

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství

Studijní zaměření: Design průmyslové techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Výběr materiálů z hlediska průmyslového designu

Autor: **Václav Gross**

Vedoucí práce: **Ing. Ivana Mazínová**

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav GROSS**
Osobní číslo: **S11B0281P**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **Design průmyslové techniky**
Název tématu: **Výběr materiálů z hlediska průmyslového designu**
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:

Prostudujte vedoucím práce předložené zdroje a přehledně zpracujte výběr materiálů z hlediska průmyslového designu. K danému tématu vypracujte případovou studii.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod, cíl práce
2. Jednotlivé kapitoly
3. Případová studie
4. Shrnutí práce (závěr)

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

**ASHBY, M. F. *Materials Selection in Mechanical Design*. Oxford:
Butterworth-Heinemann, 2011**

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **23. září 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




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

V Plzni dne 23. září 2013

Prohlášení o autorství

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma

„Výběr materiálů z hlediska průmyslového designu“

vypracoval samostatně pod dohledem vedoucí bakalářské práce za použití pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Ivaně Mazínové za poskytnutí odborných rad, věcné připomínky, ochotu a vstřícný přístup během zpracování této práce.

Velké poděkování náleží celé mé rodině a přítelkyni za podporu, trpělivost a povzbuzování po celou dobu mého studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Gross	Jméno Václav	
STUDIJNÍ OBOR	Design průmyslové techniky		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení Ing. Mazínová	Jméno Ivana	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLÓMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Výběr materiálů z hlediska průmyslového designu		

FAKULTA	FST	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	-----	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN

CELKEM	33	TEXTOVÁ ČÁST	33	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Bakalářská práce se zabývá volbou materiálu z hlediska průmyslového designu. V práci jsou rozepsány jednotlivé kroky, kterými je nutné se zabývat při výběru optimálního materiálu pro zvolený výrobek. Detailně je zde popsána problematika volby pomocí tzv. indikátoru materiálových vlastností profesora Michal F. Ashby z Cambridgské univerzity a následná selekce materiálu pomocí materiálových map databázového systému CES EduPack společnosti Granta Design Limited.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA	<p style="text-align: center;">strategie volby materiálu, průmyslový design, indikátor materiálových vlastností, mapy materiálů</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Gross	Name Václav	
FIELD OF STUDY	Industrial Design		
SUPERVISOR	Surname Ing. Mazínová	Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Materials Selection in Industrial Design		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES

TOTALLY	33	TEXT PART	33	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>Bachelor thesis deals with the selection of the material of the product in terms of industrial design. The work describes individual steps that are required for the selection of the optimal material for the selected product. The problematics of the material choice using so called "material property indicator" (Prof. Michael F. Ashby, Cambridge University) is described in detail as well as the subsequent selection of the material by material maps of the database system "CES EduPack" (Granta Design Limited company).</p>
KEY WORDS	<p>strategy choice of material, industrial design, indicator of material properties, maps of materials</p>

Obsah

Důležité fyzikální veličiny a jejich jednotky	8
Úvod.....	9
1 Současný stav řešené problematiky.....	10
1.1 Nástroje pro volbu materiálu.....	10
1.2 Volba materiálu v závislosti na designu součásti.....	10
2 Konstrukční materiály	11
2.1 Charakteristika a rozdělení konstrukčních materiálů.....	11
2.2 Materiálové mapy.....	12
2.3 Databázové systémy CES EduPack	13
3 Návrh nového výrobku	15
3.1 Proces návrhu	15
3.2 Způsob konstruování	16
3.3 Materiálová data.....	16
4 Volba materiálu	18
4.1 Základní úvahy při volbě materiálu	18
4.2 Strategie výběru	20
4.3 Materiálové indikátory	22
4.4 Metoda kompromisu	24
5 Volba materiálu z hlediska průmyslového designu.....	25
5.1 Co od výrobku očekáváme.....	26
5.2 Charakter výrobku.....	28
5.3 Osobnost výrobku	29
5.3.1 Estetika materiálu	29
5.3.2 Asociace a vnímání výrobku.....	30
6 Případová studie	31
Závěr	38
Použitá literatura	39
Seznam obrázků.....	40
Seznam tabulek	40

Důležité fyzikální veličiny a jejich jednotky

NÁZEV VELIČINY	Obecně		Doporučeno pro FST	
	ZNAČKA VELIČINY	MEZIN. ZNAČKA JEDNOTKY SI vč. jejich dekadických násobků/dílů a uznané CIPM	ZNAČKA VELIČINY	MEZIN. ZNAČKA JEDNOTKY SI, dekadické nás./díly SI a uznané CIPM
úhel, (rovinný úhel)	α, β, γ ϑ, φ	<i>rad</i> <i>°, ', ''</i>	α, β, γ $\vartheta, \varphi, \dots$	<i>rad</i> <i>° (na desetinná místa)</i>
délka	l, L	m	$l, L,$ $a, b, c, d \dots$	$mm, m, \mu m, km$
šířka	b		b, B, \dots	
výška	h		h, H, \dots	
tloušťka	d, δ		t, \dots	
poloměr	r, R		r, R	
průměr	d, D		d, D	
délka dráhy	s		s, \dots	
vzdálenost	d, r		$l, L,$ $a, b, c, d \dots$	
kartézské souřadnice	x, y, z		x, y, z	
plocha	$A, (S)$	m^2	S	mm^2, m^2
objem	V	m^3	V	mm^3, m^3
hmotnost	m	kg	m	kg
(objemová hmotnost), hustota (hmotnosti)	ρ	kg/m^3	ρ	kg/m^3
moment setrvačnosti	I, J	$kg \cdot m^2$	J	$kg \cdot m^2$
síla	F	N	F	N
tlak	p	Pa	p	MPa
normálové napětí	σ		σ	
poměrné prodloužení	ε, e	l	ε	l
zkos	γ		γ	
modul pružnosti v tahu	E	Pa	E	MPa
modul pružn. ve smyku	G		G	
(osový) kvadratický moment průřezu	I_{ω}, I	m^4	I	mm^4
průřezový modul	Z, W	m^3	W	mm^3
dovolená hodnota pro tlak	p_D	Pa	p_D	MPa
mez pevnosti pro normálová napětí	σ_p		σ_p	
mez kluzu pro normálová napětí	σ_k		σ_k	
dovolená hodnota pro stat. normál. napětí	σ_D		σ_D	

Úvod

Dobrý návrh funguje, vynikající přináší i potěšení.

Zvolit z obrovské škály materiálů pro daný účel ten nejvhodnější je velmi obtížná a rozsáhlá úloha. Dalo by se říci, že z celého procesu vývoje a výroby nového výrobku ta nejobtížnější. Potěšení, které výrobek přináší, je odvozeno od jeho tvaru, barvy, textury, pocitu z uchopení. Všechny tyto faktory ovlivňují to, jak na nás výrobek zapůsobí. Dobrý design říká něco o sobě, něco o tom, jak byl vyroben a jakou má výrobek tradici. Výrobek z kvalitních materiálů přinese uživateli větší potěšení než výrobek z plastových imitací. Na druhou stranu výstřední nebo vtipné návrhy mohou být také atraktivní. Volba materiálu hraje při návrhu designu výrobku hlavní roli. Problematika volby materiálu s důrazem na jeho roli spadá do odvětví průmyslového designu.

Cílem práce je zpracovat problematiku volby materiálu s ohledem na design výrobku. V práci jsou rozepsány jednotlivé kroky, kterými je nutné se zabývat při výběru optimálního materiálu pro zvolený výrobek. Práce detailně popisuje problematiku volby pomocí tzv. indikátoru materiálových vlastností profesora Michal F. Ashby z Cambridžské univerzity a následnou selekci materiálu pomocí materiálových map databázového systému CES EduPack společnosti Granta Design Limited.

Závěrem práce je vypracovaná případová studie, kde je probraná problematika demonstrována na výběru materiálu pro lehké a tenké nohy stolu.

1 Současný stav řešené problematiky

Vzhledem k rozsáhlé a stále se rozvíjející škále materiálů je správná volba velmi složitá. Můžeme se dostat do situace, kdy žádný materiál stanovená kritéria nesplňuje. Často je nutné upravit technické řešení navrhované součásti, pozměnit její tvar či technologii výroby. Změnou těchto parametrů se logicky změní i nároky na vybíraný materiál.

1.1 Nástroje pro volbu materiálu

První a nejrozšířenější způsob jak volit materiál vychází z mnohaleté zkušenosti konstruktérů a materiálových odborníků v různých oblastech výrobních činností. Existují různé formy kategorizace materiálů, které udávají, na jakou oblast výroby se ten, či onen materiál prioritně hodí. Tento způsob výběru je poměrně jednoduchý, ale při výběru materiálu lze snadno přehlédnout jinou vhodnější alternativu.

Dalším nástrojem pro výběr materiálu je pomocí rozsáhlých databází. Jedná se o knižní či počítačové databáze obsahující velké množství informací, kterými se dá procházet a pomocí stanovení různých omezení filtrovat vhodné kandidáty. Existují různé typy databází, ať už se jedná o pasivní databáze, což jsou v podstatě jen seznamy materiálů seřazené podle jistých kritérií, nebo aktivní databáze, kde je možno kritéria různě kombinovat a materiál vybírat podle specifikované skupiny vlastností.

Obě předchozí metody jsou hojně využívány a závisí převážně na zkušenostech a správném úsudku konstruktéra. Třetí nástroj pro výběr materiálu tento problém obešel a volbu zjednodušil. Jedná se o systematické řešení problému pomocí ukazatele užitných vlastností, se kterým přišel M. F. Ashby. Užité vlastnosti obvykle závisí na dvou či více materiálových vlastnostech (pevnost vůči hustotě, tuhost vůči ceně). Pokud tyto vlastnosti vyneseme v souřadném systému, dostaneme mapu, kde jednotlivé skupiny materiálů tvoří uzavřené pole – materiálové mapy. V těchto mapách pak lze pomocí tzv. materiálového indexu vyhledávat materiály, které mají pro naši součást stejnou výkonnost. Jinak řečeno, pro naši součást se hodí všechny stejně.[2]

1.2 Volba materiálu v závislosti na designu součásti

Při návrhu výrobku je volba materiálu velmi důležitá. Z technického hlediska musí materiál splňovat veškerá omezení nutná pro správnou funkčnost výrobku. Toho je ovšem často docíleno na úkor estetiky. Úkolem designu je co nejúčelněji propojit funkční a estetickou stránku navrhovaného předmětu. Je důležité, aby na nás působil příjemně a vzbuzoval jistotu kvalitního a dobře zpracovaného výrobku. Aby nám jeho užívání působilo radost a nebylo pro nás obtížné. Materiál zde opět hraje důležitou roli. Při volbě materiálu je zapotřebí zkoumat, jakým způsobem je materiál vnímám okolím a jak se pro daný výrobek hodí.

2 Konstrukční materiály

Konstrukční materiál je každá pevná látka, která je určena pro další technologické zpracování ve výrobě. Její vlastnosti spolu s výrobní technologií určují vlastnosti finálního výrobku. Správná volba materiálu je tedy tím hlavním předpokladem pro správnou funkci každého produktu. Materiály se dělí do jednotlivých skupin, každá skupina je charakteristická svým rozsahem vlastností, které jsou dány vnitřní stavbou atomů. Vnitřní stavba materiálu závisí kromě chemického složení, také na technologii výroby a zpracování materiálu. Každý materiál podléhá degradačním procesům (plastická deformace, lom, únava, tečení, opotřebení, radiační poškození, koroze). [4]

2.1 Charakteristika a rozdělení konstrukčních materiálů

Každou látku je možné charakterizovat určitými vlastnostmi, které mohou být kritériem pro rozdělení materiálů. Základní rozdělení látek na kovy a nekovy neposkytuje dostatečné informace o vlastnostech. Z hlediska fyzikálně - inženýrských aplikací se podle vlastností dělí pevné látky (materiály) na kovy, keramiku, plasty a materiály kompozitní.

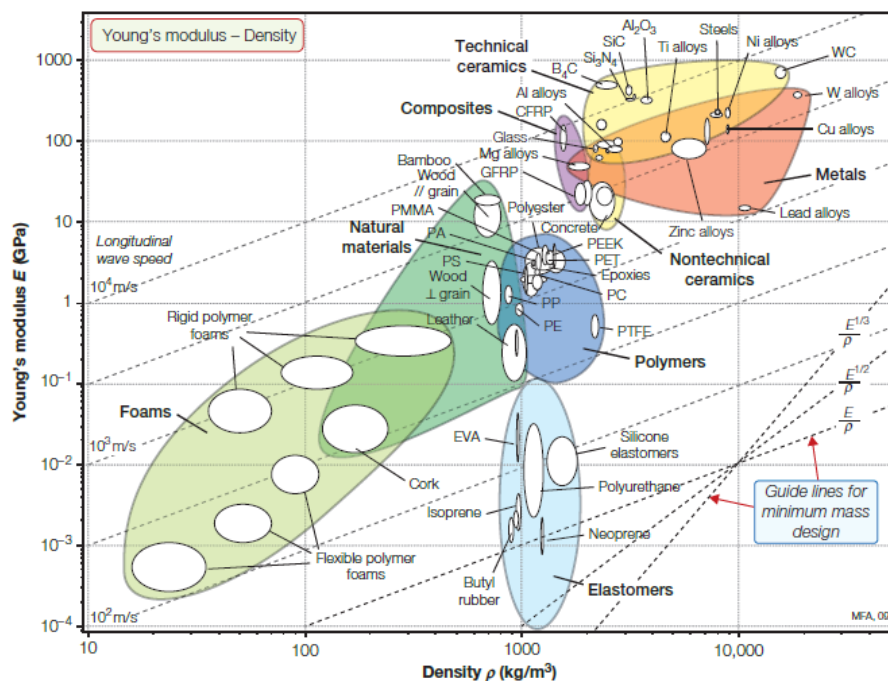
Základní materiálové vlastnosti jsou dány chemickým složením. Souvisí s tím i vnitřní struktura. Z chemického hlediska jsou příkladem všechny prvky. Samotné prvky mají ovšem jen velmi omezené použití v porovnání se slitinami a sloučeninami, u nichž lze dosáhnout dalším zpracováním podstatně rozmanitějších vlastností. Převážná část prvků v periodické soustavě se zařazuje mezi kovy. Ty jsou některými svými vlastnostmi výrazně odlišné od ostatních materiálů, proto tvoří spolu se slitinami jednu specifickou skupinu technických materiálů. Z hlediska použití je významná skupina prvků se zvláštními elektrickými vlastnostmi. Tato skupina se označuje jako polovodiče. Odlišnými vlastnostmi se vyznačují sloučeniny prvků, které se dále dělí na sloučeniny organické a anorganické. Z organických sloučenin mají zvláště významné vlastnosti polymery, u anorganických sloučenin je třeba připomenout zejména význam keramiky. Člověk ve svém vývojovém procesu pozoroval a zkoumal ty předměty a jevy, jejichž stránky byly pro něho užitečné a zajímavé. Tyto stránky materiálních objektů se označují jako vlastnosti. Při hodnocení objektů postačovalo zpočátku kvalitativní rozlišení a srovnání. Pozdější snaha o přesnější popis a vymezení vlastností objektů vedla k vytvoření kvantitativních kritérií posuzování jednotlivých veličin. Byly tak definovány fyzikální veličiny jako kritéria jevů a vlastností látek. Číselné hodnoty těchto veličin vyjadřují pak kvalitu dané fyzikální vlastnosti. [3]

2.2 Materiálové mapy

Vlastnosti materiálu udávají jeho výkonnost. Při volbě materiálu je velmi důležité tyto vlastnosti správně zobrazit, aby bylo možné si správně představit jejich rozměr. Při zobrazování jedné vlastnosti často postačí obyčejný seznam nebo sloupcový graf. V praxi se ovšem s posuzováním materiálu jen z hlediska jedné vlastnosti setkáme velmi zřídka. Častěji je potřeba porovnat různé kombinace vlastností. Hledáme materiál s vysokou tuhostí při nízké hmotnosti, materiál s vysokou tepelnou vodivostí a zároveň odolný vůči korozi, nebo materiál pevný a houževnatý. K zobrazení závislosti jedné vlastnosti na druhé slouží tzv. materiálové mapy. [1]

Materiálové mapy jsou grafy, kde jsou na jednotlivých osách vyneseny zkoumané vlastnosti. U každého materiálu se jeho vlastnosti mění v závislosti na způsobu zpracování. V grafu jsou tak jednotlivé materiály vyneseny v podobě bublin, kde jejich šířka a výška udává rozmezí hodnot platných pro všechny způsoby zpracování konkrétního materiálu. Takto se dají do grafu vyneset všechny materiály.

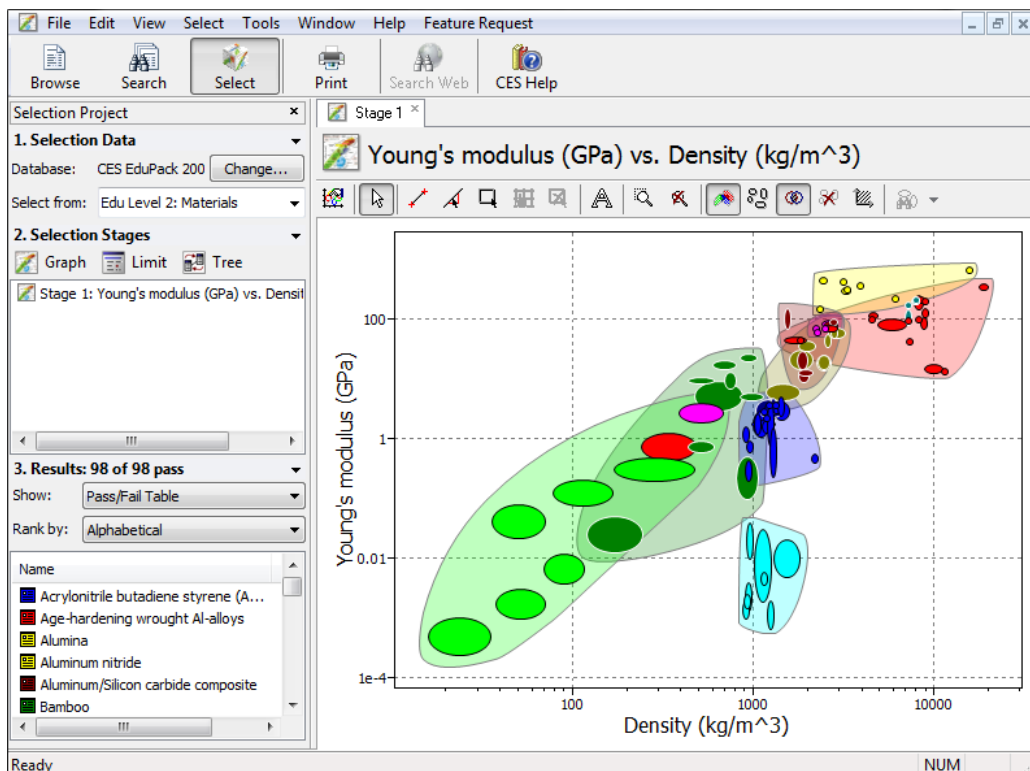
Protože se vlastnosti jednotlivých materiálů v rámci materiálových skupin příliš neliší, vznikají v materiálových mapách oblasti materiálů patřící do stejné skupiny – pěny, přírodní materiály, kompozity, plasty, keramika či kovy.



Obrázek 1 - Materiálová mapa závislosti hustoty na mezi pevnosti [1]

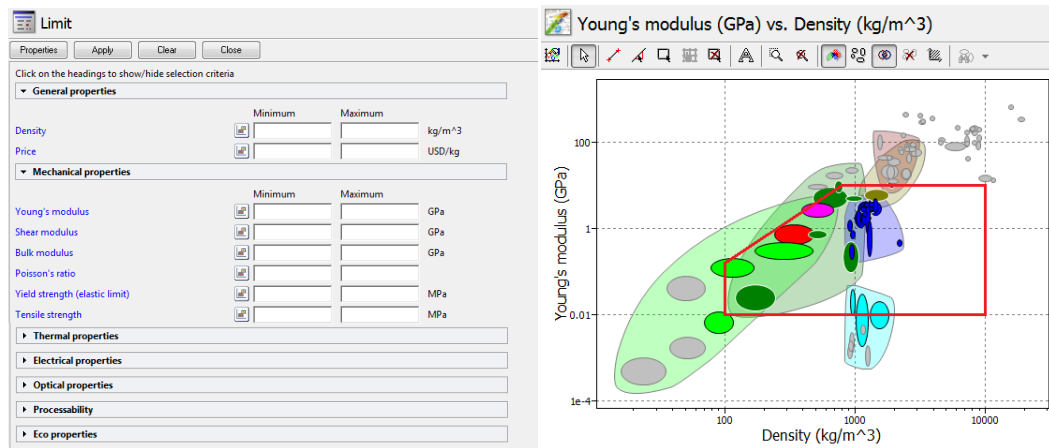
2.3 Databázové systémy CES EduPack

CES EduPack je rozsáhlý výukový systém umožňující vyhledávat, procházet a analyzovat data z CES databází od společnosti Granta Design Limited. Systém obsahuje velké množství nástrojů pro výběr materiálu a způsobu jeho zpracování. Materiály je možné jednoduchým způsobem procházet a zjišťovat tak informace o jejich vlastnostech, způsobu výroby, možné technologie zpracování, nebo např. nejčastější využití v praxi.



Obrázek 2 – Materiálová mapa v systému CES EduPack 2009

Systém umí s těmito informacemi dále pracovat a pomocí zvolených kritérií následně materiály řadit a zobrazovat v podobě přehledného seznamu nebo materiálové mapy. Kritéria je možno zadávat jako limitní hodnoty do tabulky, nebo lze prokládáním přímkou vytyčit oblast výběru v materiálové mapě, obrázek 3. Takto zadaná kritéria jsou vzájemně provázaná a výsledná množina materiálů je průnikem všech zadaných vymezení.



Obrázek 3 – Zadávání kritérií pro výběr materiálů v CES EduPack 2009

Vyhledávání a řazení materiálů je jen jeden z nástrojů programu. V programu je dále možné vyhledávat vhodné výrobní procesy pro zvolenou problematiku nebo hledat ideální průřezy nosníků. Pro problematiku bakalářské práce ovšem tyto části nejsou využity.

Při vypracování bakalářské práce jsem používal program CES EduPack 2009 s licencovanými databázemi Level 1 & 2, které obsahují informace o 98 materiálech a 108 výrobních procesech.

3 Návrh nového výrobku

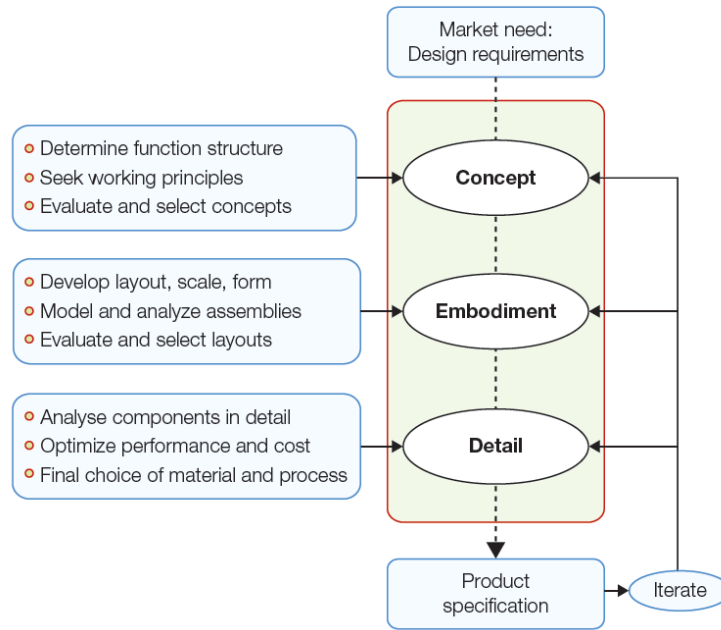
Návrh nového výrobku je velmi složitá a vzájemně provázaná úloha. Dochází při něm k přeměně nápadu nebo požadavku trhu na detailní dokumentaci vedoucí k následné výrobě tohoto výrobku. Každý z kroků tohoto návrhu je spojen s rozhodováním jaký materiál zvolit tak, aby výrobek správně fungoval a byl technologicky vyrobitelný. Při návrhu nového výrobku je zpravidla typ materiálu určen požadovanou funkcí a designem tohoto výrobku. Někdy je ale potřeba zvolit materiál pro již existující výrobek. Důvodem volby nového materiálu mohou být estetické požadavky, nová technologie výroby, apod. Také se může stát, že potřeba nového konstrukčního řešení výrobku vede k vývoji nového materiálu. Z těchto důvodů vývoj nových materiálů stále pokračuje a i přes snahu o standardizaci a snížení jejich počtu existuje v současnosti okolo sto dvaceti tisíc materiálů.

Kvůli stále rostoucímu množství materiálů je proto výběr velmi komplikovaný. V minulosti byl výběr materiálů založen na zkušenostech konstruktéra. Může se jednat o velmi účinný nástroj, ale v současné době poměrně neefektivní. Při rozsáhlém množství materiálů se může stát, že se snadno přehlédne jiné vhodnější řešení. Rychlý nárůst nových materiálů si proto žádá systematický postup, který umožní rychlý výběr a zároveň budou jeho výsledky dostatečně přesné. To je docíleno zapojením výpočetní techniky do procesu návrhu výrobku.

V první fázi návrhu se na každý materiál nahlíží jako na individuálního kandidáta. Jak se návrh výrobku zpřesňuje, zužuje se i škála vyhovujících materiálů. Výsledkem tohoto procesu je konkrétní materiál vhodný pro náš návrh. [1]

3.1 Proces návrhu

První fází návrhu nového výrobku je nápad (podmět), který vzniká na základě potřeb trhu. Finální fází návrhu je vznik nového produktu. Mezi nápadem a finálním výrobkem je však mnoho složitých úloh, které se nesmí opomenout. Daly by se rozdělit do tří základních etap - koncept, ztělesnění a detail. Koncept výrobku nám udává, jakým směrem se bude celý návrh odvíjet. Konstruktér zde musí zvážit možné alternativní pracovní principy a schémata funkcí, které vytváří požadované vlastnosti. Druhá etapa ztělesnění se již zaměřuje na funkční strukturu výrobku, zde se určují jednotlivé funkce výrobku, způsob jejich vykonávání a vznikají základní návrhy komponent. Tato etapa končí výkresem sestavy, který slouží jako podklad pro poslední část návrhu - detail. Ten již udává konkrétní návrh výrobku. [1]



Obrázek 4 – Proces návrhu [1]

3.2 Způsob konstruování

Při návrhu výrobku není vždy nutné začínat zcela od nuly. Zcela nový návrh se dělá především v případech, jedná-li se o nový koncept nebo pracovní postup. Nový materiál nabídne nové kombinace vlastností, které umožní výrobu zcela nového výrobku nebo novou konstrukci současného výrobku. Někdy naopak nový výrobek vyžaduje vývoj nového materiálu.

Adaptivní nebo vývojové konstrukce si kladou za cíl vylepšení stávajícího řešení problému. Výchozím bodem je existující výrobek nebo sortiment. Podnětem pro úpravu stávajícího návrhu může být zvýšení výkonu, snížení nákladů nebo snaha přizpůsobení měnícím se podmínkám trhu. Adaptivní konstrukce si klade za cíl vylepšit stávající návrh, což je často umocněno vývojem nového materiálu.

Variantní konstrukce návrhu zahrnuje změnu rozsahu nebo rozměru bez změny funkce nebo způsobu dosažení cíle. Například změna měřítka nebo okolností použití mohou vyžadovat změnu materiálu. Pro různé velikosti výrobku sloužícího ke stejnému účelu může být vhodné použít různé materiály. [1]

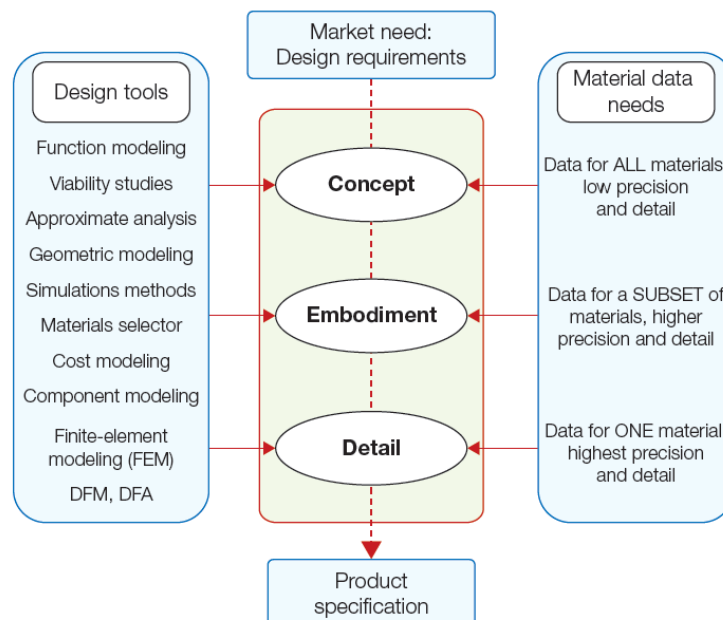
3.3 Materiálová data

V procesu návrhu nového výrobku je volba materiálu součástí jeho všech tří úrovní a probíhá v souladu s konstrukčním návrhem. Cílem je vybrat takový materiál, který

nám dostatečně zabezpečí požadované užité vlastnosti a zároveň bude vyhovovat i vhodnou cenovou relací.

V první etapě koncepčního návrhu máme celou škálu materiálů, které splňují základní požadavky a omezení. Mezi tyto podmínky a omezení můžeme zařadit např. požadovanou pracovní teplotu, odolnost vůči korozi v daném prostředí, atd. V této etapě se z možných kandidátů vyloučí ty zcela nevyhovující materiály a v další etapě pracujeme již se zúženou skupinou kandidátů. V druhém kroku vybíráme ty, které nejlépe vyhovují požadavkům, např. na nejlevnější technologii tváření, svařitelnost, možnosti povrchových úprav, cenová dostupnost atd. V posledním kroku detailu návrhu se již pracuje s jedním, popřípadě s malou skupinou nejlépe vyhovujících materiálů. Každý z těchto materiálů je již vyhovující pro námi navrhovaný výrobek a naším úkolem je vybrat z těchto kandidátů ten nejvhodnější. Proto je nutné o každém z kandidátů získat co možná nejvíce informací, ty pak mezi sebou vzájemně porovnat a podle námi preferovaných vlastností vybrat ten nejlepší.

V každém kroku jsou kladeny jiné nároky na rozsáhlost informací o možných kandidátech. V první etapě je potřeba zjistit pouze základní údaje o co možná největším množství materiálů. Snažíme se tak zamezit přehlednutí různých koncepčních variant (např. kov či plast). Ve druhé etapě pracujeme s přesnějšími údaji, které můžeme získat z materiálových databází či katalogů. V poslední fázi je již zapotřebí pracovat s co možná nejpřesnějšími údaji. Proto je v některých případech často nutné, především při použití netradičních materiálů nebo méně běžných postupů výroby, získávat informace o materiálu vlastními laboratorními testy. [1]



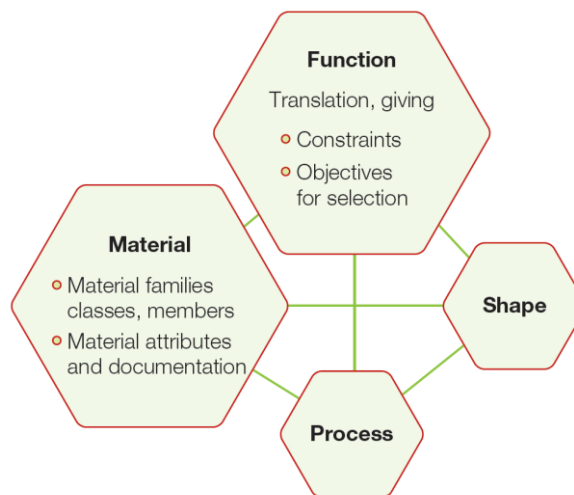
Obrázek 5 - Etapy a komponenty procesu navrhování výrobku [1]

4 Volba materiálu

Správný postup při volbě materiálu je problém široký, komplexní a závažný. Na dobré volbě materiálu závisí do značné míry vlastnosti budoucího výrobku. Pro správné rozhodnutí je nutné k volbě materiálu přistupovat z řady hledisek. Mimo samotných vlastností, které by měl materiál mít ve vztahu k navrhované součásti, je nutné se zabírat i ekonomičností dané volby – energetické náklady, surovinová náročnost, odpadový materiál atd.

4.1 Základní úvahy při volbě materiálu

Při volbě materiálu pro navrhovanou součást musíme brát v úvahu, k čemu bude součást sloužit, jakým způsobem bude vyrobena a jak bude konstrukčně řešena. Funkce součásti, její tvar (konstrukce), materiál a technologie výroby na sebe oboustranně navazují.

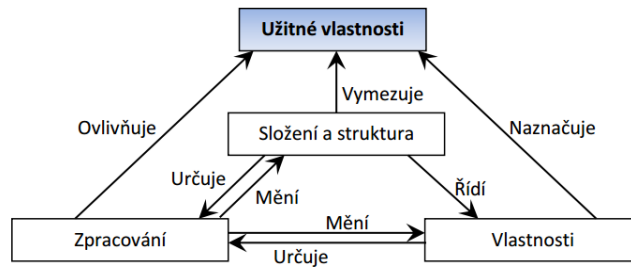


Obrázek 6 – Provázanost funkce na tvaru, materiálu a technologie [1]

Nejdůležitějším parametrem při navrhování součásti je její funkce. Je definována našimi požadavky a do značné míry rozhoduje o výsledném tvaru a užitém materiálu, ze kterého bude součást vyrobena. Na druhou stranu stejně jako nám funkce ovlivňuje materiál a tvar, tak i tvar a materiál ovlivňují konečnou funkci součásti a zároveň se ovlivňují i sami mezi sebou. Volba materiálu a tvaru je stejně jako na funkci závislá i na technologii výroby. Technologie naopak ovlivňuje tvar součásti, dosažitelnou přesnost tvaru, kvalitu povrchu a samozřejmě i výslednou cenu. Tvar nám naopak limituje uvažovanou oblast materiálů a použitelné technologie a jejich zpracování. Provázanost

jednotlivých částí závisí na složitosti součástí, čím je součást komplikovanější, tím je specifikace užší a vzájemná provázanost větší. Provázanost materiálu, funkce, tvaru a technologie výroby součástí jsou hlavními aspekty celé volby materiálu.

Technologie výroby se nejvíce projeví především u součástí z kovových materiálů. Zde má velký vliv na jejich strukturu a složení. To se dále projeví na užitečných vlastnostech celého výrobku. [2]



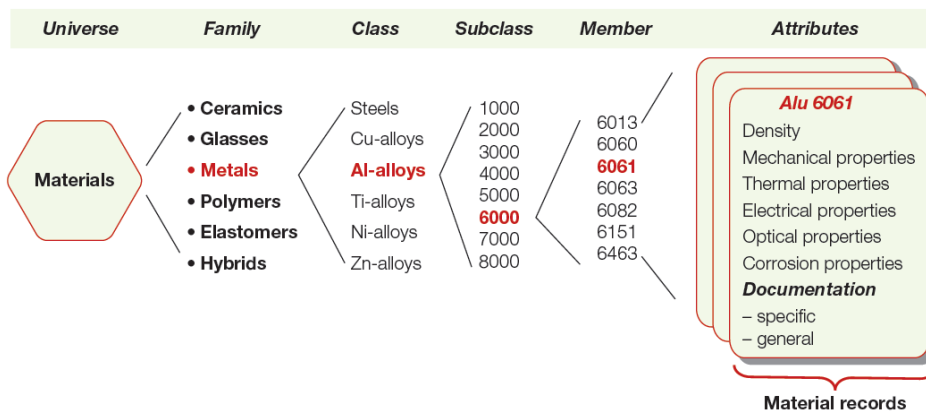
Obrázek 7 – Vztahy mezi strukturou, složením, zpracováním a vlastnostmi výrobku [2]

Užitečnými vlastnostmi se u výrobku rozumí jak jeho provozní parametry, funkce, životnost tak i celkové estetické vyznění/design – tvar, drsnost povrchu, barva. U většiny výrobků právě design určuje jejich úspěšnost na trhu.

Vlastnosti materiálu jsou závislé na jeho složení, struktuře a částečně nám naznačují výsledné užité vlastnosti výrobku. Technologie zpracování materiálu je určena složením, strukturou a vlastnostmi materiálu, např. svařitelnost, tvářitelnost za studena. Naopak technologie výroby může tyto parametry výrazně měnit, např. zpevnění při tváření za studena. V závislosti na složení, struktuře a vlastnostech materiálu proto technologie výroby výrazně ovlivňuje celkové užité vlastnosti výrobku. Složení a struktura materiálu je závislá na technologii zpracování a vymezuje nám celkovou škálu užitečných vlastností výrobku. Do takto vzájemně provázaného systému pak dále vstupují ekonomické parametry (náklady na použitou technologii nebo nákup materiálu) a poslední dobou čím dál více sledovaný dopad jednotlivých prvků na životní prostředí. [2]

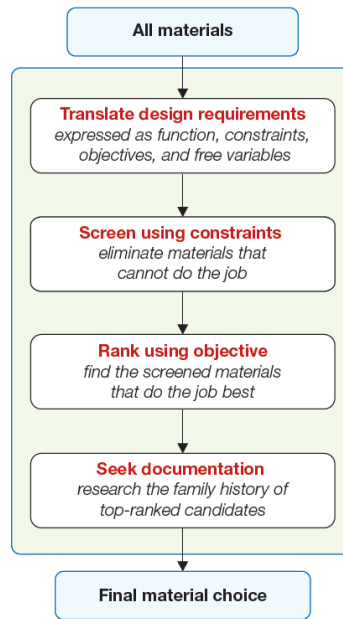
4.2 Strategie výběru

Při návrhu, z čeho bude naše součást vyrobena, máme na výběr z obrovské škály materiálů. Všechny materiály jsou rozděleny na jednotlivé skupiny, podskupina a členy, kde každý z členů je charakterizován svou specifickou množinou vlastností. Takovou množinu nazýváme materiálový profil vlastností. Při volbě materiálu se snažíme nalézt co možná nejlepší shodu mezi materiálovým profilem vlastností a požadavky konstrukce.



Obrázek 8 - Uspořádání materiálů a jejich vlastností [1]

Strategie výběru materiálu se dá rozdělit do čtyř základních fází. Jako první je potřeba převést požadavky konstrukce na omezení a cíle, se kterými můžeme dále pracovat. Tato část se nazývá interpretace požadavků konstrukce. Dále následuje eliminace, kde vyřadíme všechny materiály, které nespĺňují naše omezení vzniklé v předchozím kroku. Po eliminaci následuje řazení zbylých materiálů podle toho, do jaké míry splňují naše cíle. Čtvrtá fáze se zabývá hledáním podrobné dokumentace jednotlivých kandidátů a zkoumání jejich předností či nedostatků.



Obrázek 9 – Strategie výběru materiálu [1]

V prvním kroku je potřeba stanovit funkci, omezení, cíl a volné proměnné naší navrhované součásti. Takto stanovené parametry nám vymezi oblast uvažovaných materiálů. Požadavky konstrukce nám udávají co má naše součást splňovat, aby plnila danou funkci. Každá součást má svůj účel, svoji funkci. To nám udává k čemu je součást určena. Omezením rozumíme podmínky, které musí být splněny. Pod pojmem cíl rozumíme, jaký parametr chceme maximalizovat nebo naopak minimalizovat. Cílem je naši součást vyrobit co možno nejlehčí, nejtužší, nejlevnější či různé kombinace takto vzniklých požadavků. Při volbě materiálu se snažíme k těmto cílům co nejvíce přiblížit. Pro co nejlepší naplnění cílů může konstruktér pozměnit některé rozměry, které nejsou pevně stanovené. Takto volitelným rozměrům říkáme volné proměnné.

Dalším krokem ve strategii výběru je eliminace. Pro zvolení vhodného materiálu je zapotřebí, aby do této fáze vstupovaly všechny materiály a všechny byly považovány za potenciální kandidáty do doby, kdy nebude dokázáno, že jsou nevhodné. Je zapotřebí vyfiltrvat veškeré materiály, které nesplňují jeden nebo více atributů. Nacházejí se mimo oblast vytyčenou omezeními z předchozího kroku.

Nyní je vytyčená oblast materiálů, které splňují omezení a mohly by být na navrhovanou součást použity. Nicméně takto nalezených materiálů může být stále většina a je zapotřebí je nějakým způsobem seřadit, aby se získali ti kandidáti, kteří plní naše požadavky nejlépe. K seřazení všech kandidátů je potřeba optimalizační kritérium. Tím může být materiálový indikátor, který udává výkonnost jednotlivých materiálů pro zvolený cíl. Výkonnost je udána jednou nebo více vlastnostmi. Je snaha, aby součást byla co nejlehčí, ale zároveň co možná nejtužší, nebo aby vybraný materiál byl co možná nejlevnější. Materiálový indikátor udává směrnici přímky, kterou lze proložit

materiálovou mapu. Vzniklá přímka pak vytyčuje materiály se stejnou výkonností. Posouváním této přímky v jednom či druhém směru se získají materiály výkonnější či naopak. Pomocí materiálového indikátoru tak lze seřadit materiály dle toho, jak jsou schopny naplnit požadované cíle a vybrat z nich ty nejvhodnější.

Po předchozích třech krocích je již skupina materiálů seřazená dle toho, jak splňují omezení a zároveň co možná nejlépe naplňují požadované cíle. Nejjednodušší možnost je vybrat první materiál, který vyšel po seřazení. Může však skrývat problémy, které předchozími kroky nebyly nalezeny. Aby se tomu vyvarovalo, je dobré vzít několik nejlépe vycházejících kandidátů a o každém z nich zjistit podrobné informace. Najít kde se využívá, jaká je jeho dostupnost či cena, nebo problémy, jaké s tímto materiálem v minulosti byly. Až na základě takto zjištěných informací o každém z kandidátů je možnost přistoupit se k finální volbě. [1]

4.3 Materiálové indikátory

Materiálové indikátory nám slouží k definování cílů. Využívají se v materiálových mapách a slouží jako směrnice přímek, které nám vytyčují množinu materiálů se stejnou výkonností. Indikátorem může být jediná materiálová vlastnost, to nastane, pokud cíl není spojen s omezeními. Ve většině případů je ovšem cíl svázán se dvěma vlastnostmi a indikátorem se tak stává závislost dvou či více vlastností.

Nalezení materiálového indikátoru je pro jednoduchost ukázáno na příkladu. Za úkol je nalézt vhodný materiál pro lehkou a tuhou desku. Je zadána deska o stanovené délce L a šířce b , ale libovolné tloušťky h . Deska je zatížena silou F , která působí v jejím středu. Tuhostním omezením je považován průhyb menší než δ . Cílem je nalézt vhodný materiál, který zajistí desce co možná nejmenší hmotnost za splnění všech stanovených požadavků.

Interpretací požadavků se zjistí, že omezení pro navrhovanou součást jsou její rozměry a tuhost. Cílem je minimální hmotnost a jako volná proměnná je tloušťka desky a materiál.

Funkce	deska
Omezení	daná tuhost v ohybu (funkční omezení) daná délka a šířka (geometrické omezení)
Cíl	minimální hmotnost desky
Volné proměnné	tloušťka desky materiál

Tabulka 1 – Požadavky konstrukce pro lehkou tuhou desku

Jako první se hledá rovnice popisující veličinu, kterou chceme maximalizovat či minimalizovat. V našem případě se jedná o co nejnižší hmotnost m .

$$m = bhL\rho \quad (4.1)$$

Tuhost v ohybu S musí být větší nebo rovna než S_D :

$$S = \frac{C_1 E}{L^3} \cdot \frac{b h^3}{12} \geq S_D \quad (4.2)$$

kde C_1 je konstanta, která je závislá na rozložení zatížení. Pro nalezení vhodného materiálu není potřeba znát její hodnotu. Hmotnost se může snížit zmenšením tloušťky, ale za splnění tuhostního omezení. Použití rovnice (4.2) k eliminaci tloušťky h z cílové rovnice (4.1) se tak získá:

$$m \geq \left(\frac{12 S_D}{C_1 b} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (bL^2) \cdot \left(\frac{\rho}{E^{1/2}} \right) \quad (4.3)$$

Takto upravená cílová rovnice je rozdělena do tří částí. První závorka je konstantní a udává tuhost v ohybu, jedná se o funkční omezení. Druhá závorka je taktéž konstantní a udává geometrické omezení součásti. Jedinou proměnnou je materiál, který se skrývá pod materiálovými vlastnostmi v poslední části rovnice. Hledaný materiál pro výrobu lehké a tuhé desky je proto ten s nejnižším poměrem ρ/\sqrt{E} . Indikátor je převrácená hodnota těchto materiálových vlastností. Převrácená hodnota je zde z toho důvodu, protože je obvyklejší hledat maximální hodnotu určitých vlastností. [1][5]

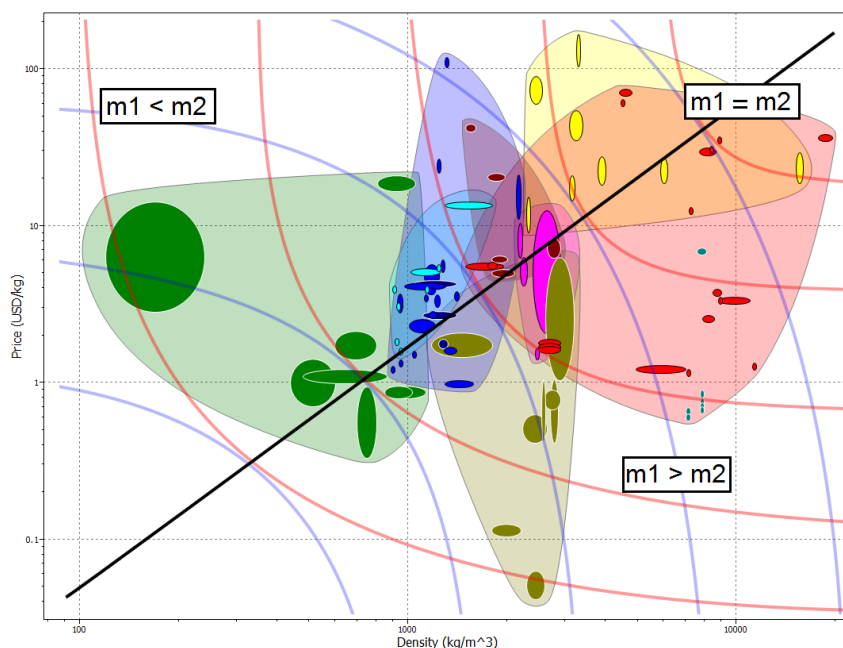
$$M_{d1} = \frac{E^{1/2}}{\rho} \quad (4.4)$$

4.4 Metoda kompromisu

Při volbě materiálu je na výrobek kladeno často mnoho na sobě závislých a někdy i zcela protichůdných omezení. Při návrhu nosníků pro křídlo letadla je nutností minimalizovat hmotnost, ovšem při dodržení požadované tuhosti, pevnosti, houževnatosti či geometrického tvaru. Úkolem konstruktéra je tak najít kompromis mezi jednotlivými omezeními.

Při hledání materiálu jen s jedním cílem je úloha jednoduchá. Ovšem pokud existuje cílů několik, vzniká problém. Materiál, který nejlépe splňuje jeden cíl, nemusí být nutně ten, který splňuje nejlépe i cíl jiný. Nejlehčí materiál není vždy ten nejlevnější.

Existuje celá řada postupů, jak tento problém řešit, všechny jsou ale založeny na subjektivním přístupu konstruktéra. Systematická metoda kompromisu vychází ze snahy minimalizovat všechny cíle. Minimalizování jednoho cíle je ovšem často na úkor cíle jiného.



Obrázek 10 – Metoda kompromisu pro dva cíle v systému CES EduPack 2009

Na obrázku 10 je vidět materiálová mapa se závislostí ceny na hustotě. Jak je vidět, při minimalizaci jedné veličiny, druhá veličina narůstá a naopak. Středová přímka vyznačuje stav, kdy oba dva cíle mají stejnou prioritu. V případě, že by konstruktér upřednostňoval nižší cenu, volil by materiály pod středovou přímkou, v případě nižší hmotnosti, materiály nad středovou přímkou. Čím dále od přímky se materiál nachází, tím více je jeden cíl upřednostňován na úkor druhého. Cílem je vybrat materiál, který je co nejbližší levému dolnímu rohu. [1]

5 Volba materiálu z hlediska průmyslového designu

Do této chvíle jsem se zabýval volbou materiálu jen z pohledu konstrukce. Jak volit materiál, aby splňoval pevnostní či tuhostní omezení. Materiál u výrobku ovšem hraje významnou roli i z pohledu designu. To jak na nás součást působí, jaké máme pocity z jejího užívání, jaký v nás zanechává dojem. To je z velké míry zapříčiněno právě materiálem, ze kterého je součást vyrobena.

Ústřední rolí pro zavedení nových materiálů do konstrukcí výrobku je větší volnost při návrhu. Během několika posledních století se takto začaly ve velkém využívat kovy. Ocelové konstrukce umožňují stavbu obrovských budov a struktur, které by v dřívějších dobách nebylo možné postavit. V posledních desetiletích se zase při návrhu nového zařízení hojně využívají polymerní materiály. Jsou velmi dobře tvarovatelné, mohou být barevné či průsvitné a mají širokou paletu dalších, ať už dobrých či špatných, vlastností. Díky těmto vlastnostem daly konstruktérovi mnoho nových možností realizace návrhu výrobku. Stejně tak lze nahlížet i na keramiku, která se využívá již mnoho stovek let, ale až v posledních letech se začala využívat její pokroková forma, která opět dává konstruktérovi nové možnosti jak svůj návrh uskutečnit.

Nastává zde ovšem problém. Při volbě materiálu jen z konstrukčního hlediska se postupuje systematicky. Pokud se vybírá materiál opakovaně při dodržení stejného postupu a skupiny kandidátů, dospěje se opět ke stejnému výsledku. U volby materiálu z hlediska designu součásti tomu ovšem tak není. Volba zahrnuje mnoho dalších faktorů závislých na současném citění okolí. To co je dobré dnes, příští rok již být nemusí. Pod pojmem citění okolí si lze představit vše od současné módy, zvyků, vzdělání až po vliv reklam či názoru druhých. [1]



Obrázek 11 – Srovnání staré a nové ledničky [7][8]

Při srovnání dvou ledniček na obrázku 11 je vidět rozdíl. Přesto že v době svého vzniku byly to nejlepší, co mohl design nabídnout a funkčně jsou prakticky totožné, z designérského hlediska jsou velmi odlišné. Kvůli rozmanitému a stále se vyvíjejícímu okolí proto nelze stanovit, jak při výběru postupovat nebo čeho se pevně držet. Design výrobku záleží převážně na citění a každý může mít v tomhle směru jiný názor. V následující části se proto budu zabývat převážně faktory, které utvářejí názory okolí na design výrobku.

5.1 Co od výrobku očekáváme

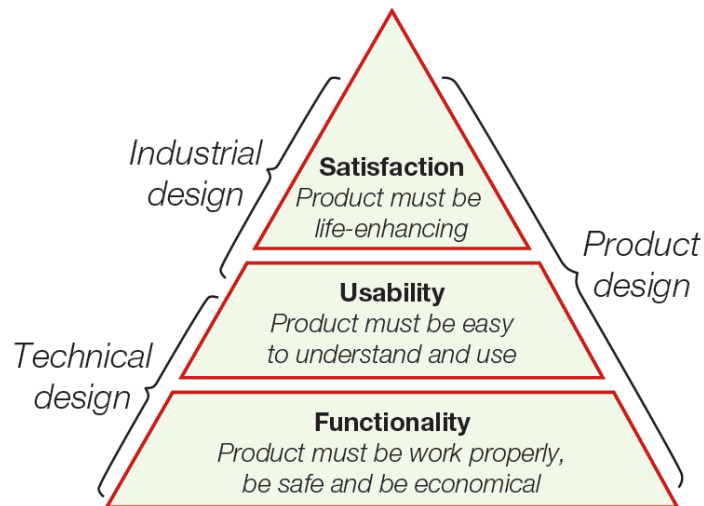
Výrobek se stejnou funkcí může být vyroben mnoha různými způsoby. Na obrázku 12 jsou dva odpadkové koše. Oba plní stejnou funkci, přesto odpadkový koš na levé straně je několikrát levnější než koš vpravo. To ovšem neznamená, že kovový koš vpravo plní svoji funkci lépe než koš plastový. Přesto existuje trh pro oba typy košů.



Obrázek 12 – Odpadkové koše vyrobené různých materiálů [9][10]

Každý z košů má jisté náklady na výrobu a uvedení na trh. Cena, za kterou je nabízen spotřebiteli, se od těchto nákladů odvíjí. Spotřebitel se pak rozhoduje, jak velkou částku je ochoten za koš zaplatit podle toho, pro jaký účel bude odpadkový koš sloužit. Zda se jedná o koš do pracovny, kuchyně nebo například do dílny. Cenu, jakou je spotřebitel ochoten za výrobek zaplatit, ovlivňují tři základní faktory.

Na obrázku 13 jsou tyto faktory zakresleny do pyramidy. Jako nejdůležitější je funkce. Výrobek musí pracovat správně, musí být bezpečný a ekonomický. To je základ každého výrobku. Samotná funkce ovšem není dostatečná. Výrobek musí být srozumitelný, musí mít intuitivní ovládání a být snadno použitelný. Vrcholem je pak požadavek na spokojenost. Výrobek musí přinášet radost a potěšení z jeho užívání.



Obrázek 13 – Požadavky pyramid [1]

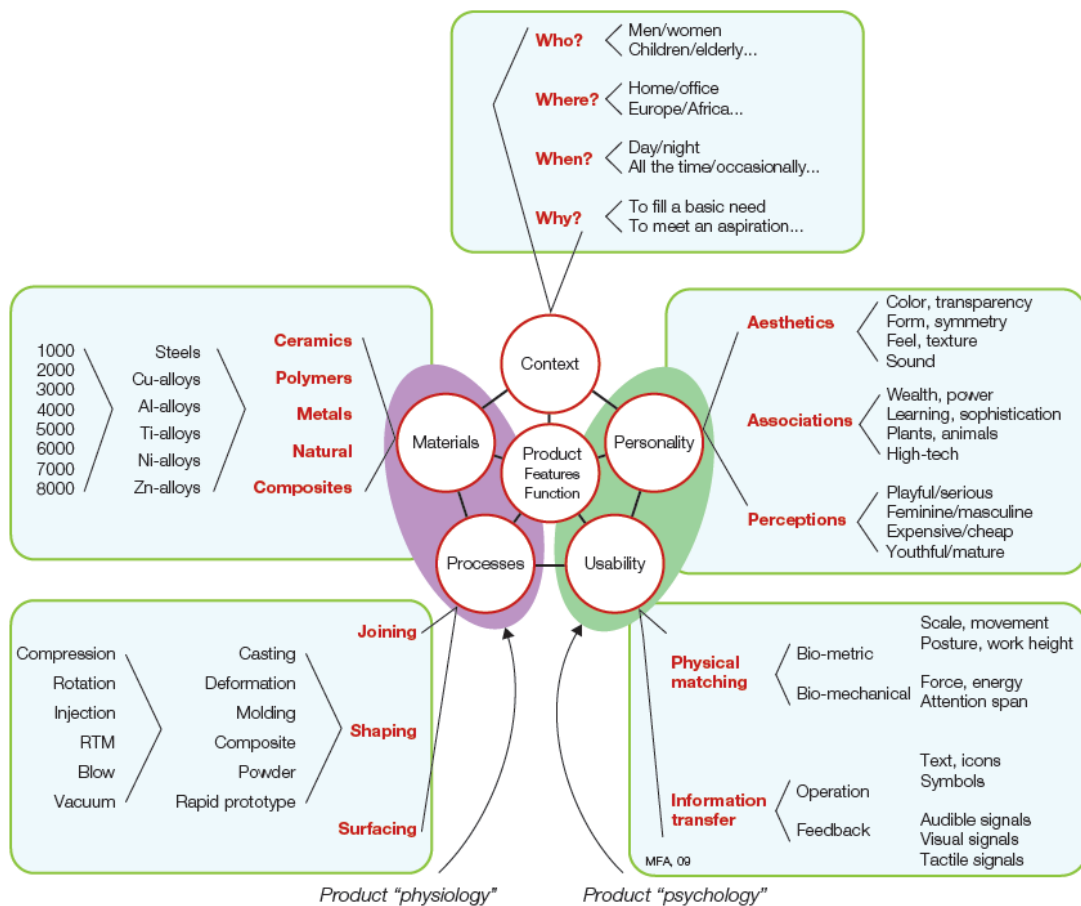
Hodnota výrobku je stanovena dle toho, do jaké míry všechny tyto tři stupně pyramidy splňují očekávání spotřebitele.

Oba dva odpadkové koše fungují stejně dobře a mají i stejně jednoduchá ovládání. Rozdíl v ceně znamená, že koš vpravo poskytne určitou míru spokojenosti, kterou koš vlevo nenabídne. Rozdíl mezi nimi je jen v materiálu, ze kterých jsou vyrobeny. Zatímco levý koš je vyroben z levného plastu, který se v dnešní době nachází všude kolem nás. Koš vpravo je naopak vyroben z kovu. Dává tak větší pocit kvality, za kterou je spotřebitel ochoten si připlatit. [1]

5.2 Charakter výrobku

Charakter výrobku je tvořen mnoha faktory, které jsou utříděny do několika základních myšlenek zobrazených pomocí obrázku 6.3. Je-li za úkol navrhnout pro výrobek ideální materiál, musí se konstruktér detailně zabírat každou z nich.

Ve středu je informace o výrobku, jeho základní požadavky na konstrukci a funkci. Způsob, jakým jsou tyto požadavky rozvíjeny, je podmíněn kontextem, za jakých podmínek bude výrobek pracovat. Při zjišťování těchto podmínek se musí položit několik základní otázek. Kdo? Kde? Kdy? Proč? Pro návrh se bere v úvahu, kdo bude produkt využívat. Muž či žena? Mladý či starý? Dále je nutné se zamyslet, pro jaké místo je výrobek určen. Přípravek pro využití v domácnosti vyžaduje jiný výběr materiálu než ten, který je určen do firmy, školy či nemocnice. Kdy? Výrobek určen k příležitostnému užití bude navržen jinak než výrobek, který se bude užívat každodenně. A poslední otázka - Proč? Jedná se o výrobek, který má na majitele nějakým způsobem upozornit, vypovědět něco o jeho životním stylu, nebo naopak má být zaměřen čistě na užitečnost. [1] [6]



Obrázek 14 – Rozdělení charakteru výrobku [1]

Další z faktorů ovlivňující charakter výrobku je samotný materiál a způsob výroby. Pro výrobek, jeho funkčnost a bezpečnost jsou tyto faktory nejdůležitější, a tak udávají jistý směr, jakým se charakter výrobku bude odvíjet.

Použitelnost: rozhoduje, jak produkt komunikuje s uživatelem: interakce s jeho smyslovými, motorickými a kognitivními funkcemi. Úspěšný produkt vyžaduje provoz, který je pokud možno intuitivní a uživatel není nucen vynakládat velké úsilí na jeho ovládání. Na tomto problému ztroskotalo mnoho návrhů, které kvůli složitému ovládání odradily mnoho potenciálních uživatelů.

Poslední z faktorů se nazývá osobnost výrobku. Tento pojem pod sebou zahrnuje estetiku, asociaci a vnímání.

Všechny tyto faktory se navzájem ovlivňují a společně vytvářejí to, jak na nás výrobek působí. Proto je velice důležité správně určit každý z nich. [1] [6]

5.3 Osobnost výrobku

Při návrhu designu výrobku existuje myšlenka, že materiály mají být použity upřímně. Znamená to, že podvod nebo imitace jsou nepřijatelné. Každý materiál musí být použit způsobem, který vyzdvihne jeho kvality a přirozený vzhled. Tato myšlenka má své kořeny v tradičním řemeslném zpracování, výroba keramiky z hrnčířských jíílů a glazury, tesařství, dřevořezbářství, broušení skla, zpracování kovu. Všechny tyto způsoby zpracování materiálu využívají jedinečných vlastností materiálů, s nimiž pracují. [1] [6]

5.3.1 Estetika materiálu

Estetické vlastnosti materiálu jsou ty, které pracují se smysly: hmat, sluch, chuť a vůně. Kovy v nás zanechávají chladný pocit, naopak dřevo nebo korek působí pocitově teple. Skleněná sklenice vydává při přípitku vysoký táhlý tón, naopak mosazný či cínový hrnek zní tupě a nudně. Plastové sklenice jsou na pohled k nerozeznání od skleněných, ovšem pokud se jich uživatel dotkne, okamžitě pozná rozdíl. To, jaký v nás zanechá výrobek pocit, se dá dosáhnout volbou barvy, textury a zvuku, jaký vydává. Mnoho výrobků si tak svoji osobnost získá až po jisté době. Interiér starého auta bude vonět a na svého majitele působit jinak než interiér auta, které právě vyjelo z továrny. Všechny materiály mají určité atributy, které charakterizují jejich estetické vlastnosti.

hmat: tvrdé, těžké materiály jsou odolné vůči poškrábání. Naopak mohou být použity k rytí do jiných materiálů. Mají vysoký lesk, velmi dobře odolávají opotřebení a jsou trvanlivé. Studené nebo teplé materiály se odvíjí od rychlosti, jakým materiál vede teplo, a měrné tepelné kapacity. Materiály s nízkou tepelnou vodivostí a tepelnou kapacitou působí na dotek teple, neboť teplo vycházející z dlaně se nestačí dostatečně rychle odvádět materiálem a materiál tak získá rychle teplotu dlaně. Naopak materiály

s vysokou tepelnou vodivostí odvádí teplo rychle a při vysoké tepelné kapacitě se materiál nestačí ohřát.

zrak: u každého materiálu rozlišujeme jeho transparentnost, barvu a odrazivost. Transparentnost materiálu je rozdělena do čtyř úrovní: neprůhledné, průsvitné, průhledné a čiré. Kovy jsou neprůhledné. Většina keramiky je také neprůhledná nebo jen částečně průsvitná, protože polykrystaly v materiálu rozptylují světlo. Polymery mají největší rozmanitost optické průhlednosti. U barvy se posuzuje, jak jsou jednotlivé barvy materiálů navzájem sladěny. Odrazivost je dána materiálem a stavem jeho povrchu. Stejně jako u transparentnosti se dá odrazivost materiálu rozdělit do několika úrovní: s minimální odrazivostí, matný, pololesklý, lesklý a s úplnou odrazivostí.

sluch: zvuk je tvořen výškou a frekvencí jednotlivých tónů. U materiálů navíc existuje tlumení nebo ztrátový součinitel. Velmi tlumené materiály zní tupě. Slitiny bronzu, sklo či ocel vydávají čistý táhlý tón o vysoké frekvenci, proto se i používají k výrobě zvonů. Naopak pěny, gumy a mnoho polymerů vydává zvuky o nízkých frekvencích a s vysokým útlumem. Proto se často tyto materiály využívají jako zvukové izolanty.

Estetické vlastnosti materiálu přispívají k osobnosti celého výrobku. Návrháři se často snaží záměrně ukázat a vyzdvihnout některé materiálové vlastnosti, které produktu pomohou utvořit si svoji osobnost. [1] [6]

5.3.2 Asociace a vnímání výrobku

Možnost přirovnávat výrobek k něčemu, co již dobře známe, je také moc důležitá. V minulosti se návrháři často inspirovali něčím, co v lidech zanechávalo dojem, že se jedná o něco známého. Například těžká terénní auta často napodobují barvy vojenských vozidel. Dávají tak lidem najevo, že se jedná o kvalitní výrobek, který snese i horší zacházení. Stejně důležité je i jak produkt vnímáme. Zde se míchá mnoho faktorů, které ovlivňují to, jak na nás produkt působí. Například kulturní či národní zvyklosti či ohlasy jiných uživatelů. [1] [6]

6 Případová studie

V následující kapitole bych rád probranou problematiku ukázal na jednoduchém příkladu. Ukážu zde jak postupovat při volbě materiálu pro nohy stolu. Designérský návrh staví na jednoduchosti a lehkosti celého produktu. Stůl se proto skládá jen ze samostatné skleněné desky a čtyř válcových nohou. Nohy nejsou nijak zpevněné vzpěrami či výztuhami.



Obrázek 15 – Skica navrhovaného stolu

Designérský návrh požaduje umocnění celkového dojmu jednoduchosti a lehkosti, proto musí být nohy vyrobeny z lehkého materiálu a co možná nejtenčí. Musí unést stanovené zatížení a samozřejmě se nesmí ohýbat nebo dokonce zlomit.

Jako první se určí funkce, omezení a cíl řešeného problému. Nohy jsou zatěžovány svislou silou, jejich funkcí je proto podpora, která musí unést tlakové zatížení od skleněné desky stolu. Tlakové zatížení stanovuje první omezení jako potřebnou minimální pevnost v tlaku. Zároveň se nohy nesmí při zatížení prohýbat, či jinak deformovat, proto je nutné zavést druhé funkční omezení v podobě minimální tuhost. Stanovená délka udává geometrické omezení. Průměr nohou stanoven není, jedná se o volnou proměnnou. Zároveň je však snaha vyrobít nohy co možná nejtenčí, proto je cílem průměr nohou minimalizovat. Stejně tak je snaha minimalizovat i hmotnost, která vychází ze zvoleného materiálu.

Funkce	sloupek (podpěra - tlakové zatížení)
Omezení	daná pevnost v tlaku (funkční omezení) daná tuhost (funkční omezení) daná délka (geometrické omezení)
Cíl	minimální hmotnost minimální průměr
Volné proměnné	průměr materiál

Tabulka 2 – Požadavky konstrukce

Pro návrh nohy jsou stanoveny dva cíle. První z cílů je minimální hmotnost. Hmotnost tyče o kruhovém průměru s s dané délky L je stanovena následující rovnicí.

$$m = \pi r^2 L \rho \quad (6.1)$$

Noha je štíhlý sloup z materiálu o hustotě ρ a modulu pružnosti E . Délka nohy L a maximální zatěžovací síla F_{crit} jsou pevné hodnoty určené konstruktérem. Jediná volná proměnná je poloměr r . Cílem je tedy minimalizovat poloměr r . Jeho minimální velikost je ovšem omezená. Noha musí unést stanovenou kritickou sílu F_{crit} a nesmí docházet k nepožadovanému vzpěru. Pro vyjádření poloměru r se vyjde z Eulerovy rovnice pro pružný vzpěr.

$$F_{crit} = \frac{\pi^2 E J}{L^2} \quad (6.2)$$

Dosazením kvadratického momentu průřezu pro kruh (6.3) a vyjádření poloměru r vznikne rovnice (6.4).

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot r^4}{4} \quad (6.3)$$

$$r = \frac{F_{crit} \cdot 4L^2}{\pi^3 E} \quad (6.4)$$

Dosazením do rovnice (6.1) se dostane rovnice pro výpočet hmotnosti (6.5). Je rozdělena na tři části, kde první část reprezentuje funkční omezení, druhá část udává geometrické omezení. Vlastnosti materiálu jsou seskupeny v poslední části rovnice. Hledaný materiálový index pro lehký a tuhý nosník je tedy její převrácená hodnota (6.6).

$$m = \left(\sqrt{\frac{F_{crit} \cdot 4}{\pi}} \right) \cdot (L^2) \cdot \left(\frac{\rho}{\sqrt{E}} \right) \quad (6.5)$$

$$M_1 = \frac{\sqrt{E}}{\rho} \quad (6.6)$$

Druhý materiálový index pro minimální průměr již stanovíme jednoduše z rovnice (6.4). Její drobnou úpravou získáme tvar (6.7), který je opět rozdělen podle funkčních, geometrických a materiálových vlastností. Převrácená hodnota materiálových vlastností je opět námi hledaný materiálový index M_2 (6.8).

$$r = \left(\sqrt[4]{\frac{F_{crit} \cdot 4}{\pi^3}} \right) \cdot (\sqrt{L}) \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{1}{E}} \right) \quad (6.7)$$

$$M_2 = \sqrt[4]{E} \quad (6.8)$$

Indikátor vlastností slouží k nalezení materiálů v materiálové mapě o stejné výkonnosti.

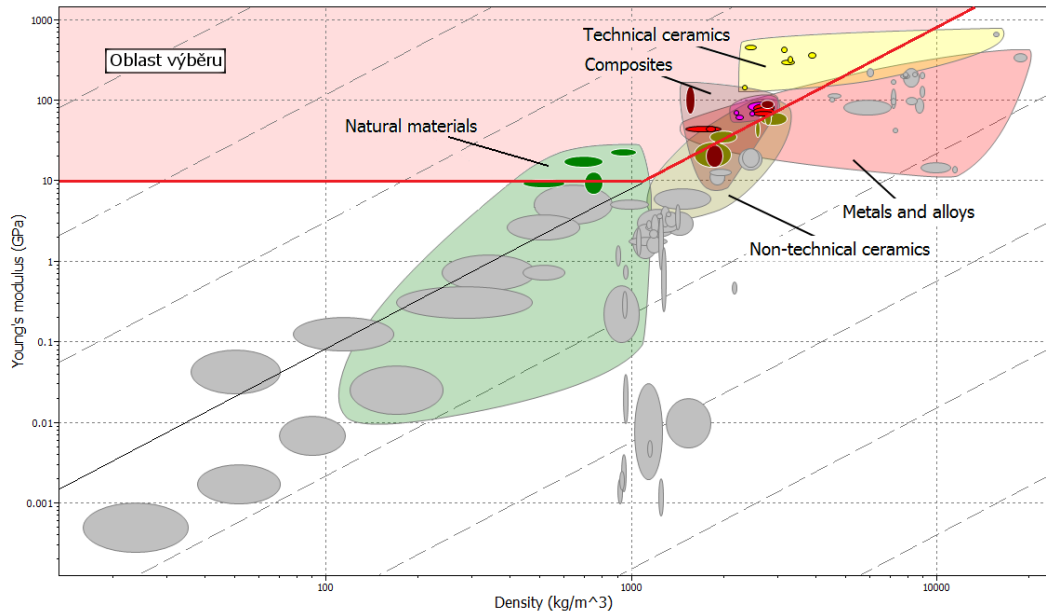
Indikátor vlastností v podobě (6.9) udává závislost jedné materiálové vlastnosti na druhé. Závislosti se vynášejí do materiálových map, které mají na osách logaritmická měřítka. Přepsáním rovnice (6.9) do logaritmického tvaru dostáváme závislost (6.10). Vynesení této závislosti do grafu se získá přímka o sklonu n a výkonnosti materiálu M . V tomto případě tedy hledané přímky mají směrnice 2 a 0.

$$M = \frac{P_1}{P_2^n} \quad (6.9)$$

$$\log P_1 = n \cdot \log P_2 + \log M \quad (6.10)$$

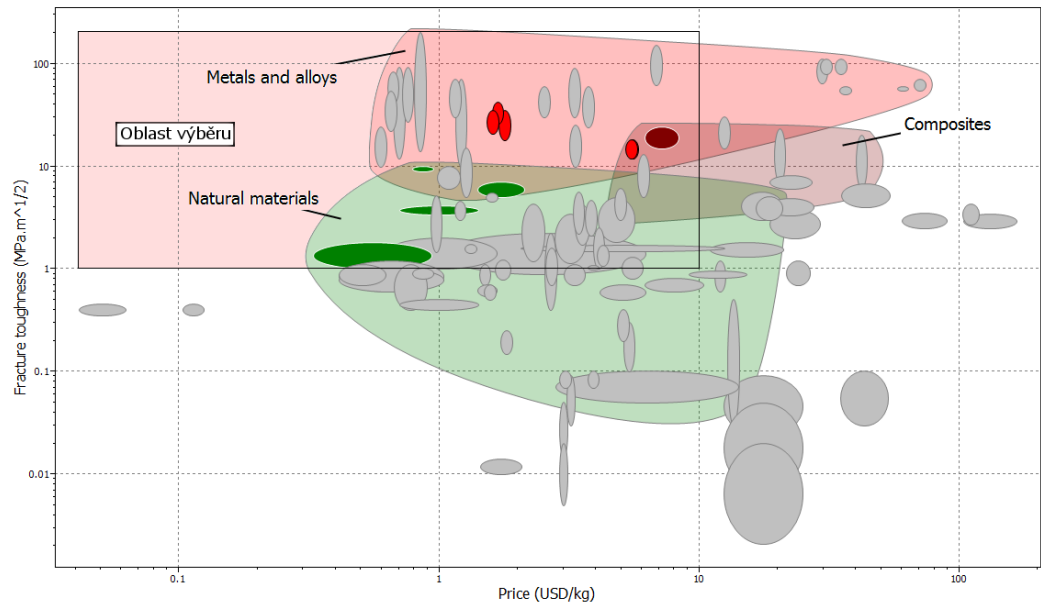
Všechny materiály nacházející se na libovolně umístěné přímce o dané směrnici n mají stejnou výkonnost M . Materiály, které se nacházejí nad touto přímkou, mají výkonnost vyšší, materiály pod přímkou naopak nižší. Proto se volí hodnota M tak, aby přímka vymezila v grafu jen malou oblast nejvýkonnějších kandidátů, ze kterých se bude následně vybírat ten nejlepší.

Nyní, když jsou stanoveny oba materiálové indikátory a závislosti, které představují, může se přistoupit k vyhledání materiálů v databázovém systému CES EduPack 2009. V programu se vytvoří materiálová mapa závislosti hustoty ρ na modulu pružnosti E , do které se zanesou materiálové indikátory. Výsledek je na obrázku 16.



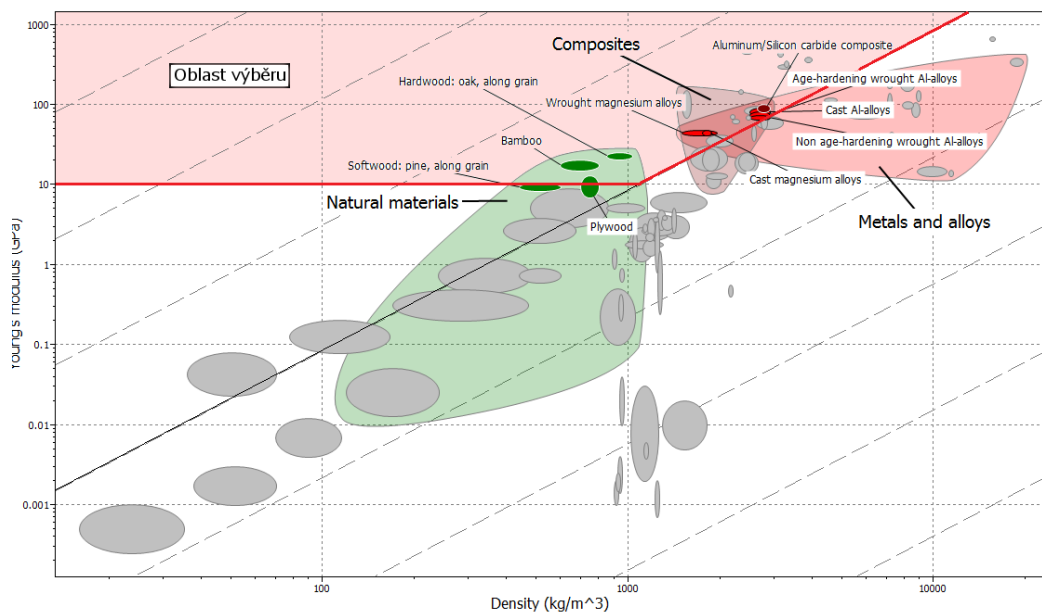
Obrázek 16 – Materiálová mapa vygenerovaná v systému CES EduPack 2009

Jak je patrné z grafu, požadovaná kritéria splňují zástupci přírodních materiálů, kompozitů a ocelí a slitin. Kromě toho se do užšího výběru dostaly i některé keramické materiály. Keramika je ovšem křehká. Nohy stolu mohou být vystaveny rázům, které by nemusely zátěž vydržet. Pokud tedy nepřipadá v úvahu přehodnocení technického řešení navržených nohou, například v podobě jejich předepnutí či adekvátnímu způsobu ochrany proti vnějším rázům, je na místě do výběru zařadit další kritéria. Stejně tak může být problémem i cena jednotlivých materiálů. Proto se v systému vytvoří další materiálová mapa, tentokrát se závislostí lomové houževnatosti na ceně za jednotku a zařadí se příčinná omezení, obrázek 17.



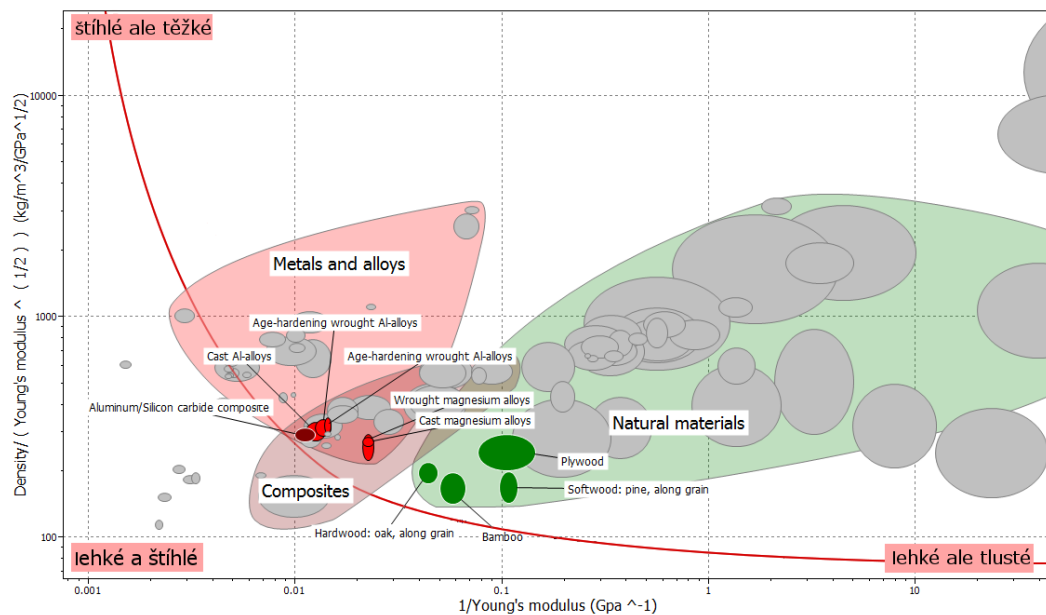
Obrázek 17 – Materiálová mapa vygenerovaná v systému CES EduPack 2009

Při stanovení minimální lomové houževnatosti a maximální ceny se výběr zúží na posledních deset kandidátů, obrázek 18.



Obrázek 18 – Materiálová mapa vygenerovaná v systému CES EduPack 2009

Nyní je již vybraná malá skupina slibně vyhlížejících kandidátů. Každý z nich by již splnil požadavky konstrukce pro štíhlé a zároveň lehké nohy stolu. Ovšem tyto požadavky jsou dva protichůdné cíle. Při dodržení žádaného zatížení, které musí nohy unést, se jejich hmotnost snižuje na úkor štíhlosti a naopak. Jakým způsobem se tyto dva faktory ovlivňují u jednotlivých kandidátů, se zjistí pomocí metody kompromisu. Proto je zavedena nová materiálová mapa, kde na jednotlivých osách jsou vyneseny zjištěné materiálové indikátory M_1 a M_2 . Dostane se tak jejich vzájemná závislost pro jednotlivé materiály, obrázek 19.



Obrázek 19 – Materiálová mapa vygenerovaná v systému CES EduPack 2009

Z mapy je patrné, že nohy z dubového dřeva či bambusu by byly nejlehčí. Naopak nohy z kompozitu Al-SiC by byly nejtenčí, ovšem na úkor mírného zvýšení hmotnosti. Podobně by na tom byly nohy vyrobené ze slitin hliníku. Celkově se tedy jeví kompozit Al-SiC a slitiny hliníku jako nejlepší kompromis. Nabízejí nižší průměr na úkor nepatrného navýšení hmotnosti.

Materiál	M_1 [GPa ^{1/2} · m ³ · Mg ⁻¹]	M_2 [GPa]	cena (USD/kg) [USD · kg ⁻¹]	lomová houževnatost [kg · m ⁻²]
Al - alloys	275 - 330	0.0112 - 0.0139	1.7 - 1.87	18 - 35
Al - SiC composite	273 - 314	0.01 - 0.0123	6.22 - 8.29	15 - 24
Mg - alloys	260 - 283	0.0213 - 0.0238	5.3 - 5.83	12 - 18
Bamboo	142 - 195	0.05 - 0.0667	1.41 - 2.12	5 - 7
Hardwood: oak	176 - 218	0.0397 - 0.0485	0.79 - 0.95	9 - 10

Tabulka 3 – Výsledné seřazení materiálů

Závěrečným krokem je vyhledat informace o nejlépe vyhlížejících kandidátech a jejich následné seřazení dle preferovaných kritérií. Výsledek je vidět v tabulce 3. Jako optimální materiál jsem pro lehké a štíhlé nohy stolu vybral slitinu hliníku. V porovnání s kompozitním materiálem Al-SiC či slitinou hořčíku jsem upřednostnil nižší cenu a průměr nohou vůči vyšší hmotnosti při srovnatelné lomové houževnatosti.

Závěr

Úkolem práce bylo prostudovat a přehledně zpracovat problematiku výběru materiálu z hlediska průmyslového designu. V úvodu práce jsou popsány současné metody využívané pro volbu materiálu a problematika propojení konstrukčního a designérského řešení návrhu.

Dále práce popisuje jednotlivé kroky při návrhu nového výrobku a detailně se zabývá jejich provázaností s volbou materiálu. Jsou zde popsány jednotlivé fáze procesu návrhu, způsoby konstruování a požadavky na množství materiálových dat v závislosti na úrovni návrhu.

Následně jsou v práci popsány jednotlivé úvahy při samotném výběru materiálu. V práci je popsána problematika volby pomocí tzv. indikátoru materiálových vlastností profesora Michal F. Ashby z Cambridžské univerzity a následnou selekci materiálu pomocí materiálových map databázového systému CES EduPack společnosti Granta Design Limited. Tato metoda vnáší do velmi složité a obsáhlé problematiky ucelené a systematické řešení.

Závěrem teoretické části se práce zabývá, jakým způsobem je provázán design a materiál výrobku. Jsou zde rozepsány jednotlivé faktory, které ovlivňují volbu materiálu z hlediska průmyslového designu.

Druhá část práce je věnována případové studii. V této části je probíraná problematika demonstrována na návrhu materiálu pro nohy stolu, kde designérský návrh požadoval umocnění celkového dojmu jednoduchosti a lehkosti.

Použitá literatura

- [1] ASHBY, M. *Materials selection in mechanical design*. 4th ed. Butterworth-Heinemann, c2011, xv, 646 s. ISBN 978-1-85617-663-7.
- [2] Doc. Ing. Jiří Janovec, CSc.: *Nauka o materiálu* [online], [cit. 2013-16-10], Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/files/7_volba-materialu.pdf
- [3] SKÁLOVÁ, Jana, Jaroslav KOUTSKÝ a Vladislav MOTYČKA. *Nauka o materiálech*. 4. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-874-9.
- [4] *Konstrukční materiály* [online]. [cit. 2013-16-10]. Dostupné z: http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/339/.content/files/Skriptum_VaZM.pdf
- [5] Strnadel, B.: *Řešené příklady a technické úlohy z materiálového inženýrství*, VŠB – TU Ostrava
- [6] *Material selection and processing*. University of Cambridge. [online]. [cit. 2014-20-01]. Dostupné z: <http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/>
- [7] Obrázek: koš stříbrný [online]. [cit. 2014-11-02]. Dostupné z: <http://www.kvalitnikose.cz/odpadkovy-kos-intro-nerez>
- [8] Obrázek: koš plastový [online]. [cit. 2014-11-02]. Dostupné z: <http://kancelar24h.cz/product/plastovy-odpadkovy-kos-60l:1194/>
- [9] Obrázek: lednička stara [online]. [cit. 2014-13-02]. Dostupné z: <http://10engines.blogspot.cz/2009/08/eventually-ge-monitor-top.html>
- [10] Obrázek: lednička nova [online]. [cit. 2014-13-02]. Dostupné z: <http://www.toplednice.cz/kombinovane-lednicko-35>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Materiálová mapa závislosti hustoty na mezi pevnosti [1]	12
Obrázek 2 – Materiálová mapa v systému CES EduPack 2009	13
Obrázek 3 – Zadávání kritérií pro výběr materiálů v CES EduPack 2009	14
Obrázek 4 – Proces návrhu [1]	16
Obrázek 5 - Etapy a komponenty procesu navrhování výrobku [2]	17
Obrázek 6 – Provázanost funkce na tvaru, materiálu a technologii [1]	18
Obrázek 7 – Vztahy mezi strukturou, složením, zpracováním a vlastnostmi výrobku [2]	19
Obrázek 8 - Uspořádání materiálů a jejich vlastností [1]	20
Obrázek 9 – Strategie výběru materiálu [1]	21
Obrázek 10 – Metoda kompromisu pro dva cíle v systému CES EduPack 2009	24
Obrázek 11 – Srovnání staré a nové ledničky [7][8]	25
Obrázek 12 – Odpadkové koše vyrobené různých materiálů [9][10]	26
Obrázek 13 – Požadavky pyramid [1]	27
Obrázek 14 – Rozdělení charakteru výrobku [1]	28
Obrázek 15 – Skica navrhovaného stolu	31
Obrázek 16 – Materiálová mapa vygenerovaná v systému CES EduPack 2009	34
Obrázek 17 – Materiálová mapa vygenerovaná v systému CES EduPack 2009	35
Obrázek 18 – Materiálová mapa vygenerovaná v systému CES EduPack 2009	35
Obrázek 19 – Materiálová mapa vygenerovaná v systému CES EduPack 2009	36

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Požadavky konstrukce pro lehkou tuhou desku	22
Tabulka 2 – Požadavky konstrukce	32
Tabulka 3 – Výsledné seřazení materiálů	37