

Klimatická komora – unikátní zdravotnické zařízení pro testování fyziologické reakce organismu na tepelnou zátěž

Lehocká H.^{1,2,3}, Jiráček Z.^{1,2} Malý S.⁴

¹ Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, Centrum pracovního lékařství

² Ostravská univerzita, Zdravotně sociální fakulta

³ Univerzita Palackého v Olomouci, Lékařská fakulta

⁴ Výzkumný ústav bezpečnosti práce Praha

Klíčová slova: klimatická komora, tepelná zátěž, legislativa, ochranné oděvy, stereoteploměr

Ojedinělým zdravotnickým zařízením disponuje Centrum pracovního lékařství (CPL) Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. Tamní klimatická komora nabízí možnosti testování reakce lidského organismu na zvýšenou zátěž v extrémních tepelných a vlhkostních podmínkách. Odezvu regulačních center a zejména kardiopulmonálního systému na zvýšenou pracovní tepelně-vlhkostní zátěž umožňuje komora kontinuálně monitorovat za přesně definovaných podmínek. Na základě epidemiologické analýzy získaných dat v těchto simulovaných podmínkách je možné se značnou přesností provést odhad zdravotních dopadů pracovní-tepelné zátěže ve vybraných profesích (hasiči, důlní záchranáři apod.).

Klimatická komora byla vybudována v rámci Národní referenční laboratoře pro měření a hodnocení mikroklimatických podmínek v dolech a hutích na tehdejší Krajské hygienické stanici v Ostravě počátkem sedmdesátých let minulého století. Jednalo se tehdy o unikátní zařízení v bývalém Československu. Komora umožňovala v širokém rozmezí regulovat teplotu vzduchu, relativní vlhkost, rychlost proudění vzduchu i sálání okolních ploch, takže bylo možné modelovat tepelně-vlhkostní podmínky, kterým jsou vystaveni pracovníci v konkrétních podmínkách, např. v dolech nebo hutích. Testování může probíhat v rozmezích teplotním rozmezí +10 až +60°C, jednostranné osálení boční a horní dosahuje hodnot až 200 W/m². Vliv proudění vzduchu může být testován v rozmezí 0,2 až 1,5 m.s⁻². Komora umožňuje současné chlazení bočních stěn.

V rámci několika výzkumných projektů zde proběhla celá řada vyšetření, jejichž výsledky byly využity pro vypracování podkladů pro legislativní opatření upravujících požadavky na mikroklimatické podmínky a režimová opatření jak v běžných průmyslových podmínkách, tak při práci v extrémních situacích, např. práce v ochranných oděvech, práce hasičů, důlních záchranářů a podobně. Pracovníci laboratoře publikovali výsledky své práce v domácím i zahraničním odborném tisku a jejich zkušenosti našly uplatnění i v zahraničí, např. v rámci projektu Interkosmos.

V posledních letech prošla klimatická komora radikální rekonstrukcí. Byla vybavena moderní automatickou regulací nastavených tepelně-vlhkostních parametrů a rozšířily se i možnosti v modelování tepelně vlhkostních podmínek. V současné době se připravuje rozsáhlý výzkum, jehož cílem je vypracovat podklady pro novelu mikroklimatické části Nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zaměstnanců při práci, v platném znění. Výzkum má připravit podklady pro nový způsob hodnocení nerovnoměrné tepelné zátěže tzv. diferencí stereoteploť, měřenou nově vyvinutým stereoteploměrem, na

jehož vývoji se podíleli pracovníci Vysokého učení technického v Praze, Zdravotně sociální fakulty Ostravské univerzity v Ostravě a českých firem.

Jednostranná tepelná zátěž lidského organismu teplem a chladem je problém, se kterým se zatím nedostatečně vyrovnávají i standardy ISO. Řešení tohoto problému může přinést hodnocení jednostranného osálení diferencí stereoteplot, kterou lze stanovit stereoteploměrem vyráběným českou firmou. Přístroj umožňuje vyhodnotit směrové působení sálání a proudění a jeho nerovnoměrností v prostoru, což vysoce ovlivňuje tepelnou pohodu člověka a nepřímo i jeho pracovní výkonnost. Tento přístroj bere v úvahu nejen tepelnou radiaci, ale i konvekci a je, pokud se týká výsledné teploty, plně kompatibilní se špičkovými zahraničními přístroji.

Klimatická komora dále umožňuje testování tepelně izolačních vlastností ochranných oděvů, a to jak před účinky sálavého tepla, tak i před účinky chladu. Spolupráce s firmami, zabývajícími se výrobou ochranných oděvů, tak může přinášet vývoj nových, např. lehčích textilních materiálů s vhodnými tepelně izolačními vlastnostmi pro řadu odvětví výrobní i nevýrobní povahy (doly, hutě, záchranáři, hasiči, pracovníci operačních sálů atd.)

Hmatatelným výsledkem práce odborníků centra pracovního lékařství Zdravotního ústavu je řada přijatých legislativních návrhů k problematice pracovní-tepelné zátěže, zveřejněná v prováděcích předpisech k Zákonu č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a k novele zákoníku práce (zákon č. 155/2000 Sb.)

Vývojem nových metodik, konzultační a poradenskou činností je Ministerstvem zdravotnictví ČR pověřena Národní referenční laboratoř pro měření a hodnocení mikroklimatických podmínek v dolech a hutích, jež je součástí tohoto pracoviště.

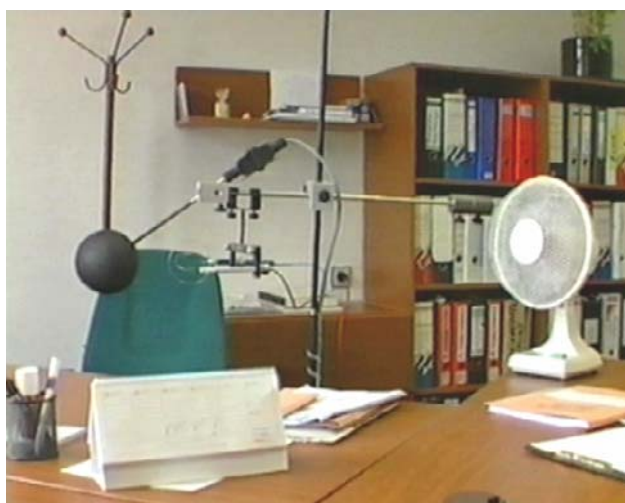
Dále je nutné vyzvednout edukační význam tohoto pracoviště, jež se významnou měrou podílí na výuce studentů Zdravotně sociální fakulty Ostravské univerzity pro oblast preventivní medicíny.

Bližší údaje, nabídky a kontakt na www.zuova.cz.

Obr.1: Zkouška v klimatické komoře



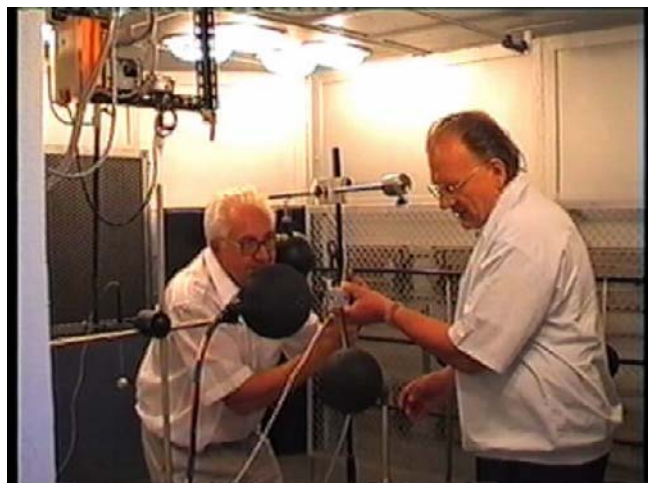
Obr.2: Testování stereoteploměru Jokl - Jirák



Obr. 3: Technické zařízení klimatické komory



Obr. 4: Spolupráce s vysokým učením technickým v Praze a českými firmami na vývoji nového stereoteploměru



Obr.6: Příklad přijatého legislativního návrhu – Nařízení vlády č. 178/2001 Sb. – část mikroklima

Tabulka č. 5a: Dlouhodobě a krátkodobě únosná doba práce - aklimatizovaní mužiPodmínky: $v = 0,1 \text{ m.s}^{-1}$, $t_g \geq t_a$, $rh < 70 \%$, $0,64 \text{ clo}$

t_g (°C)	Třída práce W.m ⁻² brutto	Doba práce podle celkového energetického brutto výdeje (W.m ⁻²)							
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IV	V	VI
20	sm	480	480	480	480	403	323	232	188
	max	480	480	480	480	403	323	151	47
22	sm	480	480	480	480	403	323	218	179
	max	480	480	480	480	403	323	87	38
24	sm	480	480	480	480	403	282	207	171
	max	480	480	480	480	403	282	61	32
26	sm	480	480	480	480	403	245	196	163
	max	480	480	480	480	403	157	47	27
28	sm	480	480	480	480	352	230	186	156
	max	480	480	480	480	352	83	37	24
30	sm	480	480	480	468	280	217	177	150
	max	480	480	480	468	280	56	30	21
32	sm	480	480	480	348	262	205	169	144
	max	480	480	480	348	111	41	25	18
34	sm	480	480	392	308	245	195	161	138
	max	480	480	392	151	59	31	21	16
36	sm	385	433	351	287	230	185	154	132
	max	385	433	130	66	38	24	17	14
38	sm	274	395	324	268	217	176	148	127
	max	274	106	63	42	28	20	15	12
40	sm	247	362	301	251	205	168	142	123
	max	90	56	40	30	22	16	13	11
42	sm	226	335	281	236	194	160	136	118
	max	52	38	30	23	18	14	11	10
44	sm	207	311	263	223	185	153	131	114
	max	36	28	23	19	15	12	10	9
46	sm	191	290	248	211	176	147	126	110
	max	27	22	19	16	13	11	9	8
48	sm	178	272	233	200	168	140	121	106
	max	22	18	16	13	11	9	8	7
50	sm	166	256	221	190	160	135	117	103
	max	20	17	15	13	11	9	8	7

Experimenty v klimatické komoře Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě – Spolupráce s VÚBP Praha

V říjnu 2005 byly ve spolupráci s VÚBP Praha, ČSAV, VŠB TU, ZSF OU a Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě zahájeny experimenty v klimatické komoře Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. Projekt byl financován VÚBP Praha.

Komora má vnitřní prostor 2 x 3m. Umožňuje nastavení laminárního proudění vzduchu v rozsahu 0,3 až 2 m/s, teploty vzduchu v rozsahu 0 až 60 stupňů C, intenzity jednostranného sálání v širokém rozsahu s maximem 200 W/m² a relativní vlhkosti vzduchu v závislosti na teplotě v rozsahu 30 až 90 %.

Plánované experimenty sledují tři hlediska:

1. Fyzikální:

Stanovení vzájemných ekvivalentů diferencí stereoteplot a radiačních asymetrií v závislosti na hodnotách kodifikovaných v EU a stanovení vzájemných ekvivalentů diferencí stereoteplot a intenzit tepelné radiace v závislosti na hodnotách kodifikovaných v ČR. Pokusy budou probíhat při následujících kombinacích teploty vzduchu (T_a), proudění vzduchu (V) a radiační teploty (T_r)

T_a : 10 až 28 stupňů C

T_r : 20 až 60 stupňů C

v : 0,5, 1,0 a 1,5 m/s

Asymetrie radiační teploty a teploty vzduchu: 5, 10 a 20 stupňů C

Intenzita osálení: od negativních hodnot až po 200 W/m²

2. Fyziologické:

Stanovení přípustných hodnot diferencí stereoteplot na pokusných osobách (studenti Ostravské univerzity) při expozici subjektů jednak vertikální, jednak horizontální radiací při různých teplotách a rychlostech proudění vzduchu. Pokusy budou probíhat při následujících kombinacích teploty vzduchu, proudění vzduchu a radiační teploty:

T_a : 13 až 28 stupňů C

T_r : 20 až 60 stupňů C

Horizontální nerovnoměrnost radiační teploty a teploty vzduchu 5, 10 a 20 stupňů C

Vertikální nerovnoměrnost 5 až 10 stupňů C

Intenzita osálení hlavy do 200 W/m²

Relativní vlhkost 30 až 60 %

Poznámka: tepelně vlhkostní podmínky, za nichž budou pokusy prováděny odpovídají "přípustným" hodnotám dle nařízení vlády č. 178 v platném znění.

3. Mentální - modelování činnosti operátora

Činnost operátora lze modelovat pomocí úloh, které splňují následující podmínky:

- Musí být přístupné chybám, které je možno snadno registrovat.
- Nesmí trvat příliš dlouho, aby pozornost nebyla otupována prováděnou činností (únavou), která by mohla maskovat účinky exponované noxy
- Musí být pro zkoumané osoby zajímavá tak, aby se lidé snažili podávat možný nejlepší výkon
- Činnost musí být snadno nacvičitelná, aby při experimentu nedocházelo k zlepšení výkonu vlivem nácviku, což by mohlo znesnadnit interpretaci výsledků jako účinku chemické noxy

Těmto podmínkám vyhovují dvě úlohy formou počítačových her a sice "Šipky" a "Had", jejichž výsledky jsou kritériem chybování člověka pod výše uvedenými mikroklimatickými podmínkami.

Cíl experimentu v části mentální

Zjistit, zda a jak ovlivňuje expozice sálavého tepla výkon v činnostech, které vyžadují pohotové a správné reakce na vnější podněty. Tyto činnosti budou modelovány pomocí testů, prováděným na počítači a doprovázených vyjádřením vyšetřovaných osob o vlastním subjektivním stavu.

Experimentální podmínky

Podmínky jsou vytvářeny kombinací nerovnoměrného rozložení tepla na různé části těla zkoumaných osob spolu s charakteristikami laminárního proudění vzduchu. Bude vyšetřováno celkem 8 experimentálních podmínek, spolu se základní podmínkou, tj. neutrálním prostředím to činí celkem 9 podmínek.

Místo vyšetřování, časový plán

Experimentální podmínky jsou modelovány v klimatické komoře Zdravotního ústavu v Ostravě. Zahájení: říjen 2005. Experimenty probíhají podle časového plánu, který je rozvržen na několik etap. V etapě I, která proběhne ve 4. čtvrtletí 2005, se předpokládá vyšetření všech v.o. v základní podmínce (neutrální prostředí). Etapa II. Bude probíhat po celý rok 2006, předpokládá se vyšetření 3-4 podmínek, v etapě III (v r. 2007) se předpokládá vyšetření dalších 3-4 podmínek, v etapě IV (v r. 2008) se předpokládá vyšetření zbylých podmínek a dokončení výpadků vzniklých předpokládaným úbytkem v.o. v tak dlouhém časovém období

Vyšetřované osoby (v.o.)

Posluchači Vysoké školy báňské v Ostravě, celkem 20 osob (10 mužů a 10 žen). Rezervu tvoří dalších 10 osob, celkový počet v.o. bude tedy 20-30. Jde o skupinu s homogenním věkem (20-25 let) a homogenním vzděláním. Každá v.o. bude předem seznámena s průběhem pokusu formou písemného informovaného souhlasu.

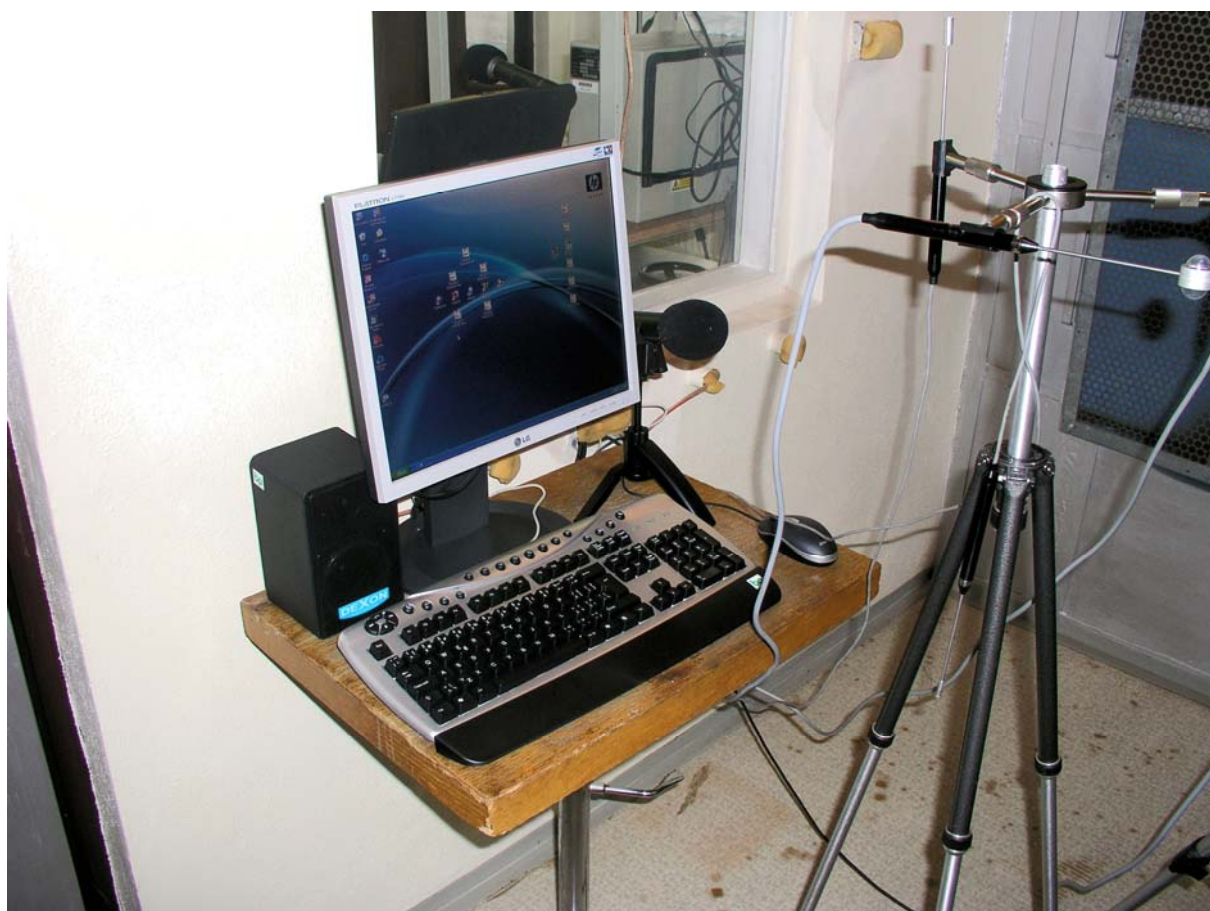
Design experimentu: kontrola chyb měření

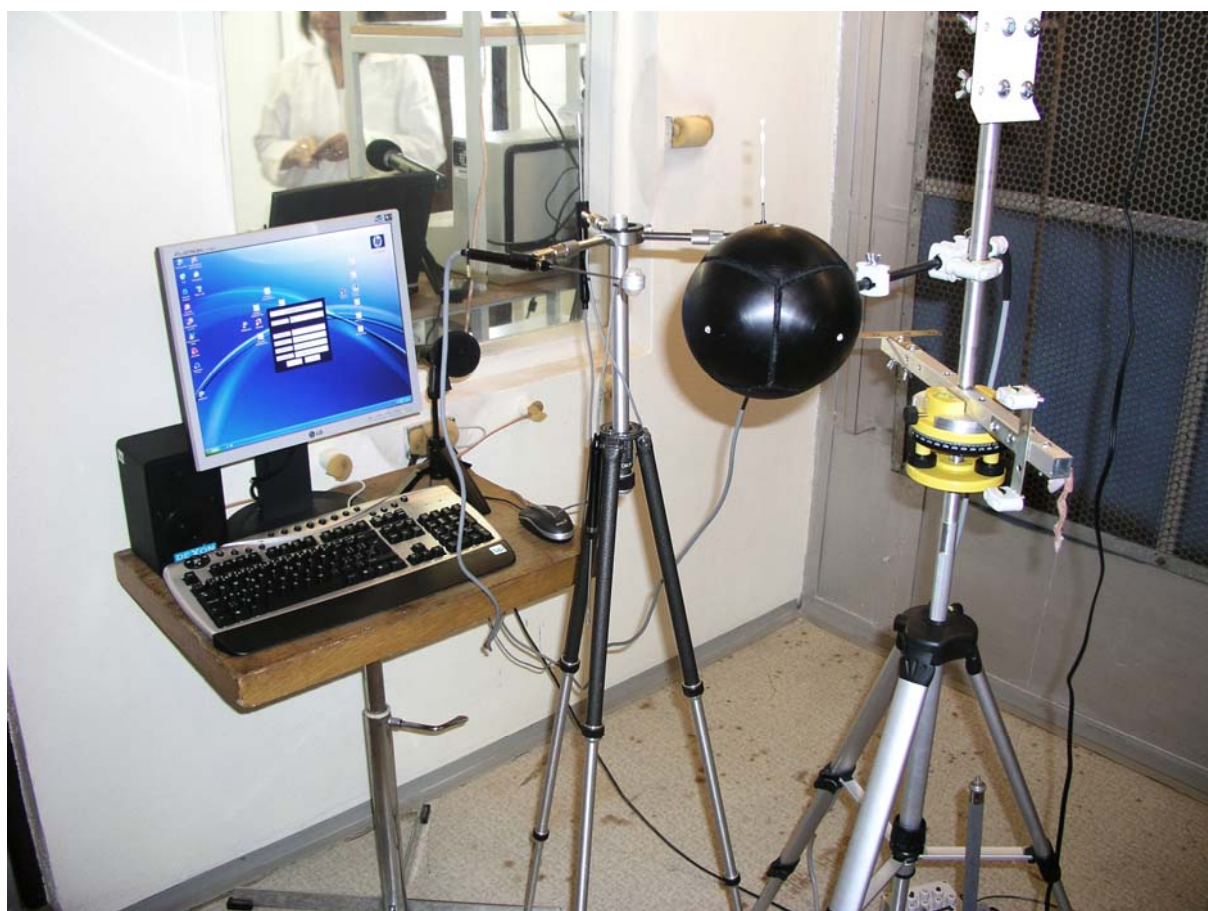
Každá v.o. bude testována ve všech podmínkách.

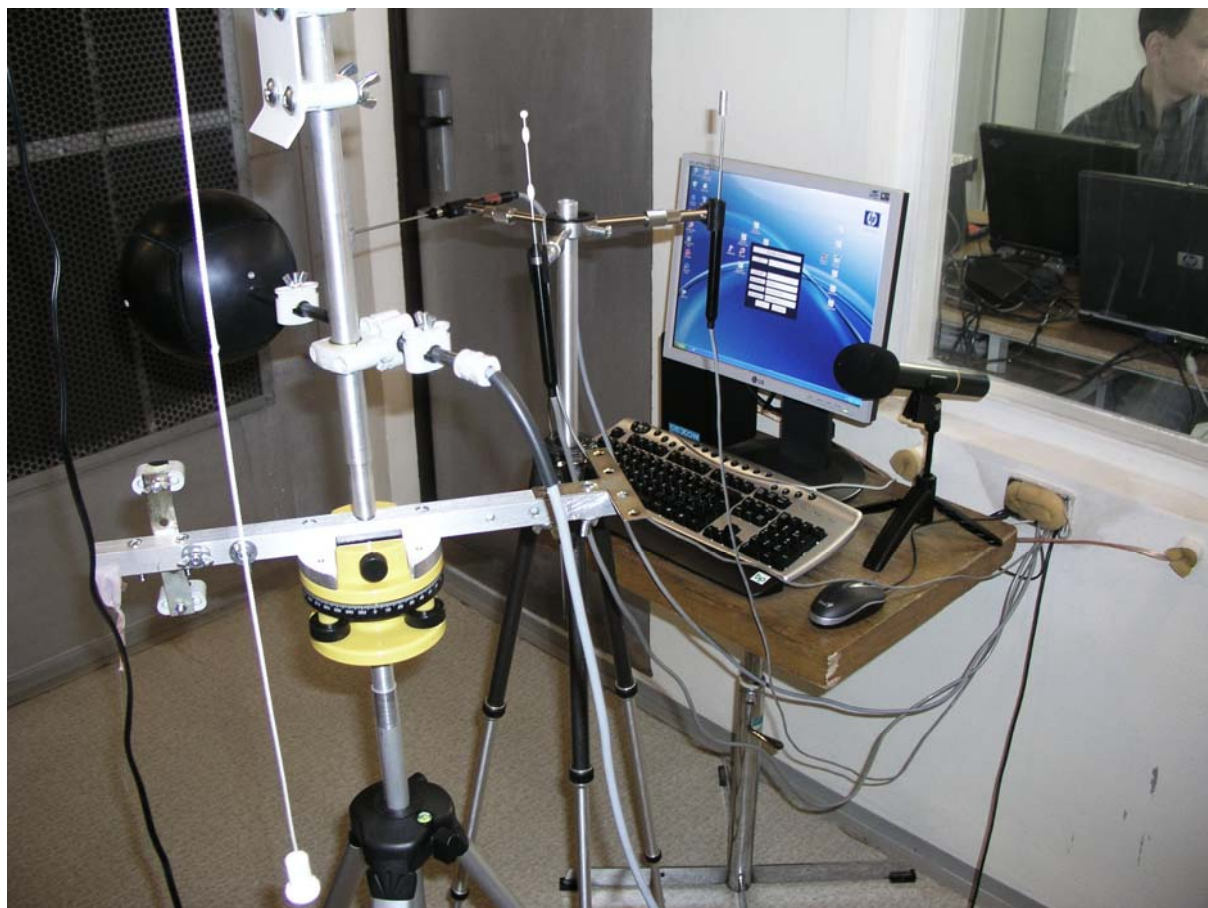
Faktory, které mohou vést k chybám měření, tj. zkreslit výsledky v testech (confounders):

Dále jsou uvedeny fotografie z experimentů v mikroklimatické komoře

















Literatura:

1. Nařízení vlády č. 178/2001 Sb. v platném znění
2. Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v platném znění
3. Zákon č. 65/1965 Sb. (zákoník práce) ve znění zákona č. 155/2000 Sb. a ve znění pozdějších zákonů
4. JIRÁK, Z., JOKL, M., ŠTVERÁK, J., PECHLÁT, R., COUFALOVÁ, H.: Correction factors in skin temperature measurement. *J. Appl. Physiol.*, 38, 1975, 4, s. 752-755.
5. JIRÁK, Z., ZLÁMAL, J.: K otázce maximálně přípustné doby práce v horku. *Pracov. Lék.*, 30, 1978, 10, s. 361-370.
6. JIRÁK, Z., LOJOVÁ, E.: Výsledky vyšetření fyzické zdatnosti důlních záchranářů a pracovní zátěž záchranářů v akci za modelových podmínek. *Pracov. Lék.*, 31, 1979, 2, s. 43-48.
7. JIRÁK, Z.: Reakce kardiopulmonálního systému při práci v nepříznivých mikroklimatických podmínkách. *Pracov. Lék.*, 31, 1979, 3, s. 90-92.
8. JIRÁK, Z., COUFALOVÁ, H., CHUDÁČKOVÁ, E.: Dlouhodobě a krátkodobě únosné pracovní klimatické podmínky důlních záchranářů. *Pracov. Lék.*, 42, 1990, 10, p. 444-453
9. JIRÁK, Z., JOKL, M., JIRÁKOVÁ, H.: Ověření predikční metody stanovení dlouhodobě a krátkodobě únosné doby práce podle ISO 7933: 1989(E) a návrh kritérií pro hodnocení dlouhodobě a krátkodobě únosných mikroklimatických podmínek. *Pracov. Lék.*, 47, 1995, 4, s. 147-152.

10. JIRÁK, Z., LVONČÍK, S., TOMÁŠKOVÁ, H.: Možnosti predikce tepelné zátěže a reakce organismu v průběhu zásahu pomocí výpočetního programu. SPBI Spektrum, zima 1997, s. 10-15.
11. JIRÁK, Z., JOKL, M.V., JIRÁKOVÁ, H., BAJGAR, P.: Long-term and short-term tolerable work-time in a hot environment: the limit values verification. Int.J. Environmental Health Research, 7, 33-46, 1997.
12. JIRÁK, Z., JOKL, M.V., JIRÁKOVÁ, H., BAJGAR, P.: The Assessment Proposal for Long-Term and Short-Term Tolerable Hygrothermal Microclimatic Conditions. Physiol.Res. 46: 307-317, 1997.
13. JIRÁK, Z., CHALOUPKA, J., LVONČÍK, S.: Zátěž hasičů a režim práce a odpočinku při ostrých zásazích. České pracovní lékařství, 3, 2002, No. 3, s. 118-122
14. JIRÁK, Z., ŠIMÍČEK J., TOMÁŠKOVÁ, H.: Fyzická zdatnost a zdravotní stav hasičského dorostu. České pracovní lékařství, 3, 2002, No. 4, s. 170-175
15. CHALOUPKA, J., JIRÁK, Z., LVONČÍK, S.: Návrh kritérií pro jednotný postup při lékařském posuzování zdravotní způsobilosti k výkonu povolání a poskytování závodní preventivní péče příslušníkům Hasičského záchranného sboru ČR. České pracovní lékařství, 4, 2002, No. 4, s. 180-184
16. JOKL, M., JIRÁK, Z.: Optimální a přípustné tepelně vlhkostní podmínky na pracovištích a v obytných interiérech budov. Sborník, Problémy technické normalizace a novelizace NV č. 178/2001 Sb. OS-04 Obytné prostředí Společnost pro techniku prostředí, Praha 21.11.2002.
17. JIRÁK, Z., JOKL, M., TOMÁŠKOVÁ, H.: Krátkodobě a dlouhodobě únosná tepelná zátěž – její měření a hodnocení. Sborník, Problémy technické normalizace a novelizace NV č. 178/2001 Sb. OS-04 Obytné prostředí Společnost pro techniku prostředí, Praha 21.11.2002.
18. JIRÁK, Z.: Tepelná a chladová zátěž zaměstnanců supermarketů. Sborník, Problémy technické normalizace a novelizace NV č. 178/2001 Sb. OS-04 Obytné prostředí Společnost pro techniku prostředí, Praha 21.11.2002.
19. JIRÁK, Z., CHALOUPKA, J., LVONČÍK, S.: Návrh kritérií pro začleňování hasičů z hlediska fyzické zdatnosti a tepelné odolnosti. České pracovní lékařství, 4, 2003,1, s. 15-17