

# Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



## **Možnosti integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla jako ochrana proti poklesu kyslíku v kabině vozidla**

**Diplomová práce**

Vedoucí práce: Ing. Jan Hart, Ph.D.

Autor práce: Bc. Miroslav Soukup

Praha 2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Miroslav Soukup

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Možnosti integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla jako ochrana proti poklesu kyslíku v kabině vozidla

Název anglicky

Possibilities of integration of oxygen concentrator into vehicle as protection of oxygen drop in vehicle cabin

---

Cíle práce

Diplomová práce je tematicky zaměřena na vliv kyslíku na ovlivnění únavy a možnosti integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla. Hlavním cílem je provést rozbor možnosti integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla a vytvořit finanční analýzu nákladů integrovaných systémů a porovnat je se systémy mobilními. Dílčí cíle diplomové práce jsou:

- vytvořit přehled řešené problematiky,
- definovat vliv kyslíku na lidský organizmus a zhodnotit rizika jeho použití ve vozidlech,
- provést měření úbytku kyslíku ve vozidle při různém nastavení ventilačního systému,
- provést a vyhodnotit finanční analýzu integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla se systémy pro mobilní poskytnutí kyslíku.

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Praktická část práce je zaměřena na rizikové faktory spojené s úbytkem kyslíku ve vozidle. Dále bude provedena finanční analýza možnosti integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla a porovnání s jeho mobilní verzí. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků praktické části práce budou formulovány závěry diplomové práce.

Osnova:

- 1 Úvod
  - 2 Cíl práce
  - 3 Metodika práce
  - 4 Přehled řešené problematiky
  - 5 Vlastní řešení
-

6 Zhodnocení výsledků

7 Závěr a doporučení

8 Seznam použitých zdrojů

9 Přílohy



**Doporučený rozsah práce**

50 až 60 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

**Klíčová slova**

únava, nehody, rizika, systémy detekce únavy, kyslík

---

**Doporučené zdroje informací**

BERAN, Tomáš. Dopravní nehody: právní rádce pro každého řidiče : [včetně návodu na poskytnutí první pomoci]. Brno: Computer Press, 2007. Rady a tipy pro řidiče (Computer Press). ISBN 978-80-251-1791-0.

KRISTOFORI, J. – MÁČEK, M. – SCHERRER, J. *Únava*. Praha: Victoria Publishing, 1995. ISBN 80-85865-73-4. *Kyslík*. Praha: GAS, 1996. ISBN 80-238-0537-1.

PRAŠKO, J. *Chronická únava : zvládnutí chronického únavového syndromu*. Praha: Portál, 2006. ISBN 80-7367-139-5.

SEDLÁK, J. *Pracovní únava*. Praha: Academia, 1981.

VLK, F. *Automobilová elektronika. 1, Asistenční a informační systémy : [EPS, DSC, AHS, PSM, VDC – elektronická stabilizace ASR, ASC, DTC, ETC, TCS – protikluzové systémy ABC, ACC, BAS, FLR, HDC, LDW ... a další systémy podporující řidiče]*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2020/2021 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. Jan Hart, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

---

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 17. 07. 2020

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Možnosti integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla jako ochrana proti poklesu kyslíku v kabině vozidla vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne: 12. 5. 2021

.....

Bc. Miroslav Soukup

**Abstrakt:** Tato diplomová práce se zabývá problematikou kvality ovzduší uvnitř kabiny vozidla. Mikroklima v kabině vozidla tvoří podstatnou část aktivní bezpečnosti v běžném silničním provozu. V teoretické části popisuje působení kyslíku na lidský organismus, rizikové stavy při nedostatku nebo nadbytku kyslíku, a dále možnosti použití kyslíkového koncentrátoru ve vozidle, jako možnou ochranu před vznikem únavy posádky vozidla.

Praktická část obsahuje měření hladiny kyslíku, oxidu uhličitého a relativní vlhkosti v kabině vozidla v závislosti na různém nastavení ventilace. Pro měření jsou vybrána vozidla různého typu karoserie i stáří, tak aby byla zajištěna, co největší rozmanitost jednotlivých měření.

V závěrečné části je uvedeno zhodnocení všech získaných poznatků z provedených jízd.

**Klíčová slova:** únava, nehody, rizika, systémy detekce únavy, kyslík

## **Possibilities of integration of oxygen concentrator into vehicle as protection of oxygen drop in vehicle cabin**

**Abstract:** This diploma thesis deals with the issue of air quality inside the vehicle cabin. The microclimate in the vehicle cabin makes a majority part of active safety in normal road traffic. The theoretical part describes the effect of oxygen on the human body, risk conditions with the absence or surplus of oxygen and further possibilities of using an oxygen concentrator in the vehicle as a possible protection against fatigue of the vehicle crew.

The practical part contains measuring the level of oxygen, carbon dioxide and relative humidity in the vehicle cabin depending on different ventilation settings. For the measurement are selected vehicles of different body types and ages, so as to ensure the greatest possible variety of individual measurements.

The final part presents an evaluation of all knowledge gained from performed rides.

**Keywords:** tiredness, accidents, risks, fatigue detection systems, oxygen

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíl práce .....	2
3. Metodika práce .....	3
4. Přehled řešené problematiky .....	4
4.1 Kyslík .....	4
4.1.1 Kyslík z pohledu chemie .....	4
4.1.2 Kyslík a jeho reakce na fyziologii lidského těla .....	5
4.1.3 Rizikové faktory úbytku kyslíku .....	10
4.1.4 Vliv spotřeby kyslíku na teplotu organismu .....	15
4.1.5 Rizika spojená s použitím kyslíku .....	19
4.1.6 Reaktivní formy kyslíku .....	23
4.2 Integrace kyslíkového koncentrátoru .....	29
4.2.1 Rozdělení kyslíkových koncentrátorů .....	30
4.2.2 Kyslíkový koncentrátor vhodný do vozidla – současné řešení .....	31
4.2.3 Kyslíkový koncentrátor do vozidla – teoretické řešení .....	33
5. Vlastní řešení .....	36
5.1 Škoda Scala .....	37
5.2 Mazda 3 .....	41
5.3 Ford Mondeo .....	45
5.4 BMW 663c .....	49
6. Zhodnocení výsledků .....	53
6.1 Vyhodnocení měřených vozidel .....	54
6.1.1 Škoda Scala .....	54
6.1.2 Mazda 3 .....	54
6.1.3 Ford Mondeo .....	55



6.1.4 BMW 663c .....	55
6.2 Ekonomické zhodnocení .....	56
7. Závěr a doporučení .....	57
8. Seznam použitých zdrojů .....	59
9. Seznam obrázků .....	64
10. Seznam tabulek.....	66
11. Seznam příloh .....	67

# 1. Úvod

V dnešní době je bezpečnost silničního provozu velice aktuální téma. Vozidla jsou vybavována různými senzory, které mohou předcházet vzniku dopravních nehod. Není již výjimkou, že vozidlo střední třídy je vybaveno celou řadou bezpečnostních asistentů, jako jsou např. systémy pro udržení vozidla v jízdním pruhu nebo v dostatečné vzdálenosti před jiným vozidlem a v případě hrozícího nebezpečí dokáže tento asistent zasáhnout do řízení a např. vozidlo přibrzdit před přibližující překážkou.

Vozidla vyšší třídy disponují např. systémy detekce únavy, které na základě plynulosti jízdy, držení volantu nebo pohybu očí dovedou detekovat únavu řidiče.

Na druhou stranu je nezbytné zmínit fakt, že všechny tyto bezpečnostní systémy jsou stále ve vývoji, a tak se může stát, že je vozidlem vyhodnocena v blízkosti překážka, ale ve skutečnosti se řidič snaží předjet pomalu jedoucí vozidlo před ním. V případě systémů detekce únavy se nezdá, že je odpočínutý řidič upozorněn na únavu anebo naopak k upozornění unaveného řidiče vůbec nedojde, protože to detekční systém vůbec nezaznamenal.

Kyslík a další plyny obsažené ve vzduchu jsou pro správné fungování lidského organismu zcela nezbytné. Jejich koncentrace musí být ve velice úzkém rozmezí, tak aby nedocházelo např. k nedostatku kyslíku a následnému nadbytku oxidu uhličitého v důsledku zrychleného dýchání. Za obecně ustanovené hodnoty se považuje hladina kyslíku okolo 20,9 % a úroveň oxidu uhličitého do 1 000 ppm.

Správná hladina kyslíku a úroveň koncentrace oxidu uhličitého dosahující do bezpečné míry, je pro bezpečnost provozu jedním ze základních předpokladů, kdy nehrozí únava lidského organismu. Systémy větrání a klimatizace jsou u většiny aut nutné ovládat manuálně. Závisí tedy na řidiči nebo spolujezdci, kdy si všimne, že je potřeba obměnit vzduch v kabině vozidla.

K tomu pravděpodobně dojde ve chvíli, kdy posádka vozidla zaznamená, že mikroklima uvnitř kabiny vozidla není příjemné. Z pohledu bezpečnosti silničního provozu to je pozdě. V takový moment již může nastávat počáteční únava posádky vozidla a zvyšuje se riziko, že řidič nebude schopen včas a rychle zareagovat na nastalou situaci, která se v silničním provozu mění v podstatě neustále.

## 2. Cíl práce

Diplomová práce je tematicky zaměřena na vliv kyslíku, na ovlivnění únavy a možnosti integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla. Hlavním cílem je provést rozbor možností integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla a vytvořit finanční analýzu nákladů integrovaných systémů a porovnat je se systémy mobilními.

Dílčí cíle práce jsou:

- vytvořit přehled řešené problematiky
- definovat vliv kyslíku na lidský organismus a zhodnotit rizika jeho použití ve vozidlech
- provést měření úbytku kyslíku ve vozidle při různém nastavení ventilačního systému
- provést rovněž měření hladiny oxidu uhličitého a relativní vlhkosti ve vozidle při různém nastavení ventilačního systému
- teoreticky navrhnout vhodné místo pro umístění kyslíkového koncentrátoru ve vozidle
- provést a vyhodnotit finanční analýzu integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla se systémy pro mobilní poskytnutí kyslíku
- zhodnotit všechna provedená měření na základě získaných dat z měření
- zhodnotit přínos použití kyslíkového koncentrátoru ve vozidle z pohledu bezpečnosti silničního provozu

### **3. Metodika práce**

Metodika řešené problematiky diplomové práce bude založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů.

Praktická část práce bude zaměřena na rizikové faktory spojené s úbytkem kyslíku ve vozidle. Experimentální měření bude provedeno prostřednictvím přístroje LUTRON AQ-9901 SD určeného pro měření kvality ovzduší. Analyzátozem bude měřena hladina kyslíku, oxidu uhličitého a relativní vlhkost. Měření bude provedeno na čtyřech různých vozidlech. Všechna vozidla budou vybrána s ohledem na jejich karoserii a stáří. Tím bude dosaženo co největší diverzifikace experimentálních měření.

Dále bude provedena finanční analýza možnosti integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla a porovnání s jeho mobilní verzí. V poslední fázi proběhne zpracování jednotlivých měření a vyhodnocení jednotlivých měřených jízd.

Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků praktické části budou formulovány závěry diplomové práce.

## 4. Přehled řešené problematiky

V teoretickém zpracování této diplomové práce je důležité, definovat vliv kyslíku na lidský organismus a zhodnotit, jaká rizika představuje použití kyslíkového koncentrátoru v kabině vozidla. Dále je podstatné zhodnotit všechny rizikové faktory spojené s úbytkem kyslíku. V závěru teoretické části je nezbytně nutné se zaměřit na vliv kyslíku, vzhledem k ovlivnění únavy.

### 4.1 Kyslík

Kyslík má zcela zásadní význam pro udržení lidského organismu při životě. V případě jeho nedostatečného přívodu a uvolňování v tkáních, dojde k anaerobnímu metabolismu, laktátové acidóze a v konečném důsledku k nevratnému poškození mozku i dalších orgánů v lidském těle.<sup>1</sup>

Nadbytek kyslíku představuje naopak toxický vliv na plicní endotel, který může vyvolat těžké nitrooční změny, které mohou vést až k oslepnutí.<sup>1</sup>

#### 4.1.1 Kyslík z pohledu chemie

Jedná se o jeden z nejrozšířenějších prvků na Zemi, jak je patrné z tabulky 1. Jako volný prvek se vyskytuje v atmosféře. Ve vodě je vázaný v nejrůznějších oxidech, které tvoří základní stavební kameny zemské kůry. Např:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a další.<sup>2</sup>

Kyslík je biogenním prvkem. To znamená, že tvoří nezbytnou součást molekul organických látek. Hmotnostní podíl kyslíku v zemské litosféře a atmosféře představuje odhadem asi 50 %. Významnou vlastností pro kyslík je, jeho schopnost reagovat s velkou většinou prvků při normální teplotě nebo za zvýšené teploty. Tyto reakce mohou probíhat zcela spontánně nebo mohou vyžadovat dodatečné teplo, světlo, elektrickou energii, či jiný druh katalyzátoru. Při vhodných podmínkách reagují na kyslík všechny organické sloučeniny a většina anorganických sloučenin.<sup>2</sup>

Tab. 1 Složení ovzduší zemské atmosféry<sup>3</sup>

Plynný prvek	Složení [ppm obj.]	Složení [ppm hm.]
Dusík	780 900,00	755 100,00
<b>Kyslík</b>	<b>209 500,00</b>	<b>231 500,00</b>
Argon	9 300,00	12 800,00
Oxid uhličitý	300,00	460,00
Neon	18,00	12,50
Helium	5,20	0,72
Metan	2,20	1,20
Krypton	1,00	2,90
Oxid dusný	1,00	1,50
Vodík	0,50	0,03
Xenon	0,08	0,36

Poznámka: ppm [parts per million] česky „jedna miliontina celku“

#### 4.1.2 Kyslík a jeho reakce na fyziologii lidského těla

Lidský organismus je zvyklý žít v atmosféře, která je bohatá na kyslík. Všudypřítomný kyslík je zcela nezbytný, pro přežití člověka. Člověk využívá kyslík pro potřeby svého vlastního metabolismu. Značná část kyslíku, která je přijata do organismu, je spotřebována k získání energie ze substrátů přijímaných v potravě. Další část kyslíku je použita v syntéze látek při biochemických reakcích.<sup>4</sup>

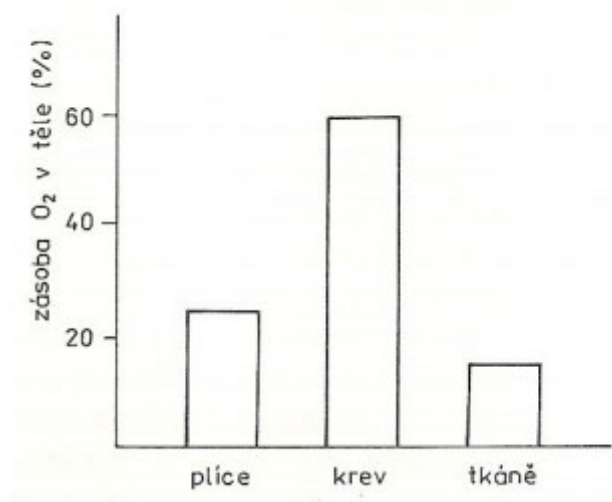
##### 4.1.2.1 Dýchání

Dýchací soustava je v přímém spojení s vnějším prostředím. Zajišťuje trvalý příjem kyslíku ze zemské atmosféry a výdej oxidu uhličitého do atmosféry. Tento děj je trvalý, který začíná prvním nádechem novorozence a končí smrtí jedince. Z fyziologického hlediska, nelze přívod kyslíku do organismu přerušit, na dobu delší než několik málo minut bez závažných následků.

Zásoby kyslíku, kterými organismus disponuje, nejsou nijak velké. Tyto zásoby jsou asi 1 l po klidném výdechu a necelé 2 l po hlubokém vdechu. Při normální spotřebě 250 ml O<sub>2</sub> za 1 minutu, tvoří toto množství rezervu na dobu 4–7 minut. Člověk si nepatrnou zásobu kyslíku v těle vůbec neuvědomuje. Neustálý přívod kyslíku je zajišťován zcela automaticky.

Fyziologický mechanismus pro transport kyslíku sám udržuje nepřetržitou dodávku všem tkáním. Bez vědomé kontroly, jsou tyto procesy upravovány aktuálními nároky jednotlivých tkání na spotřebu kyslíku. Na obrázku 1 je vidět procentuální rozložení kyslíkových zásob v organismu<sup>5</sup>

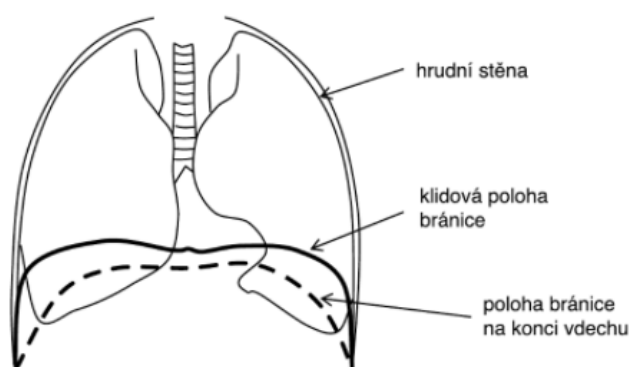
Obr. 1 Kyslíkové zásoby v organismu<sup>6</sup>



#### 4.1.2.2 Plicní ventilace

Výměnou vzduchu mezi vnější atmosférou a plícemi, je zajištěna plicní ventilace. Zvýšením objemu plic, jak je patrné z obrázku 2 se vytvoří podtlak, který zajistí nasátí vzduchu z atmosféry. Dýchací svaly člověka tvoří bránice a zevní mezižeberní svaly. Při klidném dýchání je frekvence 12 až 20 cyklů za minutu (vdech – inspirium, výdech – expirium). V každém cyklu dojde k výměně asi 0,5 l vzduchu (dechový objem). Každou minutu plíce ventilují až 10 l vzduchu.<sup>5</sup>

Obr. 2 Zvětšení objemu hrudní dutiny při vdechu v důsledku kontrakce bránice<sup>5</sup>



Usilovným nádechem lze do plic dostat asi 3 l vzduchu (inspirační rezervní objem). Pro výdech pak platí, že lze z plic vytlačit zhruba 1 l vzduchu (expirační rezervní objem). Za takového cyklu člověk dokáže vyměnit až 4,5 l vzduchu. Jedná se o tzv. vitální kapacitu plic. I po maximálním výdechu zůstane v plicích asi 1 l vzduchu, který tvoří reziduální (zbytkový) objem. Dále se na výměně vzduchu nepodílí sloupec vzduchu v dýchacích cestách (mrtvý prostor). Z fyziologického hlediska to představuje odhadem 150 ml vzduchu.

Pokud dojde k zvýšení potřeby kyslíku např. při intenzivní činnosti svalů, tak roste dechový objem i dechová frekvence. Minutová ventilace může dočasně dosáhnout až ke dvacetinásobku běžné hodnoty.<sup>5</sup>

#### **4.1.2.3 Respirace**

Přemístění kyslíku z alveolů do krve plicních kapilár a v opačném směru oxidu uhličitého se nazývá respirací. Tento děj probíhá jako difúze, která je závislá na ventilaci alveolů, průtoku krve do plic a na difúzní schopnosti plicní tkáně. Difúze je poměrně krátká, a proto dojde k rychlému vyrovnání parciálních tlaků plynů. Při rychlém, ale povrchním dýchání, je podíl mrtvého prostoru na objemu ventilovaného vzduchu zvětšen a alveolární ventilace se zmenší. Pomalé a hluboké dýchání naopak podíl mrtvého prostoru zmenšuje a alveolární ventilace se tedy zvyšuje.

Parciální tlaky v alveolárním vzduchu jsou: O<sub>2</sub> 13,33 kPa a CO<sub>2</sub> 5,33 kPa. Pro kyslík z alveolů ke kapilárám vytváří tlakový gradient 8,0 kPa. Právě tyto rozdíly tlaku jsou nezbytnou podmínkou difúze plynů alveolární membránou do kapilár.<sup>5,7</sup>

#### **4.1.2.4 Transport kyslíku**

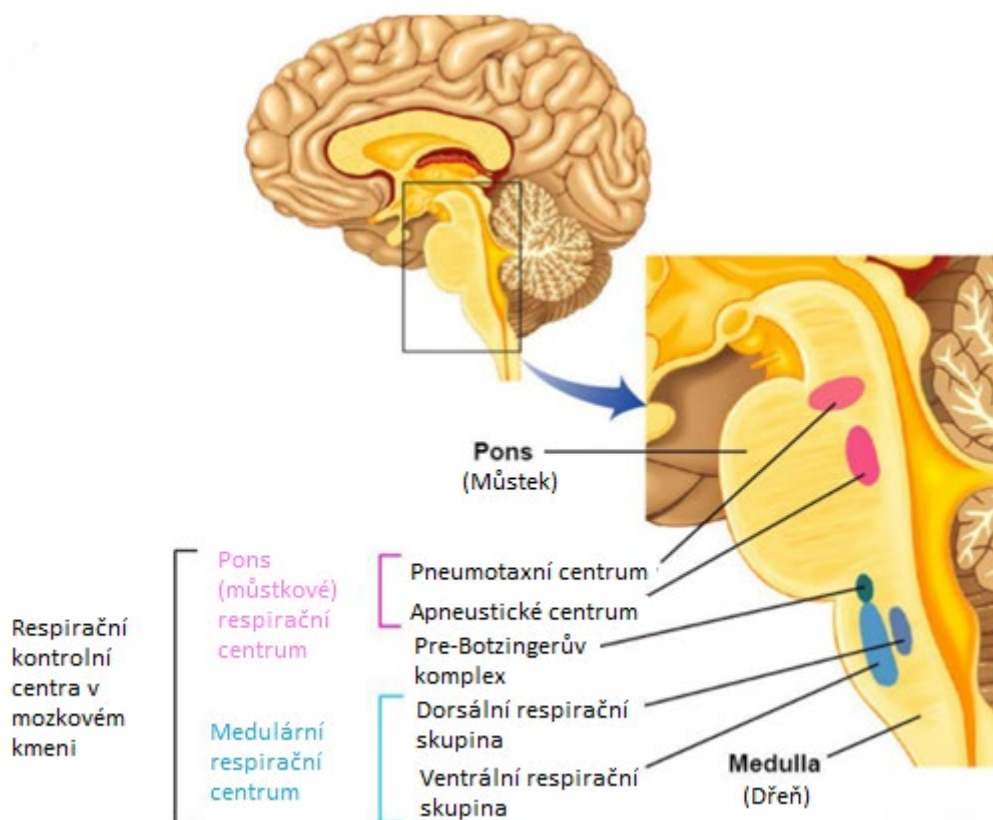
V krvi je kyslík v největší části navázán na červené krevní barvivo (hemoglobin), který je obsažen v červených krvinkách tzv. erytrocytech. Z hemoglobinu se přeměnou stává oxyhemoglobin. Vazba mezi kyslíkem a hemoglobinem není stabilní a množství kyslíku, které na sebe hemoglobin naváže, je určeno parciálním tlakem. Stoupající tenze kyslíku vyvolá zvyšující nasycení hemoglobinu kyslíkem, naopak při klesající tenzi, je kyslík z hemoglobinu uvolňován. V tepenné krvi je saturace (okysličení krve) okolo 94-99 %. V žilní krvi se saturace pohybuje okolo 65-80 %. Vazební kapacita hemoglobinu se snižuje s teplotou a hodnotou pH krve.<sup>5</sup>



#### 4.1.2.5 Regulace dýchání

Dýchání lidského organismu je řízeno respiračním centrem, které je uloženo v prodloužené míše, jak je vidět na obrázku 3. Z respiračního centra jsou impulsy převáděny na dýchací svaly, které poté uskutečňují rytmické dýchací pohyby. Funkce dechového centra je do značné míry řízena automaticky. Na regulaci dýchání má však ještě vliv nervová a látková, neboli chemická regulace. Respirační centrum je značně citlivé na koncentraci  $\text{CO}_2$  v krvi a acidózu (pokles pH), ale je poměrně málo citlivé na nedostatek kyslíku v krvi. Nedostatek kyslíku v organismu působí přímo na dechové centrum.<sup>8</sup>

Obr. 3 Respirační centrum uložené v prodloužené míše<sup>9</sup>

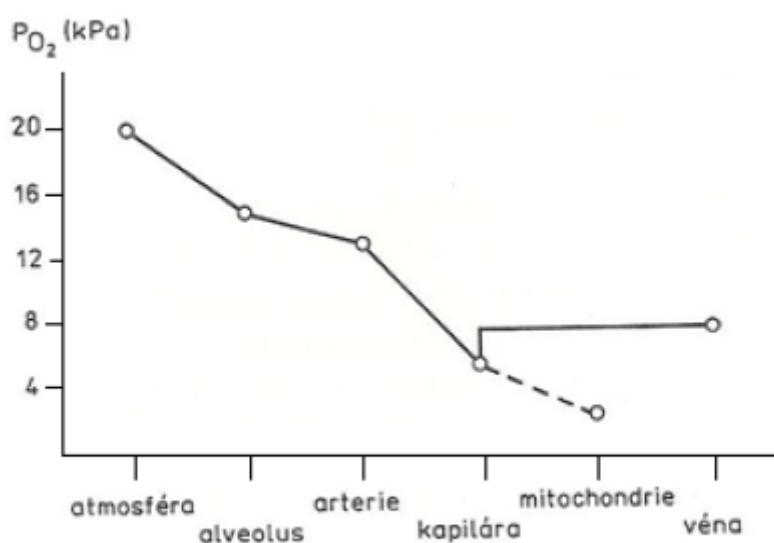


#### 4.1.2.6 Transportní systém kyslíku

V zemské atmosféře se kyslík vyskytuje s určitým parciálním tlakem, který úzce souvisí s nadmořskou výškou. Transportní systém zajišťuje, aby se kyslík dostal na místo potřeby v organismu, pod dostatečným parciálním tlakem. Vlastní přenos kyslíku se uskutečňuje při neustálém poklesu parciálního tlaku, jak je patrné z obrázku 4. V lidském organismu je množství transportovaného kyslíku přímo

závislé na spotřebě v jednotlivých tkáních. Spotřeba kyslíku se může měnit v závislosti na funkčním stavu jednotlivých tkání. Zvýšená spotřeba kyslíku vzniká nejčastěji vlivem svalové činnosti, při které může spotřeba kyslíku dosahovat, až patnáctinásobku běžné spotřeby v klidovém metabolismu. V takovém případě, může spotřeba kyslíku dokonce přesáhnout schopnost přenést kyslík z atmosféry do organismu.<sup>8</sup>

Obr. 4 Parciální tlak kyslíku v jednotlivých místech<sup>5</sup>



#### 4.1.2.7 Transportní systém oxidu uhličitého

Molekuly oxidu uhličitého postupují přesně opačným směrem než molekuly kyslíku. Vzhledem k tomu, že oxid uhličitý má několikanásobně vyšší rozpustnost než kyslík a kapacita pro oxid uhličitý v krvi, je také vyšší, je tedy vyšší i množství CO<sub>2</sub> v krvi. Jeden litr arteriální krve obsahuje zhruba 500 ml CO<sub>2</sub>. V litru venózní krve potom 54 ml CO<sub>2</sub>. Molekuly CO<sub>2</sub> se přenášejí z kapilár do plic celkem třemi způsoby:

- fyzikálně rozpuštěný
- ve formě bikarbonátových aniontů
- v chemické vazbě na hemoglobin a plazmatické proteiny

Největší část (odhadem 85 %) CO<sub>2</sub> je transportováno ve formě bikarbonátu. Fyzikálně rozpuštěný CO<sub>2</sub> v plazmě a intracelulární tekutině erytrocytů zastupuje podíl 5 % celkového přenosu CO<sub>2</sub> v krvi. Erytrocyty s enzymy karbohydrázy dosahují reakce CO<sub>2</sub> s vodou za vzniku kyseliny uhličitě rovnovážného stavu téměř ihned. Současně při vzniku kyseliny uhličitě vznikají kationty vodíku a bikarbonátové anionty. Velká část kationtů vodíku je při navázání na hemoglobin neutralizována. Poslední ze zmiňovaných forem transportu oxidu uhličitého, je vznik karbaminohemoglobinu (navázání oxidu uhličitého na hemoglobin) nebo karbaminoproteinu (navázání na některou z bílkovin). Tato forma přenosu představuje zbývajících 10 % z celkového transportu CO<sub>2</sub>. Výsledná hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> v krvi závisí na parciálním tlaku oxidu uhličitého. Chemoreceptory neustále sledují parciální tlaky jak oxidu uhličitého, tak kyslíku a snaží se je udržet na konstantní hodnotě, především v arteriální krvi.<sup>5</sup>

### **4.1.3 Rizikové faktory úbytku kyslíku**

Při poklesu přívodu kyslíku do lidského organismu, lze tento pokles po velmi krátkou dobu tolerovat. Vznikne dočasný kyslíkový dluh, který po obnovení dostatečné dodávky kyslíku opět vymizí. Organismus bude po určitou dobu zadržovat více kyslíku, než je jeho aktuální výdej. Toto však platí, pokud je pokles kyslíku krátkodobý. V případě, že nedostatečný přísun kyslíku bude trvat déle, tak zcela jistě dojde k hypoxii.<sup>11</sup>

#### **4.1.3.1 Hypoxie**

Obecně používaný termín pro označení nedostatku kyslíku. Popisuje stav, při kterém dojde k poklesu kyslíku v celém organismu nebo v některých jeho částech.

Příčiny poklesu přívodu kyslíku lze rozdělit do dvou skupin:

- snížení pO<sub>2</sub> ve vzduchu
- porucha v části transportního systému kyslíku

Nedostatek kyslíku ve vzduchu nebo porucha v transportním systému kyslíku postihují tkáně více či méně, podle toho, do jaké výše lze poruchu kompenzovat. Poruchy v zásobování lidského organismu kyslíkem, lze podle stupně závažnosti rozdělit do dvou kategorií.<sup>10,11</sup>

- Poruchy v přenosu kyslíku, které kyslíkový transportní systém plně vyrovnává, tzn. že tkáním v organismu je přiváděno přesně takové množství kyslíku, které je nezbytné pro metabolickou potřebu organismu. Gradienty parciálního tlaku ( $pO_2$ ) jsou ve všech tkáních dostatečně velké k difuzi kyslíku do míst, kde je potřeba. Spotřeba kyslíku metabolismem tedy nedosahuje kritických hodnot.

Nedostatek kyslíku zaznamenají pouze receptorové struktury, které mají za úkol zajistit kompenzaci kyslíkovým transportním systémem. Tento systém používá k udržování přísunu kyslíku do tkání část své rezervní zásoby, které v případě potřeby může do organismu dodat. Tato hypoxie bývá taky označována jako hypoxie funkční, při níž není snížena spotřeba kyslíku. Lidský organismus ji bývá vystaven nejčastěji v důsledku pobytu ve vyšší nadmořské výšce, kde je atmosféra s nižším parciální tlakem nebo pokud organismus trpí anémií. Jedná se o mírné až střední narušení přenosu kyslíku do tkání, kdy má organismus tuto poruchu plně kompenzovat.<sup>11,12</sup>

- Poruchy v přenosu kyslíku závažnějšího charakteru, kdy dochází ke snížení spotřeby kyslíku organismem. Postihne-li závažná porucha přenosu kyslíku pouze menší část organismu, tak se nemusí snížení spotřeby kyslíku projevit v celém organismu, a to i přesto že může jít o poruchu značnou (např: infarkt myokardu, mozková mrtvice, plicní embolie apod.). Pokud při poruše dojde k snížení gradientů parciálních tlaků ve větší oblasti tkání, tak že množství kyslíku difundujícího do tkáně je menší než metabolická potřeba, dojde ke snížení spotřeby kyslíku pro celý organismus. K tomu může dojít např. při těžkém cirkulačním šoku.<sup>11,12</sup>

#### **4.1.3.2 Příznaky hypoxie**

Příznaky hypoxie bývají z počátku nenápadné, značně rozmanité a individuálně odlišné. Pro stanovení diagnózy jsou nejdůležitější hodnoty krevního obrazu a krevních plynů, dále krevní tlak, frekvence pulsu a zátěžové vyšetření. Při rozsáhlé hypoxii postihující kosterní svalstvo, lze z biochemického laboratorního vyšetření zjistit zvýšení hladiny laktátu v krvi.<sup>11</sup>

Objektivní příznaky hypoxie:

- porucha logického myšlení
- zrychlené dýchání
- zvýšená tepová frekvence
- zhoršená pohybová koordinace
- blouznění až ztráta vědomí (těžká forma postižení)
- zhoršená koncentrace a krátkodobá paměť
- cyanóza (namodránění rtů a konečků prstů)
- zhoršení smyslového vnímání<sup>13</sup>

Subjektivní příznaky hypoxie:

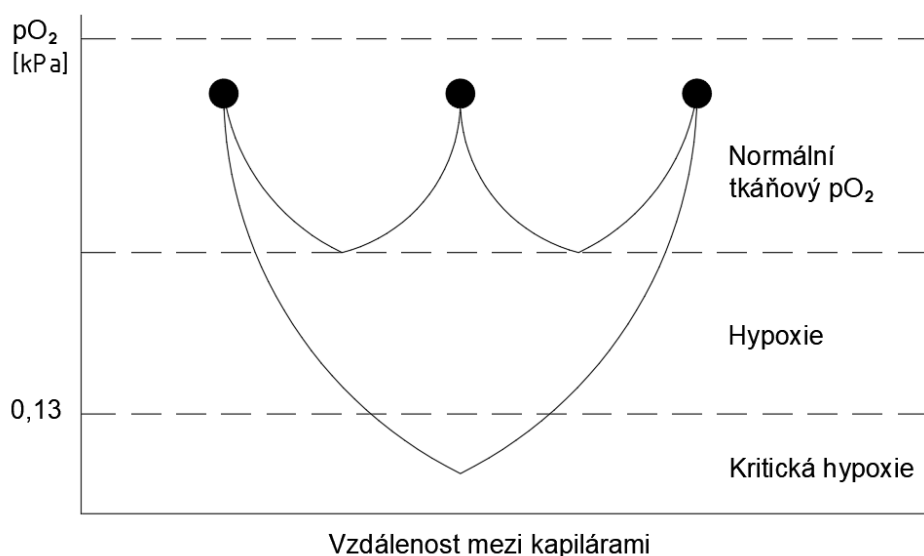
- únava
- nevolnost
- celková slabost
- závratě
- bolest hlavy
- šumění v uších
- úzkost
- pocit tepla nebo chladu
- mravenčení<sup>13</sup>

#### **4.1.3.3 Změny v organismu při hypoxické hypoxii**

Vlivem snížení parciálního tlaku kyslíku dochází při hypoxické hypoxii, také k poklesu parciálního tlaku v alveolárním vzduchu, a to vede ke snížení parciálního tlaku kyslíku v arteriální krvi. V důsledku toho, klesá saturace hemoglobinu kyslíkem a množství kyslíku rozpouštěného v krvi. Z fyzikálního hlediska klesá obsah kyslíku v arteriální krvi a snižuje se průtok kyslíku tkání.

Hlavní příčinou poškození buněk v důsledku hypoxie je nedostatek ATP, takže poškozená buňka nedovede udržet iontové gradienty mezi intracelulárním a extracelulárním prostorem. Důsledek uzavření kapiláry a tím prodloužení difuzní vzdálenosti na hodnoty parciálního tlaku kyslíku popisuje obrázek 5. Kritická hypoxie nastává při snížení parciálního tlaku na 0,13 kPa.<sup>11,13</sup>

Obr. 5 Vzdálenost mezi kapiláry<sup>14</sup>



Porucha v přenosu kyslíku do tkáně často mění činnost orgánových mechanismů, které se podílí na přenosu kyslíku z atmosféry do tkání. Nastane-li nedostatek kyslíku v určitém orgánu nebo tkáni, může se podle citlivosti a velikosti postižení změnit charakteristická činnost. Nejčastěji se jedná o snížení specifické funkce. Při velkém stupni poškození může dojít k zániku funkčních buněk a jejich nahrazení vazivovou tkání. Nejvíce citlivé na hypoxii je zrakové čidlo. Postižený ztrácí zrakovou citlivost a ostrost, sníží se zorné pole a může dojít až ke ztrátě zraku. Rychle zareaguje také CNS, kdy dochází ke snížení reakční rychlosti, celkové únavě a podrážděnosti.<sup>11,13</sup>

Rychlost kompenzační reakce je variabilní a záleží na místě postižení. Jednou z velice rychlých reakcí je např. při poklesu arteriálního parciálního tlaku kyslíku, kdy jsou dýchací centra aktivována pomocí periferních chemoreceptorů. Plicní ventilace se zvýší téměř okamžitě během několika sekund. Na druhou stranu, pokud dojde ke snížení afinity krve ve funkci ke kyslíku, tak je reakce značně pomalejší a může trvat i několik dnů až týdnů, než organismus zareaguje zvýšením množství erytrocytů a koncentrací hemoglobinu v krvi.<sup>11,13</sup>

#### 4.1.3.4 Terapie hypoxických stavů

Léčba hypoxického stavu se zakládá na odstranění příčiny vzniku. To však není vždy zcela možné, a proto jsou postupy, jak odstranit hypoxický stav jen z části účinné. Zcela zásadní je zajistit plicní ventilaci, která obnoví správné okysličování

krve v plicích a zároveň pomůže s odstraňováním přebytečného oxidu uhličitého z organismu.

Nejpoužívanější postup léčby je inhalace vzduchu obohaceného o kyslík, případně čistý kyslík. Snahou této terapie je zvýšení obsahu kyslíku v arteriální krvi. Léčbu kyslíkem lze aplikovat při normálním barometrickém tlaku. Jedná se o tzv. normobarickou oxygenoterapii nebo při zvýšeném barometrickém tlaku se jedná o hyperbarickou oxygenoterapii.

V případě normobarické léčby není účelem zvýšení hodnoty parciálního tlaku v arteriální krvi nad běžnou úroveň. Normobarická léčba také podporuje zvýšení saturace kyslíku v krvi. Hyperbarickou oxygenoterapii lze aplikovat pouze v přetlakové komoře k tomu určené. Účelem léčby je zvýšení obsahu kyslíku ve tkáních vzrůstem tlakového gradientu kyslíku. Tím se zvýší difuze kyslíku z kapiláry do tkáně a dojde k celkovému navýšení přenosové kapacity krve. Zároveň se výrazně zvýší tenze kyslíku v arteriální krvi. Hyperbarická oxygenoterapie dokáže zcela odstranit nebo snížit následky všech známých druhů hypoxie, lze ji však možné aplikovat jen po velmi krátkou dobu, aby nedošlo k otravě kyslíkem.<sup>5</sup>

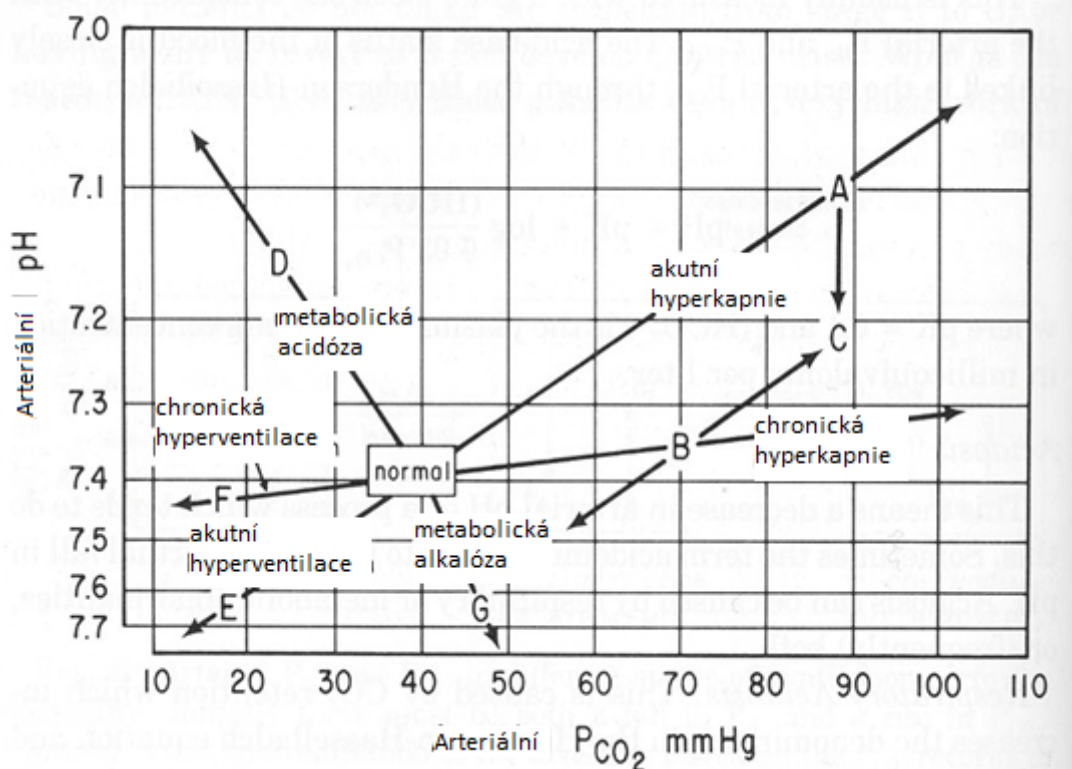
#### **4.1.3.5 Hyperkapnie**

Důležitým rizikem úbytku kyslíku v organismu je rovněž nárůst koncentrace oxidu uhličitého v důsledku zrychleného dýchání vlivem hypoxického stavu. Tento jev se předpokládá v uzavřeném prostoru, např. v kabině vozidla, kde výměna vzduchu může být omezena nebo při patologické nerovnoměrnosti plicní ventilace v důsledku poruše dýchacích svalů.<sup>41</sup>

Závažnost intoxikace CO<sub>2</sub> je závislá na koncentraci a délce expozice. Oproti kyslíku je oxid uhličitý až 20krát lépe rozpustitelný v tkáni, proto velice rychle dochází k ovlivnění respiračního centra a CNS.<sup>41</sup>

Hyperkapnie je tedy stav, kdy koncentrace oxidu uhličitého v krvi a v tkáních překročí přípustný limit 1 %. (10 000 ppm). Růst koncentrace oxidu uhličitého v krvi vede k respirační acidóze a změně pH v krvi, jak je vidět z obrázku 6. Tyto stavy jsou organismem kompenzovány zvýšením resorpce bikarbonátových aniontů v ledvinách.<sup>5</sup>

Obr. 6 Závislost arteriálního tlaku CO<sub>2</sub> a pH – hyperkapnie<sup>5</sup>



#### 4.1.3.6 Příznaky Hyperkapnie

Možné příznaky hyperkapnie lze rozdělit nejlépe podle výše koncentrace oxidu uhličitého, jak je vidět v tabulce 2.<sup>42</sup>

Tab. 2 Účinky CO<sub>2</sub> na lidský organismus<sup>42</sup>

Koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	Účinek na lidský organismus
1000-2000	únava a snížení koncentrace
2000-5000	možná bolest hlavy
5000	max. bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000	nevolnost a zvýšený tep
> 15 000	dýchací potíže
> 40 000	možná ztráta vědomí

#### 4.1.4 Vliv spotřeby kyslíku na teplotu organismu

Lidský organismus se řadí mezi homoiotermní (endotermní) živočichy. Pro přežití udržuje svoji tělesnou teplotu ve velmi úzkém rozpětí okolo 37 °C. Tato lidská tělesná teplota běžně během dne kolísá v rozpětí 1 °C. Pouze při nemoci, fyzické zátěži nebo práci v těžkých podmínkách teplota může stoupat o několik málo stupňů celsia. To způsobí nerovnováhu mezi odvodem a tvorbou tepla v organismu.



V případě velikého chladu z vnějšího prostředí, naopak lidská teplota klesá v důsledku kompenzačního mechanismu, který již nezvládá udržet tělesnou teplotu v normální hodnotě.<sup>15</sup>

Tělesná teplota se dále rozlišuje na teplotu tělesného jádra a tělní slupky.

Tělesné jádro:

- velké tělní dutiny
- dutina břišní
- dutina hrudní
- dutina hlavy<sup>15</sup>

Tělní slupka:

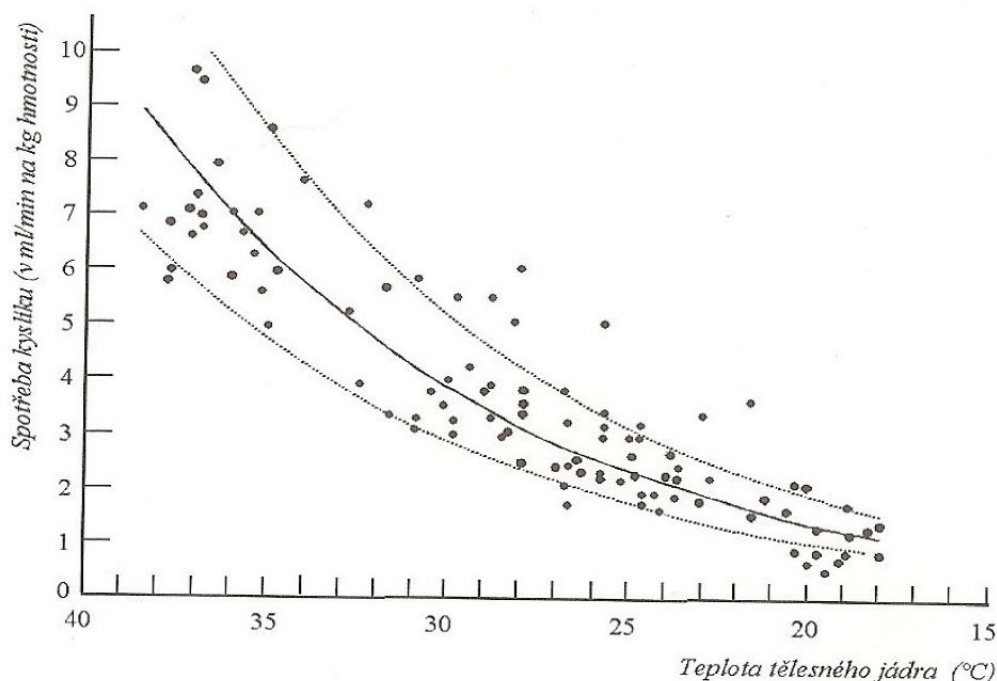
- orgány
- kůže
- podkoží
- končetiny<sup>15</sup>

Striktní udržování teploty v rozmezí 37 °C je nezbytné pro teplotu tělesného jádra. Tělní slupka umožňuje poměrně velkou variabilitu v závislosti na teplotních podmínkách zevního prostředí. Tělesná teplota slupky klesá směrem z vnitřního prostředí v povrchu. Funkce tvorby tepla je označována jako energetický metabolismus. V klidovém stavu organismu se teplo vytváří ve všech metabolicky aktivních orgánech (z velké části v játrech). V případě zvýšené fyzické zátěže, se začne tělesné teplo vytvářet v pracujících svalech (zhruba 70 % celkové produkce tepla ve svalech, zbývajících 30 % připadá na všechny ostatní orgány).<sup>15</sup>

Teplota lidského těla je regulována hypotalamem, který funguje jako mechanismus zpětné vazby a koordinuje výdej i tvorbu tepla. Pomocí periferních chladových a tepelných receptorů v kůži a termoreceptorů v krvi, získává informace a reguluje tak tělesnou teplotu. Tepelné termoreceptory reagují otevřením krevních kapilár v kůži a snaží se odvést přebytečné teplo nejprve pomocí tzv. suché výměny (prouděním, sáláním nebo vedením) pokud to k ochlazení organismu nestačí, tak se zapojí druhá metoda tzv. mokrá a dojde k zcela běžnému jevu známému jako pocení. Pot má pouze ochlazovací účinek odpařováním z tělesného povrchu. V případě, že selže i

tato metoda, tak nastává stav hypertermie a dochází tedy k přehřívání organismu. V opačném případě, kdy dochází k podchlazení, je nutné nejprve snižovat tepelné ztráty vytvářením tepelné produkce. Tělesné teplo lze nejnáze vytvořit svalovou prací a třesem případně metabolickou produkcí tepla. Větší množství se tvoří v játrech pomocí hormonů, jako jsou (adrenalin, noradrenalin a tyroxin). V případě, že tyto metody tvorby tepla selžou, nastává hypotermie a dojde tedy k závažnému podchlazení organismu, které může stejně jako v případě hypertermie vést až k smrti. Závislost teploty tělesného jádra na jeho spotřebu kyslíku výstižně prezentuje obrázek 7.<sup>15</sup>

Obr. 7 Vliv teploty tělesného jádra na spotřebu kyslíku organismem<sup>15</sup>



#### 4.1.4.1 Energetický metabolismus

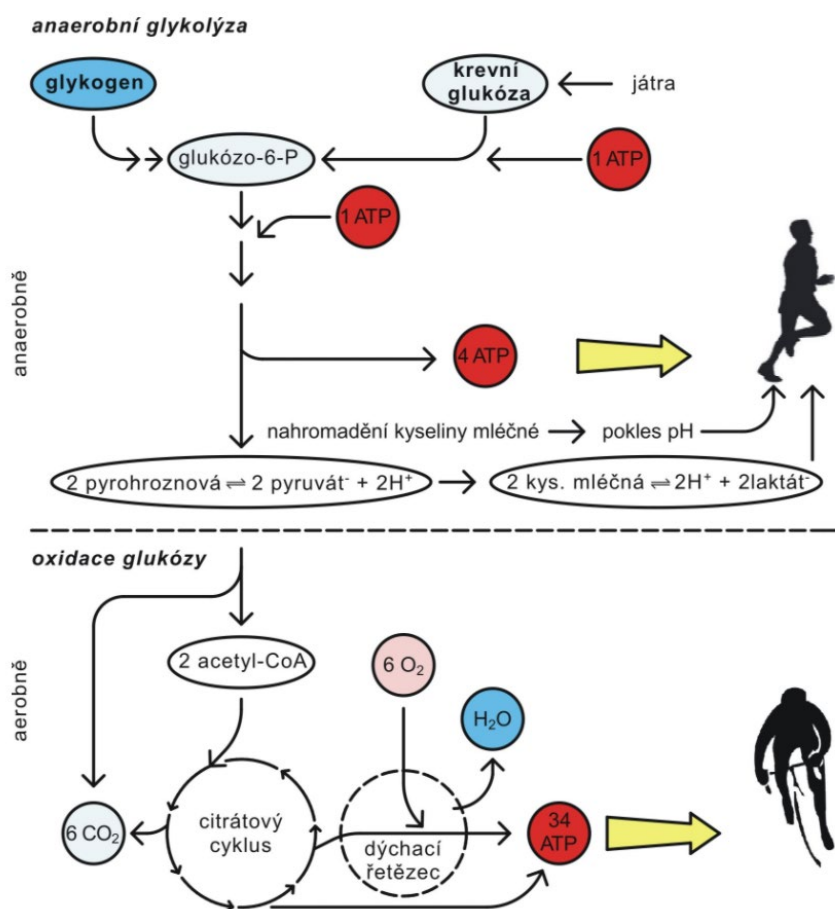
Všechny živé organismy musí nějakým způsobem získávat energii z okolí. A to platí i pro lidský organismus, který potřebuje k získání energie kyslík. Nejdůležitější energetické zdroje pro lidský organismus jsou získávány z chemických vazeb obsažených v proteinech, sacharidech a lipidech. Uvolnění energie probíhá při spalování těchto látek za přítomnosti kyslíku. Spalování probíhá postupně.<sup>16</sup>

Biologická oxidace v organismu probíhá za dehydrogenace, kdy enzymy odebírají látkám vodík (dehydrogenázy). V důsledku toho, dojde ke spojení kyslíku s vodíkem a vzniká voda. Lidský organismus nezbytně potřebuje energii k udržování tělesné teploty, k správné činnosti orgánů a také ke svalové práci. Výdej i příjem energie je nutné udržovat v rovnováze. V případě negativní energetické bilance dojde ke spalování vlastních tkání, naopak při pozitivní energetické bilanci dojde k ukládání nadměrné energie ve formě tukových zásob v lidském organismu.

Glukóza tvoří hlavní energetický zdroj metabolismu. Tato energie je z glukózy převedena do energeticky bohatých sloučenin především ATP (Adenosintrifosfát). Tento nukleotid je zcela zásadní pro funkci všech známých buněk. ATP vzniká odbouráváním molekul glukózy na molekuly kyseliny mléčné. Tento biochemický proces se nazývá glykolýza. V případě, že glykolýza v prostředí je bez přítomnosti kyslíku, jedná se o glykolýzu anaerobní. Jako zdroj je značně omezená, a to z důvodu omezené zásoby glukózy i glykogenu v buňce. Je tedy málo efektivní pro tvorbu ATP, protože z jedné molekuly uvolní pouze 2 molekuly ATP.

V opačném případě, kdy glykolýza probíhá za přítomnosti kyslíku, jedná se o tzv. aerobní glykolýzu. Její získávání energie je podstatně efektivnější a může vytvořit až 38 molekul ATP. Rozdíly mezi oběma způsoby výstižně popisuje obrázek 8. Pro lidský organismus je aerobní způsob glykolýzy zcela zásadní a může se bez něj obejít pouze několik málo minut. Kyslík, který je v organismu zásadní pro přežití, je právě z až 90 % využíván k tvorbě ATP.<sup>16,17</sup>

Obr. 8 Oxidativní systém<sup>17</sup>



#### 4.1.5 Rizika spojená s použitím kyslíku

Kyslík se zcela běžně používá ve formě oxygenoterapie nebo hyperbarické oxygenoterapie. Transportní kyslíkový mechanismus závisí na plicní ventilaci, výměně plynů a distribuci kyslíku krevním oběhem. Při plicní ventilaci vzduchu s normálním atmosférickým tlakem, je velká část kyslíku vázána na hemoglobin a pouze nepatrné množství je volně rozpouštěno v krevní plazmě. Při hyperoxii je však hemoglobin zcela saturován kyslíkem a v důsledku toho, stoupá množství rozpouštěného kyslíku.<sup>19</sup>

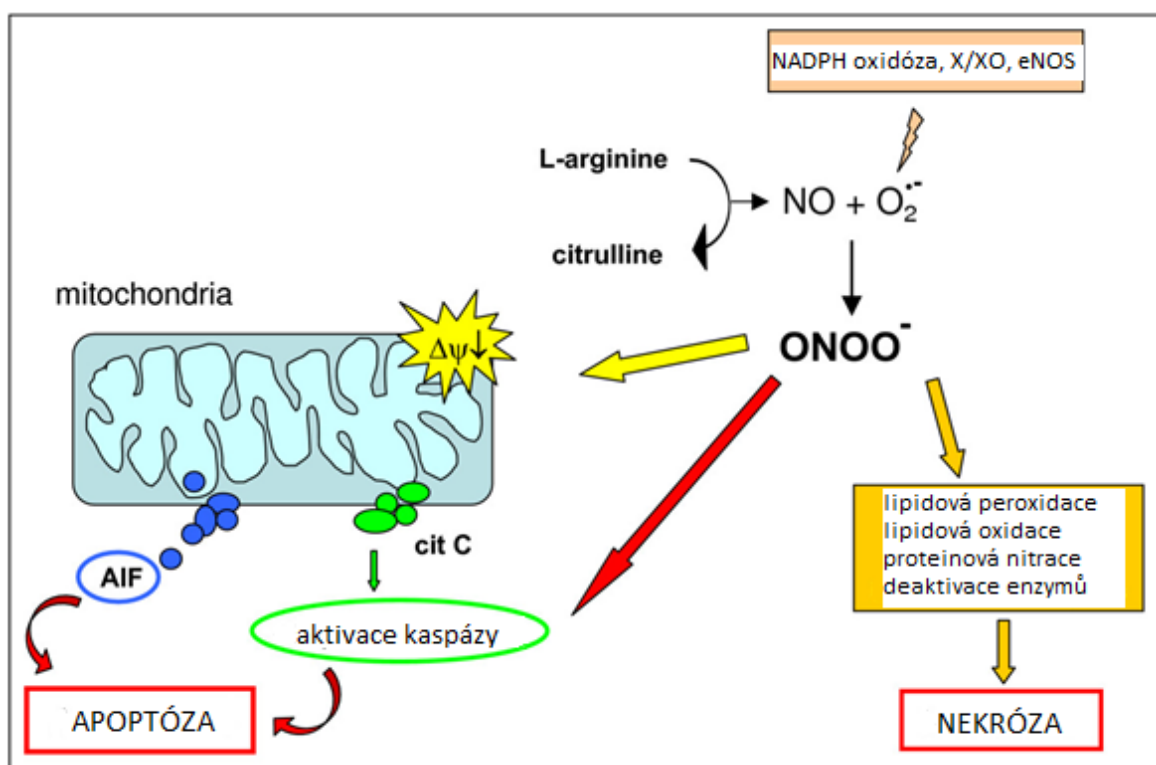
Toxicitu kyslíku způsobují tzv. reaktivní formy kyslíku, které dovedou poškodit tkáň indukci nekrózy nebo apoptózy. K tomu dochází v důsledku překročení antioxidační schopnosti lidského organismu. Krátkodobá expozice vysokým parciálním tlakům vyšším, než je atmosférický tlak, vede k poškození centrálního nervového systému (CNS). K tomu může dojít zpravidla při potápění. Naopak, dlouhodobá expozice zvýšené hladině kyslíku při normálním atmosférickém tlaku, vede k poškození plic a očí.<sup>19</sup>

#### 4.1.5.1 Mechanismus toxicity kyslíku

Hyperoxie způsobuje tvorbu kyslíkových radikálů, které mají jeden nebo i více nepárových elektronů a jsou velmi nestabilní. Mezi nejčastější reaktivní formy kyslíku patří hydroxylový ion ( $\text{HO}^\cdot$ ) a peroxynitrit ( $\text{ONOO}^-$ ). Peroxynitrit interaguje s lipidy, proteiny a DNA přímo přes oxidativní reakce a nepřímo přes mechanismus kyslíkových radikálů. V důsledku toho může dojít k oxidativnímu poškození buňky buněčnou nekrózou nebo apoptózou, jak je popsáno na obrázku 9.

V lidském organismu je celá řada antioxidačních mechanismů, ale jejich kapacita není nevyčerpatelná a při vysoké koncentraci volného kyslíku dochází k překročení kapacit a nastává oxidativní poškození tkáně.<sup>20</sup>

Obr. 9 Reakce peroxynitritu při hyperoxii<sup>20</sup>



#### 4.1.5.2 Klinické důsledky toxicity kyslíku

Mezi klinické důsledky nadbytku kyslíku v lidském organismu lze zařadit především poškození plic, CNS a zraku. Jako méně obvyklé důsledky lze považovat poškození myokardu, ledvin a endokrinních žláz.

- Poškození plic

Respirační systém je z celého organismu vystaven nejvyšším koncentracím kyslíku. Právě proto jsou plíce prvním orgánem, kde se intoxikace organismu kyslíkem projeví.

Plíce poškozuje dlouhodobá expozice zvýšené hladiny kyslíku při normální atmosférickém tlaku, jak je vidět na obrázku 10. Rychlost poškození je přímo úměrná parciálnímu tlaku vdechovaného kyslíku. Zcela prvním projevem je tracheobronchiální zánět způsobující substernální nebo pleurální bolest již během několika hodin při vdechování 100 % kyslíku. Dalšími projevy jsou např: kašel, dyspnoe, snížená aktivita cilií (snížená vitální kapacita), difuzní poškození alveolů, tvorba atelaktáz a chronická plicní fibróza.<sup>21</sup>

- Poškození CNS

K poškození CNS dochází při velmi vysokém parciálním tlaku. K tomu může dojít nejčastěji při potápění nebo v hyperbarické komoře při oxygenoterapii. Rychlost poškození je přímo úměrná velikosti parciálního tlaku tuto závislost vidíme na obrázku 9. Např: při hodnotě 4–5 atmosfér již po 10 minutách expozice.

Prvotním projevem je porucha vidění, kterou lze také označit jako tunelové vidění. Dalšími projevy mohou být: tinnitus, nauzea, záškuby mimických svalů, zmatenost, závratě, tonicko-klonické křeče a porucha vědomí.<sup>21</sup>

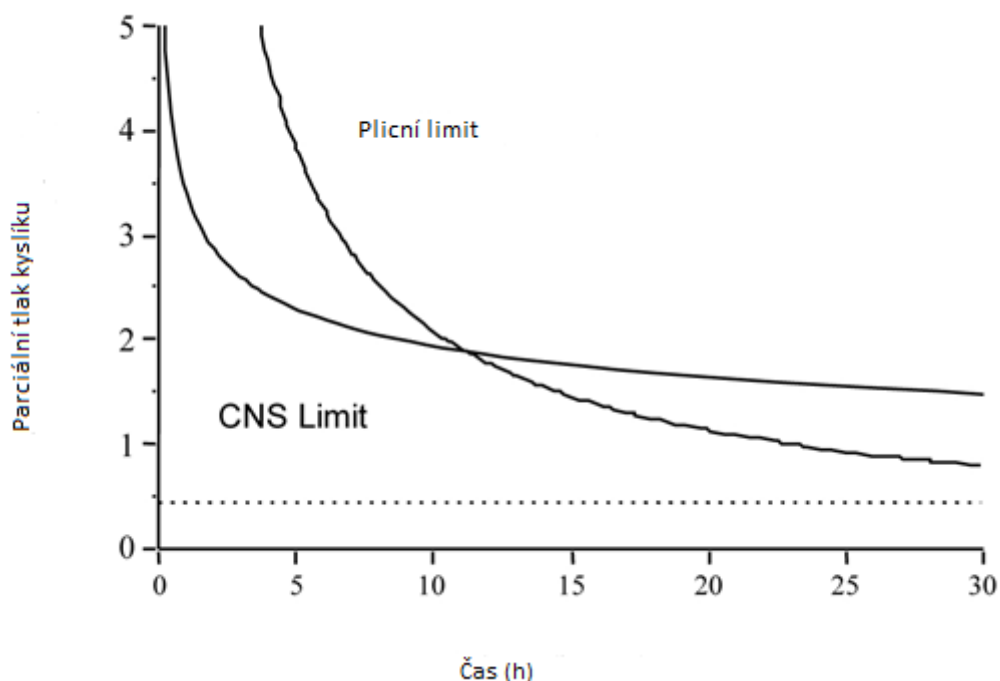
- Poškození zraku

Nastává při dlouhodobé expozici zvýšené hladině kyslíku za normálního atmosférického tlaku. U pacientů léčených v hyperbarické komoře se může rozvinout v hyperoximeckou myopii.<sup>21</sup>

- Poškození dalších orgánů

Dále může dojít k poničení erytrocytů, poškození myokardu, ledvin a endokrinních žláz: nadledvin, gonád a štítné žlázy.<sup>21</sup>

Obr. 10 Závislost parciálního tlaku na době expozice kyslíkem<sup>22</sup>



#### 4.1.5.3 Paul – Bertův efekt

Akutní kyslíková otrava se označuje jako Paul Bertův efekt případně Paul Bertův jev. Tato forma otravy kyslíkem byla poprvé popsána již ve 20. století. Při akutní kyslíkové otravě dochází ke ztrátě vědomí doprovázené křečemi v celém organismu. Klinicky tento stav může připomínat epileptický záchvat typu grand mal (velký záchvat).<sup>18</sup>

Vzniká zpravidla při parciálním tlaku kyslíku, který přesáhne hodnotu 0,3 MPa. Může se objevit bez výrazných varovných signálů nebo jeho nástupu může předcházet celá řada symptomů, jako jsou: záškuby v obličeji, pocit na zvracení, únava, světloplachost, hučení a pískání v uších. Při ustálení parciálního tlaku na normální hodnotu Paul Bertův jev velmi rychle odeznívá bez zdravotních následků, pokud ovšem během jeho průběhu nedošlo např. k zranění apod.<sup>18</sup>

Akutní kyslíková intoxikace je v dnešní době poměrně vzácným jevem a mohla by se objevit v situaci, kdy dojde k použití kyslíkového dýchacího přístroje s vyšším parciálním tlakem než 0,3 MPa.<sup>18</sup>

#### 4.1.5.4 Lorraine – Smithův efekt

Dlouhodobé působení kyslíku o parciálním tlaku, který je zvýšen, ale nedosahuje hodnot, které by indikovaly akutní kyslíkovou otravu se označuje jako Lorraine-Smithův efekt (chronická otrava kyslíkem). Dýchání čistého kyslíku při normálním tlaku vyvolá Lorraine-Smithův efekt až po 24 hodinách expozice. Při aplikaci hyperbarického kyslíku k postižení plic stačí několik hodin.<sup>23</sup>

L-S efekt vyvolá poškození výstek drobných průdušek (alveolů) a plicních sklípků. V důsledku dýchání čistého kyslíku, dále dojde k rozpadu buněk a vzniku absorpční atelaktázy neboli ke smrštění plic v místech, kde se nenachází žádný plyn. Klinicky se projevuje kašlem a dušností. Z laboratorního hlediska lze zjistit zvýšení proudového odporu dýchacích cest a snížení poddajnosti plic.

Nejnižší parciální tlak, který může vést k tomuto efektu je odhadován na 40 kPa, tedy asi dvojnásobný tlak, který má kyslík ve vzduchu při běžných podmínkách v atmosféře. I tento nepříznivý efekt je spíše vzácným jevem a může k němu dojít zpravidla jen při dlouhodobé léčbě podáváním kyslíku.<sup>23</sup>

#### 4.1.6 Reaktivní formy kyslíku

Volné kyslíkové radikály, ROS (Reactive Oxygen Species) nebo také „reaktivní sloučeniny kyslíku“ jsou reaktivní formy, které vznikají z kyslíku. V lidském organismu jsou produkovány v dýchacím řetězci mitochondrií a jsou velice důležité pro energetický metabolismus. Jsou to látky schopné přeměňovat a uvolňovat energii nepostradatelnou pro život. Mohou škodit tak, že dojde k odejmutí elektronu biomolekuly, a tím se biomolekula stává volným radikálem, který dále poškozuje buňky a tkáně. Tyto látky bez párového elektronu jsou velice nestabilní a reaktivní.<sup>24</sup> Největším zdrojem volných radikálů je molekulární kyslík. V této formě je kyslík označován jako biradikál. Obsahuje dva nepárové valenční elektrony a v reaktivní sloučenině se může přeměnit lehce, a to buď dodáním energie, např. zahřáním nebo změnou počtu elektronů v elektronovém obale, respektive v jeho valenční vrstvě. Dodáním energie kyslík změní svůj spin, takový kyslík je označován jako singlet. Je to velice silný antioxidant, který rychle reaguje s dalšími páry elektronů. Druhou možností přeměny kyslíku je dodání elektronů, která probíhá převážně v dýchacím řetězci. Reaktivní formy kyslíku lze rozdělit na dvě skupiny a to: Volné radikály kyslíku a sloučeniny neradikálů kyslíku. Přehledné rozložení je v tabulce 3.<sup>25</sup>



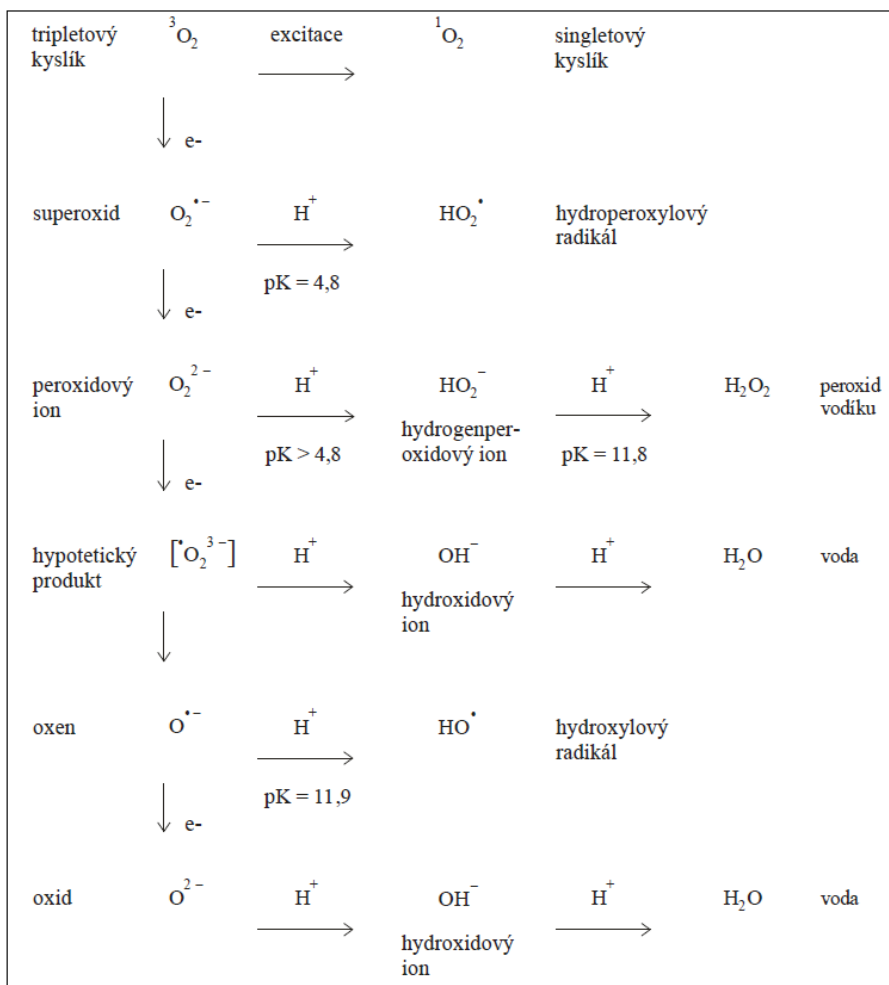
Tab. 3 Reaktivní formy kyslíku<sup>26</sup>

Volné radikály	Neradikály
Superoxid $O_2^{\bullet-}$	Peroxid vodíku $H_2O_2$
Hydroxylový radikál $OH^{\bullet}$	Kyselina chlorná $HClO$
Peroxy $ROO^{\bullet}$	Singletový kyslík $^1O_2$
Alkoxy $RO^{\bullet}$	Ozón $O_3$
Hydroperoxy $HO_2^{\bullet}$	

#### 4.1.6.1 Produkce ROS

Všechny reaktivní formy kyslíku lze odvodit od základní molekuly kyslíku. V závěru dýchacího řetězce je kyslík postupně přeměňován na Superoxid, peroxid, oxen a vodu obrázek 11. Pokud se některý z elektronů v dýchacím řetězci uvolní, tak dojde k reakci s kyslíkem a vzniku ROS. Je předpoklad, že takto vznikají reaktivní sloučeniny kyslíku až z 90 %.<sup>27</sup>

Obr. 11 Elektronová redukce kyslíku a vznik ROS<sup>26</sup>



Tvorba reaktivních sloučenin kyslíku a jejich potlačení antioxidantními enzymy je z velké části závislá, na tzv. redoxním stavu mitochondrií. Redoxní stav se dynamicky mění za patologických a fyziologických podmínek. Při narušení optimální rovnováhy, dochází k oxidačnímu stresu, právě v důsledku nadprodukci ROS případně jiných prvků v reaktivní formě.<sup>27</sup>

#### **4.1.6.2 Cesty vzniku ROS v organismu**

Volné kyslíkové sloučeniny mohou vznikat, buď neenzymovou nebo enzymovou cestou. Neenzymově vznikají především účinkem vysokoenergetického záření. Sluneční i ionizující záření produkuje vysoce reaktivní hydroxylový radikál, jehož končným produktem může být maligní typ buňky. Jedním z dalších faktorů jsou např. zplodiny z kouření.<sup>28</sup>

Enzymový vznik ROS je naopak pro lidský organismus prospěšný. Mezi enzymové cesty se řadí metabolické vzplanutí, jehož účelem je usmrtit bakterie nebo patogeny, které napadají imunitní systém. Největším zdrojem produktů ROS v buňkách je dýchací (respirační řetězec) v mitochondriích. Při tomto procesu se nejprve tvoří superoxid a následně  $H_2O_2$ . Membrány mitochondrií jsou bohaté na lipidy s vysokým obsahem nenasycených mastných kyselin. Tyto lipidy jsou snadno rozložitelné a v důsledku peroxidace postihují strukturu proteinů. Tato změna v mitochondrii má za následek apoptózu buněk.<sup>28</sup>

#### **4.1.6.3 Pozitivní vliv ROS na organismus**

Mezi pozitivní účinky volných sloučenin kyslíku, lze zařadit obranou funkci proti bakteriím, antigenům a parazitům. Dále přispívají k vylučování cholesterolu, žlučových kyselin, přestavbě kostí, regulaci proliferace a apoptózy, detoxikaci xenobiotik a v neposlední řadě podporují správnou funkci imunitního a kardiovaskulárního systému. Důležitou roli ROS hrají taky v udržení správné hladiny růstových faktorů inhibicí enzymů, jako jsou protein tyrosin a fosfatáz. V případě nadprodukování ROS dochází v organismu k oxidačnímu stresu.<sup>29</sup>

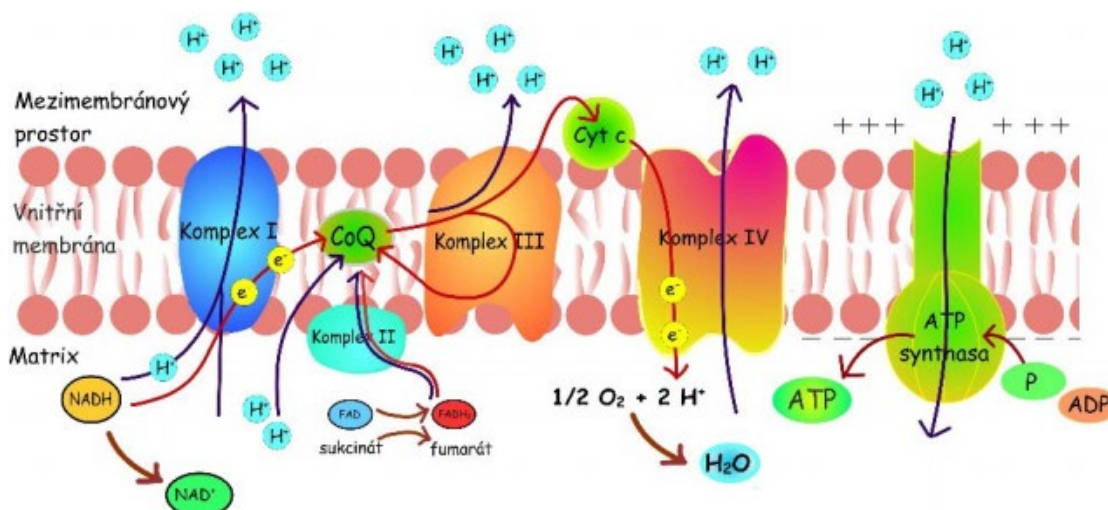
#### 4.1.6.4 Dýchací řetězec

Na vnitřní straně membrány mitochondrie probíhá dýchací řetězec, který se skládá z elektronů transportního řetězce a oxidativní fosforylace. Na vnitřní membránu jsou navázány transportní proteiny, které přenášejí elektrony z redukovaných koenzymů NADH a FADH<sub>2</sub> na kyslík za redukce vody. Současně jsou přenášeny i vodíkové protony z redukovaných koenzymů a z matrix mitochondrie do mezi membránového prostoru, čímž vzniká protonový gradient.<sup>30</sup>

Protonový gradient je součástí procesu oxidativní fosforylace, kdy protony přechází z mezi membránového prostoru zpět do matrix za vzniku energie ve formě ATP (adenosintrifosfát), a tím dojde ke vzniku ADP (adenosindifosfát), který na sebe naváže P (fosfát).<sup>30</sup>

Vnitřní membrána mitochondrie obsahuje celkem tři enzymové komplexy (I., III., a IV.), které se podílí na přenosu elektronů. Celý proces reakcí dýchacího řetězce je také vidět na obrázku 12. První komplex (NADH-CoQ-oxidoreduktáza) má za úkol redukcí NADH na NAD<sup>+</sup> (redoxní kofaktory). Elektrony, které se uvolní během této reakce přechází přes komplex I. na koenzym Q a ten oxiduje na CoQH<sub>2</sub> (ubichinol). Ubichinol získané elektrony předává komplexu III., kde dochází k přenosu elektronů na cytochrom, který za oxidace přenáší elektrony skrze komplex IV. na kyslík. Přijetím čtyř elektronů se molekulární kyslík redukuje na dvě molekuly vody. Do dýchacího řetězce vstupují také elektrony, které se přímo přenáší na CoQ přes redukcí sukcinátdehydrogenázy, případně skrze ETF (elektronový transfer flavoprotein) obsahující zredukované FADH<sub>2</sub> (redoxní kofaktor)<sup>30</sup>.

Obr. 12 Schéma reakcí dýchacího řetězce<sup>30</sup>



#### 4.1.6.5 Oxidační stres organismu

V případě, že je narušena rovnováha oxidačně-redukčních dějů ve prospěch oxidace, tak se organismus ocitne ve stavu oxidačního stresu. Typicky se jedná o nadprodukcí volných kyslíkových sloučenin, ale mohou být na vině i jiné prvky v reaktivní formě, jako jsou např. chlór, dusík, brom, selen nebo síra. Jednou z dalších příčin narušení rovnováhy může být velký nedostatek antioxidantů v organismu.<sup>31</sup>

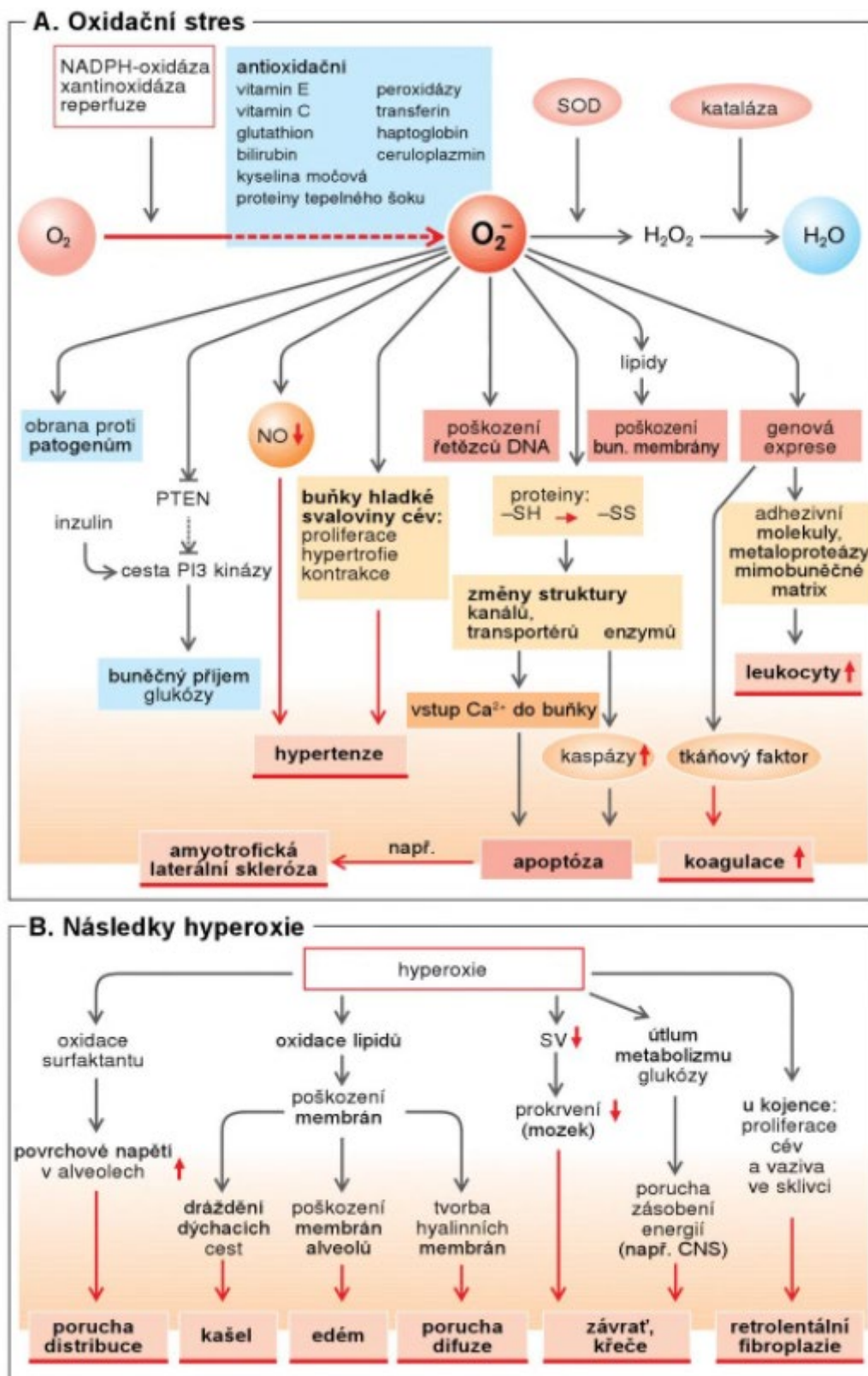
Bylo již prokázáno, že na nadprodukcí volných kyslíkových sloučenin v lidském organismu se podílí celá řada faktorů. Jedná se např. o vdechování znečištěného vzduchu, nedostatečný příjem antioxidantů, nadbytek železa, radiace, poruchy spánku, nedostatek fyzické aktivity, spánková deprivace anebo chronický psychický stres.<sup>31</sup>

Působení oxidačního stresu může v organismu poškodit celou řadu různých biomolekul. Účinky oxidačního stresu jsou popsány na obrázku 13. Závažnost a velikost poškození je dána dobou a intenzitě působení oxidačního stresu a typu tkáně, kterou zasáhne. Z pohledu buněčné úrovně lze zaznamenat zvýšenou proliferaci buněk, poškození buněk, či dokonce buněčnou smrt. Oxidační stres je závažný problém, který podporuje vznik mnoha chronických chorob, jako jsou ischemie myokardu, Parkinsonova choroba, Alzheimerova choroba, ateroskleróza, diabetes typu II a chronický únavový syndrom.<sup>32</sup>

Mechanismus vzniku oxidačního stresu je založen na převaze reaktivních částic a nedostatku antioxidačních procesů. V důsledku tohoto stavu přestává být organismus schopen zneškodňovat a eliminovat ROS. Jako negativní účinek reaktivních forem kyslíku spočívá z velké části v podílu oxidačních a peroxidačních reakcí.<sup>33</sup>

Jednou ze známých reakcí je peroxidace lipidů, kdy působením různých forem ROS např. hydroxylové, oxylové a peroxylové radikály eliminují elektrony z lipidů. Dochází k poškození fosfolipidu a může vést až k buněčné smrti. Zoxidované fosfolipidy hrají důležitou roli při mnoha zánětlivých onemocněních.<sup>33</sup>

Obr. 13 Vznik a účinky oxidačního stresu<sup>34</sup>



## 4.2 Integrace kyslíkového koncentrátoru

Kyslíkový koncentrátor obr. 14 funguje na principu PSA technologie (Pressure Swing Adsorpe). Nasává atmosférický vzduch z okolního prostředí, odstraňuje z něj dusík a generuje anionty, které napomáhají obnově buněk, snižují stres, zvyšují mozkovou aktivitu, zlepšují soustředění a zrychlují reakce. Zatímco vzduch v atmosféře obsahuje okolo 21 % kyslíku, tak kyslíkový koncentrátor dokáže generovat vzduch s koncentrací 90 % kyslíku.<sup>35</sup>

Každý kyslíkový koncentrátor, lze pomocí regulátoru výstupního proudu individuálně nastavit na požadovaný průtok kyslíku od cca 1 až do 6 litrů za minutu. Přefiltrovaný kyslík, který kyslíkový koncentrátor bere z okolního vzduchu, se opět vrací a je znovu rozpouštěn v místě použití. Nemění se tedy použitím kyslíkového koncentrátoru celková hladina kyslíku v místě, kde je přístroj používán.<sup>36</sup>

Kyslíkový koncentrátor je vybaven nosními kanylami na dýchání přes nos nebo maskou pro dýchání přes obličej. Nosní kanyly se vkládají do nosu a připevňují se na zátylku. Toto řešení je z hlediska všeobecné mobility nejdoporučovanější.<sup>36</sup>

*Obr. 14 Kyslíkový koncentrátor pro mobilní použití<sup>37</sup>*



## 4.2.1 Rozdělení kyslíkových koncentrátorů

Kyslíkové koncentrátory lze rozdělit na tři skupiny:

- **Stacionární:** Jsou přístroje větších rozměrů o hmotnosti do 15 kg a jsou určené především k domácímu použití. Jejich výhodou je možnost používat je v non-stop režimu. Je nutné je zapojit do sítě 220 V. Umožňují vyšší průtok kyslíku, a to až do 5 litrů za minutu.  
Existují i s vyššími průtoky kyslíku, ale ty jsou vždy těžší, hlučnější a náročnější na spotřebu elektrické energie.<sup>38</sup>
- **Mobilní přenosné:** Přístroje o hmotnosti do 5 kg, které nejsou určeny non-stop provozu. Jako zdroj elektrické energie využívají baterie nebo 12 V zdroj v autě. Tyto systémy disponují omezeným průtokem kyslíku zhruba do dvou litrů za minutu. Na českém trhu není v současnosti mobilní přenosný kyslíkový koncentrátor, který by umožňoval větší průtok. Zároveň u mobilních systémů lze používat pouze pulsní režim.<sup>38</sup>
- **Mobilní transportní:** Jsou to přístroje o hmotnosti nad 5 kg (6,5 kg a více). Vytváří kombinaci vlastností stacionárních a mobilních přenosných systémů kyslíkových koncentrátorů. Umožňují pracovat v režimu non-stop, disponují pulsním i kontinuálním průtokem kyslíku a zvládají průtok až do tří litrů za minutu.<sup>38</sup>

Rozdělení dle režimu použití:

- **Pulsní režim:** Přístroj dodává kyslík v pulzech dle nastavené úrovně jen při nádechu, při aktivaci čidla přístroje silou nádechu. Nutná síla nádechu ke spuštění výdeje kyslíku je obvykle nastavena na hodnotu okolo 0,16 cm H<sub>2</sub>O. Liší se dle konkrétního výrobce. Vyšší síla nádechu vyžaduje zdatnějšího jedince. Tento režim má výhodu, že umožňuje delší výdrž baterie na jedno nabití.<sup>38</sup>

- Kontinuální režim: Příklad kyslík dodává neustále tzn. během nádechu i výdechu. Tento režim má nevýhodu ve výrazně kratší výdrži na jedno nabití baterie. Zároveň odpadá nutnost funkce síly nádechu ke spuštění výdeje kyslíku.<sup>38</sup>

#### 4.2.2 Kyslíkový koncentrátor vhodný do vozidla – současné řešení

V dnešní době lze do vozidla použít pouze mobilní přenosný případně transportní kyslíkový koncentrátor. Stacionární integrovaný systém je v současnosti využíván jako domácí nebo zdravotnické řešení. A to především, pro svoji náročnost na spotřebu energie a velikost zařízení. Mobilní koncentrátory jsou velice jednoduché na ovládání, jak je vidět na obrázku 15. V zásadě disponují tlačítky pro nastavení pulzního nebo kontinuálního módu přívodu kyslíku. Dále obsahují nastavení velikosti průtoku kyslíku a konektor pro připojení obličejové kanyly.<sup>36</sup>

Obr. 15 Ovládání mobilního kyslíkového koncentrátoru<sup>37</sup>





Vybrané kyslíkové koncentrátoři:<sup>36,37,40</sup>

- Philips respironics SimplyGO
- Drive DeVilbiss iGO 2
- Quingao Kingon P2

### **Philips respironics SimplyGO**

Tento kyslíkový koncentrátoři vyvinutý společností Philips je v současné době jediný, který disponuje možností nastavení kontinuálního i pulsního režimu v kategorii mobilních řešení.<sup>36</sup>

- Koncentrace kyslíku: 87–96 %
- Průtok: 0,5 – 2 [l/min]
- Režim používání: Kontinuální i pulsní
- Napájení: Adaptér do vozidla, baterie, el. zásuvka
- Hlučnost: 43 dB
- Hmotnost: 4,5 kg
- Rozměry (š×v×h): 29,2×25,4×15,2 cm
- Výdrž baterie: 3 h
- Náklady na pořízení včetně DPH: **115 600,- Kč**

### **Drive DeVilbiss iGo 2**

Kyslíkový koncentrátoři vyvinutý v USA společností DeVilbiss HealthCare se vyznačuje patentovanou technologií SmartDose díky, které je možné upravovat dávku kyslíku automaticky podle detekce rychlosti dýchání.<sup>39</sup>

- Koncentrace kyslíku: 87–94 %
- Průtok: 0,260 – 1,014 [l/min]
- Režim používání: Pulsní
- Napájení: Adaptér do vozidla, baterie, el. zásuvka
- Hlučnost: 37 dB
- Hmotnost: 2,2 kg
- Rozměry (š×v×h): 21,8×21,3×8,9 cm
- Výdrž baterie: 3,5 h
- Náklady na pořízení včetně DPH: **72 700,- Kč**

## **Kingon P2**

Kyslíkový koncentrátor čínské společnosti Quingao Kingon Medical je jedním z mála certifikovaných výrobků z asijského trhu. Koncentrátor snímá dýchání uživatele skrze cívku, přes kterou dýchá. Zařízení se automaticky nastaví a začne vydávat impulsy synchronizované s dýcháním uživatele. Když se dýchání uživatele změní, upraví rychlost dávkování kyslíku i zařízení, a to ihned při dalším nádechu.<sup>40</sup>

- Koncentrace kyslíku: 87–96 %
- Průtok: 0,210 – 1,0 [l/min]
- Režim používání: Pulsní
- Napájení: Adaptér do vozidla, baterie, el. zásuvka
- Hlučnost: 48 dB
- Hmotnost: 1,98 kg
- Rozměry (š×v×h): 22,1×16,0×8,5 cm
- Výdrž baterie: 4 h
- Náklady na pořízení včetně DPH: **51 400,- Kč**

### **4.2.3 Kyslíkový koncentrátor do vozidla – teoretické řešení**

Dosavadní možnosti použití kyslíkového koncentrátoru ve vozidle nejsou vyhovující.

A to hned z několika důvodů:<sup>35,36</sup>

- Lze použít pouze mobilní zařízení vzhledem k náročnosti na výkon a velikosti stacionárních kyslíkových koncentrátorů.
- Mobilní řešení poskytuje kyslík pouze jedné osobě ve vozidle (zpravidla řidiči).
- Nutnost použití nosních kanyl – všechny kyslíkové koncentrátory fungují na principu přímého vdechování kyslíku přes nosní kanyly. To je však při použití ve vozidle značně nekomfortní.
- Nutnost externího napájení pomocí adaptéru nebo velmi omezená výdrž přístroje na baterii (3–4 h).

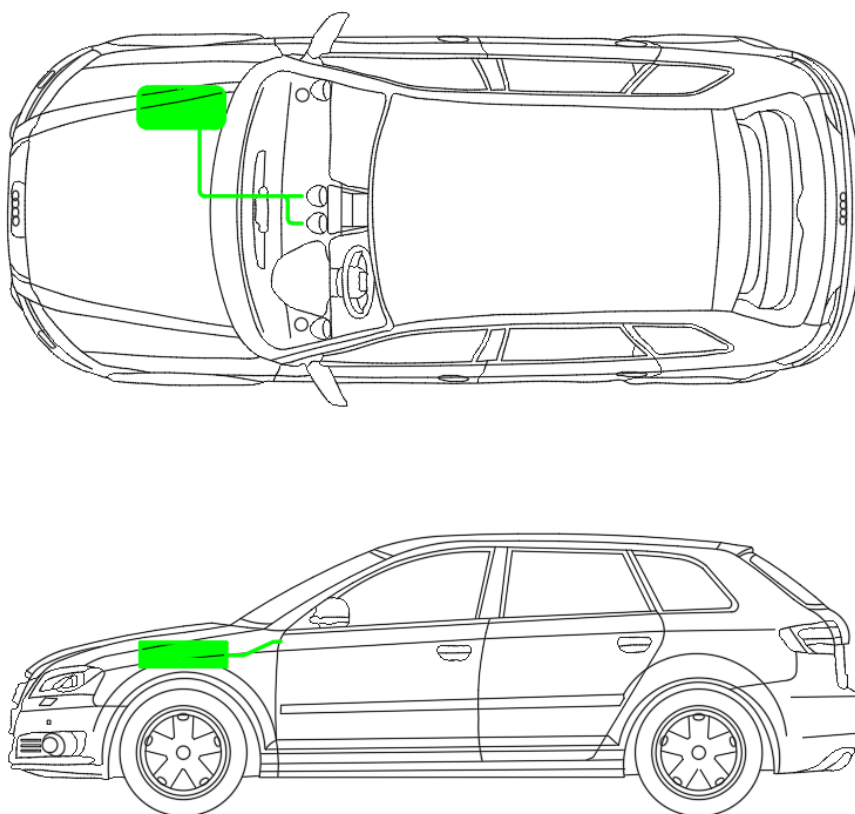
Návrh předpokládá možnost přímé integrace do karoserie vozidla v kufrovém prostoru nebo v prostoru motoru, jak je ukázáno na obrázcích 16 a 17. Kyslík by mohl být v případě potřeby vháněn do kabiny vozidla přes ventilační systém vozidla. Fungování celého systému může být automaticky řízené počítačovou jednotkou nebo ručně nastavitelné řidičem vozidla úplně stejně jako např. při nastavení klimatizace nebo větrání.

Možnost přímé integrace přináší odstranění hned několika ze zmiňovaných problémů:

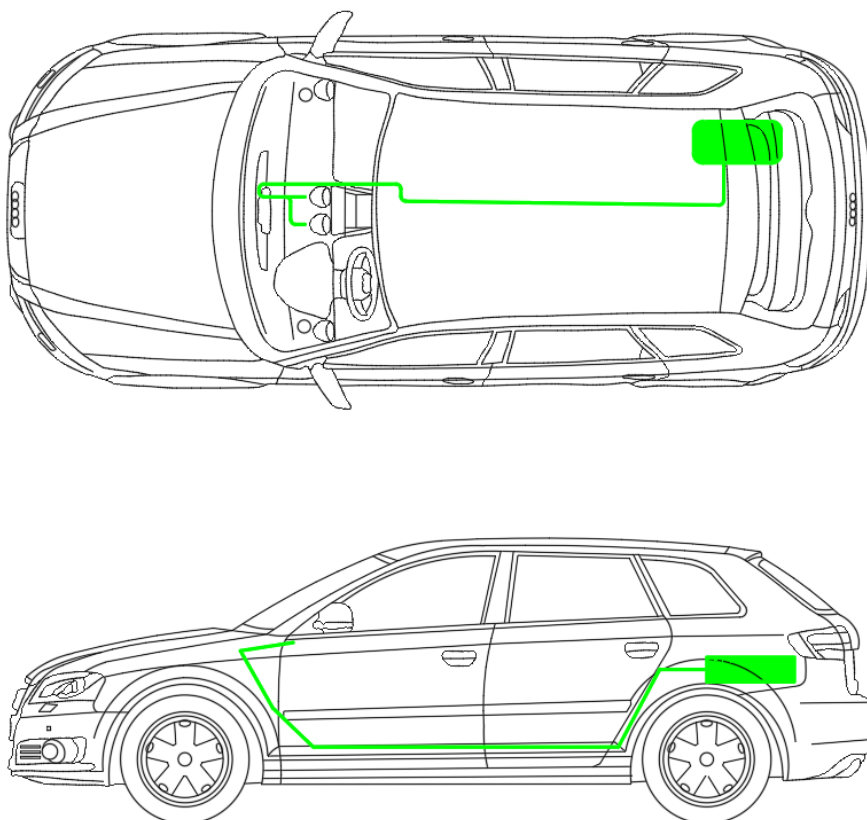
- Kyslík je poskytován všem v kabině vozidla.
- Odpadá nutnost použití nosních kanyl.
- Integrace kyslíkového koncentrátoru přímo do vozidla řeší nutnost externího napájení.
- Kyslíkový koncentrátor nebude ubírat místo přímo v prostoru kabiny vozidla.

Dále je možné do vozidla integrovat snímač hladiny kyslíku a oxidu uhličitého, který automaticky vyhodnotí, kdy je vhodné externí přísun kyslíku pro osoby ve vozidle spustit. Při dosažení stanovené hladiny kyslíku na základě nastavení snímače dojde k uzavření přísunu kyslíku. Nenastane tedy situace nadbytečného přísunu kyslíku do prostoru kabiny vozidla.

Obr. 16 Možnost umístění v motorovém prostoru (vlastní zpracování)



Obr. 17 Možnost umístění v kufrovém prostoru (vlastní zpracování)



## 5. Vlastní řešení

V rámci zpracování praktické části diplomové práce bylo provedeno měření hladiny kyslíku, oxidu uhličitého a relativní vlhkosti v kabině vozidla v závislosti na různém nastavení ventilace. Byly vybrány 4 různé automobily, u kterých bylo provedeno měření, a to vždy s následujícími parametry:

- 1) Jízda v jednom režimu trvá 30 minut.
- 2) Před každou jízdou je provedena kalibrace přístroje na hodnotu  $O_2 = 20,9 \%$ .
- 3) Měřicí přístroj je nastaven na zápis hodnot v intervalu 5 sekund.
- 4) Mezi jednotlivými změnami v měření je pauza 10–15 minut.
- 5) Senzory jsou umístěné v úrovni hlavy spolujezdce.
- 6) Měření probíhá ve složení řidič + spolujezdec.
- 7) Jízda probíhá na rychlostních silnicích, případně na dálnici (díky tomu je zamezeno častým prostožům vozidla).

Jednotlivá měření mají za úkol pokrýt nejběžnější nastavení cirkulace ve vozidle a to:

- A) Běžná cirkulace 21–22 °C
- B) Bez klimatizace + střední výkon ventilace
- C) Automatická klimatizace + vnitřní recirkulace
- D) Vnitřní recirkulace + střední výkon ventilace

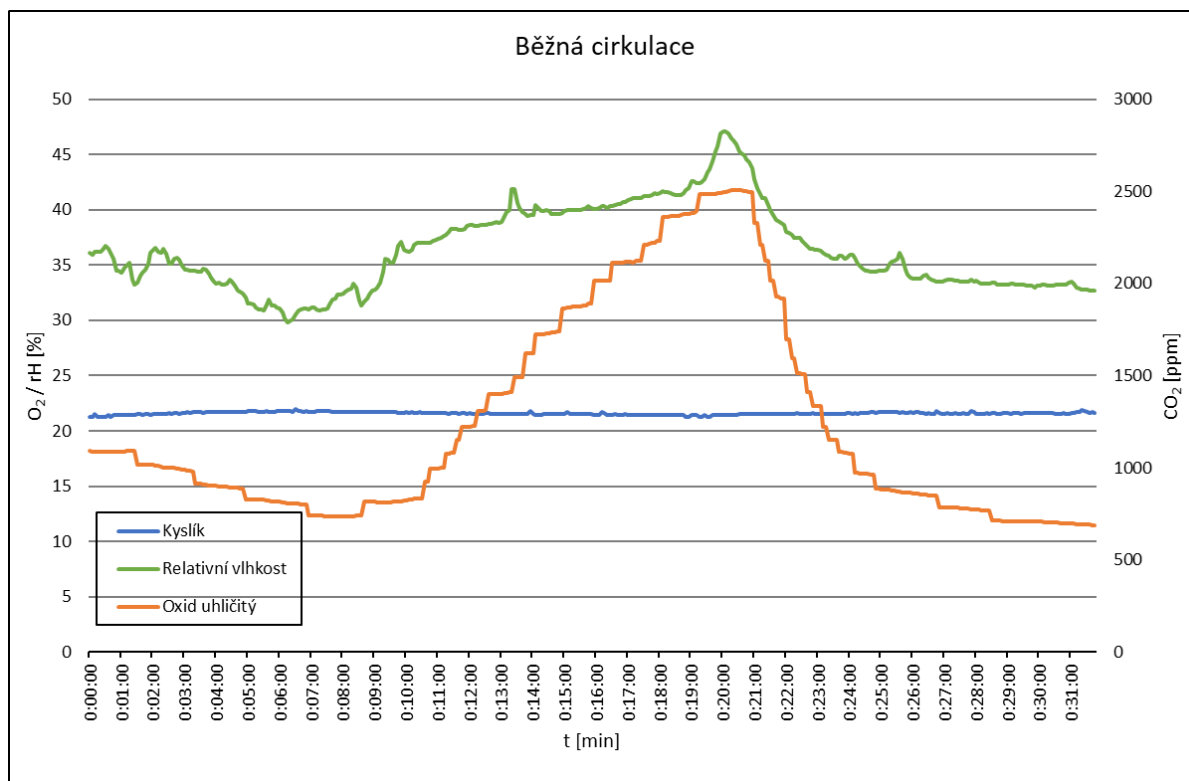
Vybrané automobily k provedení měření jsou zvoleny s ohledem na karoserii vozidla a jeho stáří. Cílem je provést měření ve všech běžných typech automobilů.

- I) Škoda Scala 2019
- II) Mazda 3 2004
- III) Ford Mondeo 2009
- IV) BMW 663c 2005

## 5.1 Škoda Scala

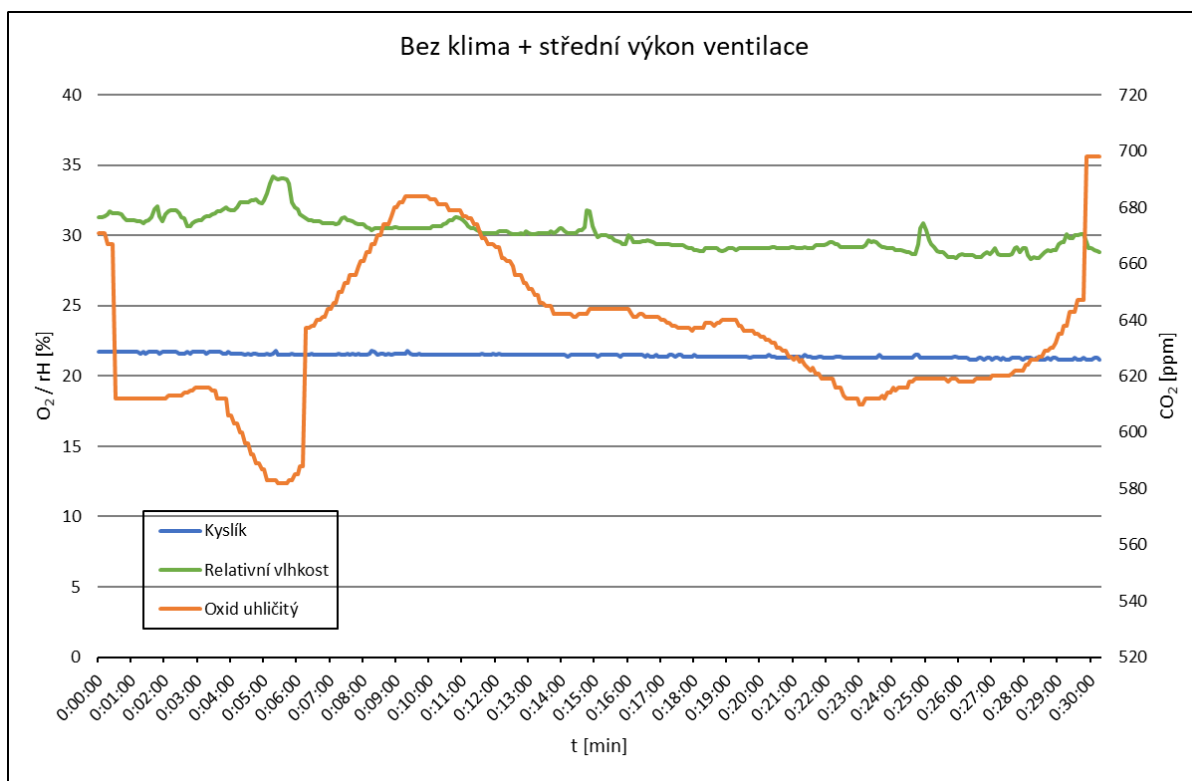
Rozbor jednotlivých nastavení režimů ventilace z provedeného měření ve vozidle Škoda Scala je popsán a graficky znázorněn na obrázcích 18 až 21.

Obr. 18 Běžná cirkulace – Škoda Scala



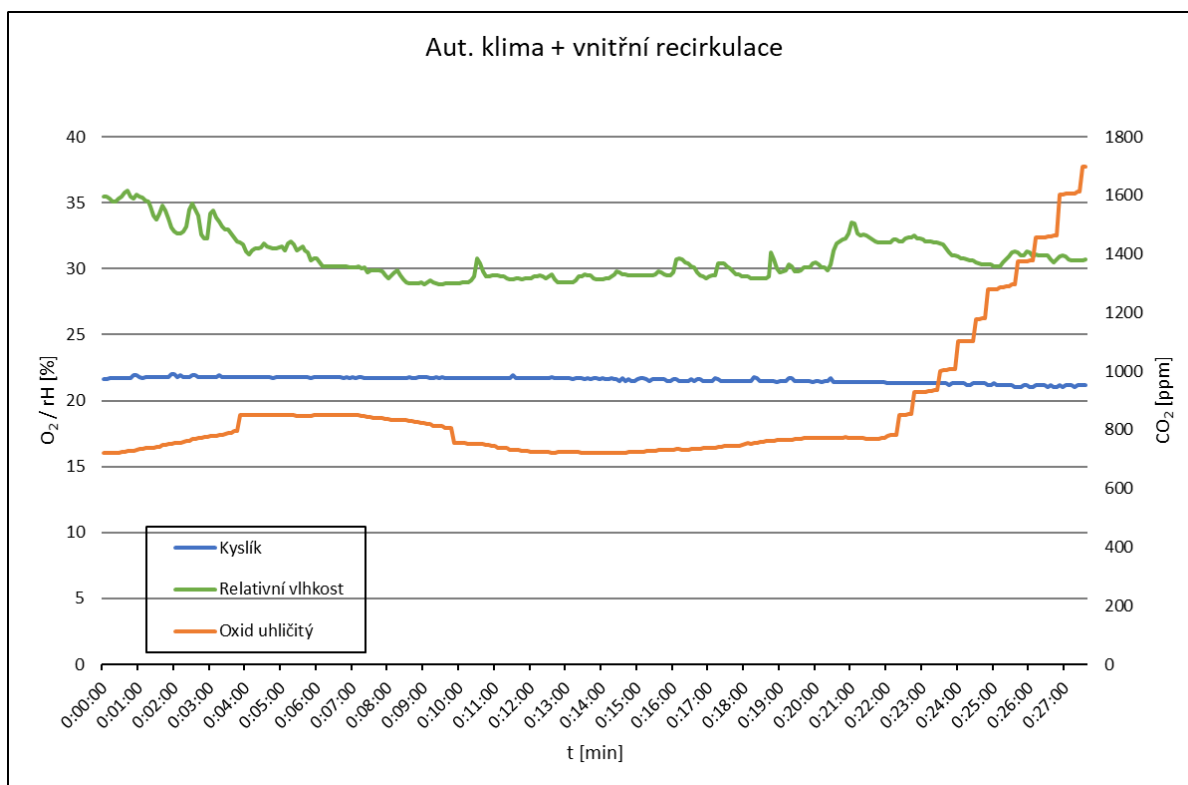
Na začátku měření, po nastavení automatické cirkulace, je patrný pokles úrovně oxidu uhličitého a mírný nárůst hladiny kyslíku. Tento trend pokračuje, až do 10. minuty. Poté naopak dochází k téměř lineárnímu nárůstu oxidu uhličitého, který dosahuje svého maxima mezi 19. a 21. minutou měření. V této části měření je patrný velmi mírný pokles hladiny kyslíku. V poslední třetině měření dochází k velmi rychlému úbytku oxidu uhličitého a po čtyřech minutách se vrací do obvyklých hodnot. V důsledku poklesu oxidu uhličitého je patrný mírný nárůst hladiny kyslíku. V závěru měření jsou hladiny všech měřených plynů v normativních hodnotách.

Obr. 19 Bez klima + střední výkon ventilace – Škoda Scala



Na začátku druhé části měření, je vypnuta automatická cirkulace a je nastaven střední výkon ventilace. V důsledku toho, dochází k mírnému poklesu úrovně oxidu uhličitého a ustálení hladiny kyslíku. Zároveň je po celou dobu této části měření ustálena relativní vlhkost. V 7. minutě dochází k nárůstu oxidu uhličitého. V této části měření vozidlo projíždělo tunely a je tedy možné, že došlo ke změně vnějšího mikroklima. Od 11. minuty dochází opět k mírnému poklesu oxidu uhličitého a tento trend pokračuje až do 27. minuty měření, kde je zaznamenám opětovný nárůst úrovně oxidu uhličitého. V závěru této části měření je patrný velmi pozvolný pokles hladiny kyslíku.

Obr. 20 Aut. klima + vnitřní recirkulace – Škoda Scala

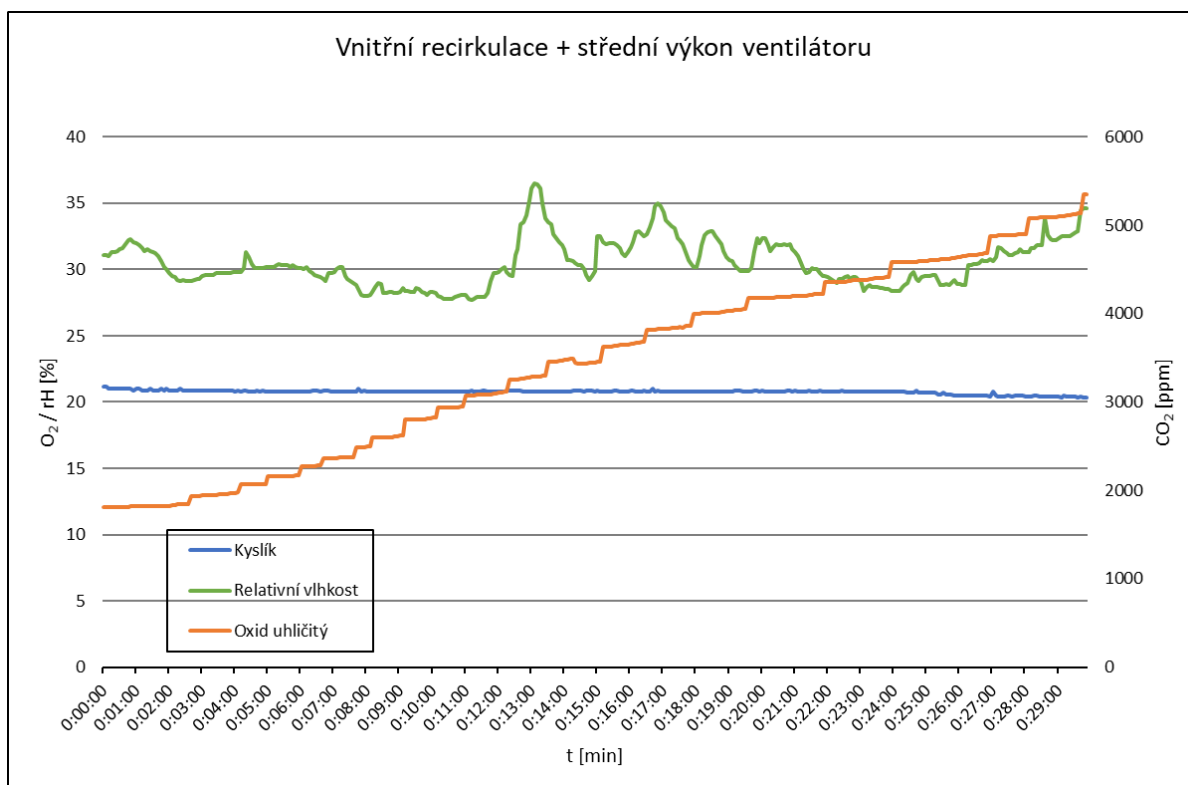


Na začátku třetí části měření, je zapnuta automatická klimatizace a vnitřní recirkulace. Je patrné, že toto nastavení nenarušilo ustálení relativní vlhkosti. Měření je velmi konstantní až do 22. minuty, kde dochází k strmému nárůstu hladiny oxidu uhličitého a je zaznamenána hodnota převyšující 1 600 ppm, což je hranice představující riziko ztráty soustředění a možné únavy.

V souvislosti s tím, dochází k mírnému poklesu hladiny kyslíku. Nárůst oxidu uhličitého pokračuje, až do konce měření a před koncem měření, shodně řidič i spolujezdec začínají pociťovat bolest hlavy a mírnou únavu.



Obr. 21 Vnitřní recirkulace + střední výkon – Škoda Scala



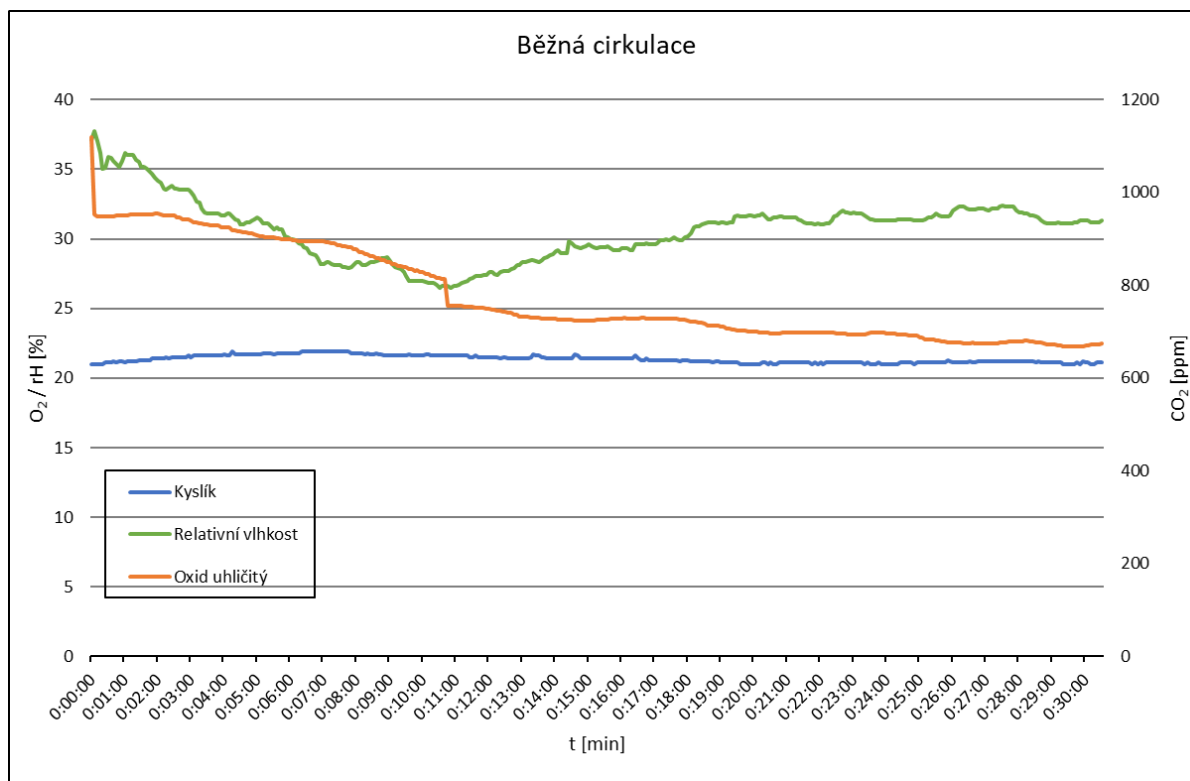
V poslední části měření, je ponechána zapnutá vnitřní recirkulace a místo automatické klimatizace, je zapnuta ventilace na střední výkon. Z Grafu je patrné, že díky ventilaci je narušena ustálenost relativní vlhkosti. Na začátku měření dochází k lineárnímu nárůstu úrovně oxidu uhličitého. V důsledku toho, je po celou část měření pozorován mírný pokles hladiny kyslíku.

V poslední třetině měření, řidič i spolujezdec pociťují mírnou bolest hlavy a zvětšující se únavu. Zde, by mohlo již dojít ke zhoršení reakcí a špatnému vyhodnocení situace na silnici.

## 5.2 Mazda 3

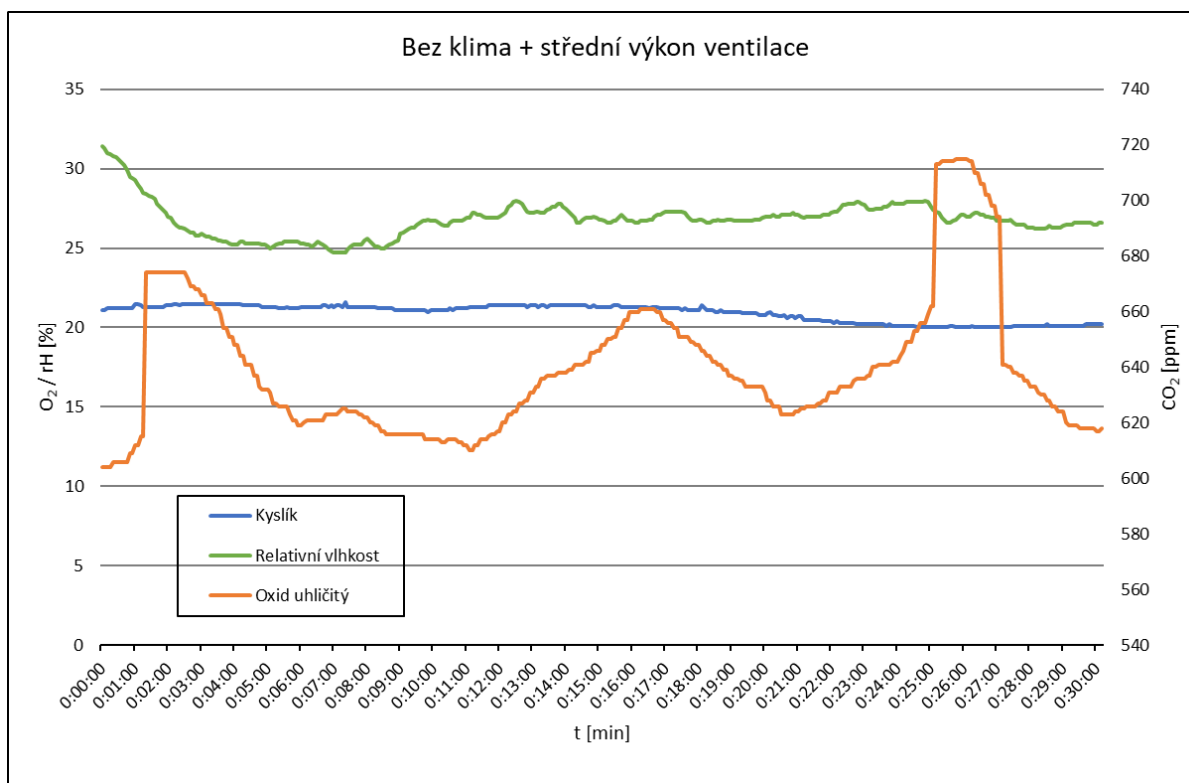
Rozbor jednotlivých nastavení režimů ventilace z provedeného měření ve vozidle Mazda 3 je popsán a graficky znázorněn na obrázcích 22 až 25.

Obr. 22 Běžná cirkulace – Mazda 3



Na začátku měření po nastavení běžné cirkulace, je patrný pokles oxidu uhličitého a mírný nárůst hladiny kyslíku. Do 11. minuty měření dochází k pozvolnému poklesu oxidu uhličitého a zároveň je v tomto intervalu pozorován podobný pokles relativní vlhkosti, kdy dochází k poklesu pod 30 %. Tato hranice je brána, jako možné riziko vysychání horních dýchacích cest, avšak řidič ani spolujezdec nezaznamenali pocit sucha v ústech. Od 15. minuty měření dochází k ustálení hladiny oxidu uhličitého i relativní vlhkosti. Kyslík se rovněž nachází v ideálních hodnotách mezi 20,8 a 20,9 %. V závěru měření jsou hladiny všech měřených plynů v normativních hodnotách. Mikroklima řidič i spolujezdec označují, jako pohodlné.

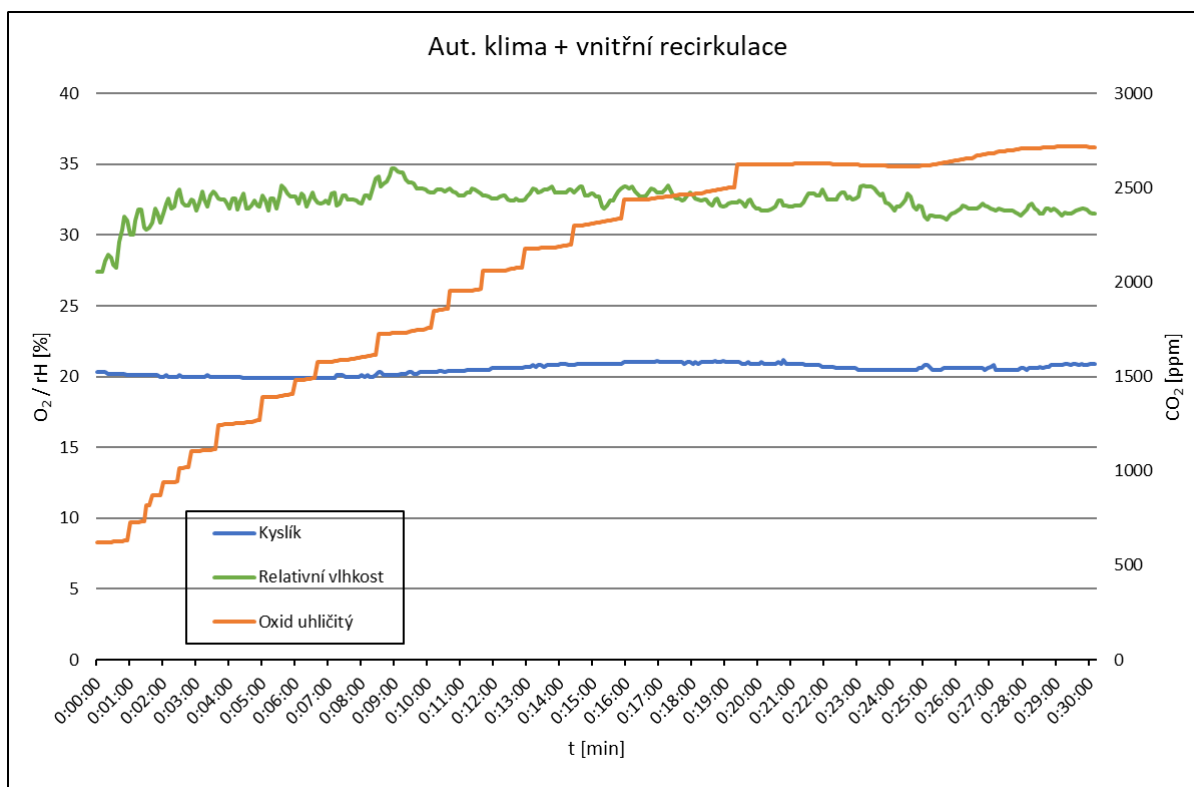
Obr. 23 Bez klima + střední výkon ventilace – Mazda 3



Na začátku druhé části měření, je vypnuta běžná cirkulace a je nastaven střední výkon ventilace. V 2. minutě měření dochází k strmému nárůstu úrovně oxidu uhličitého. Tento nárůst je velmi krátký a po dvou minutách dochází opětovně k poklesu. Mezi 12. a 20. minutou je opět zaznamenám nárůst a následný pokles oxidu uhličitého, jde ovšem o velmi bezpečné hodnoty, které nedosahují nejbezpečnější hranice 1 000 ppm. Hladina kyslíku je ustálená, až do 20. minuty měření, kdy dochází k pozvolnému poklesu kyslíku, až k hodnotě 20,0 %. Tento stav ještě není označován, jako počátek hypoxie.

Po celou dobu této části měření je relativní vlhkost velmi ustálená těsně pod hranicí 30 %. To je velmi pravděpodobně dáno roční dobou, kdy měření probíhá a není možné relativní vlhkost významně ovlivnit vhodným nastavením ventilace ve vozidle.

Obr. 24 Aut. klima + vnitřní recirkulace – Mazda 3

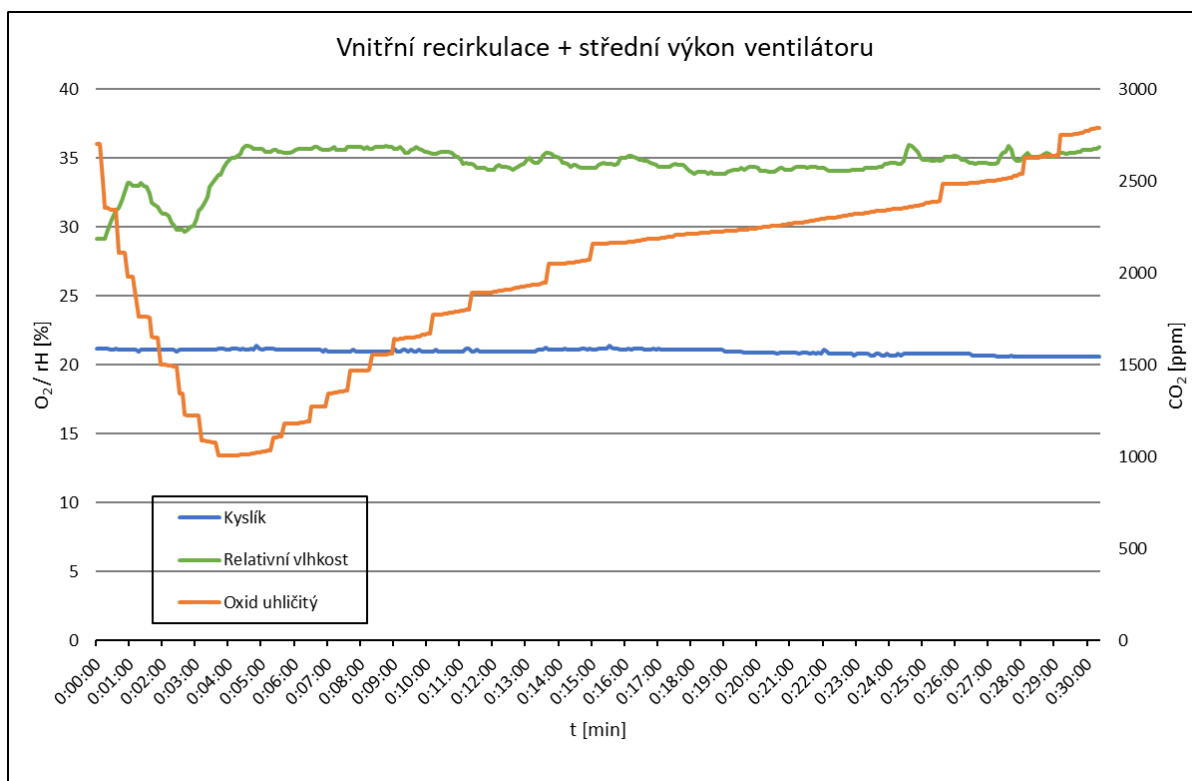


Na začátku třetí části měření, je zapnuta automatická klimatizace a vnitřní recirkulace. Od začátku, až do 16. minuty měření, dochází k lineárnímu nárůstu úrovně oxidu uhličitého a je zaznamenána hodnota převyšující 2 500 ppm, což je hranice představující riziko ztráty soustředění, možné únavy a bolesti hlavy. Přestože oxid uhličitý narůstal takřka po celou dobu měření, je možné pozorovat v rozmezí od 11. do 21. minuty měření, pozvolný nárůst a následný pokles hladiny kyslíku.

Po celou dobu této části měření je relativní vlhkost poměrně ustálená lehce nad hranicí 30 %. Je tedy možné říct, že tato část měření probíhá v oblasti tepelné pohody.

Nárůst oxidu uhličitého pokračuje, až do konce měření a před koncem měření, shodně řidič i spolujezdec pociťují mírnou bolest hlavy a únavu.

Obr. 25 Vnitřní recirkulace + střední výkon – Mazda 3



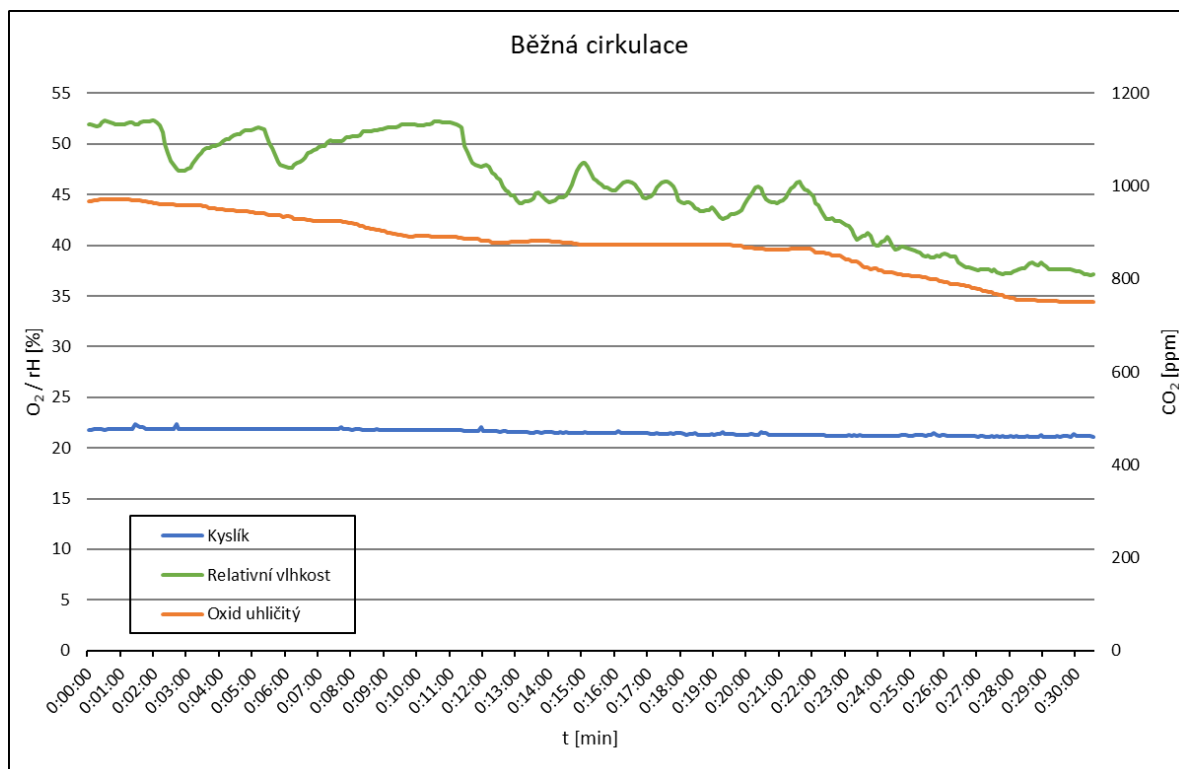
V poslední části měření, je ponechána zapnutá vnitřní recirkulace a místo automatické klimatizace je zapnuta ventilace na střední výkon. V důsledku zapnutí ventilace dochází v prvních čtyřech minutách k velmi výraznému poklesu úrovně oxidu uhličitého, kde dochází k ustálení, ale po dvou minutách dochází k opětovnému nárůstu úrovně oxidu uhličitého. Od 15. minuty měření nárůst oxidu uhličitého zpomaluje a do konce měření se zvyšuje jen mírně, avšak je dosaženo hodnot převyšujících 2 500 ppm. Ačkoliv během měření došlo k výraznému nárůstu úrovně oxidu uhličitého, tak hladina kyslíku zůstává nad hranicí 20,5 %.

Rovněž od 5. minuty měření dochází k ustálení relativní vlhkosti, která se pohybuje okolo 35 %. Z tohoto hlediska tato část měření probíhá v oblasti tepelné pohody. Po celou dobu této části měření, řidič i spolujezdec pociťují mírnou bolest hlavy a únavu. Zde by tedy mohlo již dojít ke zhoršení reakcí a ke špatnému vyhodnocení situace na silnici.

## 5.3 Ford Mondeo

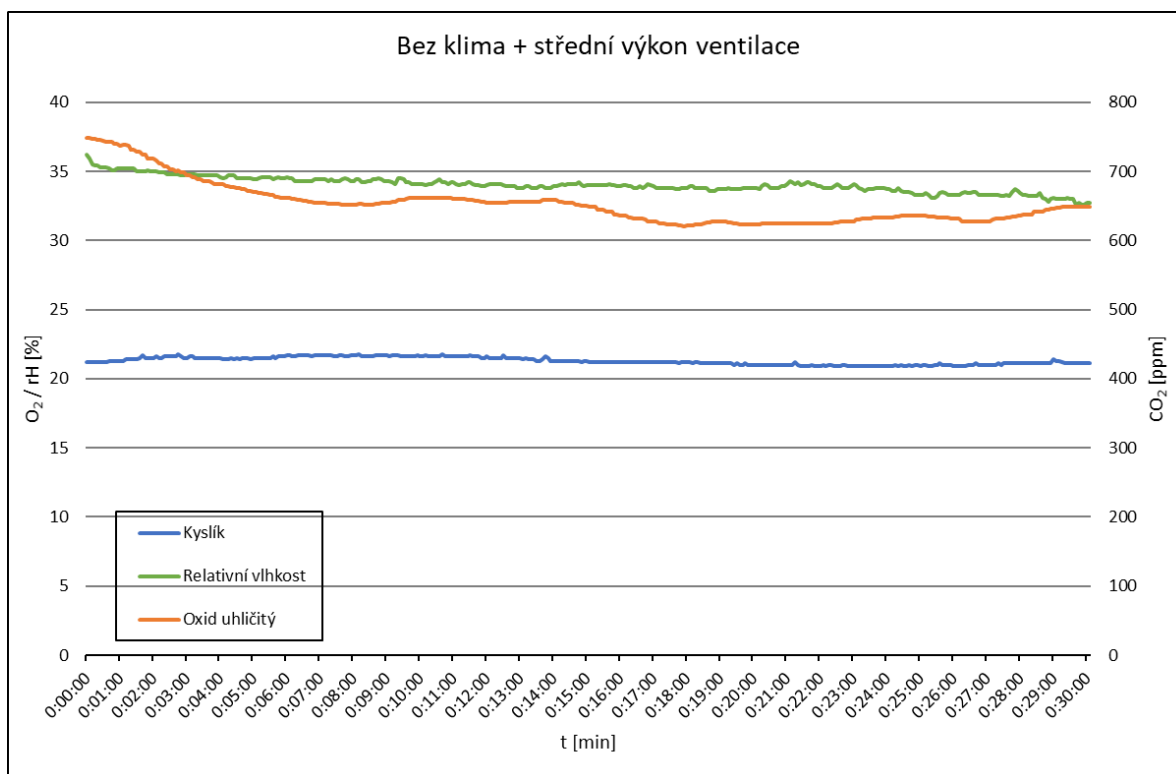
Rozbor jednotlivých nastavení režimů ventilace z provedeného měření ve vozidle Ford Mondeo je popsán a graficky znázorněn na obrázcích 26 až 29.

Obr. 26 Běžná cirkulace – Ford Mondeo



Na začátku měření, po nastavení běžné cirkulace, je patrný pokles oxidu uhličitého a ustálení hladiny kyslíku. Tento pokles je pozorován, až do 12. minuty měření, kdy dochází k ustálení a až do 22. minuty měření je úroveň oxidu uhličitého téměř konstantní. Od 22. minuty měření dochází opět k mírnému poklesu oxidu uhličitého i kyslíku. Obě měřené hodnoty jsou po celou část měření v normě. Relativní vlhkost v této části měření dosahovala přes 50 %, což je stále označováno jako oblast tepelné pohody. Větší relativní vlhkost je dána vlivem vnějšího počasí, protože tato část měření probíhala za deště.

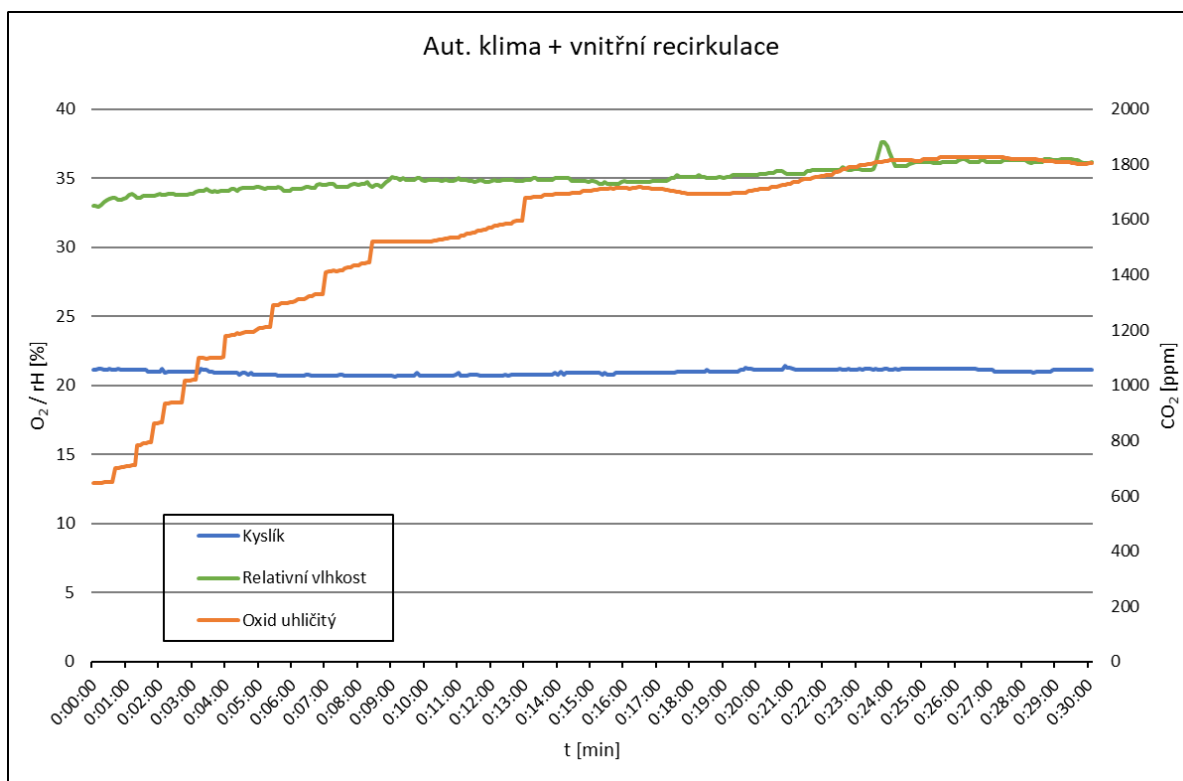
Obr. 27 Bez klima + střední výkon ventilace – Ford Mondeo



Na začátku druhé části měření, je vypnuta běžná cirkulace a je nastaven střední výkon ventilace. Hned z kraje měření dochází k mírnému nárůstu kyslíku a zároveň k poklesu úrovně oxidu uhličitého. Tento trend je pozorován do 8. minuty měření, kdy dochází k vyrovnání u obou měřených plynů. Od 14. minuty měření je úroveň oxidu uhličitého velmi ustálená a nedosahuje nad nejbezpečnější hranici 1 000 ppm a zároveň hladina kyslíku je po celou část měření nad 20,0 %.

Po celou dobu této části měření je relativní vlhkost velmi ustálená nad hranicí 30 %. Z tohoto hlediska tedy i tato část měření probíhá v oblasti tepelné pohody.

Obr. 28 Aut. klima + vnitřní recirkulace – Ford Mondeo



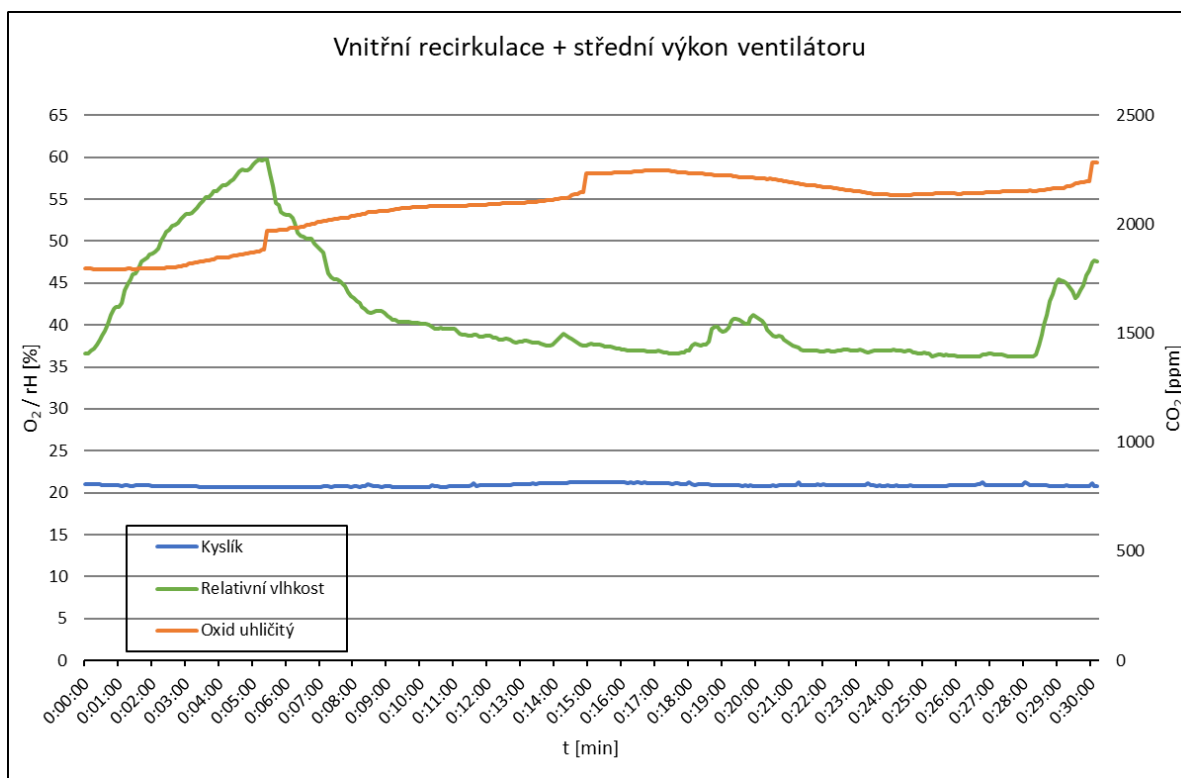
Na začátku třetí části měření, je zapnuta automatická klimatizace a vnitřní recirkulace. Od začátku, až do 8. minuty měření, dochází k poměrně velkému nárůstu úrovně oxidu uhličitého. K překročení nejbezpečnější hranice 1 000 ppm dochází již po třech minutách měření. V této souvislosti je zaznamenám nepatrný pokles hladiny kyslíku. Hladina kyslíku klesá, až do 12. minuty měření, kdy dochází opětovně k mírnému nárůstu a následnému vyrovnaní. Od poloviny měření se úroveň oxidu uhličitého ustálí na hodnotě okolo 1 800 ppm. Tato hranice již představuje riziko ztráty soustředění, bolest hlavy a únavu.

Nepatrný nárůst oxidu uhličitého pokračuje, až do konce měření a před koncem měření, shodně řidič i spolujezdec pociťují mírnou bolest hlavy a únavu.

Po celou dobu této části měření je relativní vlhkost velmi ustálená okolo 35 %. Je tedy možné říct, že tato část měření probíhá v oblasti tepelné pohody.



Obr. 29 Vnitřní recirkulace + střední výkon – Ford Mondeo



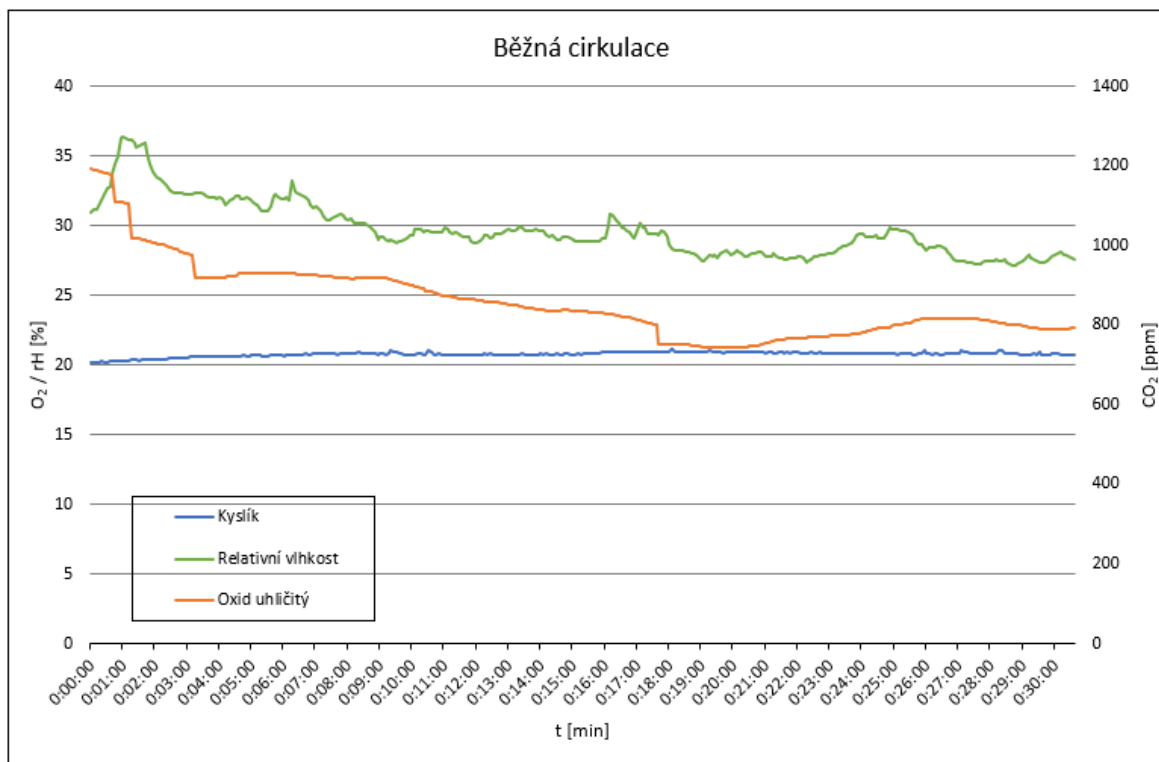
V poslední části měření, je ponechána zapnutá vnitřní recirkulace a místo automatické klimatizace je zapnuta ventilace na střední výkon. Od začátku, do 7. minuty měření je pozorován nepatrný nárůst úrovně oxidu uhličitého a zároveň mírný pokles kyslíku na hranici 20,0 %. Od 10. minuty do 18. minuty dochází opět k mírnému nárůstu a následně poklesu kyslíku. Poté dochází k vyrovnání a po zbytek měření je kyslík udržován okolo 20,5 %. V polovině měření dochází k ustálení úrovně oxidu uhličitého nad hranicí 2 000 ppm. Zde tedy je překročena první nejbezpečnější hranice 1 000 ppm. Mohlo by zde dojít ke zhoršení reakcí a špatnému vyhodnocení situace na silnici.

V této části měření dochází k většímu výkyvu relativní vlhkosti, což bylo pravděpodobně dáno opětovným deštěm během měření.

## 5.4 BMW 663c

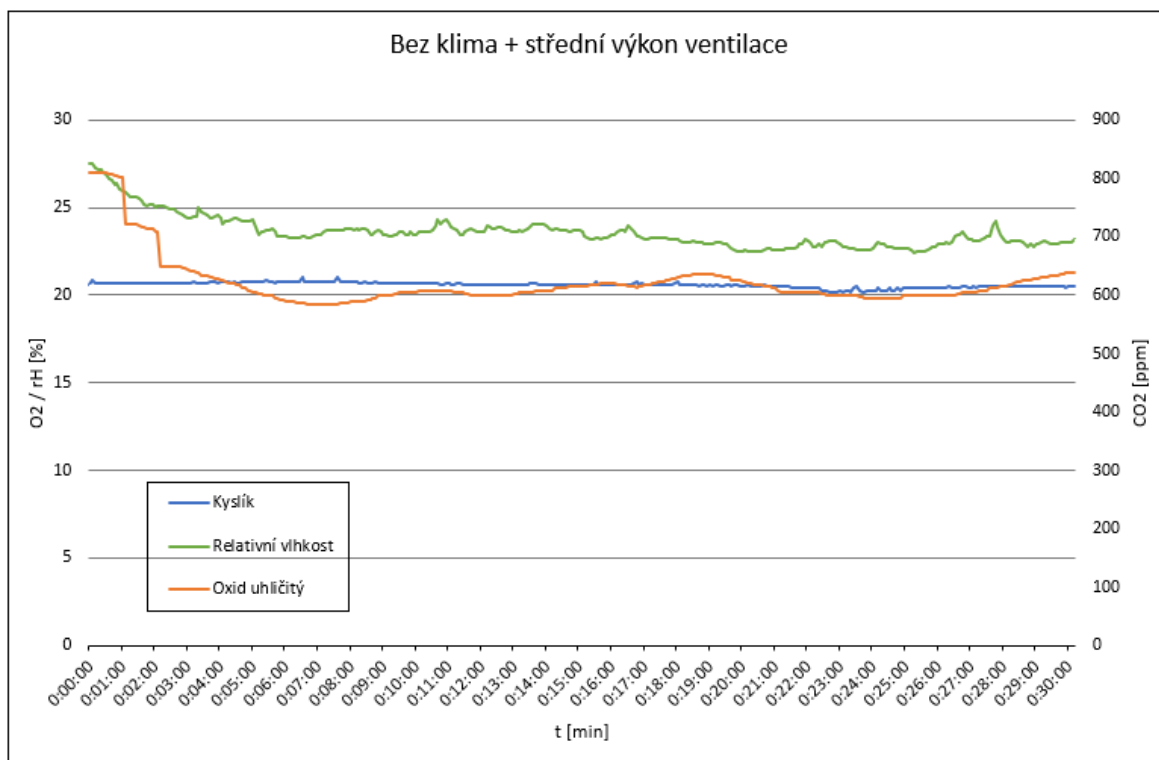
Rozbor jednotlivých nastavení režimů ventilace z provedeného měření ve vozidle BMW 663c je popsán a graficky znázorněn na obrázcích 30 až 33.

Obr. 30 Běžná cirkulace – BMW 663c



Na začátku měření, po nastavení automatické cirkulace je patrný pokles oxidu uhličitého a mírný nárůst hladiny kyslíku. Tento trend je pozorován do 4. minuty měření, kdy dochází k ustálení obou plynů. Od 9. minuty měření dochází opět k mírnému poklesu úrovně oxidu uhličitého, a ještě k nepatrnému nárůstu hladiny kyslíku. Od 17. minuty měření dochází k vyrovnání hladiny kyslíku, a až do konce měření dosahuje ideálních hodnot okolo 20,9 %. V 22. minutě měření dochází k mírnému nárůstu úrovně oxidu uhličitého, není však dosaženo nejbezpečnější hranice 1 000 ppm. Tato část měření probíhá bez jakýchkoliv rizik spojených s nebezpečím nárůstu oxidu uhličitého nebo výraznějšího poklesu hladiny kyslíku. Vzhledem k roční době, je téměř po celou dobu měření zaznamenána poměrně nízká relativní vlhkost. Mikroklima, i přesto shodně řidič i spolujezdec označují, jako příjemné.

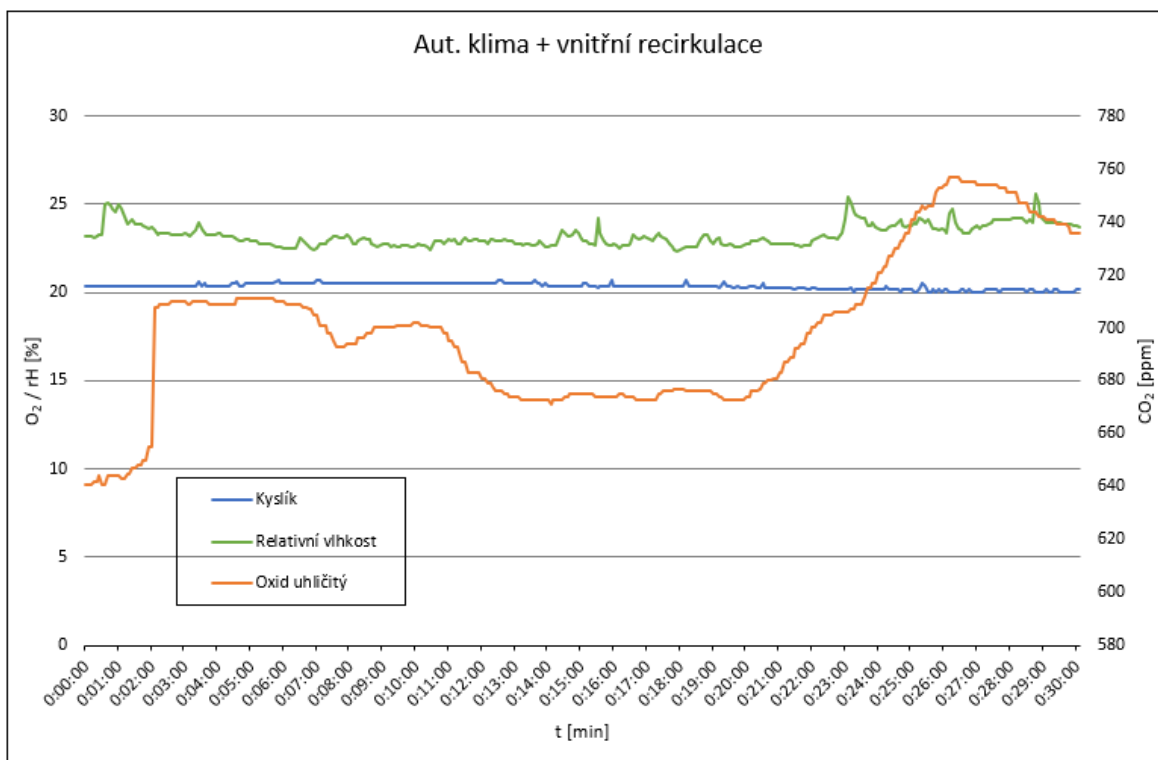
Obr. 31 Bez klima + střední výkon ventilace – BMW 663c



Na začátku druhé části měření, je vypnuta automatická cirkulace a je nastaven střední výkon ventilace. V důsledku toho, dochází k poklesu úrovně oxidu uhličitého a nepatrnému nárůstu hladiny kyslíku. V 7. minutě měření dochází k vyrovnání obou plynů. Oxid uhličitý je v této části měření velmi ustálený na úrovni okolo 600 ppm. Mezi 20. a 26. minutou měření je pozorován mírný pokles a opětovný nárůst hladiny kyslíku. Nebyla však překročena hranice pod 20,0 %. Z hlediska obou měřených plynů, je tedy možné, tuto část měření označit jako ideální.

Vzhledem k roční době, je téměř po celou dobu měření, zaznamenána poměrně nízká relativní vlhkost pod 25 %. Mikroklima, i přesto shodně řidič i spolujezdec označují, jako příjemné.

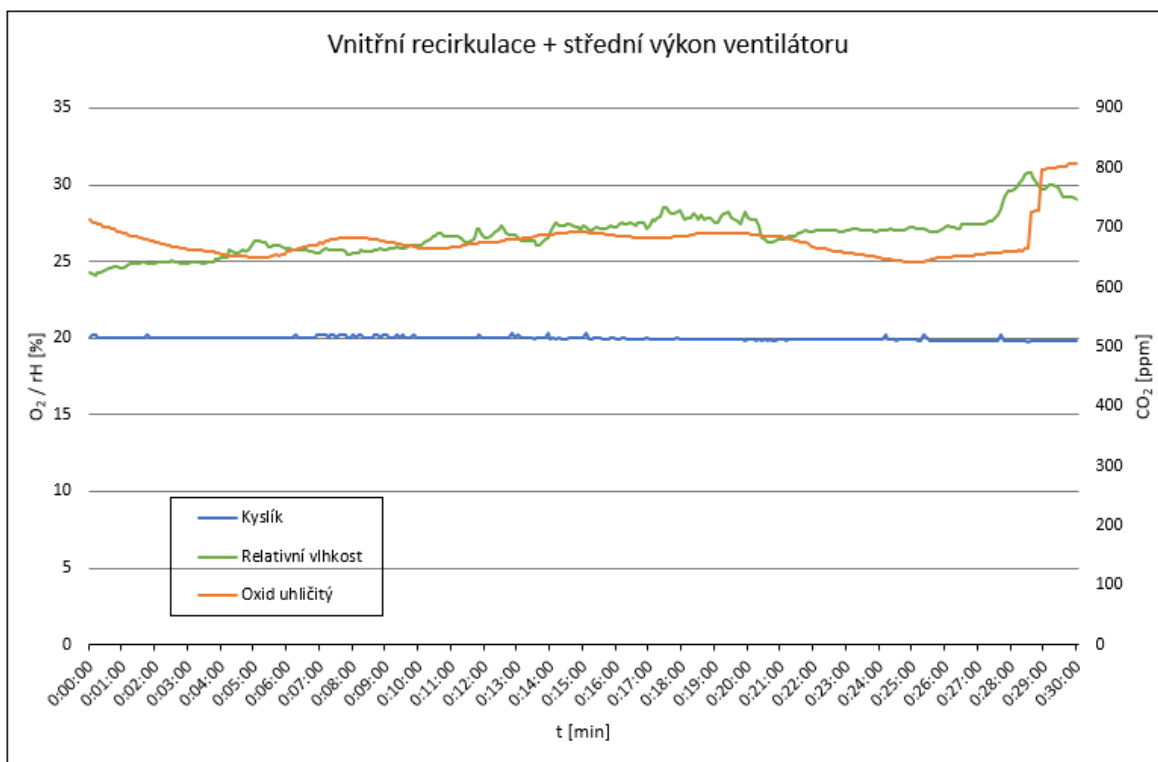
Obr. 32 Aut. Klima + vnitřní recirkulace – BMW 663c



Na začátku třetí části měření, je zapnuta automatická klimatizace a vnitřní recirkulace. V souvislosti s tím, dochází ve 2. minutě měření k výraznějšímu nárůstu úrovně oxidu uhličitého. Mezi 3. a 7. minutou dochází k ustálení úrovně oxidu uhličitého a následně dochází k opětovnému poklesu a vyrovnání, až do 20. minuty měření, kdy dochází k lineárnímu nárůstu oxidu uhličitého, který pokračuje až do konce měření. Není zde během celého měření překročena nejbezpečnější hranice 1 000 ppm. Zároveň je vidět patrný pokles hladiny kyslíku mezi 16. a 20. minutou měření a následné ustálení okolo hodnoty 20,0 %.

Relativní vlhkost i v této části měření dosahuje okolo 25 %. Mikroklima, i přesto shodně řidič i spolujezdec, označují jako příjemné.

Obr. 33 Vnitřní recirkulace + střední výkon – BMW 663c



V poslední části měření, je ponechána zapnutá vnitřní recirkulace a místo automatické klimatizace, je zapnuta ventilace na střední výkon. Na začátku měření dochází k mírnému poklesu úrovně oxidu uhličitého a od 8. do 22. minuty měření k jeho ustálení okolo 650 ppm. V 28. minutě měření dochází k nárůstu úrovně oxidu uhličitého na 800 ppm. Tato hranice je stále označována jako velmi bezpečná.

V této části měření je hladina kyslíku velmi konstantní, až do 25. minuty měření, kdy dochází k poklesu pod 20,0 %. Tento pokles by se dal označit, jako počáteční stav hypoxie. Nicméně řidič ani spolujezdec nezaznamenali žádné nepříjemné pocity během celého měření.

Vzhledem k roční době je téměř po celou dobu měření zaznamenána poměrně nízká relativní vlhkost okolo 25 %. Mikroklima, i přesto shodně řidič i spolujezdec označují, jako příjemné.

## 6. Zhodnocení výsledků

V této části je provedeno zhodnocení získaných dat z jednotlivých naměřených jízd.

Pro vyhodnocení je potřeba určit si limity jednotlivých měřených parametrů:

- Hladina kyslíku by měla být v ideálním rozmezí od **20** do **20,95 %**. Jedná se tedy o velmi úzké rozpětí. V případě, že hladina kyslíku klesne pod **20 %** je možné tento stav označit za počáteční hypoxii.<sup>2</sup>
- Úroveň koncentrace oxidu uhličitého, vzhledem k bezpečnosti silničního provozu, je možné považovat max. **1 000 ppm**. Pokud je koncentrace CO<sub>2</sub> v rozmezí **1 000** až **2 500 ppm**, je možné zaznamenat únavu, či ztrátu soustředění. Rizikovou hranici představuje koncentrace nad **5 000 ppm**, kdy dochází k zrychlení tepu, bolestem hlavy a všem předchozím příznakům hyperkapnie.<sup>42</sup>
- Doporučená hladina relativní vlhkosti by měla být v intervalu od **30** do **70 %**. Tato úroveň je označována jako oblast tepelné pohody. Pokud relativní vlhkost klesá **pod 30 %** (velice často k tomu může docházet v zimních měsících, kdy je zpravidla ve vozidle zapnuté vnitřní vytápění) může dojít k vysychání sliznic dýchacích cest.<sup>43</sup>

## 6.1 Vyhodnocení měřených vozidel

Tato kapitola shrnuje všechny měřené jízdy, a to jak z hlediska naměřených dat, tak subjektivních pocitů řidiče a spolujezdce během jízdy.

### 6.1.1 Škoda Scala

Tento automobil byl vybrán jako zástupce nejnovější generace vozidel na současném trhu. Během jízdy byla ve všech měřených režimech ventilace naměřena zcela ideální hladina kyslíku ve vzduchu. Úroveň koncentrace CO<sub>2</sub> zejména při poslední části měření (vnitřní recirkulace + střední výkon ventilace) dosáhla až za rizikovou hranici 5 000 ppm. Řidič i spolujezdec se shodují, že jim tato část jízdy již nebyla příjemná a oba pociťovali únavu a mírnou bolest hlavy. Z hlediska relativní vlhkosti se celá měřená jízda pohybovala v rozmezí těsně pod 30 % až 47 %. Z tohoto pohledu by se dala jízda nazvat tak, že proběhla v oblasti tepelné pohody.

### 6.1.2 Mazda 3

Ačkoliv, se jedná o karosérově podobný automobil jako je Škoda Scala, tak byl vybrán zcela záměrně k porovnání, jako výrazně starší automobil. Během této jízdy byla hladina kyslíku ve vzduchu v ideálním rozmezí. Úroveň koncentrace CO<sub>2</sub> dosahovala v první polovině jízdy zcela ideálních hodnot, kdy nebyla překročena hranice 1 000 ppm. Po zapnutí vnitřní recirkulace došlo k pozvolnému nárůstu koncentrace CO<sub>2</sub> až k hodnotám přesahujícím 2 500 ppm. V druhé polovině jízdy, řidič i spolujezdec pociťovali mírnou únavu. Hladina relativní vlhkosti byla po celou dobu jízdy poměrně ustálená mezi 25 až 35 %. Teoreticky tedy mohlo dojít k mírnému vysychání sliznic horních dýchacích cest.

### **6.1.3 Ford Mondeo**

Tento automobil byl zvolen jako zástupce větších automobilů s velmi oblíbenou karoserií typu Liftback. Hladina kyslíku se udržela v ideálním rozmezí po celou dobu jízdy. V první polovině jízdy nedošlo ani k překročení nejbezpečnější koncentrace CO<sub>2</sub> tedy 1 000 ppm. Po zapnutí vnitřní recirkulace byl zaznamenán postupný nárůst koncentrace CO<sub>2</sub>. Podobně, jako tomu bylo v předchozích měření. Nicméně ani v poslední části měření nedošlo k překročení 2 500 ppm. V poslední čtvrtině jízdy řidič pociťoval ztrátu koncentrace a mírnou únavu. Spolujezdec zaznamenal mírnou bolest hlavy. Z hlediska relativní vlhkosti bylo během celé jízdy dosaženo normativních hodnot bez větších výkyvů.

### **6.1.4 BMW 663c**

Pro rozmanitost měření byl vybrán tento automobil jako zástupce luxusních vozů a také kvůli karosérii typu Coupé, která není zcela obvyklá. Při tomto měření bylo dosaženo nejideálnějších hodnot. Z hlediska hladiny kyslíku nedošlo k výraznému poklesu pod 20 %. Pouze při tomto měření nebylo dosaženo ani zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub>. Téměř po celou dobu jízdy byla úroveň CO<sub>2</sub> pod 1 000 ppm. Hladina relativní vlhkosti dosahovala až pod 25 %. Mohlo tedy dojít k mírnému vysychání sliznic horních dýchacích cest, stejně jako při měření v Mazdě 3. Nicméně, během celé jízdy řidič a ani spolujezdec nezaznamenali, jakékoliv nepříjemné pocity, únavu, bolesti hlavy nebo ztrátu koncentrace.



## 6.2 Ekonomické zhodnocení

Pro účely ekonomického zhodnocení byla vybrána hodnotící metoda: Multikriteriální analýza. Vybrané kyslíkové koncentrátoři jsou porovnány pomocí osmi různých parametrů, kde je pro každý parametr stanovena váha na bodové škále od jedna do desíti bodů. Posuzovaná výkonnost jednotlivých parametrů je poté hodnocena body od jedna do pěti. Výsledné hodnocení je tedy dáno součtem jednotlivých parametrů.

Tab. 4 Multikriteriální analýza – kyslíkové koncentrátoři

	Váha (1-10)	Philips respironics SimplyGO	Drive DeVilbiss iGo2	Kingon P2
Rozměry	8	2	3	4
Napájení	7	5	5	5
Hlučnost	8	2	5	1
Variabilita režimu použití	4	5	3	3
Max. průtok	6	4	2	2
Koncentrace kyslíku	5	4	3	4
Výdrž baterie	3	2	3	3
Cena	8	1	3	5
Součet $\Sigma$		145	171	168

Z tabulky 8 vyplývá, že na základě provedeného hodnocení je nejvhodnější variantou kyslíkový koncentrátoři **Drive iGo2** od společnosti DeVilbiss HealthCare USA, který získal 171 bodů. Velmi podobného výsledku (168 bodů) dosáhl také kyslíkový koncentrátoři **Kingon P2**. Pokud by rozhodujícím parametrem byla cena pravděpodobně by byl zvolen vítěz právě kyslíkový koncentrátoři Kingon P2.

## 7. Závěr a doporučení

Předkládaná diplomová práce se zabývá působením kyslíku a dalších plynů na lidský organismus. Dále popisuje možnosti integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla.

V teoretické části jsou popsány všechny faktory, které ovlivňují lidský organismus z pohledu dýchání. Je zde popsán princip dýchání a vše na něm závislé. Zároveň jsou v této části popsány stavy nedostatku kyslíku, nadbytku kyslíku a nadbytku oxidu uhličitého v těle. V závěru teoretické části jsou uvedeny současné možnosti integrování kyslíkového koncentrátoru do vozidla včetně finančních nákladů na vlastní systém.

V praktické části jsou zpracována měření hladiny kyslíku, oxidu uhličitého a relativní vlhkosti ve vozidle v závislosti na různém nastavení ventilace. Pro jednotlivá měření bylo vybráno několik různých vozidel, kde byl kladen důraz především na, co největší rozmanitost z hlediska karoserie vozidla, ale také bylo bráno na zřetel nutnost rozdílného stáří vozidel.

Experimentální měření prokázalo, že u všech vozidel během měření docházelo k mírnému poklesu hladiny kyslíku a k poměrně velikému nárustu úrovně koncentrace oxidu uhličitého, kdy bylo zejména v druhé části jednotlivých měření při zapnutí systému vnitřní recirkulace zaznamenáno zvýšených hodnot, které již mohou způsobovat únavu posádky vozidla. Únava byla skutečně nezávisle vyhodnocena jak u řidiče, tak i u spolujezdce, jak je shrnuto ve zhodnocení výsledků této práce.

Z pohledu bezpečnosti silničního provozu, se tedy zdá možnost integrace kyslíkového koncentrátoru do vozidla, jako další prvek aktivní ochrany.

Současné automobily disponují celou řadou různých bezpečnostních prvků, jako jsou např. senzory hlídání volného prostoru před vozidlem, systémy pro udržení vozidla v jízdním pruhu nebo i senzory detekce únavy. Všechny tyto bezpečnostní prvky procházejí vývojem a stávají se zcela běžnou výbavou vozidel střední a vyšší třídy. Je potřeba zmínit fakt, že největším bezpečnostním prvkem v silničním provozu je stále sám řidič. Odpočínutý a koncentrovaný řidič na jízdu, dokáže většinu situací v silničním provozu předvídat a včas na ně zareagovat.

Z toho tedy plyne, že pokud je řidiči vozidla dopřáno příjemné mikroklima v podobě ustálené hladiny kyslíku a nízké úrovně oxidu uhličitého, nedojde k únavě řidiče z důvodu nepříznivého mikroklimatu ve vozidle.

Na úplný závěr této diplomové práce je potřeba zmínit několik doporučení, např. pro další rozvoj a výzkum této problematiky. Veškerá měření probíhala v chladných měsících od pozdního podzimu do konce zimy. Bylo by tedy vhodné, provést měření i v letních měsících, od června do srpna. Z teoretických poznatků je jasné, že v letním období je nižší vnější relativní vlhkost vzduchu. Mohlo by tedy dojít k tomu, že se celkové mikroklima ve vozidle dostane z oblasti tepelné pohody do oblasti tepelného horka. Všechna měření, zpracovaná v této diplomové práci, probíhala vždy ve složení řidič a spolujezdec. Zde je tedy prostor pro provedení měření v jiném uskupení posádky vozidla, kdy by mohl měření provést pouze sám řidič nebo naopak obsadit i zadní sedačky ve vozidle.

Nakonec by bylo vhodné provést obdobná měření za použití mobilního kyslíkového koncentrátoru a porovnat je s výsledky této diplomové práce.

## 8. Seznam použitých zdrojů

[1] MATOUŠ, Bohuslav. Základy lékařské chemie a biochemie. Praha: Galén, 2010. ISBN 978-80-7262-702-8.

[2] Kyslík. Praha: Česká asociace technických plynů, listopad 2006. 25 s.[online]  
[cit: 2020-10-3] Dostupné z WWW: <<http://www.catp.cz/publikace/kyslik.pdf>>.

[3] ORLÍKOVÁ, Kateřina; DANIHELKA, Pavel; KOZUBEK, Ervín. Chemie hořavin a produktů hoření. I. vydání. Ostrava: VŠB v Ostravě, 1991. 102 s. ISBN 80-7078-036-3

[4] TREFNÝ, Zdeněk; TREFNÝ, Martin. Fyziologie člověka I. Praha: Karolinum, 1993. 204 s. ISBN 80-7066-724-9

[5] SLAVÍKOVÁ, Jana; ŠVÍGLEROVÁ Jitka. Fyziologie, 2012, 90 s. ISBN 978-80-246-2065-7

[6] PALEČEK, František, et al. Patofyziologie dýchání. Vydání 2., přepracované a rozšířené. Praha: Academia, 1999. 402 s. ISBN 80-200-0723-7.

[7] TREFNÝ, Zdeněk; TREFNÝ, Martin. Fyziologie člověka II. Praha: Karolinum, 1993. 412 s. ISBN 80-7066-725-7.

[8] NEČAS, Emanuel. Patofyziologie zásobování organismu a jeho tkání kyslíkem. Vydání 1. Praha: Avicenum, 1982. 260 s.

[9] TORTORA, G; Derrickson, B. Principles of anatomy & physiology (13th. ed.). Wiley. pp. 906–909. ISBN 9780470646083.

[10] SILBERNAGL, Stefan; DESPOPULOS, Agamemnon. Atlas fyziologie člověka, Grada 2004 ISBN 978-80-247-0630-6

[11] SILBERNAGL, Stefan; LANG, Florian. Atlas patofyziologie člověka – Grada 2001 ISBN 978-80-247-3555-9

[12] TROJAN, Stanislav a kol. Lékařská fyziologie, Grada 2003 ISBN: 80-247-0512-5

[13] SUTTON, John R.; JONES, Norman L.; HOUSTON, Charles S. Hypoxia: Man At Altitude. New York: Thieme-Stratton Inc., 1982. xv, 213 s. ISBN 0-86577-048-4

[14] CENDELÍN Jan, Hypoxie: Ústav patofyziologie, LF UK 2017 [online] [cit: 2020-10-19] dostupné z WWW: <<http://patofyziologie.lfp.cuni.cz/wp-content/uploads/2019/11/Hypoxie.pdf>>

[15] NEČAS, Emanuel, et al. Obecná patologická fyziologie. 3. vydání. Praha: Karolinum, 2009. 377 s. ISBN 978-80-246-1688-9.

[16] KUBIŠTA, Václav; KOUTECKÁ, Eva; KAPRÁLEK, František. Biochemie a fyziologie buňky - 3.část: Energetický metabolismus. 2. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974. 82 s.

[17] Energetické krytí svalové práce, [online] [cit: 2020-10-26] dostupné z WWW: <<https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-3/04.html>>

[18] Intoxikace kyslíkem, [online] [cit: 2020-10-31] dostupné z WWW: <<http://www.stranypotapecske.cz/teorie/kysltox.asp?str=200410112143590>>

[19] THOMSON, L; PATON, J. Oxygen toxicity. Paediatr. Respir. Rev. 2014

[20] PACHER, P; Beckman JS; Liaudet L; Nitric oxide and peroxynitrite in health and disease. Physiol Rev. 2007, 87: 315-424. 10.1152/physrev.00029.2006.

[21] WOLFE, WG; Oxygen Toxicity, 203-217, Rev. 1975 [online] [cit: 2020-10-31] dostupné z WWW: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1396859/>>

[22] Oxygen toxicity - signs and symptoms, [online] [cit: 2020-10-31] dostupné z WWW: <<https://www.diverite.com/articles/oxygen-toxicity-signs-and-symptoms/>>

[23] PHYSIOL, J. - Lorrain Smith J. The influence of pathological conditions on active absorption of oxygen by the lungs. 1897–1898;22(4):307–18 [online] [cit: 2020-11-2] dostupné z WWW: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2397004/>>

[24] CRISTIANA, Filip; ALBU Elena. Reactive Oxygen Species (ROS) in Living Cells. IntechOpen, 2018. ISBN 978-1-78923-134-2.

[25] SLIMEN, I. B. et al. Reactive oxygen species, heat stress and oxidative-induced mitochondrial damage. A review. International Journal of Hyperthermia. Taylor & Francis Group, 2014, 30(7), 513-523. DOI: 10.3109/02656736.2014.971446. ISSN 1464-5157.

[26] KALOUSOVÁ, Marta. Patobiochemie ve schématech. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1522-8.

[27] TURRENS, Julio F. Mitochondrial formation of reactive oxygen species. The Journal of Physiology. Wiley, 2003, 552(2), 335-344. DOI: 10.1111/j.1469-7793.2003.00335.x. ISSN 0022-3751.

[28] ŠTÍPEK, Stanislav et al. Antioxidanty a volné radikály ve zdraví a nemoci. Praha: Grada Publishing, Avicenum, 2000. ISBN: 08-7169-704-4.

[29] NICKEL, Alexander; Michael KOHLHAAS; Christoph MAACK. Mitochondrial reactive oxygen species production and elimination. Journal of Molecular and Cellular Cardiology. 2014, 73, 26-33. DOI: 10.1016/j.yjmcc.2014.03.011. ISSN 0022-2828.

[30] Biochemie - vzdělávací portál. Dýchací řetězec. [online] [cit: 2020-11-7] Dostupné z WWW: <[http://www.studiumbiochemie.cz/dr2/Dychaci\\_retezec.pdf](http://www.studiumbiochemie.cz/dr2/Dychaci_retezec.pdf)>

[31] HALLIWELL, Barry; John M.C. GUTTERIDGE. Free Radicals in Biology and Medicine. 5th edition. New York: Oxford University Press, 2015. ISBN 978-0-19-871747-8.

[32] BOLISETTY, Subhashini; JAIMES A. Edgar. Settings Open Access Review Mitochondria and Reactive Oxygen Species: Physiology and Pathophysiology. International Journal of Molecular Sciences. 2013, 6306-6344. DOI: 10.3390/ijms14036306. ISSN 1422-0067.

[33] SU, Lian-Jiu, Jia-Hao ZHANG, Hernando GOMEZ, Raghavan MURUGAN, Xing HONG, Dongxue XU, Fan JIANG a Zhi-Yong PENG. Reactive Oxygen Species-Induced Lipid Peroxidation in Apoptosis, Autophagy, and Ferroptosis: Harmful and Beneficial Role of ROS 2019. Oxidative Medicine and Cellular Longevity [online] [cit. 2020-11-14]. Hindawi, 2019. ISSN 1942-0994. Dostupné z: <<https://www.hindawi.com/journals/omcl/2019/5080843/>>

[34] SILBERNAGL, Stefan; LANG, Florian. Atlas patofyziologie. 2. české vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3555-9.

[35] Koncentrátor kyslíku do auta (generátor O2) [online] [cit: 2020-11-15] Dostupné z WWW: <<https://www.szo.cz/cs/lekarske-pristroje/?koncentrator-kysliku-do-auta-o2konc3>>

[36] Jak si vybrat domácí kyslíkový přístroj [online] [cit: 2020-11-15] Dostupné z WWW: <<https://tualmed.cz/blog/ako-vybrat-domaci-kyslikovy-pristroj>>

[37] Portable oxygen concentrator [online] [cit: 2020-11-15] Dostupné z WWW: <<https://www.philips.cz/healthcare/product/HC1069058/simplygo-portable-oxygen-concentrator/dokumentace>>

[38] Jak vybrat správný elektrický koncentrátor kyslíku [online] [cit: 2020-11-15] Dostupné z WWW: <[http://www.linde-healthcare.cz/cs/images/Jak%20vybrat%20spravny%20KK\\_2017%2002%2015\\_tm88-398352.pdf](http://www.linde-healthcare.cz/cs/images/Jak%20vybrat%20spravny%20KK_2017%2002%2015_tm88-398352.pdf)>

[39] Drive DeVilbiss HealthCare [online] [cit: 2020-11-21] Dostupné z WWW: <<https://www.drivedevilbiss-int.com/products/respiratory/oxygen-therapy/212/igo2>>

[40] Medical Quingao Kingon [online] [cit: 2020-11-21] Dostupné z WWW: <[http://kingonmed.com/en/Products/Portable\\_oxygen\\_concentrator/](http://kingonmed.com/en/Products/Portable_oxygen_concentrator/)>

[41] SCOTT, Jonathan L.; KRAEMER, David G.; KELLER J. Randal J. Occupational hazards of carbon dioxide exposure. Journal of Chemical Health and Safety 44 s., 18 - 22 s. ISSN 1871-5532.

[42] ZIKÁN, Zdeněk. Oxid uhličitý - utajený nepřítel. TZB – info.cz [online] [cit: 2020-11-22] Dostupné z WWW: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/7132-oxid-uhlicity-utajeny-nepritel>>

[43] SZÉKYOVÁ, Marta; FERSTL, Karol; NOVÝ Richard. Větrání a klimatizace. Bratislava: Jaga 2006- ISBN 80-807-6037-3.



## 9. Seznam obrázků

Obr. 1 Kyslíkové zásoby v organismu <sup>6</sup> .....	6
Obr. 2 Zvětšení objemu hrudní dutiny při vdechu v důsledku kontrakce bránice <sup>5</sup> ..	6
Obr. 3 Respirační centrum uložené v prodloužené míše <sup>9</sup> .....	8
Obr. 4 Parciální tlak kyslíku v jednotlivých místech <sup>5</sup> .....	9
Obr. 5 Vzdálenost mezi kapiláry <sup>14</sup> .....	13
Obr. 6 Závislost arteriálního tlaku CO <sub>2</sub> a pH – hyperkapnie <sup>5</sup> .....	15
Obr. 7 Vliv teploty tělesného jádra na spotřebu kyslíku organismem <sup>15</sup> .....	17
Obr. 8 Oxidativní systém <sup>17</sup> .....	19
Obr. 9 Reakce peroxynitritu při hyperoxii <sup>20</sup> .....	20
Obr. 10 Závislost parciálního tlaku na době expozice kyslíkem <sup>22</sup> .....	22
Obr. 11 Elektronová redukce kyslíku a vznik ROS <sup>26</sup> .....	24
Obr. 12 Schéma reakcí dýchacího řetězce <sup>30</sup> .....	26
Obr. 13 Vznik a účinky oxidačního stresu <sup>34</sup> .....	28
Obr. 14 Kyslíkový koncentrátor pro mobilní použití <sup>37</sup> .....	29
Obr. 15 Ovládání mobilního kyslíkového koncentrátoru <sup>37</sup> .....	31
Obr. 16 Možnost umístění v motorovém prostoru (vlastní zpracování) .....	35
Obr. 17 Možnost umístění v kufrovém prostoru (vlastní zpracování) .....	35
Obr. 18 Běžná cirkulace – Škoda Scala .....	37
Obr. 19 Bez klima + střední výkon ventilace – Škoda Scala .....	38
Obr. 20 Aut. klima + vnitřní recirkulace – Škoda Scala.....	39
Obr. 21 Vnitřní recirkulace + střední výkon – Škoda Scala .....	40
Obr. 22 Běžná cirkulace – Mazda 3 .....	41
Obr. 23 Bez klima + střední výkon ventilace – Mazda 3.....	42
Obr. 24 Aut. klima + vnitřní recirkulace – Mazda 3 .....	43
Obr. 25 Vnitřní recirkulace + střední výkon – Mazda 3.....	44
Obr. 26 Běžná cirkulace – Ford Mondeo .....	45

Obr. 27 Bez klima + střední výkon ventilace – Ford Mondeo .....	46
Obr. 28 Aut. klima + vnitřní recirkulace – Ford Mondeo .....	47
Obr. 29 Vnitřní recirkulace + střední výkon – Ford Mondeo .....	48
Obr. 30 Běžná cirkulace – BMW 663c.....	49
Obr. 31 Bez klima + střední výkon ventilace – BMW 663c.....	50
Obr. 32 Aut. Klima + vnitřní recirkulace – BMW 663c.....	51
Obr. 33 Vnitřní recirkulace + střední výkon – BMW 663c.....	52

## 10. Seznam tabulek

Tab. 1 Složení ovzduší zemské atmosféry <sup>3</sup> .....	5
Tab. 2 Účinky CO <sub>2</sub> na lidský organismus <sup>42</sup> .....	15
Tab. 3 Reaktivní formy kyslíku <sup>26</sup> .....	24
Tab. 4 Multikriteriální analýza – kyslíkové koncentrátoary .....	56

# 11. Seznam příloh

Příloha 1 Protokoly z provedených měření.....	68
---	----

# Příloha 1

## Protokoly z provedených měření

### Rozbor měření – Škoda Scala

		Datum:	12.11.2020	
		Počasí:	Oblačno	
		Řidič:	J. Mantlík	
		Spolujezdec:	M. Soukup	
<b>Informace o vozidle</b>				
	SPZ:	8AA 8424		
	Značka:	Škoda SCALA		
	Rok výroby:	2019		
	Typ karoserie:	Sport - Hatchback		
<b>Informace o měření</b>				
<b>Začátek měření</b>				
	Začátek měření	11:20	[hh:mm]	
	Vnější teplota vzduchu	6	[°C]	
	Vnější vlhkost vzduchu	84	[%]	
	Teplota vzduchu v kabině	21	[°C]	
	Vlhkost vzduchu v kabině	36,1	[%]	
<b>Konec měření</b>				
	Konec měření	14:06	[hh:mm]	
	Vnější teplota vzduchu	6	[°C]	
	Vnější vlhkost vzduchu	84	[%]	
	Teplota vzduchu v kabině	21	[°C]	
	Vlhkost vzduchu v kabině	34,6	[%]	
	Běžná cirkulace 21-22 °C	Bez klima + střední výkon ventilace	Aut. Klima + vnitřní recirkulace	Vnitřní recirkulace + střední výkon
min O <sub>2</sub> [%]	20,3	20,2	20	20,3
max O <sub>2</sub> [%]	21	20,8	21	20,9
min CO <sub>2</sub> [ppm]	689	582	720	1810
max CO <sub>2</sub> [ppm]	2506	698	1697	5350
min rH [%]	29,8	28,3	28,8	27,7
max rH [%]	47,1	34,2	35,9	36,5

Rozbor měření – Mazda 3

		Datum:	28.11.2020	
		Počasí:	Oblačno	
		Řidič:	R. Lauve	
		Spolujezdec:	M. Soukup	
<b>Informace o vozidle</b>				
	SPZ:	5U3 3175		
	Značka:	Mazda 3		
	Rok výroby:	2004		
	Typ karoserie:	Hatchback		
<b>Informace o měření</b>				
<b>Začátek měření</b>				
	Začátek měření	11:11	[hh:mm]	
	Vnější teplota vzduchu	0	[°C]	
	Vnější vlhkost vzduchu	97	[%]	
	Teplota vzduchu v kabině	21	[°C]	
	Vlhkost vzduchu v kabině	37,1	[%]	
<b>Konec měření</b>				
	Konec měření	13:44	[hh:mm]	
	Vnější teplota vzduchu	1	[°C]	
	Vnější vlhkost vzduchu	90	[%]	
	Teplota vzduchu v kabině	21	[°C]	
	Vlhkost vzduchu v kabině	35,8	[%]	
	Běžná cirkulace 21-22 °C	Bez klima + střední výkon ventilace	Aut. Klima + vnitřní recirkulace	Vnitřní recirkulace + střední výkon
min O <sub>2</sub> [%]	20	20	19,9	20,6
max O <sub>2</sub> [%]	20,9	20,9	20,8	20,9
min CO <sub>2</sub> [ppm]	668	604	621	1010
max CO <sub>2</sub> [ppm]	955	715	2717	2790
min rH [%]	26,5	24,7	27,4	29,2
max rH [%]	37,7	31,3	34,7	36

Rozbor měření – Ford Mondeo

		Datum:	22.12.2020	
		Počasí:	Děšť	
		Řidič:	J. Štamberk	
		Spolujezdec:	M. Soukup	
<b>Informace o vozidle</b>				
	SPZ:	3J5 3526		
	Značka:	Ford MONDEO		
	Rok výroby:	2009		
	Typ karoserie:	Liftback		
<b>Informace o měření</b>				
<b>Začátek měření</b>				
	Začátek měření	13:12	[hh:mm]	
	Vnější teplota vzduchu	9	[°C]	
	Vnější vlhkost vzduchu	90	[%]	
	Teplota vzduchu v kabině	22	[°C]	
	Vlhkost vzduchu v kabině	51,9	[%]	
<b>Konec měření</b>				
	Konec měření	15:46	[hh:mm]	
	Vnější teplota vzduchu	12	[°C]	
	Vnější vlhkost vzduchu	79	[%]	
	Teplota vzduchu v kabině	22	[°C]	
	Vlhkost vzduchu v kabině	47,6	[%]	
	Běžná cirkulace 21-22 °C	Bez klima + střední výkon ventilace	Aut. Klima + vnitřní recirkulace	Vnitřní recirkulace + střední výkon
min O <sub>2</sub> [%]	20,1	20	19,9	20,2
max O <sub>2</sub> [%]	20,9	20,9	20,6	20,7
min CO <sub>2</sub> [ppm]	751	621	648	1792
max CO <sub>2</sub> [ppm]	972	748	1826	2286
min rH [%]	37	32,6	32,9	36,2
max rH [%]	52,3	36,2	37,6	59,7

Rozbor měření – BMW 663c

		Datum:	02.02.2021	
		Počasí:	Oblačno	
		Řidič:	D. Hořejší	
		Spolujezdec:	M. Soukup	
<b>Informace o vozidle</b>				
	SPZ:	5AI 3153		
	Značka:	BMW 663c		
	Rok výroby:	2005		
	Typ karoserie:	Coupé		
<b>Informace o měření</b>				
<b>Začátek měření</b>				
	Začátek měření	13:58	[hh:mm]	
	Vnější teplota vzduchu	6	[°C]	
	Vnější vlhkost vzduchu	77	[%]	
	Teplota vzduchu v kabině	21	[°C]	
	Vlhkost vzduchu v kabině	30,9	[%]	
<b>Konec měření</b>				
	Konec měření	16:48	[hh:mm]	
	Vnější teplota vzduchu	6	[°C]	
	Vnější vlhkost vzduchu	73	[%]	
	Teplota vzduchu v kabině	21	[°C]	
	Vlhkost vzduchu v kabině	29	[%]	
	Běžná cirkulace 21-22 °C	Bez klima + střední výkon ventilace	Aut. Klima + vnitřní recirkulace	Vnitřní recirkulace + střední výkon
min O <sub>2</sub> [%]	20,2	20,2	20	19,7
max O <sub>2</sub> [%]	20,9	21	20,7	20,3
min CO <sub>2</sub> [ppm]	743	584	641	642
max CO <sub>2</sub> [ppm]	1192	809	757	808
min rH [%]	27,1	22,4	22,3	24,1
max rH [%]	36,4	27,5	25,6	30,8