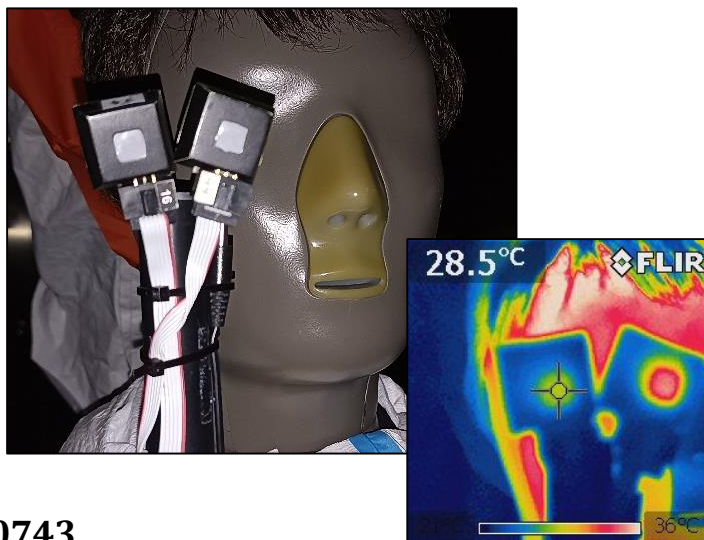


INTEGROVANÝ SENZOR TEPELNÉHO POCITU

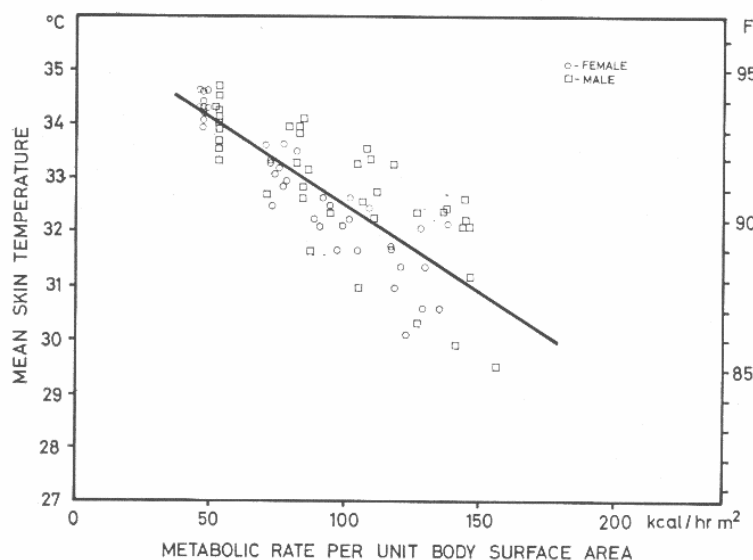


Apollo ID: 180743
Datum: 31. 10. 2022
Typ projektu: G – funkční vzorek
Autoři: FIŠER, J.; POKORNÝ, J.

Technický popis

Jedná se o vyhřívaný plošný senzor měřící tepelné toky (radiací a konvekcí), které lze přepočítat na směrovou teq. Senzor není pouhým čidlem, ale obsahuje kromě čidla i řídicí elektroniku a procesor, který zajišťuje řízení aktivních prvků senzoru a digitalizaci signálu. Senzor je napojen na digitální sběrnici (standard RS485), předává data a přijímá kontrolní údaje od nadřízeného měřicího systému. Senzor je možné přepnout do regulačního režimu CST, CHF a COF pro měření ekvivalentní teploty. Posledně jmenovaný režim COF umožňuje řídit povrchovou teplotu tak, jak by reagovala lidská pokožka na změny tepelného toku z povrchu pokožky do okolí. Čili, při zvyšování tepelného toku povrchová teplota klesá a při snižování roste s mezemi, nejnižší teplota je rovna teplotě okolí, nejvyšší je rovna teplotě 37 °C. Tento režim se nazývá Regulace na adaptivní povrchovou teplotu.

Regulace na adaptabilní povrchovou teplotu – měřicí systém udržuje povrchovou teplotu na úrovni, odpovídající povrchové teplotě lidského těla při určitém metabolickém výdeji a zachování tepelného komfortu. Vztah mezi tepelným tokem a povrchovou teplotou byl odvozen z experimentů s pokusnými osobami, které provedl O. Fanger [249] a je vyjádřen regresní funkcí grafu na *Obr. 1*.



Obr. 1 – Průměrná povrchová teplota lidské kůže při zachování tepelného komfortu, jako funkce metabolické produkce člověka. Přepočtový koeficient z jednotky kcal/hrm² na W/m² je 1.16. Převzato z O. Fanger 1970.

Při vyšší metabolické zátěži je nezbytné pro zachování tepelné bilance a transport tepla z jádra těla dosáhnout vyššího teplotního spádu mezi jádrem a pokožkou, což se projevuje jako požadavek na nižší teplotu pokožky. Tato nižší teplota pokožky však odpovídá tepelné neutralitě pouze pro osobu v tepelné rovnováze s okolím dosažené díky zvýšené úrovni metabolické aktivity. Jinými slovy, tato metoda vždy určuje ekvivalentní teplotu za podmínek tepelné neutrality pro danou aktivitu (úroveň metabolické produkce).

Regulace s komfortním vyrovnáváním povrchové teploty

Je experimentální algoritmus odvozený z pozorování a poznatků experimentů Laboratoře tepelného managementu (FSI, VUT v Brně), které provedli a analyzovali J. Fišer a J. Pokorný v letech 2012 až 2021. Algoritmus spočívá v adaptivní kontrole povrchové teploty senzoru $t_{surf,PF}$ s lokálními setpointy pro odlišné části těla (hlava + obličej, hrudník, záda, paže, dlaně, dolní končetiny a chodidla). Cílem postupu je přiblížit se reakci povrchu reálného lidského těla a jeho termofyziologie na tepelný stav okolního prostředí hlavně pak v chladných a studených podmínkách. Postup také zohledňuje imitaci termoregulace měřícím systémem a například nemožnost aktivního ochlazování pocením, nemožnost napodobení vazokonstrikce atd. Teplota povrchu se nastavuje v iteračním procesu, takže rychlost odpovědi senzoru na skokovou změnu je pomalejší než u ostatních metod. Ekvivalentní teplota se určuje dle rovnice (2).

$$t_{surf,PF} = t_{CST,PF} - 0.054 \cdot \dot{Q}_{RC} \quad (1)$$

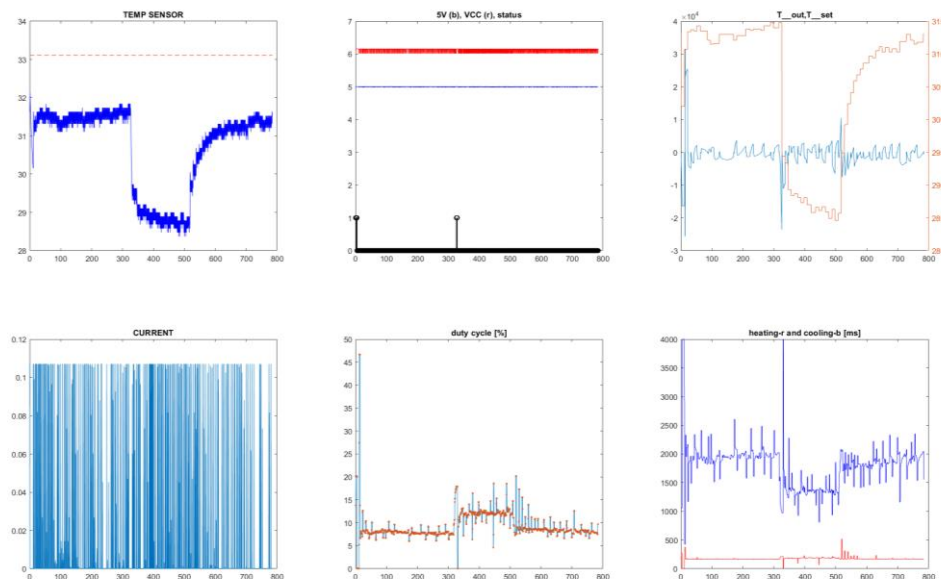
$$t_{eq} = t_{CST,PF} - \frac{\dot{Q}_{RC}}{h_{cal}} \quad (2)$$

Povrchové teploty $t_{CST,PF}$ odpovídají povrchovým teplotám pro metodu CST dle A. Melikova 1999 upravených na ofset při metabolismu 1 met .

Základní technické parametry

Kontrolní módy senzoru

- CST – regulační mód konstantní povrchová teplota, který udržuje konstantní povrchovou teplotu senzoru při změně tepelného toku. Senzor zasílá informaci o tepelném toku nutném k udržení nastavené povrchové teploty.
- CHF – regulační mód konstantní tepelný tok, který udržuje konstantní tepelný tok produkovaný vyhřívacím elementem senzoru, což má za následek ustálení povrchovou teplotu senzoru odpovídající míře ochlazování senzoru okolím. Senzor zasílá informaci o povrchové teplotě aktivní části senzoru.
- COF – regulační mód s komfortním vyrovnáváním povrchové teploty reguluje povrchovou teplotu tak, aby imitovala povrchovou teplotu reálného člověka při podmínkách okolí, které z povrchu člověka odvádí daný tepelný tok. Senzor zasílá informaci o povrchové teplotě aktivní části senzoru, aplikovaném tepelném toku a další informace ohledně stability regulace. Příklad regulace a průběhu signálů je uveden na Obr. 2.



Obr. 2 – Ukázka vnitřních signálů regulace senzoru při využití regulačního módu COF.

Způsob realizace

Vyroben funkční vzorek, na kterém jsou ověřovány regulační vlastnosti senzoru a přesnost shody predikce tepelného pocitu mezi senzorem a reálnými pokusnými osobami.

Výsledky zkoušek, použití

Funkční vzorek senzoru byl podroben testům v klimatické komoře VUT se zapojením tepelného manekýna Newtona a šesti pokusných osob. Všechny systémy a pokusné osoby byly vystaveny stejným podmínkám ($t = 20.6 \text{ }^\circ\text{C}$, $w = 0.9 \text{ m/s}$) a bylo stanoveno: 1) ekvivalentní teplota a predikce tepelného pocitu na obličeji pomocí senzorů a tepelného manekýna 2) střední tepelný pocit na obličeji pokusných osob. Výsledky testu jsou uvedeny na Obr. 4.

Vazba na projekt

TN01000026 - Josef Božek National Competence Center for Surface Transport Vehicles, DP 2, WP08, HVAC for Optimal Comfort in Vehicles

Technologická
agentura
České republiky

Evropská 1692/37, 160 00 Praha 6
+420 234 611 111
info@tacr.cz, www.tacr.cz

Umístění

Adresa: Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, Technická 2, Brno 616 69, budova D5, místnost 109 (klimakomora). Telefon: +420 54114 3242, E-mail: fiser@fme.vutbr.cz, pokorny.j@fme.vutbr.cz, IČO: 00216305

Licenční podmínky

Využití výsledku jiným subjektem je možné po uzavření licenční smlouvy.

Kontaktní osoba

doc. Ing. Jan Fišer, Ph.D., tel: +420 54114 3242, fiser@fme.vutbr.cz

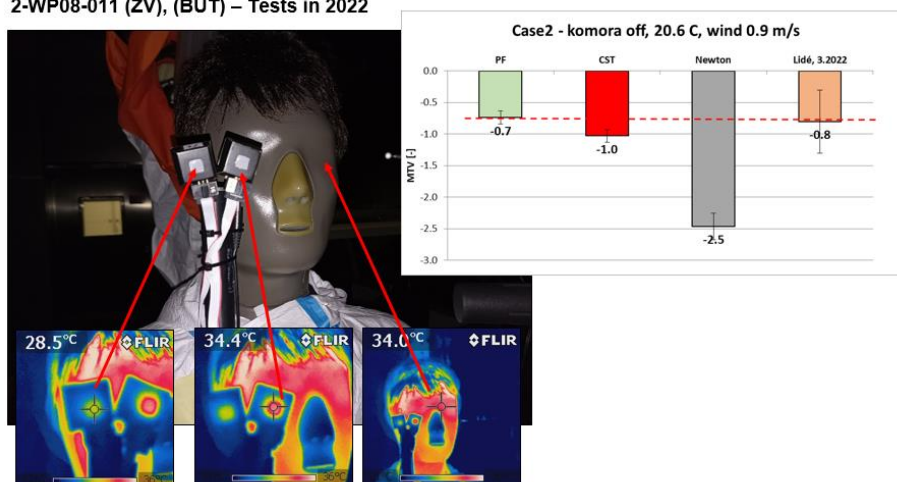
Ing. Jan Pokorný, Ph.D., tel.: +420 54114 3242, pokorny.j@fme.vutbr.cz

Fotografická dokumentace a výsledky testů



Obr. 3 – Funkční vzorek senzoru při testech v klimatické komoře.

2-WP08-011 (ZV), (BUT) – Tests in 2022



Obr. 4 – Ukázka výsledků ověřovacích testů a výsledků predikce tepelného pocitu určených pomocí senzoru, tepelného manekýna a pokusných osob.

Zdroje:

P. O. Fanger, *Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering*. Copenhagen, 1970.

A. K. Melikov and H. Zhou, "COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINING t_{eq} UNDER WELL-DEFINED CONDITIONS," in *Assessment of thermal climate in operator's cabs*, 1999, p. 94.

Prohlašuji, že popsaný výsledek naplňuje definici uvedenou v Příloze č. 1 Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje v roce 2021.

doc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.