ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

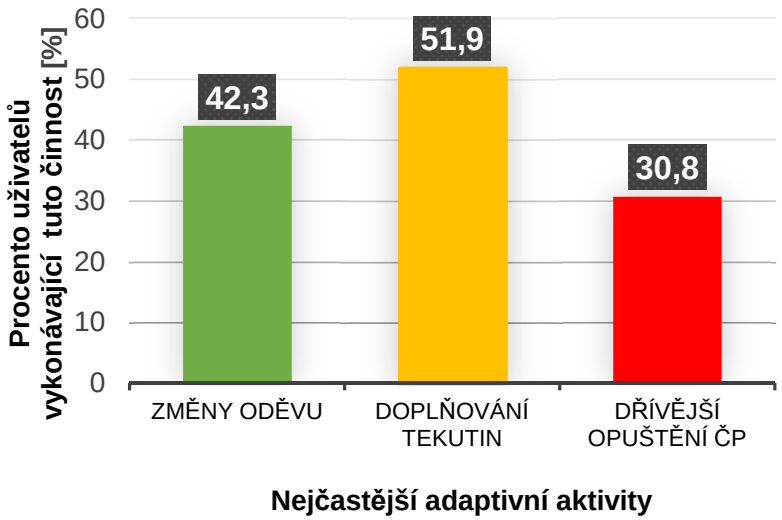
ANALÝZA VLIVU TEPELNÉ IZOLACE ODĚVU PRACOVNÍKŮ V ČISTÝCH PROSTORECH

Kateřina Konečná
ČVUT, Fakulta stavební, katedra technických zařízení budov
15. června 2023

Úvod

Tepelný komfort uživatelů čistých prostor

- **Vnitřní prostředí je ovlivněno požadovanou třídou čistoty (ČSN EN ISO 14644-1, GMP Annex 1)**
  - Parametry prostředí jsou nastaveny podle požadavků konkrétní aplikace
  - Přesná klimatizace
  - Požadovaná úroveň čistoty je prioritou, tepelný komfort uživatelů je upozaděn
  - Nastavené podmínky nereflektují oděv či činnost uživatelů
- **Optimalizace nastavení teploty dle potřeby není možná**
  - Vyšší nespokojenost uživatelů s daným prostředím
  - Adaptivní aktivity pro zvýšení tepelné pohody
    - Vlastní volba oděvu = nevhodné pro čisté prostředí!
      - → Riziko kontaminace, ohrožení požadované čistoty
      - → Zvýšené provozní náklady
      - → Zpoždění výzkumu/výroby, finanční ztráty



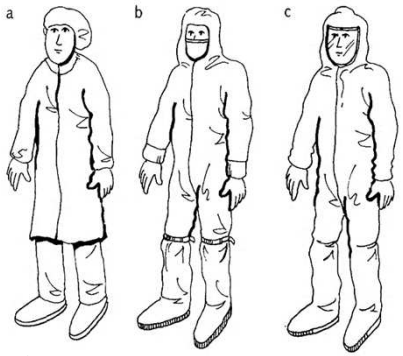
Nejčastější adaptivní aktivity

Zdroj: Roškotová, K. a Adamovský, D. (2022). *Vliv izolační schopnosti oděvu na tepelnou pohodu uživatelů čistých prostor.* Vytápění, větrání, instalace.

Úvod

Tepelný komfort uživatelů čistých prostor

- **Specifické oděvy pro čisté prostředí**
  - Kombinace oděvů se liší dle třídy čistoty
  - Neznámé hodnoty tepelné izolace
    - → Hodnocení tepelného komfortu je obtížné
    - → Nelze stanovit optimální teploty pro dané prostředí
    - → Obtížná volba alternativ oděvů s různou tepelnou izolací
    - → Předpoklad sníženého tepelného komfortu



Zdroj: Ramstorp, M. (2000). Introduction to Contamination Control and Cleanroom Technology.

ISO 8

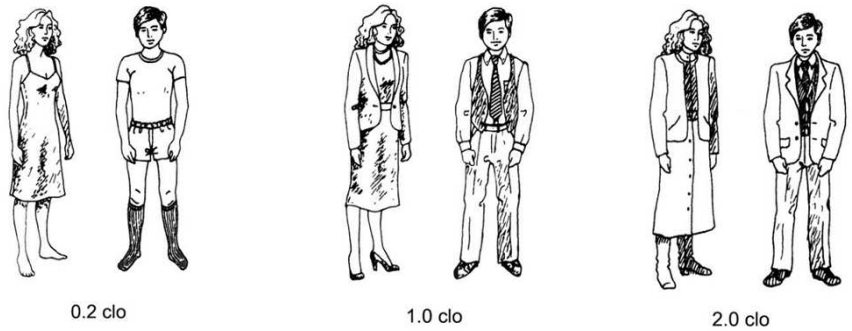
ISO 5

Zdroj: http://www.sentinel-laboratories.com., http://cz.vwr.com

Stanovení tepelné izolace oděvů pro ČP

Metody

- **1) Odhad dle tabelárních hodnot v ČSN EN ISO 7730 a ČSN EN ISO 9920**
  - Nejrychlejší a nejjednodušší metoda
    - Typické kombinace oděvu s již známou hodnotou tepelné izolace I_{cl} [clo nebo m^2K/W]
    - Sestavení vlastní kombinace z různých částí oděvu se známou tepelnou izolací
  - Omezený výběr oděvů neodpovídající potřebám čistého prostředí
    - Omezená databáze (typ, materiál)
    - Omezený výběr méně tradičních nebo speciálních typů oděvů



Zdroj: Gilligan, I. (2018). How Clothes Work to Keep Us Warm.

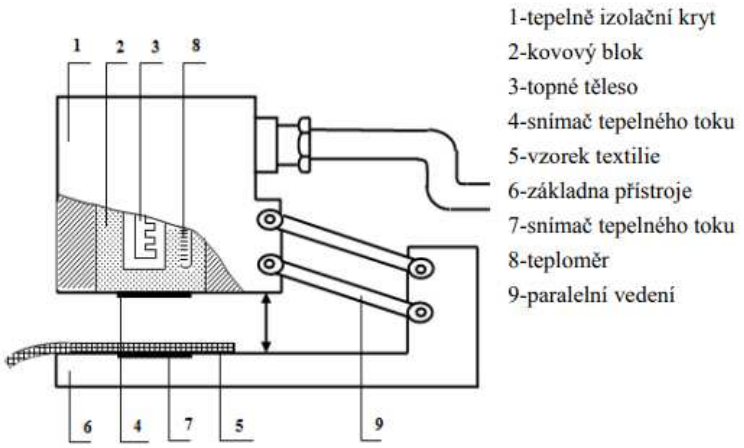
Typ kombinézy	I_{cl} [clo]
Uklízecí	0,97
Vlněná	1,10
Ohnivzdorná	1,03
Modakrylová	1,05
Tyvek	0,95
Goretexová	1,17
Nomexová	1,05

Stanovení tepelné izolace oděvů pro ČP

Metody

- **2) Měřením tepelného odporu textilních materiálů**
  - Jednoduchá metoda
  - Tepelný odpor textilního materiálu [m^2K/W]
  - Zařízení Permetest nebo Alambeta
  - Nezohledňuje vytvoření vzduchové vrstvy mezi pokožkou a oděvem nebo vrstvami oděvu
    - → Neumožňuje zachytit celkový účinek oděvu na člověka

Zdroj: https://https://medcraveonline.com

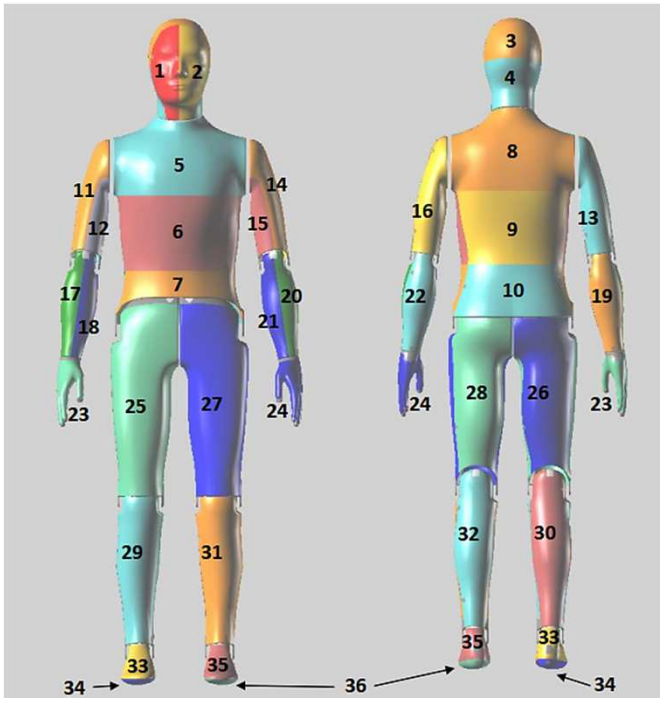


Zdroj: Hes, J. (2005). Komfort textilií.

Stanovení tepelné izolace oděvů pro ČP

Metody

- **3) Měřením pomocí tepelné figuríny**
  - Přesná metoda
  - Vysoká finanční i časová náročnost
  - Použití zejména pro speciální oděvy
  - Tepelná izolace oděvu [clo, m^2K/W]

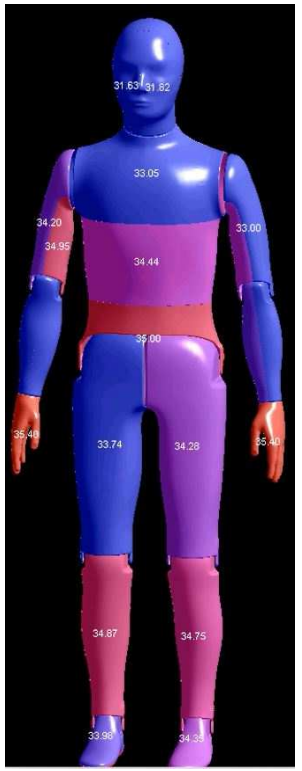


Zdroj: Thermetrics (2014). Operator's Manual Newton 36-Zone Thermal Manikin System

Stanovení tepelné izolace oděvů pro ČP

Podmínky měření

- Tepelná figurína Newton s 36 nezávislými segmenty
  - Umístěna v klimatické komoře
  - Metoda měření: konstantní povrchová teplota t_{skin} = 34 °C
- Paralelní model výpočtu tepelné izolace (ČSN EN ISO 15831)
- Stanovení optimální komfortní teploty t_{opt} (ČSN EN ISO 7730)
  - $t_a = t_r$, RH = 45 %, v_a = 0,15 m/s
  - 93 W/m^2 = 1,6 met (třída práce IIa)
- Posouzení tepelného komfortu pro vybrané teploty (ČSN EN ISO 7730)
  - PMV a PPD
  - 18 °C, 20 °C, 22 °C, 24 °C a 26 °C



3	2	1	0	-1	-2	-3
Horko	Teplo	Mírně teplo	Neutrální	Mírně chladno	Chladno	Zima

Zdroj: Roškotová, K. a Adamovský, D. (2022). *Vliv izolační schopnosti oděvu na tepelnou pohodu uživatelů čistých prostor.* Vytápění, větrání, instalace.

Stanovení tepelné izolace oděvů pro ČP

Posuzované kombinace

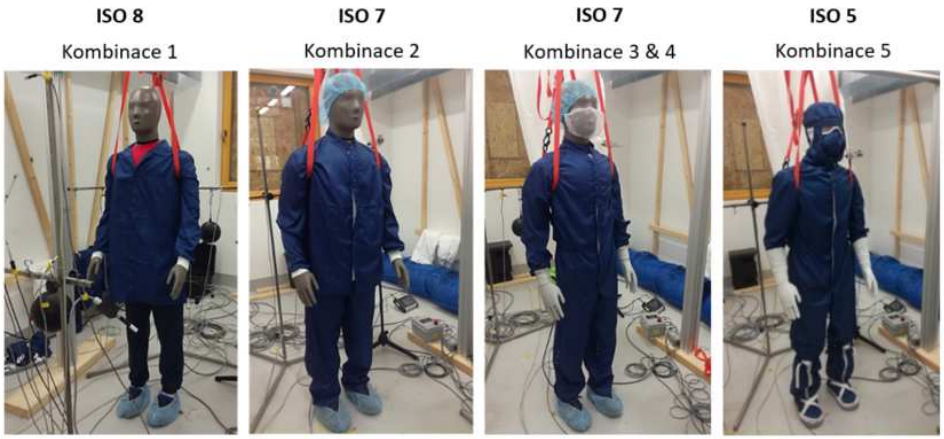
ISO 8	ISO 7	ISO 7	ISO 5
Kombinace 1	Kombinace 2	Kombinace 3 & 4	Kombinace 5

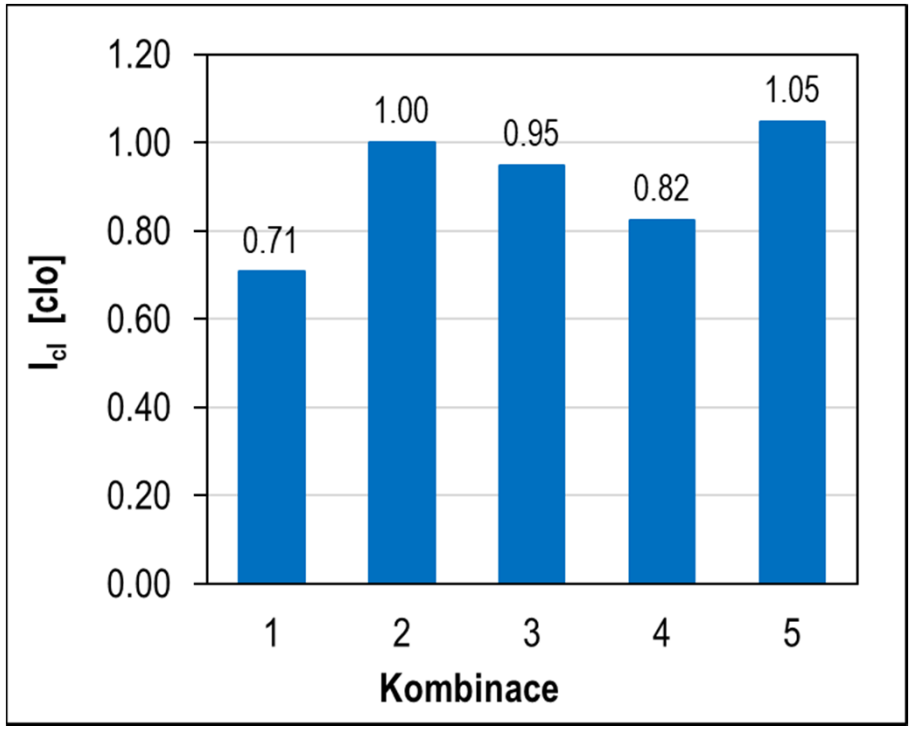
Zdroj: Roškotová, K. a Adamovský, D. (2022). *Vliv izolační schopnosti oděvu na tepelnou pohodu uživatelů čistých prostor*. Vytápění, větrání, instalace.

Výsledky

Tepelná izolace jednotlivých kombinací oděvů

- Rozdíly v tepelné izolaci mezi kombinacemi
- Vyšší tepelná izolace v ČP s vyšší čistotou
- Významný vliv spodního oděvu
- Vliv střihu oděvu
  - Vznik vzduchových vrstev



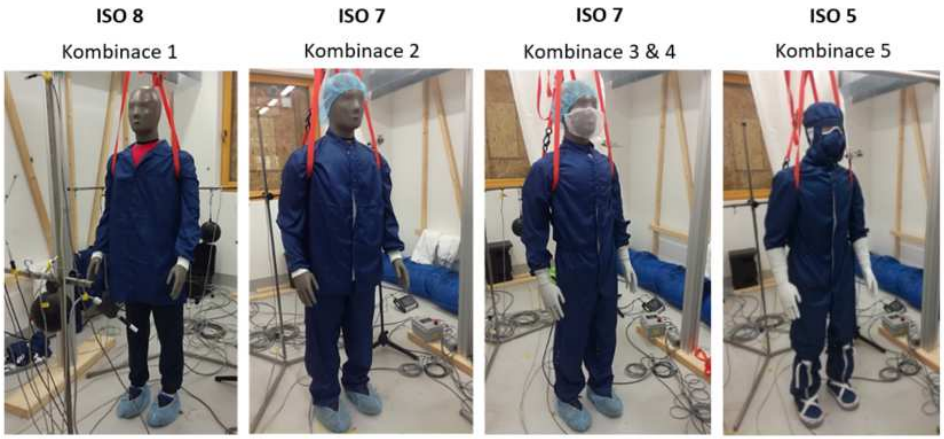


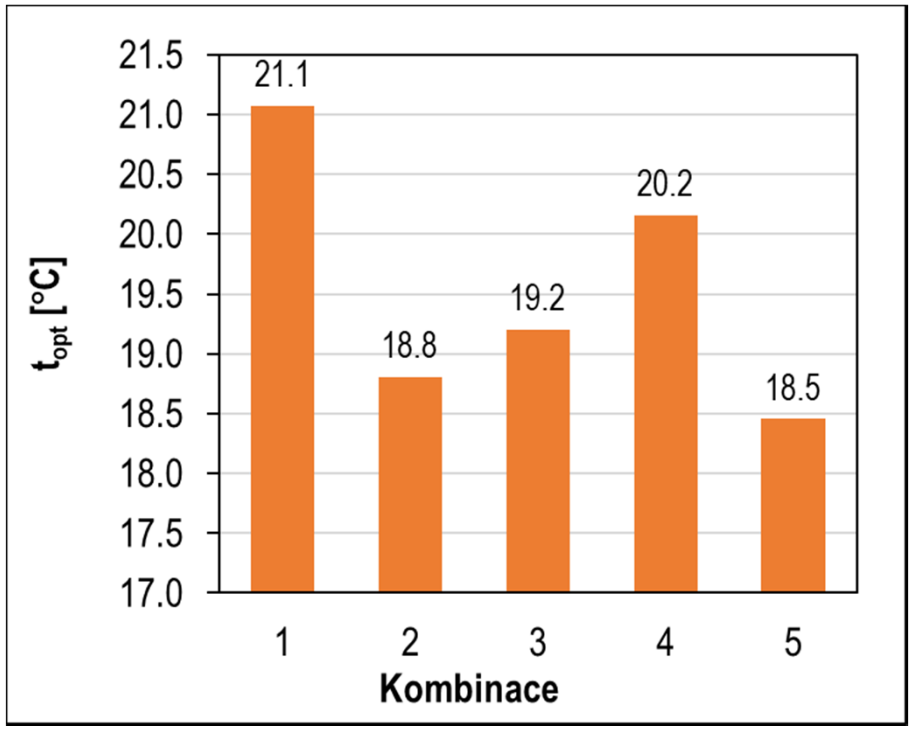
Zdroj: Roškotová, K. a Adamovský, D. (2022). *Vliv izolační schopnosti oděvu na tepelnou pohodu uživatelů čistých prostor.* Vytápění, větrání, instalace.

Výsledky

Optimální teploty pro jednotlivé kombinace oděvů

- Různá optimální teplota
- Vhodný výběr oděvu ovlivní výši tepelného komfortu uživatele
  - Optimální kombinace a alternativy





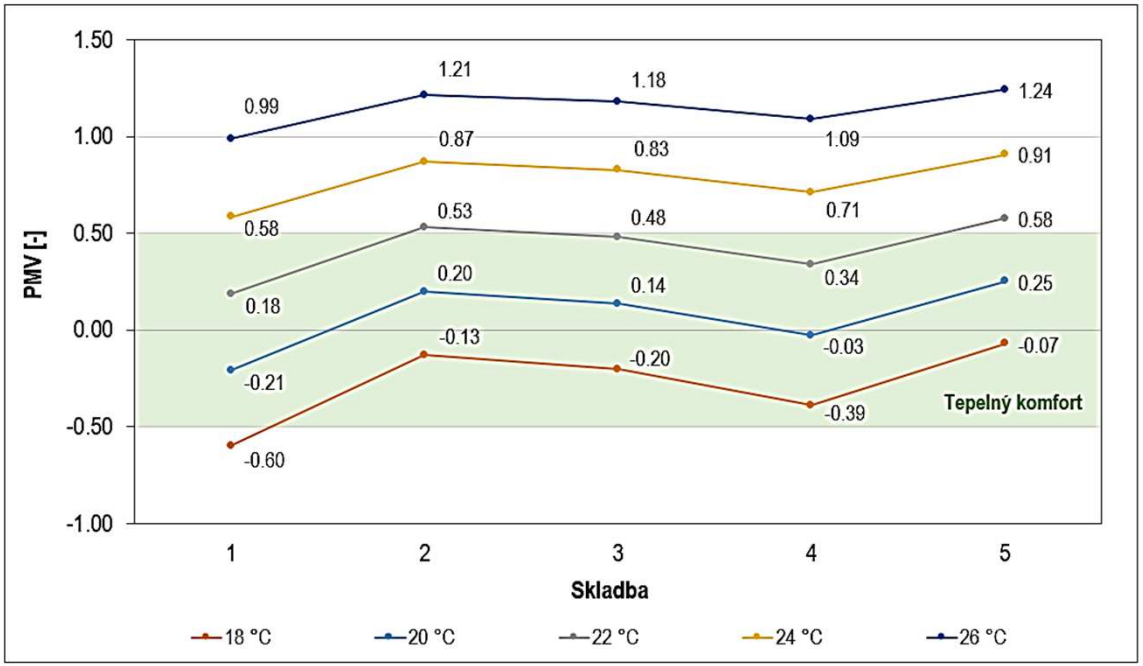
Zdroj: Roškotová, K. a Adamovský, D. (2022). *Vliv izolační schopnosti oděvu na tepelnou pohodu uživatelů čistých prostor*. Vytápění, větrání, instalace.

Výsledky

Vliv tepelné izolace na hodnocení tepelného komfortu

- Vhodné prostředí o teplotě 18 – 22 °C
- Nevhodné nastavení teplot sníží komfort uživatelů
  - Riziko nevhodně zvoleného oděvu uživateli
  - Zvýšené riziko kontaminace prostoru
  - Navržení alternativ
- Výsledky nezohledňují riziko lokálního diskomfortu (např. průvanu) či pociťovaný tepelný stav v jednotlivých zónách těla.

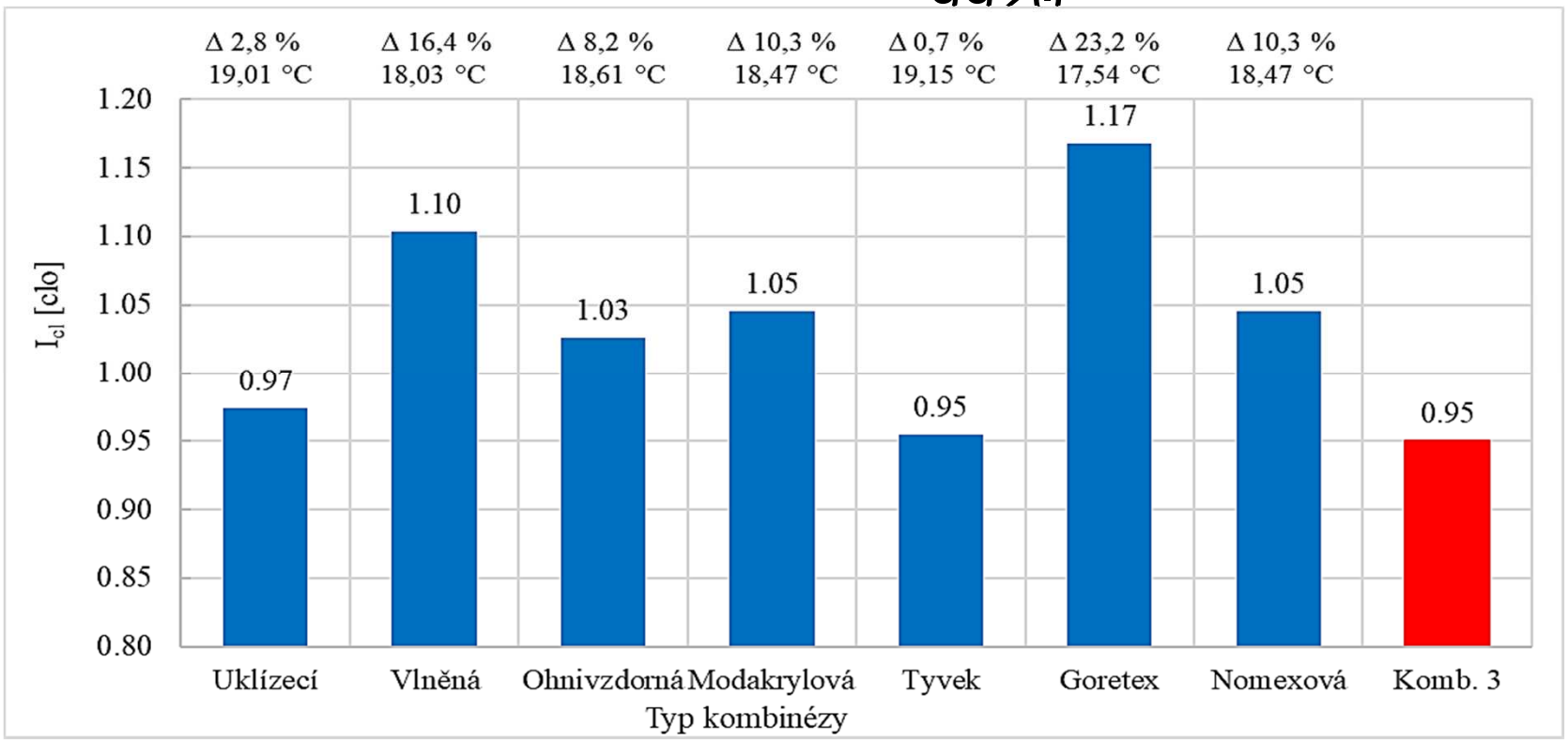
Kombinace	PPD [%]				
	18 °C	20 °C	22 °C	24 °C	26 °C
1	12.5	5.9	5.7	12.1	25.6
2	5.4	5.8	10.9	21.0	35.9
3	5.9	5.4	9.8	19.4	34.2
4	8.2	5.0	7.4	15.6	30.0
5	5.1	6.3	11.9	22.3	37.3



Zdroj: Roškotová, K. a Adamovský, D. (2022). *Vliv izolační schopnosti oděvu na tepelnou pohodu uživatelů čistých prostor.* Vytápění, větrání, instalace.

Výsledky

Porovnání kombinace 3 s tabulkovými hodnotami z ČSN EN ISO 9920



Zdroj: Roškotová, K. a Adamovský, D. (2022). *Vliv izolační schopnosti oděvu na tepelnou pohodu uživatelů čistých prostor.* Vytápění, větrání, instalace.

Závěr

- **Absence hodnot tepelné izolace pro oděvy do čistého prostředí znemožňuje posouzení tepelného komfortu, stanovení optimálních teplot či nalezení alternativ ke stávajícím oděvům.**
- Použití hodnot tepelné izolace běžných oděvů je pro oděvy do ČP zavádějící.
  - Nereprezentují dostatečně skladbu ani vlastnosti čistých oděvů.
- Stanovení jedné reprezentativní hodnoty tepelné izolace je nedostatečné.
  - Kombinace oděvů se liší dle třídy čistoty i napříč různými aplikacemi.
- Využití tepelné figuríny je nejvhodnější možností stanovení tepelné izolace.
- Přínos:

Vyšší tepelný komfort uživatelů

Nižší riziko kontaminace ČP

Přesnější hodnocení tepel. komfortu

Usnadnění návrhu ČP

Optimalizace provozu ČP

Vývoj nových produktů či materiálů

Zdroj: Roškotová, K. a Adamovský, D. (2022). *Vliv izolační schopnosti oděvu na tepelnou pohodu uživatelů čistých prostor.* Vytápění, větrání, instalace.

FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV ČVUT V PRAZE

DĚKUJI ZA POZORNOST

Podpořeno grantem č. SGS20/098/OHK1/2T/11

Kateřina Konečná
katerina.konecna@fsv.cvut.cz