

# Analiza toplinskih karakteristika podnih konvektora

---

**Horvat, Tomislav**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2014**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:902373>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-22**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering  
and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tomislav Horvat**

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Tomislav Horvat

Zagreb, 2014.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Damiru Doviću na stručnoj pomoći i savjetima prilikom izrade rada.

Posebno se zahvaljujem obitelji i prijateljima na podršci tijekom studija.

Tomislav Horvat

# **Analiza toplinskih karakteristika podnih konvektora**

## SADRŽAJ

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| SADRŽAJ .....                                                  | I   |
| POPIS SLIKA .....                                              | II  |
| POPIS TABLICA .....                                            | IV  |
| POPIS OZNAKA .....                                             | VI  |
| SAŽETAK .....                                                  | VII |
| 1. UVOD .....                                                  | 1   |
| 1.1. Općenito o konvektorima .....                             | 1   |
| 1.2. Načini ugradnje konvektora .....                          | 3   |
| 1.3. Vrste konvektora .....                                    | 4   |
| 2. PODNI KONVEKTORI .....                                      | 5   |
| 2.1. Konstrukcijski elementi podnih konvektora .....           | 7   |
| 2.2. Vrste podnih konvektora .....                             | 8   |
| 3. ISPITIVANJE VENTILOKONVEKTORA .....                         | 12  |
| 3.1. Norma prEN 16430 .....                                    | 12  |
| 3.2. EUROVENT 6/3 .....                                        | 29  |
| 3.3. Mjerna linija .....                                       | 32  |
| 3.4. Komponente mjerne linije .....                            | 33  |
| 3.5. Opis mjerenja .....                                       | 42  |
| 4. ANALIZA REZULTATA MJERENJA .....                            | 46  |
| 4.1. Izračun indirektno mjerenih vrijednosti .....             | 46  |
| 4.2. Ventilokonvektor PKH 150 2000, razmak lamela 2,5 mm ..... | 48  |
| 4.3. Ventilokonvektor PKH 150 2000, razmak lamela 3,2 mm ..... | 70  |
| 4.4. Usporedba rezultata za dva razmaka lamela .....           | 92  |
| 4.5. Pad tlaka .....                                           | 93  |
| 4.6. Termografija .....                                        | 94  |
| 5. PRORAČUN .....                                              | 96  |
| 5.1. Konstrukcijski parametri .....                            | 96  |
| 5.2. Proračun na strani vode .....                             | 98  |
| 5.3. Proračun na strani zraka .....                            | 102 |
| 6. ZAKLJUČAK .....                                             | 107 |
| LITERATURA .....                                               | 108 |

## POPIS SLIKA

|           |                                                                         |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1.  | Primjer konvektora s maskom.....                                        | 1  |
| Slika 2.  | Dimenzije konvektora .....                                              | 2  |
| Slika 3.  | Načini postavljanja konvektora.....                                     | 3  |
| Slika 4.  | Primjer ugradnje stropnog, zidnog i podnog konvektora.....              | 4  |
| Slika 5.  | Podni konvektor ugrađen u prostoru .....                                | 5  |
| Slika 6.  | Podni konvektor u režimu grijanja i hlađenja .....                      | 6  |
| Slika 7.  | Konstruktivski elementi podnog konvektora .....                         | 7  |
| Slika 8.  | Podni konvektor s prirodnom konvekcijom.....                            | 8  |
| Slika 9.  | Podni ventilokonvektor .....                                            | 9  |
| Slika 10. | Podni ventilokonvektor u režimu hlađenja .....                          | 10 |
| Slika 11. | Podni četverocijevni ventilokonvektor .....                             | 10 |
| Slika 12. | Podni ventilokonvektor za vlažne prostore.....                          | 11 |
| Slika 13. | Položaj rashladne stijenke u ispitnoj prostoriji .....                  | 18 |
| Slika 14. | Položaj rashladne stijenke u ispitnoj prostoriji .....                  | 18 |
| Slika 15. | Podni konvektor s ventilacijom.....                                     | 20 |
| Slika 16. | Postavljanje cijevi za dovod primarnog zraka .....                      | 21 |
| Slika 17. | Prikaz ventilacijske jedinice.....                                      | 22 |
| Slika 18. | Primjer karakterističnih krivulja toplinskog učina konvektora.....      | 24 |
| Slika 19. | Primjer karakterističnih krivulja toplinskog učina primarnog zraka..... | 24 |
| Slika 20. | Ispitna prostorija s postavljenim konvektorom i grijačima.....          | 26 |
| Slika 21. | Pojednostavljena shema ispitne prostorije .....                         | 32 |
| Slika 22. | Shema rashladnog kruga .....                                            | 33 |
| Slika 23. | Shema izmjenjivača ispitivanog ventilokonvektora.....                   | 34 |
| Slika 24. | Prikaz montiranog ventilokonvektora u ispitnoj prostoriji .....         | 34 |
| Slika 25. | Pločasti izmjenjivač rashladnog kruga.....                              | 35 |
| Slika 26. | Rashladni uređaj sekundarnog rashladnog kruga.....                      | 36 |
| Slika 27. | Cirkulacijska pumpa primarnog rashladnog kruga .....                    | 36 |
| Slika 28. | Električni dogrijač s regulacijom .....                                 | 37 |
| Slika 29. | Spremnik vode .....                                                     | 37 |
| Slika 30. | Vaga za mjerenje protoka.....                                           | 38 |
| Slika 31. | Električna grijalica s regulacijom napona.....                          | 38 |
| Slika 32. | Diferencijalni pretvarač tlaka .....                                    | 39 |
| Slika 33. | Termopar tip K.....                                                     | 39 |
| Slika 34. | Razmještaj termoparova po prostoriji i ventilokonvektoru.....           | 40 |
| Slika 35. | Anemometar sa žarnom niti .....                                         | 40 |
| Slika 36. | Akvizijski sustav sa spojenom mjernom opremom.....                      | 41 |
| Slika 37. | Multifunkcijski mjerni uređaj .....                                     | 41 |
| Slika 38. | Termografska kamera i primjer termograma .....                          | 42 |
| Slika 39. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 3.....     | 49 |
| Slika 40. | Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 3.....             | 49 |
| Slika 41. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 2.....     | 51 |
| Slika 42. | Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 2.....             | 51 |
| Slika 43. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 1.....     | 53 |
| Slika 44. | Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 1.....             | 53 |
| Slika 45. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 3.....     | 55 |
| Slika 46. | Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 3.....             | 55 |
| Slika 47. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 2.....     | 57 |

|           |                                                                     |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Slika 48. | Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 2.....         | 57  |
| Slika 49. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 1..... | 59  |
| Slika 50. | Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 1.....         | 59  |
| Slika 51. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 3.....  | 61  |
| Slika 52. | Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 3.....          | 61  |
| Slika 53. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 2.....  | 63  |
| Slika 54. | Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 2.....          | 63  |
| Slika 55. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 1.....  | 65  |
| Slika 56. | Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 1.....          | 65  |
| Slika 57. | Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 1.....              | 66  |
| Slika 58. | Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 2.....              | 67  |
| Slika 59. | Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 3.....              | 68  |
| Slika 60. | Usporedba toplinskog učina prema brzini ventilatora.....            | 69  |
| Slika 61. | Usporedba toplinskog učina prema temperaturnom režimu.....          | 69  |
| Slika 62. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 3..... | 71  |
| Slika 63. | Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 3.....         | 71  |
| Slika 64. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 2..... | 73  |
| Slika 65. | Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 2.....         | 73  |
| Slika 66. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 1..... | 75  |
| Slika 67. | Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 1.....         | 75  |
| Slika 68. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 3..... | 77  |
| Slika 69. | Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 3.....         | 77  |
| Slika 70. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 2..... | 79  |
| Slika 71. | Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 2.....         | 79  |
| Slika 72. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 1..... | 81  |
| Slika 73. | Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 1.....         | 81  |
| Slika 74. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 3.....  | 83  |
| Slika 75. | Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 3.....          | 83  |
| Slika 76. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 2.....  | 85  |
| Slika 77. | Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 2.....          | 85  |
| Slika 78. | Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 1.....  | 87  |
| Slika 79. | Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 1.....          | 87  |
| Slika 80. | Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 1.....              | 88  |
| Slika 81. | Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 2.....              | 89  |
| Slika 82. | Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 3.....              | 90  |
| Slika 83. | Usporedba toplinskog učina prema brzini ventilatora.....            | 91  |
| Slika 84. | Usporedba toplinskog učina prema temperaturnom režimu.....          | 91  |
| Slika 85. | Prikaz kondenzata na lamelama izmjenjivača.....                     | 92  |
| Slika 86. | Karakteristika pada tlaka.....                                      | 94  |
| Slika 87. | Termogram zida ohlađenog mlazom iz ventilokonvektora.....           | 95  |
| Slika 88. | Termogram profila mlaza na plohi.....                               | 95  |
| Slika 89. | Dijagram povećanja rashladnog učina za primjer iz proračuna.....    | 101 |
| Slika 90. | Dijagram povećanja rashladnog učina za primjer iz proračuna.....    | 106 |

## POPIS TABLICA

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 1. Toplinski učin konvektora standardnih mjera .....                          | 2  |
| Tablica 2. Dodatne dimenzijske tolerancije podnih konvektora .....                    | 13 |
| Tablica 3. Standardni ispitni uvjeti za određivanje učina.....                        | 29 |
| Tablica 4. Redosljed mjerenja ventilokonvektora.....                                  | 43 |
| Tablica 5. Mjerenja brzina i temperatura iznad ventilokonvektora.....                 | 44 |
| Tablica 6. Mjerenja brzina i temperatura pri podu .....                               | 44 |
| Tablica 7. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 3 .....                  | 48 |
| Tablica 8. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 3 .....  | 48 |
| Tablica 9. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 3 .....    | 48 |
| Tablica 10. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 2 .....                 | 50 |
| Tablica 11. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 2 ..... | 50 |
| Tablica 12. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 2 .....   | 50 |
| Tablica 13. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 1 .....                 | 52 |
| Tablica 14. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 1 ..... | 52 |
| Tablica 15. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 1 .....   | 52 |
| Tablica 16. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 3 .....                 | 54 |
| Tablica 17. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 3 ..... | 54 |
| Tablica 18. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 3 .....   | 54 |
| Tablica 19. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 2 .....                 | 56 |
| Tablica 20. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 2 ..... | 56 |
| Tablica 21. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 2 .....   | 56 |
| Tablica 22. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 1 .....                 | 58 |
| Tablica 23. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 1 ..... | 58 |
| Tablica 24. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 1 .....   | 58 |
| Tablica 25. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 3 .....                  | 60 |
| Tablica 26. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 3 .....  | 60 |
| Tablica 27. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 3 .....    | 60 |
| Tablica 28. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 2 .....                  | 62 |
| Tablica 29. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 2 .....  | 62 |
| Tablica 30. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 2 .....    | 62 |
| Tablica 31. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 1 .....                  | 64 |
| Tablica 32. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 1 .....  | 64 |
| Tablica 33. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 1 .....    | 64 |
| Tablica 34. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 1 .....                   | 66 |
| Tablica 35. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 2 .....                   | 67 |
| Tablica 36. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 3 .....                   | 68 |
| Tablica 37. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 3 .....                 | 70 |
| Tablica 38. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 3 ..... | 70 |
| Tablica 39. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 3 .....   | 70 |
| Tablica 40. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 2 .....                 | 72 |
| Tablica 41. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 2 ..... | 72 |
| Tablica 42. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 2 .....   | 72 |
| Tablica 43. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 1 .....                 | 74 |
| Tablica 44. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 1 ..... | 74 |
| Tablica 45. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 1 .....   | 74 |
| Tablica 46. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 3 .....                 | 76 |
| Tablica 47. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 3 ..... | 76 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablica 48. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 3 .....   | 76  |
| Tablica 49. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 2 .....                 | 78  |
| Tablica 50. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 2 ..... | 78  |
| Tablica 51. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 2 .....   | 78  |
| Tablica 52. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 1 .....                 | 80  |
| Tablica 53. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 1 ..... | 80  |
| Tablica 54. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 1 .....   | 80  |
| Tablica 55. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 3 .....                  | 82  |
| Tablica 56. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 3 .....  | 82  |
| Tablica 57. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 3 .....    | 82  |
| Tablica 58. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 2 .....                  | 84  |
| Tablica 59. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 2 .....  | 84  |
| Tablica 60. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 2 .....    | 84  |
| Tablica 61. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 1 .....                  | 86  |
| Tablica 62. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 1 .....  | 86  |
| Tablica 63. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 1 .....    | 86  |
| Tablica 64. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 1 .....                   | 88  |
| Tablica 65. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 2 .....                   | 89  |
| Tablica 66. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 3 .....                   | 90  |
| Tablica 67. Prikaz izmjerenog rashladnog učina za dva razmaka lamela [W].....         | 92  |
| Tablica 68. Prikaz rezultata mjerenja pada tlaka u ovisnosti o protoku .....          | 93  |
| Tablica 69. Prikaz povećanja rashladnog učina povećanjem protoka [%] .....            | 100 |
| Tablica 70. Prikaz rashladnog učina dobivenog mjerenjem i proračunom [W].....         | 105 |
| Tablica 71. Prikaz izračunatog rashladnog učina za dva razmaka lamela [W].....        | 105 |
| Tablica 72. Prikaz povećanja rashladnog učina povećanjem protoka [%] .....            | 106 |

## POPIS OZNAKA

| Oznaka              | Jedinica           | Opis                                     |
|---------------------|--------------------|------------------------------------------|
| $c_p$               | J/kgK              | specifični toplinski kapacitet           |
| $h$                 | J/kg               | entalpija                                |
| $\vartheta$         | °C                 | temperatura                              |
| $d$                 | m                  | promjer cijevi                           |
| $L$                 | m                  | duljina                                  |
| $A$                 | m <sup>2</sup>     | površina                                 |
| $\lambda$           | W/mK               | toplinska vodljivost                     |
| $q_m$               | kg/h               | protočna masa                            |
| $q_v$               | m <sup>3</sup> /s  | protočni volumen                         |
| $\Phi_r$            | W                  | ukupni rashladni učin                    |
| $\rho$              | kg/m <sup>3</sup>  | gustoća                                  |
| $\mu$               | Pa s               | dinamička viskoznost                     |
| $Pr$                | -                  | Prandtlov broj                           |
| $\Delta\vartheta_m$ | °C                 | srednja logaritamska razlika temperatura |
| $k$                 | W/m <sup>2</sup> K | koeficijent prolaza topline              |
| $v$                 | m/s                | brzina                                   |
| $Re$                | -                  | Reynoldsov broj                          |
| $Nu$                | -                  | Nusseltov broj                           |
| $\alpha$            | W/m <sup>2</sup> K | koeficijent prijelaza topline            |
| $n_c$               | -                  | broj cijevi                              |
| $b$                 | m                  | širina                                   |
| $l$                 | m                  | duljina                                  |
| $s$                 | m                  | korak lamele                             |
| $\delta$            | m                  | debljina lamele                          |
| $X$                 | -                  | faktor za iskoristivost lamele           |
| $\varphi$           | -                  | geometrijski faktor lamele               |
| $\eta$              | -                  | iskoristivost                            |
| $\Delta T$          | °C                 | podtemperatura                           |
| $\Delta p$          | Pa                 | pad tlaka                                |
| $\zeta$             | Pa                 | koeficijent pada tlaka                   |

## **SAŽETAK**

U ovom radu opisano je ispitivanje i analiza toplinskih karakteristika dva podna ventilokonvektora u režimu hlađenja prema normi prEN 16430 i EUROVENT 6/3. Ventilokonvektori su identičnih dimenzija i konstrukcije uz razliku u razmaku među lamelama orebrenog izmjenjivača.

Mjerenje je provedeno u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje za tri različita temperaturna režima i tri brzine ventilatora.

Uvodno je dan opis, namjena i glavne karakteristike ventilokonvektora. Nadalje su navedeni zahtjevi koje postavljaju norme. Dan je opis mjerne linije te opis mjerenja anemometrima, termoparovima i termografijom. Rezultati mjerenja su analizirani i kao ulazni podaci korišteni za proračun rashladnog učinka prema odabranoj metodi.

Na kraju je dana usporedba rezultata dobivenih eksperimentalno i numerički te je dana preporuka poboljšanja konstrukcije u cilju povećanja rashladnog učinka.

Ključne riječi:

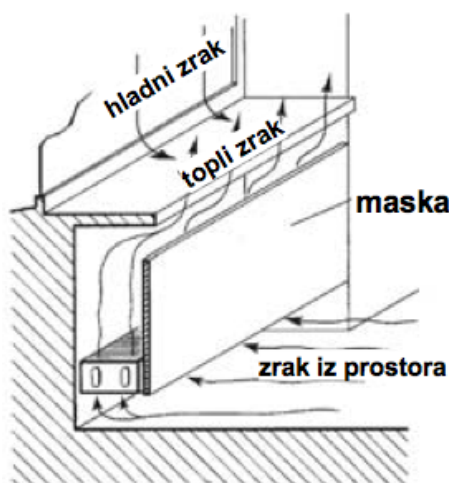
Ventilokonvektor, podni konvektor, rashladni učinak, ispitivanje ventilokonvektora

## 1. UVOD

### 1.1. Općenito o konvektorima

Konvektori su ogrjevna tijela koja toplinu prenose uglavnom konvekcijom a dio su centralnih sustava grijanja. Sastoje se od jednog ili više izmjenjivača topline sastavljenih od cijevi kružnog ili ovalnog poprečnog presjeka s nanizanim lamelama s ciljem povećanja površine izmjene topline. Lamelle se prešaju (aluminijske lamelle na bakrene cijevi) ili zavaruju na cijevi (čelični lim na čeličnu cijev).

Neovisno o načinu montaže, princip rada je isti: hladan zrak iz prostorije koji je teži ulazi s donje strane u konvektor te se zagrije na ogrjevnim površinama i izađe na gornjoj ili prednjoj strani. Princip je prikazan na slici 1.

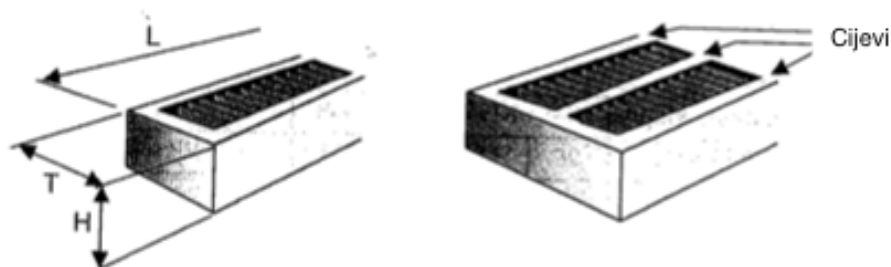


Slika 1. Primjer konvektora s maskom

Prednosti konvektora su razne mogućnosti ugradnje zbog manjih dimenzija te male mase što utječe i na manju inertnost te sadržaj vode u izmjenjivaču što se pozitivno reflektira na vrijeme zagrijavanja odn. bržu regulaciju.

Nedostaci su vezani za izgled izmjenjivača zbog čega se preporuča korištenje maski ili rešetki. Također, čišćenje konvektora je otežano zbog gustih lamela između kojih lako dospije onečišćenje koje smanjuje površinu za prijenos topline te se stoga izbjegava ugradnja konvektora u prostore gdje je očekivano pojačano onečišćenje.

Kako ne postoje normirane dimenzije izmjenjivača, proizvođač daje njihove dimenzije i toplinske učine. Na slici 2 i u tablici 1 za primjer su dane mjere i učini čestih dimenzija prema jednom proizvođaču [1].



Slika 2. Dimenzije konvektora

Tablica 1. Toplinski učin konvektora standardnih mjera

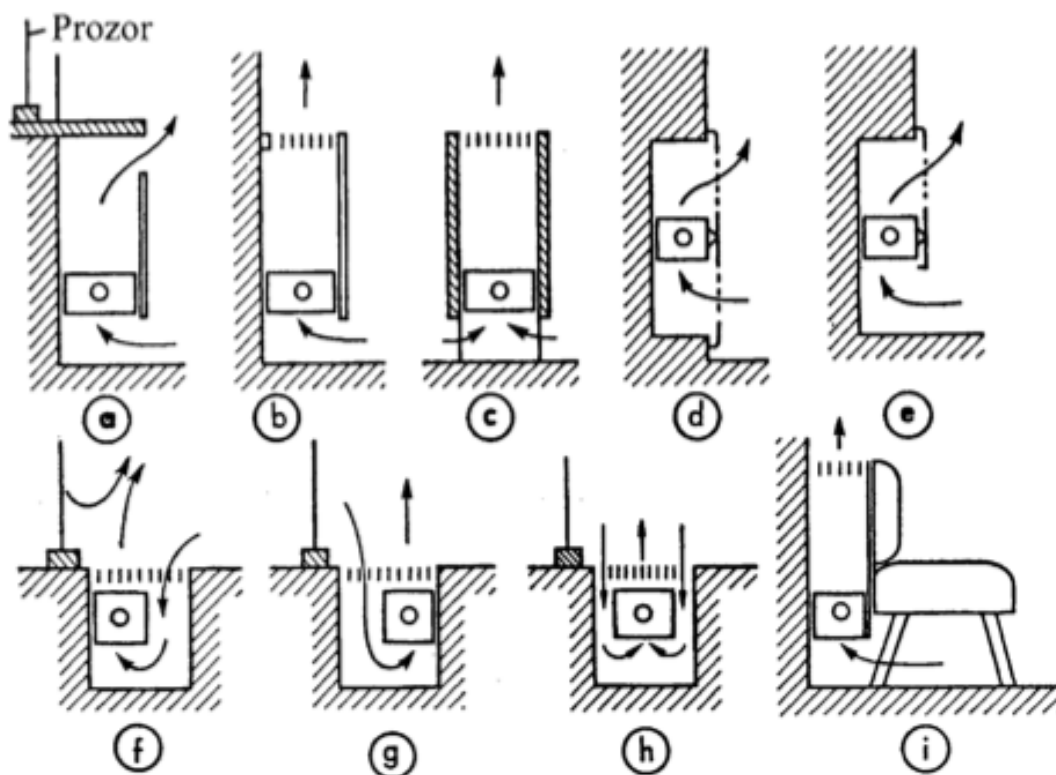
| Visina H<br>(mm) | Debljina T<br>(mm) | Redova<br>cijevi | EkspONENT<br><i>n</i> | Toplinski učin pri<br>75/65/20 (W) | Protok<br>(kg/min) |
|------------------|--------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------|
| 280              | 73                 | 2                | 1,33                  | 857                                | 23,0               |
| 210              |                    |                  | 1,30                  | 696                                | 17,4               |
| 140              |                    |                  | 1,27                  | 528                                | 11,5               |
| 70               |                    |                  | 1,24                  | 356                                | 5,7                |
| 280              | 134                | 3                | 1,36                  | 1420                               | 38,3               |
| 210              |                    |                  | 1,35                  | 1195                               | 28,7               |
| 140              |                    |                  | 1,32                  | 914                                | 10,1               |
| 70               |                    |                  | 1,20                  | 589                                | 9,5                |
| 280              | 196                | 4                | 1,39                  | 1990                               | 53,9               |
| 210              |                    |                  | 1,37                  | 1686                               | 40,4               |
| 140              |                    |                  | 1,32                  | 1284                               | 26,9               |
| 70               |                    |                  | 1,18                  | 800                                | 13,3               |
| 280              | 257                | 5                | 1,41                  | 2574                               | 69,4               |
| 210              |                    |                  | 1,38                  | 2145                               | 51,9               |
| 140              |                    |                  | 1,32                  | 1613                               | 34,5               |
| 70               |                    |                  | 1,17                  | 972                                | 17,1               |

Osim povećanjem dimenzija konvektora odn. njegove površine izmjene topline, učin se može poboljšati i povećanjem brzine zraka koji struji preko konvektora. To se može postići povećanjem razmaka između konvektora i otvora za zrak ili ugradnjom ventilatora.

## 1.2. Načini ugradnje konvektora

Konvektore je moguće postaviti na vanjske zidove ispod prozora ali i na unutarnje zidove. U tom se slučaju mogu postaviti kao ugrađeni u pregradni zid te grijati obje prostorije. Zbog malih dimenzija i mase, moguće ih je ugrađivati i ispod klupa, stolova i sl. Na slici 3 su prikazani načini ugradnje konvektora a obuhvaćaju:

- |                                  |                                                 |
|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| a) konvektor ispod prozora       | f) podni konvektor sa usisavanjem sobnog zraka  |
| b) konvektor pored zida          | g) podni konvektor sa usisavanjem hladnog zraka |
| c) slobodno postavljen konvektor | h) podni konvektor sa usisavanjem s obje strane |
| d) i e) konvektor ugrađen u zid  | i) konvektor iza klupe                          |



Slika 3. Načini postavljanja konvektora

### 1.3. Vrste konvektora

Prema načinu ugradnje konvektore možemo podijeliti na:

- Stropni konvektori – često nazivani i zračne zavjese – ugrađuju se pod strop i uz pomoć prisilne konvekcije (ventilatora) osiguravaju mlaz toplog ili hladnog zraka uz staklenu stijenu, zid ili vrata.
- Zidni konvektori – ugrađeni uz ili u zid, najčešće pod prozor
- Podni konvektori - ugrađuju se ispod staklenih stijena

Na slici 4 je prikazan primjer ugradnje stropnog, zidnog i podnog konvektora.



**Slika 4. Primjer ugradnje stropnog, zidnog i podnog konvektora**

Prema načinu izmjene topline konvektore možemo podijeliti na:

- Konvektore s prirodnom konvekcijom – strujanje zraka odvija se uslijed utjecaja uzgona zbog razlike u gustoći hladnog i toplog zraka
- Konvektore s prisilnom konvekcijom – prisilno dovođenje zraka ventilatorom što za posljedicu ima bolji koeficijent prelaska topline i time veće učine. Ovi konvektori se nazivaju i ventilokonvektori.

Dalje u radu će biti obrađeni podni konvektori a detaljnije podni ventilokonvektori.

## 2. PODNI KONVEKTORI

Podni konvektori su grijaća odn. rashladna tijela čija je primarna namjena ugradnja u prostore s velikim staklenim površinama vanjskih otvora. Ti prostori mogu biti prodajni i izložbeni saloni, hoteli, bolnice, restorani, izlozi, ostakljeni zimski vrtovi, sobe za sastanke i drugi objekti.

Podni konvektori se koriste kao primarni ili sekundarni izvori topline često u kombinaciji s ostalim sustavima grijanja odn. hlađenja [2]. Kako su relativno dobro skriveni u prostoru, često su prvi izbor arhitekata prilikom odabira funkcionalnih i atraktivnih rješenja grijanja i hlađenja. Na slici 5 je dan primjer ugradnje podnog konvektora.



**Slika 5. Podni konvektor ugrađen u prostoru**

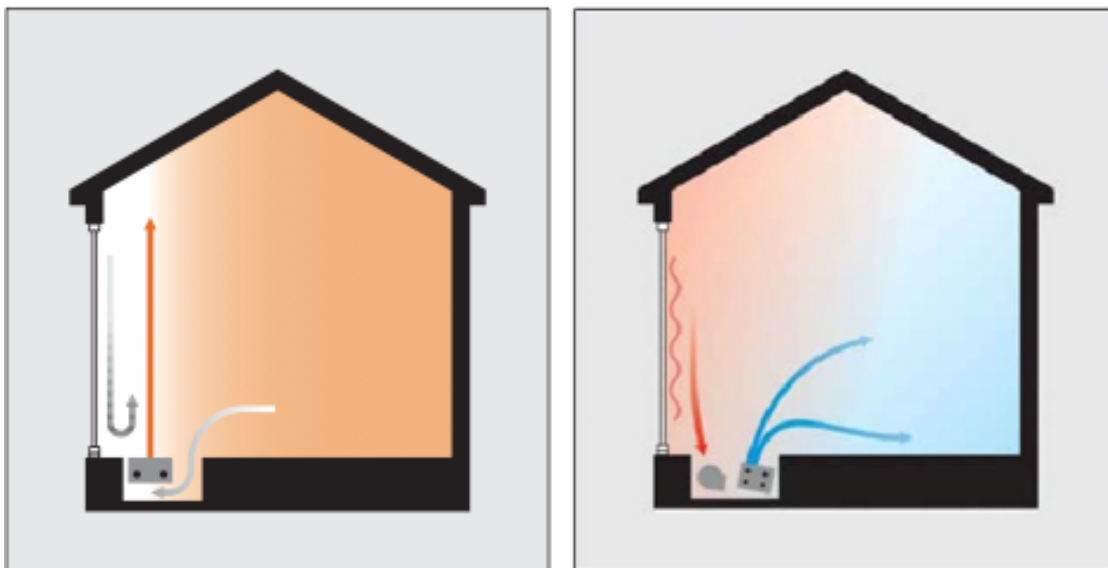
Kao glavna namjena ali i prednost podnih konvektora navodi se presjecanje struje hladnog zraka koji dolazi s velikih staklenih stjena. Hladan zrak koji se slijeva s površine stakla biva usisan u konvektor te zagrijan čime se stvara barijera hladnom zraku sa staklene stijene prema prostoru. Uz povećanje ugodnosti boravka u takvim prostorima, spriječeno je i zamagljivanje stakla uslijed kondenzacije vodene pare.

Ljeti se pak hladnim zrakom iz konvektora hladi zagrijan zrak uz staklenu stijenu ali se i postiže odvlaživanje čime se povećava ugodnost boravka u prostoru.

Podni konvektori su često dodatak sustavima površinskog grijanja odn. hlađenja gdje mogu, za razliku od inertnih sustava s većom količinom vode kao što je podno grijanje na primjer, brže zagrijati ili ohladiti prostor. Također, tijekom prijelaznih razdoblja za potrebe kratkotrajnog grijanja ili hlađenja, podni konvektori su jedno od boljih rješenja.

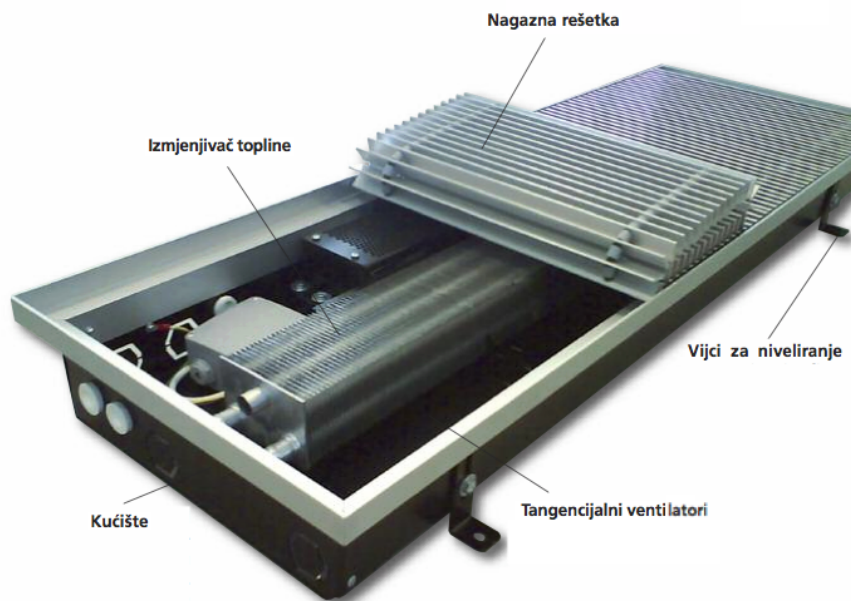
Kod novijih sustava niskotemperaturnog grijanja, koriste se ventilokonvektori s prisilnom konvekcijom čime se osigurava dovoljan toplinski učin.

Jedna od bitnijih stavki moderne arhitekture i uređenja interijera je neupadljivost grijaćih i rashladnih tijela što podni konvektori osiguravaju a ujedno ne oduzimaju korisni prostor niti ometaju kretanje.



**Slika 6. Podni konvektor u režimu grijanja i hlađenja**

## 2.1. Konstrukcijski elementi podnih konvektora



Slika 7. Konstrukcijski elementi podnog konvektora

### 2.1.1. Kučište i vijci za niveliranje

Kučiste podnih konvektora je izrađeno od plastificiranog lima te se izrađuje u standardnim duljinama i dubinama prema tablicama proizvođača. Na kučistu su pripremljene sve rupe za priključke kao i priključak za kondenzat. Kučište nosi sve dijelove konvektora.

Vijcima za niveliranje se prilikom montaže konvektora postiže da gornji rub konvektora bude u ravni s podom.

### 2.1.2. Izmjenjivač topline

Izmjenjivač topline se najčešće sastoji od bakrenih cijevi orebrenih aluminijskim lamelama radi povećanja površine izmjene topline. Najčešće je konstruiran za vodu kao radni medij. Na izmjenjivaču se nalaze i priključci.

### 2.1.3. Ventilatori

U podnim konvektorima s prisilnom konvekcijom se nalaze tangencijalni ventilatori niže razine buke. Kučište ventilatora je mehanički spojeno s kučistem konvektora. Često dolaze s regulatorom broja okretaja za tri različite brzine vrtnje.

#### 2.1.4. Nagazna rešetka

Nagazna rešetka se najčešće izrađuje od aluminijskih profila ali i od drvenih letvica. Rešetka se postavlja u okvir konvektora i služi kao mehanička zaštita izmjenjivača. Također, kao jedini vidljivi element podnog konvektora, mora udovoljiti individualnim zahtjevima krajnjeg korisnika.

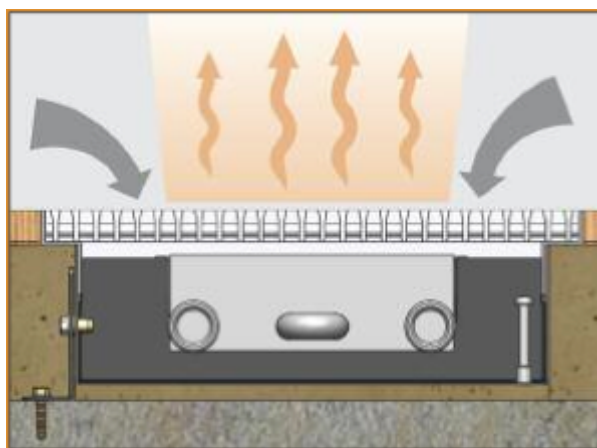
### 2.2. Vrste podnih konvektora

Podni konvektori se prema izvedbi i namjeni najčešće dijele na [2]:

- Podne konvektore s prirodnom konvekcijom
- Podne konvektore s prisilnom konvekcijom
- Podne konvektore za grijanje ili hlađenje
- Četverocijevne podne konvektore za grijanje i hlađenje
- Posebne izvedbe podnih konvektora

#### 2.2.1. Podni konvektori s prirodnom konvekcijom

Podni konvektori s prirodnom konvekcijom se obično ugrađuju u manje prostorije bez većih staklenih površina te u prostorije koje je potrebno samo grijati ili dogrijavati. Rade na principu prirodne konvekcije gdje se teži, hladniji zrak slijeva na dno konvektora gdje se zagrijava na izmjenjivačkoj površini konvektora te zagrijan, lakši uslijed uzgona podiže. Na slici 8 je prikazan primjer podnog konvektora s prirodnom konvekcijom.

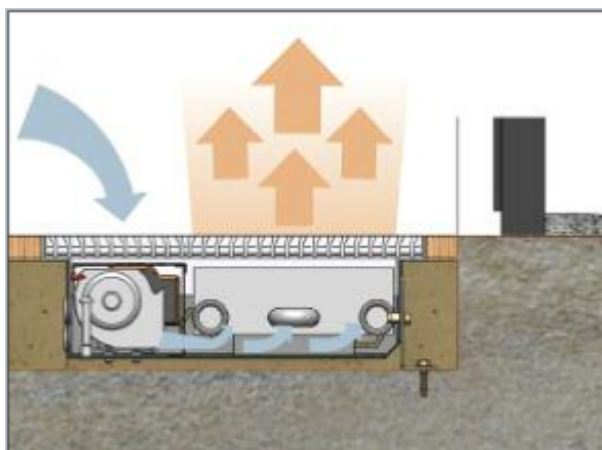


Slika 8. Podni konvektor s prirodnom konvekcijom

### 2.2.2. Podni konvektori s prisilnom konvekcijom

Podni konvektori s prisilnom konvekcijom ili ventilokonvektori, za razliku od konvektora s prirodnom konvekcijom, imaju ugrađene ventilatore koji omogućavaju bolju izmjenu topline te višestruko veće učine. Konstrukcija je nešto zahtjevnija a i potrebno je osigurati električnu energiju za pokretanje ventilatora.

Podni konvektori s prisilnom konvekcijom se najčešće koriste u prostorima s velikim staklenim stijenama kod kojih je potreban veći učin. Na slici 9 je prikazan primjer podnog ventilokonvektora.

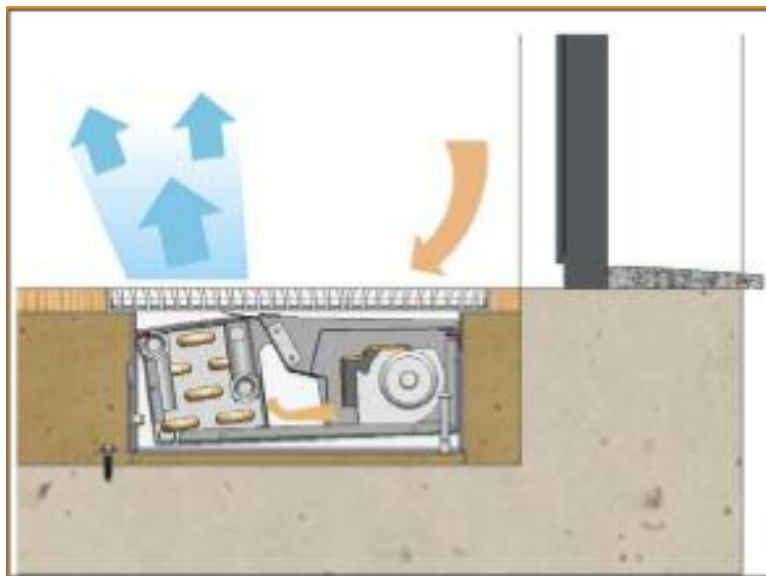


Slika 9. Podni ventilokonvektor

### 2.2.3. Podni konvektori za grijanje ili hlađenje

Podni konvektori za grijanje ili hlađenje, također s ugrađenim ventilatorima, ovisno o sezoni grijanja ili hlađenja usisavaju zrak, griju ga ili hlade te ga ubacuju u unutrašnjost prostora. Ugrađuju se u prostore s velikim staklenim stijenama kao što su izložbeni i prodajni saloni, hoteli, bolnice i slični objekti gdje je potrebno grijati ili hladiti.

U zimskim režimima grijanja, postavljanjem ventilokonvektora uz staklenu stijenu se sprječava prodor hladnijeg zraka koji se slijeva s staklene stijene ili hladnijeg vanjskog zida kao i pojava kondenzacije vlage na staklenoj stijeni. Ljeti, uz hlađenje, benefit je i odvlaživanje prostora čime se povećava toplinska ugodnost u prostoru. Na slici 10 dan je primjer ventilokonvektora u režimu hlađenja.

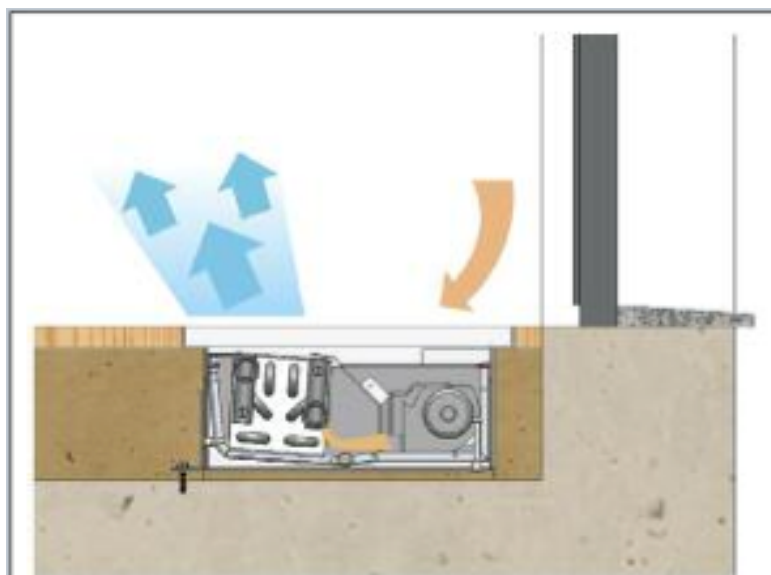


**Slika 10. Podni ventilokonvektor u režimu hlađenja**

#### **2.2.4. Četverocijevni podni konvektori za grijanje i hlađenje**

Četverocijevni podni konvektori za grijanje i hlađenje se ugrađuju u veće objekte koje je potrebno i grijati i hladiti. U četverocijevnom načinu spajanja na sustav grijanja odn. hlađenja postoji mogućnost hlađenja jednog dijela objekta, npr. južne strane objekta a grijanja sjeverne, hladnije strane u prijelaznim razdobljima.

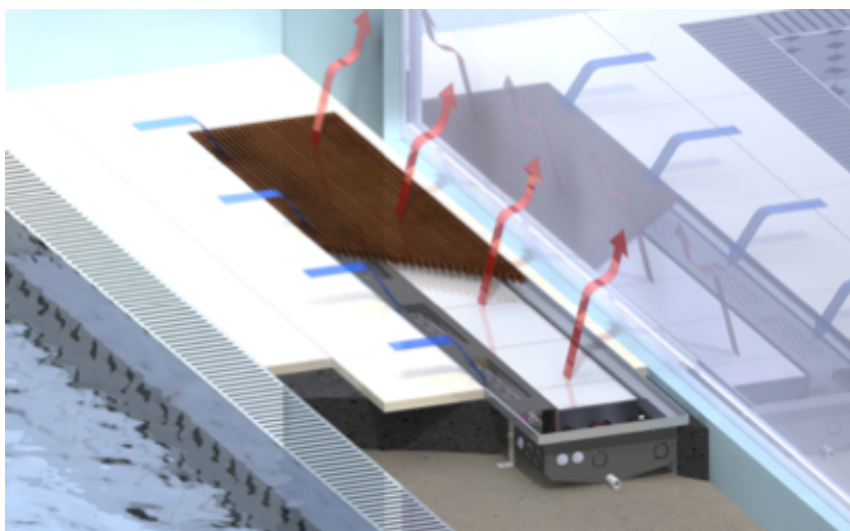
Kao i u slučaju dvocijevnog ventilokonvektora, najčešće se ugrađuju u prostore s većim staklenim površinama. Primjer je dan na slici 11.



**Slika 11. Podni četverocijevni ventilokonvektor**

### 2.2.5. Posebne izvedbe podnih konvektora

Pod posebne izvedbe podnih konvektora treba navesti ventilokonvektore za bazene i vlažne prostore, npr. kupaonice. Kod ovakvih izvedbi potrebno je konstrukcijski osigurati odvod kondenzata konusnim kućištem i odgovarajućim cjevovodom. Također, napajanje ventilatora više ne smije biti 230V već se redovno ugrađuju 12V napajanja. Primjer postavljanja podnog ventilokonvektora za bazene i vlažne prostore dan je na slici 12.



Slika 12. Podni ventilokonvektor za vlažne prostore

### 3. ISPITIVANJE VENTILOKONVEKTORA

Ispitivanje ventilokonvektora je provedeno u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu u studenom 2013. g.

Ispitana su dva ventilokonvektora proizvođača Klimaoprema iz Samobora u režimu hlađenja. Radi se o modelu PKH-150-2000 dimezija 300 x 2000 mm dubine 150 mm. Oba ventilokonvektora su indentičnih dimenzija a razlika je u izmjenjivačima. Kod jednog je razmak među lamelama orebrenja 2,5 mm a kod drugog 3,2 mm. Izmjenjivač je dvocjevnog tipa. Oba ventilokonvektora imaju po 4 ventilatora koji se mogu regulirati na tri različite brzine: MIN, MED i MAX.

Temperaturni režimi na kojima su provedena mjerenja su:

- 7/12 °C
- 10/15 °C
- 16/18 °C

Mjerenja su izvedena prema normama prEN 16430 i EUROVENT 6/3.

#### 3.1. Norma prEN 16430

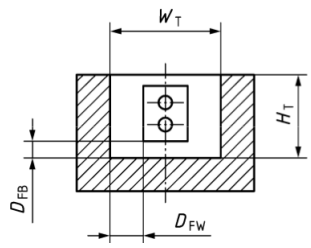
Norma prEN 16430 definira tehničke specifikacije i zahtjeve za radijatore s ventilatorima, ventilokonvektore i podne ventilokonvektore za ugradnju u sustave centralnog grijanja. Norma obuhvaća ogrjevnna tijela s vodom i parom do 120 °C kao radnim medijem s vanjskim izvorom topline. Definirani su i podaci koje proizvođač mora dostaviti pri isporuci da bi se osigurala pravilna montaža i rukovanje. Norma definira metodu ispitivanja ogrjevnog i rashladnog učinka radijatora s ventilatorima, ventilokonvektorima i podnih ventilokonvektora a usko je vezana s normom EN 442.

##### 3.1.1. prEN 16430-1 – Tehničke specifikacije i zahtjevi

###### 3.1.1.1. Dimenzijske tolerancije i tlačna nepropusnost

Dimenzijske tolerancije ne smiju biti veće od onih iz nacrtu proizvođača. U svakom slučaju ne smiju biti veće od onih zadanih u normi EN 442-2. Za podne konvektore se koriste dimenzijske tolerancije konvektora s orebrenim cijevima. Te tolerancije ne smiju biti veće od onh danih u tablici 2.

Tablica 2. Dodatne dimenzijske tolerancije podnih konvektora

| Dimenzijske tolerancije [mm]                                                     |         |                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Kanal (širina $W_T$ i visina $H_T$ )                                             | $\pm 5$ |  |
| Udaljenosti konvektora od kanala (od orebrenja do zida $D_{FW}$ i dna $D_{FB}$ ) | $\pm 5$ |                                                                                     |

Za radijatore i konvektore s ventilatorom, položaj ventilatora mora biti prema tehničkim nacrtima proizvođača s tolerancijom od  $\pm 10$  mm. Proizvođač mora primjeniti sustav kontrole kvalitete koji jamči da proizvod zadovoljava zadane tolerancije.

Za materijale i debljine stijenki čeličnih radijatora, radijatora od lijevanog željeza, lijevanog aluminija ili vučenog aluminija poštuju se zahtjevi norme EN 442-1. Usklađenost s ovim zahtjevom se provjerava mjerenjem.

Debljina stijenke konvektora sa čeličnim cijevima ne bi smjela biti manja od 0,8 mm. Debljina stijenke konvektora s bakrenim cijevima ne bi smjela biti manja od 0,3 mm. Ostali materijali se također mogu koristiti ali moraju zadovoljavati uvjete iz norme.

Prije napuštanja proizvodnog pogona ogrjevnna tijela moraju biti testirana na ispuštanje radne tvari pri tlaku koji je najmanje 1.3 puta veći od određenog maksimalnog tlaka. Tlak testiranja ne smije biti manji od 520 kPa.

Ogrjevnna tijela ne smiju imati neravnine koje bi mogle izazvati ozljedu prilikom rukovanja.

#### 3.1.1.2. Električna i mehanička sigurnost

Električne komponente i ventilator moraju odgovarati uvjetima električne i mehaničke sigurnosti te udovoljavati normama EN 60335-2-80 za električne i EN ISO 12499 za mehaničke komponente.

#### 3.1.1.3. Emisija buke

Emisija buke se mjeri pomoću jedne od sljedećih normi s mjerenjima minimalno do klase 2:

- EN ISO 3741
- EN ISO 3745
- EN ISO 3743-1
- EN ISO 3744

- ISO 9614-1
- ISO 9614-2

Montaža podnih ventilokonvektora u ispitnu prostoriju se vrši prema normi prEN 16430-2, poglavlje 4.1.1.

U slučaju radijatora ili konvektora montaža se vrši po normi prEN 16430-2, poglavlje 4.1.2. U slučaju odstupanja od zadanih specifikacija za montažu, dovoljno je djelomično prekriti pod ispitne sobe najmanje 0,5 m s lijeve, desne i prednje strane kanala u kojem se nalazi konvektor.

Akustično ispitivanje se vrši na temperaturi između 15 °C i 25 °C, bez spajanja na primarni vodeni krug tako da izmjenjivačka površina bude suha. Emisija buke se mjeri pri fiksnoj brzini vrtnje ventilatora (najvišoj, najnižoj i srednjoj), ako je moguće podešavati brzinu vrtnje. Proizvođač može navesti razinu zvučnog pritiska pri absorpciji sobe od 8 dB, što odgovara udaljenosti 2 m od uzorka, volumenu sobe od 100 m<sup>3</sup> i vrijeme odjeka od 0,5 s.

#### 3.1.1.4. Toplinski i rashladni učin

Toplinski učini se određuju u laboratoriju metodom i ispitnim programom navedenim u normi prEN 16430-2, uzimajući u obzir i zahtjeve za ispitnu sobu navedene u normi EN 442-2.

Rashladni kapacitet se vrši u laboratoriju metodom i ispitnim programom navedenim u normi prEN 16430-3, uzimajući u obzir i zahtjeve za ispitnu sobu navedene u normi EN 442-2.

Ovisno o tipu ogrjevnog tijela kojeg i smjeru toplinskog toka, cilj ispitivanja je odrediti:

- standardni toplinski učin i/ili standardni rashladni učin za usporedbu različitih ogrjevnih tijela pri nazivnim vrijednostima (npr. nazivnom primarnom protoku zraka, nazivnoj brzini vrtnje ventilatora)
- toplinski učin i/ili rashladni učin pri promijenjivim radnim režimima (npr. temperaturama vode, brzini vrtnje ventilatora, primarnom protoku zraka itd.) da bi se osigurali standardni tehnički podaci za projektiranje sustava grijanja s ili bez funkcije hlađenja

Ispitnim programom se utvrđuje:

U slučaju podnih konvektora sa ili bez ventilatora:

- standardna karakteristična jednadžba modela ili svakog modela tipa za grijanje i/ili hlađenje

- standardna karakteristična jednadžba tipa grijanja i/ili hlađenja
- standardni toplinski učini i/ili rashladni učini svih modela tipa
- maseni protok vode u svim modelima tipa

U slučaju ventilokonvektora i radijatora s ventilatorom:

- karakterističnu jednadžbu tipa za grijanje i/ili hlađenje pri različitim brzinama vrtnje ventilatora
- standardni toplinski učini i/ili rashladni učini svih modela tipa pri srednjoj brzini ventilatora
- maseni protok vode u svim modelima tipa

U slučaju grijača i konvektora za ventilaciju:

- karakterističnu jednadžbu tipa za grijanje i/ili hlađenje pri različitim protocima primarnog zraka
- standardni toplinski učini i/ili rashladni učini svih modela tipa

Ispitno izvješće se radi prema normi prEN 16430-2 za grijanje i/ili prEN 16430-3 za hlađenje te treba zadovoljavati zahtjeve iz EN ISO/IEC 17025.

#### 3.1.1.5. Kataloški podaci

Ovaj dio norme određuje minimalnu količinu podataka koje proizvođač mora navesti u katalogu proizvoda koji se ispituje. Podaci se navode prema identifikacijskom kodu modela i tipu primjene.

Sljedeći standardni toplinski učini i n eksponent nadtemperature trebaju biti navedeni u katalogu kao i u ispitnom izvješću:

- standardni niskotemperaturni toplinski učin pri nadtemperaturi od 30 K
- standardni toplinski učin pri nadtemperaturi od 50 K

U slučaju radijatora s ventilatorom i ventilokonvektora, standardni toplinski učin i eksponenti se određuju za slučaj nazivne brzine ventilatora i za slučaj gdje je ventilator isključen. Nazivna brzina ventilatora mora biti navedena u katalogu.

U slučaju grijača i konvektora za ventilaciju, standardni toplinski učin i eksponenti se određuju za slučaj nazivnog protoka primarnog zraka.

Ako su učini dobiveni pri standardnim radnim uvjetima, to se mora navesti. A ako nisu dobiveni pri standardnim radnim uvjetima, okolnosti pri kojima su dobiveni rezultati moraju se navesti u ispitnom izvješću i katalogu.

Razina zvučne snage za radijatore s ventilatorom i ventilokonvektore se navodi za nazivnu brzinu ventilatora.

U slučaju radijatora, navode se sljedeće nazivne dimenzije:

- širina
- visina
- duljina
- veličina, tip i pozicija priključaka
- masa praznog radijatora
- količina vode u radijatoru

U slučaju konvektora, navode se sljedeće nazivne dimenzije:

- duljina orebrenog dijela
- veličina, tip i pozicija priključaka
- visina cijevi konvektora
- masa praznog konvektora
- količina vode u konvektoru

Za podne ventilokonvektore, dodatno se navode sljedeće nazivne dimenzije:

- visina kanala
- širina kanala
- dimenzije nagazne rešetke (veličina letvica i razmak)

Dodatno se navode i sljedeći podaci:

- broj ventilatora
- pozicija ventilatora

Za grijače i konvektore za ventilaciju, dodatno se navode sljedeće nazivne dimenzije:

- duljina primarne zračne jedinice
- visina primarne zračne jedinice
- širina primarne zračne jedinice
- veličina i lokacija usisa i ispuha

Proizvođač mora navesti i maksimalni radni tlak kojemu se ogrjevno tijelo može podvrgnuti.

Proizvođač mora navesti i maksimalnu temperaturu vode pri kojoj se uređaj smije koristiti.

Za radijatore s ventilatorom i ventilokonvektore, proizvođač mora navesti sljedeće podatke o električnim spojevima:

- napajanje (napon, tip struje, frekvencija itd.)
- potrošnja energije
- potrošnja energije u pripravnom načinu
- razred zaštite
- ocjena i položaj sigurnosnih elemenata (npr. osigurača)
- dijagram spajanja

Svi katalozi i ostala literatura koja se odnosi na uređaj mora sadržavati:

- broj ili drugi identifikacijski kod
- datum izdavanja ili odgovarajući kod

Također, u katalogu mora biti naveden eksponent  $n$  i dva standardna učina i šifra ustanove koja je provodila ispitivanja. U slučaju radijatora s ventilatorom i ventilokonvektora, učini i eksponenti se daju u kontekstu nazivne brzine ventilatora. U slučaju grijača i konvektora za ventilaciju, učini i eksponenti se daju u kontekstu nazivnog protoka primarnog zraka.

Ogrjevno tijelo mora biti označeno:

1. nazivom ili oznakom proizvođača ili njegovog autoriziranog predstavnika
2. brojem modela ogrjevnog tijela ako se ne može naći u katalogu

Ambalaža treba omogućiti identifikaciju proizvoda.

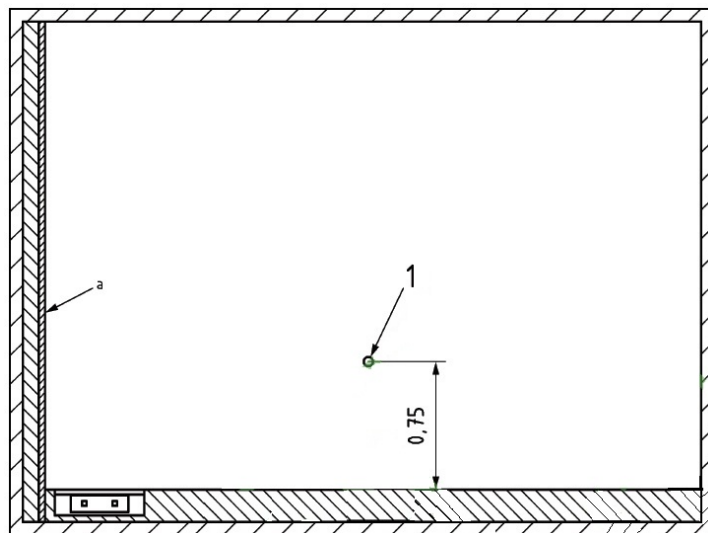
### **3.1.2. prEN 16430-2 – Ispitna metoda i određivanje toplinskog učina**

Zajedno sa zahtjevima iz norme EN 442, norma se odnosi na:

- Podne konvektore postavljene u kanalu obično ispred staklenih stijena
- Radijatore s ventilatorom i ventilokonvektore kojima je uloga je da povećaju konvektivnu izmjenu topline čime se povećava toplinski učin
- Radijatore i ventilokonvektore za ventilaciju koji uz zrak iz prostorije, griju i dodatan (vanjski) zrak
- Jedinice primarnog zraka koje su spojene na radijator, konvektor ili podni konvektor gdje se zrak dogrijava sa ciljem opskrbe sobe primarnim zrakom
- Osnovne jedinice radijatora/konvektora s ventilatorom koje se ponavljaju

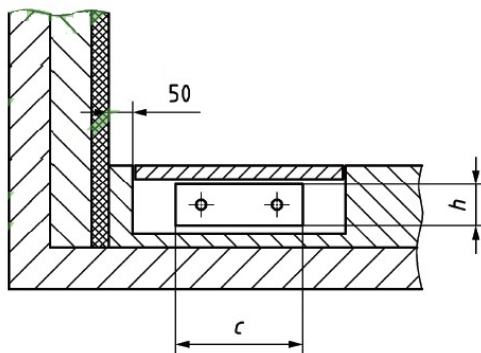
### 3.1.2.1. Priprema zatvorene ispitne prostorije

Stražnji zid ispitne prostorije treba biti ohlađen na površinsku temperaturu od  $16^{\circ}\text{C} \pm 0,5 \text{ K}$  tijekom ispitivanja. To se ostvaruje ili samom izvedbom zida ili postavljanjem rashladne stijenke (emisijski koeficijent zida mora biti minimalno 0,9) koja pokriva cijelu površinu zida uz ispitnu jedinicu (prema EN 442-2). Razmak između rashladne stijenke i zida treba biti zatvoren da se spriječi cirkulacija zraka između njih.



Slika 13. Položaj rashladne stijenke u ispitnoj prostoriji

Podni konvektor s odgovarajućim kanalom i nagaznom rešetkom se postavlja u podu ispitne prostorije ispred rashladne stijenke, poravnat s razinom poda prema uputama proizvođača. Ako nisu zadane ostale dimenzije, udaljenost kanala i stražnjeg zida treba iznositi 0,05 m kao što je prikazano na slici 14. Za potrebe ispitivanja, toplinska izolacija kanala treba imati toplinski otpor od minimalno  $R=1,6 \text{ m}^2\text{K/W}$ .



Slika 14. Položaj rashladne stijenke u ispitnoj prostoriji

U slučaju podnih konvektora bez ventilatora, duljina konvektora koji se ispituje (duljina orebrenih cijevi) treba iznositi 2 m. Ako ta duljina nije dostupna, ispitivat će se konvektor duljine veće od 2 m. Duljina uzorka koji se ispituje treba se podesiti ako ne zadovoljava minimalne ili maksimalne toplinske učine zadane u ovoj normi.

U slučaju podnih konvektora s jednim ili više ventilatora, duljina konvektora koji se ispituje (duljina orebrenih cijevi) treba iznositi najmanje 1 m. Ako ta duljina nije dostupna, ispitivat će se konvektor duljine veće od 1 m. Duljina uzorka koji se ispituje treba se podesiti ako ne zadovoljava minimalne ili maksimalne toplinske učine zadane u ovoj normi.

Konvektor se postavlja u kanal, pričvršćuje se s proizvođačevom opremom prema uputama. Ispitna procedura treba biti popraćena grafičkim prikazima s dimenzijama kanala i konvektora, kao i položaj konvektora u kanalu i izvedbom nagazne rešetke.

Radijatori i zidni konvektori se ugrađuju prema normi EN 442-2. Ukoliko nije zadano od proizvođača, razmak do zida je 0,05 m a do poda 0,11 m. Duljina tijela koje se ispituje (duljina orebrenih cijevi) treba iznositi najmanje 1 m. Ako ta duljina nije dostupna, ispitivat će se duljine veće od 1 m. Duljina uzorka koji se ispituje treba se podesiti ako ne zadovoljava minimalne ili maksimalne toplinske učine zadane u ovoj normi.

#### 3.1.2.2. Ispitna procedura

Izbor uzoraka i opseg ispitivanja treba biti prema zahtjevima po normi EN 442-2. Standardni toplinski učin se određuje pri različitim protocima vode s ograničenjima učina najmanje 200 W i najviše 3500 W (prema standardnim uvjetima).

Karakteristična jednačba:

$$\Phi = K_m \cdot \Delta T^n \quad (1)$$

gdje su

$\Phi$  – toplinski učin

$K_m$  – konstanta modela

$\Delta T$  – nadtemperatura

$n$  – eksponent

Jednačba se određuje na temelju barem tri mjerne točke, pri konstantnom protoku vode i nadtemperaturi  $\Delta T$  od 60, 50 i 30 K  $\pm 2,5$  K.

Standardni nazivni toplinski učin na  $\Delta T = 50 \text{ K}$  i standardni niski toplinski učin na  $\Delta T = 30 \text{ K}$ . Ulazna temperatura vode  $t_1 = 75^\circ\text{C}$ , izlazna temperatura vode  $t_2 = 65^\circ\text{C}$ , referentna temperatura zraka  $t_r = 20^\circ\text{C}$ .

Referentna temperatura zraka od  $20^\circ\text{C}$  se održava uz varijaciju od  $\pm 0,5 \text{ K}$ . Postavljeni protok vode smije imati dopuštenu varijaciju od  $\pm 5 \%$ . Brzina okretaja ventilatora smije imati mjernu točnost od  $\pm 1 \%$ , varijaciju od  $5 \%$  za cijelu karakterističnu jednadžbu, i varijaciju od  $2 \%$  za svaku mjernu točku. U odstupanju od EN 442-2 za grijača tijela s ventilatorima, referentna temperatura zraka se mjeri u dvije točke  $2 \text{ m}$  od stražnjeg zida na liniji koja odgovara desnoj i lijevoj strani postavljenog konvektora. Protok vode se dobiva pomoću standardne nadtemperature od  $50 \text{ K}$  i temperaturnog pada od  $10 \text{ K}$  između ulazne temperature vode i izlazne temperature vode, i treba se održavati konstantnim uz toleranciju od  $\pm 5 \%$  za sve mjerne točke. Dodatno, električna snaga ventilatora se mjeri s točnošću od minimalno  $\pm 5 \%$ .

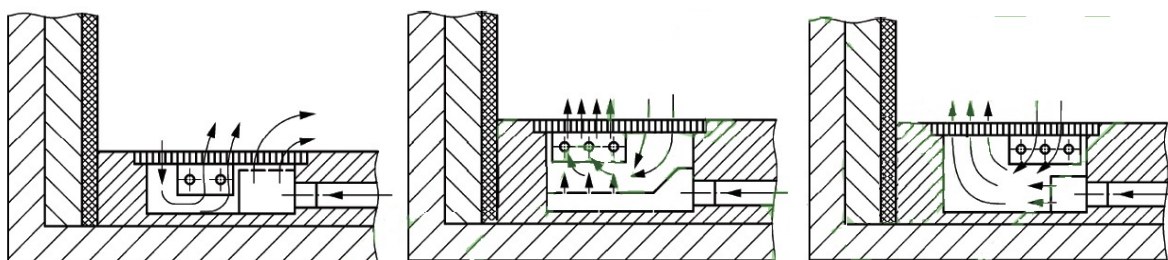
Ispitno izvješće se treba sastaviti u skladu s normom EN 442-2 i treba sadržavati, osim informacija propisanih tom normom i dodatak da je određen standardni učin  $\Phi_S$ .

Ispitno izvješće treba navesti konstrukcijske dimenzije i materijal podnog konvektora i nagazne rešetke. U slučaju radijatora s ventilatorom i ventilokonvektora, ispitno izvješće po normi EN 442-2 mora sadržavati informaciju o brzini okretaja ventilatora kao i električnu energiju dovedenu ventilatoru. Ispitno izvješće treba sadržavati grafički prikaz, od proizvođača, konvektora sa svim dimenzijama.

### 3.1.2.3. Podni konvektori s ventilacijom

Podni konvektori s ventilacijom imaju dobavu zraka iz vanjske ventilacijske jedinice i nemaju vlastiti ventilator. Ako dobavni zrak prolazi samo kroz dio konvektora, toplinski učin dijela kroz koji ne prolazi zrak se razmatra prema normi EN 442-2.

Ventilacijski konvektori se obično postavljaju u pod. Sastoje se od konvektora i jedinice primarnog zraka koja se postavlja ispod ili uz konvektor kao što je prikazano na slici 15.



Slika 15. Podni konvektor s ventilacijom

#### 3.1.2.4. Ispitivanje toplinskog učina

Ispitivanje toplinskog učina se provodi u zatvorenoj ispitnoj prostoriji koja odgovara zahtjevima prema normi EN 442-2. Suprotno normi EN 442-2, u lijevom i desnom zidu prostorije se postavljaju otvori kako bi se omogućio dovod i odvod zraka iz konvektora. Dodatno na podatke iz EN 442-2, bilježe se i:

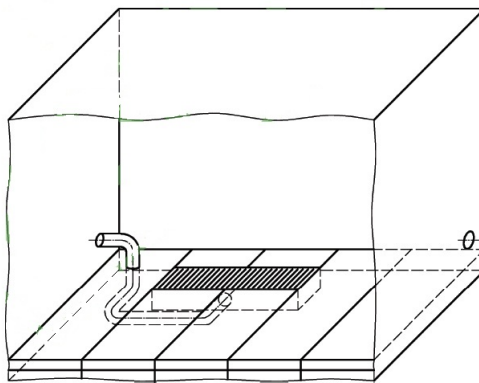
- Temperatura primarnog zraka  $t_{L1}$ , 1 m prije ulaza zraka u konvektor
- Temperatura primarnog zraka  $t_{L2}$ , odmah na izlazu iz konvektora.
- Protok zraka  $V_L$  u l/s.

Tolerancija se primjenjuje prema EN 442-2. Protok primarnog zraka se određuje u području između 5 i 20 l/s uz toleranciju od  $\pm 5\%$  ili  $\pm 0,5$  l/s.

Postupak mjerenja za određivanje toplinskog učina se sastoji od mjerenja protoka vode i entalpijske razlika ulaza i izlaza vode iz konvektora (metoda vaganja). Druge metode mjerenja bi trebale postići što bližu razinu preciznosti metodi vaganjem.

Ispitni laboratoriji koji provode mjerenja po ovoj normi bi trebali provesti komparativna mjerenja s ostalim ispitnim laboratorijima (prema EN 442-2).

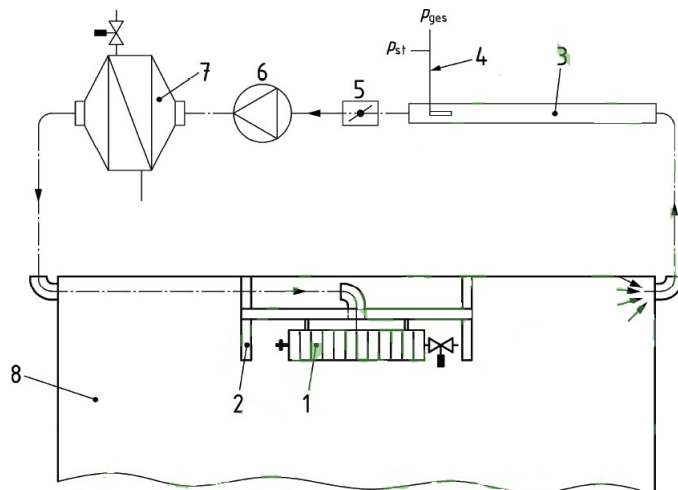
Za ispitivanje podnih konvektora, u podu ispitne prostorije se postavlja cijev za protok zraka kako primarni zrak ne bi poremetio struju zraka iz konvektora prema slici 16.



**Slika 16. Postavljanje cijevi za dovod primarnog zraka**

Na slici 17 je kao primjer prikazana izvedba ventilacijske jedinice. Sastoji se od sljedećih elemenata: jedinice za mjerenje protoka zraka (4), jedinice za regulaciju protoka zraka (5), ventilatora (6) i izmjenjivača topline za hlađenje zraka (7). Protok zraka se mjeri neposredno nakon izlaza iz ispitne prostorije (8), nakon toga se hladi do potrebne temperature primarnog zraka i prolazi kroz ventilator nakon koje ulazu u ispitnu prostoriju putem sustava toplinski

izoliranih cijevi (toplinske provodljivost minimalno  $0,04 \text{ W/(mK)}$ ), debljine minimalno  $30\text{mm}$ ). Ventilacijska jedinica se dimenzionira na način da omogućuje protok zraka od  $5 \text{ l/s}$  ( $18 \text{ m}^3/\text{h}$ ) do  $20 \text{ l/s}$  ( $72 \text{ m}^3/\text{h}$ ), koji se odvodi iz ispitne prostorije, hladi na  $-10^\circ\text{C} \pm 1 \text{ K}$  i vraća u ispitnu prostoriju. Cijeli sustav mora biti nepropustan. Ostali elementi na slici su: ogrjevno tijelo (1), okovni zid (2) i cjevovod za mjerenje brzine (3).



**Slika 17. Prikaz ventilacijske jedinice**

Prirodna konvekcija unutar ispitne prostorije ne smije biti poremećena od strane dodatno postavljene instalacije. Uređaj koji se ispituje se postavlja u ispitnu prostoriju prema uputama proizvođača. Radijator treba biti ventiliran i spoj primarnog zraka mora bit postavljen.

Standardne referentne točke i standardni protoci vode:

- Temperatura vode na ulazu  $t_1 = 75^\circ\text{C}$ ;
- Temperatura vode na izlazu  $t_2 = 65^\circ\text{C}$ ;
- Referentna temperatura zraka  $t_r = 20^\circ\text{C}$ ;
- Temperatura primarnog zraka  $t_{L1} = -10^\circ\text{C}$ ;
- Nadtemperatura prostorije  $\Delta T = t_m - t_r = 50 \text{ K}$ ;
- Nadtemperatura primarnog zraka  $\Delta T = t_m - t_{L1} = 80 \text{ K}$ ;
- Standardni protok primarnog zraka  $V_{L,S} = 10 \text{ l/s}$ .

Protok vode (standardni protok vode) se mora postaviti na referentnu točku da omogućava temperaturnu razliku vode na ulazu i izlazu od približno  $10 \text{ K}$ , i mora biti konstantan za svaku mjernu točku. Ako nam je temperatura zraka drugačija od zadane, to moramo navesti u ispitnom izvješću.

Tijekom cijelog perioda ispitivanja, moramo održavati stacionarno stanje u ispitnoj prostoriji. Ispitne vrijednosti se bilježe u redovitim intervalima pomoću akvizicijskog sustava. Stacionarno stanje je postignuto kada se vrijednosti u barem 12 vremenskih točaka u 30 minuta ne mijenjaju u sljedećim tolerancijama:

- Temperatura vode  $\pm 0,1$  K;
- Referentna temperatura zraka  $\pm 0,1$  K;
- Temperatura primarnog zraka  $\pm 0,2$  K;
- Iznos protoka vode  $\pm 1,0$  %;
- Iznos protoka primarnog zraka  $\pm 2,5$  %.

Ne postoji potreba ovlaživanja primarnog zraka.

#### 3.1.2.5. Karakteristične krivulje

Vrijednosti dobivenog toplinskog učina se predstavljaju krivuljom u ovisnosti o nadtemperaturi u prostoriji. Za vrijednosti protoka primarnog zraka u tri točke (nulti protok, standardni protok i maksimalni protok), dobivaju se karakteristične krivulje i njihove matematičke jednadžbe.

Karakteristične jednadžbe ispitnog uzorka su:

$$\Phi_0 = K_0 \cdot \Delta T^{n_0} \quad (2)$$

$$\Phi_{10} = K_{10} \cdot \Delta T^{n_{10}} \quad (3)$$

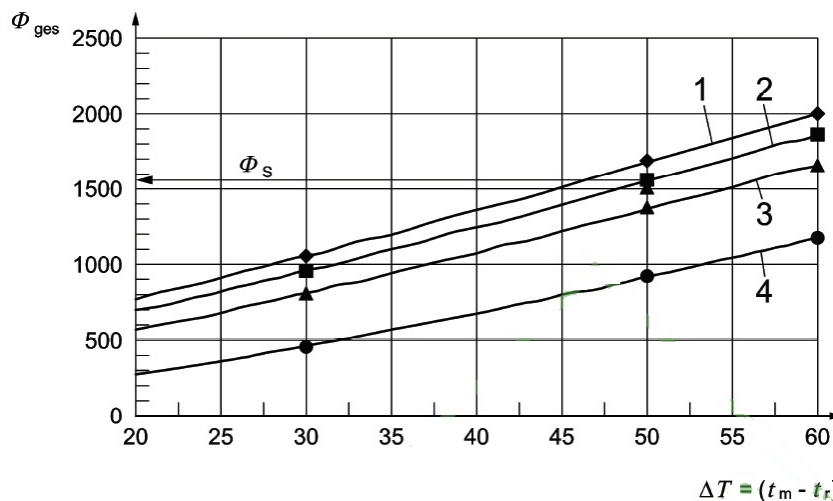
$$\Phi_{\max} = K_{\max} \cdot \Delta T^{n_{\max}} \quad (4)$$

Gdje su:

$\Phi_0, \Phi_{10}, \Phi_{\max}$  toplinski učini pri protocima primarnog zraka  $V_0, V_{10}, V_{\max}$

$K_0, K_{10}, K_{\max}$  konstante pri protocima primarnog zraka  $V_0, V_{10}, V_{\max}$

$n_0, n_{10}, n_{\max}$  eksponenti pri protocima primarnog zraka  $V_0, V_{10}, V_{\max}$

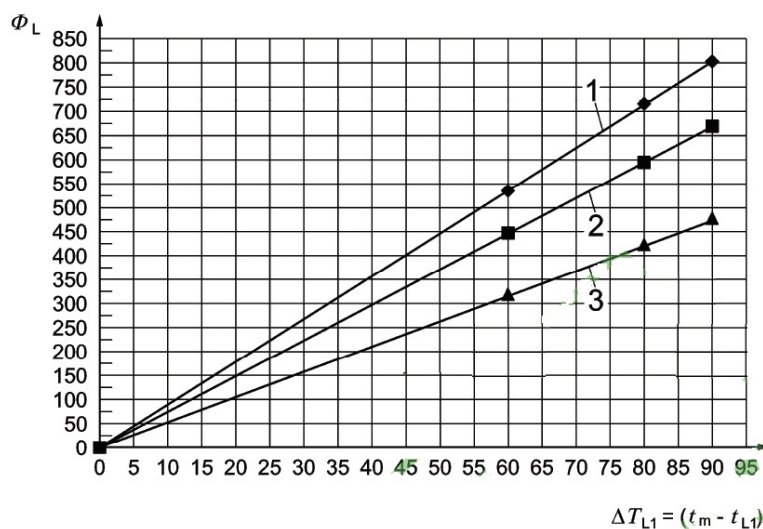


Slika 18. Primjer karakterističnih krivulja toplinskog učina konvektora

Krivulje na slici 18:

1.  $\Phi_{\max}(V_{L,\max} = 15 \text{ l/s})$
2.  $\Phi_{10}(V_{L,S} = 10 \text{ l/s})$
3.  $\Phi_5(V_{L,S/2} = 5 \text{ l/s})$
4.  $\Phi_0(V_{L,0} = 0 \text{ l/s})$

Toplinski učin primarnog zraka se odnosi na razliku toplinskog učina s primarnim zrakom i toplinskog učina bez primarnog zraka. Takav toplinski učin rezultira karakterističnom krivuljom prikazanom na slici 19. Krivulja prikazuje ovisnost toplinskog učina o razlici srednje temperature vode  $t_m$  i temperaturi primarnog zraka  $t_{l1}$  za različite protoke primarnog zraka.



Slika 19. Primjer karakterističnih krivulja toplinskog učina primarnog zraka

Krivulje na slici 19:

1.  $V_L=15 \text{ l/s}$ ,  $\Phi_{ZL}=8,96\Delta T_{L1}$
2.  $V_L=10 \text{ l/s}$ ,  $\Phi_{ZL}=7,44\Delta T_{L1}$
3.  $V_L=5 \text{ l/s}$ ,  $\Phi_{ZL}=5,24\Delta T_{L1}$

Na temelju podataka iz karakteristične krivulje dobivamo jednadžbu za toplinski učin primarnog zraka:

$$\Phi_{ZL} = K_L \cdot \Delta T_{L1} \cdot V_L^{n_L} \quad (5)$$

Gdje su:

$K_L$  konsanta jednadžbe vezane uz primarni zrak

$n_L$  eksponent

$\Delta T_{L1}$  nadtemperatura primarnog zraka

$V_L$  protok zraka

#### 3.1.2.6. Završno izvješće

Osim ispitnih vrijednosti prema normi EN 442-2, završno izvješće treba sadržavati i sljedeće podatke:

- ulaznu i izlaznu temperaturu primarnog zraka  $t_{L1}$ ,  $t_{L2}$
- protok primarnog zraka  $V_L$
- karakterističnu krivulju ispitnog uzorka
- karakterističnu krivulju za toplinski učin primarnog zraka
- standardni toplinski učin ispitnog uzorka
- duljinu konvektora  $L_a$  i duljinu dijela konvektora kroz koji struji primarni zrak
- detaljnji grafički prikaz ispitnog modela

Vrijednosti toplinskog učina se matematički zaokružuju na jednu decimalu za vrijednosti ispod 100 W, za više vrijednosti se zapisuje cijeli broj.

#### 3.1.3. prEN 16430-3 – Ispitna metoda i određivanje rashladnog učina

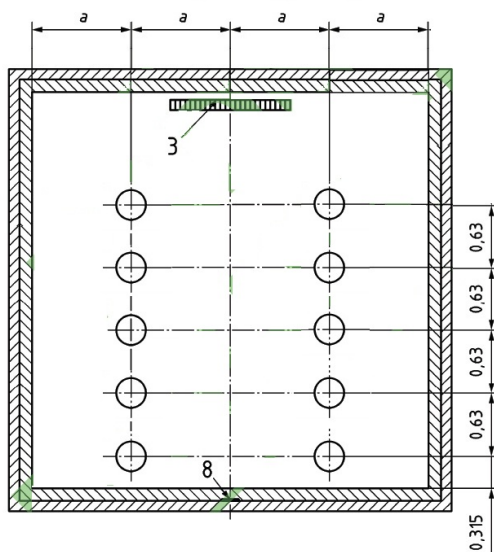
Odnosi se na ista ogrjevnja tijela kao u prEN 16430-2 te određuje toplinska svojstva ogrjevnih tijela u rashladnom režimu, pri podtemperaturi od 8K gdje je podtemperatura razlika između temperature u ispitnoj prostoriji i srednje temperature vode.

Rashladni učin se određuje u stacionarnim uvjetima, pri mjerenjima rashladne vode odnosno razlike temperature ulaza i izlaza rashladne vode iz kondenzatora. Rashladni učin se prikazuje kao funkcija razlike referentne temperature i srednje temperature rashladne vode.

### 3.1.3.1. Ispitna prostorija

Ispitivanje se provodi u ispitnoj prostoriji prema normi EN 442-2, koja se sastoji od zatvorene prostorije u kojoj kontroliramo temperature unutarnjih površina i sekundarnog glavnog radijatora za rashladni kapacitet.

U svrhu uravnoteženja rashladnog učina, ispitna prostorija se grije sa 10 električnih grijača koji se nalaze na podu ispitne prostorije. Grijači su raspoređeni prema slici 20. Toplinski učin svakoga od grijača ne smije biti veći od 180 W.



**Slika 20. Ispitna prostorija s postavljenim konvektorom i grijačima**

Pod i strop ispitne prostorije se toplinski izoliraju tako da toplinski tok kroz njih ne bude veći od  $0,40 \text{ W/m}^2$  tijekom ispitivanja.

Za razliku od norme EN 442-2, referentna temperatura zraka u prostoriji mora biti  $28^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ K}$  tijekom ispitivanja.

Temperatura zidova, poda i stropa ispitne prostorije se regulira i održava na vrijednosti koja je slična referentnoj temperaturi prostorije. Razlika mora biti manja od  $1,0 \text{ K}$ .

Emisivnost zračenja površina unutar ispitne prostorije mora biti minimalno  $0,9$ .

### 3.1.3.2. Ispitna procedura

Ispitna procedura se provodi po normi EN 442-2.

Analogno nadtemperaturama, zadane podtemperature su:

$$\Delta T = (8 \text{ K} \pm 0,5) \text{ K}$$

$$\Delta T = (10 \text{ K} \pm 0,5) \text{ K};$$

$$\Delta T = (12 \text{ K} \pm 0,5) \text{ K};$$

Podtemperatura je razlika referentne temperature zraka u ispitnoj prostoriji i srednje temperature vode u konvektoru:

$$\Delta T = t_r - \frac{(t_1 - t_2)}{2} \quad (6)$$

Gdje su:

$t_r$  referentna temperatura zraka

$t_1$  temperatura vode na izlazu

$t_2$  temperatura vode na ulazu

Cilj ispitivanja je odrediti standardni rashladni učin radijatora odn. konvektora da se odrede vrijednosti rashladnog učina i podtemperature. Te vrijednosti se ne mogu direktno izmjeriti, nego se moraju izračunati koristeći druge izmjerene vrijednosti i podatke iz toplinskih tablica. Mjerna nesigurnost ne smije biti veća od  $\pm 25 \text{ W}$ .

Za sve mjerne točke karakteristične jednadžbe, vrijede sljedeći zahtjevi:

- Referentna temperatura zraka:  $t_r = 28^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ K}$
- Namješteni protok vode:  $\pm 5 \%$
- Brzina okretaja ventilatora: mjerna točnost:  $\pm 1$   
stabilnost za cijelo područje od  $5 \%$   
stabilnost za svaku mjernu točku od  $2 \%$

Dodatno, električna energija ventilatora se mjeri pri točnosti od minimalno  $\pm 5 \%$ . Ta energija se dodaje pri konačnom proračunu rashladnog učina.

Primarni glavni radijator za rashladni učin se smatra sastavnim dijelom ispitne linije prema normi i koristi se za ponavljanje testa (Round Robin-ov test).

Sekundarni glavni radijator za rashladni učin se smatra sastavnim dijelom ispitne opreme svakog laboratorija i koristi se za ponovljivost.

U slučaju radijatora odn. konvektora bez ventilatora, njihova duljina (duljina orebrenih cijevi) mora biti minimalno 2m. U slučaju radijatora odn. konvektora s ventilatorom, duljina (duljina orebrenih cijevi) mora biti minimalno 1m.

Pri određivanju rashladnog učina, ispituju se minimalne i maksimalne karakteristike modela. Ostali rashladni učini se određuju linearnom interpolacijom.

Postavljanje ispitnog uzorka se radi po normi EN 442-2, osim ako proizvođač nije postavio drugačije zahtjeve. Ako nije, udaljenost ispitnog uzorka od stražnjeg zida treba biti 0,05 m, a udaljenost od poda ispitne prostorije treba biti 0,11m.

Površinsku temperaturu stražnjeg zida ispitne prostorije treba tijekom ispitivanja održavati konstantnom, u vrijednosti  $\pm 0,5$  K referentne temperature prostorije. To se može ostvariti upotrebom rashladne površine koja pokriva cijeli stražnji zid, i čiji emisijski koeficijent zračenja iznosi minimalno 0,9. Rashladna površina mora prijanjati što bliže stražnjem zidu kako ne bi postojalo strujanje zraka između njih.

Podni konvektor s pripadnim kanalom i kućištem se postavlja u podu ispitne prostorije ispred stražnjeg zida, u ravnini poda u skladu s uputama proizvođača. Ako proizvođač nije dao drugačiji zahtjev, udaljenost podnog konvektora i stražnjeg zida iznosi 0,05 m. Za potrebe ispitivanja, toplinski otpor izolacije u kanalu mora biti minimalno  $R=1,6 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Ispitni uzorak se spaja na mjernu opremu prema uputama proizvođača.

Najmanji rashladni kapacitet ne smije biti niži od 150 W pri podtemperaturi od  $10 \text{ K} \pm 0,5 \text{ K}$ .

Protok vode se postavlja pri vrijednosti podtemperature od  $10 \text{ K} \pm 0,5 \text{ K}$  i temperaturnog pada vode od  $2 \text{ K} \pm 1 \text{ K}$ .

Ispitivanje se provodi pri referentnoj temperaturi zraka od  $28^\circ\text{C}$ . Garantira se da je temperatura zidova viša od temperature rošenja za vrijeme mjerenja.

Stacionarno stanje primarnog hidrauličkog kruga i ispitne prostorije se mora održavati tijekom cijelog perioda ispitivanja. Izmjerene vrijednosti se nadgledaju u regularnim intervalima. Stacionarno stanje se snima u minimalno 12 točaka unutar 30 minuta, i pri tome temperature vode i zraka mogu odstupati  $\pm 0,1 \text{ K}$ , a protok vode 1,0 %.

### 3.1.3.3. Ispitni izvještaj

Laboratorij mora pripremiti ispitni izvještaj baziran na procedurama i izračunima datima u ovoj normi. Ispitni izvještaj treba biti u skladu s normom EN ISO/IEC 17025.

U ispitnom izvješću trebaju biti navedeni sljedeći podaci:

- Standardna karakteristična jednadžba ispitnog modela
- Standardni rashladni učin ispitnog modela
- Za slučaj rada s ventilatorom:
  - karakteristična jednadžba pri minimalnoj, srednjoj i maksimalnoj brzini okretaja
  - rashladni učin pri minimalnoj, nominalnoj i maksimalnoj brzini okretaja
  - brzina okretaja ventilatora (o/min) za svaki režim rada

Rashladni učin se zaokružuje na jednu decimalu ako je vrijednost ispod 100 W, dok se zaokružuje na cijeli broj ako su vrijednosti više. Eksponent funkcije se zapisuje s tri decimale. Temperature se zapisuju s jednom decimalom.

## 3.2. EUROVENT 6/3

Norma EUROVENT 6/3 opisuje procedure za određivanje ogrjevnog i rashladnog učina ventilokonvektora.

### 3.2.1. Ispitni uvjeti

U tablici 3 su dani standardni ispitni uvjeti za određivanje ogrjevnog i rashladnog učina.

**Tablica 3. Standardni ispitni uvjeti za određivanje učina**

| Standardni ispitni uvjeti                                                 | Grijanje              | Hlađenje s odvlaživanjem |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Temperatura medija (vode)                                                 | 70 ili 50 °C          | 7 °C                     |
| Određivanje masenog protoka prema razlici temperatura polaza i povrata od | 10 °C                 | 5 °C                     |
| Temperatura dobavnog zraka                                                | 20 °C                 | 27 °C                    |
| Brzina vrtnje ventilatora                                                 | Maksimalna i odabrana | Maksimalna i odabrana    |
| Struja                                                                    | Zadana                | Zadana                   |

Ostale brzine ventilatora bira proizvođač. Ako se brzina mijenja variјatorom, proizvođač daje brzine ventilatora koje se provjeravaju ispitivanјem.

Ispitivanje se vrši nad uređajem koji sadrži sljedeće komponente:

- Jedan ili više izmjenјivača
- Jedan ili više ventilatora
- Sakupljač kondenzata
- Filtar zraka
- Okvir za spajanje
- Kućište

### **3.2.2. Ispitni instrumenti**

#### **3.2.2.1. Termometri**

Mјerenje temperature se provodi s јednim od sljedećih instrumenata:

- Termometri s živom
- Termoparovi
- Otpornički termometri

Točnost instrumenata za mјerenje temperature zraka i vode mora biti 0,1 °C a ostalih temperatura 0,6 °C. Instrumenti moraju biti umјereni od strane odgovarajućeg tijela.

#### **3.2.2.2. Manometri**

Točnost manometara mora dozvolјavati mјerenja unutar  $\pm 1$  Pa. Najmanja raspodјela skale ne smije biti veća od određene točnosti. Barometarski tlak se mјeri s točnošću od  $\pm 0,1$  %.

#### **3.2.2.3. Električni instrumenti**

Točnost električnih instrumenata mora biti unutar  $\pm 0,5$  %. Mјerenja se provode wattmetrom ili brojačem.

#### **3.2.2.4. Mјerenje protoka vode**

Mјeri se masa, volumen vode ili protok. Instrumenti za mјerenje protoka trebaju imati točnost od  $\pm 1$  % mјerene količine. Spremnik za mјerenje protoka vode mora imati kapacitet za najmanje 2 minute mјerenja.

### **3.2.3. Podaci koji se bilježe**

Podaci koji se bilježe kod određivanja ogrjevnog ili rashladnog učina sadržavaju:

- Datum
- Provođitelje i nadzornike mjerenja
- Barometarski tlak
- Brzina ventilatora ispitne jedinice
- Napon i frekvencija svakog motora ventilatora
- Električna snaga ulazna
- Jakost struje ulazna
- Kontrolne temperature u ispitnoj prostoriji i van prostorije
- Snaga unesena u prostoriju
- Količina i temperatura vode za ovlaživanje
- Maseni protok rashladne vode
- Temperatura polaza i povrata iz ispitne jedinice
- Količina i temperatura kondenzata

### **3.2.4. Mjerenje pada tlaka**

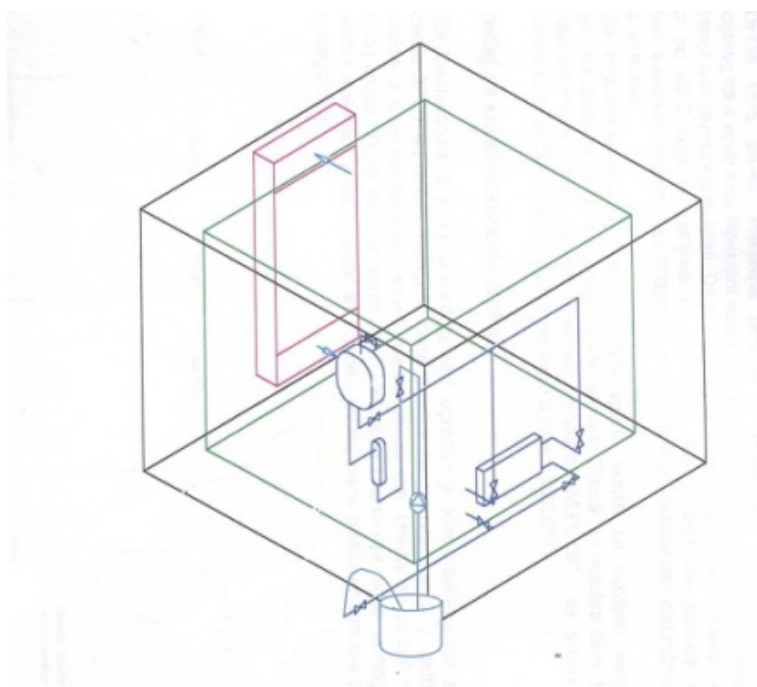
Mjerenje pada tlaka se provodi pri sljedećim uvjetima:

- Ventilatori zaustavljeni
- Srednja temperatura ulazne vode manja od 10 °C
- Najmanje 4 masena protoka uključujući maksimalne i minimalne zadane od proizvođača

Prikaz pada tlaka se daje u ovisnosti o masenom protoku.

### 3.3. Mjerna linija

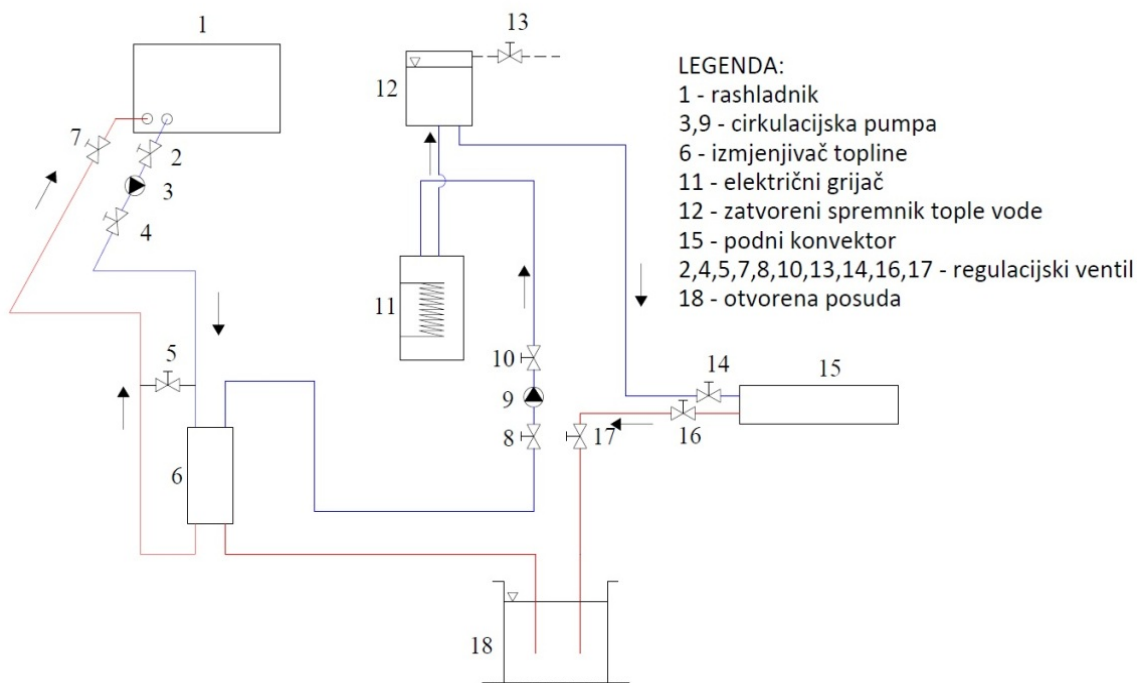
Za potrebe mjerenja rashladnog učinka ventilokonvektora PKH-150-2000, isti je montiran u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u posebnu “prostoriju u prostoriji” što prikazuje slika 13. Unutarnja prostorija se nalazi obavijena još jednom prostorijom koja služi za simuliranje rashladnog odn. ogrjevnog opterećenja. Vanjski klima ormar zagrijava odn. hladi zrak koji obavija unutarnju prostoriju. U ovom slučaju nije korištena ova metoda već je toplinsko opterećenje simulirala električna grijalica.



**Slika 21. Pojednostavljena shema ispitne prostorije**

Podni konvektor je postavljen u podu prostorije s gornjom rešetkom u ravni poda. Izvan prostorije postavljena je otvorena posuda s vodom iz koje se dvijema pumpama osigurava protjecanje vode kroz sustav. Sustav je otvoren što nam omogućuje mjerenje protoka uz pomoć vage i kronometra. Alternativa bi bila instalacija protokomjera što se pokazalo netočnijim i kompliciranijim načinom u prijašnjim mjerenjima. Pumpe tjeraju vodu kroz pločasti izmjenjivač gdje se voda hladi na temperaturu par °C nižu od zahtijevanog temperaturnog režima. Nakon pločastog izmjenjivača, voda odlazi u električni grijač vode gdje se voda finom regulacijom dogrijava na željenu temperaturu polaza. Nakon grijača, nalazi se spremnik vode koji anulira eventualne oscilacije u temperaturi vode. Voda željene temperature odlazi u ventilokonvektor u prostoriji gdje prima toplinsko opterećenje iz prostorije koje je simulirano električnom grijalicom. Time se temperatura u prostoriji održava na razini zadanoj normom a u slučaju mjerenja rashladnog učina iznosila je 26 °C.

Hlađenje vode na zahtjevane vrijednosti postiže se u sekundarnom rashladnom krugu gdje je korišten klasični rashladni uređaj koji je smjesu etilen-glikola i vode hladio na temperaturu nižu od zadanog temperaturnog režima. Razlog niže temperature je dodatan pločasti izmjenjivač u kojem se hladi voda kao radni medij pri mjerenju rashladnog učinka ventilokonvektora jer se htjelo izbjeći punjenje ventilokonvektora smjesom etilen-glikola i vode. Na slici 14 je prikazana shema rashladnog kruga.



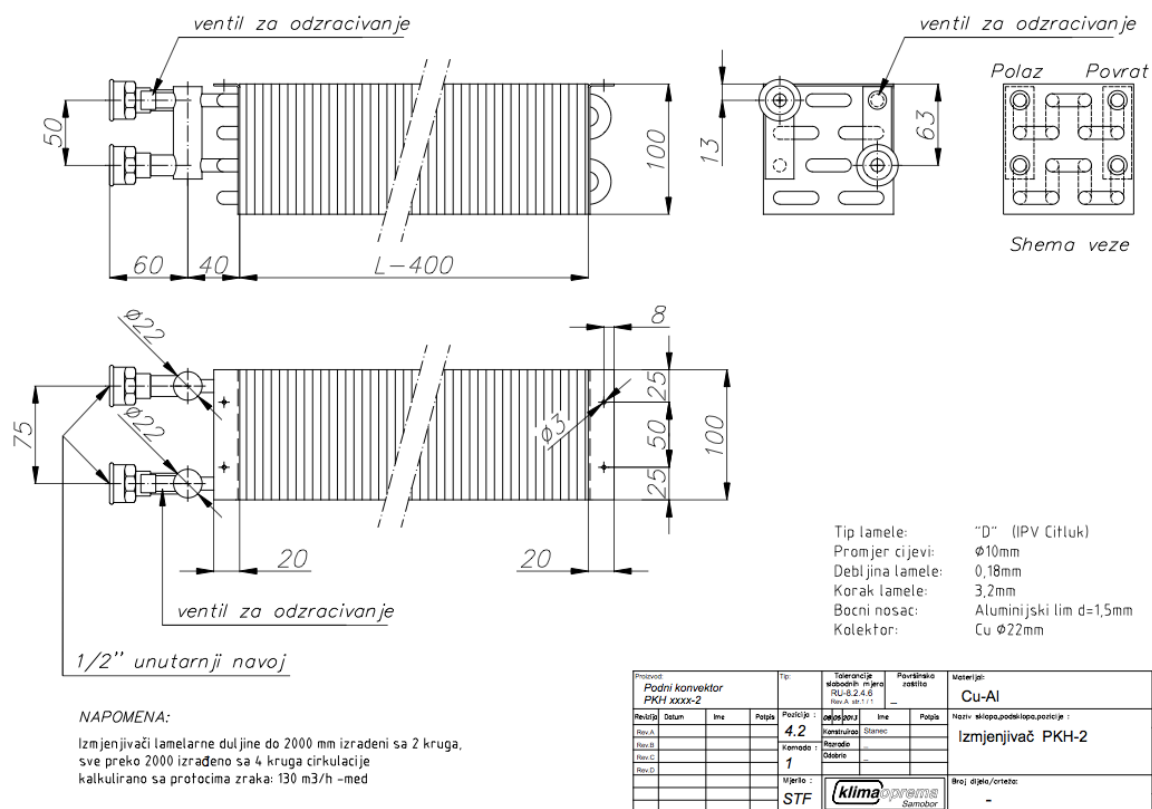
Slika 22. Shema rashladnog kruga

### 3.4. Komponente mjerne linije

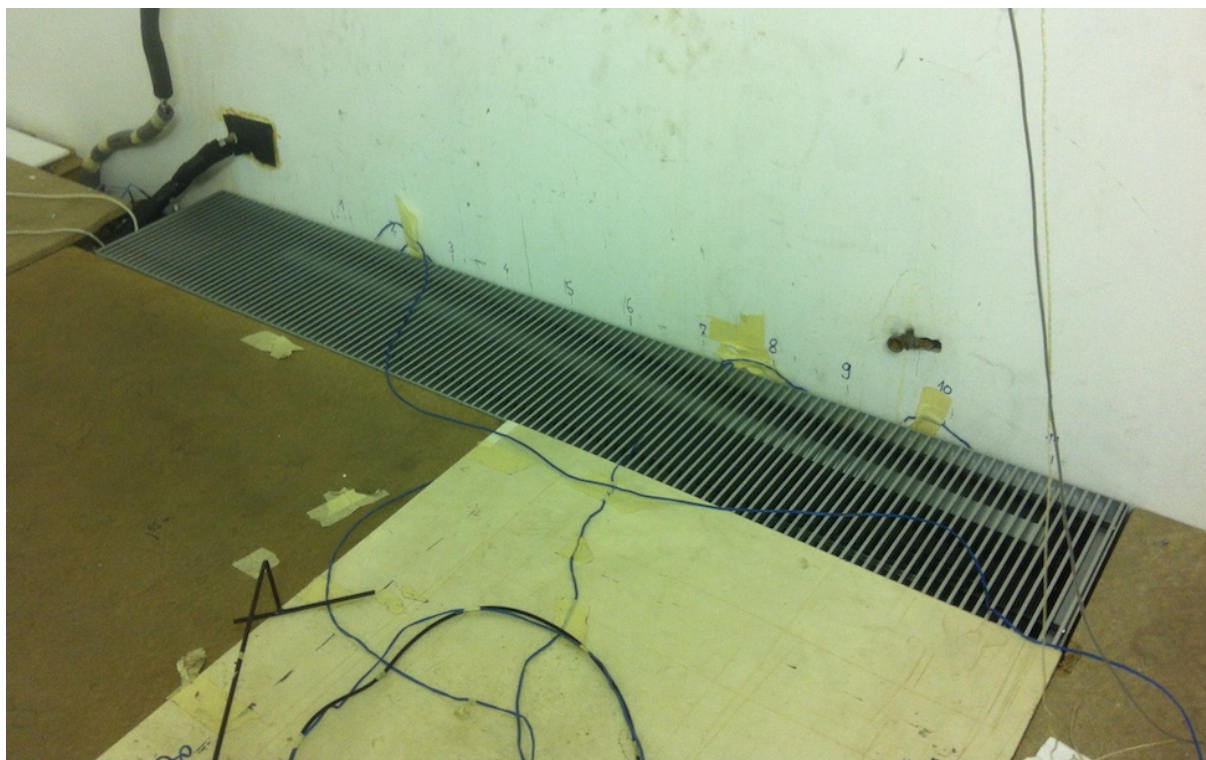
#### 3.4.1. Ventilokonvektor PKH-150-2000

Podni ventilokonvektor PKH-150-2000 je dvocjevni konvektor tvrtke Klimaoprema iz Samobora. Četiri ventilatora s tri različite brzine vrtnje osiguravaju bolju izmjenu topline. Mjerenja rashladnog učinka rađena su na dvije varijante izmjenjivača: s razmakom lamela orebrenja od 2,5 i 3,2 mm. Sve ostale dimenzije su indentične a iznose:

- Duljina kućišta konvektora: 2000 mm
- Dubina kućišta konvektora: 150 mm
- Širina kućišta konvektora: 300 mm



Slika 23. Shema izmjenjivača ispitivanog ventilokonvektora



Slika 24. Prikaz montiranog ventilokonvektora u ispitnoj prostoriji

### 3.4.2. Pločasti izmjenjivač

Pločasti izmjenjivač se nalazi u krugu rashladnog uređaja u kojem je rashladni medij smjesa etilen-glikola i vode. Preko njega se hladi voda u krugu ventilokonvektora. Izmjenjivač je prikazan na slici 25.

Karakteristike pločastog izmjenjivača:

- Produđač: CIAT
- Tip: EXL 6 20K



Slika 25. Pločasti izmjenjivač rashladnog kruga

### 3.4.3. Rashladni uređaj

Za hlađenje vode u sekundarnom rashladnom krugu brine se klasični zrak-voda rashladni uređaj s radnom tvari R410A. U vanjskoj jedinici je i kondenzator i isparivač koji hladi smjesu etilen-glikola i vode. Regulacija rashladnog uređaja dozvoljava postavljanje maksimalne temperature koju smjesa može postići.

Karakteristike rashladnog uređaja:

- Produđač: Aermec
- Tip: ANL H 50
- Instalirana električna snaga: 4,3 kW
- Rashladni učin: 13,4 kW



**Slika 26. Rashladni uređaj sekundarnog rashladnog kruga**

#### **3.4.4. Cirkulacijske pumpe**

Dvije cirkulacijske pumpe u primarnom rashladnom krugu osiguravaju cirkulaciju vode i savladavaju padove tlaka kroz ventilokonvektor, pločasti izmjenjivač, grijač i cjevovod. Pumpe nisu frekventno regulirane te nije njima reguliran protok već zapornim ventilima. Na slici 27 je prikazana jedna pumpa iz sustava.

Karakteristike pumpe:

- Proizvođač: Grundfoss
- Tip: UPS 25-60 180



**Slika 27. Cirkulacijska pumpa primarnog rashladnog kruga**

### 3.4.5. Električni dogrijač s regulatorom

Kako se zbog regulacije na rashladnom uređaju ne mogu postići stacionarne vrijednosti temperatura, u primarnom krugu koristi se električni dogrijač koji služi za dogrijavanje vode u krugu ventilokonvektora na zadane vrijednosti. Postolji mogućnost ukapčanja do tri grijača, ovisno o potrebnoj toplinskoj snazi. Regulacija je finija i u koracima od 0,5 °C što je bilo dovoljno za postizanje zadanih stacionarnih stanja. Na slici 28 je prikazan električni dogrijač s regulacijom.

Karakteristike električnog dogrijača i pripadajuće regulacije:

- Proizvođač: Centrometal
- Tip: 5E 143
- Snaga: 6000 W



Slika 28. Električni dogrijač s regulacijom

### 3.4.6. Spremnik vode

Spremnik vode se nalazi iznad dogrijača u primarnom rashladnom krugu i služi kao zaliha rashladne vode te anulira oscilacije temperature čime se osigurava stacionarno stanje polazne vode.



Slika 29. Spremnik vode

### 3.4.7. Vaga i kronometar

Protok je mjeren pomoću vage i kronometra. Masa rashladne vode na povratu iz ventilokonvektora je mjerena u vremenu. Regulacija protoka vršena je zapornim ventilima i/ili ukopčavanjem odn. iskopčavanjem pumpe. Nakon svake korekcije, protok je mjeren ponovno.

Karakteristike vage:

- Proizvođač: OHAUS
- Tip: C-11
- Mjerno područje: 0,2 – 30 kg
- Osjetljivost: 10 g



Slika 30. Vaga za mjerenje protoka

### 3.4.8. Električna grijalica i regulator

Električna grijalica je bila smještena u prostoriji s ventilokonvektorom i simulirala je toplinsko opterećenje prostorije. Kako se mijenjanjem brzine ventilatora na ventilokonvektoru mijenjao rashladni učin, učin grijalice je reguliran promjenom napona.

Karakteristike grijalice:

- Snaga: 3 kW



Slika 31. Električna grijalica s regulacijom napona

### 3.4.9. Diferencijalni pretvarač tlaka

Diferencijalni pretvarač tlaka mjeri razliku tlaka na ulazu i izlazu iz ventilokonvektora. Izlazni podaci su mA što se pretvara u Pa. Pretvarača tlaka je prikazan na slici 32.

Karakteristike diferencijalnog pretvarača tlaka:

- Proizvođač: Omega
- Tip: PX-750
- Mjerno područje: 0 – 150 in H<sub>2</sub>O
- Izlazni signal: 4 – 20 mA



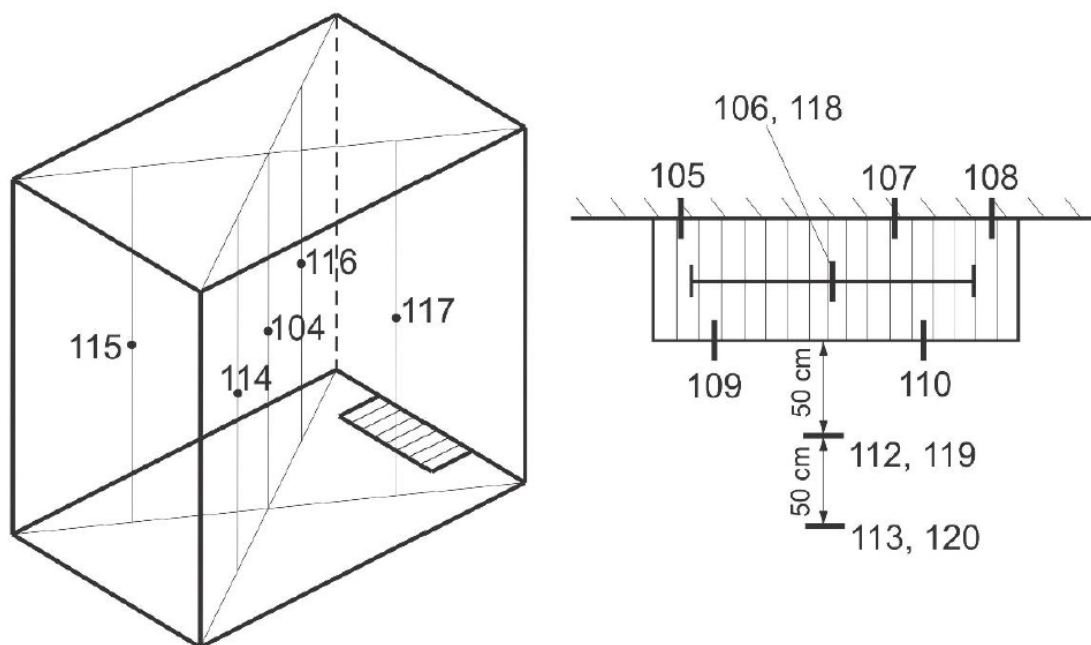
Slika 32. Diferencijalni pretvarač tlaka

### 3.4.10. Termoparovi

Termoparovima je mjerena temperatura u 15 točaka. Mjerena je temperatura polaza i povrata vode u ventilokonvektoru, temperatura prostorije u 5 točaka, temperatura zraka na usisu ventilokonvektora te temperature ispuha zraka iz ventilokonvektora u 4 točke. Termoparovi su tip K, bakar-konstantan. Na slici 33 je prikazan termopar a na slici 34 raspored termoparova po prostoriji i ventilokonvektoru.



Slika 33. Termopar tip K



Slika 34. Razmještaj termoparova po prostoriji i ventilokonvektoru

#### 3.4.11. Anemometar sa žarnom niti

Anemometrima su mjerene brzine zračnog mlaza na izlazu iz ventilokonvektora. Brzine su mjerene u okomitom smjeru iznad ventilokonvektora na visini od 5 cm te u vodoravnom smjeru na 0,5 m i 1 m od ventilokonvektora.

Karakteristike anemometra:

- Proizvođač: TSI inc.
- Tip: 8455-150
- Mjerno područje: 0 – 50 m/s
- Izlazni signal: 0 – 10 V



Slika 35. Anemometar sa žarnom niti

### 3.4.12. Akvizicijski sustav

Uloga akvizicijskog sustava u mjernoj liniji je da prikupi podatke o temperaturama i brzinama u mjerenom sustavu u određenim vremenskim intervalima. Svih 15 termoparova i 3 anemometra su bili spojeni na akvizicijski sustav a on na računalo te su na kraju mjerenja dobiveni izlazni podaci u ovisnosti o vremenu u formi tabličnih vrijednosti.

Karakteristike akvizicijskog sustava:

- Proizvođač: Agilent Technologies
- Broj kanala: 20



Slika 36. Akvizicijski sustav sa spojenom mjernom opremom

### 3.4.13. Multifunkcijski mjerni uređaj

Multifunkcijskim mjernim uređajem je mjerena relativna i apsolutna vlažnost te je kontrolirana temperatura u prostoriji.

Karakteristike multifunkcijskog mjernog uređaja:

- Proizvođač: Ahlborn
- Tip: Almemo 2690



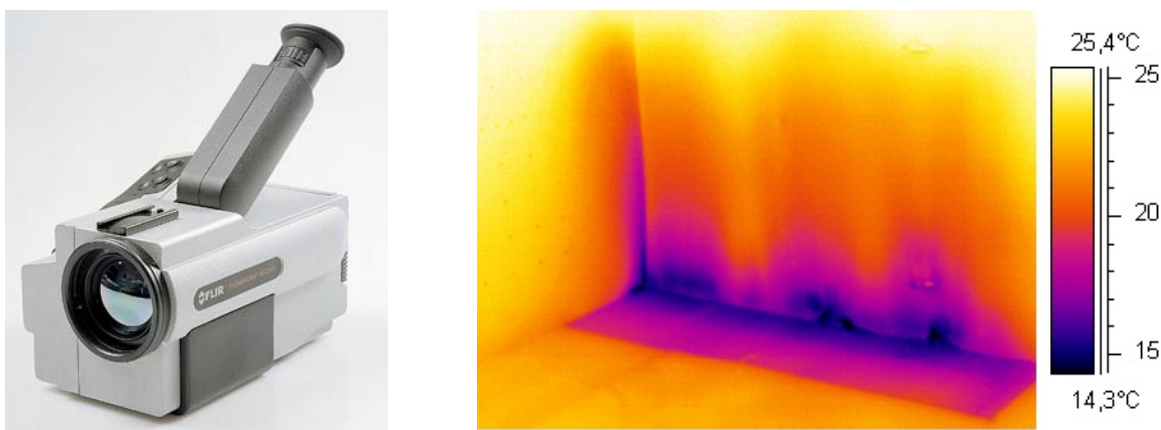
Slika 37. Multifunkcijski mjerni uređaj

#### 3.4.14. Termografska kamera

Za potrebe kvalitativnog određivanja strujanja zraka iz ventilokonvektora korištena je termografska kamera. Kako je nemoguće snimiti temperaturu zraka termografskom kamerom, snimano je zagrijavanje zida i kartonske plohe u struji zraka kako bi se dobio uvid u raspored temperatura i intenzitet mlaza zraka. Na slici 38 je dan prikaz termografske kamere i primjer termograma.

Karakteristike termografske kamere:

- Proizvođač: FLIR
- Tip: Thermacam SC2000



Slika 38. Termografska kamera i primjer termograma

### 3.5. Opis mjerenja

Nakon montaže ventilokonvektora u ispitnu prostoriju te poštivanja svih zahtjeva i preporuka zadanih normama prEN 16430 i EUROVENT 6/3 postavljeni su svi mjerni uređaji i oprema.

Prvi korak je bio upogoniti rashladni uređaj sekundarnog kruga koji je preko pločastog izmjenjivača hladio vodu kao radni medij primarnog rashladnog kruga kroz ventilokonvektor. Nakon toga se uključuju ventilatori na ventilokonvektoru te cirkulacijske pumpe primarnog kruga. Regulacijom protoka zapornim ventilima se osigurava zadana temperaturna razlika polazne i povratne vode u ventilokonvektoru. Temperatura polaza se regulira električnim dogrijačem.

Zadana temperatura prostorije od 26 °C se osigurava električnom grijalicom te pripadajućim regulatorom napona kao simulacija toplinskog opterećenja prostorije.

### 3.5.1. Mjerenje rashladnog učina ventilokonvektora

Dogovoreno je da se mjeri rashladni učin ventilokonvektora u tri temperaturna režima i za svaki režim na tri različite brzine ventilatora. Ukupno je dobiveno 9 radnih točaka s pripadajućim podacima koji su analizirani u sljedećem poglavlju.

**Tablica 4. Redosljed mjerenja ventilokonvektora**

| Redni broj<br>mjerenja | Temperaturni<br>režim [°C] | Brzina<br>ventilatora |
|------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1                      | 16/18                      | 3                     |
| 2                      | 16/18                      | 2                     |
| 3                      | 16/18                      | 1                     |
| 4                      | 10/15                      | 3                     |
| 5                      | 10/15                      | 2                     |
| 6                      | 10/15                      | 1                     |
| 7                      | 7/12                       | 3                     |
| 8                      | 7/12                       | 2                     |
| 9                      | 7/12                       | 1                     |

Nakon postizanja stacionarnih uvjeta svih zadanih temperatura, počinje samo mjerenje odn. prikupljanje podataka na računalo preko akvizicijskog sustava. Bilježeno je svih 15 temperatura i 3 brzine mlaza zraka.

### 3.5.2. Mjerenje protoka vode kroz ventilokonvektor

Protok vode, nakon postizanja zadanog temperaturnog režima, se mjeri pomoću vage i štoperice te se mjeri protočna masa vode u vremenu. U slučajevima manjeg protoka kod nižih brzina ventilatora se zbog veće točnosti mjerila količina vode u dužem vremenskom periodu.

### 3.5.3. Mjerenje brzina i temperatura u mlazu zraka

Iako su temperature i brzina mlaza 5 cm iznad ventilokonvektora mjereni zajedno s ostalim podacima, dodatno se mjerila okomita komponenta brzine i temperatura iznad

ventilokonvektora na visinama prema tablici 5. Također, mjerene su temperature i vodoravna komponenta brzine prema tablici 6.

**Tablica 5. Mjerenja brzina i temperatura iznad ventilokonvektora**

| Mjerna točka | Visina od konvektora [m] | Mjereni podatak     |
|--------------|--------------------------|---------------------|
| 1            | -0,05                    | temperatura         |
| 2            | 0,25                     | temperatura, brzina |
| 3            | 0,5                      | temperatura, brzina |
| 4            | 1                        | temperatura, brzina |
| 5            | 1,5                      | temperatura, brzina |
| 6            | 2                        | temperatura, brzina |
| 7            | 2,5                      | temperatura, brzina |

**Tablica 6. Mjerenja brzina i temperatura pri podu**

| Mjerna točka | Udaljenost od konvektora [m] | Mjereni podatak     |
|--------------|------------------------------|---------------------|
| 1            | 0                            | temperatura, brzina |
| 2            | 0,5                          | temperatura, brzina |
| 3            | 1                            | temperatura, brzina |

#### **3.5.4. Mjerenje relativne i apsolutne vlažnosti u prostoriji**

Relativna i apsolutna vlaga mjereni su u prostoriji za svako mjerenje učina ventilokonvektora. Također, multifunkcijskim uređajem je kontrolirana i temperatura u prostoriji.

#### **3.5.5. Mjerenje protoka zraka kroz ventilokonvektor**

Protok zraka kroz ventilokonvektor je određivan mjerenjem brzina izlaznog zraka iz ventilokonvektora u 22 točke te množenjem osrednjene vrijednosti s površinom i gustoćom. Kako su mjerenja za istu brzinu ventilatora odstupala u više ponavljanja i vrijednosti brzine previše oscilirale mjerenjem u samoj točki, odlučeno je na ventilokonvektor postaviti kutiju dimenzija 1625 x 155 mm, visine 1100 mm na način da pokrije ventilokonvektor u površini gdje zrak struji preko izmjenjivača i izlazi iz ventilokonvektora. Razlog takve odluke je

namjera da se smiri tok i turbulentnost strujanja te omogući mjerenje smirene brzine po cijeloj površini. Za razliku od mjerenja brzine u 22 točke na samoj rešetci ventilokonvektora, gdje nije bilo moguće odrediti točno koja komponenta se mjeri i da li je već došlo do miješanja s okolnim zrakom, zaključeno je da se ovom metodom mjeri samo onaj zrak koji je prošao preko izmjenjivača ventilokonvektora.

### ***3.5.6. Snimanje mlaza zraka termografskom kamerom***

Na kraju svakog mjerenja ventilokonvektor je sniman i termografskom kamerom. Kako termografijom ne možemo snimiti temperaturu zraka jer zrak propušta toplinsko zračenje, sniman je zid i kartonska ploha umetnuta u mlaz izlaznog zraka iz ventilokonvektora te se na taj način uočio profil strujanja i domet mlaza zraka što je bio orijentir za postavljanje termoparova i anemometara.

## 4. ANALIZA REZULTATA MJERENJA

Nakon mjerenja su podaci koje je zabilježio akvizicijski sustav obrađeni te analizirani. Mjerenja koja su obavljena manualno, upisana su u tabličnom formatu. Također je dan grafički prikaz mjerenja. Podaci koji se indirektno mjere, moraju se izračunati.

### 4.1. Izračun indirektno mjerenih vrijednosti

#### 4.1.1. Srednja temperatura vode

Srednja temperatura vode određena je izrazom:

$$\vartheta_m = \left( \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2} \right) \quad (7)$$

Gdje su

$\vartheta_1$  temperatura vode na ulazu u ventilokonvektor

$\vartheta_2$  temperatura vode na izlazu iz ventilokonvektora

#### 4.1.2. Maseni protok vode

Mjerena je masa vode koja prolazi kroz ventilokonvektor u vremenu. Maseni protok je izračunat prema:

$$q_m = \frac{m}{t} \quad (8)$$

#### 4.1.3. Maseni protok zraka

Mjerene su brzine strujanja zraka nad površinom ventilokonvektora za svaku brzinu ventilatora. Maseni protok zraka je izračunat prema:

$$q_{m,z} = v \cdot A \cdot \rho \quad (9)$$

Gdje su

$v$  brzina strujanja zraka

$A$  površina iznad ventilokonvektora

$\rho$  gustoća zraka

#### 4.1.4. Rashladni učin konvektora

Rashladni učin na strani vode je određen prema:

$$\Phi_{r,w} = q_{m,w} \cdot (h_{w1} - h_{w2}) = q_{m,w} \cdot (c_{p1} \cdot \vartheta_1 - c_{p2} \cdot \vartheta_2) \quad (10)$$

Gdje su

$c_p$  toplinski kapacitet vode

$q_m$  maseni protok vode

Rashladni učin na strani zraka je određen prema:

$$\Phi_{r,w} = q_{m,z} \cdot (h_{z1} - h_{z2}) = q_{m,z} \cdot (c_{p,z1} \cdot \vartheta_{z1} - c_{p,z2} \cdot \vartheta_{z2}) \quad (11)$$

Gdje su

$c_{p,z}$  toplinski kapacitet zraka

$\vartheta_{z1}$  temperatura zraka na ulazu u ventilokonvektor

$\vartheta_{z2}$  temperatura zraka na izlazu iz ventilokonvektora

#### 4.1.5. Eksponent toplinskog učina

Karakteristična jednadžba je oblika:

$$\Phi = B \cdot \Delta\vartheta^n \quad (12)$$

Gdje je podtemperatura:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_r - \vartheta_m = \vartheta_r - \left( \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2} \right) \quad (13)$$

$\vartheta_r$  referentna temperatura zraka mjerena u sredini ispitne prostorije

Eksponent rashladnog učina  $n$  određuje se primjenom metode najmanjih kvadrata:

$$n = \frac{N \cdot \sum(\log \Delta\vartheta \cdot \log \Phi) - \sum(\log \Delta\vartheta) \cdot \sum(\log \Phi)}{N \cdot \sum(\log \Delta\vartheta)^2 - (\sum \log \Delta\vartheta)^2} \quad (14)$$

Gdje je

$N$  broj mjernih točaka

## 4.2. Ventilokonvektor PKH 150 2000, razmak lamela 2,5 mm

### 4.2.1. Temperaturni režim 16/18, brzina ventilatora 3

Tablica 7. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 3

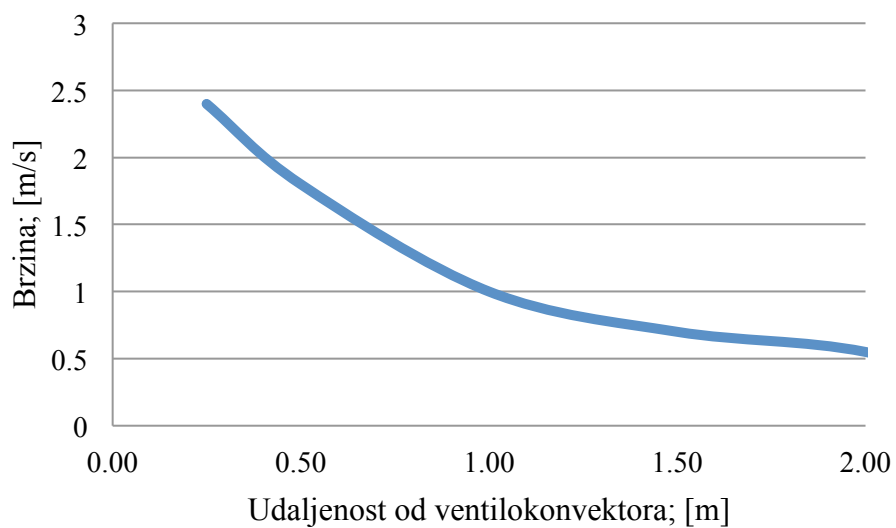
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 15,6                         | 17,75                         | 395,7              | 26,56                         | 990      |

Tablica 8. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 3

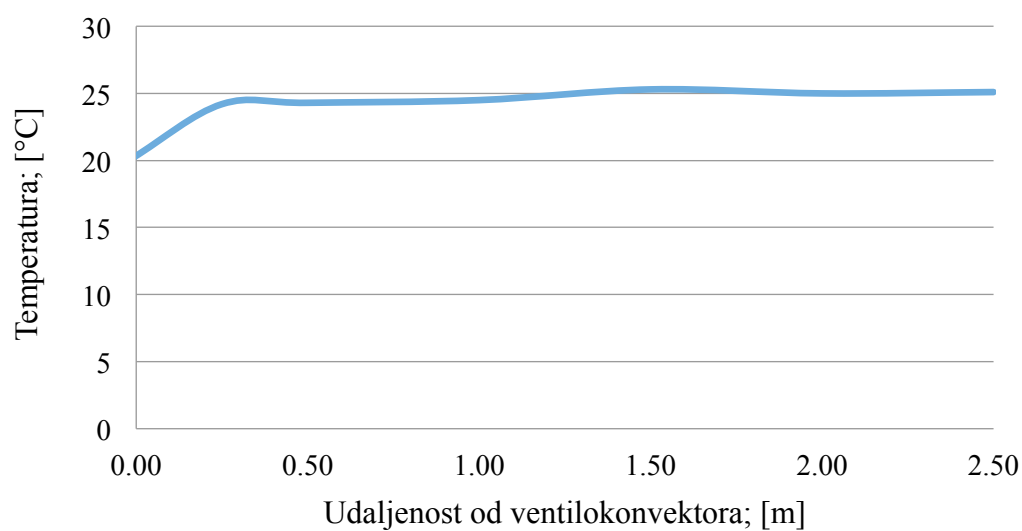
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,5          | 27,1             |
| 0,5            | 0,15         | 26,9             |
| 1              | 0,12         | 27,3             |

Tablica 9. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 3

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 20,2             |
| 0,25           | 2,4          | 24,2             |
| 0,50           | 1,8          | 24,3             |
| 1,00           | 1            | 24,5             |
| 1,50           | 0,7          | 25,3             |
| 2,00           | 0,55         | 25               |
| 2,50           | 0,15         | 25,1             |



Slika 39. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 3



Slika 40. Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 3

#### 4.2.2. Temperaturni režim 16/18, brzina ventilatora 2

Tablica 10. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 2

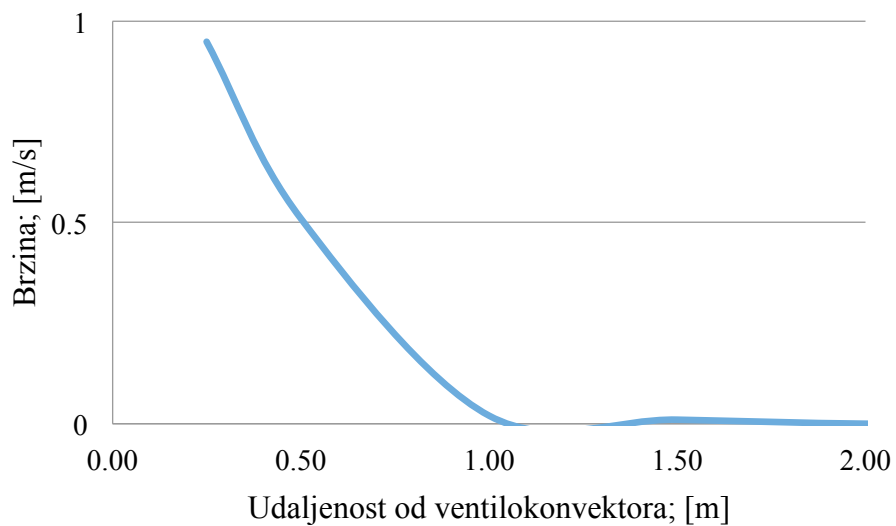
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 15,95                        | 18,17                         | 144                | 27,24                         | 373,324  |

Tablica 11. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 2

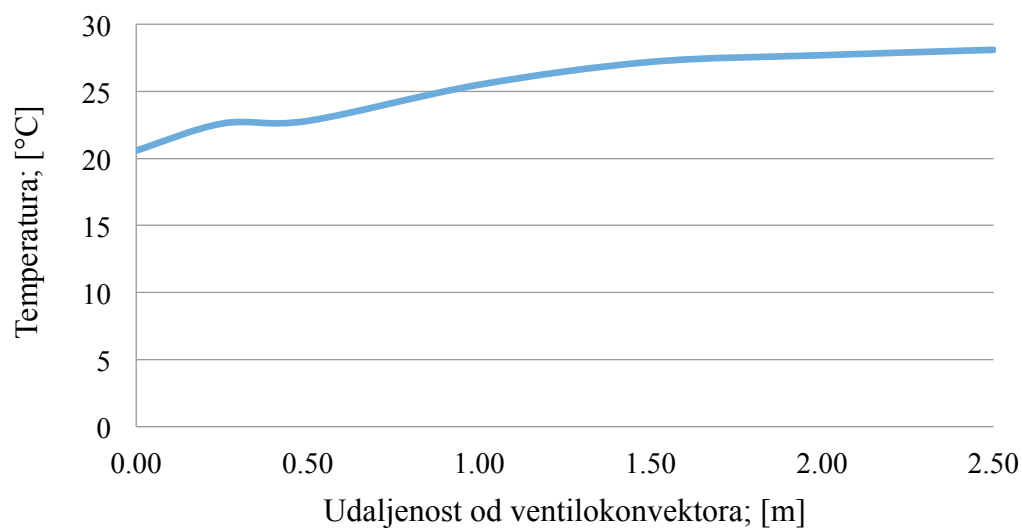
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,1          | 27,2             |
| 0,5            | 0,17         | 26,8             |
| 1              | 0,13         | 27,3             |

Tablica 12. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 2

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 20,5             |
| 0,25           | 0,95         | 22,6             |
| 0,50           | 0,51         | 22,8             |
| 1,00           | 0,02         | 25,5             |
| 1,50           | 0,01         | 27,2             |
| 2,00           | 0            | 27,7             |
| 2,50           | 0            | 28,1             |



**Slika 41. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 2**



**Slika 42. Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 2**

#### 4.2.3. Temperaturni režim 16/18, brzina ventilatora 1

Tablica 13. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 1

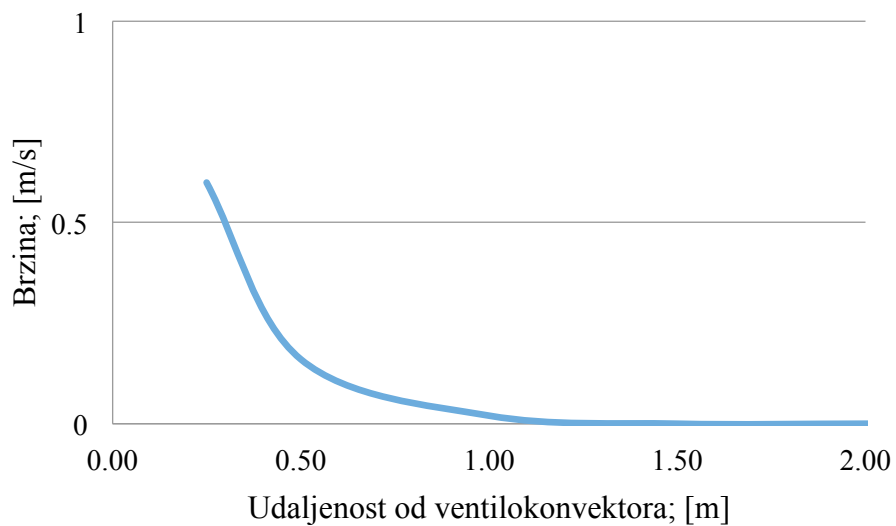
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 16,08                        | 18,04                         | 99,6               | 27,65                         | 228,23   |

Tablica 14. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 1

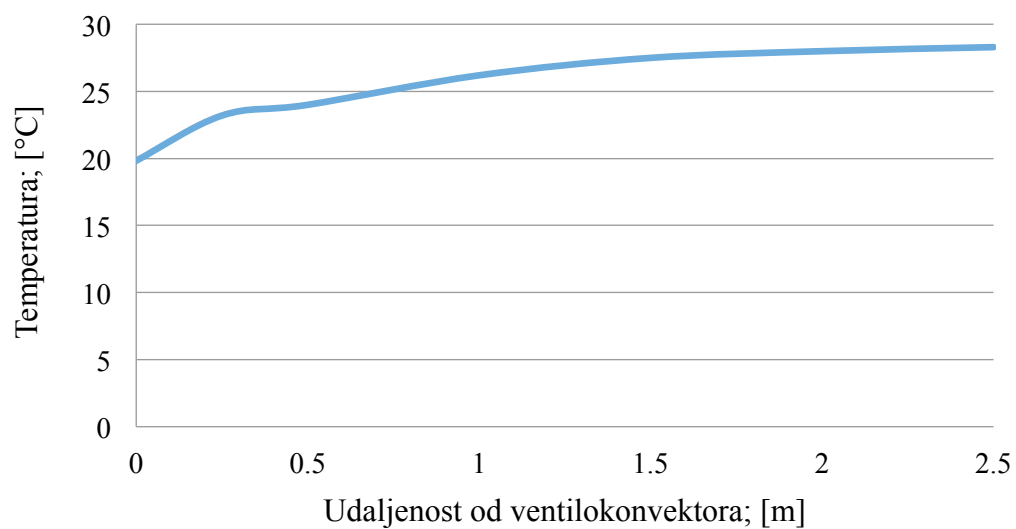
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,13         | 26,3             |
| 0,5            | 0,11         | 26,5             |
| 1              | 0,11         | 26,7             |

Tablica 15. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 1

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 19,7             |
| 0,25           | 0,6          | 23,2             |
| 0,50           | 0,16         | 24               |
| 1,00           | 0,02         | 26,2             |
| 1,50           | 0            | 27,5             |
| 2,00           | 0            | 28               |
| 2,50           | 0            | 28,3             |



Slika 43. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 1



Slika 44. Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 1

#### 4.2.4. Temperaturni režim 10/15, brzina ventilatora 3

Tablica 16. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 3

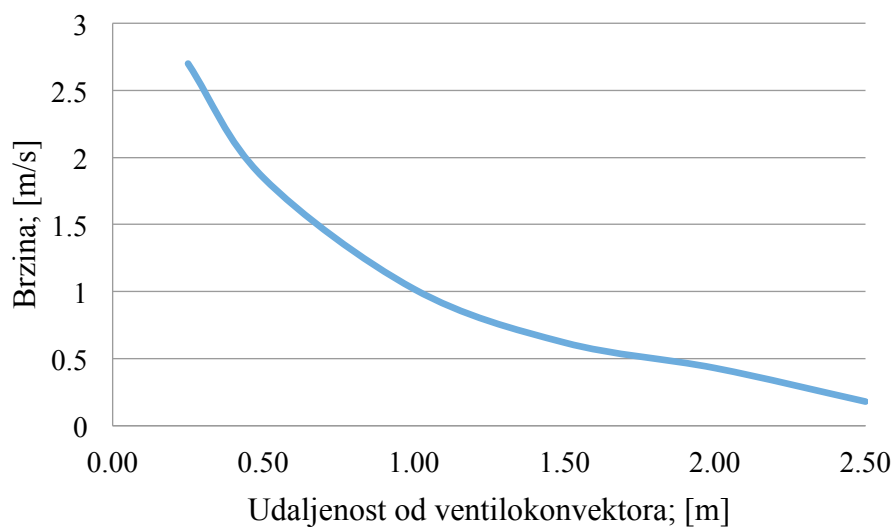
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 10,42                        | 15,15                         | 216                | 25,90                         | 1188     |

Tablica 17. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 3

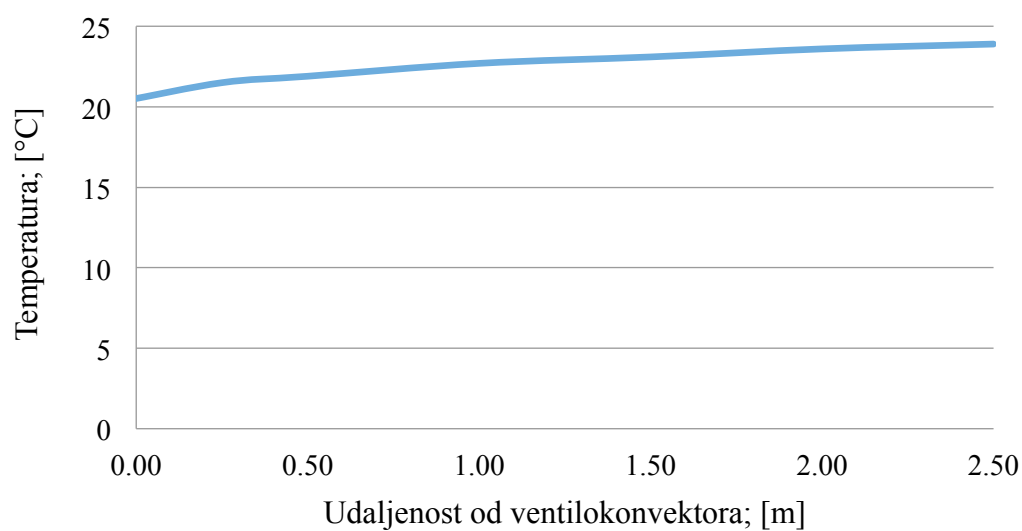
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,56         | 25,4             |
| 0,5            | 0,1          | 25,5             |
| 1              | 0,2          | 25,9             |

Tablica 18. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 3

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 20,3             |
| 0,25           | 2,7          | 21,5             |
| 0,50           | 1,85         | 21,9             |
| 1,00           | 1,02         | 22,7             |
| 1,50           | 0,62         | 23,1             |
| 2,00           | 0,43         | 23,6             |
| 2,50           | 0,18         | 23,9             |



Slika 45. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 3



Slika 46. Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 3

#### 4.2.5. Temperaturni režim 10/15, brzina ventilatora 2

Tablica 19. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 2

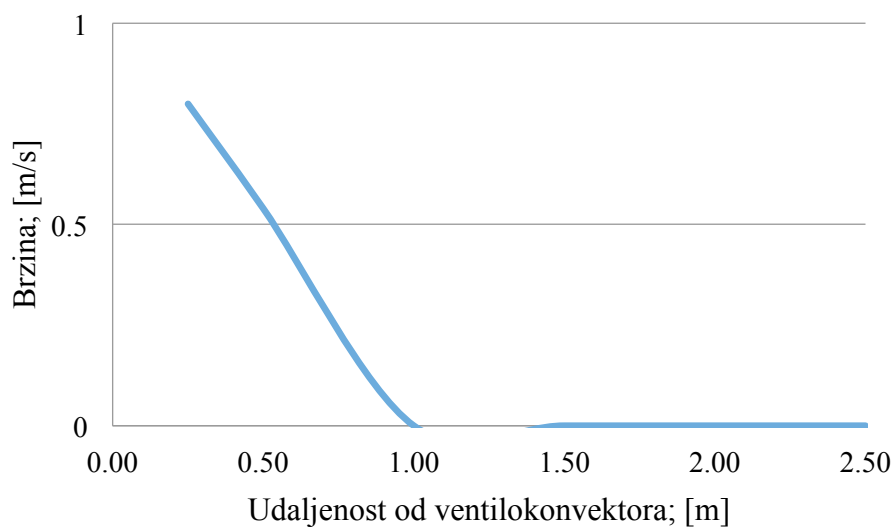
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 10,50                        | 15,37                         | 66,6               | 26,14                         | 377      |

Tablica 20. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 2

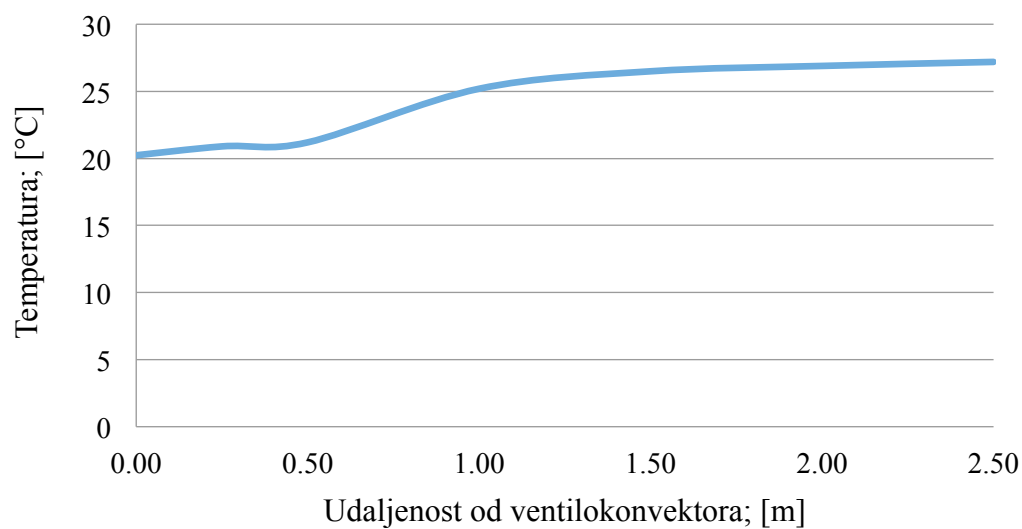
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,07         | 24,1             |
| 0,5            | 0,12         | 24,6             |
| 1              | 0,11         | 25               |

Tablica 21. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 2

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 20,1             |
| 0,25           | 0,8          | 20,9             |
| 0,50           | 0,54         | 21,2             |
| 1,00           | 0            | 25,2             |
| 1,50           | 0            | 26,5             |
| 2,00           | 0            | 26,9             |
| 2,50           | 0            | 27,2             |



Slika 47. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 2



Slika 48. Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 2

#### 4.2.6. Temperaturni režim 10/15, brzina ventilatora 1

Tablica 22. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 1

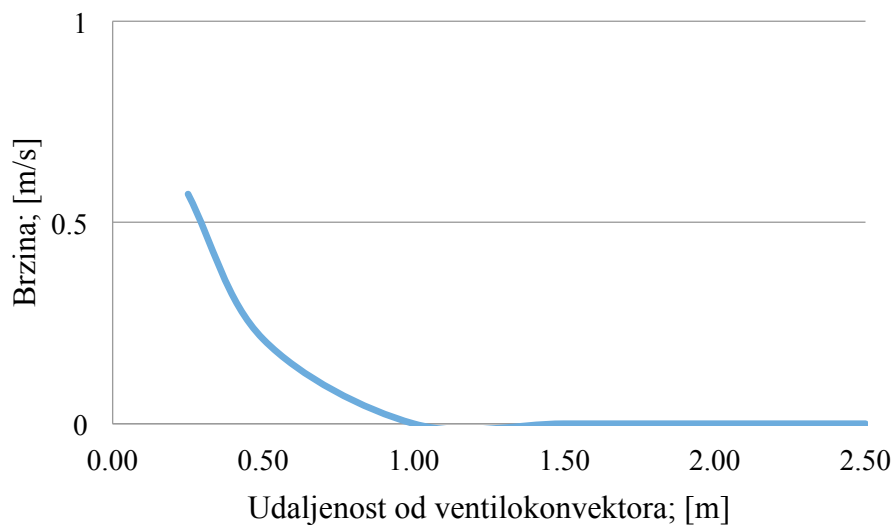
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 10,90                        | 15,61                         | 36                 | 26,17                         | 197      |

Tablica 23. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 1

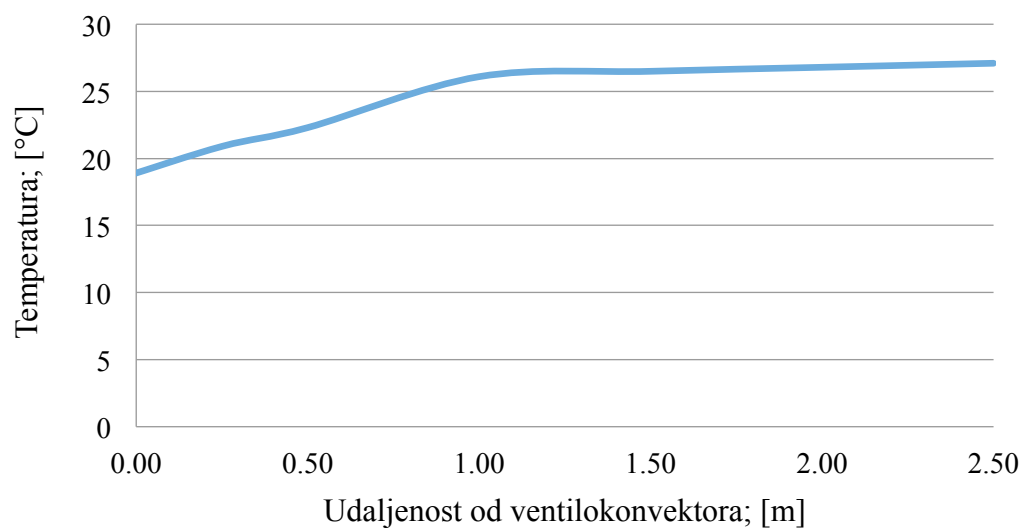
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,1          | 22,7             |
| 0,5            | 0,11         | 24,7             |
| 1              | 0,1          | 25,3             |

Tablica 24. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 1

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 18,5             |
| 0,25           | 0,57         | 20,9             |
| 0,50           | 0,21         | 22,3             |
| 1,00           | 0            | 26,1             |
| 1,50           | 0            | 26,5             |
| 2,00           | 0            | 26,8             |
| 2,50           | 0            | 27,1             |



Slika 49. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 1



Slika 50. Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 1

#### 4.2.7. Temperaturni režim 7/12, brzina ventilatora 3

Tablica 25. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 3

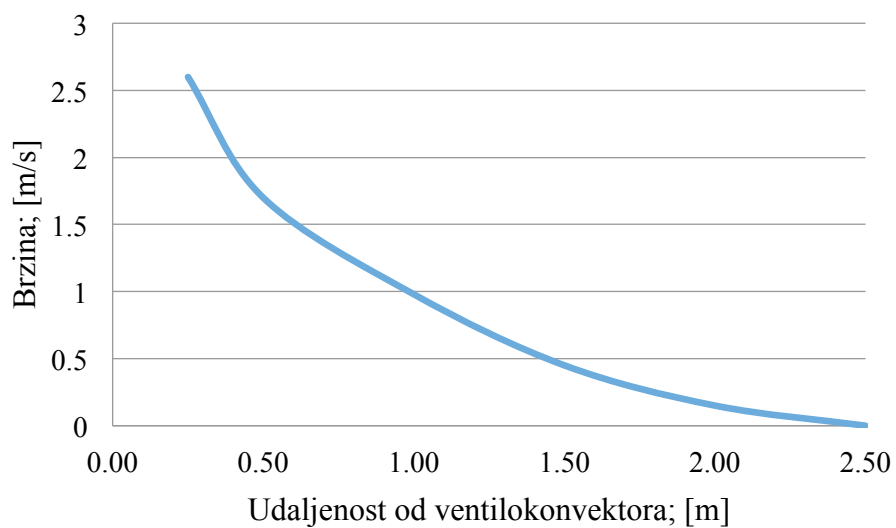
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 7,02                         | 12,19                         | 231,5              | 26,21                         | 1394     |

Tablica 26. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 3

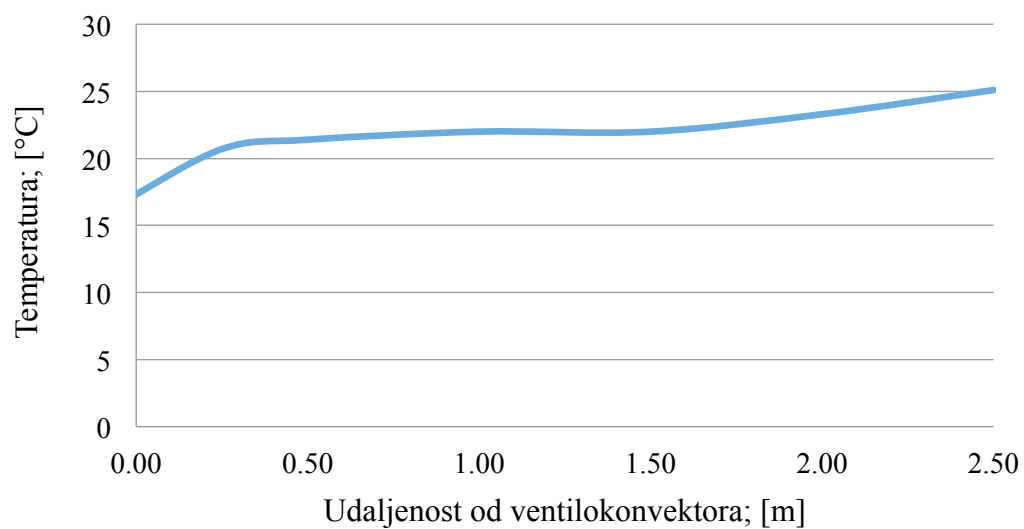
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,55         | 25               |
| 0,5            | 0,1          | 25,5             |
| 1              | 0,2          | 25,9             |

Tablica 27. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 3

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 16,6             |
| 0,25           | 2,6          | 20,7             |
| 0,50           | 1,7          | 21,4             |
| 1,00           | 0,98         | 22               |
| 1,50           | 0,45         | 22               |
| 2,00           | 0,15         | 23,3             |
| 2,50           | 0            | 25,1             |



Slika 51. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 3



Slika 52. Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 3

#### 4.2.8. Temperaturni režim 7/12, brzina ventilatora 2

Tablica 28. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 2

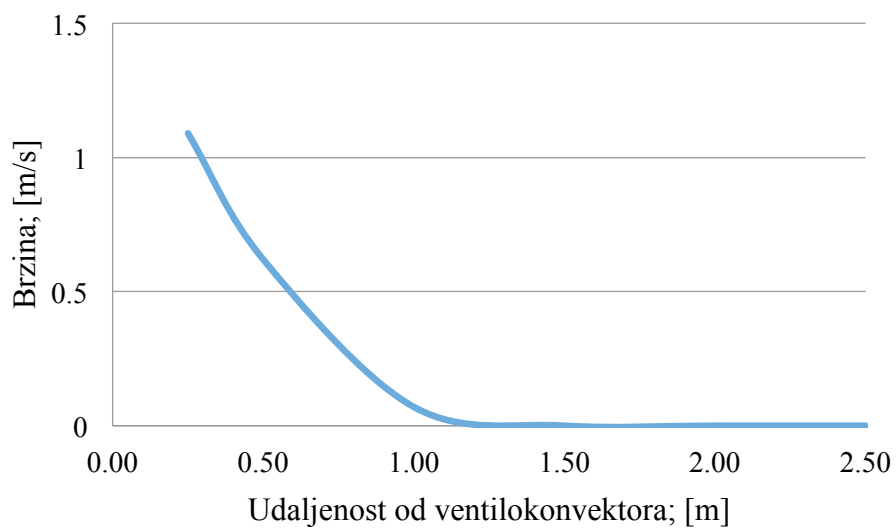
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 6,98                         | 11,95                         | 75,53              | 26,33                         | 437      |

Tablica 29. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 2

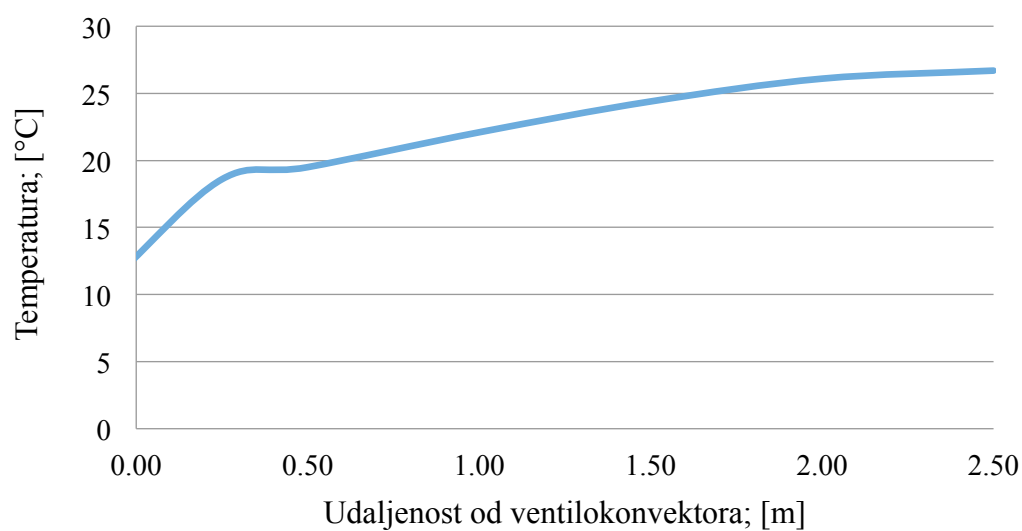
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,11         | 23,8             |
| 0,5            | 0,22         | 25,1             |
| 1              | 0,15         | 24,9             |

Tablica 30. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 2

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 11,6             |
| 0,25           | 1,09         | 18,6             |
| 0,50           | 0,62         | 19,5             |
| 1,00           | 0,07         | 22,1             |
| 1,50           | 0            | 24,4             |
| 2,00           | 0            | 26,1             |
| 2,50           | 0            | 26,7             |



Slika 53. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 2



Slika 54. Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 2

#### 4.2.9. Temperaturni režim 7/12, brzina ventilatora 1

Tablica 31. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 1

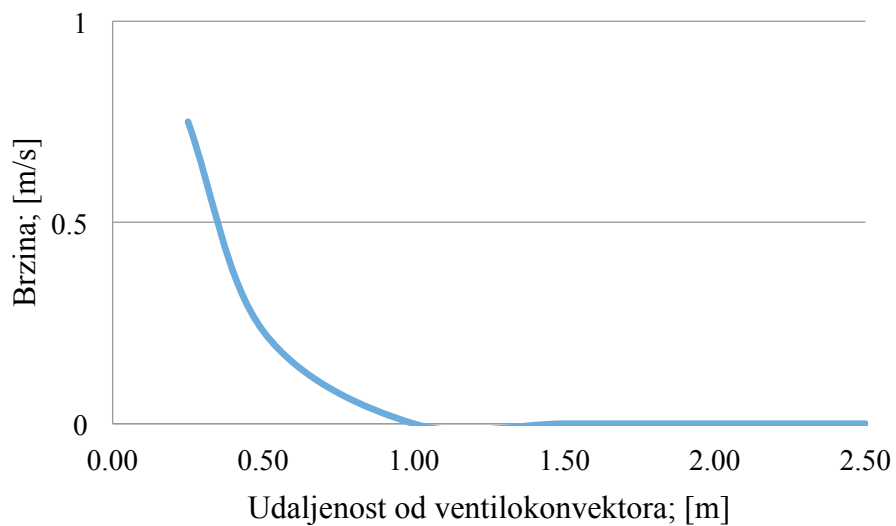
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 7,13                         | 12,10                         | 48,53              | 26,32                         | 281      |

Tablica 32. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 1

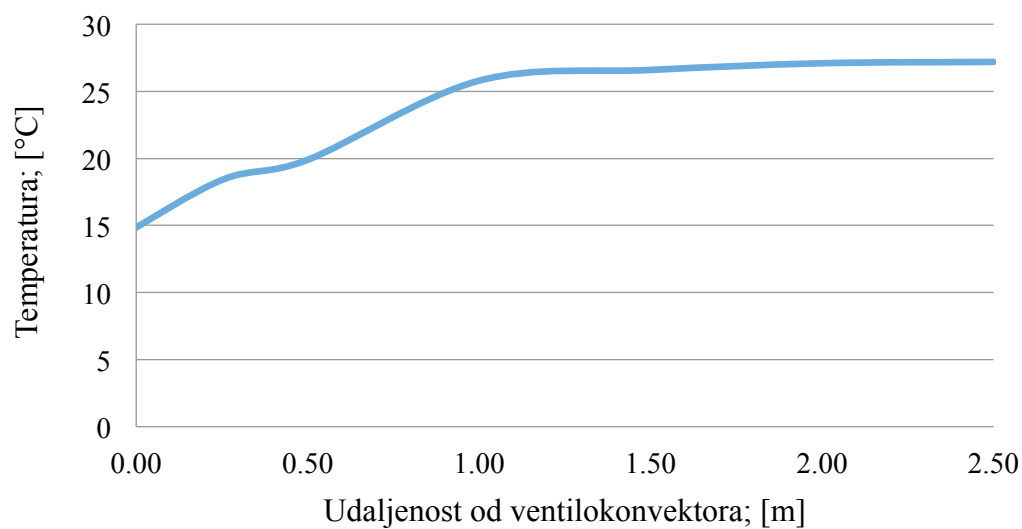
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,12         | 23,5             |
| 0,5            | 0,16         | 23,7             |
| 1              | 0,13         | 24               |

Tablica 33. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 1

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          |              | 14,1             |
| 0,25           | 0,75         | 18,4             |
| 0,50           | 0,23         | 19,9             |
| 1,00           | 0            | 25,8             |
| 1,50           | 0            | 26,6             |
| 2,00           | 0            | 27,1             |
| 2,50           | 0            | 27,2             |



Slika 55. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 1



Slika 56. Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 1

#### 4.2.10. Rashladni učin

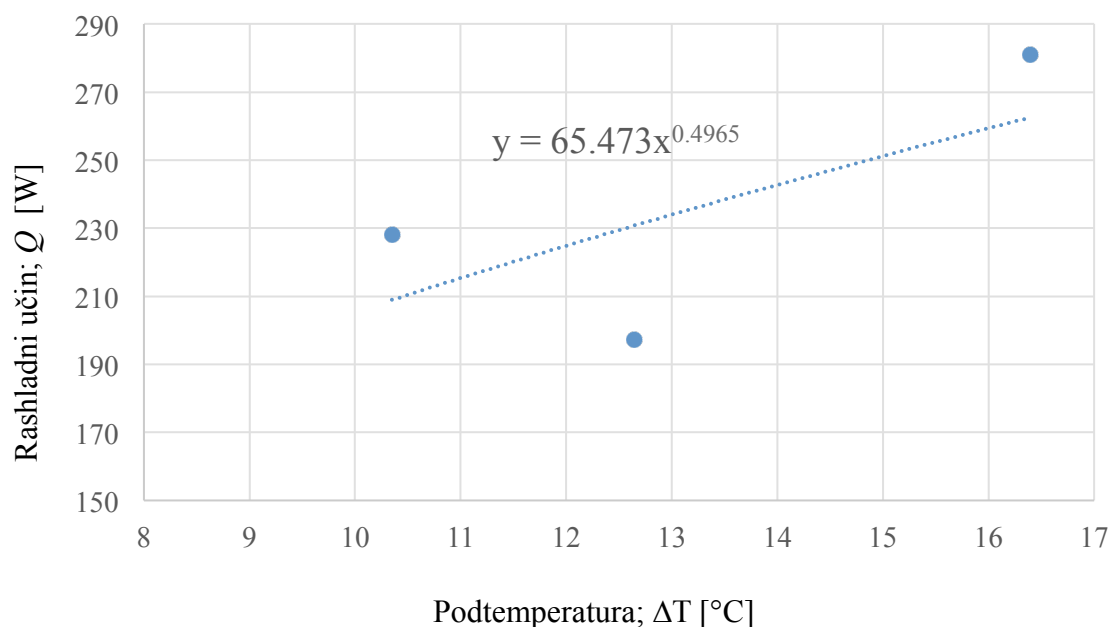
##### 4.2.10.1. Brzina ventilatora 1

Tablica 34. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 1

|                                | Oznaka            | Jedinica | Temp. režim<br>16/18 | Temp. režim<br>10/15 | Temp. režim<br>7/12 |
|--------------------------------|-------------------|----------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Temperatura zraka u ref. točki | $\vartheta_r$     | °C       | 27,41                | 25,90                | 26,01               |
| Temperatura vode na ulazu      | $\vartheta_1$     | °C       | 16,08                | 10,90                | 7,13                |
| Temperatura vode na izlazu     | $\vartheta_2$     | °C       | 18,04                | 15,61                | 12,10               |
| Srednja temperatura vode       | $\vartheta_m$     | °C       | 17,06                | 13,25                | 9,62                |
| Podtemperatura                 | $\Delta\vartheta$ | °C       | 10,35                | 12,65                | 16,39               |
| Maseni protok vode             | $q_m$             | kg/h     | 99,6                 | 36                   | 48,53               |
| Mjereni rashladni učin         | $\Phi$            | W        | 228,23               | 197,34               | 281,05              |

Izračunata karakteristika rashladnog učina:

$$\Phi = 65,473 \cdot \Delta\vartheta^{0,4965} \quad (15)$$



Slika 57. Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 1

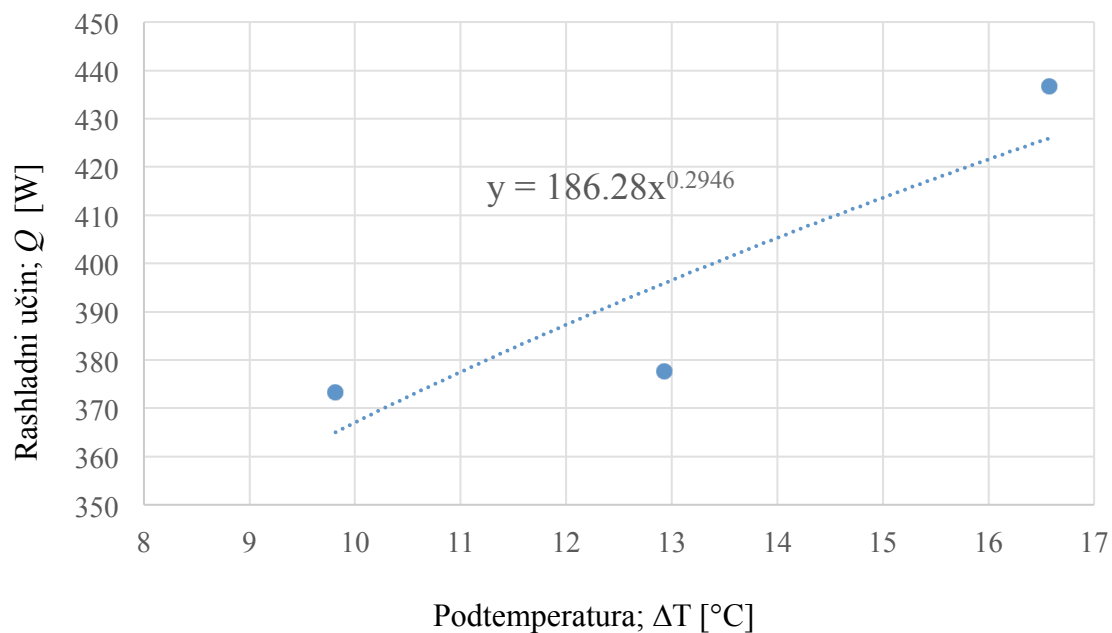
## 4.2.10.2. Brzina ventilatora 2

Tablica 35. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 2

|                                | Oznaka            | Jedinica | Temp. režim<br>16/18 | Temp. režim<br>10/15 | Temp. režim<br>7/12 |
|--------------------------------|-------------------|----------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Temperatura zraka u ref. točki | $\vartheta_r$     | °C       | 26,87                | 25,87                | 26,04               |
| Temperatura vode na ulazu      | $\vartheta_1$     | °C       | 15,95                | 10,50                | 6,98                |
| Temperatura vode na izlazu     | $\vartheta_2$     | °C       | 18,17                | 15,37                | 11,95               |
| Srednja temperatura vode       | $\vartheta_m$     | °C       | 17,06                | 12,94                | 9,47                |
| Podtemperatura                 | $\Delta\vartheta$ | °C       | 9,81                 | 12,93                | 16,57               |
| Maseni protok vode             | $q_m$             | kg/h     | 144,00               | 66,60                | 75,53               |
| Mjereni rashladni učin         | $\Phi$            | W        | 373,32               | 377,58               | 436,74              |

Izračunata karakteristika rashladnog učina:

$$\Phi = 186,28 \cdot \Delta\vartheta^{0,2946} \quad (16)$$



Slika 58. Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 2

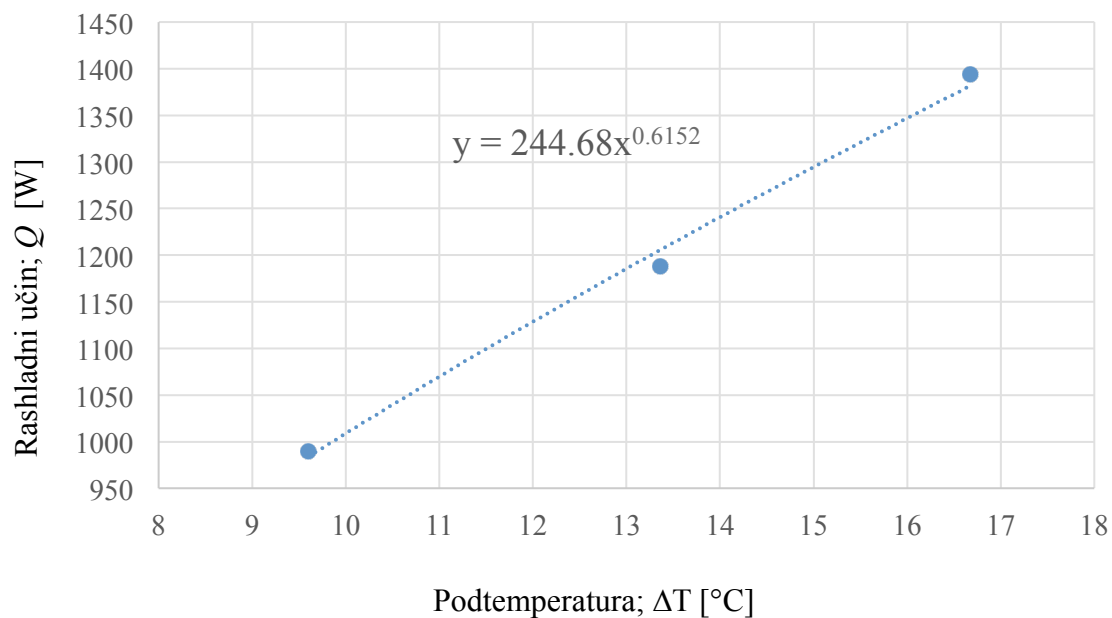
## 4.2.10.3. Brzina ventilatora 3

Tablica 36. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 3

|                                | Oznaka            | Jedinica | Temp. režim<br>16/18 | Temp. režim<br>10/15 | Temp. režim<br>7/12 |
|--------------------------------|-------------------|----------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Temperatura zraka u ref. točki | $\vartheta_r$     | °C       | 26,28                | 26,15                | 26,28               |
| Temperatura vode na ulazu      | $\vartheta_1$     | °C       | 15,60                | 10,42                | 7,02                |
| Temperatura vode na izlazu     | $\vartheta_2$     | °C       | 17,74                | 15,15                | 12,19               |
| Srednja temperatura vode       | $\vartheta_m$     | °C       | 16,67                | 12,79                | 9,60                |
| Podtemperatura                 | $\Delta\vartheta$ | °C       | 9,61                 | 13,36                | 16,68               |
| Maseni protok vode             | $q_m$             | kg/h     | 395,70               | 216,00               | 231,50              |
| Mjereni rashladni učin         | $\Phi$            | W        | 989,89               | 1188,26              | 1393,74             |

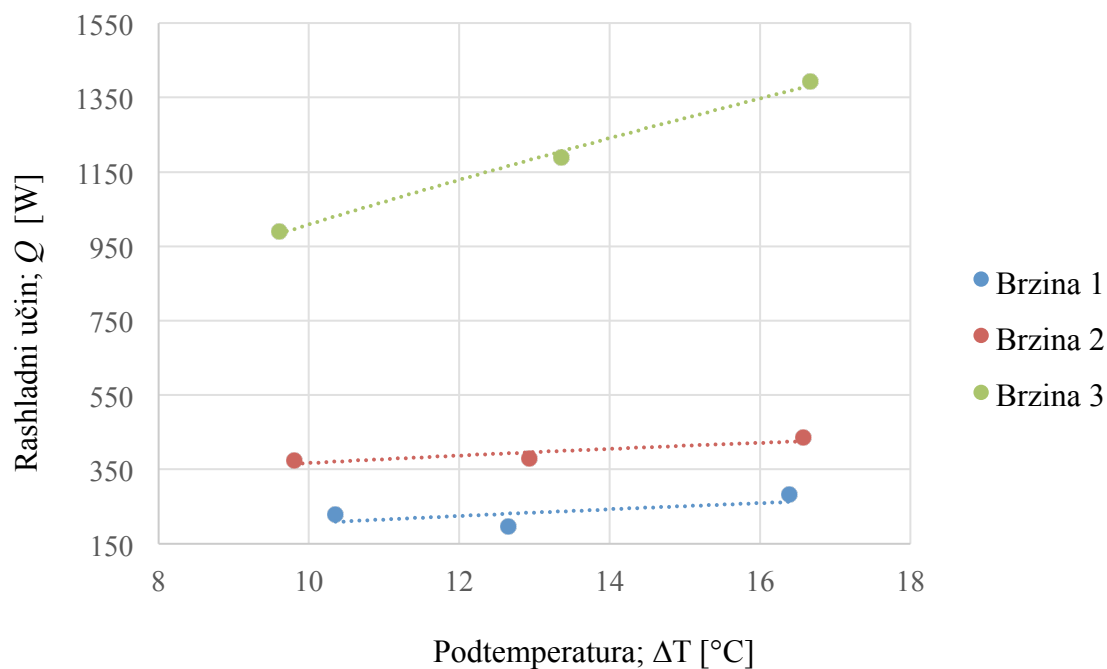
Izračunata karakteristika rashladnog učina:

$$\Phi = 244,68 \cdot \Delta\vartheta^{0,6152} \quad (17)$$

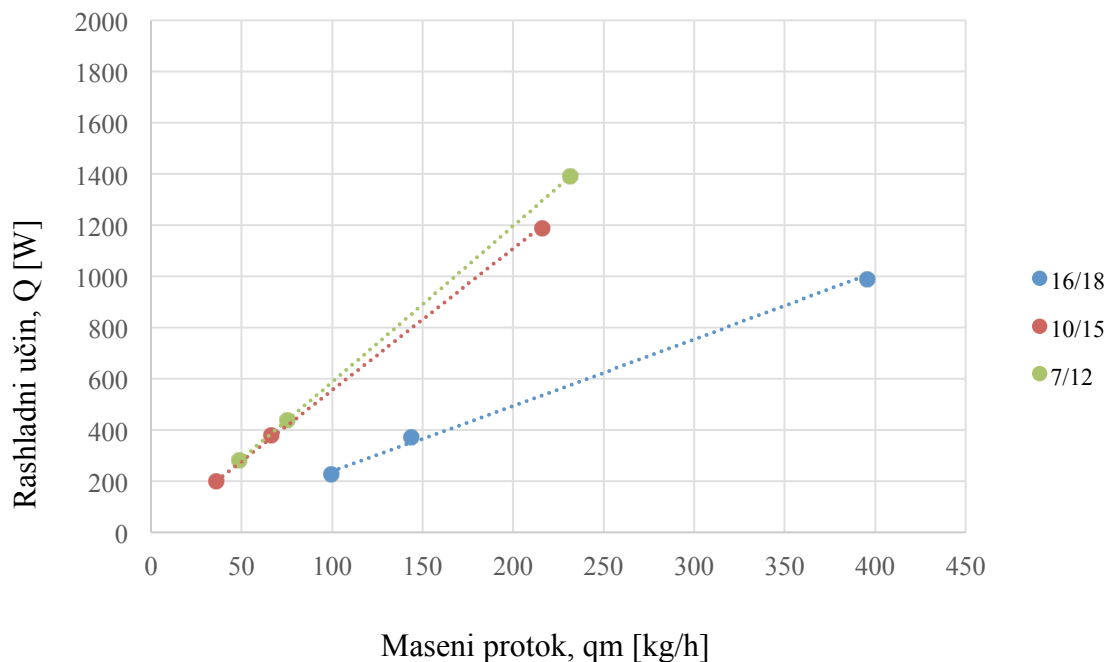


Slika 59. Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 3

#### 4.2.11. Usporedba rashladnog učina



Slika 60. Usporedba toplinskog učina prema brzini ventilatora



Slika 61. Usporedba toplinskog učina prema temperaturnom režimu

### 4.3. Ventilokonvektor PKH 150 2000, razmak lamela 3,2 mm

#### 4.3.1. Temperaturni režim 16/18, brzina ventilatora 3

Tablica 37. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 3

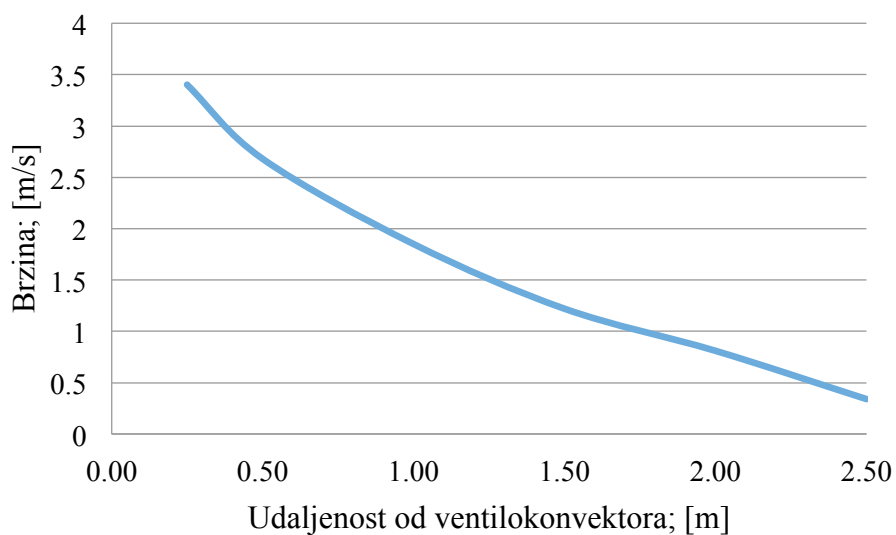
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 15,81                        | 18,24                         | 379,8              | 26,06                         | 1075     |

Tablica 38. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 3

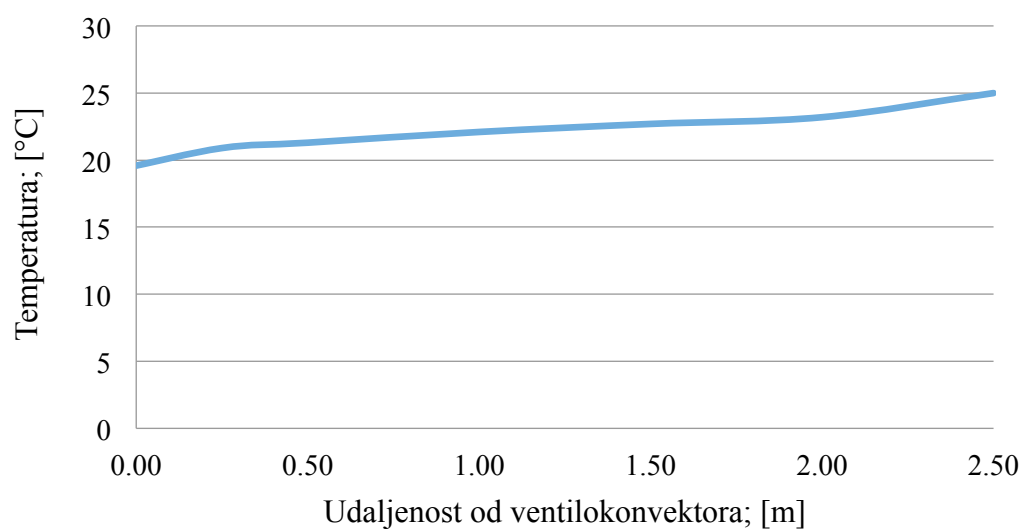
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,65         | 25,1             |
| 0,5            | 0,16         | 25,5             |
| 1              | 0,17         | 26,1             |

Tablica 39. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 3

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 19,3             |
| 0,25           | 3,4          | 20,9             |
| 0,50           | 2,68         | 21,3             |
| 1,00           | 1,85         | 22,1             |
| 1,50           | 1,22         | 22,7             |
| 2,00           | 0,81         | 23,2             |
| 2,50           | 0,34         | 25               |



Slika 62. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 3



Slika 63. Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 3

#### 4.3.2. Temperaturni režim 16/18, brzina ventilatora 2

Tablica 40. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 2

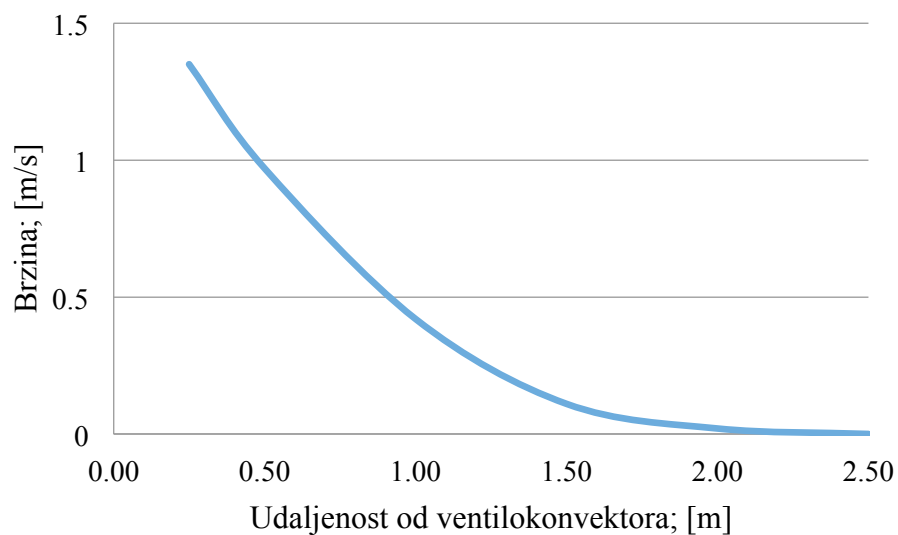
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 15,90                        | 18,00                         | 157,2              | 26,70                         | 384      |

Tablica 41. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 2

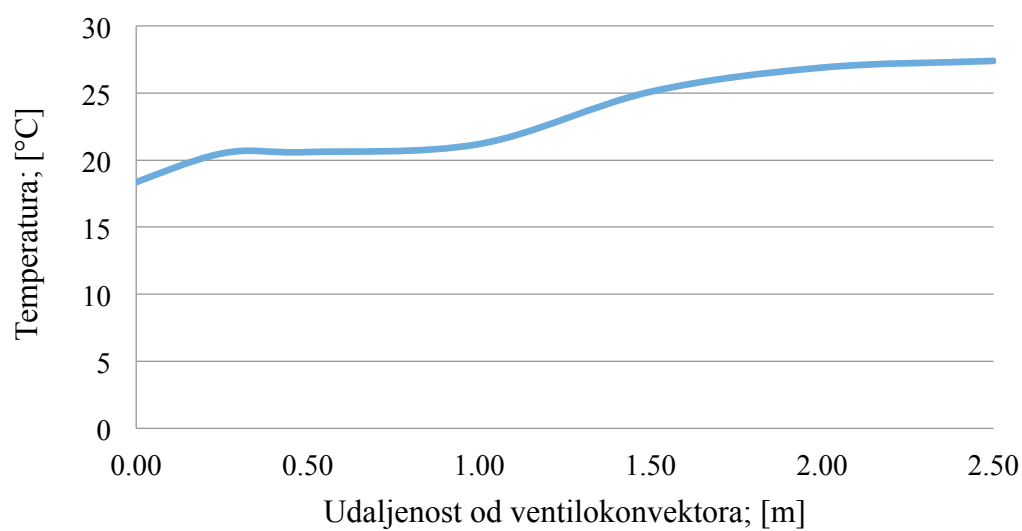
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,18         | 25,1             |
| 0,5            | 0,25         | 25,5             |
| 1              | 0,15         | 25,7             |

Tablica 42. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 2

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 17,9             |
| 0,25           | 1,35         | 20,5             |
| 0,50           | 0,97         | 20,6             |
| 1,00           | 0,42         | 21,2             |
| 1,50           | 0,11         | 25,1             |
| 2,00           | 0,02         | 26,9             |
| 2,50           | 0            | 27,4             |



Slika 64. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 2



Slika 65. Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 2

### 4.3.3. Temperaturni režim 16/18, brzina ventilatora 1

Tablica 43. Prikaz rezultata mjerenja za režim 16/18 i brzinu 1

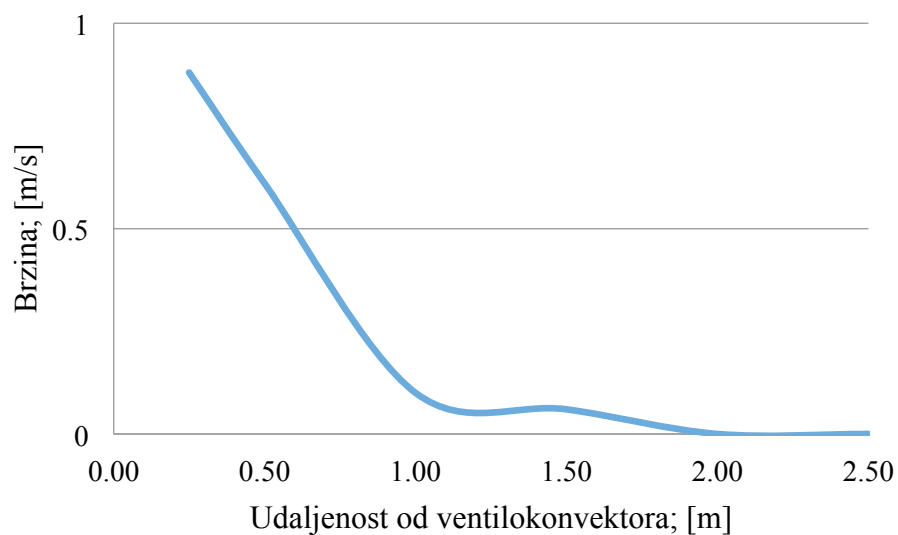
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 16,05                        | 18,11                         | 75,9               | 26,77                         | 183      |

Tablica 44. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 1

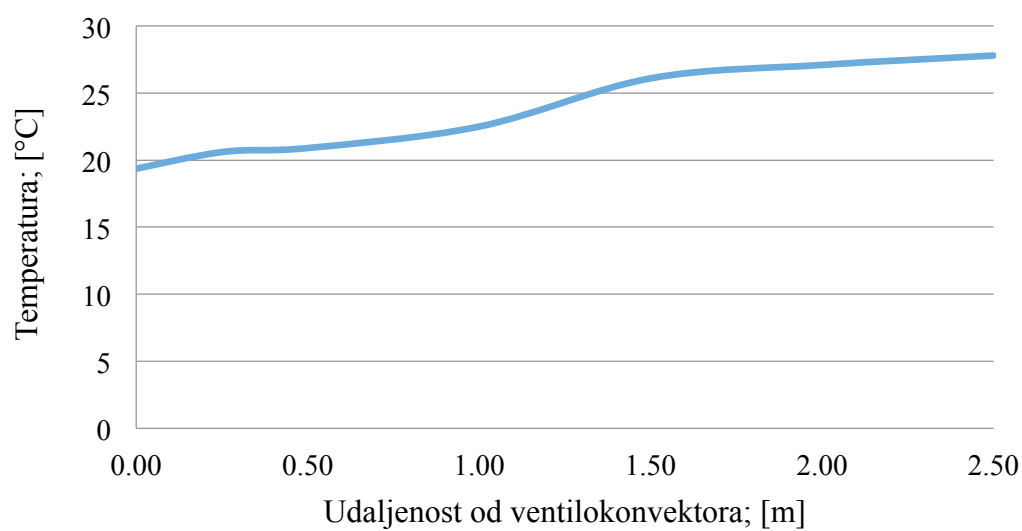
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,11         | 25,4             |
| 0,5            | 0,25         | 25,3             |
| 1              | 0,13         | 26,1             |

Tablica 45. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 16/18 i brzinu 1

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 19,1             |
| 0,25           | 0,88         | 20,6             |
| 0,50           | 0,61         | 20,9             |
| 1,00           | 0,1          | 22,5             |
| 1,50           | 0,06         | 26,1             |
| 2,00           | 0            | 27,1             |
| 2,50           | 0            | 27,8             |



Slika 66. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 16/18 i brzinu 1



Slika 67. Dijagram temperature u mlazu za režim 16/18 i brzinu 1

#### 4.3.4. Temperaturni režim 10/15, brzina ventilatora 3

Tablica 46. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 3

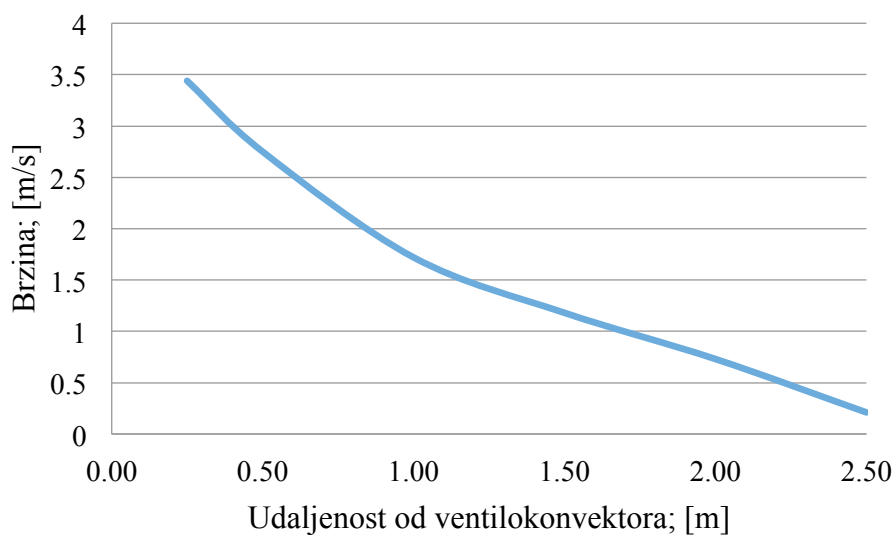
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 10,04                        | 14,97                         | 277,8              | 26,08                         | 1596     |

Tablica 47. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 3

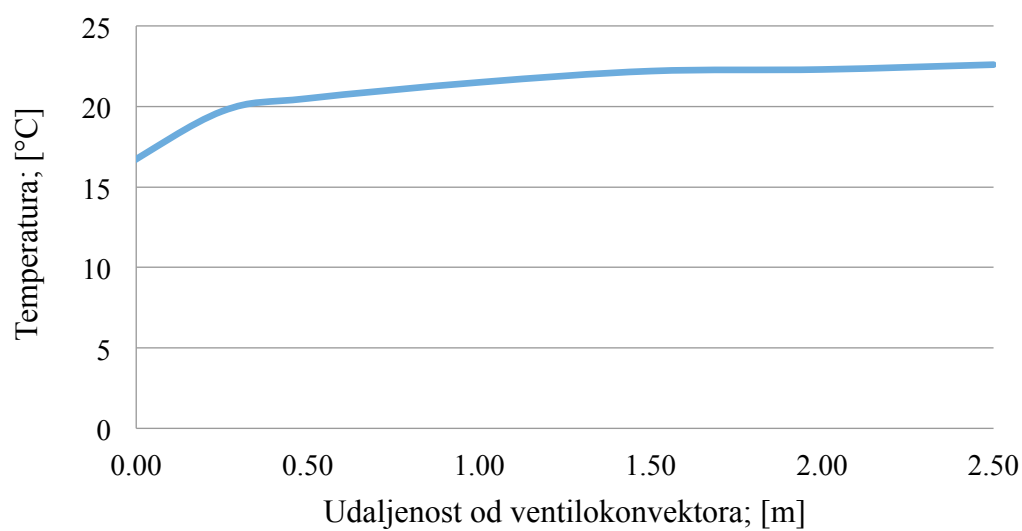
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,74         | 25,3             |
| 0,5            | 0,21         | 25,9             |
| 1              | 0,11         | 26,2             |

Tablica 48. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 3

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 16,1             |
| 0,25           | 3,44         | 19,7             |
| 0,50           | 2,75         | 20,5             |
| 1,00           | 1,72         | 21,5             |
| 1,50           | 1,18         | 22,2             |
| 2,00           | 0,73         | 22,3             |
| 2,50           | 0,21         | 22,6             |



Slika 68. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 3



Slika 69. Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 3

#### 4.3.5. Temperaturni režim 10/15, brzina ventilatora 2

Tablica 49. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 2

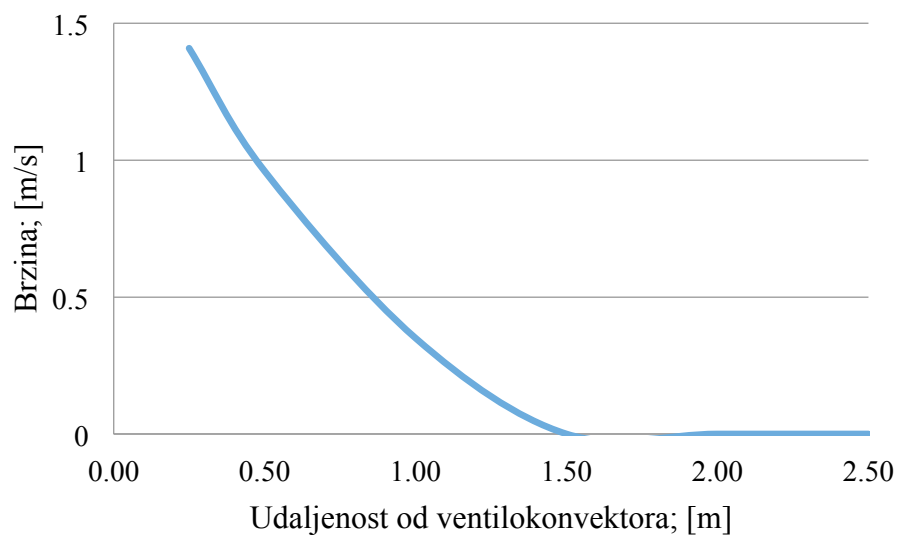
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 10,14                        | 14,99                         | 82,8               | 26,35                         | 467      |

Tablica 50. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 2

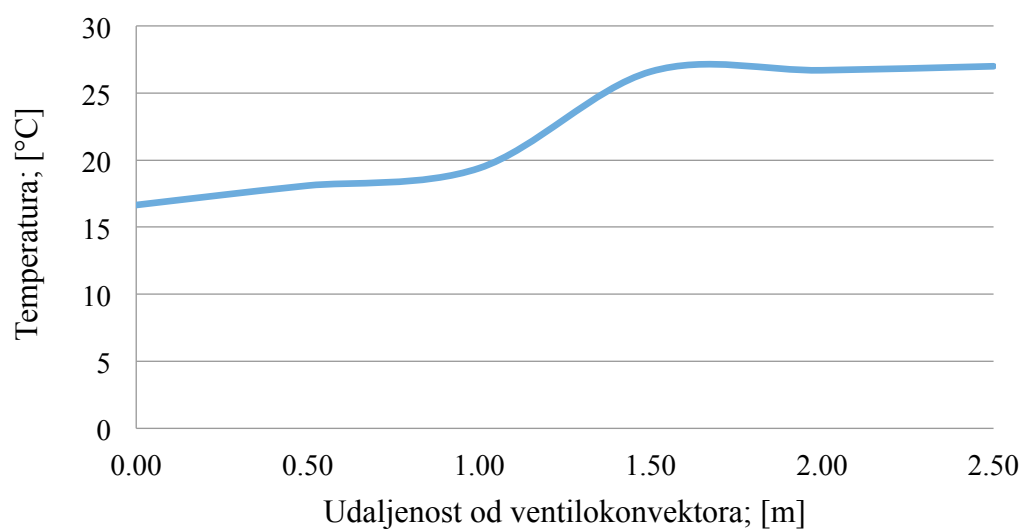
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,1          | 23,9             |
| 0,5            | 0,22         | 23,6             |
| 1              | 0,18         | 24               |

Tablica 51. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 2

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 16,5             |
| 0,25           | 1,41         | 17,4             |
| 0,50           | 0,96         | 18,1             |
| 1,00           | 0,35         | 19,4             |
| 1,50           | 0            | 26,6             |
| 2,00           | 0            | 26,7             |
| 2,50           | 0            | 27               |



Slika 70. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 2



Slika 71. Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 2

#### 4.3.6. Temperaturni režim 10/15, brzina ventilatora 1

Tablica 52. Prikaz rezultata mjerenja za režim 10/15 i brzinu 1

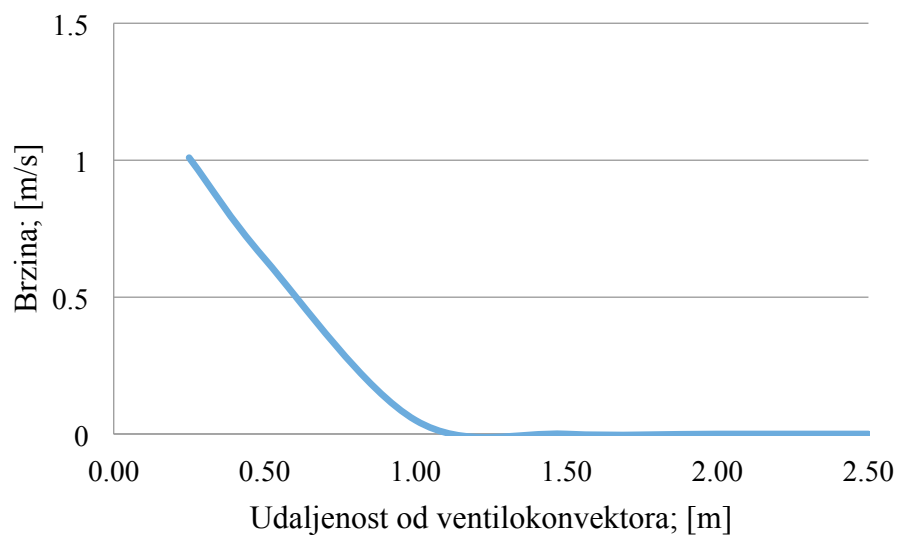
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 10,11                        | 15,20                         | 44,475             | 25,92                         | 263      |

Tablica 53. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 1

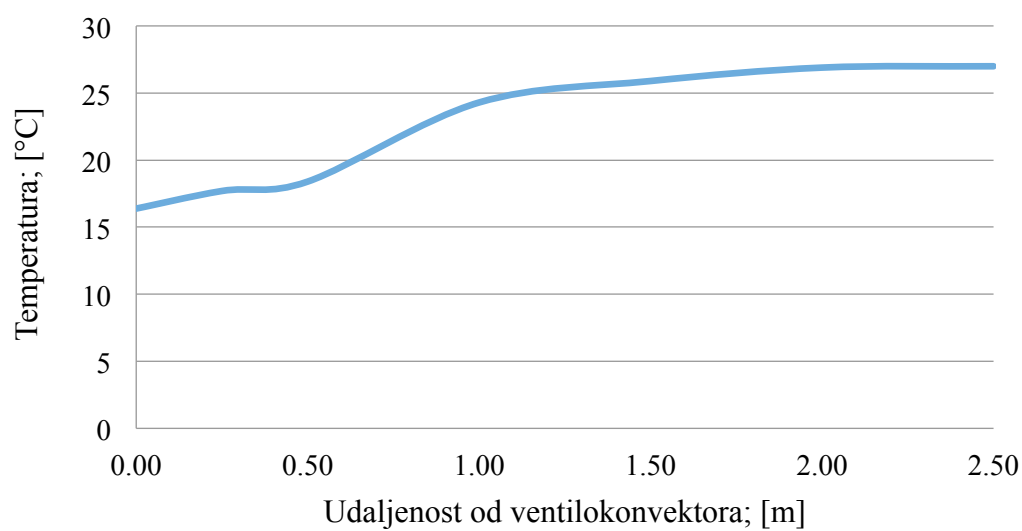
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,06         | 24,4             |
| 0,5            | 0,15         | 23,9             |
| 1              | 0,13         | 25,2             |

Tablica 54. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 10/15 i brzinu 1

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 16,1             |
| 0,25           | 1,01         | 17,7             |
| 0,50           | 0,64         | 18,4             |
| 1,00           | 0,05         | 24,3             |
| 1,50           | 0            | 25,9             |
| 2,00           | 0            | 26,9             |
| 2,50           | 0            | 27               |



Slika 72. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 10/15 i brzinu 1



Slika 73. Dijagram temperature u mlazu za režim 10/15 i brzinu 1

#### 4.3.7. Temperaturni režim 7/12, brzina ventilatora 3

Tablica 55. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 3

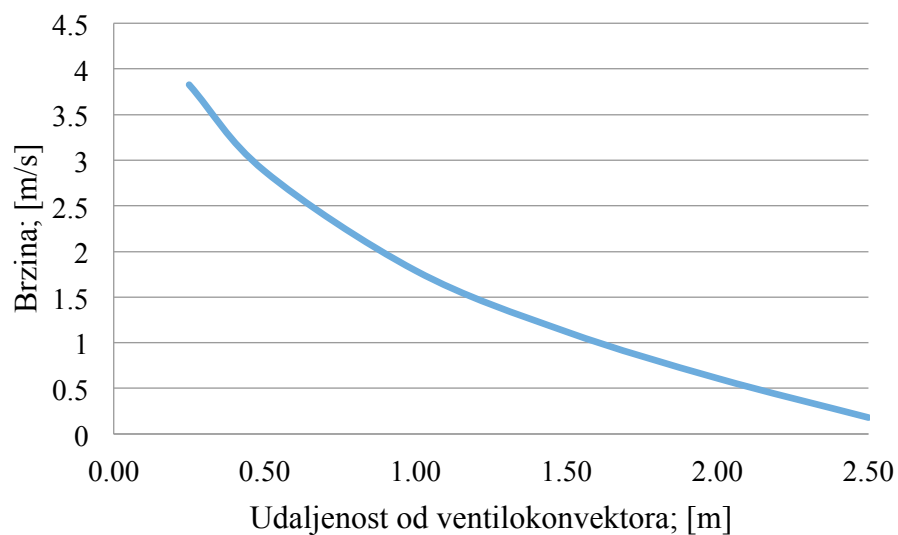
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 7,06                         | 12,13                         | 333,3              | 25,94                         | 1.968    |

Tablica 56. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 3

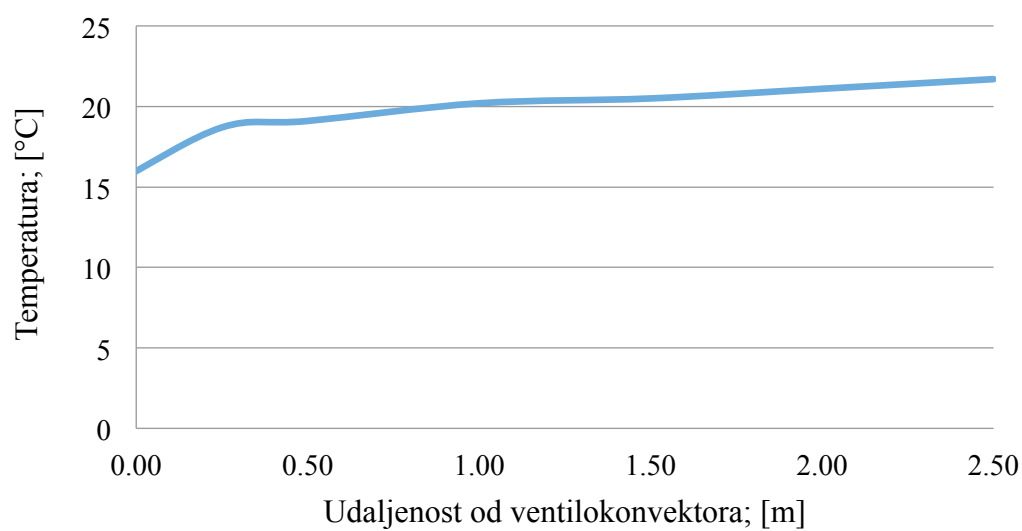
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,7          | 24,8             |
| 0,5            | 0,27         | 25,6             |
| 1              | 0,24         | 26,1             |

Tablica 57. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 3

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 15,4             |
| 0,25           | 3,83         | 18,7             |
| 0,50           | 2,88         | 19,1             |
| 1,00           | 1,79         | 20,2             |
| 1,50           | 1,12         | 20,5             |
| 2,00           | 0,61         | 21,1             |
| 2,50           | 0,18         | 21,7             |



Slika 74. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 3



Slika 75. Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 3

#### 4.3.8. Temperaturni režim 7/12, brzina ventilatora 2

Tablica 58. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 2

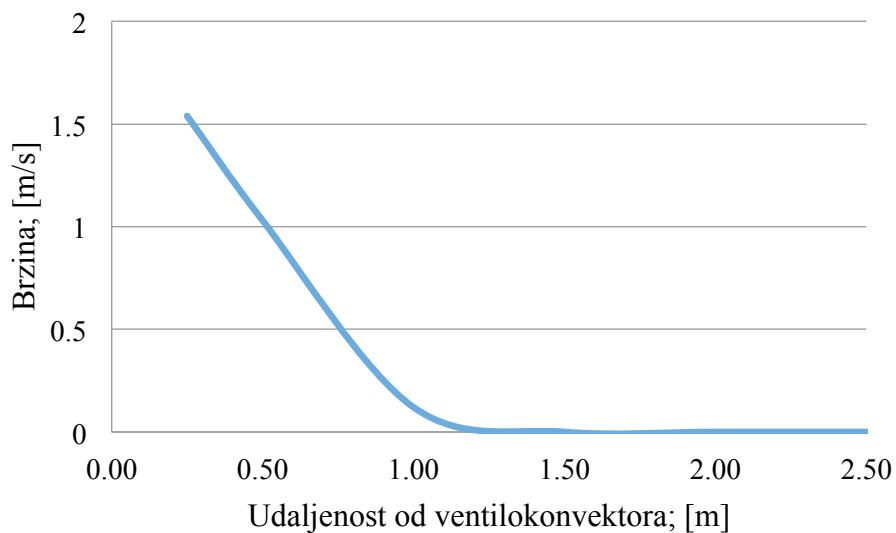
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 7,04                         | 12,05                         | 96,6               | 26,89                         | 562      |

Tablica 59. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 2

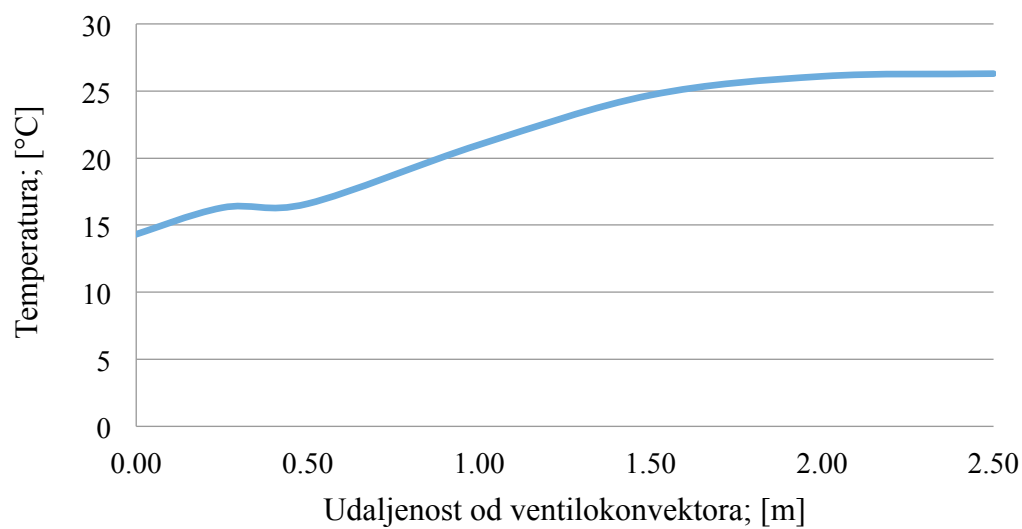
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,08         | 23,6             |
| 0,5            | 0,26         | 23,2             |
| 1              | 0,22         | 23,5             |

Tablica 60. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 2

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 13,9             |
| 0,25           | 1,54         | 16,3             |
| 0,50           | 1,03         | 16,6             |
| 1,00           | 0,12         | 21               |
| 1,50           | 0            | 24,7             |
| 2,00           | 0            | 26,1             |
| 2,50           | 0            | 26,3             |



Slika 76. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 2



Slika 77. Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 2

#### 4.3.9. Temperaturni režim 7/12, brzina ventilatora 1

Tablica 61. Prikaz rezultata mjerenja za režim 7/12 i brzinu 1

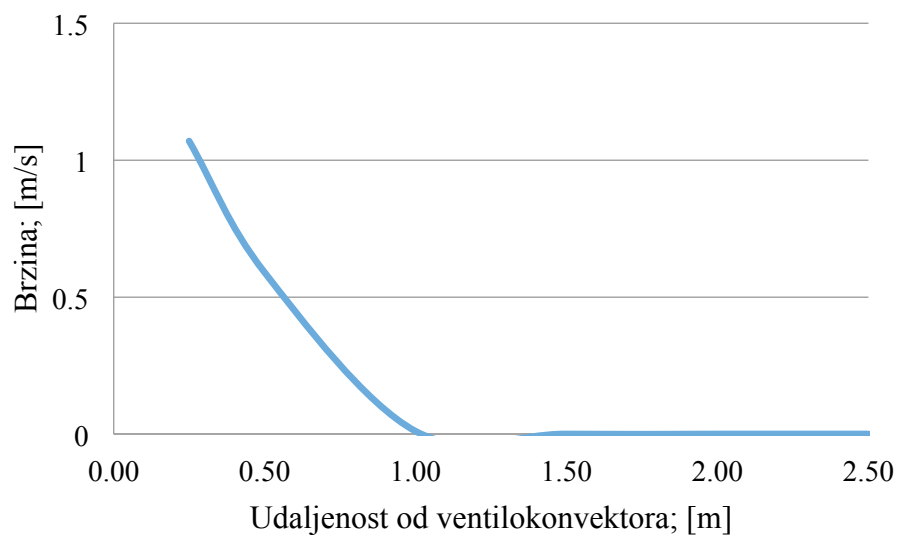
| Ulazna temperatura vode [°C] | Izlazna temperatura vode [°C] | Protok vode [kg/h] | Srednja temperatura sobe [°C] | Učin [W] |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 7,00                         | 11,92                         | 63,3               | 26,10                         | 363      |

Tablica 62. Prikaz horizontalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 1

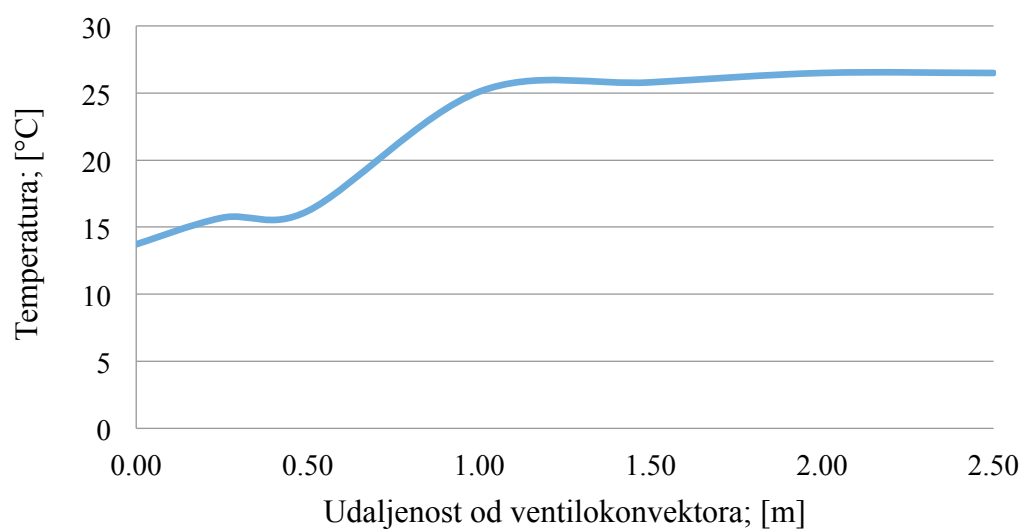
| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| 0              | 0,09         | 22,7             |
| 0,5            | 0,25         | 22,8             |
| 1              | 0,18         | 23,5             |

Tablica 63. Prikaz vertikalnih brzina i temperatura za režim 7/12 i brzinu 1

| Udaljenost [m] | Brzina [m/s] | Temperatura [°C] |
|----------------|--------------|------------------|
| -0,01          | -            | 13,3             |
| 0,25           | 1,07         | 15,7             |
| 0,50           | 0,59         | 16,2             |
| 1,00           | 0,01         | 25,1             |
| 1,50           | 0            | 25,8             |
| 2,00           | 0            | 26,5             |
| 2,50           | 0            | 26,5             |



Slika 78. Dijagram vertikalne brzine strujanja za režim 7/12 i brzinu 1



Slika 79. Dijagram temperature u mlazu za režim 7/12 i brzinu 1

### 4.3.10. Rashladni učin

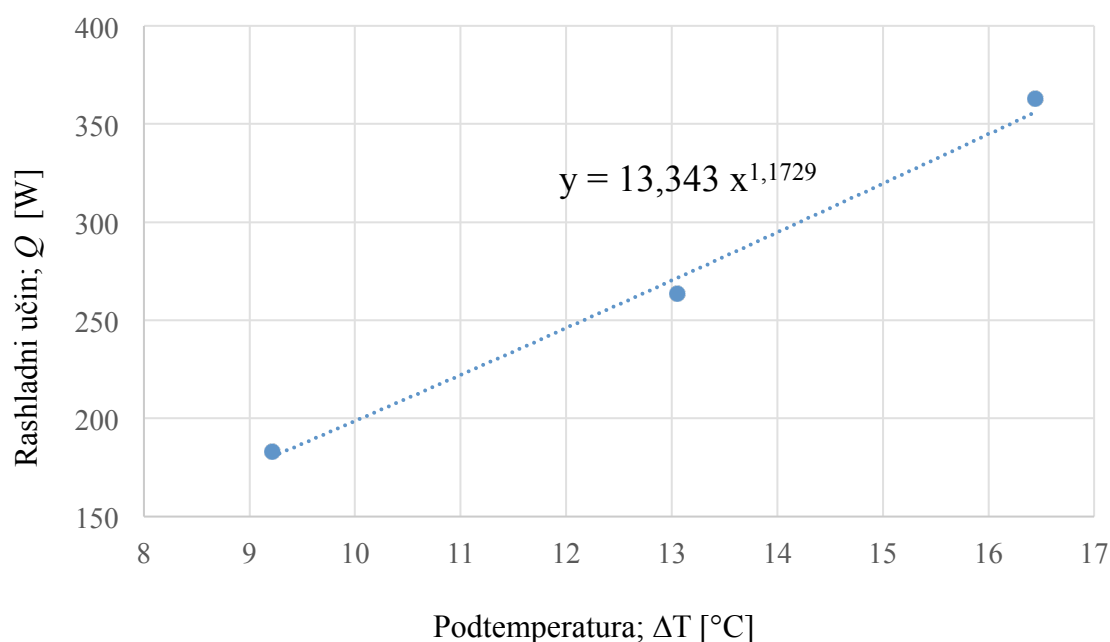
#### 4.3.10.1. Brzina ventilatora 1

Tablica 64. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 1

|                                | Oznaka            | Jedinica | Temp. režim<br>16/18 | Temp. režim<br>10/15 | Temp. režim<br>7/12 |
|--------------------------------|-------------------|----------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Temperatura zraka u ref. točki | $\vartheta_r$     | °C       | 26,29                | 25,71                | 25,90               |
| Temperatura vode na ulazu      | $\vartheta_1$     | °C       | 16,04                | 10,11                | 6,99                |
| Temperatura vode na izlazu     | $\vartheta_2$     | °C       | 18,11                | 15,20                | 11,92               |
| Srednja temperatura vode       | $\vartheta_m$     | °C       | 17,08                | 12,66                | 9,46                |
| Podtemperatura                 | $\Delta\vartheta$ | °C       | 9,22                 | 13,06                | 16,45               |
| Maseni protok vode             | $q_m$             | kg/h     | 75,90                | 44,47                | 63,30               |
| Mjereni rashladni učin         | $\Phi$            | W        | 182,78               | 263,34               | 362,83              |

Izračunata karakteristika rashladnog učina:

$$\Phi = 13,34 \cdot \Delta\vartheta^{1,1729} \quad (18)$$



Slika 80. Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 1

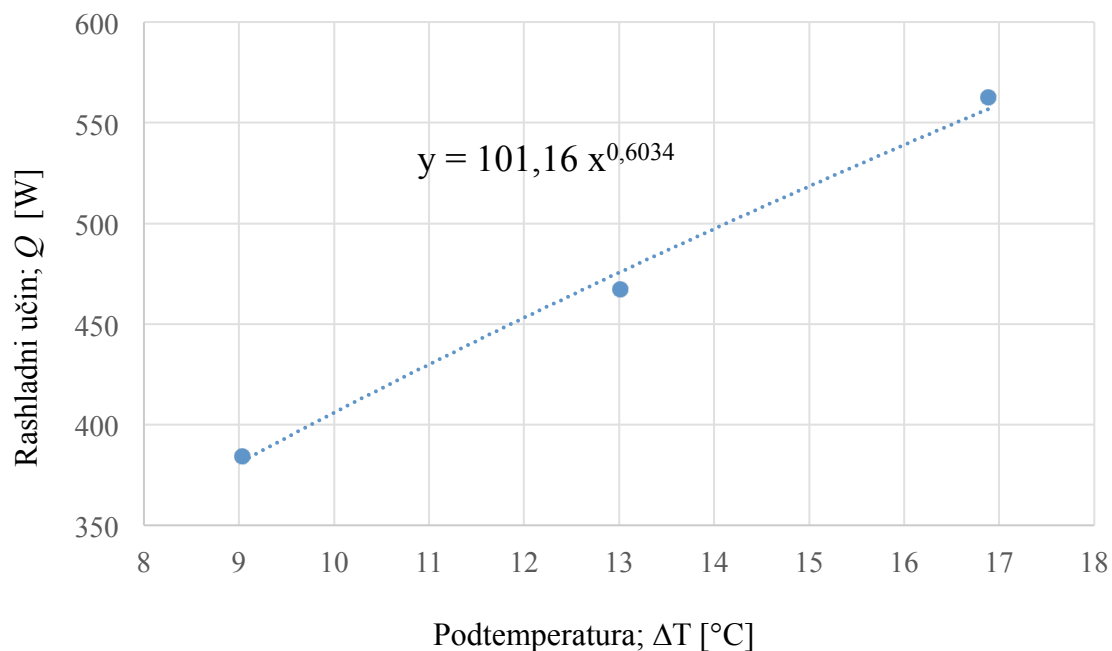
## 4.3.10.2. Brzina ventilatora 2

Tablica 65. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 2

|                                | Oznaka            | Jedinica | Temp. režim<br>16/18 | Temp. režim<br>10/15 | Temp. režim<br>7/12 |
|--------------------------------|-------------------|----------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Temperatura zraka u ref. točki | $\vartheta_r$     | °C       | 25,97                | 25,56                | 26,43               |
| Temperatura vode na ulazu      | $\vartheta_1$     | °C       | 15,89                | 10,13                | 7,04                |
| Temperatura vode na izlazu     | $\vartheta_2$     | °C       | 17,99                | 14,98                | 12,04               |
| Srednja temperatura vode       | $\vartheta_m$     | °C       | 16,94                | 12,56                | 9,54                |
| Podtemperatura                 | $\Delta\vartheta$ | °C       | 9,03                 | 13,01                | 16,89               |
| Maseni protok vode             | $q_m$             | kg/h     | 157,2                | 82,8                 | 96,6                |
| Mjereni rashladni učin         | $\Phi$            | W        | 384,47               | 467,42               | 562,62              |

Izračunata karakteristika rashladnog učina:

$$\Phi = 101,16 \cdot \Delta\vartheta^{0,6034} \quad (19)$$



Slika 81. Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 2

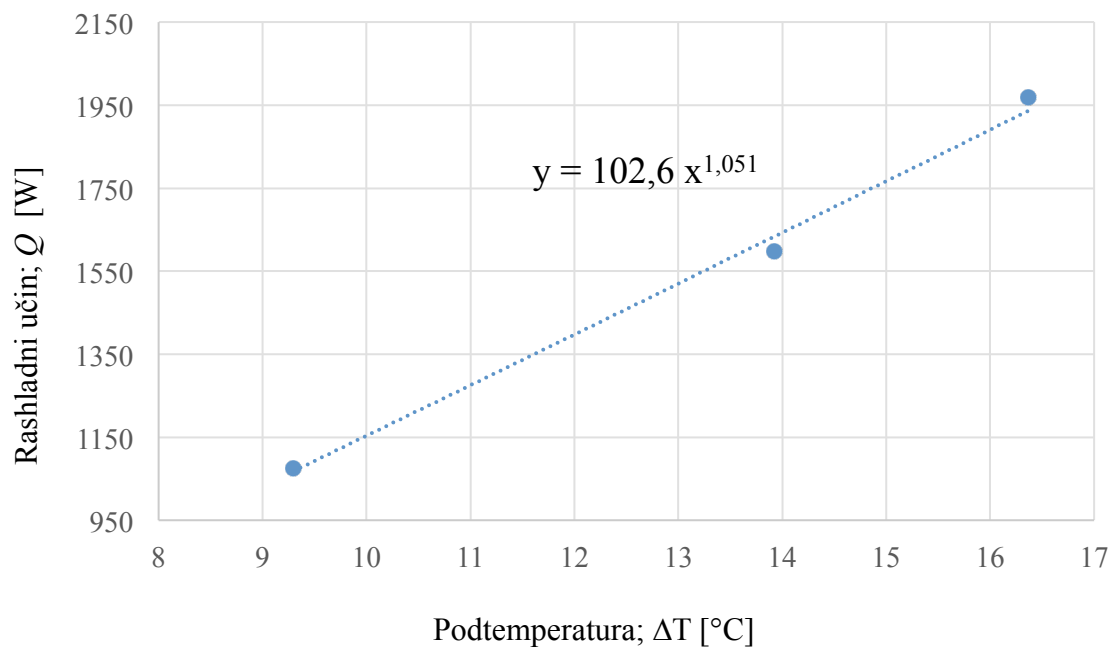
## 4.3.10.3. Brzina ventilatora 3

Tablica 66. Prikaz rezultata mjerenja za brzinu ventilatora 3

|                                | Oznaka            | Jedinica | Temp. režim<br>16/18 | Temp. režim<br>10/15 | Temp. režim<br>7/12 |
|--------------------------------|-------------------|----------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Temperatura zraka u ref. točki | $\vartheta_r$     | °C       | 26,32                | 26,42                | 25,96               |
| Temperatura vode na ulazu      | $\vartheta_1$     | °C       | 15,81                | 10,03                | 7,05                |
| Temperatura vode na izlazu     | $\vartheta_2$     | °C       | 18,24                | 14,97                | 12,13               |
| Srednja temperatura vode       | $\vartheta_m$     | °C       | 17,03                | 12,50                | 9,59                |
| Podtemperatura                 | $\Delta\vartheta$ | °C       | 9,30                 | 13,92                | 16,37               |
| Maseni protok vode             | $q_m$             | kg/h     | 379,8                | 277,8                | 333,3               |
| Mjereni rashladni učin         | $\Phi$            | W        | 1075,38              | 1596,41              | 1968,42             |

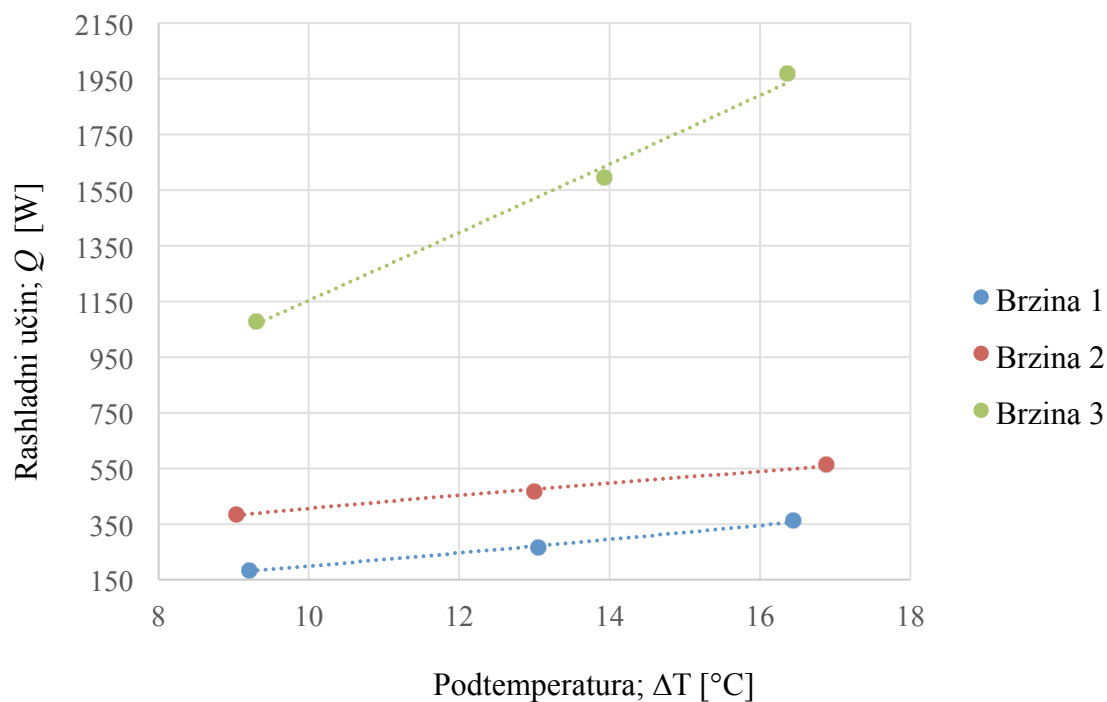
Izračunata karakteristika rashladnog učina:

$$\Phi = 102,6 \cdot \Delta\vartheta^{1,051} \quad (20)$$

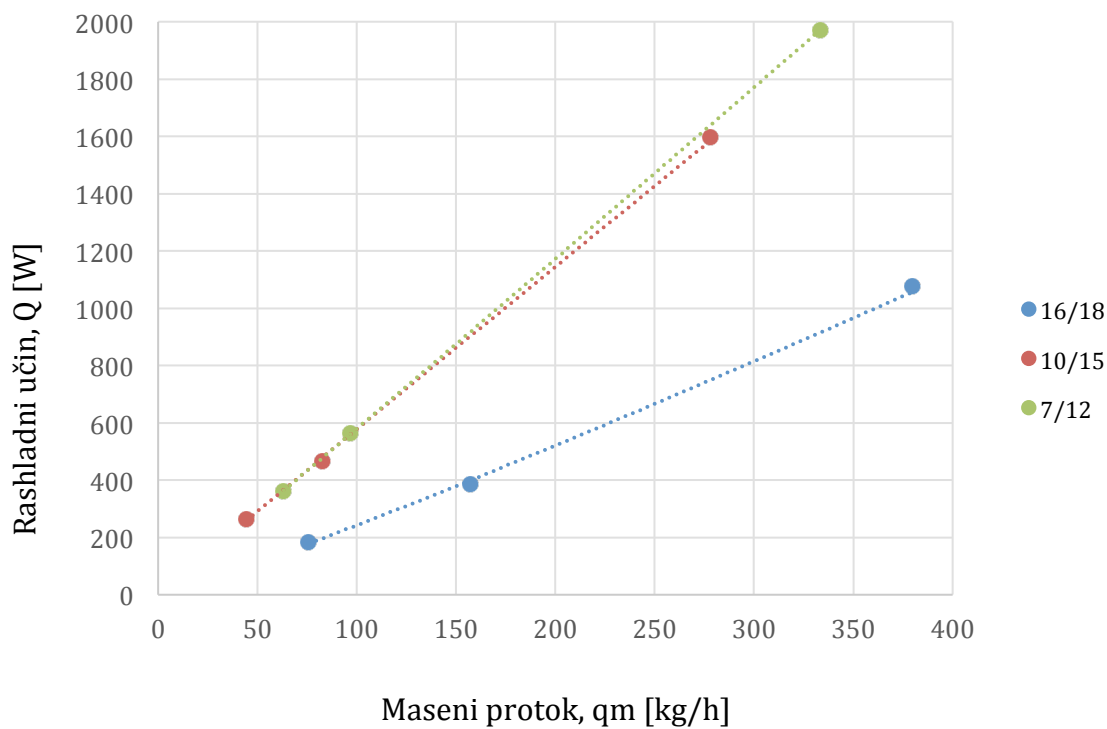


Slika 82. Toplinska karakteristika pri brzini ventilatora 3

#### 4.3.11. Usporedba rashladnog učina



Slika 83. Usporedba toplinskog učina prema brzini ventilatora



Slika 84. Usporedba toplinskog učina prema temperaturnom režimu

#### 4.4. Usporedba rezultata za dva razmaka lamela

Iako je bilo očekivano da će ventilokonvektor s manjim razmakom među lamelama zbog veće izmjenjivačke površine imati bolje rashladne učine, mjerenja su pokazala drugačije. Rezultati su dani u tablici 67 gdje se vidi da je u skoro svim točkama bolji učin konvektora s većim razmakom među lamelama i to čak za preko 40% pri najvećoj brzini ventilatora.

Razloge tome može biti pojava kondenzata koji u obliku kapljica na lamelama smanjuje efektivnu površinu za izmjenu topline. Prikaz kapljica kondenzata je dan na slici 85. Kod većeg razmaka lamela kapljice su manje i ne čine toliki otpor struji zraka i izmjeni topline

**Tablica 67. Prikaz izmjerenog rashladnog učina za dva razmaka lamela [W]**

| Razmak<br>lamela<br>[mm] | Temperaturni režimi i brzine ventilatora |        |         |          |        |         |         |        |         |
|--------------------------|------------------------------------------|--------|---------|----------|--------|---------|---------|--------|---------|
|                          | 16/18 °C                                 |        |         | 10/15 °C |        |         | 7/12 °C |        |         |
|                          | 1                                        | 2      | 3       | 1        | 2      | 3       | 1       | 2      | 3       |
| 2,5                      | 228,23                                   | 373,32 | 989,89  | 197,34   | 377,58 | 1188,26 | 281,05  | 436,74 | 1393,74 |
| 3,2                      | 182,78                                   | 384,47 | 1075,38 | 263,34   | 467,42 | 1596,41 | 362,83  | 562,62 | 1968,42 |
| %                        | -19,91                                   | 2,99   | 8,64    | 33,44    | 23,80  | 34,35   | 29,10   | 28,82  | 41,23   |



**Slika 85. Prikaz kondenzata na lamelama izmjenjivača**

#### 4.5. Pad tlaka

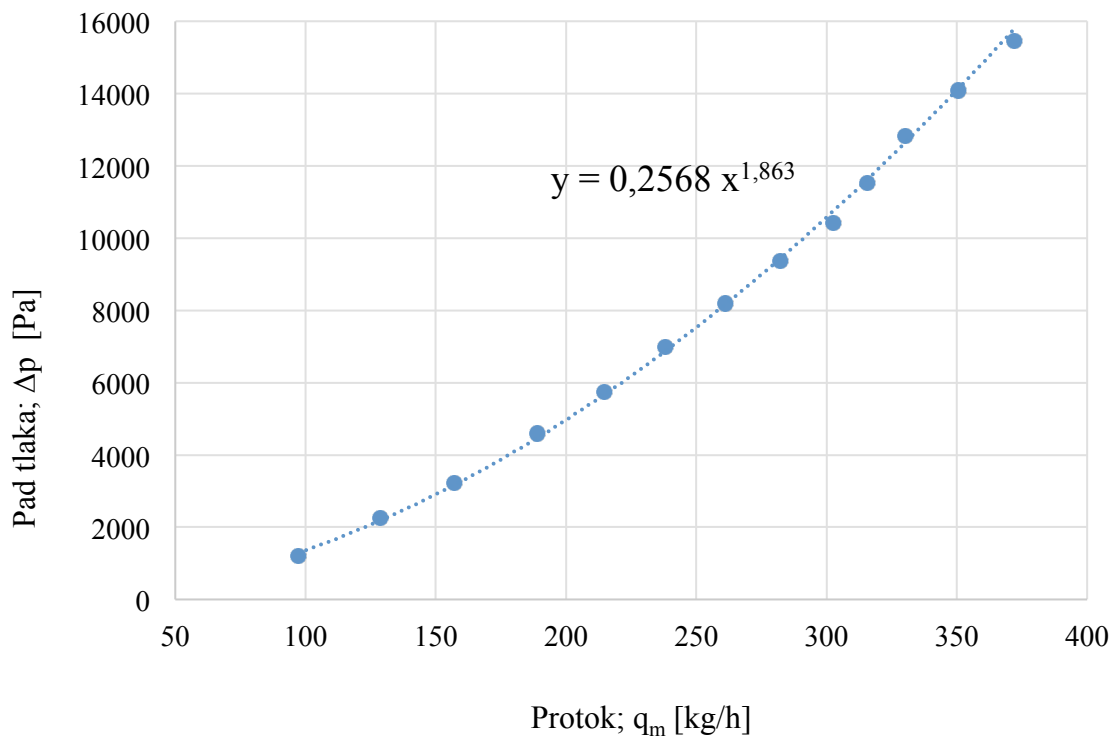
Pad tlaka u izmjenjivaču je proveden pomoću diferencijalnog pretvarača tlaka Omega PX-750. Izlazni signal uređaja je jakost struje u intervalu 4 – 20 mA što ogovara mjernom području od 0 do 150 in vodenog stupca. Protok je mijenjan regulirajućim ventilom i uključivanjem dodatne pumpe a mjereno je uz pomoć vage i kronometra. Promjenom protoka, mijenja se pad tlaka u izmjenjivaču. Rezultati mjerenja pada tlaka dani su u tablici 68. i dijagramu na slici 86.

**Tablica 68. Prikaz rezultata mjerenja pada tlaka u ovisnosti o protoku**

| Redni broj<br>mjerenja | Protok<br>[kg/s] | Protok<br>[kg/h] | Pad tlaka<br>[Pa] |
|------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 1                      | 0,02700          | 97,20            | 1218              |
| 2                      | 0,03567          | 128,40           | 2264              |
| 3                      | 0,04367          | 157,20           | 3233              |
| 4                      | 0,05250          | 189,00           | 4589              |
| 5                      | 0,05967          | 214,80           | 5752              |
| 6                      | 0,06617          | 238,20           | 6994              |
| 7                      | 0,07250          | 261,00           | 8187              |
| 8                      | 0,07833          | 282,00           | 9362              |
| 9                      | 0,08400          | 302,40           | 10424             |
| 10                     | 0,08767          | 315,60           | 11525             |
| 11                     | 0,09167          | 330,00           | 12828             |
| 12                     | 0,09733          | 350,40           | 14085             |
| 13                     | 0,10333          | 372,00           | 15451             |

Izračunata karakteristika pada tlaka:

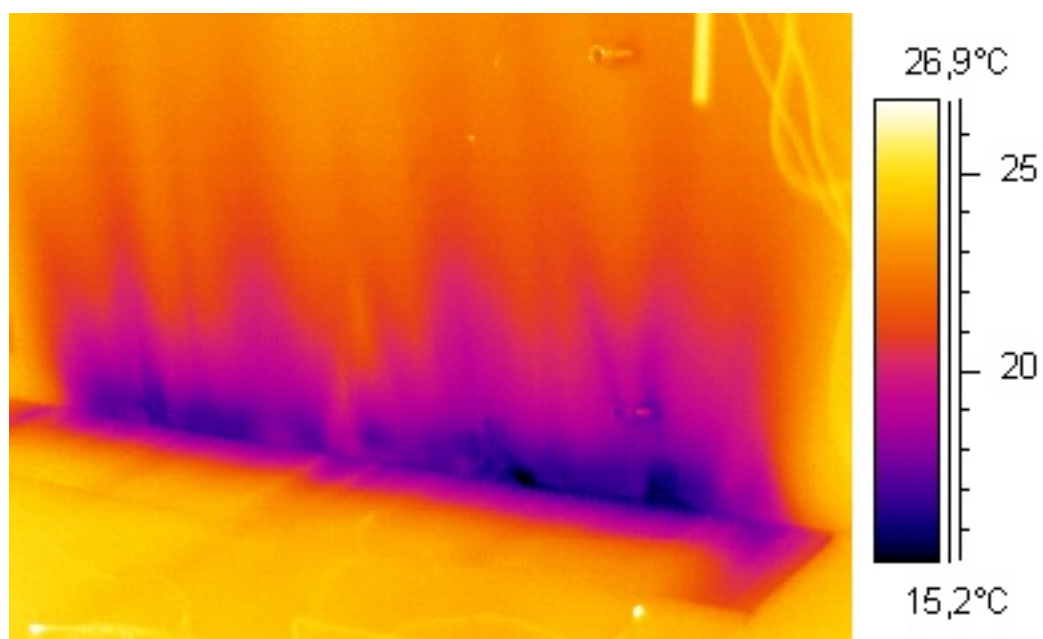
$$\Delta p = 0,2568 \cdot q_m^{1,863} \quad (21)$$



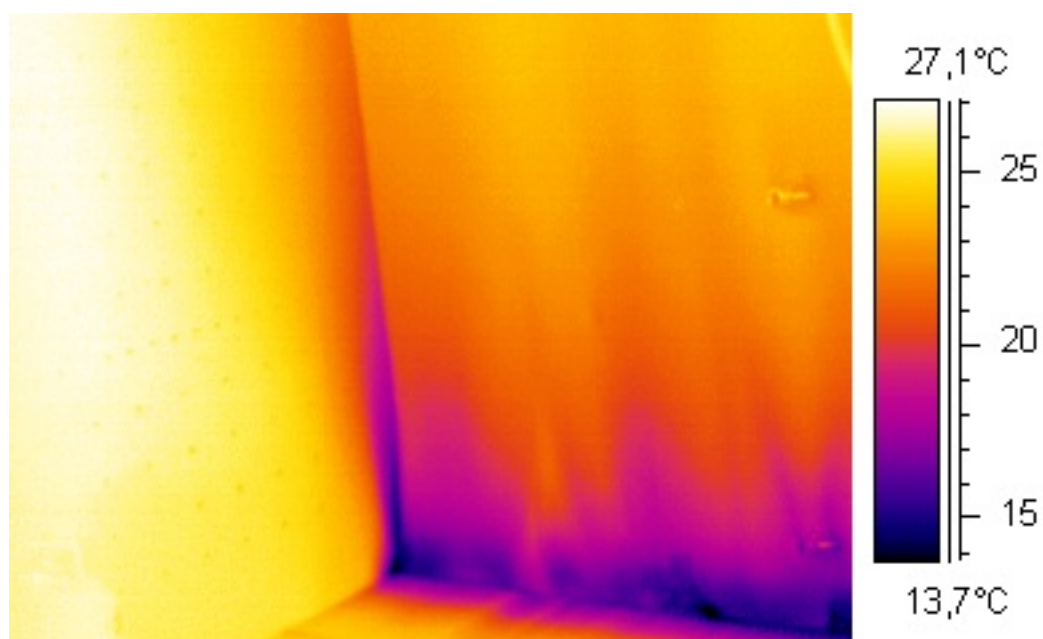
**Slika 86. Karakteristika pada tlaka**

#### 4.6. Termografija

Termografija je u ovim mjerenjima korištena kvalitativno. Zrak propušta toplinsko zračenje te je termografijom nemoguće snimiti zračenje odn. temperaturu zraka. Stoga, koristi se kartonska ploha poznatog emisijskog faktora koja se u mlazu zraka hladi te snimanjem njenog zračenja možemo dobiti podatke o temperaturi plohe a indirektno i mlaza. Ono što je bilo zanimljivije vidjeti termografijom je profil i domet mlaza što je omogućilo bolje razumijevanje rada ventilokonvektora i ponašanje strujanja zraka. Termografijom se moglo vidjeti da li dolazi do povratnog mlaza u ventilokonvektor i u kojoj mjeri. Također, domet mlaza hladnog zraka snimljen termografijom je bio indikator na kojim mjestima treba postaviti termoparove i anemometre za dobivanje željenih podataka. Na slikama 87 i 88 su prikazani primjeri termograma ventilokonvektora i mlaza.



Slika 87. Termogram zida ohlađenog mlazom iz ventilokonvektora



Slika 88. Termogram profila mlaza na plohi

## 5. PRORAČUN

Prema shemi slijede konstrukcijski parametri izmjenjivača za ventilokonvektor PKH-150-2000. U nastavku je dan numerički proračun prema VDI metodi za strujanje u cijevima i oko cijevi s lamelama [5].

### 5.1. Konstrukcijski parametri

Unutarnji promjer cijevi

$$d_u = 9,7 \text{ mm} = 0,0097 \text{ m}$$

Vanjski promjer cijevi

$$d_v = 10,4 \text{ mm} = 0,0104 \text{ m}$$

Duljina izmjenjivača

$$L = 1,6 \text{ m}$$

Broj cijevi

$$n_c = 16$$

Ukupna duljina cijevi

$$L_{uk} = 25,6 \text{ m}$$

Unutarnja površina izmjene topline

$$A_u = 0,7801 \text{ m}^2$$

Toplinska vodljivost bakrene cijevi

$$\lambda_c = 370 \text{ W/mK}$$

Širina lamele

$$b_f = 0,025 \text{ m}$$

Visina lamele

$$l_f = 0,025 \text{ m}$$

Korak lamele

$$s_f = 3,2 \text{ mm} = 0,0032 \text{ m}$$

Debljina lamele

$$\delta = 0,18 \text{ mm} = 0,00018 \text{ m}$$

Toplinska vodljivost lamele (aluminij)

$$\lambda_f = 209 \text{ W/mK}$$

Korak cijevi

$$s_t = 0,025 \text{ m}$$

Broj lamela

$$n_f = 500$$

Površina jedne lamele oko jedne cijevi

$$A_{f1} = 2 \cdot \left( b_f \cdot l_f - \frac{d_v^2 \cdot \pi}{4} \right) = 0,00108 \text{ m}^2$$

Površina lamela

$$A_f = A_{f1} \cdot n_f \cdot n_c = 8,64 \text{ m}^2$$

Slobodna površina cijevi

$$A_t = (n_f + 1) \cdot \pi \cdot d_v \cdot (s_f - \delta) \cdot n_c = 0,7909 \text{ m}^2$$

Površina cijevi bez lamela

$$A_{t0} = \pi \cdot d_v \cdot L = 0,8364 \text{ m}^2$$

Vanjska izmjenjivačka površina

$$A = A_f + A_t = 9,431 \text{ m}^2$$

Omjer unutarnje i vanjske površine

$$\frac{A}{A_u} = 12,09$$

## 5.2. Proračun na strani vode

### 5.2.1. Ulazni podaci dobiveni mjerenjima

Proračun je proveden za sve brzine ventilatora i temperaturne režime a ovdje je dan primjer proračuna za temperaturni režim 10/15 °C i maksimalnu brzinu ventilatora.

Temperatura usisa zraka u ventilokonvektor

$$\vartheta_r = 24,71 \text{ °C}$$

Temperatura polaza rashladne vode

$$\vartheta_{w1} = 10,03 \text{ °C}$$

Temperatura povrata rashladne vode

$$\vartheta_{w2} = 14,97 \text{ °C}$$

Maseni protok vode

$$q_m = 277,8 \text{ kg/h} = 0,0772 \text{ kg/s}$$

Rashladni učin

$$\Phi_r = 1596,41 \text{ W}$$

### 5.2.2. Stanje rashladne vode

Gustoća

$$\rho_w = 999,4 \text{ kg/m}^3$$

Toplinska vodljivost

$$\lambda_w = 0,58 \text{ W/mK}$$

Dinamička viskoznost

$$\mu_w = 0,00122 \text{ Pa s}$$

Prandtlov broj

$$Pr_w = 8,77$$

### 5.2.3. Izračun koeficijenta prijelaza topline na unutarnjoj stijenci

Srednja logaritamska razlika temperatura

$$\Delta\vartheta_m = \frac{(\vartheta_r - \vartheta_{w1}) - (\vartheta_r - \vartheta_{w2})}{\ln\left(\frac{\vartheta_r - \vartheta_{w1}}{\vartheta_r - \vartheta_{w2}}\right)} = 12,04^\circ\text{C} \quad (22)$$

Iz izraza

$$\Phi_r = k_u \cdot A_u \cdot \Delta\vartheta_m \quad (23)$$

Slijedi koeficijent prolaza topline sveden na unutarnju stijenku

$$k_u = 169,98 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Volumni protok vode

$$q_v = \frac{q_m}{\rho_w} = 0,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (24)$$

Iz izraza

$$q_v = \frac{d_u^2 \cdot \pi}{2} \cdot v \quad (25)$$

Slijedi brzina strujanja vode u cijevi

$$v = 0,52 \text{ m/s}$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{\rho_w \cdot d_u \cdot v}{\mu_w} = 4145 \quad (26)$$

Nusseltov broj

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} = 34,56 \quad (27)$$

Iz izraza

$$Nu = \frac{\alpha_u \cdot d_u}{\lambda_w} \quad (28)$$

Slijedi koeficijent prijelaza topline na unutarnjoj stijenci

$$\alpha_u = 2083,31 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Iz izraza

$$\frac{1}{k_u} = \frac{1}{\alpha_u} + \frac{d_u}{2 \cdot \lambda_c} \cdot \ln\left(\frac{d_v}{d_u}\right) + \frac{d_u}{d_v \cdot \alpha_v} \quad (29)$$

Slijedi koeficijent prijelaza topline na vanjskoj stijenci

$$\alpha_v = 172,65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Sveden na stvarnu vanjsku površinu

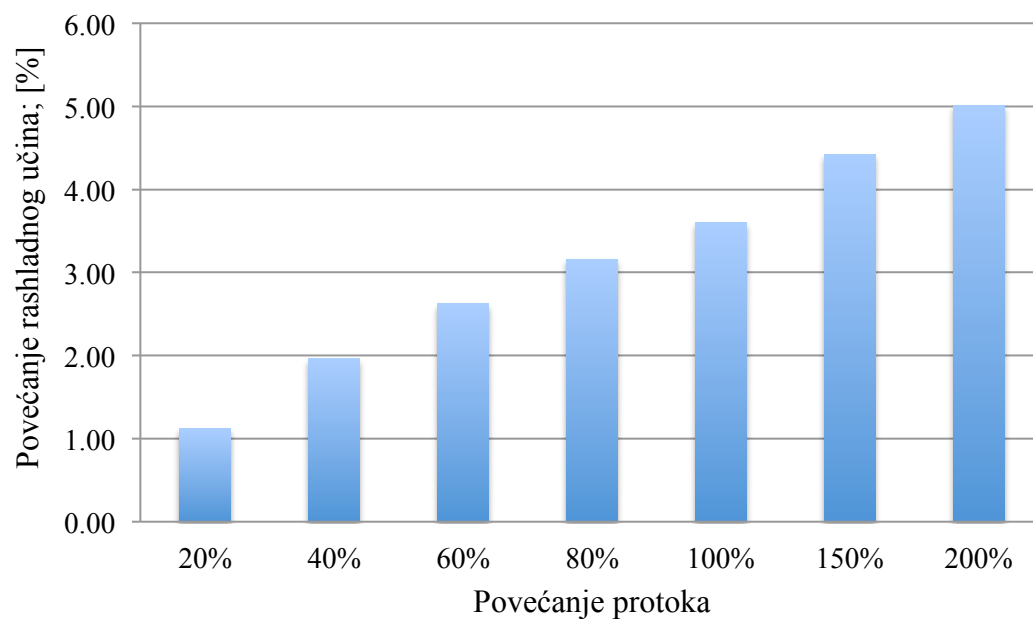
$$\alpha_v = 14,28 \text{ W/m}^2\text{K}$$

#### 5.2.4. Parametarska analiza

U proračunu je u svrhu analize mijenjan protok rashladne vode s ciljem utvrđivanja utjecaja na rashladni učin. Iako se povećanjem masenog protoka vode povećava i učin, dobici su skoro zanemarivi što je prikazano u tablici 69 i u dijagramu na slici 89. U daljnjem ekonomskom proračunu isplativosti povećanja protoka treba uzeti u obzir pad tlaka koji se povećava povećanjem protoka rashladne vode što povlači za sobom i potrebu za jačim pumpama i povećanu potrošnju električne energije.

**Tablica 69. Prikaz povećanja rashladnog učina povećanjem protoka [%]**

| Povećanje protoka<br>rashladne vode | Temperaturni režimi i brzine ventilatora |      |      |          |      |      |         |      |      |
|-------------------------------------|------------------------------------------|------|------|----------|------|------|---------|------|------|
|                                     | 16/18 °C                                 |      |      | 10/15 °C |      |      | 7/12 °C |      |      |
|                                     | 1                                        | 2    | 3    | 1        | 2    | 3    | 1       | 2    | 3    |
| 20%                                 | 0,79                                     | 0,75 | 0,83 | 1,26     | 1,17 | 1,12 | 1,03    | 1,05 | 1,02 |
| 40%                                 | 1,38                                     | 1,32 | 1,46 | 2,21     | 2,05 | 1,96 | 1,80    | 1,84 | 1,79 |
| 60%                                 | 1,85                                     | 1,76 | 1,95 | 2,95     | 2,74 | 2,62 | 2,41    | 2,46 | 2,39 |
| 80%                                 | 2,22                                     | 2,11 | 2,34 | 3,56     | 3,29 | 3,16 | 2,90    | 2,96 | 2,87 |
| 100%                                | 2,52                                     | 2,40 | 2,67 | 4,05     | 3,75 | 3,60 | 3,30    | 3,37 | 3,27 |
| 150%                                | 3,10                                     | 2,94 | 3,27 | 4,99     | 4,62 | 4,43 | 4,05    | 4,14 | 4,02 |
| 200%                                | 3,50                                     | 3,33 | 3,70 | 5,66     | 5,23 | 5,01 | 4,59    | 4,68 | 4,55 |



**Slika 89. Dijagram povećanja rashladnog učina za primjer iz proračuna**

### 5.3. Proračun na strani zraka

#### 5.3.1. Ulazni podaci dobiveni mjerenjima

Proračun je proveden za sve brzine ventilatora i temperaturne režime a ovdje je dan primjer proračuna za temperaturni režim 16/18 °C i maksimalnu brzinu ventilatora.

Brzina zraka po površini izmjenjivača

$$v_z = 0,89 \text{ m/s}$$

Temperatura usisa zraka u ventilokonvektor

$$\vartheta_{z1} = 24,91 \text{ °C}$$

Temperatura ispuha zraka iz ventilokonvektora

$$\vartheta_{z2} = 19,04 \text{ °C}$$

Temperatura polaza rashladne vode

$$\vartheta_{w1} = 15,81 \text{ °C}$$

Temperatura povrata rashladne vode

$$\vartheta_{w2} = 18,24 \text{ °C}$$

Maseni protok vode

$$q_m = 379,8 \text{ kg/h} = 0,1055 \text{ kg/s}$$

Rashladni učin (zrak)

$$\Phi_r = 1592,3 \text{ W}$$

#### 5.3.2. Stanje zraka

Gustoća

$$\rho_z = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

Toplinski kapacitet

$$c_{p,z} = 1006 \text{ J/kgK}$$

Toplinska vodljivost

$$\lambda_z = 0,0263 \text{ W/mK}$$

Dinamička viskoznost

$$\mu_z = 0,000018206 \text{ Pa s}$$

Prandtlov broj

$$Pr_z = 0,696$$

### 5.3.3. Izračun koeficijenta prijelaza topline na vanjskoj stijenci

Srednja logaritamska razlika temperatura

$$\Delta\vartheta_m = \frac{(\vartheta_r - \vartheta_{w1}) - (\vartheta_r - \vartheta_{w2})}{\ln\left(\frac{\vartheta_r - \vartheta_{w1}}{\vartheta_r - \vartheta_{w2}}\right)} = 7,82^\circ\text{C} \quad (30)$$

Omjer slobodne i stvarne površine strujanja zraka

$$\frac{A_0}{A_s} = \frac{s_t \cdot s_f}{(s_t - d_v) \cdot (s_f - \delta)} = 1,814 \quad (31)$$

Brzina u najmanjem presjeku

$$v_s = v_z \cdot \frac{A_0}{A_s} = 1,62 \text{ m/s} \quad (32)$$

Utjecaj temperature na brzinu

$$v_{sT} = v_s \cdot \frac{273,15 + \frac{(\vartheta_{z1} + \vartheta_{z2})}{2}}{273,15 + \vartheta_{z1}} = 1,64 \text{ m/s} \quad (33)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{\rho_z \cdot d_v \cdot v_{sT}}{\mu_z} = 1121,43 \quad (34)$$

Nusseltov broj

$$Nu = 0,22 \cdot Re^{0,6} \cdot \left(\frac{A}{A_{t0}}\right)^{-0,15} Pr^{\frac{1}{3}} = 9,2 \quad (35)$$

Iz izraza

$$Nu = \frac{\alpha_m \cdot d_v}{\lambda_z} \quad (36)$$

Slijedi srednji koeficijent prijelaza topline za cijev i lamele

$$\alpha_m = 23,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Faktor za određivanje iskoristivosti lamela

$$X = \varphi \cdot \frac{d_v}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_m}{\lambda_f \cdot \delta}} = 0,433 \quad (37)$$

Gdje je

$$\varphi = (\varphi' - 1) \cdot (1 + 0,35 \cdot \ln \varphi') = 2,37 \quad (38)$$

$$\varphi' = 1,28 \cdot \frac{b_f}{d_v} \cdot \sqrt{\left(\frac{l_f}{b_f} - 0,2\right)} \quad (39)$$

Iskoristivost lamela

$$\eta_f = \frac{\tanh X}{X} = 0,9418 \quad (40)$$

Koeficijent prijelaza topline na vanjskoj stijenci

$$\alpha_v = \alpha_m \cdot \left[1 - (1 - \eta_f) \cdot \frac{A_f}{A}\right] = 21,93 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (41)$$

Iz izraza

$$\frac{1}{k_v} = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{A}{A_u} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_u} + \frac{d_v - d_u}{2 \cdot \lambda_c}\right) \quad (42)$$

Slijedi koeficijent prolaza topline sveden na vanjsku stijenu

$$k_v = 20,09 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Rashladni učin na strani zraka

$$\Phi_z = k_v \cdot A \cdot \Delta \vartheta_m = 1482 \text{ W} \quad (43)$$

### 5.3.4. Parametarska analiza

Prva stvar što se da primijetiti je da se izračunate vrijednosti rashladnog učina na strani zraka ne poklapaju s mjerenim vrijednostima osim za najveću brzinu ventilatora. To možemo pripisati odabiru modela proračuna gdje se točnije vrijednosti dobivaju za veće vrijednosti Reynoldsovih brojeva odn. brzina strujanja zraka kroz ventilokonvektor. Prikaz rashladnih učina dobivenih mjerenjem i proračunom dan je u tablici 70.

**Tablica 70. Prikaz rashladnog učina dobivenog mjerenjem i proračunom [W]**

| Rashladni<br>učin | Temperaturni režimi i brzine ventilatora |        |         |          |        |         |         |         |         |
|-------------------|------------------------------------------|--------|---------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|
|                   | 16/18 °C                                 |        |         | 10/15 °C |        |         | 7/12 °C |         |         |
|                   | 1                                        | 2      | 3       | 1        | 2      | 3       | 1       | 2       | 3       |
| Mjerenjem         | 217,92                                   | 427,35 | 1592,30 | 358,09   | 644,47 | 2316,71 | 485,83  | 816,69  | 2856,19 |
| Proračunom        | 401,39                                   | 657,04 | 1481,99 | 559,66   | 869,24 | 2214,47 | 771,37  | 1083,47 | 2724,59 |

Slijedeći korak je bila analiza rashladnog učina na strani zraka promjenom razmaka lamele u izmjenjivaču ventilokonvektora. Rezultati su bili očekivani jer se s manjim razmakom lamele povećava njihov broj a time i vanjska površina izmjene topline ali u mjerenjima nisu potvrđeni ti rezultati. Razlog tome leži u činjenjici da kondenzat koji se stvara na lamelama čini otpor izmjeni topline i smanjuje efektivnu površinu čime se posljedično smanjuje rashladni učin. Iako u proračunu lošiji, veći razmak lamela se u mjerenjima pokazao boljim za rashladni učin ventilokonvektora. U tablici 71 je dan prikaz proračunskih vrijednosti rashladnog učina za dva razmaka lamela.

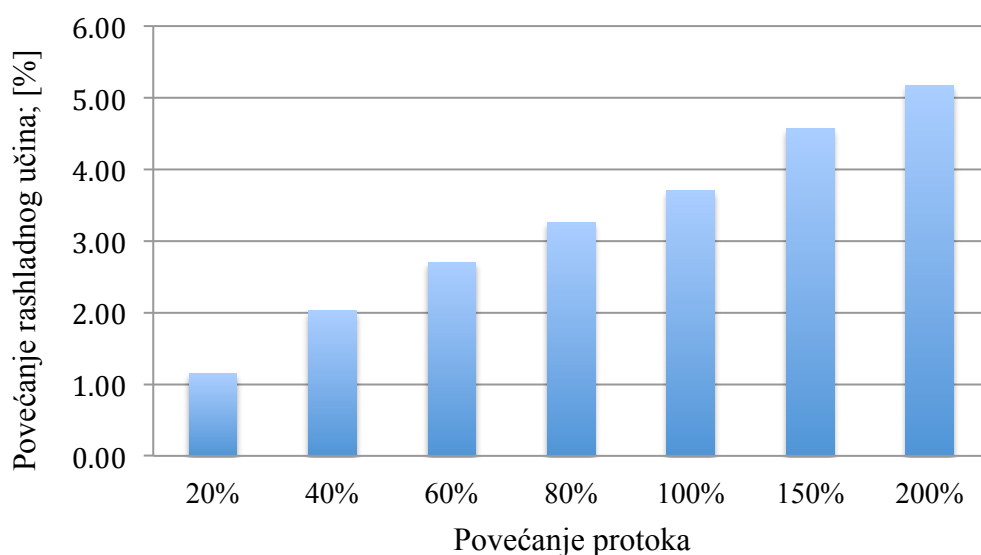
**Tablica 71. Prikaz izračunatog rashladnog učina za dva razmaka lamela [W]**

| Razmak<br>lamela<br>[mm] | Temperaturni režimi i brzine ventilatora |        |         |          |         |         |         |         |         |
|--------------------------|------------------------------------------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                          | 16/18 °C                                 |        |         | 10/15 °C |         |         | 7/12 °C |         |         |
|                          | 1                                        | 2      | 3       | 1        | 2       | 3       | 1       | 2       | 3       |
| 2,5                      | 478,17                                   | 788,44 | 1782,34 | 657,01   | 1028,55 | 2646,22 | 912,45  | 1285,03 | 3263,03 |
| 3,2                      | 401,39                                   | 657,04 | 1481,99 | 559,66   | 869,24  | 2214,47 | 771,37  | 1083,47 | 2724,59 |

Konačno, analizirano je i povećanje rashladnog učina na strani zraka mijenjanjem protoka rashladne vode. I tu se, kao i kod proračuna na strani vode, vidi povećanje rashladnog učina čak i dvostruko više u odnosu na proračun na strani vode, pogotovo za manje brzine ventilatora što se objašnjava većim koeficijentima prijelaza topline na vanjskoj strani dobivenim proračunom na strani zraka. Povećanje rashladnog učina mijenjanjem protoka rashladne vode prikazano je u tablici 72 i dijagramu na slici 90.

**Tablica 72. Prikaz povećanja rashladnog učina povećanjem protoka [%]**

| Povećanje protoka<br>rashladne vode | Temperaturni režimi i brzine ventilatora |      |      |          |       |      |         |      |      |
|-------------------------------------|------------------------------------------|------|------|----------|-------|------|---------|------|------|
|                                     | 16/18 °C                                 |      |      | 10/15 °C |       |      | 7/12 °C |      |      |
|                                     | 1                                        | 2    | 3    | 1        | 2     | 3    | 1       | 2    | 3    |
| 20%                                 | 1,75                                     | 1,29 | 1,15 | 2,71     | 2,19  | 1,56 | 2,21    | 2,04 | 1,42 |
| 40%                                 | 3,09                                     | 2,27 | 2,02 | 4,81     | 3,87  | 2,74 | 3,91    | 3,60 | 2,49 |
| 60%                                 | 4,15                                     | 3,04 | 2,71 | 6,49     | 5,21  | 3,68 | 5,26    | 4,84 | 3,34 |
| 80%                                 | 5,00                                     | 3,66 | 3,26 | 7,87     | 6,30  | 4,43 | 6,36    | 5,85 | 4,02 |
| 100%                                | 5,72                                     | 4,17 | 3,71 | 9,03     | 7,21  | 5,06 | 7,28    | 6,69 | 4,59 |
| 150%                                | 7,07                                     | 5,14 | 4,57 | 11,24    | 8,95  | 6,25 | 9,03    | 8,29 | 5,66 |
| 200%                                | 8,02                                     | 5,82 | 5,17 | 12,84    | 10,18 | 7,09 | 10,28   | 9,43 | 6,41 |



**Slika 90. Dijagram povećanja rashladnog učina za primjer iz proračuna**

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu su opisane namjena i glavne karakteristike ventilokonvektora, te je objašnjen njihov način rada. Navedene su i opisane norme koje propisuju način ispitivanja karakteristika ventilokonvektora.

Dan je opis mjerne linije te način mjerenja. Ispitana su i analizirana dva podna ventilokonvektora u režimu hlađenja prema zadanim normama. Ventilokonvektori su istih dimenzija uz razliku u razmaku među lamelama orebrenja izmjenjivača. Mjerenjem se htjelo vidjeti koji ima bolje toplinske karakteristike u režimu hlađenja. Mjerenje je provedeno u Laboratoriju za toplinu i toplinske uređaje Fakulteta strojarstva i brodogradnje. Ispitane su karakteristike na tri temperaturna režima i tri brzine ventilatora.

Prikazani su i analizirani rezultati mjerenja te je pokazano da je ventilokonvektor s većim razmakom lamela postizao veće rashladne učine iako mu je manja površina za izmjenu topline. Razlog leži u pojavi kondenzata koji smanjuje efektivnu površinu te značajno utječe na učin.

Rezultati mjerenja učina na strani zraka su pokazali znatna odstupanja od rezultata učina dobivenih na strani vode što ukazuje na grešku u mjerenju, najvjerojatnije krivom odabiru površine s kojom je računat protok.

Uočeno je da pri manjim brzinama ventilatora dolazi do usisavanja ohlađenog umjesto toplog zraka iz prostorije što je u proračunu dalo netočne rezultate. Tu treba razmisliti o konstrukcijskim poboljšanjima i usmjerivačima zraka čime bi se strujanje usmjerilo više prema zidu.

Rezultati mjerenja su korišteni kao ulazni podaci za proračun i parametarsku analizu. Proračunom prema odabranom modelu je pokazano da se povećanjem protoka rashladne vode može povećati rashladni učin ali svega par posto. Proračun na strani zraka također je pokazao da se povećanjem protoka može poboljšati rashladni učin ali zbog nedovoljno točnih rezultata mjerenja ne zna se u kojoj mjeri.

Preporuka je da se ponove mjerenja s konstrukcijskim poboljšanjima te bi se trebalo doći do boljih rezultata i smjera daljnjeg razvoja ventilokonvektora.

## LITERATURA

- [1] Recknagel: „Grijanje i klimatizacija“, Interklím, Vrnjačka Banja, 2004.
- [2] <http://www.klimaoprema.hr/klimaoprema/doc/podni-konvektori-u-praksi.pdf>
- [3] prEN 16430-1 : Fan assisted radiators, convectors and trench convectors, April 2012.
- [4] Eurovent 6/3 – Thermal test method for fan coil units, 1996
- [5] VDI: Heat Atlas, Springer, 2010.
- [6] Halasz B., Galović A., Boras I.,: Toplinske tablice, FSB, Zagreb, 2010.