

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Výběr konstrukčních materiálů s ohledem na produktový design

Autor: **Jiří POMAHAČ**
Vedoucí práce: **Ing. Ivana MAZÍNOVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2017/2018

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

Jméno a příjmení: **Jiří POMAHAČ**
Osobní číslo: **S15B0164P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Výběr konstrukčních materiálů s ohledem na produktový design**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Provedte rešerši vlivu výběru s ohledem na industriální a produktový design. Problematiku vysvětlete na příkladu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod.
2. Rešerše dané problematiky.
3. Případová studie.
4. Zhodnocení práce, závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

ASHBY, M. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2010

ASHBY, M., JOHNSON, K. *Materials and Design*. Waltham: Butterworth-Heinemann, 2014

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivana Mazínová, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ivana Mazínová, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

L.S.



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Ivaně Mazínové, Ph.D. za trpělivost a za mnoho cenných rad při konzultacích.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Pomahač	Jméno Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Mazínová, Ph.D.	Jméno Ivana	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Výběr konstrukčních materiálů s ohledem na produktový design		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	50	TEXTOVÁ ČÁST	50	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá výběrem materiálu s ohledem na produktový design. Podstatou teoretické části je popsání sledu, jak by se mělo postupovat po jednotlivých krocích při výběru materiálu. Také je poukázáno na produktový design, který má podstatný vliv na tento výběr. Pomocí získaných poznatků z teoretické části je v případové studii vypracován ukázkový příklad na výběr materiálu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Materiálový indikátor, materiál, výběr, výrobek, konstrukční proces, vlastnosti, mapy vlastností materiálů, průmyslový design</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Pomahač	Name Jiří	
FIELD OF STUDY	B2301 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Mazínová, Ph.D.	Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Engineering Materials Selection with regard to Product Design		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	50	TEXT PART	50	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This bachelor thesis deals with material selection with regard to product design. The essence of the theoretical part consists of describing the steps of the individual procedures in the material selection. It also points to a product design that has a significant impact on this selection. Using the lessons learned from this section, a case study examines an example of material selection for a stand holder.</p>
KEY WORDS	<p>material indices, material, selection, product, design process, material properly charts, industrial design</p>

Obsah

Úvod.....	1
1 Teoretická východiska dané problematiky.....	2
1.1 Konstrukční proces.....	2
1.1.1 Druhy konstrukčních postupů.....	3
1.1.2 Materiálová data a konstrukční nástroje.....	4
1.2 Konstrukční materiály.....	5
1.2.1 Vlastnosti materiálů.....	5
1.2.2 Rozdělení konstrukčních materiálů.....	6
1.3 Materiálové vlastnosti používané pro návrh.....	8
1.4 Vlivy ovlivňující návrh výrobku.....	9
2 Volba materiálu.....	11
2.1 Nástroje pro volbu materiálu.....	11
2.2 Mapy materiálových vlastností.....	12
2.3 Strategie výběru materiálu.....	13
2.3.1 Materiálové indikátory.....	15
2.3.2 Vyšetření pomocí aplikace limitů atributů.....	16
2.3.3 Utřídění materiálů pomocí materiálových indikátorů.....	17
2.3.4 Hledání v Dokumentaci.....	20
2.4 CES EduPack.....	20
3 Výběr konstrukčních materiálů s ohledem na produktový design.....	21
3.1 Základní požadavky na výrobek.....	21
3.2 Charakter výrobku.....	22
3.3 Osobnost výrobku.....	24
3.4 Procesy a využití materiálů tvořící osobnost výrobku.....	25
3.4.1 Neodlučitelné estetické vlastnosti produktu.....	25
4 Případová studie.....	30
4.1 Výběr materiálu s ohledem na produktový design.....	30
4.1.1 Konstrukční požadavky.....	31
4.1.2 Výběr materiálu pomocí programu CES EduPack.....	32
4.1.3 Výběr materiálu z hlediska produktového designu pro konkrétní cílové skupiny.....	36
Seznam obrázků.....	44
Seznam tabulek.....	46
Seznam příloh.....	47
Citovaná literatura.....	48
PŘÍLOHA Č. 1.....	50

Úvod

Samostatný výběr materiálů je důležitým faktorem ovlivňujícím charakteristiku a vlastnosti finálního výrobku. Pro vyrábějící organizace je toto téma velice důležité, protože samostatný materiál ovlivňuje z více než padesáti procent vlastnosti daného produktu. Hlavním cílem tohoto výběru je nalezení malé množiny materiálů. Tím se dosáhne pomocí nejlépe splňujících konstrukčních požadavků, ze kterých se dle preferovaných kritérií vybere jen jeden. Při tomto výběru je také důležité, dívat se na produktový design výrobku. V dnešní době již zákazníkům nestačí, aby produkt správně fungoval, ale dívají se také na jeho vzhled, velikost a v neposlední řadě rozhoduje i první dojem z výrobku. Pomocí správně zvoleného materiálu zajistíme koncovým zákazníkům očekávanou kvalitu.

Hlavním tématem této bakalářské práce bude výběr konstrukčních materiálů s ohledem na produktový design. Hlavní důvody, proč jsem si dané téma vybral, jsou značná zajímavost a aktuálnost na trhu.

Mezi nejdůležitější publikace, ze kterých budu čerpat informace, patří bezpochyby čtvrtá edice knihy *Material Selection in Mechanical Design* od profesora Michaela Farries Ashbyho. Ta je brána v oboru výběru materiálu jako jedna z nejvýznamnějších. Tato kniha poskytuje mnoho informací o vyvíjení systematického postupu výběru materiálu a procesů. Dále budu čerpat informace z třetí edice knihy *Materials and Design* od Mika Ashbyho a Kary Hohnsonové. Tato kniha se rozděluje do deseti kapitol, které popisují, jak jsou dané materiály spojeny s designem. Jejím cílem je inspirovat a učit.

Obsahem této práce bude obeznámení s podstatou výběru materiálu s ohledem na produktový design. Nejdříve se zaměřím na konstrukční proces a konstrukční materiály. Následně pak už na samotnou volbu materiálu a na produktový design. Ve spojitosti na předchozí informace využiji tyto vědomosti na případovou studii. Záslouhou toho ukáži výběr materiálu na konkrétním příkladu. V poslední fázi vyberu podle produktového designu tři materiály pro cílové skupiny konečných zákazníků.

Cílem této práce bude pomocí teoretických poznatků a případové studie vybrat optimální materiál pro daný výrobek a poukázání na to, jak postupovat po jednotlivých krocích při výběru materiálu.

1 Teoretická východiska dané problematiky

V této části práce vysvětlím, co je to konstrukční proces, jaké je jeho rozdělení a rovněž přiblížím, co jsou to materiálová data a konstrukční nástroje. Dále budu rozebírat konstrukční materiály a jejich vlastnosti z hlediska jejich rozdělení. Také poukážu na materiálové vlastnosti, které by měl konstruktér používat pro návrh. V poslední řadě upozorním na faktory, které mohou ovlivnit návrh výrobku. V této teoretické části budu vycházet z knižních publikací, které jsou uvedeny v úvodu mé bakalářské práce. Ty jsem si vybral, protože nejlépe vystihují dané téma.

Výběr materiálu provádí od samého počátku návrhu konstruktér. Bohužel i on má s tímto výběrem problém. V minulosti se pro výběr materiálu čerpalo primárně ze zkušeností konstruktéra. V dnešní době již tomu tak není. Hlavním důvodem je stále narůstající škála nejrozličnějších materiálů. Proto se používá systematický postup, který dovolí přesnější a rychlejší výběr. K tomu se využívá výpočetní technika, která vstoupí do konstrukčního procesu.

1.1 Konstrukční proces

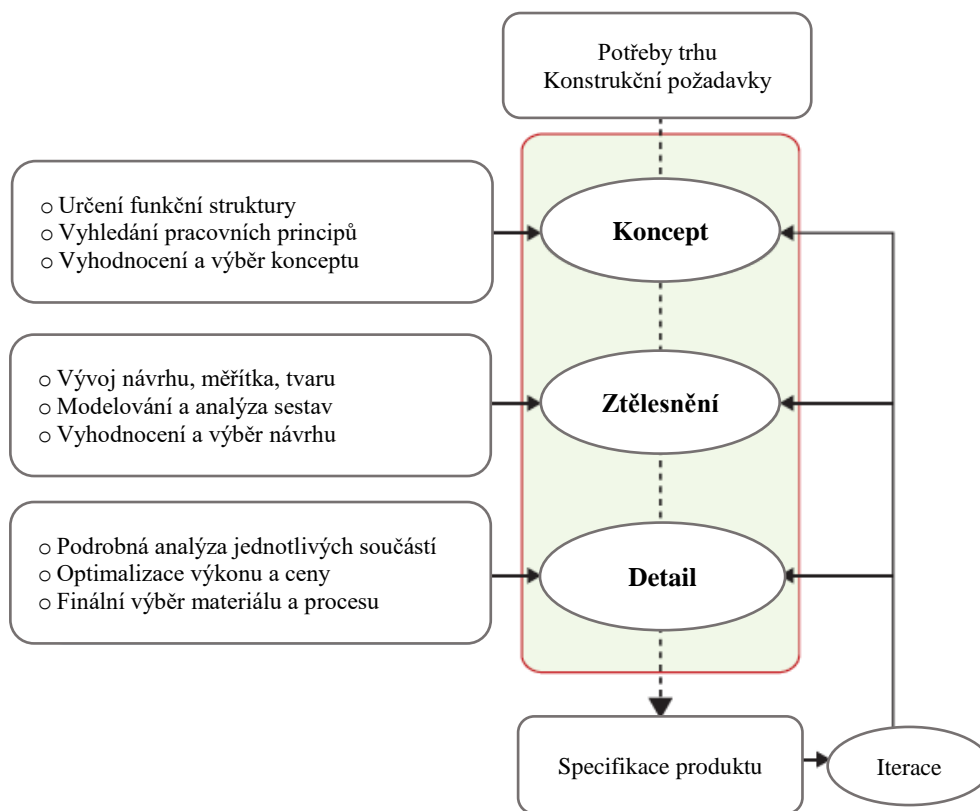
Konstrukční proces se zabývá mechanickým návrhem výrobku. Řeší fyzikální principy, správné fungování produktu a výrobu mechanických systémů. To neznamená, že zanedbáváme produktový design, který se zaměřuje na povrch, barvu a také hlavně na spotřebitelskou přitažlivost, ovšem tímto se budu zabývat až ve třetí kapitole. Cílem této kapitoly je seznámení s etapami konstrukčního procesu, s dělením konstrukčních postupů a v poslední fázi poukázat na materiálová data a konstrukční nástroje.

Konstrukční proces se dělí do několika etap. První etapou při návrhu nového výrobku je nápad nebo potřeba trhu. Naopak poslední etapou je úplné definování výrobku a jeho následný vznik. Mezi těmito etapami se nachází mnoho potřebných kroků. Ty se dají rozdělit do tří základních kategorií – koncepce, zpodobnění a detail.

Koncepce představuje způsob, kterým uspokojíme potřebu. Konstruktér se v této fázi rozhoduje, jakou cestou půjde. V tomto kroku vlastní nejširší obsah myšlenek, které se postupem návrhu začnou pomalu zužovat.

Další fází je **zpodobnění**. V té se každý nadějný koncept dále rozvíjí. Začne se zkoumat jeho funkční struktura, ve které se popisují funkce daného konceptu. Také se zjišťují možné volby materiálu a procesu, které umožní správné fungování výrobku při daném zatížení, teplotě a prostředí. Na druhou stranu se řeší i estetické vlastnosti výrobku. Tato fáze končí proveditelným návrhem, který je potom převeden do podrobnější podoby.

Poslední fází je **detail**, který udává detailní návrh výrobku. Celý konstrukční proces je znázorněn na následujícím obrázku. (1)



Obrázek 1 - Rozdělení procesu návrhu (1)

1.1.1 Druhy konstrukčních postupů

Při návrhu produktu se vždy nemusí začínat od začátku. Konstrukce se rozděluje do tří druhů.

Tou první je originální neboli **původní konstrukce**. Ta zahrnuje jak nový nápad, tak i nový pracovní postup. Tato konstrukce se používá hlavně u odvětví, ve kterých mohou nově vytvořené materiály nabídnout jedinečné kombinace nových vlastností. Příkladem je třeba odvětví jaderné nebo vesmírné.

Druhým a nejrozšířenějším druhem konstrukcí je adaptivní neboli **vývojová**. Jejím hlavním cílem je zlepšení stávajícího řešení pro určitý problém. Funguje na principu přebírání stávajícího výrobku a usiluje o jeho postupný pokrok, který se může docílit vývojem nově vzniklých materiálů. K nejpodstatnějším motivům pro přepracování může být zlepšení výkonnosti, snížení nákladů nebo přizpůsobení se podmínkám na trhu.

Posledním druhem je **variantní konstrukce**. Ta vychází ze změny měřítka či rozměru bez změny funkce, případně způsobu jejího dosažení. Velikost daného produktu může značně

ovlivnit materiál. Příkladem je výroba lodí. Malé lodě mohou být vyrobené z laminátu, plastů, hliníku a ze skelných vláken, ale velké lodě se vyrábí hlavně z oceli. (2)

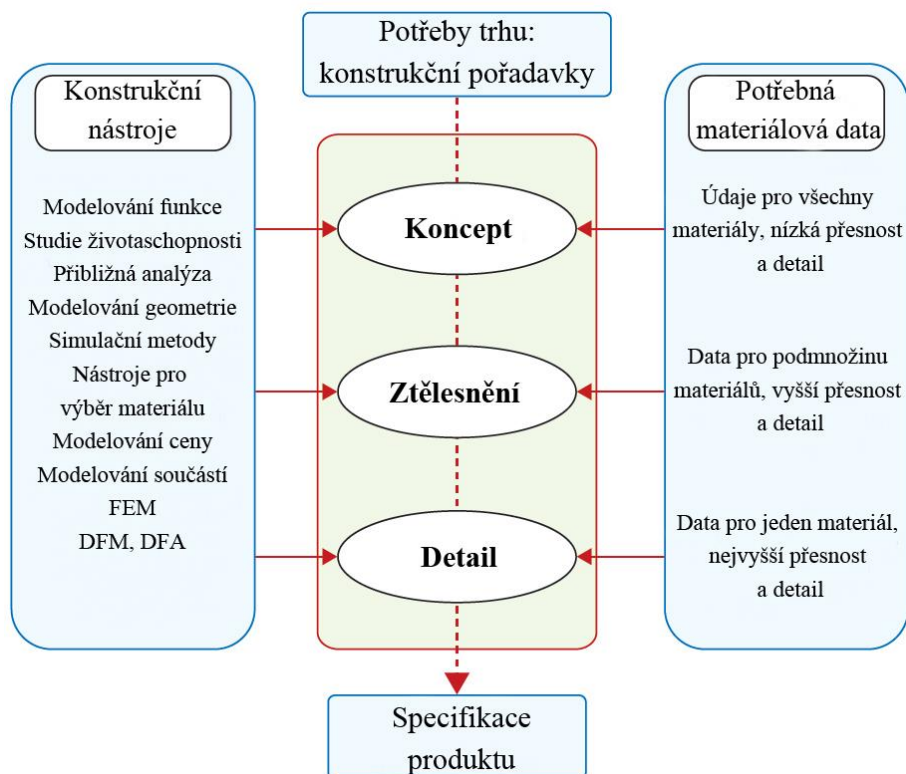
1.1.2 Materiálová data a konstrukční nástroje

Pro provedení tří kroků (koncepce, zpodobnění a detail) se v konstrukčním procesu používají konstrukční nástroje. Hlavním cílem je vybrat vhodný materiál, který bude obsahovat požadované vlastnosti, ale zároveň bude vyhovovat i po stránce ekonomické.

V **první fázi** koncepce se vyžadují jen přibližné hodnoty vlastností, tím pádem se vybírá z obrovské škály materiálů. Mezi nejzákladnějšími vlastnostmi pro výběr materiálu může být odolnost proti korozi, pracovní teplota, odolnost vůči opotřebení a mnoho dalších.

V **druhé fázi** se hodně materiálů eliminuje. Už se nedíváme jen na přibližné hodnoty, ale spíše na ty s větší přesností. Vybíráme pouze materiály, které nejlépe plní naše požadavky.

V **závěrečné fázi** pracujeme pouze s jedním nebo s velmi malou skupinou materiálů. Vyžadujeme ještě vyšší míru přesnosti a detailu. Nejlépe se tyto nejpřesnější informace hledají v materiálových listech vydaných samotnými výrobci materiálu. Všechny tyto námi vybrané materiály jsou pro nás vyhovující. Poté je již na samotném konstruktérovi, jak se rozhodne. Do nejčastějších postupů konstruktéra patří zapsání všech materiálových vlastností do tabulky a podle preferovaných kritérií vybrání toho nejlépe vyhovujícího materiálu. Dále se také musí brát v potaz silné a slabé stránky materiálu. Posledním úkolem je identifikace dodavatele. Hlavní důležitostí identifikace je rozdílné chování stejného materiálu od dvou jiných výrobců. Celý tento proces je znázorněn na obrázku číslo 2. (3)



Obrázek 2 – Konstrukční nástroje pro návrh a výběr materiálů (3)

1.2 Konstrukční materiály

Konstrukční materiál je každá pevná látka, která je určena pro další technologické zpracování ve výrobě. Dá se považovat za soubor, který obsahuje různé druhy vlastností. Abychom mohli využít konstrukční materiály k přesně dané funkci, musíme řádně znát jejich vlastnosti. Pořád je nutno brát v potaz, že i malé množství nečistot může vlastnosti materiálu zcela změnit. (4)

1.2.1 Vlastnosti materiálů

Tyto vlastnosti se rozdělují do několika základních skupin: fyzikální, mechanické, chemické a technologické.

Fyzikální nám vyplývají z typu vazby, chemického složení a ze struktury. Mezi nejpodstatnější fyzikální vlastnosti řadíme hustotu, teplotu tání a tuhnutí, teplotu lití, tepelnou vodivost a délkovou a objemovou roztažnost. (5)

Všechny materiály, které popisují své chování při působení vnějších sil, se nazývají **mechanické**. Podle způsobu působení síly na zkušební těleso rozdělujeme zkoušky na statické, dynamické rázové a cyklické a na zvláštní technické. Při použití i následném zpracování působí na materiály síly různým typem namáhání, jako je tah, tlak, krut, ohyb a stříh. Tato jednotlivá namáhání obvykle nepůsobí samostatně, ale jako kombinace dvou nebo více druhů. Příkladem

kombinovaného namáhání materiálu může být společné působení ohybu, tahu a krutu. Těmto namáháním se materiál brání pomocí mechanických vlastností jako je pevnost, tvrdost, tvárnost, pružnost a mnoho dalších. Na mechanické vlastnosti materiálů má také značný vliv teplota a tvar krystalografické mřížky.

Chemické vlastnosti materiálů jsou stanovovány pomocí jejich schopnosti chemicky reagovat s okolním prostředím, nejčastěji kapalným či plynným. Například u kovů se tomuto jevu říká koroze. (4)

Technologické vlastnosti jsou spojovány s technologií zpracování materiálu od polotvaru až po koncový výrobek, jako je tvárnost, obrobiteľnosť, svařitelnost, odolnosť proti opotrebení a mnoho dalších. (5)

1.2.2 Rozdělení konstrukčních materiálů

Podle všech druhů vlastností lze rozdělit konstrukční materiály do šesti základních skupin. V těchto skupinách jsou vždy materiály s podobnými vlastnostmi, podobnými výrobními a zpracovatelskými technologiemi a často i s obdobnými aplikacemi.

Do jedné z neznámějších skupin spadají **kovy a jejich slitiny**. Jsou pevné, mají vysokou tažnost, tvárnost a tvrdost. Také mají relativně velké moduly pružnosti a velkou elektrickou a tepelnou vodivost. Jejich nevýhodou je velice špatná odolnost proti korozi. Když jsou kovy čisté, tak jsou měkké a snadno deformovatelné. U některých druhů kovů mohou být jejich vlastnosti zlepšeny pomocí legování¹. Jedním z těchto příkladů je výroba oceli, do které se mohou přidat legující prvky (nejčastěji nikl, mangan, molybden, křemík, vanad a chrom). (6)

Mezi další skupinu materiálů patří **keramika**. Tato skupina je definována jako anorganický nekovový materiál, který se vyrábí z práškových surovin ze ztuhujícího se výrobního procesu. Ve vodě je nerozpustná. Má také vysoké moduly, vysokou chemickou odolnost a dobrou otěruvzdornost. Kvůli dobré otěruvzdornosti se keramika používá pro ložiska a řezné nástroje. Na rozdíl od kovu je křehká. Velmi dobře odolává vysokým a rychlým změnám teplot.

Třetí skupinou jsou **skla**. Sklo je amorfní pevný materiál, který se vyrábí tavením vhodných surovin. Poté následuje ochlazení, přičemž nesmí dojít ke krystalizaci. Vyrábí se v mnoha složeních. Nejrozšířenějším je sodno-vápenaté sklo, z něhož se vyrábějí lahve a skleněné nádoby. (5)

¹ Úmyslné přidávání legujících prvků (nejčastěji jiných kovů) do taveniny nebo do vsázky za účelem zlepšení mechanických vlastností.

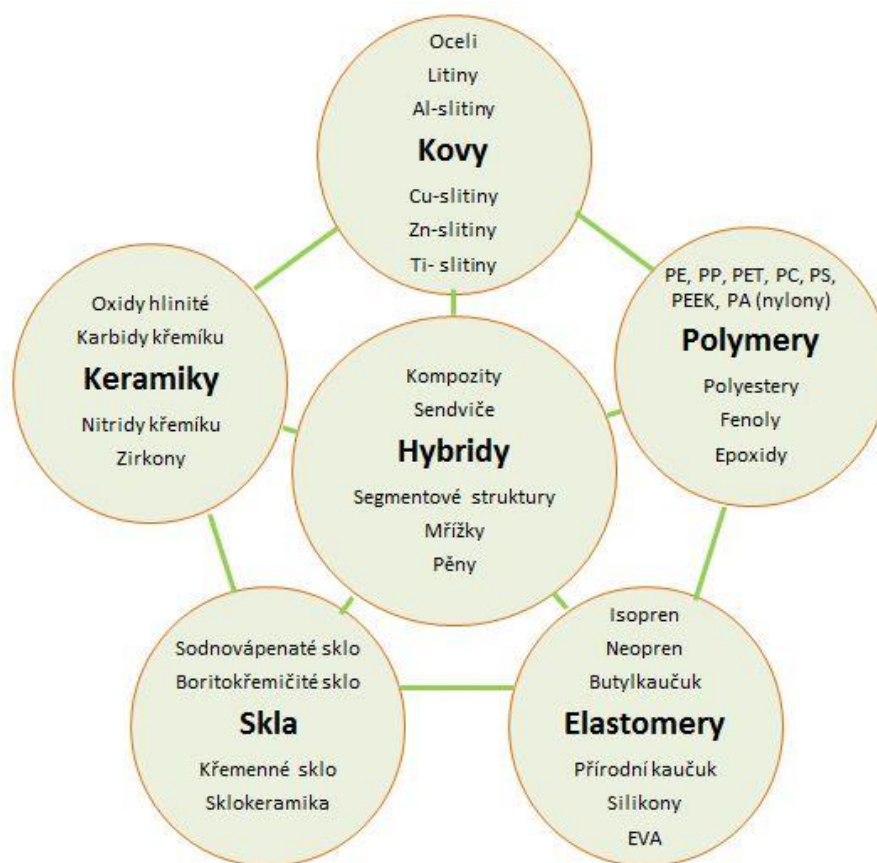
Další skupinou jsou **polymery**. Ve srovnání s kovy jsou to materiály, které mají velice nízké moduly, zhruba 50krát nižší než u kovů, ale mohou být stejně pevné. Jejich vlastnosti závisí na teplotě. Polymer, který se chová při teplotě 20 °C tvrdě a ohebně, se naopak může např. při teplotě 100 °C chovat křehce. Některé polymery jsou převážně krystalické, jiné zase amorfni. Hlavní výhodou je jejich snadná tvarovatelnost. Také odolávají velice dobře korozi a mají nízký koeficient tření.

Předposlední skupinou jsou **elastomery**. Jsou to vysoce elastické polymery, které lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení. Tato deformace je většinou vratná. Youngovy moduly² jsou velice nízké. Příkladem elastomerů jsou kaučuky, ze kterých lze pomocí vulkanizace vyrábět pryže. (6)

Poslední skupinou jsou **kompozity**. Je to nejmladší a nejvíce rozvíjející se skupina konstrukčních materiálů. Kompozitní materiály se skládají z kombinace dvou nebo více materiálů s rozdílnými vlastnostmi. Tyto materiály se dohromady nakombinují a vznikají z nich materiály s užitečnějšími vlastnostmi. Současně se také vyhnou nedostatkovým vlastnostem. Mohou být lehké, tvrdé, pevné, ale na druhou stranu i těžké, měkké či slabé. Záleží na tom, jaké druhy materiálu zkombinujeme. Mezi nejznámější kompozity patří železobeton, beton a kompozity z ocelových drátů. (5)

Následující obrázek znázorňuje výše popsané rozdělení materiálů do šesti základních skupin.

² Vyjadřují pružnost materiálu při namáhání v tahu a jsou určeny poměrem napětí v tahu a poměrnou deformací.



Obrázek 3 - Rozdělení materiálů (6)

1.3 Materiálové vlastnosti používané pro návrh

Konstruktor při výběru materiálu potřebuje pro návrh určitý druh informací o vlastnostech materiálu. Je důležité si uvědomit, že informace pro běžně používané materiály jsou spolehlivé a snadno sehnatelné. Zato data pro nově vzniklé materiály jsou většinou neúplná a nedůvěryhodná. Je nutné si uvědomit, že inovace materiálu u výrobků se většinou nahrazují nově vzniklými materiály. Proto je důležité, aby každý konstruktor věděl, jak posoudit kvalitu dat. Dále je nezbytné se zeptat na otázku: zda chceme něco navrhnout, jaké informace o materiálu potřebujeme? Konstruktor potřebuje znát takové vlastnosti, které mají všechny materiály. Všechny materiály obsahují hustotu, modul pružnosti, pevnost, tepelnou vodivost a mnoho dalších. Ty se zaznamenávají do různých databází. Tyto vlastnosti se používají jako výchozí bod pro výběr mezi nimi. Dále by konstruktor měl vědět i jeho skutečný charakter: silné a slabé stránky, technologii výroby atd. Tyto informace jsou zaznamenávány do příruček, případových studií, ale také i do analýz důvodů selhání. V následujícím obrázku poukazuji na dokument obsahující vlastnosti, které jsou důležité pro návrh nového materiálu. (7)

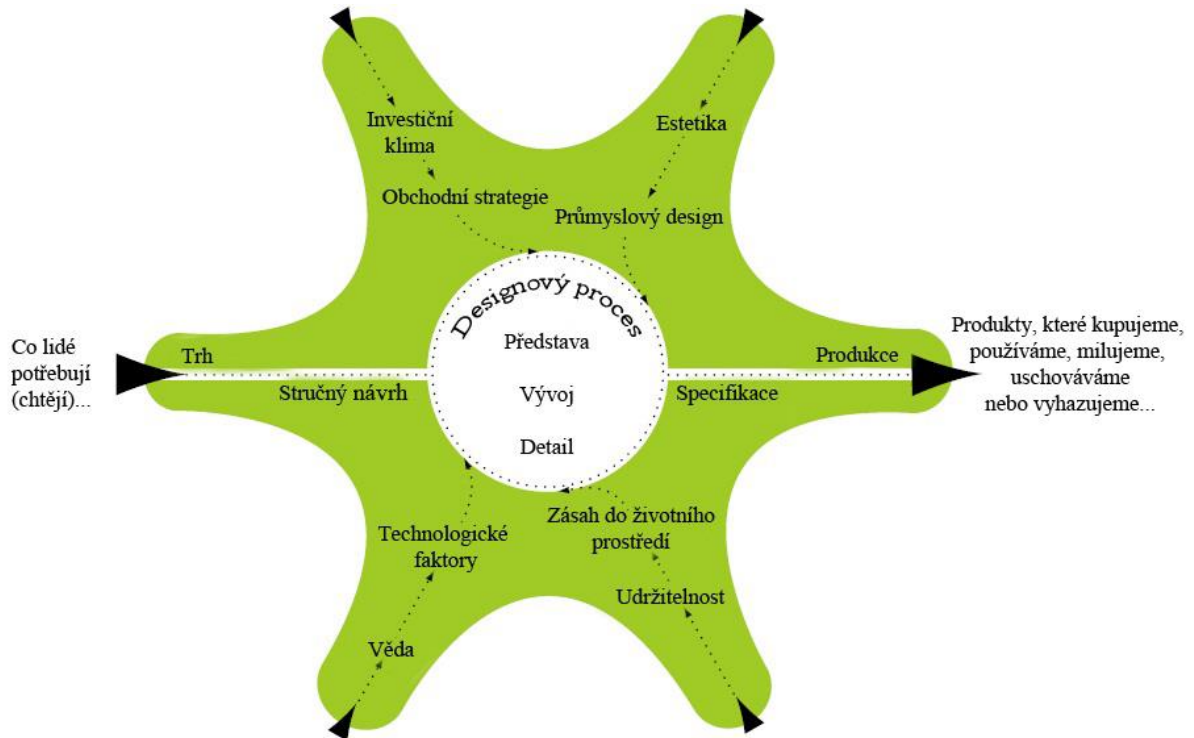
Třída	Vlastnost	Symbol a jednotky	
Obecná	Hustota	ρ (kg/m ³ nebo Mg/m ³)	
	Cena	C_m (\$/kg)	
Mechanická	Moduly pružnosti (v tahu, smyku, stlačitelnosti)	E, G, K (GPa)	
	Mez kluzu	σ_y (MPa)	
	Mez pevnosti v tahu	σ_{ts} (MPa)	
	Mez pevnosti v tlaku	σ_c (MPa)	
	Napětí při mezním stavu	σ_f (MPa)	
	Tvrdoost	H (Vickers)	
	Poměrné prodloužení	ε (-)	
	Mez únavy	σ_e (MPa)	
	Lomová houževnatost	K_{1c} (MPa.m ^{1/2})	
	Houževnatost	G_{1c} (kJ/m ²)	
	Koeficient tlumení	η (-)	
	Tepelná	Teplota tání	T_m (°C nebo K)
		Teplota skelného přechodu	T_g (°C nebo K)
Maximální provozní teplota		T_{max} (°C nebo K)	
Minimální provozní teplota		T_{min} (°C nebo K)	
Součinitel tepelné vodivosti		λ (W/m.K)	
Měrná tepelná kapacita		C_p (J/kg.K)	
Koeficient teplotní roztažnosti		α (K ⁻¹)	
Odolnost proti tepelnému šoku		ΔT_s (°C nebo K)	
Elektrická	Elektrický odpor	ρ_e (Ω.m nebo μΩ.cm)	
	Dielektrická konstanta	ε_r (-)	
	Průrazné napětí	V_b (10 ⁶ V/m)	
	Účinnost	P (-)	
Optická	Refrakční index	n (-)	
Ekologická	Energie na výrobu kilogramu materiálu	H_m (MJ/kg)	
	Uhlíková stopa	CO ₂ (kg/kg)	

Obrázek 4 - Základní vlastnosti omezující návrh a jejich vlastnosti (7)

1.4 Vlivy ovlivňující návrh výrobku

Jak můžeme vidět na obrázku č. 5, návrh výrobku ovlivňuje pět vlivů: trh, technologie, investiční klima, životní prostředí a průmyslový design. Střed představuje proces navrhování, fungování a dynamiku. Je předmětem řady vnějších vlivů, které jsou na okolních větvích označovány. Nejlepší konstruktéři vždy berou v potaz vývoj v oblasti technologií, který vychází ze základního vědeckého výzkumu. Nejnovější technologie jsou využívány způsobem kompatibilním s investičním klimatem společnosti. Ten je také závislý na ekonomických podmínkách v zemích, ve kterých bude výrobek vyráběn a používán. Starost o minimalizaci ekologické zátěže způsobené konstrukčním produktem zvyšuje povědomí o návrhu pro životní prostředí.

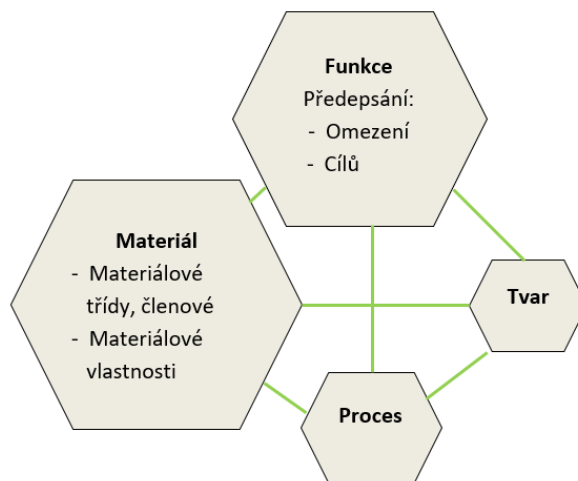
V dnešní době chtějí spotřebitelé mnohem více než produkt, který funguje dobře a za dostupnou cenu. Také musí při jeho užívání vyvolávat v lidech spokojenost a potěšení. Existuje samozřejmě i více vlivů, které ovlivňují návrh výrobku, ovšem výše uvedené jsou v dnešní době mezi těmi nejsilnějšími. (8)



Obrázek 5 - Jednotlivé vstupy do procesů (8)

2 Volba materiálu

Tato kapitola určuje základní postup pro výběr materiálu a vytváří vazby mezi funkcí, materiálem, technologií výroby a tvarem. Tyto vazby jsou ukázány na následujícím obrázku.



Obrázek 6 - Vazba mezi funkcí, materiálem, technologií výroby a tvarem (9)

Při výběru materiálu je vždy důležité využít úplnou nabídku materiálů, protože každý materiál je na začátku možným kandidátem. Kdybychom to tak nedělali, mohlo by se stát, že by hned na začátku došlo k eliminaci toho nejvíce vhodného materiálu. Mezi dva hlavní úkoly výběru materiálu patří identifikovat požadované vlastnosti a porovnat vybrané kandidáty s běžně používanými materiály. Bohužel tento výběr je pro konstruktéry velice těžký. Naštěstí existuje několik nástrojů k usnadnění tohoto problému. (9)

2.1 Nástroje pro volbu materiálu

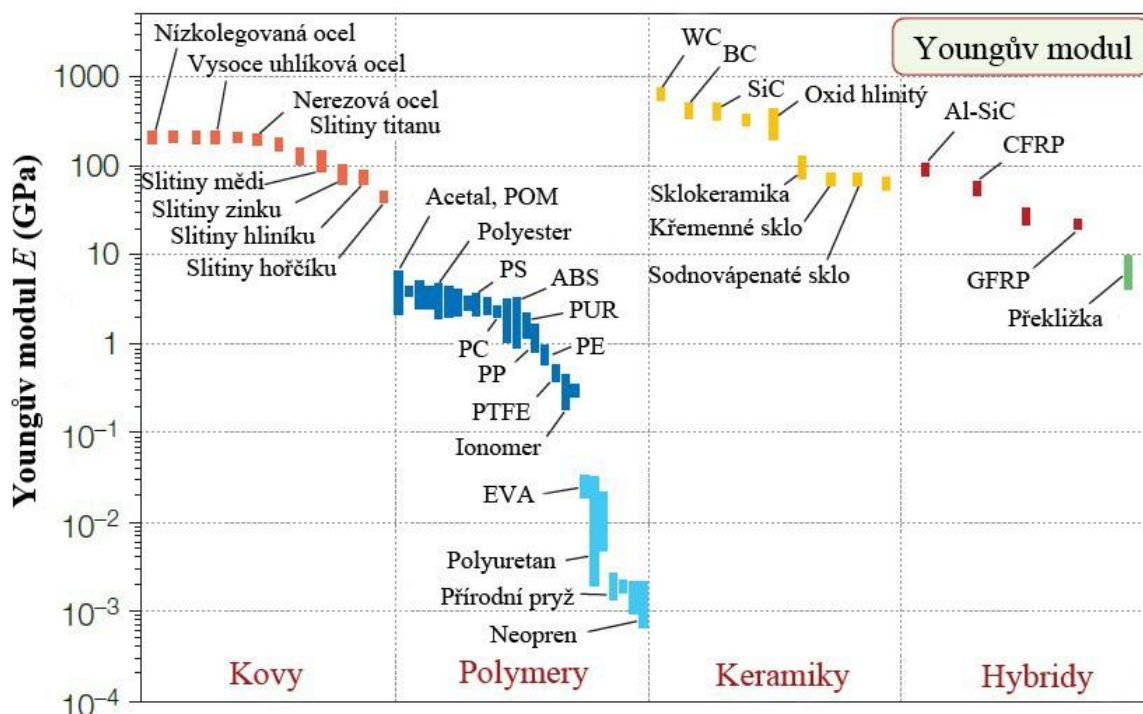
První a nejrozšířenější způsob výběru materiálu vychází z mnohaletých zkušeností konstruktérů. Čím více zkušeností mají, tím spíše ví, jak se jednotlivé materiály v dané problematice chovají.

Dalším způsobem nástrojů, ze kterých se dá čerpat, jsou pasivní, aktivní či inteligentní databáze. Za jeden z nejjednodušších způsobů můžeme označit **pasivní databáze**. Ty jsou seřazeny podle určitých kritérií. Příkladem jsou materiálové listy, ve kterých najdeme přesné normní označení, charakteristiku, obvyklé použití, doporučení pro zpracování, chemické složení tavy, mezní úchytky chemického rozboru a základní vlastnosti materiálu. Databáze, které dovolují hledat materiál podle určitých specifikací a vlastností, se nazývají **aktivní**. Jsou to speciální počítačové programy, které jsou vytvořené jen za účelem výběru materiálu. Nejvíce pracovanými a nejméně používanými jsou **databáze inteligentní**. Ty jsou specializované pro dané odvětví a obsahují několik typů databází.

Třetím nástrojem, který velice zjednoduší výběr materiálu, je ukazatel užitečných vlastností, se kterým přišel britský profesor M. F. Ashby. Užité vlastnosti závisí většinou na dvou materiálových konstantách. Příkladem je poměr mezi mezí kluzu a hustotou nebo modulem pružnosti v tahu a hustotou. Pokud tyto dvě konstanty vyneseme v souřadnicovém systému, dostaneme uzavřenou křivku daných materiálů. Tyto uzavřené křivky se nazývají mapy materiálových vlastností, které popisují v následující kapitole. (5)

2.2 Mapy materiálových vlastností

Každá vlastnost konstrukčního materiálu má určitý rozsah hodnot. Mapy materiálových vlastností slouží k zobrazení oblasti těchto hodnot, které určují jednotlivé skupiny materiálů. Používají se pro tři následující účely – k výběru materiálu, který splňuje požadovaná kritéria, k návrhu nových hybridních materiálů či k přibližným výstupním parametrům materiálu. Bohužel data materiálových map jsou nepřesná, proto se primárně používají pro hrubé výpočty a pro širší porovnání materiálu během konceptuálního návrhu. Vyskytují se ve dvou typech. **První způsob** zobrazení je v podobě sloupcového grafu. Znárodnuje jen jednu vlastnost pro všechny materiály. Na obrázku č. 7 můžeme vidět názorný sloupcový graf, kdy každý materiál popisuje jeden sloupec.

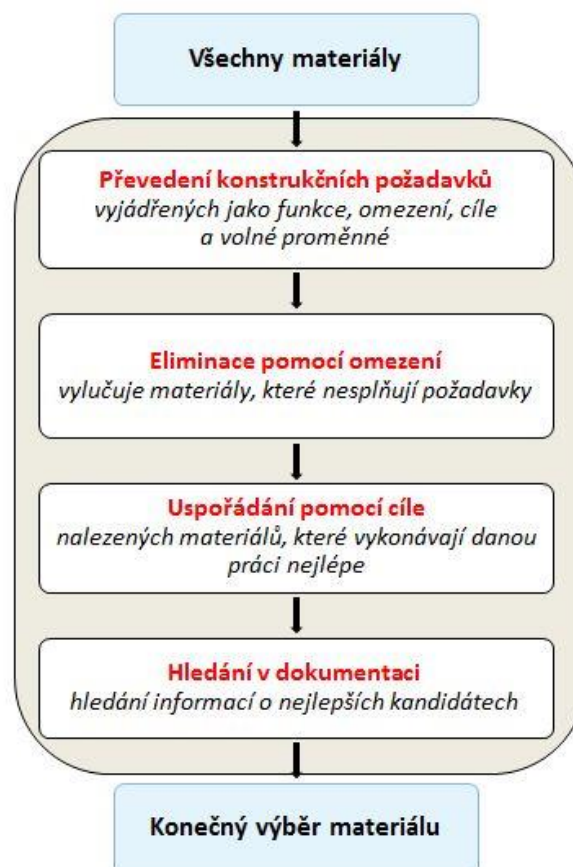


Obrázek 7 - Sloupcový graf znázorňující modul pružnosti pro srovnání jednotlivých druhů materiálů (11)

materiálu vůči slané nebo sladké vodě, jeho průhlednost, minimální velikost hustoty nebo minimální modul pružnosti v tahu.

Jelikož materiálů je i po eliminaci stále mnoho, nastupuje **třetí fáze**, která slouží k nalezení materiálů, které nejlépe splňují dané cíle. Toho se dosáhne pomocí materiálových indikátorů. Ty popisují detailně v následující kapitole.

Po těchto fázích již máme materiály, které vyhovují omezení a plní velmi dobře cíle. Bohužel stále nevíme, jaký z těchto vhodných materiálů bude ten nejlepší. Sice můžeme vybrat materiál, který nejlépe vyhovuje cílům a omezením, ale může se pod ním skrývat mnoho problémů, které jsme v předchozích krocích neodhalili. Proto přichází **čtvrtá fáze**, která se jmenuje „hledání v dokumentaci“. Pomáhá zúžit krátký seznam materiálů na konečnou volbu. Detailněji tuto fázi rozeberu v kapitole 2.3.4. Na obrázku č. 9 můžeme vidět všechny tyto fáze výběru materiálu. (13)



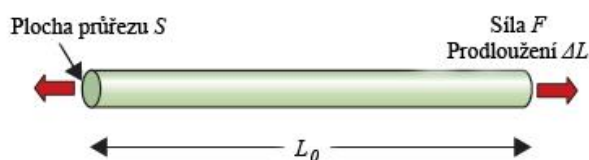
Obrázek 9 - Fáze výběru materiálu (13)

Dříve než tyto jednotlivé fáze předvedu na ukázkovém výběru musím pro vysvětlení rozebrat materiálové indikátory.

2.3.1 Materiálové indikátory

Materiálové indikátory určují výkonnost jednotlivých materiálů pro vybraný cíl. Používají se tedy pro zvolení nejvhodnějšího materiálu s ohledem na cíle. Vynášejí se pomocí přímek s různou směrnici do materiálových map za účelem nalezení těch materiálů, které mají stejnou výkonnost. Pokud cíl není spojen s omezením, jedná se o materiálový indikátor, který má pouze jednu materiálovou vlastnost. Naopak, pokud je cíl spojen s omezením, tak se indikátor stává skupinou vlastností. Nejčastěji se vyskytují cíle, které obsahují dvě vlastnosti.

Pro názornost tyto materiálové indikátory vysvětlím na jednoduché ukázce. Příkladem je nalezení vhodného materiálu pro prut, který bude lehký a dostatečně tuhý. Na následujícím obrázku je zobrazeno, jak takový prut vypadá.



Obrázek 10 - Prut (14)

Ten se skládá z celkové délky L_0 , průřezu A z dané síly, která na prut působí. Délka L_0 a tažná síla F je dána, naproti tomu průřez A musíme zjistit.

Nejdříve si musíme určit konstrukční požadavky. Funkcí je prut. Omezením je jeho daná délka, které stanovuje geometrické omezení. Dále je nutné převést sílu F bez porušení materiálu. Cílem je minimalizace hmotnosti při bezpečném přenesení síly F . Do volných proměnných zahrnujeme druh materiálu a velikost průřezu A . Všechny tyto konstrukční požadavky jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 1 - Konstrukční požadavky pro prut

Funkce	Prut
Omezení	Daná délka
	Přenesení síly F bez porušení
Cíle	Minimalizovat hmotnost
Volné proměnné	Velikost průřezu A
	Druh materiálu

Následně musíme najít rovnici, která zobrazuje cíle, jakých chceme dosáhnout. V tomto případě se jedná o rovnici, která popisuje minimální hmotnost prutu m .

$$m = S \cdot L \cdot \rho, \quad 1$$

kde S je plocha průřezu a ρ hustota materiálu. Jelikož délka L a síla F jsou dány, nelze měnit jejich velikosti. Z toho vyplývá, že jedinou možností, jak snížit hmotnost je zmenšení průřezu S . Avšak musíme si dát pozor na omezení, které říká, že velikost průřezu S musí být tak dostatečně široké, aby unesla zatížení F . To zobrazuje následující rovnice:

$$\sigma_f \geq \frac{F^*}{S}, \quad 2$$

kde σ_f znamená mez pevnosti a S plochu průřezu. Po následném dosazení plochy průřezu z první rovnice do druhé nám vznikne následující rovnice:

$$m \geq (F^*)(L) \left(\frac{\rho}{\sigma_f} \right). \quad 3$$

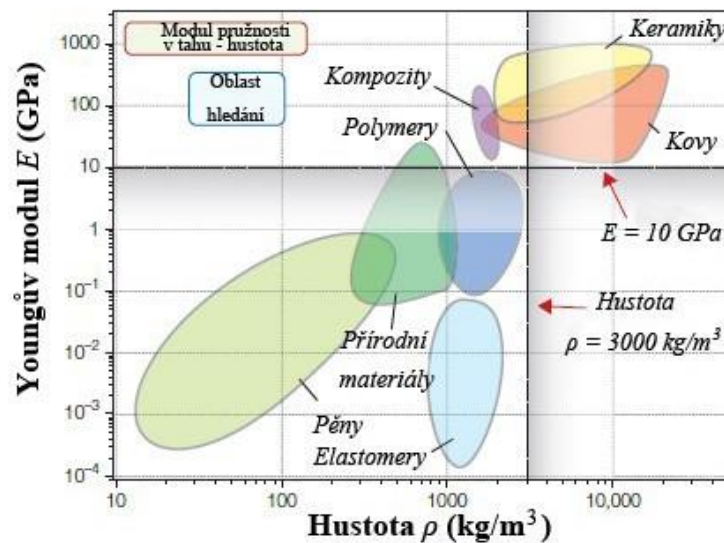
Výsledná rovnice se rozděluje do tří částí. Každá z nich je ohraničena závorkami. První část se nazývá **funkční omezení**. Ta vyjadřuje sílu, která je konstantní. Druhou částí rovnice je takzvané **geometrické omezení**, které formuluje konstantní délku L . Poslední část rovnice tvoří **materiálové vlastnosti**, které jsou jedinou proměnnou. Pomocí nich hledáme takový materiál, který bude mít nejnižší poměr ρ/σ_f . Tento poměr vyjadřuje minimum. Jelikož se častěji pro hledání používá maximální hodnota určitých vlastností, musí se tato hodnota převrátit. Následující rovnice zobrazuje převrácenou hodnotu těchto materiálových vlastností

$$M_{t1} = \frac{\sigma_f}{\rho}. \quad 4$$

Z rovnice vyplývá, že nejlehčí prut, který bude nést sílu F má největší tuto hodnotu. (14)

2.3.2 Vyšetření pomocí aplikace limitů atributů

Každý návrh ukládá na materiál určité požadavky nedosažitelnosti neboli omezení. Ty se přenáší do takzvaných atributových limitů, které se vynášejí jako vodorovné nebo svislé čáry v materiálových mapách. Obrázek 11 zobrazuje ukázkovou materiálovou mapu se dvěma hranicemi, kdy E je horní a ρ dolní. Také poukazuje, že tento návrh požaduje dva limity na hodnoty $E \geq 10$ GPa a $\rho < 3\,000$ kg/m³. Optimální materiál se bude vybírat z prostoru obdélníku ohraničeným těmito dvěma limity. Tato oblast se v obrázku nazývá okno hledání.



Obrázek 11 - Materiálová mapa E - ρ poukazující na dolní hranici E a horní hranici ρ (15)

Pomocí limitů můžeme také vyjádřit hůře kvalifikované vlastnosti, kterými může být například odolnost proti opotřebení, tvarovatelnost, ale také odolnost proti korozi. Tyto limity se mohou vyskytovat ve dvou tvarech:

$$A > A^*$$

nebo

$$A < A^*$$

5

kde A znamená atribut, kterým může být například provozní teplota. A^* je kritická hodnota tohoto atributu. Ta je stanovena podle návrhu. Existují dvě možnosti: buď tato kritická hodnota musí být překročena, anebo v případě rychlosti koroze nesmí být překročena. (15)

2.3.3 Utřídění materiálů pomocí materiálových indikátorů

Dalším krokem je hledat ty materiály, které z podskupiny materiálů splňujících omezení maximalizují výkonnost. Tento příklad se bude používat pro návrh lehké a tuhé součásti. Jiné materiálové indikátory se používají stejným způsobem. Odvození materiálového indikátoru pro nosník, za cílem lehkosti a tuhosti součásti, se vytváří stejně jako pro prut, který je odvozen v kapitole 2.3.1. Přesný postup pro odvození je rovněž ukázán ve čtvrté edici knihy *Material Selection in Mechanical Design* od profesora Michaela Farriese Ashbyho na straně 111. Materiálové indikátory E/ρ , $E^{1/2}/\rho$ a $E^{1/3}/\rho$ se také mohou vykreslit do mapy materiálových vlastností. Hlavní podmínkou je:

$$\frac{E}{\rho} = C,$$

6

nebo v logaritmickém tvaru:

$$\text{Log}(E) = \text{Log}(\rho) + \text{Log}(C), \quad 7$$

načež tato rovnice charakterizuje podobné rovnoběžné přímky se směrnici 1 v materiálové mapě $\text{Log}(E)$ proti $\text{Log}(\rho)$, přičemž každá přímka odpovídá hodnotě konstanty C . Podobně tomu je u podmínky:

$$\frac{E^{1/2}}{\rho} = C, \quad 8$$

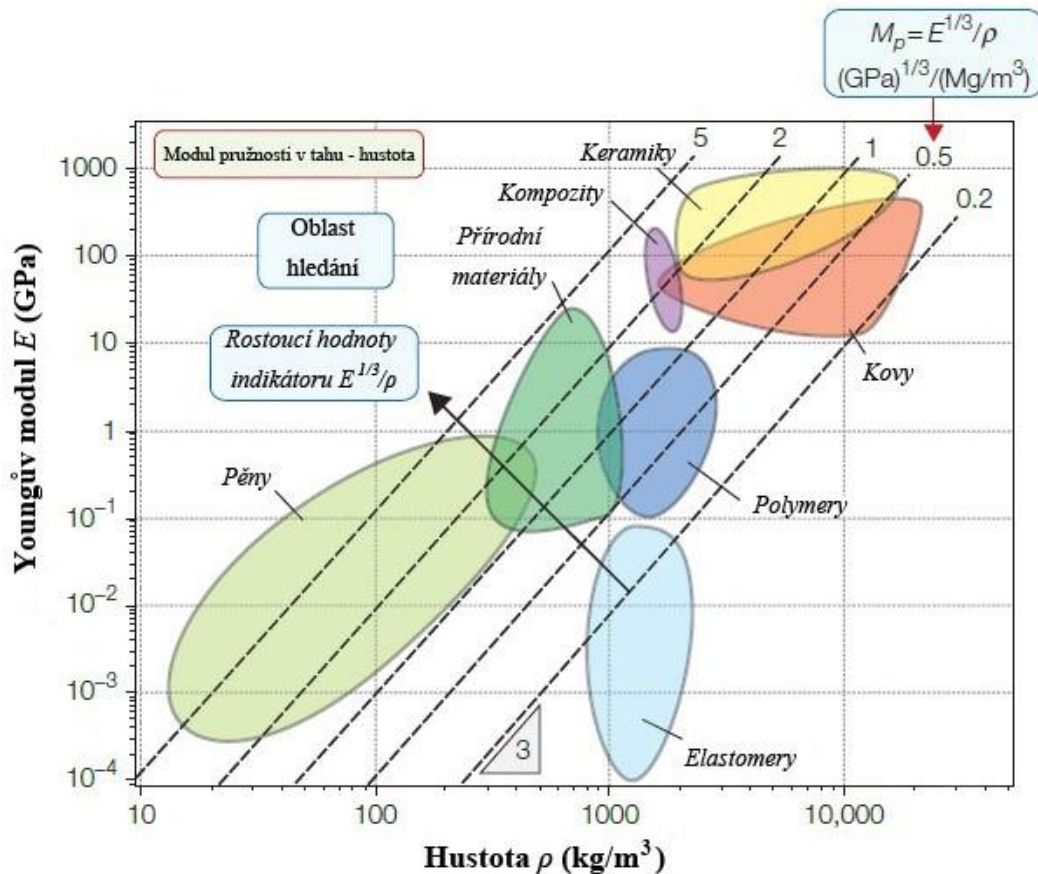
nebo v logaritmickém tvaru

$$\text{Log}(E) = 2\text{Log}(\rho) + 2\text{Log}(C), \quad 9$$

kdy tato podmínka popisuje přímky se směrnici 2. Podmínka:

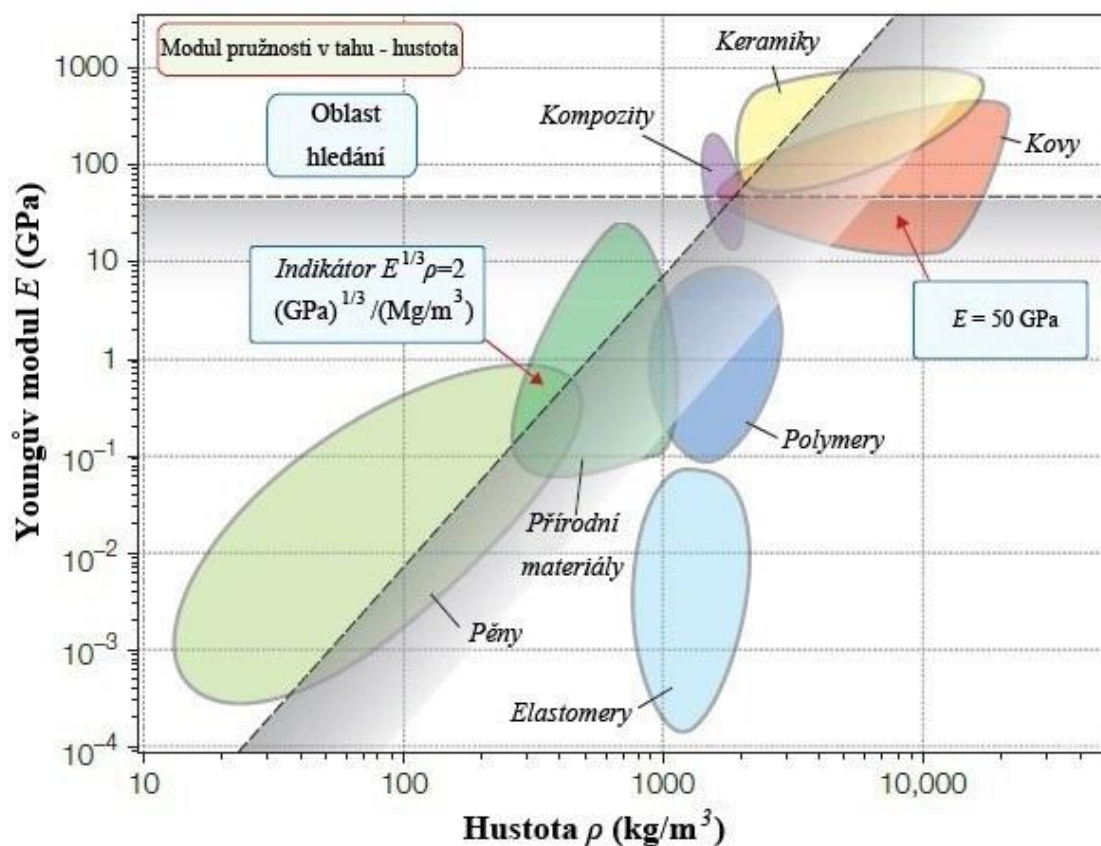
$$\frac{E^{1/3}}{\rho} = C \quad 10$$

udává další sadu přímek se směrnici 3. Tyto přímky se nazývají řídicí přímky výběru, které udávají směrnici podobných rovnoběžných přímek podle materiálového indikátoru. V této fázi je již snadné najít takové materiály, jenž maximalizují výkon pro všechny druhy zatěžování. Materiály ležící na přímce o konstantní hodnotě $E^{1/3}/\rho$ mají stejnou výkonnost. Pokud se materiály nacházejí nad touto přímkou, mají vyšší výkonnost, pokud pod ní, tak naopak nižší. Na obrázku č. 12 můžeme vidět jednotlivé přímky, které odpovídají hodnotám $E^{1/3}/\rho$ od 0,2 do 5 $\text{GPa}^{1/3}/\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Z materiálu mající hodnotu $M = 2$ se vyrobí deska o desetinné hmotnosti vůči materiálu $M = 0,2$ při stejné tuhosti.



Obrázek 12 - Výběr na základně indikátoru $E^{1/3}/\rho > 2$ GPa a hranici $E > 50$ GPa (15)

Podskupina materiálu se zvláště dobrými hodnotami indikátoru může být nalezena pomocí přímky. Ta odděluje vyhledávací oblast obsahující relativně málo potenciálních kandidátů. Tato přímka je znázorněna na obrázku č. 13. S indikátory se zároveň mohou použít i limity atributů, a tedy i zúžit výběr vyhledávací oblasti. Na této materiálové mapě je současně i podmínka $E > 50$ GPa, která je zobrazena v grafu jako vodorovná čára. Materiály, které stále leží ve vyhledávací oblasti jsou pro nás těmi vyhovujícími. (15)



Obrázek 13 - schématický graf ukazující materiálový indikátor a limit atributů (15)

2.3.4 Hledání v Dokumentaci

Jak jsem již uvedl v kapitole 2.3, v poslední fázi je nutné vybrat z těchto materiálů konečnou volbu. Musíme si zjistit podrobné informace o vhodných materiálech. Těmi jsou jejich silné a slabé stránky, rozlišení, u jakých výrobků se používají, jejich cena, ale také možné problémy, které vznikají při použití vybraných materiálů. Rovněž je důležité shrnutí všech požadovaných vlastností do jednoduché tabulky za účelem možného zhodnocení mezi materiály. Pokud dojdeme až na konec této fáze, měli bychom být schopni vybrat finální materiál. (15)

2.4 CES EduPack

CES EduPack je jedinečný výukový program, ve kterém je možné prohlížet, vyhledávat a zkoumat data v databázích od společnosti Granta design Limited. Také obsahuje široké spektrum nástrojů, které pomáhají s výběrem materiálu. V těchto databázích můžeme najít mnoho informací o vybraném materiálu. Příkladem je způsob výroby, technologie zpracování, mechanické vlastnosti, množství tepelné kapacity, ale i teplota, při které zvolený materiál začne tát. Po zadání určitých kritérií umí materiály seřadit buď do soupisu nebo do materiálových map. Tento program bude v případové studii použit jako pevný základ, který pomůže k nalezení nejvhodnějšího materiálu pro ukázkový příklad. (15)

3 Výběr konstrukčních materiálů s ohledem na produktový design

V předešlých kapitolách jsem se zabýval návrhem nového výrobku pouze z pohledu konstrukce. Zkoumal jsem materiál například z pohledu tuhostních a pevnostních charakteristik. V dalších kapitolách se budu zabírat pohledem z produktového designu. To znamená, že se budeme dívat i na to, jak na nás daný materiál při prvním pohledu působí, jaké pocity budeme mít z jeho užívání a jak s ním budeme spokojeni. Bohužel zde nastává problém, který se týká systematickosti. Při výběru materiálu z konstrukčního hlediska se takovým způsobem postupovalo. Z pohledu konstrukce tak nastává situace, že pokud vybíráme materiál dle stejných postupů a ze stejné škály materiálů, tak nám vždy vznikne ten samý výsledek. Průmyslový design ovšem není systematický – nezáleží jen na tom, jak budeme postupovat, ale musíme se také dívat na velké množství jiných faktorů, které se týkají současného cítění okolí. Jedná se například o citlivost k módě, zvykům a vzdělání, které jsou mimo jiné ovlivněny reklamou a sdružením.

3.1 Základní požadavky na výrobek

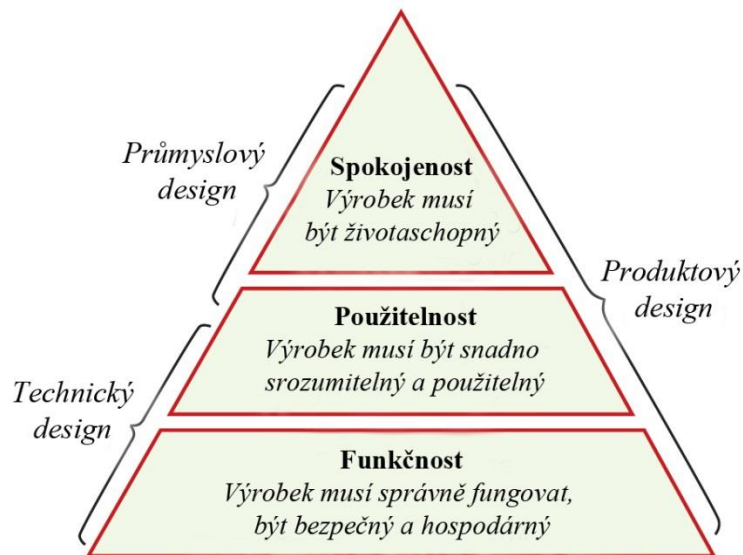
Stejný výrobek může být vyroben z nejrůznějších materiálů. Názorným příkladem jsou hodinky. V následujícím obrázku poukazuji na dva typy hodinek, které se liší především materiálem.



Obrázek 14 – Dva druhy hodinek z odlišných materiálů (16) (17)

Na první pohled vidíme, že oba výrobky vykonávají zcela stejnou funkci, kterou je prezentace aktuálního času. Ovšem výrobek vlevo je přibližně desetkrát dražší než ten vpravo. Není to dáno tím, že by hodinky na levé části obrázku ukazovaly čas desetkrát přesněji, ale především zde hrají roli odlišné náklady na výrobu, druh materiálu a uvedení daného produktu na trh. Dalším faktorem může být značka, která symbolizuje výrobce. Každý produkt má svou

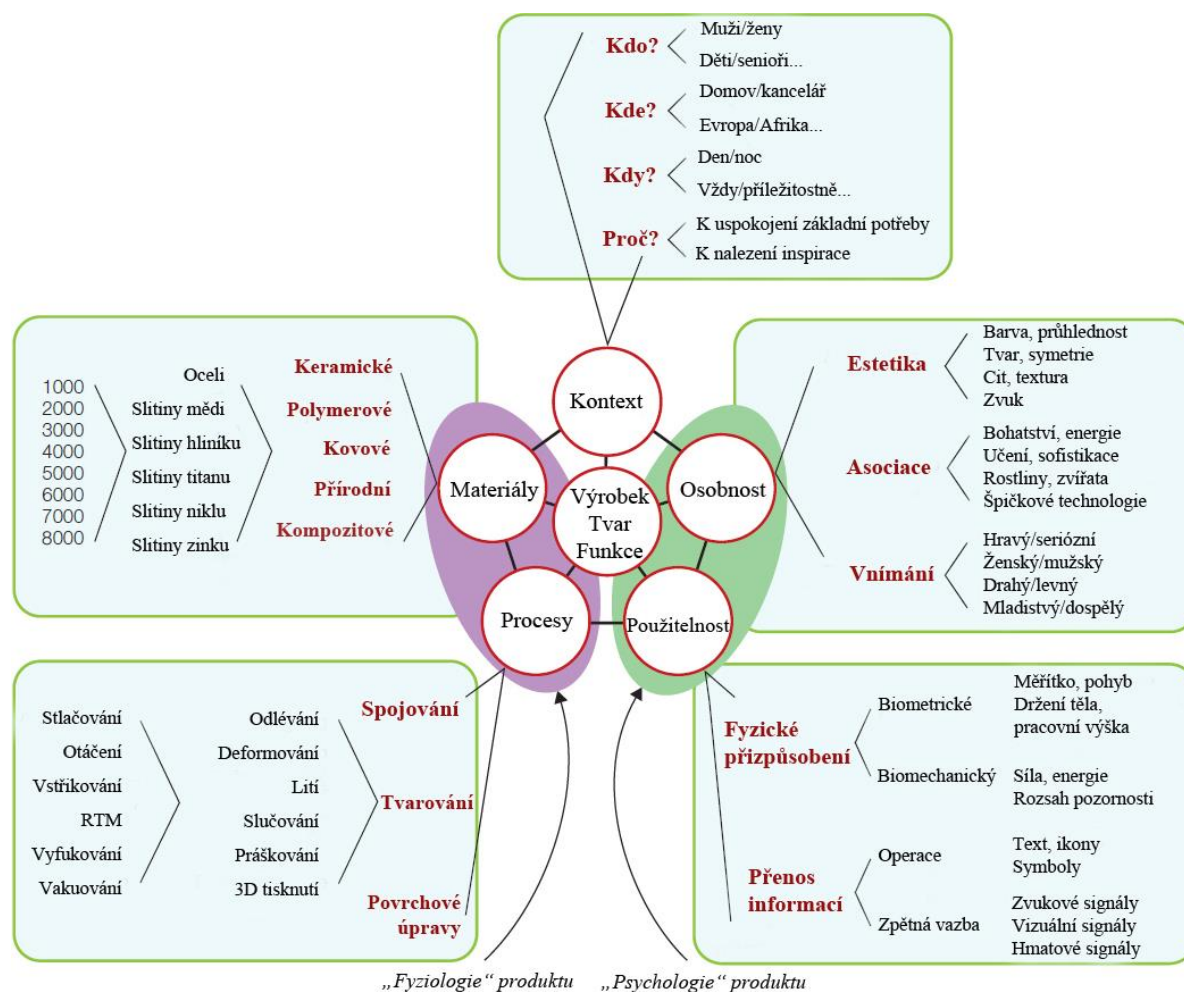
cenu a hodnotu. Cena je částka, za kterou je daný produkt nabízen spotřebitelům. Hodnota zobrazuje míru toho, kolik je spotřebitel ochoten za daný výrobek zaplatit. Hodnotu určují tři hlavní faktory. Těmi jsou spokojenost, použitelnost a funkčnost. Jak tedy znázorňuje následující obrázek, produkt musí být životně prospěšný, snadno zapamatovatelný a použitelný, musí správně fungovat, být bezpečný a hospodárný. (17)



Obrázek 15 - Požadavky pyramid (17)

3.2 Charakter výrobku

Charakter výrobku tvoří několik základních myšlenek, které dohromady tvoří tzv. mapu. Pokud chce konstruktér vybrat dokonalý, ba přímo ideální materiál, musí se těmito myšlenkami zabývat. Na následujícím obrázku můžeme vidět rozdělení charakteru produktu.



Obrázek 16 - Rozdělení charakteru produktu (18)

V samotném centru se nacházejí informace o produktu, jako jsou požadavky na návrh, funkce a vlastnosti. Způsob, jakým se tyto myšlenky rozvíjí, je podmíněn kontextem, který se nachází nad samotným centrem. V kontextu se řeší otázky, za jakých okolností bude výrobek provádět dané úkoly. Při určování těchto okolností je důležité položit si pár základních otázek, a to „kdo, kde, kdy a proč?“.

Při první otázce konstruktér řeší, **kdo** bude produkt využívat. Podle toho přizpůsobí volbu materiálu. Je rozdíl, zda bude výrobek používat žena, dítě či starší člověk.

Dále je nutné se zamyslet, **kde** bude produkt používán. Existuje například rozdíl mezi použitím v domácnosti nebo v nemocnici.

Následně je nutné zaměřit se na otázku **kdy**. Je podstatné určit si, jak často se daný výrobek používá. Ten, který je stanovený pro příležitostné použití, bude vyroben z jiného materiálu než ten, který je daný pro celodenní využívání.

Při poslední otázce se díváme na to, **proč** se výrobek vyrábí. Měl by uspokojovat základní potřeby, být člověku užitečný nebo vypovídat něco o jeho životním stylu. Kontext ovlivňuje všechna rozhodnutí, které konstruktér realizuje při hledání řešení.

Na levé straně od centra se nacházejí informace o materiálech a procesech. Jedná se o rozdělení materiálů do základních skupin až po konkrétní značení a o detailní rozbor způsobu výroby materiálu. Materiál a proces, který dodává produktu hmatatelný vzhled, vytváří fyziologii produktu.

Na pravé spodní straně od centra se nachází použitelnost. Rozhoduje o tom, jak se výrobek dorozumívá s uživatelem. Komunikuje pomocí vzájemného působení motorických, smyslových a kognitivních funkcí. Úspěšný produkt vyžaduje mít co nejlehčí a co nejvíce intuitivní ovládání. Je pozoruhodné, kolik potenciálních návrhů ztroskotalo na problému komplikovaného ovládání.

Nad použitelností se nachází poslední myšlenka, a tou je osobnost. O té se zmíním v následující podkapitole. (18)

3.3 Osobnost výrobku

Jak jsem již uvedl, osobnost výrobku je součástí jeho charakteru. Zahrnuje podskupiny, kterými jsou estetika, asociace a vnímání, jenž mezi sebou vzájemně působí a vytváří celkový dojem z produktu. Osobnost výrobku tedy patří mezi jeden z nejdůležitějších faktorů, který přiláká zákazníka a přesvědčí ho, aby si daný produkt koupil.

Estetika se zabývá vnímáním pocitů, dojmů a zároveň stimuluje pět smyslů: zrak, sluch, hmat, chuť a čich. Zajímá se o barvu, tvar, strukturu a další estetické vlastnosti. Pravým opakem je anestetika, která otupuje smysly.

Pod pojmem **asociace** si můžeme představit produkt, který nám svým vzhledem připomíná i něco jiného. Názorným příkladem můžou být auta. Známý Land Rover napodobuje tvary a barvy, které jsou charakteristické pro vojenská auta.

Poslední podskupinou je **vnímání** představující reakce, které výrobek vyvolává v pozorovateli. Měly by to být pocity, které člověku říkají, že daný produkt je ten pravý a má oproti konkurenci jasné výhody. Vnímání také záleží na kultuře a pozadí pozorovatele. V konečném důsledku pokaždé záleží na spotřebiteli, jaký výrobek upřednostní. Následující obrázek zobrazuje některé vlastnosti vnímání a jejich následné protiklady. (18)

Vnímání (s protikladem)	
Útočný – pasivní	Výstřední – umírněný
Levný – drahý	Ženský – mužský
Typický – moderní	Formální – neformální
Klinický – přátelský	Kusově vyrobený – sériově vyrobený
Chytrý – hloupý	Upřímný – klamný
Běžný – exkluzivní	Zábavný – seriózní
Zdobený – obyčejný	Neformální – formální
Jemný – drsný	Nepříjemný – milý
Jednorázový – trvalý	Trvalý – jednorázový
Nudný – vzrušující	Dospělý – nedospělý
Elegantní – nevhodný	Retro – módní

Obrázek 17 – Vlastnosti vnímání a jejich protiklady (18)

3.4 Procesy a využití materiálů tvořící osobnost výrobku

První zásadou tvořící osobnost výrobku je, že materiály musí být používány „upřímně“. Upřímnost znamená, že každý materiál musí být použit tak, aby odkrýval jeho vnitřní vlastnosti a zároveň i jeho přirozený vzhled. Tato myšlenka má svůj původ v tradici řemeslníků a hrnčírů, kteří využívají jedinečných vlastností a stejných postupů v jejich řemesle při použití jílu a glazur. Dalšími názornými příklady může být zpracování dřeva u tesařů a broušení skla u sklářů. Následující zásadou je kvalita materiálu, kterou spotřebitelé u výrobků velmi oceňují. Mezi další vlastnosti ale může patřit také překvapení, sympatie, provokace, humor, a nakonec i šok. (19)

3.4.1 Neodlučitelné estetické vlastnosti produktu

Jak jsem již uvedl v kapitole 3.3, estetické vlastnosti jsou takové, které se týkají pěti smyslů: zraku, sluchu, chuti, čichu a hmatu. Pokud se podíváme na produkt vyrobený z kovu, tak téměř každý bude souhlasit s tím, že tento materiál vypadá chladně. Dalším příkladem může být tón zacinkání skleničky po udeření jiným předmětem. Také polystyrenové vodní sklo vypadá na první pohled nerozeznatelně od sodnovápenatého skla, ale po zvednutí je lehčí, méně tuhé a chladné. Z předešlých příkladů tedy vidíme, že každý materiál má své charakteristické estetické atributy. Obrázek č. 18 zobrazuje estetické vlastnosti rozdělené podle smyslů. Jedná se tedy o hmat, zrak, sluch a čich.

Smysl	Vlastnost	Smysl	Vlastnost
Hmat	Teplý	Sluch	Tlumený
	Studený		Utlumený
	Měkký		Pronikavý
	Tvrdý		Zvučný
	Pružný		Zvonivý
	Tuhý		Hlasitý
Zrak	Čirý	Chuť/ Čich	Hořký
	Průhledný		Sladký
	Průsvitný		
	Neprůsvitný		
	S úplnou odrazivostí		
	Lesklý		
	Pololesklý		
	Matný		
	S minimální odrazivostí		

Obrázek 18 – Příklady estetických vlastností materiálu (19)

1. Podle **hmatu** rozeznáváme materiály tvrdé, měkké, teplé či studené a pružné nebo tuhé.

Tvrde materiály jsou odolnější a nedají se lehce poškrábat, proto také mohou být použity k rytí do měkčích materiálů. Obvykle mají výbornou odolnost proti opotřebení a jsou trvanlivé. Podle zkoušky tvrdosti dle Vickerse³ můžeme určit, zda je materiál opravdu tvrdý.

Měkké materiály jsou naopak křehké a při lehkém zatížení se po uvolnění vrátí do původního stavu. Nejsou natolik spojené s tvrdostí dle Vickerse, jako je to u tvrdých materiálů. Za to souvisí s modulem pružnosti v tahu.

Materiály, které jsou studené na dotek, mají vysokou tepelnou vodivost⁴. To znamená, že odvádí teplo rychle a při vysoké tepelné kapacitě⁵ se materiál nestačí ohřát. Naopak tomu materiály, které jsou teplé na dotek, mají nízkou tepelnou vodivost a tepelnou kapacitu. Z tohoto důvodu i špatně odvádí teplo.

³ Statická zkouška tvrdosti, která funguje na principu vniknutí zkušební tělesa do materiálu při následném stanovení míry deformace materiálu.

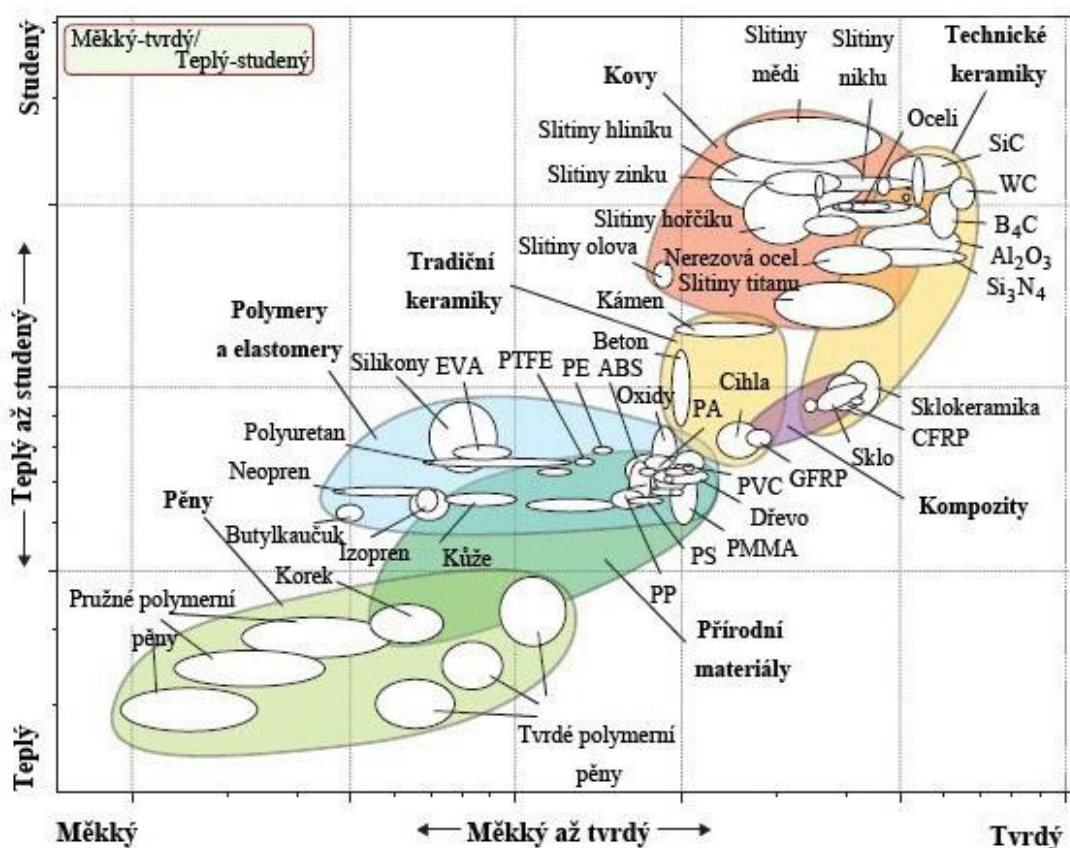
⁴ Vyjadřuje fyzikální veličinu, která označuje schopnost látky vést a přenášet teplo.

⁵ Fyzikální veličina, která udává, jaké množství tepla je třeba dodat jednomu kilogramu látky, aby se její teplota zvýšila o jednotkový teplotní rozdíl (v SI soustavě o 1 Kelvin).

Na obrázku č. 19 můžeme vidět rozdělení materiálů podle hmatových vlastností. Vodorovná osa znázorňuje, jak je materiál tvrdý. Tuto tvrdost vypočítáme z hodnoty \sqrt{EH} , kde E znamená modul pružnosti v tahu a H představuje tvrdost dle Vickerse.

Svislá osa naopak říká, zda je materiál teplý či studený. Zde se řídíme výpočtem z hodnoty $\sqrt{\lambda C_p \rho}$, kde λ představuje součinitel tepelné vodivosti, C_p značí tepelnou kapacitu a ρ vystihuje hustotu materiálu.

Tyto dvě osy po vynesení do grafu definují různé druhy materiálů.

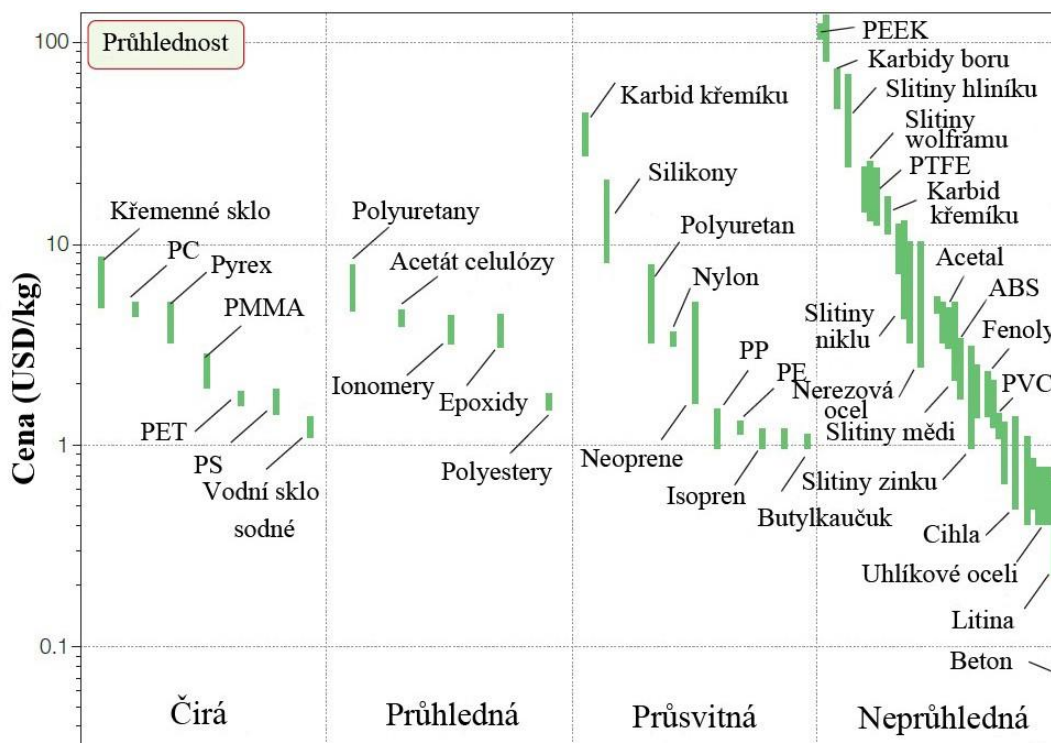


Obrázek 19 - Hmatové vlastnosti materiálů (19)

2. Podle **zraku** rozlišujeme u každého materiálu jeho barvu, transparentnost a odrazivost.

Transparentnost se dále rozděluje do čtyř skupin: neprůhledné, průsvitné, průhledné a čiré. Kovy patří do skupiny neprůhledného materiálu. Polymery se nacházejí ve všech těchto skupinách, protože mají největší rozmanitost optické průhlednosti. A co se týče keramiky, tak skoro všechny materiály, které jsou z ní vyrobeny, jsou buď neprůhledné nebo průsvitné. Je to dáno tím, že obsahují polykrystaly, které rozptylují světlo. Data transparentnosti jsou vynesena

do sloupcové mapy na základě nákladů. Na následujícím obrázku je zobrazeno hodnocení materiálů z pohledu transparentnosti.



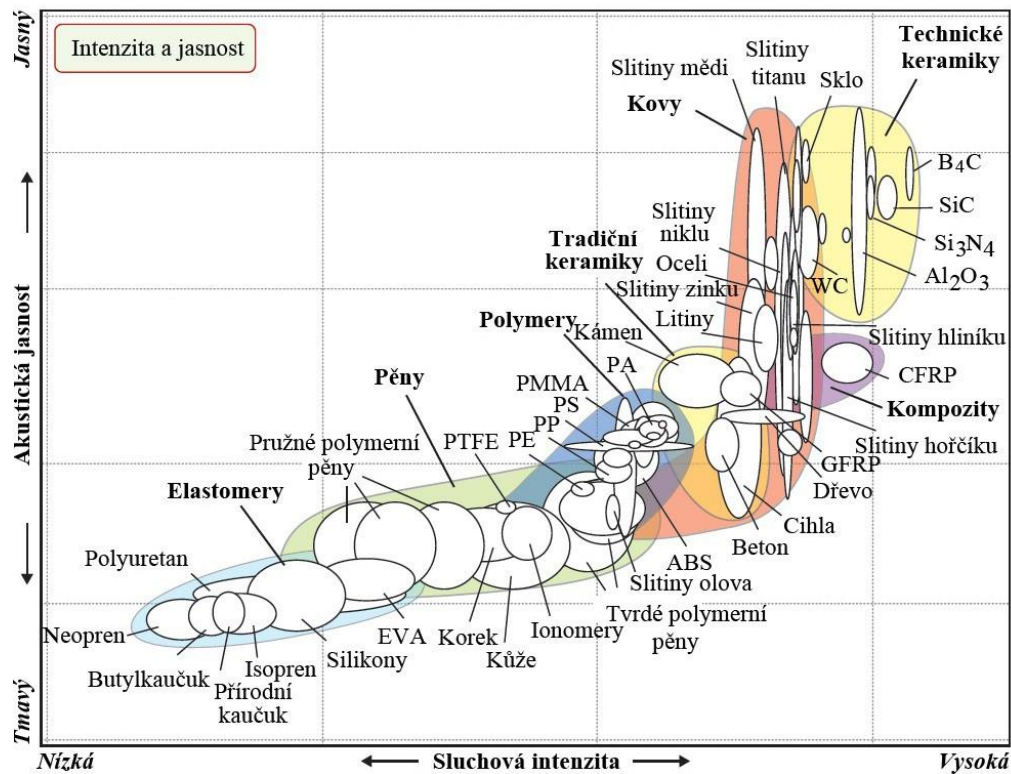
Obrázek 20 - Hodnocení materiálů z pohledu transparentnosti (19)

Barva může být posuzována podle analýzy spektra, ale z hlediska návrhu to není ta nejlepší varianta. Proto se barvy posuzují podle toho, jak jsou jednotlivě mezi sebou sladěny.

Odrazivost závisí jak na materiálu, tak zčásti i na stavu jeho povrchu. Dělí se stejně jako transparentnost do několika skupin, a to na: s minimální odrazivostí, matné, pololesklé, lesklé a s úplnou odrazivostí.

3. Podle **sluchu** rozlišujeme zvuky jednotlivých materiálů. Ty představují výšku a frekvenci jednotlivých tónů. Frekvence se při zasažení objektu vztahuje k materiálovým vlastnostem.

Obrázek 21 zobrazuje akustické vlastnosti materiálu. Kdy vodorovná osa představuje sluchovou intenzitu, která se vyjadřuje pomocí vzorce $\sqrt{E/\rho}$, kde E znamená modul pružnosti v tahu a ρ znázorňuje hustotu materiálu. Na svislé ose je zobrazena akustická jasnost neboli inverzní tlumení, které seskupuje materiály mající podobné akustické chování. Příkladem je bronzový, skleněný nebo ocelový kroužek, který po zasažení vydává tóny, jež mají vysokou frekvenci. Tyto tři materiály se používají na výrobu zvonů. Kaučuky, pěny a polymery jsou zase naopak tlumené a vydávají zvuky s nízkou frekvencí. Kvůli tomu se používají pro zvukovou izolaci.



Obrázek 21 - Akustické vlastnosti materiálu (19)

Všechny výše uvedené estetické vlastnosti materiálu se podílejí na osobnosti výrobku. Produkt je získává podle toho, z jakého materiálu je vyroben. Vše záleží jen na konstruktérech, který materiál zvolí a jaké vlastnosti záměrně vyzdvihnou. (19)

4 Případová studie

V této případové studii bych chtěl analyzovat daný problém na ukázkovém příkladu, kterým bude stojanový věšák. V první části budu vybírat podle konstrukčních požadavků a materiálových indikátorů ty nejvhodnější materiály. K celému tomuto kroku použiji program CES Edu-Pack 2013. Následně si zvolím tři konkrétní příklady pro cílové skupiny. Pro ně vyberu z nejvhodnějších kandidátů jeden konkrétní materiál a zhodnotím ho pomocí produktového designu.

4.1 Výběr materiálu s ohledem na produktový design

Ještě předtím, než začnu pro tento příklad navrhovat materiál, je nutné si připomenout, že abych našel ideální materiál, musím se zaměřit na charakter produktu. Ten zobrazuje několik základních myšlenek, kterými se musí konstruktér zaobírat, aby vybral ideální neboli správný materiál. Na samotném počátku se musí určit požadavky na návrh, funkci a vlastnosti. Následně se musí odpovědět na čtyři otázky: kdo, kde, kdy a proč. Dále je nutné se zaměřit na fyziologii, použitelnost a osobnost produktu.

Aby se mohly určit požadavky na návrh, funkci a vlastnosti, je nutné si ještě před tímto krokem navrhnout tvar a velikost stojanového věšáku. Také se musí určit velikost síly a část, na jakou bude působit. Dále je nutné najít kritickou část výrobku, to znamená část výrobku, která je nejvíce zatěžovaná. Na následujícím obrázku poukazuji na mnou navržený stojanový věšák v programu NX 11.



Obrázek 22 - Návrh stojanového věšáku

4.1.1 Konstrukční požadavky

U tohoto ukázkového případu bude zatěžující síla působit na konce ramen. Tedy nejvíce namáhanou částí bude spojení mezi ramenem a stojanem věšáku. Tím pádem je nutné u ramen určit takzvané převedení, které formuluje konstrukční požadavky jako funkce, omezení, cíle a volitelné veličiny. Ramena jsou zatížena svislou silou na vetknutém nosníku. V tom případě je jejich funkcí nosník, který musí unést ohybové zatížení. Následně se musí určit jednotlivá omezení stanovující požadavky vlastností na vybíraný materiál.

První je geometrické omezení, které určuje danou délku a tvar kruhového průřezu. Následně se musí určit funkční omezení – ramena stojanového věšáku by se neměla při určitém zatížení moc prohýbat. Proto je stanoven minimální modul pružnosti v tahu, který musí být větší jak 20 MPa. Jelikož ramena jsou namáhána na ohyb od zatížení, tak je určena minimální pevnost v ohybu, která musí být větší než 83 MPa. Následně se určují cíle, na které se ptáme otázkou, jaké hodnoty mají být minimalizovány nebo maximalizovány. Když se celkově zaměříme na věšák, tak by na první pohled neměl vypadat masivně. Hlavním cílem je tedy docílit lehkosti a jednoduchosti, čehož dosáhneme minimalizováním hmotnosti. V poslední řadě se musí vymežit volitelné veličiny. V tomto případě je to velikost průřezu a druh materiálu. V následující tabulce jsou pro přehlednost zobrazeny všechny výše uvedené konstrukční požadavky.

Tabulka 2 – Konstrukční požadavky pro ramena stojanového věšáku

Funkce	Nosník – zatížení na ohyb
Omezení	Modul pružnosti v tahu > 20 MPa (funkční omezení)
	Pevnost v ohybu > 100 MPa (funkční omezení)
	Tvar kruhového průřezu (geometrické omezení)
	Daná délka (geometrické omezení)
Cíle	Minimalizovat hmotnost
Volné proměnné	Velikost průřezu materiálu
	Druh materiálu

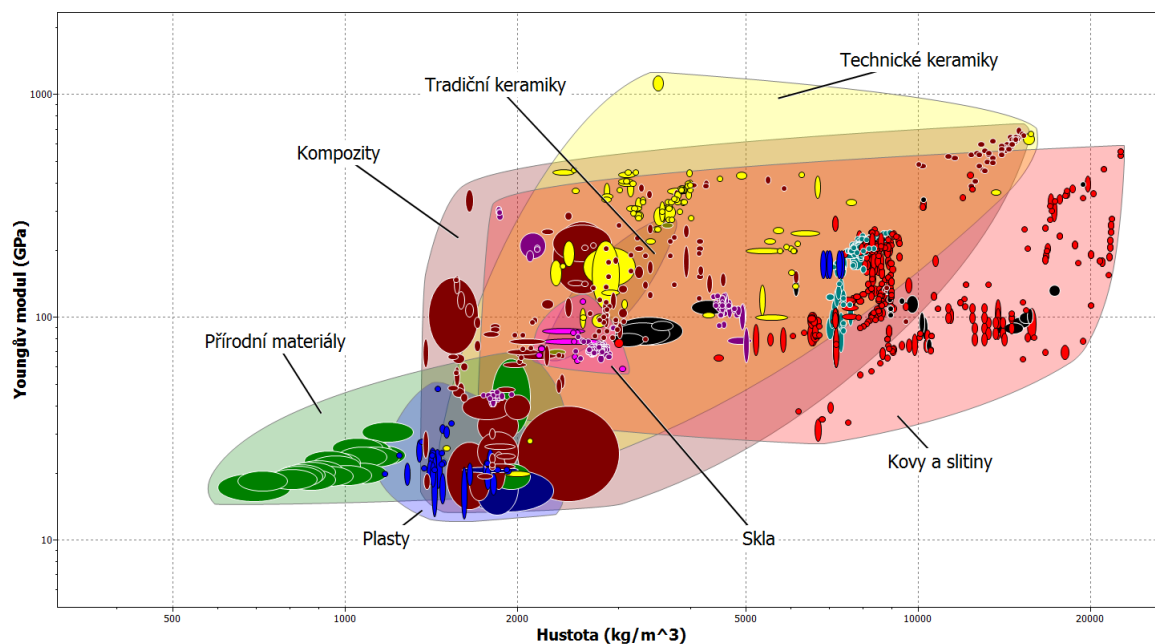
4.1.2 Výběr materiálu pomocí programu CES EduPack

Základem výběru materiálu jsou údaje o téměř 4 000 technických materiálech, které jsou k dispozici na 3 úrovních v programu CES EduPack. Čím větší úroveň, tím je obsáhlejší databáze materiálů. V této případové studii jsem zvolil 3. úroveň databáze materiálů kvůli nejlepšímu a nejpřesnějšímu odhadu jeho výběru. Prvním krokem tohoto výběru pomocí programu CES EduPack je vytvoření mapy materiálových vlastností, která se vytváří pomocí následujících kroků. Nejdříve je důležité vybrat si, z jak velké škály materiálů budu čerpat. Poté je nutné zadat všechna omezení, která jsem uvedl v tabulce č. 2. Nato je nutné si určit, co chci do grafu vynést na osy x a y. Při tomto rozhodnutí mi pomáhají tzv. tabulky indexů materiálů, které jsou k dispozici pomocí tlačítka „Nápověda“ v programu CES EduPack. V tomto případě říkají, že abych dosáhl cíle minimalizace hmotnosti při omezené tuhosti, musím minimalizovat hustotu ρ přes modul pružnosti v tahu E . Následující tabulka zobrazuje návrh s předepsanou tuhostí při minimální hmotnosti.

Tabulka 3 - Návrh s předepsanou tuhostí při minimální hmotnosti

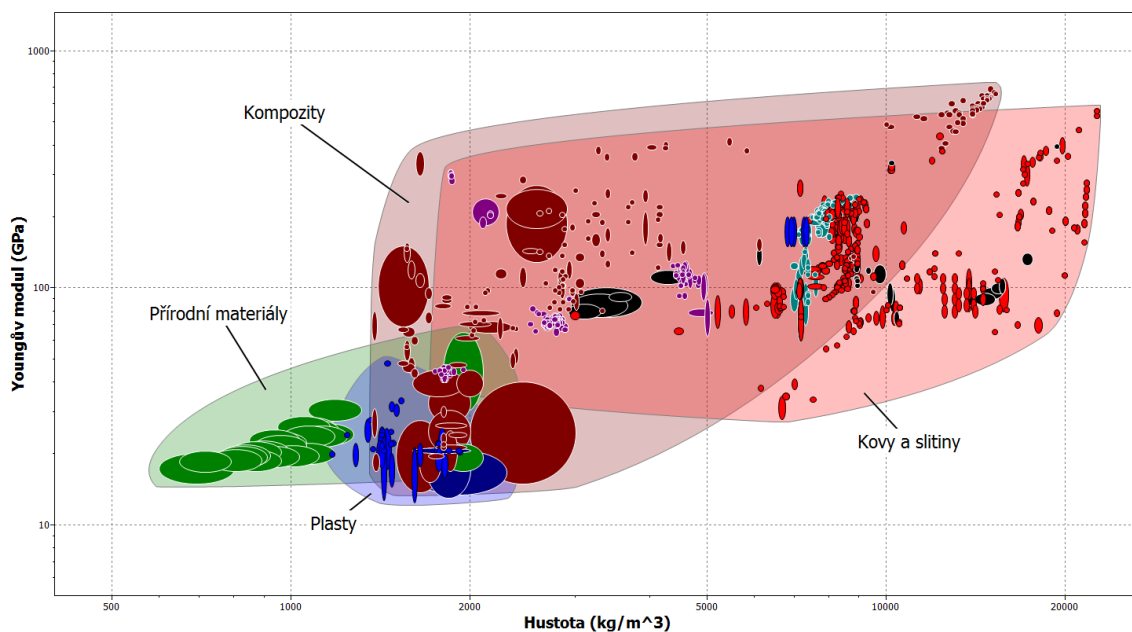
Funkce a omezení		Maximalizace	Minimalizace
nosník	Specifikovaná tuhost, délka a tvar	$E^{1/2}/\rho$	$\rho/E^{1/2}$

Na osu y je vynesena modul pružnosti v tahu a na osu x hustota. Po všech těchto krocích mi vyšla mapa materiálů. Na obrázku 23 můžeme vidět výslednou materiálovou mapu obsahující 1 969 materiálů, které se dělí do sedmi následujících skupin: kompozity, kovy a slitiny, technické keramiky, tradiční keramiky, skla, přírodní materiály a plasty.



Obrázek 23 - Materiálová mapa v závislosti na Youngovu modulu a hustotě

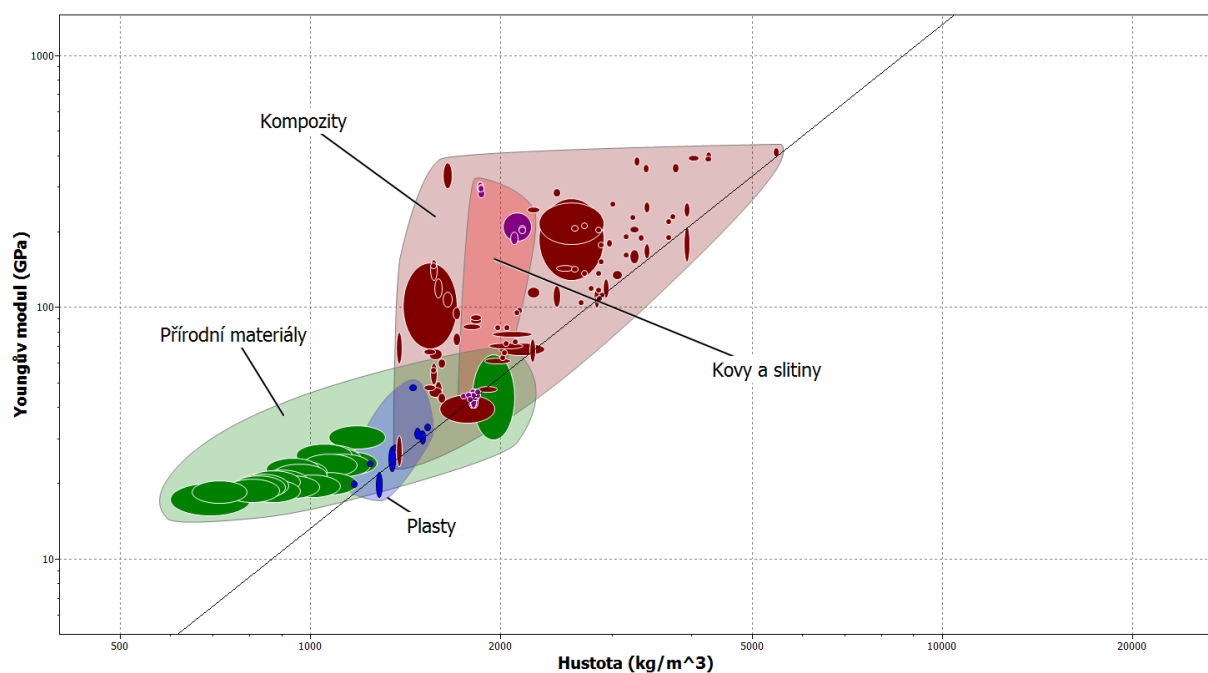
V této fázi je nutné si detailně rozebrat, zda opravdu všechny skupiny materiálů mohou být použity. Je nutné si uvědomit, že stojanový věšák by neměl být vyroben z materiálu, který je křehký. Kdyby tomu tak bylo, mohlo by dojít při lehkých nárazech a deformacích ke vzniku trhlin. Například pokud by se stojanový věšák náhle převrhnul, tak by se v daném okamžiku rozbil. V tom případě je nutné vyloučit z tohoto výběru dvě skupiny a těmi jsou skla a keramiky. Na následujícím obrázku je znázorněna materiálová mapa po eliminaci keramiky a skla.



Obrázek 24 - Materiálová mapa po eliminaci keramiky a skla

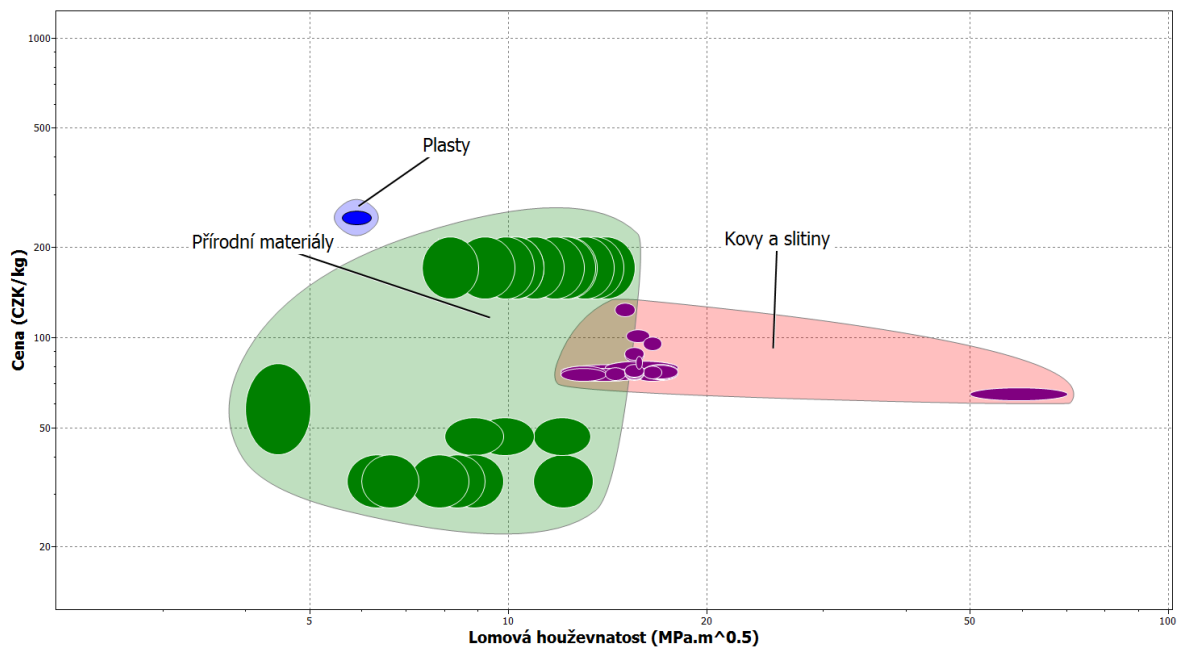
I po tomto vyloučení však stále vyhovuje 1855 druhů materiálů. Je tedy nutná další eliminace. Proto se zavádí další kritérium, které pomůže s výběrem těch nejvhodnějších.

K tomu se používají materiálové indikátory, jež se vynášejí do materiálových map pomocí přímků za účelem nalezení materiálů, které mají stejnou výkonnost. Materiály, které se nalézají nad touto přímkou, mají výkonnost větší. Naproti tomu materiály, které jsou pod touto přímkou, mají výkonnost menší. Příмка se volí v takové výkonnosti, aby se zmenšil výběr materiálů na menší oblast a byly splněny požadavky na omezení. Poté vyjdou jen ty nejvýkonnější kandidáti. Jelikož chceme dosáhnout minimalizace hmotnosti při omezené tuhosti použijeme $E^{1/2}/\rho$. Směrnice této přímky je 2, v kapitole 2.3.3 je popsáno, proč tomu tak je. Na obrázku 25 můžeme vidět výslednou materiálovou mapu obsahující 163 materiálů, které se dělí do čtyř následujících skupin: kovy a slitiny, přírodní materiály, kompozity a plasty.



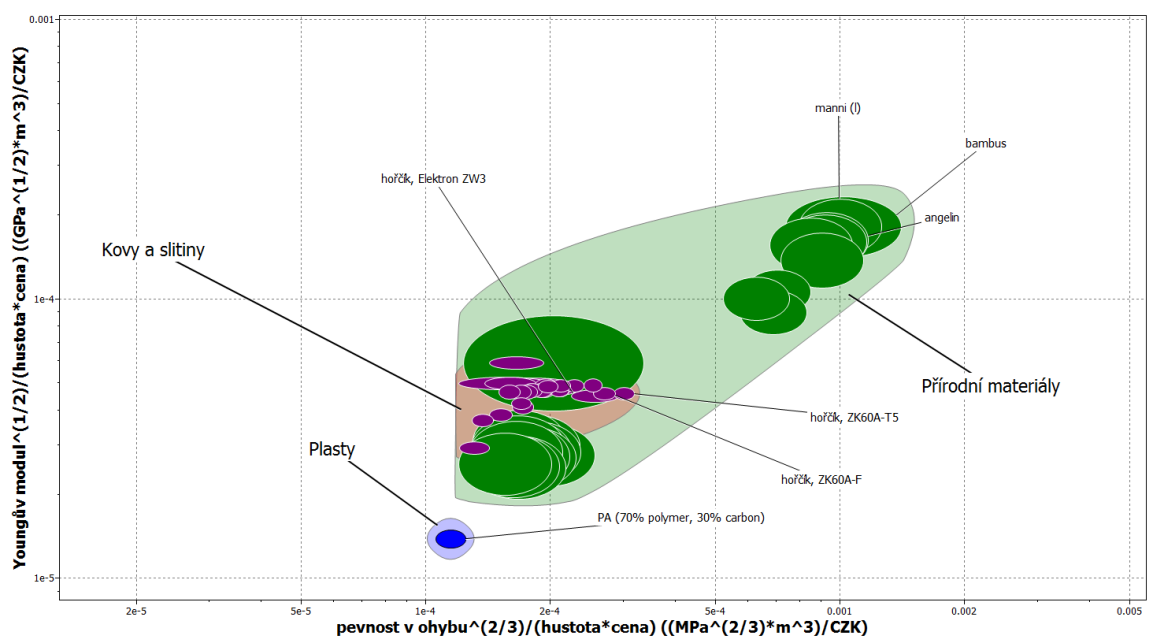
Obrázek 25 - Materiálová mapa po použití materiálového indikátoru

I po tomto kroku je stále mnoho vyhovujících materiálů. Je nutné tedy určit další omezení. Maximální cena materiálu musí být menší než 250 CZK/kg. Hlavním důvodem ohlížení se na cenu materiálu je ovlivňování konečné ceny výrobku. Na druhou stranu, aby se docílilo určité odolnosti proti tvorbě trhlin při deformování a nárazech, tak se musí určit i minimální houževnatost, která musí být větší než $5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$. Na obrázku č. 26 poukazují na výslednou materiálovou mapu po další eliminaci. Ta obsahuje 51 výsledných materiálů, které se dělí do tří následujících skupin: kovy a slitiny, přírodní materiály a plasty.



Obrázek 26 - Materiálová mapa po dalším omezení

Posledním krokem je vybrání několika nejvhodnějších materiálů z těchto 51 vyhovujících. Srovnání se docílí pomocí dvou materiálových indikátorů, kdy na osu y vyneseme první indikátor, kterým bude minimalizace ceny při zadané tuhosti. Na osu x bude indikátor minimalizace ceny při předepsané pevnosti v ohybu. Chceme, aby pevnost v ohybu a tuhost byla při závislosti na nejmenší ceně co největší. Proto hledáme v mapě takové materiály, které se nacházejí v pravém horním rohu. Na následujícím obrázku zobrazují výslednou materiálovou mapu.



Obrázek 27 - Výsledná materiálová mapa v závislosti na dvou materiálových indikátorech

Podle těchto materiálových indikátorů jsem z každé skupiny vybral maximálně tři nejvíce vyhovující materiály. Těmi je plast PA (polyamid), tři druhy dřev (bambus, manni a angelin) a tři druhy hořčíku (Elektron ZW3, ZK60A-F a ZK60A-T5). Pro přehlednost je nutné si shrnout všechny informace o těchto vybraných materiálech do jednoduché tabulky. V následující tabulce jsou zobrazeny základní informace o všech možných kandidátech. Ty jsou seřazeny podle dvou použitých materiálových indikátorů. V příloze č. 1 uvádím pro přehlednost podrobnější informace o výše vybraných materiálech.

Tabulka 4 – Informace o vyhovujících materiálech

Materiál	Lomová houževnatost [MPa*m ^{0,5}]	Cena [CZK/kg]	$\frac{E^{1/2}}{\rho * c_m} \left[\frac{GPa^{1/2} * m^3}{CZK} \right]$	$\frac{\sigma^{2/3}}{\rho * c_m} \left[\frac{MPa^{2/3} * m^3}{CZK} \right]$
Bambus	5,7 – 7	27,1 – 40,5	$1,42 * 10^{-4} - 2,3 * 10^{-4}$	$7,6 * 10^{-4} - 1,4 * 10^{-3}$
Manni (dřevo)	6 – 7,3	27,1 – 40,5	$1,56 * 10^{-4} - 2,24 * 10^{-4}$	$8,1 * 10^{-4} - 1,22 * 10^{-3}$
Angelin (dřevo)	7,1 – 8,7	27,1 – 40,5	$1,32 * 10^{-4} - 2,2 * 10^{-4}$	$7,6 * 10^{-4} - 1,18 * 10^{-3}$
ZK60A-T5	14 – 18	75,9 – 83,7	$4,4 * 10^{-5} - 4,78 * 10^{-5}$	$2,85 * 10^{-4} - 3,18 * 10^{-4}$
ZK60A-F	14 – 18	75,9 – 83,7	$4,37 * 10^{-5} - 4,8 * 10^{-5}$	$2,55 * 10^{-4} - 2,87 * 10^{-4}$
Elektron ZW3	15,6 – 15,9	78,7 – 86,6	$4,32 * 10^{-5} - 4,75 * 10^{-5}$	$2,25 * 10^{-4} - 2,9 * 10^{-4}$
Polyamid 66 (polymer 70 %, uhlíkové vlákno 30 %)	5,6 – 6,19	240 – 264	$1,29 * 10^{-5} - 1,48 * 10^{-5}$	$1,06 * 10^{-4} - 1,24 * 10^{-4}$

Pro tento příklad stačí pomocí preferovaných kritérií zvolit ten nejvhodnější materiál. V tomto příkladu jsou preferovanými kritérii dva materiálové indikátory. Nejlépe vhodným kandidátem pro tyto konstrukční požadavky tedy vyšel bambus. O něco hůře dopadly ostatní druhy dřev. Za nimi skončila skupina kovů a slitin. Nejlépe z nich dopadl hořčík ZK60A-T5, dále hořčík ZK60A-F a Elektron ZW3. Nejhůře vyhovujícím materiálem vyšel polyamid. V další kapitole rozeberu postup z hlediska produktového designu, pokud se rozhodneme vybírat materiál pro určitou cílovou skupinu.

4.1.3 Výběr materiálu z hlediska produktového designu pro konkrétní cílové skupiny

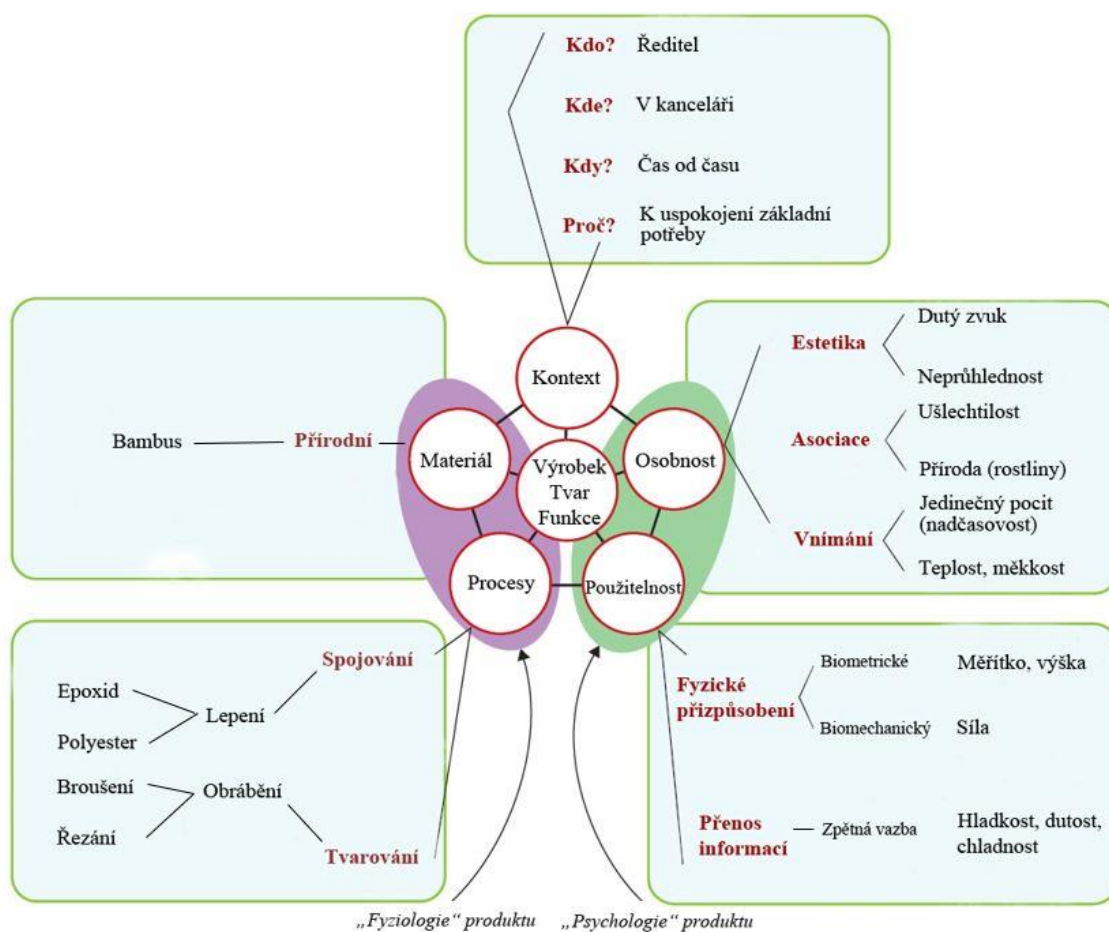
V této části pro každou skupinu vyberu z tabulky číslo 4 jeden nejlépe vyhovující materiál. Následně ho zhodnotím podle produktového designu a určím, pro jakou cílovou skupinu konečných zákazníků by měl nejvíce vyhovovat.

Prvním příkladem bude stojanový věšák, který bude určen pro kancelář ředitele. Nejprve je nutné odpovědět na čtyři základní otázky. Kdo bude produkt využívat? Ředitel. Kde

bude produkt používán? V kanceláři. Jak často se daný výrobek bude upotřebovávat? Čas od času. Proč se výrobek bude vyrábět? K uspokojení potřeby potenciálního zákazníka (aby mohl pověsit své oblečení).

Jelikož se nebude tento věšák používat ustavičně, není třeba dbát na co nejlepší mechanické vlastnosti. Proto bych vybral takový materiál, který bude mít za co nejmenší cenu dostatečnou tuhost a pevnost. Po nahlédnutí do tabulky číslo 4, konkrétně do sloupců materiálových indikátorů, zjistíme, který materiál je pro nás nejvhodnější, a to podle největšího čísla. Nejlépe tedy vychází bambus. Tento materiál je druh dřeva, který má svou specifickou strukturu, barvu a vyvolává v nás jedinečný pocit. Jeho hlavní výhodou je, že se vyskytuje v přírodě v trubkovém stavu.

Každá věc vyrobená z bambusu je svým způsobem specifická, protože žádné dva kusy nejsou kvůli své struktuře zcela stejné. Při doteku je bambus vnímán teple a měkce. Má své charakteristické zvuky a zápachy. Také poukazuje na nadčasovost a zvyšuje hodnotu produktu. Následující obrázek přibližuje rozdělení charakteru produktu, v tomto případě bambusu.



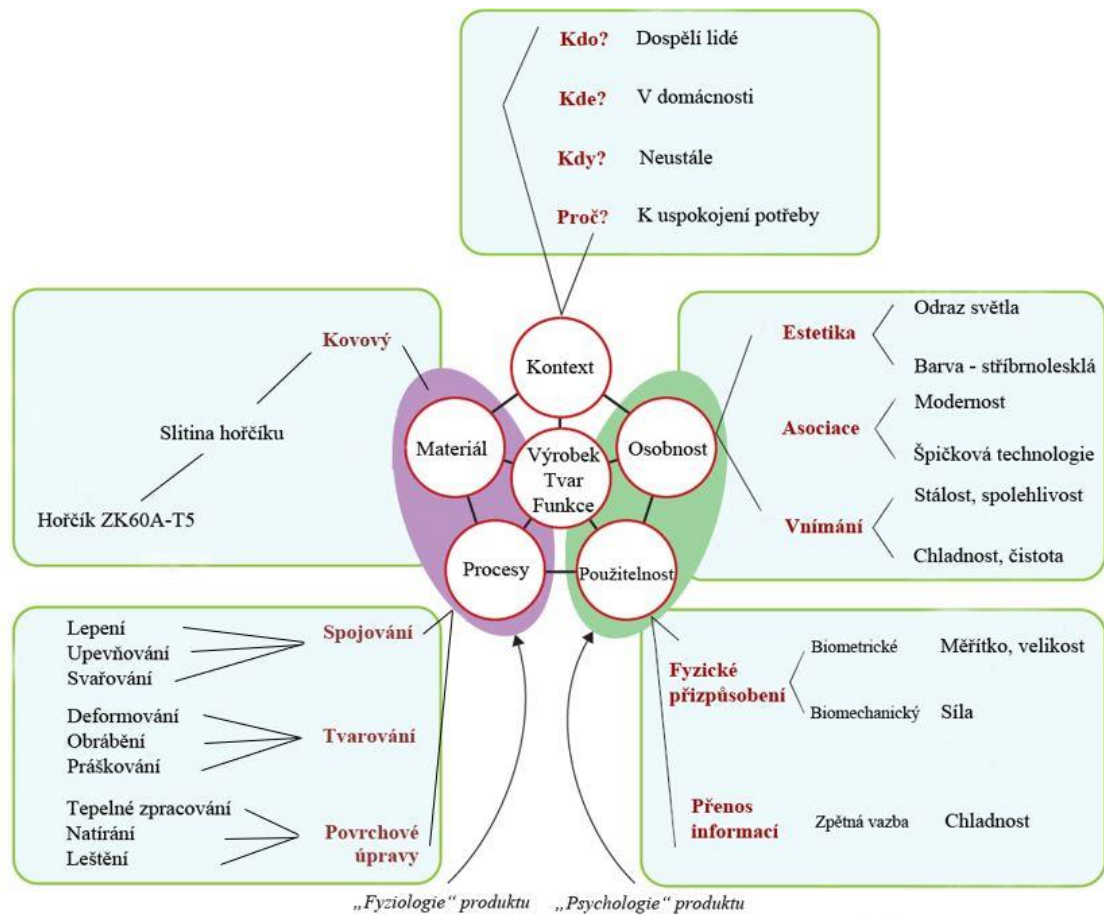
Obrázek 28 – Charakter stojanového věšáku určeného pro kancelář ředitele

Obrázek č. 29 zobrazuje věšák, který je určen pro kancelář ředitele.



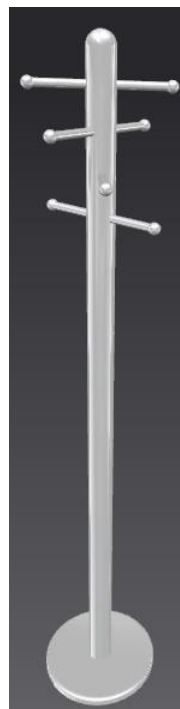
Obrázek 29 - Stojanový věšák určen pro kancelář ředitele

Druhým příkladem bude stojanový věšák, který se běžně využívá v domácnosti. Na počátku je zase nutné si odpovědět na otázky. Kdo bude produkt používat? Dospělí lidé. Kde bude produkt používán? V domácnosti. Jak často se daný výrobek bude upotřebovávat? Neustále. Proč se výrobek bude vyrábět? Pro uspokojení potřeby člověka v oblasti odkládání svršků. Pořád bude používán neustále, volil bych takový materiál, který bude mít největší pevnost, tuhost a lomovou houževnatost. Dle mého názoru je nejlepším materiálem hořčík ZK60A-T5. Jeho vlastnostmi jsou lehkost, střední tvrdost a na pohled působí stříbrno-leskle. Člověku se jeví chladně a čistě. Po udeření do něj vytváří specifické zvuky a při leštění odráží světlo. Je spojen s důvěryhodností, tedy poukazuje na stálost a spolehlivost. Na následujícím obrázku je shrnuto rozdělení charakteru produktu, tedy hořčíku ZK60A-T5.



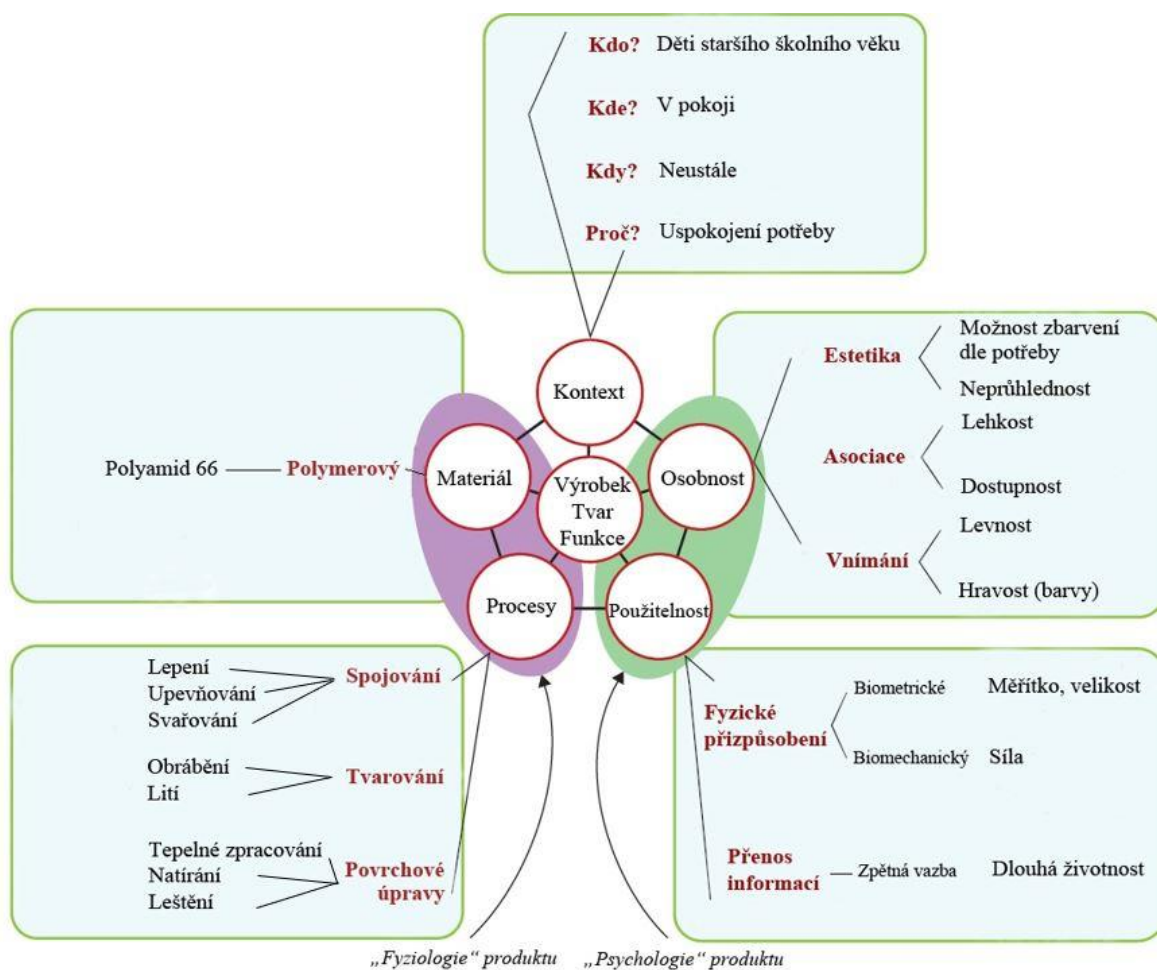
Obrázek 30 – Charakter stojanového věšáku určeného pro domácnost

Obrázek č. 31 znázorňuje věšák určený pro domácnost.



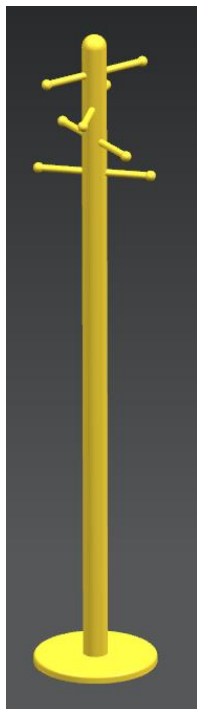
Obrázek 31 - Stojanový věšák určen pro domácnost

Třetím příkladem bude stojanový věšák, který bude směřován pro děti staršího školního věku. Na začátku je nutné si znovu zodpovědět základní otázky. Kdo bude produkt využívat? Děti staršího školního věku. Kde bude produkt používán? V pokoji. Jak často se bude daný výrobek upotřebovávat? Neustále. Proč se výrobek bude vyrábět? Aby uspokojoval potřeby dětí při odkládání svého oblečení. Dle mého názoru je nejvhodnějším materiálem pro tuto cílovou skupinu polyamid. Upřednostnil jsem ho nad ostatními hlavně z důvodu jeho možného zbarvení dle potřeby. Pro děti staršího věku je tato vlastnost velmi důležitá, jelikož děti mají rády předměty ve veselých barvách. Další výhodou je nestárnutí materiálu. Na druhou stranu plasty celkově působí na spotřebitele jako „levný“ materiál. Následující obrázek ukazuje pro lepší přehlednost rozdělení charakteru produktu, tedy polyamidu pro tento segment.



Obrázek 32 – Charakter stojanového věšáku určeného pro děti staršího školního věku

Na obrázku číslo 33 je znázorněn věšák, který je vyroben z polyamidu a má žluté zbarvení.



Obrázek 33 – Stojanový věšák určen pro děti staršího věku

Závěr

Výběr materiálu je dnes velmi aktuální téma. Pokud bychom při navrhování výrobku vybrali špatný materiál, mohl by se v extrémním případě při základním plnění jeho funkce rozbít. Stejně tak jako jiné věci i materiál se postupem času vyvíjí a vznikají jeho nové formy. Je důležité si uvědomit, že materiály, které jsou dnes nejlépe vyhovujícími a populárními, mohou být například rozvojem vědy za nějaký čas brány jako horší varianty daného výběru.

Ve své práci jsem v teoretické části popsal a rozdělil konstrukční proces, materiálová data a konstrukční nástroje. Mezi důležité části patřilo přiblížení volby materiálu, materiálových map a popsání strategií výběrů materiálu a jeho indikátorů. Dále jsem se zaměřil na výběr konstrukčních materiálů s ohledem na produktový design, kde jsem objasnil základní požadavky na výrobek, jeho různé charaktery a osobnosti. Důležitou součástí bylo i představení softwarového programu CES EduPack, který byl klíčový pro mou případovou studii.

Po vysvětlení dané problematiky v teoretické části jsem plynule navázal na druhou část mé práce, a tou je případová studie. V té jsem se zaměřil na výběr nejvhodnějších materiálů pro stojanový věšák. K tomu jsem využil konstrukční požadavky a materiálové indikátory. V návaznosti na to jsem našel sedm vyhovujících kandidátů. Nejprve jsem si zvolil materiál dle preferovaných kritérií nehledě na to, pro jakou cílovou skupinu zákazníků je stojanový věšák určen. V této fázi mi v programu CES EduPack vyšel jako nejvhodnější materiál bambus.

V poslední kapitole jsem se zaměřil na jednotlivé cílové skupiny. Zde jsem ovšem nebral ohled jen na výše uvedený bambus, ale také na vlastnosti ostatních materiálů ze sedmi vyhovujících kandidátů, jejich materiálové indikátory a v neposlední řadě na vlastnosti a design.

Pro stojanový věšák určený pro ředitele hrály největší roli indikátory, kdy jsem podle největšího čísla zjistil, že se pro daný výrobek hodí nejlépe bambus. Bambus je druh dřeva, má přijatelnou cenu a mechanické vlastnosti, je dostatečně tuhý a pevný. Pro jeho nadčasovost je dle mého názoru vhodným materiálem do moderní kanceláře.

V dalším segmentu jsem se zaměřil na stojanový věšák pro lidi v domácnosti. Zde jsem musel vzít v potaz to, že se stojan používá neustále a potřebuje mít určitou pevnost, tuhost a lomovou houževnatost. Zároveň by měl působit spolehlivě a lehce. V tomto případě jsem dospěl k závěru, že nejlepším materiálem bude hořčík ZK60A-T5.

Jako poslední segment jsem si určil děti staršího školního věku, které také stojan budou využívat většinu času. Dle mého názoru je nejlepším materiálem polyamid 66, a to právě proto,

že je možné ho zbarvit a materiál nestárne. Z psychologického hlediska je výhodné nabízet materiál, který může být barevný, protože pak bude spotřebitelům z tohoto segmentu připadat zajímavější.

Cílem této práce bylo pomocí teoretických poznatků a případové studie vybrat optimální materiál pro daný výrobek a poukázat na to, jak postupovat po jednotlivých krocích při výběru materiálu. Mnou stanovený cíl byl naplněn – v případové studii jsem popsal jednotlivé kroky výběru materiálu a uvedl nejvhodnější materiály pro jednotlivé cílové skupiny.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rozdělení procesu návrhu (1).....	3
Obrázek 2 – Konstrukční nástroje pro návrh a výběr materiálů (3).....	5
Obrázek 3 - Rozdělení materiálů (6)	8
Obrázek 4 - Základní vlastnosti omezující návrh a jejich vlastnosti (7).....	9
Obrázek 5 - Jednotlivé vstupy do procesů (8).....	10
Obrázek 6 - Vazba mezi funkcí, materiálem, technologií výroby a tvarem (9).....	11
Obrázek 7 - Sloupcový graf znázorňující modul pružnosti pro srovnání jednotlivých druhů materiálů (11).....	12
Obrázek 8 - Materiálová mapa závislosti modulu pružnosti na hustotě (12).....	13
Obrázek 9 - Fáze výběru materiálu (13).....	14
Obrázek 10 - Prut (14).....	15
Obrázek 11 - Materiálová mapa $E-\rho$ poukazující na dolní hranici E a horní hranici ρ (15)....	17
Obrázek 12 - Výběr na základně indikátoru $E^{1/3}/\rho > 2$ GPa a hranici $E > 50$ GPa (15)	19
Obrázek 13 - schématický graf ukazující materiálový indikátor a limit atributů (15).....	20
Obrázek 14 – Dva druhy hodiněk z odlišných materiálů (16) (17).....	21
Obrázek 15 - Požadavky pyramid (17)	22
Obrázek 16 - Rozdělení charakteru produktu (18).....	23
Obrázek 17 – Vlastnosti vnímání a jejich protiklady (18)	25
Obrázek 18 – Příklady estetických vlastností materiálu (19).....	26
Obrázek 19 - Hmatové vlastnosti materiálů (19)	27
Obrázek 20 - Hodnocení materiálů z pohledu transparentnosti (19)	28
Obrázek 21 - Akustické vlastnosti materiálu (19).....	29
Obrázek 22 - Návrh stojanového věšáku.....	31
Obrázek 23 - Materiálová mapa v závislosti na Youngovu modulu a hustotě.....	33
Obrázek 24 - Materiálová mapa po eliminaci keramiky a skla.....	33
Obrázek 25 - Materiálová mapa po použití materiálového indikátoru.....	34
Obrázek 26 - Materiálová mapa po dalším omezení.....	35
Obrázek 27 - Výsledná materiálová mapa v závislosti na dvou materiálových indikátorech..	35
Obrázek 28 – Charakter stojanového věšáku určeného pro kancelář ředitele.....	37
Obrázek 29 - Stojanový věšák určen pro kancelář ředitele	38
Obrázek 30 – Charakter stojanového věšáku určeného pro domácnost.....	39
Obrázek 31 - Stojanový věšák určen pro domácnost	39

Obrázek 32 – Charakter stojanového věšáku určeného pro děti staršího školního věku	40
Obrázek 33 – Stojanový věšák určen pro děti staršího věku.....	41

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Konstrukční požadavky pro prut.....	15
Tabulka 2 – Konstrukční požadavky pro ramena stojanového věšáku	32
Tabulka 3 - Návrh s předepsanou tuhostí při minimální hmotnosti.....	32
Tabulka 4 – Informace o vyhovujících materiálech.....	36

Seznam příloh

PŘÍLOHA Č. 1	50
--------------------	----

Citovaná literatura

1. ASHBY, M. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 16-19. 978-1-85617-663-7.
2. —. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. str. 20. 978-1-85617-663-7.
3. —. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 21-22. 978-1-85617-663-7.
4. Ing. Bohuslav Driml. [Online] Katedra fyzikální chemie. [Citace: 2.. 11. 2017.] http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky_mat.pdf.
5. doc. Ing. Jiří Janovec, CSc. [Online] Ústav materiálového inženýrství ČVUT. [Citace: 3.. 11. 2017.] http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/7_volba-materialu.pdf.
6. ASHBY, M. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 32-35. 978-1-85617-663-7.
7. —. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 35-37. 978-1-85617-663-7.
8. ASHBY, M. JOHNSON, K. *Materials and Design*. Waltham: : Butterworth-Heinemann, 2014. stránky 13-15. 978-0-08-098205-2.
9. ASHBY, M. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 98-99. 978-1-85617-663-7.
10. —. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 58-60. 978-1-85617-663-7.
11. ASHBY, M. JOHNSON, K. *Materials and Design*. Waltham: : Butterworth-Heinemann, 2014. str. 67. 978-0-08-098205-2.
12. ASHBY, M. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 99-103. 978-1-85617-663-7.
13. —. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 106-109. 978-1-85617-663-7.
14. —. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 115-120. 978-1-85617-663-7.
15. Granta design. [Online] Granta design. [Citace: 18.. 03. 2018.] <http://www.grantadesign.com/education/edupack/>.
16. Obrázek: hodinky Pacific. [Online] <https://taxido.cz/i4749-panske-hodinky-pacific-talas-535-zlate-4749/>.

17. Obrázek: hodinky Secco. [Online] <https://www.hodinky.cz/secco-s-a5506-3-213.html>.
18. ASHBY, M. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 463-464. 978-1-85617-663-7.
19. —. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 467-472. 978-1-85617-663-7.
20. —. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington: : Butterworth-Heinemann, 2010. stránky 464-467. 978-1-85617-663-7.

PŘÍLOHA Č. 1

Detailní informace o vyhovujících materiálech

Bambus

Složení

dřevo	100	%
-------	-----	---



Obecné vlastnosti

Hustota	600 – 800	kg/m ³
Cena	27,1 – 40,5	CZK/kg

Mechanické vlastnosti

Modul pružnosti v tahu	15 – 20	GPa
Mez kluzu	35 – 44	MPa
Mez pevnosti v tahu	36 – 45	MPa
Poměrné prodloužení	2,88 – 5,5	% strain
Lomová houževnatost	5 – 7	MPa.m ^{0.5}

Tepelné vlastnosti

Maximální provozní teplota	117 – 137	°C
Součinitel tepelné vodivosti	0,1 – 0,18	W/m.°C
Tepelná kapacita	1.66e3 – 1.71e3	J/kg.°C
Součinitel tepelné roztažnosti	2.6 – 10	μstrain/°C

Elektrické vlastnosti

Elektrický odpor	6e13 – 2e14	μΩ.cm
------------------	-------------	-------

Optické vlastnosti

Transparentnost	Neprůhledný	
-----------------	-------------	--

Ekologické vlastnosti

Energie na výrobu kilogramu materiálu	4,1 – 6	MJ/kg
Uhlíková stopa	0,299 – 0,33	kg/kg

Manni (tvrdé dřevo)

Složení

dřevo	100	%
-------	-----	---



Obecné vlastnosti

Hustota	650 – 790	kg/m ³
Cena	27,1 – 40,5	CZK/kg
Mechanické vlastnosti		
Modul pružnosti v tahu	16,8 – 20,5	GPa
Mez kluzu	53,5 – 65,4	MPa
Mez pevnosti v tahu	97,6 – 119	MPa
Poměrné prodloužení	1,57 – 1,92	% strain
Lomová houževnatost	6 – 7,3	MPa.m ^{0.5}

Tepelné vlastnosti

Maximální provozní teplota	120 – 140	°C
Součinitel tepelné vodivosti	0,31 – 0,38	W/m.°C
Tepelná kapacita	1,66e3 – 1,71e3	J/kg.°C
Součinitel tepelné roztažnosti	2 – 11	μstrain/°C

Elektrické vlastnosti

Elektrický odpor	6e13 – 2e14	μΩ.cm
------------------	-------------	-------

Optické vlastnosti

Transparentnost	Neprůhledný	
-----------------	-------------	--

Ekologické vlastnosti

Energie na výrobu kilogramu materiálu	9,82 – 10,9	MJ/kg
Uhlíková stopa	0,841 – 0,93	kg/kg

Angelin (tvrdé dřevo)

Složení
dřevo

100 %



Obecné vlastnosti

Hustota 730 – 890 kg/m³
Cena 27,1 – 40,5 CZK/kg

Mechanické vlastnosti

Modul pružnosti v tahu 17 – 20,8 GPa
Mez kluzu 57,9 – 70,8 MPa
Mez pevnosti v tahu 104 – 127 MPa
Poměrné prodloužení 1,65 – 2,01 % strain
Lomová houževnatost 7,1 – 8,7 MPa.m^{0.5}

Tepelné vlastnosti

Maximální provozní teplota 120 – 140 °C
Součinitel tepelné vodivosti 0,35 – 0,43 W/m.°C
Tepelná kapacita 1,66e3 – 1,71e3 J/kg.°C
Součinitel tepelné roztažnosti 2 – 11 μstrain/°C

Elektrické vlastnosti

Elektrický odpor 6e13 – 2e14 μΩ.cm

Optické vlastnosti

Transparentnost Neprůhledný

Ekologické vlastnosti

Energie na výrobu kilogramu materiálu 9,82 – 10,9 MJ/kg
Uhlíková stopa 0,841 – 0,93 kg/kg

Hořčík, ZK60A-T5

Složení

Mg (hořčík)	93 – 94,8	%
Zn (zinek)	4,8 – 6,2	%
Zr (zirkonium)	0,45	%
Ostatní	0 – 0,3	%



Obecné vlastnosti

Hustota	1,83e3 – 1,84e3	kg/m ³
Cena	75,9 – 83,7	CZK/kg

Mechanické vlastnosti

Modul pružnosti v tahu	44 – 46	GPa
Mez kluzu	280 – 304	MPa
Mez pevnosti v tahu	350 – 366	MPa
Poměrné prodloužení	4 – 6	% strain
Lomová houževnatost	14 – 18	MPa.m ^{0.5}

Tepelné vlastnosti

Maximální provozní teplota	130 – 170	°C
Součinitel tepelné vodivosti	121 – 122	W/m.°C
Tepelná kapacita	960 – 1,05e3	J/kg.°C
Součinitel tepelné roztažnosti	25 – 26	μstrain/°C

Elektrické vlastnosti

Elektrický odpor	5,5 – 5,75	μΩ.cm
------------------	------------	-------

Optické vlastnosti

Transparentnost	Neprůhledný	
-----------------	-------------	--

Ekologické vlastnosti

Energie na výrobu kilogramu materiálu	290 – 321	MJ/kg
Uhlíková stopa	33,1 – 36,6	kg/kg

Hořčík, ZK60A-F

Složení

Mg (hořčík)	93 – 94,8	%
Zn (zinek)	4,8 – 6,2	%
Zr (zirkonium)	0,45	%
Ostatní	0 – 0,3	%



Obecné vlastnosti

Hustota	1,83e3 – 1,84e3	kg/m ³
Cena	75,9 – 83,7	CZK/kg

Mechanické vlastnosti

Modul pružnosti v tahu	44 – 46	GPa
Mez kluzu	235 – 260	MPa
Mez pevnosti v tahu	315 – 340	MPa
Poměrné prodloužení	4 – 6	% strain
Lomová houževnatost	14 – 18	MPa.m ^{0.5}

Tepelné vlastnosti

Maximální provozní teplota	130 – 170	°C
Součinitel tepelné vodivosti	117 – 118	W/m.°C
Tepelná kapacita	960 – 1,05e3	J/kg.°C
Součinitel tepelné roztažnosti	25 – 26	μstrain/°C

Elektrické vlastnosti

Elektrický odpor	5,5 – 5,75	μΩ.cm
------------------	------------	-------

Optické vlastnosti

Transparentnost	Neprůhledný	
-----------------	-------------	--

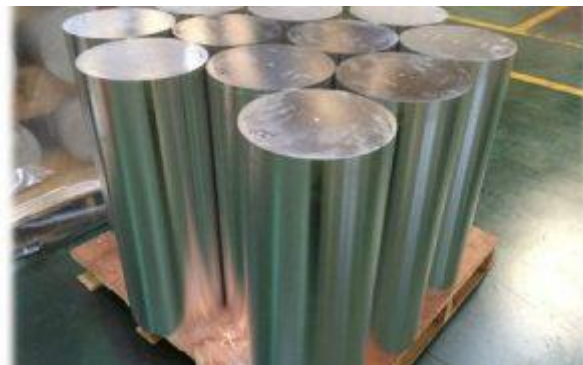
Ekologické vlastnosti

Energie na výrobu kilogramu materiálu	290 – 321	MJ/kg
Uhlíková stopa	33,1 – 36,6	kg/kg

Hořčík, Elektron ZW3

Složení

Mg (hořčík)	94,8 – 97	%
Al (hliník)	0 – 0,02	%
Cu (měď)	0 – 0,03	%
Fe (železo)	0 – 0,01	%
Mn (mangan)	0 – 0,15	%
Ni (nikl)	0 – 0,005	%
Si (křemík)	0 – 0,01	%
Zn (zinek)	4,8 – 6,2	%
Zr (zirkonium)	0,45	%



Obecné vlastnosti

Hustota	1,79 – 1,81e3	kg/m ³
Cena	78,7 – 86,6	CZK/kg

Mechanické vlastnosti

Modul pružnosti v tahu	44 – 46	GPa
Mez kluzu	195 – 280	MPa
Mez pevnosti v tahu	280 – 355	MPa
Poměrné prodloužení	10 – 25	% strain
Lomová houževnatost	15,6 – 15,9	MPa.m ^{0.5}

Tepelné vlastnosti

Maximální provozní teplota	130 – 160	°C
Součinitel tepelné vodivosti	122 – 127	W/m.°C
Tepelná kapacita	955 – 965	J/kg.°C
Součinitel tepelné roztažnosti	27 – 27,2	μstrain/°C

Elektrické vlastnosti

Elektrický odpor	5,5 – 7	μΩ.cm
------------------	---------	-------

Optické vlastnosti

Transparentnost	Neprůhledný	
-----------------	-------------	--

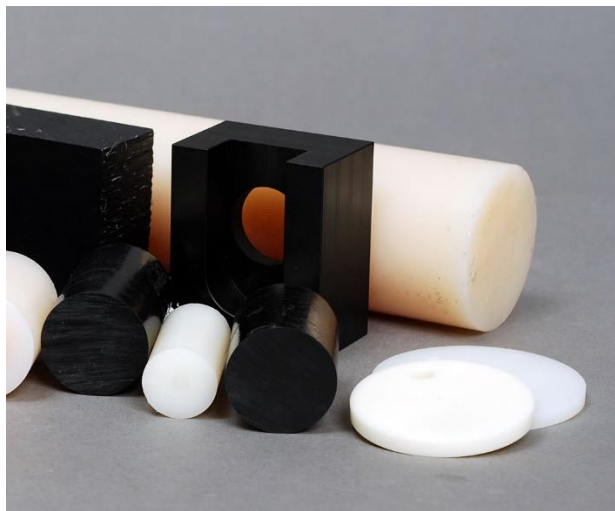
Ekologické vlastnosti

Energie na výrobu kilogramu materiálu	299 – 330	MJ/kg
Uhlíková stopa	34 – 37,6	kg/kg

Polyamid 66

Složení

Polymer	70	%
Uhlíkové vlákno	30	%



Obecné vlastnosti

Hustota	1,27e3 – 129e3	kg/m ³
Cena	240 – 264	CZK/kg

Mechanické vlastnosti

Modul pružnosti v tahu	17,8 – 22,2	GPa
Mez kluzu	178 – 222	MPa
Mez pevnosti v tahu	180 – 220	MPa
Poměrné prodloužení	2,46 – 3,54	% strain
Lomová houževnatost	5,6 – 6,19	MPa.m ^{0.5}

Tepelné vlastnosti

Maximální provozní teplota	90 – 130	°C
Součinitel tepelné vodivosti	0,97 – 1,05	W/m.°C
Tepelná kapacita	1,41e3 – 1,47e3	J/kg.°C
Součinitel tepelné roztažnosti	19,8 – 28,8	μstrain/°C

Elektrické vlastnosti

Elektrický odpor	2e9 – 5e10	μΩ.cm
------------------	------------	-------

Optické vlastnosti

Transparentnost	Neprůhledný	
-----------------	-------------	--

Ekologické vlastnosti

Energie na výrobu kilogramu materiálu	185 – 204	MJ/kg
Uhlíková stopa	12,5 – 13,8	kg/kg