10.2016 [cit. 2019-01-28]. SLITINY HOŘČÍKU. Dostupné z WWW: <http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/Slitiny_Mg.pdf>. [webová stránka]
- [11] HANKE, Petr. www.automobilrevue.cz [online]. 30.5.2017 [cit. 2019-01-28]. AUDI SPACE FRAME – MIX MATERIÁLŮ. Dostupné z WWW: <https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/audi-space-frame-mix-materialu_45805.html>. [webová stránka]
- [12] PODRÁBSKÝ, Tomáš. JULIŠ, Martin. NĚMEC, Karel. ime.fme.vutbr.cz [online]. [cit. 2019-01-29]. Neželezné kovy a jejich slitiny I. Dostupné z WWW: <http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prednasky/09%20-%20Nezelezne%20kovy%20A.pdf>. [webová stránka]

- [13] en.wikipedia.org [online]. 5.3.2019 [cit. 2019-03-06]. Polyvinyl butyral. Dostupné z WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_butyral> [webová stránka]
- [14] www.autosklokm.cz [online]. [cit. 2019-01-24]. HYDROFOBNI ČELNÍ SKLO. Dostupné z WWW: <<http://www.autosklokm.cz/cz/autosklo/nasi-dodavatele/dodavatel-fuyao/hydrofobni-celni-sklo/>> [webová stránka]
- [15] MAŠEK, František. www.tipcars.com [online]. 26.2.2015 [cit. 2019-01-24]. Co možná nevíte o svém automobilu: autoskla nejen pro krásný výhled na svět (6. díl). Dostupné z WWW: <<https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/co-mozna-nevite-o-svem-automobilu-autoskla-nejen-pro-krasny-vyhled-na-svet-6-dil.html>> [webová stránka]
- [16] www.agc-glass.eu [online]. [cit. 2019-01-25]. Od písku ke sklu. Dostupné z WWW: <<http://www.agc-glass.eu/cs/produkty/od-pisku-ke-sklu>> [webová stránka]
- [17] www.autosklo-hak.cz [online]. [cit. 2019-01-26]. Přehled typů autoskel. Dostupné z WWW: <<http://www.autosklo-hak.cz/prehled-typu-autoskel>> [webová stránka]
- [18] DVOŘÁK, František. www.idnes.cz [online]. 29.6.2011 [cit. 2019-01-26]. Okno auta se peče jako sendvič, ta na rollse i ferrari se vyrábí v Česku. Dostupné z WWW: <https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/okno-auta-se-pece-jako-sendvic-ta-na-rollse-i-ferrari-se-vyrabi-v-cesku.A110624_174835_automoto_fdv> [webová stránka]
- [19] VNOUČEK, Milan. www.opi.zcu.cz [online]. [cit. 2019-03-19]. Kompozitní materiály. Dostupné z WWW: <https://www.opi.zcu.cz/download/kompozity09_10.pdf> [webová stránka]
- [20] MOTEJL, Vladimír. HOREJŠ, Karel a kolektiv. Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů 3. vydání. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Littera, 2004. 620 s. ISBN 80-85763-24-9. [kniha]
- [21] MULIDRÁN, Peter. GREŠ, Miroslav. SLEZIAK, Tomáš. SPIŠÁK, Emil. www.sjf.tuke.sk [online]. 2017 [cit. 2019-02-23]. VÝVOJ NOVÝCH A INOVOVANÝCH TRIED OCELÍ POUŽÍVANÝCH NA VÝROBU KAROSÉRIE AUTOMOBILU. Dostupné z WWW: <<https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/35-2017/pdf/026-029.pdf>> [webová stránka]
- [22] drivedetailed.com [online]. 13.12.2018 [cit. 2019-02-22]. HOW TO APPLY HYDROPHOBIC COATING TO YOUR CARS GLASS. Dostupné z WWW: <<https://drivedetailed.com/how-to-apply-hydrophobic-coating-to-your-cars-glass/>> [webová stránka]
- [23] STARKE, Joachim. www.eucia.eu [online]. 19.3.2016 [cit. 2019-02-22]. CARBON COMPOSITES IN AUTOMOTIVE STRUCTURAL APPLICATIONS. Dostupné z WWW: <<http://www.eucia.eu/userfiles/files/Starke-Eucia%202016-V4-Druck%20b.pdf>> [webová stránka]
- [24] www.press.bmwgroup.com [online]. 9.5.2013 [cit. 2019-02-23]. BMW i: karbonová revoluce. 1.1 Začátek nové éry. Dostupné z WWW: <<https://www.press.bmwgroup.com/czech/article/detail/T0141596CS/bmw-i:-karbonová-revoluce-1-1-začátek-nové-éry?language=cs>> [webová stránka]

- [25] [www.press.bmwgroup.com](https://www.press.bmwgroup.com/czech/article/detail/T0141660CS/bmw-i:-karbonová-revoluce-1-2-industrializace-uhl%C3%ADkových-kompozitů-d%C3%ADky-bmw-začala?language=cs) [online]. 13.5.2013 [cit. 2019-02-23]. BMW i: karbonová revoluce. 1.2 Industrializace uhlíkových kompozitů díky BMW začala. Dostupné z WWW: <<https://www.press.bmwgroup.com/czech/article/detail/T0141660CS/bmw-i:-karbonová-revoluce-1-2-industrializace-uhl%C3%ADkových-kompozitů-d%C3%ADky-bmw-začala?language=cs>> [webová stránka]
- [26] [www.press.bmwgroup.com](https://www.press.bmwgroup.com/czech/article/detail/T0141661CS/bmw-i:-karbonová-revoluce-1-3-recyklace-uhl%C3%ADkových-kompozitů-a-bmw-i?language=cs) [online]. 14.5.2013 [cit. 2019-02-23]. BMW i: karbonová revoluce. 1.3 Recyklace uhlíkových kompozitů a BMW i. Dostupné z WWW: <<https://www.press.bmwgroup.com/czech/article/detail/T0141661CS/bmw-i:-karbonová-revoluce-1-3-recyklace-uhl%C3%ADkových-kompozitů-a-bmw-i?language=cs>> [webová stránka]
- [27] [www.press.bmwgroup.com](https://www.press.bmwgroup.com/czech/article/detail/T0141662CS/bmw-i:-karbonová-revoluce-1-4-vysoký-bezpečnostn%C3%AD-standard-uhl%C3%ADkových-kompozitů) [online]. 15.5.2013 [cit. 2019-02-24]. BMW i: karbonová revoluce. 1.4 Vysoký bezpečnostní standard uhlíkových kompozitů. Dostupné z WWW: <<https://www.press.bmwgroup.com/czech/article/detail/T0141662CS/bmw-i:-karbonová-revoluce-1-4-vysoký-bezpečnostn%C3%AD-standard-uhl%C3%ADkových-kompozitů>> [webová stránka]
- [28] [www.plasticportal.sk](https://www.plasticportal.sk/sk/kompozity-s-termoplastickou-matrici-a-automobilovy-prumysl-1-cast/c/2652/) [online]. 15.12.2014 [cit. 2019-02-23]. Kompozity s termoplastickou maticí a automobilový průmysl, 1. část. Dostupné z WWW: <<https://www.plasticportal.sk/sk/kompozity-s-termoplastickou-matrici-a-automobilovy-prumysl-1-cast/c/2652/>> [webová stránka]
- [29] [www.plasticportal.sk](https://www.plasticportal.sk/sk/kompozity-s-termoplastickou-matrici-a-automobilovy-prumysl-2-cast/c/2653/) [online]. 22.12.2014 [cit. 2019-02-23]. Kompozity s termoplastickou maticí a automobilový průmysl, 2. část. Dostupné z WWW: <<https://www.plasticportal.sk/sk/kompozity-s-termoplastickou-matrici-a-automobilovy-prumysl-2-cast/c/2653/>> [webová stránka]
- [30] [www.plasticportal.sk](https://www.plasticportal.sk/sk/kompozity-s-termoplastickou-matrici-a-automobilovy-prumysl-3-cast/c/2661/) [online]. 29.12.2014 [cit. 2019-02-23]. Kompozity s termoplastickou maticí a automobilový průmysl, 3. část. Dostupné z WWW: <<https://www.plasticportal.sk/sk/kompozity-s-termoplastickou-matrici-a-automobilovy-prumysl-3-cast/c/2661/>> [webová stránka]
- [31] BENEŠ, Libor. [users.fs.cvut.cz](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/PDF_01-Slitiny%20A1.pdf) [online]. 4.10.2013 [cit. 2019-02-25]. SLITINY HLINÍKU. Dostupné z WWW: <http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/PDF_01-Slitiny%20A1.pdf> [webová stránka]
- [32] DROZD, Zdeněk. [kdf.mff.cuni.cz](http://kdf.mff.cuni.cz/~koudelkova/U3V/Drozd_horcik.pdf) [online]. 2009 [cit. 2019-02-23]. Hořčík – materiál budoucnosti. Dostupné z WWW: <http://kdf.mff.cuni.cz/~koudelkova/U3V/Drozd_horcik.pdf> [webová stránka]
- [33] [www.openpr.com](https://www.openpr.com/news/1114594/Laminated-Glass-Market-Top-Manufactures-Potential-Revenue-Competitive-Landscape-Cost-Structure-Analysis-and-Global-Future-Prospects-2018-2025.html) [online]. 7.7.2018 [cit. 2019-02-21]. Laminated Glass Market: Top Manufactures, Potential Revenue, Competitive Landscape, Cost Structure Analysis and Global Future Prospects 2018 - 2025. Dostupné z WWW: <<https://www.openpr.com/news/1114594/Laminated-Glass-Market-Top-Manufactures-Potential-Revenue-Competitive-Landscape-Cost-Structure-Analysis-and-Global-Future-Prospects-2018-2025.html>> [webová stránka]
- [34] HAJNÝ, Ladislav. [slideplayer.cz](https://slideplayer.cz/slide/11297255/) [online]. [cit. 2019-04-19]. Zkrutné tyče a pružné bloky. Dostupné z WWW: <<https://slideplayer.cz/slide/11297255/>> [webová stránka]

- [35] FLODRMAN, J. Posouzení a optimalizace vyrobiteľnosti vybraného dílu automobilové karoserie s využitím numerických simulací. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2013. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.
- [36] www.boronextrication.com [online]. 29.5.2010 [cit. 2019-03-22]. 2010 Volvo V60 Body Structure Safety Cage. Dostupné z WWW: <<http://www.boronextrication.com/2010/05/29/2010-volvo-v60-body-structure-safety-cage>> [webová stránka]
- [37] MALKOV, A. Odporové svařování povrchově upravených plechů v automobilovém průmyslu. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta strojní, 2015. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
- [38] www.lotuscars.com [online]. 28.4. 2016 [cit. 2019-03-24]. LIGHTER, FASTER, BETTER. LOTUS CONTINUES TO LEAD IN WEIGHT LOSS RACE. Dostupné z WWW: <<https://www.lotuscars.com/news/corporate/lighter-faster-better-lotus-continues-lead-weight-loss-race>> [webová stránka]
- [39] www.lotuscars.wz.cz [online]. [cit. 2019-03-24]. Lotus Elise. Dostupné z WWW: <http://www.lotuscars.wz.cz/lotus_elise.htm> [webová stránka]
- [40] VRBKA, Jan. MECHANIKA KOMPOZITŮ. Brno 2008. 94 s. [kniha]
- [41] www.autoweb.cz [online]. 16.9.2010 [cit. 2019-03-27]. Zapomeňte na karbon! Budoucnost si říká Inrekor. Dostupné z WWW: <<https://www.autoweb.cz/zapomente-na-karbon-budoucnost-si-rika-inrekor/>> [webová stránka]
- [42] NĚMEC, Karel. slideplayer.cz [online]. [cit. 2019-02-01]. Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli. Dostupné z WWW: <<https://slideplayer.cz/slide/2736110>> [webová stránka]
- [43] www.dijkkamp.nl [online]. [cit. 2019-02-02]. CHARACTERISTICS OF GGG40. Dostupné z WWW: <<https://www.dijkkamp.nl/en/materials/ggg40-en-gjs-400-15>> [webová stránka]
- [44] vyfuky-tyll.cz [online]. [cit. 2019-02-02]. Výfuky. Dostupné z WWW: <<https://vyfuky-tyll.cz/vyfuky>> [webová stránka]
- [45] www.dpf-ftg.cz [online]. [cit. 2019-02-02]. Funkce katalyzátoru. Dostupné z WWW: <<https://www.dpf-ftg.cz/funkce-katalyzatoru>> [webová stránka]
- [46] JAN, Zdeněk. ŽDÁNSKÝ, Bronislav. AUTOMOBILY – Motory (3) 6. vydání. Brno: Nakladatelství Avid, spol. s.r.o., 2010. 180 s. ISBN 978-80-87143-15-5. [kniha]
- [47] PILÁRIK, Milan. PABST, Jiří. Automobily II. 3. přepracované vydání. Praha: Nakladatelství Informatorium, 2014. 164 s. ISBN 978-80-7333-101-6. [kniha]
- [48] publi.cz [online]. [cit. 2019-02-14]. T9 Opravy pístových spalovacích motorů. Písty a pístní kroužky. Dostupné z WWW: <<https://publi.cz/books/160/09.html>> [webová stránka]

- [49] publi.cz [online]. [cit. 2019-02-15]. T10 Opravy klikového mechanismu pístových spalovacích motorů. Dostupné z WWW: <<https://publi.cz/books/160/10.html>> [webová stránka]
- [50] PACAL, Bohumil. POSPÍŠILOVÁ, Simona. ime.fme.vutbr.cz [online]. [cit. 2019-03-02]. Základní druhy litin. Dostupné z WWW: <http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prednasky/08%20-%20Zakladni%20druhy%20litin.pdf> [webová stránka]
- [51] MACHYNKOVÁ, Jana. Vliv konstrukčních materiálů na kvalitu pitné vody v regionu Staré Město. Zlín, 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ivan Mašek
- [52] www.electrosil.com.au [online]. [cit. 2019-03-20]. Reconditioning of Aluminium Engine Blocks. Dostupné z WWW: <<https://www.electrosil.com.au/pdf/KS.pdf>> [webová stránka]
- [53] BEDNÁŘ, Marek. www.autoforum.cz [online]. 14.4.2015 [cit. 2019-03-24]. Tohle je prý motor budoucnosti, místo kovu používá plast. Dostupné z WWW: <<http://www.autoforum.cz/technika/tohle-je-pry-motor-budoucnosti-misto-kovu-pouziva-plast/>> [webová stránka]
- [54] ANDREJČÁK, Tomáš. auto.pravda.sk [online]. 12.7.2016 [cit. 2019-03-23]. Lamborghini: V Sant Agata chcú karbónové ojnice. Budú z USA. Dostupné z WWW: <<https://auto.pravda.sk/novinky/clanok/398808-lamborghini-v-sant-agata-chcu-karbonove-ojnice-budu-z-usa/>> [webová stránka]
- [55] DUSIL, Tomáš. www.auto.cz [online]. 7.2.2018 [cit. 2019-03-23]. Ford a jeho revoluční nápad: Budeme mít hlavu válců z kompozitu! Dostupné z WWW: <<https://www.auto.cz/ford-a-jeho-revolucni-napad-budeme-mit-hlavu-valcu-z-kompozitu-113238>> [webová stránka]
- [56] LITZMAN, Marek. autoroad.cz [online]. 23.8.2012 [cit. 2019-03-25]. Noxicat – levné katalyzátory s vyšší účinností jsou zajímavým výhledem do budoucnosti. Dostupné z WWW: <<https://autoroad.cz/technika/35882-noxicat-levne-katalyzatory-s-vyssi-ucinnosti-jsou-zajimavym-vyhledem-do-budoucnosti>> [webová stránka]
- [57] FRYBERT, Jan. LACKO, Ján. MUDRÁK, Petr. SLANINA, Jan. TRAUTMAN, Martin. ALTERNATIVNÍ POHONY. BRNO: Integrovaná střední škola automobilní, 2015. 128 s. ISBN 978-80-260-7548-6. [kniha]
- [58] www.kdenabijet.cz [online]. 19.11.2016 [cit. 2019-03-11]. Recyklace použitých baterií je byznys s obrovským potenciálem. Dostupné z WWW: <<http://www.kdenabijet.cz/recyklace-pouzitych-baterii-byznys-obrovskym-potencialem/>> [webová stránka]
- [59] elibama.files.wordpress.com [online]. 2014 [cit. 2019-03-05]. EUROPEAN LI-ION BATTERY ADVANCED MANUFACTURING FOR ELECTRIC VEHICLES. Dostupné z WWW: <<https://elibama.files.wordpress.com/2014/10/v-d-batteries-recycling1.pdf>> [webová stránka]

- [60] DOLEJŠ, Jan. www.chytraauta.cz [online]. 9.1.2017 [cit. 2019-03-08]. Jsou dnešní elektromobily ekologické? Dostupné z WWW: <<https://www.chytraauta.cz/jsou-elektromobily-ekologicke-201701/>> [webová stránka]
- [61] VYTLAČIL, Petr. oenergetice.cz [online]. 23.2.2018 [cit. 2019-03-08]. Recyklace lithium baterií – úvod. Dostupné z WWW: <<https://oenergetice.cz/akumulace-energie/recyklace-lithium-ion-baterii-uvod/>> [webová stránka]
- [62] www.evyfuk.cz [online]. [cit. 2019-02-08]. Výfuk, částí výfuků a jeho funkce. Dostupné z WWW: <<http://www.evyfuk.cz/co-je-to-vyfuk/>> [webová stránka]
- [63] GROHMANN, Jan. www.hybrid.cz [online]. 13.5.2014 [cit. 2019-03-08]. Revoluční lithium-vzduch baterie: budoucnost nebo jen sny? Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/soucasny-stav-lithium-vzduch-baterii>> [webová stránka]
- [64] GROHMANN, Jan. www.hybrid.cz [online]. 21.1.2015 [cit. 2019-03-08]. Nová baterie hliník-vzduch od Fuji slibuje vysokou energetickou hustotu. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/alfa-clanek-fuji-pigment-vyvinula-novou-baterii-hlinik-vzduch>> [webová stránka]
- [65] HOUSER, Pavel. sciencemag.cz [online]. 18.10.2018 [cit. 2019-03-10]. Baterie hliník-vzduch pro elektromobily. Dostupné z WWW: <<https://sciencemag.cz/baterie-hlinik-vzduch-pro-elektromobily/>> [webová stránka]
- [66] www.hybrid.cz [online]. 9.6.2017 [cit. 2019-03-10]. Co nahradí lithium? Hledá se náhrada pro baterie budoucnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/co-nahradi-lithium-hleda-se-nahrada-pro-baterie-budoucnosti>> [webová stránka]
- [67] DUSIL, TOMÁŠ. www.auto.cz [online]. 24.4.2018 [cit. 2019-03-09]. Nápravnice aut z kompozitu: Nižší hmotnost, méně částí! Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/napravnice-aut-z-kompozitu-nizsi-hmotnost-mene-casti-121243>> [webová stránka]
- [68] www.novinky.cz [online]. 15.7.2014 [cit. 2019-03-12]. Audi začne používat pružiny z kompozitu, do výroby se dostanou už letos. Dostupné z WWW: <<https://www.novinky.cz/auto/342259-audi-zacne-pouzivat-pruziny-z-kompozitu-do-vyroby-se-dostanou-uz-letos.html>> [webová stránka]
- [69] HORÁK, A. Vývoj podvozků a motorů vozů kategorie WRC. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
- [70] FREI, Martin. www.auto.cz [online]. 27.5.2017 [cit. 2019-03-11]. Brzdy Ferodo Eco Friction: Jak fungují ekologické brzdy? Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/brzdy-ferodo-eco-friction-jak-funguji-ekologicke-brzdy-107024>> [webová stránka]
- [71] SEMRÁD, Ivo. www.auto.cz [online]. 11.7.2016 [cit. 2019-03-12]. Federal-Mogul Eco-Friction: Neškodné destičky. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/federal-mogul-eco-friction-neskodne-desticky-96488>> [webová stránka]

- [72] JANDOVÁ, Eva Vladimíra. docplayer.cz [online]. 2016 [cit. 2019-02-08]. Brzdy motorového vozidla: Základní pojmy. Dostupné z WWW: <<https://docplayer.cz/6854319-Brzdy-motoroveho-vozidla-zakladni-pojmy.html>> [webová stránka]
- [73] VOCH, Roman. www.opi.zcu.cz [online]. [cit. 2019-02-07]. Hodnocení opotřebení a změn tribologických vlastností brzdových kotoučů. Dostupné z WWW: <https://www.opi.zcu.cz/download/Prezentace_diplomka_Voch.pdf> [webová stránka]
- [74] vepa.prodejce.cz [online]. 19.4.2008 [cit. 2019-02-07]. Konstrukce brzdových destiček. Dostupné z WWW: <http://vepa.prodejce.cz/texty/texty_cj/hlavni.htm> [webová stránka]
- [75] HANKE, Petr. www.automobilrevue.cz [online]. 5.5.2015 [cit. 2019-02-08]. Brzdové systémy Carbon & Ceramic – Superbrzdy. Dostupné z WWW: <https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/brzdove-systemy-carbon-ceramic-superbrzdy_43832.html> [webová stránka]
- [76] www.mjauto.cz [online]. [cit. 2019-02-07]. TŘECÍ MATERIÁLY BRZDOVÝCH DESTIČEK. Dostupné z WWW: <<http://www.mjauto.cz/treci-materialy-brzdovych-desticek>> [webová stránka]
- [77] RAKOVAN, Filip. www.autoweb.cz [online]. 15.2.2016 [cit. 2019-03-12]. Ferodo dává sbohem mědi a uvádí na trh ekologické brzdové destičky. Dostupné z WWW: <<https://www.autoweb.cz/ferodo-dava-sbohem-medi-a-uvadi-na-trh-ekologicke-brzdove-desticky/>> [webová stránka]
- [78] LÁNÍK, Ondřej. www.auto.cz [online]. 3.2.2005 [cit. 2019-01-26]. Michelin Tweel: pneu bez duše i bez vzduchu. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/michelin-tweel-pneu-bez-duse-i-bez-vzduchu-16179>>. [webová stránka]
- [79] VALSKÝ, Tomáš. www.pneumatiky.cz [online]. 5.2.2018 [cit. 2019-01-26]. Závod o pneumatiky bez vzduchu. Kdy se projedeme na prvních? Dostupné z WWW: <<https://www.pneumatiky.cz/info/zavod-pneumatiky-bez-vzduchu.html>>. [webová stránka]
- [80] LAŽANSKÝ, Milan. www.autorevue.cz [online]. 12.10.2016 [cit. 2019-01-26]. 6 typů automobilových kol: Která jsou nejlepší a jak se vyrábějí. Dostupné z WWW: <<https://www.autorevue.cz/6-typu-automobilovych-kol-ktera-jsou-nejlepsi-a-jak-se-vyrabeji>>. [webová stránka]
- [81] www.alu-kola-pneu.cz [online]. 27.11.2013 [cit. 2019-01-27]. Struktura materiálu alu kola. Dostupné z WWW: <<http://www.alu-kola-pneu.cz/2013/11/struktura-materialu-alu-kola.html>>. [webová stránka]
- [82] cs.wikipedia.org [online]. 16.2.2019 [cit. 2019-02-25]. Elektron (slitina hořčíku). Dostupné z WWW: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektron_\(slitina_ho%C5%99%C4%8D%C3%ADku\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektron_(slitina_ho%C5%99%C4%8D%C3%ADku))>. [webová stránka]
- [83] www.pneu-peterka.cz [online]. [cit. 2019-03-21]. Složení pneumatiky. Dostupné z WWW: <<https://www.pneu-peterka.cz/InfoPage.asp?TP=FT&ID=58>>. [webová stránka]

- [84] www.pneudrncz [online]. [cit. 2019-01-30]. Technologie a postupy výroby námi prodáváných litých kol. Dostupné z WWW: <<http://www.pneudrncz/rady-pneu-profesionalu/technologie-a-postupy-vyroby-nami-prodavanych-kol.htm>>. [webová stránka]
- [85] cdn.autodoc.de [online]. [cit. 2019-01-27]. Tyres. Dostupné z WWW: <https://cdn.autodoc.de/uploads/tyres/img_small/PKW/6921109023292_194396.jpg>. [webová stránka]
- [86] MILBERG, Evan. compositesmanufacturingmagazine.com [online]. 23.7.2018 [cit. 2019-03-25]. Magna Wins Big at SPE for Automotive Composite Innovation. Dostupné z WWW: <<http://compositesmanufacturingmagazine.com/2018/07/magna-wins-big-at-spe-for-automotive-composite-innovation/>>. [webová stránka]
- [87] FUGLEVIČ, Daniel. www.autorevue.cz [online]. 15.11.2018 [cit. 2019-03-25]. První titanové kolo vyrobené 3D tiskem: Experiment značky HRE vypadá šileně! Dostupné z WWW: <<https://www.autorevue.cz/prvni-titanove-kolo-vyrobene-3d-tiskem-experiment-znacky-hre-vypada-silene>>. [webová stránka]
- [88] ŠURKALA, Milan. www.svetmobilne.cz [online]. 26.11.2018 [cit. 2019-03-25]. HRE Wheels uvádí titanová kola vyrobená pomocí 3D tisku. Dostupné z WWW: <<https://www.svetmobilne.cz/hre-wheels-uvadi-titanova-kola-vyrobena-pomoci-3d-tisku/7031>>. [webová stránka]
- [89] www.continental-pneumatiky.cz [online]. [cit. 2019-03-18]. ContiSeal™ - technologie zajišťující okamžité zacelení průpichů běhounu bez ztráty tlaku. Dostupné z WWW: <<https://www.continental-pneumatiky.cz/osobni/technologie/reseni-defektu-continental/contiseal>>. [webová stránka]
- [90] Continental pneumatiky CZ / SK. www.youtube.com [online]. 2.11.2015 [cit. 2019-03-25]. Pneumatiky budoucnosti - pneumatiky z pampelišek. Dostupné z WWW: <<https://www.youtube.com/watch?v=ni3O6dYAZEA>>. [webová stránka]
- [91] SEMRÁD, Ivo. www.auto.cz [online]. 24.9.2018 [cit. 2019-03-27]. Kaučuk a pneumatiky: Počátky i současnost. Dostupné z WWW: <<https://www.auto.cz/kaucuk-a-pneumatiky-pocatky-i-soucasnost-124757>>. [webová stránka]
- [92] ZEJDOVÁ, Lucie. Únavové vlastnosti vybrané pružinové oceli: Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 43 s., Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Stanislav Věchet, CSc.
- [93] european-aluminium.eu [online]. 2011 [cit. 2019-04-18]. The Aluminium Automotive Manual. Dostupné z WWW: <<https://european-aluminium.eu/media/1558/aam-applications-chassis-suspension-1-subframes.pdf>>. [webová stránka]
- [94] ANDREWS, Cris. www.createdigital.org [online]. 27.12.2018 [cit. 2019-04-19]. This biodegradable car is made of flax and runs on electricity. Dostupné z WWW: <<https://www.createdigital.org.au/biodegradable-car-flax-electricity/>>. [webová stránka]
- [95] SCHARPING, Nathaniel. discovermagazine.com [online]. 8.8.2017 [cit. 2019-04-19]. A New Take on the Biodegradable Car. Dostupné z WWW:

- <<http://blogs.discovermagazine.com/d-brief/2017/08/08/biodegradable-car/#.XLndgpMzau6>>. [webová stránka]
- [96] VONDRA, Tomáš. www.obnovitelne.cz [online]. 16.9.2017 [cit. 2019-04-19]. Studenti vyrobili funkční auto z cukrové řepy. Je plně biologicky rozložitelné. Dostupné z WWW: <<https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/191/studenti-vyrobili-funkcni-auto-z-cukrove-repy-je-plne-biologicky-rozlozitelne/>>. [webová stránka]
- [97] www.national-geographic.cz [online]. 14.8.2017 [cit. 2019-04-19]. CUKR + LEN = PRVNÍ BIO AUTO Z EINDHOVENU. Dostupné z WWW: <<https://www.national-geographic.cz/clanky/cukr-len-prvni-bio-auto-z-eindhovenu-20170814.html>>. [webová stránka]
- [98] starty.cz [online]. 17.4.2018 [cit. 2019-04-19]. Automobil budoucnosti ze lnu a cukrové třtiny. Dostupné z WWW: <<http://starty.cz/clanky/technologie/automobil-budoucnosti-ze-lnu-cukrove-trtiny/>>. [webová stránka]
- [99] VAŠÍČEK, PETR. cdr.cz [online]. 19.9.2014 [cit. 2019-04-20]. První elektromobil z 3D tiskárny. Doba tisku: 44 hodin. Dostupné z WWW: <<https://cdr.cz/clanek/prvni-elektromobil-z-3d-tiskarny-doba-tisku-44-hodin>>. [webová stránka]
- [100] HAMALČÍKOVÁ, Kamila. www.elektrina.cz [online]. 17.10.2014 [cit. 2019-04-20]. První elektromobil z 3D tiskárny vytištěný za 44 hodin: Podívejte se na jeho výrobu. Dostupné z WWW: <<https://www.elektrina.cz/elektromobil-z-3d-tiskarny>>. [webová stránka]
- [101] HOUSKA, Filip. www.czechcrunch.cz [online]. 6.3.2017 [cit. 2019-04-20]. Ford začíná experimentovat s 3D tiskem unikátních komponent pro svá auta. Dostupné z WWW: <<https://www.czechcrunch.cz/2017/03/ford-zacina-experimentovat-s-3d-tiskem-unikatnich-komponent-pro-sva-auta/>>. [webová stránka]

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\varepsilon_{f,krit}$	[%]	Tažnost
σ_{Pt}	[MPa]	Pevnost v tahu
σ_{Pt} / ρ	[MPa/kgm ⁻³]	Měrná pevnost
<i>A</i>	[%]	Tažnost
<i>A₈₀</i>	[%]	Tažnost u měřené počáteční délky 80 mm
<i>ABS</i>	[-]	Akrylnitril-butaien styrol
<i>AC</i>	[-]	Acetátcelulosa
<i>ADI</i>	[-]	Austempered Ductile Iron
<i>AHSS</i>	[-]	Advanced High Strength Steel
<i>Al-MMC</i>	[-]	Aluminium Metal Matrix Composite
<i>BH</i>	[-]	Bake Hardening
<i>CBB</i>	[-]	Carbon Ceramic Brake
<i>CCM</i>	[-]	Carbon Composite Material
<i>CFRP</i>	[-]	Carbon Fiber Reinforced Polymer
<i>CNG</i>	[-]	Compressed Natural Gas
<i>CP</i>	[-]	Complex Phase
<i>CQ</i>	[-]	Commercial Quality
<i>DDQ</i>	[-]	Deep Drawing Quality
<i>DP</i>	[-]	Dual Phase
<i>DQ</i>	[-]	Drawing Quality
<i>EDDQ</i>	[-]	Extra Deep Drawing Quality
<i>EDDQ-S</i>	[-]	Extra Deep Drawing Quality - Super
<i>EPDM</i>	[-]	Ethylen-propylen-dién-terpolymer
<i>E_T</i>	[GPa]	Modul pružnosti v tahu
<i>EURO-NCAP</i>	[-]	European New Car Assessment Programme
<i>HB</i>	[-]	Tvrdość podle Brinella
<i>IF</i>	[-]	Interstitials Free
<i>IPUR</i>	[-]	Integrální polyuretan
<i>KUT</i>	[-]	Komplexní ukazatel tvářitelnosti
<i>LPG</i>	[-]	Liquified Petroleum Gas
<i>MIG</i>	[-]	Metal Inert Gas
<i>MMC</i>	[-]	Metal Matrix Composite

<i>MS</i>	[-]	Martensitic Steels
<i>PA</i>	[-]	Polyamid
<i>PAN</i>	[-]	Polyakrylnitril
<i>PBT</i>	[-]	Polybutylentereftalát
<i>PC</i>	[-]	Polykarbonát
<i>PE</i>	[-]	Polyetylen
<i>PMMA</i>	[-]	Polymethylmetakrylát
<i>PP</i>	[-]	Polypropylen
<i>PP-EPDM</i>	[-]	Polypropylen-ethylen-propylen-dién-terpolymer
<i>PS</i>	[-]	Polystyrén
<i>PUR</i>	[-]	Polyuretan
<i>PVB</i>	[-]	Polyvinylbutyral
<i>PVC</i>	[-]	Polyvinilchlorid
<i>R_m</i>	[MPa]	Mez pevnosti
<i>R_p</i>	[Mpa]	Mez kluzu
<i>R_m / R_{p0,2}</i>	[-]	Podíl meze pevnosti a smluvní meze kluzu
<i>R_{p0,2}</i>	[MPa]	Smluvní mez kluzu
<i>SAN</i>	[-]	Styrol-akronitril kopolymer
<i>SLC</i>	[-]	Super Light Car
<i>SMC</i>	[-]	Sheet Molding Compound
<i>TRIP</i>	[-]	Transformation Induced Plasticity
<i>TWIP</i>	[-]	Twinning Induced Plasticity
<i>ULSAB</i>	[-]	Ultra Light Steel Auto Body
α	[10 ⁶ K ⁻¹]	Součinitel tepelné roztažnosti
λ	[W/mK]	Tepelná vodivost
ρ	[kgm ⁻³]	Hustota