

## Úvod

Použití osobních ochranných prostředků (OOP) je zásadním prvkem umožňujícím vykonávat pracovní činnost v mnoha náročných povoláních. Použití OOP zajišťuje pracovníkům zachování zdraví a bezpečnost při práci. Klíčovými vlastnostmi OOP pro schopnost pracovníka vykonávat práci dlouhodobě je vhodná ergonomie a schopnost zajistit tepelný komfort. V případě ochranných oděvů pro členy HZS je základním požadavkem schopnost oděvu ochránit uživatele před ohněm. S tímto požadavkem souvisí tepelné izolační vlastnosti ochranného oděvu, který vytváří tepelnou bariéru mezi uživatelem a prostředím požáru. Zároveň ovšem vytváří bariéru pro schopnost těla uživatele zbavovat se tepla vznikajícího při svalové práci a metabolické aktivitě a omezuje schopnost těla ochlazovat se pocením, čímž se vytváří předpoklad pro rychlé přehřátí organismu. Uživatel oděvu se navíc může pohybovat např. i v městské zástavbě během léta za podmínek intenzivního slunečního svitu. Tato studie si klade za cíl zodpovědět otázku, jak zvolená barva ochranného oděvu ovlivňuje termofyziologický komfort uživatele. Za tímto účelem jsme použili dvě základní barevné kombinace zásahových oděvů určených pro hasiče z produkce firmy GoodPro, a to základní tmavě modré barvě (Navy blue - NV) a alternativní pískové (P), kterou například užívají hasičské sbory v USA.

## Požadavky na barvu zásahových oděvů členů HZS ČR

Požadavky na zbarvení zásahových oděvů pro členy HZS ČR jsou deklarovány ve vyhlášce č. 69/2014 Sb. (Vyhláška o technických podmínkách věcných prostředků požární ochrany). Konkrétně o požadavcích na barvu hovoří příloha číslo 5 a číslo 6 v bodě e (*Oblek je proveden v tmavomodré barvě s výjimkou nápadného materiálu*). Tato barva však byla volena spíše arbitrárně s ohledem na viditelnost zašpinění nežli s ohledem na praktickou funkčnost oděvu. Je otázkou, zda by nebylo vhodné vyhlášku doplnit.

## Metody užitá pro porovnání vlivu barvy a složení oděvu na tepelný komfort uživatele

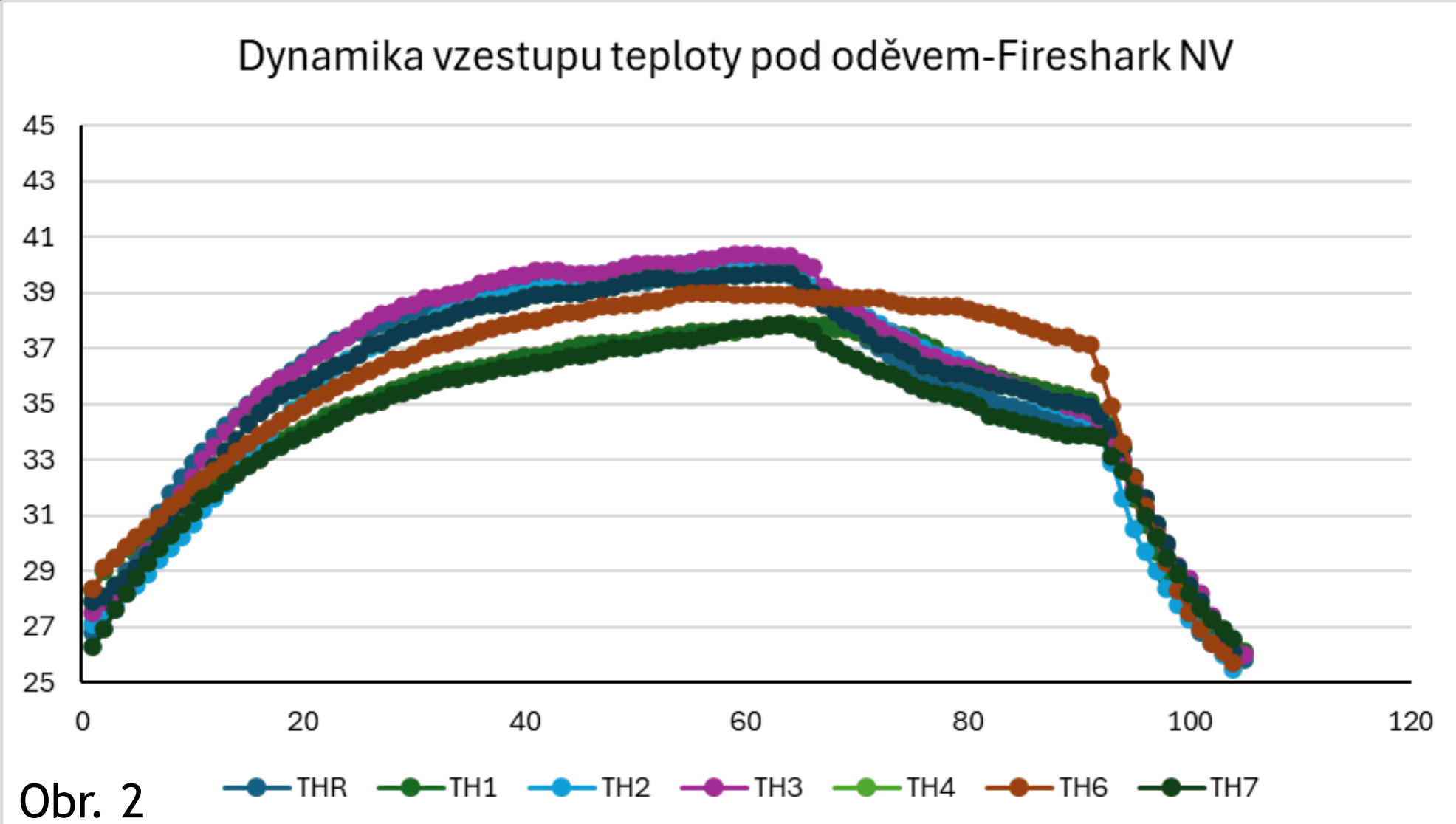
Vliv zbarvení a složení zásahových oděvů na tepelně izolační vlastnosti byly sledovány několika přístupy. Byly provedeny praktické zkoušky nošením za pomoci dobrovolníků (probandů) v tepelné komoře LSOEP a rovněž v terénu. V tepelné komoře probíhaly experimenty při dvou různých aktivitách. První aktivitou bylo pasivní sezení za účelem omezení metabolické aktivity. Druhou aktivitou byla aktivní chůze na pásovém ergometru rychlostí 4 km/h a sklonu 10 procent. Prostředí tepelné komory bylo nastaveno na 45 °C. Teplota vzduchu v tepelné komoře byla doplněna dvěma sálavými zdroji s výkonem 2000 W ze vzdálenosti 1,6 m. Terénní testy byly uskutečněny během výjimečně slunečných dnů, kdy teplota ve stínu dosahovala 33,2 °C a 32,7 °C a sluneční příkon kolísal mezi 720 - 780 W/m<sup>2</sup>. Aktivita pokusné osoby byla chůze kombinovaná s nesením 20 kg zátěže.

Měřena byla odrazivost/pohltivost materiálu ve viditelné a infračervené oblasti elektromagnetického spektra, jak pouze svrchní textilie, tak i kompletní sestavy sendvičového materiálu. Měřen byl také celkový (suchý) tepelný odpor zásahových oděvů a odpor oděvů proti vypařování.

## Experimenty s dobrovolníky

### Dynamika vzestupu teploty pod oděvem

Vzestup teploty pod oděvem byl měřen pomocí tepelných senzorů systému FlexiGuard umístěných pod oděvem tak, aby tepelný senzor směřoval k vrstvě oděvu (šedé krabičky na Obr. 1). Proband při tomto testu pouze pasivně seděl v tepelné komoře vystaven působení vnějších zdrojů tepelné energie. Teplota vnějšího prostředí byla 45 °C. Z Obr. 2 je zřejmé, že teplota pod oděvem nejdřív stoupala lineárně (po dobu 20 min) a poté se křivka zploštila a teplota pod oděvem přestala narůstat, protože teplo začíná absorbovat tělo probanda. Proto se teplota pod oděvem nevyrovná s teplotou okolí. V čase 65 minut se proband přesunul do laboratoře s teplotou 25 °C, kde pasivně chladl po dobu 30 min. Poté byly snímače teploty z těla probanda sejmuty a ponechány pasivně chladnout. Z grafu je zřejmé, že tepelné izolační vlastnosti oděvu lze hodnotit pouze z iniciální fáze experimentu, kdy teplota pod oděvem roste lineárně a sklon křivky (rychlost růstu teploty) vyjadřuje tepelné izolační vlastnosti oděvu (v místě, kde je umístěn tepelný senzor).



Obr. 2: Růst teploty měřený sedmi teplotními čidly umístěnými na těle probanda pod oděvem FireShark - tmavý NV v klimatické komoře. Teplota vzduchu 45 °C. Aktivita - pasivní sezení.

### Porovnání oděvů nošením v klimatické komoře

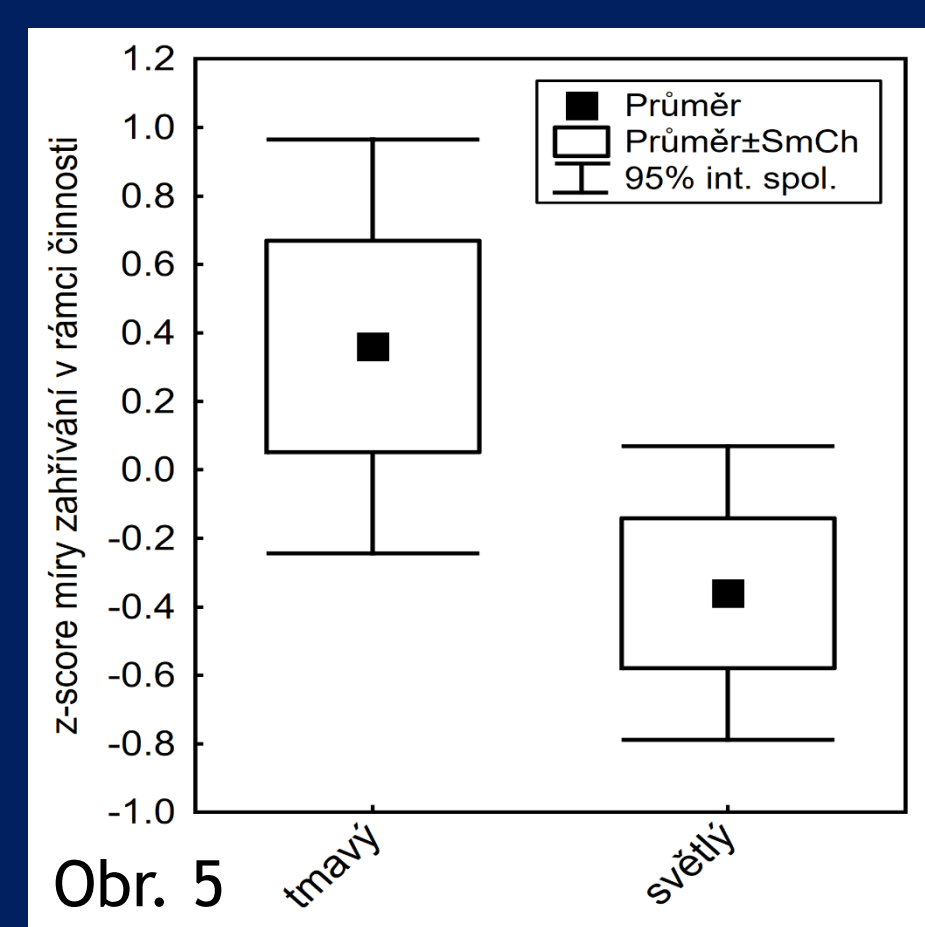
Na obrázku č. 4 je zobrazena aktivita probanda během porovnávacího testu nošením v klimatické komoře. Při těchto testech byla tepelné izolační vlastnosti oděvů porovnávána pomocí rychlosti nárůstu teploty pod oděvem při aktivním pohybu a při pasivním pobytu v extrémním prostředí. Tyto testy ukázaly signifikantně rychlejší nárůst teploty pod oděvem při aktivním pohybu díky teplu uvolňovanému metabolismem v porovnání s pasivním pobytém v extrémním prostředí.



Obr. 4



Obr. 1



Obr. 5 Statistická analýza t-testem vlivu barvy oděvu na vzestup teploty pod oděvem. Vliv aktivity odstraněn z-score transformací vstupních dat

Oproti tomu nebyl prokázán signifikantní rozdíl mezi rychlostí nárůstu teploty pod tmavomodrým a oděvem pískové barvy. Nicméně, při testu, kde je vyloučen vliv aktivity na nárůst teploty pod oděvem získaná data naznačují, že vliv zbarvení na nárůst teploty pod oděvem přítomen je (Obr. 5).

## Závěr

Současné výsledky naznačují, že provedení zásahového oděvu ve světlé barvě může přinášet uživatelům snížení tepelné zátěže zejména v oblasti viditelného záření. Tedy v případě například přípravných činností nebo přesunů v letním období na slunci např. lesní požáry, zatímco v případě pohybu v horkém prostředí například uvnitř budov, kde je sluneční záření zanedbatelné mají obě barevné provedení shodné vlastnosti.

### Tepelná zátěž z osvětlení slunečním zářením

Na uživatele OOP v průběhu nošení v otevřeném terénu zejména během letního období a intenzivního slunečního svitu působí záření, jehož teoretická celková energie je určena solární konstantou (1348,3 W/m<sup>2</sup>), z které však na Zemský povrch dopadá maximálně 1100 W/m<sup>2</sup>. Sluneční energie k nám přichází ve formě viditelného a neviditelného záření, z čehož viditelné záření a neviditelné tepelné záření, každé tvoří zhruba polovinu dopadající energie (Obr. 8).

Tepelné záření pocítíme přímo jako teplo; viditelné záření se na různých materiálech různě absorbuje nebo odráží a absorbovaná energie se následně přemění rovněž v tepelné záření.

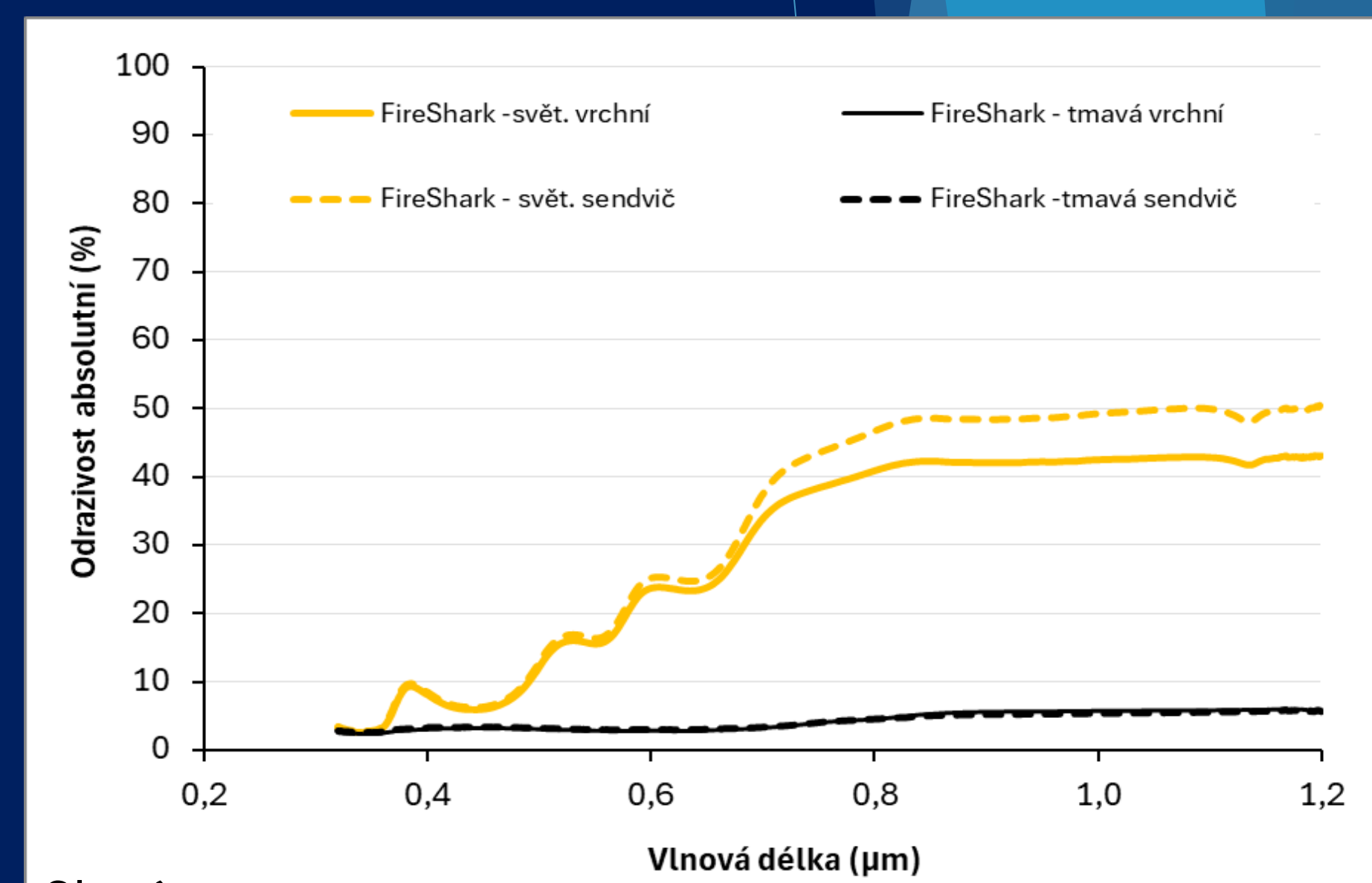
Absorbované záření tedy přispívá k tepelné bilanci nositele jakéhokoli oděvu.

Obr. 8 Rozdělení slunečního záření před vstupem do atmosféry. Zdroj: Technická Science center-Autor Magda Kralová, Under Creative Commons

## Fyzikální měření

### Odrazivost materiálu ve viditelné a infračervené oblasti světla

Měření odrazivosti ukázalo, že světlý (P) oblek FireShark odráží 50% záření v oblasti viditelného záření a blízké oblasti tepelného záření oproti tmavému (NV) obleku, který téměř veškerou dopadající energii v této oblasti absorbuje (obr. 6). Absorbované záření, se následně mění ve vnitřní hmotě na teplo (tepelné záření), které dále prostupuje materiálem vedením. Ve vzdálené oblasti tepelného záření v rozmezí vlnových délek od 3 μm výše (respektive 3 - 20 μm) obě barevné varianty mají shodné odrazivost blízké se nule.

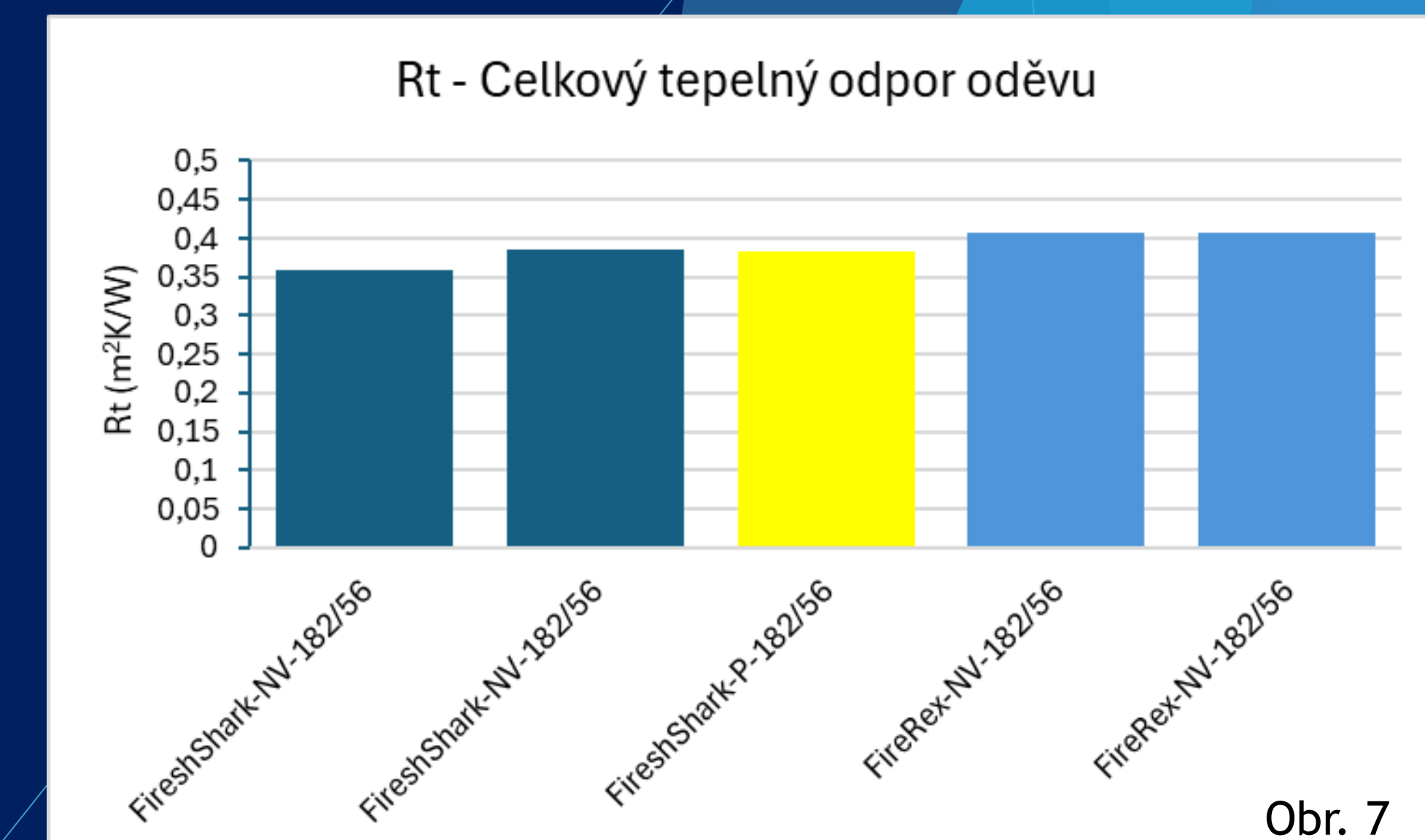


Obr. 6

Obr. 6 Odrazivost záření v oblasti viditelných vlnových délek a kratších vlnových délek tepelného záření svrchního materiálu světlého a tmavého oděvu typu FireShark.

### Celkový tepelný odpor zásahových oděvů

Měření celkového (totálního) tepelného odporu jednotlivých typů zásahových oděvů (FireShark vs FireRex) pomocí tepelného manekýna ukázalo, že celkový (suchý) tepelný odpor obou typů ochranných oděvů je téměř shodný (mezi 0,36 - 0,41 m<sup>2</sup>K/W), a že variabilita mezi opakovaným měřením stejné varianty je vyšší než variabilita mezi jednotlivými typy oděvů (Obr. 7). Rozdíl v hodnotách naměřených u tmavomodrého (NV) oděvu FireShark může být způsoben rozdílným nasazením oděvu na tepelného manekýna. Signifikantní rozdíly nebyly zjištěny ani v případě celkového odporu proti vypařování (63,7 - 73,2 m<sup>2</sup>Pa/W).



Obr. 7

Obr. 7: Srovnání celkových suchých tepelných odporů u zásahových oděvů stejné velikosti (182/56) typu FireShark a FireRex tmavomodré (NV) a pískové (P) barvy.

Prezentované výsledky byly podpořeny rozvojovým projektem SÚJCHBO č. 56018