

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Výběr materiálů z hlediska funkčních vlastností produktu

Autor: **David KÁROLY**
Vedoucí práce: **Ing. Ivana MAZÍNOVÁ**

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David KÁROLY**
Osobní číslo: **S13B0020K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Výběr materiálů z hlediska funkčních vlastností produktu**
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 funkčních vlastností produktu. 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

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

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Károly	Jméno David		
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Dopravní a manipulační technika“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Mazínová	Jméno Ivana		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Výběr materiálů z hlediska funkčních vlastností produktu			

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	47	TEXTOVÁ ČÁST	47	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje specifické informace o výběru materiálu s ohledem na funkční vlastnosti produktu. V práci jsou uvedeny odborné vztahy potřebné k určení optimálního materiálu. Poté jsou zde provedeny dva konkrétní příklady pro výběr materiálu pomocí softwaru CES EduPack.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	materiály, funkce, vlastnosti, optimalizace, výpočty, strojírenství, návrh, software CES

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Károly	Name David	
FIELD OF STUDY	B2301 “ Transport Engineering“		
SUPERVISOR	Surname (InclusiveofDegrees) Ing. Mazínová	Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Deletewhen not applicable
TITLE OF THE WORK	Choice of material for the functional characteristics of the product		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	47	TEXT PART	47	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Bachelor thesis contains specific information about the selection of material with respect to functional properties of the product. This work presents professional relationships needed to determine the optimal material. Then there are made two specific examples for the selection of material using software CES EduPack.
KEY WORDS	materials, functions, features, optimization, analysis, engineering, design, software CES

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Ivaně Mazínové, vedoucí bakalářské práce, která mi byla po celou dobu vypracovávání bakalářské práce nápomocna, za její ochotu, trpělivost, užitečné rady a připomínky.

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	3
1. Úvod, cíl práce	4
1.1 Základní teorie výběru materiálu	4
1.1.1 Vývoj materiálu.....	4
1.1.2 Faktory vývoje materiálu.....	4
1.1.3 Možnosti při výběru materiálu	4
1.2 Konstrukční návrh.....	5
1.2.1 Konstrukční proces.....	5
1.2.2 Typy produktů	7
1.2.3 Konstrukční nástroje a údaje o materiálech.....	7
1.2.4 Funkce, materiál, tvar a proces.....	8
1.2.5 Shrnutí výběru	9
1.3 Konstrukční materiály a jejich vlastnosti.....	9
1.3.1 Údaje o materiálech.....	10
1.3.2 Materiálové vlastnosti	11
1.4 Mapy vlastností materiálů.....	11
1.4.1 Teorie materiálových map.....	11
1.4.2 Druhy materiálových map	11
1.4.3 Závislost jednotlivých vlastností	13
1.4.4 Zhodnocení materiálových map	14
2. Postup výběru	14
2.1 Základní přehled	14
2.1.1 Kroky výběru.....	15
2.2 Strategie výběru materiálu	15
2.2.1 Profil materiálu.....	15
2.2.2 Postup při výběru produktu	15
2.2.3 Postup při výběru materiálu.....	16
2.3 Rozbor jednotlivých kroků.....	17
2.3.1 Interpretace požadavků na produkt.....	17
2.3.2 Eliminace pomocí omezení	18
2.3.3 Seřazení pomocí cíle.....	18
2.3.4 Hledání dokumentace	18

2.4 Materiálové indikátory	19
2.4.1 Materiálové indikátory obecně	19
2.4.2 Příklad minimalizace hmotnosti	20
2.5 Algoritmus výběru	21
2.5.1 Odvození indikátoru	21
2.5.2 Eliminace, aplikování limit	21
2.5.3 Seřazení, využití materiálových indikátorů	22
2.5.4 Detailní dokumentace	24
2.6 Počítačová podpora výběru	24
3. Případová studie	25
3.1 Materiály na minimalizaci zkreslení měřeného rozměru	25
3.1.1 Interpretace požadavků na produkt	25
3.1.2 Eliminace pomocí omezení	27
3.1.3 Seřazení pomocí cíle	28
3.1.4 Hledání dokumentace	29
3.2 Vytvoření materiálové mapy pomocí softwaru CES	29
3.2.1 Založení nového projektu	29
3.2.2 Vytvoření materiálové mapy	30
3.2.3 Popis a úprava materiálové mapy	33
3.2.4 Aplikace omezení	34
3.2.5 Shrnutí případové studie	34
3.3 Materiál chladicího zařízení pro mikročipy	36
3.3.1 Interpretace požadavků na produkt	37
3.3.2 Vytvoření materiálové mapy	37
3.3.3 Aplikace omezení	39
3.3.4 Eliminace pomocí omezení	40
3.3.5 Seřazení pomocí cíle	40
3.3.6 Možnost rozšíření materiálové mapy	41
3.3.7 Hledání dokumentace	44
3.3.8 Shrnutí případové studie	44
4. Závěr	45
Seznam použité literatury	46
Seznam obrázků	46
Seznam tabulek	47

Přehled použitých zkratek a symbolů

Důležité značky:

E [MPa]	Youngův modul pružnosti v tahu
ρ [kg/m ³]	hustota
v [m/s]	podélná rychlost vlny
A [m ²]	plocha průřezu
L [m]	délka
F [N]	síla
σ_f [MPa]	pevnost na mezním stavu
M_{p1} [MPa · m ³ /kg]	materiálový indikátor
M_{p2} [MPa · m ³ /kg]	materiálový indikátor
λ [W/(m · K)]	tepelná vodivost
q [J/kg]	tepelný tok
α [10 ⁻⁶ /K]	součinitel teplotní roztažnosti
T_0 [K]	teplota okolí
T [K]	teplota zařízení
ε [-]	poměrná deformace
M_1 [W · (10 ⁻⁶)/m]	materiálový indikátor
M_2 [MPa · m ³ /kg]	materiálový indikátor
ρ_e [μΩ · cm]	elektrický odpor
$f_1(F)$ [-]	strukturální indikátor
$f_2(G)$ [-]	strukturální indikátor
$f_3(M)$ [-]	materiálový indikátor

Důležité zkratky:

MKP	- Metoda konečných prvků
P	- Výkonnost
F	- Funkční požadavky
G	- Geometrické požadavky
M	- Materiálové požadavky
CES	- Cambridge Engineering Selector

1. Úvod, cíl práce

Cílem práce je ukázat způsob, jak vybrat co nejvhodnější materiál pro určitý produkt. Strategie, kterou budeme při výběru používat, nám umožní vybírat ze všech možných materiálů. Pokud bychom vybírali na základě vlastní úvahy, mohli bychom vynechat některé vhodné kandidáty. Pro výběr bude využito počítačového softwaru, který je k tomu určen a nezanedbá žádného potencionálního kandidáta. V minulosti byl materiál vybírán na základě dostupných údajů o materiálech, dnes je k dispozici počítačový software, který obsahuje rozsáhlé množství materiálů a jejich detailní dokumentace. Při výběru materiálu je nutno provádět mnoho rozhodnutí, které jsou díky počítačovému softwaru rychlejší. Jedná se například o rozhodnutí, zdali bude materiál vyhovovat provozním teplotám nebo jestli má dostatečně vysoký elektrický odpor a řadu dalších rozhodnutí. V některých případech může být materiál uměle vytvořen. Důvodem k vývoji nového materiálu může být požadavek na zvýšení pevnosti již existujícího produktu, kde vyšší pevnost nebyla dříve možná. My se však zaměříme na návrh materiálu dle požadavků na produkt.

1.1 Základní teorie výběru materiálu

1.1.1 Vývoj materiálu

Počet materiálů, které lze využívat ve strojírenství se dnes pohybuje okolo 160 000. Dříve se z velkého počtu materiálů vybíralo pouze na základě zkušeností, dnes toto však není v souladu s moderními počítačovými systémy. Software má několik kroků, které postupně vyhodnocují možnosti a omezení, kde pomocí těchto informací provádějí další operace. Dnes již nelze výběr materiálu provádět nezávisle na technologii výroby nebo konečném tvaru součásti po výrobě. Je třeba také zohlednit šetrnost k životnímu prostředí nebo to, jak se bude dát materiál zlikvidovat. Každé takovéto rozhodnutí se projeví v celkové ceně. Nelze však zanedbat vlastnosti, které budou daný produkt prodávat zákazníkům. Může to být atraktivní vzhled, příjemný povrch na dotek či spolehlivá funkce. I tyto vlastnosti se budou v ceně projevovat, bez nich by bylo obtížné udržet produkt na trhu.

1.1.2 Faktory vývoje materiálu

Materiály se vyvíjely za účelem vylepšení určitých vlastností. Aby zbraně více vydržely nebo aby byly odolnější vůči korozi. Dnes lze pro zvýšení odolnosti vůči korozi použít například různé nátěry. Vylepšení vlastností však není jediným faktorem, dalším důležitým faktorem je ekonomika. Materiály dostupnější na trhu, levnější na výrobu nebo materiály s vysokou životností v různých provozních podmínkách. V dnešní době je také kladen veliký důraz na šetrnost k životnímu prostředí. Všechny tyto faktory a mnoho dalších pomohly k rychlému vývoji materiálů.

1.1.3 Možnosti při výběru materiálu

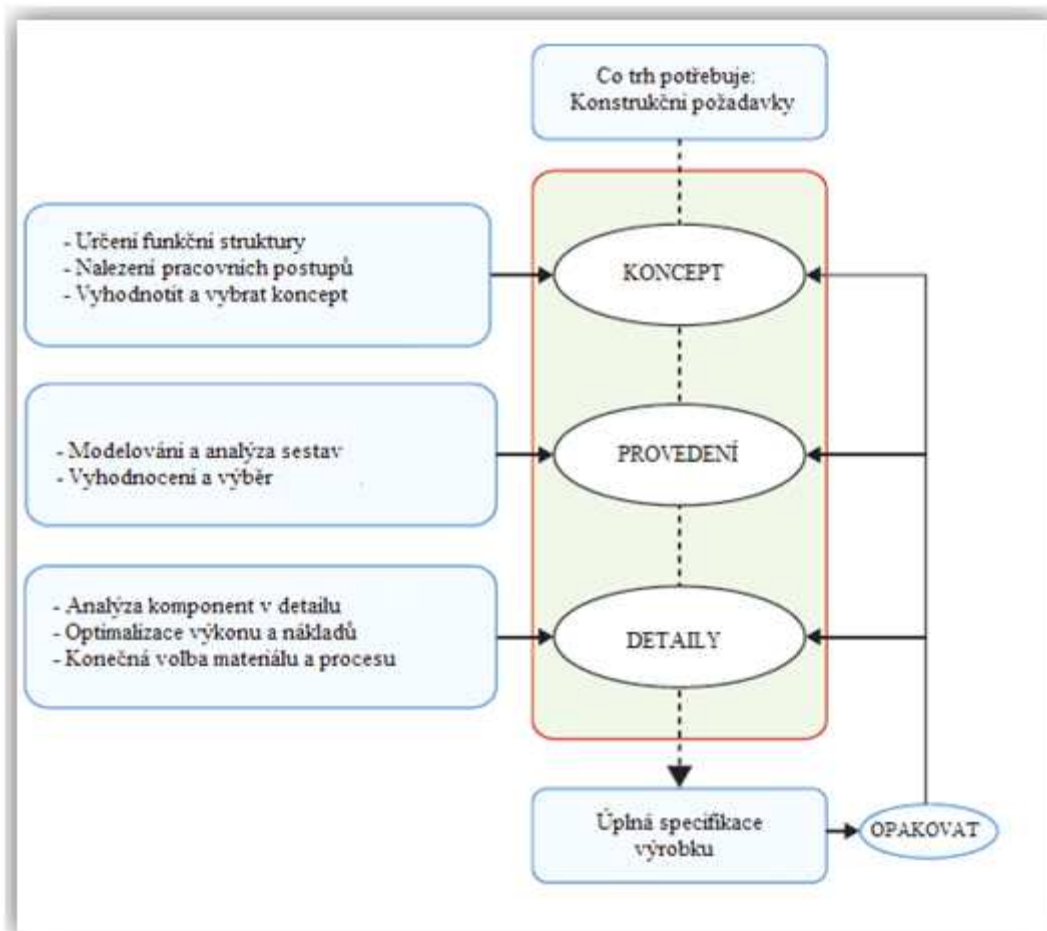
Důležité je neomezit se jen na jednu možnost, ale zvážit jich vždy více. Znamená to, že vhodných materiálů je vždy několik. Budeme tedy vyhodnocovat všechny možnosti. Je potřeba zvážit vlastnosti materiálu a případný výrobní proces. V reálu dochází vždy ke konfliktu mezi jednotlivými požadavky. Cílem bude tedy najít optimální řešení.

1.2 Konstrukční návrh

V této kapitole se budeme zabývat konstrukčním návrhem produktu. Důležité je tedy to, aby produkt správně fungoval. Nelze však zcela vynechat i ostatní vlastnosti jako je barva, drsnost povrchu a další. Tyto vzhledové vlastnosti zde však prozatím zanedbáme.

1.2.1 Konstrukční proces

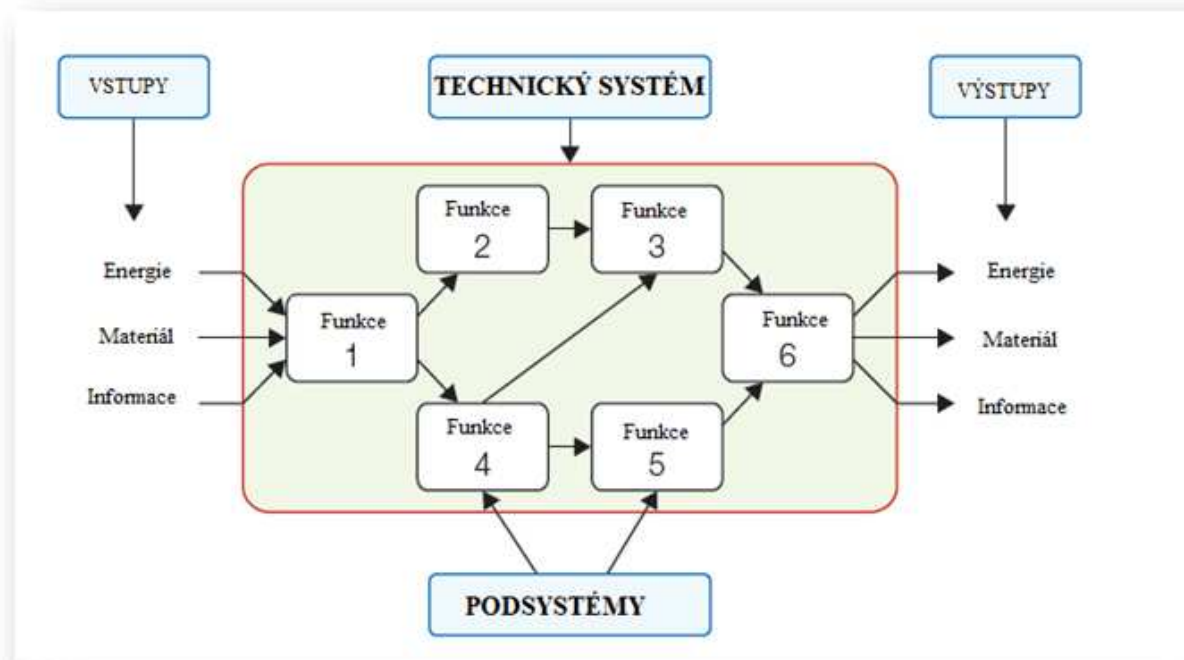
Prvním krokem je vytvoření několika konceptů na základě požadavků. Posledním krokem bude úplná specifikace produktu. Na obr. 1.1 je ukázána vazba mezi konstrukčními požadavky a samotnou specifikací výrobku.



Obr. 1.1 Vazby mezi počátkem návrhu a úplnou specifikací. [1]

Samotný produkt lze označit technickým systémem. Každý takový systém se skládá z několika podsestav a každá takováto podsestava z několika dalších součástí. Při návrhu nám tento rozklad příliš nepomůže. Lepší je myšlenka tzv. systémové analýzy. Tato analýza bere v úvahu vstupy a to, co se děje v procesu a výstupy informací. Zde tedy dojde k převodu vstupních informací do výstupních. Příkladem může být převod elektrické energie na mechanickou u elektromotoru.

Při tomto návrhu je systém rozdělen do několika podsystémů, kde každý plní svoji funkci. Výsledné uspořádání se nazývá funkční struktura. Ta nám pomáhá při posouzení jednotlivých propojení mezi funkcemi. Na obr. 1.2 máme zobrazen technický systém s jednotlivými funkcemi. Ty se můžou upravovat, odebírat nebo rozkládat a tím se mění jejich rozložení.

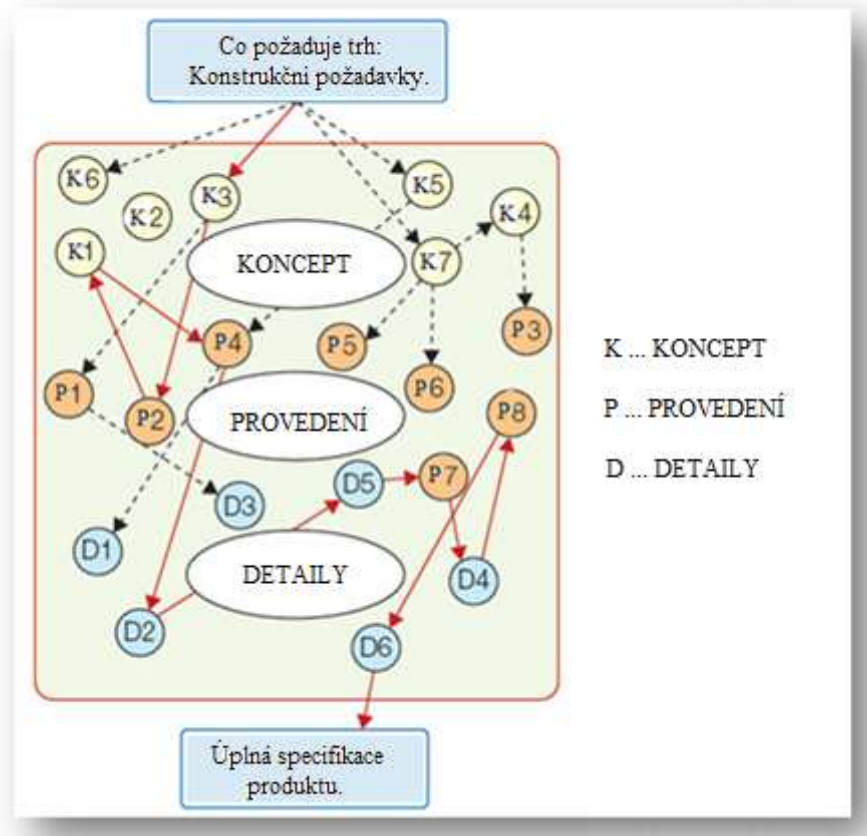


Obr. 1.2 Technický systém. [1]

V další fázi se vezmou velmi slibné koncepty a jsou dále analyzovány. Zde už se pak jedná o výběr materiálu, který bude pracovat v určitých podmínkách. Na závěr je vytvořena detailní dokumentace jednotlivých materiálů. Některé mohou být podrobeny například tepelné analýze. Optimalizační metody jsou potom aplikovány přímo na součásti nebo na skupiny součástí. Snaha o snížení nákladů může být provedena úpravou velikosti a tím hmotnosti materiálu. Návrh poté končí podrobnou specifikací.

Některé důsledky rozhodnutí provedených při návrhu se mohou projevit až při samotné analýze detailů. To by znamenalo vrátit se zpět na začátek. Bohužel nezbytnou součástí navrhování je také opakování postupu a hledání alternativ.

Skutečnost bývá však taková, že při hledání se několikrát vracíme a to ve všech třech stádiích. Některé koncepty skončí rovnou ve slepé uličce, jiné skončí těsně před koncem. Snahou je tedy dojít od samotného počátku konceptu k úplné specifikaci produktu. Samotná cesta může někdy vypadat jako na obr. 1.3.



Obr. 1.3 Cesta postupu přes jednotlivé oblasti. [1]

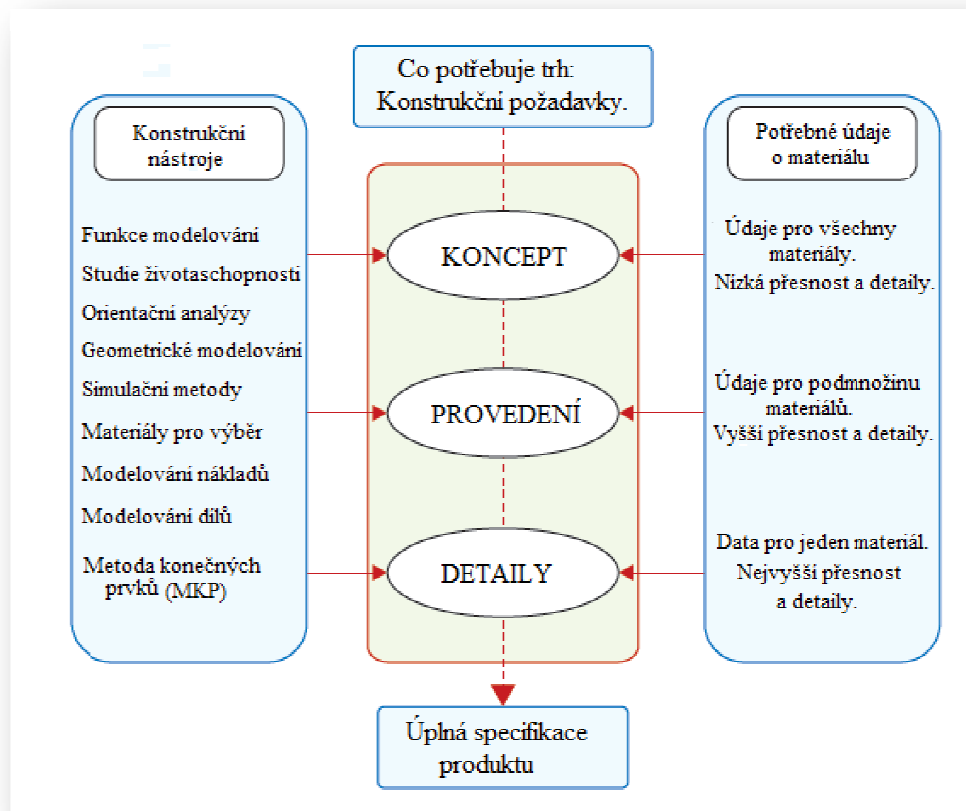
1.2.2 Typy produktů

Není nutno vždy začínat od nuly, jak tomu bylo u předešlého postupu. Můžeme využít už vymyšlených materiálů nebo produktů a vylepšit je. Nové materiály s jedinečnými vlastnostmi nabízejí mnoho unikátních kombinací. Někdy je produkt navrhován až pro nový materiál. Jindy produkt vyžaduje vývoj nového materiálu. Průzkum vesmíru podnítl například rozvoj lehkých kompozitů.

Motivem pro vývoj produktu může být zvýšení pevnosti, snížení nákladů nebo přizpůsobení měnícímu se trhu. Téměř všechny produkty jsou adaptivní nebo vývojové. Adaptivní produkty mají stálou koncepci, může zde však dojít například k nahrazení kovů za polymery. Tím budou sníženy náklady a také hmotnost. U vývojového produktu může být nahrazena i celá část, například novým materiálem nebo novou technologií.

1.2.3 Konstrukční nástroje a údaje o materiálech

Jestliže chceme provést kroky dle postupu na obr. 1.1, použijeme různé konstrukční nástroje. Tyto nástroje jsou zobrazeny na obr. 1.4 v levé části. Tyto konstrukční nástroje umožňují modelování a optimalizaci návrhu. 3D modelování umožňuje vizualizaci produktu. Další softwary nám pomáhají optimalizovat, vyhodnocovat a případně pomáhají s obtížnými rozhodnutími.



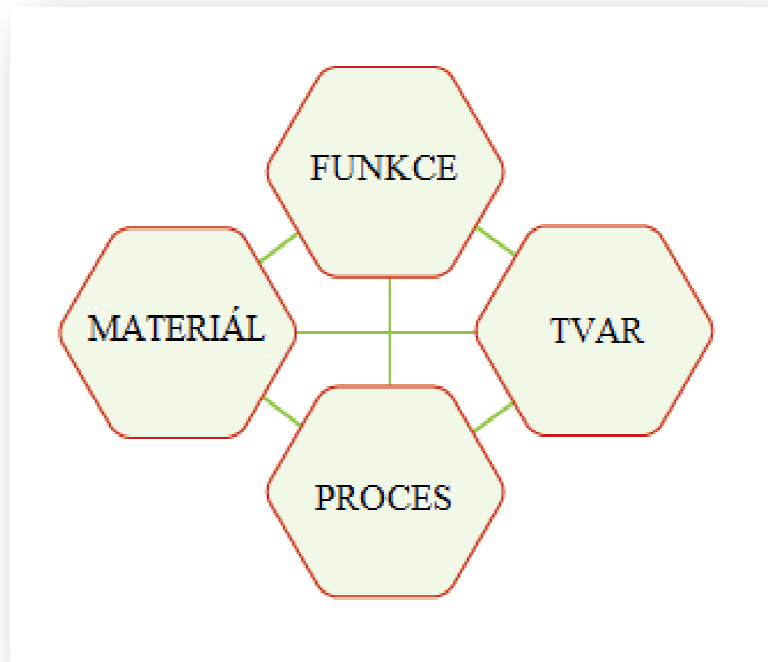
Obr. 1.4 Konstrukční nástroje a údaje o materiálech. [1]

Nástroje pro výběr hrají velmi důležitou roli v každé fázi návrhu. Na počátku vidíme, že nepotřebujeme tolik přesné údaje a detaily o materiálech. Budeme zde vybírat z mnoha materiálů. Budeme tedy požadovat přibližné hodnoty vlastností materiálů, ale také maximální rozsah těchto hodnot. Dále bychom zužovali výběr až bychom se dostali do poslední fáze. Nakonec zůstane jeden nebo několik materiálů, pro které je nutná vysoká přesnost údajů. Tyto informace lze nalézt v příručkách od samotných výrobců materiálů. Vždy je nutno údaje od dodavatele dohledat a ty poté použít ve výpočtech. Kdyby byl výpočet proveden dle hodnot z neověřených zdrojů, mohlo by dojít k fatálním následkům. Lze také provádět vlastní měření, například pro kontrolu pevnosti.

1.2.4 Funkce, materiál, tvar a proces

Výběr materiálu je tedy spojen nejen s procesem, ale také s tvarem. Jestliže chceme určitý tvar, materiál bude podroben určitým konstrukčním procesům. Tyto procesy se společně nazývají výroba. Procesy, které jsou prováděny hned z počátku, nazýváme primární. Jedná se například o lití či kování. Další procesy pro úpravu mohou být vrtání nebo obrábění. Posledními procesy jsou například kalení, cementování či nitridování. Tyto poslední procesy nazýváme dokončovací operace.

Funkce ovlivňuje volbu materiálu. Materiál zase ovlivňuje procesy výroby. Proces výroby zase ovlivňuje tvar, velikost, přesnost a cenu. Tyto vazby jsou obousměrné. Jednoduché schéma zobrazující vazby mezi funkcí, materiálem, tvarem a procesem je ukázáno na obr. 1.5. Z tohoto schématu je patrné, že spolu vzájemně souvisí.



Obr. 1.5 Schéma vazeb mezi jednotlivými oblastmi. [1]

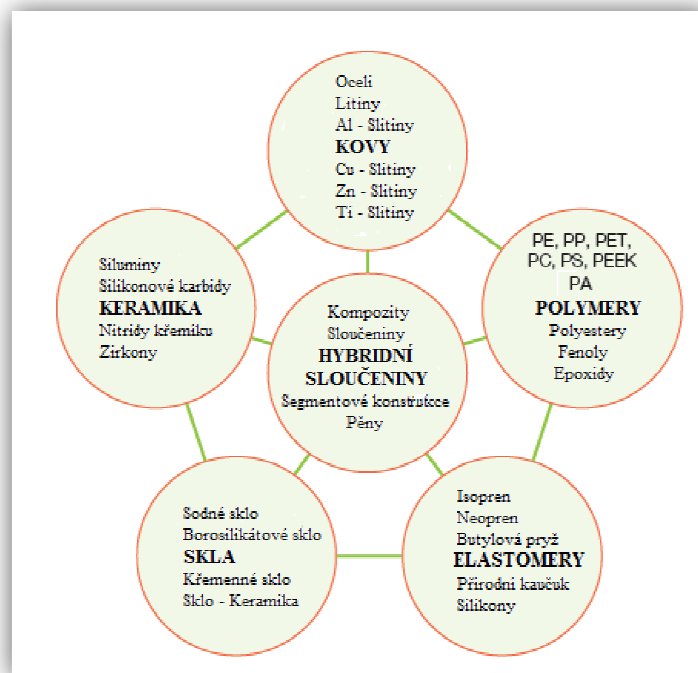
1.2.5 Shrnutí výběru

Návrh je tedy proces, který se neustále opakuje, dokud není dosaženo optimálního výsledku. Na začátku je potřeba zachytit požadavky trhu. Jedná se o konstrukční požadavky, pomocí nichž vytvoříme koncepty. Vybereme tu nejlepší variantu a rozebereme jí důkladně do detailů. Dále vytvoříme analýzy kritických dílů, u nichž je největší pravděpodobnost vzniku závady.

Výběr materiálu probíhá v každé fázi postupu, ale pokaždé s jinou přesností. V koncepční fázi vybíráme z velkého množství materiálů. Zde považujeme všechny za potenciální kandidáty. Základní údaje nám pomohou vybrat podmnožinu materiálů, které splňují základní omezení. V další fázi je už kladen větší důraz na přesnost údajů. Dochází zde k výpočtům a optimalizaci. Proto je potřeba přesnějších informací, které nám pomohou vybrat jen úzký seznam kandidátů. U nichž provedeme detailní rozbor.

1.3 Konstrukční materiály a jejich vlastnosti

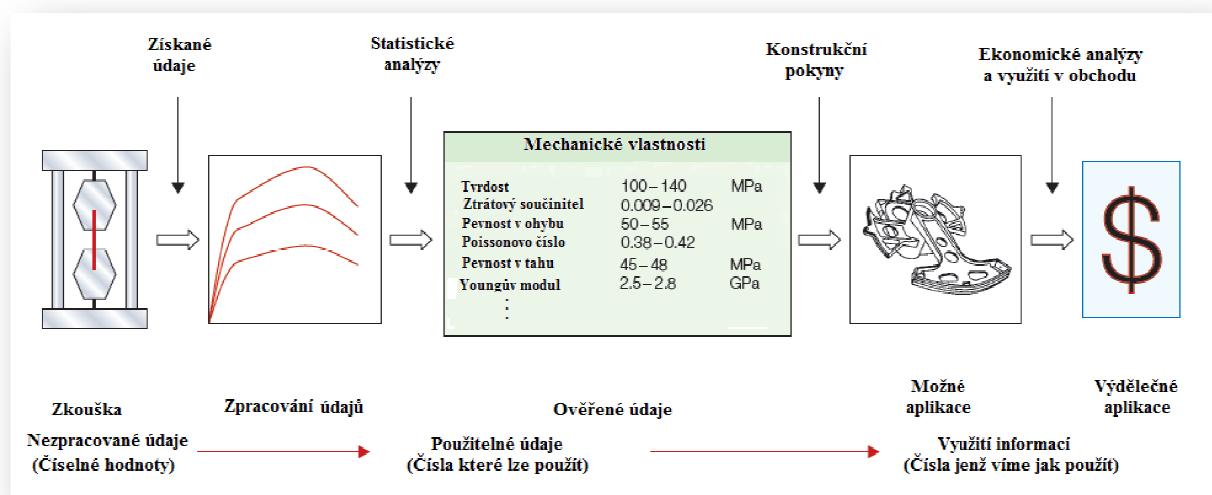
Materiály jsou základní stavební kameny konstruování. Existují různá rozdělení strojírenských materiálů, jedno z nich je zobrazeno na obr. 1.6. Jejich vlastnosti určují hodnotu materiálu na trhu. Materiály jsou zde rozděleny do šesti skupin, které jsou uvedeny na následujícím obrázku. Jedná se o kovy, keramiku, skla, polymery, elastomery a hybridní sloučeniny. Každý člen z dané skupiny materiálů má podobné vlastnosti jako ostatní členy v dané skupině.



Obr. 1.6 Materiálové skupiny. [1]

1.3.1 Údaje o materiálech

Při výběru materiálu je nutno znát veškeré údaje o materiálech. Každá informace může být důležitá. Pokud by informace byly nepřesné, mohlo by to způsobit vážné škody. Je vždy potřeba veškeré údaje ověřit. Je potřeba vědět, jak data využít, například provést určité analýzy. Schéma vyhodnocení a zpracování informací materiálu od samotné tyčky je ukázáno na obr. 1.7.



Obr. 1.7 Schéma zpracování informací o materiálech. [1]

1.3.2 Materiálové vlastnosti

Každý materiál má vždy několik vlastností. Souhrn těchto vlastností nazýváme profil materiálu. Existuje několik skupin materiálových vlastností. Skupiny jsou uvedeny níže.

- Skupiny vlastností:
- a) Obecné vlastnosti
 - b) Mechanické vlastnosti
 - c) Tepelné vlastnosti
 - d) Elektrické vlastnosti
 - e) Optické vlastnosti
 - f) Ekologické vlastnosti

V každé takovéto skupině je několik vlastností. Vlastnosti mohou být posuzovány číselnou hodnotou, nebo jak je tomu ve většině případů, následují po číselné hodnotě jednotky.

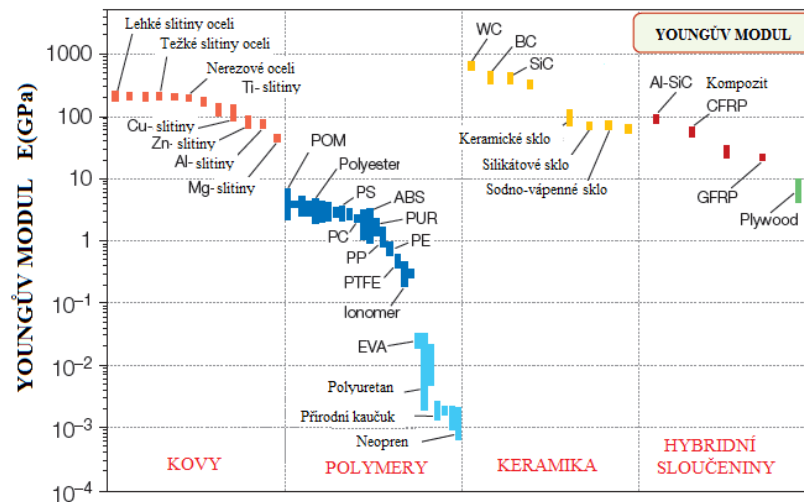
1.4 Mapy vlastností materiálů

1.4.1 Teorie materiálových map

Vlastnosti materiálů mají své omezení. Všechna tato omezení udávají rozsah použití daného materiálu. Je tedy potřeba tato omezení zmapovat, abychom dostali přehled o tom, které materiály lze použít. Většinou se jedná o kombinaci více omezení, nikoliv jedno samotné. Zakreslujeme tedy jednu vlastnost proti druhé. Materiálové mapy jsou užitečné v mnoha ohledech. Z velkého množství materiálů nám pomáhají najít pouze několik použitelných.

1.4.2 Druhy materiálových map

Každá vlastnost materiálu má určitý rozsah hodnot. Jeden ze způsobů zobrazování materiálových vlastností je sloupcový graf. Každý sloupec popisuje jeden materiál, jeho délka udává například rozsah Youngova modulu. Příklad sloupcové mapy je ukázán na obr. 1.8. Materiály jsou zde odděleny podle třídy. Lepší přehled nabízí další typ materiálových map, který je zobrazený na obr. 1.9. Zde je jedna vlastnost zakreslena oproti druhé. V našem případě máme zakreslen Youngův modul proti hustotě. Rozsah obou os zahrnuje všechny materiály od nejlehčích po nejtěžší. Materiálové skupiny jsou zakresleny pomocí určitých obrazců, které udávají možnost použití v závislosti na vlastnostech uvedených na obou osách. Dále máme v grafu zakresleny čárkované přímky. Tyto přímky nám pomáhají se zúžením oblasti výběru. Jejich sestavení je uvedeno níže.



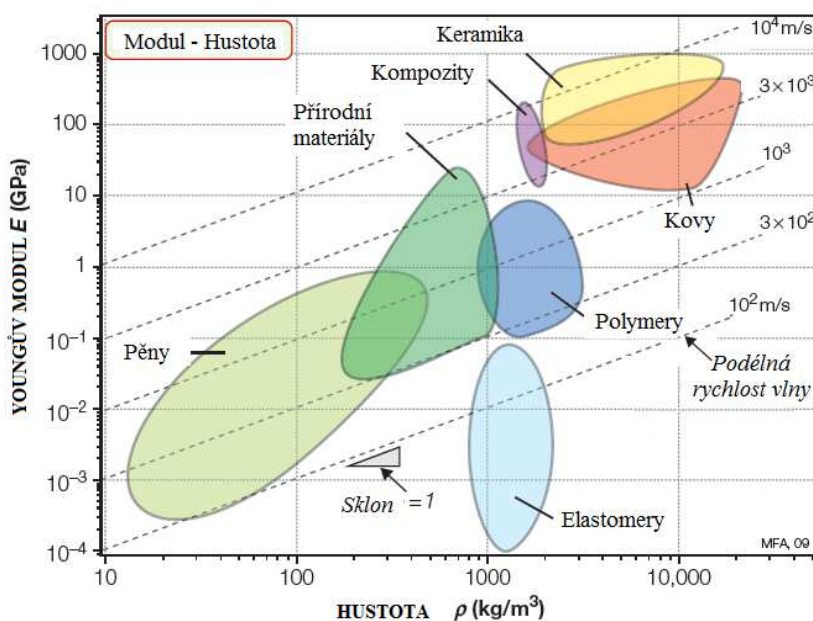
Obr. 1.8 Sloupcová mapa pro Youngův modul. [1]

Můžeme tedy přidat konstrukční přímky, které nám pomohou s výběrem. Zde tedy uvedeme rychlost zvuku závislou na Youngovo modulu a hustotě. Podélná rychlost vlny pro jeden stupeň je tedy dána vztahem:

$$v = \left(\frac{E}{\rho}\right)^{1/2}$$

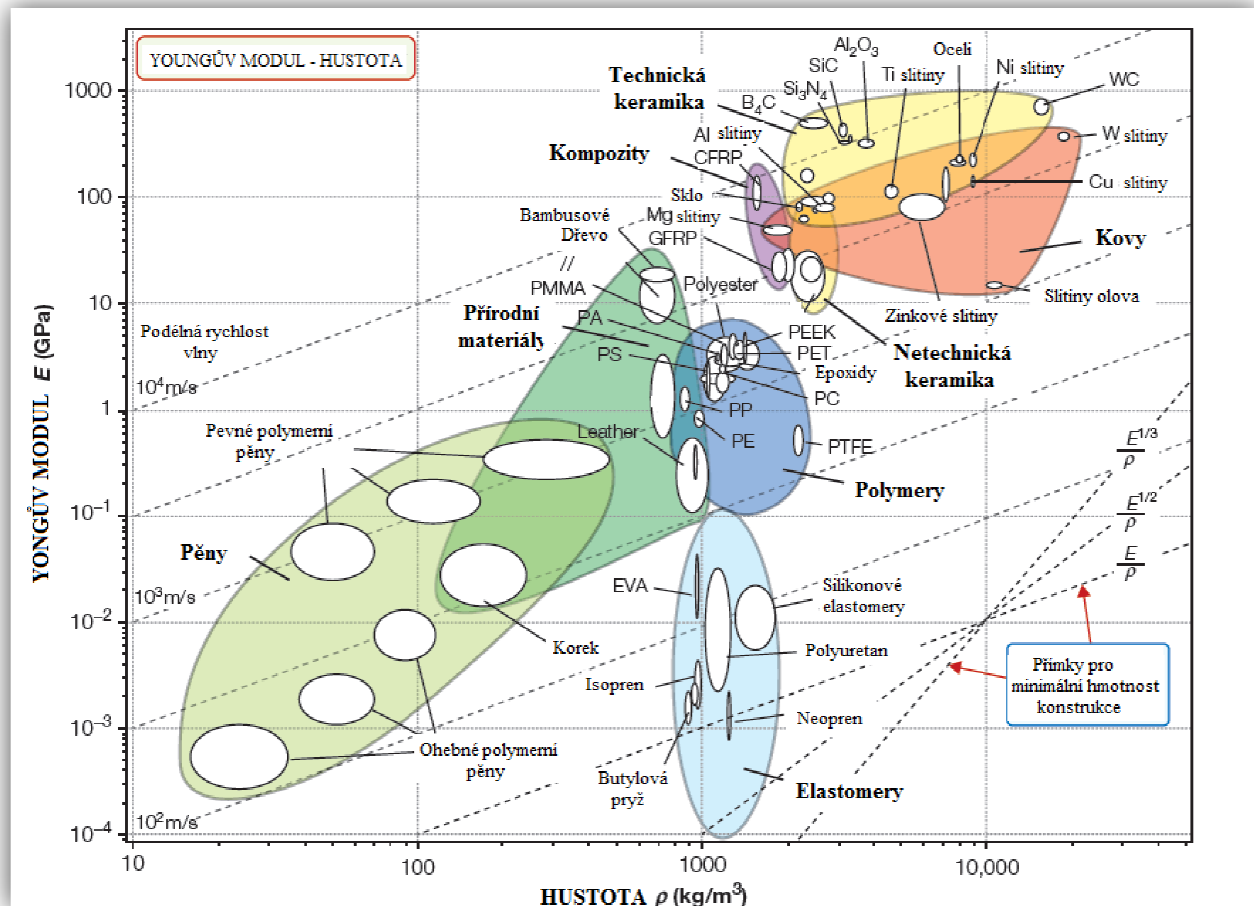
Kde jsou parametry: E [GPa]... Youngův modul pružnosti
 ρ [kg/m³]... hustota
 v [m/s] ... podélná rychlost vlny

Diagonální přímky dány touto hodnotou se sklonem = 1 dle obr. 1.9 spojují materiály, v nichž prochází vlna stejnou rychlostí. Všechny grafy umožňují využití takovýchto vztahů, jenž mohou být v mapách zobrazeny. Jedná se o konstrukční optimalizaci vlastností, pomocí tzv. materiálových indexů. Význam těchto indexů je dále vysvětlen v kapitole 2.



Obr. 1.9 Obrazcová mapa pro Youngův modul a hustotu. [1]

Detailnějšími mapami jsou potom takové, v nichž jsou v každé skupině ještě zakresleny podskupiny. Každá podskupina materiálů nespadá pod celý rozsah dané skupiny. Může být tedy využita konkrétnější část skupiny. V obr. 1.10 jsou tyto podskupiny zakresleny jako bílé bubliny ve větších různobarevných obrazcích.



Obr. 1.10 Obrazcová mapa pro Youngův modul a hustotu s podskupinami. [1]

1.4.3 Závislost jednotlivých vlastností

Do materiálových map lze vynášet mnoho vlastností, například vazba síla - hustota, Youngův modul - síla, lomová houževnatost - pevnost, ztrátový součinitel - Youngův modul a další. Do každé z nich je možno také zavádět různá omezení. Omezení určité vlastnosti si volíme dle požadavků na produkt. Na základě těchto informací si zvolíme příslušnou materiálovou mapu.

1.4.4 Zhodnocení materiálových map

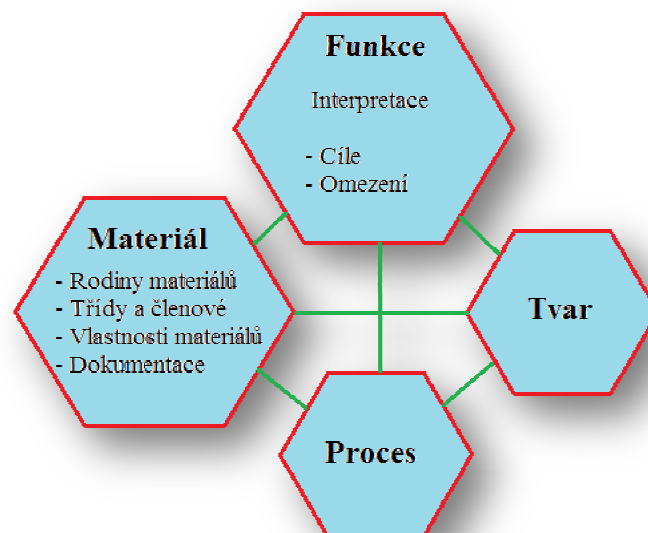
Technické vlastnosti materiálů lze tedy zobrazit do materiálových map. Tyto mapy shrnují vlastnosti a umožňují snadný přístup k samotnému výběru materiálu. Ukazují nám rozsah každé skupiny, kterou lze použít. Pomocí vhodně zvolených přímek si tyto oblasti vymežíme. Pozice těchto polí a vzájemné vazby jsou dány mikrostrukturou. Jedná se o několik faktorů jako hmotnost atomů, hustota či krystalová mřížka. Toto vše nám pomáhá jednoduše vybrat skupinu vhodných materiálů, které můžeme použít.

2. Postup výběru

2.1 Základní přehled

V této kapitole si přiblížíme základní postup pro výběr materiálu. Cílem bude stanovit vazbu mezi materiálem a funkcí. Na počátku je důležité považovat všechny materiály jako možné kandidáty. Jestliže bychom tak neučinili, mohli bychom velmi snadno přehlédnout některé vhodné materiály. Během výběru budeme provádět mnoho rozhodnutí. Pokud bychom chtěli provádět razantní změny později, bylo by to velmi nákladné. Představme si tedy materiál s těmito vlastnostmi: korozivzdornost, dostupnost, cena, tepelná vodivost. Samotný produkt požaduje určitý profil těchto vlastností: vysoká korozivzdornost, snadná dostupnost, nízká cena, nízká tepelná vodivost. Můžeme si výběr shrnout do dvou velmi zjednodušených kroků.

1. Identifikace požadovaných vlastností a sestavení profilu.
2. Porovnání sestaveného profilu se skutečnými materiály a vyhodnotit nejlepší shodu.



Obr. 2.1 Vzájemné propojení mezi jednotlivými oblastmi. Výběr je zde určen pomocí funkce.[1]

2.1.1 Kroky výběru

V prvním kroku určíme požadavky na produkt a provedeme identifikaci omezení, které se na výběr materiálu vztahují. Veškeré kandidáty prvně zúžíme odebráním o ty, které omezení nespĺňují. Další zúžení provedeme seřazením kandidátů podle určitých hodnot vybraných vlastností. Dříve uvedené mapy materiálových vlastností jsou navrženy pro používání s těmito kritérii. Na materiálových mapách lze zobrazit omezení a cíle, kterými vymezíme podmnožinu materiálů. Materiály v této podmnožině jsou vhodnými kandidáty. Celý tento postup lze provést pomocí počítačového softwaru. Pomocí něhož lze urychlit a zjednodušit výběr.

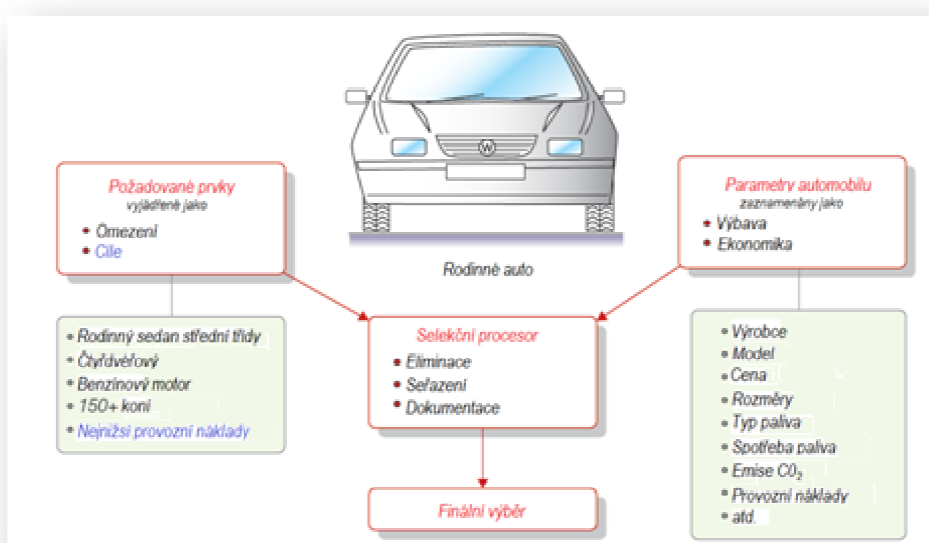
2.2 Strategie výběru materiálu

2.2.1 Profil materiálu

Prostředí materiálů se rozděluje na jednotlivé skupiny, podskupiny a jednotlivé členy. Každý z těchto členů má svojí množinu vlastností. Tato množina může obsahovat elektrické či chemické vlastnosti, charakteristiku zpracování, dostupnost a cenu. Souhrn těchto charakteristik nazýváme také profil vlastností materiálu. Při výběru pak hledáme nejlepší shodu mezi tímto profilem a danými požadavky na produkt.

2.2.2 Postup při výběru produktu

Jednodušší je začít s výběrem samotného produktu než materiálu, postup je stejný. Materiál má však mnoho dalších komplikací. Postup si představíme na výběru nového auta. Požadavky budou čtyřdvéřový rodinný sedan střední třídy, benzínový motor, 150 koní a co nejmenší náklady na provoz. Strategie je graficky zobrazena na obr. 2.2.

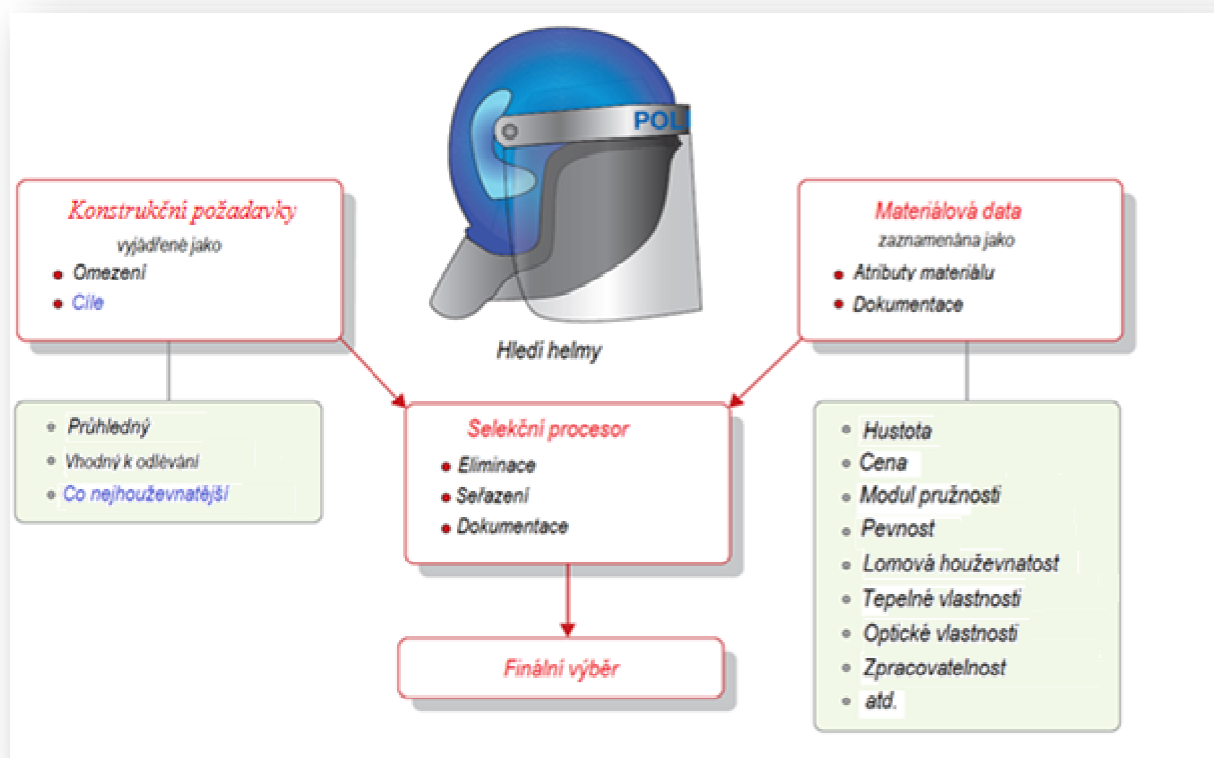


Obr. 2.2 Příklad strategie výběru produktu.[1]

Požadavky na benzínový motor a čtyřdveřový sedan jsou jednoduchá omezení, která nelze nijak ovlivnit. Kandidáti je musí splňovat, jinak jsou vyřazeni. U spodní hranice 150 koní není uvedeno žádné maximum. Zde tedy můžeme pracovat i s vyššími hodnotami. Minimální náklady jsou zde tzv. kritérium excelence. To znamená, že kandidáty splňující daná omezení můžeme seřadit podle tohoto parametru. Kroky jako eliminace a seřazení jsou zakresleny v oblasti zvané selekční prostor. Jedná se v podstatě o oblast rozhodování. Po seřazení si vybereme několik prvních kandidátů. Pro tato auta provedeme podrobnější dokumentaci. Tato dokumentace může obsahovat informace o dodací lhůtě, velikosti zavazadlového prostoru nebo délku záruky. Podrobná dokumentace nám pomůže k finálnímu výběru. Tento postup pro výběr produktu je obdobný jako postup pro výběr materiálu.

2.2.3 Postup při výběru materiálu

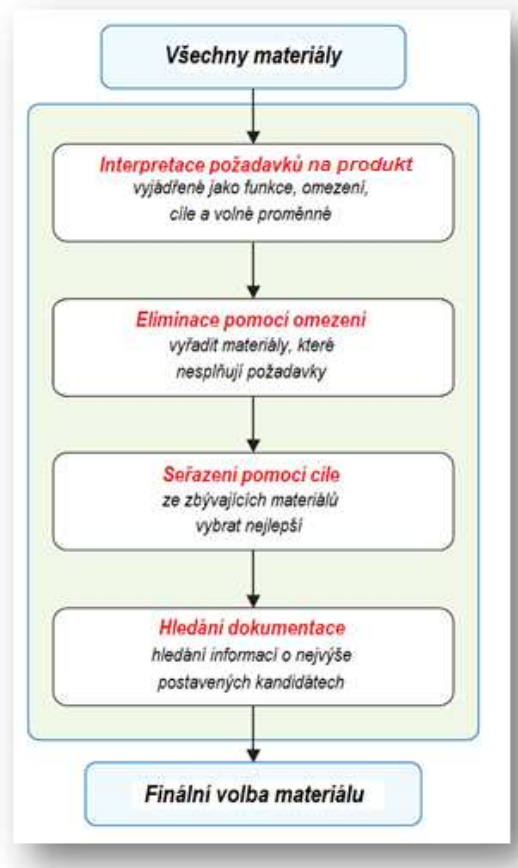
Při výběru materiálu hledáme nejlepší shody mezi tím, co je požadováno na produkt a vlastnostmi materiálů. Zde si postup představíme na příkladě výběru materiálu pro hledí bezpečnostní helmy. Příklad strategie je zobrazen na obr. 2.3. Na levé straně jsou zobrazeny požadavky, které musí být splněny. Jedná se tedy o omezení a cíle. Cílem je vysoká lomová houževnatost. Na pravé straně máme materiálové atributy, ty jsou získané z katalogů dodavatelů a příruček. Postup je stejný jako u výběru produktu. Eliminujeme tedy nevhodné kandidáty na základě omezení. Zbylé kandidáty seřadíme dle cíle, zde tedy dle hodnoty lomové houževnatosti.



Obr. 2.3 Příklad strategie výběru materiálu.[1]

2.3 Rozbor jednotlivých kroků

U výběru materiálu je nutno převést požadavky produktu na omezení a cíle. Požadavky na auto byli jednoduché a jednoznačné. Požadavky na produkt říkají, co by měla součást dělat. Schéma obdobného postupu je uvedeno na obr. 2.4. Zde máme zobrazeny čtyři základní kroky.



Obr. 2.4 Základní čtyři kroky výběru materiálu. [1]

2.3.1 Interpretace požadavků na produkt

Požadavky daného dílu, tedy co má součást dělat, nám udávají jednu nebo více funkcí daného výrobku. Aby pracoval například jako vodič nebo izolant. Cílem je vždy udělat to co nejlevněji a nejjednodušeji. Některé parametry lze upravovat, abychom dosáhli cíle. Můžeme měnit rozměry, které nejsou pevně dány. Těmto parametrům říkáme volně proměnné. Funkce, omezení, cíle a volně proměnné nám určují okrajové podmínky pro výběr materiálu. Prvním krokem je tedy jejich jasné vymezení. V tabulce 2.1 máme zjednodušený souhrn výše uvedených poznatků.

Funkce	Co má produkt vykonávat?
Omezení	Které nezbytné podmínky je nutno splnit? Které nepovinné, ale žádoucí podmínky musí být splněny?
Cíl	Jaký parametr budeme minimalizovat nebo maximalizovat?
Volné proměnné	Parametry, které si lze libovolně volit.

Tabulka 2.1 Funkce, omezení, cíle a volné proměnné. [1]

2.3.2 Eliminace pomocí omezení

Při eliminaci je důležité, aby byly všechny materiály považovány za potenciální kandidáty. Eliminace vyřazuje hned zpočátku ty materiály, u nichž je jeden nebo více atributů mimo hranice, které jsou dány omezeními. Příkladem může být, že díl bude pracovat ve vroucí vodě. Tím je jasně dán atribut maximální teploty. Ten tedy musí být splněn a nazývá se omezení. Pomocí těchto omezení tedy vytvoříme z velké skupiny materiálů podmnožinu, z níž budeme dalšími kroky vybírat nejlepší kandidáty.

2.3.3 Seřazení pomocí cíle

Samotné limity jsou velmi důležité, ale nepomáhají nám se seřazením materiálů. K tomu je potřeba znát cíl, pomocí kterého lze materiály seřadit. Toto kritérium budeme nazývat materiálovým indikátorem. Je to tedy vlastnost nebo jejich skupina, která maximalizuje výkonnost pro daný výrobek. Tyto materiálové indikátory nám poskytují již dříve zmíněné kritérium excelence. Pomocí něhož seřadíme kandidáty podle schopnosti pracovat v daném výrobku. Příkladem může být plovák, kde nejlepší materiály na jeho výrobu jsou ty s nejnižší hustotou. Ve skutečnosti nebývá takto snadné kritérium, ale skládá se z několika vlastností, tedy z jejich kombinace. K tomu nám tedy pomůžou materiálové indikátory.

2.3.4 Hledání dokumentace

Předchozí kroky nám dají velmi krátký seznam materiálů, většinou se bude jednat pouze o několik kandidátů. Budou to materiály splňující omezení a maximalizující nebo minimalizující dané kritérium. Neměli bychom volit hned nejvýše postavený materiál, který je dán seřazením. Tento materiál i přes nejvyšší postavení může ukrývat nedostatky, které by v daném produktu mohly mít tragické následky. K odhalení těchto problémů slouží detailní dokumentace každého z vybraných kandidátů. Informace pro dokumentaci lze najít v příručkách, na internetu nebo v katalogu výrobce. Obsahuje popis daného materiálu nebo může být v obrázkové podobě. Dokumentace nám tedy pomáhá provést konečné rozhodnutí o výběru materiálu.

2.4 Materiálové indikátory

Pokud je cíl závislý pouze na jedné materiálové vlastnosti, je indikátorem pouze tato materiálová vlastnost. Pokud je indikátor spojen se dvěma vlastnostmi, indikátorem se stává skupina vlastností.

2.4.1 Materiálové indikátory obecně

Produkt vykonává fyzikální funkce. Přenáší zatížení, teplo, nebo poskytuje vratnou sílu. Výkon je vždy určen třemi parametry. Těmito parametry jsou funkční požadavky, geometrické požadavky a vlastnosti použitého materiálu. Výkonnost P , lze tedy zapsat do tvaru:

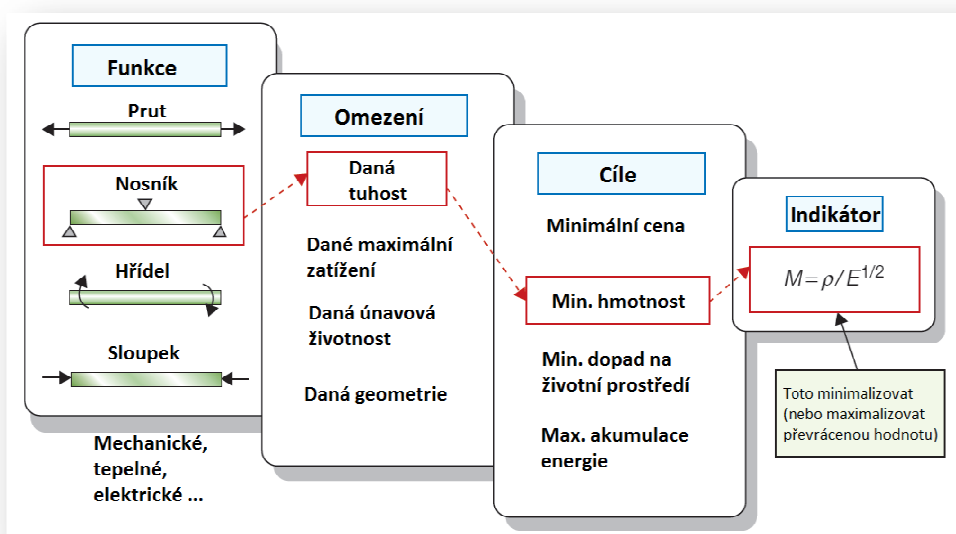
$$P = \left[\left(\begin{array}{c} \text{Funkční} \\ \text{požadavky} \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} \text{Geometrické} \\ \text{parametry} \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} \text{Materiálové} \\ \text{vlastnosti} \end{array} \right) \right] \quad \text{nebo} \quad P = f(F, G, M)$$

Písmeno f představuje funkční závislost. Optimální produkt tedy dostaneme vhodným výběrem materiálu a geometrie, s cílem maximalizace nebo minimalizace výkonnosti P . Skupiny parametrů lze separovat a dostaneme:

$$P = f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$$

Kde se jednotlivé funkce mezi sebou pouze vynásobí. Jestliže jsou funkce samostatné, k nalezení podмноžiny materiálů nemusíme řešit celý problém. Nemusíme tedy znát podrobnosti o F a G . Celková výkonnost poroste i se zvyšujícím se koeficientem $f_3(M)$. Tento se nazývá koeficient účinnosti materiálu neboli materiálový indikátor. Zbývající dva nazýváme strukturální indikátory.

Kombinací funkce, cíle a omezení se dostaneme k materiálovému indikátoru. Indikátor charakterizuje kombinaci předešlých parametrů a tím i funkci výrobku. Jednoduché schéma kombinace je zobrazeno na obr. 2.5.



Obr. 2.5 Schéma kombinace při určení materiálového indikátoru.[1]

2.4.2 Příklad minimalizace hmotnosti

Příklad určení materiálového indikátoru si ukážeme na lehkém pevném prutu. Prut je zobrazen na obr. 2.6. Zde je požadavek přenést tahovou sílu F a zároveň být co nejlehčí. Máme zadanou délku, průřez však nikoliv. Maximalizace výkonu dosáhneme co nejmenší hmotností za podmínky bezpečného přenesení síly F .



Obr. 2.6 Schéma prutu. [1]

Prvním krokem je nalezení rovnice pro veličinu, kterou chceme maximalizovat nebo minimalizovat. V případě nosníku se jedná o hmotnost. Tuto rovnici budeme nazývat cílovou funkcí. Pro náš případ bude ve tvaru:

$$m = A * L * \rho$$

Kde jsou parametry: $A [m^2]$... plocha průřezu, $\rho [kg/m^3]$... hustota,
 $L [m]$...délka, $F [N]$... síla

Průřez A je zde volitelný, musí být však zajištěn bezpečný přenos síly, což znamená omezení, které lze zapsat ve tvaru podmínky:

$$\frac{F}{A} \leq \sigma_f$$

Kde jsou parametry: $\sigma_f [MPa]$...pevnost na mezním stavu.

Dosazením jedné rovnice do druhé získáme zápis, v němž jsou uvedeny veškerá omezení jak funkční, tak geometrická a také materiálové vlastnosti.

$$m \geq (F^*) (L) \left(\frac{\rho}{\sigma_f} \right) \leftarrow \text{Materiálové vlastnosti}$$

Funkční omezení ↑ ↑ Geometrické omezení

V první závorce máme zatěžující sílu F . V druhé závorce délku prutu L . V poslední závorce jsou materiálové vlastnosti. Nejlehčí nosník, který tedy bezpečně přeneše sílu F , je vyroben z materiálu, který bude mít nejmenší hodnotu poměru ρ/σ_f . Toto bude materiálový indikátor, zde budeme hledat jeho minimum. Častější je hledání maximálních hodnot těchto vlastností. Toho dosáhneme převrácenou hodnotou.

Převrácenou hodnotou tedy definujeme materiálový indikátor s označením M_{p1} jako:

$$M_{p1} = \frac{\sigma_f}{\rho}$$

Zde tedy bude nejlehčí prut ten, který přenesení sílu F s nejvyšší hodnotou tohoto indikátoru. Pokud bychom vztahovali indikátor s modulem pružnosti, byl by ve tvaru:

$$M_{p2} = \frac{E}{\rho}$$

Skupina materiálových vlastností je indikátorem v obou případech. Cíl minimální hmotnosti byl svázán s omezením přenosu síly bez prasknutí nebo nadměrné deformace. Na tomto jednoduchém příkladu byl ukázán postup při sestavení materiálových indikátorů. Předpokladem bylo, že jsme od začátku znali omezení a cíl, který chceme maximalizovat nebo minimalizovat. Dále jsme znali volné parametry, které jsme mohli volit. Skutečnost bývá mnohdy složitější a sestavení rovnice komplikovanější. Ve většině případů je nutno pracovat s indikátory, které se vztahují na cenu a kombinovat je například s dříve uvedenou hmotností. Výsledkem bude kompromis mezi těmito indikátory.

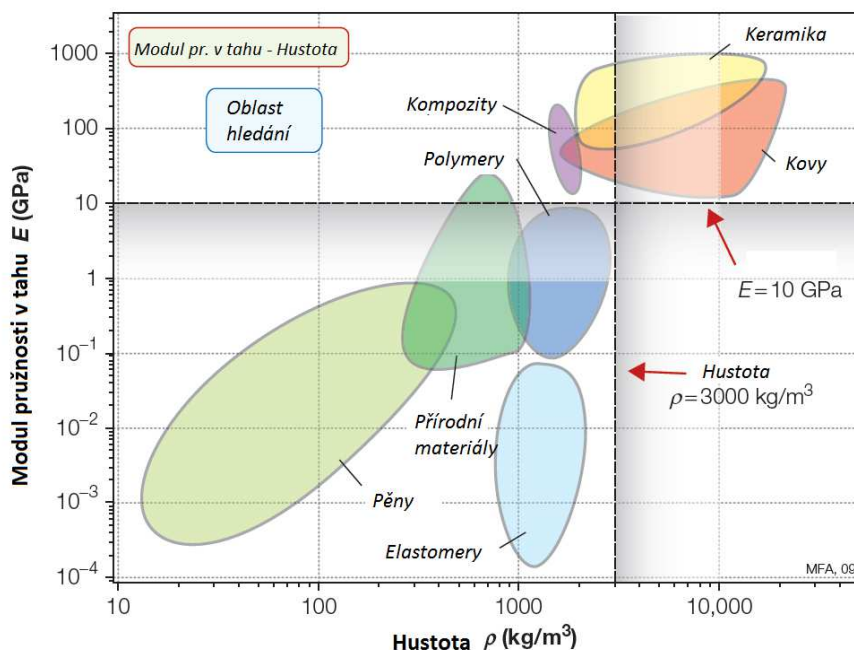
2.5 Algoritmus výběru

2.5.1 Odvození indikátoru

Nyní můžeme funkci, omezení, cíle a indikátor spojit dohromady do systematického postupu. Nejprve identifikujeme materiálové vlastnosti, které jsou vázány na produkt. Dále následuje výběr hlavního kritéria. Jeho následná minimalizace nebo maximalizace. Volné proměnné si omezíme pomocí matematických úprav a vlastností, jež ovlivňují cíl.

2.5.2 Eliminace, aplikování limit

Všechny výrobky mají některé požadavky pevně dány. Tyto limity si vynášíme do materiálových map. Příkladem je obr. 2.7, kde je zobrazena mapa, na níž jsou vyneseny limity $E > 10\text{GPa}$ a $\rho < 3000\text{ kg/m}^3$. Výběr je poté omezen jen na obdélník vymezený limity. Při stanovování limitů lze využít různých úprav, které mohou daný díl zlevnit a také vylepšit. Například materiály s vysokou provozní teplotou lze chladit. Nemusí pak být použit žáruvzdorný materiál s vysokou cenou. Dalším případem může být ochranná vrstva proti korozi a mnoho dalších takovýchto úprav. Při aplikaci limit je tedy nutno se zaměřit na co nejvíce možností.



Obr. 2.7 Zakreslení limit do materiálové mapy.[1]

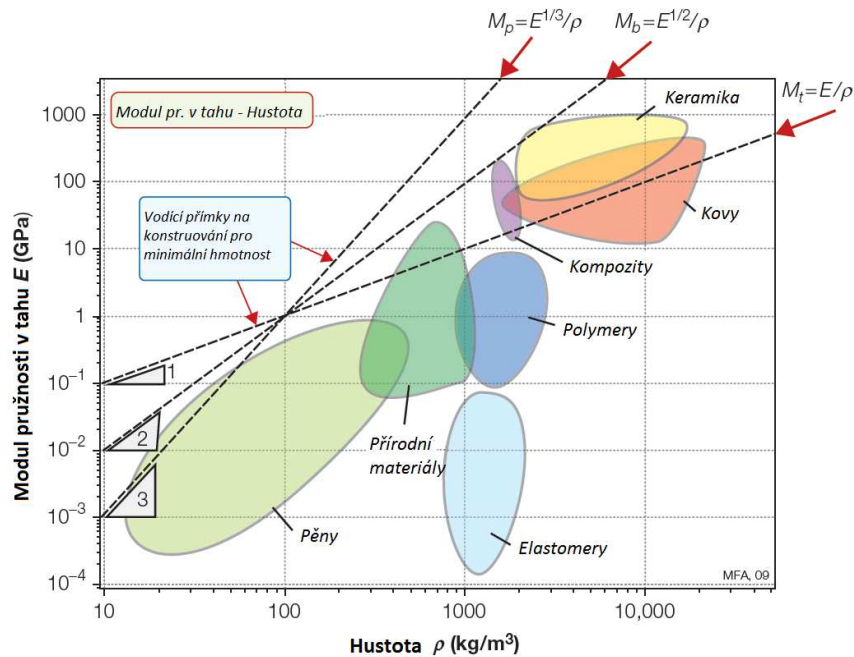
2.5.3 Seřazení, využití materiálových indikátorů

Po eliminaci následuje seřazení podmnožiny zbylých materiálů. Uvedeme si případ lehkých tuhých dílů. Ostatní případy mají obdobný postup. Mapy volíme v souřadnicích modulu pružnosti v tahu E a hustoty ρ . Tabulka hodnot pro zobrazení přímk je ukázána v tabulce 2.2. Těmto přímkám říkáme řídicí přímky výběru. Udávají směrnici množiny rovnoběžných přímk vztahujících se k danému indikátoru.

Směrnice přímky, C	Materiálový indikátor	Logaritmicky
1	$E/\rho = C$	$\log(E) = \log(\rho) + \log(C)$
2	$E^{1/2}/\rho = C$	$\log(E) = 2 * \log(\rho) + 2 * \log(C)$
3	$E^{1/3}/\rho = C$	$\log(E) = 3 * \log(\rho) + 3 * \log(C)$

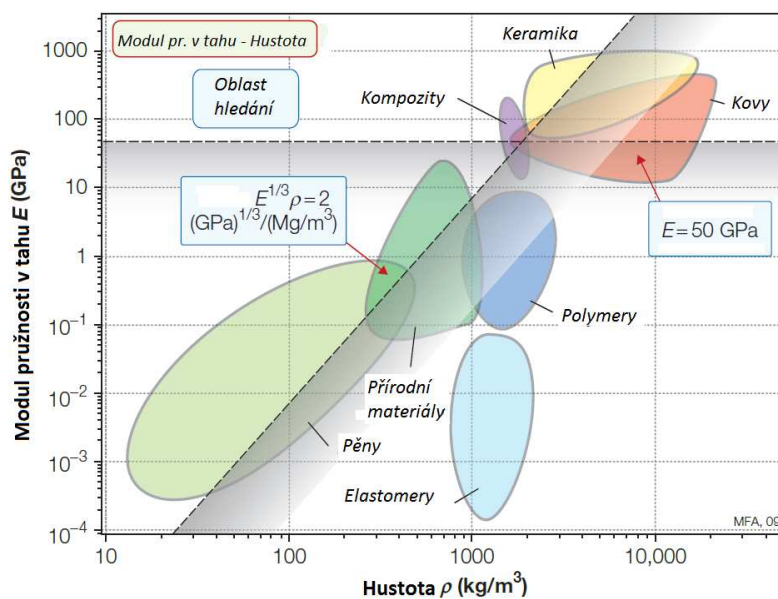
Tabulka 2.2 Směrnice přímky C, materiálový indikátor a logaritmické vyjádření. [1]

Do zvolené materiálové mapy si zakreslíme řídicí přímky pro každý indikátor. Zakreslení je ukázáno na obr. 2.8. Všechny materiály ležící na přímce o konstantní hodnotě $E^{1/3}/\rho$ mají stejnou výkonnost pro lehké tuhé desky. Materiály nad přímkou jsou lepší než ty pod ní.



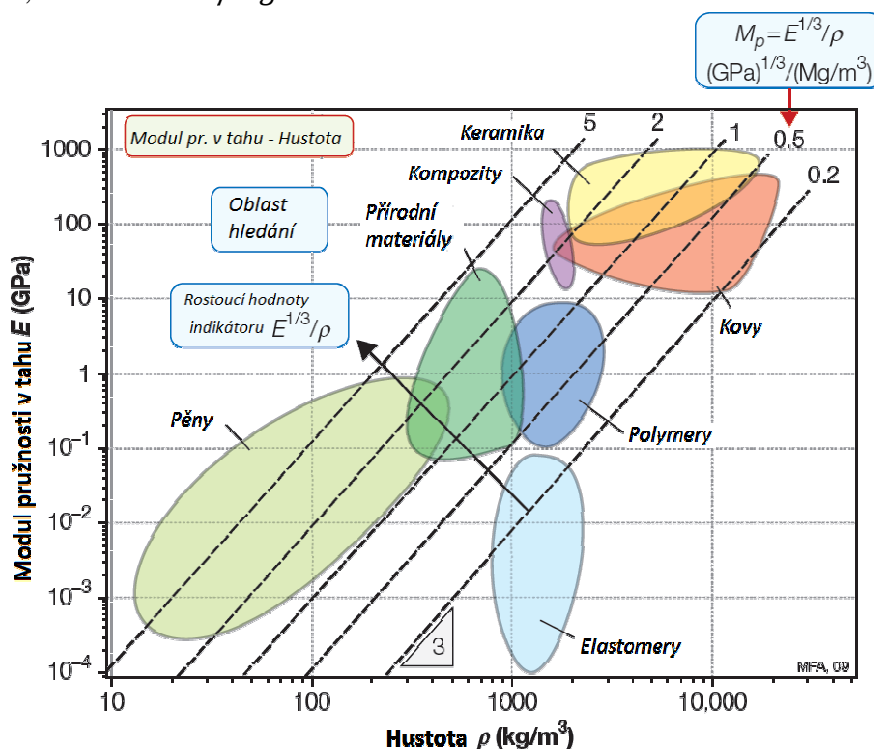
Obr. 2.8 Zakreslení řídicích přímek do materiálové mapy.[1]

Pro nalezení materiálů s velmi dobrou hodnotou indikátoru zvolíme řídicí přímku, která izoluje pouze několik materiálů. Zde tedy materiály splňující podmínku o hodnotě indikátoru $(E^{1/3}/\rho) > 2$. Dále použijeme limity atributů pro další zúžení podmnožiny materiálů. Toto zúžení je zobrazeno na obr. 2.9, kde je použita limita s podmínkou $E > 50 \text{ GPa}$. Ta se zde zobrazí vodorovnou přímkou. Materiály ležící nad oběma přímkami splňují obě kritéria.



Obr. 2.9 Zakreslení řídicí přímky a limity do materiálové mapy.[1]

Počet použitelných materiálů lze zvýšit snížením hodnoty samotného indikátoru. Na obr. 2.10 máme zobrazenou soustavu rovnoběžných řídících přímek. Hodnota indikátoru je zde v rozmezí od 0,2 do 5 $\text{GPa}^{1/3}/\text{Mg} * \text{m}^{-3}$.



Obr. 2.10 Zakreslení přímek o různé hodnotě indikátoru. [1]

2.5.4 Detailní dokumentace

Pomocí předešlých kroků jsme dostali krátký seznam vhodných materiálů. Tyto materiály je nutno prozkoumat hlouběji. Nelze vždy všechna omezení vyjádřit pomocí limit. Může se například jednat o chování materiálů v různých prostředích. Jejich vhodnost k různému zpracování nebo spojování s jinými materiály. Všechny informace o materiálech lze najít v příručkách, katalozích výrobců nebo počítačových databázích. Pro každý materiál připravíme detailní rozbor, pomocí něhož poté provedeme finální výběr materiálu.

2.6 Počítačová podpora výběru

Počítačové systémy umožňují rychlé vyhodnocení výběru materiálu. Softwary využívají rozsáhlé množství materiálů, které lze zakreslit do materiálových map. Pomáhají nám tedy jak v rychlosti výběru, tak s velkým rozsahem možností. Pro náš případ použijeme software CES, který je určen pro výběr materiálu s využitím materiálových map, do nichž zakreslíme naše požadavky ve formě omezení.

3. Případová studie

Každá případová studie se skládá z několika kroků. Prvním krokem je vysvětlení problému. Dále následuje identifikování funkce, omezení, cílů a volných proměnných. Ze všech těchto parametrů získáme limity a materiálové indikátory. Dalším krokem je eliminace všech materiálů, které nesplňují omezení. Předposledním krokem je seřazení pomocí cíle. Posledním bodem je vytvořit pro krátký seznam materiálů detailní dokumentaci. Ukážeme si dvě případové studie. Poté si pro daný případ ukážeme, jak vytvořit materiálovou mapu pomocí softwaru CES.

3.1 Materiály na minimalizaci zkreslení měřeného rozměru

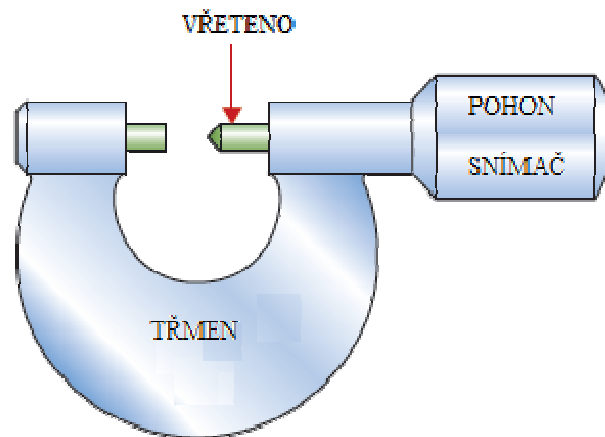
U přesných měřících zařízení, jako je například mikrometr, je přesnost ovlivněna tuhostí a rozměrovými změnami, které jsou způsobeny teplotními gradienty. Změny rozměrů, které způsobí teplota, se dají ovlivnit tím, že zařízení umístíme do prostředí, kde se teplota nemění. Toto je v praxi však téměř nemožné, je proto výhodnější najít takový materiál, který těmto změnám podléhá nejméně. Teplotní gradienty způsobují změnu tvaru a ta je pro měření přesnosti nepřijatelná.

3.1.1 Interpretace požadavků na produkt

Řešeným případem bude mikrometr, který se skládá z třmenu, vřetene, pohonu a snímače. Budeme hledat materiál pro třmen. Zde bude přenášeno teplo, například z prstů člověka, který bude pomocí mikrometru měřit. Častěji však teplo generované z elektrických nebo tepelných součástí, které jsou měřeny nebo se nacházejí poblíž měřených dílů. Zjednodušené schéma mikrometru je na obr. 3.1. V tabulce 3.1 je souhrn všech okrajových podmínek, pomocí nichž budeme sestavovat materiálové indikátory.

Funkce	Úchytný třmen pro přesné měřicí přístroje
Omezení	Odolnost vůči tepelnému toku. Odolnost vůči vibracím.
Cíl	Minimalizace zkreslení.
Volné proměnné	Volba materiálu.

Tabulka 3.1 Funkce, omezení, cíle a volné proměnné. [1]



Obr. 3.1 Schéma mikrometru. [1]

Příslušný materiálový indikátor nalezneme pomocí jednoduchého případu jednorozměrného proudění tepla skrze tyč, která je po celé délce izolovaná. Jeden konec je vyveden do pokojové teploty a druhý je připojen ke zdroji tepla. Fourierův zákon je v ustáleném stavu vyjádřený vztahem:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

Kde q [J/kg] je tepelný tok vyjádřený na jednotku plochy. Dále je zde tepelná vodivost označena symbolem λ [$W/(m \cdot K)$]. Výsledný teplotní gradient je vyjádřen jako podíl dT/dx .

Poměrná deformace ε [-] se vztahuje na teplotu pomocí vzorce: $\varepsilon = \alpha(T - T_0)$
Kde α [$10^{-6}/K$] je součinitel teplotní roztažnosti, T_0 [K] je teplota okolí a T [K] je teplota zařízení.

Zkreslení je úměrné gradientu deformace: $\frac{d\varepsilon}{dx} = \frac{\alpha dT}{dx} = \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)q$

Zde tedy pro danou geometrii a tepelný tok je zkreslení $d\varepsilon/dx$. Zkreslení je tedy minimalizováno materiály s vysokou hodnotou tohoto materiálového indikátoru, který je dán poměrem tepelné vodivosti a součinitele teplotní roztažnosti. Materiálový indikátor je tedy zapsán:

$$M_1 = \frac{\lambda}{\alpha}$$

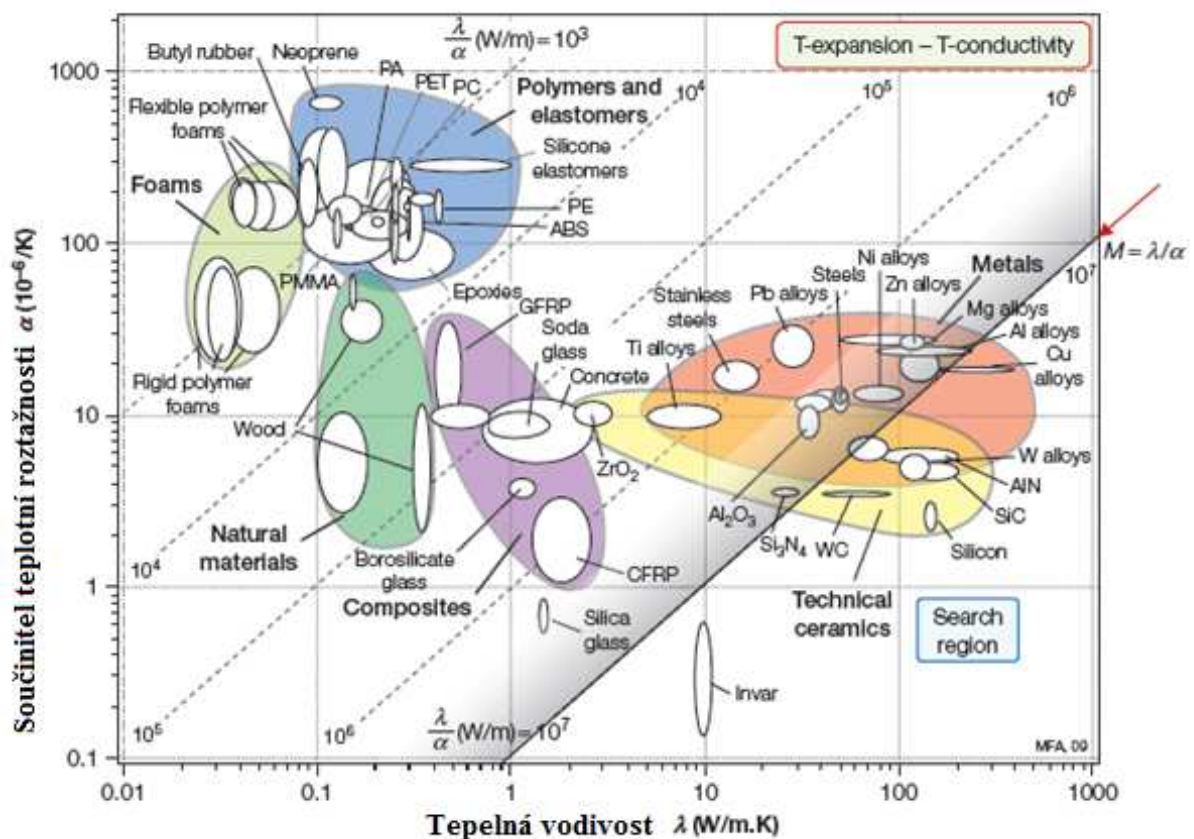
Druhým omezením je požadavek na minimální vibrace. Ohybové frekvence mají být tedy co nejnižší a to je dáno indikátorem:

$$M_2 = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

Kde E je modul pružnosti v tahu a ρ je hustota. Pro minimalizování vibrací je zapotřebí, aby hodnota tohoto indikátoru byla co nejvyšší. Při výběru je vždy nutno brát ohled i na cenu materiálu.

3.1.2 Eliminace pomocí omezení

Pomocí materiálové mapy vymežíme oblast hledání vhodného materiálu. Zobrazená mapa ukazuje rozsah součinitele teplotní roztažnosti α na svislé ose a tepelné vodivosti λ na vodorovné ose. V mapě je zobrazeno několik rovnoběžných přímk, které odpovídají konstantním hodnotám materiálového indikátoru $M_1 = \lambda/\alpha$. Námi zvolená hodnota materiálového indikátoru rovna $M_1 = \lambda/\alpha = 10^7 \text{ W/m}$ vymezuje prostor, ve kterém bude vyhovující materiál pro první indikátor. Jedná se o dostatečně vysokou hodnotu indikátoru, pomocí které si vymežíme jen malou oblast materiálů.



Obr. 3.2 Materiálová mapa $\alpha - \lambda$. [1]

Pro druhý materiálový indikátor $M_2 = E^{1/2}/\rho$ jsou nejlepší materiály ty s vysokou hodnotou tohoto indikátoru. Kovy, měď, wolfram a slitiny niklu mají nejlepší hodnoty materiálového indikátoru M_1 , jsou však ovlivněny vysokou hustotou a ta způsobuje špatné hodnoty indikátoru M_2 .

Hodnoty indikátorů se vypočítají dosazením číselných hodnot za materiálové vlastnosti. Číselné hodnoty těchto vlastností nalezneme v různých materiálových příručkách a tabulkách. Můžeme také tyto hodnoty odečíst ze softwaru CES. V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty těchto vlastností pro několik materiálů, které prošly eliminací.

Materiál	Tepelná vodivost - $\lambda[W/(m \cdot K)]$	Součinitel teplotní roztažnosti - $\alpha[10^{-6}/K]$
Křemík	140–150	2.2–2.7
Karbid křemíku	115–200	4.0–5.1
Měď	160–390	16.9–18
Wolfram	100–142	4–5.6
Slitiny hliníku	76–235	21–24

Tabulka 3.2 Číselné hodnoty tepelné vodivosti a součinitele teplotní roztažnosti[1]

Materiál	Modul pružnosti - E[GPa]	Hustota - $\rho[kg / m^3]$
Křemík	140–155	2.3–2.35
Karbid křemíku	300–460	3–3.21
Měď	112–148	8.93–8.94
Wolfram	600–720	15.3–15.9
Slitiny hliníku	68–82	2.5–2.9

Tabulka 3.3 Číselné hodnoty modulu pružnosti v tahu a hustoty[1]

3.1.3 Seřazení pomocí cíle

V níže zobrazené tabulce jsou uvedeny materiály, které jsou seřazeny podle nejlepších hodnot materiálových indikátorů.

Materiály k minimalizaci zkreslení u přesných měřících zařízeních			
Materiál	$M_1 = \frac{\lambda}{\alpha}$ [W · (10 ⁻⁶)/m]	$M_2 = E^{\frac{1}{2}}/\rho$ [MPa · m ³ /kg]	Vyhodnocení
Křemík	$6 \cdot 10^7$	5.2	Výborný indikátor M_1 a M_2
Karbid křemíku	$3 \cdot 10^7$	6.4	Výborný indikátor M_1 a M_2 , horší ke tvarování než křemík samotný
Měď	$2 \cdot 10^7$	1.3	Vysoká hustota způsobuje horší hodnoty indikátoru M_2 .
Wolfram	$3 \cdot 10^7$	1.1	Lepší než měď, ne však tolik jako křemík.
Slitiny hliníku	10^7	3.3	Nejlevnější a nejlépe tvarovatelný materiál

Tabulka 3.4 Seřazení materiálů dle hodnot indikátorů [1]

3.1.4 Hledání dokumentace

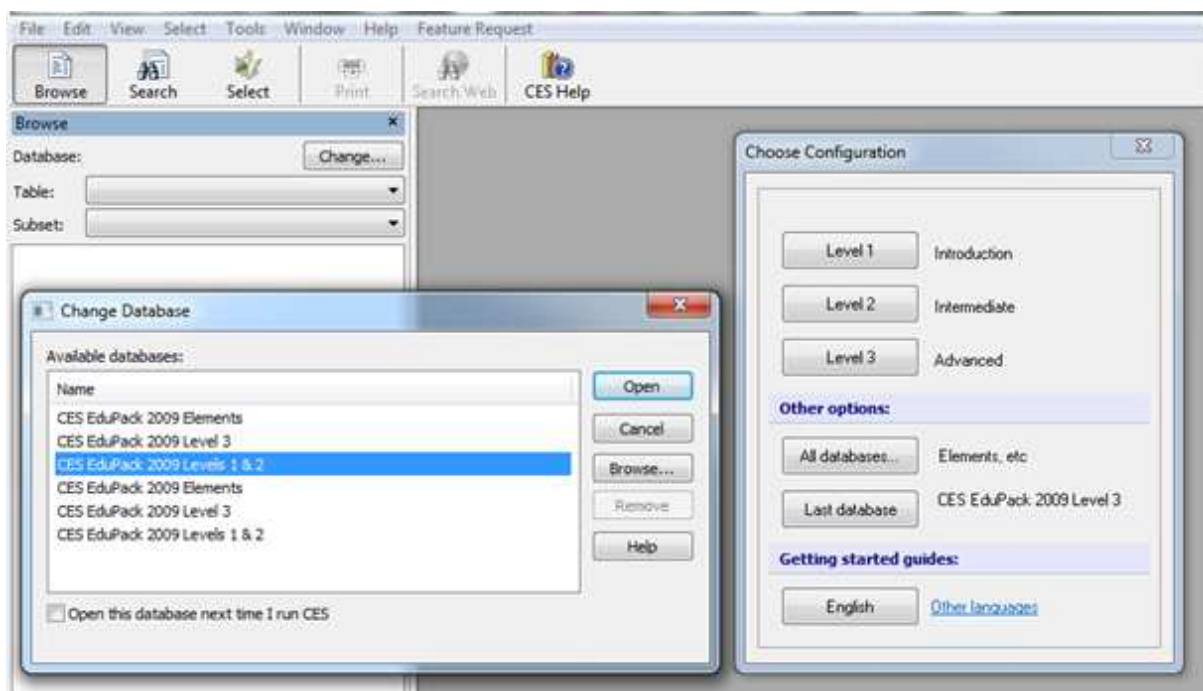
Pro všechny materiály, které můžeme dle materiálové mapy použít, si vyhledáme detailní dokumentaci. Pomocí této dokumentace budeme volit nejvhodnější materiál. Materiálové indikátory nám pomohou určit pořadí materiálu dle jejich hodnot. Tyto indikátory však nezahrnují všechny vlastnosti. Některá zařízení mohou pracovat ve vlhkém prostředí, je pak potřebné, aby materiál byl korozivzdorný. K tomuto slouží detailní dokumentace, která nám pomůže s konečným výběrem materiálu a odhalí všechny možné nedostatky.

3.2 Vytvoření materiálové mapy pomocí softwaru CES

Software CES nám pomáhá s výběrem vhodného kandidáta a to ze všech možných materiálů. Všechny mapy, které jsme zde prezentovali, byly graficky upraveny výrobcem softwaru kvůli přehlednosti. Ukážeme si celý postup výběru materiálu pomocí tohoto softwaru. Software CES je dostupný pouze v angličtině, proto budou některé kroky citovány v angličtině společně s překladem.

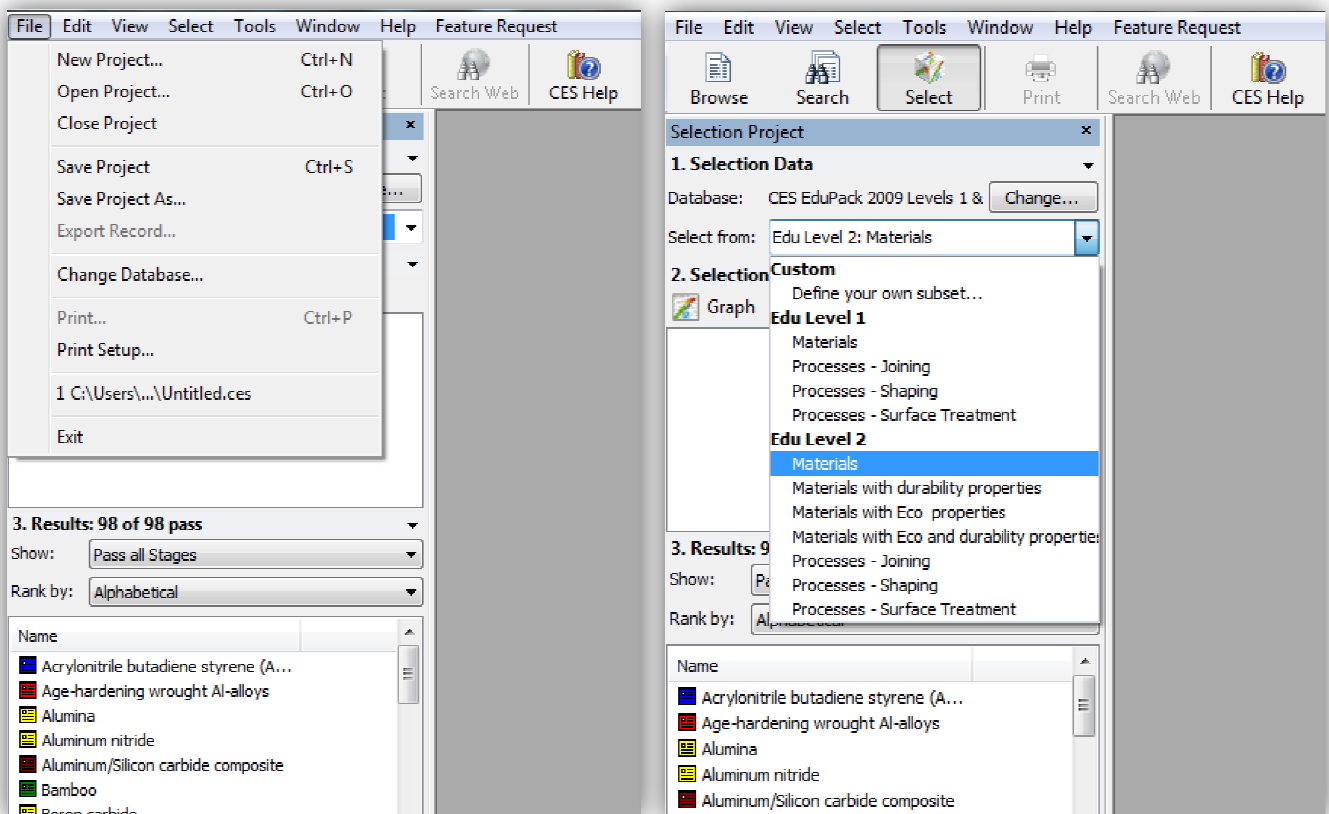
3.2.1 Založení nového projektu

Po spuštění softwaru CES nám vyskočí první okno, kde máme na výběr z několika úrovní pokročilosti. V našem případě zvolíme všechny databáze. Poté ve vyskakovacím okně zvolíme databázi 1. a 2. úrovně. Databáze 3. úrovně nabízí rozšíření materiálové mapy. Této úrovně bude použito později a bude ukázáno její využití.



Obr. 3.3 Schéma postupu v softwaru CES.

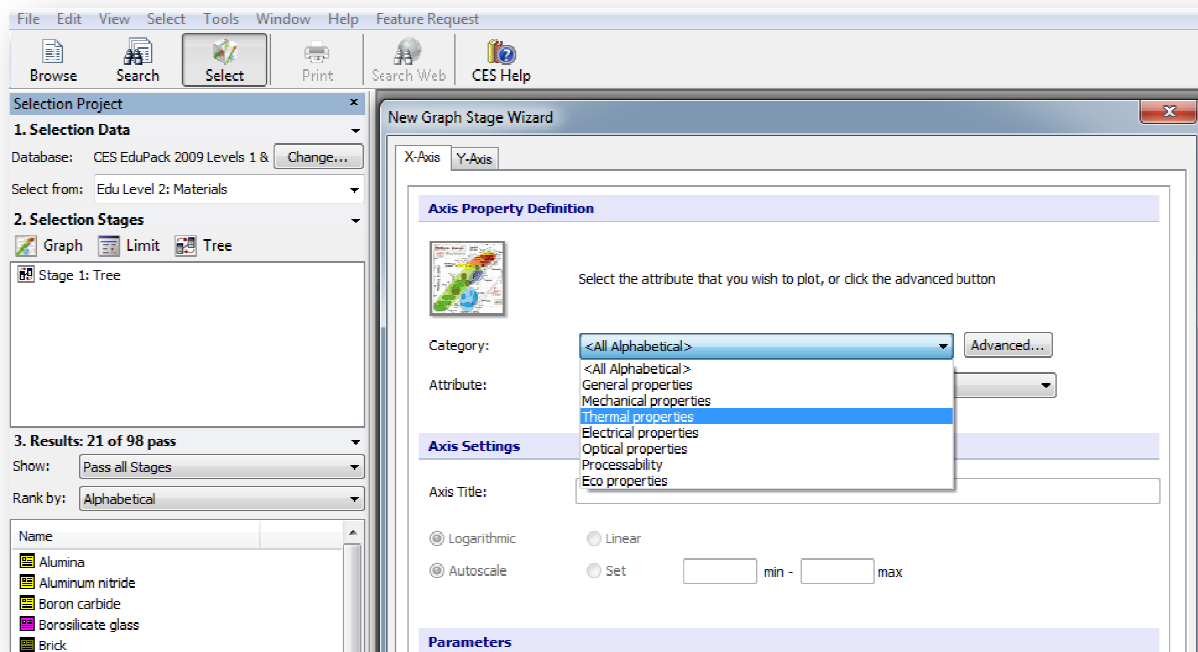
V levém horním rohu na hlavním panelu použijeme tlačítko "File" a poté pomocí "New Project" si vytvoříme nový soubor, v němž budeme vytvářet materiálovou mapu. Poté pomocí tlačítka "Select" vybereme v 2. úrovni položku "Materials", tím budeme mít zajištěny všechny materiály. Rozdíl mezi úrovněmi 1 a 2 je v tom, že 1. úroveň nezahrnuje ekologické vlastnosti materiálů. V našem případě budeme volit 2. úroveň. Nyní máme nastaven program pro vytvoření materiálové mapy.



Obr. 3.4 Schémata postupu v softwaru CES.

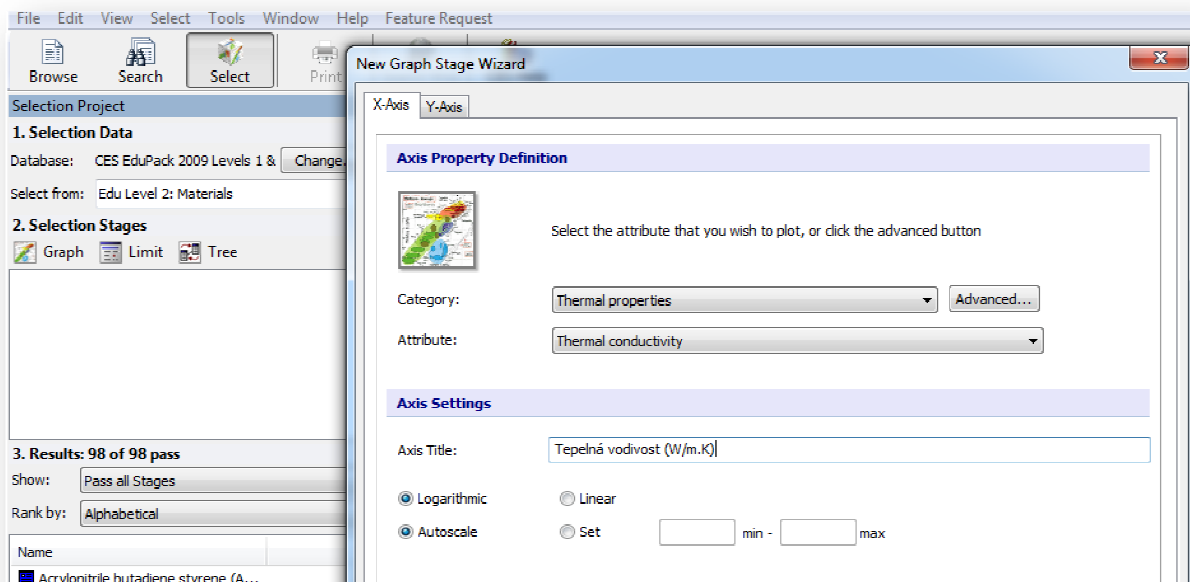
3.2.2 Vytvoření materiálové mapy

Na levém postranním panelu je položka "Graph", pomocí níž se dostaneme do nastavení materiálové mapy. V nastavovacím okně jsou nahoře dvě záložky, kde jedna je osa x a druhá osa y. Je zapotřebí obě osy nastavit samostatně. Nejprve si v okně "Category" zvolíme druh vlastností. Pro náš případ se jedná o tepelné vlastnosti, tedy "Thermal properties". Poté si z nabídky vybereme obě požadované vlastnosti. Pro osu x to bude "Thermal conductivity" neboli tepelná vodivost a pro osu y je to "Thermal expansion coefficient" neboli součinitel teplotní roztažnosti.



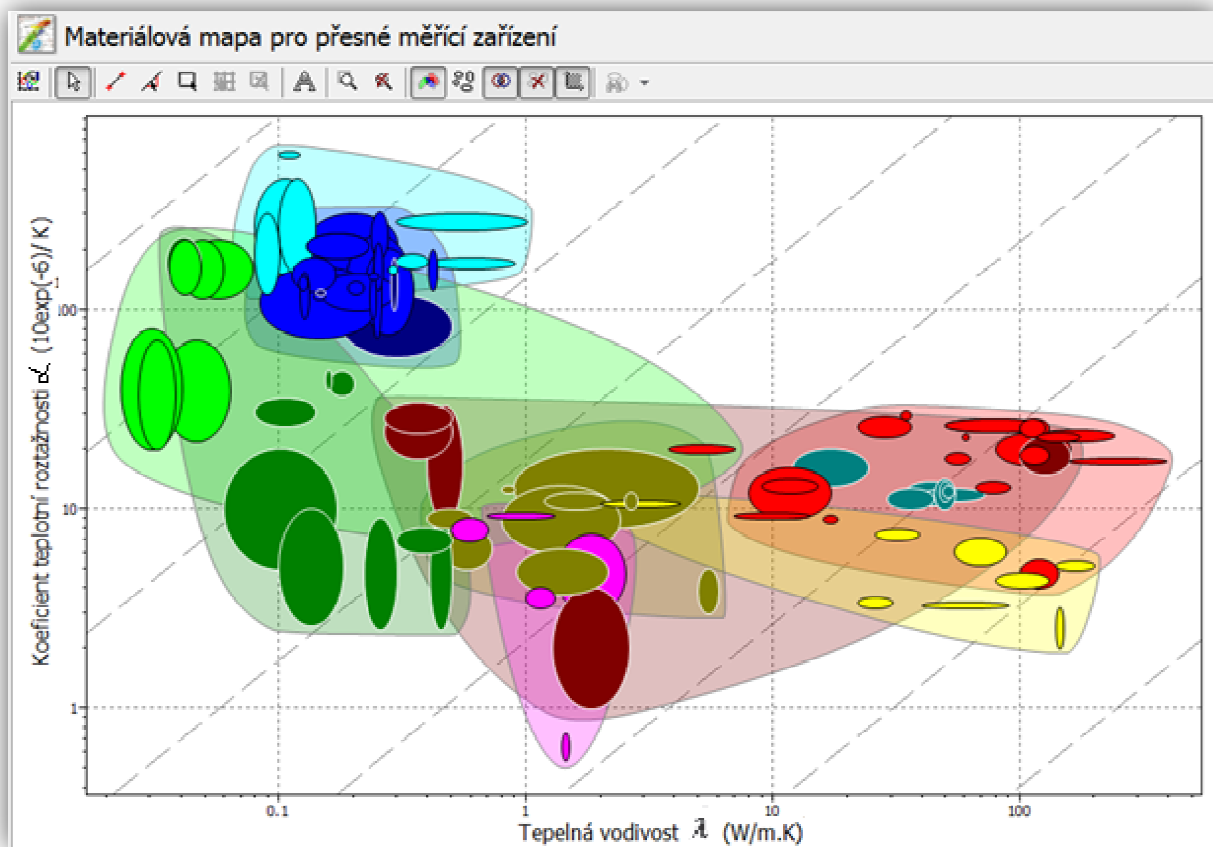
Obr. 3.5 Schéma postupu v softwaru CES.

Každou osu si lze popsat vlastním komentářem. Zde je místo anglického názvu použit český překlad.



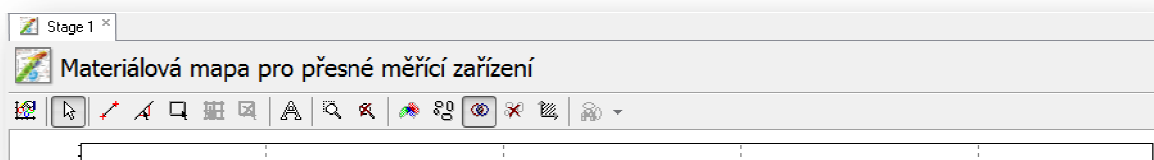
Obr. 3.6 Schéma postupu v softwaru CES.

Po nastavení a popisu obou os se vytvoří základní materiálová mapa bez detailnějšího popisu. S touto mapou budeme dále pracovat a provedeme její rozbor.



Obr. 3.7 Základní materiálová mapa bez popisu.

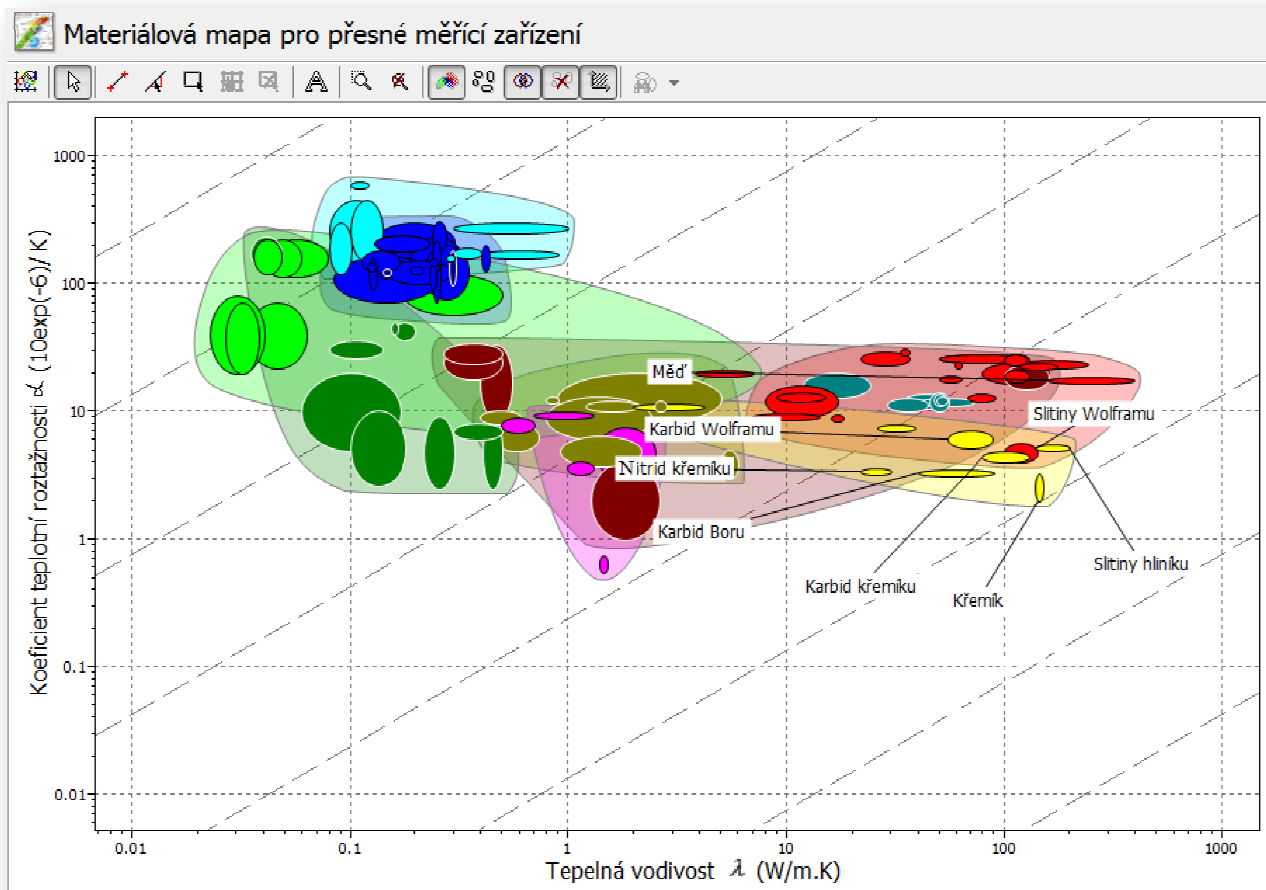
Teprve po vytvoření materiálové mapy lze mapu detailněji upravovat. Nad mapou je umístěn panel nástrojů, pomocí něhož provedeme veškeré úpravy. Na tomto panelu najdeme vše potřebné. Pomocí první ikony si lze nastavit rozsah obou os a jejich popis. Dále je zde možné udělit nadpis celé materiálové mapě. Další tři ikony slouží k vymezení oblasti, pomocí omezení, materiálového indikátoru, nebo výběru určité oblasti pomocí libovolného obdélníku. Ikona s písmenem "A" vytváří textové pole na mapě. Následující dvě ikony s lupou nám pomáhají přiblížit libovolnou část materiálové mapy. Poté následuje několik posledních ikon, pomocí nichž lze zvýraznit skupiny materiálů.



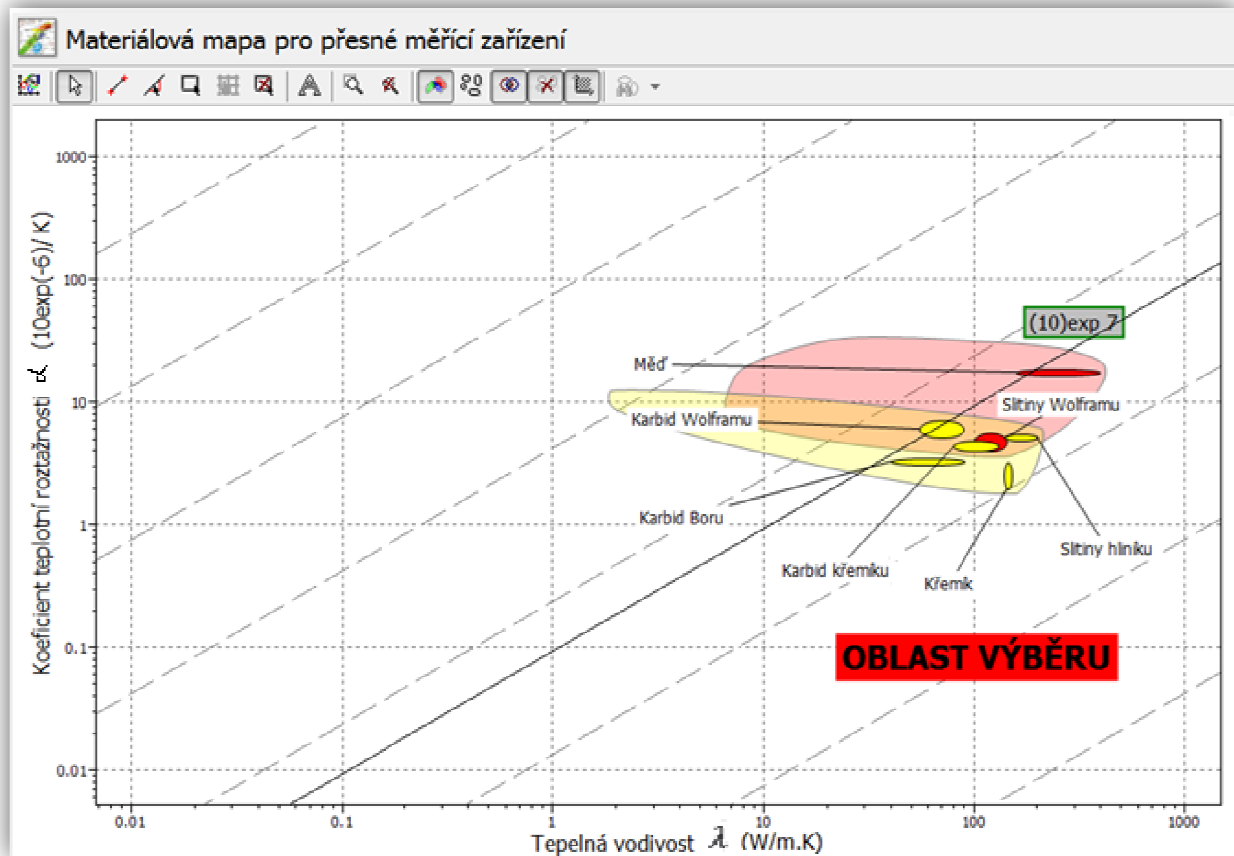
Obr. 3.8 Schéma panelu pro úpravu materiálové mapy.

3.2.3 Popis a úprava materiálové mapy

Popis mapy si ukážeme na našem případě, kde hledáme materiál vhodný pro přesná měřící zařízení. Nejprve je provedeno nastavení rozsahu obou os a to pro přehlednost od 0,01 do 1000. Stejný rozsah je uveden i u předešlého obrázku v předchozí kapitole, který byl už vytvořen. Vytvoříme přímkou o konstantní hodnotě materiálového indikátoru 10^7 . Hodnotu tohoto indikátoru a oblast výběru si nastavíme pomocí první ikony v panelu nástrojů. Lze si vybrat oblast nad přímkou nebo pod přímkou. V našem případě se hledané materiály nacházejí pod přímkou. Veškeré zbylé materiály poté zmizí z materiálové mapy. Kliknutím na každý obrazec a povytažením získáme název daného materiálu. Názvy jsou vždy anglicky, lze si je však ručně přepsat do češtiny. Ukážeme si dvě stejné materiálové mapy, kde první pohled bude na celou mapu s novým rozsahem os. Druhý pohled bude na mapu s vymezenou oblastí výběru pomocí řídicí přímky.



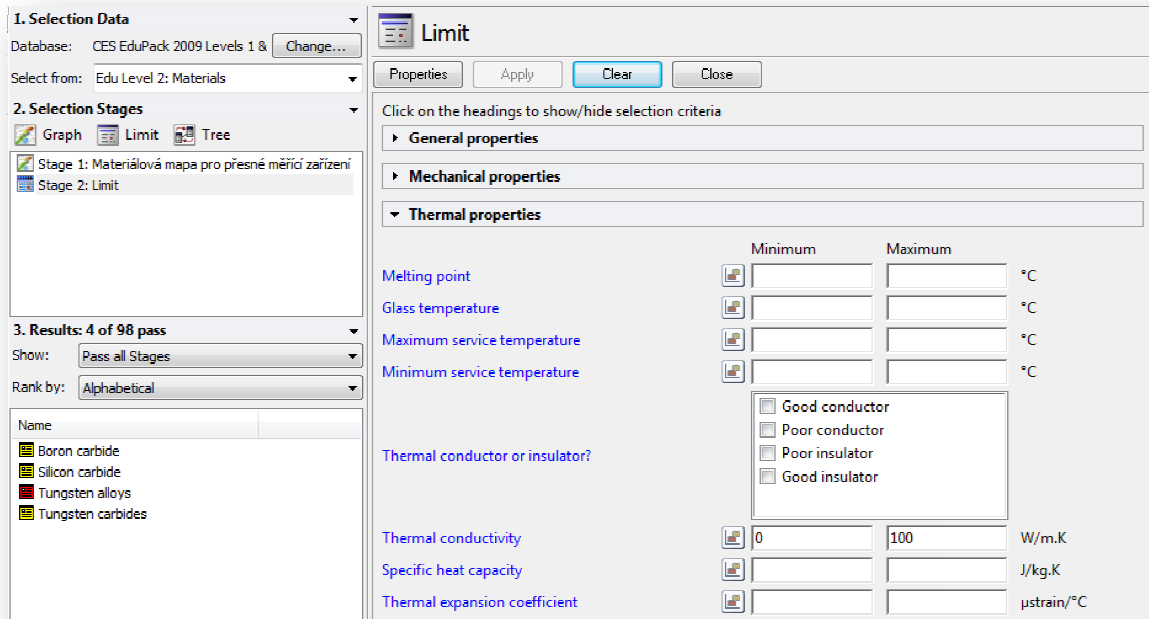
Obr. 3.9 Kompletní materiálová mapa



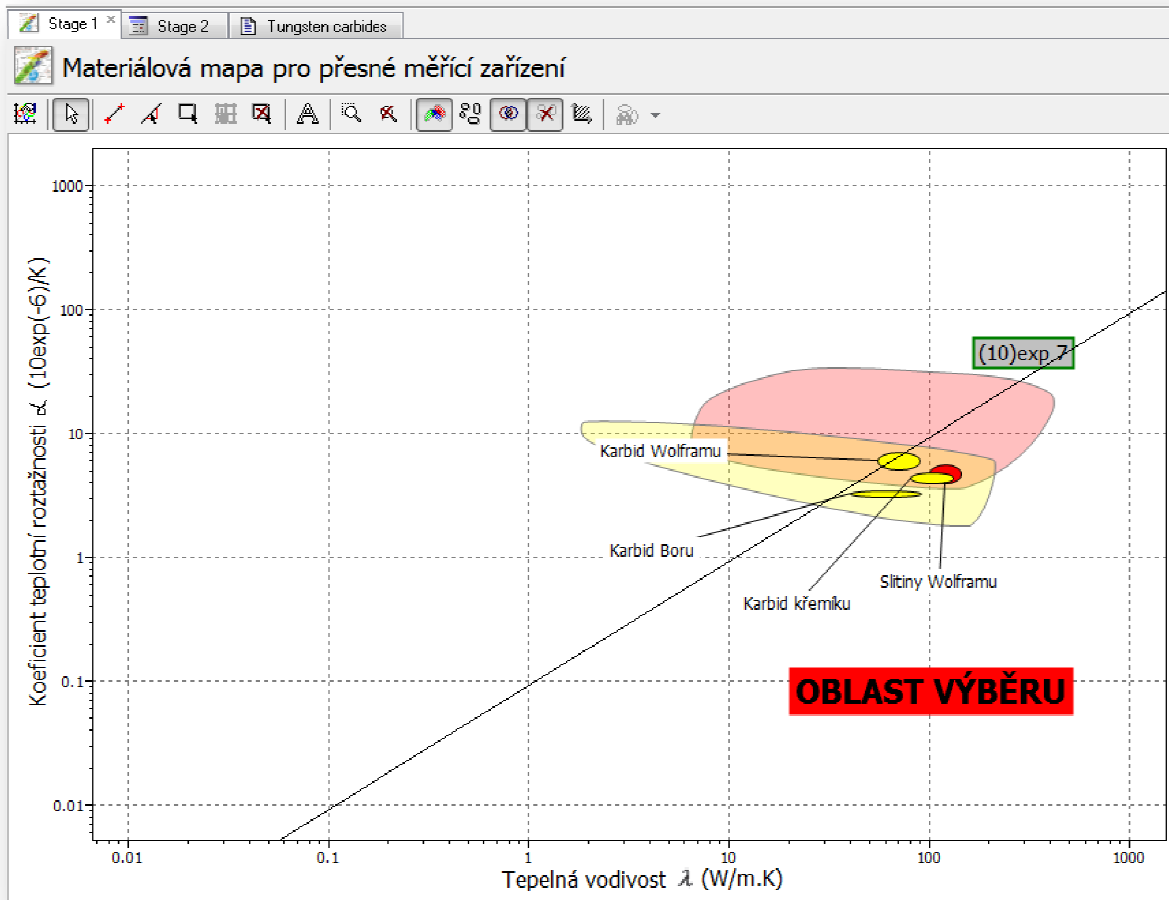
Obr. 3.10 Materiálová mapa s vymezenou oblastí výběru.

3.2.4 Aplikace omezení

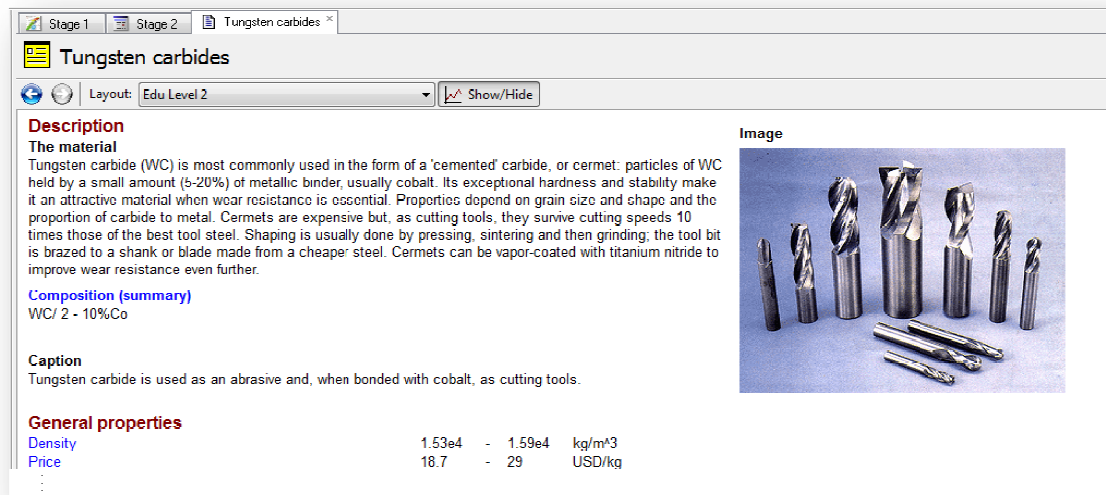
Do každé materiálové mapy lze zavést několik dalších omezení. Aplikace se provede pomocí položky "Limit", která je umístěna vedle ikony "Graph", pomocí které jsme vytvořili materiálovou mapu. Po otevření položky "Limit" se dostaneme do nabídky několika skupin materiálových vlastností. V našem případě si vybereme "Thermal properties" neboli tepelné vlastnosti. Pro příklad ukážeme, že pokud bychom chtěli materiály s tepelnou vodivostí nižší než 100W/m.k, pak si stačí nastavit hodnotu tohoto omezení. Materiály, které nevyhovují tomuto omezení, se z materiálové mapy vymažou, neboli se vymažou obrazce, které daný materiál zobrazují. Vidíme dle obr. 3.12, že z materiálové mapy zcela vymizela měď a slitiny hliníku, jelikož nevyhovují zadanému omezení. Materiály, které vyhovují, budou zobrazeny vlevo dole v krátkém seznamu. Po dvojnás kliknutí na libovolný materiál se nám zobrazí detailní dokumentace daného materiálu. Jedná se o dokumentaci, kterou nabízí software CES dle obr 3.13.



Obr. 3.11 Schéma nastavení omezení.



Obr. 3.12 Materiálová mapa bez materiálů, které nevyhovovaly omezení.



Obr. 3.13 Detailní dokumentace od softwaru CES.

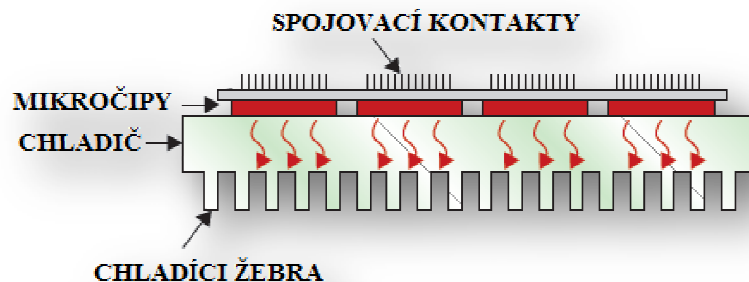
Každá detailní dokumentace nabízí celkový popis materiálu, jeho použití a také všechny číselné hodnoty jednotlivých vlastností. Pomocí této dokumentace vybereme nejvhodnější materiál.

3.2.5 Shrnutí případové studie

Případová studie hledání materiálu na minimalizaci zkreslení měřeného rozměru u přesných měřicích zařízení nám ukázala, že nejdůležitějším úkolem je jasné stanovení požadavků. Pomocí těchto požadavků sestavíme materiálový indikátor, který bude hlavním kritériem pro seřazení vhodných materiálů. Ze studie je patrné, že nalezení a sestavení materiálového indikátoru může být velmi složité a může k tomu být zapotřebí odborných znalostí.

3.3 Materiál chladicího zařízení pro mikročipy

Mikročipy u běžných počítačů jsou neustále zahřívány a je zapotřebí, aby byly při provozu ochlazovány. Odvod tepla je zajištěn pomocí chladiče, který je připojen na mikročipy. Pokud by nebyly mikročipy ochlazovány, došlo by k jejich poruše. Každá takováto porucha způsobí selhání celého zařízení, které dané mikročipy ovládají. Schéma zjednodušeného spoje mikročipů a chladiče je zobrazeno na obr. 3.14. Cílem je najít vhodný materiál, který zajistí dostatečné chlazení mikročipů. V tomto případě jsou jasně stanoveny požadavky ve formě omezení.



Obr. 3.14 Schéma chladicího zařízení pro mikročipy.[1]

3.3.1 Interpretace požadavků na produkt

Sestava mikročipů společně s chladičem vyžaduje, aby byl chladič dobrý izolant. Pokud by chladič nebyl dobrým izolantem, mohlo by dojít ke zkratu a to by poté způsobilo vyřazení daného zařízení z provozu. Prvním požadavkem je tedy dobrý izolant, což je zajištěno, pokud je hodnota elektrického odporu $\rho_e > 10^{18} \mu\Omega \cdot \text{cm}$ nebo jestliže je daný materiál klasifikován dobrým elektrickým izolantem. Pokud nebudou materiály klasifikovány jako dobré elektrické izolanty nebo budou mít menší odpor než je zadaná hodnota, nejsou vhodnými kandidáty a budou vyloučeny z dalšího výběru. Dalším požadavkem je minimální provozní teplota 150°C . Pokud bude mít materiál dostatečně vysokou tepelnou vodivost, pak bude rychle odvádět teplo a je vhodným kandidátem. Cílem bude tedy najít materiály s největší hodnotou tepelné vodivosti. Souhrn všech podmínek, pomocí nichž budeme vybírat vhodný materiál je zapsán v tabulce 3.5.

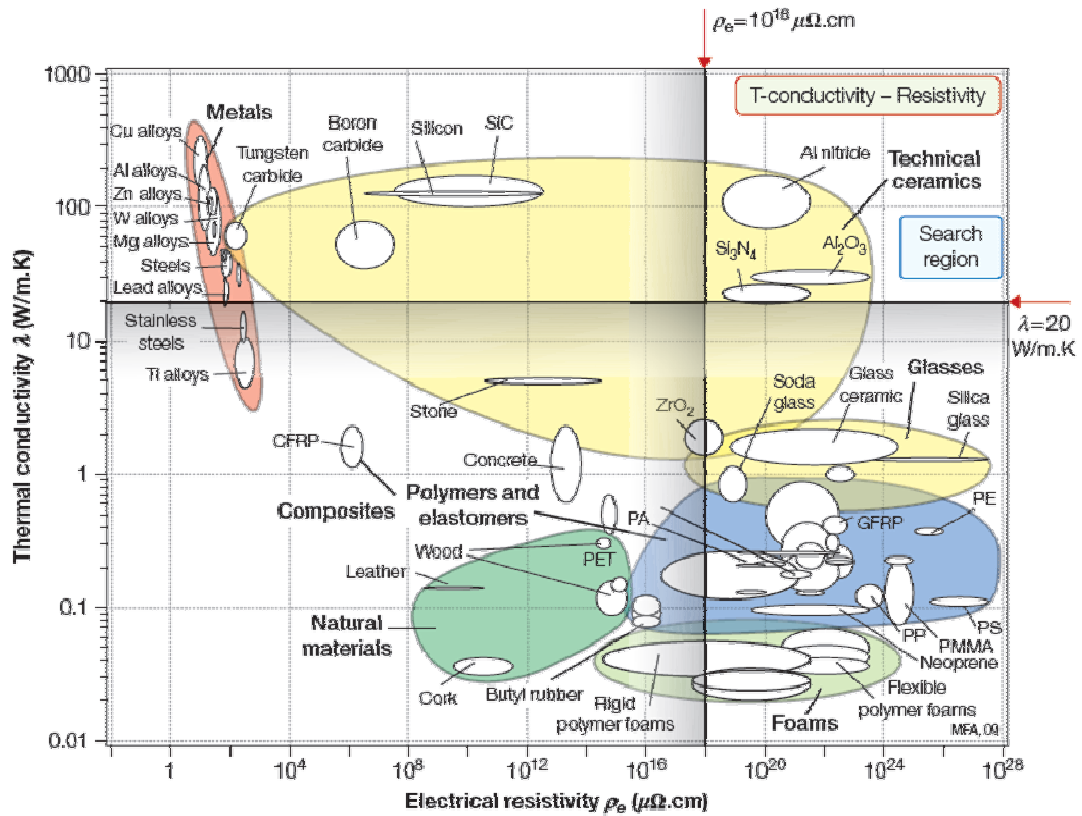
Funkce	Chladící zařízení
Omezení	Provozní teplota vyšší než 150°C Materiál musí být dobrý izolant, elektrický odpor $\rho_e > 10^{18} \mu\Omega \cdot \text{cm}$
Cíl	Maximalizovat tepelnou vodivost - λ
Volné proměnné	Volba materiálu

Tabulka 3.5 Funkce, omezení, cíle a volné proměnné. [1]

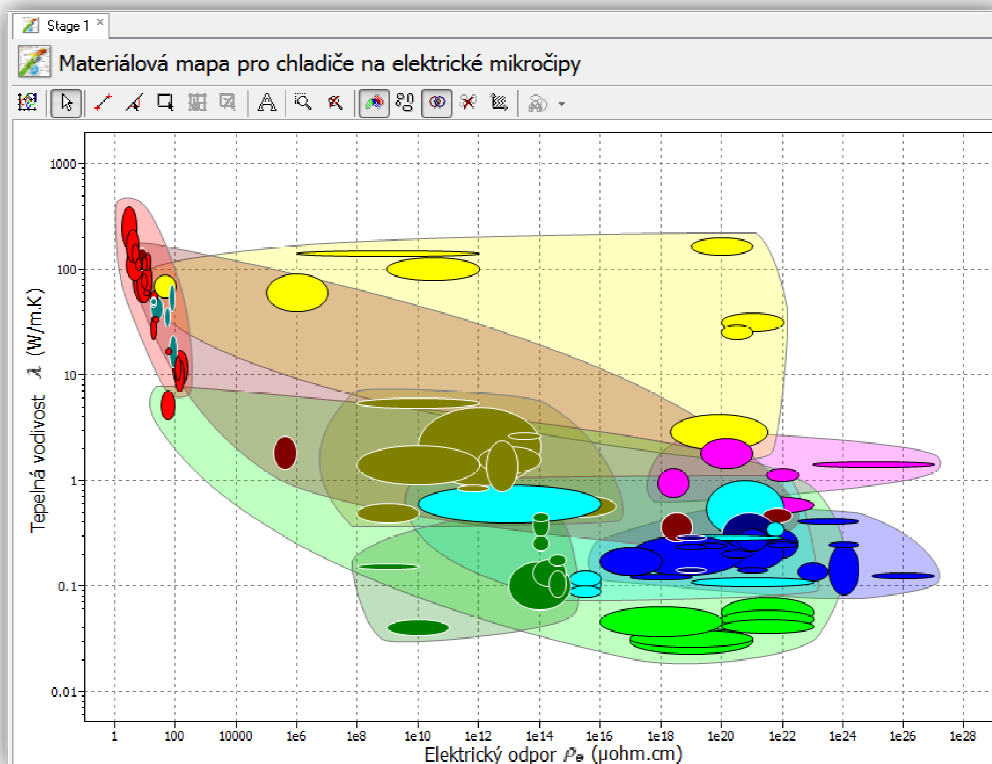
3.3.2 Vytvoření materiálové mapy

Pro výběr materiálu dle požadavků budeme volit materiálovou mapu, kde na ose x bude elektrický odpor $\rho_e [\mu\Omega \cdot \text{cm}]$ a na ose y tepelná vodivost $\lambda [\text{W/m.K}]$. Do materiálové mapy vyneseme omezení a to v podobě svislé přímkou o hodnotě $\rho_e = 10^{18} \mu\Omega \cdot \text{cm}$. Materiály v oblasti vlevo od této přímkou nevyhovují danému požadavku na dobrý elektrický izolant. Touto přímkou si vymežíme první oblast materiálů, které se jeví jako vhodní kandidáti. Další eliminaci provedeme pomocí požadavku na vysokou tepelnou vodivost. Vhodně zvolíme vodorovnou řídicí přímkou a to dostatečně vysoko, abychom dostali pouze několik kandidátů. Při vytváření mapy budeme postupovat stejně, jak bylo uvedeno v dřívějším postupu pro sestavení materiálového grafu. Prvním krokem je tedy nastavení příslušných os materiálové mapy a jejich rozsah. Dále následuje aplikace omezení dle požadavků na produkt. Posledním krokem je výběr materiálu dle detailní dokumentace. Všechny tyto kroky budou opět rozebrány jednotlivě.

Nejprve si ukažme materiálovou mapu, která je uvedena v příručce. Tato materiálová mapa je graficky upravena od tvůrce softwaru, aby byla více přehledná. Dále si ukážeme materiálovou mapu, kterou jsme si vytvořili v softwaru CES.



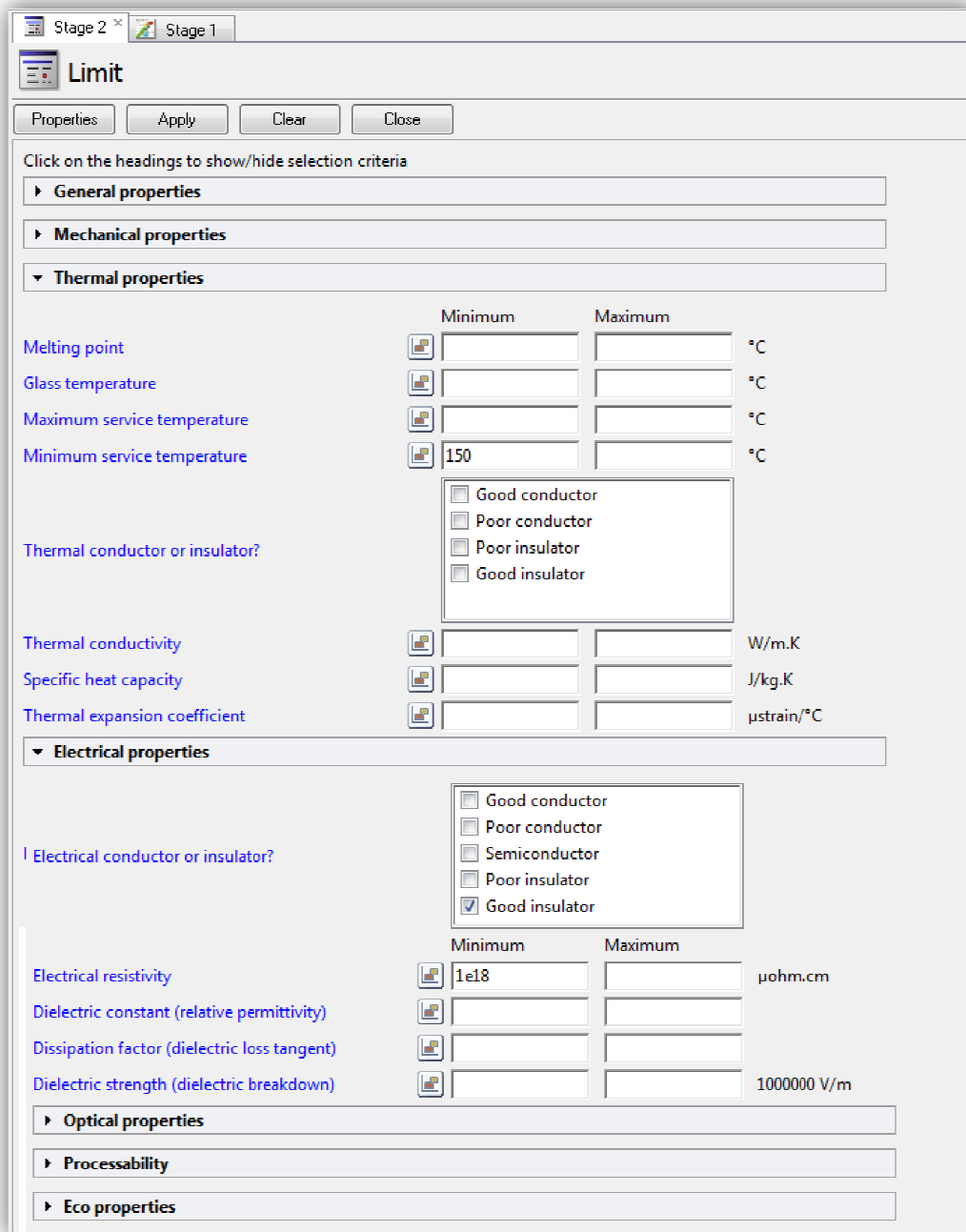
Obr. 3.15 Materiálová mapa uvedená v příručce.[1]



Obr. 3.16 Základní materiálová mapa ze softwaru CES bez popisu.

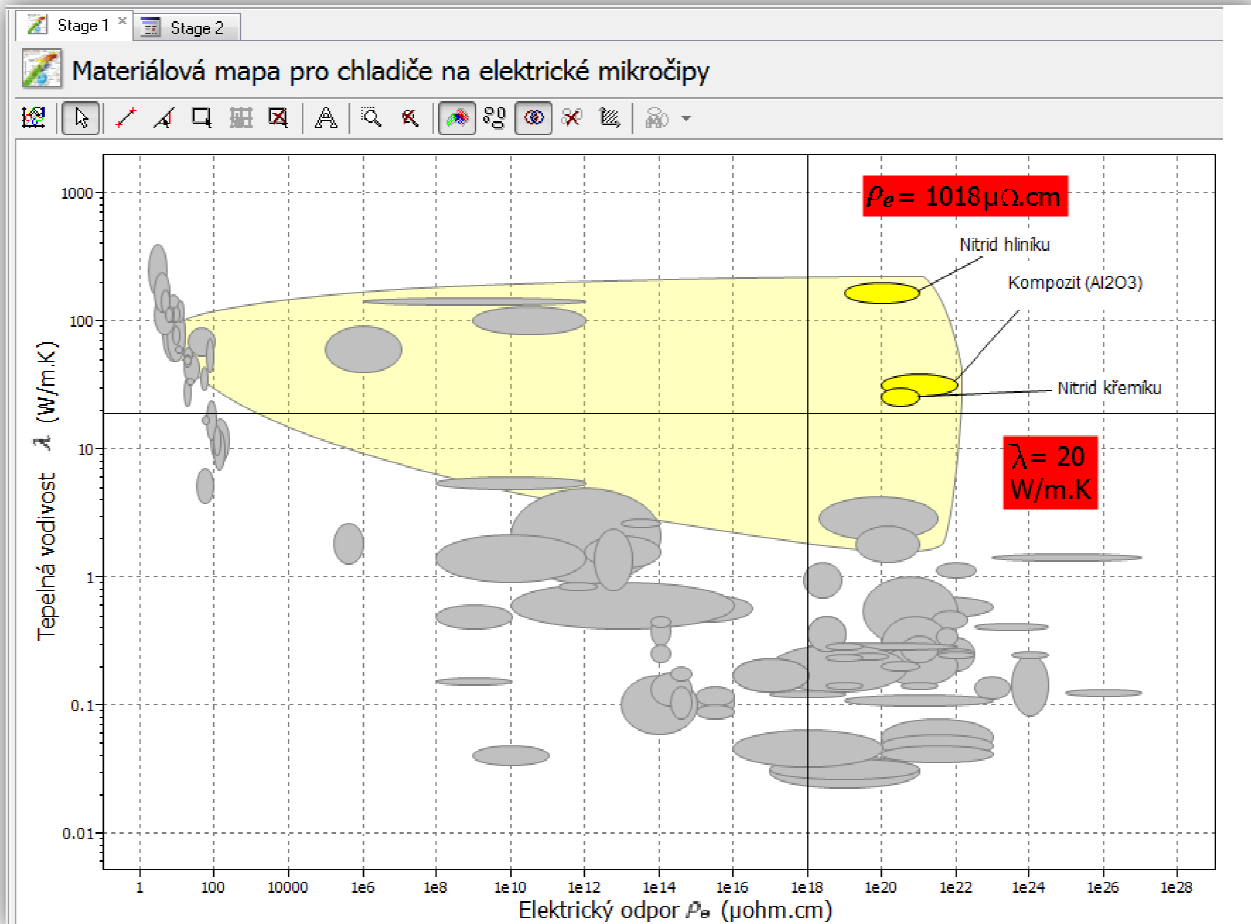
3.3.3 Aplikace omezení

Pomocí funkce limit v softwaru CES si do materiálové mapy zakreslíme svislou přímkou o hodnotě elektrického odporu $\rho_e = 10^{18} \mu\Omega \cdot \text{cm}$. V softwaru si lze zaškrtnout, jestli požaduje dobré elektrické izolanty. Dále si v záložce tepelných vlastností zvolíme minimální provozní teplotu 150°C. Schéma celého omezení, včetně požadavku na dobré izolanty je na obr. 3.17.



Obr. 3.17 Schéma nastavení omezení, požadavku na dobré izolanty a provozní teploty.

Dále zakreslíme vodorovnou přímkou, pomocí které si zúžíme oblast už jen na několik materiálů. Po zavedení omezení si popíšeme materiálovou mapu. Do materiálové mapy vyneseme názvy několika materiálů, abychom dostali přehled o tom, jaké materiály se nalézají v hledané oblasti. Dostaneme tedy pouze několik materiálů, pro které vytvoříme detailní dokumentace. V hledané oblasti nám dle obr. 3.18 zůstal kompozit Al₂O₃, nitrid křemíku a nitrid hliníku.



Obr. 3.18 Schéma materiálové mapy s popisem a zakreslenými omezeními.

3.3.4 Eliminace pomocí omezení

Z obr. 3.18 je patrné, že omezením vyhovují pouze materiály jako nitrid hliníku, kompozit (Al₂O₃) a nitrid křemíku. Ostatní materiály nemají buď dostatečně vysoký elektrický odpor, nebo nemají dostatečně vysokou hodnotu tepelné vodivosti. Software CES nám také automaticky vyřadil materiály, které nejsou dobrými elektrickými izolanty.

3.3.5 Seřazení pomocí cíle

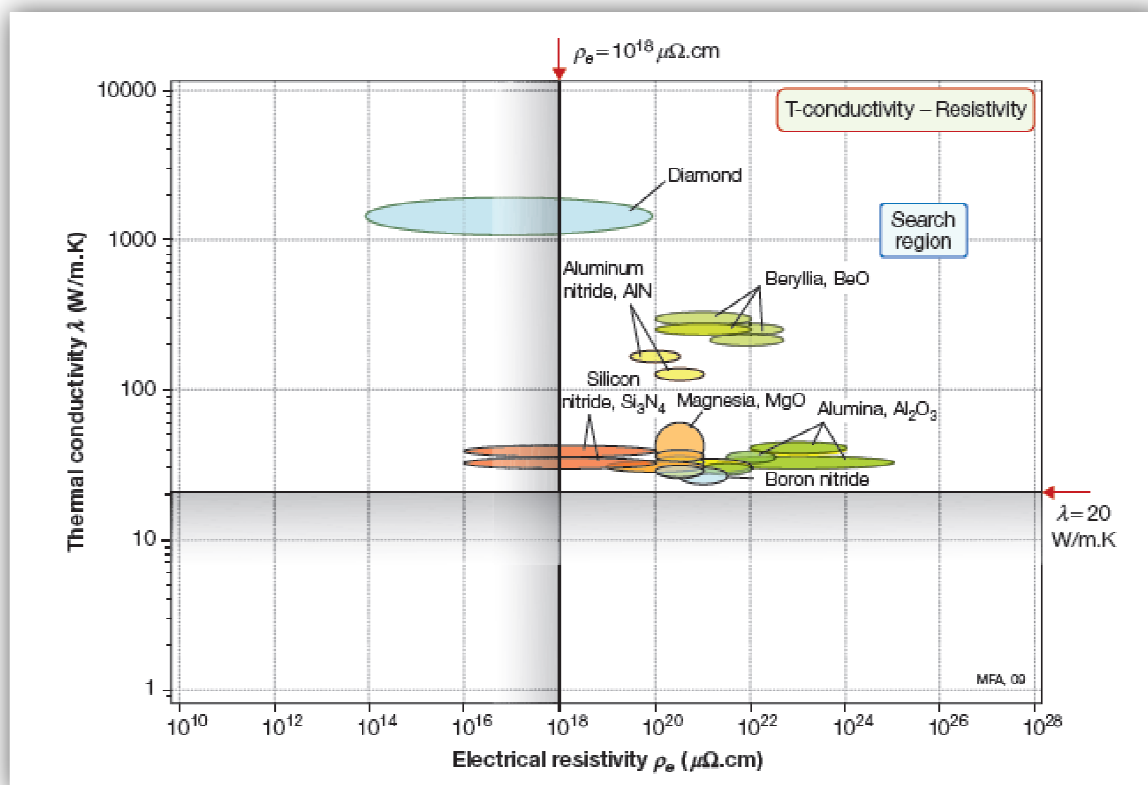
Seřadíme vhodné materiály podle hodnoty tepelné vodivosti a hodnoty elektrického odporu. Všechny tyto hodnoty nalezneme v materiálových příručkách nebo zde využijeme softwaru CES, který hodnoty těchto vlastností nabízí.

Materiály pro chladicí zařízení		
Materiál	Tepelná vodivost - λ [W/m K]	Elektrický odpor - ρ_e [$\mu\Omega \cdot \text{cm}$]
Nitrid hliníku	140 - 200	$10^{19} - 10^{21}$
Kompozit (Al ₂ O ₃)	26 - 38,5	$10^{20} - 10^{22}$
Nitrid křemíku	22 - 30	$10^{20} - 10^{21}$

Tabulka 3.6 Seřazení podle hodnot elektrického odporu a tepelné vodivosti.[1]

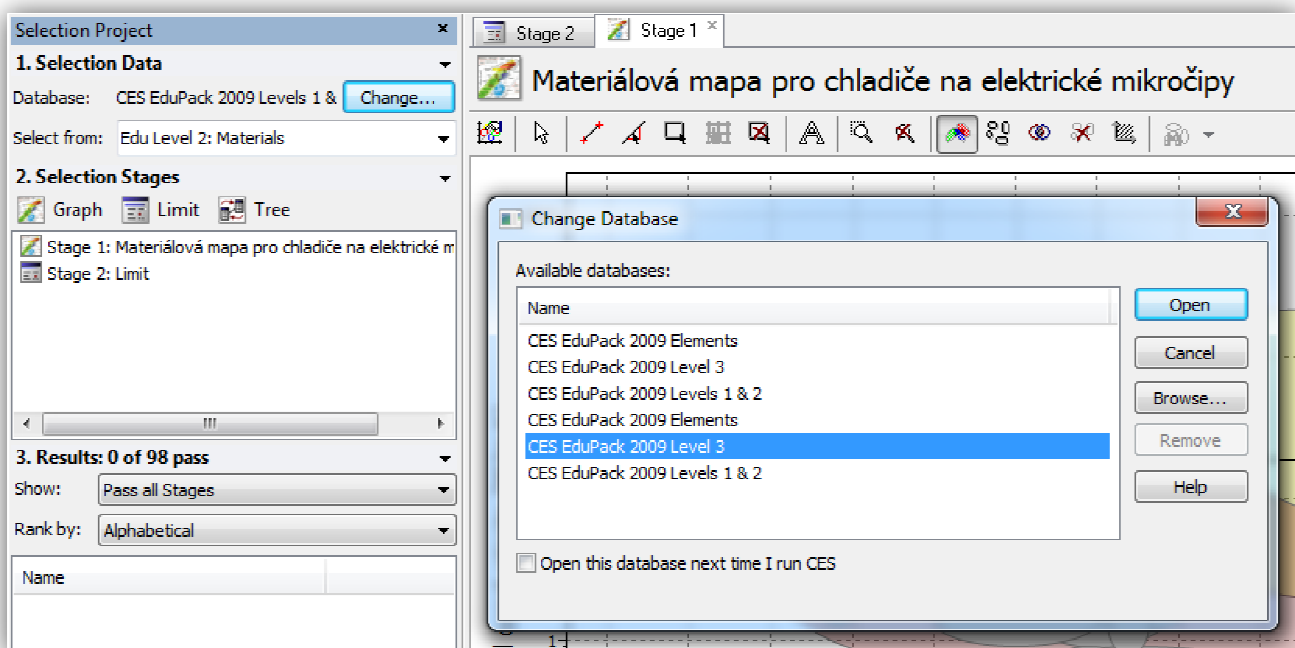
3.3.6 Možnost rozšíření materiálové mapy

Software CES zobrazí základní materiálovou mapu s většími obrázky, které zastupují jednotlivé materiály nebo určitou skupinu materiálů. Tím je myšleno, že pokud bychom si vybrali určitou oblast mapy, lze v dané mapě jít hlouběji. To znamená, že v naší vybrané oblasti si můžeme zobrazit více materiálů, než se zprvu zdálo. Pokud jsme zavedli požadované limity, vyřadili jsme si z výběru vždy celou skupinu, která například vybočovala z požadované oblasti. Lze využít rozšířenějšího grafu, který zobrazí i ty materiály, které zčásti spadali pod nevyhovující oblast. Schéma takového rozšíření od výrobce softwaru je ukázáno na obr 3.19. Zde vidíme mnohem více materiálů než na původní materiálové mapě.



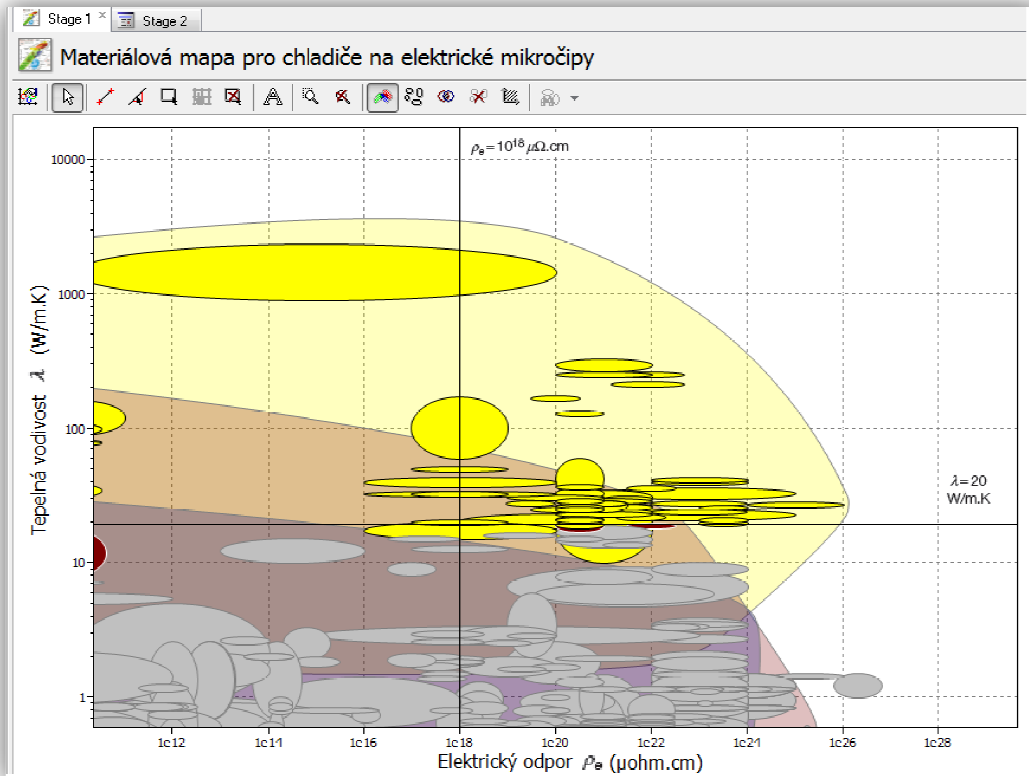
Obr. 3.19 Schéma rozšíření materiálové mapy od výrobce softwaru.[1]

Rozšíření materiálové mapy si nyní ukážeme v softwaru CES. Prvním krokem je využití 3. úrovně, kterou jsme dříve vynechali. Tato úroveň nabízí rozšíření materiálové mapy o všechny možné sloučeniny. Zejména se jedná o materiály, které spadají pod určitou skupinu materiálů. Kde tyto materiály byly po zavedení požadovaných omezení vyloučeny, přestože skupina materiálů, pod níž spadaly, byla jen zčásti mimo povolenou oblast. Dále však nabízí hlubší pohled do jednotlivých skupin materiálů a to až na různé sloučeniny. Ve vytvořené mapě si přepneme nahoře na základním panelu na 3. Úroveň dle schématu 3.20.

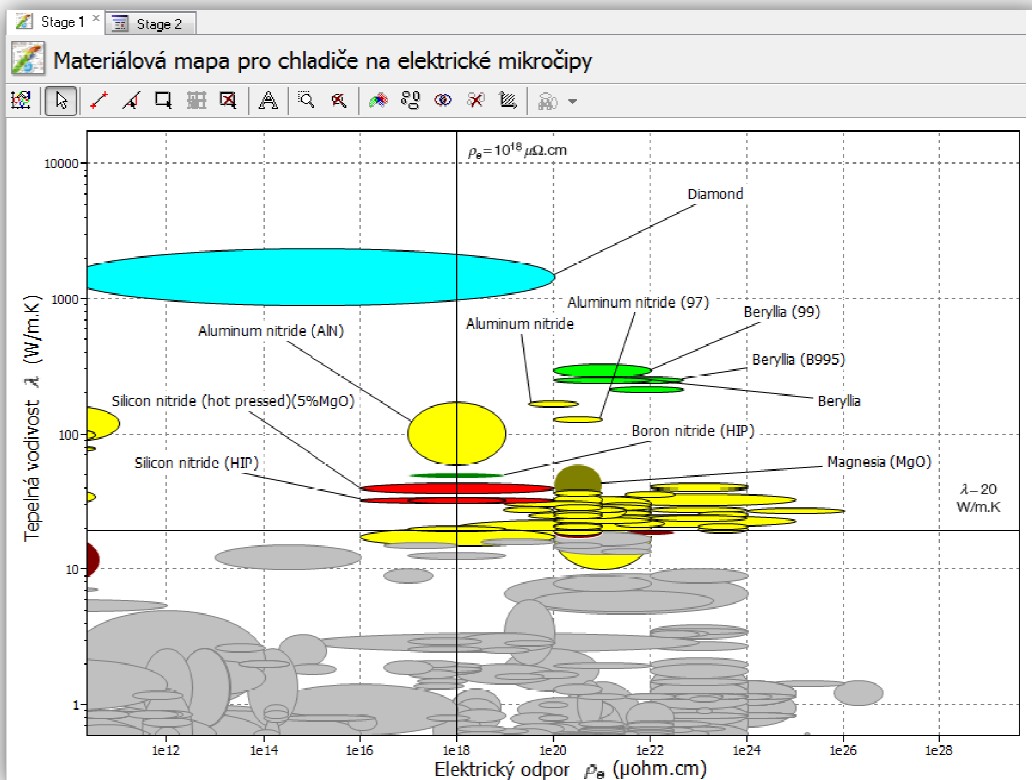


Obr. 3.20 Schéma přepnutí materiálové mapy na její rozšíření.

Po přepnutí se do materiálové mapy zobrazí mnohem více obrazců, které byly dříve ukryty pod určitými skupinami materiálů. Pro dosažení stejného grafu jaký je ukázán v příručce je zapotřebí pouze úprava rozsahu obou os. Po úpravě os dostaneme velmi nepřehledný graf dle obr 3.21, který je potřeba opět upravit. Nejprve si vyneseme materiály, které byly vyneseny u grafu v příručce. Tyto materiály si graficky odlišíme jinou barvou podobně jako je tomu v příručce a to z důvodu lepší přehlednosti grafu. Z tohoto rozšířeného grafu lze vyčíst materiály, které bychom dříve neodhalili. Není však zapotřebí toho grafu využívat vždy, jelikož i po rozšíření vidíme, že některé materiály rovnou nevyhovují, přestože jsou v oblasti použitelných materiálů. Jasným příkladem je diamant, který je sice v požadované oblasti, nicméně kvůli velmi vysoké ceně ho nelze zařadit mezi kandidáty.



Obr. 3.21 Schéma materiálové mapy po rozšíření, bez popisu.



Obr. 3.22 Schéma materiálové mapy po rozšíření, společně s popisem.

3.3.7 Hledání dokumentace

Pro konečný výběr materiálu nám slouží detailní dokumentace, kterou lze vždy nalézt v katalogu od dodavatele materiálu, nebo v našem případě můžeme využít softwaru CES. Ukážeme si zkrácené schéma dvou detailních dokumentací, které nabízí software CES. V těchto dokumentacích jsou uvedeny všechny vlastnosti, použití a popis materiálu. Software je celý v anglickém jazyce, tedy i detailní dokumentace.

The screenshot shows the CES software interface for Aluminum nitride. The window title is 'Aluminum nitride'. The layout is set to 'Edu Level 2'. The interface includes a description, composition summary, and general and mechanical properties tables. An image of various aluminum nitride components is shown on the right.

Description
The material
 Aluminum nitride (AlN) has an unusual combination of properties: it is an electrical insulator, but an excellent conductor of heat. This is just what is wanted for substrates for high-powered electronics; the substrate must insulate yet conduct the heat out of the microchips. This, and its high strength, chemical stability and low expansion give it a special role as a heat sinks for power electronics. It is transparent to microwaves and RF frequencies, and thus makes good microwave windows.

Composition (summary)
 AlN

General properties

Density	3.26e3	3.33e3	kg/m ³
Price	104	166	USD/kg

Mechanical properties

Young's modulus	302	348	GPa
Shear modulus	126	139	GPa
Bulk modulus	* 200	232	GPa
Poisson's ratio	0.23	0.26	
Yield strength (elastic limit)	* 300	350	MPa
Tensile strength	* 300	350	MPa
Compressive strength	1.97e3	2.5e3	MPa
Elongation	0		%
Hardness - Vickers	990	1.26e3	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 168	218	MPa
Fracture toughness	2.5	3.4	MPa.m ^{1/2}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 1e-5	3e-5	

Image

 Caption: Aluminum nitride components (Ceram Research Ltd).

Obr. 3.23 Schéma detailní dokumentace pro nitrid hliníku.

The screenshot shows the CES software interface for Silicon nitride. The window title is 'Silicon nitride'. The layout is set to 'Edu Level 2 with Eco and durability properties'. The interface includes a description, composition summary, and general and mechanical properties tables. An image of various silicon nitride components is shown on the right.

Description
The material
 Silicon nitride, Si₃N₄, is a man made compound, synthesized as a powder through several different chemical reactions. Parts made from these powders are sintered by standard methods to produce a ceramic with a unique set of properties. High performance silicon nitrides were developed for automotive engine wear parts such as valves, cam followers and turbocharger vanes, and have proved effective although the cost has not yet dropped enough to allow widespread use. The very high quality bodies developed for these applications are now used for parts for other high temperature applications in chemically aggressive environments in which wear is a problem.

Composition (summary)
 Si₃N₄

General properties

Density	3.1e3	3.4e3	kg/m ³
Price	35.3	53.9	USD/kg

Mechanical properties

Young's modulus	290	318	GPa
Shear modulus	* 100	128	GPa
Bulk modulus	* 210	232	GPa
Poisson's ratio	0.26	0.28	
Yield strength (elastic limit)	* 600	720	MPa
Tensile strength	600	720	MPa
Compressive strength	524	5.5e3	MPa
Elongation	0		%
Hardness - Vickers	1.4e3	1.6e3	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 300	500	MPa
Fracture toughness	4	6.7	MPa.m ^{1/2}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 2e-5	5e-5	

Image

 Caption: Silicon nitride components.
 (Ecceraterc Engineering Ceramic Technology Inc.)

Obr. 3.24 Schéma detailní dokumentace pro nitrid křemíku.

3.3.8 Shrnutí případové studie

Tato případová studie nevyžadovala nalezení materiálového indikátoru, jak tomu bylo u předešlého případu. Důvodem byly požadavky na daný produkt, pomocí kterých jsme sestavovali pouze omezení. V materiálové mapě poté vymizely všechny materiály, jež daným omezením nevyhovovaly. Cílem bylo, aby hodnota tepelné vodivosti byla co nejvyšší. Vhodně zvolenou řídicí přímkou si vymezíme určitou oblast materiálů. Materiály v této oblasti mají vysoké hodnoty tepelné vodivosti a vyhovují našim omezením. Pro každý z nich si tedy vytvoříme detailní dokumentaci a na jejím základě můžeme provádět konečný výběr materiálu.

4. Závěr

Výběr materiálu s ohledem na jeho funkci lze tedy shrnout do několika kroků, které společně vytvářejí strategii výběru. Prvním krokem je vždy určit veškeré požadavky, které jsou kladeny na daný produkt. Pomocí těchto požadavků si stanovíme cíle a omezení. Na základě omezení provedeme druhý krok a to eliminaci všech materiálů, které nevyhovují určenému omezení. Tento krok budeme provádět pomocí počítačového softwaru CES, kde omezení budeme vynášet do materiálové mapy. Pomocí této eliminace dostaneme pouze několik materiálů, se kterými budeme dále pracovat. Těchto několik materiálů seřadíme pomocí materiálového indikátoru, který byl vytvořen na základě cíle. Toto seřazení nám však neurčí to, který materiál má být vybrán. Seřazení určí pouze ten materiál, který by nejlépe vyhovoval dle stanoveného cíle. Materiálový indikátor tedy nemusí zohledňovat například to, že produkt bude pracovat střídavě ve vlhkém a suchém prostředí. I materiál, který je postaven nejvýše po seřazení, může zrovna ve vlhkém prostředí ztrácet některé vlastnosti. Tyto nedostatky nám odhalí až detailní dokumentace jednotlivých materiálů. Tyto detailní dokumentace lze nalézt v katalogích výrobců nebo v našem případě můžeme využít počítačového softwaru CES, který detailní dokumentace nabízí. Nabízí také celkový souhrn vlastností daného materiálu, společně s číselnými hodnotami. Výběr bude proveden až na základě detailní dokumentace několika materiálů. Celá strategie výběru materiálu z hlediska funkčních vlastností produktu spočívá v tom, že z velkého množství materiálů dostaneme pouze několik, z nichž si pomocí detailní dokumentace vybereme ten nejlepší pro náš daný produkt.

Seznam použité literatury

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

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Vazby mezi počátkem návrhu a úplnou specifikací. [1]	5
Obr. 1.2 Technický systém. [1]	6
Obr. 1.3 Cesta postupu přes jednotlivé oblasti. [1]	7
Obr. 1.4 Konstrukční nástroje a údaje o materiálech. [1]	8
Obr. 1.5 Schéma vazeb mezi jednotlivými oblastmi. [1]	9
Obr. 1.6 Materiálové skupiny. [1]	10
Obr. 1.7 Schéma zpracování informací o materiálech. [1].....	10
Obr. 1.8 Sloupcová mapa pro youngův modul. [1]	12
Obr. 1.9 Obrazcová mapa pro youngův modul a hustotu. [1]	12
Obr. 1.10 Obrazcová mapa pro youngův modul a hustotu s podskupinami. [1].....	13
Obr. 2.1 Vzájemné propojení mezi jednotlivými částmi. Výběr je zde určen pomocí funkce.[1]	14
Obr. 2.2 Příklad strategie výběru produktu.[1]	15
Obr. 2.3 Příklad strategie výběru materiálu. [1].....	16
Obr. 2.4 Základní čtyři kroky výběru materiálu. [1]	17
Obr. 2.5 Schéma kombinace při určení materiálového indikátoru.[1]	19
Obr. 2.6 Schéma prutu. [1]	20
Obr. 2.7 Zakreslení limit do materiálové mapy.[1]	22
Obr. 2.8 Zakreslení řídicích přímek do materiálové mapy.[1]	23
Obr. 2.9 Zakreslení řídicí přímky a limity do materiálové mapy.[1]	23
Obr. 2.10 Zakreslení přímek o různé hodnotě indikátoru. [1].....	24
Obr. 3.1 Schéma mikrometru. [1]	26
Obr. 3.2 Materiálová mapa $\alpha - \lambda$. [1].....	27
Obr. 3.3 Schéma postupu v softwaru CES.	29
Obr. 3.4 Schémata postupu v softwaru CES.	30
Obr. 3.5 Schémata postupu v softwaru CES.	31
Obr. 3.6 Schémata postupu v softwaru CES.	31
Obr. 3.7 Základní materiálová mapa bez popisu.....	32
Obr. 3.8 Schéma panelu pro úpravu materiálové mapy.	32
Obr. 3.9 Kompletní materiálová mapa	33

Obr. 3.10 Materiálová mapa s vymezenou oblastní výběru	34
Obr. 3.11 Schéma nastavení omezení	35
Obr. 3.12 Materiálová mapa bez materiálů, které nevyhovovali omezení.....	35
Obr. 3.13 Detailní dokumentace od softwaru CES.	36
Obr. 3.14 Schéma chladicího zařízení pro mikročipy.[1]	36
Obr. 3.15 Materiálová mapa uvedená v příručce.[1].....	38
Obr. 3.16 Základní materiálová mapa ze softwaru CES bez popisu.....	38
Obr. 3.17 Schéma nastavení omezení, požadavku na dobré izolanty a provozní teploty.	39
Obr. 3.18 Schéma materiálové mapy s popisem a zakreslenými omezeními	40
Obr. 3.19 Schéma rozšíření materiálové mapy od výrobce softwaru.[1].....	41
Obr. 3.20 Schéma přepnutí materiálové mapy na rozšíření.	42
Obr. 3.21 Schéma materiálové mapy po rozšíření, bez popisu.	43
Obr. 3.22 Schéma materiálové mapy po rozšíření, společně s popisem.	43
Obr. 3.23 Schéma detailní dokumentace pro nitrid hliníku.	44
Obr. 3.24 Schéma detailní dokumentace pro nitrid křemíku.	44

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Funkce, omezení, cíle a volné proměné. [1]	18
Tabulka 2.2 Směrnice přímky C, materiálový indikátor a logaritmické vyjádření. [1].....	22
Tabulka 3.1 Funkce, omezení, cíle a volné proměné. [1]	25
Tabulka 3.2 Číselné hodnoty tepelné vodivosti a součinitele teplotní roztažnosti[1].....	28
Tabulka 3.3 Číselné hodnoty modulu pružnosti v tahu a hustoty[1]	28
Tabulka 3.4 Seřazení materiálů dle hodnot indikátorů [1].....	28
Tabulka 3.5 Funkce, omezení, cíle a volné proměné. [1]	37
Tabulka 3.6 Seřazení podle hodnot elektrického odporu a tepelné vodivosti.[1]	41