

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojírenství  
Studijní zaměření: 2301R016 Design průmyslové techniky

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Výběr ekologicky šetrných konstrukčních materiálů

Autor: **Michael PETR**  
Vedoucí práce: **Ing. Ivana MAZÍNOVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

# **--ZADÁNÍ--**

## **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.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce je legální.

V Plzni dne:

.....  
podpis autora

## **Autorská práva**

Podle zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoli nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

## **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Ivaně Mazínové, Ph.D. za skvělé vedení, cenné rady, čas a trpělivost. Dále bych rád poděkoval Pavle Vančurové za korekturu textu a podporu ve studiu, stejně tak rodině.

Nesmím zapomenout ani na konzultace od očního optika Pavla Maršíka, kterému též patří velký dík.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> <b>Petr</b>	<b>Jméno</b> <b>Michael</b>	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	<b>„Dopravní a manipulační technika“</b>		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Mazínová, Ph.D.	<b>Jméno</b> Ivana	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Výběr ekologicky šetrných konstrukčních materiálů		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODE- VZD.</b>	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	73	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	73	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS</b> (MAX. 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce se zabývá výběrem ekologicky šetrných materiálů k životnímu prostředí. Práce zkoumá spotřebu energie a produkci oxidu uhličitého pomocí databáze Ansys Granta EduPack.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> (ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE)	Ekologický audit, materiál, životní prostředí, životní cyklus, spotřeba energie, produkce oxidu uhličitého

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname <b>Petr</b>	Name <b>Michael</b>	
<b>FIELD OF STUDY</b>	“Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Mazínová, Ph.D.	Name Ivana	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Eco-Friendly Materials Selection in Mechanical Design		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KKS	<b>SUBMITTED IN</b>	2020
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (*A4 and eq. A4*)

<b>TOTALLY</b>	73	<b>TEXT PART</b>	73	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This bachelor thesis deals with eco-friendly materials selection for environment. The thesis researches energy consumption and production of carbon dioxide with help of Ansys Granta EduPack.
<b>KEY WORDS</b>	Eco audit, environment, material, life cycle, energy consumption, production of carbon dioxide

## Obsah:

<b>1. ÚVOD</b>	<b>7</b>
<b>2. MATERIÁLY VE STROJÍRENSTVÍ</b>	<b>8</b>
2.1 ZDROJE A SPOTŘEBA	9
2.2 ŽIVOTNÍ CYKLUS MATERIÁLU	12
2.3 SHRUTÍ	13
<b>3. METODIKA VÝBĚRU MATERIÁLU</b>	<b>14</b>
3.1 VÝBĚR KONSTRUKČNÍHO MATERIÁLU	15
3.2 SHRUTÍ	15
<b>4. EKOLOGICKÝ AUDIT</b>	<b>16</b>
4.1 VYUŽITÍ EKO-AUDITU	17
4.2 SHRUTÍ	18
<b>5. SYSTÉM ANSYS GRANTA EDUPACK</b>	<b>19</b>
<b>6. PŘÍPADOVÁ STUDIE</b>	<b>21</b>
6.1 ZADÁNÍ A VÝCHOZÍ PARAMETRY	21
6.2 EKOLOGICKÝ AUDIT	27
6.3 FÁZE 1 A 2: VÝROBA MATERIÁLU A PRODUKTU	29
6.4 FÁZE 3: DOPRAVA	32
6.5 FÁZE 4: POUŽÍVÁNÍ	33
6.6 FÁZE 5: LIKVIDACE	33
6.6.1 Potenciální energie	36
6.7 CELKOVÝ DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	37
6.8 ZÁVĚR PŘÍPADOVÉ STUDIE	38
<b>7. ZÁVĚR</b>	<b>39</b>
<b>8. SEZNAMY</b>	<b>40</b>
<b>9. CITOVANÁ LITERATURA</b>	<b>41</b>
<b>10. PŘÍLOHY</b>	<b>42</b>
10.1 PŘÍLOHA Č.1 MATERIÁLOVÉ LISTY	42
10.2 PŘÍLOHA Č.2 EKO-AUDITY	58

## 1. Úvod

Ekologie je v dnešní době velké téma. Téměř vše, co člověk vytváří, má vliv na životní prostředí. To samozřejmě souvisí i se strojírenstvím. Každá výroba má nějaký ekologický dopad. Ten můžeme měřit jako energii spotřebovanou při výrobě nebo jako množství CO<sub>2</sub>, které je během výroby vyprodukováno. Obecně bychom se měli snažit, aby spotřeba energie byla co nejnižší, stejně jako produkce CO<sub>2</sub>. Nejekologičtější řešení ale často nebývá nejlevnější a možná i proto je tento aspekt ve strojírenství často zanedbáván.

Cílem bakalářské práce je vysvětlit problematiku výběru konstrukčních materiálů z hlediska jejich vlivu na životní prostředí. K tomuto účelu je možné použít ekologický audit. Tato metoda by měla patřit k základním postupům při hodnocení dopadu na životní prostředí během konstrukčního procesu. V praxi je ale tento krok často zanedbáván nebo úplně přeskočen, přestože je poměrně rychlý a efektivní. Důvodem může být to, že metoda ekologického auditu není mezi konstruktéry příliš rozšířena. Proto bych chtěl svou práci na tuto problematiku upozornit.

Ekologický audit umožňuje zhodnocení jednotlivých fází výroby a nalezení optimální varianty z daných možností. Celková ekologická náročnost velmi záleží na vybraném materiálu. Proto se budeme věnovat i této problematice. Výběr ideálního materiálu je pro celkovou ekologickou zátěž velmi důležitý.

První část bakalářské práce bude zaměřena teoreticky na výběr konstrukčních materiálů, který bude doplněn i o stránku ekologickou. Nejprve se zaměříme obecně na materiály a na jejich životní cyklus od jejich získání až po likvidaci, který je velmi důležitý pro celou tuto práci. Další kapitoly se potom zabývají výběrem konstrukčních materiálů a rozšiřují výběr i o rozměr dopadu na životní prostředí – ekologický audit. K výběru nejvíce ekologického materiálu je možné použít databázi Ansys Granta EduPack, jejímž popisem je zakončena teoretická část.

Druhou část práce tvoří případová studie. U jednoho konkrétního výrobku vybereme několik materiálů, ze kterých by mohl být vyroben, a u všech provedeme ekologický audit. Postupně projdeme jednotlivé fáze, kterými výrobek prochází od získání materiálu až po likvidaci. U každé fáze zhodnotíme vliv na životní prostředí u jednotlivých materiálů. Na závěr vybereme varianty, které jsou z ekologického hlediska nejvíce a nejméně šetrné.

V praxi je samozřejmě do výběru materiálu zahrnuto mnohem více aspektů, než je zde uvedeno. Důležitá je i cena, dostupnost, vzhled a mnoho dalších vlastností, které se nedají zanedbat. Otázka vlivu na životní prostředí je ale v dnešní době velice důležitá a rád bych na ni touto prací upozornil.



## 2. Materiály ve strojírenství

Lidskou společnost vždy ovlivňovaly dostupné materiály. Příkladem toho je, že jednotlivé vývojové etapy lidstva dostaly název právě podle používaných materiálů:

- Doba kamenná (cca 3 miliony let př. n. l. – 4. tisíciletí př. n. l.)
- Doba bronzová (5000 – 3000 let př.n.l.)
- Doba železná (od 1500 let př.n.l. až do 20. století n.l.)

Pro název současné etapy se nabízí doba plastová, případně věk polymerů nebo molekulární věk.

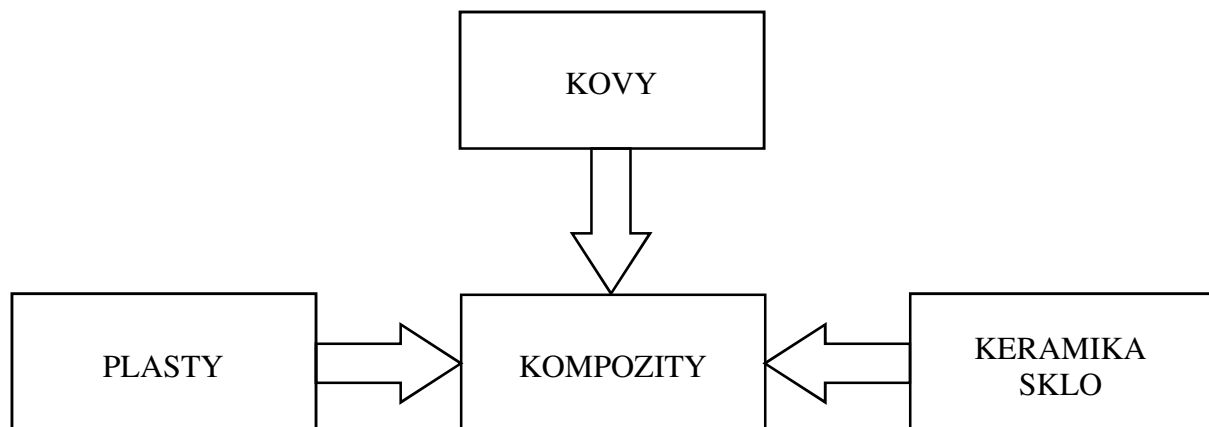
Vývoj technických věd a výroby bývá často omezen materiály a technologiemi zpracování, které jsou k dispozici konstruktérům v dané oblasti. Zatímco v polovině dvacátého století byla tvorba nových materiálů hlavně záležitostí metalurgů, dnes se jedná o fyziky, chemiky, inženýry, elektroniky a další odborníky. Materiály, které byly původně vyvinuty pro vojenskou technologii, vesmírný výzkum, sport atd., pronikají do běžné technické praxe. V současné době se diskutuje o „zlatém věku materiálů“ a zdůrazňuje se, že materiály jsou klíčem k inovaci v budoucnu.

V dnešní době mají inženýři k dispozici mnoho materiálů, jedná se asi o 40 000 až 80 000 různých materiálů. Přestože je snaha o standardizaci, aby se toto množství snížilo, tak vývoj nových materiálů množství opět zvyšuje. To je také jeden z důvodů, proč je výběr správného materiálu obtížný. Výběr materiálu je potřeba provádět s ohledem na požadované vlastnosti výrobku, dostupné technologie výroby a zpracování, cenu i jeho dopad na životní prostředí.

V současné době je možné dělit strojírenské konstrukční materiály podle obr. 1 do čtyř skupin, v každé skupině jsou vždy materiály s podobnými vlastnostmi, podobnými výrobními a zpracovatelskými technologiemi a často podobnými aplikacemi.

Základní rozdělení materiálů používaných ve strojírenství:

- Kovy železné a neželezné
- Plasty
- Keramika, sklo
- Kompozity



obr. 1 – Materiály ve strojírenství (vlastní tvorba)

Kovové materiály se vyznačují vysokými moduly pružnosti, možností zpevnění legováním a tepelným zpracováním. Kovy jsou dobře tvářitelné a houževnaté, s dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí. Odolnost proti korozi je u nich menší.

Keramické a skleněné materiály mají také vysoký modul pružnosti, ale jsou velmi křehké, což komplikuje jejich strukturální použití. Vyznačují se však vysokou tuhostí, tvrdostí, odolností proti otěru a lze je použít i při vysokých teplotách a mají vynikající odolnost proti korozi. Díky tomu jsou atraktivním konstrukčním materiálem.

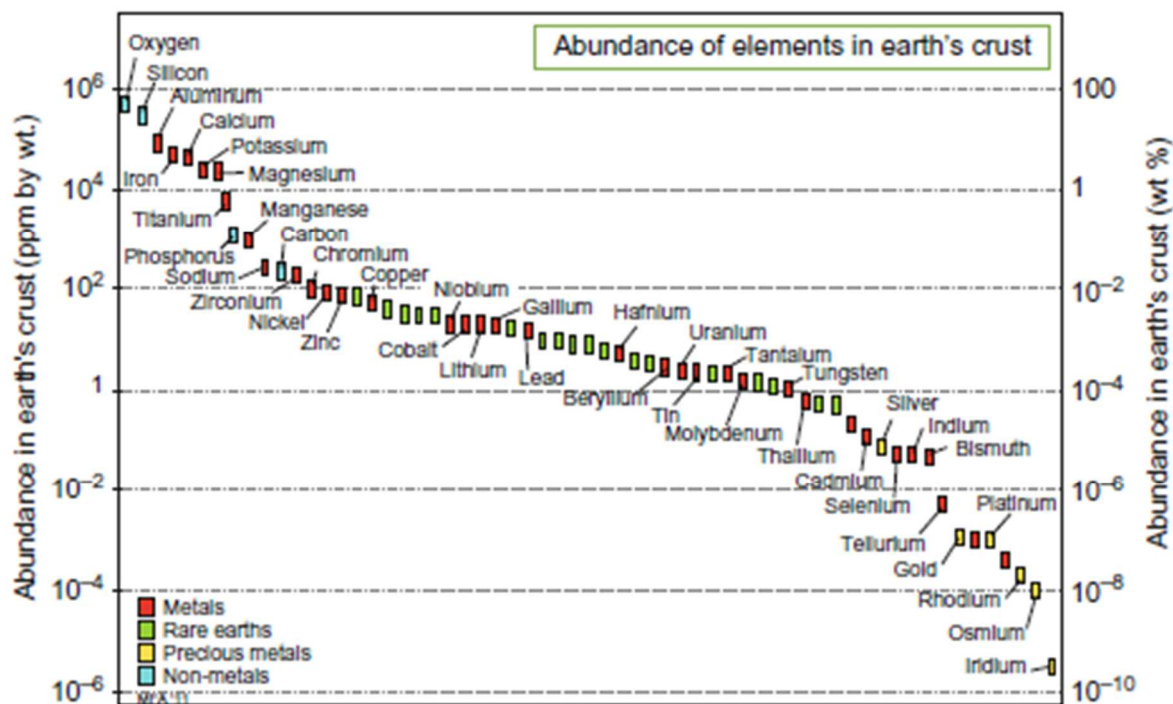
Moduly pružnosti u plastů jsou naopak nízké. Plasty jsou poměrně pevné a jejich hustota je také relativně nízká, a to je činí lehkými. Jejich vlastnosti jsou silně závislé na teplotě. Jsou velmi dobře tvarovatelné, odolné vůči korozi a jejich koeficient tření je nízký.

Kompozitní materiály kombinují vlastnosti materiálů, které je tvoří. Takto získáváme drahé materiály, které dominují vynikajícími užitnými vlastnostmi. Jeden z nejnámějších kompozitních materiálů je železobeton, je tvořen z ocelového drátu a betonu. Beton je sám o sobě kompozit složený z kameniva a cementu.

Podrobnější rozdělení materiálů do podskupin lze provést podle řady dalších kritérií, např. chemického složení, tvaru, vlastností, zpracování, průmyslových odvětví a také podle cenových rozpětí.

## 2.1 Zdroje a spotřeba

Máme k dispozici 92 použitelných prvků, které jsou převážně zastoupeny kovy. Pokud je chceme využít pro strojírenské účely, musíme těžit přirozeně se vyskytující minerály. Ty jsou většinou ve formě oxidů, sulfidů nebo uhličitánů. Těžit je možné ze zemské kůry, nebo z oceánů.



obr. 2 - Zastoupení jednotlivých prvků v zemské kůře (vlevo v miliontinách váhy, vpravo v procentech) (6 str. 17)

Osm prvků, které leží v horní části obr. 2 (kyslík, křemík, hliník, železo, vápník, draslík, hořčík a titan), představuje více než 98 % z celkového množství. Žádný jiný prvek nemá koncentraci vyšší než 0,1 %. Drahé kovy (žluté sloupce na obrázku), leží všechny pod 0,00001 %, což je hodnota pro stříbro.

Materiály se mohou velice pomalu vyplavovat a přemísťovat. K tomu dochází díky čtyřem neustále probíhajícím procesům. Mezi tyto procesy patří:

1. Sopečná aktivita – destiluje spodní roztavené materiály, odpařuje těkavé látky, následně se látky usazují a kondenzují.
2. Eroze – je přirozený proces rozrušování a transportu objektů na zemském povrchu pomocí větru a vody. Vzniklé částice jsou přemístěny na klidnější (bezvětrná) místa, kde se postupně díky gravitaci a vlastní hustotě oddělí a usadí.
3. Voda – rozpouští materiály v ní rozpustné. Pokud jsou dostatečně koncentrované, ukládají se díky odpařování.
4. Přírodní organismy – jsou schopny v sobě koncentrovat určité látky. Díky tomu může vznikat ropa, uhlí a ložiska plynu.

Spotřeba přírodních zdrojů materiálů zahrnuje i energii. Energie je spotřebovávána při výrobě, použití a likvidaci materiálu. Jednotkou energie je 1 Joule. Tato jednotka je definována jako práce, kterou vykoná síla 1 Newtonu na dráze 1 metru.

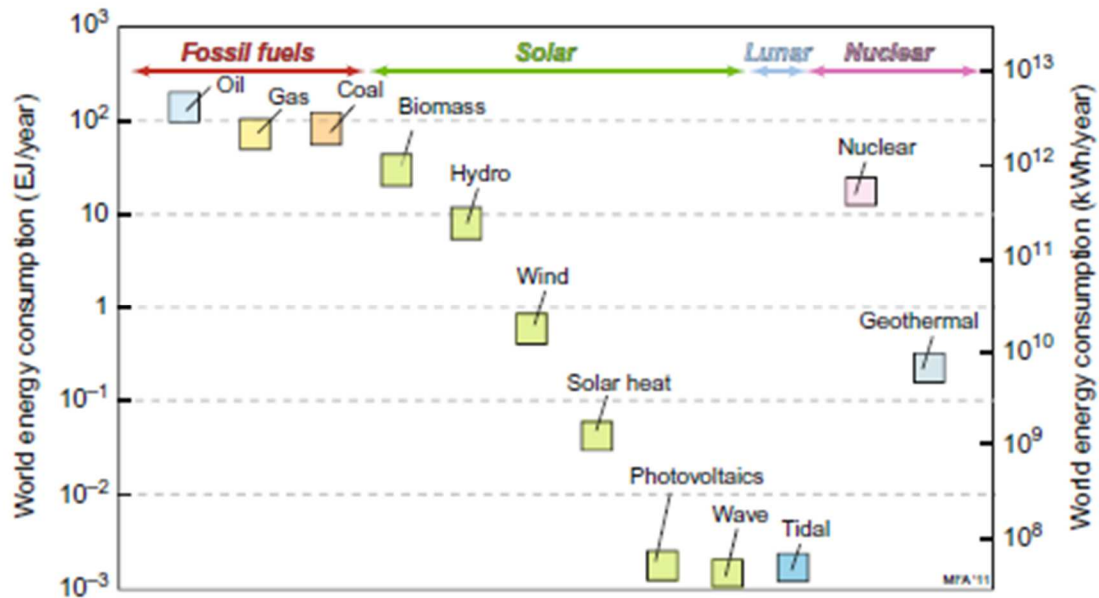
Díky zákonu o zachování energie víme, že energii nelze vyrobit ani zničit, lze ji pouze přeměnit na jiný druh energie. Během transformace energie vznikají převážně tepelné ztráty. Při vysokých teplotách lze toto ztrátové teplo využít například k ohřevu vody. Proto se u transformace energie zavádí účinnost  $\eta$ . Účinnost je vždy menší než 100 % a symbolizuje procento využitelné energie.

$$\mu = \frac{\text{energie získaná}}{\text{energie vložená}} [-]$$

Zdroje energie lze obecně rozdělit do 4 skupin: sluneční energie, měsíční energie, jaderná energie, fosilní paliva

1. Sluneční energie je považována za nevyčerpatelný zdroj energie. Tato energie je vytvářena jadernými transformacemi ve Slunci. Podle zákona o zachování energie je veškerá sluneční energie, která dopadá na Zemi, přeměněna na jinou formu. Toho lze využít např. ke tvorbě energie z fosilních paliv, větrné energie nebo geotermální energie.
2. Přílivové jevy jsou vnímány jako měsíční energie. V důsledku přílivových jevů je hladina moře stále v pohybu. To je způsobeno gravitační silou Měsíce, která přitahuje tělesa. Na odvrácené straně Země od Měsíce je gravitační síla menší než na straně přivrácené. Takto se vytvoří dvě vlny, na každé straně zeměkoule jedna (příliv a odliv).
3. Jaderná energie je energie vázaná na jádro atomu a může být uvolněna jadernými reakcemi. Nazývá se také atomová energie.
4. Mezi fosilní paliva patří ropa, zemní plyn a uhlí. Tyto suroviny se používají převážně jako palivo.

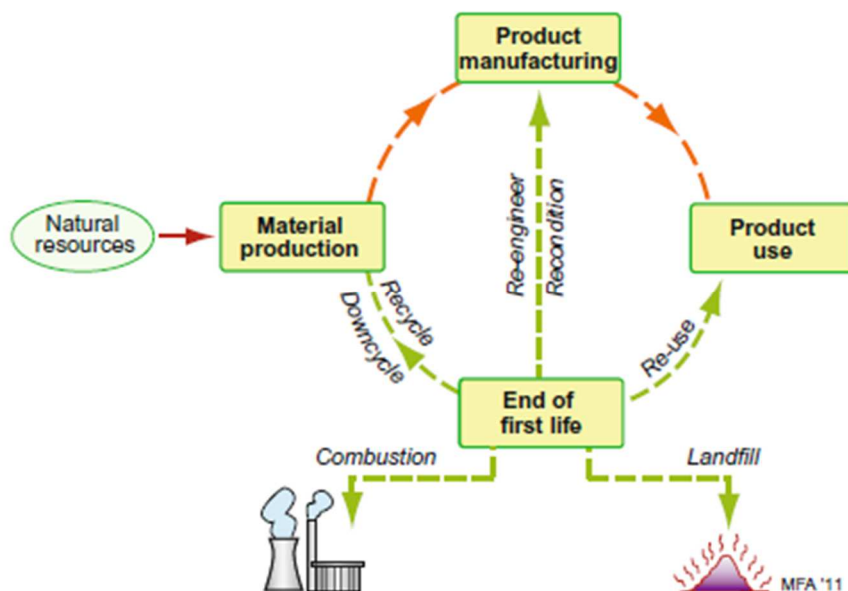
Fosilní paliva představují asi 86 % celkových energetických zdrojů, dalších 7 % představují jaderná paliva a zbývajících 7 % jsou zdroje poháněné Sluncem, jako je voda, vítr, biomasa, solární energie atd. Celkem je 21 % světové energie spotřebováno na těžbu materiálů a stejné procento přispívá k produkci emisí uhlíku do atmosféry. Zbytek energie se používá na dopravu, vytápění, osvětlení atd. Světová spotřeba energie za rok je vidět na obr. 3.



obr. 3 – Roční světová spotřeba energie (6 str. 21)

## 2.2 Životní cyklus materiálu

Životní cyklus materiálu (obr. 4) si lze představit jako mapu „života“ materiálu. Každý materiál je na začátku cyklu v surové formě, následně je zpracován do finálního výrobku. Výrobek je následně používán a opotřebováván tak dlouho, až materiál dosáhne své životnosti a výrobek je zlikvidován. Jen zlomek materiálů je zařazen do recyklační smyčky. Zbytek putuje do spaloven nebo na skládky.

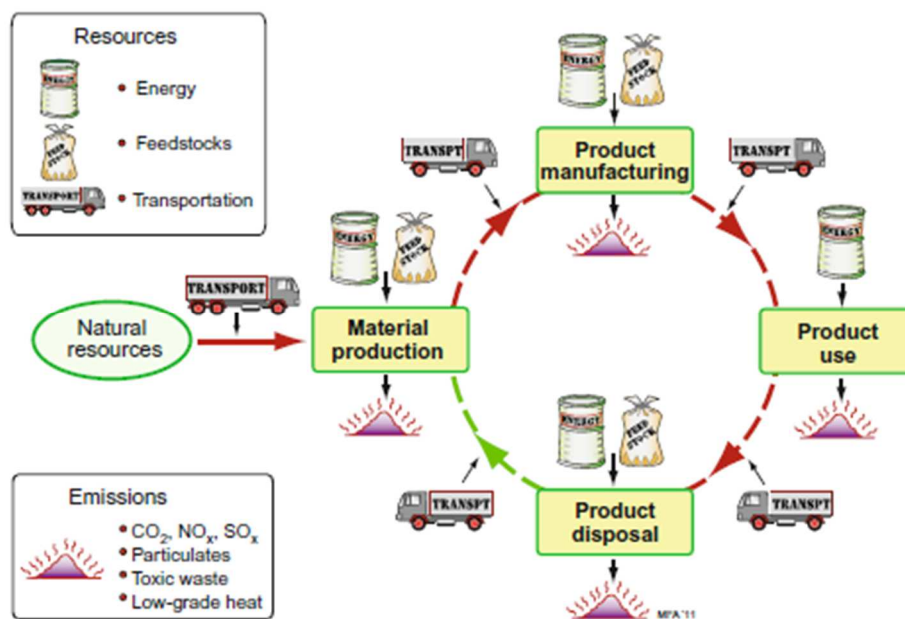


obr. 4 – Životní cyklus materiálu (4 str. 4)

Životní cyklus materiálu má tedy několik etap:

1. Získávání surovin
2. Výroba materiálu
3. Výroba produktu
4. Používání výrobku
5. Konec života produktu – likvidace

Správně zpracovaný návrh životního cyklu může snížit dopad na životní prostředí. V každé etapě jsou materiálu dodávány zdroje v podobě energií a surovin (obr. 5). Stejně tak každá etapa produkuje nějaký odpad. Ten může být ve formě plynů, kapalin, pevných částí a uniklého tepla. Nedílnou součástí životního cyklu je také doprava materiálu jak závodová, tak i regionální nebo mezinárodní. Případně transport již hotového výrobku z továrny do obchodu. Každá z uvedených přeprav má negativní vliv na životní prostředí. To je jeden z důvodů, díky kterým vznikl Kjótský protokol a Pařížská dohoda ke snížení skleníkových plynů.



obr. 5 – Životní cyklus zdrojů (6 str. 52)

## 2.3 Shrnutí

Dnešní doba nám nabízí obrovské množství konstrukčních materiálů a stále vznikají nové. To je samozřejmě výhodné, protože díky tomu lze najít ideální materiál, který vyhovuje všem požadovaným vlastnostem. Zároveň ale velké množství možností výběr komplikuje. Proto je důležité přehledné dělení do kategorií. Ve strojírenství se materiály běžně dělí do 4 skupin: kovy, plasty, keramika se sklem a kompozity. Materiály získáváme nejčastěji těžbou ze zemské kůry nebo z oceánů. S těžbou je svázaná energie, která je spotřebovávána i při výrobě, použití a likvidaci materiálu.

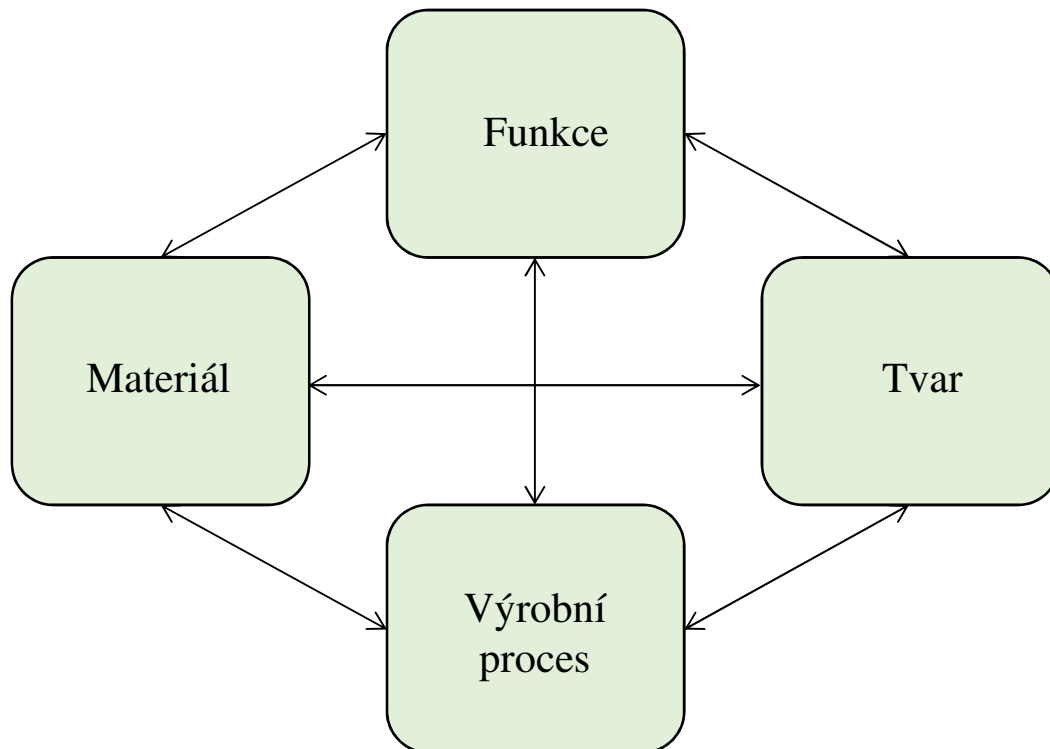
Důležitým nástrojem pro hodnocení konkrétního materiálu a výrobku je životní cyklus, který je rozdělen do jednotlivých etap. Cyklus materiálu začíná získáváním surovin. Dále se materiál hromadně zpracovává a vyrobí se z něj výsledný produkt, který je následně používán. Posledním krokem je likvidace. Tou může být materiál vyrazen z cyklu, nebo je obnoven a může se znovu použít. Mezi jednotlivými fázemi je materiál transportován. Během všech těchto fází i během transportu se spotřebovává energie a produkuje se CO<sub>2</sub>. Obě tyto složky jsou ukazatelem dopadu na životní prostředí.

### 3. Metodika výběru materiálu

Výběr materiálu souvisí se spojením čtyř základních znaků:

- Materiál
- Funkce
- Tvar
- Výrobní proces

Tyto 4 znaky se všechny navzájem ovlivňují (obr. 6).



obr. 6 – Volba materiálu (7 str. 23 upraveno)

Příklady interakcí mezi jednotlivými znaky:

- Pokud chceme dosáhnout nějakého *tvaru*, je nutné podrobit *materiál* procesům, které se obecně nazývají *výroba*. Patří sem primární procesy jako lisování, tváření, kování, obrábění atd. Další zpracování materiálu může být například: spojování lepením, svařováním.
- Výchozí *materiál* musíme volit i podle požadovaných *funkcí* produktu.
- Výběr *materiálu* ovlivňuje *výrobní procesy*, protože každý materiál má jiné *vlastnosti*. Přesnost, velikost a tvar požadovaného výrobku určuje výrobní proces.

Podobné interakce je možné najít mezi jakýmkoli dvěma znaky.

Dále se zaměříme na materiály. Každý materiál se vyznačuje vlastnostmi, jako je cena, hustota, pevnost nebo odolnost proti korozi. Požadavky konstruktéra pak budou například přijatelná cena, nízká hustota a vysoká pevnost. Je tedy důležité, aby vlastnosti materiálu co nejlépe odpovídaly požadované funkci. Na začátku výběru je zásadní začít se všemi dostupnými materiály. Jestliže tak neučiníme, může se stát, že promarníme šanci přijít s inovativním návrhem.



### 3.1 Výběr konstrukčního materiálu

Na počátku máme k dispozici všechny materiály, ze kterých můžeme vybírat. Dále postupujeme podle následujícího schématu:

1. Převedení konstrukčních požadavků – Nejprve si stanovíme, co od materiálu požadujeme. To vyjádříme pomocí funkce, omezení, cíle a volných proměnných.

Funkce:	Co součást dělá?
Omezení:	Jaké podmínky musí být splněny?
Cíl:	Co musí být minimalizováno a co naopak maximalizováno?
Volné proměnné:	Které parametry může konstruktér měnit?

2. Prověření pomocí omezení – Následuje první selekce. Porovnáme základní omezení s charakteristikami jednotlivých materiálových skupin. Ty, které nevyhovují základním požadavkům, z výběru rovnou vyřadíme.
3. Hodnocení pomocí cílů – Dále zjistíme, které materiály nám nejvíce vyhovují. Porovnávají se požadované vlastnosti s vlastnostmi materiálových skupin, podskupin a konkrétních materiálů, dokud nezískáme nejlepší shodu. Zaměříme se hlavně na stanovený cíl.
4. Dohledání dokumentace – Nakonec hlouběji zkoumáme cca 3 konkrétní materiály, u kterých dohledáme konkrétní parametry. Uděláme podrobnou rozvahu týkající se využití daných materiálů pro náš účel.
5. Výsledná volba materiálu – Díky získaným datům se vybere jeden konkrétní materiál, který je pro naše použití nejvhodnější.



### 3.2 Shrnutí

Výběr materiálu je ovlivněn čtyřmi základními znaky, kterými jsou vlastnost materiálu, funkce produktu, požadovaný tvar a výrobní proces. Tyto znaky se navzájem všechny ovlivňují. Při volbě materiálu tedy se musí brát ohled na všechny tyto aspekty.

Když vybíráme materiál, tak je dobré vybírat ze všech materiálů, které máme k dispozici, abychom našli ten nejvhodnější pro náš návrh. Výběr provádíme postupem, který je prezentován na obr.7.

obr. 7 – Postup výběru materiálu  
(7 str. 103 upraveno)



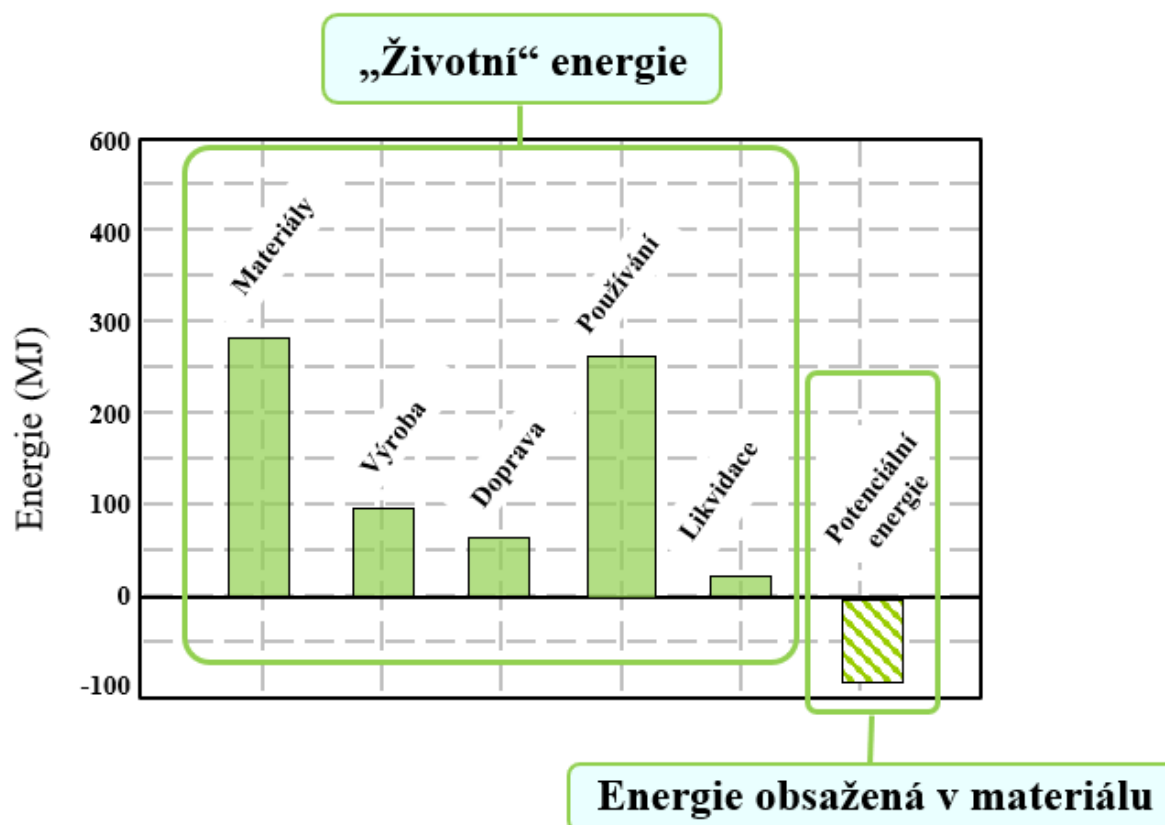
## 4. Ekologický audit

Ekologický audit je rychlý nástroj pro počáteční posouzení energetické náročnosti a emisí uhlíku. Jeho využití je nejuvhodnější při návrhu konceptu v konstrukčním procesu. Tímto nástrojem analyzujeme různé části života produktu a můžeme identifikovat fáze, ve kterých dochází k největším a nejzávažnějším dopadům na životní prostředí. Výstupem ekologického auditu je spotřeba energie nebo uhlíková stopa ze všech fází životního cyklu daného výrobku (obr. 8).

Jednotlivé kroky, při kterých se spotřebovává energie a produkuje oxid uhličitý, jsou následující:

1. Fáze výroby materiálu – U výroby materiálu jsou důležité informace z materiálových listů. Najdeme v nich parametry, které daný materiál charakterizují.
2. Fáze výroby produktu – V této fázi se audit zaměřuje na jednotlivé procesy výroby, které jsou obecně řazeny mezi nejnáročnější energetické části.
3. Fáze dopravy – Tato fáze určuje energetickou náročnost nebo emise během přepravy výrobků z místa výroby až do místa distribuce.
4. Fáze používání – U fáze používání musíme rozlišovat dva druhy výrobků:
  - a) Za první druh se považují výrobky, které nemění polohu, zůstávají na místě během provozu. Do této kategorie spadají výrobky, které potřebují k provozu například elektrický proud, benzín nebo jiné prostředky nutné k používání. Příkladem může být plynové topidlo, fén na vlasy nebo rychlovarná konvice.
  - b) Výrobky, které jsou připojeny k nějaké transportní jednotce, nebo jsou její součástí, patří do druhého druhu. Přidáním výrobku se totiž zvyšuje váha transportní jednotky, čímž je i zvyšována spotřeba energie a produkce CO<sub>2</sub>. Pod tímto popisem si lze představit třeba nárazník u automobilu.
5. Fáze likvidace – Touto fází se ukončuje životní cyklus. Na konci životnosti výrobku máme pět možností, jak tento produkt zlikvidovat:
  - a) Skládka
  - b) Spalování
  - c) Recyklování
  - d) Opětovné použití
  - e) Re-inženýring (přetvoření)

Z připraveného kusovníku, který je pro ekologický audit nezbytný, stanovíme hmotnosti materiálů jednotlivých komponent, ze kterých je produkt vyroben. Dále u výroby potřebujeme znát technologii a u dopravy způsoby přepravy a vzdálenosti. U fáze používání musíme rozhodnout, o jaký druh výrobku se bude jednat. Druh likvidace je také velice důležitý. Výrobek má totiž v sobě uloženou energii a část této energie lze získat zpět. Příkladem může být likvidace spalováním. Tím se získá tepelná energie, ale zároveň se produkuje oxid uhličitý.



obr. 8 - Příklad výstupu z ekologického auditu (3 str. 7 upraveno)

#### 4.1 Využití eko-auditů

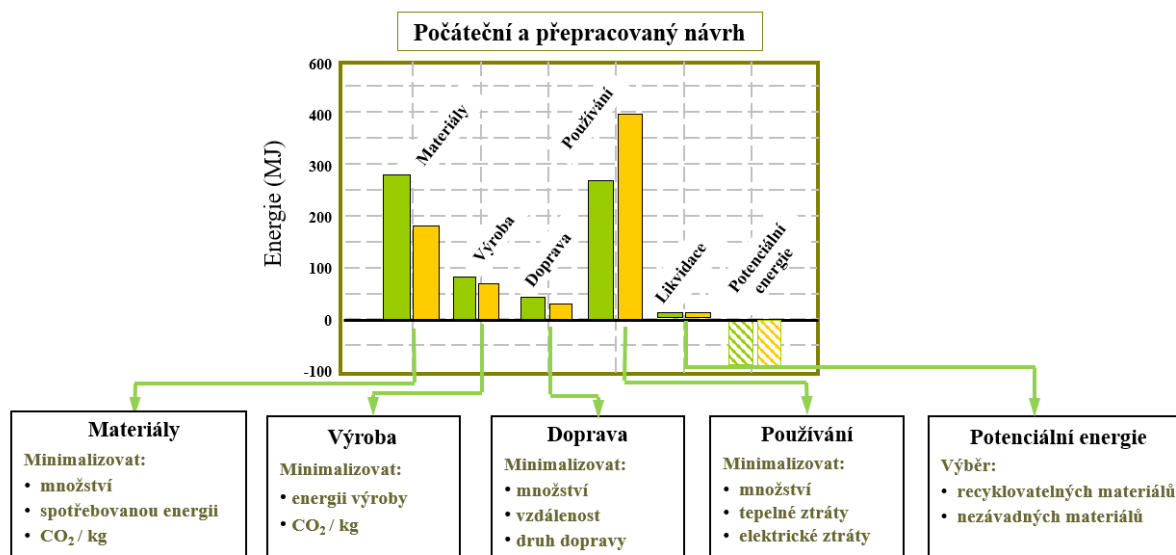
Díky eko-auditů lze snadno zjistit, která fáze životního cyklu má u daného výrobku nejhorší vliv na životní prostředí. Tuto nejhorší fázi je možné podrobněji prozkoumat a navrhnout nové ekologičtější řešení. Tento proces je možno rozdělit na následující kroky:



obr. 9 – Postup při práci s eko-auditem (4 str. 5 upraveno)

1. Eko-audit – Ekologickým auditem v systému Ansys Granta EduPack lze zjistit energetickou a emisní náročnost jednotlivých fází.
2. Analýza výsledků a určení priorit – Je potřeba zanalyzovat výsledky z ekologického auditu, určit si priority a stanovit cíle. Zjednodušeně se dá říct, že se vybere fáze s nejvyšším ekologickým dopadem, kterou by bylo možné změnit.
3. Prozkoumání možností metodou „Co když“ – Každá fáze výroby má určité parametry, které se dají minimalizovat, a tím snížit i dopad na životní prostředí. Snížením některých

parametrů ale může dojít ke zvýšení ekologické náročnosti v jiných krocích. To je vidět na obr. 10, kde změna materiálu vede k větší náročnosti během používání. Metodou „Co když“ se hledá nejvhodnější kompromis. Dále se mění různé parametry a poté se hodnotí celkový dopad na životní prostředí.



obr. 10 – Aplikace metody „Co když“ (4 str. 5 upraveno)

- Zkoumání v systému Ansys Granta EduPack (dříve CES Edupack) – Pomocí databáze Ansys Granta EduPack je možné vybrat nové materiály a/nebo procesy. Provede se kompletní analýza a zhodnotí se celkový vliv na životní prostředí u jednotlivých variant.
- Doporučení nového řešení – Ze zkoumaných možností je vybrána ta nejvýhodnější a posoudí se úspory, které by nové řešení přineslo oproti stávajícímu. Pokud je výsledek neuspokojivý, proces se zopakuje.

## 4.2 Shrnutí

Ekologický audit je rychlý nástroj pro posouzení jednotlivých materiálů z hlediska energie a uhlíkové stopy. Energie a uhlíková stopa jsou posuzovány v jednotlivých fázích životního cyklu: výroba materiálu, výroba produktu, doprava, používání a likvidace. Nejdůležitější věcí pro ekologický audit je kusovník s přesnou specifikací materiálů a hmotnostmi jednotlivých komponent. Ekologický audit se provádí v systému Ansys Granta EduPack, ve kterém je možno zjistit energetickou a emisní náročnost jednotlivých fází. Jednotlivé fáze se začnou analyzovat a následně zkoumat metodou „Co když“ a tak se docílí optimálního řešení.

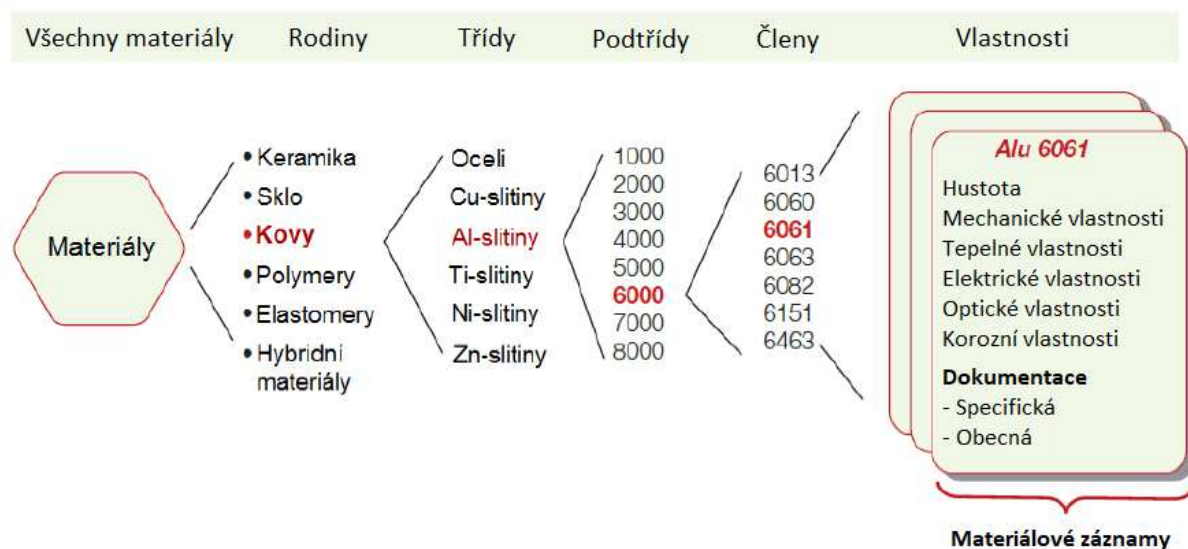
## 5. Systém Ansys Granta EduPack

Ansys Granta EduPack (dříve CES Edupack), vytvořený společností Granta Design Limited, je jedinečná databáze výukových zdrojů, které podporují studijní materiály napříč inženýrstvím, designem, vědou a udržitelným rozvojem. Na databázi se podílí mnoho odborníků na materiály, kteří každoročně kontrolují a aktualizují údaje o materiálech a procesech. Pokud materiálové údaje nelze získat z publikovaných (nebo měřených) zdrojů, jsou odhady vypočteny (a jasně označeny) tak, aby nedošlo ke ztrátě potenciálních materiálových možností kvůli chybějícím vlastnostem ve studiích výběru.

V systému Ansys Granta EduPack lze:

- Procházet databázi materiálů
- Zmapovat materiály pomocí materiálových map
- Na základě materiálových map systematicky rozhodovat o vhodných materiálech
- Vyhodnocovat dopad na životní prostředí
- Zkoušet možné nové scénáře návrhu v závislostech na volbách materiálů a procesů

Obrázek 11 ukazuje, jak dlouhá a komplikovaná je cesta ke konkrétnímu materiálu. Databáze materiálů je rozdělena do rodin, tříd, podtříd a členů. Každý člen je charakterizován různými vlastnostmi. Na obrázku je toto rozdělení znázorněno pro hliníkovou slitinu Alu 6061. Tento člen je charakterizován řadou vlastností, jako jsou hustota, mechanické, tepelné, elektrické vlastnosti a další. Další parametry jsou cena materiálu a jeho dostupnost, jakož i možnosti zpracování.

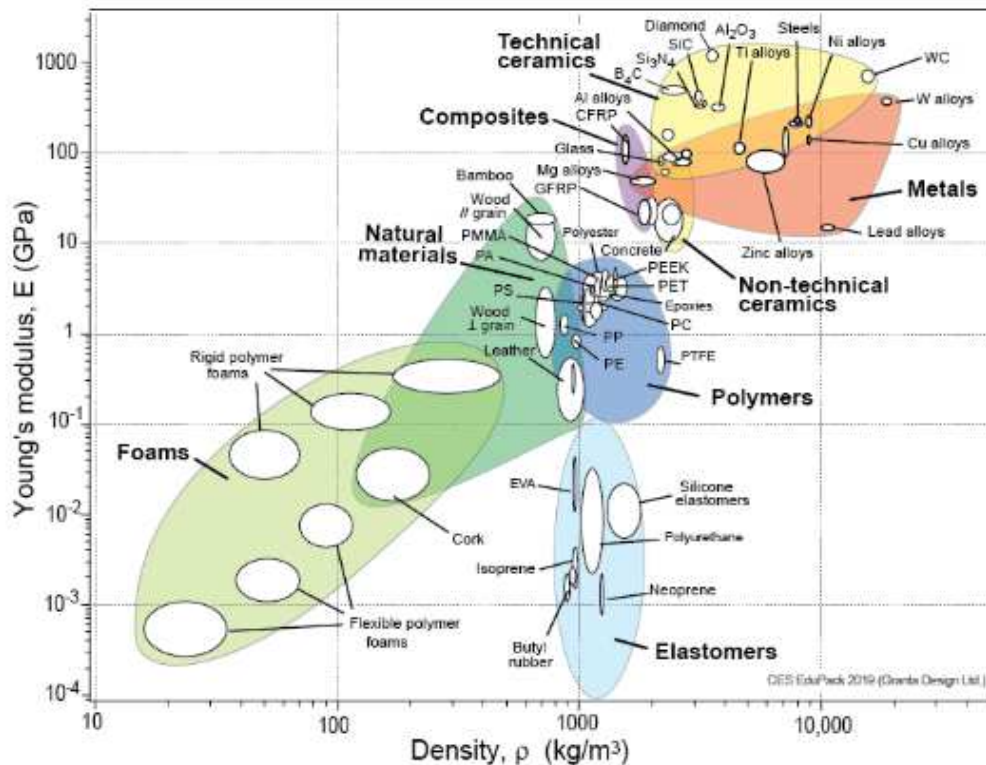


obr. 11 – Řazení materiálů v systému Ansys Granta EduPack (7 str. 100 upraveno)

Systém disponuje materiálovými mapami, které jsou výborným pomocníkem při výběru správného konstrukčního materiálu.

Materiálové mapy jsou grafy, kde jsou zkoumané vlastnosti vykresleny na jednotlivých osách. Podle vlastností materiálu je zvolena správná metoda pro jeho zpracování.

Na obrázku 12 jsou jednotlivé materiály vyneseny do tvaru bublin (barevné rodiny a bílé třídy), kde jejich šířka a výška ukazují rozsah hodnot, ve kterých se pohybují všechny materiály dané skupiny. Graf na obrázku demonstruje závislost modulu pružnosti v tahu (též Youngův modul) na hustotě. Jelikož by se všechny materiály do grafu vhodně nevešly, tak je použito logaritmického měřítka. Systém umožňuje jak změnu proměnných na osách (například závislost uhlíkové stopy na ceně), tak i prokládání grafů přímkami s materiálovými indexy, díky kterým poznáme, že materiály nad nebo pod jsou vhodnými kandidáty. Tímto způsobem lze vykreslit všechny materiály.



obr. 12 – Materiálová mapa – závislost Youngova modulu na hustotě (1)

## 6. Případová studie

Cílem této studie je aplikovat získané znalosti z předchozích kapitol na konkrétní zadání. Předmětem zkoumání budou dioptrické brýle. Snahou bude najít brýle s nejmenším a největším dopadem na životní prostředí použitím postupů vysvětlených výše. Konkrétně bude hodnocena spotřeba energie a produkce CO<sub>2</sub> v průběhu životního cyklu.

### 6.1 Zadání a výchozí parametry

Oční optika požaduje brýle pro každodenní nošení s konkrétní konstrukcí (obr. 13, 14). Konstrukce nabízí změnu dioptrických brýlí na sluneční pomocí odnímatelné části (dále clipů). Tato část je k brýlím přichycena pomocí magnetů. Snahou bude vytvořit brýle, které budou maximálně šetrné k životnímu prostředí. Je možné měnit materiály čoček a obrouček.

Kusovník se skládá z těchto částí:

- 1x obruba
- 2x nožička
- 2x drát k nožičce
- 2x guma k nožičce
- 2x kloub
- 2x šroub
- 2x matice
- 2x sklo (brýle)
- 4x magnet
- 1x clipy
- 2x sklo (clipy)



obr. 13 – Rozstřel sestavy brýlí (vlastní tvorba v syst. Solid Edge 2019)



obr. 14 – Brýle pohled (vlastní tvorba v syst. Solid Edge 2019)

Po konzultaci s očním optikem jsem zjistil, které materiály se pro výrobu hodí a vybral jsem tyto čtyři, které budou podrobněji zkoumány.

- Nylon – Polyamid (PA) je syntetický termoplast. Je pevný, houževnatý, dobře tvarovatelný a odolný proti opotřebení, chladu i teplu. Díky svým vlastnostem je vhodný pro sportovní a ochranné brýlové obruby. Své vlastnosti si zachovává do 80 °C. Pro svou pevnost je vhodný pro výrobu punčochového zboží, rybářských vlasců, strun, lan, hnacích řemenů, dopravních pásů a kordových vláken do pneumatik. Většina polyamidů se snadno barví, proto mohou vznikat různé barevné varianty.
- Dřevo – Dřevo je oblíbeným hypoalergenním materiálem hlavně pro svou dostupnost, snadné zpracování a dobré mechanické vlastnosti. Obzvláště poměr pevnosti a hmotnosti je dobrý. Dřeviny tak překonávají většinu ostatních materiálů. V řadě vlastností jsou druhy jednotlivých stromů tak odlišné, že je lze považovat za různé materiály. Pro výrobu celých brýlových obrub se používá převážně dřevo tvrdé (např. dub, buk, borovice, ořech, eben), takový kus je vyroben ručně a přesně přizpůsoben konkrétnímu zákazníkovi, což se samozřejmě může odrazit i na ceně. Některé druhy dřev mohou obsahovat barviva, která mohou v místě kontaktu s pokožkou barvit. Tomu však lze předejít povrchovou úpravou.
- Hliník – Čistý hliník je velmi měkký a ohebný. Vzhledem k těmto vlastnostem se skvěle hodí pro výrobu masivních obrub. Díky chemické anodizaci se aluminium může černě, hnědě, nebo zlatě zbarvit. V přírodě se hliník nejčastěji vyskytuje v podobě sloučenin. Bauxit je nejběžnější hliníková hornina. Slitiny hliníku se vyznačují lepšími vlastnostmi pro další průmyslové zpracování. Jsou lehké, mají nízkou hustotu a odolávají korozi. Mimo hliníku obsahují železo, křemík nebo titan. Velmi dobře se svařují, výjimkou je hliníková slitina zvaná Dural, která vyžaduje speciální atmosféry a tavidla.
- Epoxidová pryskyřice – Epoxidy (EP) jsou dobře tvarovatelné, mají dobrou odolnost vůči teplu a odolnost vůči chemickým látkám. Čistá pryskyřice se používá jako lepicí hmota k výrobě modelů, přípravků, šablon, sportovních potřeb i lepidel. Vzhledem k jeho schopnosti lepení je možné použít například drcený odpad z plastů pro tvorbu



netradičních vzorů nebo pigmenty pro větší barevnou pestrost (viz obr. 13). Plnivem kromě odpadů mohou být skleněná nebo uhlíková tkanina. Kompozitní epoxidové materiály s plnivem mají vyšší tvarovou pevnost.



*obr. 15 – Barevná varianta epoxidových brýlí (vlastní tvorba v syst. Solid Edge 2019)*

Na výrobu čoček se také dají použít různé materiály. Mezi běžně používané patří:

- Skleněné čočky – jsou čočky vyrobené z minerálního skla. Díky své výjimečné odolnosti proti poškrábání mají na trhu své místo dodnes. Rovněž potěší levnější nákupní cenou oproti plastovým čočkám.
- Plastové čočky – známé také jako organické čočky – se v současnosti používají ve všech typech brýlí a jsou také nejlepší pro sportovní a dětské brýle. Přednosti plastových čoček jsou: malá hmotnost, vysoká odolnost proti rozbití a roztržení. To je důležitá bezpečnostní výhoda v mnoha každodenních situacích. Nevýhodou ve srovnání se skly minerálními je malá odolnost proti poškrábání. Konkrétním materiálem je například polycarbonát (PC).



Kombinací různých materiálů pro obroučky a skla vznikne 8 variant brýlí, ze kterých budou vybrány ty nejvíce šetrné k životnímu prostředí.

1 a) konstrukce z nylonu – skla skleněná

1 b) konstrukce z nylonu – skla plastová



*obr. 16 – Brýle z nylonu (vlastní tvorba v syst. Solid Edge 2019)*

2 a) konstrukce ze dřeva – skla skleněná

2 b) konstrukce ze dřeva – skla plastová



*obr. 17 – Brýle ze dřeva (vlastní tvorba v syst. Solid Edge 2019)*

3 a) konstrukce z hliníku – skla skleněná

3 b) konstrukce z hliníku – skla plastová



*obr. 18 – Brýle z hliníkové slitiny (vlastní tvorba v syst. Solid Edge 2019)*

4 a) konstrukce epoxidová – skla skleněná

4 b) konstrukce epoxidová – skla plastová



*obr. 19 – Brýle z epoxidové pryskyřice (vlastní tvorba v syst. Solid Edge 2019)*

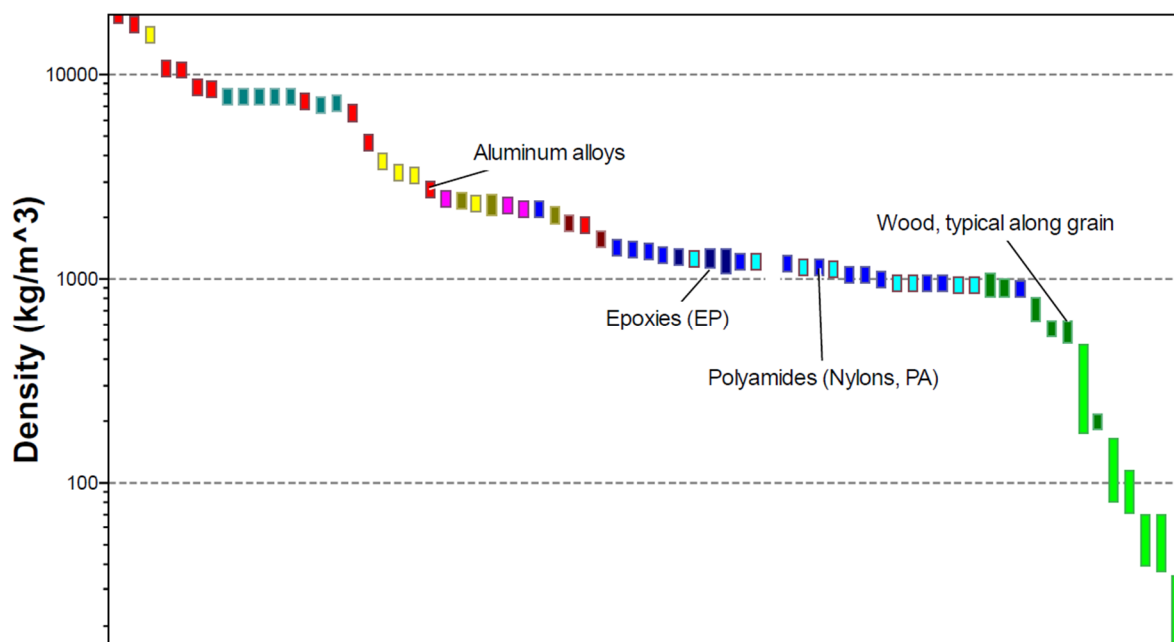
Pro práci s jednotlivými variantami je třeba znát objemy jednotlivých kusů, ze kterých jsou brýle sestaveny (Tabulky 1, 2). Objemy vypočítal software Solid Edge 2019 od společnosti SIEMENS, stejně tak udal předvolené hustoty použitých materiálů. Díky znalosti objemů a hustot používaných materiálů (obr. 20) lze vypočítat hmotnost. Předefinování jednotlivých součástí by ale bylo v tomto programu zbytečně zdlouhavé. Pro usnadnění jsem tedy využil systém office EXCEL 365.

díl	objem mm <sup>3</sup> /ks	objem m <sup>3</sup> /ks
obruba	5378,125	5,38E-06
nožička	911,847	9,12E-07
drát k nožičce	129,118	1,13E-07
guma k nožičce	1062,968	1,06E-06
kloub	17,81	1,78E-08
šroub	14,797	1,48E-08
matic	3,964	3,96E-09
sklo (brýle)	2694,45	2,69E-06
magnet	3,20E+01	3,20E-08
clipy	4429,809	4,43E-06
sklo (clipy)	2694,45	2,69E-06

materiál	hustota kg/m <sup>3</sup>
nylon – PA	1220
dřevo ořech	551
hliník	2712
epoxidová pryskyřice	1300
silikon	1110
nízkouhlíková ocel	7850
plastové čočky – PC	1340
skleněné čočky	2595

Tabulka 1 – Objemy dílů (vlastní tvorba)

Tabulka 2 – Hustoty materiálů (vlastní tvorba)



obr. 20 – Hustota čtyř hlavních materiálů (vlastní tvorba v syst. Ansys Granta EduPack)

Výpočet hmotnosti:  $m = \rho * V$

Pro výpočet v základních jednotkách se používá hustota  $\rho$  v kilogramech na metr krychlový [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] a objem  $V$  v metrech krychlových [ $\text{m}^3$ ]. Výsledkem je hmotnost  $m$  v kilogramech [ $\text{kg}$ ] (Tabulka 3).

Váhy brýlí	
varianty	sumy [kg]
1 a	4,63E-02
2 a	3,86E-02
3 a	6,37E-02
4 a	4,73E-02
1 b	3,28E-02
2 b	2,50E-02
3 b	5,02E-02
4 b	3,37E-02
nejtěžší 3 a	6,37E-02
nejlehčí 2 b	2,50E-02

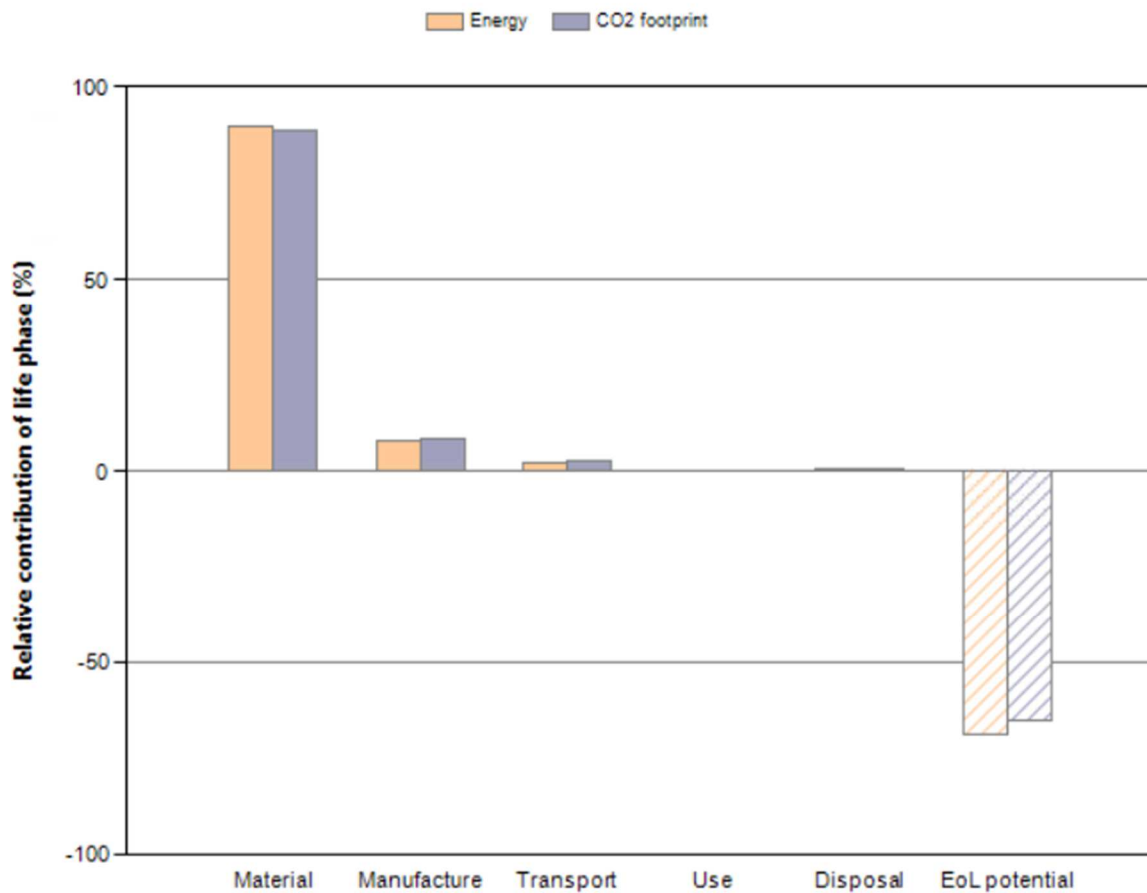
Tabulka 3 – Váhy variant brýlí (vlastní tvorba)

## 6.2 Ekologický audit

U všech variant je nejprve potřeba udělat ekologický audit v databázi Ansys Granta EduPack. Ten se musí provést jednotlivě pro všechny varianty brýlí, a to nejen pro různé druhy materiálů, ale i pro rozdílný způsob dopravy. To znamená, že jsou 4 typy obrouček, 2 typy čoček a 2 způsoby dopravy – po roznásobení vyjde celkový počet možností:

$$4 * 2 * 2 = 16$$

Celkem je tedy 16 různých variant a u každé z nich je potřeba provést ekologický audit. Ten může dopadnout třeba jako graf na obr. 21 (ostatní grafy v příloze č. 2).

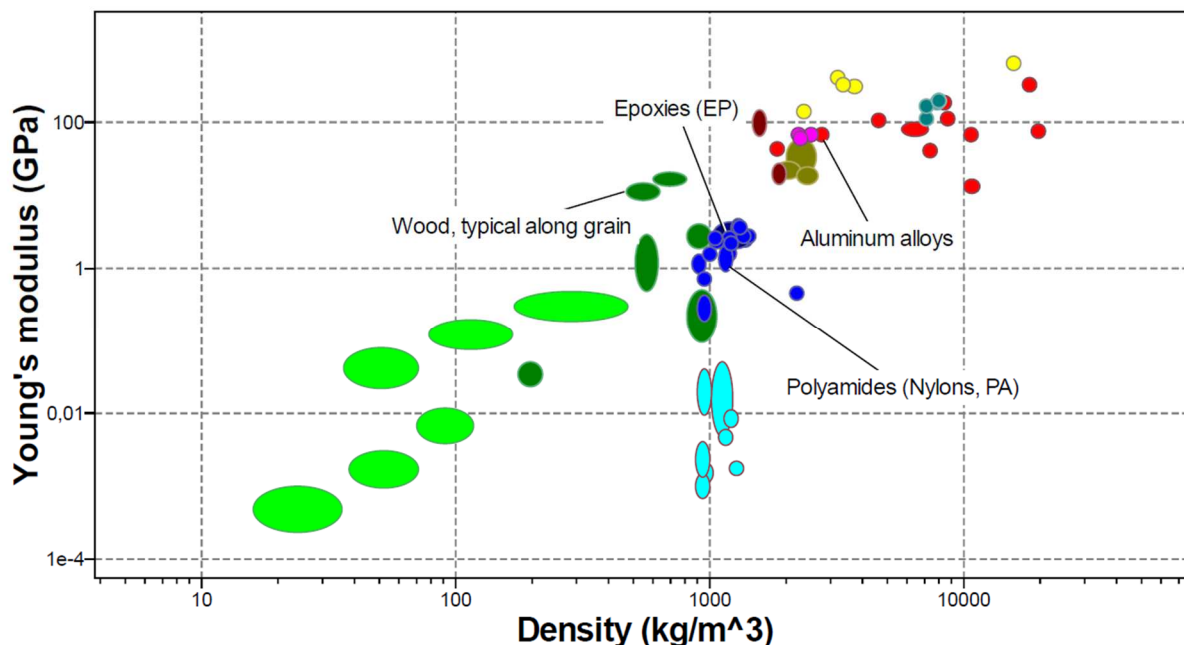


obr. 21 – Eko-audit relativního přínosu varianty 3b (hliníková konstrukce, plastové čočky) + zahraniční doprava (vlastní tvorba v syst. Ansys Granta EduPack)

Ekologický audit znázorňuje relativní přírůstek každé životní fáze v procentech. Díky tomu je možné zjistit, která část cyklu je ekologicky nejnáročnější. V tomto případě se jedná o fázi materiálu. Změna materiálu by tedy mohla ovlivnit celkový dopad. Nezanedbatelnou položkou je i výroba, která se taktéž může u různých materiálů lišit. Naproti tomu transport a likvidace tvoří poměrně malé procento. Jelikož brýle nepotřebují žádný zdroj energie k užívání, ani nejsou připojeny k žádnému přístroji (viz druhy výrobků v kap. 4), je fáze používání nulová. To potvrzují i další grafy pro jiné varianty brýlí v přílohách č. 2.

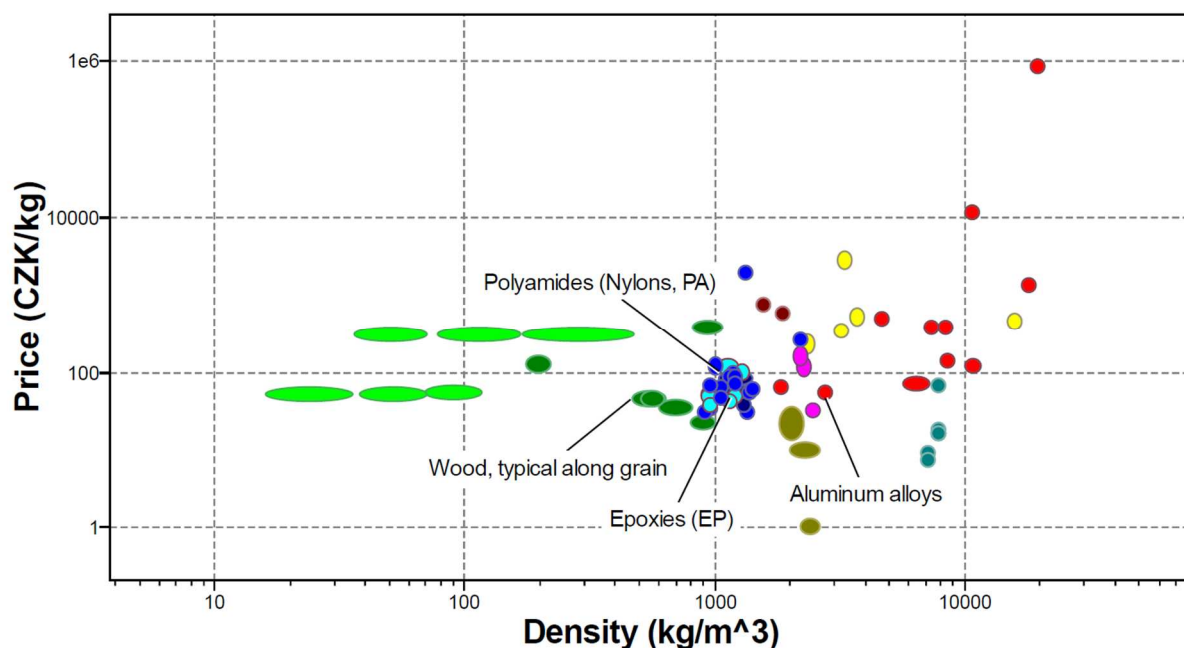
V dalších kapitolách budou podrobněji probrány jednotlivé fáze životního cyklu.

### 6.3 Fáze 1 a 2: Výroba materiálu a produktu



obr. 22 – Graf závislost Youngova modulu na hustotě (vlastní tvorba v syst. Ansys Granta EduPack)

Materiálové mapy vytvořené systémem Ansys Granta EduPack (obr. 22, 23) umožňují zkoumat různé parametry materiálů, s kterými konstruktér pracuje (např. hustota, Youngův modul pružnosti, cena, aj.). Každý parametr ovlivňuje výrobek nějakým způsobem, hustota ovlivňuje hmotnost výrobku, cena dostupnost a Youngův modul pružnosti tuhost. Materiály s větším modulem pružnosti se deformují méně. Jelikož jsou vyžadovány odolné a lehké brýle, tak je nutné najít materiály s vysokým modulem pružnosti a nízkou hustotou. Tyto informace jsou pro konstruktéra velmi důležité např. pro ověřování deformací.



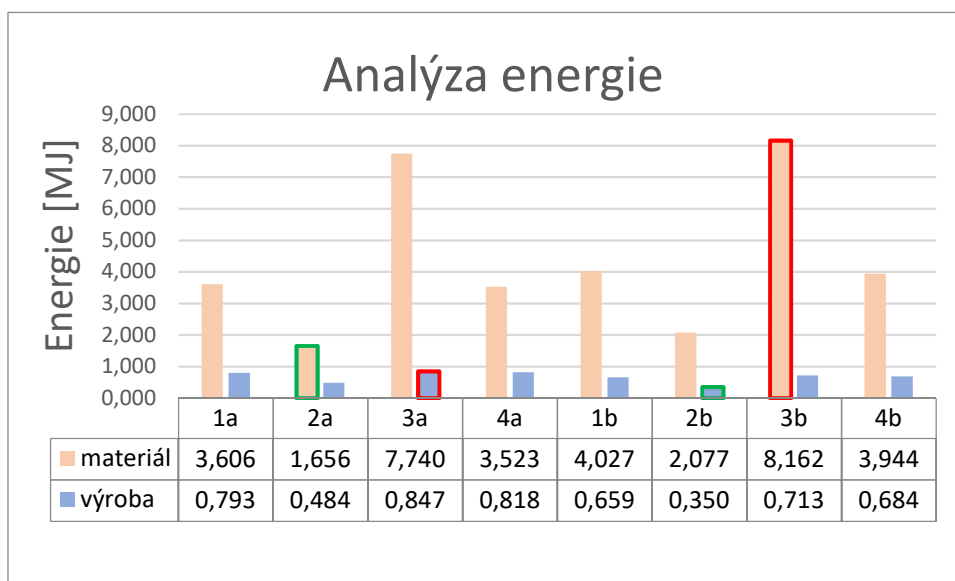
obr. 23 – Graf závislosti ceny na hustotě (vlastní tvorba v syst. Ansys Granta EduPack)

Z grafu (obr. 23) je patrné, že cenové rozdíly mezi jednotlivými vybranými materiály nejsou tak markantní, jak se mohlo zprvu zdát. To dokazují i informace z materiálových listů, které se nacházejí v příloze č. 1. Celkově se cena materiálů pohybuje od 16,6 – 212 CZK/kg. Zajímavé zjištění je, že podobné brýle, které váží kolem 32 gramů, stojí kolem 5000 CZK. Takto vysoká cena je nejspíše způsobena náročností výroby.

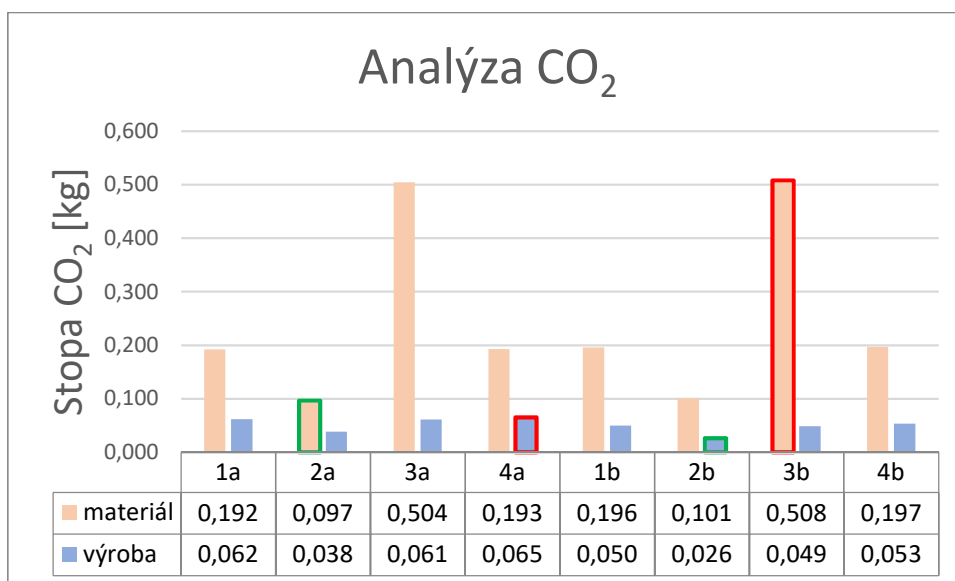


*obr. 24 – Velmi podobné brýle na váze (vlastní tvorba)*

Materiál a výroba ovlivňují životní cyklus nejvíce. V grafech 1 a 2 jsou vidět hodnoty fáze výroby materiálu a výroby produktu pro všechny varianty brýlí. Nejméně ekologické (ať už po stránce spotřeby energie nebo produkce CO<sub>2</sub>) jsou varianty s hliníkovou konstrukcí (3a a 3b). Jako nejlepší se jeví dřevěné brýle (2a a 2b). Různé materiály čoček jsou důvodem rozdílných hodnot mezi oběma variantami dřevěných a také hliníkových brýlí. Skleněné čočky jsou šetrnější ve fázi výroby materiálu a plastové ve fázi výroby produktu.



Graf 1 - Analýza energie výroby materiálu a výroby produktu (vlastní tvorba)

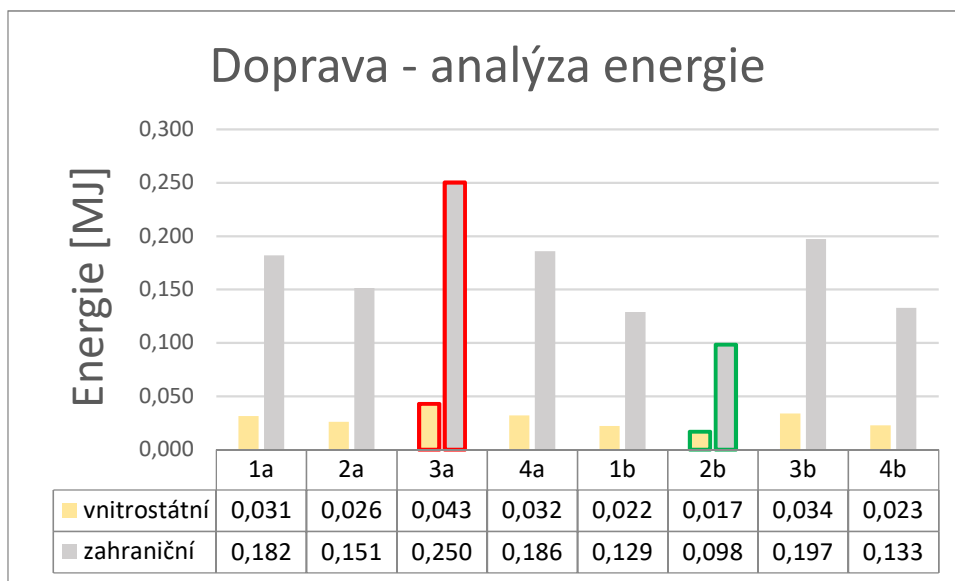


Graf 2 - Analýza CO<sub>2</sub> výroby materiálu a výroby produktu (vlastní tvorba)

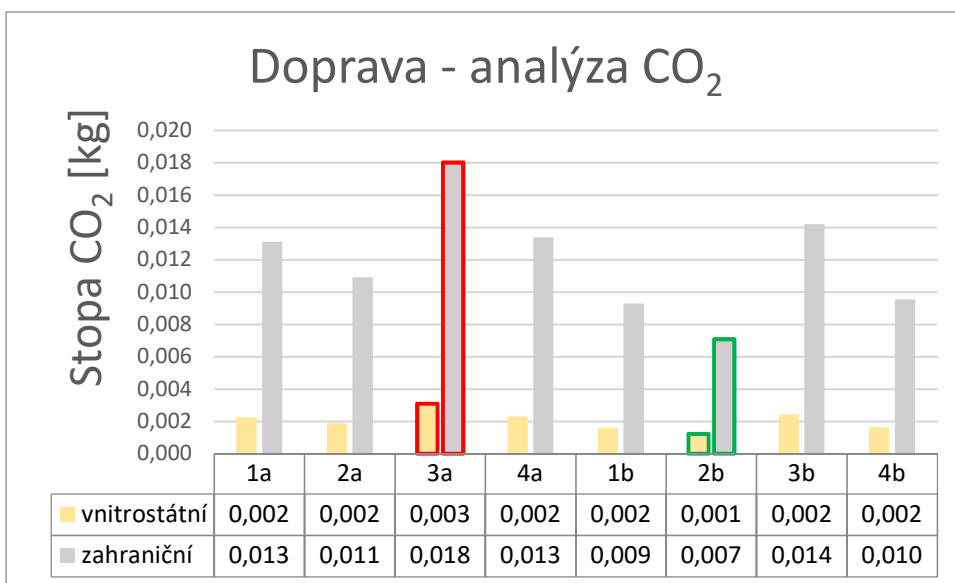


## 6.4 Fáze 3: Doprava

Každá z osmi variant brýlí může být vyrobena buď v České republice nebo v Číně. Varianta vyrobená v České republice má uvažovanou vzdálenost z továrny do obchodu 450 km. Zboží bude přepravováno kamionem s dvěma nápravami s celkovou hmotností 14 tun. U varianty vyrobené v Číně je uvažovaná železniční nákladní doprava do Evropy (9300 km) a pak následně do obchodu stejně jako předchozí varianty (450 km). Výsledné grafy 3 a 4 porovnávají vnitrostátní a zahraniční výrobu jednotlivých variant brýlí.



Graf 3 - Analýza energie vnitrostátní a zahraniční dopravy (vlastní tvorba)



Graf 4 - Analýza CO<sub>2</sub> vnitrostátní a zahraniční dopravy (vlastní tvorba)

Rozdíly mezi vnitrostátní a zahraniční dopravou jsou zřejmé a na první pohled lze tvrdit, že varianta vnitrostátní dopravy je lepší. To je způsobeno výrazně delší vzdáleností transportu brýlí ze zahraničí. Každým kilometrem se totiž ekologická náročnost zvyšuje.

Rozdílných hodnot ale nabývají také jednotlivé varianty brýlí, ať už transportované ze zahraničí nebo vnitrostátně. Zásadní vliv na spotřebu energie a vylučované emise má hmotnost brýlí. Vyšší hmotnost totiž znamená víc spotřebované energie na transport, a tedy i větší zátěž pro životní prostředí.

Vzhledem k tomu, že jediný rozdíl mezi variantami brýlí je jejich hmotnost, bude u obou způsobů dopravy pořadí stejné. Nejméně ekologické by tedy byly brýle hliníkové se skleněnými čočkami (3a) a to zvláště dovezené ze zahraničí. Nejlepších výsledků dosahují dřevěné brýle s plastovými čočkami (2b) a to hlavně v případě vnitrostátní dopravy. Celkově je ale doprava poměrně malou položkou v celkovém součtu spotřebované energie a produkci CO<sub>2</sub>.

## 6.5 Fáze 4: Používání

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4, tak u fáze používání musíme rozlišovat dva druhy výrobků.

- a) Výrobky, které nemění polohu a zůstávají na místě během provozu, potřebují ke svému provozu nějaký zdroj energie.
- b) Výrobky, které jsou připojeny k nějaké transportní jednotce, nebo jsou její součástí a tak svou hmotností zvyšují spotřebu.

Jelikož brýle nepotřebují k provozu žádný zdroj energie a nejsou součástí transportní jednotky, nepatří tudíž do žádné zmiňované kategorie používání. Fáze používání je tedy nulová.

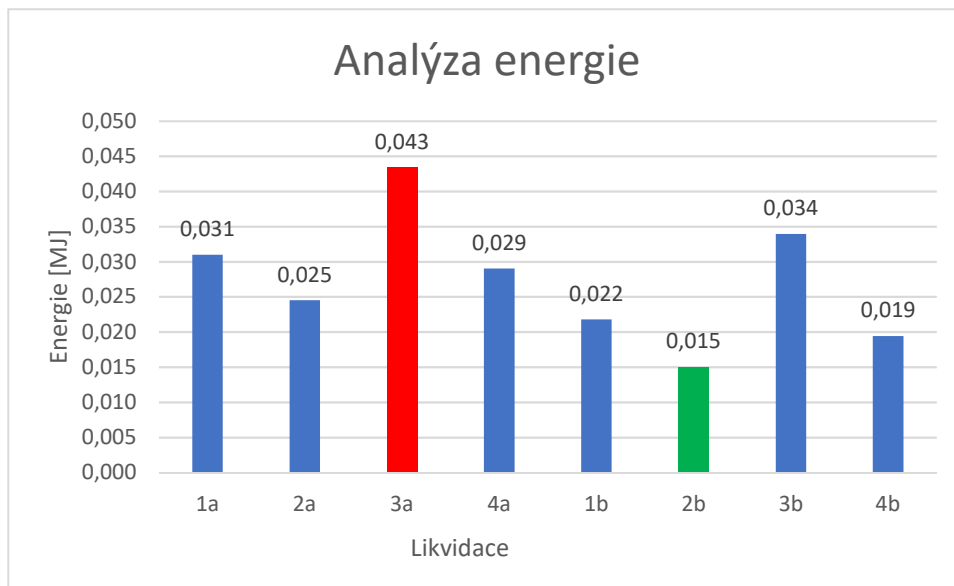
## 6.6 Fáze 5: Likvidace

Způsob likvidace byl zvolen podle přílohy č. 1 a vždy ten, který je nejšetrnější k životnímu prostředí. Každý použitý materiál, ať se vyskytuje v jakékoli variantě, je zlikvidován dle tabulky 4.

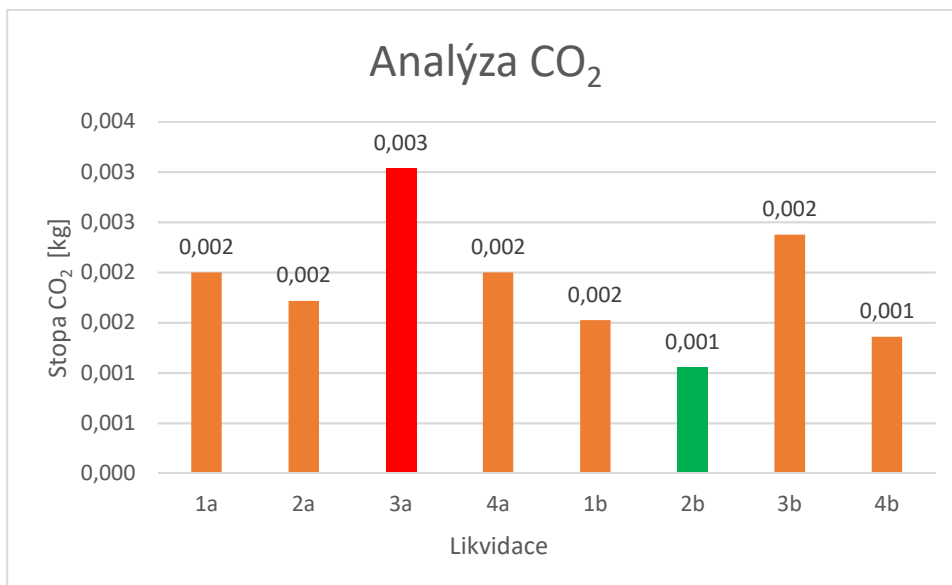
<b>Materiály</b>	<b>druh likvidace</b>
<b>Dřevo</b>	spalování
<b>Epoxidová pryskyřice</b>	spalování
<b>PA – Nylon</b>	recyklování
<b>Hliník</b>	recyklování
<b>PC – Polykarbonát</b>	recyklování
<b>Sklo</b>	recyklování
<b>Nízko uhlíkatá ocel</b>	recyklování
<b>Silikon</b>	skládka

*Tabulka 4 – Druhy likvidace materiálů (vlastní tvorba)*

Z ekologického auditu (např. obr. 21 nebo příloha č. 2) vyplývá, že jsou hodnoty ve fázi likvidace velmi malé a v celkovém součtu nejspíš nebudou hrát velkou roli. Přesto v přiblížení vidíme rozdíly i zde (Grafy 5, 6) a můžeme určit neekologičtější zlikvidovatelnou variantu. Tou je varianta 2b, kdy je dřevo z obrouček spáleno a polykarbonát recyklován. Nejméně ekologická likvidace se jeví u varianty 3a. V tomto případě je hliník z obrouček i sklo z čoček recyklováno. U obou variant jsou ještě magnety z nízkouhlíkaté oceli recyklovány a silikonové gummy na nožičky jsou vyvezeny na skládku.



Graf 5 - Analýza energie u likvidace (vlastní tvorba)

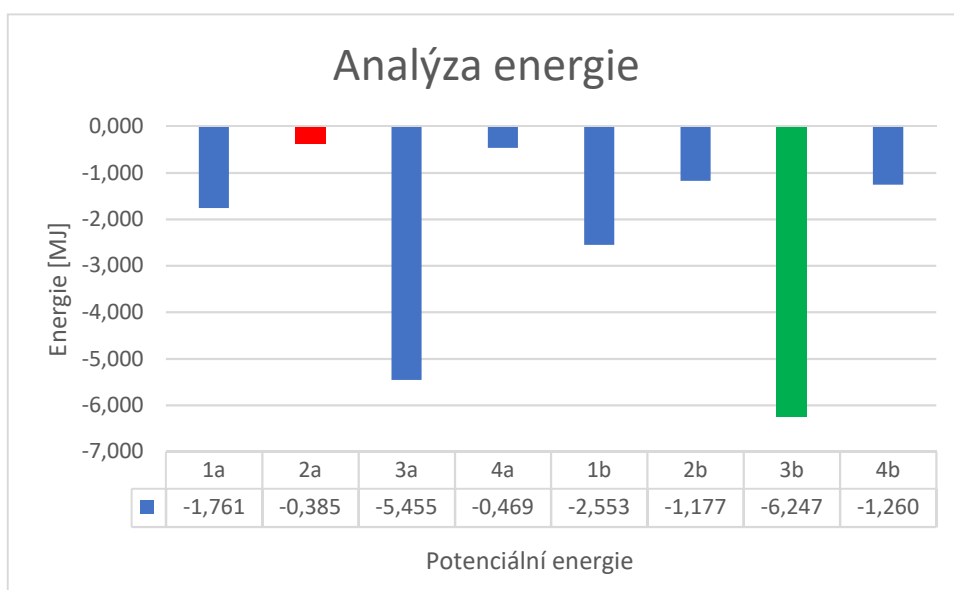


Graf 6 - Analýza CO<sub>2</sub> u likvidace (vlastní tvorba)

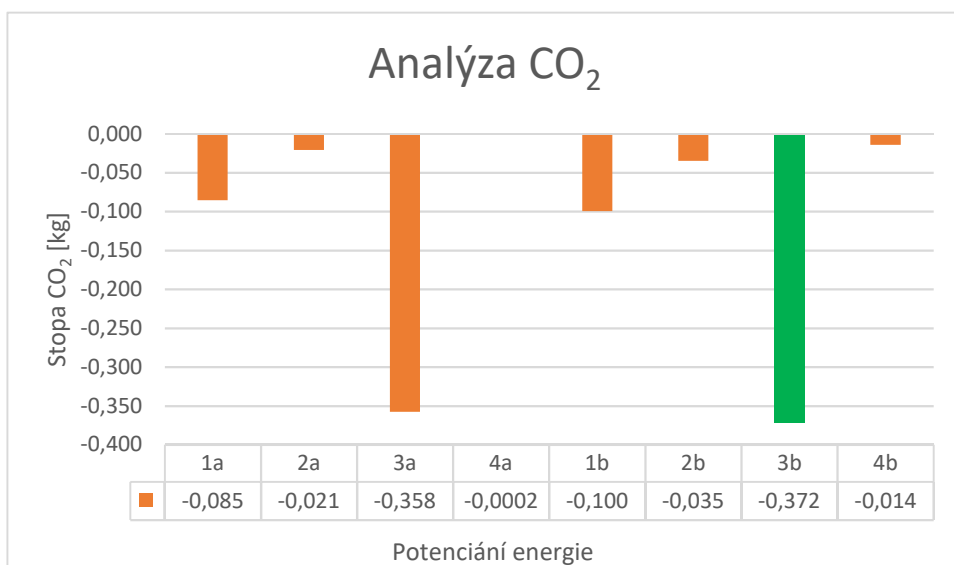
### 6.6.1 Potenciální energie

Energii uloženou ve výrobku můžeme získat recyklací nebo jiným druhem likvidace. Recyklovaný materiál nebo znovu použitá část výrobku totiž může ušetřit energii v dalším životním cyklu. To se týká hlavně fáze výroby materiálu a výroby produktu.

V grafech 7 a 8 vidíme, že nejvíce energie máme uložené ve variantách 3a a 3b a nejméně ve variantě 2a. U potenciální energie je velmi těžké určit, zda je dobré mít energii uložené více či méně. Záleží totiž také na tom, jestli je tato energie později využita, nebo je nesprávnou likvidací promarněna. Bližší souvislost je popsána v další kapitole.



Graf 7 - Analýza energie u potenciální energie (vlastní tvorba)



Graf 8 - Analýza CO<sub>2</sub> u potenciální energie (vlastní tvorba)

## 6.7 Celkový dopad na životní prostředí

Uvažovat se bude pouze doprava vnitrostátní, která je jednoznačně ekologičtější. Pokud se sečte energie jednotlivých fází (výroba materiálu, výroba produktu, doprava, použití a likvidace), vyjde celková energie za první cyklus výrobku – nový výrobek bez předchozí recyklace. Pokud se od celkové energie odečte energie potenciální, zjistíme, jak by byl cyklus náročný za předpokladu, že došlo k maximálnímu využití energie výrobku při likvidaci (Tabulka 5). Stejným způsobem lze zjistit i celkovou stopu CO<sub>2</sub> (Tabulka 6).

Při bližším zkoumání (Tabulky 5, 6) je evidentní, že se dřevěné varianty jeví jako nejlepší – jak ve spotřebě energie, tak v produkci CO<sub>2</sub>. Rozdíl mezi variantou se skleněnými a plastovými čočkami je potom minimální. Hliníkové brýle, které se od začátku jeví jako jednoznačně nejhorší toto potvrdily i v souhrnech za první cyklus. V tomto typu brýlí je ale uloženo velké množství potenciální energie, kterou je kvalitní recyklací možné získat zpět např. ušetřením energie při výrobě dalších brýlí. Pokud jde tedy o celkovou energii s tím, že bereme v úvahu energii ušetřenou v dalším cyklu, stává se nejméně ekologickou varianta 4a – epoxidová konstrukce a skleněné čočky.

Ekologické audity jednotlivých variant jsou k nahlédnutí v příloze č. 2.

[MJ]	1a	2a	3a	4a	1b	2b	3b	4b
Celková energie (za první cyklus)	4,4618	2,1907	8,6734	4,4017	4,7305	2,4594	8,9420	4,6704
Potenciální energie	-1,7611	-0,3850	-5,4555	-0,4685	-2,5528	-1,1767	-6,2471	-1,2602
Rozdíl celkové energie	2,7006	1,8057	3,2179	3,9332	2,1777	1,2827	2,6949	3,4102

Tabulka 5 – Přehled výsledků energie (vlastní tvorba)

[kg]	1a	2a	3a	4a	1b	2b	3b	4b
Celková stopa CO <sub>2</sub> (za první cyklus)	0,2580	0,1386	0,5709	0,2621	0,2485	0,1292	0,5614	0,2527
Potenciální stopa CO <sub>2</sub>	-0,0855	-0,0207	-0,3578	-0,0002	-0,0995	-0,0348	-0,3718	-0,0142
Rozdíl stopy CO <sub>2</sub>	0,1725	0,1179	0,2131	0,2619	0,1490	0,0944	0,1896	0,2384

Tabulka 6 – Přehled výsledků uhlíkové stopy (vlastní tvorba)

## 6.8 Závěr případové studie

Předmětem zkoumání případové studie byly dioptrické brýle. Vycházel jsem z konkrétní konstrukce brýlí, ve které se měnil pouze použitý materiál. Varianty materiálů pro obroučky byly 4 (plast nylon, dřevo ořech, slitina hliníku a epoxidová pryskyřice), čočky mohly být skleněné nebo plastové – dohromady tedy 8 různých typů brýlí. Cílem studie bylo nalézt nejvíce a nejméně ekologickou variantu.

Ekologický audit byl proveden v systému Ansys Granta EduPack (dříve CES Edupack). Výsledkem auditu byla energetická a emisní náročnost jednotlivých fází. Ekologická náročnost byla nejvyšší u fáze výroby materiálu a výroby produktu. Pokud se změní některý z parametrů těchto dvou fází (např. výběr vhodnějšího materiálu), sníží se tím nejvíce celkový dopad na životní prostředí. Jako nejvhodnější se v těchto fázích ukázaly brýle vyrobené ze dřeva a jako nejméně ekologicky šetrné brýle hliníkové.

Doprava mohla být buď vnitrostátní (450 km) nebo mezinárodní (9300 km). Vliv na životní prostředí závisí na vzdálenosti, kterou je potřeba překonat, a na hmotnosti brýlí, která se odráží na spotřebě energie a produkci emisí během transportu. Vnitrostátní doprava je tedy z ekologického hlediska jednoznačně výhodnější. Mezi jednotlivými variantami brýlí už potom nejsou velké rozdíly. Nejlehčí, a tedy i neekologičtější, jsou ve fázi transportu dřevěné brýle s plastovými čočkami, naopak nejtěžší je varianta hliníková se skleněnými čočkami.

Likvidace se na celkovém dopadu na životní prostředí podílela jen minimálně. Každý materiál byl likvidován neekologičtější možnou variantou. Nejlépe dopadly dřevěné brýle s plastovými čočkami a nejhůře hliníkové brýle se skleněnými čočkami.

Nejvyšší potenciální energie je uložena v hliníkových brýlích s plastovými čočkami. V případě recyklace nebo při jiném způsobu znovupoužití daných materiálů je možné v dalším cyklu část energie ušetřit. Naopak nejméně energie je uloženo v brýlích ze dřeva se skleněnými čočkami.

Celkově se jako nejvýhodnější z ekologického hlediska jeví dřevěné brýle. Rozdíl mezi variantou se skleněnými a plastovými čočkami je minimální. Varianty z hliníku se ve všech fázích ukázaly jako nejméně ekologické a celkově dopadly také nejhůře. V hliníku je ale uloženo poměrně dost potenciální energie. Pokud by byla správnou likvidací získána zpět, může se od celkového dopadu na životní prostředí odečíst. Když je toto uvažováno u všech variant, stává se nejméně ekologickou varianta epoxidová. Epoxid se totiž nedá recyklovat a likviduje se pouze spalováním.

## 7. Závěr

Cílem práce bylo vysvětlit čtenáři postup při výběru konstrukčního materiálu s ohledem na životní prostředí. Tato problematika byla nejprve probrána v teoretické části a poté prakticky ukázána v případové studii. Hlavním nástrojem při výběru ekologicky šetrného materiálu je ekologický audit. Tato metoda je velice efektivní. Umožňuje hodnocení jednotlivých fází výrobního procesu, používání a likvidace produktu. Ovlivněním jednotlivých fází lze docílit snížení celkového dopadu na životní prostředí. Největší výhodou této metody je, že se dá aplikovat ještě před zahájením výrobního procesu. Dovoluje také konstruktérovi vracet se k jednotlivým fázím, měnit je a pozitivně tak ovlivnit celkový dopad na životní prostředí. Ekologický audit je možné provést v programu Ansys Granta EduPack, který mimo to nabízí spoustu dalších funkcí, jako jsou materiálové listy a mapy.

Objektem zkoumání případové studie byly sluneční brýle. Zkoumáno bylo 8 variant – 4 různé materiály obrouček a 2 různé typy čoček (plastové a skleněné). Cílem bylo vybrat brýle nejvíce a nejméně šetrné k životnímu prostředí. Pomocí ekologického auditu byly jednotlivé varianty prozkoumány, porovnány jednotlivé fáze a byl zhodnocen celkový dopad na životní prostředí. Jako nejvíce šetrné se ukázaly brýle dřevěné. Naopak největší dopad na životní prostředí mají brýle epoxidové. To je způsobeno hlavně tím, že není možná recyklace tohoto materiálu.

Výběr neekologičtějšího konstrukčního materiálu by se mohl zdát jako velice časově náročná záležitost. Pokud se ale zvolí správný postup zaměřený na nejdůležitější aspekty, může nám eko-audit rychle a efektivně ukázat nejvíce ekologicky šetrnou variantu. Přestože se v dnešní době zájem o životní prostředí zvyšuje, nepatří často hledisko ekologie do běžné praxe při výběru konstrukčního materiálu. Důvodem může být obava z přílišné finanční náročnosti vybrané varianty. Neekologičtější varianta ale nemusí být vždy tou nejdražší. Navíc není nutné vybírat vždy nový materiál. Můžeme se pokusit alespoň minimalizovat ekologický dopad běžně používaného materiálu. Každé snížení dopadu na životní prostředí má svou cenu a to nejenom pro nás, ale i pro budoucí generace.



## 8. Seznamy

### Seznam obrázků

OBR. 1 – MATERIÁLY VE STROJÍRENSTVÍ (VLASTNÍ TVORBA) .....	8
OBR. 2 - ZASTOUPENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ V ZEMSKÉ KŮŘE (VLEVO V MILIONTINÁCH VÁHY, VPRAVO V PROCENTECH) (6 STR. 17) ....	9
OBR. 3 – ROČNÍ SVĚTOVÁ SPOTŘEBA ENERGIE (6 STR. 21).....	11
OBR. 4 – ŽIVOTNÍ CYKLUS MATERIÁLU (4 STR. 4) .....	12
OBR. 5 – ŽIVOTNÍ CYKLUS ZDROJŮ (6 STR. 52).....	13
OBR. 6 – VOLBA MATERIÁLU (7 STR. 23 UPRAVENO).....	14
OBR. 7 – POSTUP VÝBĚRU MATERIÁLU (7 STR. 103 UPRAVENO).....	15
OBR. 8 – PŘÍKLAD VÝSTUPU Z EKOLOGICKÉHO AUDITU (3 STR. 7 UPRAVENO) .....	17
OBR. 9 – POSTUP PŘI PRÁCI S EKO-AUDITEM (4 STR. 5 UPRAVENO).....	17
OBR. 10 – APLIKACE METODY „CO KDYŽ“ (4 STR. 5 UPRAVENO) .....	18
OBR. 11 – ŘAZENÍ MATERIÁLŮ V SYSTÉMU ANSYS GRANTA EDUPACK (7 STR. 100 UPRAVENO).....	19
OBR. 12 – MATERIÁLOVÁ MAPA – ZÁVISLOST YOUNGOVA MODULU NA HUSTOTĚ (1).....	20
OBR. 13 – ROZSTŘEL SESTAVY BRÝLÍ (VLASTNÍ TVORBA V SYST. SOLID EDGE 2019) .....	21
OBR. 14 – BRÝLE POHLED (VLASTNÍ TVORBA V SYST. SOLID EDGE 2019).....	22
OBR. 15 – BAREVNÁ VARIANTA EPOXIDOVÝCH BRÝLÍ (VLASTNÍ TVORBA V SYST. SOLID EDGE 2019).....	23
OBR. 16 – BRÝLE Z NYLONU (VLASTNÍ TVORBA V SYST. SOLID EDGE 2019).....	24
OBR. 17 – BRÝLE ZE DŘEVA (VLASTNÍ TVORBA V SYST. SOLID EDGE 2019).....	24
OBR. 18 – BRÝLE Z HLINÍKOVÉ SLITINY (VLASTNÍ TVORBA V SYST. SOLID EDGE 2019) .....	25
OBR. 19 – BRÝLE Z EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE (VLASTNÍ TVORBA V SYST. SOLID EDGE 2019).....	25
OBR. 20 – HUSTOTA ČTYŘ HLAVNÍCH MATERIÁLŮ (VLASTNÍ TVORBA V SYST. ANSYS GRANTA EDUPACK).....	26
OBR. 21 – EKO-AUDIT RELATIVNÍHO PŘÍNOSU VARIANTY 3B (HLINÍKOVÁ KONSTRUKCE, PLASTOVÉ ČOČKY) + ZAHRANIČNÍ DOPRAVA (VLASTNÍ TVORBA V SYST. ANSYS GRANTA EDUPACK) .....	28
OBR. 22 – GRAF ZÁVISLOST YOUNGOVA MODULU NA HUSTOTĚ (VLASTNÍ TVORBA V SYST. ANSYS GRANTA EDUPACK).....	29
OBR. 23 – GRAF ZÁVISLOSTI CENY NA HUSTOTĚ (VLASTNÍ TVORBA V SYST. ANSYS GRANTA EDUPACK) .....	29
OBR. 24 – VELMI PODOBNÉ BRÝLE NA VÁZE (VLASTNÍ TVORBA) .....	30

### Seznam Tabulek

TABULKA 1 – OBJEMY DÍLŮ (VLASTNÍ TVORBA) .....	26
TABULKA 2 – HUSTOTY MATERIÁLŮ (VLASTNÍ TVORBA).....	26
TABULKA 3 – VÁHY VARIANT BRÝLÍ (VLASTNÍ TVORBA).....	27
TABULKA 4 – DRUHY LIKVIDACE MATERIÁLŮ (VLASTNÍ TVORBA).....	34
TABULKA 5 – PŘEHLED VÝSLEDKŮ ENERGIE (VLASTNÍ TVORBA) .....	37
TABULKA 6 – PŘEHLED VÝSLEDKŮ UHLÍKOVÉ STOPY (VLASTNÍ TVORBA) .....	37

### Seznam Grafů

GRAF 1 - ANALÝZA ENERGIE VÝROBY MATERIÁLU A VÝROBY PRODUKTU (VLASTNÍ TVORBA)	31
GRAF 2 - ANALÝZA CO <sub>2</sub> VÝROBY MATERIÁLU A VÝROBY PRODUKTU (VLASTNÍ TVORBA)	31
GRAF 3 - ANALÝZA ENERGIE VNITROSTÁTNÍ A ZAHRANIČNÍ DOPRAVY (VLASTNÍ TVORBA)	32
GRAF 4 - ANALÝZA CO <sub>2</sub> VNITROSTÁTNÍ A ZAHRANIČNÍ DOPRAVY (VLASTNÍ TVORBA)	32
GRAF 5 - ANALÝZA ENERGIE U LIKVIDACE (VLASTNÍ TVORBA)	35
GRAF 6 - ANALÝZA CO <sub>2</sub> U LIKVIDACE (VLASTNÍ TVORBA)	35
GRAF 7 - ANALÝZA ENERGIE U POTENCIÁLNÍ ENERGIE (VLASTNÍ TVORBA)	36
GRAF 8 - ANALÝZA CO <sub>2</sub> U POTENCIÁLNÍ ENERGIE (VLASTNÍ TVORBA)	36

## 9. Citovaná literatura

1. Ansys Granta EduPack. <https://grantadesign.com/>. [Online] <https://grantadesign.com/education/ces-edupack/what-is-edupack/>.
2. ZEISS Vision Care. ZEISS. [Online] 16. Říjen 2017. [Citace: 27. Březen 2020.] <https://www.zeiss.cz/vision-care/lepsi-videni/pochopeni-zraku/plastove-nebo-sklenenecocky.html>.
3. Ashby, M. F. a Design, Granta. *Eco design and the Eco Audit tool: introducing students to life-cycle thinking*. [Prezentace] Cambrige (UK) : Granta Design, Granta Design, 2019.
4. —. *Eco-informed material selection*. [Prezentace] Cambrige (UK) : Granta Design, 2019.
5. ASHBY, MICHAEL F. *Materials and the Environment*. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2009. 978-1-85617-608-8.
6. —. *Materials and the Environment*. Waltham : Butterworth-Heinemann, 2013. 978-0-12-385971-6.
7. —. *Materials Selection in Mechanical Design*. Burlington : Butterworth-Heinemann, 2011. 978-1-85617-663-7.
8. Beroun, Stanislav. TUL KVM. <http://www.kvm.tul.cz/>. [Online] 2009. [Citace: 19. Březen 2020.] <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1884>.
9. Macenauer, Pavel. moderní optika. <https://www.modernioptika.cz/>. [Online] 14. Duben 2019. [Citace: 20. Únor 2020.] <https://www.modernioptika.cz/dioptricke-bryle/brylove-obroucky/brylove-obruby-podle-materialu/>.
10. Novotný, Radek. Hospodářské noviny. <https://ihned.cz/>. [Online] 27. Listopad 2014. [Citace: 12. Březen 2020.] <https://archiv.ihned.cz/c1-63175720-vsechny-cesty-vedou-z-ciny.1213-7693>.
11. TOMEH, doc. Dr. Ing. Elias. TUL KVS. [www.kvs.tul.cz/](http://www.kvs.tul.cz/). [Online] 9. Srpen 2012. [Citace: 19. Březen 2020.] [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:3oNEVWNfW48J:educom.tul.cz/educom/inovace/US/VY\\_03\\_002-materi%25C3%25A1ly%2520ve%2520stroj%25C3%25ADrenstv%25C3%25AD\\_MZ\\_5.pdf+%&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:3oNEVWNfW48J:educom.tul.cz/educom/inovace/US/VY_03_002-materi%25C3%25A1ly%2520ve%2520stroj%25C3%25ADrenstv%25C3%25AD_MZ_5.pdf+%&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz).
12. Mgr. Jan Janovec, Ph.D. *Technické materiály*. Ústí nad Labem : Pedagogická fakulta Univerzity J. E. Purkyně, 2013. 978-80-7414-596-4.
13. Škaroupka, David. *Materiály brýlových obrub*. [Bakalářská práce] Brno : Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, 2018.
14. Dvořák, Jiří. *Ekologický design*. [Bakalářská práce] Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2014/2015.

## 10. Přílohy

### 10.1 Příloha č.1 materiálové listy

#### Description

##### Image



##### Caption

1. Knot tied in a polyamide rope. © Brighterorange at en.wikipedia - (CC BY-SA 3.0) 2. Locking nut with polyamide insert to lock its screw in place. © Cav at en.wikipedia - Public domain 3. Students creating Nylon-6,6 in the laboratory at the University

#### The material

Back in 1945, the war in Europe just ended, the two most prized luxuries were cigarettes and nylons. Nylon (PA) can be drawn to fibers as fine as silk, and was widely used as a substitute for it. Today, newer fibers have eroded its dominance in garment design, but nylon-fiber ropes, and nylon as reinforcement for rubber (in car tires) and other polymers (PTFE, for roofs) remains important. It is used in product design for tough casings, frames and handles, and - reinforced with glass - as bearings gears and other load-bearing parts. There are many grades (Nylon 6, Nylon 66, Nylon 11....) each with slightly different properties.

#### Composition (summary)

$(\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{CO})_n$

#### General properties

Density	1,12e3	-	1,15e3	kg/m <sup>3</sup>
Price	* 74,6	-	110	CZK/kg

#### Mechanical properties

Young's modulus	0,94	-	2,04	GPa
Yield strength (elastic limit)	39	-	64	MPa
Tensile strength	42	-	72	MPa
Elongation	40	-	60	% strain
Hardness - Vickers	12	-	18	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 15	-	27	MPa
Fracture toughness	* 3	-	4	MPa.m <sup>0.5</sup>

#### Thermal properties

Melting point	220	-	260	°C
Maximum service temperature	90	-	130	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,21	-	0,28	W/m.°C

Values marked \* are estimates.  
No warranty is given for the accuracy of this data

Specific heat capacity	* 1,46e3	-	1,6e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	110	-	150	µstrain/°C

#### Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good insulator
------------------------------------	----------------

#### Optical properties

Transparency	Translucent
--------------	-------------

#### Eco properties

Embodied energy, primary production	129	-	158	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	6,09	-	8	kg/kg
Recycle	✓			

#### Recycle mark



#### Supporting information

##### Typical uses

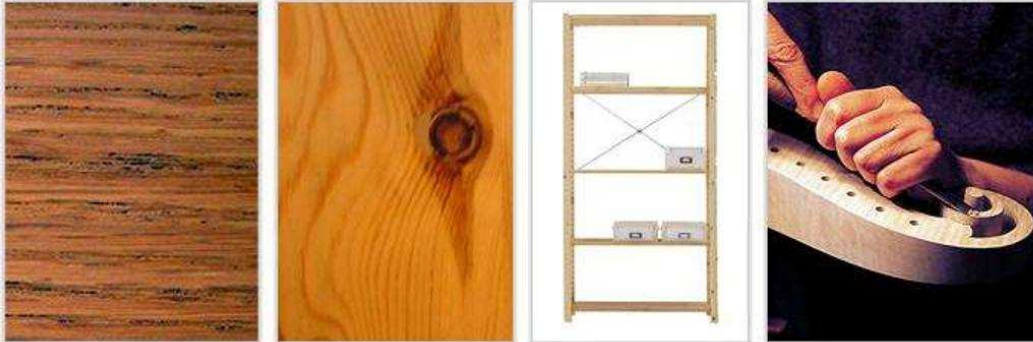
Light duty gears, bushings, sprockets and bearings, electrical equipment housings, lenses, containers, tanks, tubing, furniture casters, plumbing connections, bicycle wheel covers, ketchup bottles, chairs, toothbrush bristles, handles, food packaging. Nylons are used as hot-melt adhesives for book bindings, as fibers - ropes, fishing line, carpeting, car upholstery and stockings, as aramid fibers - cables, ropes, protective clothing, air filtration bags and electrical insulation.

#### Links

ProcessUniverse

## Description

### Image



### Caption

1. Close-up of the material along the grain. 2. Close-up of the material along the grain. © Granta Design 3. Pine shelf. © Chris Lefteri 4. The making of a musical instrument. © Chris Lefteri

### The material

Wood has been used to make products since the earliest recorded time. The ancient Egyptians used it for furniture, sculpture and coffins before 2500 BC. The Greeks and the peak of their empire (700 BC) and the Romans at the peak of theirs (around 0 AD) made elaborate boats, chariots and weapons of wood, and established the craft of furniture making that is still with us today. More diversity of use appeared in Mediaeval times, with the use of wood for large-scale building, and mechanisms such as pumps, windmills, even clocks, so that, right up to end of the 17th century, wood was the principal material of engineering. Since then cast iron, steel and concrete have displaced it in some of its uses, but timber continues to be used on a massive scale, particularly in buildings.

### Composition (summary)

Cellulose/Hemicellulose/Lignin/12%H<sub>2</sub>O

### General properties

Density	470	-	625	kg/m <sup>3</sup>
Price	* 38,1	-	59,3	CZK/kg

### Mechanical properties

Young's modulus	* 8,7	-	15	GPa
Yield strength (elastic limit)	* 36,3	-	62,3	MPa
Tensile strength	* 61,6	-	128	MPa
Elongation	* 1,7	-	2,9	% strain
Hardness - Vickers	* 2,97	-	8,28	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 19,2	-	42,8	MPa
Fracture toughness	* 2,98	-	7,08	MPa.m <sup>0.5</sup>

### Thermal properties

Maximum service temperature	120	-	140	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	* 0,218	-	0,382	W/m.°C
Specific heat capacity	1,66e3	-	1,71e3	J/kg.°C

Values marked \* are estimates.  
No warranty is given for the accuracy of this data

Thermal expansion coefficient	* 2	-	11	µstrain/°C
-------------------------------	-----	---	----	------------

#### Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Poor insulator
------------------------------------	----------------

#### Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

#### Eco properties

Embodied energy, primary production	11	-	12,2	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	0,547	-	0,603	kg/kg
Recycle	<b>X</b>			

#### Supporting information

##### Typical uses

Flooring, furniture, handles, veneer, sculpture, wooden ware, containers, cooperage, laundry appliances, sleepers (when treated), building construction, boxes, crates, planing-mill products, sash, doors, general millwork, framing, sub-flooring, sheathing, boxes, crates, palettes - but these are just a few. Almost every load-bearing and decorative object has, at one time or another, been made from wood.

#### Links

ProcessUniverse



## Description

### Image



### Caption

Aluminum can be formed both by casting and by deformation.

### The material

Aluminum was once so rare and precious that the Emperor Napoleon III of France had a set of cutlery made from it that cost him more than silver. But that was 1860; today, nearly 150 years later, aluminum spoons are things you throw away - a testament to our ability to be both technically creative and wasteful. Aluminum, the first of the 'light alloys' (with magnesium and titanium), is the third most abundant metal in the earth's crust (after iron and silicon) but extracting it costs much energy. It has grown to be the second most important metal in the economy (steel comes first), and the mainstay of the aerospace industry. An alternative name for Aluminum in many countries is Aluminium.

### Composition (summary)

Al + alloying elements, e.g. Mg, Mn, Cr, Cu, Zn, Zr, Li

### General properties

Density	2,64e3	-	2,81e3	kg/m <sup>3</sup>
Price	* 55,1	-	59,6	CZK/kg

### Mechanical properties

Young's modulus	69	-	75	GPa
Yield strength (elastic limit)	109	-	439	MPa
Tensile strength	186	-	510	MPa
Elongation	2,5	-	14	% strain
Hardness - Vickers	57	-	155	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 68,2	-	169	MPa
Fracture toughness	* 23	-	38	MPa.m <sup>0.5</sup>

### Thermal properties

Melting point	524	-	650	°C
Maximum service temperature	99,9	-	170	°C
Thermal conductor or insulator?	Good conductor			
Thermal conductivity	121	-	187	W/m.°C

Values marked \* are estimates.  
No warranty is given for the accuracy of this data

Specific heat capacity	882	-	999	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	21,6	-	24,6	μstrain/°C

#### Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good conductor
------------------------------------	----------------

#### Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

#### Eco properties

Embodied energy, primary production	* 186	-	205	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 12,4	-	13,7	kg/kg
Recycle	✓			

#### Supporting information

##### Typical uses

Aerospace engineering, automotive engineering - pistons, clutch housings, exhaust manifolds, sports equipment such as golf clubs and bicycles, die cast chassis for household and electronic products, siding for buildings, reflecting coatings for mirrors, foil for containers and packaging, beverage cans, electrical and thermal conductors.

#### Links

ProcessUniverse



## Description

### Image



### Caption

Epoxies paints are exceptionally stable and protective, and take color well.

### The material

Epoxies are thermosetting polymers with excellent mechanical, electrical and adhesive properties and good resistance to heat and chemical attack. They are used for adhesives (Araldite), surface coatings and, when filled with other materials such as glass or carbon fibers, as matrix resins in composite materials. Typically, as adhesives, epoxies are used for high-strength bonding of dissimilar materials; as coatings, they are used to encapsulate electrical coils and electronic components; when filled, they are used for tooling fixtures for low-volume molding of thermoplastics.

### Composition (summary)

$(O-C_6H_4-CH_3-C-CH_3-C_6H_4)_n$

### General properties

Density	1,11e3	-	1,4e3	kg/m <sup>3</sup>
Price	* 50,1	-	64,2	CZK/kg

### Mechanical properties

Young's modulus	2,27	-	2,55	GPa
Yield strength (elastic limit)	* 36	-	71,6	MPa
Tensile strength	45	-	89,5	MPa
Elongation	3	-	6	% strain
Hardness - Vickers	* 11	-	21,9	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	29,2	-	36	MPa
Fracture toughness	0,53	-	0,677	MPa.m <sup>0.5</sup>

### Thermal properties

Maximum service temperature	118	-	142	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,174	-	0,203	W/m.°C
Specific heat capacity	1,17e3	-	1,25e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	81,1	-	117	μstrain/°C

Values marked \* are estimates.  
No warranty is given for the accuracy of this data

### Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good insulator
------------------------------------	----------------

### Optical properties

Transparency	Transparent
--------------	-------------

### Eco properties

Embodied energy, primary production	122	-	135	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	6,28	-	6,92	kg/kg
Recycle	✘			

### Supporting information

#### Typical uses

Pure epoxy molding compounds: the encapsulation of electrical coils and electronics components.  
Epoxy resins in laminates: pultruded rods, girder stock, special tooling fixtures, mechanical components such as gears, adhesives, often for high-strength bonding of dissimilar materials, patterns and molds for shaping thermoplastics.

### Links

ProcessUniverse

## Description

### Image



### Caption

The silicone elastomer seal and strap of these swimming goggles resist chemical attack by bleaches and other chemicals.  
© Justus Blümer at Flickr - (CC BY 2.0)

### The material

Silicones are high-performance, high cost materials. Silicone and fluoro-silicone elastomers have long chains of linked O-Si-O-Si- groups (replacing the -C-C-C-C- chains in carbon-based elastomers), with methyl (CH<sub>3</sub>) or fluorine (F) side chains. They have poor strength, but can be used over an exceptional range of temperature (-100 C to + 300 C), have great chemical stability, and an unusual combination of properties (Silly Putty is a silicone elastomer - it bounces when dropped but flows if simple left on the desk).

### Composition (summary)

Most common version: ( O-Si(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> )<sub>n</sub>

## General properties

Density	1,02e3	-	1,22e3	kg/m <sup>3</sup>
Price	* 98,8	-	147	CZK/kg

## Mechanical properties

Young's modulus	0,005	-	0,05	GPa
Yield strength (elastic limit)	7,01	-	11,5	MPa
Tensile strength	7,01	-	11,5	MPa
Elongation	270	-	600	% strain
Hardness - Vickers	* 3,01	-	3,98	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 2,8	-	4,59	MPa
Fracture toughness	0,133	-	0,927	MPa.m <sup>0.5</sup>

## Thermal properties

Maximum service temperature	201	-	249	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,201	-	0,299	W/m.°C
Specific heat capacity	1,05e3	-	1,1e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 249	-	301	μstrain/°C

Values marked \* are estimates.  
No warranty is given for the accuracy of this data

### Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good insulator
------------------------------------	----------------

### Optical properties

Transparency	Translucent
--------------	-------------

### Eco properties

Embodied energy, primary production	* 118	- 130	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 6,2	- 6,83	kg/kg
Recycle	✘		

### Supporting information

#### Typical uses

Wire and cable insulation, mold release agents and flexible molds, lens cleaning tissue coatings, seals, gaskets, adhesives, o-rings, insulation, encapsulation and potting of electronic circuitry, surgical and food processing equipment, baby bottle tips, breast implants.

### Links

ProcessUniverse

## Description

### Image



### Caption

1. Paper clips. © Granta Design 2. Tower crane atop Mont Blanc. © Kristoferb at en.wikipedia - (CC BY-SA 3.0) 3. Girders (or beams) being placed in construction. © pkeleher at Flickr - (CC BY 2.0)

### The material

Think of steel and you think of railroads, oilrigs, tankers, and skyscrapers. And what you are thinking of is not just steel, it is carbon steel. That is the metal that made them possible - nothing else is the same time so strong, so tough, so easily formed - and so cheap. Carbon steels are alloys of iron with carbon and, often a little manganese, nickel, and silicon. Low carbon or "mild" steels have the least carbon - less than 0.3%. They are relatively soft, easily rolled to plate, I-sections or rod (for reinforcing concrete) and are the cheapest of all structural metals - it is these that are used on a huge scale for reinforcement, for steel-framed buildings, ship plate and the like.

### Composition (summary)

Fe/0.02 - 0.3%C

### General properties

Density	7,8e3	-	7,82e3	kg/m <sup>3</sup>
Price	* 16,6	-	17,3	CZK/kg

### Mechanical properties

Young's modulus	200	-	220	GPa
Yield strength (elastic limit)	255	-	355	MPa
Tensile strength	379	-	532	MPa
Elongation	25	-	45	% strain
Hardness - Vickers	113	-	168	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 203	-	278	MPa
Fracture toughness	* 41,6	-	79	MPa.m <sup>0.5</sup>

### Thermal properties

Melting point	1,48e3	-	1,53e3	°C
Maximum service temperature	* 340	-	357	°C
Thermal conductor or insulator?	Good conductor			
Thermal conductivity	49,8	-	54,2	W/m.°C

Values marked \* are estimates.  
No warranty is given for the accuracy of this data

Specific heat capacity	460	-	505	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	11,5	-	13	μstrain/°C

#### Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good conductor
------------------------------------	----------------

#### Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

#### Eco properties

Embodied energy, primary production	29,3	-	32,3	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	2,21	-	2,44	kg/kg
Recycle	✓			

#### Supporting information

##### Typical uses

Low carbon steels are used so widely that no list would be complete. Reinforcement of concrete, steel sections for construction, sheet for roofing, car body panels, cans and pressed sheet products give an idea of the scope.

#### Links

ProcessUniverse



## Description

### Image



### Caption

1. Personal computer casing made of polycarbonate. © Chris Lefteri 2. Polycarbonate is tough and impact-resistant: hence its use in hard hats and helmets, transparent roofing and riot shields.

### The material

PC is one of the 'engineering' thermoplastics, meaning that they have better mechanical properties than the cheaper 'commodity' polymers. The family includes the plastics polyamide (PA), polyoxymethylene (POM) and polytetrafluorethylene (PTFE). The benzene ring and the -OCOO- carbonate group combine in pure PC to give it its unique characteristics of optical transparency and good toughness and rigidity, even at relatively high temperatures. These properties make PC a good choice for applications such as compact disks, safety hard hats and housings for power tools. To enhance the properties of PC even further, it is possible to co-polymerize the molecule with other monomers (improves the flame retardancy, refractive index and resistance to softening), or to reinforce the PC with glass fibers (giving better mechanical properties at high temperatures).

### Composition (summary)

$(O-(C_6H_4)-C(CH_3)_2-(C_6H_4)-CO)_n$

### General properties

Density	1,19e3	-	1,21e3	kg/m <sup>3</sup>
Price	* 71,3	-	78,3	CZK/kg

### Mechanical properties

Young's modulus	2,24	-	2,52	GPa
Yield strength (elastic limit)	55,9	-	68,9	MPa
Tensile strength	60,7	-	74,8	MPa
Elongation	110	-	150	% strain
Hardness - Vickers	* 17,1	-	21,1	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 23,7	-	30,8	MPa
Fracture toughness	1,94	-	2,48	MPa.m <sup>0.5</sup>

### Thermal properties

Maximum service temperature	* 96,9	-	120	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,19	-	0,222	W/m.°C

Values marked \* are estimates.  
No warranty is given for the accuracy of this data

Specific heat capacity	1,15e3 - 1,25e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	114 - 131	µstrain/°C

#### Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good insulator
------------------------------------	----------------

#### Optical properties

Transparency	Optical Quality
--------------	-----------------

#### Eco properties

Embodied energy, primary production	100 - 111	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	4,53 - 4,99	kg/kg
Recycle	✓	

#### Recycle mark



#### Supporting information

##### Typical uses

Safety shields and goggles, lenses, glazing panels, business machine housing, instrument casings, lighting fittings, safety helmets, electrical switchgear, laminated sheet for bullet-proof glazing, twin-walled sheets for glazing, kitchenware and tableware, microwave cookware, medical (sterilizable) components.

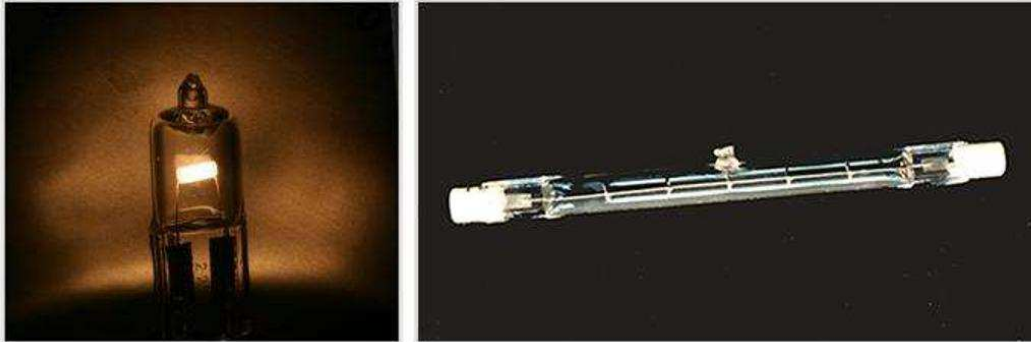
#### Links

ProcessUniverse



## Description

### Image



### Caption

1. Halogen bulb. © Stefan Wernli, stef at en.wikipedia - (CC BY-SA2.5) 2. Silica glass used for very high-power lamp envelopes. © Granta Design

### The material

Fused silica, a glass of great transparency, is nearly pure SiO<sub>2</sub>, it has an exceptionally high melting point and is difficult to work, but, more than any other glass, it resists temperature and thermal shock.

### Composition (summary)

SiO<sub>2</sub>

### General properties

Density	2,17e3	-	2,22e3	kg/m <sup>3</sup>
Price	* 127	-	212	CZK/kg

### Mechanical properties

Young's modulus	68	-	74	GPa
Yield strength (elastic limit)	* 45	-	155	MPa
Tensile strength	* 45	-	155	MPa
Elongation	0			% strain
Hardness - Vickers	450	-	950	HV
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 43	-	143	MPa
Fracture toughness	0,6	-	0,8	MPa.m <sup>0.5</sup>

### Thermal properties

Maximum service temperature	897	-	1,4e3	°C
Thermal conductor or insulator?	Poor insulator			
Thermal conductivity	1,4	-	1,5	W/m.°C
Specific heat capacity	680	-	730	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	0,55	-	0,75	μstrain/°C

### Electrical properties

Values marked \* are estimates.  
No warranty is given for the accuracy of this data

Electrical conductor or insulator?	Good insulator
------------------------------------	----------------

#### Optical properties

Transparency	Optical Quality
--------------	-----------------

#### Eco properties

Embodied energy, primary production	* 37,4	-	41,4	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 2,2	-	2,43	kg/kg
Recycle	✓			

#### Supporting information

##### Typical uses

Space vehicle windows, wind tunnel windows, lenses and mirrors, ultrasonic delay lines, crucibles for semiconductor crystal growing, spectrophotometric optical systems, high temperature glass applications, envelopes for high wattage lamps, thermal barrier coatings.

#### Links

ProcessUniverse

## 10.2 Příloha č.2 Eko-audity

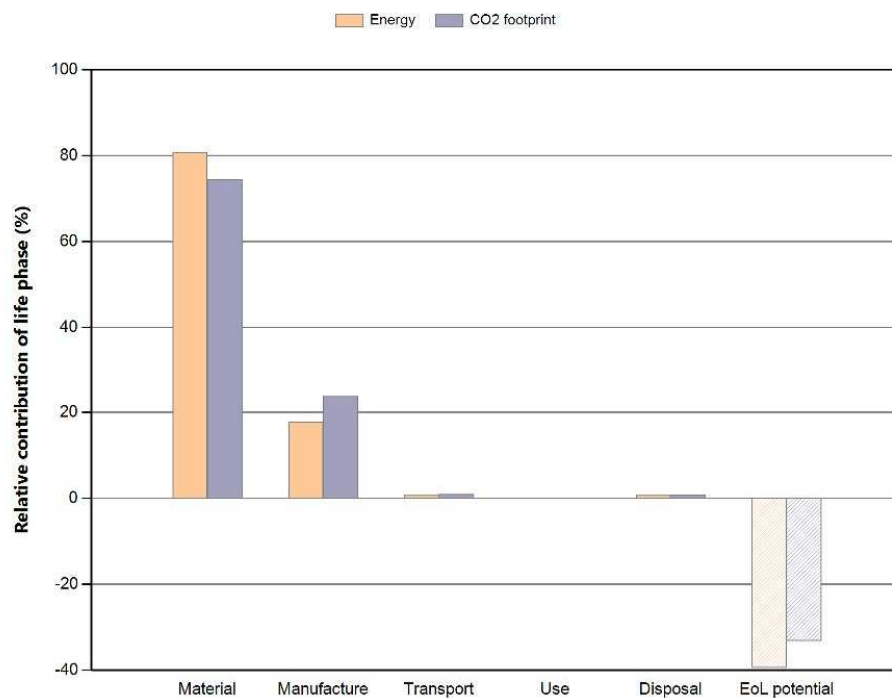
GRANTA  
**CES 2019**  
**EDUPACK**

### Eco Audit Report



Product name: Bryle 1a vnitrostátní  
Country of use: World  
Product life (years): 5

#### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	3,61	80,8	0,192	74,4
<b>Manufacture</b>	0,793	17,8	0,0616	23,9
<b>Transport</b>	0,0313	0,7	0,00225	0,9
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0312	0,7	0,00219	0,8
Total (for first life)	<b>4,46</b>	<b>100</b>	<b>0,258</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-1,76		-0,0855	

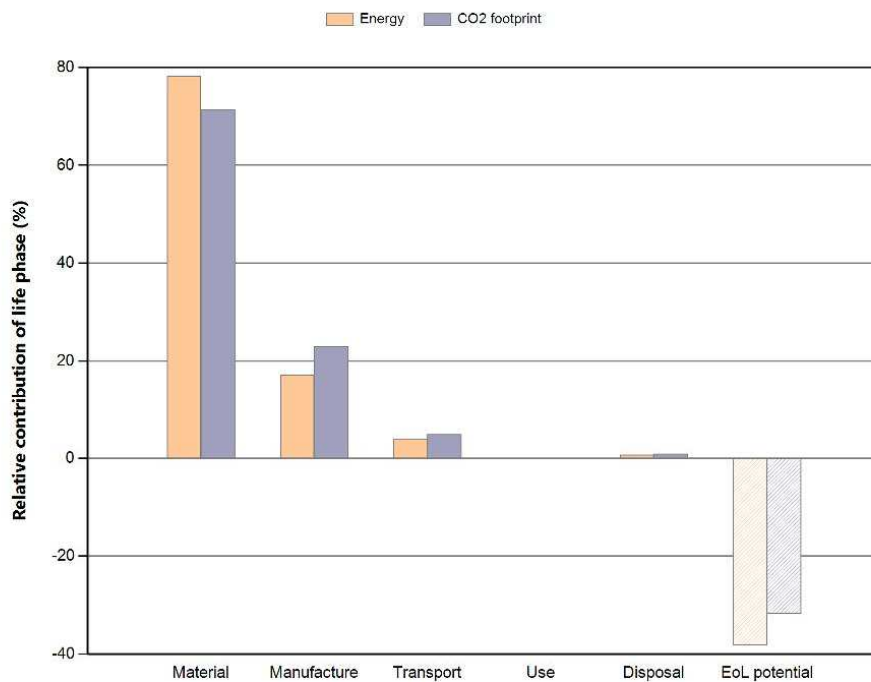


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 1a zahraniční  
Country of use: Czech Republic  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	3,61	78,2	0,192	71,4
<b>Manufacture</b>	0,793	17,2	0,0616	22,9
<b>Transport</b>	0,182	3,9	0,0131	4,9
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0312	0,7	0,00219	0,8
<b>Total (for first life)</b>	<b>4,61</b>	<b>100</b>	<b>0,269</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-1,76		-0,0855	

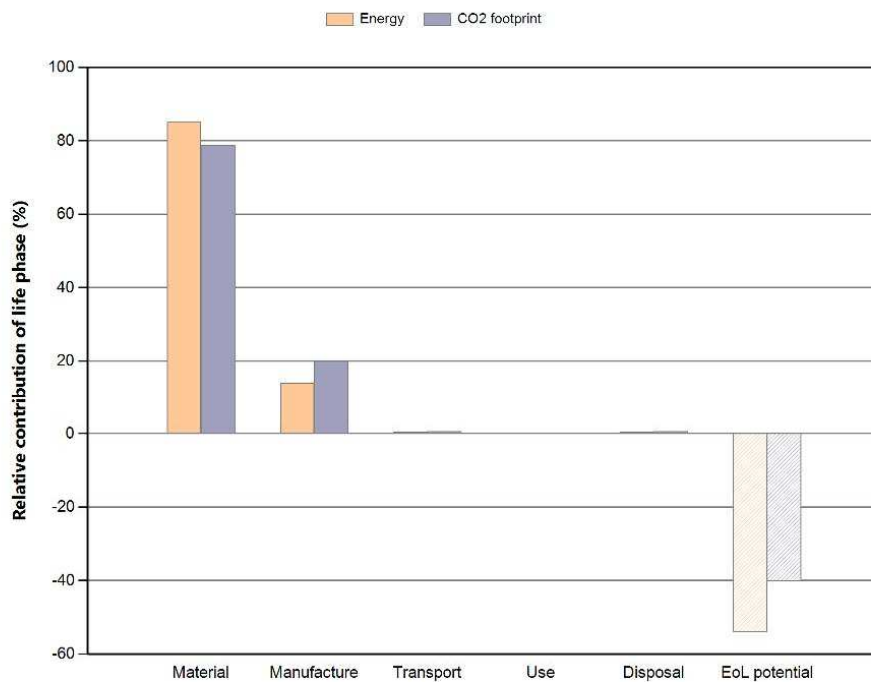


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 1b vnitrostátní  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	4,03	85,1	0,196	78,8
<b>Manufacture</b>	0,659	13,9	0,0495	19,9
<b>Transport</b>	0,0221	0,5	0,00159	0,6
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0218	0,5	0,00152	0,6
<b>Total (for first life)</b>	<b>4,73</b>	<b>100</b>	<b>0,249</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-2,55		-0,0995	

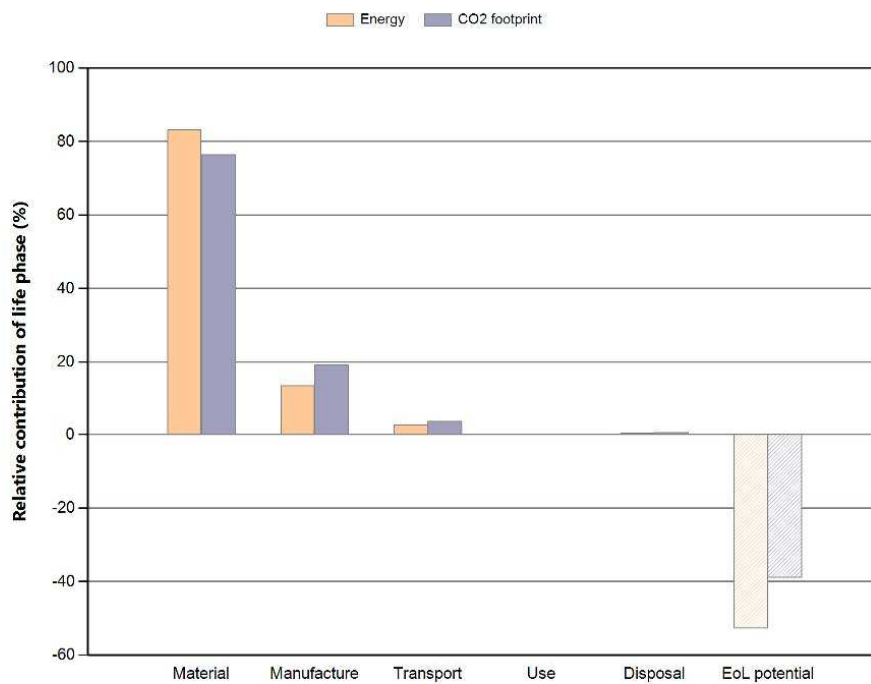


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 1b zahraniční  
Country of use: Czech Republic  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	4,03	83,3	0,196	76,5
<b>Manufacture</b>	0,659	13,6	0,0495	19,3
<b>Transport</b>	0,129	2,7	0,00928	3,6
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0218	0,5	0,00152	0,6
<b>Total (for first life)</b>	<b>4,84</b>	<b>100</b>	<b>0,256</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-2,55		-0,0995	

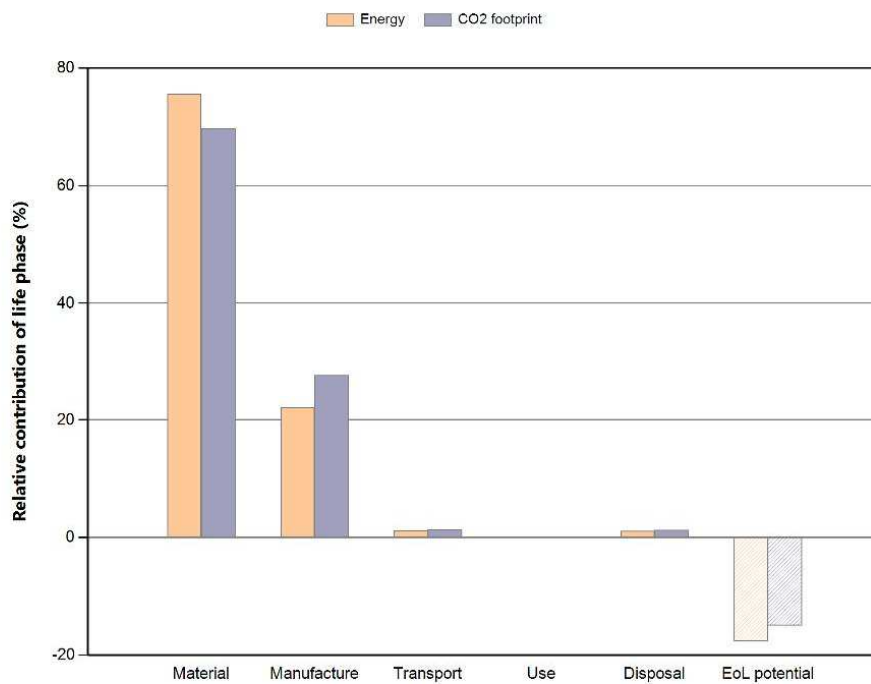


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 2a vnitrostátní  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	1,66	75,6	0,0966	69,7
<b>Manufacture</b>	0,484	22,1	0,0385	27,8
<b>Transport</b>	0,026	1,2	0,00187	1,4
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0245	1,1	0,00172	1,2
<b>Total (for first life)</b>	<b>2,19</b>	<b>100</b>	<b>0,139</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-0,385		-0,0207	

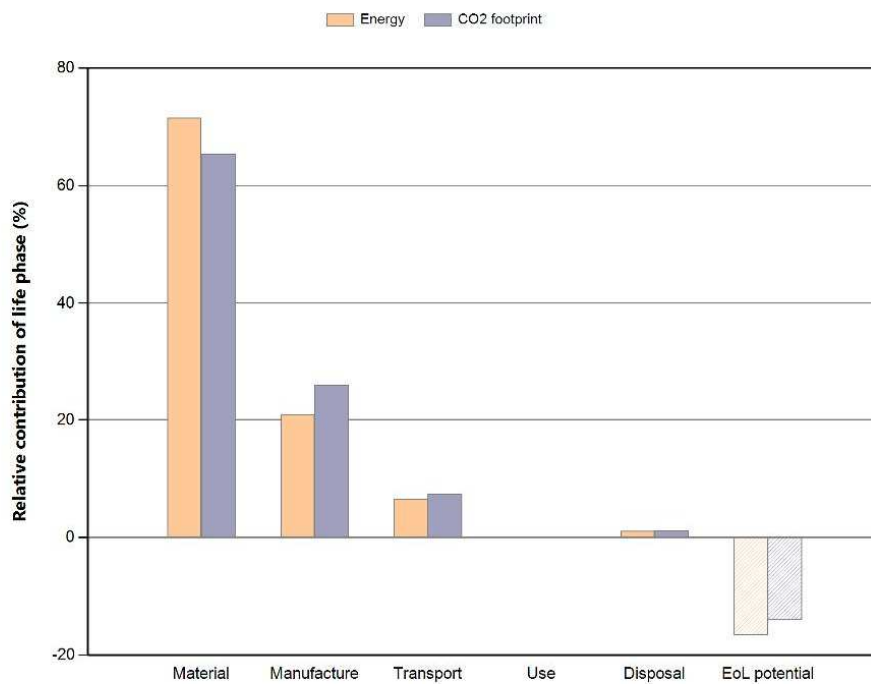


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 2a zahraniční  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	1,66	71,5	0,0966	65,4
<b>Manufacture</b>	0,484	20,9	0,0385	26,1
<b>Transport</b>	0,151	6,5	0,0109	7,4
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0245	1,1	0,00172	1,2
<b>Total (for first life)</b>	<b>2,32</b>	<b>100</b>	<b>0,148</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-0,385		-0,0207	



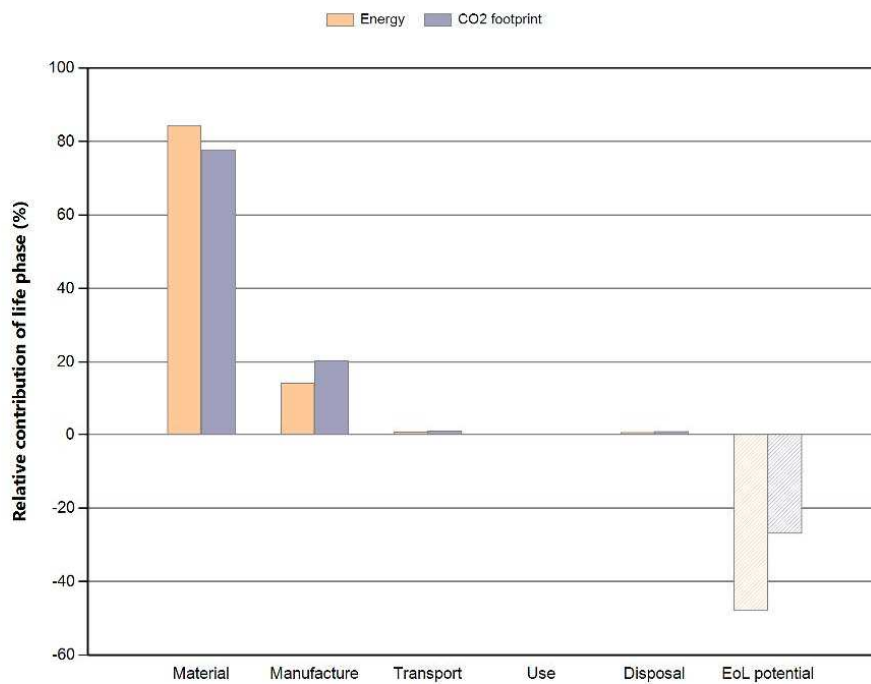


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 2b vnitrostátní  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	2,08	84,5	0,101	77,8
<b>Manufacture</b>	0,35	14,3	0,0264	20,4
<b>Transport</b>	0,0169	0,7	0,00122	0,9
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0151	0,6	0,00105	0,8
<b>Total (for first life)</b>	<b>2,46</b>	<b>100</b>	<b>0,129</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-1,18		-0,0348	

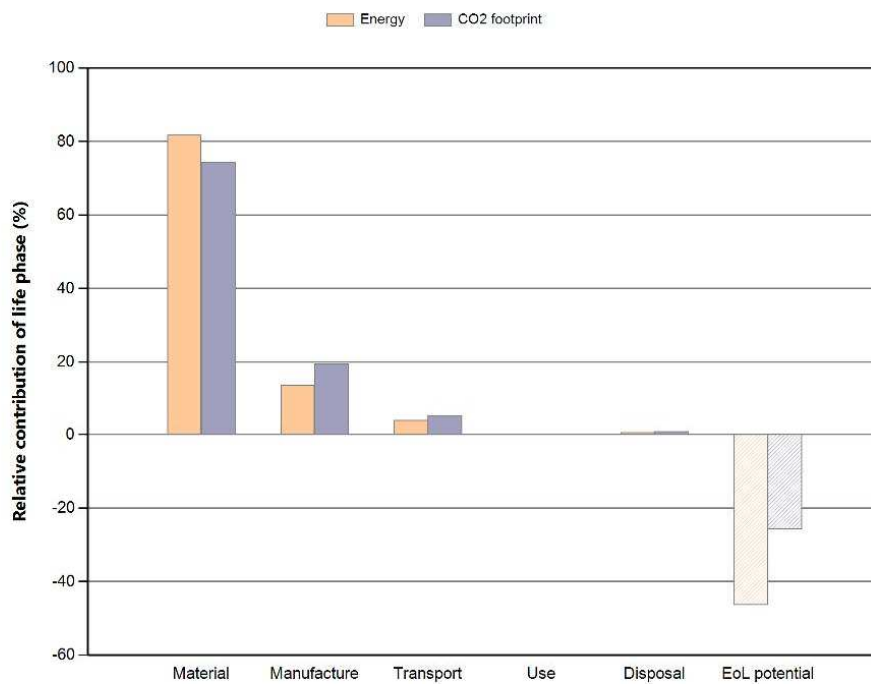


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 2b zahraniční  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	2,08	81,7	0,101	74,5
<b>Manufacture</b>	0,35	13,8	0,0264	19,5
<b>Transport</b>	0,0983	3,9	0,00708	5,2
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0151	0,6	0,00105	0,8
<b>Total (for first life)</b>	<b>2,54</b>	<b>100</b>	<b>0,135</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-1,18		-0,0348	

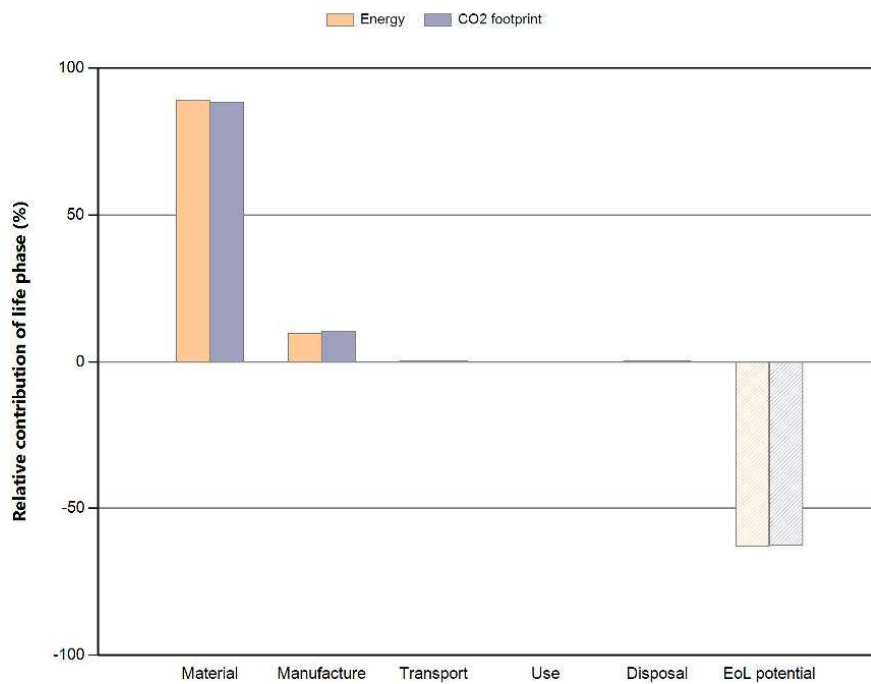


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 3a vnitrostátní  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	7,74	89,2	0,504	88,3
<b>Manufacture</b>	0,847	9,8	0,0607	10,6
<b>Transport</b>	0,043	0,5	0,00309	0,5
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0434	0,5	0,00304	0,5
<b>Total (for first life)</b>	<b>8,67</b>	<b>100</b>	<b>0,571</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-5,46		-0,358	

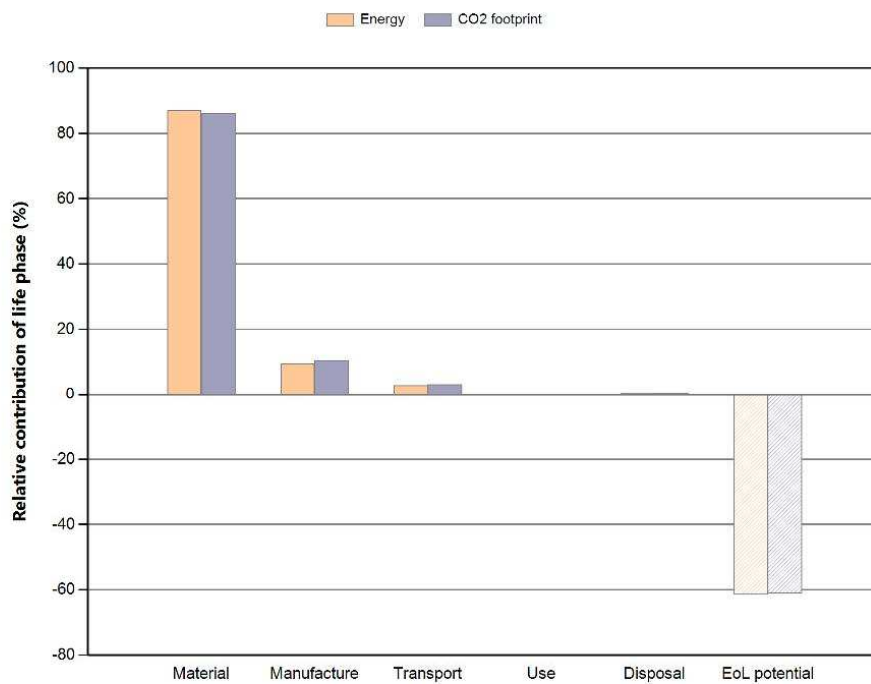


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 3a zahraniční  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	7,74	87,2	0,504	86,0
<b>Manufacture</b>	0,847	9,5	0,0607	10,4
<b>Transport</b>	0,25	2,8	0,018	3,1
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0434	0,5	0,00304	0,5
<b>Total (for first life)</b>	<b>8,88</b>	<b>100</b>	<b>0,586</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-5,46		-0,358	

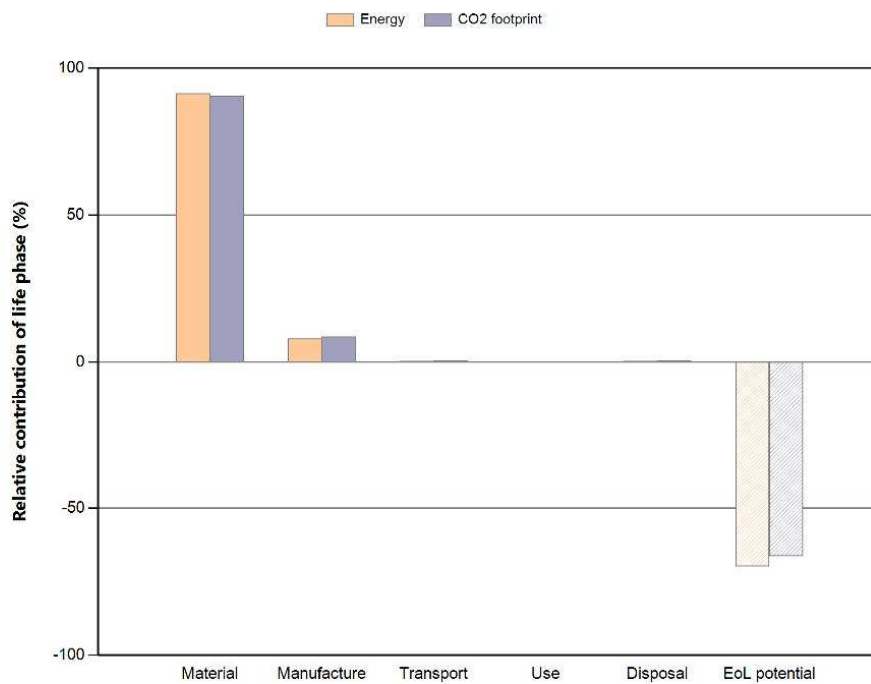


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 3b vnitrostátní  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	8,16	91,3	0,508	90,5
<b>Manufacture</b>	0,713	8,0	0,0486	8,7
<b>Transport</b>	0,0339	0,4	0,00244	0,4
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0339	0,4	0,00237	0,4
<b>Total (for first life)</b>	<b>8,94</b>	<b>100</b>	<b>0,561</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-6,25		-0,372	

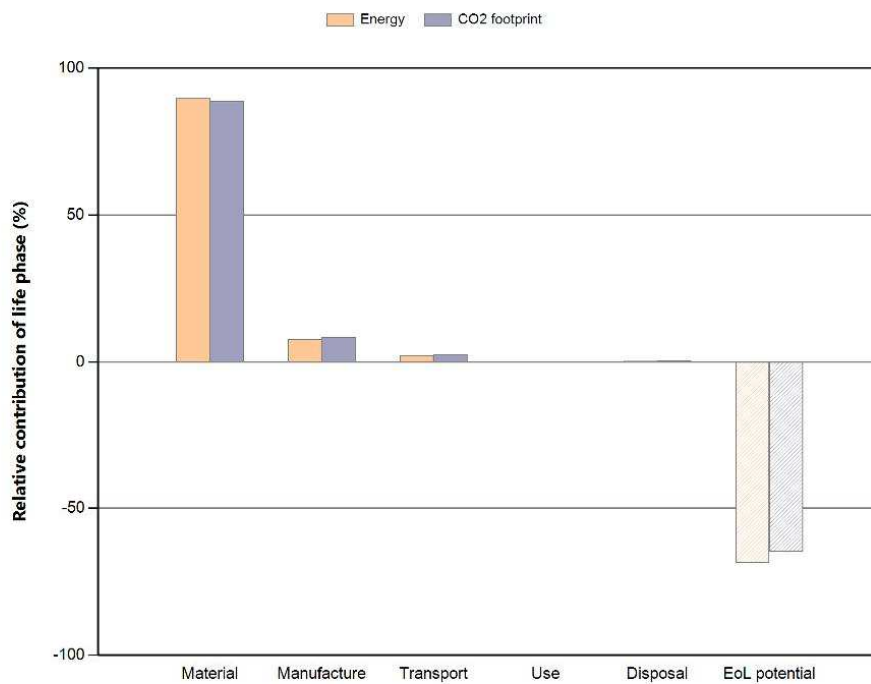


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 3b zahraniční  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	8,16	89,6	0,508	88,6
<b>Manufacture</b>	0,713	7,8	0,0486	8,5
<b>Transport</b>	0,197	2,2	0,0142	2,5
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0339	0,4	0,00237	0,4
<b>Total (for first life)</b>	<b>9,11</b>	<b>100</b>	<b>0,573</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-6,25		-0,372	

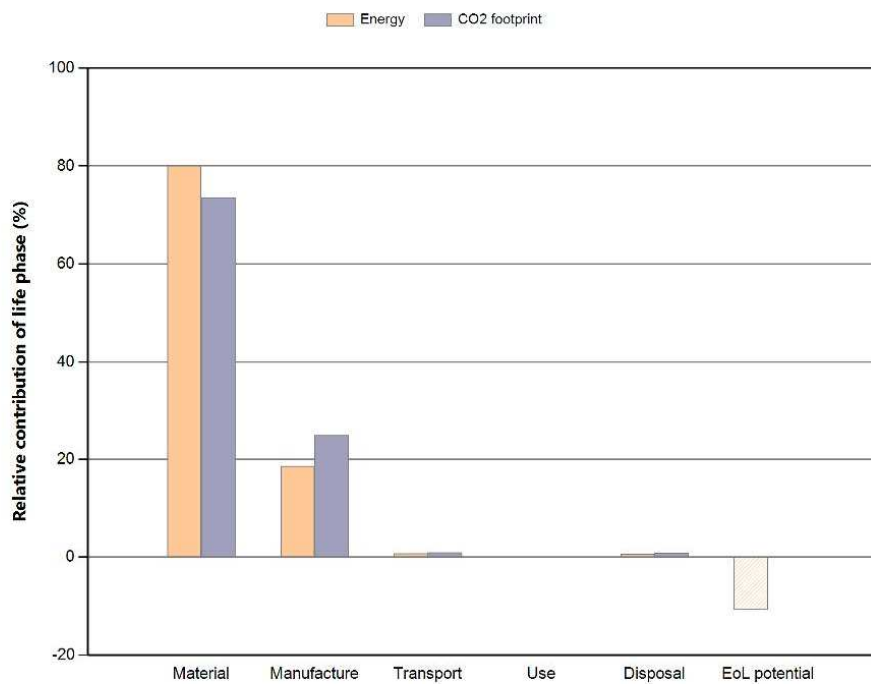


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 4a vnitrostátní  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	3,52	80,0	0,193	73,5
<b>Manufacture</b>	0,818	18,6	0,0652	24,9
<b>Transport</b>	0,0319	0,7	0,0023	0,9
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0289	0,7	0,00202	0,8
<b>Total (for first life)</b>	<b>4,4</b>	<b>100</b>	<b>0,262</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-0,469		-0,000171	

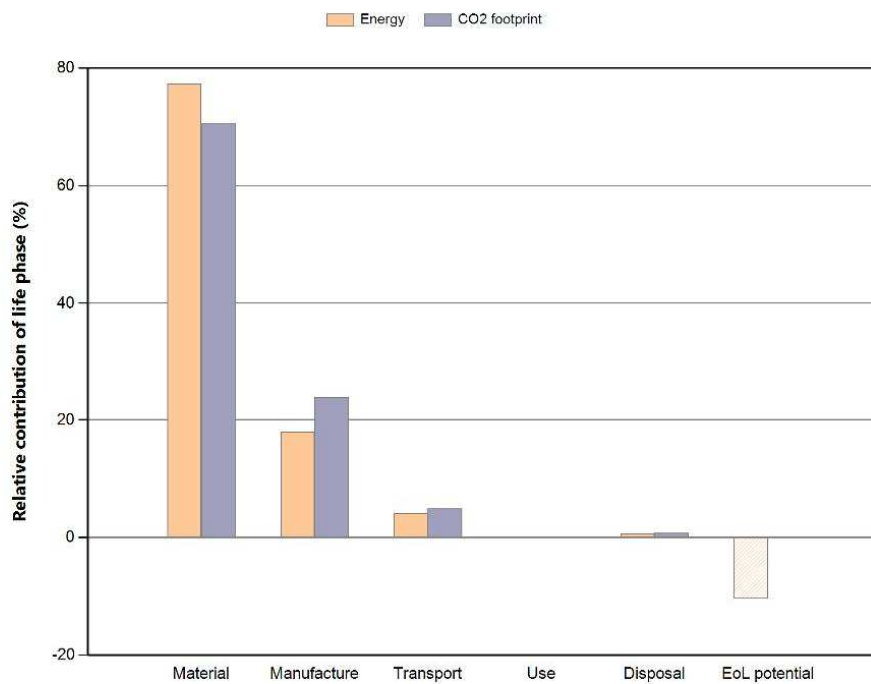


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 4a zahraniční  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	3,52	77,3	0,193	70,5
<b>Manufacture</b>	0,818	17,9	0,0652	23,8
<b>Transport</b>	0,186	4,1	0,0134	4,9
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0289	0,6	0,00202	0,7
<b>Total (for first life)</b>	<b>4,56</b>	<b>100</b>	<b>0,273</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-0,469		-0,000171	



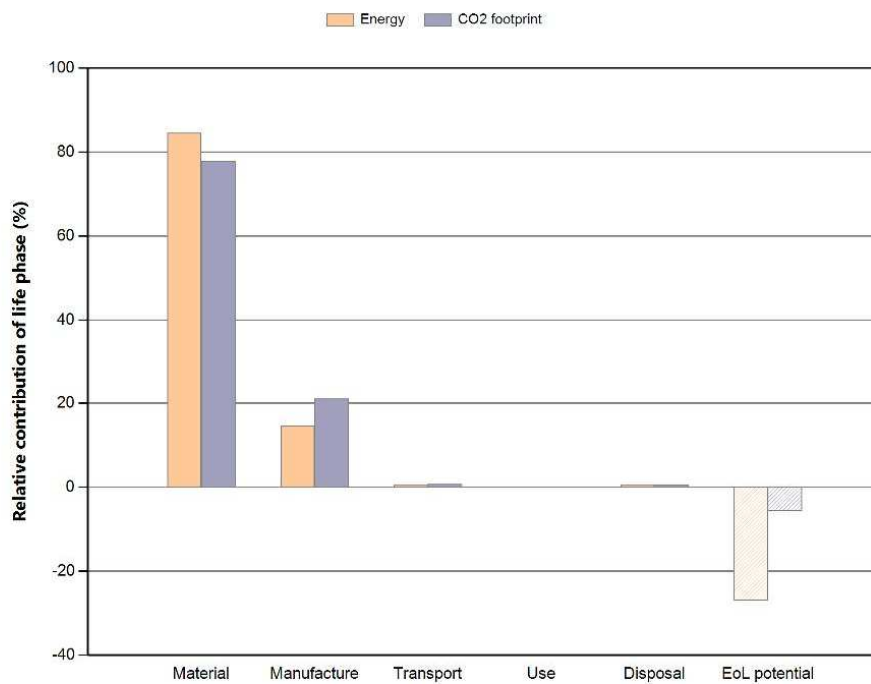


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 4b vnitrostátní  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	3,94	84,5	0,197	77,8
<b>Manufacture</b>	0,684	14,6	0,053	21,0
<b>Transport</b>	0,0228	0,5	0,00164	0,6
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0194	0,4	0,00136	0,5
<b>Total (for first life)</b>	<b>4,67</b>	<b>100</b>	<b>0,253</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-1,26		-0,0142	

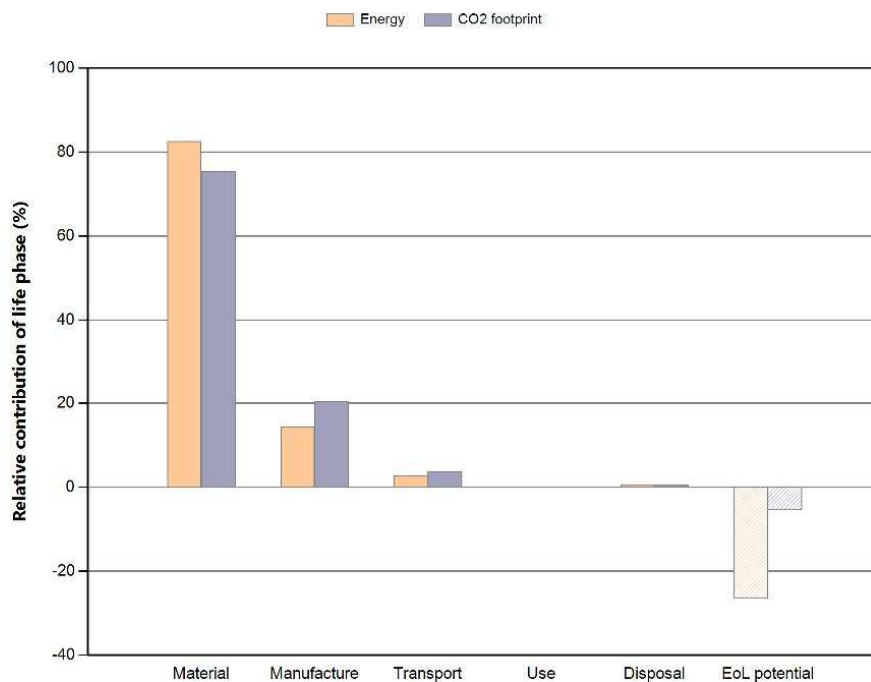


## Eco Audit Report



Product name: Brýle 4b zahraniční  
Country of use: World  
Product life (years): 5

### Summary:



[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	3,94	82,5	0,197	75,5
<b>Manufacture</b>	0,684	14,3	0,053	20,4
<b>Transport</b>	0,133	2,8	0,00955	3,7
<b>Use</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Disposal</b>	0,0194	0,4	0,00136	0,5
<b>Total (for first life)</b>	<b>4,78</b>	<b>100</b>	<b>0,261</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	-1,26		-0,0142	