



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

KLIMATIZAČNÍ SOUSTAVY LETADEL

AIRCRAFT AIR-CONDITIONING SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ LEDNICKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL TŘETINA, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Lednický

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Klimatizační soustavy letadel

v anglickém jazyce:

Aircraft air-conditioning systems

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Klimatizační soustavy letadla musí vytvořit posádce i cestujícím na palubě letadla takové prostředí, které umožní posádce splnit plánovaný program letu a cestujícím zajistí příjemný pobyt v průběhu letu. Klimatizační soustavy proto zajišťují přijatelné hodnoty tlaku, teploty, vlhkosti a čistoty vzduchu v kabinách letadel. Při poruchách funkce pak musí zajistit požadavky předpisu na přežití do doby bezpečného přistání.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je uvést požadavky kladené leteckými předpisy na klimatizační soustavy letadel z hlediska funkce, zástavby a zajištění dobrých teplotních a tlakových podmínek v kabinách dopravních letadel. Posoudit způsoby udržení potřebného tlaku vzduchu v průběhu letu v kabinách dopravních letadel a způsob zajištění přežití cestujících a posádky při poruše systému přetlakování nebo poruše těsnosti kabiny letadla.

Seznam odborné literatury:

- [1] Jane's: All the World's Aircraft 2008-09
 - [2] JAA: Aircraft general knowledge - Airframes and Systems, Jeppesen, Oxford 2001
 - [3] TRETINA, K.: Letadlové instalace II, skriptá VA, Brno, 1986
 - [4] předpisy CS-23, CS-25, CS-OPS 1
 - [5] Technické příručky letadel
- Další literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Karel Třetina, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26. 11. 2010

L.S.

prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na klimatizační soustavy letadel, jejich funkci a základní úlohy, které musí splnit pro zabezpečení bezpečného a pohodlného letu. Bude členěna na několik kapitol, přičemž úvodní kapitola bude věnována nejdůležitějším faktorům ovlivňujícím lidské zdraví. Dále se bude věnovat popisu zajištění jednotlivých složek tvořících klimatizační soustavu, přetlakovým kabinám a regulátorům. V závěru práce se dozvíme o kyslíkových soustavách, které zajišťují přežití cestujících v případě nouze.

Klíčová slova:

klimatizační soustava, tlak, přetlakování, teplota, teplo, vlhkost, hluk, kyslík, přetlaková kabina, regulátor

Abstract

The bachelor thesis is focused on the aircraft air-conditioning systems, their functions and basic tasks needed for a safe and comfortable flight. The thesis is divided into several chapters: the first one deals with the most important factors influencing human health. Next chapter is focused on a description of the assurance of main components which are composing the aircraft air-conditioning system. Final chapter of the thesis deals with oxygen systems, which are essential for the survivor of the passengers in the case of an accident.

Keywords:

aircraft air-conditioning systems, pressure, overpressure, temperature, heat, humidity, cabin noise, oxygen, pressurized cabin, regulator

Bibliografická citace bakalářské práce

LEDNICKÝ, O. *Klimatizační soustavy letadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 38 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Karel Třetina, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma *Klimatizační soustavy letadel* vypracoval samostatně za použití zdrojů uvedených na konci práce.

V Brně 25. 5. 2011

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Karlu Třetinovi, CSc. za jeho ochotu, poskytnuté materiály a příjemnou atmosféru na konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat všem, co mě podporovali při tvorbě bakalářské práce, zejména rodině a kamarádům.

Obsah

1. Úvod	11
2. Fyziologické účinky prostředí na člověka	11
2.1. Tlak	11
2.2. Kyslík	12
2.3. Teplota	15
2.4. Hluk	16
3. Požadavky na klimatizační instalaci	17
3.1. Tlak	18
3.2. Teplota	21
3.3. Vlhkost	29
3.4. Hluk	30
4. Přetlakové kabiny	31
4.1. Přetlakové kabiny	31
4.2. Regulátory	33
4.3. Bezpečnost přetlakových kabin	35
5. Kyslíkové soustavy a zásobování kyslíkem	35
6. Závěr	37
Seznam použitých zdrojů	38

1. Úvod

Základním úkolem klimatizačních systémů letadel, je zabezpečit stejné nebo podobné podmínky, na které je člověk zvyklý z běžného života na zemi. Je nutné vytvořit posádce i cestujícím na palubě letadla takové prostředí, ve kterém se budou lidé cítit pohodlně, a posádka bude schopna efektivně vykonávat všechny úkoly, které zabezpečí bezpečný let a šťastné přistání. Díky lékařské vědě byly stanoveny základní podmínky, které zásadním způsobem ovlivňují pracovní schopnosti posádky.

Tyto fyziologické podmínky jsou: absolutní tlak vzduchu v kabině, obsah kyslíku ve vzduchu, teplota, relativní vlhkost, čistota vzduchu, hladina hluku a přetížení. Tlak, rychlost změny tlaku, teplotu, vlhkost, čistotu vzduchu a rychlost proudění vzduchu v kabině, tyto parametry zajišťují v letadlech přetlakové kabiny a klimatizační systémy. Proto jsou důležitou a nezbytnou součástí každého letadla, které musí překonávat velké vzdálenosti nebo dosahovat velkých výšek.

2. Fyziologické účinky prostředí na člověka

Člověk, jakožto tvor, běžně žijící do nadmořské výšky 2500 – 3000 metrů, není zvyklý ani schopný bez příslušného vybavení po delší dobu zvládat pobyt v běžných letových hladinách, ty se pohybují okolo 7000 – 10 000 metrů nad mořem. Je to kvůli tomu, že fyzikální vlastnosti atmosféry se s přibývajícím výškou mění. Mezi hlavní fyzikální veličiny, které podstatně ovlivňují psychickou i fyzickou činnost člověka, patří tlak a teplota. Dalším faktorem, negativně působícím na zdravotní stav je hluk. Ten je převážně způsoben rychlým pohybem letadla v atmosféře, pracující klimatizační jednotkou, pohonnou jednotkou a radiokomunikací.

2.1. Tlak

S přibývajícím výškou se tlak vzduchu snižuje, to má za následek změnu objemu plynů uzavřených v tělesných dutinách. Účinky změny tlaku jsou ovlivněny roztažností stěn dutin a tím, je-li dutina úplně uzavřená nebo spojená s okolím.

Tyto změny se nejvýrazněji projevují ve středním uchu. Eustachova trubice funguje jako jednosměrný ventil. Při stoupání vzniká přetlak, který samovolně uniká Eustachovou trubicí do nosohltanu a přetlak se tak snižuje. Problémy mohou nastat při rychlém stoupání, jinak větší potíže nevznikají. Při klesání zůstává ve středním uchu podtlak, který tlačí na ušní bubínek, nedochází k rychlému samovolnému vyrovnání tlaků. Typické problémy jsou zalehnutí ucha, tlak v uchu přecházející v bolest, zhoršení kvality sluchu, závrať.

Zažívací trakt konstantně obsahuje určité množství plynů. Ty se vlivem změny tlaku roztahují, a pokud je nedostatečný jejich odchod přirozenou cestou, vzniklý tlak v břišní dutině vyvolává bolest v břiše a brání v dýchání. Tyto problémy dále provází snížení krevního tlaku, pocení, zrychlené dýchání a v krajním případě může dojít až ke ztrátě vědomí. Typická fáze letu, při které dochází k potížím, je stoupání.

Změna barometrického tlaku může také vyvolat bolest zubů nebo čelistí. V tomto případě bývá bolest vyvolána zvětšením objemu vzduchové bubliny v plombě. Zdrojem bolesti je tlak na zubní dřeň.

Všechny tyto obtíže jsou pouze přechodné a po přistání během krátké doby vymizí.

Snižování barometrického tlaku nevyvolává problémy pouze ve spojitosti s tělními dutinami. Významnou zdravotní komplikací je desaturační aeropatie, což je uvolňování dusíku z tělesných tekutin. Ten způsobuje bolesti kloubů, svalů a dlouhých kostí, dále pak plicní potíže, nevolnost a mdloby. Neurologickým projevem desaturační aeropatie je zhoršení zraku, které se projevuje zamlžením, tmavými skvrnami v zorném poli, zmenšením zorného pole a dvojitým viděním. To může závažným způsobem ovlivnit bezpečnost letu, a proto musí být posádka, zejména piloti v dobrém zdravotním stavu a v pilotní kabině musí být přísně hlídány podmínky. V případě nehody, je nutné co nejrychleji sestoupit do vhodné výšky, ve které je barometrický tlak vhodný k přežití, tato výška je do 4000 metrů (13 000 ft).

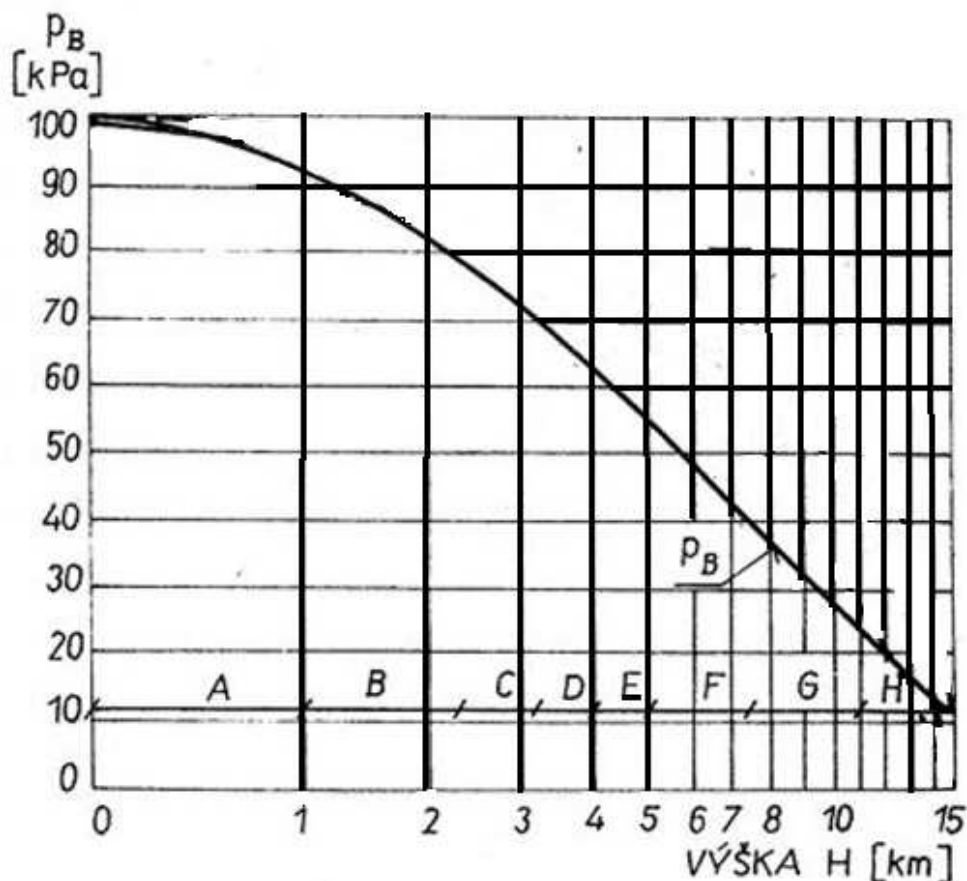
2. 2. Kyslík

Kyslík je nejdůležitější látkou potřebnou k lidskému přežití. Lidské tělo dokáže uchovat pouze omezenou zásobu kyslíku, která člověku vydrží pouze na 3-5 minut. S větší nadmořskou výškou se snižuje obsah kyslíku ve vzduchu, přehled v tabulce.

Výška	Relativní obsah kyslíku
9000 m.n.m.	30%
8000 m.n.m.	36%
7000 m.n.m.	41%
6000 m.n.m.	47%
5000 m.n.m.	53%
4000 m.n.m.	60%
3000 m.n.m.	68%
1000 m.n.m.	88%
0 m.n.m.	100%

Relativní obsah kyslíku v nadmořských výškách.

Z tabulky je patrné, že pobyt ve vyšších výškách bude klást na tělo velké nároky. S klesajícím barometrickým tlakem (obr. 1.) klesá i parciální tlak kyslíku ve vdechovaném vzduchu.



Obr. 1

Průběh tlaku se zvyšující se nadmořskou výškou

Uvedená pásma A - H ukazují odolnost a reakce člověka na nedostatek kyslíku. Pásmo A – organismus je bez reakce. B – snižuje se odolnost k fyzické námaze. C – může nastat porucha vidění, fyzicky zdatnější lidé by neměli mít větší problémy. D – nastává porucha adaptace na tmu. E – nastávají poruchy funkce kůry velkého mozku a nervového systému, které se projevují sníženou pozorností, zhoršením paměti, zhoršením srozumitelnosti řeči a logického myšlení. F – H nastává silný pokles sebekritiky, neschopnost větší fyzické nebo duševní námahy. Od výšky 7 km nastává nebezpečí smrti. Od výšky 6 km se také snižuje doba užitečného vědomí, tj. časový interval od redukce přísunu kyslíku do počátku poruch normálních činností člověka. V pásmu F je doba užitečného vědomí hodiny až desítky minut, v pásmu G jsou to minuty až desítky sekund, v pásmu H jsou to sekundy.

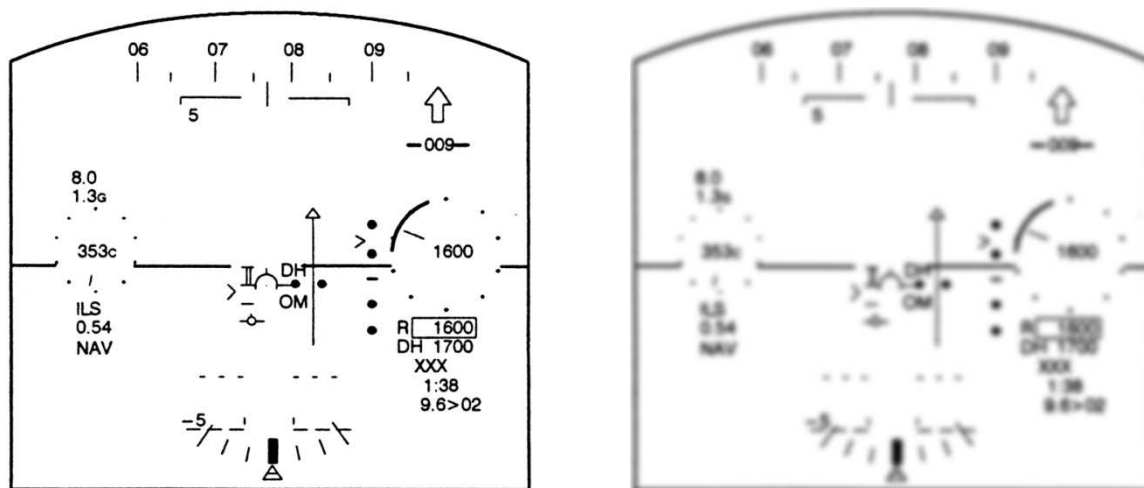
Odolnost vůči nedostatku kyslíku je pro každého jedince individuální, v jisté míře ji lze natrénovat, zvýšit díky fyzické kondici. Také záleží na přizpůsobivosti člověka, na podmínkách ve kterých je zvyklý žít nebo na přirozené odolnosti (genetické předpoklady). Faktory, které odolnost snižují, jsou: teplota – se snižující se teplotou odolnost klesá, zhoršený zdravotní stav, léky, alkohol, vibrace, hluk.

Podle statistik je nedostatek kyslíku (hypoxická hypoxie) jednou z hlavních příčin leteckých nehod.

Ukázky zhoršeného vnímání a soustředění při nedostatku kyslíku:



Obr. 2.
Zhoršení zorného pole při nedostatku kyslíku.

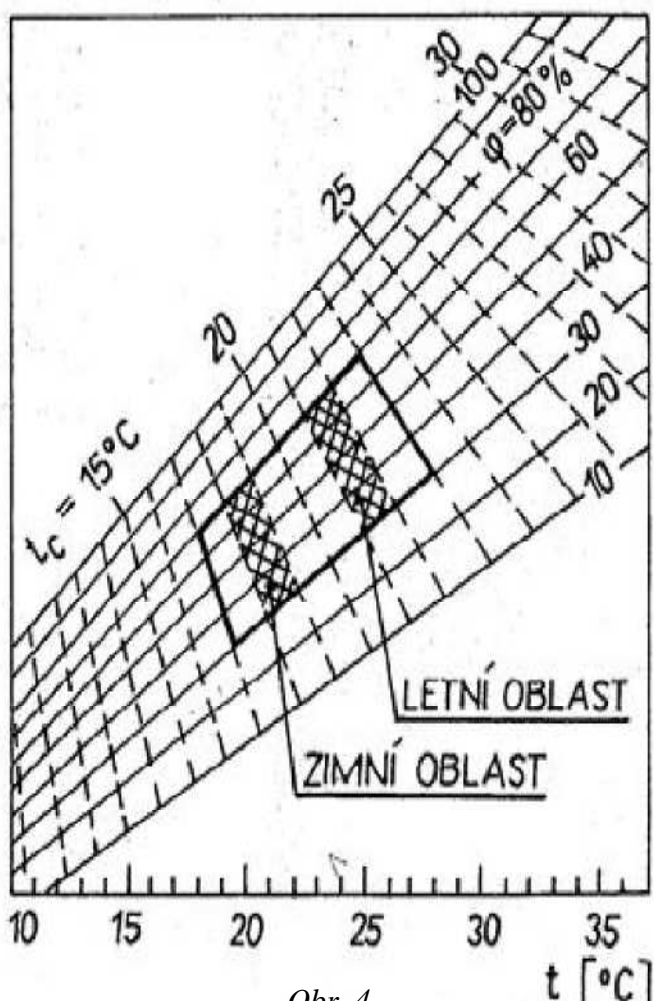


Obr. 3.
Zhoršení soustředění při nedostatku kyslíku.

V případě nehody jsou letadla vybavená kyslíkovými systémy, jejich využití a nároky na ně kladené budou zmíněny v samostatné kapitole.

2.3. Teplota

Tělesná teplota člověka se pohybuje kolem 37°C . Už při menším odchýlení od tohoto stavu nastávají menší komplikace, jako je třeba pocení (při zvýšené teplotě) nebo svalový třes (při snížené teplotě). Tyto často nežádoucí a nepříjemné pocity jsou výsledkem tělesné termoregulace, kdy se lidský organismus snaží si zachovat svou přirozenou pracovní teplotu.



Obr. 4.

Při letecké dopravě, která zahrnuje pobyt ve velkých výškách, dochází k citelnému snížení teploty okolí a je třeba ji regulovat. K tomu slouží právě klimatizační systémy. Jsou nastaveny tak, aby po celou dobu letu měli cestující příjemný pocit. Přestup tepla z člověka do okolí je fyzikálně realizován vedením, prouděním i sáláním. Příjemný pocit, alias tepelná pohoda je stav, kdy je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno, ani příliš teplo. Prostředí v tomto stavu odebrá člověku jeho tepelnou produkci bez výrazného pocení. Kromě teploty se na pocitu chladu nebo přehřátí podílí i vlhkost vzduchu a rychlost jeho proudění. Vzájemný soulad těchto veličin je základním požadavkem na klimatizační instalace. Společný vliv teploty a vlhkosti vzduchu udává efektivní teplota. Efektivní teplota určuje kombinaci teploty a vlhkosti vzduchu, tepelná pohoda může být například dosažena při větší vlhkosti a menší teplotě vzduchu, stejně jako při nižší vlhkosti a vyšší teplotě.

Dobrý pocit na základě teploty se také liší v závislosti na ročním období. Rozlišují se dvě sledované oblasti, zimní a letní. Přičemž v zimní oblasti je tepelná pohoda dosažena při nižší teplotě než v letní oblasti, to je způsobeno vlivem okolí, přizpůsobivostí člověka a jeho vybavením (množství oblečení). Tyto oblasti jsou vyznačeny na obr. 4., spolu s nimi je zde patrná i kombinace teploty a vlhkosti vzduchu. Vidíme, že doporučená vlhkost vzduchu je v mezích 30 – 70% a teploty se pohybují od 18°C do 22°C v závislosti na ročním období. Vliv rychlosti proudění vzduchu se do efektivní teploty nezapočítává, i když má také velký vliv. Vysoká rychlost proudění vzduchu dokáže vyvolat pocit, že okolní teplota je téměř dvakrát nižší, než ve skutečnosti je. Pro stanovení společného vlivu teploty, vlhkosti a proudění vzduchu se zavádí pojem ekvivalentně-efektivní teplota.

Pro určení oblastí, ve kterých je dosaženo dobrých pocitů, má velký význam intenzita fyzické i duševní aktivity člověka. Celkově se tedy dá říct, že nastavit pohodlné podmínky všem cestujícím je téměř nemožné, je známo, že co vyhovuje jednomu, nemusí vyhovovat dalšímu. Cílem klimatizace je nastavit podmínky tak aby byla spokojenost co nejvyšší.

Negativní vlivy teploty na člověka jsou přehřátí a podchlazení. Přehřátí nastává, pokud se tělo nedokáže nadále samo ochlazovat pocením. Tento stav se nazývá hypertermie a prvními příznaky jsou: slabost, bolest hlavy, nevolnost, zrychlený tep, apatie nebo naopak vznětlivost. Při překročení tělesné teploty 41°C nastává kóma a bez pomoci dochází k úmrtí. Podchlazení, které je v případě nehody pravděpodobnější, nastává při poklesu tělesné teploty na 35°C. Tento stav se nazývá hypotermie a projevuje se zvýšením krevního tlaku, zvýšením spotřeby kyslíku, omrzáním okrajových částí těla. V případě, že teplota klesá i nadále, dochází ke snížení srdeční frekvence a selhání krevního oběhu. Může se dostavit i stav euforie z důvodu nedostatečného prokrvení mozku. Smrt nastává mezi 25°C až 29°C.

2.4. Hluk

Stálý a nepřiměřeně hlasitý hluk patří mezi nejškodlivější vlivy ovlivňující psychický stav pilotů i techniků. Mezi hlavní zdroje hluku na palubě letadla patří: aerodynamický hluk, pohonná jednotka, klimatizační instalace a palubní radiostanice. Aerodynamický hluk vzniká obtékáním vzduchu kolem letadla při jeho pohybu. Při nadzvukových rychlostech může tvořit až 95% celkového hluku. V případě proudových letadel bývá hlavním zdrojem hluku jejich pohonná jednotka. Tedy motory a jejich chod. U klimatizačních instalací bývá hlavním zdrojem hluku tepelná větev klimatizace, která bývá zpravidla napojená přímo na kompresor motoru.

Člověk vnímá různé úrovně hluku, ty lze rozdělit do tří základních oblastí, ve kterých lze pozorovat odlišné účinky.

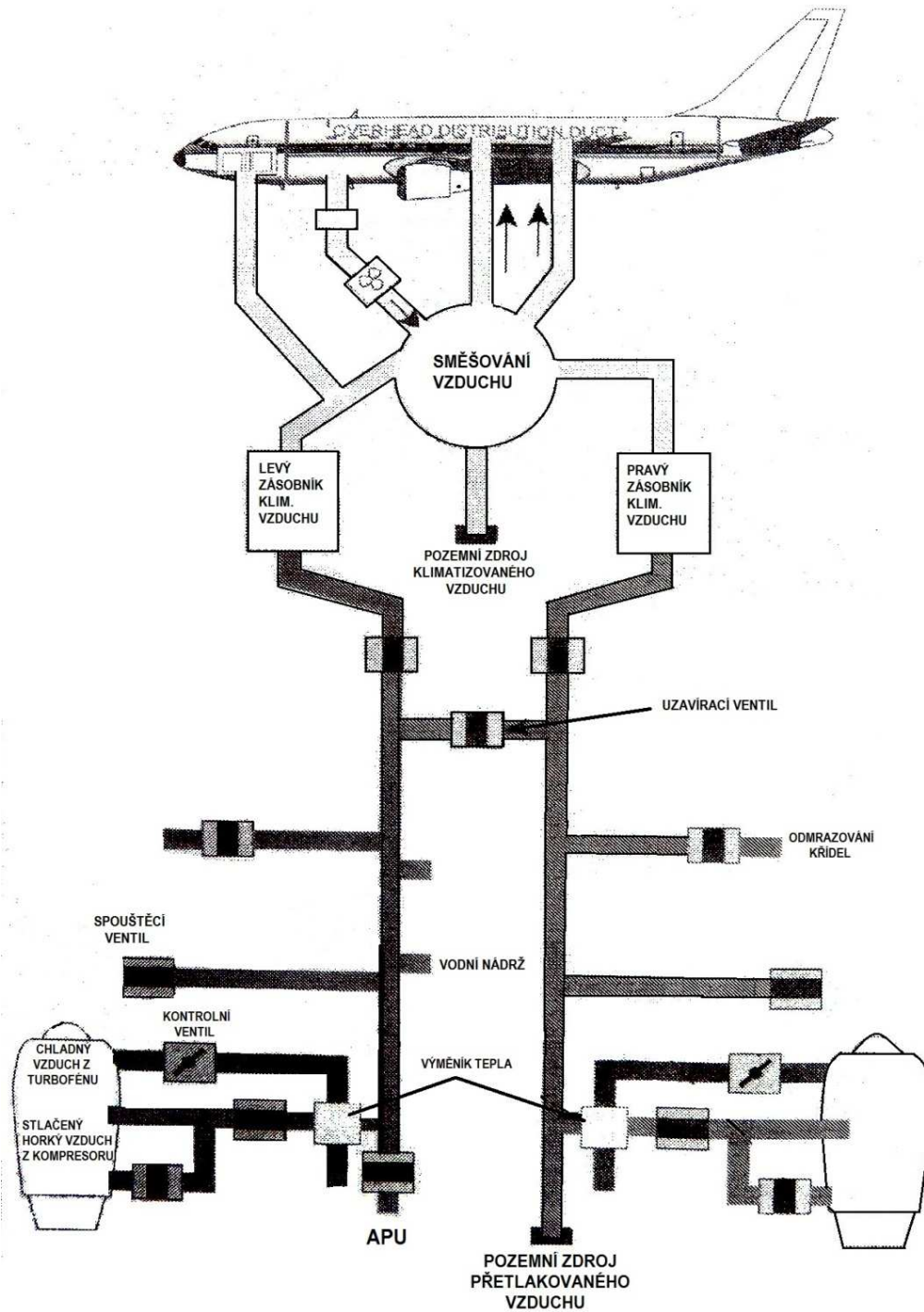
1. Hladina hluku 30 – 65 dB, při nižší hranici intervalu nejsou pozorovány žádné problémy s adaptací, pokud zvuk není disharmonický. S postupným zvyšováním hluku se zrychluje duševní únava. Negativní účinky lze snížit výcvikem.
2. Hladina hluku 65 – 90 dB, působí na neurovegetativní soustavu. Negativní účinky již nelze ovlivnit.
3. Hluky nad 90 dB mohou způsobit poškození sluchu, při dalším zvyšování hluku, lze zvukové vlny i vycítit hmatem. Velmi silně působí na psychiku. Neschopnost soustředit se a pracovat.

Z praktických pozorování bylo zjištěno, že při dlouhodobých letech by hluk v kabině neměl překročit hranici 80 dB, při krátkodobých by neměl překročit hranici 100 dB. V prostoru vyhrazeném pro cestující nesmí vyvolávat podráždění nebo bránit v běžném hovoru.

Ochrana před hlukem je prováděna vhodnou izolací nebo jeho interferencí, kdy lze zvukové vlny sladit tak, že se vzájemně vyruší. U letadel s přetlakovými kabinami je ochrana před hlukem snazší z důvodu jejich konstrukce.

3. Požadavky na klimatizační instalaci

Hlavním úkolem klimatizační instalace je zajištění správného tlaku, teploty a vlhkosti vzduchu a jeho následný rozvod po letadle. Jak se toho dosáhne, si popíšeme v následujících kapitolách. Okrajovým problémem klimatizačních soustav je i kontrola hluku.



Obr. 5.
Klimatizační systém dopravního letadla.

3. 1. Tlak

Pro osoby na palubě letadla by bylo ideální udržovat v jakékoliv výšce letu stejný tlak vzduchu, který odpovídá podmínkám panujícím na zemi, tj. tlak 1010 hPa. Z konstrukčního a úsporného hlediska ovšem není možné těmto požadavkům vyhovět. V případě, že by se zachováním stávající hmotnosti konstrukce letadla, byl podniknut pokus o udržení stejného tlaku v letadle jako na zemi, došlo by s největší pravděpodobností ke zhroucení konstrukce a havárii. Důvodem by byl velký rozdíl tlaků uvnitř a vně letadla, tuto situaci běžná konstrukce není schopná delší dobu snášet. Pokud bychom chtěli, aby letadlo odolalo těmto podmínkám, bylo by nutné zpevnit a tudíž i zvýšit hmotnost konstrukce. Tento postup by rozhodně nebyl ekonomicky výhodný a s největší pravděpodobností i těžko realizovatelný. Člověk je ovšem schopen snášet změnu tlaku pokud je v přijatelných mezích. Díky tomu je možné snížit tlak v kabině a tím zmenšit tlakový rozdíl namáhající konstrukci, zmenšit hmotnost a umožnit tak ekonomicky méně nákladný let.

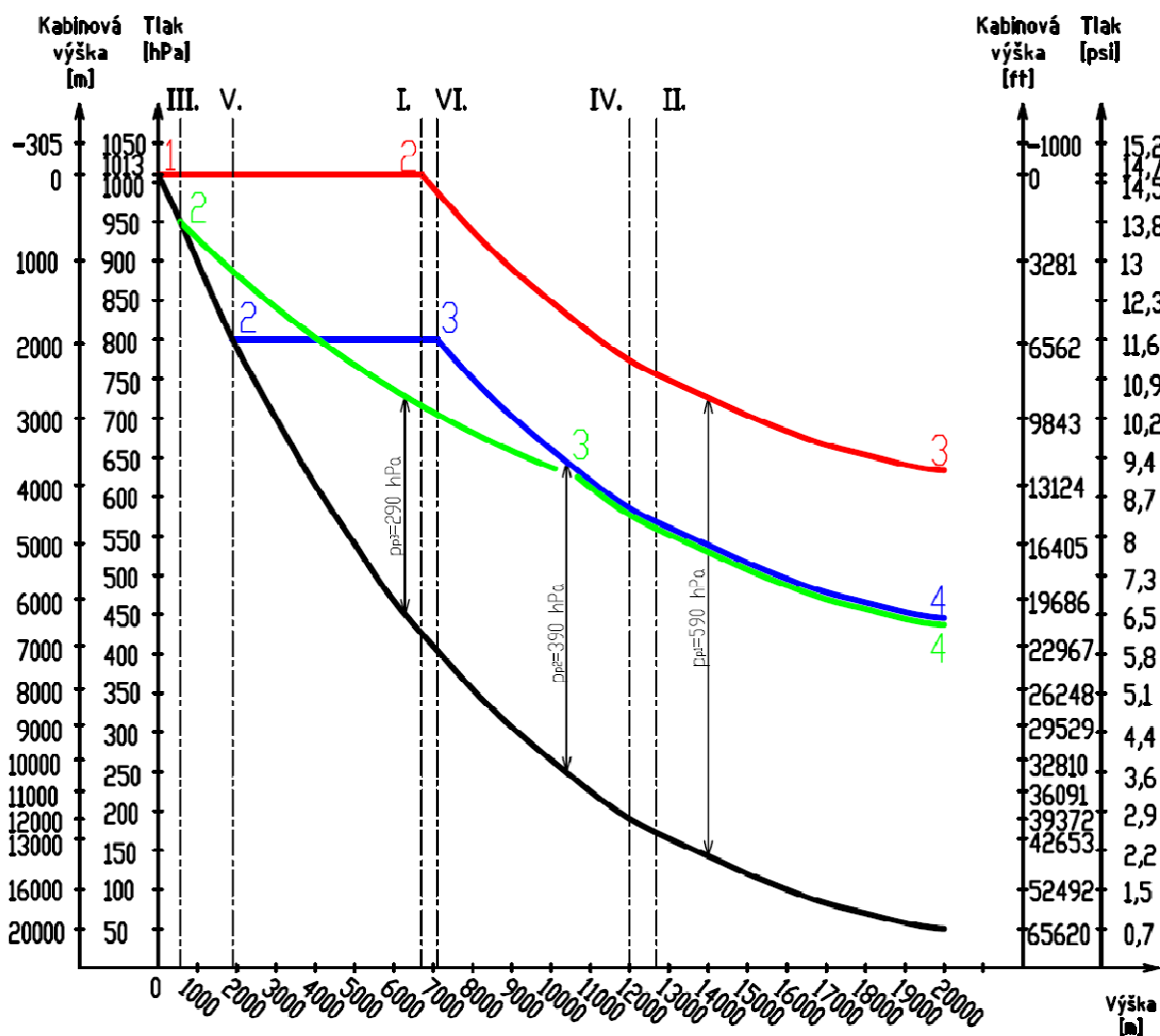
U dopravních letadel je spodní hranice tlaku 760 hPa, pod tuto hodnotu nesmí klesnout, pokud nechceme ohrozit zdraví cestujících. U cvičných, vojenských nebo letadel, která nejsou primárně určena k přepravě cestujících, je tato hranice posunuta na 670 hPa bez použití kyslíkových masek a na 290 hPa s použitím kyslíkové masky. Velikost tlaku lze dále upravovat podle předpokládané délky letu.

Pro rozdíl mezi tlakem v kabině (p_k) a vnějším tlakem atmosférického vzduchu (p_h) se používá pojem přetlak. Hodnota přetlaku u letounů je 590 - 245 hPa. Tyto hodnoty jsou dány pevností konstrukce. Obecně platí, že u dopravních letadel není kladen takový důraz na snížení hmotnosti jako u vojenských letounů. Díky této úspoře hmotnosti je možné vzít více paliva, užitečného nákladu, zvýšit obratnost a rychlost letounu. V neposlední řadě nižší hodnota přetlaku zvyšuje šanci posádky na přežití při prudké dekompresi, která může nastat při porušení kabiny v boji.

Průběh přetlakování kabin u letadel můžeme vidět na následujícím grafu (obr. 6.).

V grafu se nachází tyto křivky:

1. Závislost tlaku na nadmořské výšce.
2. Přetlakování kabiny dopravních letadel.
3. Přetlakování kabiny letadel s dobou letu menší než 2 hodiny.
4. Přetlakování kabiny letadel s dobou letu větší než 2 hodiny.



Obr. 6.

Průběh přetlakování kabin při letu.

Přetlakování kabiny dopravních letadel (červená křivka)

Úsek 1 – 2: V kabině se udržuje tlak 1013 hPa a to až do maximálního povoleného přetlaku $p_p = 590 \text{ hPa}$ ¹⁾

Úsek 2 – 3: Udržuje se konstantní přetlak $p_p = 590 \text{ hPa}$ až do minimálního povoleného tlaku $p = 760 \text{ hPa}$

I. – Hranice, při které je dosaženo maximálního přetlaku 590 hPa, ten se už nezvyšuje a zůstává konstantní.

II. – V této výšce (12 750 m) je dosaženo minimálního dovoleného tlaku v kabině 760 hPa, což odpovídá nadmořské výšce 2 300 m. Tato výška není zdravému člověku nebezpečná, i přesto jsou všichni cestující povinni použít kyslíkových přístrojů. Letadlo už by nemělo dále stoupat, spíše by mělo klesnout pod tuto kritickou letovou hladinu.

1) maximální povolený přetlak p_p se podle typu letounu pohybuje v intervalu 7 – 9 psi (480 hPa – 620 hPa), v našem případě je hodnota 8,5 psi (590 hPa).

Přetlakování kabiny u letadel s dobou letu menší než 2 hodiny (zelená křivka)

Úsek 1 – 2: Kabina není přetlakována, tlak se mění souhlasně s tlakem atmosféry.

Úsek 2 – 3: Přetlak se postupně zvyšuje a to až na maximální povolenou hodnotu 290 hPa, někdy 360 hPa.

Úsek 3 – 4: Přetlak zůstává konstantní.

III. – Od této výšky začíná být kabina přetlakována. Kabinová i nadmořská výška jsou shodné a to 2000 m.

IV. – Dosažen maximální přetlak 290 hPa. Tlak v kabině odpovídá přibližně výšce 6000 m, je již nízký a je nutno používat kyslíkové přístroje, bez nich hrozí výškové nemoci. Letadlo se pohybuje v nadmořské výšce 12 000 m, a pokud nadále stoupá, přetlak zůstává konstantní.

Přetlakování kabiny u letadel s dobou letu větší než 2 hodiny (modrá křivka)

Úsek 1 – 2: Kabina není přetlakována, tlak se mění souhlasně s tlakem atmosféry.

Úsek 2 – 3: Udržuje se stálý tlak 800 hPa až do dosažení maximálního povoleného přetlaku $p_p = 390$ hPa.

Úsek 3 – 4: Přetlak zůstává konstantní.

V. – Od této výšky začíná být kabina přetlakována. Kabinová i nadmořská výška jsou shodné a to 2000 m.

VI. – Dosažen maximální přetlak 390 hPa. Tlak v kabině odpovídá nadmořské výšce 2000 m, zatím není nutné použít kyslíkových přístrojů. Letadlo se pohybuje ve výšce 7 200 m. Přetlak se při dalším stoupání udržuje konstantní. Konstrukce kabiny má větší odolnost vůči přetlaku, to klade nároky na její hmotnost a cenu.

Rychlost, se kterou se může měnit tlak v letadle je dána podle lidských schopností tuto změnu vyrovnávat. Pro dopravní letadla byla tato rychlost stanovena na 1,52 – 2,54 m/s při všech režimech letu. U letounů s dobou letu menší než 2 hodiny je maximální dovolená rychlost změny tlaku 650 Pa/s, ve výjimečných a krátkodobých režimech letu je možno tuto hodnotu překročit a to až na 1,3 kPa/s. Díky tomu, že člověk lépe snáší pokles tlaku, je možné stoupat až dvakrát rychleji než klesat. Nouzové porušení kabiny je pro všechny typy letounů povoleno od 2600 – 5350 Pa/s.

3.2. Teplota

Zajištění správné teploty v letadle je nezbytné nejen kvůli bezpečnosti a pohodlí cestujících a posádky, ale v neposlední řadě i kvůli správné funkci přístrojů. Klimatizace slouží ke splnění těchto požadavků:

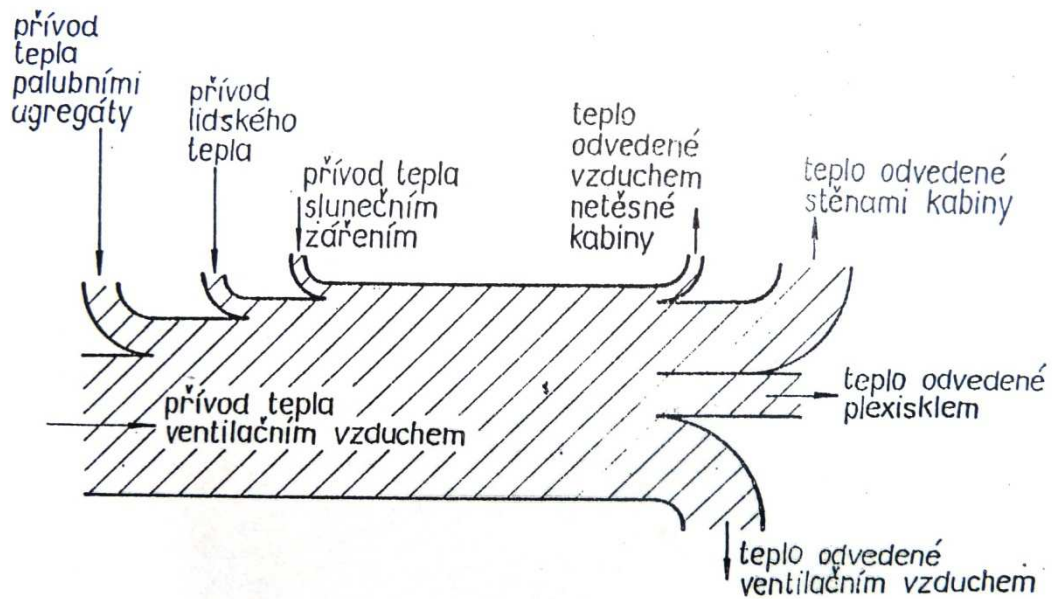
- Vytvoření normální ventilace kabiny a komfortního prostředí pro cestující při parkování letounu. Tuto funkci u dopravních letadel zajišťuje APU, což je malý proudový motor, který zabezpečuje dodávku energie, pokud nejsou hlavní motory v provozu.
- Vytvoření a udržení normálních životních podmínek během celé doby letu.
- Vytvoření správných podmínek pro přístroje, které pro bezchybné plnění jejich funkce vyžadují klimatizované prostředí.
- Vytvoření správných podmínek u letadel, kde se vyžaduje použití ochranných obleků a skafandrů.

Klimatizační instalace musí být velice spolehlivá, její selhání může mít fatální následky, zejména ve výškách, kde je nízký tlak a teplota hluboce pod nulou. Spolehlivost a stabilní práce je zajištěna vysokou automatizací.

Pro správné pochopení poměrně složitého mechanismu tepelné výměny v letadlech, je nutné nejdříve definovat několik základních vlastností a pojmů. Získání a udržení správné teploty v kabině letadla závisí na tepelné výměně a šíření tepla v klimatizační soustavě. K tepelné výměně dochází při styku dvou nebo více soustav o různých teplotách. Je třeba si uvědomit, že teplota a teplo není totéž. Teplo je fyzikální veličinou, která popisuje změnu stavu soustavy, ne soustavu samotnou. Nejdůležitější vlastností tepla je, že se šíří vždy od místa s vyšší teplotou k místu s teplotou nižší. Přičemž teplo se šíří těmito základními způsoby:

- **Vedením** – Tepelná energie se postupně šíří v zahříváném tělese.
- **Prouděním** – Přenos tepla nastává díky proudění a promíchávání vzduchu o různé počáteční teplotě.
- **Tepelným zářením** – Dochází k vyzařování energie, v našem případě tepla, ze zdroje. Tato energie se dále šíří v podobě elektromagnetického záření, které je pohlcováno ozařovaným tělesem.

Vzduch potřebný k úpravě teploty, cirkulaci a přetlakování kabiny se nejčastěji získává z atmosféry. Obvyklým způsobem je, ho nasávat přes motory, kde se zahřívá a je přetlakován. Poté prochází úpravami, které si později popíšeme.



Obr. 7.

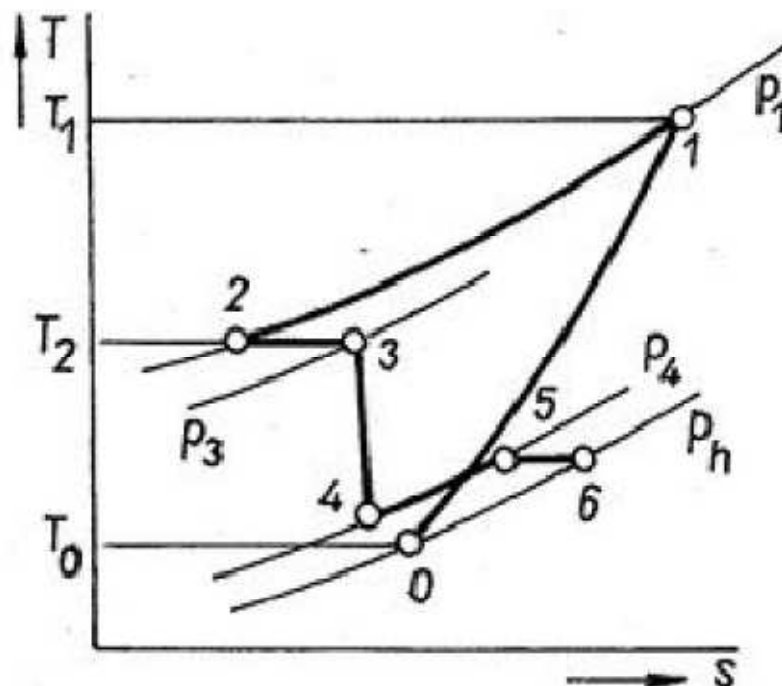
Faktory ovlivňující teplotu v letadle a jejich přibližný poměr.

Letecké předpisy kladou na teplotu a cirkulaci vzduchu v kabině jasné požadavky. Teplota v kabině se musí pohybovat od 17°C do 23°C . Z důvodů proudění vzduchu, tepelných mostů a izolačních nepřesností, je nemožné udržet konstantní teplotu v celém prostoru letadla. Je stanoveno, že teplotní spád ve směru podélné osy kabiny cestujících i posádky nemá překročit 1°C . Ve směru příčné osy nemá být větší než 2°C . Se změnou výšky se nutně musí měnit i teplota, v tomto ohledu je dána maximální rychlost změny teploty po změně výšky letu na $3,3^{\circ}\text{C}$ za minutu. U jiných letadel nesmí být větší než 5°C na 1 metr výšky.

Přísně hlídáno je i proudění vzduchu kolem obnažených částí těla (hlava, ruce). Při vysokém proudění vzduchu se znatelně snižuje komfort letu. Rychle proudící vzduch dokáže citelně snížit tělesnou teplotu, což může mít za následek podchlazení. U dopravních letadel nesmí být rychlost proudění v kabině cestujících a posádky vyšší než $0,2 - 0,4 \text{ m/s}$. U jiných letadel je možné akceptovat rychlost proudění $1,5 \text{ m/s}$ v oblasti hlavy.

Klimatizace musí dodávat do kabiny vzduch, který je čistý a bez zápachu. Také se musí zabránit vnikání prachu a jiných nečistot při pojiždění, startu a přistání. Jsou stanoveny normy, které upřesňují přípustnou koncentraci výparů paliva, olejů, CO a CO₂, dusíku, olova apod. ve vzduchu, který je používán ke klimatizaci.

Klimatizační proces lze ukázat a vysvětlit na T – s diagramu (obr. 8). Ten představuje pracovní režim jednoduché klimatizační instalace letadla.



Obr. 8.
T-s diagram, klimatizační cyklus.

Popíšeme si jednotlivé křivky:

- 0 – 1 Polytropa. Představuje stlačování vzduchu v kompresoru. Můžeme vidět, že stlačování má za následek zvýšení teploty i tlaku.
- 1 – 2 Izobara. Představuje snížení teploty v tepelném výměníku.
- 2 – 3 Izoterma. Snížení tlaku v omezovači průtočného vzduchu.
- 3 – 4 Polytropa. Snížení tlaku a teploty v expanzní turbíně.
- 4 – 5 Izobara. Vzduch se dostává do kabiny, kde se mísí a ohřívá. Jelikož se v kabině udržuje stálý přetlak, nedochází ke změně tlaku.
- 5 – 6 Izoterma. Škracení vzduchu přes vypouštěcí ventil.
- 6 – 0 Izobara. Vypouštění vzduchu do atmosféry.

Díky popisu T – s diagramu jsme zjistili, jaké komponenty by měla klimatizační instalace obsahovat. Nemusíme už ale vědět co jednotlivé součásti dělají, proto je třeba si je představit.

Letecké kompresory jsou součástí motoru, probíhá zde komprese pracovní látky tj. vzduchu procházejícího turbínovým motorem. Dochází v něm ke stlačení a zahřátí vzduchu za účelem plynulé dodávky vzduchu do spalovací komory. Zajištění vhodného vzduchu pro klimatizaci tedy není jeho primární funkcí, je to pouze chytré využití části jeho práce.

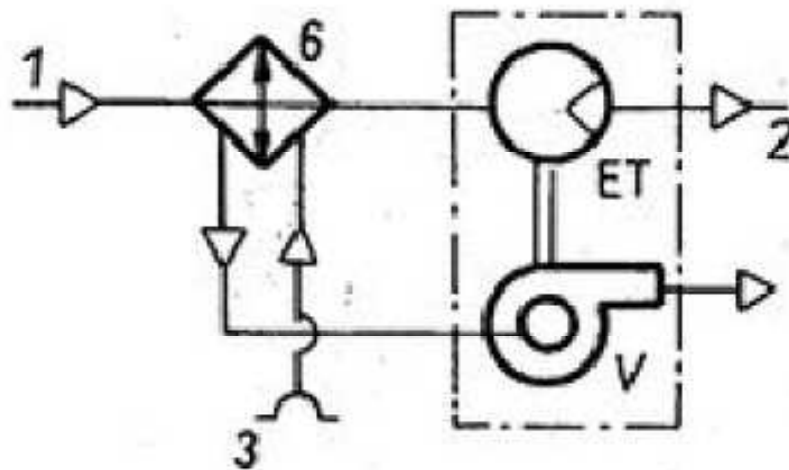
Kompresi vzduchu však nemusí být dosažena pouze kompresory, lze k tomu použít samostatná kabinová dmychadla nebo tlakové lahve. Z hlediska jednoduchosti, ušetření místa a hmotnosti se ale nejlépe osvědčilo použití právě kompresorů. Ovšem je třeba zajistit, aby v případě poruchy palivového systému nedocházelo ke vnikání paliva nebo oleje do vzduchu určeného ke klimatizaci.

V tepelném výměníku dochází ke kontaktu vzduchu o vysoké teplotě z kompresoru s chladícím médiem. To se liší podle typu letounu a jeho funkce, lze například použít okolní vzduch, chladicí kapalinu, vodu, u dopravních letadel se používá i jejich palivo. Důsledkem je výměna energie mezi oběma soustavami.

Omezovač průtočného vzduchu limituje množství vzduchu škrcením v závislosti na rozdílu tlaku vzduchu před omezovačem a za omezovačem.

V expanzní turbíně dochází k přeměně energie plynů v mechanickou energii, která pohání kompresor, vrtule, motorové i letadlové agregáty.

Nyní si uvedeme několik základních schémat, která popisují klimatizační cyklus. V nejjednodušším schématu (obr. 9.) a tedy i klimatizační instalaci se využívá pouze výměníku tepla (6), expanzní turbíny (ET) (turbochladiče) a ventilátoru (V).

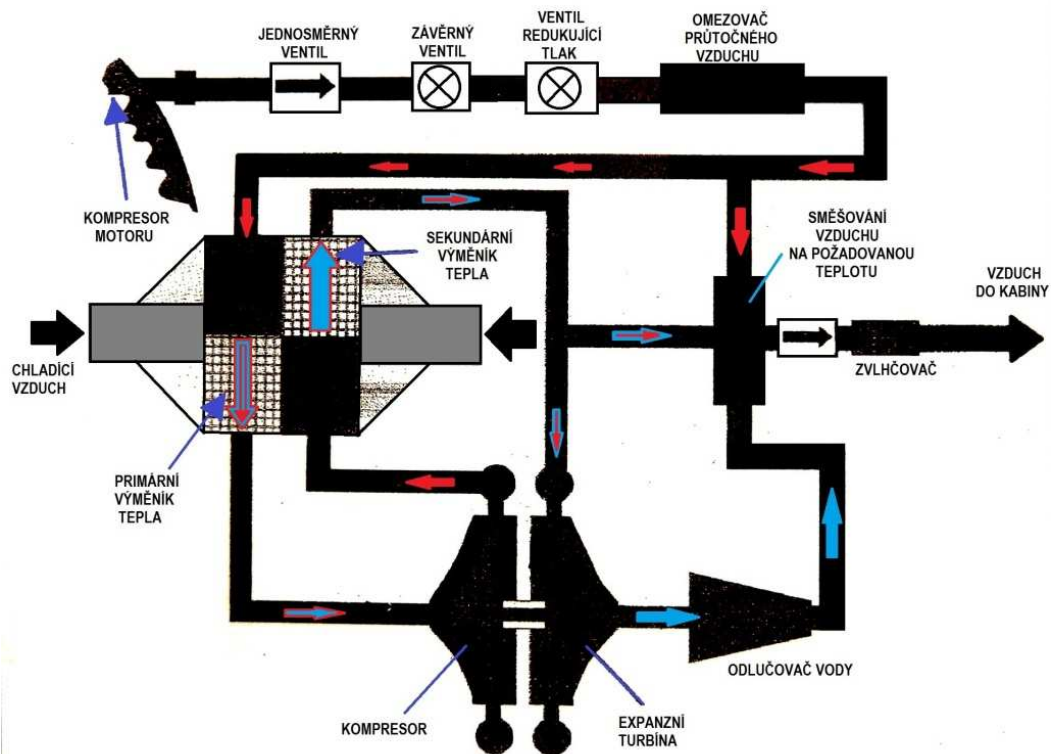


Obr. 9.

Schéma klimatizace u malých letadel.

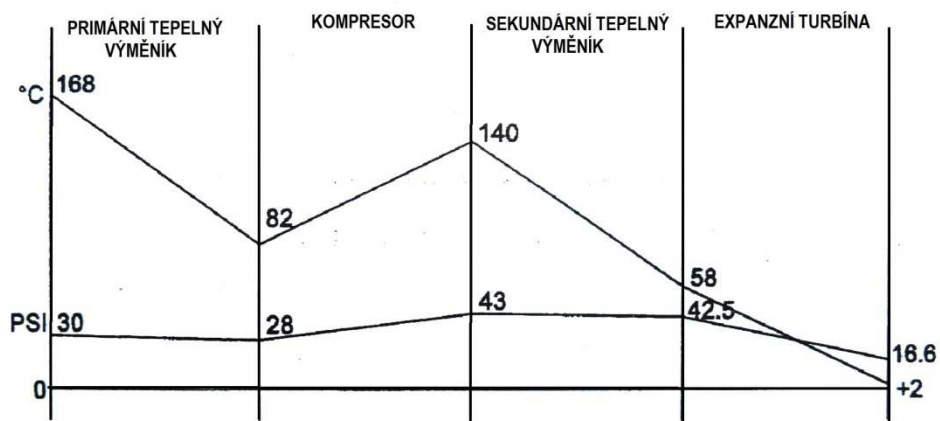
1 - vzduch o vysoké teplotě; 2 - ochlazený vzduch; 3 - chladicí vzduch; 6 - výměník tepla; ET - expanzní turbína; V - ventilátor

Vzduch o vysoké teplotě nejčastěji přiváděný z kompresoru motoru (1) nejprve putuje do výměníku tepla (6), kde je ochlazován chladivem. V tomto případě je to vzduch odebíraný přímo z atmosféry (3), ten po použití ve výměníku tepla míří do ventilátoru (V), přes který se vrací zpět do atmosféry. Z výměníku tepla kabinový vzduch vstupuje do expanzní turbíny (ET), kde se dále ochlazuje a poté je opět vháněn do kabiny (2), kde se mísí. Ventilátor (V) však zatěžuje turbínu a zvyšuje množství chladícího vzduchu procházejícího výměníkem.



Obr. 11.

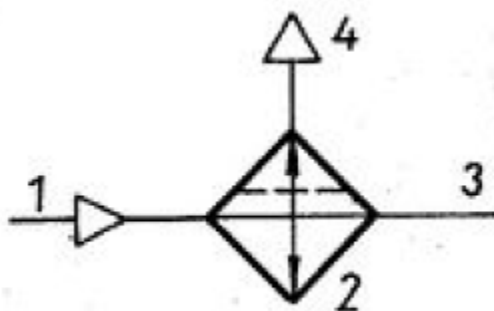
Schéma klimatizačního cyklu dopravních letadel.



Obr. 12.

Graf změny teploty a tlaku během klimatizačního cyklu.
Průběh a hodnoty jsou pouze přibližné.

U letadel se používá i otevřená chladicí soustava, její hlavní výhody spočívají v tom, že je velmi jednoduchá, není třeba používat různých lapačů vzduchu, které snižují aerodynamiku letounu a navíc se chladivo dá použít k přetlakování kabiny. Princip této soustavy je na obr. 13.



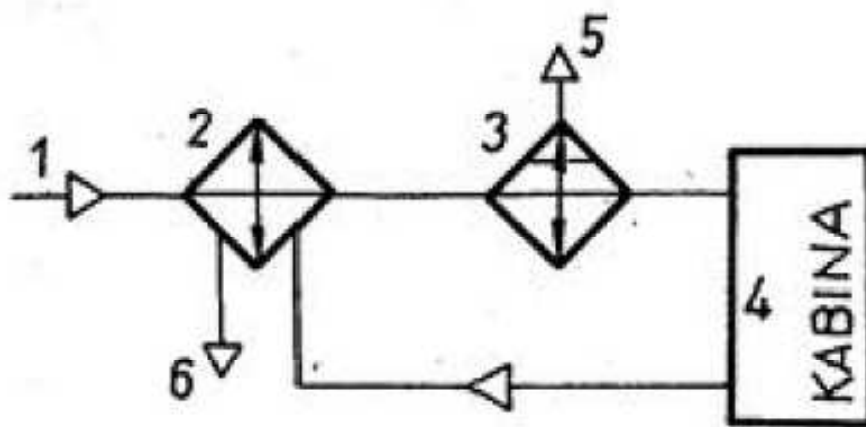
Obr. 13.

Princip otevřené chladicí soustavy.

1 - kabinový vzduch; 2 - výparník; 3 - ochlazený vzduch; 4 - odvod par chladiva

Způsob ochlazování je jednoduchý. Vzduch je přiveden z kabiny (1) do výparníku (2). Zde dochází k jeho ochlazení díky odpařování chladiva. Jako chladivo lze použít voda, směs vody a lihu, směs vody s glykolem, propan, kapalný dusík nebo kapalný vzduch. Páry chladiva se poté odvádějí do atmosféry (4). V případě, že je jako chladivo použit kapalný vzduch, je vhodné jej po odpaření použít k přetlakování a ventilaci kabiny. Tento systém se využívá u autonomních přetlakových kabin. Nevýhodou otevřených chladicích soustav je vysoká náročnost na těsnost kabiny a celého chladicího systému a nutnost mít dostatečnou zásobu chladiva, to se uchovává například v tlakových lahvích, které jsou náchylné na poškození.

U letadel pohybujících se nadzvukovou rychlostí $M > 2$ a ve výškách nad 30 000 metrů, je výhodné použít kombinovaný způsob chlazení (obr. 14.)

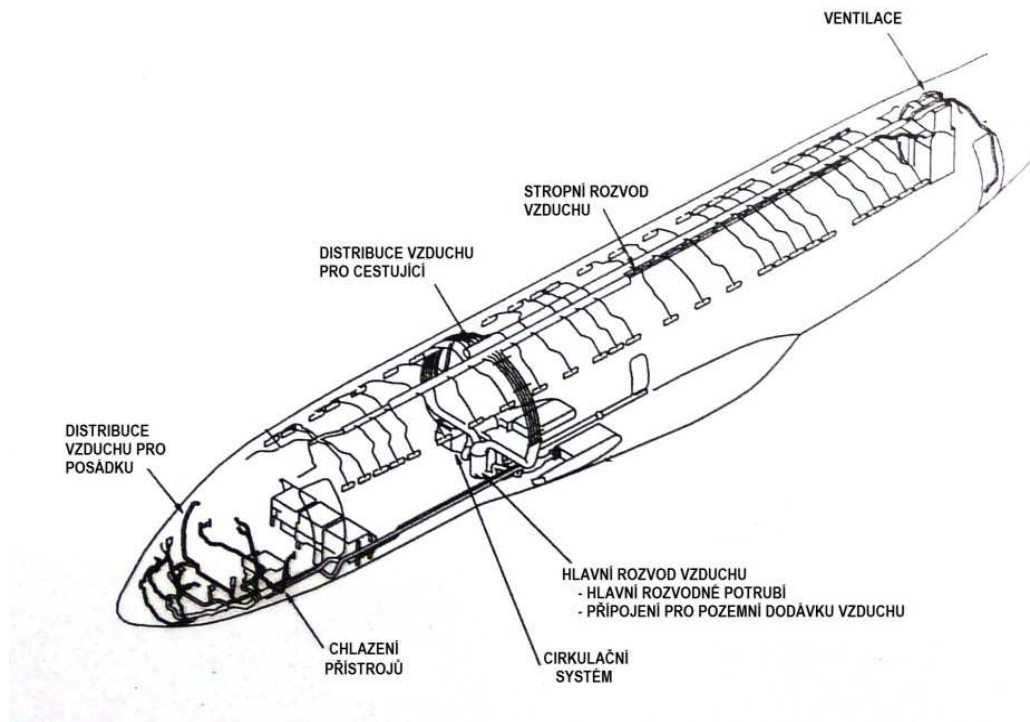


Obr. 14.

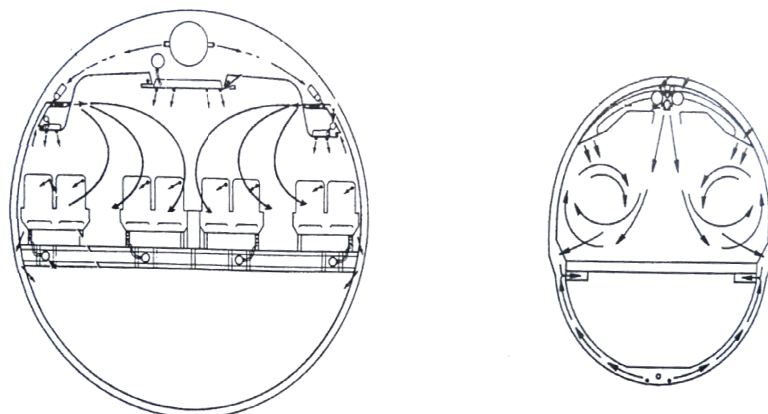
Kombinovaný způsob chlazení.

1 - kabinový vzduch; 2 - výměník tepla; 3 - výparník; 4 - kabina; 5 - odvod par chladiva; 6 - odvod chladicího vzduchu

Rozvod vzduchu po kabině je nejčastěji realizován ventilačním systémem. Vzduch o vhodné teplotě a tlaku je pomocí stropních ventilátorů vpouštěn do kabiny. Zde cirkuluje a poté je odsáván pryč. Vzduch se do kabiny dodává nepřetržitě a stejně tak je i odčerpáván, je tak zaručeno, že bude vždy čerstvý a vhodně upravený. Na obr. 15. je zobrazen distribuční systém vzduchu pro dopravní letadla.



Obr. 15.
Distribuce vzduchu u dopravního letadla.



Obr. 16.
Cirkulace vzduchu v kabině.

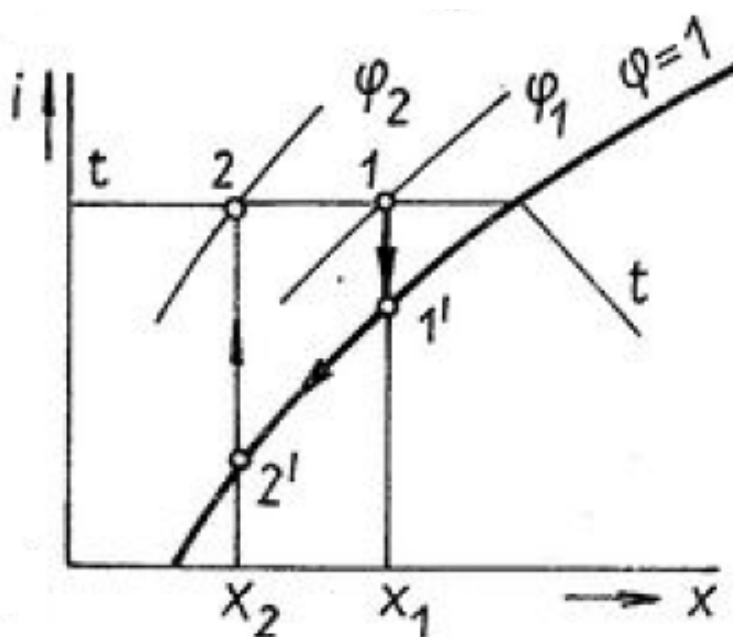
3.3. Vlhkost

Ve velkých výškách klesá relativní vlhkost vzduchu na velmi nízké hodnoty. Proto zejména pro dopravní letadla, která mají dobu letu delší než 2 hodiny, musí být vzduch vháněný do kabiny zvlhčován. Vlhkost se nemění pouze s rostoucí výškou, ale výrazně se liší i podle zeměpisné polohy. Například typická vlhkost vzduchu v severní Evropě se pohybuje kolem 10 gramů vody na kilogram vzduchu, oproti tomu ve východní Asii může obsahovat až 30 gramů vody na kilogram vzduchu.

Pokud by se vlhkost vzduchu zanedbala a kabinový vzduch by nebyl nijak upravován, mohlo by dojít ke dvěma extrémům. Při příliš suchém vzduchu v kabině dochází k vysušování sliznic a dráždění ke kašli, to má za následek snížení pocitu pohodlí během letu. Při průletu atmosférou s vysokou vlhkostí (mraky, tropy) může naopak docházet ke kondenzaci vlhkosti v kabině, což může ovlivnit správný chod přístrojů a rovněž to snižuje pocit pohodlí.

Zvlhčení vzduchu lze dosáhnout mísením vzduchu s vodní parou, odpařováním vody z volné hladiny nebo rozprašováním vody do proudu vzduchu s následným odpařováním vodních kapek. Při této příležitosti, lze vzduch rovněž pročistit, upravit antialergeny a látkami likvidující bakterie.

Ke snížení vlhkosti vzduchu se používají různé typy odlučovačů vody. V $i-x$ diagramu vlhkého vzduchu (obr. 17.) můžeme názorně vidět proces snižování vlhkosti.



Obr. 17.

i-x diagram vlhkého vzduchu

Odebráním vlhkosti $x_1 - x_2$ se sníží relativní vlhkost vzduchu z φ_1 na φ_2 .

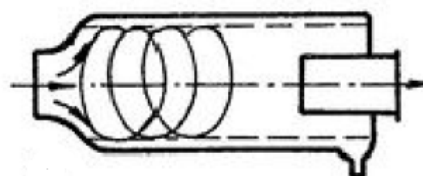
Základními způsoby snižování vlhkosti vzduchu jsou:

- Mechanicky pomocí odlučovačů
- Kondenzací vody na studených částech konstrukce
- Pomocí fyzikálně-chemických odlučovačů

U letadel se běžně používá mechanických odlučovačů (obr. 18. a obr. 19.).



Obr. 18.
Mechanický odlučovač



Obr. 19.
Odstředivý mechanický odlučovač

U odlučovače na obr. 18. dochází k oddělení vody ze vzduchu proháněním vlhkého vzduchu skrz žaluzie nebo jiné mechanické překážky (tkaniny apod.), kde se tvoří vodní kapky, které jsou odváděny pryč. Odlučovač na obr. 19. pracuje jako odstředivka, vlhký vzduch je roztočen (nejčastěji pomocí turbíny) a těžší kapky vzduchu jsou tlačeny na stěny, kde jsou odváděny pryč.

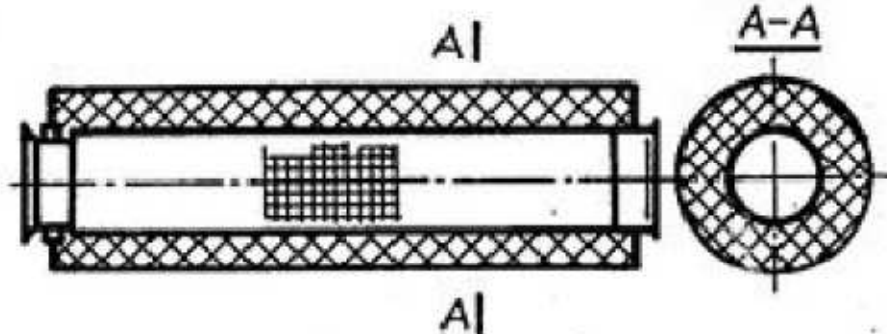
Jako chemický odlučovač se běžně používá silikagel, což je forma oxidu křemičitého. Základní vlastností silikagelu je jeho velmi vysoká porezita, která umožňuje snadno absorbovat vodu. Relativní vlhkost uzavřeného systému lze tímto způsobem snížit až o 30–40%. Výhodou je, že silikagel lze po nasycení vodou vysušit a poté znovu použít, lze do něj také přidat indikátor vlhkosti, který mění barvu, když je silikagel vlhký. Je nehořlavý, netoxický, chemicky neutrální a proto vhodný k použití v leteckém průmyslu.

3. 4. Hluk

I když se zdá, že hluk není problém klimatizační instalace a zabývat se jím zde není nutné, není tomu tak. Pracující klimatizační systém je, ať už přímo nebo nepřímo, zdrojem podstatných hluků v kabině. Pokud je částí klimatizace kompresor, popřípadě je-li letoun na letišti, lze za nepřímý zdroj hluku označit práci motorů nebo APU. Přímým zdrojem je potom proudící vzduch v potrubí a jeho průchod přes nejrůznější rotační části klimatizačního systému (turbochladiče, ventilátory).

K omezení hluku se využívá fyzikálních zákonů jako interference akustických vln, tedy vhodným umístěním zdrojů hluků. Dále tlumení hluku pomocí izolace, která pohlcuje jeho energii nebo mění jeho akustickou energii na energii tepelnou.

Podle těchto principů se konstruuje tlumiče hluku objemové, aktivní (izolační stěny), akustické a porézní (obr. 20.).



Obr. 20.
Tlumič hluku

Je důležité, aby tlumiče hluku měly malý odpor vůči proudícímu vzduchu a tak neprodukovaly hluk samy o sobě. Jako zvukově izolační materiál se osvědčila například skelná vata a skelná tkanina.

4. Přetlakové kabiny

4.1. Přetlakové kabiny

Přetlakové kabiny jsou velmi účinným a často jediným způsobem ochrany člověka před působením vlivů, které vznikají při cestování vzduchem. Jejich kombinace s klimatizačním systémem dokáže efektivně zásobovat posádku kyslíkem, udržovat správný tlak, teplotu a vlhkost vzduchu. Také v jisté míře chrání před hlukem. Ve skutečnosti by bylo možné používat přetlakové kabiny až od výšky 12 km, bylo by ale nutné vybavit letoun odpovídajícími kyslíkovými přístroji, které by museli po dobu letu používat nejen piloti a posádka, ale i cestující. Vzhledem k tomu, že tyto přístroje jsou komplikované, mohou s nimi nastávat potíže a taky jsou značně nepohodlné, používají se přetlakované kabiny již od výšek nad 2 km.

Při konstruování se na přetlakové kabiny může nahlížet dvěma způsoby. Buď jsou brány jako samostatný celek, který se vkládá do trupu, nebo jako součást celé nosné konstrukce trupu letounu. Hlavním požadavkem je jejich dostatečná těsnost, ta lze měřit dvojitým způsobem:

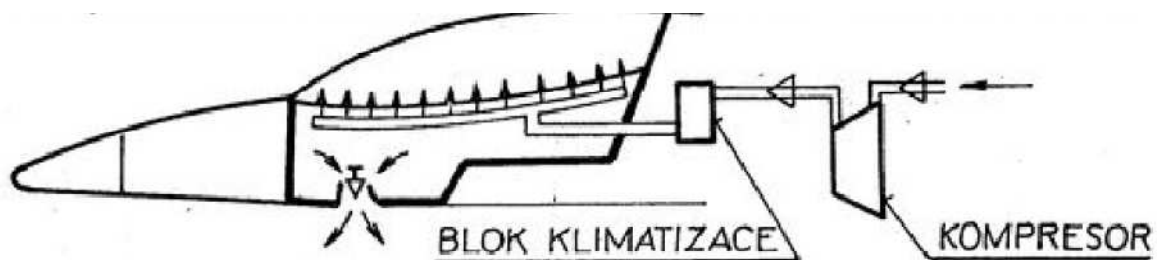
- Do kabiny se přivádí vzduch, který zabezpečuje konstantní tlak. Sledujeme potřebné množství přiváděného vzduchu.
- V kabině se vytvoří požadovaný přetlak a přeruší se dodávka vzduchu. Sledujeme, za jak dlouho klesne tlak na stanovenou hodnotu.

Běžná součást přetlakových kabin je zvuková a tepelná izolace. Materiál využívaný pro tepelnou izolaci musí splňovat hlavní předpoklady a to jsou malá tepelná vodivost, velká tepelná kapacita a nehořlavost. Jako vhodné se ukázalo použití skelných vláken vsíťých do obalu z kapronové tkaniny a mechová guma. Tloušťka izolace se pohybuje v mezích 5 – 10 mm. Snahou je objevovat stále lepší a odolnější materiály, které umožní ještě větší bezpečnost a zmenšení izolační vrstvy.

Přetlakové kabiny dělíme do dvou skupin:

Přetlakové kabiny s ventilací vzduchu (obr. 21.)

Hlavní výhodou těchto kabin je jejich konstrukční jednoduchost a menší požadavky na těsnost. Stlačený vzduch dodává kompresor motoru nebo speciální kabinové dmychadlo. Tento vzduch je současně využíván k přetlakování, ochlazování a vyhřívání kabiny. V kabině se potom nachází regulátor, jehož funkcí je zbavovat se vydechovaných zplodin, zajistit ventilaci. Nevýhodou je nedostatečná těsnost ve vyšších výškách, což klade velké nároky na klimatizační jednotku a tím se zvyšuje energetická náročnost.

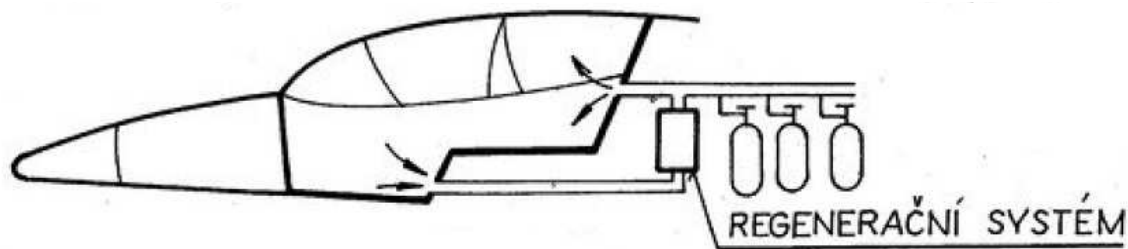


Obr. 21.

Přetlaková kabina s ventilací vzduchu.

Autonomní přetlakové kabiny s regenerací vzduchu (obr. 22.)

Regenerační kabina je uzavřená, vydýchaný vzduch se doplňuje čistým kyslíkem z tlakových lahví. Tato konstrukce je podstatně složitější než u ventilační kabiny. Je třeba počítat s umístěním tlakových lahví (nádrží), filtrů pro regeneraci a samotného regeneračního zařízení. Funkce tohoto zařízení spočívá v tom, že zbavuje kabinu vydechovaných zplodin a vlhkosti. Vzduch se po regeneraci opětovně používá a je obohacován o již vydýchaný kyslík. Vysoké nároky jsou kladeny především na těsnost kabiny z důvodů omezeného množství stlačeného kyslíku.



Obr. 22.
Autonomní přetlaková kabina
s regenerací vzduchu.

V letectví se používají nejčastěji přetlakové kabiny ventilační, autonomní se uplatňují zejména u letadel pohybujících se ve velmi vysokých výškách, častěji však u raketoplánů.

Během letu existují tři charakteristické případy regulace tlaku v kabině.

- Zvyšování výšky letu – dochází ze snižování tlaku v kabině podle daných předpisů. Minimální hodnota tlaku je dána typem letounu a funkcí, kterou plní.
- Horizontální let – tlak je konstantní
- Snižování výšky letu – tlak se v kabině zvyšuje a vyrovnává s tlakem atmosférickým. Klesání a změna tlaku nesmí probíhat moc rychle, mohlo by dojít k poškození ušního bubínku nebo jiným zdravotním komplikacím.

K pouhému přetlakování kabiny by ve skutečnosti stačilo malé množství vzduchu, které by nahrazovalo jeho úbytek netěsnostmi. Zajištění hygienicko-fyziologických požadavků vyžaduje, aby bylo do prostoru využívaného posádkou a cestujícími dodáváno daleko větší množství klimatizovaného vzduchu. Průběh regulace tlaku je udržován v letadle automaticky, pilot při startu pouze nastaví letovou hladinu a výšku cílového letiště.

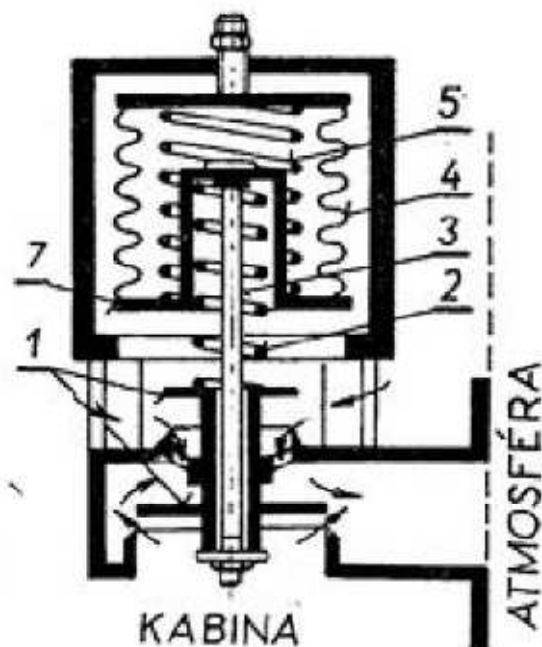
4.2. Regulátory

Regulátory jsou přístroje, které mají za úkol zajistit během celého letu zadaný tlak a rychlost jeho změny. Lze jimi ovládat statické a dynamické vlastnosti. Statickou vlastností je charakteristika závislosti výšky letu na průtoku vzduchu přes vypouštěcí ventil. Dynamická charakteristika je k určení vlastností řízení regulace tlaku během přechodových režimů. Funkce regulátorů není omezena pouze na udržování tlaku, slouží také jako ventilace v kabině. Na letounech se používají dva druhy regulátorů, přímý a nepřímý.

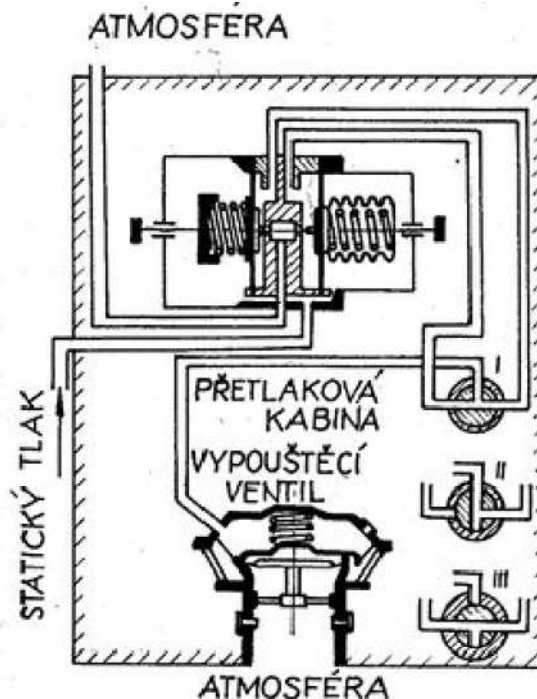
- Přímé regulátory

Využívají se hlavně pro malá průtočná množství vzduchu. Při větších množstvích už nejsou schopny zajistit potřebnou přesnost regulace. Jejich výhodou je konstrukční jednoduchost.

Ukázka přímého regulátoru je na obr. 23. Základem je tlakoměrná krabice s vlnovcem (4), ve kterém je pružina (5). Čelo (7) tlakoměrné krabice je spojeno s dříkem (3) a ventily (1). Ty regulují průtok vzduchu z kabiny do atmosféry.



Obr. 23.
Přímý regulátor.



Obr. 24.
Nepřímý regulátor.

- Nepřímé regulátory

Průtok vzduchu přes kabinu je zajištěn vypouštěcím ventilem. V závislosti na výšce letu regulátor přivírá nebo otvírá vypouštěcí ventil a tím se mění stav tlaku v kabině. Přetlakování probíhá podle obr. 24. Hodnota maximálního přetlaku je dosažena ve výšce podle seřízení regulátoru a tento přetlak se udržuje až do maximálního dostupu letounu. Ve chvíli, kdy je třeba rychle snížit výšku letu, může dojít k situaci, kdy je v kabině tlak nižší, než je tlak atmosférický. Za této situace se vypouštěcí ventil vlivem rozdílných tlaků samovolně otevře a tím se tlaky vyrovnají. Ukázka nepřímého regulátoru je na obr. 11. V poloze I (zapnuto) regulátor upravuje tlak v kabině podle výškového diagramu regulace. V poloze II (kontrola) se provádí kontrola přetlakování kabiny na letišti při stálém přetlaku. V poloze III (vypnuto) se provádí kontrola těsnosti kabiny, vývod vzduchu z kabiny je uzavřen.

4.3. Bezpečnost přetlakových kabin

Během letu může dojít k tomu, že se překročí maximální povolený přetlak v kabině nebo selže regulátor. V tomto momentě by došlo k poškození kabiny, které by mohlo mít katastrofální následky. Z důvodu zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti přetlakování jsou v letadlech instalovány pojistné ventily, které bývají konstruovány jako samostatný celek, tedy pokud dojde k poruše regulátoru, pojistný ventil není ohrožen a může pracovat. Některé typy kabin jsou doplněny elektromagnetickým ventilem, ten je schopen v případě havárie okamžitě zrušit přetlak.

Spolu s pojistným ventilem se používají signalizátory nebezpečných tlaku, které piloty upozorní na nebezpečný nárůst nebo pokles tlaku v kabině.

5. Kyslíkové soustavy a zásobování kyslíkem

Jak již bylo zmíněno, soudobé dopravní letadla využívají přetlakových kabin, (kterým se budeme věnovat později) ve kterých se udržuje tlaková kabinová výška 2 000 až 2 4000 m a to bez ohledu na to jaká je skutečná výška letu. Díky tomu nehrozí cestujícím téměř žádné nebezpečí plynoucí z nízkého tlaku a nedostatku kyslíku v krvi. Musí se ovšem počítat s hrozbou poruchy či nehody a proto musí být letadla vybavena kyslíkovými soustavami.

Kyslíkovými soustavami musí být vybaveny letadla s provozní výškou nad 7 620 m (25 000 ft) včetně nebo ty, které nejsou schopny sestoupit během 4 minut do tlakové výšky 3 962 m (13 000 ft). Celkový počet dýchacích přístrojů musí být o 10% větší, než je počet sedadel.

Pro piloty, popřípadě pro další osoby sloužící v pilotní kabině, musí být k dispozici doplňková zásoba kyslíku po celou dobu letu, kdy se letadlo pohybuje v kabinové výšce větší než 3 962 m (13 000 ft) nebo v případě, že se pohybuje déle než 30 minut v kabinové výšce 3 048 – 3 962 m (10 000 – 13 000 ft). Dodávka kyslíku musí být zajištěna

- po dobu 30 minut pro letadla certifikované pro lety ve výškách do 7 620 m (25 000 ft)
- po dobu 120 minut pro letadla certifikované pro lety ve výškách nad 7 620 m (25 000 ft)

Pro palubní průvodčí musí být k dispozici doplňková zásoba kyslíku stejně jako pro piloty a osoby sloužící v pilotní kabině.

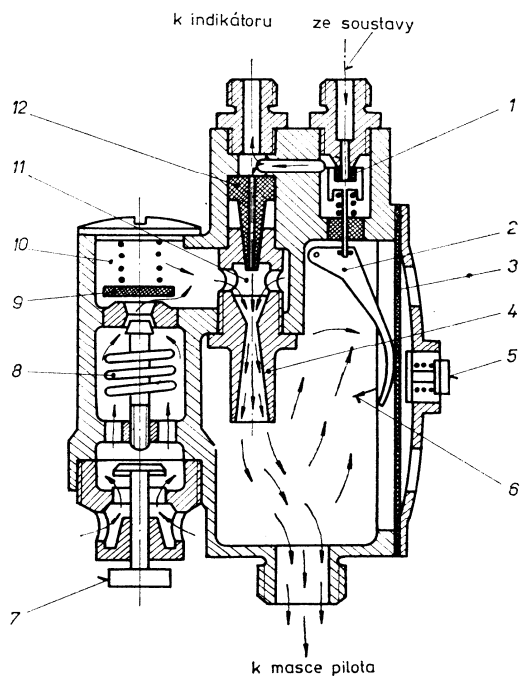
Pro 100% cestujících musí být k dispozici doplňková zásoba kyslíku po celou dobu letu, kdy se letadlo pohybuje v kabinové výšce větší než 4 572 m (15 000 ft) a to po dobu nejméně 10 minut. Během této doby je nutné, aby pilot sestoupil s letadlem z aktuální maximální letové výšky do výšky 4 572 m (15 000 ft).

Pro 30% cestujících musí být k dispozici doplňková zásoba kyslíku po celou dobu letu, kdy se letadlo pohybuje v kabinové výšce 4 267 – 4 572 m (14 000 – 15 000 ft)

Pro 10% cestujících musí být k dispozici doplňková zásoba kyslíku po celou dobu letu, kdy se letadlo pohybuje v kabinové výšce 3 048 – 4 267 m (10 000 – 14 000 ft) a to po 30 minutách letu v těchto kabinových výškách.

Kyslíkové masky, zejména ty v pilotní kabině, musí být rychle a jednoduše k dispozici. Hlavní požadavek je, aby umožňovaly snadné nasazení a bezchybnou funkčnost. Zároveň nesmí nijak omezovat pilota v pohybu, řízení a komunikaci. Masky v kabině pro cestující musí být rovnoměrně rozmístěny v bezprostředním dosahu. Dodávka kyslíku pro posádku a cestující bývá oddělena.

Princip činnosti dýchacího přístroje znázorněn na obr. 25. Při vdechu dochází k podtlaku ve výstupním prostoru (6), který způsobí pohyb membrány dovnitř, vyvolá posunutí dávkovacího raménka (2) a tím otevření kyslíkového ventilu (1).



Obr. 25.

Princip činnosti kyslíkové masky.

1 - kyslíkový ventil; 2 - dávkovací raménko; 4 - tryska; 5 - nouzové tlačítko; 6 - výstupní prostor; 7 - kohoutek; 8 - aneroid; 9 - zpětný ventil; 10 - vzduchová komora; 11 - směšovací prostor; 12 - ejektor

Kyslík pak proudí přes ejektor (12) do směšovacího prostoru (11), kde přisává vzduch ze vzduchové komory (10) se zpětným ventilem (9) z okolí. Směs pak proudí tryskou (4) do výstupního prostoru a do masky pilota. Při otevření kyslíkového ventilu proudí kyslík současně i do indikátoru, který ukazuje dávkování kyslíku. Správný poměr směsi vzduchu a kyslíku v závislosti na okolním tlaku (kabinové výšce) řídí aneroid (8) s dávkovacím ventilem. Při výdechu se zvětší přetlak ve výstupním prostoru a kyslíkový ventil (1) i zpětný ventil (9) se uzavírají. S poklesem kabinového tlaku se postupně uzavírá ventil přívodu vzduchu do vzduchové komory. Ve výšce kolem 25000 ft je přívod vzduchu uzavřen a pilot

vdechuje pouze čistý kyslík. Přívod vzduchu je možné kdykoli uzavřít kohoutem (7). Nouzovým tlačítkem (5) se otevírá ručně kyslíkový ventil.

Velká dopravní letadla mají dodávku kyslíku pro cestující zajištěnu pomocí vyvíječů kyslíku. Vytváří kyslík chemickou cestou po aktivaci elektrickým impulzem. Tuto chemickou reakci nelze po spuštění zastavit. Kyslík je dodáván do masky po dobu minimálně 15 minut. V případě použití dýchají cestující kyslík z vyvíječe, který se mísí se vzduchem z kabiny, masky tudíž nechrání proti dýmu a kouři.

6. Závěr

Tato bakalářská práce by měla pomoci utvořit ucelenou představu o tom, co je to klimatizační soustava letadla, jak funguje a co musí zabezpečit, aby byl pobyt v letadle po celou dobu bezpečný a pohodlný. V první části práce je věnována pozornost zdravotním komplikacím, které mohou vzniknout v důsledku zanedbání některé ze složek klimatizace. Druhá část se již věnuje způsobu a průběhu zajištění a zachování vhodných podmínek na palubě letadla. Třetí část je zaměřena na představení přetlakových kabin a uvedení jejich výhod. V závěru práce jsou zmíněny kyslíkové soustavy a požadavky na ně kladené. Tyto soustavy jsou však nouzovým prvkem a cestující s nimi přijdou do styku pouze v případě selhání klimatizačního systému.

Na klimatizační soustavu musíme nahlížet jako na celek, nejde se věnovat například jen přetlakování nebo jen teplotě, všechny děje v klimatizaci spolu souvisí a ovlivňují se. Proto i když je tato práce formálně rozdělena na kapitoly věnující se jednotlivě všem důležitým složkám, nejde je úplně oddělit a lze pozorovat, že se kapitoly prolínají.

Klimatizační soustavy jsou nesmírně důležitou součástí letadel. Jejich vývoj a vznik provázelo mnoho úskalí, včetně několika tragických nehod. Tyto poznatky ovšem dopomohly k vytvoření kvalitních klimatizačních soustav zabezpečujících životní funkce a pohodlí posádky a cestujících. Díky těmto soustavám je umožněno dosahovat vyšších letových hladin a to zefektivňuje leteckou dopravu, neboť letecké motory mají největší tah, výkon a nejmenší spotřebu paliva ve vysokých výškách. To také ovlivňuje náklady na provoz letadel a cenu za letenky.

Lety ve vysokých výškách přinášejí i rizika. Týká se to hlavně cyklického namáhání draku letadla s možností vzniku trhlin a lomu na nejvíce namáhaných částech letounu. Toto únavové namáhání je způsobeno také přetlakováním kabiny, to způsobuje rozpínání konstrukce při stoupání do vyšších výšek a následné smršťování při klesání. Typickým příkladem tragických nehod právě kvůli tomuto ději, nedostatku zkušeností s klimatizováním a přetlakováním kabin je letadlo Comet z 60. let. Tento letoun byl revolučním v oblasti letectví, jednalo se o první proudový dopravní letoun létající ve velkých výškách. Bohužel právě toto prvenství bylo příčinou nezdaru. Nedostatečné poznatky o cyklickém namáhání během přetlakování a letech ve výškách si vybraly daň na lidských životech. Tyto počáteční neúspěchy však přinesly mnoho nových informací a díky tomu můžeme dnes bez obav využívat letecké dopravy.

Seznam použitých zdrojů

Literární zdroje

- [1] TRETINA, K.: Letadlové instalace II, skripta VA, Brno, 1986
- [2] JAA: Aircraft general knowledge - Airframes and Systems, Jeppesen, Oxford 2001
- [3] KRIZ, J.: Letadlové motory I, skripta Vysoká škola dopravy a spojů, Žilina, 1972
- [4] Jane's: All the World's Aircraft 2008-09
- [5] předpisy CS-23, CS-25, CS-OPS 1

Internetové zdroje

- [6] *Wikipedie* [online]. 31. 1. 2011 [cit. 2011-05-15]. Teplo. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplo>>
- [7] *Wikipedie* [online]. 2011 [cit 2011-05-15]. Klimatizační soustava letadla. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Klimatiza%C4%8Dn%C3%AD_soustava_letadla>
- [8] *PBS Velká Bíteš* [online]. 2011 [cit 2011-05-15]. Omezovač průtočného vzduchu. Dostupné z WWW: <http://www.pbsvb.cz/dlt_klimatizace_dilce.php>