

# METÓDY VÝSKUMU VO VZDUCHOTECHNIKE

Michal Krajčík  
Zuzana Straková

# **METÓDY VÝSKUMU VO VZDUCHOTECHNIKE**

Michal Krajčík, Zuzana Straková

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu nesmie byť použitá na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľstva.

© doc. Ing. Michal Krajčík, PhD., doc. Ing. Zuzana Straková, PhD.

Recenzenti: doc. Ing. Belo Fűri, PhD.

Ing. Ondřej Hojer, Ph.D.

Schválila Edičná rada Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

ISBN 978-80-227-5229-9

---

## OBSAH

|                |   |
|----------------|---|
| PREDSLOV ..... | 7 |
|----------------|---|

(doc. Ing. Zuzana Straková, PhD.)

|                                                                        |          |
|------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1 VÝZNAM METROLÓGIE A SKÚŠOBNÍCTVA<br/>VO VZDUCHOTECHNIKE .....</b> | <b>8</b> |
|------------------------------------------------------------------------|----------|

(doc. Ing. Zuzana Straková, PhD.)

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2 FYZIKÁLNE VELIČINY .....</b>                                        | <b>12</b> |
| 2.1 TERMINOLÓGIA .....                                                   | 12        |
| 2.1.1 Fyzikálne veličiny vo vzduchotechnickej sústave .....              | 14        |
| 2.1.2 Tepelno vlhkostné parametre (meraného) vnútorného prostredia ..... | 16        |
| 2.2 FYZIKÁLNA VELIČINA A MERNÁ JEDNOTKA .....                            | 23        |

(doc. Ing. Zuzana Straková, PhD.)

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3 TEÓRIA MERANIA .....</b>                          | <b>25</b> |
| 3.1 METÓDY MERANIA .....                               | 25        |
| 3.1.1 Metóda jednorazového a opakovaného merania ..... | 25        |
| 3.1.2 Metóda priameho a nepriameho merania .....       | 26        |
| 3.2 CHYBY MERANIA .....                                | 28        |
| 3.2.1 Hrubá, systematická a náhodná chyba .....        | 28        |
| 3.2.2 Absolútna a relatívna chyba .....                | 29        |
| 3.2.3 Výpočet chyby pri priamom meraní .....           | 32        |
| 3.2.4 Výpočet chyby pri nepriamom meraní .....         | 34        |
| 3.3 PRÍPRAVA, PRIEBEH A VÝSTUPY MERANIA .....          | 34        |
| 3.3.1 Pracovný list .....                              | 35        |
| 3.3.2 Protokol z merania .....                         | 35        |

(doc. Ing. Zuzana Straková, PhD.)

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| <b>4 MERACIE PRÍSTROJE .....</b>         | <b>39</b> |
| 4.1 POHĽAD DO HISTÓRIE .....             | 39        |
| 4.2 MERACIE PRÍSTROJE V SÚČASNOSTI ..... | 41        |



|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.1 Meranie teploty vzduchu                                     | 41        |
| 4.2.2 Meranie vlhkosti vzduchu                                    | 51        |
| 4.2.3 Meranie rýchlosti prúdenia vzduchu                          | 55        |
| 4.2.4 Meranie prietokového množstva vzduchu                       | 58        |
| 4.2.5 Meranie tlaku vzduchu                                       | 63        |
| <br>(doc. Ing. Zuzana Straková, PhD.)                             |           |
| <b>5 MIKROKLIMATICKÉ NORMATÍVY .....</b>                          | <b>73</b> |
| 5.1 ZÁVÄZNÉ PRÁVNE PREDPISY                                       | 73        |
| 5.2 ODPORUČENÉ TECHNICKÉ NORMY                                    | 74        |
| <br>(doc. Ing. Michal Krajčík, PhD.)                              |           |
| <b>6 EXPERIMENTÁLNE MERANIA TEPELNEJ POHODY .....</b>             | <b>75</b> |
| 6.1 TEPELNO-VLHKOSTNÝ STAV VNÚTORNÉHO PROSTREDIA                  | 75        |
| 6.1.1 Cieľ merania                                                | 75        |
| 6.1.2 Požiadavky na tepelné prostredie – celková tepelná pohoda   | 75        |
| 6.1.2.1 Základy tepelnej rovnováhy ľudského tela                  | 76        |
| 6.1.2.2 PMV-PPD model tepelnej pohody                             | 77        |
| 6.1.2.3 Požiadavky na pracovné prostredie podľa PMV-PPD modelu    | 81        |
| 6.1.2.4 Požiadavky na obytné prostredie podľa PMV-PPD modelu      | 84        |
| 6.1.2.5 Adaptívny model tepelnej pohody                           | 86        |
| 6.1.3 Požiadavky na relatívnu vlhkosť vzduchu                     | 88        |
| 6.1.4 Opis priestoru a meracie prístroje                          | 89        |
| 6.1.5 Metodika merania                                            | 91        |
| 6.1.5.1 Odporúčania na dlhodobé merania tepelnej pohody           | 91        |
| 6.1.5.2 Umiestnenie záznamníka a postup merania                   | 92        |
| 6.1.6 Výsledky                                                    | 93        |
| 6.1.7 Protokol z merania                                          | 96        |
| 6.2 RÝCHLOSTNÝ PROFIL PRÚDENIA VZDUCHU A RIZIKO PRIEVANU          | 97        |
| 6.2.1 Cieľ cvičenia                                               | 97        |
| 6.2.2 Požiadavky na tepelné prostredie – lokálna tepelná nepohoda | 97        |
| 6.2.3 Opis priestoru a umiestnenie snímačov                       | 101       |
| 6.2.4 Metodika merania                                            | 104       |

|                                       |                                                                                           |            |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.2.4.1                               | <i>Odporúčania na bodové merania tepelnej pohody</i>                                      | 105        |
| 6.2.4.2                               | <i>Posúdenie celkovej tepelnej pohody podľa PMV-PPD modelu</i>                            | 106        |
| 6.2.4.3                               | <i>Výpočet a posúdenie rizika prievanu</i>                                                | 109        |
| 6.2.4.4                               | <i>Subjektívne hodnotenie pomocou dotazníkov</i>                                          | 110        |
| 6.2.4.5                               | <i>Meracie body a postup merania</i>                                                      | 111        |
| 6.2.5                                 | Výsledky                                                                                  | 113        |
| 6.2.6                                 | Protokol z merania                                                                        | 115        |
| <br>(doc. Ing. Michal Krajčík, PhD.)  |                                                                                           |            |
| <b>7</b>                              | <b>EXPERIMENTÁLNE MERANIA KVALITY VZDUCHU .....</b>                                       | <b>117</b> |
| 7.1                                   | HODNOTENIE KVALITY VZDUCHU POMOCOU KONCENTRÁCIE<br>OXIDU UHLIČITÉHO (CO <sub>2</sub> )    | 117        |
| 7.1.1                                 | Cieľ merania                                                                              | 118        |
| 7.1.2                                 | Požiadavky na kvalitu vzduchu vyjadrené koncentráciou oxidu uhličitého                    | 118        |
| 7.1.3                                 | Opis priestoru a umiestnenie snímačov                                                     | 122        |
| 7.1.4                                 | Výsledky                                                                                  | 122        |
| 7.1.5                                 | Protokol z merania                                                                        | 124        |
| 7.2                                   | VÝPOČET INTENZITY VETRANIA Z PRIEBEHU KONCENTRÁCIE<br>OXIDU UHLIČITÉHO (CO <sub>2</sub> ) | 126        |
| 7.2.1                                 | Cieľ merania                                                                              | 126        |
| 7.2.2                                 | Požiadavky na vetranie budov                                                              | 126        |
| 7.2.3                                 | Opis priestoru a umiestnenie snímačov                                                     | 132        |
| 7.2.4                                 | Princíp výpočtu intenzity vetrania metódou klesajúcej koncentrácie                        | 133        |
| 7.2.5                                 | Postup stanovenia intenzity vetrania z nameraných údajov                                  | 136        |
| 7.2.6                                 | Výsledky                                                                                  | 142        |
| 7.2.7                                 | Protokol z merania                                                                        | 142        |
| <br>(doc. Ing. Zuzana Straková, PhD.) |                                                                                           |            |
| <b>8</b>                              | <b>EXPERIMENTÁLNE MERANIA POTRUBNEJ SIETE .....</b>                                       | <b>144</b> |
| 8.1                                   | PRÚDENIE VZDUCHU VO VZDUCHOTECHNICKOM POTRUBÍ                                             | 144        |
| 8.1.1                                 | Cieľ merania                                                                              | 145        |
| 8.1.2                                 | Požiadavky na výber správneho miesta merania                                              | 145        |
| 8.1.3                                 | Meracie prístroje a metodika merania rýchlosti prúdenia vzduchu v potrubí                 | 147        |

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1.4 Metodika merania rýchlosti prúdenia vzduchu na distribučných prvkoch | 149 |
| 8.1.5 Princíp výpočtu objemového prietoku vzduchu                          | 150 |
| 8.1.6 Výsledky                                                             | 151 |
| 8.1.7 Protokol z merania                                                   | 151 |
| 8.2 VYREGULOVANIE VZDUCHOTECHNICKÝCH POTRUBÍ                               | 152 |
| 8.2.1 Cieľ merania                                                         | 153 |
| 8.2.2 Požiadavky na podklady k vyregulovaniu sústavy                       | 153 |
| 8.2.3 Metodika vyregulovania sústavy                                       | 154 |
| 8.2.4 Výsledky                                                             | 155 |
| 8.2.5 Protokol z merania                                                   | 155 |
| ZOZNAM POUŽITÝCH ZNAČIEK A FYZIKÁLNYCH VELIČÍN .....                       | 157 |
| POĎAKOVANIE.....                                                           | 159 |
| LITERATÚRA .....                                                           | 160 |

## PREDSLOV

Životné prostredie človeka predstavuje všetko, s čím človek môže byť v relatívne bezprostrednom vzájomnom vzťahu. Či už ide o vonkajšie alebo vnútorné životné prostredie, jeho kvalita má veľký vplyv na zdravotný stav človeka. Dobrá kvalita prírodného prostredia poskytuje základné zdroje ako je úrodná pôda, čistá voda, no z pohľadu techniky prostredia hlavne čistý vzduch. V skutočnosti je však človek počas celého svojho života vystavený znečistenému ovzdušiu, nadmernému hluku i kontaktu s chemikáliami, ktoré v konečnom dôsledku pôsobia na neho stresovo, čo môže viesť k čiastočnému až trvalému poškodeniu zdravia. Ministerstvo zdravotníctva SR prostredníctvom svojej legislatívy (zákony, nariadenia vlády, vyhlášky, vestníky) dáva v platnosť limitné hodnoty, stanovené Svetovou zdravotníckou organizáciou, pre všetky fyzikálne veličiny, ktoré definujú tzv. optimálne životné prostredie. Aby sa dala posúdiť kvalita prostredia, v ktorom sa človek práve nachádza, nato slúži realizovanie kvantitatívnych experimentov, ktoré sa nazývajú merania.

Tieto skriptá sa zaoberajú problematikou metód merania a výskumu v oblasti vzduchotechniky ako jednej z profesie technických zariadení budov. Opisujú teoretické postupy pri experimentálnych meraniach fyzikálnych veličín v súlade so záväznými právnymi predpismi a odporúčanými technickými normami. Sú doplnené o praktické príklady výpočtov spolu s tabuľkami a grafmi potrebnými na zadávanie hodnôt jednotlivých výpočtových parametrov.

Skriptá sú učebným textom pre študentov 2. ročníka inžinierskeho štúdia, pre cvičenia zo študijného predmetu I1-MVVZ Metódy výskumu vo vzduchotechnike, v študijnom programe 3659 Technické zariadenia budov na Stavebnej fakulte STU v Bratislave. Súčasne sú vhodný učebný materiál aj pre odbornú prax zaoberajúcou sa experimentálnymi meraniami pri hodnotení kvality vnútorného prostredia na zrealizovaných dielach alebo pre účely zaregulovania vzduchotechnických sústav počas ich výstavby.

Rozsah skrípt neslúži na výchovu špecialistov v danej oblasti, ale tvorí súhrn potrebných znalostí, ktoré má získať hlavne absolvent inžinierskeho štúdia o súčasnom stave rozvoja vedy a techniky v oblasti merania vo vzduchotechnike.

*Autori*

## 1 VÝZNAM METROLÓGIE A SKÚŠOBNÍCTVA VO VZDUCHOTECHNIKE

*Metrológia* je veda, ktorá sa zaoberá meraním fyzikálnych veličín, ktoré charakterizujú všetky druhy hmotných objektov, procesov alebo javov. Medzi jej oblasti záujmu patrí vývoj a praktické použitie meracích technológií, nástrojov a zariadení, ako aj nástrojov a metód na spracovanie prijatých informácií. Metrológia navyše poskytuje právnu reguláciu činností úradných štruktúr a jednotlivcov, súvisiacich s vykonávaním meraní pri ich činnostiach.

Názov je odvodený z gréckych slov *metron* (merateľ) a *logos* (náuka). Tento pojem existuje viac ako dve storočia a dnes prakticky nahrádza rôzne, skôr používané pojmy (ÚNMS, 2022).

V súčasnosti predstavuje metrológia progresívnu vedeckú a technickú disciplínu nevyhnutnú pre vyspelú spoločnosť, jej hospodárstvo a ekonomiku. Meranie nových fyzikálnych veličín, rozširovanie rozsahov meraní, zvyšovanie ich presnosti, to všetko prispieva k tvorbe modernej technológie, štandardov a meracích prístrojov, čo vedie k lepšiemu chápaniu prírody človekom a k lepšej znalosti kvantitatívnych charakteristík okolitého sveta.

Metrológia sa delí na tri hlavné kategórie:

- *vedecká metrológia*, ktorá sa zaoberá hlavne realizáciou a uchovávaním etalónov a odovzdávaním hodnôt meracích jednotiek na etalóny nižších rádov a na meradlá,
- *priemyselná metrológia* zabezpečuje na úrovni priemyselných podnikov, služieb a ostatných zainteresovaných organizácií používanie vhodných meradiel, meracích metód a nadväznosť meradiel,
- *legálna metrológia*, jej poslaním je kontrolovať správnosť meradiel a merania na zabezpečenie ochrany spotrebiteľa, ochrany zdravia, majetku, životného prostredia a bezpečnosti pri práci; musí zabezpečiť dôveryhodnosť výsledkov meraní, poskytnúť verejnú záruku jednotnosti a správnosti meraní.

Ľudia využívajúci výsledky meraní v aplikačnej oblasti legálnej metrológie nemusia byť odborníkmi v metrológii. Preto za vierohodnosť takýchto meraní preberá zodpovednosť štát v súlade so zákonom o metrológii.

Orgánmi štátnej správy pre oblasť metrológie sú:

- Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, ktorý zodpovedá najmä za štátnu politiku v oblasti metrológie a za metrologickú legislatívu,
- Slovenský metrologický inšpektorát, ktorý vykonáva dozor nad plnením povinnosti orgánu verejnej moci, podnikateľa, inej právnickej osoby alebo inej fyzickej osoby, podľa zákona o metrológii. Inšpektorát plní aj funkciu orgánu dohľadu pre oblasť meradiel.

Vlastníctvom Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky je tzv. *národný etalón*, ktorý realizuje, uchováva a reprodukuje hodnoty meracích jednotiek a stupnice hodnôt fyzikálnych veličín a technických veličín na najvyššej metrologickej úrovni na Slovensku a poskytuje základ správnosti a jednotnosti merania na jej území. Národný etalón musí byť medzinárodne porovnaný alebo nadviazaný na medzinárodný etalón vyhlásený Medzinárodným úradom pre váhy a miery alebo na národný etalón iného štátu, ktorý je členom Medzinárodného úradu pre váhy a miery tak, aby sa zabezpečila porovnateľnosť merania vykonaného na Slovensku s meraním v inom štáte (ÚNMS, 2022).

Význam metrológie vo vzduchotechnike je dôležitý najmä v dvoch oblastiach, ktoré sú predmetom experimentálnych meraní. Tou prvou je samotné vnútorné prostredie, keď sa meraniami fyzikálnych veličín definujúcich optimálne vnútorné prostredie snažíme dokázať, že mikroklima nie je v prvom rade pre zdravie človeka, ale aj zvierat, rastlín, či inštalovanej technológie škodlivá. Tou druhou oblasťou je samotné vzduchotechnické zariadenie či celková vzduchotechnická sústava, keď opäť prostredníctvom meraní zisťujeme, resp. overujeme, či navrhované parametre fyzikálnych veličín sú aj po realizácii stavebného diela dodržané.

Všetky potrebné merania sa vykonávajú pomocou meracích prístrojov. Právna úprava definuje určené a ostatné meradlá, ale z funkčného hľadiska nie je medzi nimi žiadny rozdiel, nakoľko obe skupiny meradiel slúžia na určenie hodnoty meranej fyzikálnej veličiny. Pri niektorých meraniach je však žiaduce, aby správnosť meradiel a realizovaných meraní garantoval štát, a preto existuje aj skupina určených meradiel.

V súčasnosti je potrebné merať viac ako dvetisíc technických parametrov a fyzikálnych veličín, ale zatiaľ sa na základe dostupných prostriedkov a metód meria približne len polovica z nich. Zvládnutie nových spôsobov meraní zostáva výzvou pre budúce generácie.

*Skúšobníctvo* predstavuje systém legislatívno-právnych a technických predpisov, technických prostriedkov, personálu a súboru činností, ktorých cieľom je pre určené výrobky zabezpečiť posudzovanie zhody s požiadavkami technických predpisov a ostatné súvisiace činnosti.

Orgánom štátnej správy pre oblasť skúšobníctva je Technický skúšobný ústav Piešťany, š. p. Jeho hlavnou činnosťou je:

- *Posudzovanie zhody výrobkov* podľa EÚ smerníc Nového prístupu a podľa zákona č. 56/2018 Z. z. o posudzovaní zhody výrobku, sprístupňovaní určeného výrobku na trhu a o zmene a doplnení niektorých zákonov pre: stavebné výrobky, kotly, tlakové zariadenia, elektrické zariadenia, tlakové nádoby a plynové spotrebiče,
- *Posudzovanie nemennosti* výrobcom deklarovaných parametrov podstatných vlastností výrobku podľa zákona č. 133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov,
- *Certifikácia*,
- *Skúšanie*:
  - Skúšky strojov, výrobných zariadení, spotrebného tovaru, technických zariadení budov a stavieb, elektrických zariadení a tepelnej techniky,
  - Mechanické skúšky materiálov v ťahu, tlaku a ohybe,
  - Skúšky koróznej odolnosti a povrchových úprav v umelej atmosfére,
  - Skúšky odolnosti a funkčnosti pri tepelných cykloch,
  - Skúšky starnutia materiálov v umelej atmosfére – xenotest,
  - Klimatické skúšky materiálov,
- *Inšpekcie*, overovanie plnenia požiadaviek bezpečnosti technických zariadení v zmysle zákona č. 124/2006 Z. z. a vykonávanie inšpekcií podľa zákona č. 133/2013 Z. z.,
- *Kalibrácia meradiel* dĺžky, tlaku, teploty, akustického tlaku a mechanického kmitania, vodomero, sily, momentu sily – momentových kľúčov, elektrických veličín a váh,
- *Overovanie meradiel*

a ďalšie odborné služby, ako je termovízna diagnostika, meranie hluku a vibrácií v pracovnom prostredí podľa zákona č. 272/1994 Z. z. o ochrane zdravia ľudí v znení neskorších predpisov.

Skúšky, merania a zistenia sú základným nástrojom na získanie informácií o kompletnosti, funkčnosti a parametrickej zhodnosti. Sú jediným nástrojom na zistenie nezhôd (ÚNMS, 2022).

No nie je dôležité len navrhovať vzduchotechnické sústavy výlučne s prvkov a materiálov, ktoré preukazujú zhodu v zmysle platnej legislatívy, ale rovnako tak je dôležité venovať patričnú pozornosť samotnému výpočtu, návrhu a inštalácii vzduchotechnických sústav. Nezhody vzduchotechnických systémov sa vyskytujú počas ich celého životného cyklu. Inštalácia je obvykle prvá etapa životného cyklu, keď nezhody skutočne začnú byť užívateľom identifikovateľné a reálne, ale aj etapa poznania, keď investor zistí, aké vlastnosti od systému možno očakávať. Je to na neprospech vecí, pretože ich náprava v tomto štádiu už prináša aj nemalé finančné náklady. Vychádzajúc z teórie chýb systémov a praxe znalcov väčšina nezhôd systému zostane neodhalená napriek tomu, že pravdepodobnosť ich prejavu vo forme poruchy s končiacou sa technickou životnosťou systému progresívne rastie a stáva sa potencionálne nebezpečnejšou.

Väčšina nezhôd systému má interdisciplinárny charakter. Napríklad zníženie prietoku vzduchu znamená nielen zníženie prívodu vonkajšieho čerstvého vzduchu, ale aj zníženie výkonu a účinnosti teplovýmennej plochy výmenníkov, predĺženie doby prevádzky pri čiastočnej záťaži, zvýšenie produkcie kondenzátu, zníženie tepelného komfortu vo vnútornom priestore, zníženie životnosti zariadenia, bezpečnosti a pod.

Možnosť ako identifikovať nezhody vetracieho a klimatizačného systému, je postupovať podľa STN EN 12599:2013 Skúšobné postupy a meracie metódy na preberanie inštalovaných vetracích a klimatizačných systémov. Táto európska norma stanovuje skúšky, skúšobné metódy a merania na určenie prevádzkyschopnosti inštalovaných zariadení.

Jedna z možností ako predchádzať nezhodám vetracieho a klimatizačného systému, je postupovať podľa TN 127010 VUV Navrhovanie vetracích a klimatizačných systémov. Norma stanovuje všeobecné požiadavky na navrhovanie vetracích a klimatizačných systémov podľa súčasnej úrovne vedy a techniky a legislatívy a umožňuje tak kontinuitu v normatívnych odkazoch pôvodnej STN 12 7010:1986 v projektovej dokumentácii pre ešte stále jestvujúce diela vzduchotechnických systémov (Löffler, 2016).



## 2 FYZIKÁLNE VELIČINY

*Fyzikálna veličina* je pojem kvantitatívne vystihujúci vlastnosť alebo stav fyzikálneho objektu (hmotného objektu alebo sústavy hmotných objektov) alebo fyzikálneho javu. Bežný pojem (napr. pojem rýchlosť prúdenia vzduchu) sa stáva fyzikálnou veličinou, keď sa zavedie príslušný predpis na jej zmeranie, čiže predpis na priradenie číselnej hodnoty). Fyzikálna veličina je produktom fyzikálneho skúmania.

Každej fyzikálnej veličine sa priradzuje *značka* (symbol), ktorá sa všeobecne označuje písmenom, napr. fyzikálna veličina „rýchlosť“ má symbol  $v$ . Každej fyzikálnej veličine je priradená *merná jednotka*, ktorá je základom kvantitatívneho porovnávania. Napr. fyzikálna veličina „rýchlosť“ má mernú jednotku m/s (meter za sekundu).

Podľa počtu údajov, ktoré sú potrebné na úplné určenie hodnoty fyzikálnej veličiny, rozdeľujeme tieto veličiny na:

- skalár (veľkosť), napr. teplota, vlhkosť, hmotnosť,
- vektor (veľkosť a smer), napr. rýchlosť, sila,
- tenzor (veľkosť a viacero smerov), napr. moment zotrvačnosti, mechanické napätie.

Vo vzduchotechnike najčastejšie pracujeme so skalárnymi veličinami, ojedinele s vektormi (Fričová a kol., 2012).

### 2.1 TERMINOLÓGIA

Meraním zisťujeme hodnoty množstva fyzikálnych veličín pomocou technických meracích prístrojov. Dôležitosť merania je vyjadrená v troch aspektoch:

- Filozofický aspekt spočíva v tom, že merania sú hlavným prostriedkom objektívneho poznania okolitého sveta, najdôležitejšou univerzálnou metódou poznávania fyzikálnych javov a procesov.
- Vedeckým aspektom meraní je, že pomocou meraní sa uskutočňuje prepojenie medzi teóriou a praxou, bez nich nie je možné testovať vedecké hypotézy a vývoj vedy.

- Technickým aspektom meraní je získanie kvantitatívnych informácií o objekte riadenia a kontroly, bez ktorých nie je možné zabezpečiť podmienky pre technologický proces, kvalitu produktu a efektívnu kontrolu procesu.

*Meranie* je proces zberu, prenosu a spracovania informácie o meranej veličine s cieľom získať kvantitatívny výsledok jej porovnaním so zvolenou stupnicou, alebo jednotkou veličiny v tvare vhodnom pre ďalšie použitie človekom, alebo strojom.

*Výskumné a vývojové meranie* slúži na rozvoj nových technických disciplín, získavanie nových vedeckých poznatkov a poznatkov o vyvíjanom zariadení. Vyžaduje sa jeho vysoká presnosť a reprodukovateľnosť.

*Laboratórne meranie* slúži na overovanie a kalibráciu etalónov, normálov a pracovných prístrojov.

*Priemyselné meranie* slúži na zaistenie bezporuchového a hospodárneho priebehu technologického procesu a na dosiahnutie správnych vlastností výrobku.

*Záručné (garančné) meranie* slúži na získavanie informácií o tom, či technologické zariadenie vykazuje parametre garantované výrobcom. Všetky meracie prístroje musia mať platné atesty úradného overenia garantované výrobcom.

*Princíp merania* – fyzikálny jav, ktorý je základom merania.

*Meracia metóda* – systém pravidiel a súhrn pracovných postupov, podľa ktorých sa meranie vykoná.

*Merané veličiny a ich jednotky* – sú pojmy opisujúce javy, stavy telesa a látky.

*Podmienky merania* – sú hodnoty iných, tzv. rušivých veličín zúčastnených na meraní.

*Meracie prostriedky* – technické prostriedky potrebné na uskutočnenie meraní, sú to meracie prístroje s príslušenstvom a pomocné zariadenia.

*Merací prístroj* – technický prostriedok, tzv. *meradlo*, slúži na prenos meranej veličiny na príslušný údaj (analogový, digitálny, riadený mikroprocesorom, virtuálny).

*Meracie zariadenie* – súprava technických prostriedkov určených na meranie. Zahŕňa všetky meradlá a pomocné meracie zariadenia nevyhnutné na aplikáciu danej metódy.

Podľa spôsobu merania a údajov meranej veličiny môžeme prístroje rozdeliť na:

- a) *Analógové meracie prístroje*, ktoré spojitú zmenu meranej veličiny merajú i udávajú spojit. Patria sem všetky elektromechanické meracie systémy ručičkové a vláknové.

- b) *Číslicové (digitálne) meracie prístroje*, ktoré menia meranú analógovú veličinu na diskretnú a spojitú zmenu udávajú v číslicovom (diskrétnom) tvare.
- c) *Meracie prístroje riadené mikroprocesorom*, mikroprocesor je programovateľný logický obvod. S ostatnými obvodmi komunikuje po dátovej, riadiacej a adresovej zbernici.

*Meracie reťazce* – súbor prostriedkov určených na meranie, prenos a spracovanie informácií o meranej veličine. Predstavuje súbor snímačov, meradiel, meracích prístrojov, prevodníkov, meracích kanálov, prostriedkov analógovej a číslicovej techniky, výpočtových prostriedkov, snímačov a registračných zariadení spojených do jedného funkčného celku za účelom požadovaného merania a spracovania informácií o meranej veličine (Čech a kol., 2005).

### 2.1.1 Fyzikálne veličiny vo vzduchotechnickej sústave

Fyzikálne veličiny (Tab. 2.1), ktoré zohrávajú dôležitú úlohu pri výpočte a návrhu vzduchotechnickej sústavy, vychádzajú z predpokladu jej dlhodobej a bezporuchovej prevádzky počas celej doby životnosti. Nedodržanie týchto parametrov v ich hraničných hodnotách vedie ako k deštrukcii samotnej konštrukcie sústavy, tak aj k nespokojnosti samotných užívateľov s kvalitou vnútorného prostredia.

Tabuľka 2.1. Prehľad fyzikálnych veličín meraných vo vzduchotechnickej sústave  
(STN EN 12792:2004)

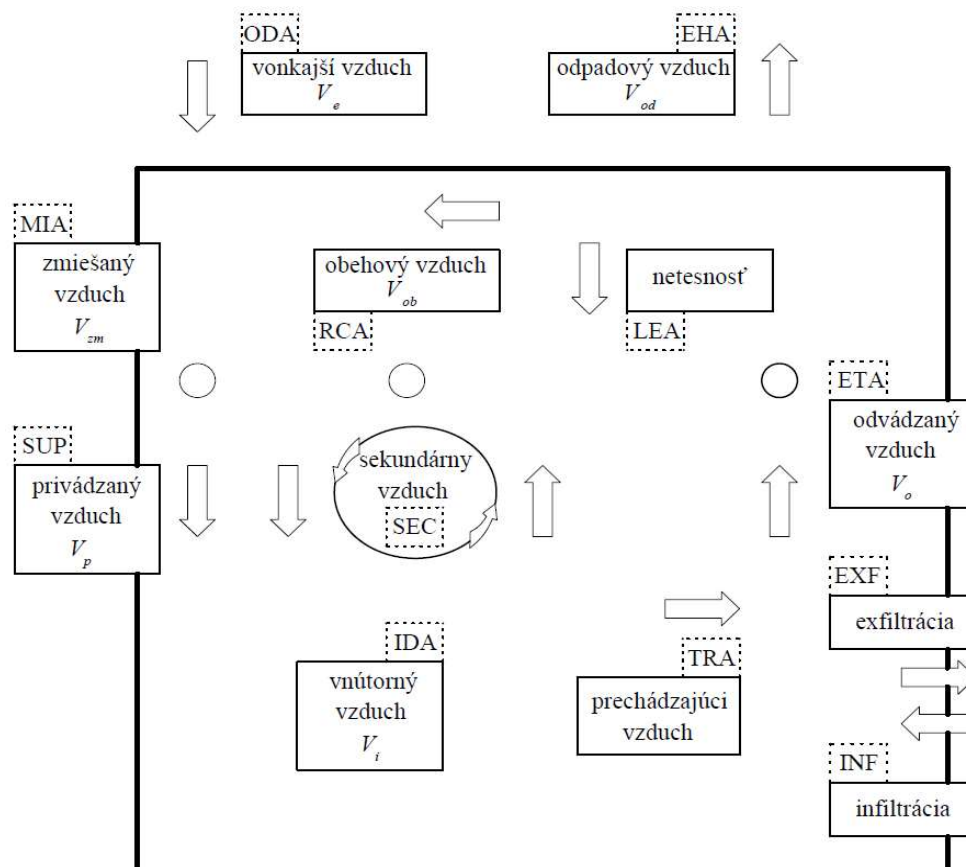
| Názov                                                  | Značka         | Merná jednotka    |
|--------------------------------------------------------|----------------|-------------------|
| Teplota                                                | $\theta$       | °C                |
| - teplota vzduchu (v komorách VZT-jednotky, v potrubí) | $\theta_i$     | °C                |
| - teplota vonkajšieho vzduchu                          | $\theta_e$     | °C                |
| - teplotný rozdiel                                     | $\Delta\theta$ | K                 |
| - povrchová teplota                                    | $\theta_p$     | °C                |
| - teplota rosného bodu                                 | $\theta_{rb}$  | °C                |
| Relatívna vlhkosť vzduchu                              | $\varphi$      | %                 |
| Rýchlosť prúdenia vzduchu                              | $v$            | m/s               |
| Objemový prietok vzduchu                               | $V$            | m <sup>3</sup> /s |
| Tlaková diferencia                                     | $\Delta p$     | Pa                |
| Hladina akustického tlaku                              | $L_{wa}$       | dB                |

Presným výkladom pojmov fyzikálnych veličín v oblasti vzduchotechniky sa zaoberá odporúčaná technická norma STN EN 12792:2004 Vetrание budov. Symboly, terminológia a grafické symboly. Keďže meranie fyzikálnych veličín sa uskutočňuje na rôznych miestach vzduchotechnickej sústavy, na lepšiu komunikáciu vo výstupných protokoloch z meraní je vhodné sa pridržiavať definícií jednotlivých prúdov vzduchu (Tab. 2.2), ktoré charakterizujú najmä proces úpravy vzduchu vo vzduchotechnickej jednotke.

Tabuľka 2.2. Definícia a označenie prúdov vzduchu vo vzduchotechnickej sústave  
(Székelyová a kol., 2004)

| <b>Druh vzduchu</b>                                                                                                                       | <b>Značka</b> | <b>Farba<br/>vo výkresoch</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------|
| <i>Vonkajší vzduch</i><br>Neupravovaný vzduch vstupujúci (prúdiaci) do jednotky na úpravu vzduchu alebo do otvoru samostatnej miestnosti. | ODA           | zelená                        |
| <i>Privádzaný vzduch</i><br>Prúd vzduchu vstupujúci do upravovaného priestoru, ktorý vstupuje až potom ako bol upravený.                  | SUP           | modrá                         |
| <i>Vnútorň vzduch</i><br>Vzduch v upravovanej miestnosti, priestore alebo zóne.                                                           | IDA           | sivá                          |
| <i>Prechádzajúci vzduch</i><br>Vnútorň vzduch, ktorý prúdi z upravovanej miestnosti do inej upravovanej miestnosti.                       | TRA           | sivá                          |
| <i>Odvádzaný vzduch</i><br>Prúd vzduchu opúšťajúci upravovanú miestnosť.                                                                  | ETA           | žltá                          |
| <i>Obehový vzduch</i><br>Časť odvádzaného vzduchu, ktorá vstupuje späť do jednotky na úpravu vzduchu.                                     | RCA           | oranžová                      |
| <i>Zmiešaný vzduch</i><br>Vzduch, ktorý obsahuje dva alebo viac druhov prúdov vzduchu.                                                    | MIA           | -                             |
| <i>Odpadový vzduch</i><br>Prúd vzduchu prúdiaci z jednotky na úpravu vzduchu do vonkajšieho prostredia.                                   | EHA           | hnedá                         |
| <i>Sekundárny vzduch</i><br>Prúd vzduchu odvádzaný z jednej miestnosti a po jeho úprave znova privádzaný do tej istej miestnosti.         | SEC           | oranžová                      |
| <i>Netesnosť</i><br>Neželaný prietok vzduchu cez netesné miesta vo vzduchotechnickom systéme.                                             | LEA           | sivá                          |
| <i>Infiltrácia</i><br>Vzduch vstupujúci do budovy cez netesné miesta v obvodovom plášti.                                                  | INF           | zelená                        |
| <i>Exfiltrácia</i><br>Vzduch vystupujúci z budovy cez netesné miesta v obvodovom plášti budovy.                                           | EXF           | sivá                          |

Grafické vysvetlenie tabuľky je uvedené na nasledujúcom obrázku:



Obr. 2.1. Schéma jednotlivých prúdov vzduchu vo vzduchotechnickej sústave (Székelyová a kol., 2004)

### 2.1.2 Tepelno vlhkosťné parametre vnútorného prostredia

Medzi tepelno vlhkosťné parametre (meraného) pracovného/pobytového prostredia človeka, ktoré pôsobia na jeho organizmus, taktiež označované ako *mikroklmatické faktory* (Tab. 2.3), t. j. fyzikálne veličiny, ktoré sa vo vzduchotechnike používajú najčastejšie, sú predovšetkým teplota, vlhkosť, rýchlosť prúdenia a tlak, samozrejme všetko stiahnuté k fyzikálnej látke – vzduch.

Na celkové vyhodnotenie kvality vnútorného prostredia je ďalej potrebné poznať aj fyziologické veličiny človeka – jeho metabolickú produkciu  $M$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) a celkový tepelný odpor odevu a medznej vrstvy vzduchu uvádzanej v merných jednotkách  $\text{clo}$  alebo  $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ .

Tabuľka 2.3. Prehľad fyzikálnych veličín meraných vo vnútornom priestore

| Názov                                                                                                                  | Značka              | Merná jednotka    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Teplota                                                                                                                | $\theta$            | °C                |
| - operatívna teplota (stanovená výpočtom)                                                                              | $\theta_o$          | °C                |
| - výsledná teplota                                                                                                     | $\theta_g$          | °C                |
| - teplota vnútorného vzduchu                                                                                           | $\theta_i$          | °C                |
| - teplota vonkajšieho vzduchu                                                                                          | $\theta_e$          | °C                |
| - stredná radiačná teplota                                                                                             | $\theta_r$          | °C                |
| - asymetria radiačnej teploty                                                                                          | $\Delta\theta_{pr}$ | K                 |
| - teplotný rozdiel                                                                                                     | $\Delta\theta$      | K                 |
| - povrchová teplota                                                                                                    | $\theta_p$          | °C                |
| - teplota mokrého teplomeru - psychrometrická                                                                          | $\theta_w$          | °C                |
| - teplota prirodzene vetraného mokrého teplomeru (t. j. teplota bežného okolia; ozn. aj ako teplota suchého teplomeru) | $\theta_{nw}$       | °C                |
| - teplota rosného bodu                                                                                                 | $\theta_{rb}$       | °C                |
| Relatívna vlhkosť vzduchu                                                                                              | $\varphi$           | %                 |
| Rýchlosť prúdenia vzduchu                                                                                              | $v$                 | m/s               |
| Objemový prietok vzduchu                                                                                               | $V$                 | m <sup>3</sup> /s |
| Parciálny tlak vodných pár                                                                                             | $p_d$               | Pa                |
| Intenzita turbulencie prúdiaceho vzduchu                                                                               | $T_u$               | %                 |
| Hladina akustického tlaku                                                                                              | $L_{wa}$            | dB                |

*Metabolická produkcia organizmu*

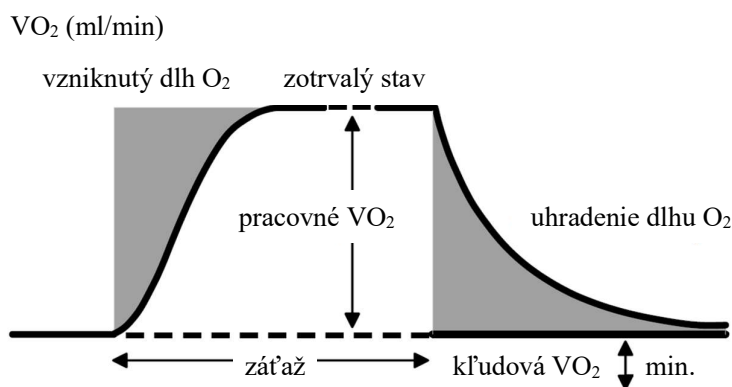
Energia pre svalovú činnosť ľudského tela je čerpaná bezprostredne z adenosintrifosfátu (ATP), ktorý sa ďalej štiepi na adenosindifosfát (ADP), pričom sa uvoľní energia, ktorá je využitá pre svalovú kontrakciu. Zásoba ATP vo svaloch je však veľmi malá, preto musí byť priebežne regenerovaná, konkrétne je hradená energiou získanou štiepením živín, ktoré človek prijíma, predovšetkým sacharidov a tukov. Pri rozklade sacharidov, tukov a v istej miere aj bielkovín vzniká v ľudskom tele veľké množstvo energie, ktoré je ukladané vo forme molekúl (predovšetkým ATP) a tepla (Ivanková, 2021).

Na začiatku svalovej práce, keď svalstvo nie je dostatočne prekrvené a krvný obeh nemôže dodať svalom potrebné množstvo kyslíku, nedosahuje intenzita oxidatívnych procesov úroveň energie uvoľňovanej z ATP. Vzniká kyslíkový dlh, ktorý musí organizmus uhradiť po ukončení

svalovej práce. Pri ľahkej a strednej práci dochádza v priebehu 3 až 5 minút od začiatku práce k vyrovnaniu medzi množstvom energie vynakladanej na svalovú prácu z ATP a množstvom energie uvoľňovanej štiepením živín.

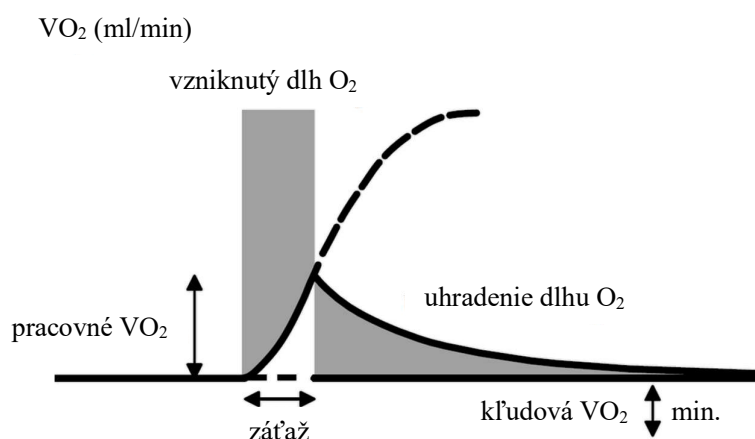
Stav, keď dôjde k tomuto vyrovnaniu, nazývame rovnovážnym stavom. O veľkosti energetického výdaja pri ľahkej a stredne ťažkej svalovej práci nás informuje spotreba kyslíku, zistená počas rovnovážneho stavu. Pri ťažkej svalovej práci zvyšuje síce organizmus dodávku kyslíku do svalov, ale nedochádza k rovnováhe medzi potrebou a dodávkou kyslíku. Kyslíkový dlh preto v závislosti od času stúpa až do prerušenia práce alebo vyčerpania organizmu. Vzniknutý kyslíkový dlh sa nahradí až po skončení práce v priebehu odpočinku. O veľkosti energetického výdaja pri ťažkej svalovej práci nás informuje súčet spotreby kyslíku nameranej ako v pracovnej fáze, tak aj počas odpočinku. Meranie energetického výdaja človeka sa meria pomocou dvoch metód a to priamou a nepriamou kalorimetriou (Ivanková, 2021).

*Nepriama kalorimetria* – je to najpresnejšia metóda na stanovenie energetického výdaja. Pri ľahkej a stredne ťažkej svalovej práci vykonávame meranie tak, že meriame veľkosť ventilácie po dobu 10 až 20 minút v rovnovážnom stave. Tento postup sa nazýva parciálna metóda (Obr. 2.2). Zároveň sa vykonáva analýza vydychovaného vzduchu na koncentráciu  $O_2$  a  $CO_2$ . Po korekcii minútovej ventilácie na štandardné podmienky sa vypočíta minútová spotreba kyslíku, ktorá sa vynásobí energetickým ekvivalentom, ktorý zodpovedá nameranému respiračnému kvocientu. Pri moderných prístrojoch vykonáva celý výpočet zabudovaný mikroprocesor (Ivanková, 2021).



Obr. 2.2. Meranie energetického výdaja parciálnou metódou (STN EN ISO 8996:2022)

Pri krátko trvajúcich pracovných úkonoch a pri ťažkej svalovej práci, keď nedochádza k rovnovážnemu stavu, sa meranie začína v okamihu začiatku práce a ďalej pokračuje ešte 15 minút po jej ukončení. Pokusná (meraná) osoba pred začiatkom pracovnej činnosti a ihneď po jej ukončení zostáva v pokoji. Energetický výdaj sa rovná celkovému energetickému výdaju nameranému počas pracovnej i odpočinkovej fáze, po odpočítaní pokojového metabolizmu pripadajúceho ako na pracovnú, tak i na odpočinkovú fázu. Tento postup sa nazýva integrálna metóda (Obr. 2.3). Podrobne je metodika merania energetického výdaja uvedená v odporúčanej technickej norme STN EN ISO 8996:2022 (Ivanková, 2021).



Obr. 2.3. Meranie energetického výdaja integrálnou metódou (STN EN ISO 8996:2022)

Menej presnou, ale v hygienickej praxi najzaužívanejšou metódou, je odhad energetického výdaja pomocou tabuliek.

Podľa požiadaviek na presnosť možno použiť podľa spomenutej technickej normy nasledujúce postupy na stanovenie energetického výdaja človeka (Ivanková, 2021):

- Odhad energetického výdaja *podľa druhu činnosti*

Energetický výdaj sa pre danú činnosť zaraďuje do jednej z piatich tried uvedených v Tab. 2.4. Uvedené hodnoty zahŕňajú i krátke prestávky v priebehu pracovnej činnosti.

- Odhad energetického výdaja *podľa povolania*

Priemerné hodnoty energetického výdaja pri jednotlivých povolaniach uvádza Tab. 2.5.



Tabuľka 2.4. Odhad energetického výdaja podľa druhu činnosti (STN EN ISO 8996:2022)

| Trieda                                     | Hodnoty na výpočet priemerného energetického výdaja |     | Príklad činnosti                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            | (W/m <sup>2</sup> )                                 | (W) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>0</b><br>Pokojevá hodnota               | 65                                                  | 115 | Pokoj (odpočinok)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>1</b><br>Nízky energetický výdaj        | 100                                                 | 180 | Sedenie v pokoji: ľahká manuálna práca (písanie, písanie na stroji, kreslenie, šitie, účtovníctvo); práce rukou a paží (drobné pracovné nástroje, kontrola, zostavovanie alebo triedenie ľahkých predmetov); práce paží a nohou (riadenie vozidla za bežných podmienok, obsluha nožného spínača alebo pedálu). Státie: vŕtanie (drobné súčiastky); frézovanie (drobné súčiastky); navíjanie cievok; rezanie závitů malých armatúr; obrábanie s malým úsilím; občasná chôdza (rýchlosť do 3,5 km/h). |
| <b>2</b><br>Stredný energetický výdaj      | 165                                                 | 295 | Stála práca rukou a paží (zatĺkanie klinca, plnenie); práce paží a nohou (riadenie – prevoz nákladných áut, traktorov a stavebných strojov); práce paží a trupu (práce s pneumatickým kladivom, montáž traktora, omietanie, prerušovaná manipulácia so stredne ťažkým materiálom, práca s motykou, zber ovocia alebo zeleniny; tlačenie alebo ťahanie ľahkých vozíkov; chôdza s rýchlosťou 3,5 km/h až 5,5 km/h; kovanie).                                                                          |
| <b>3</b><br>Vysoký energetický výdaj       | 230                                                 | 415 | Intenzívna práca paží a trupu; nosenie ťažkého materiálu; práca s lopatou; práca s kladivom; rezanie, hobľovanie alebo sekanie tvrdého dreva; ručné kosenie trávy; kopanie; chôdza s rýchlosťou 5,5 km/h až 7 km/h. Tlačenie alebo ťahanie ručných vozíkov s ťažkým nákladom; otlkanie odliatok; pokladanie betónových tvárnic.                                                                                                                                                                     |
| <b>4</b><br>Veľmi vysoký energetický výdaj | 290                                                 | 520 | Veľmi intenzívna činnosť v rýchlom až maximálnom tempe; práca so sekerou; intenzívna práca s lopatou alebo kopanie; chôdza do schodov, na rampu alebo stúpanie po rebríku; rýchla chôdza s malými krokmi, beh, chôdza s rýchlosťou vyššou než 7 km/h.                                                                                                                                                                                                                                               |

Tabuľka 2.5. Odhad energetického výdaja podľa povolania (výber) (STN EN ISO 8996:2022)

| Povolanie               | Energetický výdaj<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Povolanie           | Energetický výdaj<br>(W/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|
| murár                   | 110 až 160                               | jemný mechanik      | 70 až 110                                |
| tesár                   | 110 až 175                               | viazač kníh         | 75 až 100                                |
| sklár                   | 90 až 125                                | záhradník           | 115 až 190                               |
| natierač                | 100 až 130                               | traktorista         | 85 až 110                                |
| pekár                   | 110 až 140                               | vodič elektrovozika | 80 až 125                                |
| hodinár                 | 55 až 70                                 | žeriavnik           | 65 až 145                                |
| strojník ťažkého stroja | 70 až 85                                 | laborant            | 85 až 100                                |
| kováč                   | 90 až 200                                | učiteľ              | 85 až 100                                |
| zvárač                  | 75 až 125                                | predavačka          | 100 až 120                               |
| sústružník              | 75 až 125                                | sekretárka          | 70 až 85                                 |

- Odhad energetického výdaja *podľa polohy tela*

Priemerné hodnoty energetického výdaja pri jednotlivých polohách tela uvádza Tab. 2.6.

Tabuľka 2.6. Odhad energetického výdaja podľa polohy tela (STN EN ISO 8996:2022)

| Poloha | Energetický výdaj<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Poloha | Energetický výdaj<br>(W/m <sup>2</sup> ) |
|--------|------------------------------------------|--------|------------------------------------------|
| sed    | 10                                       | drep   | 20                                       |
| kľak   | 20                                       | stoj   | 25                                       |

*Tepelný odpor odevu*

Tepelné parametre odevu človeka výrazne ovplyvňujú tepelnú bilanciu ľudského organizmu. Oblečenie plní funkciu tepelnej izolácie medzi pokožkou človeka a okolitým vzduchom. Hodnota izolácie oblečenia je tak ako hodnota metabolizmu dôležitým osobným faktorom, ktorý ovplyvňuje stanovenie optimálnej teploty vnútorného vzduchu na zabezpečenie tepelnej pohody a zdravia užívateľov vnútorného prostredia.

Na posúdenie tepelných podmienok sa stanoví tepelný odpor odevu podľa odporúčanej technickej normy STN EN ISO 9920:2009. Tepelné odpory odevu pre typické odevné komplety sú uvedené v Tab. 2.7 a Tab. 2.8.

Tabuľka 2.7. Tepelné odpory pracovných odevov pre typické odevné komplety – pracovný odev  
(STN EN ISO 8996:2022)

| Pracovný odev                                                                                                                                                                               | $I_{cl}$ |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|
|                                                                                                                                                                                             | (clo)    | ((m <sup>2</sup> ·°C)/W) |
| Spodná bielizeň s krátkym rukávom a nohavicami, košeľa, nohavice, sako (bunda), prevlečník a nohavice s náprsenkou s ťažko prešívanou podšívkou, ponožky, obuv                              | 1,85     | 0,285                    |
| Spodná bielizeň s krátkym rukávom a nohavicami, košeľa, nohavice, sako (bunda), prevlečník a nohavice s náprsenkou s ťažko prešívanou podšívkou, ponožky, obuv, čiapka, rukavice            | 2,00     | 0,310                    |
| Spodná bielizeň s dlhým rukávom a nohavicami, termosako (bunda) a termonohavice, termoprevlečník a termonohavice s náprsenkou s ťažko prešívanou podšívkou, ponožky, obuv, čiapka, rukavice | 2,20     | 0,340                    |
| Spodná bielizeň s dlhým rukávom a nohavicami, termosako (bunda) a termonohavice, vetrovka a nohavice s náprsníkom s ťažko prešívanou podšívkou, ponožky, obuv, čiapka, rukavice             | 2,55     | 0,395                    |

Tabuľka 2.8. Tepelné odpory pracovných odevov pre typické odevné komplety – denný odev  
(STN EN ISO 8996:2022)

| Pracovný odev                                                                                                   | $I_{cl}$ |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|
|                                                                                                                 | (clo)    | ((m <sup>2</sup> ·°C)/W) |
| Slipy, košeľa, nohavice, sako (bunda), ponožky, obuv                                                            | 1,00     | 0,155                    |
| Nohavičky, pančuchy, košeľa, sukňa, vesta, sako (bunda), obuv                                                   | 1,00     | 0,155                    |
| Nohavičky, pančuchy, blúzka, dlhá sukňa, sako (bunda), obuv                                                     | 1,10     | 0,170                    |
| Spodná bielizeň, spodné tričko s krátkym rukávom, košeľa, nohavice, sako (bunda), ponožky, obuv                 | 1,10     | 0,170                    |
| Spodná bielizeň, spodné tričko s krátkym rukávom, košeľa, nohavice, vesta, sako (bunda), ponožky, obuv          | 1,15     | 0,180                    |
| Spodná bielizeň s dlhým rukávom a nohavicami, košeľa, nohavice, sveter s výstrihom tvaru V, sako, ponožky, obuv | 1,30     | 0,200                    |
| Spodná bielizeň s krátkym rukávom a nohavicami, košeľa, nohavice, vesta, sako (bunda), plášť, ponožky, obuv     | 1,50     | 0,230                    |

## 2.2 FYZIKÁLNA VELIČINA A MERNÁ JEDNOTKA

V minulosti používali ľudia pri meraní rôzne jednotky ako napr. merica, lakeť či stopa a bolo len veľmi ťažké rovnakú meranú hodnotu vzájomne porovnať.

V súčasnosti sa vo väčšine krajín sveta používa *Medzinárodná sústava jednotiek*, označovaná skratkou *SI* (z franc. Le Systéme International d'Unités), ktorá bola uzákonená na 11. zasadnutí Generálnej konferencie pre váhy a miery v roku 1960 a od roku 1977 aj Slovensko uzákonilo vyjadrovanie meraní podľa tejto sústavy. Sústava SI je univerzálna a jednoduchá, a preto spĺňa požiadavky súčasnej vedy, techniky a tiež každodenného života. Jej používanie umožňuje jednoduchú komunikáciu a spoluprácu medzi ľuďmi rôznych krajín na celom svete.

Sústava SI rozdeľuje merné jednotky na *základné* (sekunda, meter, kilogram, ampér, kelvin, mól, kandela), ktoré sú od roku 2019 definované prírodnými konštantami, ktorých hodnoty sú presne stanovené dohodou (Tab. 2.9) a ďalej na *odvodené* jednotky (Sústava SI, 2022).

Tabuľka 2.9. Základné merné jednotky sústavy SI (výber) (Sústava SI, 2022)

| Merná jednotka | Definícia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| s              | <b>Sekunda</b> (symbol s) je jednotkou <i>času</i> v sústave SI. Je definovaná fixovaním číselnej hodnoty céziovej frekvencie $\Delta\nu_{Cs}$ , t. j. frekvencie atómu cézia 133 v pokoji, zodpovedajúcej prechodu medzi dvoma hladinami veľmi jemnej štruktúry základného stavu atómu cézia 133 tak, aby bola presne 9 192 631 770, keď je vyjadrená v jednotke Hz, ktorá sa rovná $s^{-1}$ .                                                                                                                |
| m              | <b>Meter</b> (symbol m) je jednotkou <i>dĺžky</i> v sústave SI. Je definovaný fixovaním číselnej hodnoty rýchlosti svetla vo vákuu $c$ tak, aby bola presne 299 792 458, keď je vyjadrená v jednotke m/s, kde sekunda je definovaná pomocou céziovej frekvencie $\Delta\nu_{Cs}$ .                                                                                                                                                                                                                             |
| kg             | <b>Kilogram</b> (symbol kg) je jednotkou <i>hmotnosti</i> v sústave SI. Je definovaný fixovaním číselnej hodnoty Planckovej konštanty $h$ tak, aby bola presne $6,62607015 \cdot 10^{-34}$ , keď je vyjadrená v jednotke J.s, ktorá sa rovná $kg \cdot m^2/s$ , kde meter a sekunda sú definované pomocou prírodných konštánt $c$ a $\Delta\nu_{Cs}$ .                                                                                                                                                         |
| K              | <b>Kelvin</b> (symbol K) je jednotkou <i>termodynamickej teploty</i> v sústave SI. Je definovaný fixovaním číselnej hodnoty Boltzmannovej konštanty $k_B$ tak, aby bola presne $1,380649 \cdot 10^{-23}$ , keď je vyjadrená v jednotke J/K, ktorá sa rovná $kg \cdot m^2/(s^2 \cdot K)$ , kde kilogram, meter a sekunda sú definované pomocou prírodných konštánt $h$ , $c$ a $\Delta\nu_{Cs}$ .                                                                                                               |
| mol            | <b>Mól</b> (symbol mol) je jednotkou <i>látkového množstva</i> v sústave SI. Jeden mól obsahuje presne $6,02214076 \cdot 10^{23}$ elementárnych entít. Tento počet je fixovanou číselnou hodnotou Avogadrovej konštanty $N_A$ , keď je vyjadrená v jednotke $mol^{-1}$ a nazýva sa Avogadrovo číslo.<br>Látkové množstvo (symbol $n$ ) systému je mierou počtu špecifikovaných elementárnych entít. Týmito entitami môžu byť atómy, molekuly, ióny, elektróny, iné častice alebo špecifikované skupiny častíc. |

Odvođené jednotky sústavy SI boli získané zo základných alebo už odvodených jednotiek pomocou definičných vzťahov zodpovedajúcich fyzikálnych veličín. Niektoré z nich, ktoré budeme najčastejšie používať, sú spolu s názvami a označením zodpovedajúcich fyzikálnych veličín uvedené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 2.10).

Tabuľka 2.10. Odvođené merné jednotky sústavy SI (výber) (Sústava SI, 2022)

| Fyzikálna veličina |               | Merná jednotka               |                 |
|--------------------|---------------|------------------------------|-----------------|
| názov              | značka        | názov                        | značka          |
| obsah, plocha      | $A$ alebo $S$ | meter štvorcový              | $\text{m}^2$    |
| objem              | $V$           | meter kubický                | $\text{m}^3$    |
| rýchlosť           | $v$           | meter za sekundu             | $\text{m/s}$    |
| hustota            | $\rho$        | kilogram<br>na meter kubický | $\text{kg/m}^3$ |
| tlak               | $p$           | pascal                       | $\text{Pa}$     |
| energia            | $E$ alebo $U$ | joule                        | $\text{J}$      |
| teplo              | $Q$           | joule                        | $\text{J}$      |
| výkon              | $P$           | watt                         | $\text{W}$      |
| frekvencia         | $f$           | hertz                        | $\text{Hz}$     |

Násobky a diely merných jednotiek sa tvoria z hlavných jednotiek násobením alebo ich delením vhodnou mocninou desiatky. Ich názov je potom zložený z predpony, ktorá zodpovedá príslušnému násobku hlavnej jednotky a názvu tejto jednotky.

### 3 TEÓRIA MERANIA

Jednou zo základných úloh fyziky, ako základnej prírodnej vedy, je vyšetrovať, opisovať a vysvetľovať fyzikálne javy a stanoviť zákonitosti, ktorými sa tieto javy riadia. Pritom svoje poznatky čerpá z exaktného pozorovania a experimentov. Experimenty môžu viesť ku kvalitatívnym záverom, t. j. získame poznatok o tom, ako jedna veličina závisí od iných fyzikálnych veličín, alebo ide o experiment kvantitatívny, pri ktorom získanie číselných údajov umožňuje zistiť nielen charakter (kvalitu), ale aj veľkosť (kvantitu) pozorovaných zmien vyšetrovanej fyzikálnej veličiny. Uskutočňovanie kvantitatívnych experimentov nazývame *meraním*.

Fyzikálne poznatky sa vo väčšine prípadov získavajú z číselných údajov experimentu, t. j. z uskutočnených meraní. Hlavnou úlohou merania je teda získať poznatky o hodnotách fyzikálnych veličín a vzťahoch medzi nimi. Tú istú fyzikálnu veličinu možno merať rôznym spôsobom. Správnosť a presnosť merania je daná nielen spôsobom, ktorým veličiny meriame, ale aj prístrojmi, ktoré nato používame. V tomto zmysle meracím prístrojom rozumieme každé zariadenie, ktoré umožňuje našim zmyslovým orgánom sprostredkovať číselný údaj meranej veličiny. Dokonalosť a presnosť merania závisí tiež v podstatnej miere od zručnosti a skúsenosti pozorovateľa, ktorý meranie uskutočňuje (Vajda a kol., 2003).

#### 3.1 METÓDY MERANIA

Ako už bolo uvedené, pod pojmom *meranie* rozumieme proces získavania číselnej hodnoty fyzikálnej veličiny v zvolených merných jednotkách. Spôsob jej určenia nazývame *metóda merania*.

Každú meranú veličinu môžeme merať viacerými metódami, závisí to najmä od druhu fyzikálnej veličiny a od prístrojového vybavenia. Na experimentálnych meraniach sa využívajú nasledujúce metódy merania (Ševčovič, 2006):

##### 3.1.1 Metóda jednorazového a opakovaného merania

Ak fyzikálnu veličinu odmeriame meracím prístrojom raz, ide o *jednorazové meranie*. Napríklad raz odmeriame teplotu vnútorného vzduchu pomocou teplomera ( $\theta = 20,5^\circ\text{C}$ ). Avšak

pokiaľ chceme výsledok merania spresniť, najjednoduchším spôsobom je meranie viackrát opakovať. Meranie, pri ktorom danú fyzikálnu veličinu odmeriame niekoľkokrát (minimálny počet meraní pri experimentálnych meraniach je 5), sa nazýva *opakované meranie*. Opakovaným meraním získame súbor nameraných číselných hodnôt  $x_1, x_2 \dots x_n$ , z ktorého určíme ako výsledok merania výberový (aritmetický) priemer:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{m. j.}) \quad (3.1)$$

kde:

$n$  je počet meraní (-).



#### Příklad

Pri opakovanom meraní teploty vnútorného vzduchu pomocou (digitálneho) teplomera sme túto hodnotu namerali 5-krát. Za výslednú hodnotu budeme považovať výberový priemer vypočítaný z jednotlivých nameraných teplôt, pričom budeme vychádzať z rovnice (3.1):

$$\begin{aligned} \bar{\theta} &= \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \theta_i = \frac{1}{5} (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5) \\ \bar{\theta} &= \frac{1}{5} (20,4 + 20,2 + 20,3 + 20,4 + 20,2) = 20,3 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Priemerná teplota vnútorného vzduchu je po opakovanom meraní stanovená výpočtom na hodnotu 20,3 °C.

### 3.1.2 Metóda priameho a nepriameho merania

Ak hodnotu meranej fyzikálnej veličiny určíme priamym odčítaním zo stupnice meracieho prístroja, hovoríme, že je meraná *priamo*. Napríklad pri meraní rýchlosti prúdenia vzduchu číselná hodnota odčítaná priamo na displeji anemometra predstavuje hodnotu, akou vzduch prúdi v meranom okamihu.

Meráť fyzikálnu veličinu *nepriamo* znamená, že samotná veličina  $x$ , ktorej hodnotu chceme zistiť, je funkciou viacerých fyzikálnych veličín rôzneho druhu, ktoré sa merajú:

$$x = f(y_1, y_2 \dots y_n) \quad (3.2)$$

Ak poznáme hodnoty  $y_1 \dots y_n$ , potom pomocou nich vieme určiť hodnotu výslednej veličiny  $x$ .



#### *Príklad*

Vo vzduchotechnickom potrubí kruhového prierezu dimenzie DN200 sme namerali pomocou anemometra rýchlosť prúdenia vzduchu 4,8 m/s. Otázkou je, aký objemový prietok vzduchu daným potrubím prúdi?

Objemový prietok vzduchu je v tomto prípade funkciou prierezovej plochy potrubia a rýchlosti prúdenia vzduchu, môžeme teda urobiť zápis závislosti v zmysle rovnice (3.2):

$$V = f(A, v)$$

Potom výpočet bude takýto:

$$\begin{aligned} V &= A \cdot v & (\text{m}^3/\text{s}) & \quad (3.3) \\ V &= 0,0314 \cdot 4,8 = 0,15 \text{ m}^3/\text{s} = 540 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

kde:

$V$  je objemový prietok vzduchu ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

$A$  – plocha prierezu ( $\text{m}^2$ ); pre potrubie DN200 hodnota  $A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2$ ,

$v$  – rýchlosť prúdenia vzduchu ( $\text{m/s}$ ).

Potrubím s prierezom DN200 prúdi pri rýchlosti prúdenia vzduchu 4,8 m/s objemový prietok vzduchu 540  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Hodnota objemového prietoku vzduchu 540  $\text{m}^3/\text{h}$  bola zistená (vypočítaná) nepriamou metódou na základe nameraných či vypočítaných iných fyzikálnych veličín, ktorých objemový prietok vzduchu bol funkciou. Ak niektoré z fyzikálnych veličín vstupujúcich do výpočtu odmeriame viackrát (v našom prípade rýchlosť prúdenia vzduchu v potrubí), teda použijeme metódu *opakovaného nepriameho merania*, potom výsledok merania bude presnejší.



## 3.2 CHYBY MERANIA

Žiadne meranie nemôže vystihnúť všetky podrobnosti sledovaného (meraného) deja a výsledky nie sú preto nikdy úplne presné. Z tohto dôvodu úlohou merania je nielen určiť hodnotu meranej veličiny, ale tiež odhadnúť chybu merania a neistotu, ktorej sa dopustíme pri meraní. V tejto časti sa sústreďíme na definovanie chyby merania z hľadiska fyziky a rozdelíme chyby podľa pôvodu ich vzniku (Fričová a kol., 2012).

### 3.2.1 Hrubá, systematická a náhodná chyba

Presnosť merania ovplyvňuje chyba merania. Pod *chybou merania* rozumieme rozdiel medzi nameranou a skutočnou hodnotou meranej fyzikálnej veličiny.

*Skutočná hodnota veličiny* je ideálny pojem, jej hodnota nie je presne známa. Preto sa zavádza tzv. *konvenčne pravá hodnota*, ktorá predstavuje hodnotu veličiny dostatočne blízku ku skutočnej hodnote. Za konvenčne pravú hodnotu môžeme pokladať tabuľkovú hodnotu (napr. tabuľková hodnota mernej tepelnej kapacity vzduchu je  $c = 1010 \text{ J/(kg.K)}$ ), výberový priemer meranej veličiny alebo hodnotu meranej veličiny určenú z definície.

Zdrojom chýb pri meraniach môže byť nedokonalosť meracích prístrojov, nevhodnosť zvolených meracích metód, nekontrolovateľné zmeny podmienok, ako aj chyby človeka, ktorý meranie uskutočňuje (experimentátor). Podľa pôvodu delíme chyby:

a) *Hrubé chyby* – vznikajú nedbalosťou experimentátora, napr. chybným odčítaním údajov z prístroja. Ich výskyt môžeme zistiť pri opakovaných meraniach. Ak sa v súbore nameraných veličín jedna z nich výrazne líši od ostatných, môžeme predpokladať, že táto veličina je zaťažená hrubou chybou a pri spracovaní ju neberieme do úvahy.



#### Příklad

Zistite, ktorá hodnota dĺžky zo súboru odmeraných dĺžok priameho kusu vzduchotechnického kruhového potrubia je zaťažená hrubou chybou. Súbor odmeraných dĺžok:  $l_1 = 1,00 \text{ m}$ ,  $l_2 = 1,05 \text{ m}$ ,  $l_3 = 1,30 \text{ m}$ ,  $l_4 = 1,01 \text{ m}$ ,  $l_5 = 1,02 \text{ m}$ . Výrazne sa líši hodnota  $l_3 = 1,30 \text{ m}$ . Tretia odmeraná hodnota dĺžky je zaťažená hrubou chybou, preto ju nebudeme pri spracovaní hodnôt brať do úvahy a budeme vyhodnocovať len zvyšné štyri namerané hodnoty.

b) *Systematické (sústavné) chyby* – majú pôvod v použitej metóde merania, v meracích prístrojoch alebo v osobe experimentátora (tzv. osobná chyba – napr. zotrvačnosť pri stlačení stopiek). Sústavné chyby sa líšia od hrubých chýb tým, že výsledok merania je buď stále väčší alebo stále menší ako správna hodnota, preto nie sú tak ľahko identifikovateľné.



#### Príklad

Pri určovaní tiažového zrýchlenia (zrýchlenie voľného pádu) pre mesto Košice odmeriame súbor hodnôt  $g_1 = 9,818 \text{ m/s}^2$ ,  $g_2 = 9,821 \text{ m/s}^2$ ,  $g_3 = 9,819 \text{ m/s}^2$ ,  $g_4 = 9,820 \text{ m/s}^2$ ,  $g_5 = 9,818 \text{ m/s}^2$ , ktoré sú o niečo väčšie ako je tabuľková hodnota tiažového zrýchlenia  $g_{tab} = 9,80916 \text{ m/s}^2$ .

c) *Náhodné chyby* – tieto chyby vznikajú náhodne vplyvom prostredia (napr. zmena teploty v miestnosti, zmena smeru prúdenia vzduchu) alebo vplyvom prebiehajúcich dejov v meracích prístrojoch (napr. trenie), ktoré limitujú ich presnosť. Pri týchto chybách nevieme predpokladať, kedy nastanú. Napriek tomu náhodnosť dejov, ktoré spôsobujú tieto chyby, sa dá matematicky opísať pomocou matematickej štatistiky a teórie pravdepodobnosti.

### 3.2.2 Absolútna a relatívna chyba

Pri spracovaní nameraných hodnôt budeme vyhodnocovať presnosť merania pomocou absolútnej a relatívnej chyby.

Pod pojmom *absolútna chyba* merania rozumieme rozdiel medzi presnou hodnotou meranej veličiny  $x$  a nameranou hodnotou  $x'$ . Jej matematický zápis:

$$\delta x = x - x' \quad (\text{m. j.}) \quad (3.4)$$

kde:

$x$  je presná hodnota meranej veličiny (m. j.),

$x'$  – nameraná hodnota, napr. tabuľková (m. j.).

Jednotka absolútnej chyby merania je rovnaká ako jednotka meranej veličiny. Absolútna chyba môže nadobúdať aj záporné hodnoty.



#### Příklad

Dĺžka väčšieho rozmeru prierezu hranatého potrubia má byť podľa výrobných noriem 400 mm. Pri meraní bola zistená hodnota 400,02 mm. Pri výpočte vychádzame z rovnice (3.4):

$$\delta x = x - x'$$

$$\delta l = 400,02 - 400 = 0,02 \text{ mm}$$

Absolútna chyba merania predstavuje kladnú hodnotu 0,02 mm.

Problémom ale je, že väčšinou nie je známa skutočne presná hodnota meranej veličiny  $x$ , preto sa takto chyba merania nedá vypočítať. Pozor, tabuľková hodnota nie je skutočnou hodnotou meranej fyzikálnej veličiny!

Úlohou teórie chýb je teda na základe súboru viacerých meraní nájsť „najlepší“ odhad skutočnej hodnoty  $x$  meranej veličiny a odhad tzv. *absolútnej smerodajnej (štandardnej) chyby*  $\delta x$ . Táto chyba charakterizuje veľkosť intervalu, v ktorom je možné očakávať, že bude skutočná hodnota ležať. Ale kvalitu meraní zvyčajne nehodnotíme pomocou absolútnej chyby, ale pomocou chyby relatívnej. *Relatívna chyba* merania je definovaná ako podiel absolútnej chyby merania a odhadovanej hodnoty. Relatívna chyba predstavuje kladnú číselnú hodnotu, často sa vyjadruje v percentách. Jej matematické vyjadrenie:

$$\xi x = \frac{\delta x}{x} \quad (-) \quad (3.5)$$

$$\xi x = \frac{\delta x}{x} 100 \quad (\%) \quad (3.6)$$

kde:

$\delta x$  je absolútna chyba (m. j.),

$x$  – odhadovaná hodnota meranej fyzikálnej veličiny (m. j.).

**Príklad**

Vypočítajte absolútnu a relatívnu chybu merania tiažového zrýchlenia, ak hodnota tiažového zrýchlenia určená meraním je  $x' = 9,828845 \text{ m/s}^2$  a tabuľková hodnota tiažového zrýchlenia  $x = 9,80916 \text{ m/s}^2$ .

Pri výpočte absolútnej chyby využijeme vzťah (3.4), kde za premennú  $x$  dosadíme hodnotu tiažového zrýchlenia získanú meraním  $9,828845 \text{ m/s}^2$ . V našom prípade nameranú hodnotu (tabuľkovú)  $x'$  predstavuje hodnota tiažového zrýchlenia  $9,80916 \text{ m/s}^2$ . Potom absolútna chyba:

$$\delta x = x - x'$$

$$\delta g = 9,82884 - 9,80916 = 0,01968 \text{ m/s}^2$$

Relatívnu chybu vypočítame pomocou vzťahu (3.6):

$$\xi x = \frac{\delta x}{x} 100$$

$$\xi g = \frac{0,01968}{9,82884} 100 = 0,2002 \%$$

Absolútna chyba merania tiažového zrýchlenia je  $0,01968 \text{ m/s}^2$  a relatívna chyba je  $0,2002 \%$ .

Výsledok merania zapisujeme v tvare tzv. *skutočnej hodnoty*. Predtým, ako zapíšeme výsledok merania, je potrebné správne zaokrúhliť aritmetický priemer a chybu merania. Pre zaokrúhľovanie platia tieto pravidlá:

- Najskôr sa zaokrúhľuje chyba merania na dve platné, t. j. prvé dve nenulové desatinné miesta a číslica na druhom platnom desatinnom mieste sa zaokrúhli podľa toho, čo za ňou nasleduje.
- Po zaokrúhlení chyby merania sa zaokrúhľuje aritmetický priemer. Platí pravidlo, že aritmetický priemer musí mať toľko desatinných miest, koľko má chyba merania a číslicu na poslednom mieste zaokrúhľujeme podľa toho, čo za ňou nasleduje. Ak

aritmetický priemer nemá potrebný počet desatinných miest, tak namiesto chýbajúcich desatinných miest napíšeme 0.



#### *Príklad*

Uskutočníme zápis výsledku merania z predchádzajúceho príkladu o tiažovom zrýchlení. Len na zopakovanie, absolútna chyba merania tiažového zrýchlenia bola  $0,01968 \text{ m/s}^2$  a relatívna chyba je  $0,2002 \%$ . Správny zápis výsledku je takýto:

$$g = 9,83 \text{ m/s}^2, \delta g = 0,02 \text{ m/s}^2, \xi g = 0,2 \%$$

### 3.2.3 Výpočet chyby pri priamom meraní

Vykonáme  $n$  meraní fyzikálnej veličiny  $x$ . Namerané hodnoty sú  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . Najpravdepodobnejšou hodnotou meranej veličiny  $x$ , t. j. hodnotou, ktorá sa skutočnej hodnote najviac približuje, je aritmetický priemer:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (\text{m. j.}) \quad (3.7)$$

kde:

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  sú namerané hodnoty (m. j.),

$n$  – počet meraní (-).

Ako smerodajnú absolútnu chybu vykonaných meraní definujeme odmocninu z rozptylu:

$$\delta \bar{x} = \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (3.8)$$

kde:

$\Delta x_1 = \bar{x} - x_1, \dots, \Delta x_n = \bar{x} - x_n$  sú zdanlivé odchýlky, t. j. odchýlky nameraných hodnôt od aritmetického priemeru (m. j.).

Výsledok sa napíše v tvare  $x = \bar{x} \pm \delta \bar{x}$ .



### Příklad

Bolo nameraných desať meraní určitej dĺžky  $l$  (cm). Namerané hodnoty sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 3.1. Namerané hodnoty dĺžky  $l$

| Meranie č. | $l_i$ (cm)                     | $\Delta l_i$ (cm)                | $\Delta l_i^2$ (cm)                                 |
|------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1          | 62,70                          | +0,043                           | $18,49 \cdot 10^{-4}$                               |
| 2          | 62,77                          | -0,027                           | $7,29 \cdot 10^{-4}$                                |
| 3          | 62,71                          | +0,033                           | $10,89 \cdot 10^{-4}$                               |
| 4          | 62,73                          | +0,013                           | $1,69 \cdot 10^{-4}$                                |
| 5          | 62,76                          | -0,017                           | $2,89 \cdot 10^{-4}$                                |
| 6          | 62,72                          | +0,023                           | $5,29 \cdot 10^{-4}$                                |
| 7          | 62,78                          | -0,037                           | $13,69 \cdot 10^{-4}$                               |
| 8          | 62,75                          | -0,007                           | $0,49 \cdot 10^{-4}$                                |
| 9          | 62,77                          | -0,027                           | $7,29 \cdot 10^{-4}$                                |
| 10         | 62,74                          | 0,003                            | $0,09 \cdot 10^{-4}$                                |
|            | $\sum_{i=1}^{10} l_i = 627,43$ | $\sum_{i=1}^{10} \Delta l_i = 0$ | $\sum_{i=1}^{10} \Delta l_i^2 = 68,1 \cdot 10^{-4}$ |

Aritmetický priemer:

$$\bar{l} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{10}}{10} = \frac{627,43}{10} = 62,743 \text{ cm}$$

Absolútna chyba:

$$\delta \bar{l} = \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta l_i^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{68,1 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot (10-1)}} = 0,01 \text{ cm} \quad (3.9)$$

Zápis:

Nameraná dĺžka je  $l = 62,74 \pm 0,01 \text{ cm}$ .

### 3.2.4 Výpočet chyby pri nepriamom meraní

Pokiaľ je meraná fyzikálna veličina funkciou niekoľkých priamo merateľných fyzikálnych veličín  $Y = f(a, b, c, \dots, n)$  a touto funkciou je *súčet alebo rozdiel* priamo merateľných veličín, potom je absolútna chyba daná vzťahom:

$$\delta Y = \delta(a \pm b \pm c \pm \dots \pm n) = \sqrt{(\delta a)^2 + (\delta b)^2 + (\delta c)^2 + \dots + (\delta n)^2} \quad (3.10)$$

Pokiaľ je meraná fyzikálna veličina funkciou niekoľkých priamo merateľných fyzikálnych veličín  $Y = f(a, b, c, \dots, n)$  a touto funkciou je *súčin alebo podiel* priamo merateľných veličín, potom pri výpočte absolútnej chyby sa postupuje takto:

- Najprv sa určí absolútna chyba všetkých priamo merateľných veličín vyskytujúcich sa vo vzťahu, t. j.  $\delta a, \delta b, \delta c \dots \delta n$ ,
- Vypočítajú sa všetky relatívne chyby týchto veličín, t. j.  $\xi a = \frac{\delta a}{a}$  a rovnakým spôsobom chyba  $\xi b, \xi c \dots \xi n$ .
- Výsledná relatívna chyba merania fyzikálnej veličiny sa potom vypočíta ako odmocnina zo súčtu druhých mocnín relatívnych chýb jednotlivých priamo merateľných fyzikálnych veličín vyskytujúcich sa vo vzťahu:

$$\xi Y = \sqrt{(\xi a)^2 + (\xi b)^2 + (\xi c)^2 + \dots + (\xi n)^2} \quad (3.11)$$

- Absolútna chyba sa potom vypočíta z definície relatívnej chyby:

$$\xi Y = \frac{\delta Y}{Y} \Rightarrow \delta Y = \xi Y \cdot Y \quad (3.12)$$

- Výsledok sa zapíše v tvare:

$$Y = Y \pm \delta Y$$

Je potrebné správne zaokrúhliť výsledok i chybu.

### 3.3 PRÍPRAVA, PRIEBEH A VÝSTUPY MERANIA

Fyzikálne meranie sa vo väčšine prípadov skladá z troch pracovných etáp, sú to: príprava merania, meranie a spracovanie výsledkov merania. Do prípravy merania sa zahrňujú všetky pracovné úkony, ktoré netvoria vlastné meranie, ale pripravujú a zaisťujú ho tak, aby sa získali

čo najpresnejšie výsledky. Tu je predovšetkým potrebné zdôrazniť, že experimentátor musí byť do podrobnosti zoznámený so všetkými úkonmi merania, ktoré bude uskutočňovať a musí dobre ovládať fyzikálnu problematiku oboru, do ktorého meranie spadá. U študentov to znamená, že v prípravnej etape merania príslušnej experimentálnej úlohy je potrebné predovšetkým teoreticky sa pripraviť na meranie, t. j. ovládnuť fyzikálnu problematiku, ktorej sa týka meranie, ovládnuť príslušné fyzikálne poučky a zákony (Vajda a kol., 2003). K tejto teoretickej príprave slúžia aj návody k meraniu, ktoré sú predmetom týchto skrípt.

### 3.3.1 Pracovný list

Vlastné meranie v laboratóriu prebieha podľa pokynov pedagóga a v súlade s laboratórnym poriadkom. Počas neho študent vyhotovuje tzv. *pracovný list*, ktorý vzniká počas samotného merania, je jeho bezprostredným záznamom a nemá predpísanú formálnu úpravu. Obsahuje základné vstupné informácie o meraní:

- (poradové) označenie a názov experimentálneho merania,
- meno študenta a pedagóga,
- dátum a čas konania meraniach,
- postup merania, t. j. slovný zápis o priebehu samotného merania,
- tabuľky pre namerané a vypočítané hodnoty,
- vzorce a konkrétne výpočty pre určenie fyzikálnych veličín nepriamou metódou,
- výpočet absolútnej a relatívnej chyby,
- záver merania – konštatovanie, k akému výsledku sa experimentálnym meraním dospelo.

### 3.3.2 Protokol z merania

Oficiálnym písomným záznamom z experimentálneho merania je vyhotovenie tzv. *protokolu merania*, ktorý obsahuje všetky dôležité výsledné informácie o experimentálnom meraní. Musí obsahovať údaje, z ktorých možno určiť, vypočítať alebo ľubovoľne iným spôsobom stanoviť sledovanú fyzikálnu veličinu, ktorej poznanie, či kvalitatívne alebo kvantitatívne určenie je cieľom merania.

Protokol predstavuje oficiálny záznam o meraní, a preto jeho úprava musí byť formálne správna. Dokument protokolu má formát A4. Na prvú stranu protokolu sa uvádza identifikačná



tabuľka obsahujúca (poradové) označenie a názov experimentálneho merania, meno študenta a pedagóga, dátum a čas konania merania. Za tabuľkou pokračuje zápis v zmysle týchto bodov:

1. *Cieľ merania*: je uvedený v úvode na experimentálne meranie
2. *Pomôcky*: uvádzame kompletný zoznam prístrojov, pomôcok a zariadení spolu s typovým označením meracieho prístroja.
3. *Teoretický úvod*: táto časť obsahuje stručné, ale výstižné teoretické objasnenie problematiky, ktorá je predmetom merania. Obsahuje definíciu meranej fyzikálnej veličiny a vzťah, ktorý sa pri jej meraní použil. Uvedie sa prehľad základných teoretických pojmov, popis fyzikálnych javov, definičných vzťahov a zákonov.
4. *Obrázok, schéma zapojenia, bloková schéma, fotografia*: do protokolu z laboratórneho merania kreslíme obrázok, ak bol uvedený v príslušnom návode na meranie. Ak v návode obrázok nefiguruje, v protokole byť obrázok nemusí, ale študent môže zakresliť usporiadanie meracieho pracoviska, prípadne pomocou samostatne nakresleného obrázku vysvetliť princíp merania. Pri kreslení môže študent použiť fotografiu usporiadania meracieho pracoviska, ktorá môže značne prácu študentovi uľahčiť.
5. *Postup merania*: uvádza sa v bodoch a mal by čo najpresnejšie vystihnúť metodiku merania. Postup je správne opísaný vtedy, ak po jeho prečítaní vie ktorýkoľvek experimentátor meranie zopakovať tak, že dosiahne požadovaný výsledok. Do protokolu si zaznamenávame aj známe tabuľkové hodnoty konštánt a údaje upresňujúce okolnosti a podmienky, pri ktorých sa meranie uskutočnilo, napr. teplota, relatívna vlhkosť miestnosti, bezprievanový stav a pod.
6. *Tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt*: sú jednou z najvýznamnejších častí protokolu, a preto im venujeme náležitú pozornosť. Vo všeobecnosti tabuľku kreslíme vtedy, ak meriame viac ako jednu fyzikálnu veličinu a vždy vtedy, keď fyzikálnu veličinu meriame viackrát.

7. *Príklad výpočtu:* V príklade výpočtu uvádzame vzorový výpočet hodnôt pre jeden vybraný riadok tabuľky nameraných a vypočítaných hodnôt (riadok, pre ktorý uvádzame výpočet je potrebné označiť). V rámci príkladu výpočtu uvádzame:
- výpočet fyzikálnych veličín pomocou definičných vzťahov,
  - výpočet aritmetického priemeru,
  - výpočet chýb merania (najčastejšie sa počíta pravdepodobná chyba aritmetického priemeru a k nej sa vypočíta pravdepodobná chyba aritmetického priemeru v %); poznámka: do príkladu výpočtu sa neuvádza výpočet odchýliek od aritmetického priemeru.
8. *Graf:* Graf vypracovávame pomocou príslušného softvéru a potom ho ako obrázok vkladáme do protokolu. Musia byť dodržané tieto náležitosti:
- graf nazveme podľa toho, ktorá fyzikálna veličina figuruje ako závislá (jej hodnoty vynášame na os  $y$ -ovú) a nezávislá premenná (jej hodnoty vynášame na os  $x$ -ovú). Graf má potom podľa predpisu funkčnej závislosti  $y = f(x)$  všeobecný názov: Závislosť  $y$  od  $x$ . Napríklad, ak je na osi  $x$ -ovej vynesенý čas a na osi  $y$ -ovej vynesенé hodnoty teploty vzduchu, tak grafickú závislosť nazveme Graf závislosti teploty vzduchu od času v priebehu dňa,
  - ďalším krokom pri kreslení grafickej závislosti je zvolenie začiatku osí, nakreslenie číselných osí a zvolenie príslušnej mierky. Mierku volíme tak, aby grafická závislosť bola rozmiestnená na celej ploche vymedzenej číselnými osami. Pozor prvá hodnota na príslušnej osi nemusí byť nula. Ak napríklad nami zmerané hodnoty teploty sú z intervalu napr. 20 až 70 °C, potom na teplotnej osi môžeme za začiatok zvoliť hodnotu 20 °C,
  - do pripraveného grafu vynášame potom jednotlivé namerané alebo vypočítané hodnoty. Po vynesení všetkých hodnôt je potrebné body spojiť príslušnou čiarou, ktorá bude grafickým znázornením príslušnej závislosti medzi fyzikálnymi veličinami. Vo všeobecnosti môžu nastať dva prípady. Grafická závislosť je lineárna, vtedy grafickým znázornením závislosti bude priamka. Ak grafická závislosť nie je lineárna, tak bude grafickým znázornením príslušná krivka, ktorej tvar zodpovedá príslušnému typu

grafickej závislosti (napr. grafická závislosť môže mať tvar polynomickej funkcie, exponenciálnej, logaritmickkej funkcie a pod.),

- vynesenie chýb merania do grafickej závislosti: Skôr ako vynesieme do grafu chyby merania, musíme vyniesť do grafu hodnoty, ktoré reprezentujú príslušné aritmetické priemery. Potom cez tieto body vedieme úsečky rovnobežne s osou  $y$ -ovou, ktorých dĺžka zodpovedá príslušnej chybe merania. Musíme však mať na zreteli, že chyby majú znamienko, tzn. že od bodu znázorňujúceho aritmetický priemer nanášame hodnotu chyby merania v kladnom i zápornom smere číselnej osi.

9. *Výsledok merania a diskusia:* tu uvedieme hodnotu vypočítanej veličiny. Výsledok obyčajne zapísaný v tvare: fyzikálna veličina = aritmetický priemer  $\pm$  chyba.

- zápis výsledkov merania v tvare skutočnej hodnoty meranej fyzikálnej veličiny,
- porovnanie získaných výsledkov z tabuľkovými alebo z literatúry známymi hodnotami,
- popíšeme presnosť merania z pohľadu použitej meracej metódy a meracích prístrojov
- identifikujeme možné zdroje nepresností,
- zhodnotíme celkovo priebeh merania, ale neopisujeme opakované postup merania.

10. *Záver:* záver predstavuje súvislý text, ktorý má minimálny rozsah pol strany formátu A4, cca 10 riadkov. Do záveru uvedieme celkové zhodnotenie tepelno-vlhkostného prostredia vychádzajúce z výsledkov a diskusie, prípadne aj návrhy na zlepšenie (Vajda a kol., 2003).

11. *Podiel autorov na vypracovaní protokolu*

12. *Podpis študenta (experimentátora), podpis pedagóga*

Poznámka:

Obsah a forma protokolu môže byť prispôsobená pokynom vyučujúceho pedagóga.

## 4 MERACIE PRÍSTROJE

*Merací prístroj*, resp. *meradlo*, je zariadenie, ktoré je určené na meranie hodnoty fyzikálnej veličiny. Slúži na prevod tejto nameranej fyzikálnej veličiny na odčítateľný údaj. Napríklad na meranie teploty vzduchu sa používa teplomer, na meranie rýchlosti prúdenia manometer atď. Merací prístroj môže pozostávať z viacerých častí:

- snímač (senzor) – snímací prvok, na ktorý pôsobí meraná veličina a ktorého výstupom je merateľná veličina. Snímač teda prevádza meranú fyzikálnu veličinu, bežne nekvantifikovateľnú na inú, ktorú je možné jednoduchšie spracovať. Napr. tenzometer (tlakový senzor) premení fyzikálnu veličinu tlak na zmenu elektrického napätia, snímač teploty premení zmenu teploty na zmenu vodivosti, čiže zmenu napätia a pod.,
- vyhodnocovacia jednotka – jej úlohou je spracovať prijaté hodnoty a zobrazit' ich na zobrazovači,
- zobrazovacia jednotka, tzv. indikátor – zobrazovacia časť, ktorá zobrazuje meranú hodnotu spôsobom pochopiteľným pre ľudské zmysly. Zobrazovač môže byť ukazovateľ, resp. displej (Jenčík a kol., 2000).

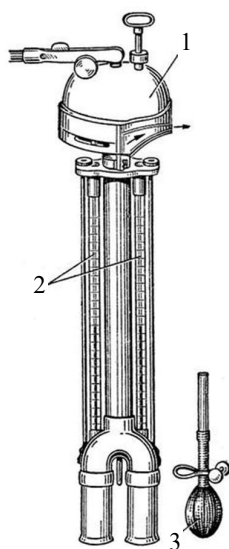
### 4.1 POHĽAD DO HISTÓRIE

Počiatky merania môžeme klásť do predhistórie ľudstva na počiatok civilizácie. Až do obdobia ranného novoveku, okolo r. 1600, súviseli merania hlavne s obchodom, stavebníctvom, astronómiou, baníctvom. Išlo najmä o merania priestorových fyzikálnych veličín ako sily, hmotnosti, objemov, dĺžky, uhlov a času.

Prvý vedecký postoj k meraniu zaujal až taliansky fyzik a filozof obdobia renesancie *Galileo Galilei* (1564 až 1642), označovaný za jedného zo zakladateľov súčasnej experimentálno-teoretickej prírodovedy, ktorý meranie povýšil na najdôležitejší prostriedok k získavaniu nových poznatkov k budovaniu kvantitatívnych vedeckých teórií. Je známy jeho výrok, ktorý stále platí: „Merať všetko, čo je merateľné a čo merateľné nie je, merateľným urobiť.“

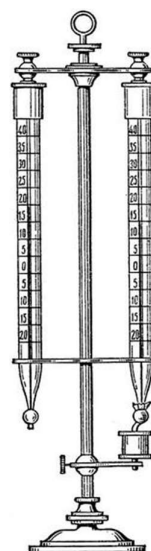
Obdobie 17. storočia až do prvej polovice 18. storočia sa vyznačovalo špecializáciou v technike a pokrokom vo vedeckom myslení. Od prakticko-technických povolání sa oddelili vedecké odbory. Tie sa zároveň špecializovali a využívali experiment, čím sa podporila

požiadavka na čoraz presnejšie merania. Po prvýkrát sa zaviedli stupnice niektorých fyzikálnych veličín, čo umožnilo merať ich absolútne hodnoty. Vstup merania do prírodných vied umožnil získanie reprodukovateľných výsledkov fyzikálnych i chemických pokusov. To malo za následok odhalenie mnohých prírodných zákonov. Súčasne sa rozvíjala teória štatistiky a teória spracovania nameraných údajov.



Obr. 4.1. Assmannov psychrometer  
(Hofmann, 1988)

1 – vrtuľka s pohonom, 2 – suchý a mokrý teplomer, 3 – savá textília, napr. pančúška



Obr. 4.2. Psychrometer  
určujúci vlhkosť vzduchu v závislosti  
od teploty vyparovania  
(Hofmann, 1988)

Druhú polovicu 18. storočia a 19. storočie charakterizuje tzv. priemyselná revolúcia. Nastal prudký rozvoj obrábacích strojov a pohonov, hutníctva, dopravnej siete a prostriedkov komunikácie. To vyžadovalo široké uplatnenie merania dĺžok, no najmä merania elektrických veličín. V roku 1875 bola prijatá Medzinárodná metrická konvencia a zaviedli sa jednotky metrického systému (dĺžka – meter (m), plocha – štvorcový meter ( $m^2$ ), čas – sekunda (s) atď.).

Počiatok 20. storočia sa až do 2. svetovej vojny vyznačoval prudkým rozvojom techniky priemyslu ako aj ich špecializáciou a užším prepojením s prírodnými vedami. Rozvoj techniky umožňoval vývoj stále zložitejších meracích prístrojov a výskumných zariadení a tým aj rozvoj experimentálneho výskumu. V oblasti merania a meracej techniky sa výrazne zvýšil počet

meraní, objavovali sa nové meracie princípy, zlepšovala sa presnosť meraní a zdokonaľovali sa meracie prístroje.

Obdobie od 2. svetovej vojny bolo charakteristické prudkým rozvojom vedy a jej úzkym prepojením s technikou najmä v súvislosti s vojenskými potrebami. Týkalo sa to najmä oblasti jadrovej fyziky, elektronickej riadiacej a regulačnej techniky, výpočtovej techniky, mikroelektroniky či vývoja špeciálnych materiálov. Okrem toho sa výrazne rozšírila sériová výroba. Všetky uvedené oblasti, či už v oblasti výskumu alebo realizácie, si vyžadovali nesmierne množstvo meracích prostriedkov na získavanie informácií o prebiehajúcich procesoch. Nárast potreby nových meracích princípov, meracích metód a prístrojov zasiahol takmer všetky oblasti vedy a techniky, ale aj ďalšie oblasti spoločenského života.

Meranie sa postupom času stáva stále významnejšou a rozšírenejšou zložkou ľudskej činnosti. Veľkým tempom sa rozvíja meracia technika, informačné údaje sa prenášajú do riadiacich miest. Do značnej miery sa rozšíril vývoj prevodníkov mechanických veličín na elektrické (príp. pneumatické alebo hydraulické) signály. Novým momentom sa stala digitalizácia analógového signálu a počítačové spracovanie nameraných údajov. Z tohto obdobia je dôležité spomenúť aspoň niektoré významné objavy, vynálezy a technické riešenia súvisiace s rozvojom merania a meracej techniky: v r. 1940 sa začali vo väčšom rozsahu využívať radary, v r. 1942 bol vyvinutý nový rastrovací elektrónový mikroskop, v r. 1945 bol vytvorený prvý veľký elektronický počítač. V roku 1946 bol objavený princíp atómových hodín, v r. 1948 boli po prvýkrát vyrobené tranzistory a sformulovaná teória prenosu informácií. V r. 1955 bol vyrobený riadkový snímač obrazu (skener) a autoemisný iónový mikroskop. V roku 1959 bol vyvinutý interferenčný mikroskop a v roku 1962 po prvýkrát využili laser na bezdotykové meranie vzdialenosti (telemeter). Koniec 20. storočia sa vyznačoval rozvojom metód vyhodnocovania meraní pomocou neistôt (Jenčík a kol., 2000).

## 4.2 MERACIE PRÍSTROJE V SÚČASNOSTI

### 4.2.1 Meranie teploty vzduchu

*Definícia:* Teplota je fyzikálna stavová veličina, ktorá vyjadruje strednú kinetickú energiu častíc. Je to makroskopická veličina, tzn. na atomárnej alebo subatomárnej úrovni nemá zmysel hovoriť o teplote látky.

*Označenie:*  $T$  (termodynamická teplota),  $\theta$  (teplota)

*Merná jednotka:*  $T$  (K),  $\theta$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

*Meracie prístroje:*

Na meranie teploty sa využívajú v technickej praxi najdôležitejšie fyzikálne javy závislé od teploty, napr. zmena dĺžky pevných látok, objemu kvapalín, tlaku elektromotorickej sily, elektrického odporu a ďalších fyzikálnych vlastností látok. Voľba metódy merania závisí od rozsahu a výšky teploty, od žiadanej presnosti a od prevádzkových podmienok vzdialenosti prenosu, od účelu merania a pod. Konkrétnemu druhu využitej fyzikálnej veličiny zodpovedajú aj jednotlivé typy teplomerov (Fričová a kol., 2012):

#### *a) Dilatačné teplomery*

využívajú rozťažnosť látok vo všetkých skupenstvách, prípadne na ich skupenskom rozhraní a prevádzajú ju na meranie dĺžok, objemu, tlaku a pod. Používajú sa na meranie teplôt v rozmedzí  $-30$  až  $+300$   $^{\circ}\text{C}$ , pre teploty  $-100$  až  $+60$   $^{\circ}\text{C}$  sa používajú teplomery s alkoholovou náplňou a pre teploty  $-70$  až  $+110$   $^{\circ}\text{C}$  toluénové teplomery.

*a.1) dilatačný kvapalinový teplomer* – je to najbežnejšie používaný druh teplomeru s náplňou etylalkoholu, ortute (poznámka: od roku 2009 sa v krajinách Európskej únie zakázal predaj ortuťových teplomerov širokej verejnosti, práve z dôvodu prítomnosti ortute ako vysoko jedovatého a toxického kovu; naďalej sa však môže vyrábať a predávať len pre odborné a priemyselné využitie).

Teplomer (Obr. 4.3) sa skladá zo sklenej nádoby vybíhajúcej do kapiláry, do ktorej vstupuje kvapalina, ktorá s teplotou zväčšuje svoj objem. Výška hladiny kvapaliny v kapiláre je mierou teploty. Tieto teplomery sa vo veľkej miere používajú najmä pre svoju jednoduchosť, spoľahlivosť a lacnosť. Ich nevýhodou je, že nameraný údaj nemožno prenášať na diaľku a sú málo mechanicky odolné.

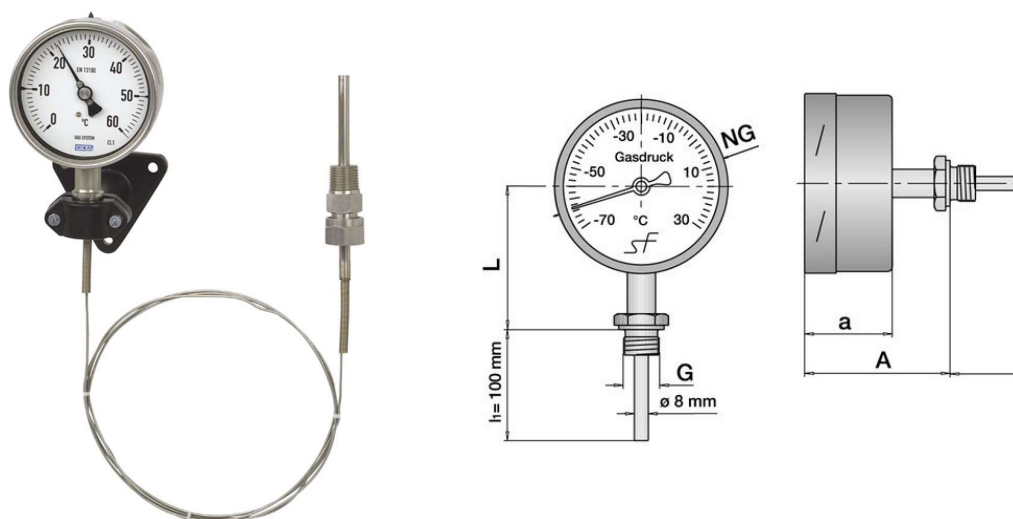


Obr. 4.3. Dilatačný kvapalinový teplomer (PPA Controll)

a.2) *dilatačný teplomer s pevnou látkou* – tyčové a bimetalické teplomery (dvojkovové) sú založené na princípe rozdielu rozťažnosti kovov.

#### b) Tlakové teplomery

využívajú rozťažnosť plynov, nasýtených pár alebo kvapalín pri stálom objeme ako funkciu teploty. Týmito teplomermi (Obr. 4.4) možno merať teploty v rozmedzí  $-60$  až  $+600$  °C; sú jednoduché, prevádzkovo spoľahlivé, mechanicky odolné, môžu sa použiť aj na diaľkový prenos nameraných údajov a na registráciu, prípadne reguláciu teplôt v menej náročných podmienkach.



Obr. 4.4. Tlakový teplomer (PPA Controll)

#### c) Elektrické teplomery

c.1) *termoelektrické teplomery* – pozostávajú z dvoch vodičov rôznych kovových materiálov, ktoré sú na jednom konci spolu zvarené alebo spájkované. Termoelektrický jav je dôsledkom tepelnej závislosti tzv. stykového napätia dvoch rôznych kovov, kedy pri rôznych teplotách meracieho a zrovnávacieho spoja vzniká napätie. Pri meraní je potrebné porovnávacie voľné konce teplomeru udržiavať na známej, málo premennej teplote, alebo zmenu teploty porovnávacích koncov kompenzovať (Holubčík a kol., 2016).



c.2) *termoelektrické články (termočlánky)* – sa používajú na diaľkové meranie, registráciu a reguláciu predovšetkým vyšších teplôt. Nepotrebujú vonkajší zdroj napätia, umožňujú bodové meranie teplôt s minimálnou zotrvačnosťou (Obr. 4.5). Jedinou ich nevýhodou je vyrovňavanie vplyvu kolísania teploty porovnávacích koncov.



Obr. 4.5. Termočlánok s regulátorom teploty (PPA Controll)

c.3) *odporové teplomery* – sa používajú na meranie teplôt zmenou elektrického odporu niektorých látok. Pri elektrických vodičoch odpor s teplotou rastie a pri polovodičoch zvyčajne klesá. Z kovových materiálov sa pre výrobu teplomerov (Obr. 4.6) najčastejšie používa platina, predovšetkým pre svoju časovú stálosť. Bežné vyhotovenie je z platinového drôtika priemeru 0,1 mm, ktorý je navinutý na nosnú keramickú alebo sklenenú tyčinku; proti poškodeniu je chránený glazúrou alebo zatavením do skla. Tieto teplomery sa používajú na meranie nižších teplôt, kde nie je na závädu ich pomerne veľký rozmer. Rozsah teplôt platinových teplomerov je v rozmedzí -200 až + 650 °C.



Obr. 4.6. Odporový platinový teplomer (PPA Controll)



Obr. 4.7. Termistorové články (PPA Controll)



Miesto kovových materiálov možno použiť teplomery polovodičové, tzv. termistory (Obr. 4.7).

d) *Infračervené bezdotykové teplomery*

umožňujú merať teplotu povrchov z väčšej vzdialenosti. Jednotlivé typy (Obr. 4.8) sa od seba líšia rôznou ohniskovou vzdialenosťou, meracím rozsahom v rozmedzí -30 až +1400 °C.



Obr. 4.8. Infračervené bezdotykové teplomery (Fluke, Testo)

Na dlhodobéjšie merania (deň, týždeň) sa používajú tzv. *termografy* (Obr. 4.9) so zápisom priebehu sledovaných teplôt, alebo *datalogery*, ktoré umožňujú uložiť namerané hodnoty do pamäte s ďalším vyhodnotením pomocou počítačového programu.



Obr. 4.9. Meracia ústredňa (Testo)

Aj ostatné uvedené teplomery môžu byť vo vyhotovení s priamym odpočtom okamžitých hodnôt, alebo sú doplnené pamäťou a priamym pripojením na počítač (Fričová a kol., 2012).

### *Praktické meranie teplôt*

Pri meraní teplôt musí byť braná do úvahy tzv. tepelná zotrvačnosť samotného snímača teploty, preto výslednú hodnotu možno odčítať až po istom časovom ustálení teplomera.

Ďalej pri meraní teplôt dochádza zvyčajne k čiastočnému porušeniu pôvodného teplotného poľa, pretože samotný teplomer je rušivým telesom, ktoré vedením alebo sálaním ovplyvňuje šírenie tepla v mieste merania. Okrem toho len niekedy možno teplomer uviesť do priameho kontaktu s meranou látkou, vloženie teplomeru do látky teplotné pomery ešte zhoršuje a zvyšuje počet možných chýb merania. Ak ide o nestacionárny teplotný stav, určenie správnej teploty je skreslené oneskorením teplomeru za skutočnou hodnotou. Na veľkosť oneskorenia má vplyv rad veličín, najmä druh a vlastnosti teplomeru, vlastnosti a stav prostredia, spôsobu upevnenia teplomeru atď.

Pri meraní teploty vzduchu treba ďalej eliminovať nepriaznivý vplyv teplôt okolitých plôch. Tieto teploty môžu byť odlišné od vlastnej teploty vzduchu a ovplyvňujú údaj teplomera sálaním. K zníženiu tohto negatívneho vplyvu sa používajú nasledujúce spôsoby:

- zníženie emisného faktoru snímača použitím reflexného náteru, prípadne použitím kovového lešteného snímača,
- zvýšenie rýchlosti prúdenia vzduchu v okolí snímača pomocou núteného vetrania, na zvýšenie prenosu tepla prúdením,
- zmenšenie rozmeru snímača (termistor, termočlánok),
- použitie clony proti sáaniu, ktorá je umiestnená medzi snímačom a zdrojom tepla, prípadne chladu (Ševčovič, 2006).

### *Teplota vzduchu, ozn. $\theta$ (°C)*

slúži priamo ako hodnotiace kritérium (teplota vnútorného vzduchu  $\theta_i$ , teplota vonkajšieho vzduchu  $\theta_e$ ), alebo ako vstupná hodnota pre ďalšie výpočty.

### *Výsledná teplota, ozn. $\theta_g$ (°C)*

sa používa ako hodnotiace teplotné kritérium; meria sa pomocou guľového teplomera s ortuťovým teplomerom pre priame odčítanie hodnoty (Obr. 4.10) alebo s elektrickým teplomerom umožňujúcim registráciu nameraných hodnôt.



Obr. 4.10. Gul'ový teplomer  
(Testo)



Obr. 4.11. Crookes radiometer  
(Wiltronics)

Na dosiahnutie zodpovedajúcej hodnoty nameranej teploty vzduchu je potrebné dodržať dlhšiu dobu ustálenia teplotného snímača (cca 20 minút). V prípade orientačných meraní s rýchlosťou prúdenia vzduchu do 0,2 m/s možno výslednú teplotu priamo nahradiť operatívnu teplotou.

*Stredná radiačná teplota, ozn.  $\theta_r$  (°C)*

V skutočnosti rozlišujeme dve radiačné teploty. Tou prvou je stredná radiačná teplota  $\theta_r$  známou v staršej literatúre skôr pod pojmom *účinná teplota okolitých plôch*. Tou druhou je rovinná radiačná teplota  $\theta_{pr}$ , resp. *účinná teplota protiľahlých plôch*.

Radiačná teplota sa meria radiometrom (Obr. 4.11), čo je zariadenie na meranie sálavého toku elektromagnetického žiarenia. Pracuje na princípe porovnania koeficientov dvoch na rovnakú teplotu zahriatych plôch doštičiek (z jednej strany čiernej a z druhej svetlej leštenej). Pri použití snímača konštantnej teploty, pri ktorej snímač má rovnakú teplotu ako je teplota okolitého vzduchu, potom sa tepelné zmeny snímača priamo rovnajú zmenám radiačnej teploty (Fričová a kol., 2012). Pokiaľ však máme k dispozícii len gul'ový teplomer, dá sa stredná radiačná teplota vypočítať z nameranej teploty vzduchu a z výslednej teploty podľa vzťahu:

- pre prirodzené prúdenie vzduchu:

$$\theta_r = \left[ (\theta_g + 273)^4 + 0,47 \cdot 10^8 \cdot |\theta_g - \theta|^{1/4} \cdot (\theta_g - \theta) \right]^{1/4} - 273 \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.1)$$

- pre nútené prúdenie vzduchu:

$$\theta_r = \left[ (\theta_g + 273)^4 + 2,94 \cdot 10^8 \cdot v^{0,6} \cdot (\theta_g - \theta) \right]^{1/4} - 273 \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.2)$$

kde:

$\theta_r$  je stredná radiačná teplota ( $^\circ\text{C}$ ),

$\theta_g$  – výsledná teplota ( $^\circ\text{C}$ ),

$\theta$  – teplota vzduchu ( $^\circ\text{C}$ ),

$v$  – rýchlosť prúdenia vzduchu (m/s).

Strednú radiačnú teplotu je možné taktiež stanoviť výpočtom z rovinných radiačných teplôt meraných v 6-tich na seba kolmých smeroch, potom platí:

- pre stojacu osobu:

$$\theta_r = \frac{0,08 \cdot (\theta_{pr1} + \theta_{pr2}) + 0,23 \cdot (\theta_{pr3} + \theta_{pr4}) + 0,35 \cdot (\theta_{pr5} + \theta_{pr6})}{1,32} \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.3)$$

- pre sediacu osobu:

$$\theta_r = \frac{0,18 \cdot (\theta_{pr1} + \theta_{pr2}) + 0,22 \cdot (\theta_{pr3} + \theta_{pr4}) + 0,30 \cdot (\theta_{pr5} + \theta_{pr6})}{1,4} \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.4)$$

kde:

$\theta_r$  je stredná radiačná teplota ( $^\circ\text{C}$ ),

$\theta_{pr1}$  až  $\theta_{pr6}$  – rovinné radiačné teploty ( $^\circ\text{C}$ ) merané v smeroch:  $\theta_{pr1} - \theta_{pr2}$  smer hore – dole;

$\theta_{pr3} - \theta_{pr4}$  smer vpravo – vľavo;  $\theta_{pr5} - \theta_{pr6}$  smer dopredu – dozadu.

*Operatívna teplota, ozn.  $\theta_o$  ( $^\circ\text{C}$ )*

Stredná radiačná teplota  $\theta_r$  spolu s teplotou vzduchu  $\theta$  (pri súčasne nameranej rýchlosti prúdenia vzduchu  $v$ ) slúži na výpočet hodnotiaceho teplotného kritéria, na výpočet *operatívnej teploty*  $\theta_o$  podľa vzťahu:

$$\theta_o = \theta_r - f \cdot (\theta_r - \theta) \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.5)$$

kde:

$\theta_o$  je operatívna teplota ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$\theta_r$  – stredná radiačná teplota ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$f$  – koeficient (-); pre  $v \leq 0,2$  m/s je hodnota  $f = 0,5$ ; pre  $v > 0,2$  m/s je hodnota  $f = 0,75 \cdot v^{0,16}$

Koeficient  $f$  je funkciou rýchlosti prúdenia vzduchu (m/s); Tab. 4.1.

Tabuľka 4.1. Závislosť koeficientu  $f$  od rýchlosti prúdenia vzduchu na výpočet operatívnej teploty

| Rýchlosť prúdenia vzduchu $v$ (m/s) | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 1,0  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Koeficient $f$ (-)                  | 0,50 | 0,53 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,75 |

Vo väčšine prípadoch vnútorného prostredia, kde je rýchlosť prúdenia vzduchu malá ( $v \leq 0,2$  m/s), alebo kde je malý rozdiel medzi strednou radiačnou teplotou a teplotou vzduchu ( $\Delta\theta < 4$  K), možno operatívnu teplotu  $\theta_o$  vypočítať s dostatočným priblížením ako aritmetický priemer teploty vzduchu  $\theta$  a strednej radiačnej teploty  $\theta_r$ .

*Asymetria radiačnej teploty, ozn.  $\Delta\theta_{pr}$  (K)*

Je rozdielom rovinných radiačných teplôt  $\theta_{pr}$  dvoch protiľahlých plôch. Používa sa, pokiaľ stredná radiačná teplota  $\theta_r$  nevystihne celkom tepelnú radiáciu v priestore, napr. keď sú teploty protiľahlých plôch značne rozdielne.

*Povrchová teplota, ozn.  $\theta_p$  ( $^{\circ}\text{C}$ )*

Je to teplota nameraná na povrchu telies či stavebných konštrukcií. Meria sa pomocou teplomera so špeciálne upraveným snímačom buď na kontaktné (Obr. 4.12) alebo bezkontaktné meranie. Kontaktné teplomery musia byť čo najmenej ovplyvnené teplotným polom v mieste merania (napr. dotyková membrána čo najmenších rozmerov). Pri bezdotykových teplomeroch ide predovšetkým o infračervené sálavé prístroje, ktoré dávajú okamžitý obraz teplotných pomerov na sledovanom povrchu. Ďalšími často používanými meračmi sú termočlánky alebo termistory.



Obr. 4.12. Povrchový teplomer kontaktný (Testo)

Teplota mokrého teplomeru, ozn.  $\theta_w$  (°C)

Teplota *nútene* vetraného mokrého teplomeru  $\theta_w$ , tzv. psychometrická teplota, slúži na stanovenie vlhkostných parametrov vnútorného prostredia. Teplota *prirodzene* vetraného mokrého teplomera  $\theta_{nw}$  slúži spolu s výslednou teplotou  $\theta_g$  meranou guľovým teplomerom, prípadne teplotou vzduchu  $\theta$  na stanovenie indexu WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), ktorý je jedným z empirických ukazovateľov na vyjadrenie tepelnej záťaže človeka. Teplota  $\theta_{nw}$  je meraná teplotným snímačom s citlivou časťou snímača krytou vlhčenou pančuškou (ponorenou v nádobe s destilovanou vodou), ktorá musí byť tienená pred sálavými účinkami okolia, aby nemohlo dochádzať k zvyšovaniu teploty vody. Ukazovateľ WBGT sa vypočíta podľa vzťahov:

- pre vnútorný priestor a vonkajší priestor bez slnečného žiarenia:

$$WBGT = 0,7\theta_{nw} + 0,3\theta_g \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.6)$$

- pre vonkajší priestor so slnečným žiarením:

$$WBGT = 0,7\theta_{nw} + 0,2\theta_g + 0,1\theta \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.7)$$

kde:

$\theta_{nw}$  je teplota prirodzene vetraného mokrého teplomeru (°C),

$\theta_g$  – výsledná teplota (°C),

$\theta$  – teplota vzduchu (°C).

Priemerná hodnota ukazovateľa WBGT z hodnôt nameraných v 3 výškových úrovniach stojaceho alebo sediaceho človeka sa vypočíta zo vzťahu:

$$WBGT = \frac{WBGT_{hlava} + 2 \cdot WBGT_{pás} + WBGT_{členky}}{4} \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.8)$$

V praxi sú k dispozícii už meracie prístroje, ktoré priamo na displeji zobrazujú konečný výsledok ukazovateľa počas merania (Obr. 4.13).



Obr. 4.13. Meracie prístroje s priamym vyhodnotením WBGT ukazovateľa (Fein, Testo)

Teplota rosného bodu, ozn.  $\theta_{rb}$  ( $^\circ\text{C}$ )

Meranie tejto teploty je súčasťou prístrojov, ktoré merajú vlhkosť parametre a nazývajú sa psychrometre. Rovnako tak sa dá určiť pomocou tabuľky v závislosti od teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu (Fričová a kol., 2012).

#### 4.2.2 Meranie vlhkosti vzduchu

*Definícia:* V atmosférickom vzduchu je vždy prítomná voda vo forme vodných pár. Množstvo vodných pár vo vzduchu sa môže veľmi výrazne meniť. Tlak nasýtenej vodnej pary pri danej teplote vzduchu nad vodnou hladinou je maximálny možný parciálny tlak vodnej pary. Závisí od teploty a udáva maximálne množstvo vodnej pary, ktoré môže byť obsiahnuté v určitom množstve vzduchu pri danej teplote. Vlhkosť vzduchu sa dá vyjadriť tromi fyzikálnymi veličinami:



a) Absolútna vlhkosť vzduchu  $a$  ( $\text{kg/m}^3$ ) je hmotnosť vodnej pary obsiahnutej v  $1 \text{ m}^3$  vlhkého vzduchu.

b) Merná vlhkosť vzduchu  $x$  ( $\text{kg/kg}_{\text{sv}}$ ) je pomer hmotnosti vodnej pary k hmotnosti suchého vzduchu. Táto veličina sa využíva pre presnú kvantifikáciu množstva vodnej pary, ako aj pri výpočtoch spojených s úpravou vlhkosti vzduchu pri psychrometrických procesoch vlhčenia alebo odvlhčenia.

c) Relatívna vlhkosť vzduchu  $\varphi$  (%) je odvodenou, experimentálne merateľnou veličinou. Je definovaná ako pomer parciálneho tlaku vodnej pary a parciálneho tlaku nasýtenej vodnej pary pri určitej teplote. V podstate vyjadruje mieru nasýtenia vzduchu vodnou parou. Teplota, pri ktorej sa dosiahne nasýtenie vzduchu vodnou parou, je teplota rosného bodu. Pri poklese teploty pod túto hodnotu dochádza k zrážaniu vodných pár zo vzduchu vo forme kvapiek. Tento dej sa nazýva kondenzácia vodných pár (Vajda a kol., 2003).

*Označenie:* uvedené vyššie

*Merná jednotka:* uvedené vyššie

#### *Meracie prístroje:*

Keďže najvyšší možný tlak vodných pár (tlak nasýtenej vodnej pary) je závislý od teploty, aj relatívna vlhkosť vzduchu silne závisí od teploty. Táto vlhkosť stúpa pri klesajúcej teplote a klesá pri stúpajúcej teplote. Pri jej meraní je preto veľmi dôležité, aby snímač vlhkosti mal rovnakú teplotu ako meraná látka (vzduch) a aby počas merania zotrval v rovnakej polohe. Kolísanie teploty o  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  môže spôsobiť chybu merania až o 6 %.

Meranie vlhkosti vzduchu sa robí dvoma spôsobmi:

- *priamo*, t. j. zo zmeny vlastností citlivého materiálu v závislosti od vlhkosti; merací prístroj sa nazýva *hygrometer*,
- *nepriamo*, t. j. meraním tlaku pár, teploty rosného bodu a teploty mokrého teplomeru; merací prístroj *psychrometer*. Najčastejšie sa používa toto nepriame meranie vlhkosti vzduchu z poklesu teploty pri odparovaní vody do vzduchu (psychrometrická metóda).

Pri *hygrometroch* (Obr. 4.14) sa využíva zmena týchto fyzikálnych veličín v závislosti od vlhkosti:



Obr. 4.14. Hygrometer (Haar)

- v registračných, regulačných prístrojoch a k orientačnému meraniu sa využíva deformácia alebo predĺženie organickej látky v dôsledku povrchového napätia vody v póroch látky. Vlhkomerná látka mení svoje vlastnosti s časom, preto meracie prístroje je potrebné regenerovať ich umiestnením na niekoľko hodín do prostredia nasýteného vodnými parami,
- zaznamenáva sa zmena teploty v dôsledku zmien elektrickej vodivosti snímača, napr. hygrometer s chloridom litným; tepelné ustálenie snímača je približne 6 min,
- zaznamenáva sa zmena intenzity elektrického prúdu v dôsledku zmien elektrickej vodivosti snímača. Meracím prístrojom je taktiež hygrometer s chloridom litným. Roztok chloridu litného musí byť opakovane obnovovaný, detektor je preto nutné pravidelne čistiť, usadeniny vodivých častíc môžu údaje prístrojov skresliť. Taktiež je nutné dodržať rýchlosť prúdenia vzduchu na prístroji podľa pokynov výrobcu,
- kapacitné snímače vlhkosti vo všeobecnosti využívajú zmien elektrických vlastností látok, snímanou fyzikálnou veličinou je zmena elektrickej kapacity snímača pri zmene vlhkosti. Tieto snímače si vyžadujú častú kalibráciu, sú menej stabilné a značne citlivé na znečistenie vzduchu pevnými aerosolmi,
- snímače, ktoré sú založené na princípe zmeny teploty ochladzovanej lesklej plochy, napr. zrkadla, až na teplotu, pri ktorej nastane orosenie povrchu. Tieto prístroje slúžia na stanovenie teploty rosného bodu.

Pri *psychrometroch* sa využíva teplota medzného adiabatického ochladenia, resp. ochladenia izobarickým ochladzovaním pri nútene vetranom teplomere s vlhčenou pančuškou. Meranie

vlhkosti sa tak preklápa na meranie teploty. Ide o sústavu dvoch nútene vetraných snímačov teploty, na ktorých sa odčíta *teplota suchého teplomeru*, ozn.  $\theta$  a *teplota mokrého teplomeru*, ozn.  $\theta_w$  (tzv. psychrometrická teplota). Z týchto dvoch hodnôt sa pomocou psychrometrických tabuliek alebo pomocou Mollierovho  $h$ - $x$  diagramu vlhkého vzduchu stanoví hľadaná fyzikálna veličina vlhkosti. K najpoužívanejším meracím prístrojom patrí Assmannov psychrometer (Obr. 4.15) s dvoma ortuťovými teplomermi a ventilátorom poháňaným hodinovým strojčekom. Psychrometrické meranie spočíva v meraní rozdielu teploty mokrého povrchu pančušky, ktorou je obalená banka teplomeru, oproti teplote vzduchu. K poklesu teploty mokrého teplomeru dôjde vplyvom odparovania vody za daného stavu a tlaku, pri ktorom sa všetko teplo potrebné na odparovanie vody odoberie z okolitého vzduchu.

Praktické stanovenie vlhkosti:

*Relatívna vlhkosť vzduchu*, ozn.  $\varphi$  (%)

Udáva sa buď v percentách (v rozmedzí 0 až 100 %) alebo ako bezrozmerná veličina vyjadrená desatinným číslom. Môže sa stanoviť viacerými spôsobmi:

- priamym odčítaním z displeja meracieho prístroja,
- vyhľadáním v tabuľkách alebo pomocou grafického postupu v Mollierovom  $h$ - $x$  diagrame vlhkého vzduchu na základe dvoch nameraných teplôt vzduchu prostredníctvom psychrometra,



Obr. 4.15. Assmannov aspiračný psychrometer (MultiMic)

- pomocou grafického postupu v Mollierovom  $h$ - $x$  diagrame vlhkého vzduchu na základe známej hodnoty teploty rosného bodu a nameranej teploty vzduchu.

*Merná vlhkosť vzduchu*, ozn.  $x$  (kg/kg<sub>sv</sub>)

Merná vlhkosť je v skutočnosti bezrozmerná fyzikálna veličina, ale pre lepšiu zrozumiteľnosť vyjadrenia hodnoty sa udáva v merných jednotkách kg/kg<sub>sv</sub> (t. j. kg<sub>vody</sub>/kg<sub>suchého vzduchu</sub>). Môže sa stanoviť viacerými spôsobmi:

- pomocou grafického postupu v Mollierovom  $h$ - $x$  diagrame vlhkého vzduchu na základe dvoch nameraných teplôt vzduchu prostredníctvom psychrometra,
- pomocou výpočtu:

$$x = \frac{m_d}{m_1} \quad (\text{kg/kg}_{\text{sv}}) \quad (4.9)$$

kde:  $m_d$  je hmotnosť vodnej pary (kg),  $m_1$  – hmotnosť suchého vzduchu ( $\text{kg}_{\text{sv}}$ ), alebo:

$$x = 0,622 \frac{p_d}{p - p_d} \quad (\text{kg/kg}_{\text{sv}}) \quad (4.10)$$

kde:

$p_d$  je parciálny tlak vodných pár (Pa); údaj odčítateľný priamo z displeja niektorých meracích prístrojov alebo odčítaný z tabuliek,

$p$  – barometrický tlak (Pa).

### 4.2.3 Meranie rýchlosti prúdenia vzduchu

*Definícia:* Rýchlosť je fyzikálna veličina, ktorá vyjadruje zmenu polohy za veľmi krátky časový interval. Je to vektorová veličina, ktorá k svojmu presnému určeniu potrebuje okrem veľkosti hodnoty stanoviť aj smer (Vajda a kol., 2003).

*Označenie:*  $v$

*Merná jednotka:* m/s

*Meracie prístroje:*

Rýchlosť prúdenia vzduchu v priestore je nutné merať metódami, ktoré umožňujú s dostatočnou presnosťou stanoviť nízke rýchlosti prúdenia, v rozmedzí približne 0,1 až 0,5 m/s. Tieto merania patria k najnáročnejším a dochádza pri nich aj k najväčším chybám merania. Pretože pohyb vzduchu v uzavretom priestore je značne turbulentný a časovo veľmi premenný, vyžaduje stanovenie reprodukovateľných hodnôt použitie meracích prístrojov s dlhšou dobou snímania. Odpočet okamžitej hodnoty z displeja meracieho prístroja alebo z jeho stupnice nemá

pre určenie rýchlosti prúdenia vzduchu žiaden význam. Samotné snímače pre meranie tejto fyzikálnej veličiny musia:

- mať možnosť stanovenia priemernej rýchlosti prúdenia vzduchu v určitom časovom intervale (minimálne 1 min, optimálne 3 min.),
- byť citlivé na kolísanie rýchlosti prúdiaceho vzduchu,
- byť citlivé na zmenu smeru prúdiaceho vzduchu.

*a) Lopatkový anemometer*

Funkčným prvkom je lopatkové koleso (Obr. 4.16) so šikmými lopatkami. Pri mechanických anemometroch sú otáčky obežného kolesa prenášané mechanickým prevodom na ukazovateľ, prevod je cez spojku ovládanú hodinárskym strojčekom, ktorý automaticky zopne na dobu jednej minúty. Výsledkom je stredná hodnota rýchlosti prúdenia vzduchu za časový úsek 1 minúty, t. j. hodnota udávaná mernou jednotkou m/min.

Iné meracie prístroje majú voľne uložené obežné koleso, otáčky sú snímané bezdotykovo a vyhodnocované elektronickým obvodom. Údaj je zobrazený buď analógovo na stupnici alebo digitálne na displeji prístroja.

Spodná hranica citlivosti prístrojov je 0,1 m/s, s rozsahom až do 20 m/s. Elektrické lopatkové anemometre majú prevedenú indikáciu otáčok obehového kolesa na elektrický signál.



Obr. 4.16.  
Lopatkové anemometre  
(Testo, Extech)



Obr. 4.17.  
Anemometer s lopatkovou sondou  
(Testo, Extech)

Anemometre s veľmi malým priemerom obehového kola sa nazývajú *vrtuľkové anemometre*. So spodnou hranicou citlivosti cca 0,3 m/s.

Smerová citlivosť lopatkových anemometrov nie je veľká, do uhlu  $\pm 20^\circ$  býva chyba merania menšia než 1 %. Pri meraní sa nesmie meniť smer prúdenia vzduchu obehovým kolesom. Ten je vždy na prístroji označený šípkou a je zo strany kola nezatieneného otáčkomerom.

#### *b) Termoanemometer*

Princípom merania je sledovanie ochladzovania elektricky zahrievaného elementu. Podľa spôsobu merania sú tieto meracie prístroje odporové s termistormi alebo s termočlánkami (Obr. 4.18). Sú vhodné pre meranie malých rýchlostí prúdenia vzduchu, citlivosť snímačov je od 0,01 m/s. Snímače bývajú väčšinou všesmerové, pokiaľ sú smerové, musí byť táto informácia vždy uvedená v technických podkladoch prístroja.

Nevýhodou týchto prístrojov je značná mechanická citlivosť snímačov, snímač sa môže prakticky zničiť i väčšou pevnou časticou letiacou v prúde vzduchu.

#### *c) Katateplomer*

Je to prístroj (Obr. 4.19) na stanovenie ochladzovacieho účinku prostredia vyjadreného množstvom tepla odovzdaného do ovzdušia za jednotku času telesom, ktorého teplota sa blíži k teplote ľudského tela ( $36,5^\circ\text{C}$ ). Množstvo tepelnej straty narastá pri poklese teploty vzduchu a náraste rýchlosti vetra.

Katateplomer tvorí sklená nádobka naplnená zafarbeným liehom, ku ktorej je pritavená na konci rozšírená sklená kapilára s vyznačenou stupnicou s hodnotami  $35^\circ\text{C}$ ,  $36^\circ\text{C}$ ,  $37^\circ\text{C}$  a  $38^\circ\text{C}$ . Pri meraní sa spodná nádobka zahreje na teplotu  $38^\circ\text{C}$ , pri ktorej lieh čiastočne zaplní rozšírenú časť kapiláry. Katateplomer sa voľne vystaví do sledovaného prostredia a meria sa čas, za ktorý teplota v kapiláre klesne na hodnotu  $35^\circ\text{C}$ . Množstvo tepla odovzdané okoliu z jednotkovej plochy nádobky katateplomera pri poklese teploty z  $38^\circ\text{C}$  na  $35^\circ\text{C}$  sa určuje pri každom meracom prístroji zvlášť a nazýva sa katafaktor  $K$  prístroja. Pomocou hodnoty odovzdaného tepla a nameraného času sa vypočíta hodnota schladzovacej veličiny; vyjadruje sa v merných jednotkách  $\text{W}/\text{m}^2$ . Katateplomer sa najčastejšie používa v biometeorológii na sledovanie vplyvu okolitého prostredia na ľudský organizmus.



Obr. 4.18. Termoanemometer (Commet)



Obr. 4.19. Katateplomer (ExaTherm)

Stanoviť rýchlosť prúdenia vzduchu (do 0,5 m/s) sa pre rýchly odpočet dá pomocou grafu alebo na presné stanovenie rýchlosti sa vychádza z nasledujúcich vzťahov:

- platí pre rýchlosť prúdenia vzduchu  $v \leq 1$  m/s:

$$v = \left( \frac{\frac{K}{36,5 - \theta} - 8,58}{16,12} \right)^2 \quad (\text{m/s}) \quad (4.11)$$

- platí pre rýchlosť prúdenia vzduchu  $v > 1$  m/s:

$$v = \left( \frac{\frac{K}{36,5 - \theta} - 4,40}{20,31} \right)^2 \quad (\text{m/s}) \quad (4.12)$$

kde:

$K$  je katafaktor (katahodnota) prístroja ( $\text{W/m}^2$ ),

$\theta$  – teplota vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### 4.2.4 Meranie prietokového množstva vzduchu

*Definícia:* Prietokové množstvo vzduchu môže byť vyjadrené dvoma spôsobmi, buď ako *objemový prietok* alebo *hmotnostný prietok* tekutiny (vzduchu) pretekajúcej daným prierezom za časovú jednotku (Vajda a kol., 2003).

*Označenie:*  $V$  (objemový prietok vzduchu),  $M$  (hmotnostný prietok vzduchu)

*Merná jednotka:*  $V$  (m<sup>3</sup>/s),  $M$  (kg/s)

*Meracie prístroje:*

Pri meraní prietokového množstva vzduchu je pre jeho jednoznačné určenie potrebné uviesť stanovené fyzikálne veličiny, pri ktorých bolo meranie uskutočnené. Rýchlostný profil závisí od druhu prúdenia vzduchu (turbulentné alebo laminárne).

Pri laminárnom prúdení sa častice vzduchu pohybujú po dráhach, ktoré sa navzájom nekrížia. Pri turbulentnom prúdení dochádza k zmiešavacím pohybom medzi jednotlivými časticami. Kritériom, podľa ktorého sa určí druh prúdenia, je Reynoldsovo číslo – bezrozmerný parameter udávajúci pomer medzi zotrvačnými a trecími silami vo vnútri vzduchu. Kritická hodnota Reynoldsovho čísla, pri ktorej dochádza k prechodu z laminárneho prúdenia do turbulentného, je pre prietok kruhovým potrubím  $Re = 2300$ , ak je  $Re < 2300$  je prúdenie laminárne, ak je  $Re > 2300$  prúdenie je turbulentné.

Z hľadiska potrieb praxe prietokové množstvá vzduchu môžeme merať priamo alebo nepriamo. Pre priame metódy slúžia nasledujúce meracie prístroje:

*a) Objemové meradlá*

Sú to v podstate nádoby známeho objemu, v ktorých sa tekutina odmeriava striedavým naplňaním a vyprázdňovaním. Objemové množstvo sa určí z polohy hladiny (pri kvapalinách) alebo meraním stavových veličín pred a po naplnení nádoby (pri plynach). Pri priebežne pracujúcich objemových meradlách je zistené samočinné striedavé naplňanie a vyprázdňovanie odmerných nádob. Indikátorom celkového prietochného množstva je počítadlo zaznamenávajúce počet jednotlivých odmerov.

K modernejším meradlám patria piestové, s priamočiarym pohybom piestov pracujúcich na princípe piestových motorov.

Meranie prietokového množstva pri prietokomeroch s rotujúcimi piestami je prevedené na meranie otáčok alebo meranie mechanických veličín.



Krúžkové meradlá sú v podstate zložené z kruhovej meracej komory s odvažovacím piestom a zo zariadenia na prevod pohybu na počítadlo. Nevýhodou prístroja sú mimoriadne požiadavky na mechanickú čistotu meranej látky.

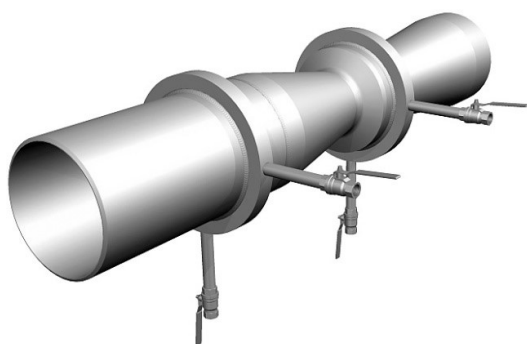
#### b) Rýchlostné meradlá

Meranie prietokového množstva je založené na odvažovaní lopatiek pôsobením pretekajúcej látky. Podľa úpravy tvaru obežného kolesa v toku delíme meradlá s axiálnym vtokom a na meradlá s tangenciálnym vtokom. Počet otáčok býva vhodným prevodom upravený tak, že udáva celkové prietokové množstvo vzduchu.

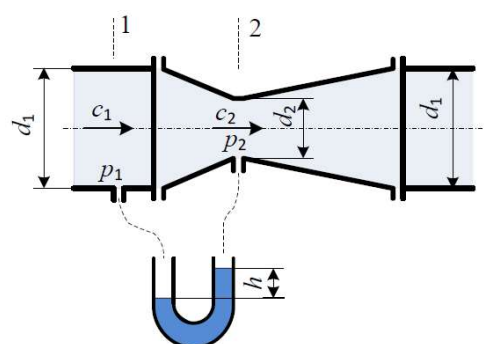
Nepriame metódy merania prietokového množstva sú založené na dynamických účinkoch pretekajúcej látky.

#### a) Metóda pomocou škrtiaceho zariadenia

Medzi často aplikované metódy patrí meranie škrtiacimi prvkami, ktoré predstavujú snímač meradla. Pri tomto princípe merania sa v danom mieste umelo zmenší prietokový prierez potrubia. Zúženým prierezom prúdi vzduch väčšou rýchlosťou, pričom sa menia jeho stavové veličiny, predovšetkým statický tlak. Rozdiel statických tlakov je závislý jednoznačne od prietoku cez konštantný a známy prierez. Indikátorom prietoku je potom merací prístroj schopný vyhodnotiť s maximálnou presnosťou rozdiel statických tlakov. Medzi normalizované škrtiace zariadenia patrí clona, Venturiho trubica (Obr. 4.20) a Venturiho dýza.



Obr. 4.20. Venturiho trubica  
(Jenčík a kol., 2000)



Obr. 4.21. Fyzikálny princíp Venturiho trubice  
(Jenčík a kol., 2000)

*Príklad*

Vo vzduchotechnickom potrubí kruhového prierezu DN300 je potrebné stanoviť objemový prietok vzduchu pomocou Venturiho trubice. Výpočtová schéma je uvedená na Obr. 4.21. Samotný výpočet vychádza z princípu Bernoulliho rovnice.

Vstupy:

- priemer vzduchotechnického potrubia  $d_1 = 300$  mm
- priemer Venturiho trubice v zúženom mieste  $d_2 = 150$  mm
- pri prietoku vzduchu zaznamenal ortuťový manometer medzi meracími miestami č. 1 a 2 výchylku  $h = 80$  mm

Úvaha:

Z rovnice kontinuity (Bernoulliho rovnica) vyplýva, že pri prúdení tekutiny (čo je spoločný názov pre kvapaliny a plyny, tzn. aj pre vzduch) v potrubí meniaceho sa prierezu sa tekutina pohybuje so zrýchlením. Zväčšovanie rýchlosti prúdenia tekutiny vo vodorovnej trubici môže spôsobiť len rozdielny tlak. Z toho vyplýva, že v mieste s väčším prierezom má prúdiaca tekutina väčší tlak, zatiaľ čo v mieste s menším prierezom má menší tlak, ale väčšiu rýchlosť, tzn. že tlak prúdiacej tekutiny klesá s jej narastajúcou rýchlosťou.

Bernoulliho rovnica vyjadruje zákon zachovania mechanickej energie pre ustálené prúdenie ideálnej tekutiny. Pre vodorovné potrubie môžeme ju zapísať v zjednodušenom tvare:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p = konst. \quad (-) \quad (4.13)$$

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2 \quad (4.14)$$

kde:

$\rho$  je hustota tekutiny ( $\text{kg/m}^3$ ),

$v$  – rýchlosť prúdenia tekutiny ( $\text{m/s}$ ),

$p$  – tlak ( $\text{Pa}$ ).

Výpočet:

Po vyjadrení rýchlosti  $v_2$  z rovnice kontinuity:

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{S_1 \cdot v_1}{S_2} \quad (4.15)$$

kde:

$S$  je plocha prierezu ( $\text{m}^2$ ),

$v$  – rýchlosť prúdenia tekutiny ( $\text{m/s}$ ),

a vyjadrení rozdielu tlakov:

$$p_1 - p_2 = \Delta p \quad (4.16)$$

dostaneme upravený tvar rovnice (4.14):

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 &= \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2 \quad /-p_2 \\ \frac{1}{2} \rho v_1^2 + (p_1 - p_2) &= \frac{1}{2} \rho v_2^2 \end{aligned} \quad (4.17)$$

z ktorej si vyjadríme rýchlosť  $v_1$ :

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \Delta p = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{S_1 \cdot v_1}{S_2} \right)^2 \Rightarrow v_1 = S_2 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho (S_1^2 - S_2^2)}} \quad (4.18)$$

Objemový prietok vzduchu:

$$V = S_1 \cdot v_1 = S_1 \left[ S_2 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho (S_1^2 - S_2^2)}} \right] \quad (4.19)$$

$$V = S_1 \left[ S_2 \sqrt{\frac{2 \cdot (h \cdot \rho_{Hg} \cdot g)}{\rho_v (S_1^2 - S_2^2)}} \right] = 0,07 \left[ 0,018 \sqrt{\frac{2 \cdot (0,08.13,6.9,81)}{1,2(0,07^2 - 0,018^2)}} \right] = 0,079 \text{ m}^3/\text{s} = 284,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vzduchotechnickým potrubím kruhového prierezu DN300 prúdi objemový prietok vzduchu 284,4  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Na nepriame meranie prietokového množstva vzduchu sa používajú i ďalšie druhy dynamických snímačov založených na princípe vyhodnocovania rýchlosti prúdenia vzduchu pomocou dynamického tlaku potrubím so známym prierezom. Ide o Prandtlovu a Pitotovu trubicu (Jenčík a kol., 2000).

b) *Anemometre*

Medzi moderné typy prietokomerov patria už spomínané anemometre, ktoré popri meraní rýchlosti prúdenia vzduchu vyhodnocujú aj prietokové množstvo vzduchu.

V praxi sa objemový prietok vzduchu vo vzduchotechnickom potrubí za prevádzkových podmienok stanoví nepriamo, na základe rýchlosti prúdenia vzduchu nameranej anemometrom pomocou sondy v potrubí a pri známom priereze potrubia sa objemový prietok vzduchu vypočíta podľa vzťahu (Jenčík a kol., 2000):

$$V = v_s \cdot A \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.20)$$

kde:

$v_s$  je stredná rýchlosť prúdenia vzduchu (m/s),

$A$  – plocha prierezu potrubia ( $\text{m}^2$ ).

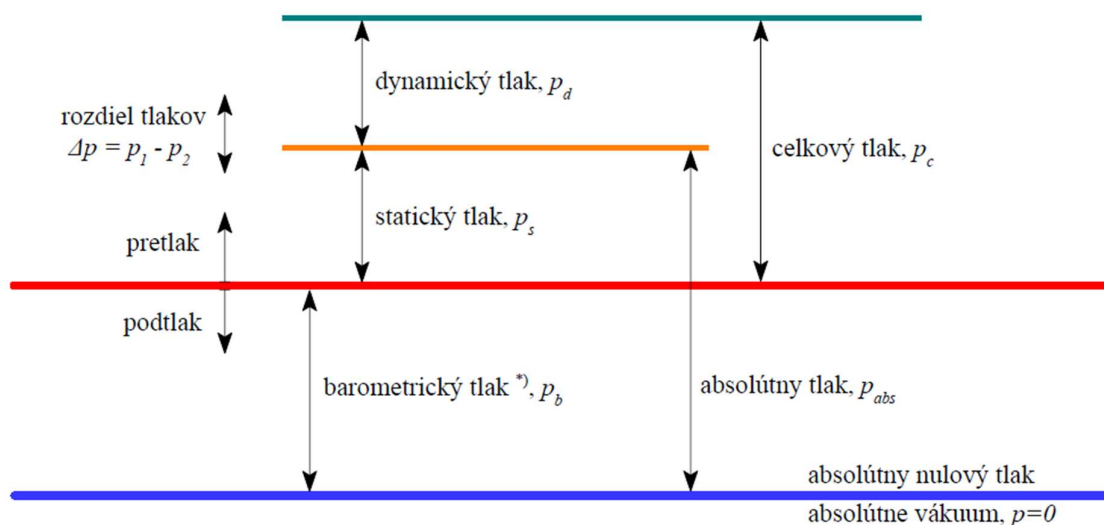
**4.2.5 Meranie tlaku vzduchu**

*Definícia:* Tlak je stavová veličina, ktorá predstavuje strednú hodnotu zmeny zložky hybnosti molekúl tekutiny (vzduchu) pôsobiacich kolmo k príslušnej ploche; a je meraný silovými účinkami. Od hodnoty tlaku závisia vlastnosti väčšiny látok a priebehy fyzikálnych procesov.

*Označenie:*  $p$

*Merná jednotka:* Pa

Absolútny nulový tlak prisudzujeme priestoru, v ktorom by nebolo hmoty (absolútne vákuum s tlakom  $p = 0$  Pa). Ak meriame tlaky od absolútneho nulového tlaku, hovoríme o *tlakoch absolútnych*  $p_{abs}$ . Zvlášťne miesto medzi absolútnymi tlakmi má *tlak atmosférický* u zemského povrchu, ktorý sa nazýva aj *tlakom barometrickým*  $p_b$ . Je meraný v konkrétnej nadmorskej výške za reálnych podmienok. *Pretlak* je rozdiel barometrického tlaku a tlaku absolútneho, ktorý je vyšší než barometrický. *Podtlak* je rozdiel barometrického tlaku a tlaku absolútneho, ktorý je nižší než barometrický (Obr. 4.22). Vo vzduchu pôsobí aj *statický tlak*  $p_s$  – je to skalárna veličina, má iba veľkosť a v danom mieste nezávisí na smere, v ktorom ho zisťujeme; v celom prietokovom priereze potrubia je rovnaký (Vajda a kol., 2000).



Obr. 4.22. Základné rozdelenie tlakov (Vajda a kol., 2000)

*Dynamický tlak* je naopak veličina vektorová, má svoju veľkosť a smer. Vyjadruje kinetickú (rýchlostnú) energiu prúdiaceho vzduchu; zahŕňa vplyv stlačiteľnosti tekutiny (vzduchu). Jeho veľkosť sa vypočíta podľa vzťahu:

$$p_d = \frac{\rho}{2} v^2 \quad (\text{Pa}) \quad (4.21)$$

kde:

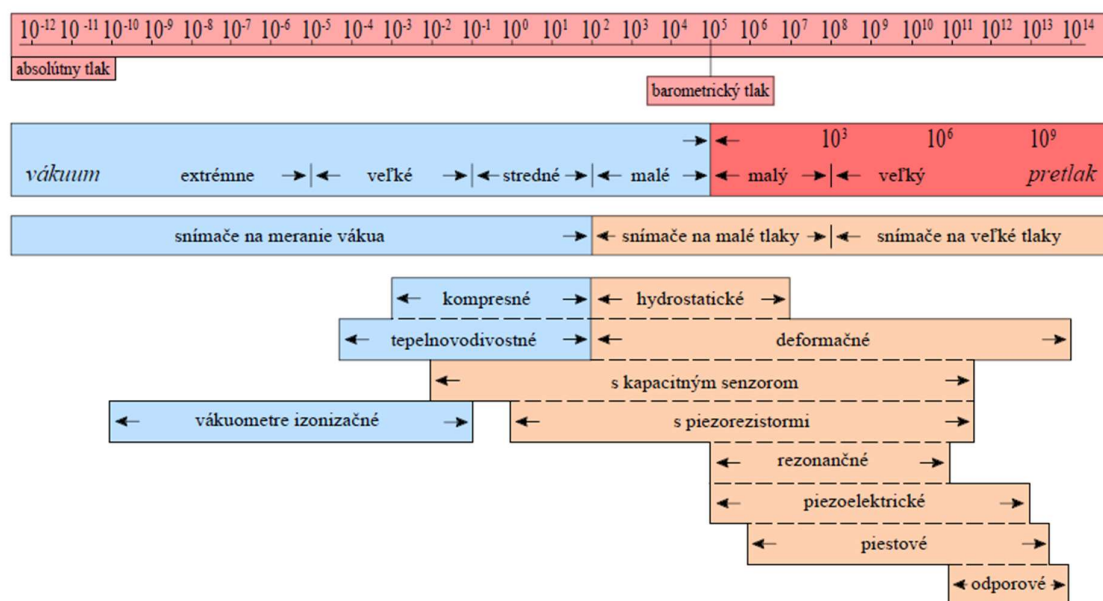
$\rho$  je hustota vzduchu ( $\text{kg/m}^3$ ),

$v$  – rýchlosť prúdenia vzduchu ( $\text{m/s}$ ).

Celkový tlak je súčtom statického  $p_s$  a dynamického tlaku  $p_d$ :

$$p_c = p_s + p_d \quad (\text{Pa}) \quad (4.22)$$

Pre lepšiu orientáciu v pojmoch je na nasledujúcom obrázku (Obr. 4.23) uvedený priebeh jednotlivých tlakov a ich vzájomná väzba v sacej a výtlačnej časti potrubia.



Obr. 4.23. Orientačné rozdelenie tlakomerov podľa meracieho rozsahu (Vajda a kol., 2000)

*Meracie prístroje:*

Všeobecný názov pre prístroj určený na meranie tlaku je *tlakomer*. Ale podľa meraného tlaku a podľa použitia sa im priradujú podrobnejšie názvy:

- manometer – na meranie pretlaku,
- diferenčný tlakomer – na meranie tlakových rozdielov,
- barometer – na meranie tlaku okolitého ovzdušia,
- vákuometer, manovákumeter.

Podľa funkčného princípu delíme tlakomery na:

- kvapalinové tlakomery – mierka tlaku je výška stĺpca kvapaliny,
- piestové a zvonové tlakomery – veľkosť tlaku určuje hmotnosť závažia na pieste známeho prierezu (piestové) alebo zdvih zvonu (zvonové),
- deformačné tlakomery – tlak je meraný pomocou deformácie pružného prvku,
- elektrické tlakomery – zmena tlakovo závislej elektrickej veličiny udáva mierka tlaku.

*a) Kvapalinové tlakomery*

Meraný tlak je vyrovnávaný hydrostatickým tlakom stĺpca použitej kvapaliny. Hodnota tohto tlaku je daná výškou stĺpca a hustotou danej kvapaliny. Pre rôzne rozsahy merania sa používa kvapalina s rôznou hustotou (Tab. 4.2).

Tabuľka 4.2 Vlastnosti tlakomerových kvapalín (Vajda a kol., 2000)

|                   | <b>Hustota kvapaliny (kg/m<sup>3</sup>) pri teplote</b> |              |                                                                                                   |              |
|-------------------|---------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|                   | <b>0 °C</b>                                             | <b>10 °C</b> | <b>20 °C</b>                                                                                      | <b>30 °C</b> |
| <b>lieh</b>       | 806,3                                                   | -            | 791,0                                                                                             | -            |
| <b>voda</b>       | 999,8                                                   | 999,7        | 998,2                                                                                             | 995,6        |
| <b>tetrachlór</b> | 1 633,9                                                 | 1 614,3      | 1 594,7                                                                                           | 1 575,1      |
| <b>ortuť</b>      | 13 595,1                                                | 13 570,4     | 13 545,7                                                                                          | 13 521,2     |
|                   | <b>Výhody</b>                                           |              | <b>Nevýhody</b>                                                                                   |              |
| <b>lieh</b>       | nízke povrchové napätie                                 |              | horľavý, pohlcuje vlhkosť z ovzdušia                                                              |              |
| <b>voda</b>       | dostupná, závislá len od teploty                        |              | veľké povrchové napätie (pri trubiciach malých priemerov a pri meraní malých tlakových rozdielov) |              |
| <b>tetrachlór</b> | dá sa dobre prifarbovať                                 |              | zmena hustoty znečistením, pôsobí korozívne                                                       |              |
| <b>ortuť</b>      | veľká stálosť vlastností                                |              | veľké povrchové napätie, zdravotne závadná, pôsobí korozívne                                      |              |

*a1) U-trubicový manometer*

je v podstate sklenená trubica v tvare písmena U so stupnicou (Obr. 4.24), príp. dve rovné zvislé trubice v spodnej časti spojené napr. gumovou hadicou a približne z polovice naplnené tlakomerovou kvapalinou. Dĺžka trubíc nepresahuje 1,5 m, a tým je určený rozsah merania podľa toho, aká je použitá tlakomerová kvapalina. Zvyčajne sa používa voda (rozsah merania 15 kPa), tetrachlor (25 kPa) alebo ortuť (130 kPa).

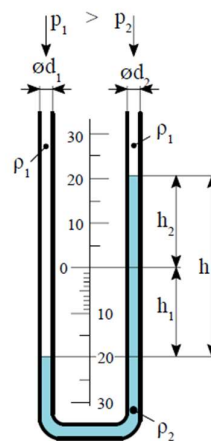
Trubice nemusia byť kalibrované. U-trubicové manometre sú vyrábané ako jednoduché s milimetrovou mierkou alebo ako veľmi presné s optickým odčítaním výchylky kvapaliny. Presnosť odčítania výchylky možno zabezpečiť na 0,05 mm. Manometre tejto konštrukcie

sa používajú na meranie pretlaku alebo tlakového rozdielu pri statickom tlaku až 10 MPa, pokiaľ majú vhodné vyhotovenie.

Náplňou je ortuť, trubica z nerezovej ocele a výška hladiny sa odčítava magneticky (plaváček + magnet).



Obr. 4.24. U-trubicový manometer  
(Vajda a kol., 2000)



Obr. 4.25. Schéma U-trubicového manometra  
(Vajda a kol., 2000)

Meraný tlakový rozdiel  $\Delta p$  je v rovnováhe s hydrostatickým tlakom stĺpca, ktorý vychýli tlakomernú kvapalinu o mieru  $h$ . Jeho matematický zápis je v tvare rovnice:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot (h_1 + h_2) = (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot h \quad (\text{Pa}) \quad (4.23)$$

kde:

$p_1, p_2$  sú tlaky (Pa),

$\rho_2$  – hustota tlakomernej kvapaliny ( $\text{kg/m}^3$ ),

$\rho_1$  – hustota meraného prostredia ( $\text{kg/m}^3$ ),

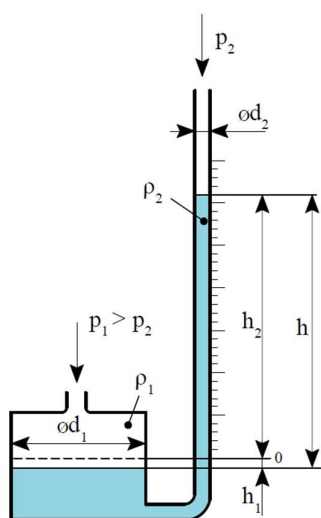
$g$  – gravitačné (ťažové) zrýchlenie ( $\text{m/s}^2$ ).

#### a2) Nádobkový manometer

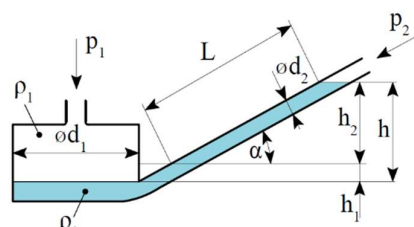
Hlavným znakom nádobkového manometra je odstránenie nevýhody U-trubicového manometra, t. j. odčítanie výchylky stĺpca v oboch ramenách tlakomeru. Jedno rameno



je rozšírené do nádoby a odčítava sa len výchylka v trubici s nemenným prierezom (Obr. 4.26). Výhodou je teda eliminácia nevýhody predchádzajúceho typu manometra, avšak nevýhodou je požiadavka na konštantné prierezy ako nádoby, tak aj trubice, tzn. musia byť kalibrované, aby sa nemenila tzv. hodnota prevodu  $e$ .



Obr. 4.26. Schéma nádobkového manometra (Vajda a kol., 2000)



Obr. 4.27. Schéma mikromanometra so šikmou trubicou (Vajda a kol., 2000):

Tlakový rozdiel, ktorý meriame, možno vyjadriť z rovnice (4.23) pomocou objemov:

$$S_1 \cdot h_1 = S_2 \cdot h_2 \quad (4.24)$$

Potom rovnica dostáva tvar:

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_1 - p_2 = (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot (h_1 + h_2) \\ \Delta p &= (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot h_2 \left( \frac{S_2}{S_1} + 1 \right) = (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot h_2 \cdot e \end{aligned} \quad (\text{Pa}) \quad (4.25)$$

kde:

$S_1$  – je prierezová plocha nádoby ( $\text{m}^2$ ),

$S_2$  – prierezová plocha trubice ( $\text{m}^2$ ),

$e$  – prevod tlakomerov (-).

*a3) Mikromanometer so šikmou trubicou*

Ide o nádobkový manometer, ktorého trubicu možno sklopiť pod uhlom v rozsahu 0 až 90° a tým zvyšovať jeho citlivosť merania (Obr. 4.27). Sklápaním trubice a zmenšovaním uhlu  $\alpha$  sa znižuje rozsah manometra a zvyšuje jeho citlivosť. Rozsah merania je určený dĺžkou trubice. Bežná dĺžka trubíc býva 200 a 600 mm, náplňou je lieh (etylalkohol), ortuť sa nepoužíva, presnosť merania 0,01 mm. Mikromanometer sa pre svoju presnosť používa na meranie malých pretlakov alebo malej tlakovej diferencie. Tieto tlakomery sú vybavené vodováhou, pretože presnosť merania závisí od sklonu trubice vzhľadom k vodorovnej rovine (Vajda a kol., 2000).

Tlakový rozdiel, ktorý meriame, je daný vzťahom:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

$$\Delta p = (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot L \left( \frac{s_2}{s_1} + \sin \alpha \right) = (\rho_2 - \rho_1) \cdot g \cdot L \cdot e \quad (\text{Pa}) \quad (4.26)$$

kde:

$L$  je výchylka kvapalinového stĺpca v trubici (mm).

*b) Piestové a zvonové tlakomery*

Niekedy sa nazývajú aj ako tlakomery so silovým účinkom. Meranie tlaku je pri nich prevedené na meranie sily, ktorej účinok je v rovnováhe s účinkom zisťovaného tlaku. Meraný tlak pôsobí na piest vyvážený závažím alebo pružinou. Z veľkosti vyváženia a z rozmerov piestu je možné určiť meraný tlak.

*b1) Piestový manometer*

Ide o etalónový prístroj, ktorý sa takmer výhradne používa ku kalibrácii deformačných tlakomerov v rozsahu 40 kPa až 2 GPa. Tlak privedený na jednu stranu piesta, je vyrovnávaný vonkajšou silou pôsobiaceou na druhú stranu piesta. Tá je určená buď hodnotou závažia, alebo deformáciou kalibrovannej pružiny, čo je ale menej presné. Piestové manometre fungujú podľa definície tlaku ako sily pôsobiacej na jednotkovú plochu podľa rovnice:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S} \quad (\text{Pa}) \quad (4.27)$$

kde:

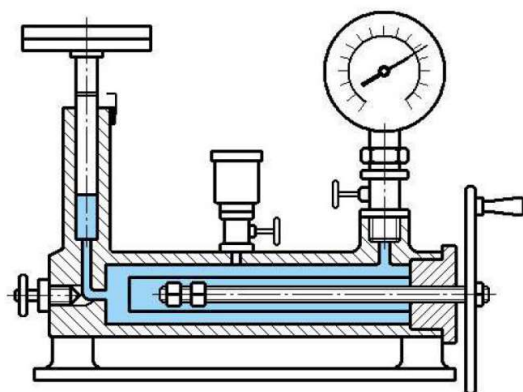
$F$  je sila (N),

$S$  – prierezová plocha ( $\text{m}^2$ ),

$m$  – hmotnosť (kg),

$g$  – gravitačné (ťažové) zrýchlenie ( $\text{m/s}^2$ ).

Manometer sa skladá z olejového čerpadla, nádoby s olejom a piestu presného prierezu opatreného tanierom, na ktorý sa umiestňuje závažie (Obr. 4.28). Piest je po celej svojej dĺžke zakomponovaný vo valci. Mierou meraného tlaku zavedeného do valca je potom zaťaženie tohto piestu.



Obr. 4.28 Schéma piestového manometra  
(Vajda a kol., 2000)



Obr. 4.29 Kontrolný piestový manometer  
(Vajda a kol., 2000)

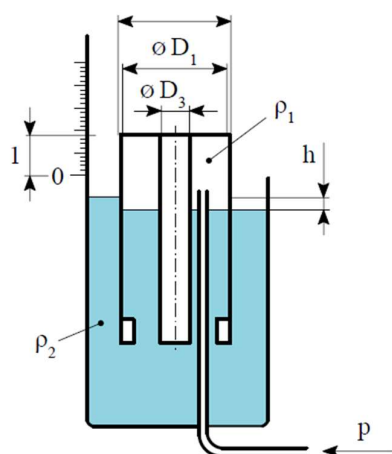
Pri meraní vysokých tlakov, keď by bola buď príliš veľká vyvažovacia sila, alebo príliš malý priemer piesta, sa používa multiplikátor.

Jeho podstatou je diferenčný piest, na ktorý z oboch strán pôsobia pretlaky  $p_1$  a  $p_2$ . Pretlak  $p_1$  je vyvolaný buď pôsobením stĺpca kvapaliny alebo jednoduchým piestovým tlakomerom.

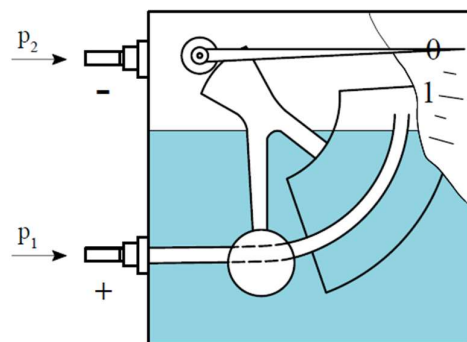
Výhodou tohto prístroja je, že sa dá potlačiť ľubovoľná časť rozsahu použitím prídavného závažia. Pre prevod na elektrický signál možno použiť akýkoľvek snímač tlakovej sily.

## b2) Zvonový manometer s účinkom vztlaku

Skladá sa zo zvonu ponoreného do kvapaliny, pod ktorý sa zavedie meraný tlak (Obr. 4.30). Meradlom tlaku je potom zdvih zvonu. Vo východiskovom stave nie je pod zvon privedený pretlak, zvon v kvapaline pláva a ukazovateľ je na nule na stupnici.



Obr. 4.30. Schéma zvonového manometra s účinkom vztlaku (Vajda a kol., 2000)



Obr. 4.31. Schéma zvonového manometra zaveseného na váhe (Vajda a kol., 2000)

Pri zavedení tlaku pod zvon sa zvon začne zdvíhať vnútornou riadiacou silou  $F_i$ . Proti pôsobí vonkajšia riadiaca sila  $F_e$  spôsobená úbytkom tlaku pri vyrovnávaní zvonu. Veľkosť obidvoch síl sa vypočíta podľa nasledujúcich vzťahov:

$$F_i = p \cdot S \quad (\text{N}) \quad (4.28)$$

$$F_e = (S'_2 - S'_1) \cdot \rho_2 \cdot g \cdot l' \quad (\text{N}) \quad (4.29)$$

Pri rovnosti týchto síl sa zvon zastaví a jeho zdvih je úmerný meranému tlaku podľa vzťahu:

$$p = \frac{S'_2 - S'_1}{S'_1} \rho_2 \cdot g \cdot l' = e \cdot \rho_2 \cdot g \cdot l' \quad (\text{N}) \quad (4.30)$$

kde:

$S'_1$  je vnútorná plocha dna zvonu ( $\text{m}^2$ ),

- $S_2'$  – vonkajšia plocha dna zvonu ( $\text{m}^2$ ),  
 $\rho_2$  – hustota kvapaliny v nádobe ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  
 $l'$  – zdvih zvonu (m).

Zväčšenie meracieho rozsahu možno vykonať dvoma spôsobmi:

- a) *pri zachovaní citlivosti*: Pri maximálnej výchylke sa zvon zaťaží tak, aby sa opäť ponoril do východiskovej polohy. Rozsah týmto zväčšíme na dvojnásobok. Takto možno rozsah meniť, dokým to dovoľí pokles kvapaliny v nádobe.
- b) *pri znížení citlivosti*: Zväčšením meracieho rozsahu (prevodného čísla tlakomeru) pri jednom zdvihu zvonu. Toto sa docieli vložením prídavného vztlakového telesa s prierezom  $S_3'$  do zvonu.

Zvonový tlakomer sa používa na meranie statických tlakov do 500 Pa. Má vysokú presnosť a značnú prestavovaciu silu. Ako tlakomerná kvapalina do nádoby tlakomeru sa používa voda, olej, petrolej alebo toluén. Slúži na laboratórne merania a na kalibráciu iných tlakomerov (Vajda a kol., 2000).

## 5 MIKROKLIMATICKÉ NORMATÍVY

Jednou z najväčších výziev súčasnej generácie je vytvorenie udržateľného a nízkoenergetického stavebného prostredia, ktoré bude zdravé, bezpečné a užívateľom bude poskytovať dokonalý komfort. Táto kapitola je zameraná na vybrané zložky vnútorného prostredia, ktoré významne ovplyvňujú energetickú hospodárnosť budov i jeho hygienickú kvalitu (Horák, 2021). Väčšina odkazov na záväzné právne predpisy, či odporúčané technické normy sa týka „bežného“ vnútorného prostredia (budovy určené na bývanie, budovy občianskej vybavenosti, priemyselné budovy a iné).

Výsledným zámerom je pochopenie cieľov a princípov tvorby vnútorného prostredia budov s ohľadom na tepelnú pohodu, vlhkovú pohodu, na kvalitu vnútorného vzduchu a na akustiku.

### 5.1 ZÁVÄZNÉ PRÁVNE PREDPISY

#### *Zákony*

- Zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov,

#### *Nariadenia vlády*

- Nariadenie vlády SR č. 391/2006 Z. z. o minimálnych bezpečnostných a zdravotných požiadavkách na pracovisko,
- Nariadenie vlády SR č. 115/2006 Z. z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku,
- Nariadenie vlády SR č. 416/2005 Z. z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou vibráciám,

#### *Vyhlášky*

- Vyhláška MZ SR č. 124/2017 Z. z., ktoru sa mení a dopĺňa vyhláška MZ SR č. 259/2008 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a na ubytovacie zariadenia,
- Vyhláška MZ SR č. 99/2016 Z. z. o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci,

- Vyhláška MZ SR č. 237/2009 Z. z. ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 549/2007 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií v životnom prostredí
- Vyhláška MZ SR č. 554/2007 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na zariadenia starostlivosti o ľudské telo,
- Vyhláška MZ SR č. 525/2007 Z. z. o podrobnostiach o požiadavkách na telovýchovno-športové zariadenia,
- Vyhláška MZ SR č. 98/2016 Z. z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška MZ SR č. 448/2007 Z. z. o podrobnostiach o faktoroch práce a pracovného prostredia vo vzťahu ku kategorizácii prác z hľadiska zdravotných rizík a o náležitostiach návrhu na zaradenie prác do kategórií.

## 5.2 ODPORUČENÉ TECHNICKÉ NORMY

- STN EN ISO 13732-1:2009 Ergonómia tepelného prostredia. Metódy posudzovania ľudských reakcií na kontakt s povrchmi. Časť 1: Horúce povrchy (ISO 13732-1:2006),
- STN EN ISO 13732-3:2009 Ergonómia tepelného prostredia. Metódy posudzovania ľudských reakcií na kontakt s povrchmi. Časť 3: Chladné povrchy (ISO 13732-3:2005),
- STN EN ISO 8996:2022 Ergonómia tepelného prostredia. Stanovenie metabolizmu (ISO 8996:2001),
- STN EN ISO 7933:2005 Ergonómia tepelného prostredia. Analytické určovanie a interpretácia tepelného zaťaženia predpokladaného tepelného namáhania výpočtom (ISO 7933:2004),
- STN EN ISO 7730:2006 Ergonómia tepelného prostredia. Analytické určovanie a interpretácia tepelnej pohody pomocou výpočtu ukazovateľov PMV a PPD a kritérií miestnej tepelnej pohody (ISO 7730:2005)
- STN EN 16798-1:2019 Energetická hospodárnosť budov. Vetrание budov. Časť 1: Vstupné údaje o vnútornom prostredí budov na navrhovanie a hodnotenie energetickej hospodárnosti budov – kvalita vzduchu, tepelný stav prostredia, osvetlenie a akustika. Modul M1-6

a iné.

## 6 EXPERIMENTÁLNE MERANIA TEPELNEJ POHODY

Pocit tepelnej pohody je pre každého človeka základným predpokladom na to, aby sa v miestnosti cítil komfortne. Tepelnú pohodu možno vysvetliť ako stav mysle, ktorý vyjadruje spokojnosť s tepelným prostredím (ASHRAE Standard 55). V dôsledku fyziologických a psychologických rozdielov medzi ľuďmi môže byť náročné uspokojiť všetkých, pretože komfortné podmienky nie sú pre každého človeka rovnaké. Meranie parametrov tepelno-vlhkostnej mikroklímy nám pomáha objektívne posúdiť tepelné prostredie v interiéri a potom nastaviť podmienky tak, aby vyhovovalo čo najväčšiemu počtu užívateľov. Nasledujúce merania sa zameriavajú na tri základné kritériá na komfortné tepelné prostredie, a to zabezpečenie celkovej tepelnej pohody, zamedzenie lokálnej tepelnej nepohode a udržanie relatívnej vlhkosti v požadovanom rozsahu.

### 6.1 TEPELNO-VLHKOSTNÝ STAV VNÚTORNÉHO PROSTREDIA

Toto meranie sa zameriava na dlhodobé objektívne hodnotenie tepelno-vlhkostného prostredia v miestnosti pomocou prenosného záznamníka. Predmetom hodnotenia je celkový tepelný pocit osôb a relatívna vlhkosť vzduchu.

#### 6.1.1 Cieľ merania

Cieľom merania je oboznámiť sa so základmi posúdenia tepelno-vlhkostného prostredia v priestoroch s pobytom ľudí. V nasledujúcom príklade sa pre ilustráciu použijú údaje ohľadom tepelno-vlhkostného prostredia v kancelárii. Čiastkové ciele merania sú tieto:

- zozbierať údaje o teplote a relatívnej vlhkosti vzduchu vo vybranej miestnosti,
- vyhodnotiť a spracovať namerané údaje podľa nižšie uvedeného návodu,
- zhotoviť protokol z merania podľa požiadaviek a štruktúry v podkapitole 6.1.7.

#### 6.1.2 Požiadavky na tepelné prostredie – celková tepelná pohoda

Na pocit pohody človeka v interiéri významne vplyva tepelno-vlhkostná mikroklíma. Jej narušenie ohrozuje tepelnú rovnováhu tela ako základnú podmienku existencie ľudského organizmu. Požiadavky na tepelno-vlhkostné prostredie zahŕňajú celkovú tepelnú pohodu,



lokálnu tepelnú nepohodu a relatívnu vlhkosť. Toto meranie sa zameriava na celkovú tepelnú pohodu a relatívnu vlhkosť.

#### 6.1.2.1 Základy tepelnej rovnováhy ľudského tepla

Napriek tomu, že človek sa fyzicky i psychicky môže do istej miery prispôbiť danej mikroklíme, existuje rozpätie (neutrálna zóna), v ktorom sa cíti najlepšie. Táto neutrálna zóna je zároveň zónou tepelnej pohody, kde prevažujú subjektívne príjemné pocity vplyvom rovnovážnej tepelnej bilancie človeka s jeho prostredím. Je to teda taký stav, v ktorom človek nepociťuje ani chlad, ani nadmerné teplo.

Tabuľka 6.1. Reakcie ľudského organizmu na rôzne tepelné podmienky (Olesen, 2007)

| Teplota jadra<br>ľudského tela<br>(°C) | Fyziologická reakcia                                                   | Psychologická reakcia                     |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| > 41                                   | Riziko mŕtvice z tepla a nezvratného poškodenia tkaniva                |                                           |
| 40                                     | Zlyhanie tepelnej regulácie                                            | Netolerovateľné                           |
| 39                                     | Teplota počas veľmi ťažkej práce                                       |                                           |
| 38                                     | Rozšírenie ciev, potenie                                               | Nepohoda                                  |
| 37                                     | Normálna teplota tela                                                  | Tepelná neutralita                        |
| 36                                     | Zúženie ciev, studené ruky a nohy                                      | Nepohoda                                  |
| 35                                     | Triaška, znížená pracovná schopnosť                                    | Zhoršený úsudok,<br>dezorientácia, apatia |
| 34                                     | Malátnosť                                                              | Halucinácie                               |
| 33                                     | Zhoršená funkcia svalov a srdca                                        |                                           |
| 32                                     | Pokročilé bezvedomie                                                   |                                           |
| 31                                     | Zhoršené, slabé dýchanie                                               |                                           |
| 30                                     | Paralýza, ľadovo studená pokožka                                       |                                           |
| 29                                     | Žiadne nervové reflexy, pomalá, takmer nepozorovateľná srdečná činnosť |                                           |
| 28                                     | Arytmia, komorová fibrilácia                                           |                                           |

Je zrejmé, že nevyhnutnou podmienkou takéhoto stavu je tepelná rovnováha medzi človekom a interiérom, t. j. medzi teplom vyprodukovaným ľudským telom a jeho stratami do priestoru, bez zaťaženia termoregulačného systému (Petráš a kol., 2005). V Tabuľke 6.1 sa pre ilustráciu uvádzajú reakcie ľudského organizmu na rôzne tepelné podmienky.

Výmena tepla medzi človekom a prostredím sa uskutočňuje prostredníctvom:

- respirácie (dýchanie),
- radiácie (sálanie),
- konvekcie (prúdenie),
- kondukcie (vedenie),
- evaporácie (vyparovanie).

Každý človek generuje teplo ako vedľajší produkt metabolizmu. Okrem toho, v každom momente prebieha výmena tepla medzi človekom a okolitým prostredím pomocou vyššie uvedených mechanizmov. Na zachovanie tepelnej rovnováhy ľudského tela je potrebné, aby produkcia tepla bola v rovnováhe s výmenou tepla medzi človekom a okolím. Bilanciu tepelnej rovnováhy ľudského tepla možno za predpokladu rovnovážneho stavu vyjadriť pomocou rovnice 6.1. Platnosť tejto rovnice je prvou podmienkou na vytvorenie optimálneho tepelného stavu interiéru pre osoby, ktoré v ňom zotrávajú dostatočne dlhý čas. Člen rovnice  $(t_{sk} - t_{cl}) / I_{cl}$  predstavuje hustotu tepelného toku cez oblečenie.

$$M - W - E_{res} - C_{res} - E = (t_{sk} - t_{cl}) / I_{cl} = R + C + K \quad (6.1)$$

kde  $M$  je teplo generované človekom vplyvom metabolických procesov,  $W$  – mechanická práca,  $E_{res}$  – evaporatívna výmena tepla vplyvom respirácie,  $C_{res}$  – konvektívna výmena tepla vplyvom respirácie,  $E$  – evaporácia z pokožky (potenie),  $t_{sk}$  – teplota pokožky,  $t_{cl}$  – teplota odevu,  $I_{cl}$  – tepelný odpor odevu,  $R$  – výmena tepla radiáciou,  $C$  – výmena tepla konvekciou,  $K$  – výmena tepla kondukciou.

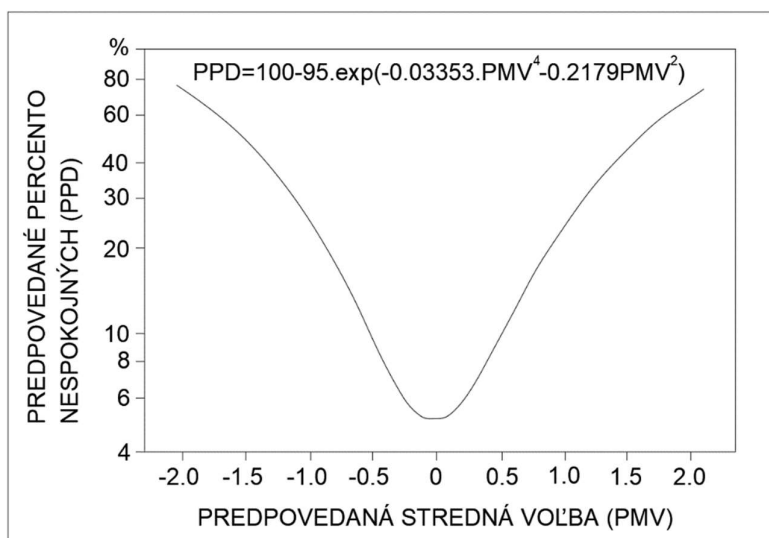
#### 6.1.2.2 PMV-PPD model tepelnej pohody

Tepelná pohoda je stav mysle človeka. V praxi ju možno vyjadriť ako funkciu šiestich premenných, z ktorých štyri sú objektívne (súvisiace s okolitým prostredím) a dve sú subjektívne (vzťahujúce sa priamo na osobu). Objektívnymi premennými sú teplota vzduchu, teplota okolitých povrchov, rýchlosť prúdenia vzduchu a relatívna vlhkosť vzduchu. Subjektívnymi premennými sú metabolická aktivita človeka a tepelný odpor odevu. Hodnotenie tepelnej pohody je vo svete založené prevažne na tzv. PMV-PPD modeli. V prípade, ak sa zavedú určité predpoklady ohľadne jednotlivých premenných, možno tepelnú pohodu vyjadriť len pomocou operatívnej teploty. V priestoroch, kde teplota vzduchu je

pomerne blízka teplote okolitých povrchov, a kde rýchlosť prúdenia vzduchu je nízka, možno operatívnu teplotu približne vyjadriť pomocou teploty vzduchu.

Tepelný pocit človeka možno predpovedať pomocou PMV-PPD modelu, vyvinutého prof. Fangerom (Fanger, 1970). PMV (Predicted Mean Vote) index predpovedá strednú voľbu veľkej skupiny ľudí na sedembodovej škále: +3 horúco, +2 teplo, +1 mierne teplo, 0 neutrálne, -1 mierne chladno, -2 chladno, -3 zima. PMV teda vyjadruje, aká je odchýlka vo vnímaní tepelného prostredia ľuďmi v porovnaní s ideálnym stavom – tepelnou neutralitou. PMV možno vypočítať pomocou modelu definovaného v STN EN ISO 7730, ktorý berie do úvahy šesť vyššie uvedených premenných, čiže teplotu vzduchu, teplotu okolitých povrchov, metabolickú aktivitu a tepelný odpor odevu užívateľov, rýchlosť prúdenia vzduchu a vlhkosť vzduchu.

Na základe PMV možno stanoviť predpovedané percento ľudí nespokojných s tepelným prostredím, PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Závislosť medzi PMV a PPD je vyjadrená na Obr. 6.1. PPD predpovedá počet osôb nespokojných s tepelným prostredím pre veľkú skupinu ľudí. Zvyšok skupiny sa bude cítiť tepelne neutrálne, mierne teplo alebo mierne chladno. Predpovedaná distribúcia hodnotení je uvedená v Tab. 6.2. Uvedené údaje sú založené na experimentálnych meraniach s 1300 osobami.



Obr. 6.1. Závislosť medzi PMV a PPD (Fanger, 1970)

Tabuľka 6.2. Predpokladané percentuálne rozdelenie hodnotení tepelného pocitu pre rôzne hodnoty strednej voľby (STN EN ISO 7730 – Tabuľka 2)

| PMV  | PPD | Predpokladané percento osôb s tepelným pocitom |           |                   |
|------|-----|------------------------------------------------|-----------|-------------------|
|      |     | 0                                              | -1, 0, +1 | -2, -1, 0, +1, +2 |
| +2   | 75  | 5                                              | 25        | 70                |
| +1   | 25  | 30                                             | 75        | 95                |
| +0,5 | 10  | 55                                             | 90        | 98                |
| 0    | 5   | 60                                             | 95        | 100               |
| -0,5 | 10  | 55                                             | 90        | 98                |
| -1   | 25  | 30                                             | 75        | 95                |
| -2   | 75  | 5                                              | 25        | 70                |

Pri predpoklade rôznych kritérií na PMV a PPD možno definovať rôzne kategórie vnútorného prostredia. STN EN 16798-1 definuje štyri kategórie vnútorného prostredia, ktoré je možno interpretovať podľa Tabuľky 6.3. Normálnej úrovni očakávania, ktorú možno použiť na návrh nových a rekonštrukciu existujúcich budov, zodpovedá kategória II. Odporúčané rozsahy PMV a PPD podľa STN EN 16798-1 sú uvedené v Tabuľke 6.4. Treba však pamätať na to, že pri navrhovaní vykurovacích a chladiacich systémov sa musia brať do úvahy aj ďalšie kritéria na tepelné prostredie (prievan, vertikálny rozdiel operatívnej teploty vzduchu, teplota podlahy a asymetria sálavej teploty).

Tabuľka 6.3. Kategórie vnútorného prostredia podľa STN EN 16798-1 a ich interpretácia

| Kategória | Úroveň očakávania | Interpretácia                                                                                                                             |
|-----------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I         | Vysoká            | Vysoká úroveň očakávania. Priestory užívané veľmi citlivými užívateľmi, ako sú telesne postihnutí, chorí, veľmi malé deti a starší ľudia. |
| II        | Stredná           | Normálna úroveň očakávania. Môže sa použiť pre nové a rekonštruované budovy.                                                              |
| III       | Mierna            | Prípustná úroveň očakávania. Môže sa použiť pre existujúce budovy.                                                                        |
| IV        | Nízka             | Nízka úroveň očakávania, ktorá je prípustná len obmedzenú časť roka.                                                                      |

Tabuľka 6.4. Kategórie na návrh vykurovania a chladenia budov (STN EN 16798-1 – Tabuľka B.1)

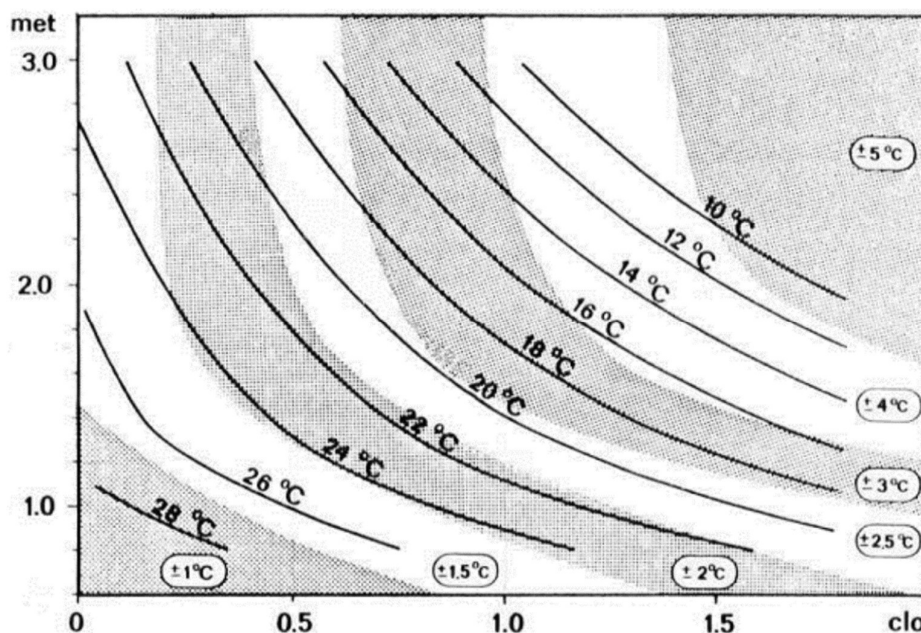
| Kategória | Tepelný stav tela ako celku                |                                |
|-----------|--------------------------------------------|--------------------------------|
|           | Predpovedané percento nespokojných PPD (%) | Predpovedaná stredná voľba PMV |
| I         | < 6                                        | $-0,2 < PMV < +0,2$            |
| II        | < 10                                       | $-0,5 < PMV < +0,5$            |
| III       | < 15                                       | $-0,7 < PMV < +0,7$            |
| IV        | < 25                                       | $-1,0 < PMV < +1,0$            |

V právnych a technických predpisoch sa spravidla udáva odporúčaný rozsah operatívnej teploty, ktorý má zabezpečiť nízke percento ľudí nespokojných s tepelným prostredím. Operatívnu teplotu možno zjednodušene interpretovať ako priemer teploty vzduchu a strednej sálavej teploty okolitých povrchov. Hodnoty odporúčanej operatívnej teploty uvedené v tabuľkách v tejto kapitole boli stanovené z PMV-PPD modelu pri zavedení niekoľkých predpokladov a zjednodušení a v princípe zodpovedajú hodnotám PMV a PPD v Tabuľke 6.4.

Na Slovensku sú požiadavky na celkovú tepelnú pohodu stanovené najmä vyhláškou MZ SR č. 99/2016 Z. z. (pracovné prostredie) a vyhláškou MZ SR č. 259/2008 Z. z. (obytné prostredie). Okrem vyhlášok sú kľúčovými dokumentmi pri návrhu a posúdení technických systémov technické normy. Základnými normami týkajúcimi sa vnútorného prostredia sú v našich podmienkach STN EN 16798-1 a STN EN ISO 7730. Ďalšie súvisiace technické dokumenty, s ktorými sa v oblasti tepelnej pohody možno stretnúť, sú STN EN 15251 (predchádzala STN EN 16798-1, dnes je už neplatná), TNI CEN/TR 16798-2 (interpretuje požiadavky v STN EN 16798-1), CEN CR 1752 (technická správa, ktorá predchádzala dnešným STN EN ohľadom kvality vnútorného prostredia), či ASHRAE 55 (norma používaná v USA, no uznávaná celosvetovo).

Podľa vyhlášky MZ SR č. 259/2008 Z. z. pre špecifické oblečenie alebo činnosť možno optimálnu a prípustnú hodnotu operatívnej teploty presnejšie určiť podľa Obr. 6.2. Krivky s teplotami predstavujú optimálne hodnoty operatívnej teploty v miestnosti pre rôzne kombinácie úrovne metabolizmu a tepelného odporu odevu. Intervaly pri spodnom a pravom okraji grafu predstavujú intervaly prípustnej operatívnej teploty. Jednotka met vyjadruje úroveň metabolizmu, ktorá predstavuje množstvo energie vyprodukovanej metabolickými procesmi na jednotku plochy ľudského tela. Platí, že  $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$ , čo sa rovná energii vyprodukovanej na jednotku plochy tela priemernej osoby v pokoji. Jednotka clo vyjadruje úroveň tepelnej

izolácie odevu, pričom  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ , čo zodpovedá kombinácii spodnej bielizne, košele, nohavíc, vesty, saka, ponožiek a topánok. Viac o jednotkách met a clo možno nájsť v 6.2.4.2. Krivky na Obr. 6.2 vychádzajú z PMV-PPD modelu tepelnej pohody a predpokladajú určitú fixnú úroveň vlhkosti a rýchlosti prúdenia vzduchu.



Obr. 6.2. Oblasti optimálnej a prípustnej operatívnej teploty v závislosti od odevu a činnosti  
(Vyhláška MZ SR č. 259/2008 Z. z. – Obr. 1)

### 6.1.2.3 Požiadavky na pracovné prostredie podľa PMV-PPD modelu

Podrobnosti o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci sú uvedené vo vyhláške MZ SR č. 99/2016 Z. z. Táto definuje štyri triedy práce na základe energetického výdaja. V Tabuľke 6.5 sa uvádzajú definície tried práce 1a až 1c, pričom v rámčeku je zvýraznená definícia triedy práce 1a, ktorá je typická napríklad pre aktivity administratívneho charakteru. Uvedeným triedam práce zodpovedajú optimálne rozsahy operatívnej teploty, ktoré sa udávajú zvlášť pre teplé (Tabuľka 6.6) a pre chladné (Tabuľka 6.7) obdobie.

Tabuľka 6.5. Triedy práce podľa celkového energetického výdaja (Vyhláška MZ SR č. 99/2016 Z. z. – Príloha č. 1)

| Trieda práce |    | Energetický výdaj | Príklady činností                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------|----|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | 1a | $\leq 80$         | Sedenie: ľahká administratívna práca (písanie, práca na počítači, kreslenie, účtovníctvo, kancelárska práca)                                                                                                                                                       |
|              | 1b | 81 – 105          | Sedenie: ľahká manuálna práca (jednoduché šitie, laboratórna práca); práca paží a ramien (malé pracovné nástroje, kontrolná činnosť, zostavovanie alebo triedenie ľahkých predmetov); práca paží a nôh (riadenie vozidla za bežných podmienok, ovládanie pedálov). |
|              | 1c | 106 – 130         | Státie: vŕtanie alebo frézovanie drobných súčiastok, navíjanie cievok, rezanie závitov malých armatúr, obrábanie s nízko výkonovými nástrojmi, občasná chôdza (rýchlosť do 2,5 km/h)                                                                               |

Tabuľka 6.6. Rozsah optimálnych a prípustných hodnôt faktorov tepelno-vlhkostnej mikroklímy pre teplé obdobie (Vyhláška MZ SR č. 99/2016 Z. z. – Tabuľka č. 1)

| Trieda práce | Operatívna teplota<br>(°C) |           |                   | Prípustná<br>rýchlosť<br>prúdenia<br>vzduchu<br>(m/s) | Prípustná<br>relatívna vlhkosť<br>vzduchu<br>(%) |
|--------------|----------------------------|-----------|-------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|              | Optimálna                  | Prípustná |                   |                                                       |                                                  |
|              |                            | min.      | max.              |                                                       |                                                  |
| 1a           | 23 – 27                    | 20        | 28                | ≤ 0,25                                                | 30 až 70                                         |
| 1b           | 22 – 25                    | 19        | 27                | ≤ 0,3                                                 |                                                  |
| 1c           | 20 – 24                    | 17        | 26                | ≤ 0,3                                                 |                                                  |
| 2a           | 18 – 21                    | 15        | 25                | 0,1 – 0,3                                             |                                                  |
| 2b           | 17 – 20                    | 12        | 25                | 0,1 – 0,5                                             |                                                  |
| 3            | nestanovuje<br>sa          | 10        | nestanovuje<br>sa |                                                       |                                                  |
| 4            |                            | 10        |                   |                                                       |                                                  |

Tabuľka 6.7. Rozsah optimálnych a prípustných hodnôt faktorov tepelno-vlhkostnej mikroklímy pre chladné obdobie (Vyhláška MZ SR č. 99/2016 Z. z. – Tabuľka 2)

| Trieda práce | Operatívna teplota<br>(°C) |           |                   | Prípustná<br>rýchlosť<br>prúdenia<br>vzduchu<br>(m/s) | Prípustná<br>relatívna vlhkosť<br>vzduchu<br>(%) |
|--------------|----------------------------|-----------|-------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|              | Optimálna                  | Prípustná |                   |                                                       |                                                  |
|              |                            | min.      | max.              |                                                       |                                                  |
| 1a           | 23 – 27                    | 20        | 28                | ≤ 0,2                                                 | 30 až 70                                         |
| 1b           | 22 – 25                    | 19        | 27                | ≤ 0,25                                                |                                                  |
| 1c           | 20 – 24                    | 17        | 26                | ≤ 0,3                                                 |                                                  |
| 2a           | 18 – 21                    | 15        | 25                | ≤ 0,3                                                 |                                                  |
| 2b           | 17 – 20                    | 12        | 25                | ≤ 0,5                                                 |                                                  |
| 3            | nestanovuje<br>sa          | 10        | nestanovuje<br>sa |                                                       |                                                  |
| 4            |                            | 10        |                   |                                                       |                                                  |

Príklad návrhových kritérií pre niektoré nebytové priestory podľa STN EN ISO 7730 sa uvádza v Tabuľke 6.8. Normálnej úrovni očakávania, ktorú možno použiť na návrh nových a rekonštrukciu existujúcich budov, zodpovedá kategória B. Kritériá podľa týchto noriem sú založené na tepelnom odpore oblečenia 0,5 clo počas leta a 1,0 clo počas zimy a typickej úrovni metabolizmu 70 W/m<sup>2</sup> (1,2 met, pričom 1 met = 58,2 W na m<sup>2</sup> povrchu tela), čo zodpovedá sedavej aktivite, napríklad administratívnej činnosti. Tepelný odpor 1 clo je definovaný ako 0,155 (m<sup>2</sup>.K)/W, čo zodpovedá kombinácii spodnej bielizne, košele, nohavíc, vesty, saka, ponožiek a topánok. Pri bežných klimatických podmienkach typických pre dané obdobie roka sa pritom odporúča udržiavať teplotu uprostred uvedených intervalov.

Tabuľka 6.8. Príklad návrhových kritérií pre priestory v rôznych typoch budov (STN EN ISO 7730 – Tabuľka A.5)

| Typ budovy/priestoru                                                        | Aktivita (W/m <sup>2</sup> ) | Kategória | Operatívna teplota (°C) |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------|-------------------------|------------------------|
|                                                                             |                              |           | Leto (teplé obdobie)    | Zima (chladné obdobie) |
| Kancelária, konferenčná miestnosť, poslucháreň, reštaurácia, školská trieda | 70                           | A         | 24,5 ± 1,0              | 22,0 ± 1,0             |
|                                                                             |                              | B         | 24,5 ± 1,5              | 22,0 ± 2,0             |
|                                                                             |                              | C         | 24,5 ± 2,5              | 22,0 ± 3,0             |

Odporúčaná teplota vnútorného prostredia podľa STN EN 16798-1 je v Tabuľke 6.9. STN EN 16798-1 definuje štyri kategórie vnútorného prostredia. Normálnej úrovni očakávania, ktorú možno použiť na návrh nových a rekonštrukciu existujúcich budov, zodpovedá kategória



II. Hodnoty v Tabuľke 6.9 sa vzťahujú na úroveň metabolickej aktivity 1,2 met, čo zodpovedá napríklad administratívnej činnosti. Odporúčané limity na operatívnu teplotu uvedené v Tabuľkách 6.8 a 6.9 vychádzajú z PMV-PPD modelu a vzťahujú sa najmä na budovy s mechanickým vykurovaním či chladením. Pre budovy bez mechanického chladenia, kde užívatelia môžu regulovať teplotné podmienky prostredníctvom manipulácie s oknami a voľne prispôbiť svoje oblečenie teplotným podmienkam, možno použiť tzv. adaptívny model tepelnej pohody, ktorý zohľadňuje očakávania užívateľov a možnosti ich adaptovania sa na teplotné podmienky.

Tabuľka 6.9. Odporúčaný teplotný rozsah pre chladenie a vykurovanie niektorých priestorov s jednoduchou aktivitou (STN EN 16798-1 – Tabuľka B.5)

| Typ budovy                                                                                                                                                        | Kategória | Operatívna teplota (°C)                   |                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                                                                                                                                                   |           | Minimum na vykurovanie<br>(zimné obdobie) | Maximum na chladenie<br>(letné obdobie) |
|                                                                                                                                                                   |           | <i>1,0 clo</i>                            | <i>0,5 clo</i>                          |
| Kancelárie a priestory s jednoduchou aktivitou, kancelárie s otvorenou dispozíciou, posluchárne, kaviarne, učebne, reštaurácie<br><i>Sedavé činnosti ~1,2 met</i> | I         | 21 – 23                                   | 23,5 – 25,5                             |
|                                                                                                                                                                   | II        | <b>20 – 24</b>                            | <b>23 – 26</b>                          |
|                                                                                                                                                                   | III       | 19 – 25                                   | 22 – 27                                 |
|                                                                                                                                                                   | IV        | 17 – 26                                   | 21 – 28                                 |

#### 6.1.2.4 Požiadavky na obytné prostredie podľa PMV-PPD modelu

Podrobnosti o požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a ubytovacie zariadenia sú uvedené vo vyhláške MZ SR č. 259/2008 Z. z. Táto, rovnako, ako vyhláška MZ SR č. 99/2016 Z. z., definuje triedy činnosti na základe energetického výdaja. V Tabuľke 6.10 sú uvedené triedy 0 až 1c, ktoré sú typické pre budovy na bývanie. Týmto triedam práce zodpovedajú optimálne rozsahy operatívnej teploty, ktoré sú definované zvlášť pre teplé (Tabuľka 6.11) a pre chladné obdobie (Tabuľka 6.12). Rozsahy operatívnej teploty sú podobné rozsahom pre pracovné prostredie uvedeným v Tabuľkách 6.6 a 6.7. Je to z dôvodu, že požiadavky na obytné prostredie, rovnako ako požiadavky na pracovné prostredie, vychádzajú z PMV-PPD modelu tepelnej pohody, ktorý je definovaný v STN EN ISO 7730.

Tabuľka 6.10. Triedy činnosti (Vyhl. MZ SR č. 259/2008 Z. z. – Tabuľka 1)

| Trieda činnosti | Energetický výdaj | Príklady činností                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0               | ≤ 65              | Pokojnú ležanie, uvoľnené sedenie (odpočinok, sledovanie programu).                                                                                                                                                                                                                                |
| 1a              | 66 až 80          | Činnosť posediačky s minimálnou pohybovou aktivitou (administratívne práce, činnosť v učebniach); činnosť posediačky spojená s ľahkou manuálnou prácou rúk a ramien (písanie na stroji, práca s PC, jednoduché šitie, laboratórne práce, zostavovanie alebo triedenie drobných ľahkých predmetov). |
| 1b              | 81 až 105         | Činnosť posediačky s občasnou manuálnou prácou rúk, ramien a nôh; činnosť postojáčky občas spojená s pomalou chôdzou po rovnej podlahe s prenášaním ľahkých bremien alebo prekonávaním malého odporu (varenie, strojné opracovanie a montáž malých ľahkých dielcov, nakupovanie).                  |
| 1c              | 106 až 130        | Činnosť posediačky so stálym zapojením oboch rúk, ramien a nôh; činnosť postojáčky s trvalým zapojením oboch rúk, ramien a nôh spojená s prenášaním bremien do 10 kg (činnosť v sklade alebo v kuchyni, upratovanie, lakovanie, ťahanie alebo tlačenie ľahkých vozíkov). Pomalá chôdza po rovine.  |

Tabuľka 6.11. Optimálne a prípustné podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklimy pre teplé obdobie roka (Vyhl. MZ SR č. 259/2008 Z. z. – Tabuľka 2a)

| Trieda činnosti | Operatívna teplota (°C) |           | Prípustná rýchlosť prúdenia vzduchu (m/s) | Prípustná relatívna vlhkosť vzduchu (%) |
|-----------------|-------------------------|-----------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                 | Optimálna               | Prípustná |                                           |                                         |
| 0               | 25 – 28                 | 20 – 29   | ≤ 0,2                                     | 30 až 70                                |
| 1a              | 23 – 27                 | 20 – 28   | ≤ 0,25                                    |                                         |
| 1b              | 22 – 25                 | 19 – 27   | ≤ 0,3                                     |                                         |
| 1c              | 20 – 24                 | 17 – 26   | ≤ 0,3                                     |                                         |

Tabuľka 6.12. Optimálne a prípustné podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklímy pre chladné obdobie roka (Vyhl. MZ SR č. 259/2008 Z. z. – Tabuľka 2b)

| Trieda činnosti | Operatívna teplota (°C) |           | Prípustná rýchlosť prúdenia vzduchu (m/s) | Prípustná relatívna vlhkosť vzduchu (%) |
|-----------------|-------------------------|-----------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                 | Optimálna               | Prípustná |                                           |                                         |
| 0               | 22 – 26                 | 20 – 27   | ≤ 0,2                                     | 30 až 70                                |
| 1a              | 20 – 24                 | 18 – 26   | ≤ 0,2                                     |                                         |
| 1b              | 18 – 21                 | 15 – 24   | ≤ 0,25                                    |                                         |
| 1c              | 15 – 20                 | 12 – 22   | ≤ 0,3                                     |                                         |

STN EN 7730 neuvádza odporúčané rozsahy operatívnej teploty pre obytné budovy a priestory. Odporúčaná teplota vnútorného prostredia pre obytné budovy podľa STN EN 16798-1 je uvedená v Tabuľke 6.13. Normálnej úrovni očakávania, ktorú možno použiť napríklad na návrh nových a rekonštrukciu existujúcich budov, zodpovedá kategória II.

Tabuľka 6.13. Odporúčaný teplotný rozsah pre vykurovanie a chladenie obytných miestností (STN EN 16798-1 – Tabuľka B.5)

| Typ budovy                                                                                                        | Kategória | Operatívna teplota (°C)                |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                                                                                   |           | Minimum na vykurovanie (zimné obdobie) | Maximum na chladenie (letné obdobie) |
|                                                                                                                   |           | 1,0 clo                                | 0,5 clo                              |
| Obytné budovy, obytné miestnosti (spálne, kuchyne, obývacie miestnosti a pod.)<br><i>Sedavé činnosti ~1,2 met</i> | I         | 21 – 25                                | 23,5 – 25,5                          |
|                                                                                                                   | II        | <b>20 – 25</b>                         | <b>23 – 26</b>                       |
|                                                                                                                   | III       | 18 – 25                                | 22 – 27                              |
|                                                                                                                   | IV        | 17 – 25                                | 21 – 28                              |

#### 6.1.2.5 Adaptívny model tepelnej pohody

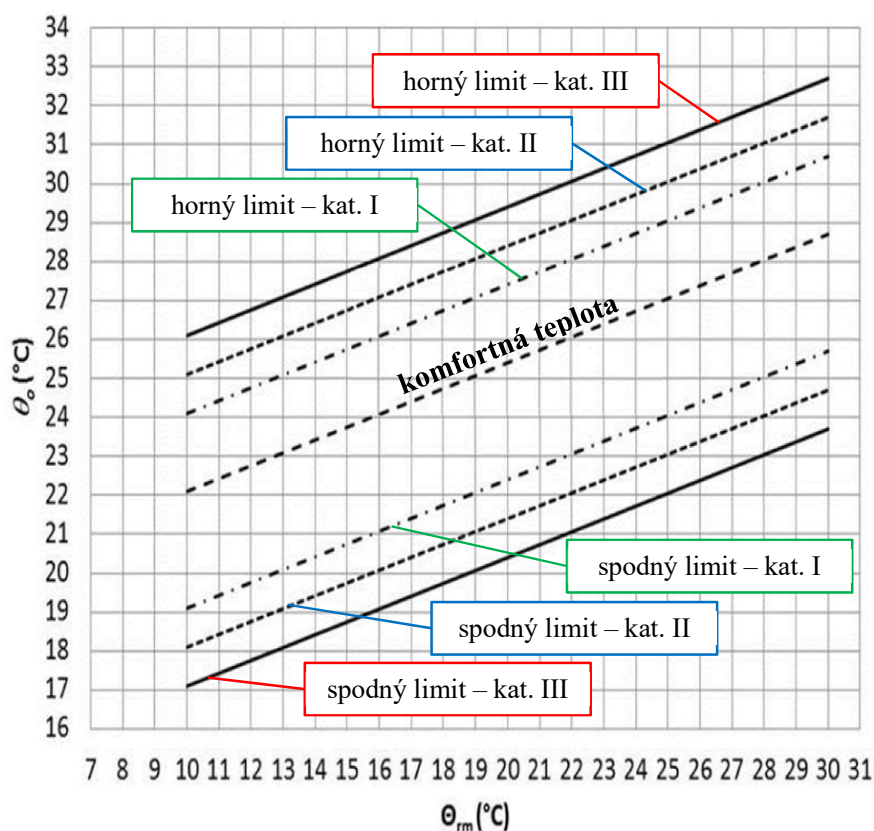
Požiadavky na tepelné prostredie budov s mechanickým vykurovaním či chladením sa obvykle riadia PMV-PPD modelom. V budovách bez mechanického chladenia však možno na hodnotenie tepelného prostredia použiť adaptívny model tepelnej pohody. Adaptívny model je alternatívou k PMV-PPD modelu a berie do úvahy rozdielne očakávania užívateľov budovy a ich adaptáciu na teplejšie prostredie v budovách bez mechanického chladenia. Základným východiskom je predpoklad, že užívatelia nie sú len pasívnymi prijímateľmi vnútorného tepelného prostredia, ale ich spokojnosť závisí aj od možnosti adaptovať sa na vnútorné

prostredie. Graf na stanovenie komfortnej operatívnej teploty v budove pre jednotlivé kategórie vnútorného prostredia možno nájsť v STN EN 16798-1 a je uvedený na Obr. 6.3. Európska verzia definovaná v STN EN 16798-1 uvádza požiadavky na operatívnu teplotu v miestnosti v závislosti od kľzavého priemeru teploty vonkajšieho vzduchu. Kľzavý priemer teploty berie do úvahy priemernú dennú teplotu vonkajšieho vzduchu predchádzajúcich dní, pričom najväčšiu váhu má priemerná denná teplota vonkajšieho vzduchu včera, menšiu váhu má teplota predvčerom, atď. Vypočíta sa takto:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) * \{\theta_{ed-1} + \alpha * \theta_{ed-2} + \alpha^2 * \theta_{ed-3}\} \quad (6.2)$$

kde  $\theta_{rm}$  je kľzavý priemer vonkajšej teploty vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\theta_{ed-1}$  – priemerná teplota vzduchu pre predchádzajúci deň ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\alpha$  – konštanta medzi 0 a 1 (odporúča sa 0,8),  $\theta_{ed-i}$  – priemerná teplota vzduchu pre  $i$ -ty deň ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Možno vidieť, že použitie grafu na Obr. 6.3 má význam pri vyššej vonkajšej teplote (šikmé čiary). Adaptívny model uvedený v STN EN 16798-1 je teda možno aplikovať v teplom období v budovách bez mechanického chladenia. Merania, z ktorých sa adaptívny model odvodil, sa vykonali prevažne v budovách administratívneho charakteru. Preto je tento model určený prioritne pre administratívne budovy tam, kde je ľahký prístup k otvárateľným oknám a užívatelia môžu prispôbiť svoj odev tepelným podmienkam. Avšak, tento model je použiteľný aj pre iné, porovnateľné typy budov s prevažne sedavou aktivitou, ako napr. obytné budovy.



Obr. 6.3. Návrhové hodnoty operatívnej teploty pre budovy bez mechanického chladenia ako funkcia kľzavého priemeru vonkajšej teploty (adaptívny model) podľa STN EN 16798-1 (Obr. B.1).  $\theta_o$  – operatívna teplota v miestnosti,  $\theta_{rm}$  – kľzavý priemer vonkajšej teploty

### 6.1.3 Požiadavky na relatívnu vlhkosť vzduchu

Relatívna vlhkosť je pomer množstva vlhkosti vzduchu k maximálnemu možnému množstvu vlhkosti vzduchu pri rovnakej teplote. Inými slovami, je to pomer hmotnosti vodnej pary vo vzduchu pri danej teplote a maximálnej hmotnosti vodnej pary v nasýtenom vzduchu pri tejto teplote. Vlhkosť má vplyv na tepelný pocit človeka, ako aj na vnímanie kvality vzduchu. Príliš nízka vlhkosť môže spôsobovať pocit sucha a podráždenie kože a slizníc u niektorých ľudí a s tým spojené zdravotné problémy. Naopak, privysoká vlhkosť vytvára priaznivé podmienky na šírenie plesní a iných mikroorganizmov, ktoré môžu spôsobovať alergie alebo zápach. Zároveň má vysoká vlhkosť za následok zhoršenie pocítovanej kvality vzduchu (príliš vlhký, zatuchnutý vzduch). V komponentoch vzduchotechnického systému s vysokou vlhkosťou, ako sú chladiče alebo zvlhčovače, existuje zvýšené riziko vzniku plesní

a iných mikroorganizmov. Preto je dôležité vzduchotechniku správne navrhnuť, čistiť a udržiavať. Vysoká vlhkosť môže okrem toho negatívne vplývať na materiály v stavebných konštrukciách.

Týmto problémom sa obvykle možno vyhnúť udržiavaním relatívnej vlhkosti medzi 30 % a 70 %, samozrejme, za predpokladu, že sa vyhneme kondenzácii vodnej pary na povrchoch. Požiadavka na udržanie relatívnej vlhkosti v rozmedzí 30 až 70 % sa uvádza v už spomenutých vyhláškach MZ SR č. 99/2016 Z. z. a č. 259/2008 Z. z. Avšak, relatívna vlhkosť v priestore nemusí vždy zodpovedať relatívnej vlhkosti na a v povrchoch stien, podlahy, či stropu. Treba pamätať na to, že relatívna vlhkosť vzduchu v miestnosti medzi 30 % a 70 % nemusí vždy garantovať absenciu problémov s vlhkosťou v budove. Preto môže byť potrebné chrániť stavebné konštrukcie pomocou parozábran a tepelnej izolácie.

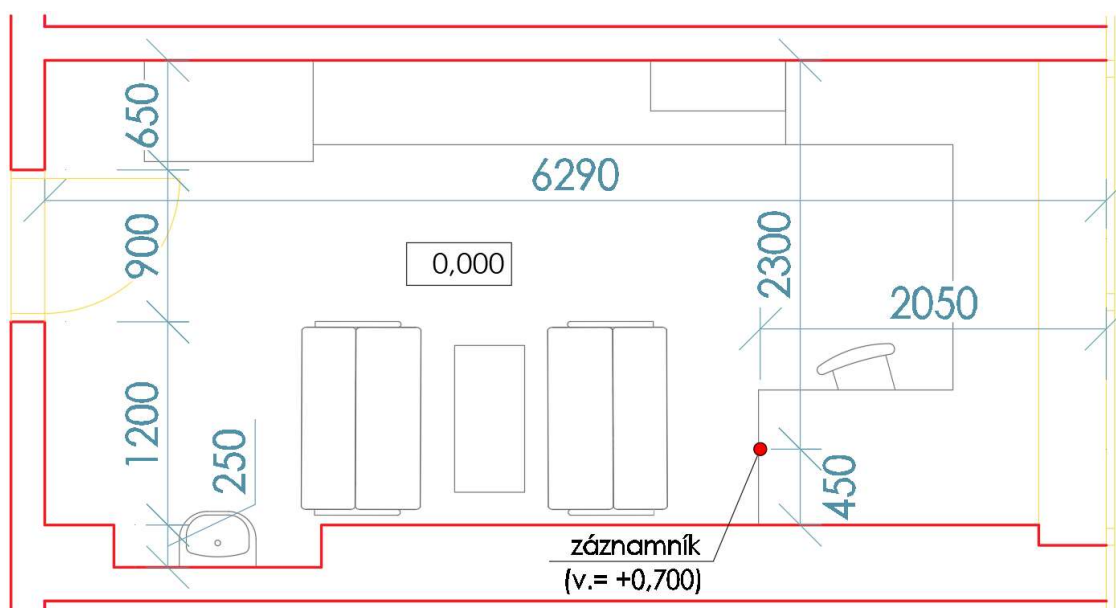
Pre budovy bez špeciálnych požiadaviek na vlhkosť vnútorného vzduchu, ako sú školy, kancelárie, či obytné budovy, zvlhčovanie a odvlhčovanie obvykle nie je potrebné. V prípade priestorov so špeciálnym potrebami, napríklad v múzeách, zdravotníckych zariadeniach, pri technologických procesoch a pod., kde sa používa zvlhčovanie alebo odvlhčovanie vzduchu, sa môžu vyžadovať prísnejšie limity než rozpätie 30 % až 70 %. Okrem toho, STN EN 16798-1 odporúča obmedziť absolútnu vlhkosť na 12 g/kg.

STN EN 16798-1 uvádza aj príklad odporúčaných kritérií pre vlhkosť v priestoroch s výskytom ľudí, ak sú inštalované systémy zvlhčovania alebo odvlhčovania. Tieto kritériá sa uvádzajú pre štyri kategórie vnútorného prostredia definované v norme a pohybujú sa od požadovanej relatívnej vlhkosti 30 až 50 % pre kategóriu I až po 20 až 70 % pre kategóriu III. Kategória IV pripúšťa hodnoty mimo tohto rozsahu, no tieto by sa mali dosahovať len počas určitého veľmi krátkeho obdobia počas roku.

#### 6.1.4 Opis priestoru a meracie prístroje

Posúdenie pozostáva z hodnotenia celkovej tepelnej pohody a relatívnej vlhkosti vzduchu. Vykoná sa na základe hodnôt zozbieraných pomocou prenosného záznamníka. Na tento účel dostane každá skupina študentov prenosný záznamník na meranie teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu. Takýto prenosný záznamník sa nazýva aj datalogger (z angl. data = údaje, logger = záznamník). Tento záznamník študenti umiestnia v posudzovanom priestore na stanovenú dobu.

V tomto príklade sa na ilustráciu použijú merania teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti v kancelárii. Pôdorys kancelárie so základnými kótami je na Obr. 6.4. Predpokladá sa, že teplota vzduchu je v tomto prípade veľmi blízka operatívnej teplote a možno ju preto použiť na hodnotenie tepelnej pohody. Kancelária má podlahovú plochu približne 17 m<sup>2</sup> a svetlú výšku 2,8 m. Parametre vnútorného prostredia sa merali a ukladali pomocou prenosného záznamníka teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti a koncentrácie CO<sub>2</sub>.



Obr. 6.4. Umiestnenie záznamníka v kancelárii – pôdorys



Obr. 6.5. Použitý záznamník teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti a koncentrácie CO<sub>2</sub>

Tabuľka 6.14. Základné údaje o použítom záznamníku

|                              |                                                         |
|------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>SNÍMAČ TEPLoty</b>        |                                                         |
| Rozsah merania               | -20 až +60 °C                                           |
| Presnosť                     | ± 0,4 °C                                                |
| Rozlíšenie                   | 0,1 °C                                                  |
| <b>SNÍMAČ VLHKOSTI</b>       |                                                         |
| Rozsah merania               | 0 až 100 % RV                                           |
| Presnosť                     | ± 1,8 % RV (pri teplote 23 °C v rozsahu 0 až 90 % RV)   |
| Rozlíšenie                   | 0,1 % RV                                                |
| <b>ROSNÝ BOD</b>             |                                                         |
| Rozsah merania               | -90 až +60 °C                                           |
| Presnosť                     | ± 1,5 °C pri okolitej teplote $T < 25$ °C a $RV > 30$ % |
| Rozlíšenie                   | 0,1 °C                                                  |
| <b>SNÍMAČ CO<sub>2</sub></b> |                                                         |
| Rozsah merania               | 0 až 5000 ppm                                           |
| Presnosť                     | ± (50 ppm + 3 % meranej hodnoty) pri 25 °C a 1013 hPa   |
| Rozlíšenie                   | 1 ppm                                                   |

Vysvetlenie: RV – relatívna vlhkosť, T – teplota

### 6.1.5 Metodika merania

Metodika merania tepelnej pohody má vychádzať z odporúčaní v súvisiacej literatúre, predpisoch a technických normách. Presné dodržanie odporúčanej metodiky však nemusí byť v praxi z rôznych dôvodov možné. Základným predpokladom spoľahlivého merania je správna predstava osoby zodpovednej za meranie o tom, ako by „ideálne meranie“ malo vyzeráť. Až potom možno na základe skúseností a profesionálnej zručnosti vykonať určité zmeny alebo zjednodušenia v metodike merania. V konečnom dôsledku preto kvalita merania závisí od profesionálnych skúseností a zručností osôb, ktoré merania plánujú a vykonávajú.

#### 6.1.5.1 Odporúčania na dlhodobé merania tepelnej pohody

Odporúčania na postup pri dlhodobom meraní tepelnej pohody sa uvádzajú v TNI CEN/TR 16798-2. Vzhľadom na to, že záťaž v budovách sa priestorovo a časovo mení, navrhnutý systém nemusí byť schopný splniť navrhovaný účel vo všetkých priestoroch v každom čase. Na hodnotenie celej budovy sa musia zvoliť reprezentatívne miestnosti alebo priestory. Budova spĺňa kritériá určitej kategórie, ak miestnosti reprezentujúce 95 % objemu budovy spĺňajú kritériá vybranej kategórie. Merania sa majú vykonať v charakteristických priestoroch v rôznych zónach, orientáciách, s rozdielnou záťažou počas charakteristických pracovných



cyklov. Hodnotenie vnútorného prostredia je založené na časovom a priestorovom rozložení teploty miestnosti.

Merania sa majú uskutočniť v priestoroch, v ktorých užívatelia trávajú najviac času a pri reprezentatívnych klimatických podmienkach chladného a teplého obdobia. Merania v zimnom období (vo vykurovacej sezóne) sa majú uskutočniť pri, alebo pod štatisticky priemernou vonkajšou teplotou pre 3 najchladnejšie mesiace roka a merania v letnom období (v chladiacej sezóne) pri alebo nad štatisticky priemernou vonkajšou teplotou pre 3 najteplejšie mesiace roka s jasnou oblohou. Doba merania všetkých meraných parametrov by mala byť reprezentatívna, napríklad 10 dní.

Pri dlhodobých meraniach sa môže použiť teplota vzduchu v miestnosti, v prípade rozľahlých teplých alebo studených povrchoch sa upraví na operatívnu teplotu miestnosti. Meracie body a prístroje musia spĺňať požiadavky STN EN ISO 7726. Odporúčania týkajúce sa umiestnenia meracích prístrojov v sledovaných priestoroch sú taktiež dané v STN EN ISO 7726. Na hodnotenie celkového tepelného pocitu sediacej osoby sa odporúča umiestniť snímač vo výške centra hmoty ľudského tela, čiže približne 60 cm nad podlahou.

#### **6.1.5.2 Umiestnenie záznamníka a postup merania**

V tomto príklade bol v posudzovanej kancelárii umiestnený záznamník, ktorý zaznamenával teplotu vzduchu a relatívnu vlhkosť. Kancelária a záznamník sú opísané v 6.1.4. Záznamník bol umiestnený na okraji pracovnej plochy vo výške 0,7 m nad podlahou tak, aby nebránil užívateľovi kancelárie v práci. Zároveň bol umiestnený v pobytovej zóne blízko miesta, kde sa zamestnanec obvykle nachádza. Umiestnenie snímača preto možno považovať za reprezentatívne. Umiestnenie záznamníka je vyznačené na Obr. 6.4. V realite je pre väčšiu presnosť výsledkov vhodné kombinovať dlhodobé merania pomocou snímačov umiestnených na reprezentatívnych miestach s krátkodobými podrobnými meraniami. Meranie sa uskutočnilo na prelome marca a apríla, čo predstavuje prechodné obdobie medzi zimou a letom. Z tohto hľadiska výsledky uvedené ako príklad v 6.1.6 nereprezentujú tepelnú pohodu pri návrhových klimatických podmienkach v zime.

### 6.1.6 Výsledky

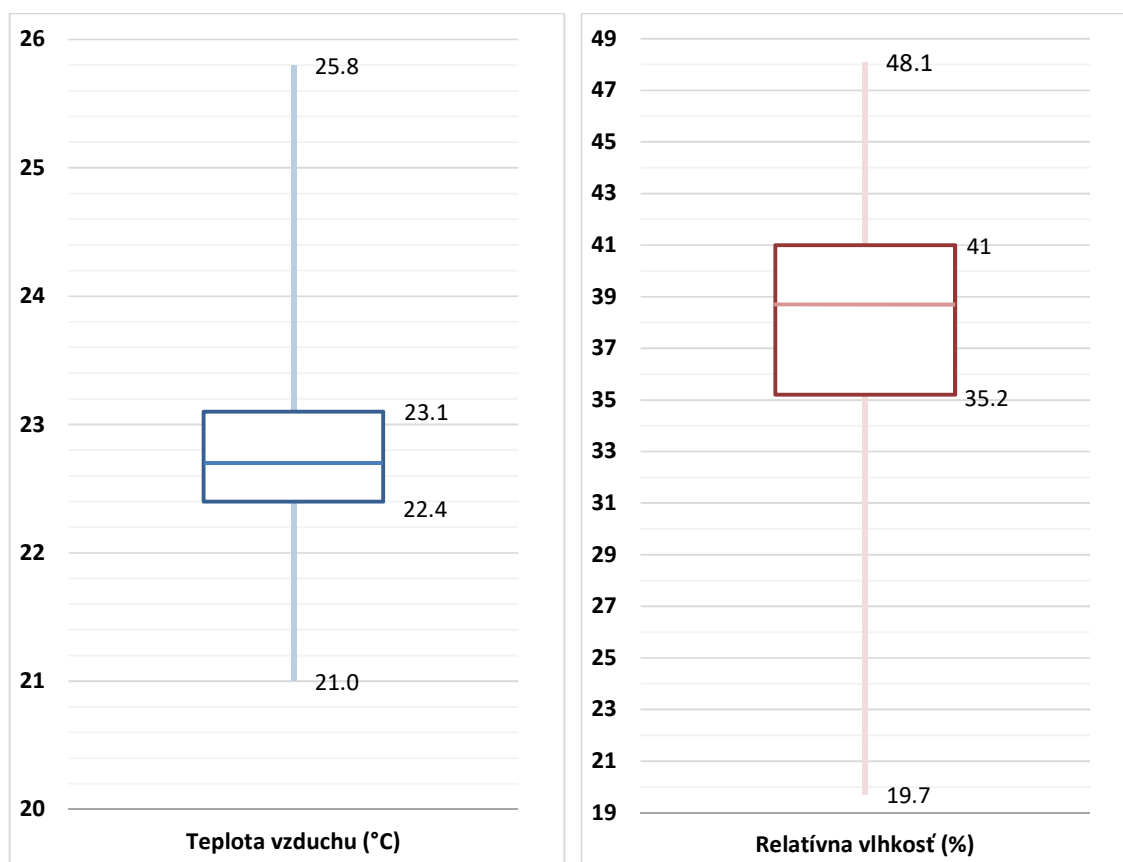
Každý študent alebo skupina študentov uskutoční merania pomocou zapožičaného meracieho prístroja. Pomocou tohto prístroja študenti vykonajú merania teploty a relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu počas určitého obdobia, napr. jeden týždeň. Údaje sa v závislosti od použitého snímača ukladajú vo formáte .csv, ktorý možno otvoriť v programe MS Excel, alebo tieto údaje možno exportovať pomocou programu priamo vo formáte .xlsx. Môže sa stať, že sú údaje oddelené iným oddeľovačom desatinných miest než je nastavený na danom počítači. Napríklad, desatinné miesta sú oddelené bodkou a na počítači je nastavená ako oddeľovač čiarka. V takom prípade treba pre spracovanie údajov nastaviť ako oddeľovač desatinných miest v počítači bodku namiesto čiarky.

Výsledky musia obsahovať minimálne tieto výpočty a grafy:

- Štatistika ohľadom teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu spracovaná do tabuľky a vyjadrená pomocou krabicového grafu (box plot). Táto štatistika obsahuje aspoň minimum, 1. kvartil, medián, 3. kvartil a maximum. Príklady sú v Tabuľke 6.15 a na Obr. 6.6. Pre tieto grafy sa použijú **filtrované** údaje počas vybraného týždňa, t. j. treba použiť len údaje namerané počas doby, keď sa kancelária typicky používa. Nie je zmysluplné vyhodnocovať údaje napríklad v noci či cez víkend, kedy sa v budove nikto nenachádza. V tomto konkrétnom prípade teda treba odfiltrovať víkendy a hodiny mimo pracovnej doby. V prípade obytného priestoru je predpoklad, že užívatelia môžu byť doma kedykoľvek a celý deň, preto nemusí byť potrebné údaje filtrovať. Časy mimo pracovnej doby možno odfiltrovať pomocou príslušných funkcií v MS Excel.

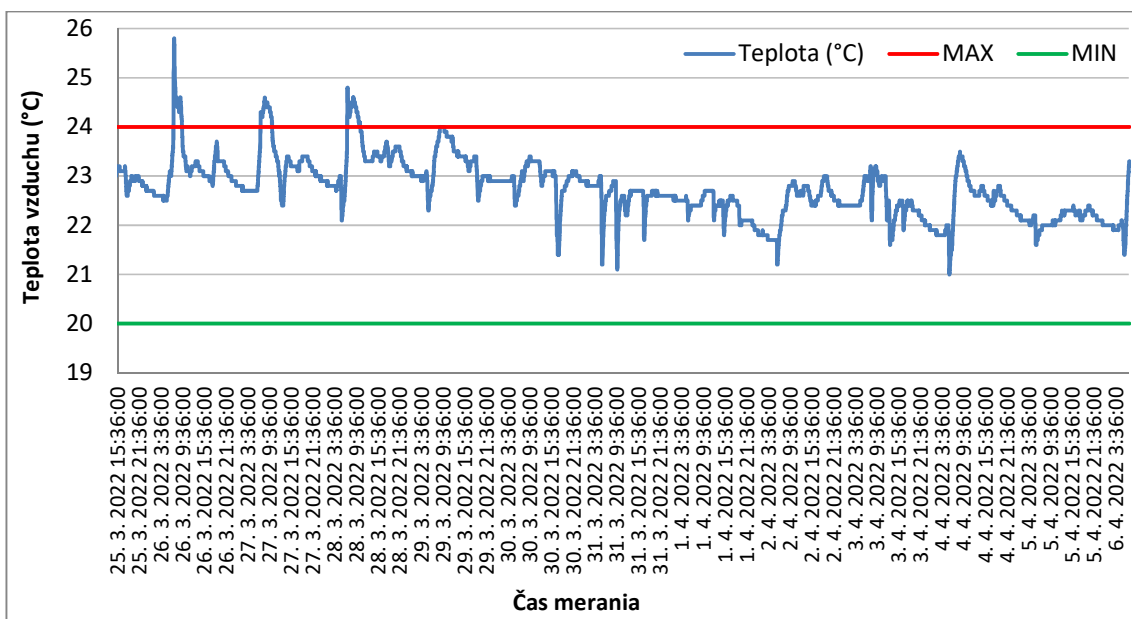
Tabuľka 6.15. Štatistické spracovanie teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu v kancelárii

| Parameter             | Sledované obdobie |          | Priemer | Min  | Max  | Medián | 1. kvartil | 3. kvartil |
|-----------------------|-------------------|----------|---------|------|------|--------|------------|------------|
|                       | OD                | DO       |         |      |      |        |            |            |
| Teplota vzduchu (°C)  | 25.3.2022         | 6.4.2022 | 22.7    | 21.0 | 25.8 | 22.7   | 22.4       | 23.1       |
| Relatívna vlhkosť (%) | 25.3.2022         | 6.4.2022 | 38.0    | 19.7 | 48.1 | 38.8   | 35.2       | 41         |

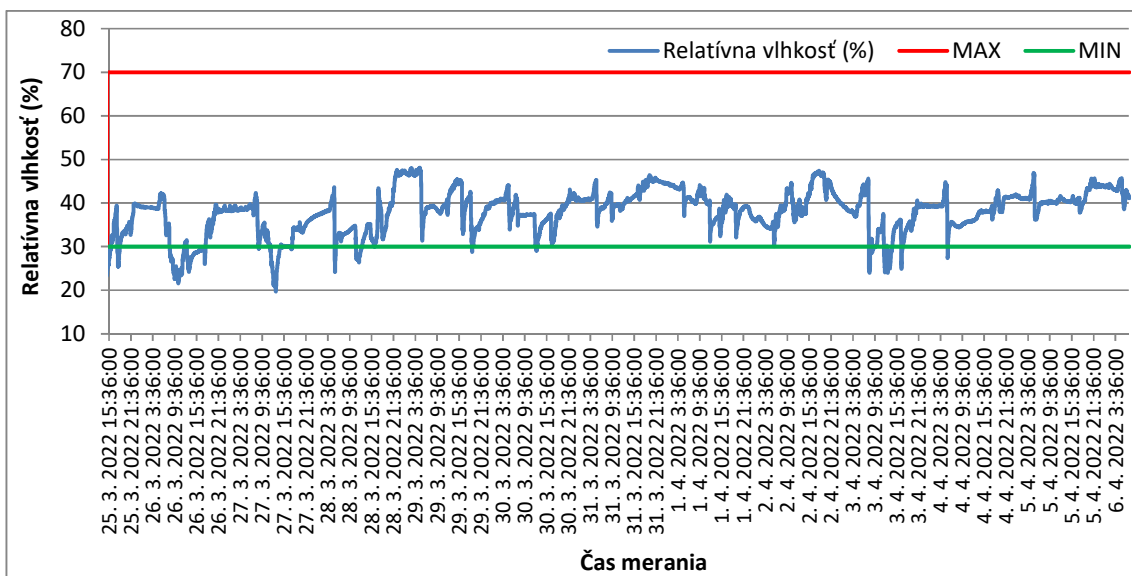


Obr. 6.6. Štatistické vyhodnotenie teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu v kancelárii

- Vývoj teploty vzduchu v kancelárii počas sledovaného obdobia s vyznačením minimálnej a maximálnej odporúčanej vnútornej teploty. Príklad je na Obr. 6.7. Vývoj relatívnej vlhkosti vzduchu s vyznačením minimálnej a maximálnej odporúčanej vlhkosti. Príklad je na Obr. 6.8. Na vyhodnotenie sa v grafoch použili kritériá podľa vyhlášky MZ SR č. 259/2008 Z. z. Pre tieto grafy sa použijú nefiltrované údaje počas celej doby merania.



Obr. 6.7. Vývoj teploty vzduchu v kancelárii



Obr. 6.8. Vývoj relatívnej vlhkosti vzduchu v kancelárii

**Upozornenie:** Limity na teplotu vzduchu uvedené na obrázkoch slúžia ako príklad a nemusia zodpovedať súčasným požiadavkám. Platné limity treba stanoviť podľa aktuálne platných požiadaviek a v závislosti od konkrétneho priestoru a nárokov na kvalitu vnútorného prostredia.

### 6.1.7 Protokol z merania

Výsledkom je protokol z merania, ktorý má presne stanovenú štruktúru a obsah. Nižšie je uvedená požadovaná štruktúra protokolu so stručným opisom, čo majú jednotlivé kapitoly obsahovať:

- **Titulná strana.** Obsahuje identifikačnú tabuľku obsahujúcu číslo a názov experimentálneho merania (zadania), meno študenta a pedagóga, dátum a čas konania merania. Vzor tabuľky je uvedený v 3.1.2. Za tabuľkou pokračujú ďalšie body protokolu.
- **Úvod.** Motivácia hodnotenia tepelno-vlhkostnej mikroklímy v budove. Ciele merania.
- **Metodika.** Opis hodnoteného priestoru. Pomôcky – opis použitého záznamníka teploty, umiestnenie záznamníka v miestnosti. Postup merania – čas merania, časový krok merania, opis zberu a spracovania údajov a pod. Požiadavky na celkovú tepelnú pohodu a relatívnu vlhkosť vzduchu v interiéri.
- **Výsledky.** Výstupy z merania spracované v predpísanej forme. Výsledky majú obsahovať priebeh teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti v čase a štatistické spracovanie teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu podľa 6.1.6.
- **Diskusia.** Interpretácia výsledkov. Porovnanie výsledkov s tabuľkovými alebo z literatúry známymi hodnotami. Identifikácia možných zdrojov nepresností. Uvedenie možných príčin prípadnej nízkej či vysokej teploty a relatívnej vlhkosti a pod. Ak je to vhodné, možno výsledky a diskusiu spojiť do jednej kapitoly.
- **Záver.** Súvislý text v rozsahu niekoľko riadkov. Má obsahovať celkové zhodnotenie tepelno-vlhkostného prostredia vychádzajúce z výsledkov a diskusie, prípadne aj návrhy na zlepšenie.
- **Literatúra.** Zoznam použitých dokumentov. Musí obsahovať minimálne predpisy a technické normy, podľa ktorých sa tepelno-vlhkostné prostredie posudzovalo. Treba uviesť celé názvy dokumentov, nie len čísla.
- **Podiel na vypracovaní protokolu.** V prípade, že sa na meraní a vypracovaní protokolu podieľalo viacero študentov, treba uviesť podiel práce každého zo študentov.
- **Podpisy.** Podpísať pod vypracovaný protokol sa majú študenti, ktorí ho vypracovali, ako aj pedagóg, ktorý týmto potvrdzuje akceptovanie protokolu.

## 6.2 RÝCHLOSTNÝ PROFIL PRÚDENIA VZDUCHU A RIZIKO PRIEVANU

V miestnostiach so vzduchotechnickým systémom existuje reálne riziko výskytu tepelnej nepohody vplyvom prievanu. Prievan môže byť výrazným zdrojom nepohody, ktorý vedie k sťažnostiam užívateľov, a to aj v prípade, ak všetky ostatné aspekty tepelného prostredia sú v poriadku. Merania rýchlostného profilu prúdenia vzduchu a rizika prievanu môžu výrazne pomôcť správne nastaviť vzduchotechnický systém, či v prípade sťažností objektívne preveriť výskyt prievanu v priestore. Predmetom hodnotenia v tomto meraní je celkový tepelný pocit a riziko prievanu v miestnosti s núteným vetraním pre osoby nachádzajúce sa v blízkosti vetracej výustky.

### 6.2.1 Cieľ merania

Okrem zabezpečenia celkovej tepelnej pohody užívateľov je dôležité vyhnúť sa lokálnej tepelnej nepohode vplyvom neželaného ochladzovania časti tela prúdiacim vzduchom – prievanu. Cieľom merania je zmerať rýchlostný profil prúdenia vzduchu v oblasti vetracej výustky a posúdiť tepelnú pohodu v pracovných miestach v blízkosti tejto výustky, s dôrazom na riziko prievanu. Čiastkové ciele merania sú tieto:

- zmerať a vizualizovať rýchlostný profil prúdenia prúdu vzduchu z výustky,
- posúdiť celkovú tepelnú pohodu užívateľov v pobytovej zóne,
- posúdiť riziko prievanu v pobytovej zóne,
- zhotoviť protokol z merania podľa požiadaviek a štruktúry v podkapitole 6.2.6.

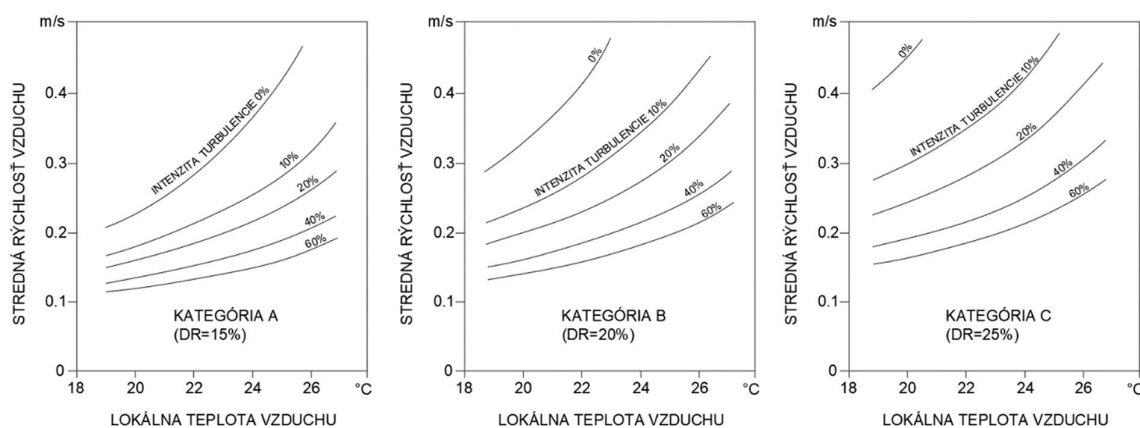
### 6.2.2 Požiadavky na tepelné prostredie – lokálna tepelná nepohoda

Na vyhodnotenie celkovej tepelnej pohody sa použije PMV-PPD model tepelnej pohody, ktorý je opísaný v 6.1.2. Okrem pocitu tepelnej nepohody pre telo ako celok môže byť nespokojnosť s tepelným prostredím zapríčinená aj lokálnou tepelnou nepohodou. Možné príčiny lokálnej tepelnej nepohody sú:

- prievan,
- vertikálny rozdiel v teplote vzduchu,
- asymetria sálavej teploty,
- príliš teplá alebo príliš chladná podlaha.

Limity na lokálnu tepelnú nepohodu sú založené na laboratórnych štúdiách, v ktorých sa testovacie osoby cítili tepelne neutrálne. Výsledky týchto štúdií boli zhrnuté v STN EN ISO 7730 a v CEN CR 1752. Na základe empirických vzťahov uvedených v STN EN ISO 7730 je možno vyrátať predpokladané percento osôb nespokojných pre každý z vyššie uvedených zdrojov lokálnej nepohody. Táto norma stanovuje tri kategórie kvality tepelného prostredia, A, B a C. Tepelné prostredie možno pre každú z potenciálnych príčin lokálnej tepelnej nepohody zatriediť do týchto kategórií, pričom kategória A predstavuje najvyššiu kvalitu prostredia, zatiaľ čo kategória C predstavuje najnižšiu akceptovateľnú kvalitu prostredia.

Prievan je neželané lokálne ochladzovanie tela spôsobené prúdením vzduchu. Kritériá na rýchlosť prúdenia vzduchu sa uvádzajú vo vyhláske MZ SR č. 99/2016 Z. z. (Tab. 6.6 a 6.7), vyhláske MZ SR č. 259/2008 Z. z. (Tab. 6.11. a 6.12) ako aj v STN EN ISO 7730. Podľa STN EN 7730 sa riziko prievanu vyjadrí ako percento osôb nespokojných v dôsledku prievanu (angl. draught rating, DR). Toto riziko možno vypočítať z empirickej rovnice (rovnica 6.3). Podľa tejto rovnice závisí riziko prievanu od troch parametrov, a to rýchlosti prúdenia vzduchu, teploty vzduchu a turbulencie vzduchu. Vhodné kombinácie týchto troch parametrov na dosiahnutie jednotlivých kategórií kvality tepelného prostredia (A, B, C) možno odčítať z grafov na Obr. 6.9.



Obr. 6.9. Grafy na hodnotenie rizika prievanu (STN EN ISO 7730 – Obr. A.2)

Aj vysoký vertikálny rozdiel operatívnej teploty medzi hlavou a členkami môže spôsobiť nepohodu. Dôležitý je pritom vertikálny rozdiel teploty medzi hlavou a členkami (obvykle 1,1 pre sediacu osobu, resp. 1,7 pre stojacu osobu a 0,1 m nad podlahou), a to najmä v prípade, ak

má osoba hlavu v teple a chodidlá v chlade, teda keď má teplota stúpajúci charakter. Podľa vyhlášky MZ SR č. 259/2008 Z. z. v priestoroch na dlhodobý pobyt ľudí s prevažujúcou činnosťou posediačky v triedach 0 až 1b musí byť splnená požiadavka na vertikálny rozdiel operatívnej teploty medzi úrovňou hlavy a členkov podľa Tabuľky 6.16. Podrobnejšie je závislosť medzi vertikálnym rozdielom teploty a percentom nespokojných opísaná v STN EN ISO 7730.

Tabuľka 6.16. Vertikálny rozdiel operatívnej teploty medzi úrovňou hlavy a členkov (Vyhľ. MZ SR č. 259/2008 Z. z. – Tabuľka 3)

| Obdobie roka | Tepelný odpor odevu (clo) | Rozdiel operatívnej teploty medzi hlavou a členkami (K) |     |
|--------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|-----|
| chladné      | 1,0                       | -8,0                                                    | 3,0 |
| teplé        | 0,5                       | -4,0                                                    | 2,0 |

Asymetria teploty sálania tiež môže spôsobiť nepohodu. Asymetriou teploty sálania sa rozumie rozdiel medzi teplotou sálania dvoch protiľahlých plôch malého rovinného prvku. Ľudia sú najcitlivejší na asymetriu spôsobenú horúcimi stropmi alebo studenými stenami (okná). Vyhláška MZ SR č. 259/2008 Z. z. stanovuje, že ožiarenosť hlavy sálavým teplom nesmie presiahnuť  $200 \text{ W/m}^2$ ; v prípade priameho slnečného žiarenia cez osvetľovacie otvory musí byť vzájomná poloha otvorov, protisľnečných clôn a miest riešená tak, aby v priebehu celého roka počas dlhodobého pobytu neboli hlavy ľudí vystavené priamemu slnečnému žiareniu viac ako 10 minút. Podrobnosti ohľadom percenta nespokojných ako funkcia asymetrie sálavej teploty spôsobenej horúcim stropom, chladnou stenou, chladným stropom alebo horúcou stenou možno nájsť v STN EN ISO 7730. Asymetria teploty sálania je len zriedkavo problém vo vetraných/klimatizovaných priestoroch, okrem tých s vysokým stupňom osvetlenia a veľkou plochou okien. Priamemu slnečnému žiareniu by sme sa mali v pobytových zónach vyhnúť prostredníctvom návrhu budovy a tieniacich zariadení.

Ak je podlaha príliš horúca alebo príliš chladná, užívatelia sa môžu cítiť nepohodlne kvôli horúcim alebo studeným chodidlám. Pre ľudí, ktorí majú obuté ľahké prezúvky, je to skôr teplota podlahy než materiál podlahy, ktorá je pre pohodu dôležitá. Podrobnosti ohľadom závislosti percenta nespokojných a teplotou podlahy sú v STN EN ISO 7730. Chladné podlahy sa vyskytujú napríklad v priestoroch, kde je použitý vtlakový systém vetrania, kým horúce



podlahy sú v klimatizovaných priestoroch problémom len zriedkavo. Odporúča sa, aby sme sa vyhli teplote podlahy vyššej ako 26 °C čo možno najčastejšie (CEN CR 1752, 1998).

Z uvedeného vyplýva, že na to, aby sa ľudia v miestnosti cítili komfortne, je treba súčasne splniť požiadavky na celkovú tepelnú pohodu, ako aj lokálnu tepelnú nepohodu. Každý z kategórií tepelného prostredia (A, B, C) uvedených v STN EN ISO 7730 prislúcha určité maximálne percento osôb nespokojných s tepelným prostredím ako celok (PPD) ako aj maximálne percento osôb nespokojných v dôsledku štyroch možných príčin lokálnej tepelnej nepohody (PD). Tieto požiadavky sú zosumarizované v Tabuľke 6.17. Niektoré z požiadaviek možno splniť jednoducho, iné môžu vyžadovať vynaloženie pomerne veľkého úsilia. Predpísané percentá nespokojných osôb vyjadrujú rovnováhu medzi zaistením relatívne nízkeho percenta nespokojných užívateľov a reálnymi možnosťami v praxi.

Tabuľka 6.17. Požiadavky na percento nespokojných osôb pre tri kategórie tepelného prostredia (STN EN ISO 7730 – Tabuľka A.1)

| Kat. | Tepelný stav tela ako celku                |                                | Lokálna nepohoda – percento nespokojných (PD) |                                                    |                                             |                                        |
|------|--------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
|      | Predpovedané percento nespokojných PPD (%) | Predpovedaná stredná voľba PMV | PD kvôli prievanu, DR (%)                     | PD kvôli vertikálnemu rozdielu teploty vzduchu (%) | PD kvôli horúcej alebo chladnej podlahe (%) | PD kvôli asymetrii sálavej teploty (%) |
| A    | < 6                                        | -0,2<PMV<+0,2                  | < 10                                          | < 3                                                | <10                                         | <5                                     |
| B    | < 10                                       | -0,5<PMV<+0,5                  | < 20                                          | <5                                                 | <10                                         | <5                                     |
| C    | < 15                                       | -0,7<PMV<+0,7                  | < 30                                          | <10                                                | <15                                         | <10                                    |

Kategórie v Tabuľke 6.17 sa používajú pre priestory, kde sú všetci ľudia vystavení rovnakému tepelnému prostrediu. Je výhodou, ak je v priestore k dispozícii nejaký druh individuálnej kontroly prostredia. Individuálna regulácia lokálnej teploty vzduchu, strednej sálavej teploty alebo rýchlosti prúdenia vzduchu môže prispieť k vyváženiu rozdielov medzi individuálnymi požiadavkami, a týmto prispieť k menšiemu počtu nespokojných. Modifikácia odevu tiež môže prispieť k vyváženiu individuálnych preferencií.

Požiadavky na percento osôb nespokojných v dôsledku lokálnej tepelnej nepohody sa premietajú do konkrétnych odporúčaní na riziko prievanu, vertikálny rozdiel teploty vzduchu,

povrchovú teplotu a asymetriu sálavej teploty. Tieto odporúčania sú zosumarizované v Tabuľke 6.18 pre tri kategórie vnútorného prostredia. Kategórie I, II a III zodpovedajú kategóriám A, B a C v Tabuľke 6.17.

Tabuľka 6.18. Odporúčané limity na zamedzenie lokálnej tepelnej nepohode (STN EN 16798-1 – Tabuľka B.3)

| Kat. | Riziko prievanu (%) | Max. rýchlosť prúdenia vzduchu <sup>a</sup> |                   | Vertikálny rozdiel teploty vzduchu <sup>b</sup> (°C) | Horúca alebo chladná podlaha (°C) | Asymetria sálavej teploty |                    |                    |                   |
|------|---------------------|---------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
|      |                     | Zima (m/s)                                  | Leto (m/s)        |                                                      |                                   | Horúci strop (°C)         | Chladná stena (°C) | Chladný strop (°C) | Horúca stena (°C) |
| I    | 10                  | 0,10                                        | 0,12 <sup>c</sup> | 2                                                    | 19 – 29                           | 5                         | 10                 | 14                 | 23                |
| II   | 20                  | 0,16                                        | 0,19 <sup>c</sup> | 3                                                    | 19 – 29                           | 5                         | 10                 | 14                 | 23                |
| III  | 30                  | 0,21                                        | 0,24 <sup>c</sup> | 4                                                    | 17 – 31                           | 7                         | 13                 | 18                 | 35                |

<sup>a</sup> Predpokladá sa úroveň metabolizmu 1,2 met, intenzita turbulencie 40 % a teplota vzduchu rovná operatívnej teplote okolo 20 °C v zime a 23 °C v lete.

<sup>b</sup> Rozdiel medzi 1,1 m a 0,1 m nad podlahou.

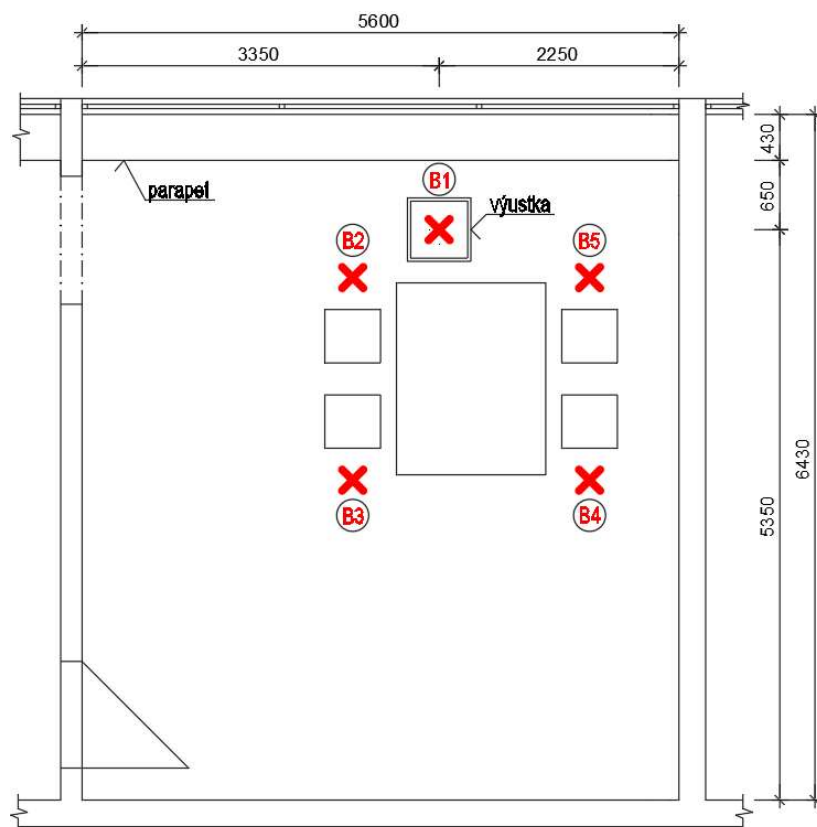
<sup>c</sup> Keď je teplota vzduchu vyššia ako 25 °C, pripúšťajú sa vyššie rýchlosti prúdenia (z prievanu sa stáva príjemný vánok); avšak len za predpokladu, že užívatelia môžu priamo regulovať rýchlosť prúdenia.

### 6.2.3 Opis priestoru a umiestnenie snímačov

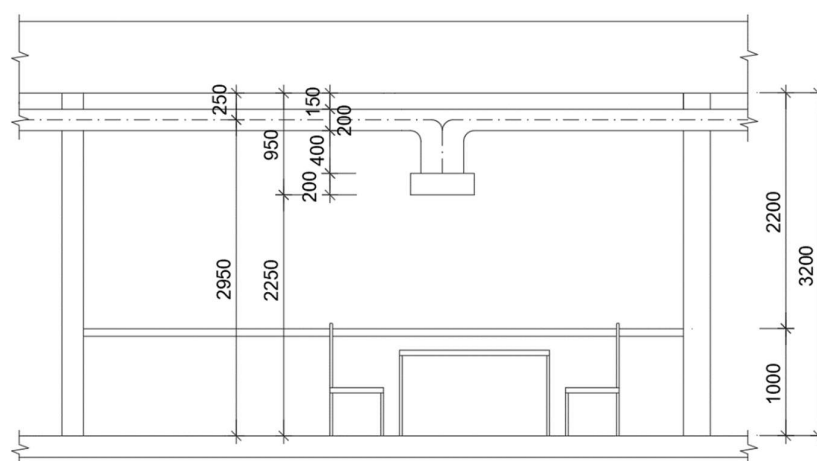
Meranie sa vykoná v laboratóriu Katedry technických zariadení budov na 22. poschodí bloku C Stavebnej fakulty STU v Bratislave (Obr. 6.10 a Obr. 6.11). V laboratóriu sa nachádza vzduchotechnické potrubie, na ktoré je napojených niekoľko vetracích výustiek. Toto potrubie slúži na testovanie výustiek a na výučbu. V tomto prípade sa použila vírivá výustka. Neďaleko výustky sú umiestnené stoly a stoličky, ktoré reprezentujú napríklad pracovné miesta v kancelárii. Tieto miesta sú počas merania obsadené užívateľmi (študenti), aby sa zabezpečili realistické podmienky.

Merania sa vykonávajú v piatich bodoch, B1-B5 (Obr. 6.10). Bod B1 slúži na zistenie vertikálneho profilu rýchlosti prúdenia vzduchu priamo pod výustkou. Body B2-B5 sú umiestnené v pobytovej zóne v blízkosti sediacich osôb. Údaje zaznamenané v týchto bodoch sa použijú na vyhodnotenie celkovej tepelnej pohody a rizika prievanu. Pri vyhodnotení výsledkov treba vziať do úvahy skutočnosti, že v tomto prípade je testovacia výustka umiestnená nižšie než je v praxi obvyklé ako aj to, že privádzaný vzduch má rovnakú teplotu ako vzduch v miestnosti. V praxi má privádzaný vzduch obvykle nižšiu teplotu než teplota

vzduchu v miestnosti, čo zvyšuje riziko prievanu, pretože riziko rastie s klesajúcou teplotou vzduchu.



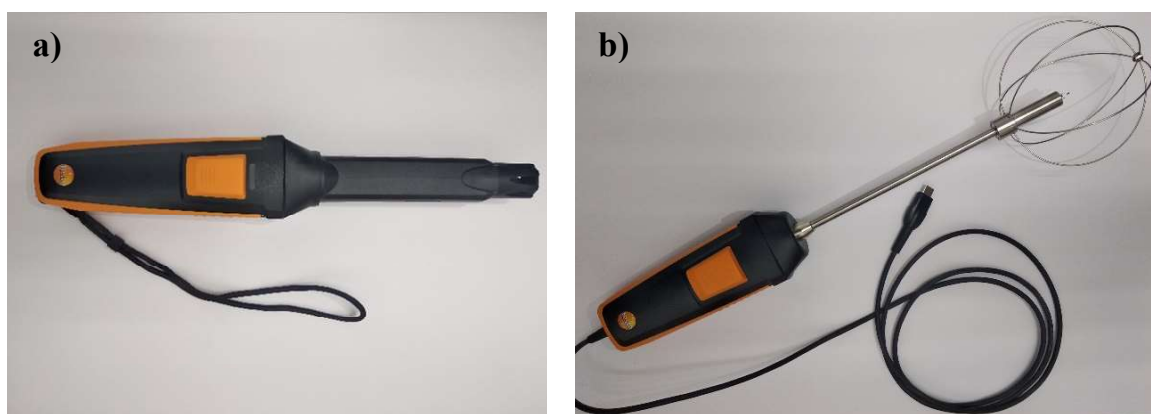
Obr. 6.10. Pôdorys testovacej miestnosti na hodnotenie rizika prievanu



Obr. 6.11. Rez testovacej miestnosti na hodnotenie rizika prievanu

Merania sa vykonávajú pomocou snímačov na zaznamenávanie teploty, relatívnej vlhkosti vzduchu a rýchlosti prúdenia vzduchu, umiestnených na stojane v meracích bodoch. Snímače použité v tomto príklade sú zobrazené na Obr. 6.12. Technické údaje použitých snímačov sú uvedené v Tabuľke 6.19. Na hodnotenie celkového tepelného pocitu sa v tomto príklade použil snímač Testo 0632 1550 na meranie teploty a relatívnej vlhkosti (Obr. 6.12a). Tento snímač bol umiestnený vo výške 0,6 m nad podlahou, ktorá predstavuje ťažisko hmoty ľudskeho tela a používa sa na hodnotenie celkového tepelného pocitu sediacej osoby (STN EN ISO 7726). Z nameraných hodnôt bolo možné pre odhadnuté úrovne metabolizmu a odevu a za predpokladu teploty vzduchu približne rovnkej strednej sálavej teplote okolitých povrchov vypočítať indexy PMV a PPD. Okrem toho treba na výpočet týchto indexov merať aj rýchlosť prúdenia vzduchu vo výške 0,6 m. V tomto príklade sa vo výpočte použil priemer rýchlostí prúdenia meraných vo výškach 0,1 m a 1,1 m nad podlahou. Takýto postup môže v niektorých prípadoch viesť k skresleniu vypočítaných indexov PMV a PPD, preto sa odporúča merať rýchlosť v rovnakej výške ako teplotu a relatívnu vlhkosť vzduchu.

Na hodnotenie lokálnej tepelnej nepohody vplyvom prievanu sa v tomto príklade použili dva snímače Testo 0628 0152 na meranie teploty a rýchlosti prúdenia vzduchu (obr. 6.12b). Tieto snímače boli umiestnené vo výškach 0,1 m a 1,1 m nad podlahou, ktoré reprezentujú oblasť členkov a temena hlavy či krku sediacej osoby (STN EN ISO 7726). Namerané hodnoty teploty a rýchlosti prúdenia vzduchu sa použili na výpočet rizika prievanu podľa rovnice 6.3.



Obr. 6.12. Snímač na meranie: a) teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu a koncentrácie CO<sub>2</sub> (Testo 0632 1550), b) rýchlosti prúdenia a teploty vzduchu (Testo 0628 0152)

Tabuľka 6.19. Technické údaje snímačov na merania tepelnej pohody a rýchlosti prúdenia vzduchu

| Snímač                             | <b>Testo 0632 1550</b>                                         | <b>Testo 0628 0152</b>                     |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Merané parametre                   | teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, koncentrácia CO <sub>2</sub> | teplota vzduchu, rýchlosť prúdenia vzduchu |
| <b>Teplota</b>                     |                                                                |                                            |
| Merací rozsah                      | 0 až +50 °C                                                    | 0 až +50 °C                                |
| Neistota merania max.              | ±0,5 °C                                                        | ±0,5 °C                                    |
| Rozlíšenie                         | 0,1 °C                                                         | 0,1 °C                                     |
| <b>Relatívna vlhkosť</b>           |                                                                |                                            |
| Merací rozsah                      | 5 až 95 %                                                      | -                                          |
| Neistota merania max.              | ±0,3 %RH (10 až 35 %RH)                                        | -                                          |
|                                    | ±0,2 %RH (35 až 65 %RH)                                        | -                                          |
|                                    | ±0,3 %RH (65 až 90 %RH)                                        | -                                          |
|                                    | ±0,5 %RH (zvyšný rozsah)                                       | -                                          |
|                                    | ±0,06 %RH/K (0 až +50 °C)                                      | -                                          |
|                                    | dlhodobá stabilita ±1 %RH / rok                                | -                                          |
| Rozlíšenie                         | 0,1 %RH                                                        | -                                          |
| <b>Absolútny tlak</b>              |                                                                |                                            |
| Merací rozsah                      | +700 až +1100 hPa                                              | +700 až +1100 hPa                          |
| Neistota merania max.              | ±3,0 hPa                                                       | ±3,0 hPa                                   |
| Rozlíšenie                         | 0,1 hPa                                                        | 0,1 hPa                                    |
| <b>Koncentrácia CO<sub>2</sub></b> |                                                                |                                            |
| Merací rozsah                      | 0 až 10 000 ppm                                                | -                                          |
| Neistota merania max.              | ±(50 ppm + 3 % meranej hodnoty)                                | -                                          |
|                                    | pri 0 až 5000 ppm                                              | -                                          |
|                                    | ±(100 ppm + 5 % meranej hodnoty)                               | -                                          |
| Rozlíšenie                         | pri 5001 až 10 000 ppm                                         | -                                          |
|                                    | 1 ppm                                                          | -                                          |
| <b>Rýchlosť prúdenia vzduchu</b>   |                                                                |                                            |
| Merací rozsah                      | -                                                              | 0 až 5 m/s                                 |
| Neistota merania max.              | -                                                              | ±(0,03 m/s + 4 % meranej hodnoty)          |
| Rozlíšenie                         | -                                                              | 0,01 m/s                                   |

#### 6.2.4 Metodika merania

Riziko prievanu sa môže vyskytovať napríklad v blízkosti prívodu chladného vzduchu do miestnosti. Príkladom takéhoto zdroja vzduchu je aj vírivá výustka použitá v tomto meraní. V praxi môže riziko prievanu predstavovať významný zdroj sťažností užívateľov. Príčinou môže byť nesprávny návrh či nastavenie výustky, príliš chladný vzduch prúdiaci z výustky, umiestnenie pracovného miesta príliš blízko výustky, či citlivosť osôb na pohyb vzduchu a na

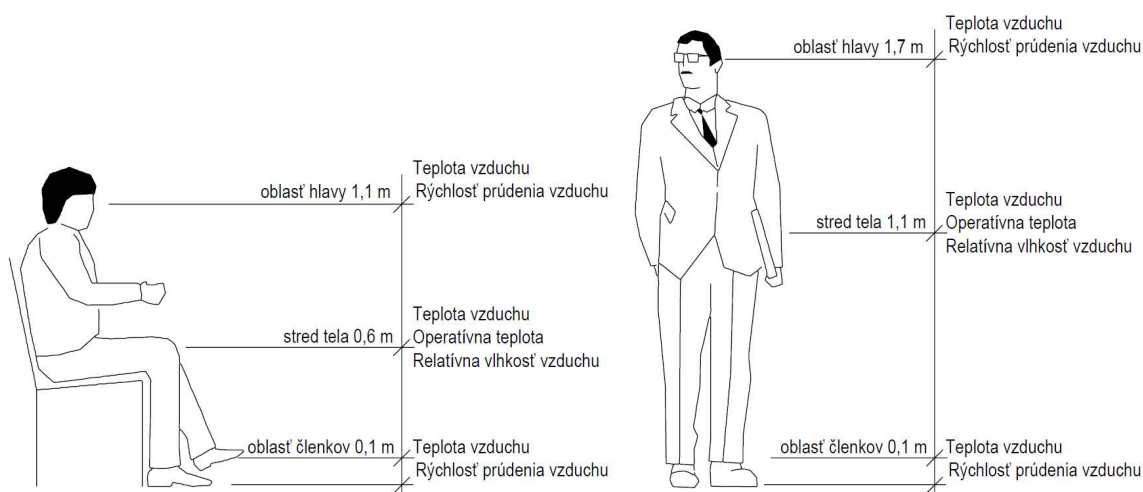
chlad. V niektorých prípadoch treba použiť merania priamo na mieste, aby sa objektívne určilo, či je tepelné prostredie v miestnosti v poriadku.

Pri tzv. bodových meraniach tepelnej pohody, resp. lokálnej tepelnej nepohody, sa merania uskutočňujú v presne definovaných bodoch. Z praktického hľadiska väčšinou nie je možné merania uskutočniť vo všetkých miestach v pobytovej zóne kvôli časovej náročnosti. Navyše, komplikované môže byť aj umiestnenie viacerých snímačov v určitom presne stanovenom meracom bode vzhľadom na možnosti upevnenia snímačov na stojan a potrebu rešpektovať osobný priestor užívateľov. V takýchto prípadoch je potrebný kompromis, ktorý však nesmie viesť k nameraniu zavádzajúcich hodnôt.

#### **6.2.4.1 Odporúčania na bodové merania tepelnej pohody**

Bodové merania obvykle slúžia na doplnenie výsledkov získaných dlhodobými meraniami. Môžu byť zamerané na overenie súladu medzi operatívnu teplotou v mieste pobytu osoby a teploty vzduchu nameranej pomocou prenosného záznamníka, ako aj na overenie rizika lokálnej tepelnej nepohody. V závislosti od cieľa bodových meraní musí osoba zodpovedná za merania stanoviť reprezentatívne meracie body, ktoré by mali byť v súlade s odporúčaniami podľa príslušnej literatúry, predpisov a noriem.

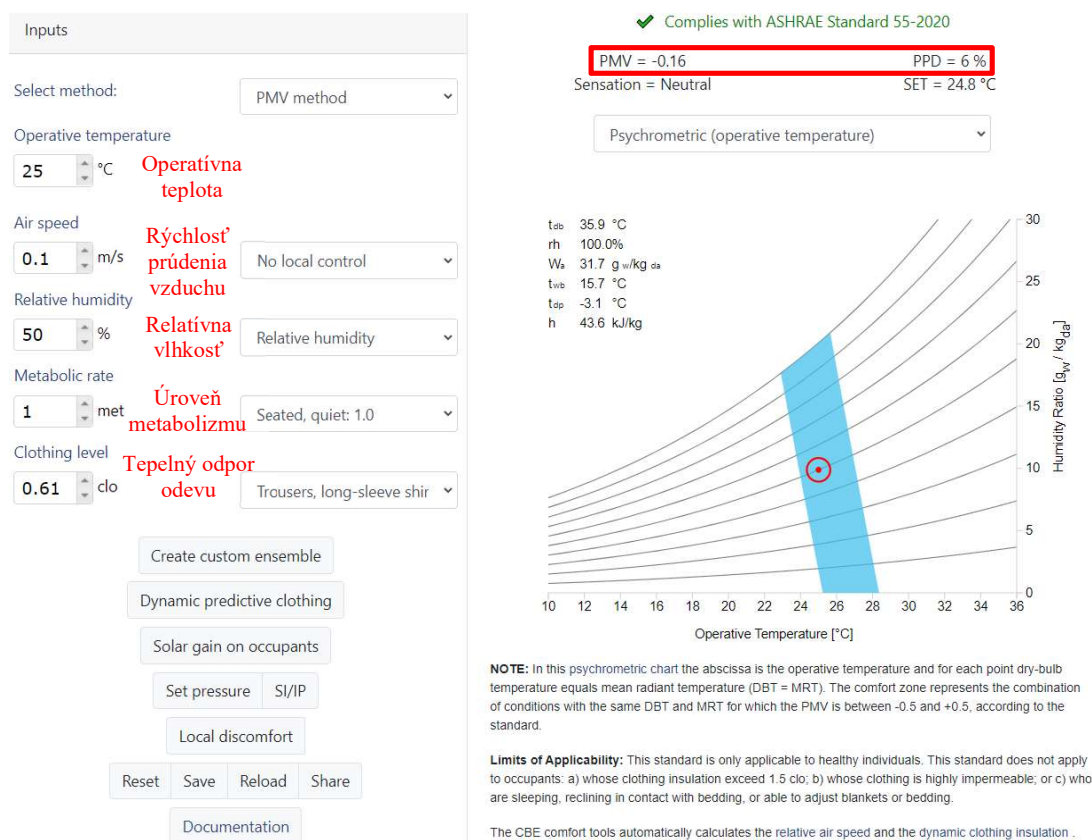
Pri dlhodobých meraniach sa môže použiť teplota vzduchu v miestnosti, v prípade rozľahlých teplých alebo studených povrchov sa upraví na operatívnu teplotu miestnosti. Meracie body a prístroje musia spĺňať požiadavky STN EN ISO 7726. Odporúčania týkajúce sa umiestnenia meracích prístrojov v sledovaných priestoroch sú taktiež dané v STN EN ISO 7726. Odporúčané výšky merania sú uvedené na Obr. 6.13. Výšky merania sú orientačné a možno ich upraviť podľa konkrétnych podmienok. Vo všeobecnosti platí, že na hodnotenie celkového tepelného pocitu sa merací bod nachádza 60 cm nad podlahou pre sediacu a 110 cm nad podlahou pre stojacu osobu, zatiaľ čo lokálna tepelná nepohoda v dôsledku prievanu a vertikálneho rozdielu teploty vzduchu sa hodnotí v oblasti členkov a hlavy.



Obr. 6.13. Odporúčané výšky merania parametrov tepelnej pohody podľa STN EN ISO 7726

#### 6.2.4.2 Posúdenie celkovej tepelnej pohody podľa PMV-PPD modelu

Na hodnotenie celkovej tepelnej pohody sa použijú indexy PMV a PPD, opísané v 6.1.2. Tieto indexy možno vypočítať pomocou online výpočtového nástroja dostupného na <https://comfort.cbe.berkeley.edu/> (Tartarini a kol., 2020). Printscreen nástroja je na Obr. 6.14 spolu s popisom základných vstupných parametrov. Na výpočet indexov PMV a PPD sa využijú údaje namerané v bodoch B2-B5. Indexy sa vypočítajú osobitne pre každý z týchto bodov. Pri zadávaní údajov sa v tomto príklade pre zjednodušenie vychádza z realistického predpokladu, že teplota vzduchu sa približne rovná strednej sálavej teplote, a teda aj operatívnej teplote. Do poľa „operatívna teplota“ sa preto zadá nameraná hodnota teploty vzduchu.



Obr. 6.14. Online nástroj na výpočet tepelnej pohody dostupný na <https://comfort.cbe.berkeley.edu/> (Tartarini a kol., 2020)

Na výpočet indexov PMV a PPD treba okrem vyššie uvedených nameraných údajov poznať aj úrovne tepelnej izolácie odevu osôb. Na vyjadrenie úrovne tepelnej izolácie odevu možno použiť jednotku clo, pričom  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ , čo zodpovedá kombinácii spodnej bielizne, košele, nohavíc, vesty, saka, ponožiek a topánok. Požiadavky na operatívnu teplotu v predpisoch obvykle uvažujú s tepelným odporom 1 clo v zimnom období a 0,5 clo v letnom období. Tepelný odpor odevu možno približne stanoviť pomocou Tabuľky 6.20.



Tabuľka 6.20. Tepelnoizolačná schopnosť pre niektoré typické skladby odevu (STN EN ISO 7730 – Tabuľka C.1)

| Pracovné oblečenie                                                                                                                            | $I_{cl}$ |                       | Každodenné oblečenie                                                                          | $I_{cl}$ |                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|
|                                                                                                                                               | clo      | (m <sup>2</sup> .K)/W |                                                                                               | clo      | (m <sup>2</sup> .K)/W |
| Spodky, montérky, ponožky, topánky                                                                                                            | 0,70     | 0,110                 | Spodná bielizeň, tričko, šortky, tenké ponožky, sandále                                       | 0,30     | 0,050                 |
| Spodky, košeľa, montérky, ponožky, topánky                                                                                                    | 0,80     | 0,125                 | Spodky, košeľa s krátkymi rukávami, tenké nohavice, tenké ponožky, topánky                    | 0,50     | 0,080                 |
| Spodky, košeľa, nohavice, pracovný plášť, ponožky, topánky                                                                                    | 0,90     | 0,140                 | Spodná bielizeň, spodnička, pančuchy, šaty, topánky                                           | 0,70     | 0,105                 |
| Spodky s krátkymi rukávami a nohavicami, košeľa, nohavice, sako, ponožky, topánky                                                             | 1,00     | 0,155                 | Spodky, košeľa, nohavice, ponožky, topánky                                                    | 0,70     | 0,110                 |
| Spodky s dlhými rukávami a nohavicami, teplý kabát, ponožky, topánky                                                                          | 1,20     | 0,185                 | Spodná bielizeň, košeľa, nohavice, sako, ponožky, topánky                                     | 1,00     | 0,155                 |
| Spodky s krátkymi rukávami a nohavicami, košeľa, nohavice, sako, hrubý prešívaný kabát na von a kombinéza, ponožky, topánky, čiapka, rukavice | 1,40     | 0,220                 | Spodná bielizeň, pančuchy, blúzka, dlhá sukňa, sako, topánky                                  | 1,10     | 0,170                 |
| Spodky s krátkymi rukávami a nohavicami, košeľa, nohavice, sako, hrubý prešívaný kabát na von a kombinéza, ponožky, topánky                   | 2,00     | 0,310                 | Spodky s dlhými rukávami a nohavicami, košeľa, nohavice, sveter, sako, ponožky, topánky       | 1,30     | 0,200                 |
|                                                                                                                                               |          |                       | Spodky s dlhými rukávami a nohavicami, košeľa, nohavice, vesta, sako, plášť, ponožky, topánky | 1,50     | 0,230                 |

Okrem tepelnoizolačnej schopnosti odevu treba odhadnúť úroveň metabolizmu (produkciu tepla) osôb. Úroveň metabolickej aktivity možno vyjadriť pomocou jednotky met, ktorá vyjadruje množstvo energie vyprodukovanej metabolickými procesmi na jednotku plochy tela. Platí, že 1 met = 58,2 W/m<sup>2</sup>, čo sa rovná energii vyprodukovanej na jednotku plochy tela priemernej osoby v pokoji. Napríklad, požiadavky na operatívnu teplotu v priestoroch administratívneho charakteru obvykle uvažujú s produkciou tepla 1,2 met v zimnom i letnom období. Úroveň metabolizmu možno približne stanoviť podľa Tabuľky 6.21.

Tabuľka 6.21. Úrovně metabolismu pre rôzne aktivity (STN EN ISO 7730 – Tabuľka B.1)

| Aktivita                                                             | Úroveň metabolismu |     |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------|-----|
|                                                                      | W/m <sup>2</sup>   | met |
| Odpočívajúci                                                         | 46                 | 0,8 |
| Sediaci, relaxovaný                                                  | 58                 | 1   |
| Sedavá aktivita (kancelária, obydľie, škola, laboratórium)           | 70                 | 1,2 |
| Stojaci, ľahká aktivita (nakupovanie, laboratórium, ľahký priemysel) | 93                 | 1,6 |
| Stojaci, stredná aktivita (predavač, domáce práce, práca so strojom) | 116                | 2   |
| Chôdza na úrovni:                                                    |                    |     |
| 2 km/h                                                               | 110                | 1,9 |
| 3 km/h                                                               | 140                | 2,4 |
| 4 km/h                                                               | 165                | 2,8 |
| 5 km/h                                                               | 200                | 3,4 |

#### 6.2.4.3 Výpočet a posúdenie rizika prievanu

Na hodnotenie rizika prievanu možno použiť grafy na Obr. 6.9. V takom prípade sa stanoví požadovaná kategória rizika prievanu (A, B alebo C) a z grafu sa pre príslušnú kategóriu odčíta kombinácia troch určujúcich faktorov. Týmto faktormi sú teplota vzduchu, rýchlosť prúdenia vzduchu a intenzita turbulencie. Uvedené grafy sa vytvorili na základe rovnice rizika prievanu (*DR* – draught rating), ktorá je definovaná v STN EN ISO 7730. V tomto meraní sa riziko prievanu vypočíta priamo z tejto rovnice:

$$DR = (34 - t_a) \cdot (\bar{v}_a - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot \bar{v}_a \cdot Tu + 3,14) \quad (6.3)$$

kde  $t_a$  je miestna teplota vzduchu (°C), v rozsahu 20 až 26°C;  $\bar{v}_a$  – miestna priemerná rýchlosť prúdenia vzduchu (m/s), v rozsahu < 0,5 m/s (pre hodnoty < 0,05 m/s sa použije 0,05 m/s);

$Tu$  – miestna intenzita turbulencie (%), v rozsahu 10 až 60 %.

Intenzita turbulencie sa vypočítala takto:

$$Tu = \frac{(\overline{v_a'^2})^{1/2}}{\bar{v}_a} \quad (6.4)$$

kde  $(\overline{v_a'^2})^{1/2}$  je stredná kvadratická odchýlka rýchlosti prúdenia vzduchu (m/s).

V prípade, ak vypočítaná hodnota rizika prievanu ( $DR$ ) je vyššia ako 100 %, uvažuje sa s hodnotou 100 %. Tento model rizika prievanu sa používa pre ľudí s celkovým tepelným pocitom blízkym neutralite, t. j. ani príliš teplo, ani príliš chladno. Riziko prievanu je menšie pre ľudí cítiacich sa teplejšie než neutrálne a vyššie pre ľudí cítiacich sa chladnejšie než neutrálne. Pre ľudí cítiacich sa teplo na celom tele zvýšené prúdenie vzduchu zníži tepelnú nepohodu a bude preto obvykle pociťované ako priaznivé.

#### **6.2.4.4 Subjektívne hodnotenie pomocou dotazníkov**

Merania fyzikálnych veličín prostredia sú potrebné na objektívne posúdenie parametrov tepelnej pohody (operatívna teplota, rýchlosť prúdenia vzduchu, PMV-PPD a pod.). Treba však dodať, že kritériá na tieto parametre sú založené na meraniach v experimentálnych podmienkach a vo všeobecnosti sa vzťahujú na skupinu ľudí (nie na jednotlivca) pri určitých okrajových podmienkach. Na dokreslenie obrazu o kvalite tepelného prostredia je preto vhodné objektívne merania doplniť subjektívnymi hodnoteniami samotnými užívateľmi. Súčasťou tohto merania je preto aj subjektívne hodnotenie, ktoré má umožniť porovnanie tepelného pocitu užívateľov s výsledkom objektívneho merania. Na tento účel sa navrhol jednoduchý dotazník, ktorý obsahuje tri otázky umožňujúce v rýchlosti zmapovať preferenciu užívateľa ohľadom tepelného prostredia a prúdenia vzduchu (Obr. 6.15).

## DOTAZNÍK

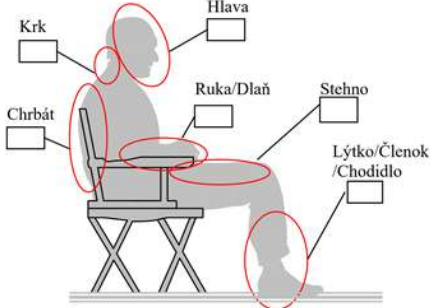
---

Meno \_\_\_\_\_ Dátum a čas \_\_\_\_\_

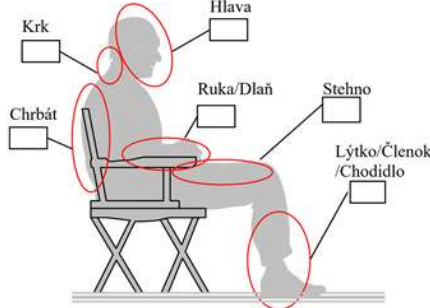
- Chceli by ste prostredie:
 

☐ Teplejšie
 ☐ Bez zmeny
 ☐ Chladnejšie
- Cítite na niektorej časti tela **prúdenie vzduchu**? Ak áno, vyznačte krížikom.
 

**ĽAVÁ STRANA**



**PRAVÁ STRANA**


- Chceli by ste:
 

☐ Silnejší prúd vzduchu
 ☐ Bez zmeny
 ☐ Slabší prúd vzduchu
- Opíšte vrchnú časť odevu pre výpočet tepelného odporu oblečenia:

Obr. 6.15. Dotazník na hodnotenie preferencií ohľadom tepelného prostredia a prúdenia vzduchu

### 6.2.4.5 Meracie body a postup merania

Meranie pozostáva z objektívneho a subjektívneho hodnotenia tepelného prostredia, s dôrazom na riziko prievanu vo vetraných miestnostiach. Merania parametrov prostredia sa nevykonávajú súčasne vo všetkých meracích bodoch, ale postupuje sa od jedného bodu k ďalšiemu. Samozrejme, v prípade, ak je k dispozícii viacero meracích zostáv, môže sa merať vo viacerých bodoch súčasne. Pri meraniach sa postupuje chronologicky podľa týchto bodov:

1. Úvod do merania. Pedagóg zopakuje študentom postup merania. Odporúča sa, aby sa pred začiatkom meraní vizualizovalo prúdové pole v miestnosti pomocou dymovej skúšky pre lepšiu predstavu.
2. Študenti sa usadia na pracovné miesta (Obr. 6.10), pričom v tomto meraní zastupujú rolu užívateľov priestoru.
3. Spustí sa testovací vzduchotechnický systém. Vzduch má prúdiť buď výhradne, alebo aspoň z väčšej časti z testovacej výustky v blízkosti pracovných miest.
4. Pod výstku sa do bodu B1 umiestni meracia zostava za účelom merania rýchlostného profilu pod výstku. Po umiestnení meracej zostavy sa odporúča chvíľu počkať, aby sa prúdové pole opäť ustálilo. Po ustálení prúdového poľa sa zaznamenávajú parametre vnútorného prostredia. V každom bode sa odporúča merať niekoľko minút (napr. 3 minúty), aby sa získali reprezentatívne hodnoty zaznamenávaných parametrov. Zároveň, v meracích bodoch B2-B5 v pobytovej zóne je meranie niekoľko minút potrebné, aby sa zaznamenala fluktuácia rýchlosti prúdenia vzduchu v čase, ktorá slúži na výpočet intenzity turbulencie ( $Tu$ ) podľa rovnice 6.4.
5. Medzičasom, od vstupu do miestnosti a usadenia študentov na miesta uplynul čas potrebný na ich adaptáciu na tepelné prostredie v miestnosti. Na to, aby sa študenti aspoň čiastočne adaptovali, odporúča sa čas od vstupu do miestnosti po prvé meranie v blízkosti pracovných miest (B2-B5) aspoň 10 minút.
6. Nasledujú merania v blízkosti pracovných miest postupne v bodoch B2, B3, B4 a B5. Meraciu zostavu treba vždy umiestniť pri pracovné miesto, dostatočne blízko k užívateľovi na to, aby sa zaznamenali reprezentatívne hodnoty, no nie príliš blízko, aby mal užívateľ možnosť pohybu na pracovnom mieste. Po umiestnení meracej zostavy na merací bod treba vždy chvíľu počkať, aby sa prúdové pole ustálilo.
7. Zároveň s prvým meraním, ktoré sa uskutoční v bode B2, študenti vyplnia dotazník. Po ukončení merania v bode B2 sa meracia zostava presunie do bodu B3, potom postupne do bodu B4 a B5. Dotazník nie je potrebné vyplňať pri každom meraní, odporúča sa len pri meraní v bodoch B2 a B5.
8. Pri meraní v bode B5 študenti opäť vyplnia dotazník. Počíta sa s tým, že medzičasom sa tepelný pocit študentov môže zmeniť vplyvom adaptácie na tepelné prostredie, pôsobenia prúdenia vzduchu, či úpravy odevu.

9. Po ukončení merania v bode B5 sa meranie končí. Výstupom majú byť namerané údaje v bodoch B1-B5 a v troch výškových úrovniach: 0,1 m, 0,6 m, a 1,1 m nad podlahou. Ďalším výstupom sú vyplnené dotazníky. Po kompletizácii výstupov sa pristúpi k ich vyhodnoteniu.

### 6.2.5 Výsledky

Výsledky musia obsahovať minimálne tieto výpočty a grafy:

- Výpočet rizika prievanu so vstupnými hodnotami. Výpočet sa vykoná pomocou rovnice 6.3. Príklad spracovania údajov je uvedený v Tabuľke 6.22.

Tabuľka 6.22. Výpočet rizika prievanu (*DR*) a vstupné údaje

|                      | Výška nad podlahou<br>(m) | Teplota vzduchu<br>(°C) | Rýchlosť vzduchu<br>(m/s) | <i>Tu</i><br>(%) | <i>DR</i><br>(%) |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| <b>Merací bod B1</b> |                           |                         |                           |                  |                  |
|                      | 0,1                       | 24,5                    | 0,16                      | 56               | <b>15</b>        |
|                      | 1,1                       | 24,5                    | 0,39                      | 39               | <b>43</b>        |
| <b>Merací bod B2</b> |                           |                         |                           |                  |                  |
|                      | 0,1                       | 24,9                    | 0,11                      | 62               | <b>9</b>         |
|                      | 1,1                       | 24,8                    | 0,18                      | 31               | <b>14</b>        |
| <b>Merací bod B3</b> |                           |                         |                           |                  |                  |
|                      | 0,1                       | 24,7                    | 0,08                      | 25               | <b>4</b>         |
|                      | 1,1                       | 24,9                    | 0,08                      | 43               | <b>5</b>         |
| <b>Merací bod B4</b> |                           |                         |                           |                  |                  |
|                      | 0,1                       | 24,6                    | 0,06                      | 42               | <b>3</b>         |
|                      | 1,1                       | 24,8                    | 0,12                      | 31               | <b>8</b>         |
| <b>Merací bod B5</b> |                           |                         |                           |                  |                  |
|                      | 0,1                       | 24,8                    | 0,10                      | 51               | <b>8</b>         |
|                      | 1,1                       | 24,8                    | 0,29                      | 27               | <b>23</b>        |

- Odhad úrovne tepelnej izolácie odevu, vyjadrenej jednotkou *clo* a odhad úrovne metabolizmu, vyjadrenej jednotkou *met*. Tieto hodnoty sú potrebné na následný výpočet indexov PMV a PPD. Úroveň tepelnej izolácie odevu sa odhadne na základe dotazníkov vyplnených počas merania a Tabuľky 6.20. Úroveň metabolizmu sa odhadne na základe Tabuľky 6.21.
- Výpočet indexov PMV a PPD so vstupnými hodnotami. Príklad je v Tabuľke 6.23. Výpočet sa vykoná pre meracie body B2-B5, ktoré sa nachádzajú v pobytovej zóne

v bezprostrednej blízkosti pracovných miest. Výpočet sa vykoná pomocou online nástroja dostupného na <https://comfort.cbe.berkeley.edu/> (Tartarini a kol., 2020). Použijú sa vstupné údaje z merania vo výške 0,6 m nad podlahou. Na zjednodušenie možno uvažovať operatívnu teplotu rovnú teplote vzduchu. Treba upozorniť, že indexy PMV a PPD sa vzťahujú na skupinu osôb a nemožno ich spoľahlivo vzťahovať na jednu konkrétnu osobu, pretože každý človek má individuálne preferencie. Tepelný pocit konkrétnych užívateľov počas merania možno zistiť na základe subjektívnych hodnotení užívateľov pomocou dotazníkov.

Tabuľka 6.23. Výpočet indexov PMV a PPD a vstupné údaje

| Bod | Operatívna teplota (°C) | Rýchlosť prúdenia vzduchu (m/s) | Relatívna vlhkosť (%) | Úroveň metabolizmu (met) | Úroveň izolácie (clo) | PMV   | PPD (%) |
|-----|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------|---------|
| B2  | 24,9                    | 0,14                            | 37                    | 1,2                      | 0,4                   | -0,49 | 10      |
| B3  | 24,8                    | 0,08                            | 37                    | 1,2                      | 0,5                   | -0,08 | 5       |
| B4  | 24,7                    | 0,09                            | 37                    | 1,2                      | 0,6                   | 0,03  | 5       |
| B5  | 24,8                    | 0,20                            | 37                    | 1,2                      | 0,6                   | -0,27 | 7       |

- Výsledky dotazníkového hodnotenia spracované do tabuľky. Príklad je uvedený v Tabuľke 6.24.

Tabuľka 6.24. Výsledky subjektívneho hodnotenia pomocou dotazníkov

| Bod                 | Čas   | Preferencia zmeny prostredia | Pocit prúdenia vzduchu                                                        | Preferencia prúdenia vzduchu | Odev                                                 |
|---------------------|-------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>B2</b><br>(žena) | 9:50  | bez zmeny                    | ES: hlava, krk, ruka/dlaň                                                     | bez zmeny                    | tričko bez rukávov, ľahké nohavice, členkové tenisky |
|                     | 10:08 | bez zmeny                    | ES: hlava, krk, ruka/dlaň                                                     | bez zmeny                    | tričko bez rukávov, ľahké nohavice, členkové tenisky |
| <b>B3</b><br>(žena) | 9:50  | bez zmeny                    | ES: ruka/dlaň                                                                 | bez zmeny                    | tričko krátky rukáv, rifle nad členky, baleríny      |
|                     | 10:08 | bez zmeny                    | ES: ruka/dlaň, lýtko/chodidlo/členok;<br>PS: ruka/dlaň, lýtko/chodidlo/členok | bez zmeny                    | tričko krátky rukáv, rifle nad členky, baleríny      |
| <b>B4</b><br>(muž)  | 9:50  | chladnejšie                  | nie je                                                                        | bez zmeny                    | tričko krátky rukáv, rifle, ľahké prezúvky           |
|                     | 10:08 | chladnejšie                  | nie je                                                                        | bez zmeny                    | tričko krátky rukáv, rifle, ľahké prezúvky           |
| <b>B5</b><br>(muž)  | 9:50  | bez zmeny                    | PS: hlava, krk, ruka/dlaň                                                     | slabší prúd                  | tričko krátky rukáv, rifle, topánky                  |
|                     | 10:08 | bez zmeny                    | PS: hlava, krk, ruka/dlaň                                                     | slabší prúd                  | tričko krátky rukáv, rifle, topánky                  |

- Výsledky rizika prievanu (*DR*) a indexov PMV a PPD sa porovnávajú so subjektívnymi hodnoteniami užívateľov získanými z dotazníkového prieskumu. Celkovým výsledkom je predpoklad tepelnej pohody a rizika prievanu v pracovnom bode na základe objektívneho merania a jeho porovnanie so subjektívnym hodnotením osoby v tomto pracovnom bode.

### 6.2.6 Protokol z merania

Výsledkom je protokol z merania, ktorý má presne stanovenú štruktúru a obsah. Nižšie je uvedená požadovaná štruktúra protokolu so stručným opisom, čo majú jednotlivé kapitoly obsahovať:

- **Titulná strana.** Obsahuje identifikačnú tabuľku obsahujúcu číslo a názov experimentálneho merania (zadania), meno študenta a pedagóga, dátum a čas konania merania. Vzor tabuľky je uvedený v 3.1.2. Za tabuľkou pokračujú ďalšie body protokolu.
- **Úvod.** Motivácia hodnotenia celkovej tepelnej pohody a lokálnej tepelnej nepohody v budove. Ciele merania.
- **Metodika.** Opis laboratória. Pomôcky – opis použitej meracej techniky, meracie body a umiestnenie snímačov. Postup merania – čas merania, časový krok merania, opis zberu a spracovania údajov a pod. Požiadavky na indexy PMV a PPD a na rýchlosť prúdenia vzduchu v interiéri.
- **Výsledky.** Výstupy z merania spracované v predpísanej forme. Výsledky majú obsahovať výpočet rizika prievanu so vstupnými hodnotami, výpočet indexov PMV a PPD so vstupnými hodnotami a výsledky subjektívneho hodnotenia pomocou dotazníkov podľa 6.2.5.
- **Diskusia.** Interpretácia výsledkov. Porovnanie výsledkov s tabuľkovými alebo z literatúry známymi hodnotami. Identifikácia možných zdrojov nepresností. Uvedenie možných príčin prípadnej zvýšenej rýchlosti prúdenia vzduchu či rizika prievanu, porovnanie indexov PMV a PPD s predpismi, porovnanie výsledkov objektívneho a subjektívneho dotazníkového hodnotenia. Ak je to vhodné, možno výsledky a diskusiu spojiť do jednej kapitoly.



- **Záver.** Súvislý text v rozsahu niekoľko riadkov. Má obsahovať celkové zhodnotenie tepelnej pohody a rizika nepohody vplyvom prievanu vychádzajúce z výsledkov a diskusie, prípadne aj návrhy na zlepšenie.
- **Literatúra.** Zoznam použitých dokumentov. Musí obsahovať minimálne predpisy a technické normy, podľa ktorých sa tepelno-vlhkostné prostredie posudzovalo. Treba uviesť celé názvy dokumentov, nie len čísla.
- **Podiel na vypracovaní protokolu.** V prípade, že sa na meraní a vypracovaní protokolu podieľalo viacero študentov, treba uviesť podiel práce každého zo študentov.
- **Podpisy.** Podpísať pod vypracovaný protokol sa majú študenti, ktorí ho vypracovali, ako aj pedagóg, ktorý týmto potvrdzuje akceptovanie protokolu.

## 7 EXPERIMENTÁLNE MERANIA KVALITY VZDUCHU

Pri pobyte osôb v budove treba obvykle splniť dve požiadavky na kvalitu vzduchu. V prvom rade, zdravotné riziko vdychovaného vzduchu musí byť zanedbateľné. Po druhé, vzduch má byť pociťovaný ako svieži a príjemný, nie starý, zatuchnutý a iritujúci. Ľudia pociťujú kvalitu vzduchu dvoma zmyslami. Centrum čuchového zmyslu je umiestnené v nosnej dutine a je citlivé na niekoľko stoviek tisíc odérov vo vzduchu. Hlavný chemický zmysel je umiestnený po celej sliznici v nose a očiach a je citlivý na množstvo iritantov vo vzduchu. Je to kombinovaná odpoveď týchto dvoch zmyslov, ktorá určuje, či je vzduch pociťovaný ako svieži a príjemný alebo starý, zatuchnutý a iritujúci. Podľa Americkej spoločnosti inžinierov pre vykurovanie, chladenie a klimatizáciu (ASHRAE) akceptovateľnú kvalitu vzduchu môžeme definovať ako „vzduch, v ktorom nie sú žiadne známe znečistenia v škodlivých koncentráciách určených príslušnými autoritami, a s ktorým podstatná väčšina (80 % alebo viac) ľudí, ktorí sú mu vystavení, nevyjadruje nespokojnosť“ (ASHRAE Standard 62.1).

Ľudia produkujú oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) priamo úmerne ich metabolickej aktivite. Preto možno  $\text{CO}_2$  použiť ako ukazovateľ kvality vzduchu v priestoroch, kde ľudia a ich aktivity sú prevažujúcim zdrojom senzorickeho znečistenia. Okrem toho,  $\text{CO}_2$  možno použiť aj ako stopovací plyn na výpočet intenzity vetrania v priestore. V praxi možno koncentráciu  $\text{CO}_2$  pomerne jednoducho merať pomocou prenosných záznamníkov a namerané údaje využiť na hodnotenie kvality vnútorného vzduchu. Nasledujúce merania sú preto zamerané práve na využitie koncentrácie  $\text{CO}_2$  na hodnotenie kvality vzduchu v budovách.

### 7.1 HODNOTENIE KVALITY VZDUCHU POMOCOU KONCENTRÁCIE OXIDU UHLIČITÉHO ( $\text{CO}_2$ )

Kvalitu vnútorného vzduchu možno hodnotiť buď objektívne, pomocou meraní, alebo subjektívne, pomocou dotazníkového prieskumu. Vzhľadom na to, že vzduch obsahuje rôzne druhy znečistenia, je komplexné hodnotenie kvality vzduchu náročné na meraciu techniku a na čas. Často je preto praktické zamerať sa na určité aspekty kvality vzduchu či škodliviny v závislosti od toho, aké znečistenie očakávame, aké sú naše technické možnosti a pod. V praxi možno pociťovanú kvalitu vzduchu v priestoroch, kde sa zameriavame na senzoricke

znečistenie, vyjadriť pomocou koncentrácie  $\text{CO}_2$ . Koncentrácia  $\text{CO}_2$  je dobrým ukazovateľom niektorých aspektov kvality vzduchu a dá sa pomerne jednoducho, lacno a spoľahlivo zmerať. Predmetom tohto merania je hodnotenie kvality vzduchu v miestnosti s prirodzeným vetraním pomocou koncentrácie  $\text{CO}_2$ .

### 7.1.1 Cieľ merania

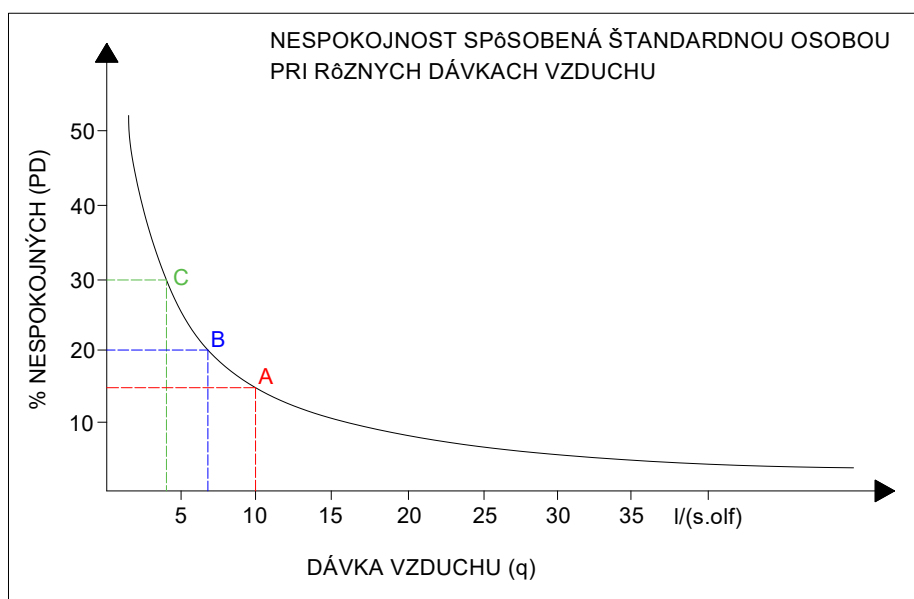
Cieľom merania je posúdiť kvalitu vzduchu v obytnej miestnosti vyjadrenú pomocou koncentrácie  $\text{CO}_2$ . Čiastkové ciele merania sú tieto:

- zmerať koncentráciu  $\text{CO}_2$  počas daného obdobia a porovnať s požiadavkami,
- vypočítať intenzitu vetrania na zachovanie limitnej koncentrácie  $\text{CO}_2$  v miestnosti,
- zhotoviť protokol z merania podľa požiadaviek a štruktúry v podkapitole 7.1.5.

### 7.1.2 Požiadavky na kvalitu vzduchu vyjadrené koncentráciou oxidu uhličitého

Senzorické znečistenie možno vyjadriť jednotkou olf. Jeden olf predstavuje senzorické znečistenie tzv. štandardnou osobou, ktorá je charakterizovaná úrovňou metabolizmu 1 met, izoláciou odevu 1 clo, plochou tela  $1,8 \text{ m}^2$  atď. Mieru senzorického znečistenia od zdrojov znečistenia v interiéri možno vyjadriť prostredníctvom ekvivalentných osôb, t. j. počtom štandardných osôb potrebných na to, aby sa dosiahla rovnaká miera senzorického znečistenia ako pre aktuálny zdroj znečistenia (Fanger, 1988).

Pocitovaná kvalita vzduchu sa môže vyjadriť ako percento nespokojných. V závislosti od použitého prístupu sa za nespokojných užívateľov považujú buď osoby, ktoré pociťujú vzduch ako neakceptovateľný hneď po vstupe do miestnosti (STN EN 16798-1) alebo osoby, ktoré pociťujú vzduch ako neakceptovateľný po tom, čo strávili nejaký čas v miestnosti a mali čas sa na vnútorný vzduch adaptovať (ASHRAE Standard 62.1). Obr. 7.1 ukazuje percento osôb nespokojných s kvalitou vzduchu pri vstupe do miestnosti ako funkciu dávky vzduchu na štandardnú osobu (1 olf). Táto krivka sa stanovila empiricky na základe laboratórnych meraní s testovacími osobami.



Obr. 7.1. Nespokojnosť spôsobená štandardnou osobou (1 olf) pri rôznych hodnotách vetrania (CEN CR 1752 – Obr. A.7)

Z krivky na Obr. 7.1 možno stanoviť predpokladané percento ľudí nespokojných s kvalitou vzduchu pri vstupe do miestnosti v závislosti od dávky vzduchu na 1 olf, čiže na 1 štandardnú osobu. V prípade, ak stanovíme určité maximálne prípustné percento užívateľov nespokojných s kvalitou vzduchu v ohybe krivky, kde je závislosť medzi dávkou vzduchu a percentom nespokojných najsilnejšia, môžeme odčítať zodpovedajúce dávky vzduchu. Tabuľka 7.1 znázorňuje tri kategórie kvality vzduchu a zodpovedajúce percento nespokojných a dávky vzduchu (CEN CR 1752).

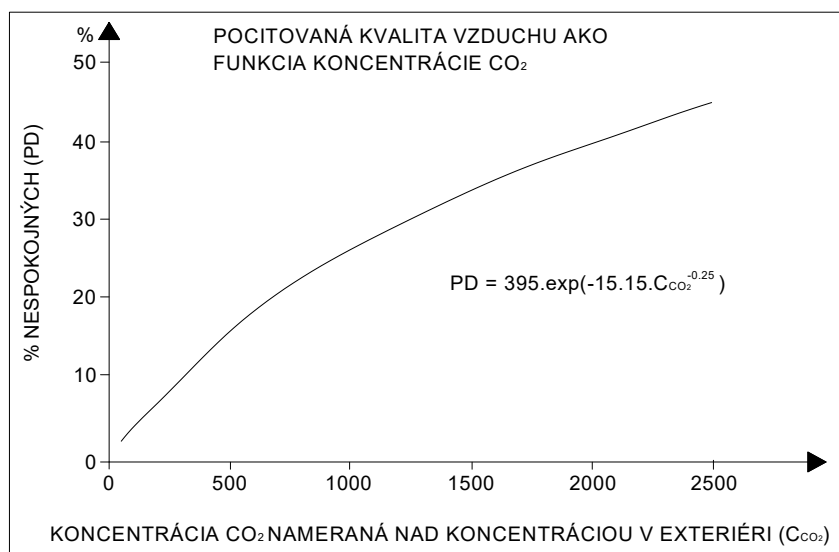
Tabuľka 7.1. Percento nespokojných ako funkcia dávky vzduchu (CEN CR 1752 – Tabuľka A.5)

| Kategória | Nespokojní (%) | Dávka vzduchu l/(s.olf) |
|-----------|----------------|-------------------------|
| A         | 15             | 10                      |
| B         | 20             | 7                       |
| C         | 30             | 4                       |

Krivka na Obr. 7.1 je dodnes základom požiadaviek na komfortné vetranie. Uvedené hodnoty sa obvykle používajú na stanovenie dávky vzduchu v závislosti od počtu užívateľov, t. j.  $l/(s.olf) = l/(s.osoba)$ . STN EN 16798-1 však odporúča vo výpočte dávky vzduchu zohľadniť

aj znečistenie pochádzajúce od materiálov budovy. Celková dávka vzduchu sa potom vyráta ako súčet dávky vzduchu na vetranie znečistenia od užívateľov a dávky vzduchu na vetranie znečistenia od materiálov budovy. Odporúčané dávky vzduchu na vetranie znečistenia od materiálov budovy sú uvedené v Tabuľke 7.5 v 7.2.2.

Vzhľadom na to, že ľudia vydychujú  $\text{CO}_2$  ako produkt metabolizmu, možno na hodnotenie kvality vzduchu v priestoroch, kde užívatelia a aktivity spojené s ich činnosťou sú hlavnou príčinou znečistenia, využiť koncentráciu  $\text{CO}_2$ . Pri malých koncentráciách je  $\text{CO}_2$  vo vnútornom prostredí neškodný a ľuďmi nie je pociťovaný. Stále je však dobrým indikátorom koncentrácie senzorického znečistenia od užívateľov.  $\text{CO}_2$  sa ako ukazovateľ znečistenia súvisiaceho s užívateľmi používa vcelku úspešne už viac ako storočie. Na Obr. 7.2 je zobrazené percento nespokojných osôb ako funkcia koncentrácie  $\text{CO}_2$  (nad vonkajšou koncentráciou) v priestoroch, kde sediaci užívatelia sú jediným zdrojom znečistenia. V posluchárnach, montážnych halách a podobných miestnostiach s vysokou mierou pobytu, ktorá sa môže rýchlo meniť, je monitorovanie  $\text{CO}_2$  osvedčeným spôsobom regulácie dávky čerstvého vonkajšieho vzduchu. Hoci je  $\text{CO}_2$  dobrý indikátor znečistenia súvisiaceho s prítomnosťou osôb, nie je to ideálny hlavný ukazovateľ celkovej kvality vzduchu. Nezohľadňuje totiž tie zdroje senzorického znečistenia, ktoré neprodukujú  $\text{CO}_2$ , ani nebezpečné zdroje znečistenia, ktoré človek nedokáže zmyslami zachytiť, ako sú napríklad oxid uhoľnatý či radón.

Obr. 7.2. Pociťovaná kvalita vzduchu ako funkcia koncentrácie CO<sub>2</sub> (CEN CR 1752 – Obr. A.8)

Požadovaná koncentrácia CO<sub>2</sub> sa môže určiť na základe požiadaviek na dávku vzduchu na vetranie znečistenia od užívateľov (Tabuľka 7.1) pomocou rovnice rovnováhy pre koncentráciu CO<sub>2</sub>. Odporúčané limity na koncentráciu CO<sub>2</sub> sa uvádzajú v Tabuľke 7.2. Hodnoty koncentrácie zodpovedajú dávke vzduchu 10, 7 a 4 l/s na osobu pri predpokladanej produkcii CO<sub>2</sub> na osobu. Možno vidieť, že odporúčané koncentrácie sú nižšie pre spálne než pre obývacie miestnosti. To je spôsobené predpokladanou produkciou CO<sub>2</sub> nižšou pre spiace osoby v spálni než pre sediace osoby v obývacej miestnosti. Ak sa vetranie reguluje automaticky na základe koncentrácie CO<sub>2</sub>, intenzita vetrania môže kolísať medzi určenou maximálnou a minimálnou intenzitou vetrania, no počas užívania budovy sa musí zabezpečiť aspoň minimálna intenzita vetrania.

Tabuľka 7.2. Návrhová koncentrácia CO<sub>2</sub> nad hodnotou koncentrácie vo vonkajšom vzduchu (STN EN 16798-1 – Tabuľka B.12)

| Kategória | Úroveň CO <sub>2</sub> nad vonkajšou úrovňou (ppm) |                |
|-----------|----------------------------------------------------|----------------|
|           | Obyvacie miestnosti                                | Spálne         |
| I         | 550 (10)                                           | 380 (10)       |
| II        | <b>800 (7)</b>                                     | <b>550 (7)</b> |
| III       | 1350 (4)                                           | 950 (4)        |
| IV        | 1350 (4)                                           | 950 (4)        |

Pozn.: Hodnoty v zátvorkách znamenajú zodpovedajúce dávky vzduchu v l/s na osobu.

### 7.1.3 Opis priestoru a umiestnenie snímačov

Posúdenie kvality vzduchu v zvolenej obytnej miestnosti sa vykoná na základe nameraných hodnôt koncentrácie CO<sub>2</sub> počas daného obdobia. Preto študent, resp. skupina študentov, nameria vo vybranom priestore koncentráciu CO<sub>2</sub>. Možno využiť aj údaje namerané v rámci predchádzajúceho zadania.

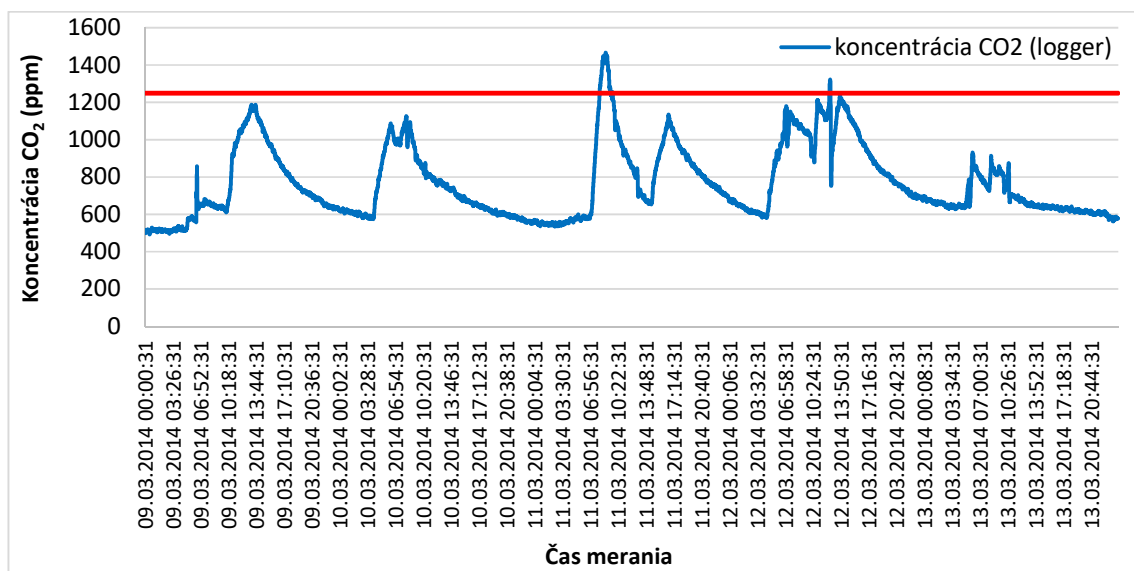
V nižšie uvedenom hodnotení kvality vzduchu sa použili namerané údaje z rovnakej miestnosti, ako v predchádzajúcom zadaní ohľadom hodnotenia tepelnej pohody v 6.1. Pôdorys kancelárie so základnými kótami je na Obr. 6.4. Kancelária má podlahovú plochu približne 17 m<sup>2</sup> a svetlú výšku 2,8 m. Parametre vnútorného prostredia sa merali a ukladali pomocou prenosného záznamníka teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti a koncentrácie CO<sub>2</sub>.

### 7.1.4 Výsledky

Výsledky musia obsahovať minimálne tieto výpočty a grafy:

- Priebeh koncentrácie CO<sub>2</sub> počas monitorovaného obdobia a porovnanie s odporúčanou maximálnou koncentráciou. Príklad je na Obr. 7.3. Prudké vzostupy koncentrácie boli spôsobené vstupom osoby do miestnosti. Je možné, že príležitostne sa v priestore nachádzalo viacero osôb, nie sú však dostupné podrobné informácie o používaní priestoru. Kontinuálny pokles koncentrácie bol zaznamenaný potom, ako osoba kanceláriu opustila. Výkyvy v koncentrácii môžu byť spôsobené zmenou aktivity osoby a otvorením okna či dverí. Hraničná hodnota koncentrácie 1250 ppm vychádza

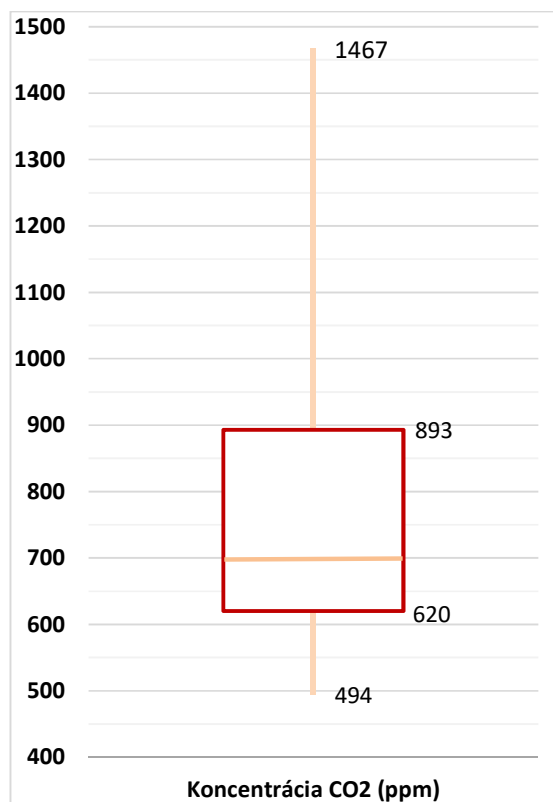
z predpokladu, že priestor sa hodnotil na základe požiadaviek pre kat. II vnútorného prostredia a vonkajšia koncentrácia bola 450 ppm.



Obr. 7.3. Priebeh koncentrácie CO<sub>2</sub> v monitorovanom priestore

- Štatistika ohľadne koncentrácie CO<sub>2</sub> vyjadrená pomocou krabicového grafu (box plot). Táto štatistika obsahuje minimum, 1. kvartil, medián, 3. kvartil a maximum. Príklad je na Obr. 7.4.





Obr. 7.4. Štatistika ohľadne koncentrácie CO<sub>2</sub> vyjadrená pomocou krabicového grafu

- Výpočet dávky vzduchu a počtu výmen vzduchu za hodinu potrebných na dodržanie limitnej koncentrácie CO<sub>2</sub>. Vyžaduje sa podrobný výpočet s opisom vstupných hodnôt a dosadením do rovníc. Postup výpočtu s príkladom bude vysvetlený v rámci prednášky alebo cvičenia.

**Upozornenie:** Limity na koncentráciu CO<sub>2</sub> uvedené na obrázkoch slúžia ako príklad a nemusia zodpovedať súčasným požiadavkám. Platné limity treba stanoviť podľa aktuálne platných požiadaviek a v závislosti od konkrétneho priestoru a nárokov na kvalitu vnútorného prostredia.

### 7.1.5 Protokol z merania

Výsledkom je protokol z merania, ktorý má presne stanovenú štruktúru a obsah. Nižšie je uvedená požadovaná štruktúra protokolu so stručným opisom, čo majú jednotlivé kapitoly obsahovať:

- **Titulná strana.** Obsahuje identifikačnú tabuľku obsahujúcu číslo a názov experimentálneho merania (zadania), meno študenta a pedagóga, dátum a čas konania merania. Vzor tabuľky je uvedený v 3.1.2. Za tabuľkou pokračujú ďalšie body protokolu.
- **Úvod.** Motivácia experimentálneho hodnotenia kvality vzduchu. Ciele merania.
- **Metodika.** Opis hodnoteného priestoru. Pomôcky – opis použitej meracej techniky, umiestnenie záznamníka v miestnosti. Postup merania – napr. čas merania, časový krok merania, opis zberu a spracovania údajov a pod. Požiadavky na kvalitu vzduchu vyjadrené pomocou koncentrácie CO<sub>2</sub>.
- **Výsledky.** Výstupy z merania spracované v predpísanej forme. Výsledky majú obsahovať časový priebeh a štatistické spracovanie koncentrácie CO<sub>2</sub>, ako aj výpočet potrebnej dávky vzduchu na udržanie limitnej koncentrácie CO<sub>2</sub> v posudzovanej miestnosti podľa 7.1.4.
- **Diskusia.** Interpretácia výsledkov. Porovnanie výsledkov s tabuľkovými alebo z literatúry známymi hodnotami. Identifikácia možných zdrojov nepresností. Uvedenie možných príčin prípadnej zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub>. Vyjadrenie sa k požadovanej dávke vzduchu na udržanie koncentrácie CO<sub>2</sub> v miestnosti. Ak je to vhodné, možno výsledky a diskusiu spojiť do jednej kapitoly.
- **Záver.** Súvislý text v rozsahu niekoľko riadkov. Má obsahovať celkové zhodnotenie kvality vzduchu vychádzajúce z výsledkov a diskusie, prípadne aj návrhy na zlepšenie.
- **Literatúra.** Zoznam použitých dokumentov. Musí obsahovať minimálne predpisy a technické normy, podľa ktorých sa kvalita vzduchu hodnotila. Treba uviesť celé názvy dokumentov, nie len čísla.
- **Podiel na vypracovaní protokolu.** V prípade, že sa na meraní a vypracovaní protokolu podieľalo viacero študentov, treba uviesť podiel práce každého zo študentov.
- **Podpisy.** Podpísať pod vypracovaný protokol sa majú študenti, ktorí ho vypracovali, ako aj pedagóg, ktorý týmto potvrdzuje akceptovanie protokolu.

## 7.2 VÝPOČET INTENZITY VETRANIA Z PRIEBEHU KONCENTRÁCIE OXIDU UHLIČITÉHO (CO<sub>2</sub>)

Požiadavky na vetranie miestností s pobytom osôb sú jasne definované v predpisoch, najmä vo vyhláškach a technickém normách. Intenzita vetrania je v predpisoch vyjadrená ako dávka vzduchu v m<sup>3</sup>/h, l/s, či počet výmen vzduchu v priestore za hodinu. V závislosti od prevádzky priestoru, očakávaní investora, prevádzkovateľa či užívateľov, použitého predpisu a pod. možno pomerne jednoducho stanoviť potrebné množstvo privádzaného vzduchu. Na druhej strane, overiť, či sa do miestnosti stanovené množstvo vzduchu skutočne privádza, predstavuje zložitejšiu úlohu. Obzvlášť v budovách vetraných prirodzene infiltráciou, otváraním okien, či systémom prirodzeného vetrania, kde prietoky vzduchu nie sú monitorované, spätná väzba o skutočnej intenzite vetrania chýba. Jednou z možností je výpočet intenzity vetrania pomocou stopovacieho plynu z krivky stúpajúcej alebo klesajúcej koncentrácie. Najbežnejším a najdostupnejším stopovacím plynom, ktorý možno ľahko a lacno monitorovať, je oxid uhličitý. Predmetom tohto merania je stanovenie intenzity vetrania pomocou krivky klesajúcej koncentrácie oxidu uhličitého. Takéto meranie je častokrát jediným, resp. najpraktickejším spôsobom, ako získať informáciu o intenzite vetrania.

### 7.2.1 Cieľ merania

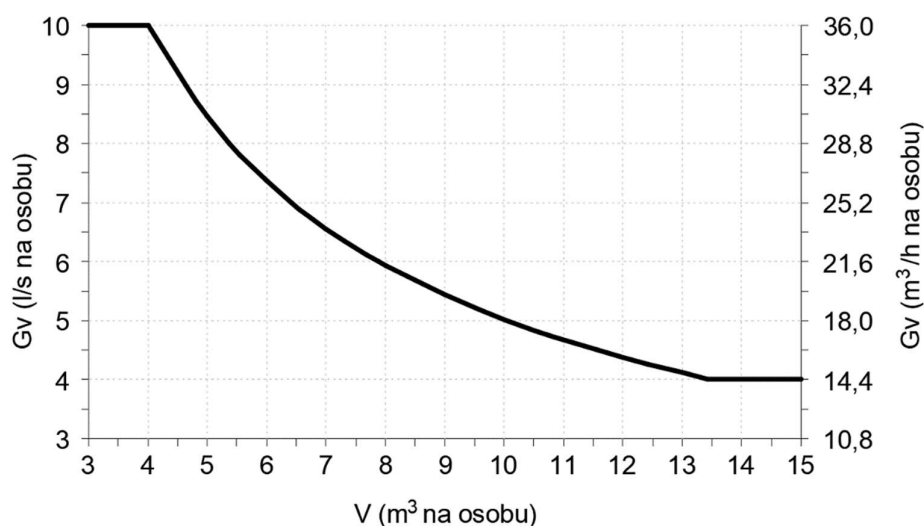
Cieľom je pomocou koncentrácie CO<sub>2</sub> zistiť, aká je intenzita vetrania infiltráciou vzduchu v miestnosti s prirodzeným vetraním. Čiastkové ciele merania sú tieto:

- zmerať klesajúcu koncentráciu CO<sub>2</sub> potom, ako užívatelia opustili priestor,
- vypočítať intenzitu vetrania priestoru z klesajúcej krivky koncentrácie CO<sub>2</sub>,
- porovnať zistenú intenzitu vetrania s požiadavkami,
- zhotoviť protokol z merania podľa požiadaviek a štruktúry v podkapitole 7.2.7.

### 7.2.2 Požiadavky na vetranie budov

Požiadavky na vetranie priestorov boli čiastočne uvedené a diskutované v 7.1.2. Tieto sa vzťahovali konkrétne na vetranie znečistenia od užívateľov podľa empirickej krivky na Obr. 7.1. Okrem toho však treba vziať do úvahy požiadavky v národných predpisoch, ako aj fakt, že znečistenie môže pochádzať aj od iných zdrojov než sú osoby v miestnosti.

Vyhláška MZ SR č. 259/2008 Z. z. odporúča určiť potrebnú dávku vzduchu v miestnostiach bez zdrojov škodlivín a so zákazom fajčenia, v ktorých je dlhodobý pobyt viacerých osôb s aktivitou v triedach činnosti 0 až 1a, z grafu na Obr. 7.5. Okrem toho sa vo vyhláške uvádzajú príklady potrebnej výmeny vzduchu v priestoroch s krátkodobým pobytom ľudí (Tabuľka 7.3), ako aj parametre tepelno-vlhkostnej mikroklimy pre niektoré priestory s osobitnými požiadavkami (Tabuľka 7.4). Tabuľky 7.3 a 7.4 neuvádzajú všetky priestory uvedené vo vyhláške, ale obsahujú len niektoré vybrané priestory.



Obr. 7.5. Požiadavky na množstvo vymieňaného vzduchu na 1 osobu (Vyhl. MZ SR č. 259/2008 Z. z. – Obr. 2)

Tabuľka 7.3. Parametre tepelno-vlhkostnej mikroklimy vo vybraných priestoroch s krátkodobým pobytom osôb (Vyhl. MZ SR č. 259/2008 Z. z. – Tabuľka 4)

| Priestor                   | Operatívna teplota (°C) | Intenzita vetrania (1/h) |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| chodby a schodiská         | 15 – 18                 | 2 – 3                    |
| vstupné haly               | 18 – 20                 | –                        |
| WC                         | 15 – 20                 | 5 – 10                   |
| kúpeľne, umyvárne          | 22 – 24                 | 10                       |
| čakárne                    | 18 – 20                 | 3                        |
| miestnosti pre upratovačky | 18 – 20                 | 10                       |
| sklady                     | 10 – 17                 | 10                       |
| sklady liekov              | 15 – 20                 | 2 – 10                   |
| šatne                      | 20 – 22                 | 10                       |
| denné miestnosti           | 20 – 22                 | 5                        |

Tabuľka 7.4. Parametre tepelno-vlhkostnej mikroklímy pre niektoré priestory s osobitnými požiadavkami (Vyhľ. MZ SR č. 259/2008 Z. z. – Tabuľka 5)

| Priestor                                                       | Operatívna<br>teplota<br>(°C) | Relatívna<br>vlhkosť<br>(%) | Intenzita<br>vetrania<br>(1/h) |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| <i>Zariadenia pre deti a mládež</i>                            |                               |                             |                                |
| herne a spálne pre deti do veku 6 rokov                        | najmenej 22                   | 30 – 70                     | 5                              |
| umyvárne a WC pre deti do veku 6 rokov                         | najmenej 24                   | 30 – 70                     | 8                              |
| učebne, herne, denné miestnosti                                | 20 – 24                       | 30 – 70                     | 3 – 8                          |
| telocvične, cvičebne                                           | 15                            | 30 – 70                     | 5                              |
| šatne pri telocvičniach, cvičebniach                           | najmenej 20                   | 30 – 70                     | 5                              |
| umyvárne a WC pri telocvičniach, cvičebniach                   | najmenej 24                   | 30 – 70                     | 8                              |
| iné šatne, chodby, záchody                                     | najmenej 15                   | 30 – 70                     | 5                              |
| <i>Hotely, hromadné ubytovne</i>                               |                               |                             |                                |
| študovne, spoločenské miestnosti                               | 22 – 24                       | 30 – 70                     | 3 – 6                          |
| jedálne                                                        | 20 – 22                       | 30 – 70                     | 5 – 10                         |
| <i>Školy, predškolské zariadenia</i>                           |                               |                             |                                |
| telocvične                                                     | 15 – 17                       | 30 – 70                     | 5                              |
| spálne detské jasle, materské školy                            | 18 – 20                       | 30 – 70                     | 5                              |
| učebne, herne, denné miestnosti                                | 20 – 24                       | 30 – 70                     | 3 – 8                          |
| izolačná miestnosť                                             | 22 – 24                       | 30 – 70                     | 5                              |
| <i>Divadlá, kiná, koncertné sály a iné kultúrne zariadenia</i> |                               |                             |                                |
| hľadisko, sály, príľahlé priestory                             | 20 – 22                       | 30 – 70                     | 5 – 8                          |
| šatne pre účinkujúcich                                         | 22 – 24                       | 30 – 70                     | 2                              |
| výstavné sály, múzeá                                           | 17 – 20                       | 30 – 70                     | 3 – 8                          |

Príklady celkovej intenzity vetrania pre nebytové, nevýrobné budovy sa okrem toho uvádzajú v STN EN 16798-1. Odporúčané dávky vzduchu sú uvedené v Tabuľke 7.5 a sú založené na hodnoteniach užívateľov okamžite po vstupe do miestnosti. Vzťahujú sa teda na osoby, ktoré nie sú na vnútorný vzduch adaptované. V prípade, ak by požiadavky na vetranie boli založené na hodnoteniach osobami, ktoré mali možnosť sa na vnútorný vzduch adaptovať, boli by požadované dávky vzduchu nižšie. V prípade nízkych dávok vzduchu sa odporúča, aby prívod čerstvého vzduchu zo zdravotných dôvodov bol najmenej 4 l/s na osobu. Celková dávka vzduchu má byť súčtom dávky vzduchu na vetranie znečistenia od užívateľov a dávky vzduchu na vetranie znečistenia od materiálov budovy.

Tabuľka 7.5 uvádza príklady dávky vzduchu pre niektoré kancelárske priestory, no možno ich použiť aj pre iné priestory s podobným typom užívania. Možno vidieť, že pri zohľadnení typickej obsadenosti priestoru v  $\text{m}^2$  na osobu a dávky vzduchu v  $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$  výsledné dávky vzduchu 10  $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{osoba})$ , 7  $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{osoba})$  a 4  $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{osoba})$  pre kategórie I, II a III zodpovedajú dávkam vzduchu pre kategórie A, B a C na Obr. 7.1 a v Tabuľke 7.1. V prípade, ak by sa uvažovalo s kategóriou II vnútorného prostredia bola by dávka vzduchu na vetranie znečistenia od užívateľov 0,7  $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ . Ak by sa okrem toho uvažovalo aj s vetraním znečistenia od budovy, v prípade málo znečisťujúcej budovy by to znamenalo, že k dávke vzduchu treba pripočítať ďalších 0,7  $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ . To znamená, že celková dávka vzduchu by bola dvojnásobná v porovnaní s dávku vzduchu potrebnou na vetranie znečistenia od užívateľov. Toto má významný dopad na návrh vzduchotechnického systému, ako aj na investičné a prevádzkové náklady.

Treba upozorniť na to, že ani po sčítaní dávky vzduchu na vetranie znečistenia od užívateľov a dávky vzduchu na vetranie znečistenia od materiálov budov niektoré hodnoty pre kategóriu IV nemusia spĺňať požiadavku na minimálnu vzduchu, ktorá je 4  $\text{l}/\text{s}$  na osobu. Pri stanovení dávky vzduchu sa preto treba uistiť, či je táto požiadavka splnená.

Tabuľka 7.5. Príklady dávky vzduchu pre kancelárske priestory podľa STN EN 16798-1

| Typ priestoru          | Kategória CEN | Obsadenosť priestoru      | Od užívateľov                          | Od budovy                              |                                        |                                        |
|------------------------|---------------|---------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
|                        |               |                           |                                        | veľmi málo zneč. budova                | málo zneč. budova                      | zneč. budova                           |
|                        |               | $\text{m}^2/\text{osoba}$ | $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ | $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ | $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ | $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ |
| Kancelária             | I             | 10                        | 1                                      | 0,5                                    | 1                                      | 2                                      |
|                        | II            | 10                        | 0,7                                    | 0,35                                   | 0,7                                    | 1,4                                    |
|                        | III           | 10                        | 0,4                                    | 0,2                                    | 0,4                                    | 0,8                                    |
|                        | IV            | 10                        | 0,25                                   | 0,15                                   | 0,3                                    | 0,6                                    |
| Veľkoplošná kancelária | I             | 15                        | 0,7                                    | 0,5                                    | 1                                      | 2                                      |
|                        | II            | 15                        | 0,5                                    | 0,35                                   | 0,7                                    | 1,4                                    |
|                        | III           | 15                        | 0,3                                    | 0,2                                    | 0,4                                    | 0,8                                    |
|                        | IV            | 15                        | 0,2                                    | 0,15                                   | 0,3                                    | 0,6                                    |

Na určenie dávky vzduchu pre obytné priestory vyhláška MZ SR č. 259/2008 Z. z. v čase prípravy tejto publikácie odkazuje na STN EN 15251, v ktorej sa zvlášť uvádzajú požiadavky na vetranie obytných priestorov a budov, ktoré nie sú určené na bývanie. STN EN 15251 bola

v roku 2019 nahradená STN EN 16798-1. V STN EN 16798-1 sa všeobecne uvádzajú návrhové hodnoty dávky vzduchu pre budovy, no uvádzajú sa tu aj konkrétne odporúčané hodnoty dávky vzduchu na vetranie obytných priestorov.

Čo sa týka odporúčanej dávky vzduchu, rozdiel medzi hodnotami v STN EN 15251 a STN EN 16798-1 je v tom, že v platnej STN EN 16798-1 sa uvádzajú štyri kategórie vnútorného prostredia (kat. I až IV) namiesto troch a takisto je tu možnosť použiť dávky vzduchu založené na pociťovanej kvalite osôb, ktoré mali možnosť adaptovať sa na vnútorný vzduch. Podrobnosti sú uvedené v Tabuľke 7.6. Dávky vzduchu v stĺpcoch 1 a 2 sú založené na pociťovanej kvalite vzduchu pri vstupe do miestnosti (neadaptované osoby), zatiaľ čo hodnoty v stĺpci 3 sa vzťahujú na adaptované osoby. Zároveň sa v STN EN 16798-1 uvádza aj príklad návrhovej intenzity odsávania vzduchu v závislosti od typu miestnosti a počtu izieb (Tabuľka 7.7).

STN EN 15251 uvádza príklad postupu na výpočet požadovanej intenzity vetrania. Tento postup odporúča vyrátať intenzitu vetrania na základe podlahovej plochy, ako aj na základe počtu užívateľov. Mala by sa použiť vyššia z vyrátaných hodnôt. Potom sa má nastaviť množstvo odsávaného vzduchu z kuchýň, kúpeľní a toaliet podľa toho, že v budove s malou podlahovou plochou je intenzita odsávania nižšia a v rozsiahlejších budovách je intenzita odsávania vyššia. Čerstvý vzduch sa má pritom dodávať najmä do obývacích izieb a spální. Novším predpisom, v ktorom sa uvádzajú príklady návrhu vetrania v budovách na bývanie, je TNI CEN/TR 16798-2. Tento predpis je zameraný najmä na interpretáciu požiadaviek uvedených v STN EN 16798-1. Podľa STN EN 16798-1 a TNI CEN/TR 16798-2 možno vetranie miestností v obytnej budove v princípe navrhnuť v závislosti od toho, z akých komponentov systém pozostáva. Do úvahy sa berú tieto prípady:

- celková výmena vzduchu v budove,
- odsávanie v určitých typoch miestností,
- prívod v určitých typoch miestností,
- návrh vetracích otvorov pre prirodzené vetranie.

Tabuľka 7.6. Požiadavky na prívod vzduchu pre obytné budovy (STN EN 16798-1 – Tabuľka B.11)

| Kat. | Celková dávka vzduchu vrátane infiltrácie<br>(1) |     | Dávka vzduchu na osobu<br>(2) | Dávka vzduchu založená na pocit'ovanej kvalite vzduchu pre neadaptované osoby<br>(3) |                                    |
|------|--------------------------------------------------|-----|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|      | l/(s.m <sup>2</sup> )                            | l/h | l/(s.osoba)                   | od užívateľov<br>l/(s.osoba)                                                         | od budovy<br>l/(s.m <sup>2</sup> ) |
| I    | 0,49                                             | 0,7 | 10                            | 3,5                                                                                  | 0,25                               |
| II   | 0,42                                             | 0,6 | 7                             | 2,5                                                                                  | 0,15                               |
| III  | 0,35                                             | 0,5 | 4                             | 1,5                                                                                  | 0,1                                |
| IV   | 0,23                                             | 0,4 |                               |                                                                                      |                                    |

Tabuľka 7.7. Návrhová intenzita odsávania vzduchu v obytných budovách (STN EN 16798-1 – Tabuľka B.13)

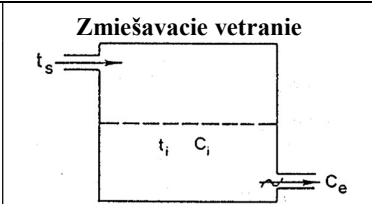
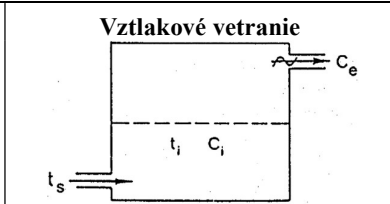
| Počet<br>obytných<br>miestností | Návrhová intenzita odsávania vzduchu (l/s) |                              |                        |                       |                     |
|---------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
|                                 | Kuchyňa                                    | Kúpeľňa s<br>alebo bez<br>WC | Iná vlhká<br>miestnosť | Toalety               |                     |
|                                 |                                            |                              |                        | Jedna v<br>domácnosti | ≥ 2 v<br>domácnosti |
| 1                               | 20                                         | 10                           | 10                     | 10                    | 10                  |
| 2                               | 25                                         | 10                           | 10                     | 10                    | 10                  |
| 3                               | 30                                         | 15                           | 10                     | 10                    | 10                  |
| 4                               | 35                                         | 15                           | 10                     | 15                    | 10                  |
| 5 a viac                        | 40                                         | 15                           | 10                     | 15                    | 10                  |

Treba vziať do úvahy, že uvedené požiadavky na vetranie v predchádzajúcich tabuľkách predpokladajú celkové premiešavanie vzduchu v miestnosti, t. j. koncentrácia znečistenia je rovnaká v zóne pobytu, ako i v mieste odsávania vzduchu. Schopnosť vetracieho systému odstraňovať znečistenie z inhalačnej zóny, resp. schopnosť systému efektívne privádzať čerstvý vzduch do inhalačnej zóny osoby, sa nazýva efektívnosť vetrania. Táto závisí najmä od spôsobu vetrania, konfigurácie výustiek a teplotného rozdielu medzi privádzaným čerstvým vzduchom a vzduchom v miestnosti. Čím je efektívnosť vyššia, tým je vetranie účinnejšie. Na kompletne (ideálne) zmiešavanie vzduchu sa uvažuje s efektívnosťou 1,0. Niektoré systémy, ako napr. vztlačové vetranie, môžu viesť k efektívnosti vyššej ako 1,0. Na druhej strane, pri nevhodnom návrhu či prevádzke môže dôjsť k tzv. skrátenému prúdeniu, keď časť čerstvého vzduchu sa odsáva bez toho, aby sa tento vzduch dostal do inhalačnej zóny. V takom prípade je efektívnosť vetrania nižšia ako 1,0 a treba privádzať viac čerstvého vzduchu. Príklady závislosti



efektívnosti vetrania od typu vetracieho systému, konfigurácie výustiek a rozdielu teploty medzi privádzaným vzduchom a vzduchom v miestnosti sú v Tabuľke 7.8.

Tabuľka 7.8. Príklady efektívnosti vetrania pre priestory vetrané rôznymi spôsobmi (CEN CR 1752 – Tabuľka F.1)

| Zmiešavacie vetranie                                                              |                      | Zmiešavacie vetranie                                                              |                      | Vztlakové vetranie                                                                 |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|  |                      |  |                      |  |                      |
| Teplotný rozdiel medzi privádzaným a inhalovaným vzduchom<br>$t_s - t_i$<br>(°C)  | Efektívnosť vetrania | Teplotný rozdiel medzi privádzaným a inhalovaným vzduchom<br>$t_s - t_i$<br>(°C)  | Efektívnosť vetrania | Teplotný rozdiel medzi privádzaným a inhalovaným vzduchom<br>$t_s - t_i$<br>(°C)   | Efektívnosť vetrania |
| < 0                                                                               | 0,9 – 1,0            | < -5                                                                              | 0,9                  | < 0                                                                                | 1,2 – 1,4            |
| 0 – 2                                                                             | 0,9                  | -5 – 0                                                                            | 0,9 – 1,0            | 0 – 2                                                                              | 0,7 – 0,9            |
| 2 – 5                                                                             | 0,8                  | > 0                                                                               | 1,0                  | > 2                                                                                | 0,2 – 0,7            |
| > 5                                                                               | 0,4 – 0,7            |                                                                                   |                      |                                                                                    |                      |

### 7.2.3 Opis priestoru a umiestnenie snímačov

Koncentráciu CO<sub>2</sub> možno využiť na výpočet intenzity vetrania, a to pomocou bilančnej rovnice z klesajúcej alebo stúpajúcej krivky koncentrácie. Klesajúcu koncentráciu možno namerať napríklad v priestoroch s pobytom ľudí potom, keď osoby miestnosť opustia. Takýto prípad môže nastať napríklad v spálni keď človek odíde ráno do práce alebo v knižnici po skončení otváracích hodín. Rovnomerne stúpajúcu koncentráciu možno namerať napríklad v spálni, keď aktivita človeka je počas niekoľkých hodín rovnomerná a osoba vydychuje konštantnú dávku CO<sub>2</sub>. V rámci zadania zaznamená študent, resp. skupina študentov, vo vybranom priestore koncentráciu CO<sub>2</sub>. Možno využiť aj údaje namerané v rámci predchádzajúceho zadania.

V nižšie uvedenom príklade sa na ilustráciu použijú merania koncentrácie CO<sub>2</sub> v kancelárii. Pôdorys kancelárie so základnými kótami je na Obr. 6.4. Kancelária má podlahovú plochu približne 17 m<sup>2</sup> a svetlú výšku 2,8 m. Parametre vnútorného prostredia sa merali a ukladali pomocou prenosného záznamníka teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti a koncentrácie CO<sub>2</sub>.

### 7.2.4 Princíp výpočtu intenzity vetrania metódou klesajúcej koncentrácie

Pri meraniach koncentrácie CO<sub>2</sub> na účely výpočtu intenzity vetrania musia byť splnené určité podmienky. Pri vypracovávaní zadania budeme predpokladať, že všetky potrebné podmienky sú splnené. Sú to napríklad tieto podmienky (Persily, 1997; ASTM E741, 2006):

- Monitorovaný priestor si vymieňa vzduch len s vonkajším prostredím, teda koncentrácia CO<sub>2</sub> v priestore je ovplyvnená len vonkajšou koncentráciou. Nedochádza k primiešavaniu stopovacieho plynu z odvádzaného vzduchu do infiltrovaného vzduchu, ani v miestnosti nevznikajú zóny so stagnujúcim vzduchom.
- Koncentrácia CO<sub>2</sub> v monitorovanom priestore je rovnomerná. Koncentrácia v rôznych bodoch sa od priemernej hodnoty líši o menej ako 10 %. Táto požiadavka sa vzťahuje na rozdiel medzi vnútornou a vonkajšou koncentráciou.
- V monitorovanom priestore sa nenachádzajú žiadne osoby v prípade, ak sa intenzita vetrania počíta z klesajúcej krivky. Obsadenosť priestoru nemá presiahnuť 1000 m<sup>2</sup> na osobu.

Podrobnosti ohľadom odvodenia rovnice zachovania hmoty, ktorá je základom na výpočet intenzity vetrania, sú v literatúre, napríklad Eheridge a Sandberg (1996) či Laussmann a Helm (2011). Rovnicu možno formulovať takto:

$$\frac{V_R \cdot dC_i(t)}{dt} = -C_i \cdot Q + C_a \cdot Q + E \quad (\text{kg/s}) \quad (7.1)$$

kde  $V_R$  je objem miestnosti (m<sup>3</sup>);  $C_a$  je koncentrácia CO<sub>2</sub> vo vonkajšom prostredí (kg/m<sup>3</sup>);  $C_i$  je koncentrácia CO<sub>2</sub> vnútri (kg/m<sup>3</sup>);  $Q$  je množstvo vzduchu vymieňaného medzi interiérom a exteriérom (m<sup>3</sup>/s);  $E$  je množstvo CO<sub>2</sub> emitované za jednotku času (m<sup>3</sup>/s);  $t$  je uplynutý čas (s).

Integrovaním, preskúpením a rozšírením vyššie uvedených premenných vznikne rovnica, ktorá slúži ako základ na výpočet intenzity vetrania:

$$C_i(t) = (C_0 - C_a) \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} + C_a + \frac{E \cdot 10^3}{\lambda \cdot V_R} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t}) \quad (7.2)$$

kde  $C_i$  je koncentrácia  $\text{CO}_2$  vo vnútri (ppm);  $C_0$  je koncentrácia  $\text{CO}_2$  na začiatku merania (ppm);  $C_a$  je koncentrácia  $\text{CO}_2$  vonku (ppm);  $\lambda$  je intenzita vetrania (1/h);  $E$  je množstvo  $\text{CO}_2$  emitované do priestoru za jednotku času (l/h);  $V_R$  je objem miestnosti ( $\text{m}^3$ );  $t$  je čas uplynutý od začiatku merania (h).

Pomocou rovnice 7.2 možno vypočítať intenzitu vetrania zo stúpajúcej koncentrácie  $\text{CO}_2$  (metóda stúpajúcej koncentrácie). Pri tejto metóde objem miestnosti  $V_R$ , koncentráciu  $\text{CO}_2$  vonku  $C_a$ , koncentráciu  $\text{CO}_2$  na začiatku merania  $C_0$  a čas  $t$  poznáme. Pri výpočte intenzity vetrania zo stúpajúcej koncentrácie treba poznať množstvo  $\text{CO}_2$  emitované do priestoru, teda koľko  $\text{CO}_2$  vydychujú užívatelia v čase merania. Množstvo  $\text{CO}_2$  emitovaného užívateľmi možno odhadnúť takto (Persily, 1997; ASHRAE, 2013):

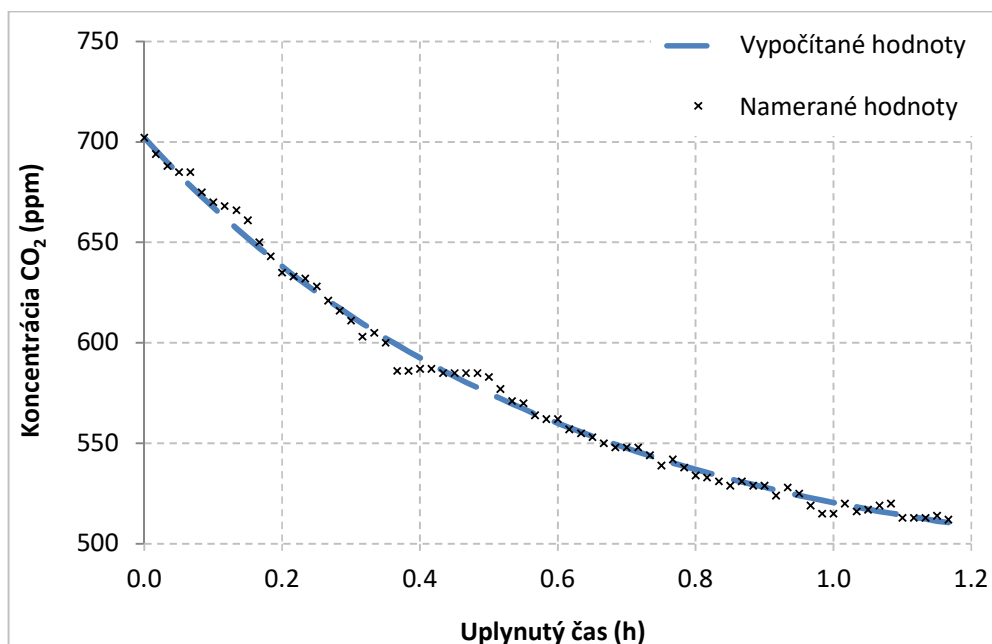
$$E = \frac{RQ \cdot 0.00276 \cdot 0.203H^{0.725} \cdot W^{0.425}}{0.23RQ + 0.77} \cdot 3600 \quad (\text{l/h}) \quad (7.3)$$

kde  $RQ$  je respiračný koeficient, t. j. pomer objemového množstva produkovaného  $\text{CO}_2$  k množstvu skonzumovaného kyslíka. Hodnota  $RQ$  závisí od životosprávy, úrovne fyzickej aktivity, či zdravotného stavu a rovná sa 0,83 pre dospelého človeka priemernej výšky a váhy vykonávajúceho ľahkú sedavú aktivitu;  $M$  je úroveň metabolizmu (met);  $H$  je výška osoby (m);  $W$  je hmotnosť osoby (kg).

V prípade, ak sa na výpočet intenzity vetrania použije metóda klesajúcej koncentrácie, teda keď ľudia počas merania nie sú v monitorovanom priestore prítomní, množstvo  $\text{CO}_2$  emitované do priestoru je nulové. V takom prípade sa celý člen rovnice, ktorý obsahuje množstvo vydychovaného  $\text{CO}_2$ , rovná nule a rovnicu 1 možno zjednodušiť takto:

$$C_i(t) = (C_0 - C_a) \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} + C_a \quad (7.4)$$

Intenzita vetrania ( $\lambda$ ) sa v tomto prípade vypočíta iteratívne. To znamená, že intenzita vetrania ( $\lambda$ ) sa nastaví tak, aby výsledná koncentrácia  $C_i$  (modrá čiarkovaná čiara na Obr. 7.6) čo najlepšie zodpovedala nameranej koncentrácii (krížiky na Obr. 7.6). Hľadaná intenzita vetrania ( $\lambda$ ) je tá, pri ktorej vypočítaná koncentrácia najlepšie zodpovedá nameraným hodnotám.

Obr. 7.6. Vypočítaná koncentrácia CO<sub>2</sub> verzus namerané hodnoty

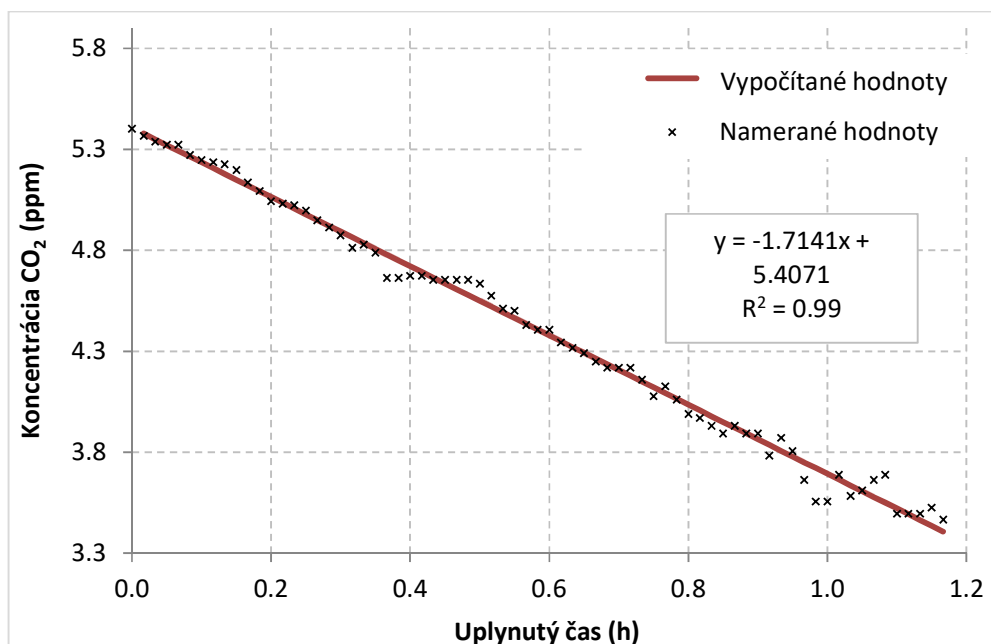
Jednoduchší a priamočiarejší výpočet možno dosiahnuť, keď sa rovnica 7.4 upraví do logaritmického tvaru:

$$\ln(C(t) - C_a) = -\lambda \cdot t + \ln(C_0 - C_a) \quad (7.5)$$

Takáto forma rovnice zodpovedá vzťahu:

$$Y = a \cdot X + b \quad (7.6)$$

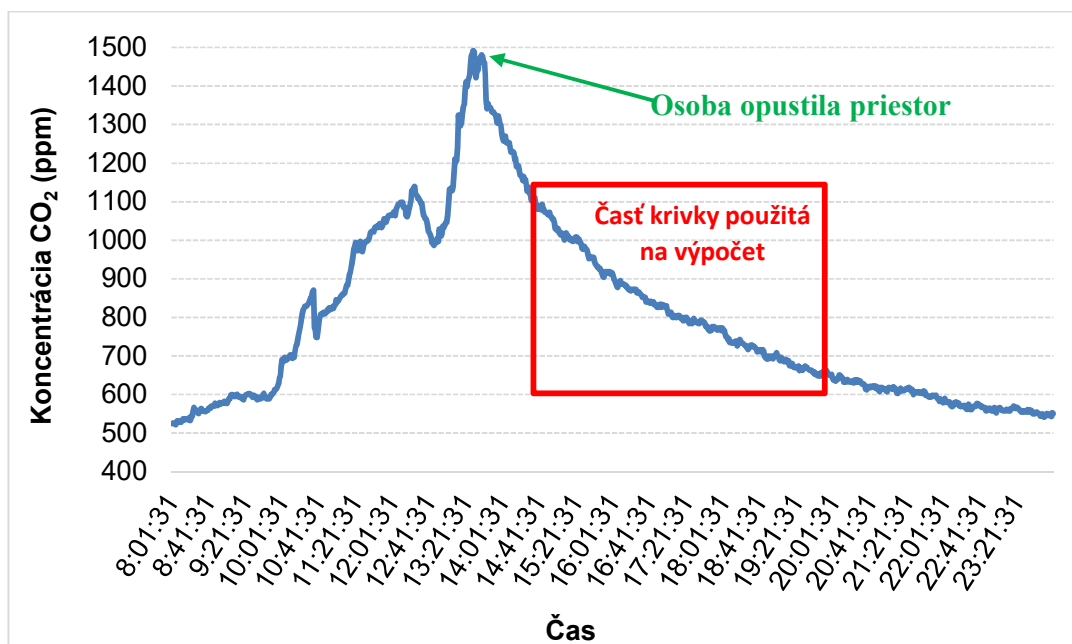
kde  $-\lambda$  zodpovedá konštante  $a$ ,  $\ln(C_0 - C_a)$  zodpovedá konštante  $b$ ,  $\ln(C(t) - C_a)$  zodpovedá premennej  $Y$ , a  $t$  zodpovedá premennej  $X$ . Príklad takejto lineárnej formy je na Obr. 7.7 spolu s koeficientom determinácie  $R^2$ . Koeficient determinácie  $R^2$  vyjadruje závislosť medzi skonštruovanou úsečkou a nameranými údajmi.  $R^2$  rovný 1 znamená, že medzi skonštruovanou priamkou a nameranými údajmi nie je žiadny rozdiel, čo by bol ideálny prípad. Vzhľadom na to, že  $-\lambda$  zodpovedá konštante  $a$ , z Obr. 7.7 vyplýva, že intenzita výmeny vzduchu  $\lambda = 1,7$  1/h. Hoci súčasťou výpočtu by malo byť aj stanovenie chyby výpočtu, týmto sa v zadaní nebudeme zaoberať.

Obr. 7.7. Pokles koncentrácie CO<sub>2</sub> v logaritmickej forme

### 7.2.5 Postup stanovenia intenzity vetrania z nameraných údajov

Postup stanovenia intenzity vetrania je v nasledujúcom texte stručne zhrnutý do niekoľkých krokov:

**Krok 1** – Výber úseku krivky vhodnej na výpočet intenzity vetrania. Z nameraných údajov vyberieme vhodnú krivku klesajúcej koncentrácie. Takúto krivku možno v grafe nájsť pre obytné budovy ráno, keď užívatelia opustia priestor a idú do práce či do školy. Naopak, v kanceláriách je takáto krivka obvyklá poobede, keď zamestnanci odídu z práce. Príklad priebehu koncentrácie CO<sub>2</sub> v miestnosti je na Obr. 7.8. V tomto konkrétnom prípade bola osoba v miestnosti do poobedia, pričom počas jej prítomnosti koncentrácia CO<sub>2</sub> stúpala. Osoba priestor opustila poobede, vzápätí koncentrácia začala klesať. Počas celej doby poklesu boli okná i dvere zatvorené. Časť krivky použitá na výpočet intenzity vetrania je vyznačená na Obr. 7.8. v červenom rámmiku.



Obr. 7.8. Pribeh koncentrácie CO<sub>2</sub> v monitorovanej miestnosti počas vybraného dňa

**Krok 2** – Prilepenie podrobných údajov pre časť krivky použitej na výpočet intenzity vetrania na samostatný excelovský hárok (Obr. 7.9). Čas, ktorý uplynul od začiatku merania, treba previesť na hodiny (stĺpec C). To možno spraviť pomocou vzorca na Obr. 7.9. Okrem nameranej koncentrácie CO<sub>2</sub> vnútri (stĺpec D) treba monitorovať aj vonkajšiu koncentráciu (bunka C2). Vzhľadom na to, že vonkajšia koncentrácia sa v tomto prípade nemonitorovala, koncentrácia vonku sa odhadla a použila sa jedna priemerná hodnota. Typická hodnota v meste sa môže pohybovať v intervale 400 až 500 ppm. V tomto návode sa použila hodnota 450 ppm.

|    |   |                     |                                               |            |            |
|----|---|---------------------|-----------------------------------------------|------------|------------|
| C6 |   |                     | <div>=IF(B6=0;"";((B6-\$B\$6)*1440)/60)</div> | VZOR       |            |
|    | A | B                   | C                                             | D          | E          |
| 1  |   |                     |                                               |            |            |
| 2  |   | CO2 vonku           | 450                                           | ppm        |            |
| 3  |   |                     |                                               |            |            |
| 4  |   | Časová os           | Uplynutý čas                                  | CO2 vnútri | ln (Ci-C0) |
| 5  |   | dátum, čas          | h                                             | ppm        | ppm        |
| 6  |   | 02/03/2014 14:56:31 | 0,00                                          | 1098       | 6,4738907  |
| 7  |   | 02/03/2014 14:57:31 | 0,02                                          | 1081       | 6,44730586 |
| 8  |   | 02/03/2014 14:58:31 | 0,03                                          | 1080       | 6,44571982 |
| 9  |   | 02/03/2014 14:59:31 | 0,05                                          | 1076       | 6,43935037 |
| 10 |   | 02/03/2014 15:00:31 | 0,07                                          | 1081       | 6,44730586 |
| 11 |   | 02/03/2014 15:01:31 | 0,08                                          | 1076       | 6,43935037 |
| 12 |   | 02/03/2014 15:02:31 | 0,10                                          | 1068       | 6,42648846 |
| 13 |   | 02/03/2014 15:03:31 | 0,12                                          | 1064       | 6,41999493 |
| 14 |   | 02/03/2014 15:04:31 | 0,13                                          | 1064       | 6,41999493 |
| 15 |   | 02/03/2014 15:05:31 | 0,15                                          | 1068       | 6,42648846 |
| 16 |   | 02/03/2014 15:06:31 | 0,17                                          | 1061       | 6,41509696 |
| 17 |   | 02/03/2014 15:07:31 | 0,18                                          | 1051       | 6,39859493 |
| 18 |   | 02/03/2014 15:08:31 | 0,20                                          | 1060       | 6,41345896 |
| 19 |   | 02/03/2014 15:09:31 | 0,22                                          | 1069       | 6,42810527 |

Obr. 7.9. Nameraná koncentrácia CO<sub>2</sub> a prevod uplynutého času na hodiny

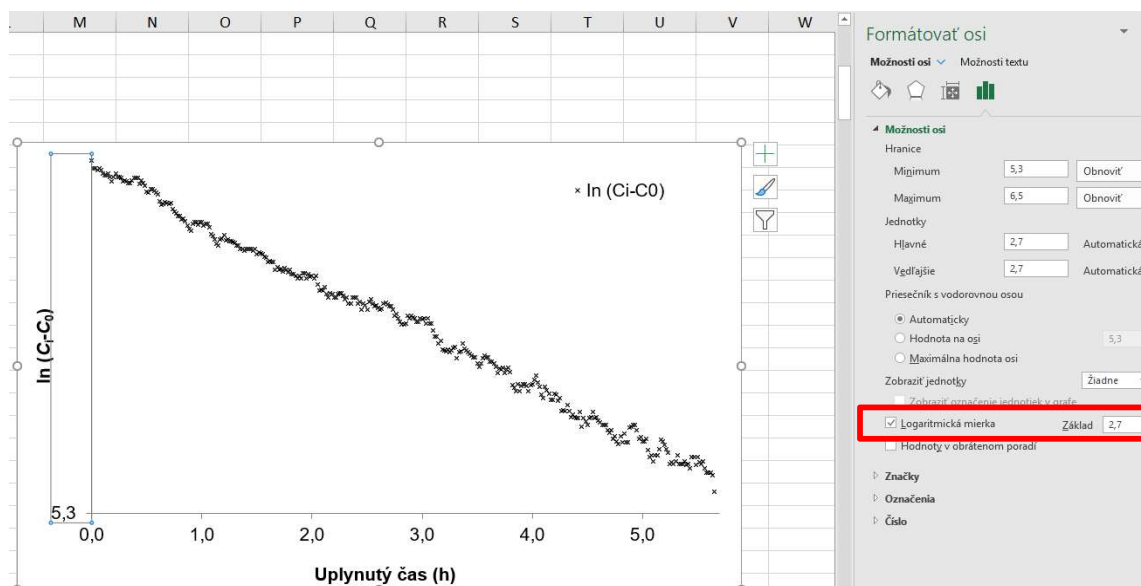
**Krok 3** – Výpočet rozdielu medzi koncentráciou vnútri ( $C_i$ ) a koncentráciou na začiatku merania ( $C_0$ ) a prevedenie tohto rozdielu na logaritmický tvar  $\ln(C_i - C_0)$  (Obr. 7.10, stĺpec E). Rozdiel možno previesť na logaritmický tvar pomocou funkcie LN – pozri vzorec na Obr. 7.10.

|    |   |                     |                       |                   |                   |
|----|---|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| E6 |   |                     | <b>=LN(D6-\$C\$2)</b> | <b>VZOR</b>       |                   |
|    | A | B                   | C                     | D                 | E                 |
| 2  |   | <b>CO2 vonku</b>    | 450                   | ppm               |                   |
| 3  |   |                     |                       |                   |                   |
| 4  |   | <b>Časová os</b>    | <b>Uplynutý čas</b>   | <b>CO2 vnútri</b> | <b>ln (Ci-C0)</b> |
| 5  |   | dátum, čas          | h                     | ppm               | ppm               |
| 6  |   | 02/03/2014 14:56:31 | 0,00                  | 1098              | 6,4738907         |
| 7  |   | 02/03/2014 14:57:31 | 0,02                  | 1081              | 6,44730586        |
| 8  |   | 02/03/2014 14:58:31 | 0,03                  | 1080              | 6,44571982        |
| 9  |   | 02/03/2014 14:59:31 | 0,05                  | 1076              | 6,43935037        |
| 10 |   | 02/03/2014 15:00:31 | 0,07                  | 1081              | 6,44730586        |
| 11 |   | 02/03/2014 15:01:31 | 0,08                  | 1076              | 6,43935037        |
| 12 |   | 02/03/2014 15:02:31 | 0,10                  | 1068              | 6,42648846        |
| 13 |   | 02/03/2014 15:03:31 | 0,12                  | 1064              | 6,41999493        |
| 14 |   | 02/03/2014 15:04:31 | 0,13                  | 1064              | 6,41999493        |
| 15 |   | 02/03/2014 15:05:31 | 0,15                  | 1068              | 6,42648846        |
| 16 |   | 02/03/2014 15:06:31 | 0,17                  | 1061              | 6,41509696        |
| 17 |   | 02/03/2014 15:07:31 | 0,18                  | 1051              | 6,39859493        |
| 18 |   | 02/03/2014 15:08:31 | 0,20                  | 1060              | 6,41345896        |
| 19 |   | 02/03/2014 15:09:31 | 0,22                  | 1069              | 6,42810527        |

Obr. 7.10. Prevedenie rozdielu medzi koncentráciou CO<sub>2</sub> vnútri a koncentráciou na začiatku merania na logaritmický tvar

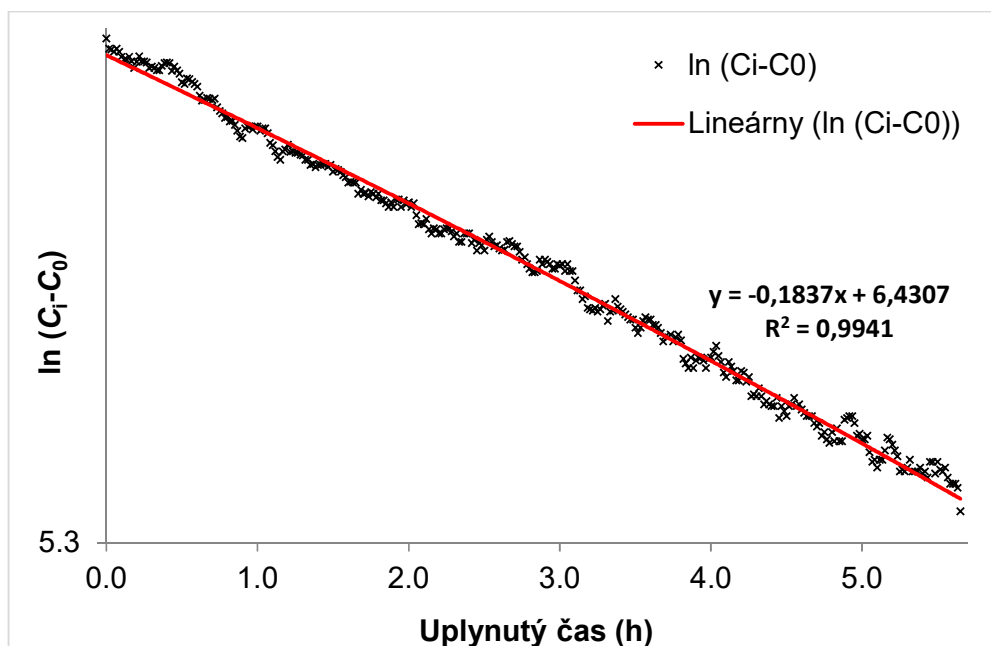
**Krok 4** – Vynesenie logaritmickkej funkcie do grafu. Po vynesení údajov do grafu treba zmeniť mierku y-ovej osi na logaritmickú. Ako základ logaritmu treba zadať hodnotu 2,7, t.j. prirodzený logaritmus ln (Obr. 7.11). V prípade, ak sa dodržali zásady merania opísané v 7.2.4 a krivka je vhodná na stanovenie intenzity vetrania, namerané údaje v logaritmickom tvare majú mať aspoň približne tvar priamky, ako napríklad na Obr. 7.11. V prípade, ak sa takúto krivku nepodarilo zaznamenať a údaje sú príliš rozptýlené, takisto ich možno použiť na účely zadania. V takom prípade však bude výsledok skreslený.





Obr. 7.11. Vynesenie údajov do grafu a zmena mierky y-ovej osi na logaritmickú

**Krok 5** – Zobrazenie trendovej čiary s rovnicou. Trendová čiara sa v MS Excel vytvorí automaticky a predstavuje takú priamku, pre ktorú je rozdiel medzi samotnou priamkou a nameranými údajmi najmenší (Obr. 7.12). Na zobrazenie lineárnej trendovej čiary treba kliknúť na namerané údaje pravým tlačidlom myši a zvoliť „Pridať trendovú spojnicu“. Zároveň s trendovou čiarou zobrazíme rovnicu priamky a koeficient determinácie  $R^2$ . To možno urobiť zakliknutím príslušných možností na formátovacom paneli v MS Excel.



Obr. 7.12. Vynesenie údajov v logaritmickej tvare a lineárna trendová čiara

**Krok 6** – Stanovenie intenzity vetrania z rovnice trendovej čiary. Ako sa uvádza v 7.2.4, v rovnici 7.6 výraz  $-\lambda$ , ktorý označuje intenzitu vetrania, zodpovedá konštante  $a$  v rovnici trendovej čiary. Z Obr. 7.12 vidieť, že v tomto prípade je rovnica trendovej čiary:

$$y = -0,1837x + 6,4307$$

Z toho vyplýva, že intenzita vetrania  $\lambda$  sa rovná 0,18 1/h. Treba upozorniť, že výpočet uvedený v tomto návode je pomerne zjednodušený najmä preto, že sa podrobne nemonitorovala koncentrácia  $\text{CO}_2$  vonku a preto, že by sa mala stanoviť aj chyba výpočtu (nie je predmetom tohto zadania). Okrem toho, stanovená hodnota intenzity vetrania sa vzťahuje na jednu konkrétnu situáciu a nemali by sme ju vzťahovať na dlhšie obdobie a na okrajové podmienky odlišné od tých, pri ktorých bola nameraná. Na získanie presnejšej informácie o intenzite vetrania by bolo treba spraviť viac meraní počas dlhšieho obdobia a sledovať okrajové podmienky (otvorenie okien, dverí, tlak vetra na fasádu a pod.)

### 7.2.6 Výsledky

Výsledky majú obsahovať grafy a printscreeny ako v 7.2.5, teda Obr. 7.8 až 7.12. Finálnym výsledkom je vypočítaná dávka vzduchu, ktorú treba porovnať s požadovanou dávkou hodnotou. Pri vyhodnocovaní a diskusii výsledkov si treba uvedomiť, že ide o výpočet bez odhadnutia neistoty merania. Zároveň ide len o jeden deň, resp. časť dňa a výsledok nemožno zovšeobecniť na dlhšie obdobie. Na to by bolo treba vyhodnocovať intenzitu vetrania dlhodobejšie a zároveň sledovať okrajové podmienky.

### 7.2.7 Protokol z merania

Výsledkom je protokol z merania, ktorý má presne stanovenú štruktúru a obsah. Nižšie je uvedená požadovaná štruktúra protokolu so stručným opisom, čo majú jednotlivé kapitoly obsahovať:

- **Titulná strana.** Obsahuje identifikačnú tabuľku obsahujúcu číslo a názov experimentálneho merania (zadania), meno študenta a pedagóga, dátum a čas konania merania. Vzor tabuľky je uvedený v 3.1.2. Za tabuľkou pokračujú ďalšie body protokolu.
- **Úvod.** Motivácia experimentálneho hodnotenia intenzity vetrania. Ciele merania.
- **Metodika.** Opis hodnoteného priestoru. Pomôcky – opis použitej meracej techniky, umiestnenie záznamníka koncentrácie CO<sub>2</sub>. Postup merania – napr. čas merania, časový krok merania, opis zberu a spracovania údajov a pod. Požiadavky na výmenu vzduchu. Má obsahovať aj postup výpočtu, teda znázornenie časti krivky použitej na výpočet, ako aj princíp výpočtu.
- **Výsledky.** Výstupy z merania spracované v predpísanej forme. Výsledky majú obsahovať intenzitu vetrania v miestnosti a jej porovnanie s požiadavkami na vetranie priestoru podľa 7.2.6.
- **Diskusie.** Interpretácia výsledkov. Porovnanie výsledkov s tabuľkovými alebo z literatúry známymi hodnotami. Identifikácia možných zdrojov nepresností. Uvedenie možných príčin prípadnej nízkej intenzity vetrania. Ak je to vhodné, možno výsledky a diskusiu spojiť do jednej kapitoly.

- **Záver.** Súvislý text v rozsahu niekoľko riadkov. Má obsahovať celkové zhodnotenie intenzity vetrania vychádzajúce z výsledkov a diskusie, prípadne aj návrhy na zlepšenie.
- **Literatúra.** Zoznam použitých dokumentov. Musí obsahovať minimálne predpisy a technické normy, podľa ktorých sa stanovila predpísaná dávka vzduchu. Treba uviesť celé názvy dokumentov, nie len čísla.
- **Podiel na vypracovaní protokolu.** V prípade, že sa na meraní a vypracovaní protokolu podieľalo viacero študentov, treba uviesť podiel práce každého zo študentov.
- **Podpisy.** Podpísať pod vypracovaný protokol sa majú študenti, ktorí ho vypracovali, ako aj pedagóg, ktorý týmto potvrdzuje akceptovanie protokolu.

## 8 EXPERIMENTÁLNE MERANIA POTRUBNEJ SIETE

Kvalita vnútorného vzduchu je z hľadiska dlhodobého zdravia človeka veľmi dôležitá, keďže väčšinu svojho času trávi vo vnútornom priestore. Vetranie tu zohráva obzvlášť významnú úlohu, či už v pozícii ojedinelej funkcie alebo ako súčasť čiastočnej či celkovej klimatizácie. Zabezpečenie prívodu dostatočného množstva vonkajšieho čerstvého vzduchu a zároveň odvodu znehodnoteného vnútorného vzduchu škodlivinami sa dá v dostatočnej miere a so splnením požiadaviek na kvalitu vzduchu danými právnymi predpismi len v prípade, že samotná vzduchotechnická sústava je správne vypočítaná, nadimenzovaná a v konečnom dôsledku aj zrealizovaná. Či projektované parametre sústavy zodpovedajú aj reálnym stavom v prevádzke, na to slúžia experimentálne merania potrubnej siete. Ich hlavným cieľom je prostredníctvom meraní rýchlosti prúdenia vzduchu ako v potrubí, tak aj na koncových distribučných prvkoch zistiť, či vzduchotechnickou sústavou je dopravované požadované množstvo vzduchu s ostatnými fyzikálnymi parametrami, ktoré predikujú pre človeka vytvorenie zdravého vnútorného prostredia (Buzková, 2021).

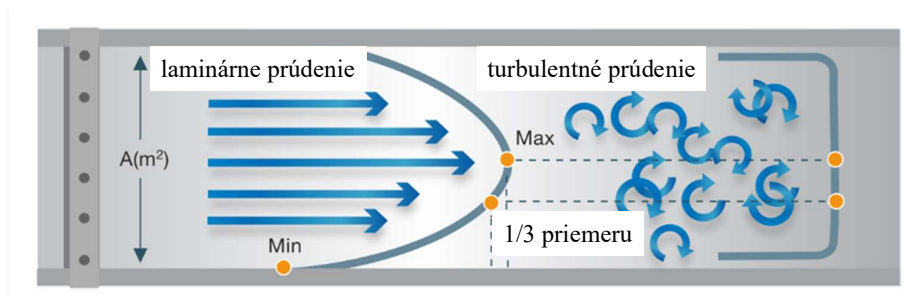
### 8.1 PRÚDENIE VZDUCHU VO VZDUCHOTECHNICKOM POTRUBÍ

Spoločlivé stanovenie rýchlosti prúdenia vzduchu vo vzduchotechnických potrubíach je jedným z najnáročnejších meraní, ktoré technik musí vykonať. V praxi však naráža na niekoľko úskalí. Vzduch, ktorý prúdi potrubím, nemá konštantný rýchlostný profil. Uprostred potrubia prúdi spravidla rýchlejšie než pri potrubných stenách. V týchto miestach vzniká kvôli treniu väčší odpor, čo sa prejavuje nižšími rýchlosťami prúdenia vzduchu oproti stredu potrubia.

Ďalej je nutné zohľadniť, aký typ prúdenia v kanáli prevláda. Rozlišujeme dva základné typy prúdenia vzduchu (Obr. 8.1):

- *Laminárne prúdenie* vzduchu sa vyznačuje parabolickým rýchlostným profilom tvoreným rovnobežnými prúdnicami, medzi ktorými nedochádza k premiešaniu v priečnom smere. V strede kanála nie sú žiadne turbulencie, ani rozdiely maximálnych rýchlostí. Stredná rýchlosť prúdenia je približne v 1/3 priemeru kanála.
- *Turbulentné prúdenie* vzduchu – v tomto spôsobe prúdenia sú rýchlosti do značnej miery totožné naprieč priemerom kanálu, avšak rýchlosti dramaticky klesajú pri jeho

stenách. Prúdnice nemajú konštantný smer, t. j. vzduch sa pohybuje chaoticky a s vysokým stupňom trenia.



Obr. 8.1 Rýchlostné profily pri laminárnom a turbulentnom prúdení vzduchu (Testo, 2021)

Všeobecne platí, že laminárne prúdenie sa vyskytuje pri nižších rýchlostiach a turbulentné prúdenie vzduchu pri vyšších rýchlostiach. Významnú úlohu zohrávajú taktiež parametre vzduchotechnického potrubia a vlastnosti prúdiacej látky (vzduch). Presné určenie druhu prúdenia vzduchu možno stanoviť z výpočtu tzv. Reynoldsovho čísla.

Pri všetkých zmiešaných formách medzi týmito dvomi ideálnymi spôsobmi prúdenia vzduchu dochádza s každým zdrojom rušenia (napr. tlmiče hluku, kolená, klapky, regulátory objemového prietoku atď.) k deformácii rýchlostného profilu v kanáli. V praxi je preto nepostrádateľné tzv. sieťové meranie po celom priereze kanálu pre správne reprodukovanie výsledky merania (Buzková, 2021).

### 8.1.1 Cieľ merania

Cieľom merania je oboznámiť sa so základnými spôsobmi a postupmi merania rýchlosti prúdenia vzduchu nielen v potrubnej sieti, ale aj na koncových vnútorných distribučných prvkoch.

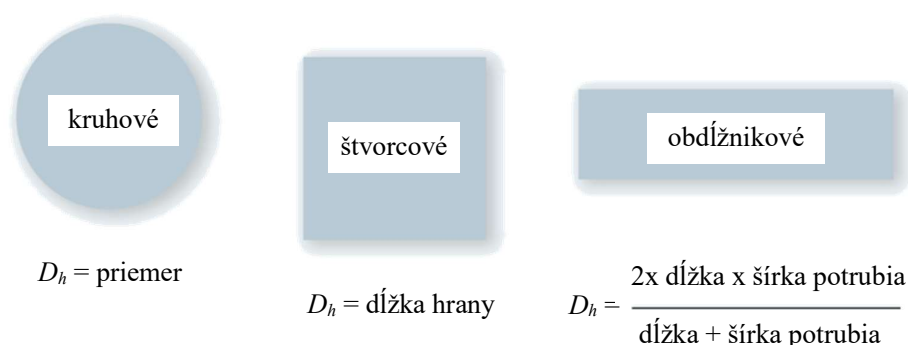
Tieto údaje sú dôležitými vstupnými hodnotami pre ďalšie stanovenie objemových prietokov vzduchu v celej potrubnej sieti, čo v praxi slúži na správne vyregulovanie vzduchotechnickej sústavy.

### 8.1.2 Požiadavky na výber správneho miesta merania

Prítomnosť veľkého množstva vložených prvkov do potrubia, z dôvodu funkčnej, spoľahlivej a bezpečnej prevádzky celej vzduchotechnickej sústavy, bráni vytvoreniu

konzistentného profilu prúdenia. Za nepriaznivých okolností to vedie k tomu, že maximálna rýchlosť prúdenia nie je v strede potrubia, ale je posunutá smerom ku krajom. V horších prípadoch môžu taktiež vzniknúť spätné prúdy alebo naopak oblasti bez prúdenia vzduchu. Je preto dôležité merať v dostatočnej vzdialenosti od zdrojov rušenia.

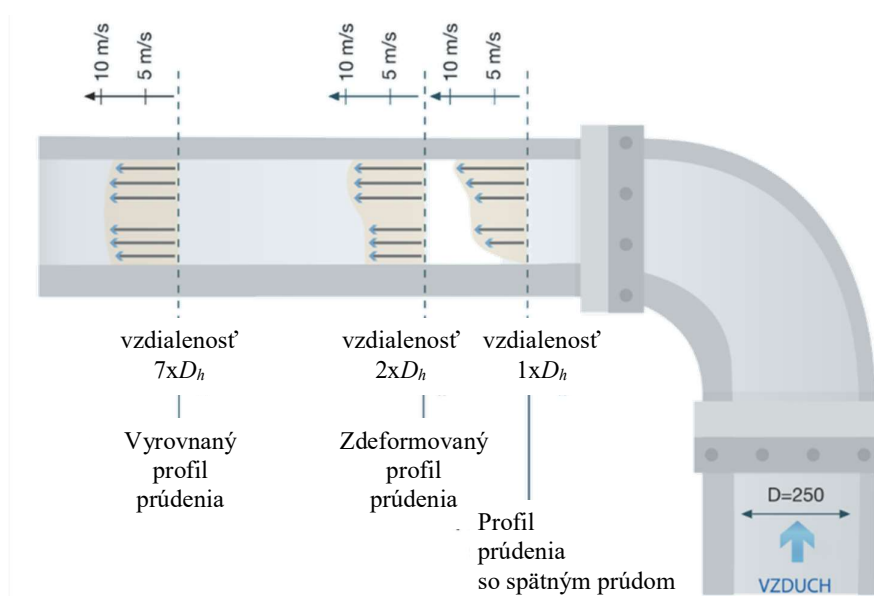
Najprv je potrebné stanoviť hydraulický priemer potrubia  $D_h$  podľa postupu, ktorý je uvedený na Obr. 8.2.



Obr. 8.2 Stanovenie hydraulického priemeru pre rôzne tvary vzduchotechnického potrubia  
(Testo, 2021)

Vhodné meracie miesto sa nachádza v 6 až 7-násobku hodnoty hydraulického priemeru v smere prúdenia vzduchu a v 2-násobku v smere opačnom. Vývoj rýchlostného profilu za zdrojom rušenia je znázornený na Obr. 8.3.

Pokiaľ nie je dostatočne prístupný vhodný úsek na meranie rýchlosti prúdenia vzduchu vo vnútri potrubia, pristupuje sa k meraniu na koncových distribučných prvkoch. Pri nich je ale dôležité uvažovať s tým, že prúdenie môže byť rozvírené. Zároveň je nutné zvoliť vhodný postup merania so zanedbateľnou tlakovou stratou, tzn. zvoliť taký merací prístroj a metódu, ktorá nebude viesť k nežiadúcemu skresleniu nameraných hodnôt. Technická norma STN EN 12599:2013 odporúča použitie meracích nadstavcov (Obr. 8.4) so zabudovaným anemometrickým snímačom s veľkým voľným prierezom na zabezpečenie minimálnej tlakovej straty (Buzková, 2021).



Obr. 8.3 Znáznornenie ustálenia rýchlostného profilu za zdrojom rušenia (tvarovka – koleno) v závislosti na vzdialenosti od zdroja vyjadrené v násobkoch hydraulického priemeru  $D_h$  (Testo, 2021)

Zvláštny dôraz by sa mal klásť na tesnosť v priebehu merania a na dostatočný časový priestor pre ustálenie prúdenia vzduchu pred zahájením samotného merania.



Obr. 8.4 Merací nadstavec na meranie na distribučných prvkoch (Testo, 2021)  
 a) nadstavec pre tanierový ventil (kruhový prierez)  
 b) nadstavec pre výustku (hranatý prierez)

### 8.1.3 Meracie prístroje a metodika merania rýchlosti prúdenia vzduchu v potrubí

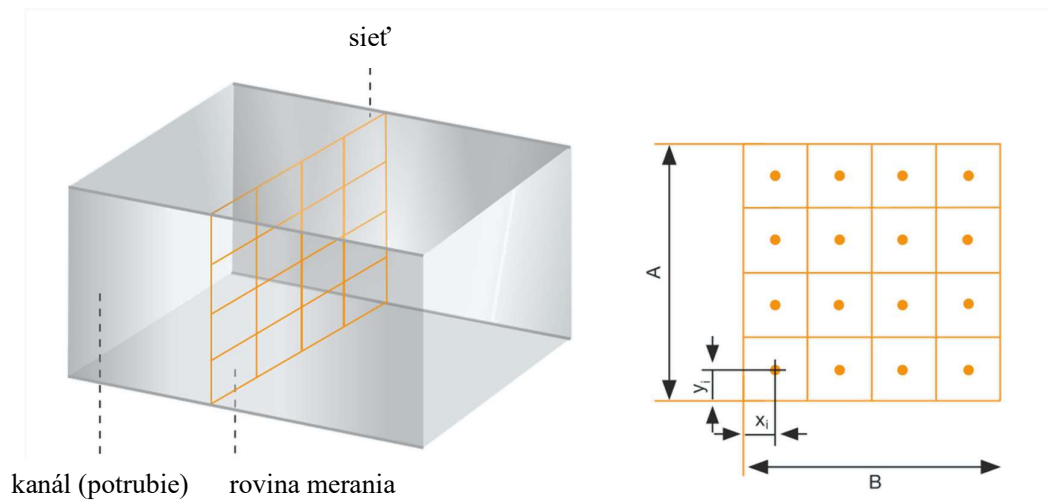
Pri výbere vhodných meracích prístrojov je potrebné zohľadniť, na akú aplikáciu bude prístroj použitý. Na meranie rýchlosti prúdenia vzduchu máme na výber medzi termoanemometrom (sondy s rozžhaveným drôtikom), lopatkovým anemometrom



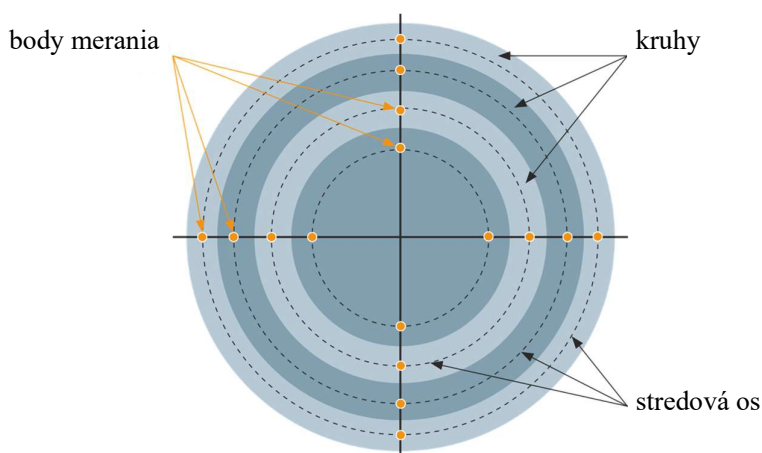
a Prandtlovou sondou, prípadne prístrojom na meranie diferenčného tlaku. Na meranie nízkych rýchlostí sa odporúča požiť výhradne termoanemometer, naopak v prípade merania vysokých rýchlostí je vhodná Prandtlova trubica. Lopatkové anemometre sa používajú najčastejšie s rôznymi rozsahmi merania rýchlosti prúdenia vzduchu.

Stanovenie objemového prietoku vzduchu v potrubí sa vykonáva podľa štandardných postupov. Okrem technickej normy STN EN 12599:2013 existujú taktiež ďalšie predpisy ako STN EN 16211:2015 alebo ASHRAE 111:2008 (RA 2017). Princíp týchto metód spočíva vo vytvorení meracích bodov v priečnom priereze vzduchotechnického potrubia v závislosti od jeho veľkosti v súlade s definovanými špecifikáciami, ktoré sa líšia pri hranatých a kruhových potrubíach a ďalším spriemerovaním nameraných hodnôt v daných bodoch.

Postup merania: Najprv musí byť dodržaná dostatočná vzdialenosť od zdroja rušenia. Čím bližšie meriame pri zdroji rušenia, tým viac musí byť sieť meracích bodov zahustená. Na potrubia hranatého (obdĺžnikového či štvorcového prierezu) sa používa triviálna metóda, pri ktorej je prietoková plocha rozdelená na pravidelnú sieť meracích bodov (Obr. 8.5).



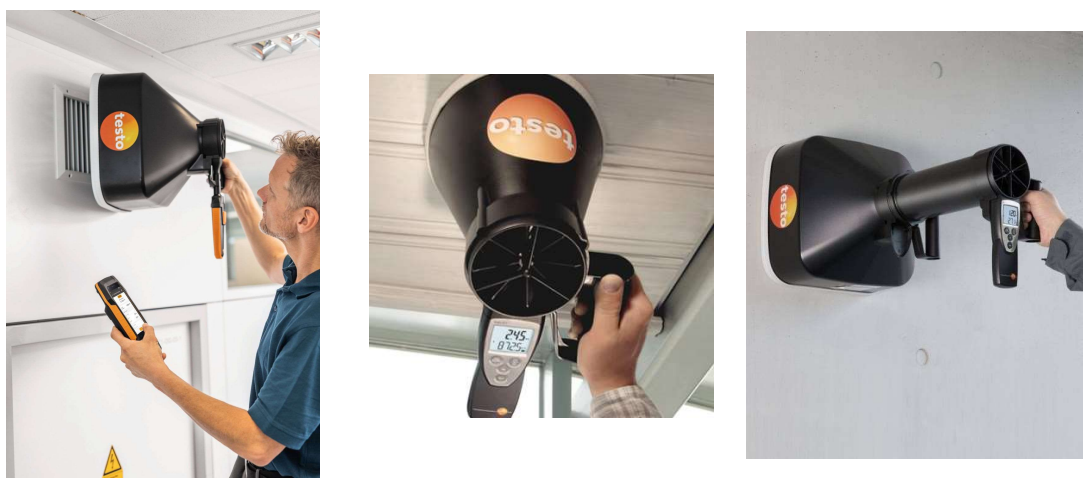
Obr. 8.5 Rozdelenie prierezu vzduchotechnického hranatého potrubia na sieť bodov (Testo, 2021)  
Pre potrubia kruhového prierezu sa vytvorí meracia sieť podľa metódy stredovej osi (Obr. 8.6).



Obr. 8.6 Rozdelenie prierezu vzduchotechnického kruhového potrubia na sieť bodov (Testo, 2021)

#### 8.1.4 Metodika merania rýchlosti prúdenia vzduchu na distribučných prvkoch

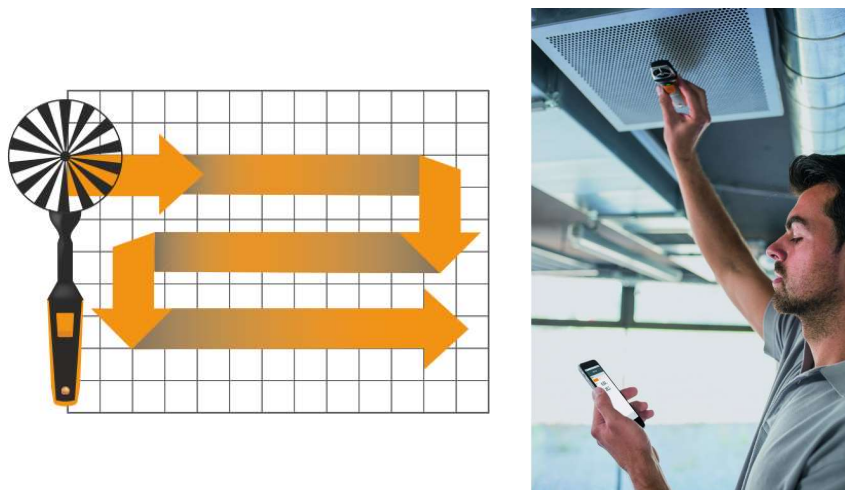
Meranie na výstkách sa odporúča realizovať primárne za použitia anemometra s vhodným meracím nástavcom (Obr. 8.7).



Obr. 8.7 Ukážky z meraní rýchlosti prúdenia vzduchu pomocou meracích nadstavcov (Testo, 2020)

Pokiaľ má však distribučný prvok atypické, či príliš veľké rozmery, je nutné najprv zistiť časovú strednú rýchlosť prúdenia vzduchu, pretože na výstkách vplyvom vetracej mriežky a trenia pri stenách rýchlosť nie je konštantná. Na dosiahnutie čo najpresnejšej hodnoty rýchlosti, prípadne výslednej hodnoty objemového prietoku vzduchu, je nutné vykonávať meranie na výstke systematickým pohybom s anemometrom po celej ploche vetracej mriežky

(Obr. 8.8). Počas merania sa uistite, že neblokujete výustku vašim telom, aby nedochádzalo k zmenám rýchlosti. Anemometer je potrebné držať približne 5 cm nad povrchom mriežky (Buzková, 2021).



Obr. 8.8 Schéma merania časovej strednej hodnoty rýchlosti prúdenia vzduchu na výustke pomocou lopatkového anemometra (Testo, 2021)

### 8.1.5 Princíp výpočtu objemového prietoku vzduchu

Z hodnôt rýchlostí prúdenia vzduchu nameraných v jednotlivých bodoch siete sa vypočíta priemerná rýchlosť. Podľa nasledujúceho vzorca sa určí objemový prietok vzduchu potrubím:

$$V = A \cdot \bar{v} \cdot 3600 \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (8.1)$$

kde:

$V$  je objemový prietok vzduchu ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),

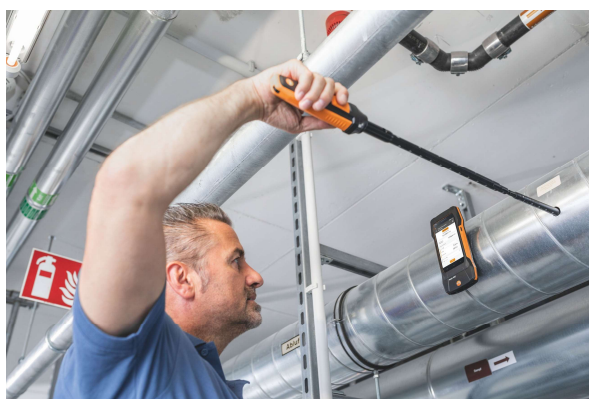
$A$  – plocha prierezu potrubia ( $\text{m}^2$ ),

$\bar{v}$  – priemerná rýchlosť prúdenia vzduchu ( $\text{m}/\text{s}$ ),

3600 – prevod mernej jednotky z ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) na ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

### 8.1.6 Výsledky

Na cvičení každý študent alebo skupina študentov uskutoční merania pomocou zapožičaných meracích prístrojov. Pomocou nich študenti vykonajú merania rýchlosti prúdenia vzduchu vo vhodne zvolených miestach v potrubí, ako aj na rôznych typoch distribučných prvkov (Obr. 8.9).



Obr. 8.9 Meranie rýchlosti prúdenia vzduchu v potrubí a na distribučnom prvku (Testo, 2021)

Z nameraných hodnôt stanovia v každom meranom profile priemernú hodnotu rýchlosti prúdenia vzduchu. Na základe tejto hodnoty a na základe známej hodnoty prierezového rozmeru potrubia vypočítajú objemové prietoky vzduchu v celej zostave potrubnej siete.

### 8.1.7 Protokol z merania

Výsledkom z merania je protokol z merania, ktorý má presne stanovenú štruktúru a obsah. Nižšie je uvedená požadovaná štruktúra protokolu so stručným opisom, čo majú jednotlivé kapitoly obsahovať:

- **Titulná strana.** Obsahuje identifikačnú tabuľku obsahujúcu číslo a názov experimentálneho merania (zadania), meno študenta a pedagóga, dátum a čas konania merania. Za tabuľkou pokračujú ďalšie body protokolu.
- **Úvod.** Stručné vysvetlenie, za akým účelom je potrebné merať rýchlosť prúdenia vzduchu v potrubnej sieti. Ciele merania.

- **Metodika.** Opis zostavy vzduchotechnickej potrubnej siete. Pomôcky – opis použitých meracích prístrojov. Postup merania – čas merania, časový krok merania, opis zberu a spracovania údajov a pod. Požiadavky na dovoľené rýchlosti prúdenia vzduchu.
- **Výsledky.** Výstupy z merania spracované v predpísanej forme. Výsledky majú obsahovať záznam nameraných rýchlostí prúdenia vzduchu v sieti bodov v každom meranom profile potrubia i na distribučných prvkoch. Ďalej budú uvedené vypočítané priemerné hodnoty týchto rýchlostí a následne stanovené objemové prietoky vzduchu.
- **Diskusia.** Interpretácia výsledkov. Porovnanie výsledkov s tabuľkovými alebo z literatúry známymi hodnotami. Identifikácia možných zdrojov nepresností. Ak je to vhodné, možno výsledky a diskusiu spojiť do jednej kapitoly.
- **Záver.** Súvislý text v rozsahu niekoľko riadkov. Má obsahovať celkové zhodnotenie experimentálneho merania vychádzajúce z výsledkov a diskusie, prípadne aj návrhy na úpravu rýchlostných profilov.
- **Literatúra.** Zoznam použitých dokumentov. Musí obsahovať minimálne predpisy a technické normy, podľa ktorých sa prúdenie vzduchu v potrubnej sieti posudzovalo. Treba uviesť celé názvy dokumentov, nie len čísla.
- **Podiel na vypracovaní protokolu.** V prípade, že sa na meraní a vypracovaní protokolu podieľalo viacero študentov, treba uviesť podiel práce každého zo študentov.
- **Podpisy.** Podpísať pod vypracovaný protokol sa majú študenti, ktorí ho vypracovali, ako aj pedagóg, ktorý týmto potvrdzuje akceptovanie protokolu.

## 8.2 VYREGULOVANIE VZDUCHOTECHNICKÝCH POTRUBÍ

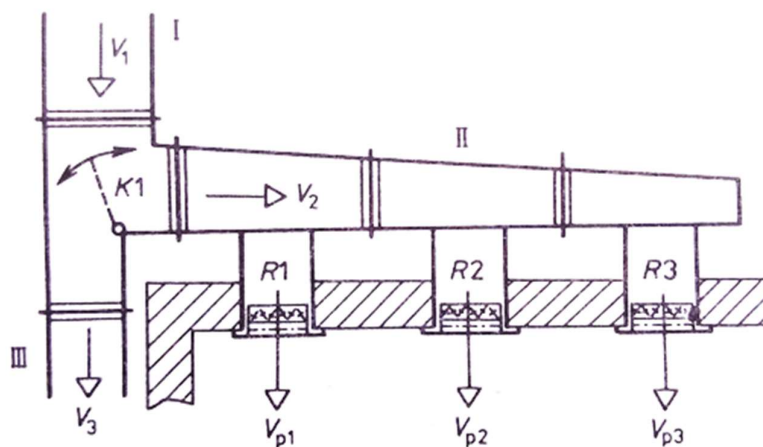
Vyregulovanie rozvetvených potrubných sietí (vzduchovodov) tak, aby jednotlivými vetvami i koncovými distribučnými prvkami prúdil navrhnutý prietok vzduchu, je prakticky veľmi náročnou operáciou pri uvádzaní vzduchotechnického zariadenia do prevádzky. Je to dané tým, že akýmkoľvek regulačným zásahom, napr. v jednej odbočke alebo aj na výstke, dôjde k zmene tlakových pomerov a tým aj prietokového množstva vzduchu v celej potrubnej sieti. Navyše, vzduchovody bývajú často zle prístupné (sú umiestnené vysoko nad podlahou, v medzistropoch a pod.), rovnako tak ich členitosť, krátkosť rovných úsekov vhodných na meranie prietokov vzduchu, toto všetko do značnej miery sťažuje realizovanie merania a tým aj znižuje hodnotu samotného vyregulovania vzduchotechnickej sústavy (Maurer a kol., 1986).

### 8.2.1 Cieľ merania

Cieľom merania je oboznámiť sa so základnými postupmi vyregulovania jednotlivých vetiev (hlavnej i vedľajších) potrubnej siete tvoriacej súčasť vzduchotechnickej sústavy, ako aj nastavenia požadovaných prietokov vzduchu na koncových distribučných prvkoch.

### 8.2.2 Požiadavky na podklady k vyregulovaniu sústavy

K vyregulovaniu vzduchotechnickej sústavy sa pristupuje po úplnom zrealizovaní stavebného diela v časti vzduchotechnika, najlepšie však ešte pred zakrytím potrubnej siete inými stavebnými konštrukciami (predsteny, podhl'ady atď.). Rovnako tak musí byť vytvorený dostatočný prístup k regulačným prvkom i ku koncovým distribučným prvkom na prívod a odvod vzduchu. Ale neodmysliteľnou podmienkou správneho vyregulovania sústavy je kvalitne vypracovaná projektová dokumentácia so všetkými náležitosťami, ktoré sú zadefinované v STN EN 12792:2004. V rámci výkresov zobrazujúcich pôdorysy potrubnej siete sú dôležité údaje objemových prietokov vzduchu na každom distribučnom prvku, ako aj na regulačných prvkoch (Obr. 8.10).



Obr. 8.10 Výkres pôdorysu potrubnej siete (Maurer a kol., 1986)

I. až III. – vetvy vzduchovodov,  $V$  – objemový prietok vzduchu,  $K1$  – regulačná klapka,  
 $R$  – regulátor na distribučnom prvku

### 8.2.3 Metodika vyregulovania sústavy

Jedna z možných metód, ktoré sa v praxi používajú k vyregulovaniu vzduchotechnickej sústavy, je tzv. pomerová metóda. Vychádzame zo zrealizovanej potrubnej siete podľa projektu uvedenom na Obr. 8.10, tzn. hlavná vetva vzduchovodu s označením I. s minimálne dvoma vedľajšími vetvami (odbočkami) II. a III, na ktorých sú osadené za sebou v potrubí obdĺžnikové výustky s reguláciou.

Postup je tento:

- najprv regulujeme vetvu II.; reguláciu všetkých výustiek dáme do polohy otvorenej, usmerňovacie listy výustiek do polohy kolmej na ich rovinu,
- regulačnú klapku  $K_I$  nastavíme do strednej polohy,
- meracím prístrojom odmeriame objemový prietok vzduchu  $V_{p3}$  (tzv. referenčný) výustkou č. 3,
- odmeriame objemový prietok vzduchu  $V_{p2}$  výustkou č. 2,
- porovnáme pomer obidvoch objemových prietokov s pomerom vychádzajúcim z projektu (pri rovnomernom rozvode je to pomer 1:1),
- reguláciou  $R_2$  na výustke č. 2 upravíme prietok na stanovený pomer,
- obdobným spôsobom postupujeme na ďalšej výustke č. 1 a doregulujeme prietok reguláciou  $R_I$ ,
- postup opakujeme aj pri vyregulovaní vedľajšej vetvy III.,
- regulačnú klapku  $K_I$  nastavíme na projektom stanovený pomer prietokov  $V_2 : V_3$ ,
- po vyregulovaní všetkých výustiek a vedľajších vetví odmeriame tlak na ventilátore, jeho celkový vzduchový výkon a potom stanovíme jeho pracovný bod.

Ak nedáva ventilátor projektom stanovené hodnoty, ale jeho pracovný bod zodpovedá charakteristike ventilátora, je chyba vo vyregulovaní, ktoré treba zopakovať. Ak pracovný bod nezodpovedá charakteristike ventilátora, nie je ventilátor v poriadku.

Odporúčané tolerancie prietoku vzduchu distribučnými prvkami pre prívodné potrubie pre jednu miestnosť je 0 až 15 %, pre prívodné potrubie pre viac miestností 0 až 20 % a pre potrubnú sieť bez regulačných klapiek 0 až 25 %.

### 8.2.4 Výsledky

Na cvičení každý študent alebo skupina študentov uskutoční vyregulovanie jestvujúcej potrubnej siete, ktorej pôdorys a požadované objemové prietoky vzduchu na jednotlivých distribučných prvkoch budú súčasťou zadania.

Podľa postupu uvedenom v predchádzajúcej časti nastaví pomocou regulácie na jednotlivých distribučných prvkoch požadované prietoky vzduchu. Potom vyregulujú jednotlivé odbočky navzájom.

Nakoniec pristúpia k zmeraniu tlaku a objemového prietoku vzduchu na ventilátore. Podľa pracovného listu ventilátora stanovia jeho pracovný bod a posúdia, či vyregulovanie sústavy je alebo nie je potrebné zopakovať.

### 8.2.5 Protokol z merania

Výsledkom z merania je protokol z merania, ktorý má presne stanovenú štruktúru a obsah. Nižšie je uvedená požadovaná štruktúra protokolu so stručným opisom, čo majú jednotlivé kapitoly obsahovať:

- **Titulná strana.** Obsahuje identifikačnú tabuľku obsahujúcu číslo a názov experimentálneho merania (zadania), meno študenta a pedagóga, dátum a čas konania merania. Za tabuľkou pokračujú ďalšie body protokolu.
- **Úvod.** Stručné vysvetlenie, za akým účelom je potrebné vyregulovať potrubnú sieť. Ciele merania.
- **Metodika.** Opis zostavy vzduchotechnickej potrubnej siete. Pomôcky – opis použitých meracích prístrojov. Postup merania – čas merania, časový krok merania, opis zberu a spracovania údajov a pod.
- **Výsledky.** Výstupy z merania spracované v predpísanej forme. Výsledky majú obsahovať záznam nameraných objemových prietokov vzduchu na distribučných prvkoch i na regulačných klapkách, rovnako tak záznam nameraného prietoku vzduchu a tlaku na ventilátore. Ďalej bude uvedený pracovný list ventilátora s vyznačeným jeho pracovným bodom.
- **Diskusia.** Interpretácia výsledkov. Identifikácia možných zdrojov nepresností. Ak je to vhodné, možno výsledky a diskusiu spojiť do jednej kapitoly.



- **Záver.** Súvislý text v rozsahu niekoľko riadkov. Má obsahovať celkové zhodnotenie postupu vyregulovania potrubnej siete s uvedenými odchýlkami z meraní objemových prietokov vzduchu na jednotlivých distribučných prvkoch.
- **Literatúra.** Zoznam použitých dokumentov. Musí obsahovať minimálne predpisy a technické normy, podľa ktorých sa vyregulovanie potrubnej siete realizovalo. Treba uviesť celé názvy dokumentov, nie len čísla.
- **Podiel na vypracovaní protokolu.** V prípade, že sa na meraní a vypracovaní protokolu podieľalo viacero študentov, treba uviesť podiel práce každého zo študentov.
- **Podpisy.** Podpísať pod vypracovaný protokol sa majú študenti, ktorí ho vypracovali, ako aj pedagóg, ktorý týmto potvrdzuje akceptovanie protokolu.

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZNAČIEK A FYZIKÁLNYCH VELIČÍN

| Značka    | Názov                                               | Merná jednotka               |
|-----------|-----------------------------------------------------|------------------------------|
| $a$       | absolútna vlhkosť vzduchu                           | (kg/m <sup>3</sup> )         |
| $A$       | plocha prierezu                                     | (m <sup>2</sup> )            |
| $C$       | výmena tepla konvekciou                             | (W/m <sup>2</sup> )          |
| $C_0$     | koncentrácia CO <sub>2</sub> na začiatku merania    | (ppm)                        |
| $C_a$     | koncentrácia CO <sub>2</sub> vo vonkajšom prostredí | (kg/m <sup>3</sup> )         |
| $C_e$     | koncentrácia znečistenia v odvádzanom vzduchu       | (ppm)                        |
| $C_i$     | koncentrácia znečistenia v inhalovanom vzduchu      | (ppm)                        |
| $C_i$     | koncentrácia CO <sub>2</sub> vnútri                 | (kg/m <sup>3</sup> )         |
| $C_{res}$ | konvektívna výmena tepla vplyvom respirácie         | (W/m <sup>2</sup> )          |
| $DR$      | riziko prievanu                                     | (%)                          |
| $E$       | evaporácia z pokožky (potenie)                      | (W/m <sup>2</sup> )          |
| $E$       | množstvo CO <sub>2</sub> emitované za jednotku času | (m <sup>3</sup> /s)          |
| $E_{res}$ | evaporatívna výmena tepla vplyvom respirácie        | (W/m <sup>2</sup> )          |
| $F$       | sila                                                | (N)                          |
| $g$       | tiažové zrýchlenie                                  | (m/s <sup>2</sup> )          |
| $G_v$     | dávka vzduchu na osobu                              | (l/s; m <sup>3</sup> /h)     |
| $H$       | výška osoby                                         | (m)                          |
| $I_{cl}$  | tepelný odpor odevu                                 | ((m <sup>2</sup> .K)/W; clo) |
| $K$       | katafaktor meracieho prístroja                      | (W/m <sup>2</sup> )          |
| $K$       | výmena tepla kondukciou                             | (W/m <sup>2</sup> )          |
| $L$       | výchylka kvapalinového stĺpca                       | (mm)                         |
| $L_{wa}$  | hladina akustického tlaku                           | (dB)                         |
| $m$       | hmotnosť                                            | (kg)                         |
| $M$       | hmotnostný prietok vzduchu                          | (kg/s)                       |
| $M$       | teplo generované človekom                           | (W/m <sup>2</sup> ; met)     |
| $p$       | barometrický tlak                                   | (Pa)                         |

|                 |                                                       |                        |
|-----------------|-------------------------------------------------------|------------------------|
| $p_d$           | parciálny tlak vodných pár                            | (Pa)                   |
| $Q$             | tok vzduchu vymieňaného medzi interiérom a exteriérom | (m <sup>3</sup> /s)    |
| $R$             | výmena tepla radiáciou                                | (W/m <sup>2</sup> )    |
| $RQ$            | respiračný koeficient                                 | (-)                    |
| $S$             | plocha prierezu                                       | (m <sup>2</sup> )      |
| $T$             | termodynamická teplota                                | (K)                    |
| $t$             | uplynutý čas                                          | (s)                    |
| $t_a$           | miestna teplota vzduchu                               | (°C)                   |
| $t_{cl}$        | teplota odevu                                         | (K)                    |
| $t_i$           | teplota inhalovaného vzduchu                          | (°C)                   |
| $t_s$           | teplota prevádzkaného vzduchu                         | (°C)                   |
| $t_{sk}$        | teplota pokožky                                       | (K)                    |
| $T_u$           | Intenzita turbulencie prúdiaceho vzduchu              | (%)                    |
| $v$             | rýchlosť prúdenia vzduchu                             | (m/s)                  |
| $\bar{v}_a$     | miestna priemerná rýchlosť prúdenia vzduchu           | (m/s)                  |
| $V$             | objemový prietok vzduchu                              | (m <sup>3</sup> /s)    |
| $V$             | objem vzduchu na osobu                                | (m <sup>3</sup> )      |
| $V_R$           | objem miestnosti                                      | (m <sup>3</sup> )      |
| $W$             | mechanická práca                                      | (W/m <sup>2</sup> )    |
| $W$             | hmotnosť osoby                                        | (kg)                   |
| $x$             | merná vlhkosť vzduchu                                 | (kg/kg <sub>sv</sub> ) |
| $\alpha$        | konštanta medzi 0 a 1                                 | (-)                    |
| $\Delta\theta$  | teplotný rozdiel                                      | (K)                    |
| $\theta$        | teplota                                               | (°C)                   |
| $\theta_{ed-1}$ | priemerná teplota vzduchu pre predchádzajúci deň      | (°C)                   |
| $\theta_{ed-i}$ | priemerná teplota vzduchu pre $i$ -ty deň             | (°C)                   |
| $\theta_o$      | operatívna teplota v miestnosti                       | (°C)                   |
| $\theta_{rm}$   | kľzavý priemer vonkajšej teploty vzduchu              | (°C)                   |
| $\lambda$       | intenzita vetrania                                    | (1/h)                  |
| $\rho$          | hustota                                               | (kg/m <sup>3</sup> )   |
| $\varphi$       | relatívna vlhkosť vzduchu                             | (%)                    |

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR prostredníctvom grantu VEGA 1/0303/21, grantu VEGA 1/0304/21 a grantu KEGA 005STU-4/2021.

Poďakovanie patrí aj spoločnosti Testo SE & Co. za poskytnutie firemných materiálov a odborných podkladov k napísaniu literatúry náučného charakteru.

V neposlednom rade autori ďakujú Bc. Angelike Václavovej, študentke 1. ročníka inžinierskeho štúdia študijného programu Technické zariadenia budov, za pomoc pri kreslení obrázkov.

## LITERATÚRA

- ANSI/ASHRAE Standard 55:2020, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- ANSI/ASHRAE Standard 62.1:2019, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- ASHRAE. *ASHRAE Handbook. Fundamentals*. Atlanta, GA : ASHRAE, 2013.
- ISBN 978-1-936504-46-6.
- ASTM Standard E741-00:2006, Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution.
- BUZKOVÁ, A. Typy na úspěšné měření proudění vzduchu ve ventilačních systémech. In *TZB-info* [online]. 2021 [cit: 2021-03-30]. Dostupné na internete: <https://elektro.tzb-info.cz/merici-a-regulacni-technika/22052-tipy-na-uspesne-mereni-proudeni-vzduchu-ve-ventilacnich-systemech>. ISSN 1801-4399.
- CEN CR 1752:1998, Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment.
- ČECH, J., PERNIKÁR, J., PODANÝ, K. *Strojírenská metrologie*. Brno: CERM, 2005. 176 s.
- ISBN 80-214-3070-2.
- ETHERIDGE, D., SANDBERG, M. *Building ventilation. Theory and measurement*. New York: Wiley, 1996. 754 s. ISBN 978-0-471-96087-4.
- FANGER, P.O. Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. In *Energy and Buildings*, ISSN 0378-7788, 1988, vol.12, pp. 1-6.
- FANGER, P.O. *Thermal Comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. 225 s.
- ISBN 0-89874-446-6.
- FRIČOVÁ, O., GIBOVÁ, Z., HLAVÁČOVÁ, J. *Merania z fyziky*. Košice: TU, 2012. 101 s.
- ISBN 978-80-553-0869-2.
- HOFMANN, D. *Priemyselná meracia technika*. Bratislava: Alfa, 1988. 537 s.
- ISBN 80-05-00139-8.
- HOLUBČÍK, M., HOLUBČÍKOVÁ, L., KANTOVÁ, N. *Termovízia v praxi*. Žilina: CEIT, 2016. 72 s. ISBN 978-80-971684-3-8.
- HORÁK, P. Výpočty pro energetického specialistu (I) - Struktura právních předpisů včetně norem a jejich charakteristiky k výpočtu ENB. In *TZB-info* [online]. 2021, č. 2, 1-9 s. [cit:

- 2022-01-26]. Dostupné na internete: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/21828-struktura-pravnich-predpisu-vcetne-norem-a-jejich-charakteristiky-k-vypoctu-enb>. ISSN 1801-4399.
- IVANKOVÁ, V. Význam telesnej teploty v ošetrovateľskom procese. In *Unilabs* [online]. 2021 [cit: 2021-12-29]. Dostupné na internete: <https://www.unilabs.sk/clanky-invito/vyznam-telesnej-teploty-v-osetrovatelskom-procese>. ISSN -.
- JENČÍK, J., VOLF, J. *Technická měření*. Praha: ČVUT, 2000. 212 s. ISBN 80-01-02138-6.
- LAUSSMANN, D., HELM, D. Air Change Measurements Using Tracer Gases: Methods and Results. In *Nicolas Mazzeo (Ed.). Significance of air change for indoor air quality, Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution and Indoor Air Quality*. Rijeka : InTech, 2011, pp. 365-406.
- LÖFFLER, J. Bezpečnostné požiadavky na vetracie a klimatizačné systémy podľa pr EN 378-1. In *TZB Haustechnik*. ISSN 1210-356X, 2016, roč. 24, č. 3, s. 26-27.
- MAURER, K., PELIKÁN, B., ŠEJNOHA, J., ŠTĚCHOVSKÝ, J. *Laboratorne cvičenia z technických zariadení budov*. Bratislava: Alfa, 1986. 360 s. ISBN 63-429-86.
- OLESEN, B.W. Human heat balance – Thermal Comfort. In. *Course No. 41722 Indoor Climate*. Kgs. Lyngby: International Centre for Indoor Environment and Energy, DTU, 2007.
- PERSILY, A.K. Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide. In *ASHRAE Transactions*, ISSN 2378-2129, 1997, vol. 103, pp. 193-04.
- PETRÁŠ, D., LULKOVIČOVÁ, O., TAKÁCS, J., BAŠTA, J., KABELE, K. *Vykurovanie rodinných a bytových domov*. Bratislava: Jaga, 2005. 246 s. ISBN 80-8076-012-8.
- STN EN 12792:2004, Vetrание budov. Symboly, terminológia a grafické symboly.
- STN EN 15251:2007, Vstupné údaje o vnútornom prostredí budov na navrhovanie a hodnotenie energetickej hospodárnosti budov – kvalita vzduchu, tepelný stav prostredia, osvetlenie a akustika.
- STN EN ISO 16798-1:2019, Energetická hospodárnosť budov. Vetrание budov. Časť 1: Vstupné údaje o vnútornom prostredí budov na navrhovanie a hodnotenie energetickej hospodárnosti budov – kvalita vzduchu, tepelný stav prostredia, osvetlenie a akustika. Modul M1-6.

- STN EN ISO 7726:2003, Ergonómia tepelného prostredia. Prístroje na meranie fyzikálnych veličín (ISO 7726:1998).
- STN EN ISO 7730:2006, Ergonómia tepelného prostredia. Analytické určovanie a interpretácia tepelnej pohody pomocou výpočtu ukazovateľov PMV a PPD a kritérií miestneho tepelného pohodlia (ISO 7730:2005).
- STN EN ISO 8996:2022, Ergonómia tepelného prostredia. Stanovenie metabolizmu (ISO 8996:2021)
- STN EN ISO 9920:2009, Ergonómia tepelného prostredia. Odhad tepelnej izolácie a odparovacej odolnosti odevu (ISO 9920:2007, opravená verzia 1.11.2008)
- SÚSTAVA SI, 2022. Dostupné na internete: <https://fyzika.fvt.tuke.sk/studijne-materialy/2-veliciny-a-jednotky/sustava-si/>
- SZÉKYOVÁ, M., FERSTL, K., NOVÝ, R. Vetrание a klimatizácia. Bratislava: Jaga, 2004. 422 s., ISBN 80-8076-000-4.
- ŠEVČOVIČ, L. *Programy na spracovanie a vizualizáciu experimentálnych dát*. Košice: Východoslovenské tlačiarne, a.s., 2006. 74 s. ISBN 80-8073-638-3
- TARTARINI, F., SCHIAVON, S., CHEUNG, T., HOYT, T. CBE Thermal Comfort Tool : online tool for thermal comfort calculations and visualizations. In *SoftwareX*, ISSN 2352-7110, 2020, vol.12, 100563. [cit: 2022-05-26]. Dostupné na: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- TESTO, 2021. Dostupné na internete: <https://www.testo.com/sk-SK/>
- TNI CEN/TR 16798-2:2019, Energetická hospodárnosť budov. Vetrание budov. Časť 2: Interpretácia požiadaviek v EN 16798-1. Vstupné údaje o vnútornom prostredí budov na navrhovanie a hodnotenie energetickej hospodárnosti budov – kvalita vzduchu, tepelný stav prostredia, osvetlenie a akustika. (Modul M1-6).
- ÚNMS, 2022. Dostupné na internete: <https://www.unms.sk/stranka/165/o-metrologii/>
- VAJDA, D., ŠTELINA, J., KOVÁR, J., MUSIL, C., BELLAN, I., JAMNICKÝ, I. *Návody k laboratórnym cvičeniam z fyziky*. Žilina: Edis, 2003. 53 s. ISBN 80-8070-133-4.
- Vyhláška MZ SR z 18. júna 2008 o podrobnostiach o požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a na ubytovacie zariadenia.

Vyhláška MZ SR z 27. januára 2016 o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci.

Poznámka:

V publikácii boli použité firemné podklady spoločností TESTO, PPA CONTROLL, FLUKE, WILTRONICS, FEIN, HAAR, MULTIMIC, EXTECH, COMMET, EXATHERM.



doc. Ing. Michal Krajčík, PhD., doc. Ing. Zuzana Straková, PhD.

## **METÓDY VÝSKUMU VO VZDUCHOTECHNIKE**

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU, Bratislava, Vazovova 5, v roku 2022.

Edícia skrípt

Rozsah 163 strán, 71 obrázkov, 45 tabuliek, 9,092 AH, 9,353 VH, 1. vydanie, edičné číslo 6118, vydané v elektronickej forme

85 – 223 – 2022

ISBN 978-80-227-5229-9