



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE KABIN AUTOMOBILŮ

VENTILATION AND AIR CONDITIONING OF A CAR CABINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR VIŠČOR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAN FIŠER

BRNO 2008

Abstrakt

V této práci jsou popsány jednotlivé druhy a funkce klimatizačních soustav užívaných v automobilech, je zde popsán přenos tepla mezi kabinou automobilu a okolním prostředím a problematika redukce energie vynaložené na klimatizaci. Součástí práce jsou výsledky z numerické simulace provedené v programu THESEUS-FE 2.1. Simulace byla realizována na geometrickém modelu automobilu Toyota Prius a byla především zaměřena na vliv druhu zasklení na teplotu vzduchu uvnitř kabiny automobilu v teplých letních dnech.

Abstract

In this work are described kinds and functions of air-conditioning systems which are used in cars. Further is described heat transfer between car cabin and ambient environment and issue of reduction of air-conditioning energy consumption. Last part of the work contains numerical simulation made by the THESEUS-FE 2.1 software package. This simulation was done on a model of the Toyota Prius car and was focused on effect of glazing on a temperature of the air inside the car cabin during hot summer days.

Klíčová slova

Klimatizace automobilu, přenos tepla, numerická simulace, zasklení automobilu

Key words

Car air-conditioning, heat transfer, numerical simulation, car glazing

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě uvedené odborné literatury a pod vedením Ing. Jana Fišera.

.....

Petr Višcor

V Brně dne 20. května 2008

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Fišerovi za jeho cenné rady.

Obsah

Obsah	7
Seznam použitých symbolů.....	8
1. Úvod.....	9
2. Druhy a funkce klimatizačních soustav	10
3. Přenos tepla a metody redukce spotřeby energie na klimatizaci.....	13
3.1 Přenos tepla mezi kabinou automobilu a okolním prostředím.....	13
3.2 Redukce energie vynaložené na klimatizaci.....	15
4. Numerická simulace v programu THESEUS-FE 2.1	19
4.1 Tvorba modelu a modelové situace	19
4.2 Analýza výsledků	21
5. Závěr	24
Použitá literatura	25

Seznam použitých symbolů

Značka	Význam	Jednotka
S	Plocha	m^2
t_s	Teplota povrchu stěny	$^{\circ}C$
t_e	Teplota za teplotní mezní vrstvou	$^{\circ}C$
λ	Součinitel tepelné vodivosti	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
\dot{q}	Měrný tepelný tok	$W \cdot m^{-2}$
\dot{Q}	Tepelný tok	W
α	Součinitel přestupu tepla konvekcí	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
α	Absorptivita	-
ε	Emisivita	-
ρ	Reflektivita	-
τ	Transmisivita	-
T	Teplota	$^{\circ}C$
t	Čas	s

1. Úvod

Tepelná pohoda člověka ve spojení s kvalitou okolního vzduchu v interiéru vozu jsou jedním z hlavních faktorů, které ovlivňují pozornost a psychickou pohodu řidiče. Není proto zvláštností, že spolu s rozvojem automobilové techniky kladou výrobci automobilů stále větší důraz na zlepšování pohody v interiéru vozidel. Jednoduchým prostředkem jak toho docílit je užití klimatizace. Ta zajišťuje jak potřebnou výměnu vzduchu v kabině automobilu, tak jeho ohřev či ochlazení na požadovanou teplotu. Klimatizace byly ještě před deseti lety výsadou pouze luxusních automobilů, dnes je však možné vybavit klimatizací nové vozy všech tříd.

Zdálo by se, že v podobě klimatizace bylo nalezeno jednoduché řešení problému pohody uvnitř kabin automobilů. Nic však není zadarmo a ani v tomto případě tomu není jinak. Chceme-li si pořídit výkonnou klimatizaci, která zajistí komfort uvnitř automobilu i v těch nejteplejších dnech, musíme počítat se zvýšenou spotřebou paliva. Testy německého autoklubu ADAC naznačují, že se toto navýšení spotřeby může pohybovat od zanedbatelné jedné desetiny až ke dvěma litrům paliva na sto kilometrů jízdy [3]. Tento fakt nabývá stále více na významu, především s ohledem na zhoršující se životní prostředí a zvyšující se nároky na snižování emisí automobilů.

Hlavním úkolem výrobců klimatizací je tedy zajistit co nejlepší pohodu v interiéru kabiny automobilu při co nejnížší spotřebě paliva. Toto je nelehký úkol a proto dnes běží řada výzkumných programů zaměřených na regulaci teploty a na vnímání tepelné pohody řidičem i ostatními pasažéry. Hojně využívaným nástrojem k predikci tepelné pohody je numerická simulace, využívající zjednodušený model kabiny automobilu.

Cílem této práce je stručně pojednat o druzích a funkcích klimatizačních soustav, přenosu tepla mezi kabinou automobilu a vnějším prostředím a metodách redukce vynaložené energie na klimatizaci. Jedním z cílů je také provést jednoduchou numerickou simulaci pomocí programu THESEUS-FE 2.1 se snahou určit vliv druhů zasklení na tepelnou pohodu uvnitř kabiny automobilu.

2. Druhy a funkce klimatizačních soustav

Kabina automobilu se v mnohém liší od standardně klimatizovaných prostor, jako jsou například kancelářské místnosti, a proto jsou zde kladeny specifické nároky na větrací soustavu a klimatizaci.

Od klimatizace se vyžaduje, aby byl vzduch uvnitř kabiny ohřát anebo ochlazen v co nejkratším časovém úseku. Dále, aby byla zlepšena kvalita přiváděného vzduchu zbavením nečistot obsažených v okolním prostředí a snížením nebo naopak zvýšením vlhkosti přiváděného vzduchu. Také se požaduje určitá jednoduchost ovládání a v neposlední řadě také ohleduplnost k životnímu prostředí. [1]

Rozlišujeme tyto druhy klimatizačních soustav:

- a) Ručně ovládané
- b) Teplotně regulované
- c) Plně automatické [1]

U ručně ovládané klimatizace se teplota, způsob distribuce a množství přiváděného vzduchu nastavují manuálně příslušnými ovladači.

Teplotně regulovaná klimatizace udržuje zvolenou teplotu uvnitř vozu automaticky konstantní, distribuce a množství vzduchu se pak nastavuje ručně.

Plně automatická klimatizace opět udržuje zvolenou teplotu konstantní a kontroluje ji teplotními čidly. Distribuce a množství vzduchu je pak také automaticky regulováno, aby se docílilo požadovaného rozložení teplot uvnitř kabiny automobilu. [1]

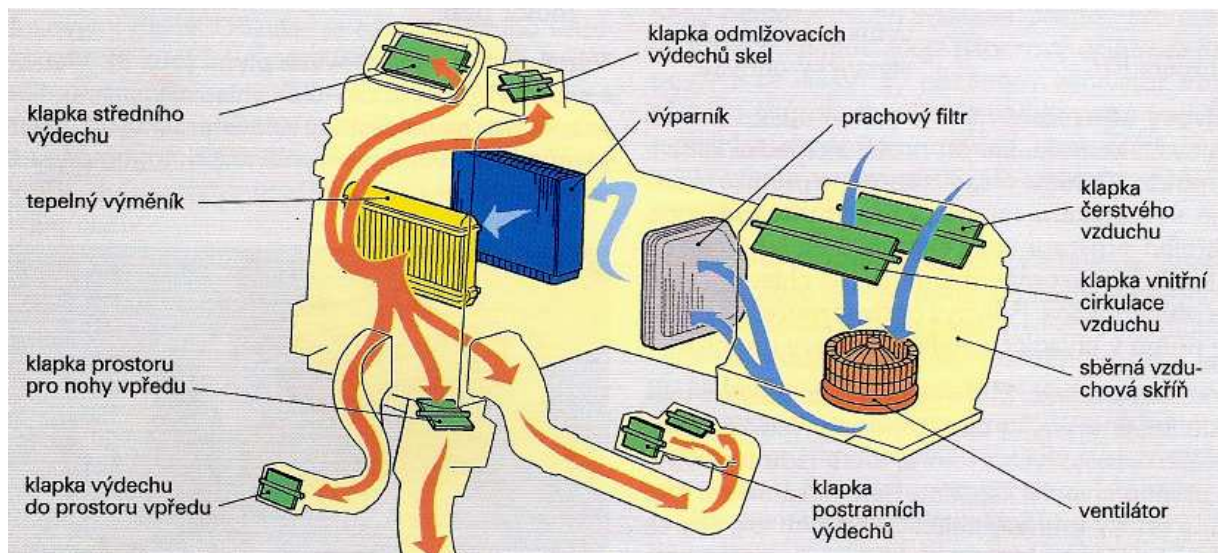
Klimatizační soustava se skládá z těchto základních částí:

- Okruh vzduchu
- Okruh chladiva
- Systém řízení a regulace [1]

Okruhem vzduchu rozumíme přívod a rozvod vzduchu, včetně ohřevu a ventilátoru. Tento se pak dále dělí na otevřený a uzavřený okruh. Otevřený okruh vzduchu zprostředkovává přívod čerstvého vzduchu z okolního prostředí, kdežto uzavřený okruh umožňuje vnitřní cirkulaci vzduchu.

Do otevřeného okruhu (obr.1) je přes regulační klapku nasáván čerstvý vzduch okolního prostředí. Poté vzduch prochází přes prachový filtr, kde se odstraní nečistoty, jakými jsou například prach nebo pyl. Dále proudí vzduch k výparníku, kde se ochlazuje a vlhkost v něm obsažená kondenzuje na vodu. Takto upravený vzduch se dostává do tepelného výměníku, kde se dle potřeby upravuje jeho teplota. Dále je vzduch rozváděn na místa potřeby přes rozváděcí klapky a vyústky.

Například v dopravní zácpě, kdy je v okolním vzduchu zvýšený podíl toxických látek může být využit vnitřní okruh vzduchu. Do tohoto okruhu je vzduch nasáván z vnitřního prostoru kabiny automobilu, následně je čištěn v prachovém filtru a upravován v kondenzátoru a výměníku tepla. Takto upravený vzduch je opět přiváděn do vnitřního prostoru vozu. Vnitřní okruh může být zvolen jak spínačem na přání řidiče, tak i elektronickou řídicí jednotkou, která pomocí snímače kvality vzduchu porovnává hodnoty škodlivin vzduchu vně a uvnitř kabiny automobilu a následně zapíná, nebo vypíná vnitřní okruh vzduchu. [1]



Obr. 1: Rozvod vzduchu [1]

Do okruhu chladiva (obr.2) lze zahrnout:

- Kompresor
- Kondenzátor
- Zásobník kapaliny se sušicí vložkou
- Expanzní ventil
- Výparník
- Hadicové a potrubní vedení
- Chladivo
- Regulační a ovládací zařízení [1]

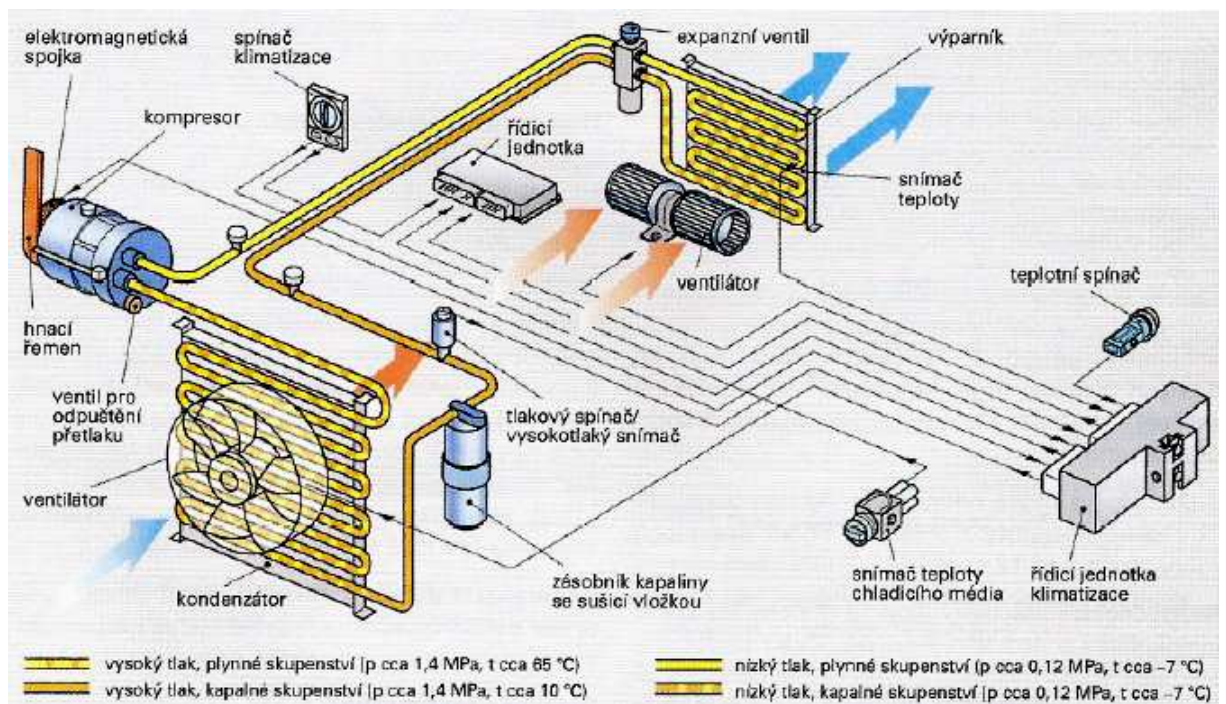
Kompresor nasává studené chladivo v plynném skupenství z výparníku, to následně stlačuje a zahřáté pod tlakem přibližně 1,6MPa vytlačuje ke kondenzátoru. Při provozu nikdy nesmí dojít k nasátí chladiva v kapalném skupenství, které by díky praktické nestlačitelnosti kapalin vedlo k destrukci kompresoru. V kondenzátoru se chladivo ochlazuje a přechází z plynného skupenství do skupenství kapalného. Teplo je předáváno z trubek a žebér kondenzátoru okolnímu chladicímu vzduchu. Chladivo dále postupuje k zásobníku kapaliny se sušicí vložkou, který funguje jako vyrovnávací a zásobní nádoba. Přes expanzní ventil, kde dochází k poklesu tlaku, se chladivo dostává do výparníku, kde dochází ke změně jeho skupenství v plynné. Teplo potřebné k této skupenské změně je odebíráno ze vzduchu proudícího přes výparník. Takto ochlazený vzduch je poté distribuován do kabiny vozu.

Hadicové a potrubní vedení, jímž se pohybuje chladivo, lze rozdělit na vysokotlaké vedení, které má malý průřez a při provozu se zahřívá, a vedení nízkotlaké, které má velký průřez a při provozu se ochlazuje. [1]

Chladivo musí být voleno tak, aby za stanovených teplot a tlaků měnilo své skupenství. V minulosti se užívalo chladiva R12, toto bylo zakázáno Montrealským protokolem kvůli obsahu freonu a proto se dnes užívá většinou chladiva R 134a, které je do jisté míry ekologické. Jeho nevýhodou může být přispívání ke skleníkovému efektu v atmosféře. Jeden kilogram chladiva R 134a vypuštěného do atmosféry má stejné následky jako 1300 kilogramů oxidu uhličitého (CO₂). Tento fakt lze však zanedbat vzhledem k množství unikajícího do atmosféry. I když má následník R 134a, chladivo s označením R 152a, asi desetkrát menší vliv na skleníkový efekt než jeho předchůdce, pořád nedosahuje kvalit chladiv na bázi oxidu

uhličitého. Toto chladivo je navíc snadno hořlavé a při jeho hoření vznikají jedovaté plyny. Proto se do popředí dostává chladivo na bázi CO₂ s označením R 744 se kterým klesá spotřeba paliva klimatizací o 14 až 25%. Jeho jedinou výraznou nevýhodou je nutnost nové koncepce kompresoru, což zvyšuje náklady na výrobu a konečnou cenu klimatizačního zařízení. [2]

Jako regulační a ovládací zařízení uvažujeme prvky, kterými lze nastavovat požadované parametry prostředí v kabině automobilu, jakými jsou například množství a rychlost přiváděného vzduchu, jeho vlhkost, teplota a podobně. [1]



Obr. 2: Okruh chladiva [1]

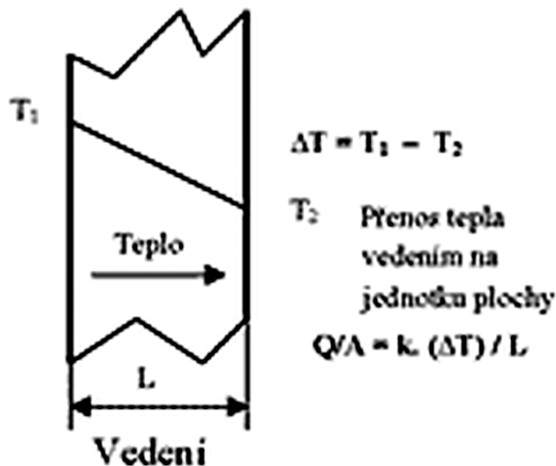
System regulace teploty: Pomocí mnoha snímačů, především snímače teploty odpařování, teploty kondenzace a teploty vzduchu v kabině, shromažďuje elektronická řídicí jednotka důležité hodnoty. Porovnáním požadované teploty se skutečnou se v řídicí jednotce vytváří regulační veličiny pro výkon topení, chlazení, regulaci distribuce a množství vzduchu. Takto reguluje řídicí jednotka jednotlivé části klimatizace tak, aby bylo dosaženo požadovaných hodnot. [1]

3. Přenos tepla a metody redukce spotřeby energie na klimatizaci

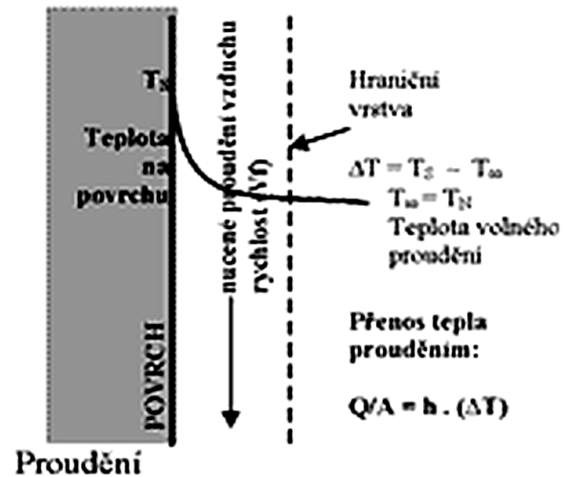
3.1 Přenos tepla mezi kabinou automobilu a okolním prostředím

Mezi kabinou automobilu a okolním prostředím dochází k neustálému přenosu tepla, přičemž rozlišujeme jeho tři základní mechanizmy:

- Přenos tepla vedením (kondukcí)
- Přenos tepla prouděním (konvekce)
- Přenos tepla zářením (radiací) [4]



Obr. 3: Příklad kondukcí [8]



Obr. 4: Příklad konvekce [8]

Vedení tepla (Obr. 3) lze chápat jako přenos energie od částic více energetických k částicím méně energetickým. Existuje-li v látce teplotní gradient, pak se teplo přenáší ve směru klesající teploty. O tomto jevu pojednává Fourierův zákon: „Měrný tepelný tok \dot{q} [W/m²], tj. tepelný tok \dot{Q} vztažený na jednotku plochy S, přenášený vedením v nějaké látce je přímo úměrný velikosti teplotního gradientu a má opačné znaménko než tento gradient.“

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{S} = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1)$$

Kde λ je tepelná vodivost [W/mK].

Teplotní pole lze pak spočítat pomocí diferenciální rovnice energie. Tato vyplývá z energetické bilance pro objemový element, kterou můžeme zapsat jako: tepelný tok vstupující do elementu + tepelná energie generovaná v elementu = změna vnitřní energie elementu + tepelný tok vystupující z elementu. Rovnici energie lze pak zapsat jako:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{Q}_{zdroj} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad [4] \quad (2)$$

Přenos tepla konvekcí (Obr. 4) se skládá ze dvou mechanismů. Jedním je náhodný pohyb molekul – kondukce, druhým pak kolektivní pohyb velkého množství molekul – advekce. Podle povahy proudění lze konvekci klasifikovat na:

- 1) Nucenou
- 2) Přirozenou
- 3) Kombinovanou [4]

Ve všech těchto případech platí Newtonův ochlazovací zákon:

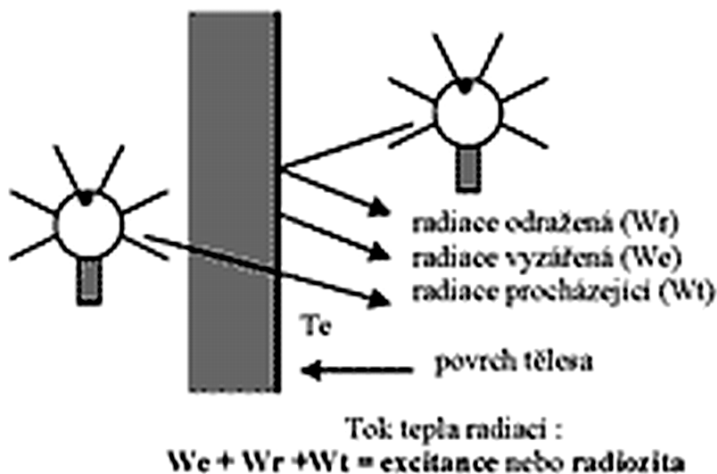
$$\dot{q} = \alpha(T_w - T_\infty) \quad (3)$$

Kde α je součinitel přestupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], T_w je teplota povrchu obtékaného tělesa a T_∞ je teplota v dostatečné vzdálenosti od povrchu tělesa. [4]

Tepelné záření je způsobeno emitováním energie, které můžeme pozorovat u všech prvků s konečnou teplotou. Toto záření může probíhat i ve vakuu. Nevyžaduje tedy přítomnost hmotné látky jak tomu je u přenosu vedením, nebo prouděním. Maximální tok, jenž může být povrchem emitován lze vyjádřit pomocí Stefan – Boltzmannova zákona:

$$\dot{q} = \sigma T_w^4 \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (4)$$

Kde σ je Stefan – Boltzmannova konstanta ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$) a teplota T_w je teplota povrchu tělesa. [4]



Radiace

Obr. 5: Příklad radiace [8]

Záření dopadající na těleso může být absorbováno, propuštěno nebo odraženo. Základem radiční termometrie je koncepce absolutně černého tělesa. Černé těleso definoval roku 1860 Kirchhoff jako povrch, který veškeré na něj dopadající záření absorbuje. Většina těles však nepohlčuje záření zcela a proto byla jako podíl pohlceného záření zavedena absorptivita α [-]. Absorptivita absolutně černého tělesa je rovná jedné. U reálných těles platí: $0 \leq \alpha \leq 1$. Absolutně černé

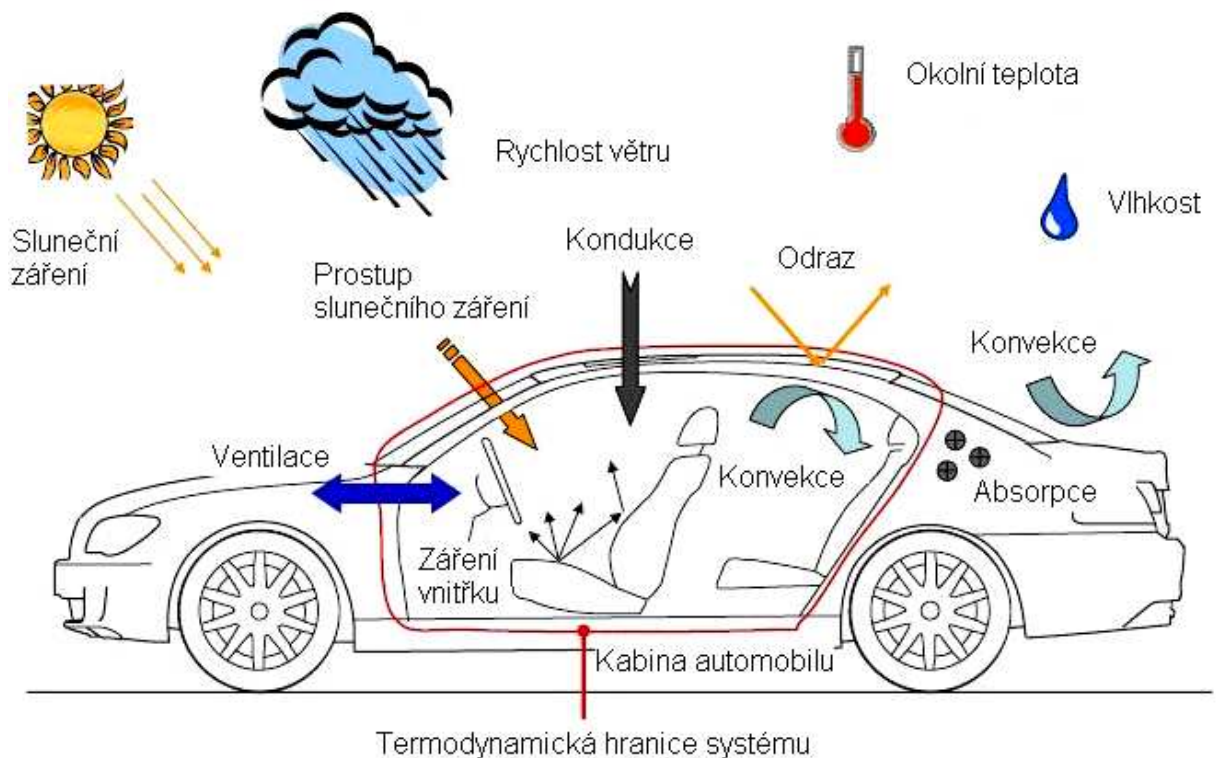
těleso nejen že záření zcela absorbuje, ale také dokonale vyzařuje. Pro srovnání vyzařování s reálnými tělesy definoval Kirchhoff emisivitu ϵ [-] jako poměr tepelné radiace reálného povrchu při dané teplotě a radiace absolutně černého tělesa při stejné teplotě a za stejných spektrálních a směrových podmínek. Odrazivost povrchu ρ [-], tedy jeho reflektivita je dána odraženým zářením a její definice mohou nabývat různých forem. Množství záření které prochází tělesem pak udává transmisivita τ [-]. [9]

3.2 Redukce energie vynaložené na klimatizaci

V kabině automobilu existuje mnoho činitelů, kterými lze do jisté míry ovlivnit vynaloženou energii na klimatizaci. V této práci je pojednáno o třech hlavních způsobech redukce spotřeby energie:

- 1) Redukce tepelných zisků (především zasklením)
- 2) Užití plně automatické klimatizace
- 3) Užití solárně napájeného větracího systému

Nejdůležitější mechanismy ovlivňující tepelné zisky a ztráty kabiny automobilu jsou uvedeny na obrázku 6.

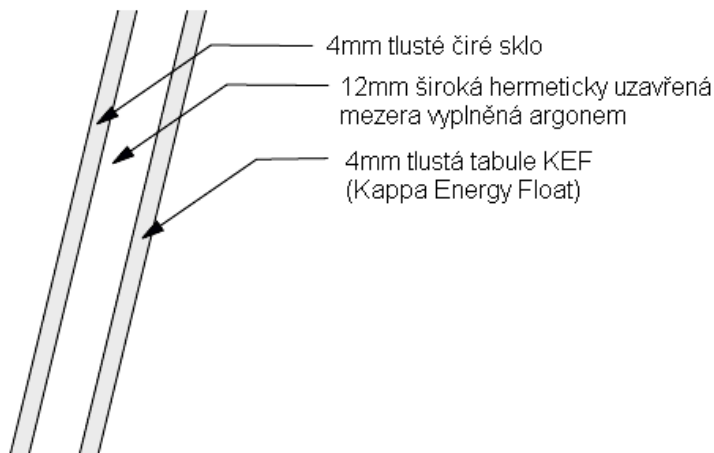


Obr. 6: Způsoby přenosu tepla do kabiny vozu a fenomény, které je ovlivňují. Převzato z [5]

Interiér vozu je jako klimatizovaný systém atypický především velkou plochou zasklení. Hlavním problémem, který vede k významným tepelným ztrátám kabiny automobilu za studených zimních dní je nízká teplota vnitřní strany zasklení.

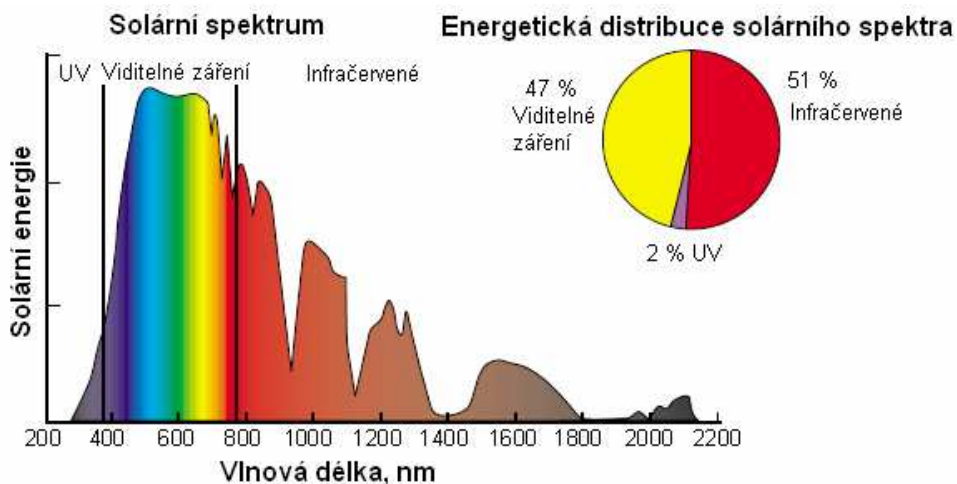
V teplých letních dnech pak nastává problém s přímým slunečním zářením prostupujícím přes zasklení.

Testy JTI (the Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering) a NIWL (the National Institute for Working Life) ukazují, že se lze s těmito problémy vypořádat vhodnou volbou zasklení. Například experimentální sklo firmy Pilkington (Obr. 7) sníží tepelné ztráty zasklením až o 70%. Toto zasklení se skládá ze 4mm tlustého čirého skla z vnější strany a 4mm tlusté tabule z KEF (Kappa Energy Float) ze strany vnitřní. Materiál KEF je zde užit, protože nepropouští dlouhovlnné záření do okolí vozu, ale odráží jej zpět na řidiče. 12mm široký prostor mezi těmito dvěma tabulemi je hermeticky uzavřen a vyplněn inertním plynem argonem, čímž je dosaženo snížení součinitele prostupu tepla. [6]

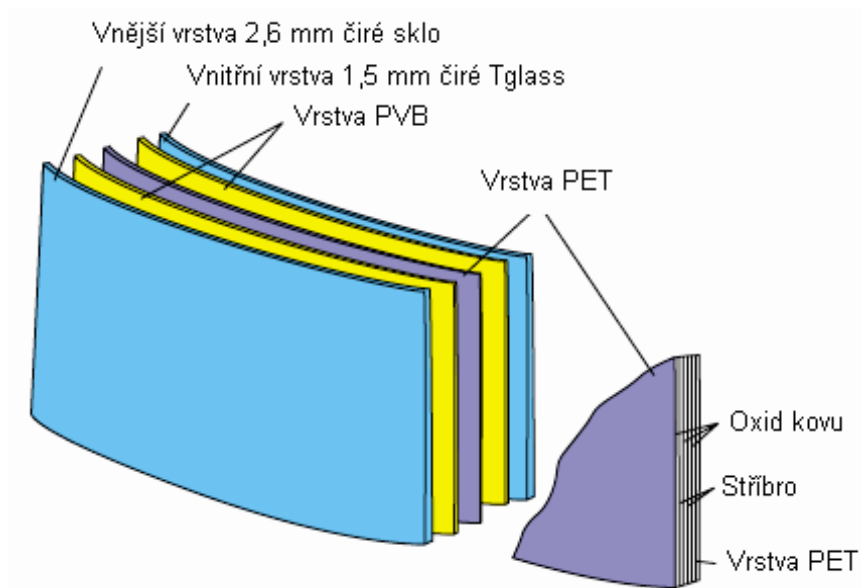


Obr. 7: Izolační sklo firmy Pilkington. Převzato z [6]

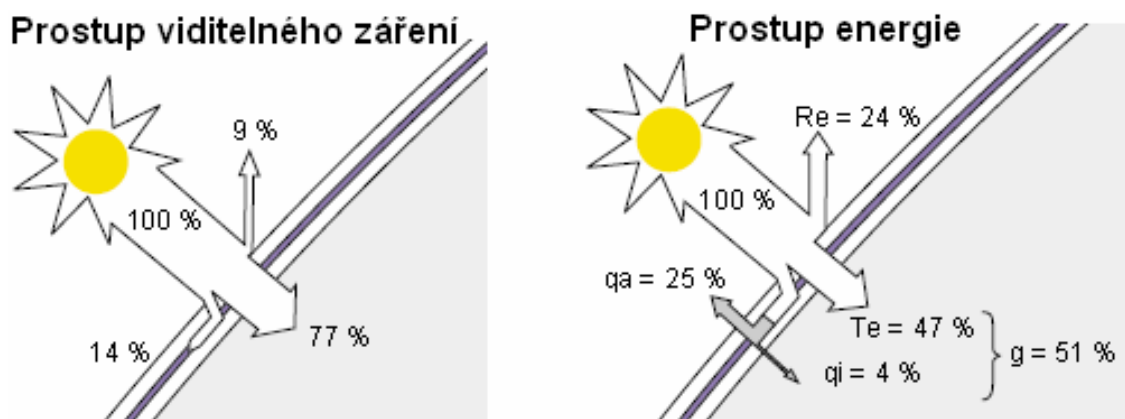
Tepelné zisky kabiny automobilu způsobené přímým prostupem slunečního záření skrz zasklení lze účinně snížit užitím skel Siglasol (obr. 9) firmy Pilkington. Podle evropských norem nesmí být propustnost viditelného světla čelním sklem automobilu menší než 75%. Pro boční a zadní skla je pak limitující hodnotou 70%. Proto je sklo Siglasol navrženo tak, aby co nejučinněji pohlcovalo jak ultrafialovou, tak infračervenou složku světelného spektra. Obě tyto složky tvoří asi 53% energie solárního záření, zbytek pak připadá na záření viditelné (obr. 8). Tento typ zasklení propouští 77% viditelného záření (obr. 10) a proto jej lze použít i pro čelní zasklení automobilů. [6]



Obr. 8: Energetická distribuce solárního spektra. Převzato z [6]



Obr. 9: Sklo Siglasol. Převzato z [6]

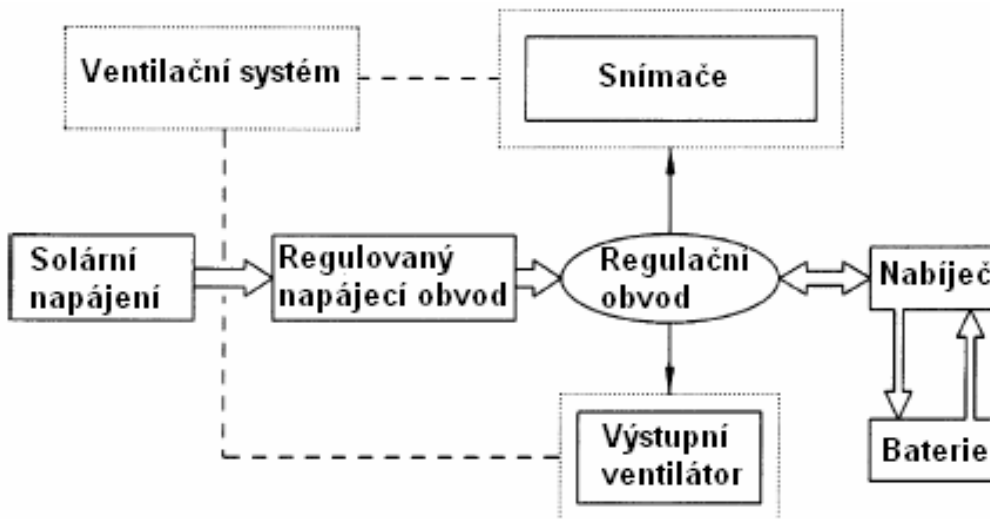


Obr. 10: Prostup viditelné složky solárního záření a celkový prostup energie solárního záření u skla Siglasol. Převzato z [6]

V testech autoklubu ADAC se z hlediska spotřeby paliva klimatizací umístily nejlépe vozy vybavené plně automatickou klimatizací. Příkladem automobilu s tímto typem klimatizace může být Audi A4 s benzínovým motorem 1.8T, kde se nárůst spotřeby způsoben klimatizací pohyboval jen kolem 5,2 procent. Podobně dopadl i vůz Audi s naftovým motorem 2.0 TDI, u níž se spotřeba paliva zvýšila kvůli zapnuté klimatizaci přibližně o 6,3 procent. Nejhorší pak v testech dopadly automobily s klimatizací, jejíž výkon není nijak regulován. Tyto běží po zapnutí stále na maximum a proto se nárůst spotřeby způsoben klimatizací může průměrně pohybovat až kolem 20%, jak tomu bylo například u testovaného Fordu Fiesta. Z těchto testů bylo také zjištěno, že nejkritičtější dobou z hlediska energetické náročnosti je klimatizace odstaveného automobilu v teplých letních dnech za přímého slunečního záření, kdy je teplota uvnitř vozu značně vysoká. Snížit energetickou náročnost lze za těchto podmínek vyvětráním vozu ještě před zapnutím klimatizace, například otevřením oken. [3]

Další možností jak snížit vynaloženou energii na klimatizaci v tomto energeticky náročném období a zmírnit přitom stárnutí materiálu vystaveného vysokým teplotám může být užití solárně napájeného větracího systému. Tento systém pracuje když je motor v klidu, snímače vyhodnocují teplotu okolního vzduchu

a vzduchu uvnitř kabiny automobilu. Jestliže teplota uvnitř vozu výrazně přesáhne teplotu vně, zapne se větrací systém a provede výměnu vzduchu mezi kabinou automobilu a jejím okolím. Proudící čerstvý vzduch je schopen snížit teplotu uvnitř vozidla až o 20°C. Systém nemůže být napájen pouze baterií z důvodu její omezené kapacity a proto je nutno využít pomocné solární napájení. To transformuje energii slunečního záření na elektrickou energii a může být proto obzvláště výhodné za slunných letních dnů. Podobný systém byl poprvé použit roku 1998 ve voze Mercedes Benz 500. Dnes je používán i u automobilů značky Škoda. Na obrázku 12 je zachycen Solární panel střešního okna automobilu Škoda Superb. [7], [12]



Obr. 11: Schéma zapojení pomocného napájení větracího systému. Převzato z [7]



Obr. 12: Solární panel střešního okna automobilu Škoda Superb. Převzato z [12]

4. Numerická simulace v programu THESEUS-FE 2.1

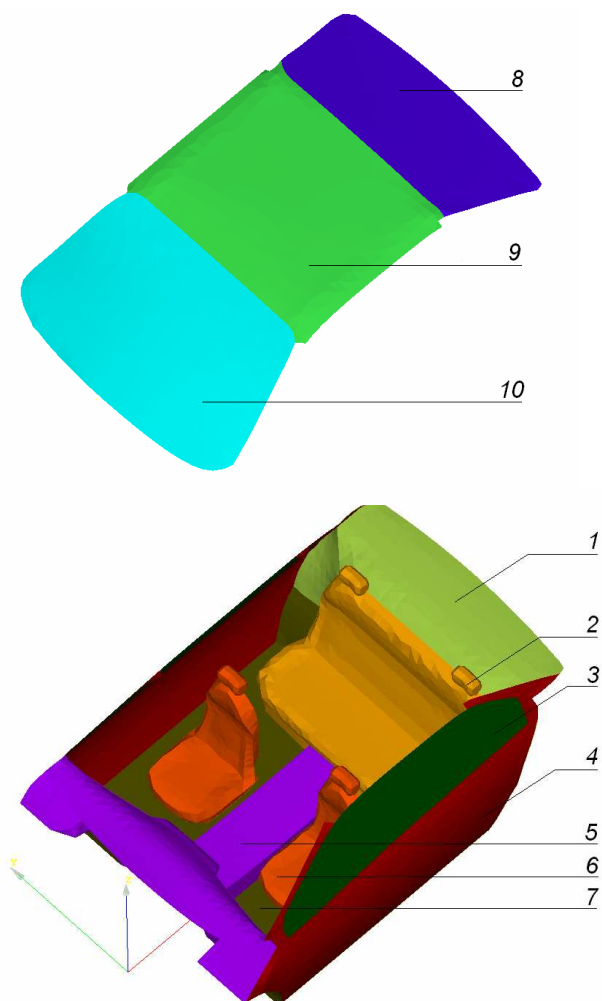
1-D multizonální simulační programy jako je THESEUS-FE 2.1 lze využít k rychlé predikci tepelné pohody například uvnitř kabiny automobilu. Výhodou těchto programů je relativně krátký čas vyhodnocení, lokální předpověď pohody, relativně přesné vyhodnocení přestupu tepla a v neposlední řadě blízká shoda s realitou. Nevýhodou může být řídká prostorová diskretizace a potřeba některých vstupních hodnot. Samotný princip činnosti programu THESEUS-FE 2.1 přesahuje rámec této práce. Blíže se s ním lze seznámit v manuálu programu. [10]

4.1 Tvorba modelu a modelové situace

Samotná simulace byla zaměřena hlavně na zjištění vlivu zasklení na prostředí uvnitř kabiny vozu. Z tohoto hlediska je vhodné uvažovat variantu klimatizovaného automobilu, odstaveného na parkovišti s dále vypnutou klimatizací za slunného letního dne. Doba sledování pohody uvnitř vozu byla volena 1800 sekund. Za těchto podmínek byly provedeny dvě varianty simulace. Varianta A se zasklením z čirého skla, varianta B pak se zasklením z odrazivého skla. Porovnáním obou variant lze odhadnout vliv zasklení na pohodu uvnitř kabiny automobilu. V této práci je užita geometrie automobilu Toyota Prius (Obr. 13) na niž byla dále prováděna numerická simulace pomocí programu THESEUS-FE 2.1. Tento model byl z hlediska možné podobnosti materiálů rozdělen na deset částí (Obr. 14).



Obr. 13: Toyota Prius. [11]



Číslo	Název	Materiál
1	Zadní plato	Plast
2	Zadní sedačky	Vícevrstvý materiál
3	Boční okna	Sklo
4	Dveře	Ocelový plech
5	Palubní deska a převodový tunel	Plast
6	Přední sedačky	Vícevrstvý materiál
7	Podlaha	Vícevrstvý materiál
8	Zadní okno	Sklo
9	Střecha	Ocelový plech
10	Přední okno	Sklo

Tab. 1: Materiály a vlastnosti jednotlivých částí

Obr. 14: Rozdělení modelu na jednotlivé části

Materiály volené pro jednotlivé části se většinou skládaly z více vrstev a vycházely z materiálů běžně užívaných pro jednotlivé části automobilů. Volba zasklení je pro obě varianty simulace uvedena v tabulce č. 2.

	Varianta A	Varianta B
Zasklení	Čiré sklo ¹	Odráživé sklo ²
Emisivita ε [-]	0,8	0,9
Absorptivita ³ α [-]	0,39	0,9
Transmisivita τ [-]	0,55	0,06

Tab. 2: Vlastnosti zasklení

¹ Sklo běžně užívané v automobilovém průmyslu

² Sklo Suncontrol Extrem

³ Absorptivita pro solární záření

Vlastnosti okolního prostředí jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Okolní prostředí	
Intenzita solárního záření [W/m ²]	850
Azimut [°]	180
Elevace [°]	63,5
Teplota okolního vzduchu [°C]	30
Relativní vlhkost okolního vzduchu [%]	40

Tab. 3: Vlastnosti okolního prostředí

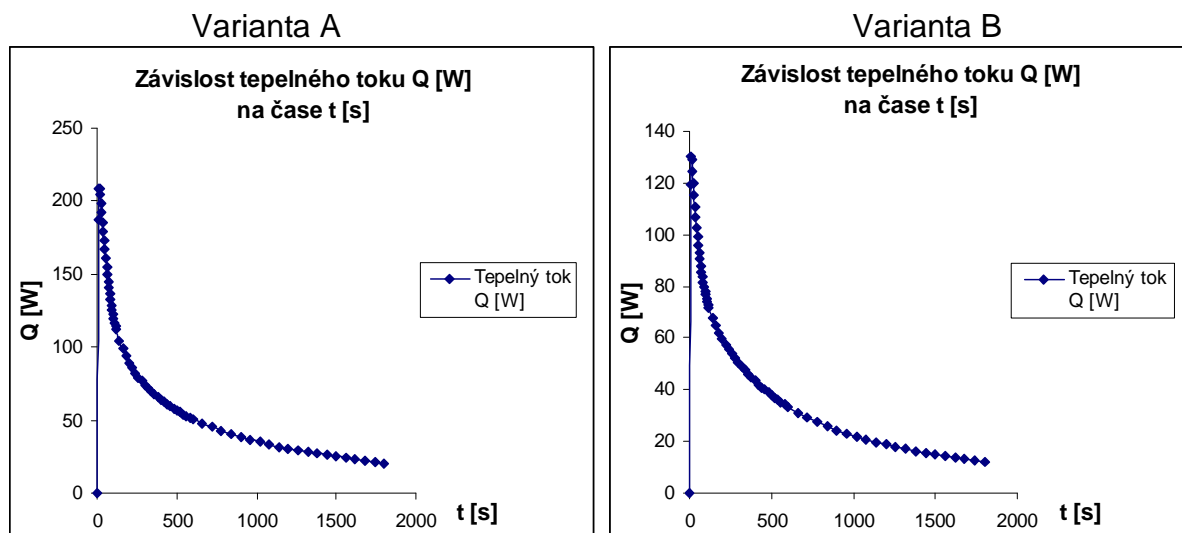
V modelu byly vytvořeny tři zóny. Jejich parametry jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Název zóny	Objem [m ³]	Počáteční relativní vlhkost [%]	Počáteční teplota [°C]
Kabina	3,3	50	25
Motor	0,5	40	30
Kufr	0,4	40	30

Tab. 4: Parametry zón

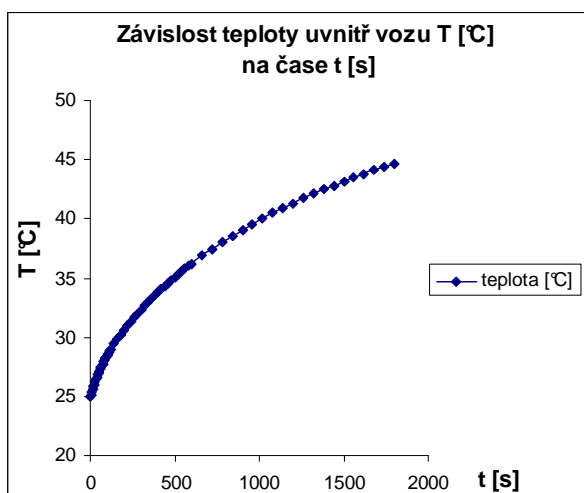
4.2 Analýza výsledků

Za uvedených podmínek byly provedeny numerické simulace. Závislosti tepelného toku a teploty uvnitř vozu na čase jsou zobrazeny v grafech 1, 2, 3 a 4. Porovnání obou variant je pak zobrazeno v grafech 5 a 6.



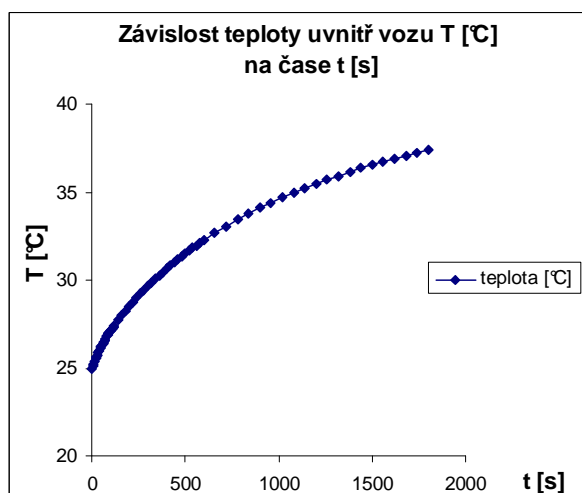
Graf 1: Závislost tep. toku na čase, var. A Graf 2: Závislost tep. toku na čase, var. B

Varianta A



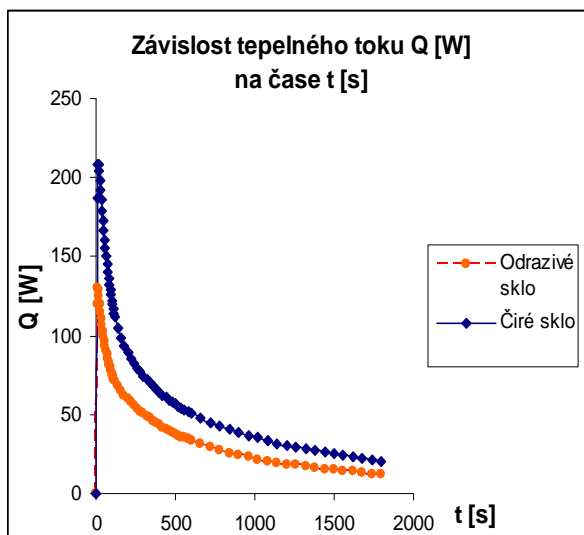
Graf 3: Závislost teploty na čase, var. A

Varianta B

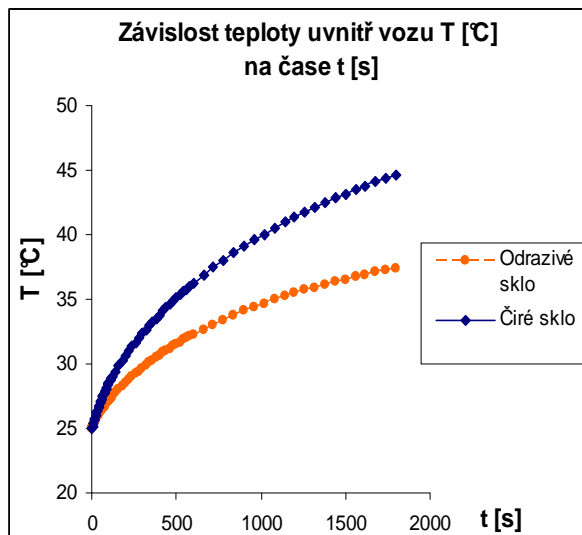


Graf 4: Závislost teploty na čase, var. B

Porovnání obou variant:

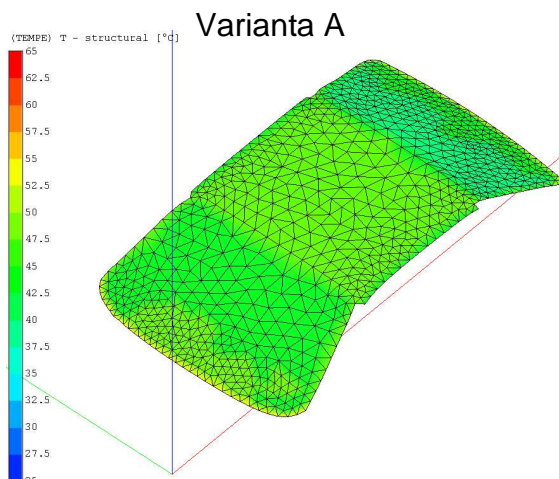


Graf 5: Závislost tep. toku na čase, porovnání obou variant

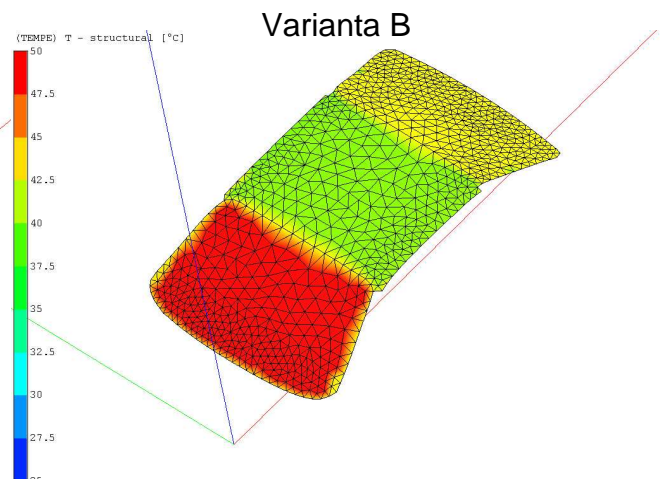


Graf 6: Závislost teploty na čase porovnání obou variant

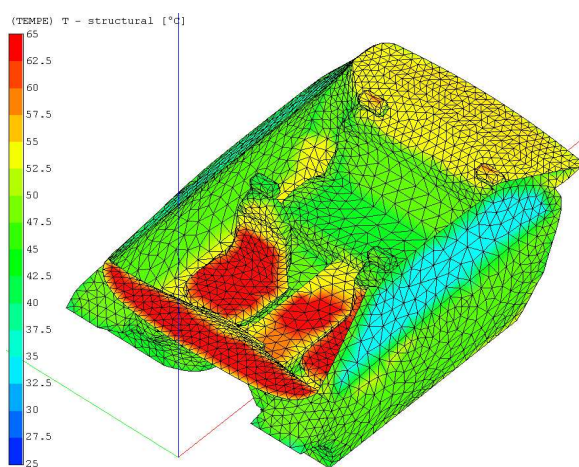
Teploty jednotlivých částí interiéru kabiny automobilu na konci simulace jsou zobrazeny na obrázcích 15, 16, 17 a 18.



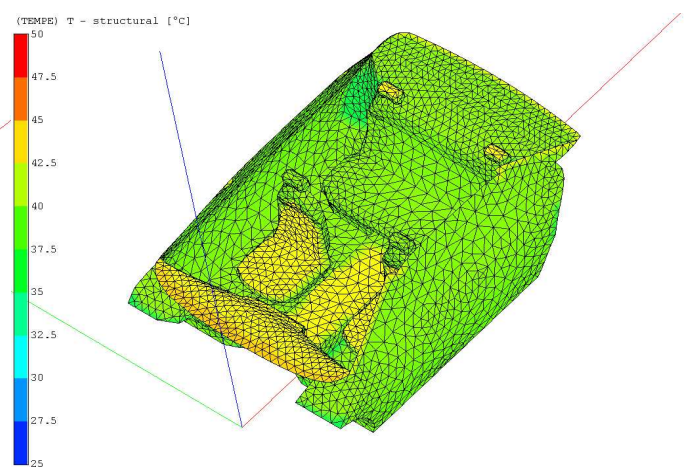
Obr. 15: Vnitřní strana střechy, var. A



Obr. 16: Vnitřní strana střechy, var. B



Obr. 17: Vnitřní strana kabiny, var. A



Obr. 18: Vnitřní strana kabiny, var. B

Z výsledků numerických simulací provedených v programu THESEUS-FE 2.1 vyplývá jistá závislost mezi zasklením kabiny automobilu a tepelnou pohodou uvnitř vozu. Na grafech 1 a 2 lze pozorovat, že užitím odrazivého zasklení lze do jisté míry omezit tepelný tok do vozu a tím zmenšit tepelné zisky kabiny. Nejvyšší tepelný tok u varianty A dosahoval hodnoty 208W. U varianty B se nejvyšší tepelný tok pohyboval pouze kolem 130W. Celková přenesená energie u varianty A činila přibližně 90kJ. U varianty B pak jen 57kJ. Z grafů 3 a 4 je pak patrné, že nárůst teploty v kabině automobilu s odrazivými skly je výrazně pomalejší než v kabině s běžným čirým zasklením. U varianty A dosahovala konečná teplota uvnitř kabiny automobilu, tedy teplota po 1800 sekundách po odstavení automobilu, téměř 45°C. U varianty B to bylo jen necelých 38°C, rozdíl tedy činí 7°C. Na obrázcích 15, 16, 17 a 18 je zobrazen vliv zasklení na rozložení teplot jednotlivých částí kabiny. U varianty s odrazivým zasklením je patrné příznivější rozložení teplot uvnitř vozu. Maximální konečné teploty se v tomto případě pohybovaly kolem 50°C u předního skla a kolem 45°C u předních sedaček a palubní desky. U varianty s čirým zasklením se maximální konečné teploty předních sedaček a palubní desky pohybovaly až kolem 65°C.

Touto simulací byl ověřen vliv zasklení na tepelnou pohodu uvnitř kabiny automobilu. V teplých letních dnech, za přímého slunečního záření má užití odrazivých skel příznivý vliv na omezení tepelných zisků kabiny vozu a tím i na redukci energie vynaložené na případnou klimatizaci.

5. Závěr

V této práci bylo pojednáno o druzích a funkci klimatizačních soustav, o soustavách ručně ovládaných, teplotně regulovaných a plně automatických, přenosu tepla mezi kabinou automobilu a vnějším prostředím, jeho základními mechanismy jako je přenos tepla vedením (kondukcí), přenos tepla prouděním (konvekce) a přenos tepla zářením (radiací), metodách redukce spotřeby energie klimatizací, především redukcí tepelných zisků (zejména zasklením), užitím plně automatické klimatizace a užitím solárně napájeného větracího systému, nakonec byla provedena jednoduchá numerická simulace v programu THESEUS-FE 2.1 se snahou určit vliv zasklení na tepelnou pohodu uvnitř vozu. Z výsledků této simulace je patrná jistá závislost mezi zasklením a teplotou vzduchu v kabině vozu. Především v teplých letních dnech, za přímého slunečního záření má užití odrazivých skel příznivý vliv na omezení tepelných zisků kabiny vozu a tím i na redukci energie vynaložené na případnou klimatizaci. Lze proto předpokládat, že se speciální zasklení kabin automobilů bude v budoucnu prosazovat stále více.

Použitá literatura

- [1] GSCHEIDLE, R. a kol. *Příručka pro automechanika*. 2. vyd. Praha: Sobotáles, 2002. 640 s. ISBN 80-85920-83-2
- [2] KARLOVARSKÝ, J. Klimatizace se prosazují, jejich náplň ale čeká revoluce. In *TipCar.cz* [online]. 2004. [cit. 2008-03-17]. Dostupný z <http://www.tipcar.cz/klimatizace_se_prosazuji_jejich_naplň_ale_čeká_revoluce-5.html>.
- [3] Klimatizace: chládek stojí litry benzínu. In *TipCar.cz* [online]. 2007. [cit. 2008-03-17]. Dostupný z <http://www.tipcar.cz/klimatizace_chladek_stoji_litry_benzínu-2709.html>.
- [4] PAVELEK, M. a kol. *Termomechanika*. 3. vyd. Brno: Cerm, 2003. ISBN 80-214-2409-5
- [5] PAULKE, S. ELLINGER, M. WAGNER, S. *Workshop on mobile air conditionnig and auxiliaries – ATA/CRF*. 2. vyd. Torino, 2007.
- [6] BOHM, M. aj. *Thermal effect of glazing in driver's cabs. JTI – raport 305*. Uppsala, 2002. ISSN 1401-4963
- [7] HUANG, D. *Applied Energy*. Elsevier, 2005. ISSN 0306-2619
- [8] Základy měření teploty, tepla a infraradiace. In *Termovize* [online]. [cit. 2008-04-13]. Dostupný z <<http://www.termovize.com/teorie.html>>.
- [9] *Zpravodaj pro měření a regulaci : Soubor technických informací poskytovaných firmou OMEGA číslo 1*. [s.l.] : [s.n.], [200-?]. 83 s.
- [10] *THESEUS-FE : Theory Manual*. 2.1th edition. Německo : [s.n.], 2007. 90 s.
- [11] Prius. In *Auto-Moto Styl* [online]. 2007. [cit. 2008-04-13]. Dostupný z <<http://www.toyota-ostrava.cz/index.php?menu=modely/modely&id=7>>.
- [12] KAMEŠ, J. Solární energie a automobil. In *Odborné časopisy* [online]. 2006. [cit. 2008-04-13]. Dostupný z <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35837>.