

# Aplikace pro real-time vizualizaci ekvivalentní teploty a komfortu

(RAVEC – Real-time application to visualize equivalent temp. and comfort)

**Apollo ID:** 120048

**Datum:** 14.12.2015

**Typ projektu:** R – software

**Autoři:** FIŠER, J.; BASLER, O.; POKORNÝ, J.; POVALAČ, A.; URBANEC, T.

## Popis a využití programu (verze 1.0.7)

Real-time aplikace pro vizualizaci ekvivalentní teploty a komfortu (RAVEC) slouží k vyhodnocení **tepelného pocitu a komfortu** pomocí soustavy **senzorů ekvivalentní teploty**. Jedná se o aplikaci pro operační systém Android a je kompatibilní s běžně dostupnými tablety a mobilními telefony. Aplikace inovativním způsobem umožňuje podporu řízení klimatizačního systému v kabině automobilu, kdy namísto zadání požadované teploty lze zadat přímo požadovaný tepelný pocit a to jak celkový tak pro jednotlivé části viz obr. 1. Zároveň tato aplikace informuje o měřeném tepelném pocitu ve vozu v reálném čase, tj. lze ji použít i jako asistenční systém pro rozpoznání nevhodného mikroklimatu uvnitř vozu.



Obr. 1 - Aplikace RAVEC s vizualizací celkového ale i lokálního tepelného komfortu

## Instalace programu

RAVEC se instaluje obdobně jako běžná aplikace pro android. V systému musí být povolena instalace z anonymních zdrojů. Doporučená minimální velikost displaye je 8 palců.

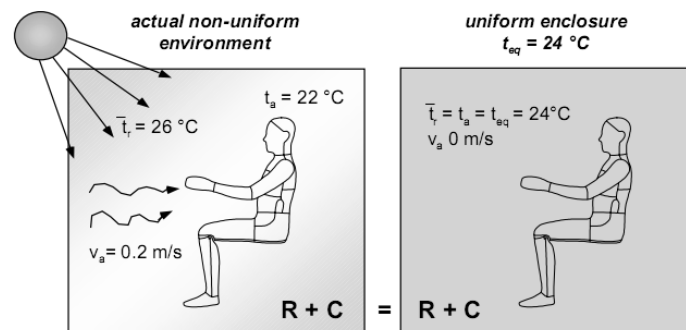
## Technické a programové požadavky

Tablet či mobilní telefon s operačním systémem **Android 5.0.1 a novější**. Aplikace vyžaduje připojení senzorů ekvivalentní teploty a systému pro bezdrátový přenos dat. V současné době je podporována pouze komunikace se senzory ekvivalentní teploty vyvinuté na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií při VUT v Brně. Obecně je ale aplikace

použitelná i pro jiné typy senzorů ekvivalentní teploty. Pokud není tablet spárován se systémem pro měření ekvivalentní teploty, přepne se aplikace do funkčního módu DEMO, kde je použito simulovaných dat. Regulační odchylky pro jednotlivé zóny a informace o nastavení jsou k dispozici v servisním rozhraní aplikace. Zpětný přenos dat do systémů vozu není řešen, neboť implementace se značně liší jak pro jednotlivé značky tak i modelové řady vozů.

## Popis algoritmu

Algoritmus vyhodnocení komfortu vychází z normy **ČSN ISO 14505-2** „Ergonomie tepelného prostředí – Hodnocení tepelného prostředí ve vozidlech – Část 2: Stanovení ekvivalentní teploty“. Metodika ekvivalentní teploty umožňuje popsat asymetrické působení prostředí na člověka a vyhodnotit jeho vnímání (tepelný pocit) a spokojenost (tepelný komfort). Důvod, proč se zavádí veličina **ekvivalentní teplota**, spočívá ve zjednodušení vyhodnocování působení různých vlivů prostředí (intenzita slunečního záření, teplota a rychlost proudění vzduchu, střední radiační teplota) viz obr. 2, kde je uveden příklad interpretace ekvivalentní teploty. Ve skutečném nehomogenním prostředí (střední radiační teplota 26 °C, teplota vzduchu 22 °C a střední rychlost proudění vzduchu 0,2 m/s) je umístěn např. tepelný manekýn s povrchovou teplotou 34 °C. Z jeho povrchu odchází tepelný tok  $\dot{q}_{real} = R + C$ . Stejný tepelný tok by odcházel z jeho povrchu v homogenním prostředí o ekvivalentní teplotě 24 °C, tzn. odstíněná místnost o teplotě vzduchu i stěn 24 °C, kde je téměř nulová rychlost proudění vzduchu.



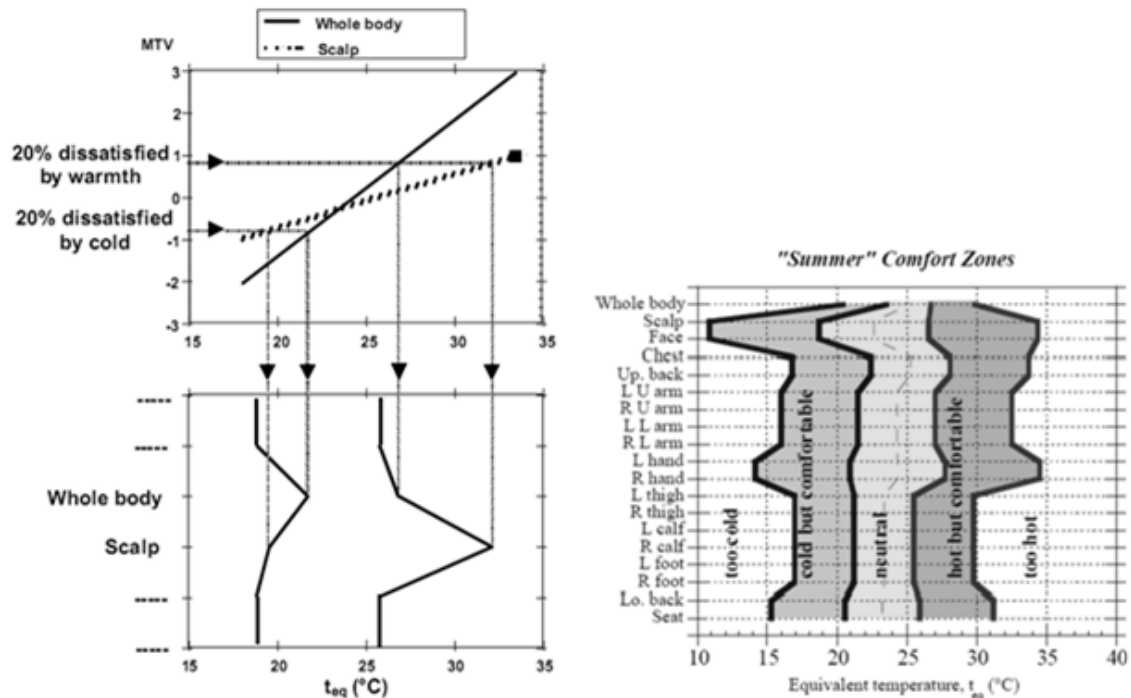
Obr. 2 Princip ekvivalentní teploty, převzato z (Nilsson, 2004).

Ekvivalentní teplota  $t_{eq}$  je vypočtena dle následujícího vztahu

$$t_{eq} = t_s - (R_{cl} + R_a) \cdot \dot{q}_t \quad (1)$$

kde  $t_s$  je povrchová teplota tepelného manekýna, který je vyhříván na všech segmentech na teplotu 34 °C.  $R_{cl} + R_a$  je celkový tepelný odpor, který zahrnuje tepelný odpor oděvu  $R_{cl}$  a měrný tepelný odpor konvekce vzduchu  $R_a$  [ $m^2 \cdot K/W$ ]. Tyto hodnoty je nutné určit buď pomocí tabulkových dat z literatury, což je velmi hrubá aproximace, nebo je nutné provést vlastní kalibrační měření oděvu pomocí tepelného manekýna. V našem případě jsme si vytvořili vlastní databázi oděvů (tzv. **virtuální šatník**), pomocí měření s tepelným manekýnem Newton. Princip ekvivalentní teploty jsme aplikovali na soustavu senzorů ekvivalentní teploty což norma ČSN ISO 14505-2 umožňuje. Senzory ekvivalentní teploty jsou vyhřívány na konstantní teplotu 34 °C, která odpovídá zhruba střední teplotě pokožky člověka v neutrálním prostředí. Tepelný tok je pak přímo úměrný měřený elektrickému příkonu, který zajišťuje udržování konstantní teploty.

Na základě změřeného tepelného toku je pak možné vypočítat ekvivalentní teplotu a vynést ji do tzv. diagramu komfortních zón dle (Nilsson, 2004) viz obr. 3 vpravo. Diagram je rozdělen do pěti komfortních zón (nepříjemně teplo, teplo ale příjemně, neutrálně, chladno ale příjemně, nepříjemně chladno), které jsou definovány rozmezím ekvivalentních teplot zjištěných na základě dotazování se testovaných osob v ustáleném prostředí. Tyto korelace jsou platné vždy pouze pro jednu aktivitu a konkrétní oděv.



Obr. 3 Tvorba komfortních zón pro dané prostředí, ukázka výsledků regrese pro celé tělo a hlavu (vlevo), výsledný diagram komfortních zón pro letní oděv, převzato z (Nilsson, 2004)

V normě ČSN ISO 14505-2 jsou diagramy definované zvlášť pro letní a zimní oděv, které jsou odvozeny pro energetický výdej člověka přibližně 70 až 90 W/m<sup>2</sup> (lehká aktivita v sedě – např. řízení vozu). Typický celkový tepelný odpor  $I_{cl}$  letního oděvu se pohybuje okolo hodnot 0,6 clo (0,093 m<sup>2</sup>K/W) a zimního oděvu se pohybuje okolo 1 clo (0,155 m<sup>2</sup>K/W). V roce 2007 Nilsson na základě dalších vlastních měření stanovil závislost hodnoty MTV (mean thermal vote) na tepelném odporu oděvu pomocí regresních koeficientů  $a$ ,  $b$ , viz rovnice (2) a články (Nilsson 2007 a,b). **Model komfortních zón po této úpravě lze použít pro různé oděvy o tepelném odporu  $I_{cl} = 0$  až 1 clo (0,155 m<sup>2</sup>K/W).** Hodnota  $R_a$  bývá obvykle 0,1 m<sup>2</sup>K/W.

$$t_{eq} = t_{sk} - (R_{cl} + R_a) \cdot (a + b \cdot MTV) \quad (2)$$

## Popis nastavení a použití programu

1. **Virtuální šatník** (obr. 4) – možnost ovlivnit přednastavený oděv
2. Režimy aplikace
  - **Classic** (obr. 5) – zachování klasických předvoleb s ukazatelem teploty a režimu větrání např. na tělo, na nohy, defrost, recirkulace, apod.
  - **Simple** (obr. 6) – Základní verze zobrazení GUI

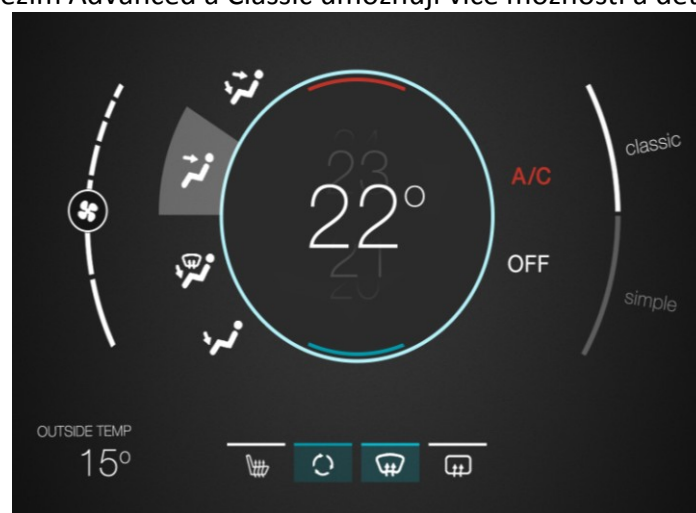
- **Advance** (obr. 7) – Rozšířené/detailní nastavení požadovaného tepelného komfortu

Při spuštění aplikace je použita přednastavená konfigurace typického oděvu pro dané roční období. Tu lze přenastavit ve virtuálním šatníku. Hodnoty  $R_{cl}$  a  $R_a$  používané ve virtuálním šatníku byly určeny kalibračními měřeními s tepelným manekýnem Newton v klimatické komoře. Pro zvolenou kombinaci oděvu si aplikace interně vygeneruje příslušný diagram komfortních zón, který pak využívá pro vyhodnocování tepelného komfortu z měřených ekvivalentních teplot.

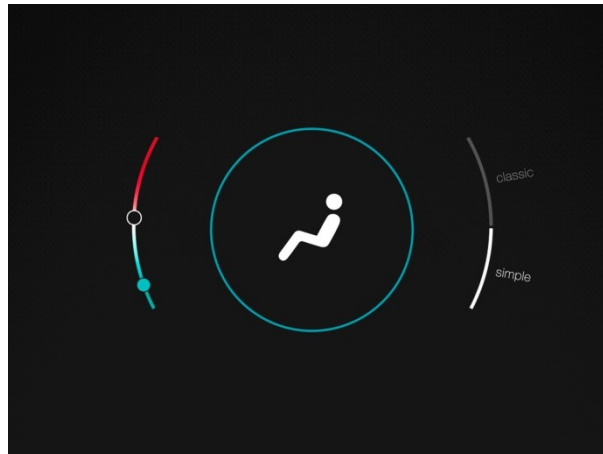


**Obr. 4 Virtuální šatník**

Uživatel má čtyři možnosti jak aplikaci ovládat a jak mu jsou prezentována výsledná data. Režimy se liší množstvím informací tak i detailností ovládání. Např. v případě, kdy je řidič zaměstnán plně řízením je plně postačující režim Simple, který sleduje celkový tepelný komfort. Naopak režim Advanced a Classic umožňují více možností a detailní nastavení.



**Obr. 5 Režim Classic** – zachování klasických předvoleb s ukazatelem teploty a manuálním nastavením funkcionalit HVAC zařízení automobilu.



*Obr.6 Režim Simple – aplikace běžící v základním rozhraní. Barvou kruhu kolem siluety člověka je identifikován aktuální-měřený-průměrný tepelný komfort*

Výsledný celkový měřený tepelný pocit např. v režimu Advanced viz obr. 6 (ale i Simple), je vyobrazen ukazatelem (vybarvený kroužek) pochybujícím se po oblouku vlevo s barevnou škálou od modré (chladno) přes bílou (neutrálně) až po červenou (teplo). Pokud není uživatel s daným prostředím spokojen má možnost posunutím nastavovacího posuvníku (kroužek s černou výplní) zvolit, jak by preferoval tepelný pocit. Odchylna poloh těchto kroužků má pak vliv na intenzitu vytápění/chlazení a slouží jako informace o regulační odchylce. Cílem regulace je zajistit takové podmínky v autě, aby ukazatele nastaveného a měřeného tepelného komfortu prakticky splynuly čímž by se minimalizovala regulační odchylka. Při rozkliknutí siluety řidiče se objeví podrobnější vyhodnocení komfortu i pro jednotlivé části, viz. obr. 7 vlevo dole, které lze ovlivnit po výběru dané části např. ruce, viz. obr. 7 vpravo dole. Barvy výsečí u jednotlivých částí lidského těla odpovídají měřenému tepelnému pocitu a jsou vpočteny v reálném čase z dat senzorů ekvivalentní teploty.



*Obr. 7 Režim Advanced – lokální tepelný komfort: ruce, hlava apod. (vlevo), menu pro nastavení požadovaného tep. pocitu na ruku (vpravo).*

## Vazba na projekty

H | V | A | C Innovative control of heating, ventilation and air-conditioning system

Inovativní řízení HVAC systému kabiny automobilu jako součást asistenčního systému řidiče  
TAČR Alfa – TA 04031094



## Licenční podmínky

K využití výsledku je vždy nutné nabytí licence

## Kontaktní osoba

Ing. Jan Fišer, Ph.D. +420 541 143 242, fiser@fme.vutbr.cz

## Stažení a používání programu

RAVETS je možné stáhnout na stránkách:

<http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/vysledky-vyzkumu>

## Literatura

- [1] NILSSON, H. O. (2004) *Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models*. Ph.D. Thesis, University of Gävle.
- [2] NILSSON, H. O. (2007a) CFD modeling of thermal manikin heat loss in a comfort evaluation benchmark test. *Proceedings of Roomvent*, Helsinki 13-15 June 2007.
- [3] NILSSON, H. O. (2007b) Thermal comfort evaluation with virtual manikin methods. *Building and Environment* 42 4000–4005.
- [4] WYON, D., a kol. (1989) Standard Procedures for Assessing Vehicle Climate with a Thermal Manikin. *SAE Technical Paper* (89004).

Prohlašuji, že popsaný výsledek naplňuje definici uvedenou v Příloze č. 1 Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje v roce 2015 a že jsem si vědom důsledků plynoucích z porušení § 14 zákona č. 130/2002 Sb. (ve znění platném od 1. července 2009). Prohlašuji rovněž, že na požádání předložím technickou dokumentaci výsledku.

V Brně dne 16. prosince 2015.

Ing. Jan Fišer, Ph.D.