

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



SARA BEĆIREVIĆ

**INTENZIVNO NARAVNO PREZRAČEVANJE KOT
STRATEGIJA ZA ZMANJŠANJE POTREBE PO
OHLAJEVANJE STAVBE**

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE
STOPNJE STAVBARSTVO**

Ljubljana, 2021

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

SARA BEĆIREVIĆ

**INTENZIVNO NARAVNO PREZRAČEVANJE
KOT STRATEGIJA ZA ZMANJŠANJE POTREBE
PO OHLAJEVANJE STAVBE**

Magistrsko delo št.:

**INTENSIVE NATURAL VENTILATION AS A
COOLING REDUCTION DESIGN STRATEGY IN
BUILDINGS**

Master thesis No.:

Mentor/-ica:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

asist. Luka Pajek

Član komisije:

Ljubljana, _____

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK	697.921.2(043.3)
Avtor	Sara Bećirević, dipl. inž. grad. (UN)
Mentor	doc. dr. Mitja Košir
Somentor	asist. Luka Pajek
Naslov	Intenzivno naravno prezračevanje kot strategija za zmanjšanje potrebe po ohlajevanju stavbe
Tip dokumenta	Magistrska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema	90 str., 32 pregl., 43 graf., 13 sl.
Ključne besede	enostransko prezračevanje, prečno prezračevanje, naravno prezračevanje, raba energije za hlajenje, toplotno neudobje

Izvleček

Naravno prezračevanje in zrak kot pasivni medij predstavljata najcenejšo in okolju najprijaznejšo rešitev za hlajenje, saj za svoje delovanje ne potrebujeata nič ali relativno malo energije. Zato se kljub vsem razpoložljivim mehanskim sistemom vračamo k prvotnim strategijam za hlajenje, kot je naravno prezračevanje. V nalogi smo ugotovili, ali lahko s pomočjo naravnega prezračevanja zmanjšamo rabo energije za hlajenje in hkrati zagotavljamo ustrezno toplotno udobje. Za analizo smo si izbrali različni pisarni, ki smo jima pripisali karakteristične lastnosti stavbnega ovoja in transparentnih površin glede na Tehnično smernico TSG-1-004:2010. Analizirana sta bila načina naravnega prezračevanja, enostransko in prečno prezračevanje, v treh časovnih obdobjih v dnevu, in sicer nočno, dnevno ter celodnevno. V programskem orodju Design Builder smo spreminjali parametra, načrtovano stopnjo prezračevanja in delež efektivne odprtine. Pri enostranskem in prečnem načinu prezračevanja je celodnevni način prezračevanja najučinkovitejši za zmanjšanje rabe energije za hlajenje, sledi mu nočno in nato dnevno prezračevanje. V povprečju vsaj za 50 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje dosežemo že pri stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ pri celodnevnem in nočnem prezračevanju ter pri stopnji prezračevanja $n = 5 \text{ h}^{-1}$ pri dnevnem prezračevanju. Takšno zmanjšanje rabe energije za hlajenje dosežemo že pri efektivnih odprtinah 5 % in 10 %. Že majhne stopnje prezračevanja in efektivne odprtine bistveno vplivajo na zmanjšanje rabe energije za hlajenje in eliminiranje visokih operativnih temperatur.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC	697.921.2(043.3)
Autor	Sara Bećirević, B.Sc.
Supervisor	Assist. Prof. Mitja Košir, Ph. D.
Co-advisor	Assist. Luka Pajek, M. Sc.
Title	Intensive natural ventilation as a cooling reduction design strategy in buildings
Document type	Master thesis
Notes	90 p., 32 tab., 43 graph., 13 fig.
Key words	single-sided ventilation, cross ventilation, natural ventilation, energy consumption for cooling, thermal discomfort

Abstract

Natural ventilation and air are passive mediums with the cheapest and most environmentally friendly cooling solution, as they do not require any or relatively little energy to operate. Therefore, despite all the available mechanical systems, we are returning to the original cooling strategies, such as natural ventilation. In the thesis, we determined whether we can reduce the use of energy for cooling with natural ventilation and at the same time provide adequate thermal comfort. For the analysis, we chose two different offices, to which we assigned the characteristic properties of the building envelope and transparent surfaces according to the Tehnična smernica TSG-1-004: 2010. Two different types of natural ventilation were analyzed, single-sided and cross ventilation, in three time periods during the day, night, day and all - day. In the Design Builder software, we changed two parameters, the proposed rate of ventilation and the proportion of the effective opening. With single-sided and cross ventilation, all-day ventilation is the most effective in reducing cooling energy consumption, followed by night and then day ventilation. On average, a reduction of at least 50% in the energy consumption for cooling is achieved already at the ventilation rate $n = 2 \text{ h}^{-1}$ for all-day and night ventilation and at the ventilation rate $n = 5 \text{ h}^{-1}$ for day ventilation. Such a reduction in energy consumption for cooling is achieved with effective openings of 5% and 10%. Even small rates of ventilation and effective openings have a significant effect on reducing energy consumption for cooling and eliminating high operative temperatures.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. Dr. Mitji Koširju in somentorju asist. Luki Pajku za vso strokovno pomoč, usmerjanje in potrpežljivost pri nastajanju magistrskega dela.

Zahvaljujem se tudi vsem svojim najbližjim, prijateljem in sošolcem za pomoč in podporo pri študiju.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA	VII
KAZALO VSEBINE	IX
KAZALO PREGLEDNIC	XI
KAZALO GRAFIKONOV	XIII
KAZALO SLIK	XV
1 UVOD	1
1.1 Cilji in hipoteze	2
2 NARAVNO PREZRAČEVANJE	4
2.1 Zgodovina	5
2.2 Načini naravnega prezračevanja	8
2.2.1 Prezračevanje s pomočjo vetra	9
2.2.2 Prezračevanje s pomočjo vzgona	11
2.3 Toplotno udobje	12
2.4 Zakonodaja	13
3 ORODJA IN METODE	16
3.1 Podnebne značilnosti lokacije	19
3.2 Parametri in karakteristike pisarn	20
3.2.1 Lastnosti stavbnega ovoja	21
3.2.2 Moč sončnega sevanja in senčenje	24
3.2.3 Urniki, toplotni dobitki in notranji pogoji	25
4 REZULTATI	27
4.1 Naravno prezračevanje – načrtovana metoda	27
4.1.1 Prezračevanje glede na smer prezračevanja	27
4.1.2 Prezračevanje glede na čas prezračevanja	30
4.1.3 Vpliv prezračevanja na operativno temperaturo	32
4.1.4 Vpliv prezračevanja na toplotno udobje uporabnikov	34
4.1.5 Maksimalne in povprečne stopnje prezračevanja	49
4.2 Naravno prezračevanje – izračunana metoda	55
4.2.1 Prezračevanje glede na smer prezračevanja	55
4.2.2 Prezračevanje glede na čas prezračevanja	57
4.2.3 Vpliv prezračevanja na operativno temperaturo	60

4.2.4	Vpliv prezračevanja na toplotno udobje uporabnikov	62
4.2.5	Maksimalne in povprečne stopnje prezračevanja	77
5	RAZPRAVA	84
6	ZAKLJUČEK	89
	VIRI IN LITERATURA	91

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vrednost u v odvisnosti od srednje hitrosti zraka [30].	14
Preglednica 2: Načrtovana hitrost zraka pri lokalni temperaturi zraka [30].	14
Preglednica 3: Parametri načrtovanja [30].	15
Preglednica 4: Efektivne odprtine in pripadajoče površine za enostransko in prečno prezračevanje.	19
Preglednica 5: Podatki o temperaturi v Ljubljani za obdobje med leti 2010 in 2019 [45].	20
Preglednica 6: Maksimalne vrednosti toplotne prehodnosti za posamezne gradbene elemente [42].	22
Preglednica 7: Elementi, ki sestavljajo zunanjo steno in njihove lastnosti.	23
Preglednica 8: Elementi, ki sestavljajo notranjo steno in njihove lastnosti.	23
Preglednica 9: Elementi, ki sestavljajo medetažno konstrukcijo in njihove lastnosti.	23
Preglednica 10: Toplotne prehodnosti elementov okna.	24
Preglednica 11: Uporabljene vrednosti v programu Design Builder.	26
Preglednica 12: Urniki uporabnikov, opreme in razsvetljave [40].	26
Preglednica 13: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za enostransko nočno prezračevanje – načrtovana metoda.	35
Preglednica 14: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za enostransko dnevno prezračevanje – načrtovana metoda.	36
Preglednica 15: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za enostransko celodnevno prezračevanje – načrtovana metoda.	37
Preglednica 16: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za prečno nočno prezračevanje – načrtovana metoda.	43
Preglednica 17: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za prečno dnevno prezračevanje – načrtovana metoda.	44
Preglednica 18: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za prečno celodnevno prezračevanje – načrtovana metoda.	45
Preglednica 19: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	50
Preglednica 20: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.	51
Preglednica 21: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	52
Preglednica 22: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.	54
Preglednica 23: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtin za enostransko nočno prezračevanje – izračunana metoda.	63
Preglednica 24: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtin za enostransko dnevno prezračevanje – izračunana metoda.	64
Preglednica 25: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtin za enostransko celodnevno prezračevanje – izračunana metoda.	65
Preglednica 26: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtin za prečno nočno prezračevanje – izračunana metoda.	71
Preglednica 27: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtin za prečno dnevno prezračevanje – izračunana metoda.	72
Preglednica 28: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtin za prečno celodnevno prezračevanje – izračunana metoda.	73

Preglednica 29: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.	78
Preglednica 30: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	80
Preglednica 31: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.	81
Preglednica 32: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	83

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Moč sončnega sevanja na zunanji strani transparentnega dela stavbnega ovoja – enostransko prezračevanje.....	24
Grafikon 2: Moč sončnega sevanja na zunanji strani transparentnega dela stavbnega ovoja – prečno prezračevanje.....	25
Grafikon 3: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	28
Grafikon 4: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.	29
Grafikon 5: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri nočnem prezračevanju – načrtovana metoda.	30
Grafikon 6: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri dnevnem prezračevanju – načrtovana metoda.	31
Grafikon 7: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri celodnevem prezračevanju – načrtovana metoda.	32
Grafikon 8: Povprečna operativna temperatura pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	33
Grafikon 9: Povprečna operativna temperatura pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.	33
Grafikon 10: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	39
Grafikon 11: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) v času zasedenosti pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	40
Grafikon 12: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	41
Grafikon 13: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) v času zasedenosti pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	42
Grafikon 14: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.	46
Grafikon 15: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) v času zasedenosti pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.....	47
Grafikon 16: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.	48
Grafikon 17: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) v času zasedenosti pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.....	49
Grafikon 18: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	50
Grafikon 19: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.	52
Grafikon 20: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.	53
Grafikon 21: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.	54
Grafikon 22: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.	56
Grafikon 23: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	57

Grafikon 24: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije s pomočjo naravnega prezračevanja pri nočnem prezračevanju – izračunana metoda.....	58
Grafikon 25: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije s pomočjo naravnega prezračevanja pri dnevnem prezračevanju – izračunana metoda.....	59
Grafikon 26: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije s pomočjo naravnega prezračevanja pri celodnevem prezračevanju – izračunana metoda.	60
Grafikon 27: Povprečna operativna temperatura pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.	61
Grafikon 28: Povprečna operativna temperatura pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	61
Grafikon 29: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.	67
Grafikon 30: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) v času zasedenosti pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.....	68
Grafikon 31: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.	69
Grafikon 32: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) v času zasedenosti pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.....	70
Grafikon 33: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	74
Grafikon 34: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) v času zasedenosti pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	75
Grafikon 35: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	76
Grafikon 36: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) v času zasedenosti pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	77
Grafikon 37: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.	79
Grafikon 38: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	80
Grafikon 39: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.	82
Grafikon 40: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.	83
Grafikon 41: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje – celodnevno prezračevanje.....	85
Grafikon 42: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje – nočno prezračevanje.	86
Grafikon 43: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje – dnevno prezračevanje.	87

KAZALO SLIK

Slika 1: Princip delovanja vetrnega stolpa [24].....	6
Slika 2: Mashrabiya [25].....	7
Slika 3: Dvorišče z bazenom – Alhambra, Španija [26].	7
Slika 4: Tradicionalna japonska hiša [28].	8
Slika 5: Lokalne in globalne strategije naravnega prezračevanja [6].....	9
Slika 6: Prezračevanje s pomočjo vetra [33].	10
Slika 7: Prezračevanje s pomočjo vzgona [33].	11
Slika 8: Tlak zaradi vetra in vzgona [21].	12
Slika 9: Metodološka struktura analiz.....	17
Slika 10: Izračun efektivnih odprtín [45].	19
Slika 11: Lokacija pisarn v središču objekta.	20
Slika 12: Dimenzije modeliranih pisarn.....	21
Slika 13: Potek notranje temperature pri masivnem stavbnem ovoju [47].	22

1 UVOD

Ko povprečen uporabnik v prostoru občuti toplotno nelagodje zaradi visokih temperatur, najprej pomisli, kako prostor naravno prezračiti. Toplotno udobje je subjektivna ocena vsakega posameznika, ki izraža zadovoljstvo s toplotnim okoljem, zato jo je zelo težko eksaktno kvantificirati [1]. Zagotavljanje ustreznega toplotnega udobja predstavlja aspekt, ki znatno vpliva na rabo energije v stavbah. V preteklosti se je v zmernih podnebnih v obdobju toplih mesecev naravno prezračevanje uporabljalo kot medij za ohlajevanje prostora ali stavbe. Vendar so povprečne letne temperature po letu 1940 začele naraščati glede na povprečno vrednost v obdobju od leta 1951 do 1980 [2]. Zaradi višanja letnih povprečnih temperatur in potrebe po ugodnih notranjih temperaturah so se razvili aktivni hladilni sistemi, ki so omogočali hitrejšo in učinkovitejšo hlajenje. Tako je uporaba klimatskih naprav znatno narasla šele v 50. letih prejšnjega stoletja [3]. Z uporabo le-teh se je naravno prezračevanje za namen hlajenja začelo opuščati. Za delovanje klimatskih naprav je potrebna električna energija, njena proizvodnja pa prispeva k emisijam CO₂ v okolje. Ogljikovemu dioksidu skupaj s preostalimi plini, kot so metan, vodna para itn., pravimo toplogredni plini. Le-ti so naravno prisotni v ozračju in pripomorejo k stabilizaciji temperatur na Zemlji preko t. i. učinka tople grede. Povišan delež toplogrednih plinov v ozračju tako intenzificira učinek tople grede, ki zadrži več dolgovalovnega toplotnega sevanja, to pa se odrazi v segrevanju ozračja. Glede na to, da raba energije v stavbah predstavlja tretjino celotne rabe energije na Zemlji in znatno doprinaša k onesnaževanju okolja, je potreba po trajnostnih rešitvah za učinkovito hlajenje stavb in zagotavljanje toplotnega udobja še toliko nujnejša [4].

Največ pozornosti je usmerjene na vpliv, ki ga imajo stavbe s svojim delovanjem na podnebne spremembe. Poraja se vprašanje, kako zaustaviti negativen vpliv stavb na okolje. Gradbena industrija skupaj s stavbami predstavlja 36 % svetovne rabe energije in povzroča 39 % emisij ogljikovega dioksida [5], zato ima tudi veliko odgovornost za zmanjšanje. Z vrnitvijo k pasivnim rešitvam, ki za delovanje stavb ne rabijo nič ali malo energije, ne bi zmanjšali le okoljskega onesnaževanja, temveč tudi stroške njihovega delovanja. Intenzivno naravno prezračevanje predstavlja le eno izmed takšnih rešitev, kjer se poraja vprašanje, ali lahko z njegovo pomočjo to dosežemo. Zavedamo se, da se podnebni pogoji lokacij razlikujejo in ena rešitev ne pomeni univerzalne rešitve.

Naravno prezračevanje in zrak kot pasivni medij predstavljata najcenejšo in okolju najprijaznejšo rešitev za hlajenje, saj za svoje delovanje ne potrebujejo nič ali relativno malo energije. Z razvojem tehnologije so se najprej razvili mehanski hladilni sistemi, ki so omogočali učinkovito hlajenje stavb. Vendar ima njihovo delovanje negativen vpliv na okolje. Hkrati se je vzporedno razvijala tudi informacijska tehnologija in z njo povezani kontrolni sistemi, ki omogočajo nadzor nad celotnim delovanjem stavbe in njihovimi elementi. Z implementacijo takšnih tehnologij v stavbe se je zmanjšal vpliv njihovega delovanja na okolje, kot tudi povečal vpliv na kakovost uporabnikovega življenja in sočasno zmanjšal vpliv na rabo energije za hlajenje. Z nadgradnjo oken z informacijskimi tehnologijami se je omogočilo nadzorovano delovanje odprtih pod točno predpisanimi pogoji. Zato so se predvsem v Evropi kljub vsem razpoložljivim mehanskim sistemom vrnili k prvotnim strategijam za hlajenje [6]. Naravnemu prezračevanju so se tako implementirale informacijske tehnologije, ki so izboljšale že tako energijsko učinkovit medij in ga dodatno nadgradile ter s tem izkoristile vse dane prednosti naravne rešitve.

Poleg uporabljenih tehnologij na energijsko učinkovitost naravnega prezračevanja in zagotavljanje ustreznih notranjih pogojev vplivajo tudi klimatske danosti lokacije in z njo pogojeni ustrezni pasivni ukrepi. Sacht in sodelavci [7] so v svoji analizi prišli do spoznanja, da velikost oken, smer pihanja vetra in število izmenjav zraka na uro v stavbi vplivajo na učinkovitost naravnega prezračevanja. Smer pihanja

vetra je tako najučinkovitejša v smeri med 0° in 45° pravokotno na stranice ovoja in najmanj, če je z njo vzporedna. Efektivnost naravnega prezračevanja je odvisna tudi od lokalnih klimatskih pogojev in urbane morfologije [8], kot tudi od meteoroloških pogojev in pojava ter intenzitete urbanega toplotnega otoka [9], [10]. Poleg predhodno naštetih pogojev si je Causone [11] zastavil tri ključna vprašanja. Prvo se je glasilo, ali so klimatski pogoji ustrezni za zagotavljanje naravnega prezračevanja, ne le zunanja temperatura in relativna vlažnost, ampak tudi onesnaženje zraka in nivo hrupa v okolici? Drugo vprašanje, ki se poraja, je, ali je objekt zasnovan tako, da je ustrezne geometrije in njegov stavbni ovoj omogoča ustrezno smer, hitrost in frekvenco vetra? In nenazadnje, ali lahko naravno prezračevanje omogoča prijetno notranje okolje z ustrezno notranjo temperaturo zraka, relativno vlažnostjo in ustreznim nivojem hrupa? Gratia in sodelavci [12] so pri analiziranju ozke poslovne stavbe prišli do zaključka, da je enostransko prezračevanje učinkovitejše pri zmanjševanju potrebe po hlajenju kot prečno prezračevanje. To velja tako za nočno kot dnevno prezračevanje. Znatna razlika je opazna predvsem pri prečnem prezračevanju, kjer je prezračevanje v nočnem času učinkovitejše kot v dnevnem. Ahmed in sodelavci [13] pa so prišli do nasprotnega zaključka. Namreč, enostransko prezračevanje ima najslabšo sposobnost zagotavljanja toplotnega udobja, medtem ko se je prečno prezračevanje izkazalo za boljši pristop v smislu zniževanja notranjih temperatur zraka v primerjavi z zunanjimi temperaturami zraka. Razlika med študijama, ki podajata različne zaključke, je v lastnostih analiziranega prostora. Gratia in sodelavci [12] so pri prečnem prezračevanju analizirali prostor z dvakratno tlorisno površino prostora kot pri enostranskem prezračevanju. Ahmed in sodelavci [13] pa so izbrali enak prostor za analizo enostranskega in prečnega prezračevanja. Zaključke Ahmeda in sodelavcev [13] potrjuje tudi študija, ki so jo izvedli Omrani in sodelavci [14]. Pri prečnem prezračevanju so bile notranje temperature zraka v območju toplotnega udobja več kot 70 % časa. Pri enostranskem prezračevanju pa le 1 % časa. Pri analizi Spentzoua in sodelavcev [15] je prečno prezračevanje prispevalo k znižanju temperature za $1,5^\circ\text{C}$ in 14-krat višjim stopnjam prezračevanja v primerjavi z enostranskim prezračevanjem v sredozemskem vročem podnebju. Skupna točka med študijami Ahmeda in sodelavcev [13], Omranija in sodelavcev [14] ter Spentzoua in sodelavcev [15] je v geometričnih lastnostih analiziranega prostora, kjer so za oba načina prezračevanja analizirali enak prostor, medtem ko so Gratia in sodelavci [12] analizirali različna prostora.

Onesnaževanje okolja je zaskrbljujoča tematika, ki vedno bolj potrebuje našo pozornost. Zaradi napredka tehnologije, ki omogoča izboljšanje delovanja pasivnih ukrepov v stavbah, se poraja vprašanje, ali lahko naravno prezračevanje pripomore k zmanjšanju rabe energije v sodobnih stavbah ob sočasnem zagotavljanju primerne udobja uporabnikov. Z raziskovalnim delom želimo ugotoviti, ali lahko naravno prezračevanje izkoristimo za učinkovito zmanjšanje rabe energije za hlajenje, kot tudi za zagotavljanje ustreznih notranjih pogojev. Pri tem želimo ugotoviti, na kakšen način, v katerem časovnem obdobju dneva, pri kakšni stopnji prezračevanja in velikosti efektivne odprtine je to moč doseči.

1.1 Cilji in hipoteze

Cilj raziskovalne naloge je ugotoviti, ali lahko z nadzorovanim naravnim prezračevanjem zmanjšamo potrebo po aktivnem hlajenju stavbe in na kakšen način to dosežemo. Analizirati želimo učinkovitost različnih načinov prezračevanja, stopnje izmenjav zraka na uro, čas prezračevanja in velikost efektivnih odprtin na zmanjšanje rabe energije za hlajenje. Ugotoviti želimo, katera kombinacija predhodno omenjenih parametrov je najučinkovitejša za zmanjšanje potrebe po aktivnem hlajenju in zagotavljanju ustreznih notranjih pogojev.

Osredotočili smo se na poslovne stavbe, v katerih je raba energije za potrebe hlajenja prostorov tipično višja kot pri stanovanjskih stavbah. Prav tako je delovanje intenzivnega naravnega prezračevanja zaradi specifične načina uporabe stavb lažje izvedljivo in ugodnejše v poslovnih kot v stanovanjskih objektih. Za analizo smo izbrali podnebje v Ljubljani.

V sklopu pregleda obstoječe literature in raziskav so bile postavljene naslednje hipoteze:

1. Prečno prezračevanje notranjega okolja stavb ima večji potencial za zmanjšanje potrebe po hlajenju kot enostransko prezračevanje.
2. Nočno prezračevanje notranjega okolja stavb ima večji potencial za zmanjšanje potrebe po hlajenju kot dnevno prezračevanje.

2 NARAVNO PREZRAČEVANJE

Naravno prezračevanje je pretok zraka skozi odprtine stavbe, ki ne potrebuje mehanskih sistemov za gibanje zraka, temveč v celoti sloni na pasivnih fizikalnih pojavih, kot so difuzija, tlak ali vzgon. Glavni cilj prezračevanja je doseči zadostno število izmenjav zraka na uro glede na prostornino prostora, kar zahteva specifične prostorske dimenzije in oblike, da se prepreči zadrževanje starega zraka in omogoča dovod svežega zraka. [16]

Naravno prezračevanje se skozi zgodovino ni uporabljalo zgolj za zagotavljanje svežega zraka, ampak tudi za pasivno hlajenje. Le-to se s pomočjo prezračevanja deli na t. i. prezračevanje za udobje (ang. *comfort ventilation*), ki zagotavlja toplotno udobje uporabnikov, in t. i. konvekcijsko hlajenje (ang. *convective cooling*), ki omogoča hlajenje prostora. To sta zelo različni tehniki prezračevanja, ki se medsebojno izključujeta. [17] Prezračevanje za udobje s hitrejšim gibanjem zraka daje uporabnikom občutek toplotnega udobja pri višji temperaturi zraka zaradi hitrejšega izhlapevanja znoja. Ker takšna metoda ne zmanjša temperature zraka v stavbi, je omejena z dosegljivimi in še vedno udobnimi hitrostmi zraka ter relativno vlažnostjo, ki vpliva na intenzivnost izhlapevanja znoja. Takšna metoda predstavlja najprimernejši bioklimatski ukrep za odvajanje toplote v vročih in vlažnih podnebjih, kjer je hlajenje in prezračevanje s pomočjo evaporacije nezaželeno. [18] V vročih in vlažnih podnebjih je dnevno nihanje temperatur manjše v primerjavi z vročim in s suhim podnebjem. Sicer so dnevne temperature nižje, vendar višja relativna vlažnost povzroča neudobje uporabnikom. Veter ima pomembno vlogo pri zagotavljanju udobja uporabnikov, saj s svojim delovanjem omogoča hitrejšo izhlapevanje znoja. Stavbe se gradijo z večjimi medsebojnimi razmaki, kar omogoča nemoteno gibanje vetra. Za višjo učinkovitost slednjega se načrtujejo velike odprtine za prečno prezračevanje stavbe. Strehe so običajno višje in z višjim naklonom, kar pripomore k hitrejšemu odvajanju deževne vode, hkrati pa višji prostori omogočajo stratifikacijo zraka. Nočne temperature niso veliko nižje od dnevnih temperatur zraka, zato ovoji z visoko maso niso zaželeni. Stavbni ovoj z majhno maso omogoča hiter toplotni odziv. Izrednega pomena je tudi oblika stavbe in vpliv emisivnosti ter absorptivnosti stavbnega ovoja. Zunanja vegetacija omogoča senčenje in znižanje površinskih temperatur. Prav tako se uporabljajo dolgi nadstreški, ki omogočajo, da so okna odprta tudi pri deževnem vremenu. Zaradi obilnih padavin se stavbe gradijo dvignjene od tal, s tem pa se ognejo talni vlagi in poplavam ter izboljšajo prezračevanje. [1], [17]

Za znižanje notranje temperature zraka s t. i. konvekcijskim hlajenjem (ang. »*convective cooling*«) mora biti zunanja temperatura zraka manjša od notranje. Večja kot je temperaturna razlika, učinkovitejše je hlajenje s konvekcijskim prenosom toplote. [18] V splošnem velja, da mora biti temperaturna razlika enaka ali večja od 4 °C, da z uporabo zunanjega zraka učinkovito odvajata toploto iz prostora [19]. Tak način hlajenja je primeren za vroče in suho podnebje, kjer je dnevno nihanje temperatur višje. Z uporabo masivnega stavbnega ovoja se akumulira čez dan pridobljena toplota, ki jo nato v nočnem času sprošča nazaj v prostor. Nočni hladni zrak se nato uporablja za hlajenje čez dan segretega prostora, pri čemer se omeji dnevno prezračevanje in zagotovi ustrezno senčenje ter s tem zmanjša solarne in ventilacijske toplotne dobitke [17]. Masivni stavbni ovoj v kombinaciji z nočnim prezračevanjem predstavlja najpreprostejši način konvekcijskega hlajenja [20]. Velikost oken, smer pihanja vetra in število izmenjav zraka na uro so parametri, ki vplivajo na učinkovitost naravnega prezračevanja [7]. Prav tako okolica in njena pokrajina vplivata na gibanje in zagotavljanje ustreznega števila izmenjav zraka [17], [20].

Za uspešno izkoriščanje naravnega prezračevanja in posledično zmanjšanja rabe energije za hlajenje je potrebna ustrezna zunanja temperatura zraka, ki mora biti manjša od notranje temperature hlajenega oz. prezračevanega prostora. Poleg ustrezne zunanje temperature ima tudi ustrezna zasnova stavbnega ovoja glavno vlogo pri zagotavljanju učinkovitega naravnega prezračevanja. Stavbni ovoj je ustrezen le, če

lahko s svojo masivnostjo akumulira toploto skozi dan in jo v nočnem času sprošča v prostor, čemur pravimo fazni zamik. Če je le-ta ustrezen (≈ 12 h), je možno z nočnim prezračevanjem ohladiti prostore za naslednji dan. Zato je intenzivno naravno prezračevanje najlažje izvedljivo v poslovnih objektih, v katerih v nočnem času uporabniki niso prisotni. V primeru stanovanjskih objektov bi tak način hlajenja lahko izkoristili v dnevnem času, ko so stanovalci v službah, šolah itd. Zato je uporaba intenzivnega naravnega prezračevanja lahko moteča v dnevnem času v poslovnih objektih in v nočnem času v stanovanjskih objektih, saj uporabnikom povzroča nelagodje zaradi intenzivnega premikanja zraka – t. i. prepiha. Pri implementaciji naravnega prezračevanja se srečamo z izzivi, ki jih prinese njegova uporaba. Zaradi načina delovanja, ki sloni na pasivnih fizikalnih pojavih, je nadzor nad ustreznim prezračevanjem zahtevnejši. Naravno prezračevane stavbe so bolj izpostavljene pregrevanju poleti in prepihu pozimi. Zato tudi takšne stavbe pozimi potrebujejo večjo količino energije za segrevanje dovedenega zraka. Pri stavbah z naravnim prezračevanjem nadzor nad vlažnostjo in filtriranjem zraka ni možen. Hkrati pa jih tudi težje umeščamo v hrupno okolje. [21]

Namen zagotavljanja naravnega prezračevanja je doseganje maksimalnega udobja uporabnika v zaprtih prostorih z maksimalnim izkoriščanjem v naravi prisotnih energijskih in snovnih virov [22]. Za učinkovito delovanje in maksimalno izkoriščenost danih prednosti naravnega prezračevanja je potrebno avtomatizirano upravljanje odpiranja in zapiranja odprtin. S tem zagotovimo doseganje ustreznega nivoja parametrov, kot so notranja temperatura, število izmenjav na uro in relativna vlažnost. Ker lahko s pomočjo naravnega prezračevanja hladimo prostor in hkrati zagotavljamo dovod ustrezne količine svežega zraka, je potrebno biti pri načrtovanju avtomatiziranega delovanja odprtin pozoren na potencialno prekomerno segrevanje prostora zaradi zagotavljanja ustreznega števila izmenjav zraka na uro. Zato se v primeru, da je hlajenje prostora primarna funkcija naravnega prezračevanja, uvede dodatno mehansko prezračevanje, izključno za potrebe zagotavljanja svežega zraka.

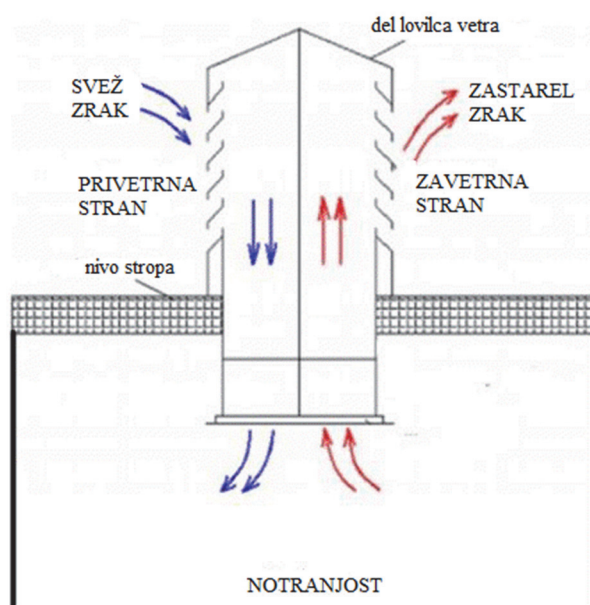
Pri naravnem prezračevanju v stavbah se predvsem poraja vprašanje udobja uporabnikov. Veter je sprejemljiv v vročih mesecih, saj je preprih dobrodošel. Slednji pripomore k boljšemu počutju uporabnikov, saj se ljudje s pomočjo vetra hladimo in lažje prenašamo vročino. Vendar lahko višja hitrost vetra povzroča nevšečnosti tako pri uporabniku zaradi občutka prepiha kot v poslovnih objektih zaradi razpihovanja dokumentov.

2.1 Zgodovina

Naravno prezračevanje se skozi zgodovino ni uporabljalo zgolj za zagotavljanje svežega zraka, temveč tudi za pasivno hlajenje. Slednje je veliko bolj odvisno od podnebja kot pasivno ogrevanje. Zato se strategije za pasivno hlajenje za vroče in suho podnebje razlikujejo od strategij za vroče in vlažno podnebje. [16] Različne vrste podnebja imajo različne klimatske pogoje, zato se potrebe uporabnikov o zagotavljanju ustreznega notranjega okolja razlikujejo. Skozi zgodovino so se stavbe razvijale in prilagajale glede na razmere v danem okolju. Tako je moč v različnih podnebjih opaziti razlike v arhitekturni zasnovi stavb. V vročih in suhih podnebnih pogojih najdemo stavbe z masivnimi stenami, ki omogočajo akumulacijo toplote in posledično ustrezni fazni zamik. Slednji omogoča sproščanje toplote v notranje okolje v ustreznem časovnem zamiku. S faznim zamikom zagotavljamo lažje ohlajanje prostora in prijetnejše notranje pogoje za uporabnika. V vročem in suhem podnebju je veliko solarnih dobitkov, zato se za osvetljevanje prostorov uporabljajo le majhne okenske odprtine. Z manjšo velikostjo oken preprečujemo tudi potencialno prekomerno segrevanje prostora. V vročih in vlažnih podnebnih pogojih pa se uporabljajo lahki stavbni ovoji, ki skupaj z neprestanim prezračevanjem zagotavljajo toplotno ugodje. [1], [17]

Konvekcijsko hlajenje s pomočjo prezračevanja je možno v vseh tipih podnebja pod pogojem, da je temperatura zunanjega zraka nižja od temperature notranjega zraka. Takšen način prezračevanja je v vročem in suhem podnebju ob hkratni uporabi termične mase možno uporabiti za zelo učinkovito hlajenje s pomočjo prezračevanja. V vročem in vlažnem podnebju pa se za namene hlajenja uporablja predvsem prezračevanje za udobje, ki skupaj z lahkim stavbnim ovojem zagotavlja toplotno udobje uporabnikov. Tako stavbni ovoj igra pomembno vlogo pri zagotavljanju učinkovitosti naravnega prezračevanja. [1]

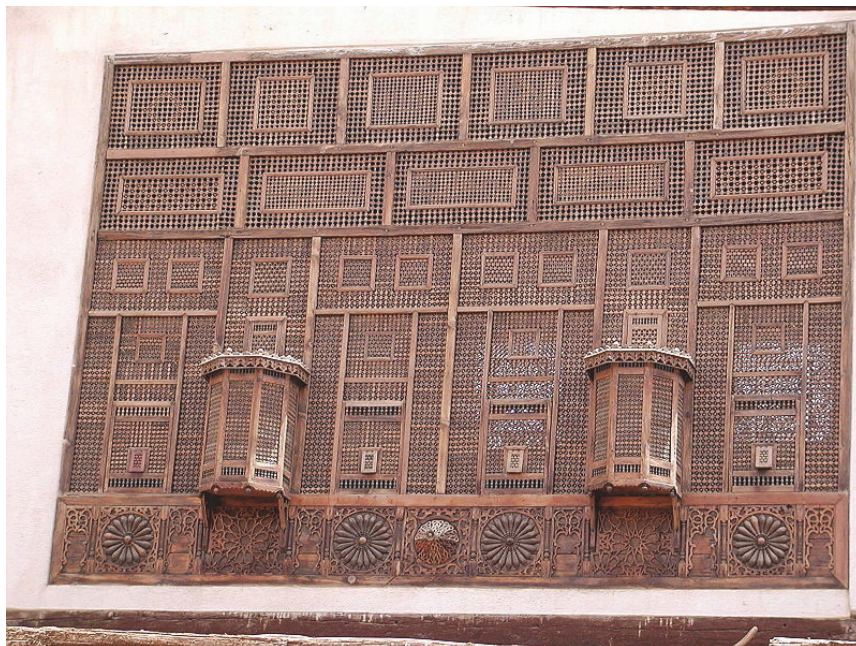
Eden izmed načinov, ki se uporablja za naravno prezračevanje in pasivno hlajenje v stavbah, je vetrni stolp. Uporablja se že 3000 let v vročih in suhih ter vročih in vlažnih podnebjih. Značilen je predvsem za arabsko in perzijsko arhitekturo. Drugače ga imenujemo tudi lovilec vetra in je naprava, ki usmerja hladnejši zrak iz višjih ravni nad stavbo, kjer so hitrosti vetra večje kot pri tleh in jih usmerjajo navzdol v bivalne prostore stavbe (Slika 1). Njegova sodobnejša različica se imenuje »hladilni stolp«, ki je kombinacija prezračevanja s pomočjo vetra in evaporacije. Na vrhu stolpa je hladilni element, ki dovodni zrak nadomesti s hladnim, gostim zrakom. [16], [23] Določeni vetrni stolpi imajo polkna za omejevanje nezaželenega prezračevanja. Drugi vetrni stolpi pa imajo porozne vrče vode, fontane ali kapljajočo vodo. Vetrne stolpe v kombinaciji z evaporacijo se uporablja v vročih in suhih podnebjih. [17]



Slika 1: Princip delovanja vetrnega stolpa [24].

Figure 1: Working principle of wind tower [24].

Vetrni lovilci, ki izvirajo iz Bližnjega vzhoda, so verjetno najbolj preučevana in posledično podedovana strategija naravnega prezračevanja, ki je bila uspešno integrirana tudi v sodobne stavbe [16]. Mashrabiya je druga oblika vetrnega lovilca, ki prihaja iz Bližnjega vzhoda (Slika 2). Je vrsta okna, zaprtega z izrezljanimi lesenimi zasloni, ki se nahaja v zgornjih nadstropjih stavbe, včasih je ojačan z vitražem. Leseni zasloni zavarujejo prostor pred sončnimi žarki, hkrati pa izrezljane luknje omogočajo pretok zraka. Tak tradicionalni element so uporabljali za lovljenje vetra in posledično pasivno hlajenje. Pred zaslone so nastavljali vrče in bazene vode, ki so še dodatno ohlajali prostor s pomočjo evaporacije. Ker se mashrabiya pojavlja predvsem na bližnjem vzhodu, je poleg zastiranja proti soncu zagotovila kulturno potrebo, ki je ženskam omogočala vpogled v zunanje aktivnosti. [17]



Slika 2: Mashrabiya [25].

Figure 2: Mashrabiya [25].

Hlajenje s pomočjo evaporacije se je uporabljalo tudi v obliki bazenov, ki so bili zgrajeni v sredini dvorišč ali atrijev (Slika 3). Dvorišče ali atrij je delovalo kot vmesnik za ustvarjanje mikroklima. Le-ta je posredoval med zunanjim podnebjem in zmernejšo notranjostjo. Deloval je kot izhodišče za prezračevanje s pomočjo vzgona, ki je omogočal večje globine stavbe, hkrati pa zagotavljal pretočno pot za prečno prezračevanje. Atrij deluje kot generator negativnega tlaka, ki ustvarja razliko v tlaku skozi prezračevani prostor. Tako je atrij lahko globok kot petkratna višina prostora in pri tem še vedno zagotavlja ustrezno prezračevanje ter zadostno količino dnevne svetlobe. [16] Zaradi prečnega prezračevanja, ki je potrebno za zagotavljanje uspešnega delovanja atrija z bazenom, je njihova uporaba omejena na vroča in suha podnebja. Dodatna prednost je tudi sposobnost atrijev, da sami sebi zagotavljajo senčenje. [17]



Slika 3: Dvorišče z bazenom – Alhambra, Španija [26].

Figure 3: Courtyard with pool – Alhambra, Spain [26].

V vročem in vlažnem podnebjju je poleg visokih temperatur težava tudi v visoki relativni vlažnosti zraka, kjer je vpliv nočnih radiacijskih izgub v nebo onemogočen zaradi visoke zračne vlažnosti, t. i. koprenaste oblačnosti. V takšnem podnebjju zaščita pred hladnim vremenom ni zaželena oz. potrebna, stene in strehe zagotavljajo le zaščito pred dežjem ter hkrati zasebnost uporabnikov. Oblika strehe in stavbnega ovoja tako igrata pomembno vlogo. Pravilno zasnovana oblika strehe zagotavlja dobro senčenje in čim manj stavbnega ovoja zagotavlja prost pretok zraka skozi stavbo. S tem se omogoči hitro izhlapevanje znoja in ustrezno toplotno udobje uporabnikov. Stene so lahko narejene iz tkanine, kamna ali rastlinskega materiala. [1], [16]

Tradicionalna japonska hiša (Slika 4) je primer stavbe, zasnovane za vroče in vlažno podnebje. Stavbni ovoj je grajen iz lesenih stebrov in nosilcev ter pregradnih sten, imenovanih *Shōji*, ki omogočajo maksimalni pretok zraka skozi stavbo. *Shōji* je sestavljen iz prosojnih listov na mrežastem okvirju, ki se umikajo v vročih poletnih mesecih za prost pretok zraka. [27]



Slika 4: Tradicionalna japonska hiša [28].

Figure 4: Tradicional Japanese house [28].

Predhodno opisani načini gradnje so le eni od načinov, ki so se skozi zgodovino uporabljali za pasivno hlajenje, bodisi za potrebe konvekcijskega hlajenja bodisi za hlajenje za zagotavljanje udobja.

2.2 Načini naravnega prezračevanja

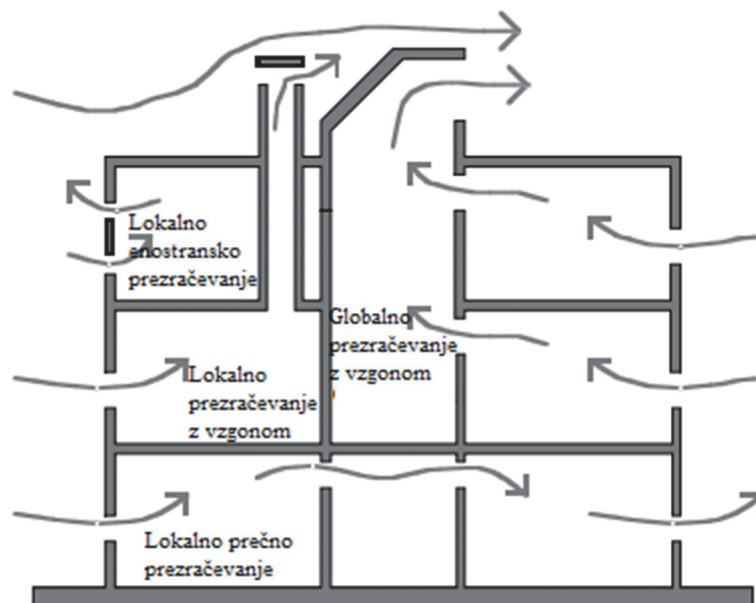
Naravno prezračevanje je prezračevanje, pri katerem se izkoriščajo naravne fizikalne lastnosti zraka brez uporabe mehanskih naprav. Je gibanje zraka, ki nastane zaradi tokov naravne konvekcije, razlike v temperaturi zraka ali razlike v zračnem tlaku. Zrak se giblje iz območja visokega zračnega tlaka na območje nizkega zračnega tlaka. Prezračevanje običajno poteka s pomočjo odprtih ali preko dovodnih prezračevalnih jaškov. [29] Poznamo dve glavni zunanji sili, ki omogočata naravno prezračevanje in temeljita na razliki v tlaku:

- veter (razlike v hidrostatičnem tlaku) in
- vzgonski učinek (razlike v tlaku zaradi gostote zraka) [21].

Osnovna funkcija naravnega prezračevanja je zagotavljanje kakovosti zraka v prostoru. Z dovajanjem svežega zraka omogočamo stalno obnavljanje zraka in/ali odstranjevanje onesnažil v prostoru. Zato so v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30] predpisane minimalne količine izmenjav zraka

na uro, ki zagotavljajo odvajanje onesnažil in ustrezno kakovost zraka. Poleg zagotavljanja svežega zraka se naravno prezračevanje uporablja kot pasivni hladilni sistem za ohlajanje prostorov.

Strategije hlajenja, ki temeljijo na naravnem prezračevanju, se po večini navezujejo na več medsebojno povezanih prostorov (Slika 5). Tako zrak prehaja iz prostora v prostor s povezovalnimi odprtinami. Ker je izmenjava zraka povezana z velikostjo odprtine, je zračni tok šibkejši pri majhnih in zaprtih prostorih. Za višjo učinkovitost prezračevanja zrak za kroženje potrebuje medsebojno povezanost prostorov. S hodniki lahko prostore medsebojno povezujemo ali pa preprečujemo gibanje zraka. Vendar povezanost prostorov ne nudi zasebnosti uporabnikov, kar je v sodobnem svetu nezaželeno. [21]



Slika 5: Lokalne in globalne strategije naravnega prezračevanja [6].

Figure 5: Local and global natural ventilation strategies [6].

2.2.1 Prezračevanje s pomočjo vetra

Naravno prezračevanje s pomočjo vetra je veliko močnejše v primerjavi z vzgonskim učinkom. Na privetrni strani zaradi vetra nastaja pozitivni tlak, na zavetrni strani pa negativni tlak (Slika 6). Razliko v tlakih med privetrno in zavetrno stranjo je možno izkoristiti za prečno prezračevanje. [1] Oblika stavbe in smer ter hitrost vetrov so ključnega pomena pri ustvarjanju tlakov, ki bodo zagotovili ustrezen pretok zraka skozi stavbo. Da bi bilo takšno prezračevanje učinkovito, mora biti negativni tlak zadostno velik, da je sposoben zajeti zrak znotraj celotne globine prezračevanega prostora. Zato imajo lahko prostori, ki se prezračujejo s pomočjo vetra, le določeno globino. Ta globina je določena s petkratno višino prezračevanega prostora. [21]

Tlak, ki ga povzroča veter, je proporcionalen kvadratu njegove hitrosti (1) [31]. Ta se z višino povečuje in je zaradi trenja manjša ob tleh. Tlaki so odvisni od hitrosti in smeri vetra glede na orientacijo in obliko stavbe. Zato se pritisk vetra skozi čas spreminja zaradi interakcije z elementi naravnega okolja, kot so drevesa, hribi in mestna struktura. To povzroča spremembo vzorca zračnih tokov in turbulenco. [32]

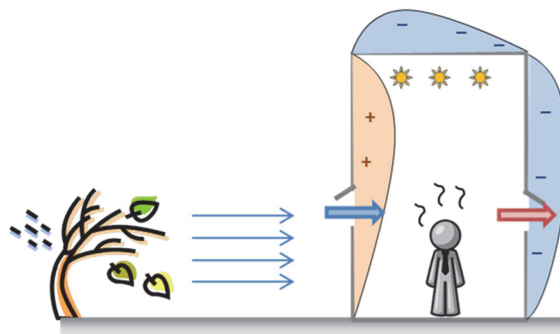
$$q = \frac{1}{2} \rho \times v^2 \quad (1)$$

Kjer je

q ... dinamičen pritisk [Pa]

ρ ... gostota zraka [kg/m^3]

v ... hitrost zraka [m/s]



Slika 6: Prezračevanje s pomočjo vetra [33].

Figure 6: Wind-driven ventilation [33].

Prezračevanje s pomočjo vetra se uporablja za dovajanje svežega zraka in v poletnem času za potrebe hlajenja. Količina pretoka zraka (2), ki ga povzroča veter, je [34]:

$$Q = K \times A \times V \quad (2)$$

Kjer je

Q ... pretok zraka [m^3/h]

K ... koeficient učinkovitosti [-]

A ... površina odprtine [m^2]

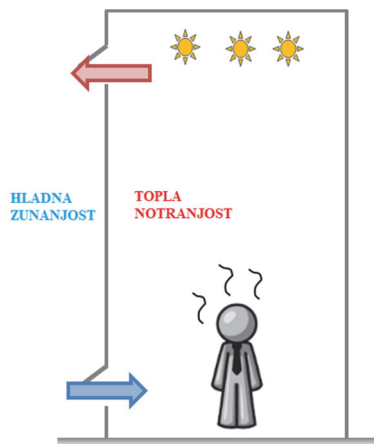
V ... hitrost vetra [m/h]

Koeficient učinkovitosti je odvisen od kota vetra glede na odprtino in velikosti vhodne ter izhodne odprtine. Koeficient se giblje med 0,4 za kot vetra 45° in 0,8 za kot vetra 90° . [34] Zato je najučinkovitejše prezračevanje z vetrom, ki je pravokoten na odprtino, in najmanj učinkovito, če je z njo vzporeden [7]. Veter ni nikoli enakomeren v svoji hitrosti ali smeri. Posledično se pritisk zraka konstantno spreminja in je število doseženih izmenjav zraka težko napovedati. [16] Nepredvidljivost obnašanja vetra predstavlja slabost uporabe takšnega načina prezračevanja, saj v primeru mirovanja zraka le-ta ne opravlja funkcije odvajanja toplote iz prostora. Preostale potencialne šibkosti, ki močno vplivajo na učinkovitost vetra kot medija za hlajenje, so okolica, oblika in orientacija odprtin ter stavbe. Če so ti dejavniki ustrezno zasnovani in hitrosti vetra zadostno visoke, je način prezračevanja z vetrom veliko učinkovitejši kot prezračevanje s pomočjo vzgona.

Prečno prezračevanje predstavlja primer naravnega prezračevanja s pomočjo vetra. O prečnem prezračevanju govorimo takrat, ko sta prezračevalni odprtini za dovod in odtok zraka nameščeni na nasprotnih straneh. Prostor mora biti zasnovan tako, da omogoča prost pretok zraka. Pri prostorih z večjo količino notranjih dobitkov mora biti njihova globina omejena na petkratno višino prostora, da se še zagotovi ustrezen pretok zraka. [16]

2.2.2 Prezračevanje s pomočjo vzgona

Vzgonski učinek znotraj stavbe nastopi zaradi razlike v gostoti zunanjega in notranjega zraka. To je lahko posledica temperaturne razlike ali relativne vlažnosti. Topel in vlažen zrak se dviga, pri tleh pa ga zamenja hladnejši in gostejši zrak (Slika 7).



Slika 7: Prezračevanje s pomočjo vzgona [33].

Figure 7: Buoyancy-driven ventilation [33].

Intenziteta vzgonskega učinka je proporcionalna višinski razliki med vstopno in izstopno odprtino ter temperaturno razliko med notranjim in zunanjim zrakom [1]. Za zagotavljanje večje učinkovitosti vzgonskega načina prezračevanja je potrebna čim večja odprtina in čim večja vertikalna razlika med odprtinama. Ker je pri prezračevanju s pomočjo vzgona potrebna temperaturna razlika med dvema vertikalnima odprtinama, je vzgonski učinek neučinkovit pri nizkih stavbah.

Razlika v tlaku med zunanostjo in notranostjo (3) je glavni dejavnik pretoka zraka, ki ga poganja vzgon [21].

$$\Delta p_{\text{dovod}} + \Delta p_{\text{odvod}} = \Delta p_s = (\rho_{\text{zunaj}} - \rho_{\text{notraj}}) \times g \times \Delta z \quad (3)$$

Kjer je

p ... tlak zraka [Pa]

ρ ... gostota zraka [kg/m^3]

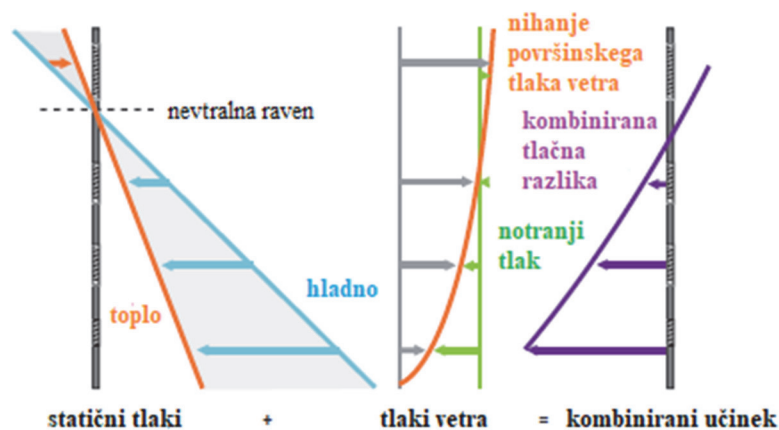
z ... višinska razlika med odprtinama [m]

Med dovodom in odvodom zraka se nahaja ravnina, kjer je hidrostaticni tlak zunaj in znotraj enak pri enaki višini. Takšna ravnina se imenuje nevtralna raven. Je pomemben dejavnik pri načrtovanju naravno prezračevanih stavb, saj določa višino, pri kateri je nivo tlaka nevtralen. Zrak vstopa pod nevtralno ravnino, kjer je zunanji tlak večji od notranjega. Zrak se nato segreje in gostota notranjega zraka se zmanjša, s tem pa je sprememba notranjega tlaka po višini stavbe manjša kot pri zunanjem tlaku. Zato je na vrhu stavbe notranji tlak večji kot zunanji in s tem omogoča odvod zraka iz stavbe. [16], [21]

Uporaba vzgonskega načina prezračevanja ima svoje prednosti in slabosti. Prednost vzgonskega efekta je, da za svoje delovanje ne potrebuje vetra. Pri ustrezno načrtovani uporabi vzgonskega učinka ima lahko le-ta izrazito pozitivne učinke na naravno prezračevanje in hlajenje s prezračevanjem. Ker prezračevanje ni odvisno od vetra, se lahko uporablja v mirnih, vročih poletnih dneh, ko je najbolj

potrebno, ter pri tem zagotavlja stabilen pretok zraka. Vzgonski način prezračevanja ima tudi svoje slabosti oz. pomanjkljivosti. Njegova magnituda je manjša v primerjavi s prezračevanjem z vetrom pri zelo vetrovnem dnevu. Takšen način prezračevanja ima nekaj načrtovalskih omejitev, kot sta višina in lokacija odprtin. S svojim dizajnom povzroča dodatne stroške. Vendar pri zagotavljanju boljšega prezračevanja prostorov nastopijo tudi slabosti, kot so oteženo odpiranje in zapiranje vrat, širjenje dima in smradu, večje konvekcijske toplotne izgube stavbe ter težje ogrevanje nižjih prostorov zaradi premikanja toplega zraka proti vrhu stavbe. [32]

Na sliki 8 so prikazani tlaki, odvisni od vetra in vzgona glede na odprtine. V praksi se stavbe gradijo glede na najslabše razmere poleti, v vročem in mirnem dnevu. Obstajajo primeri in pogoji, ko je izmenjava zraka manjša od načrtovane stopnje izmenjave zraka. Takšni scenariji so najpogostejši, ko odprtine ni mogoče zasnovati na optimalni višini in ustrezni strani stavbe, kjer je tok zraka nestabilen. Odprtine naj bodo zasnovane tako, da v vročih vetrovnih dneh najbolj izkoristijo veter, hkrati pa omejijo količino pretoka zraka v hladnih dneh, ko se potencial za preprih poveča. [21]



Slika 8: Tlak zaradi vetra in vzgona [21].

Figure 8: Pressure due to wind and buoyancy forces [21].

Enostransko prezračevanje je primer načina naravnega prezračevanja s pomočjo vetra in vzgona. Običajno služi posameznim prostorom in tako zagotavlja lokalno prezračevanje. Pretok zraka v tem primeru povzročajo učinki vzgona v prostoru, majhne razlike v tlaku vetra na stavbni ovoj in/ali turbulenca. Posledično so sile, ki omogočajo enostransko prezračevanje, običajno sorazmerno majhne in zelo spremenljive. V primerjavi s preostalimi načini naravnega prezračevanja, enostransko prezračevanje ponuja najmanj privlačno pasivno rešitev prezračevanja. Vendar je kljub temu to rešitev, ki jo je možno uporabiti lokalno na nivoju posameznega prostora. [6]

2.3 Toplotno udobje

Toplotno udobje je stanje uma, ki izraža zadovoljstvo s toplotnim okoljem. Je najpomembnejši aspekt udobja uporabnikov, ki ima direkten in velikokrat največji vpliv na rabo energije v stavbah. Toplotno udobje predstavlja izrazito subjektivno kategorijo in ga je zelo težko eksaktno kvantificirati. [1] Zaznava človeškega telesa je odvisna od toplotne bilance, slednja pa od človeških in okolijskih parametrov. [36] Človeški parametri, ki vplivajo na toplotno bilanco, so metabolizem, obleka uporabnika in njegove individualne značilnosti, kot so spol, antropometrija, kulturne razlike in zdravstveno stanje. Na toplotno

bilanco vplivajo tudi okolijski parametri, kot so temperatura zraka, srednja sevalna temperatura, hitrost zraka in absolutna vlažnost zraka. [37]

Hitrost premikanja zraka igra pomembno vlogo pri dojemanju toplotnega udobja uporabnika stavb. Vpliva na konvekcijsko izmenjavo toplote med uporabnikom in prostorom. Le-ta je najbolj zaželen v toplih in vročih pogojih, saj pretok zraka človeškemu telesu omogoča odvajanje znoja in s tem učinkovitejše ter hitrejšo izhlapevanje potu. S konvekcijskim tokom zraka lahko dodatno odvedemo toploto, ki nastane pri metabolnih procesih. Pri visokih temperaturah dosežemo boljše toplotno ugodje uporabnika, če višamo hitrost premikanja zraka. Višja kot je hitrost zraka, učinkovitejši je postopek. Vendar lahko previsoke hitrosti zraka vodijo do splošnega toplotnega neudobja in lokalnega toplotnega neudobja. Udobne hitrosti zraka znašajo po ASHRAE 0,25 m/s ali manj. [37], [38]

2.4 Zakonodaja

Zahteve za zagotavljanje svežega zraka v prostorih so zapisane v različnih pravilnikih in standardih, ki narekujejo ustrezne količine izmenjav zraka za posamezno namembnost prostora. Poleg zagotavljanja ustreznih količin zraka so predpisani tudi notranji pogoji, kot je notranja operativna temperatura, ki omogoča prijetno toplotno ugodje uporabnikom. Operativna temperatura je tako kot ustrezna količina zraka določena glede na namembnost prostora in pa glede na ogrevalno ali hladilno sezono. Operativna ali občutena temperatura predstavlja enotno temperaturo namišljenega zaprtega prostora, s katerim bi človeško telo izmenjalo enako količino senzibilne toplote s sevanjem in konvekcijo, kot jo v dejanskem prostoru (4). [18]

$$T_{op} = \frac{T_{mr} \times h_r + T_{db} \times h_c}{h_r + h_c} \quad (4)$$

Kjer je

T_{op} ... operativna temperatura [°C]

T_{mr} ... srednja sevalna temperatura [°C]

T_{db} ... temperatura suhega termometra [°C]

h_r ... koeficient sevalne toplotne prestopnosti [W/(m²K)]

h_c ... koeficient konvektivne toplotne prestopnosti [W/(m²K)]

V primeru, da je razlika med temperaturo suhega termometra T_{db} in srednjo sevalno temperaturo T_{mr} manjša od 4 °C in hitrost zraka v_{ar} manjša od 0,2 m/s, se operativna temperatura izračuna kot povprečje med temperaturo suhega termometra T_{db} in srednjo sevalno temperaturo T_{mr} (5). [18]

$$T_{op} = \frac{T_{mr} + T_{db}}{2} \quad (5)$$

Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30] v 3. členu narekuje izračun operativne temperature kot srednjo temperaturo med temperaturo zraka v prostoru in srednjo sevalno temperaturo (6).

$$\theta_0 = u\theta_1 + (1 - u)\theta_s \quad (6)$$

Kjer je

θ_0 ... operativna temperatura v izbrani lokaciji prostora [$^{\circ}\text{C}$]

θ_1 ... temperatura zraka v prostoru [$^{\circ}\text{C}$]

θ_s ... srednja sevalna temperatura obdajajočih površin glede na izbrano lokacijo v prostoru [$^{\circ}\text{C}$]

u ... vrednost, podana v preglednici 1 v odvisnosti od srednje hitrosti zraka v [m/s]:

Preglednica 1: Vrednost u v odvisnosti od srednje hitrosti zraka [30].

Table 1: U-value as a function of mean air velocity [30].

v [m/s]	do 0,2	od 0,2 do 0,6	od 0,6 do 1,0
u	0,5	0,6	0,7

Po 8. členu Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30] je treba v času prisotnosti ljudi v prostorih stavbe, ki so namenjeni za delo in bivanje ljudi, dosegati volumsko izmenjavo zraka (n) vsaj $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$. V času odsotnosti ljudi v prostorih stavbe je treba zagotoviti in vzdrževati izmenjavo zraka najmanj $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$. Najmanjši potrebni vtok zunanjega zraka je $15 \text{ m}^3/\text{h}$ na osebo v prostorih, kjer kajenje ni dovoljeno, brez upoštevanja drugih virov onesnaževanja notranjega zraka in pri učinkovitosti prezračevanja ena.

V preglednici 2 so predstavljene načrtovane hitrosti zraka pri določeni lokalni temperaturi zraka. Za različne namembnosti prostora so v preglednici 3 glede na Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30] določeni parametri načrtovanja, ki sovpadajo z dejavnostjo in njenimi uporabniki v dotičnem prostoru. V Pravilniku o zagotavljanju varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih [39] so podane zahteve, ki omogočajo oz. prepovedujejo naravno prezračevanje, če le-te niso izpolnjene. Naravno prezračevanje je mogoče ob ustreznem preseku odprtín, ki so določeni v prilogi 1 tega pravilnika. Odprtine morajo biti zadostno oddaljene od zunanjih virov onesnaževanja, saj mora biti doveden zrak čist in brez vonjav. V preglednici 3 so zapisane priporočene občutene oz. operativne temperature za poletje in zimo v pisarni za več ljudi, nikakor pa ne smejo presegati $+27^{\circ}\text{C}$.

Preglednica 2: Načrtovana hitrost zraka pri lokalni temperaturi zraka [30].

Table 2: Planned air velocity at local air temperature [30].

Lokalna temperatura zraka	Načrtovana hitrost zraka
$\theta_i = 20^{\circ}\text{C}$	$v \leq 0,18 \text{ m/s}$
$\theta_i = 22^{\circ}\text{C}$	$v \leq 0,22 \text{ m/s}$
$\theta_i = 24^{\circ}\text{C}$	$v \leq 0,26 \text{ m/s}$
$\theta_i = 26^{\circ}\text{C}$	$v \leq 0,30 \text{ m/s}$

Preglednica 3: Parametri načrtovanja [30].

Table 3: Design parameters [30].

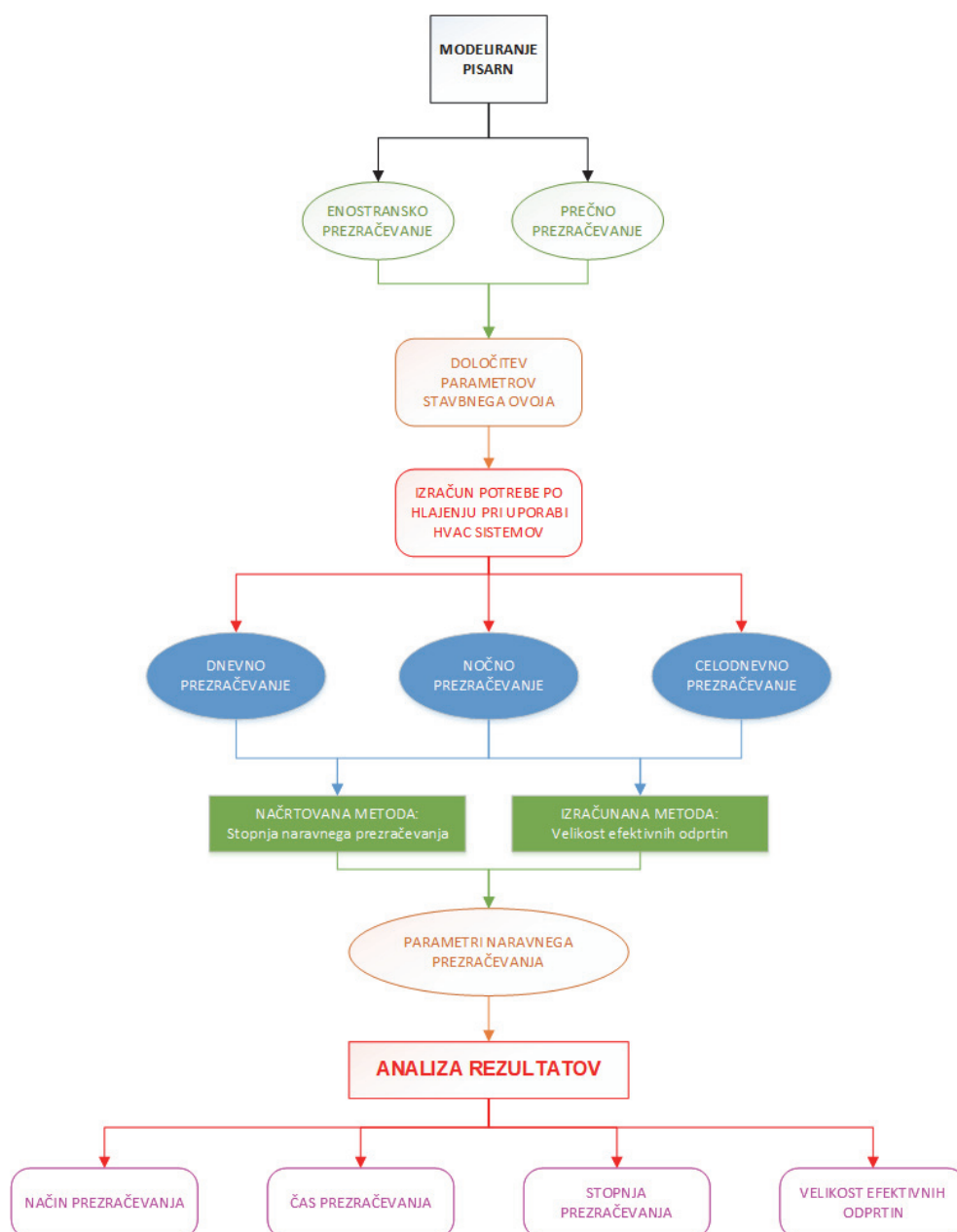
Namembnost stavbe/prostora	Aktivnost	Obremenjenost	Operativna temperatura		Največja srednja hitrost zraka		Količina zraka	Dodatek – kajenje dovoljeno
			Poletje [°C]	Zima [°C]	Poletje [m/s]	Zima [m/s]		
Pisarna za več ljudi	1,2	0,07	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	2,5	1,1

Standard Energijske lastnosti stavb – Prezračevanje stavb – 1. del SIST EN 16798-1:2019 [40] podaja vrednosti za ustrezne notranje pogoje za pisarno, primerno za več ljudi. Poleg ustrezne notranje temperature v času hlajenja in relativne vlažnosti podaja tudi notranje toplotne dobitke zaradi uporabnikov, luči, električnih naprav in urnike uporabe.

3 ORODJA IN METODE

Metodološka struktura poteka analiz je prikazana na sliki 9. V programskem orodju za energijsko modeliranje stavb Design Builder [41] smo oblikovali pisarni, ki se nahajata v središču poslovnega objekta in imata identične lastnosti stavbnega ovoja. Analizirali smo dva načina prezračevanja, in sicer enostransko ter prečno. Oblikovani pisarni se razlikujeta glede na način prezračevanja in tlorisno površino. Pisarna s prečnim prezračevanjem je dvakratne tlorisne površine pisarne z enostranskim prezračevanjem. Transparentni del stavbnega ovoja je pri prečnem prezračevanju sestavljen iz nasprotno ležečih odprtin, kjer je površina ene odprtine enaka površini odprtine pri enostranskem prezračevanju. Pri slednjem je za potrebe naravnega prezračevanja potrebna le ena odprtina. Modeliranima pisarnama smo dodali karakteristike stavbnega ovoja in odprtin, katerih karakteristične vrednosti smo povzeli iz veljavne Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije [42]. Izhodiščni primer, ki predstavlja referenčne vrednosti, je oskrbovan s sistemi za ogrevanje, prezračevanje in hlajenje (HVAC-sistemi) za zagotavljanje ustreznih pogojev. Določili smo tudi tri različne čase, kdaj je naravno prezračevanje omogočeno. Le-te smo razdelili na nočno, dnevno in celodnevno prezračevanje. Uporabili smo dve različni metodi pri analiziranju učinkovitosti naravnega prezračevanja, ki se delita na načrtovano in izračunano metodo. Pri načrtovani metodi smo spreminjali stopnjo naravnega prezračevanja, pri izračunani metodi pa velikosti učinkovitih odprtin.

Rezultate smo ločili glede na način, čas in stopnjo prezračevanja ter velikosti učinkovitih odprtin. Predstavili smo jih v obliki rabe energije za hlajenje (kWh/m^2), operativne temperature prostora ($^{\circ}\text{C}$), deleža ur toplotnega neudobja (%), števila ur, ko je dosežena določena operativna temperatura, in maksimalnih ter povprečnih doseženih stopenj prezračevanja (h^{-1}). Rezultati so izraženi za celotno analizirano obdobje (od 21. 6. do 21. 9.), ki ima skupno število ur 2232. Zanimalo nas je, kateri od vhodnih parametrov in katera kombinacija le-teh najbolj vpliva na zmanjšanje rabe energije za hlajenje in hkrati sočasno zagotavlja prijetno delovno okolje.



Slika 9: Metodološka struktura analiz.

Figure 9: Analysis methodology.

Za določanje učinkovitosti naravnega prezračevanja smo uporabili programsko orodje Design Builder [41]. Program deluje na osnovi programskega okolja EnergyPlus [43], ki se uporablja za simulacijo rabe energije v stavbah. Uporablja se za določanje rabe energije za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, razsvetljavo, rabo tople vode itd. Odločili smo se za uporabo dveh metod, in sicer načrtovano metodo (ang. *Scheduled*) in izračunano metodo (ang. *Calculated*). Pri načrtovani metodi so stopnje prezračevanja vnaprej določene z uporabo maksimalnih vrednosti izmenjav zraka na uro glede na urnik delovanja. Z uporabo take metode smo želeli ugotoviti, kako vnaprej določena stopnja prezračevanja vpliva na zmanjšanje rabe energije, neodvisno od velikosti odprtín in vpliva okolice na dejanske hitrosti in smeri vetra. Želeli smo tudi ugotoviti, kakšne povprečne in maksimalne vrednosti stopnje prezračevanja dosežemo pri posamezni vnaprej določeni stopnji prezračevanja. Pri izračunani metodi stopnje prezračevanja ni mogoče vnaprej določiti, saj se le-ta izračuna z upoštevanjem vetra, vzgonskega učinka, velikosti odprtín in njihovega delovanja, velikosti razpok itd. s souporabo omrežja EnergyPlus

Airflow Network. Ker velikost odprtih vpliva na stopnjo prezračevanja in posledično na zmanjšanje rabe energije, smo spreminjali velikost efektivnih površin. Spremljali smo, kakšne povprečne in maksimalne stopnje prezračevanja dosežemo pri posamezni efektivni odprtini in kolikšno je zmanjšanje rabe energije. Po zaključenima analizama, načrtovani in izračunani metodi, smo lahko primerjali, kateri načrtovani stopnji prezračevanja ustreza efektivna odprtina, pri kateri dosežemo enake povprečne stopnje prezračevanja in ustrezno zmanjšanje rabe energije. [43]

Pri izračunani metodi se prostorninski pretok zraka skozi vsako odprtino in razpoko v modelu izračuna na podlagi razlike v tlaku zaradi vetra in vzgonskega učinka (7) [44].

$$q = C \times (DP)^n \quad (7)$$

Kjer je

q ... prostorninski pretok zraka skozi odprtine [m^3/h]

DP ... razlika v tlaku [Pa]

n ... eksponent pretoka, ki se giblje med 0,5 pri popolnoma turbulentnem toku in 1,0 pri popolnoma laminarnem toku [-]

C ... koeficient pretoka, povezan z velikostjo odprtine/razpoke [-]

Veter, ki se giblje pravokotno na površino stavbe, ustvarja pozitivni pritisk na površino stavbnega ovoja. Pritisk na katero koli točko na površini stavbnega ovoja je v programskem orodju izračunan kot [44]:

$$P_W = 0,5 \times \rho \times C_p \times v_z^2 \quad (8)$$

Kjer je

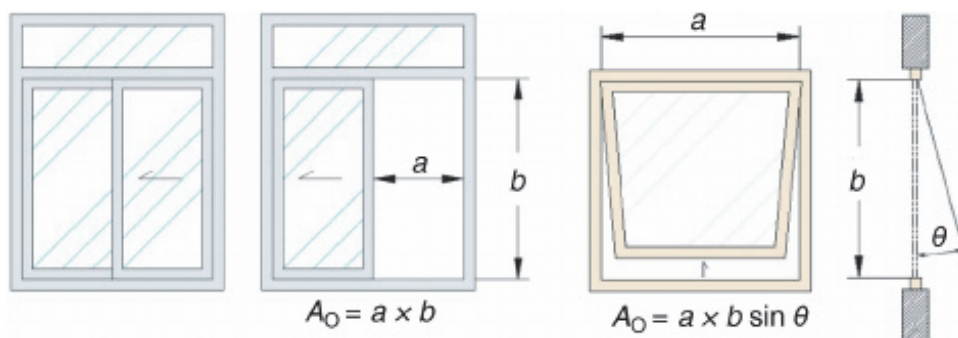
P_W ... površinski tlak [Pa]

ρ ... gostota zraka [kg/m^3]

C_p ... koeficient tlaka vetra [-]

v_z ... srednja hitrost vetra na višini z [m/s]

S spreminjanjem stopnje prezračevanja in velikosti efektivne odprtine smo želeli ugotoviti, ali učinkovitost prezračevanja drastično narašča z višanjem teh dveh spremenljivk. Efektivna odprtina (A_o) predstavlja površino, skozi katero je omogočen pretok zraka. Izračun velikosti efektivne odprtine je prikazan na sliki 10 in se razlikuje glede na način odpiranja odprtine.



Slika 10: Izračun efektivnih odprtin [45].

Figure 10: Effective opening area calculation [45].

Velikosti efektivnih odprtin se razlikujejo glede na enostransko in prečno prezračevanje. Posamezne analizirane efektivne odprtine in pripadajoče površine so predstavljene v preglednici 4.

Preglednica 4: Efektivne odprtine in pripadajoče površine za enostransko in prečno prezračevanje.

Table 4: Effective openings and its areas for one-sided and cross ventilation.

Efektivna odprtina [%]	Efektivna površina [m ²]	
	Enostransko prezračevanje	Prečno prezračevanje
5	0,3	0,6
10	0,6	1,2
20	1,2	2,4
25	1,5	3
30	1,8	3,6
40	2,4	4,8
50	3	6
60	3,6	7,2
70	4,2	8,4
75	4,5	9
80	4,8	9,6
90	5,4	10,8
100	6	12

Pri obeh metodah smo analizirali enostransko in prečno prezračevanje. Poleg dveh različnih načinov prezračevanja smo analizirali tudi različna časovna obdobja, v katerih je naravno prezračevanje omogočeno ob izpolnjenih pogojih. Čas prezračevanja smo tako ločili na dnevno (od 7. do 18. ure), nočno (od 18. do 7. ure) in celodnevno prezračevanje.

3.1 Podnebne značilnosti lokacije

Naravno prezračevanje ima različen vpliv na zmanjšanje rabe energije za hlajenje glede na različne podnebne lastnosti. Klimatski pogoji lokacij se med seboj razlikujejo, zato ena rešitev učinkovitega naravnega prezračevanja še ne pomeni univerzalne rešitve. V naši nalogi smo se osredotočili na Ljubljano, ki leži v Ljubljanski kotlini in je glavno mesto Slovenije. Glede na Köppnovo podnebno klasifikacijo se nahaja v zmerno toplo vlažnem podnebju s toplim poletjem (Cfb), za katerega so značilna topla poletja in zmerne mrzle zime.

V preglednici 5 so prikazane povprečne dnevne temperature za obdobje med leti 2010 in 2019 [45]. V zadnjih 10 letih je povprečna dnevna temperatura 12 °C. Zaradi višjih povprečnih dnevnih temperatur se je za analizirano obdobje privzelo obdobje med poletnim solsticijem in enakonočjem. V analiziranem

obdobju od 21. 6. do 21. 9. se povprečne dnevne temperature gibljejo med 16,7 °C in 22,7 °C. Najvišje povprečne dnevne temperature so v enakem časovnem obdobju med 22,2 °C in 28,7 °C. Najvišji povprečni dnevni temperaturi v juliju in avgustu presegata mejne vrednosti, podane v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30]. Slednji narekuje, da naj notranja operativna temperatura v sezoni hlajenja ne presega 27 °C. Standard SIST EN 16798-1:2019 [40] pa narekuje, da naj operativna temperatura v času hlajenja ne presega 26 °C.

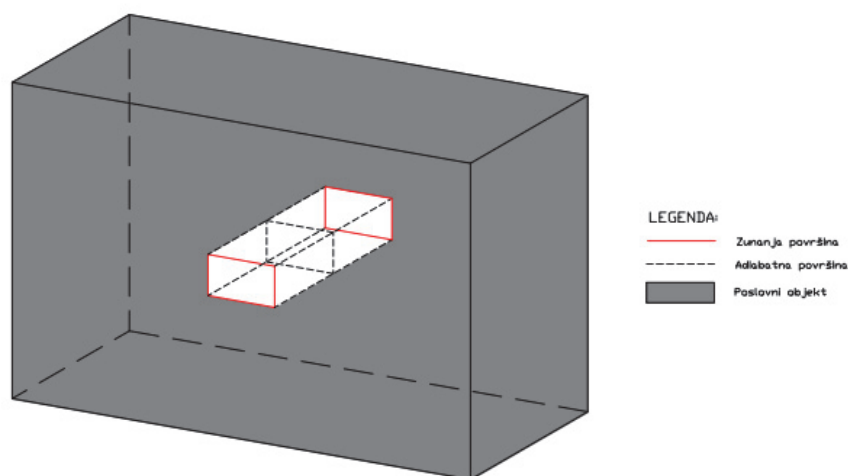
Preglednica 5: Podatki o temperaturi v Ljubljani za obdobje med leti 2010 in 2019 [45].

Table 5: Temperature data in the city of Ljubljana for the period between 2010 and 2019 [45].

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
Povprečna dnevna temperatura [°C]	1,5	2,5	7,6	12,5	15,9	20,8	22,7	22,0	16,7	11,8	7,4	2,0	12,0
Najvišja povprečna dnevna temperatura [°C]	4,5	6,2	12,7	18,1	21,5	26,6	28,7	28,4	22,2	16,6	10,4	5,1	16,7
Najnižja povprečna dnevna temperatura [°C]	-1,2	-0,7	2,8	7,2	10,7	15,1	16,9	16,3	12,4	8,1	5,0	-0,6	7,7

3.2 Parametri in karakteristike pisarn

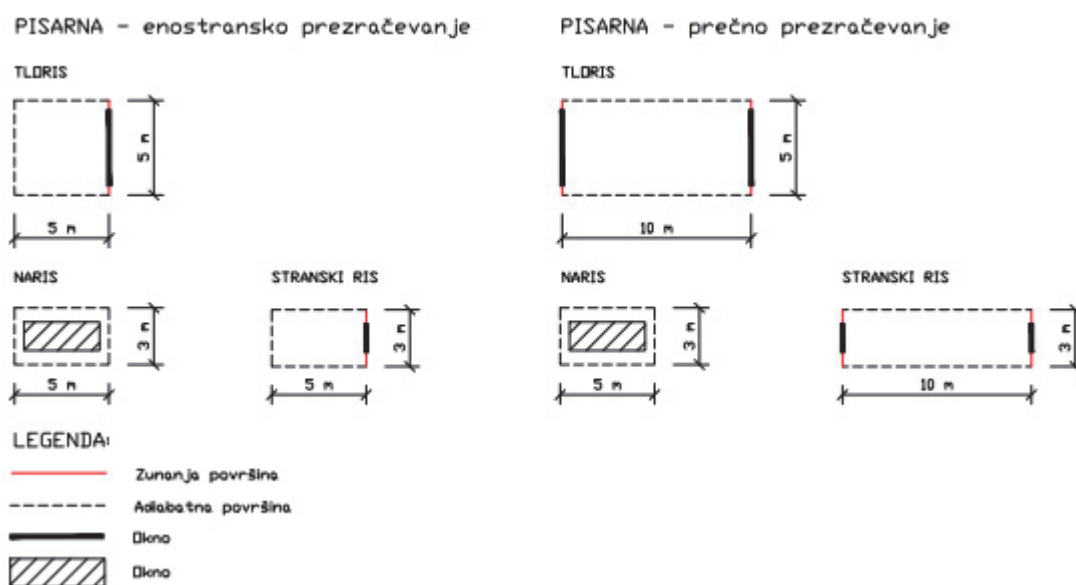
Pri določanju parametrov za zasnovo pisarn smo se za določitev lastnosti stavbnega ovoja odločili glede na minimalne kriterije trenutnih zakonskih zahtev in standardov. Za analizo vpliva naravnega prezračevanja na zmanjšanje rabe energije za hlajenje in toplotnega udobja smo zasnovali dve pisarni. Nahajata se v središču poslovnega objekta (Slika 11).



Slika 11: Lokacija pisarn v središču objekta.

Figure 11: Location of offices at the center of the building.

Modelirani sta bili dve pisarni, ena za enostransko in druga za prečno prezračevanje (Slika 12). V primeru enostranskega prezračevanja se je uporabila pisarna z eno zunanjo steno in petimi notranjimi ploskvami z adiabatnimi pogoji ter tlorisno površino 25 m^2 . V primeru prečnega prezračevanja se je uporabila pisarna z dvojno tlorisno površino pisarne z enostranskim prezračevanjem (50 m^2), ki pa ima dve zunanji steni in štiri notranje ploskve z adiabatnimi pogoji. Velikosti odprtín pri obeh pisarnah so določene glede na tlorisno površino pisarne, ki znašajo 24 % njene neto tlorisne površine. S tem zadostimo pogoju po Pravilniku o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih [39], in sicer da je za zadostno osvetljevanje prostora potrebnega vsaj $1/8$ talne površine prostora, da je pri globini prostora nad 4 m prozorna površina okna najmanj $1,5 \text{ m}^2$, in da višina in širina okna znašata najmanj 1 m. Pri tem parapet ne sme biti višji od 1,5 m. V primeru pisarne za enostransko prezračevanje je velikost odprtine 6 m^2 , v primeru pisarne za prečno prezračevanje pa sta odprtini v velikosti po 6 m^2 in skupno 12 m^2 . Pisarni med seboj nista direktno primerljivi, saj se razlikujeta v tlorisni površini, številu zunanjih ploskev in številu adiabatnih površin. Površine njunih odprtín za naravno prezračevanje so v enakem razmerju proti njuni tlorisni površini.

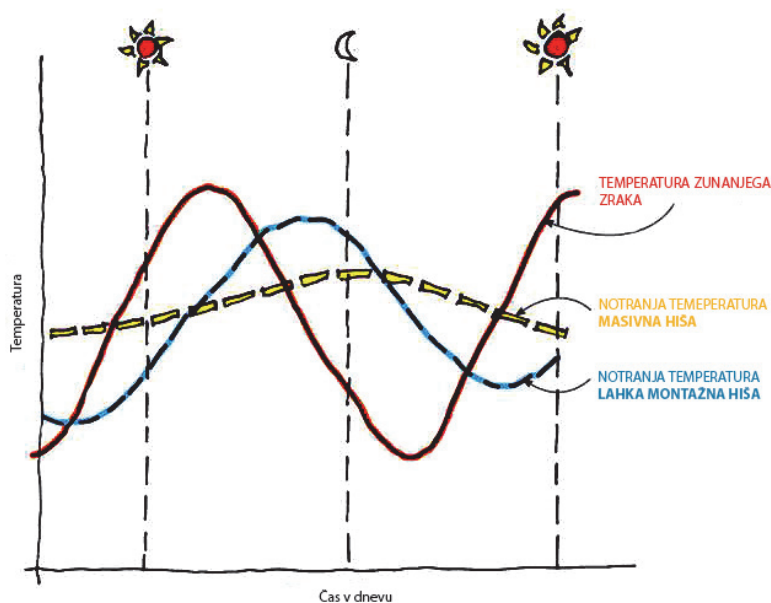


Slika 12: Dimenzije modeliranih pisarn.

Figure 12: Dimensions of modeled offices.

3.2.1 Lastnosti stavbnega ovoja

Pri uporabi naravnega prezračevanja je poleg ustrezne zunanje temperature pomembna tudi sestava stavbnega ovoja in njegove lastnosti za učinkovito zmanjšanje rabe energije za hlajenje. Pri zasnovi stavbnega ovoja smo se orientirali na Tehnično smernico TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije [42], ki predpisuje maksimalne vrednosti toplotne prehodnosti za različne elemente stavbnega ovoja. Poleg ustreznih vrednosti toplotne prehodnosti smo morali tudi implicirati dele stavbnega ovoja, ki so sposobni akumulirati toploto in s tem omogočati ustrezni fazni zamik. Vpliv masivnosti stavbnega ovoja na potek notranje temperature je prikazan na sliki 13, na kateri lahko vidimo, da z akumuliranjem toplote zmanjšamo nihanje notranjih temperatur in omogočimo fazni zamik sproščanja akumulirane toplote iz stavbnega ovoja nazaj v prostor.



Slika 13: Potek notranje temperature pri masivnem stavbnem ovoju [47].

Figure 13: Internal temperature in a massive building envelope [47].

Za izračun vrednosti toplotne prehodnosti smo uporabili programsko orodje Design Builder [41]. Vsi elementi stavbnega ovoja in njihove lastnosti so povzeti iz knjižnice programa Design Builder. Ker se načrtovani pisarni nahajata v središču poslovnega objekta, je njun model sestavljen iz zunanjih sten, notranjih sten in medetažnih konstrukcij. Na zunanjih površinah se nahajajo odprtine, katerih lastnosti so bile izbrane glede na podane toplotne prehodnosti v tehnični smernici TSG-1-004:2010 [42]. Maksimalne predpisane vrednosti toplotne prehodnosti za posamezne gradbene elemente, ki so uporabljeni v analizi, so predstavljeni v preglednici 6.

Preglednica 6: Maksimalne vrednosti toplotne prehodnosti za posamezne gradbene elemente [42].

Table 6: Maximum values of thermal conductivity for individual building elements [42].

Gradbeni elementi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore	$U_{\max}$ [W/(m ² K)]
Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	0,28
Notranje stene in medetažne konstrukcije med ogrevanimi prostori različnih enot, uporabnikov ali lastnikov v nastanovanjskih stavbah	0,90
Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz lesa ali umetnih mas	1,30

Zunanja stena

Sestava zunanje stene je predstavljena v preglednici 7. Skupna debelina zunanje stene je 36 cm in njena toplotna prehodnost znaša 0,25 W/m²K.

Preglednica 7: Elementi, ki sestavljajo zunanjo steno in njihove lastnosti.

Table 7: Elements of outer wall and their properties.

	Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]	Toplotna kapaciteta na enoto mase c [J/kgK]
ZUNAJ			
Omet	0,5	0,72	840
Betonska stena	20,3	2,3	837,36
Kamena volna	14	0,038	840
Mavčna plošča	1,2	0,25	896
NOTRI			

Notranja stena

Sestava notranje stene je predstavljena v preglednici 8. Skupna debelina notranje stene je 24,7 cm in njena toplotna prehodnost znaša 0,33 W/m²K.

Preglednica 8: Elementi, ki sestavljajo notranjo steno in njihove lastnosti.

Table 8: Elements of interior wall and their properties.

	Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]	Toplotna kapaciteta na enoto mase c [J/kgK]
Betonska stena	15,2	2,27	837,36
Kamena volna	7,5	0,038	840
Mavčna plošča	2	0,25	896

Medetažna konstrukcija

Sestava medetažne konstrukcije je predstavljena v preglednici 9. Skupna debelina medetažne konstrukcije je 25,7 cm in njena toplotna prehodnost znaša 0,74 W/m²K.

Preglednica 9: Elementi, ki sestavljajo medetažno konstrukcijo in njihove lastnosti.

Table 9: Elements of intermediate floor and their properties.

	Debelina d [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]	Toplotna kapaciteta na enoto mase c [J/kgK]
SPODAJ			
Omet	0,5	0,72	840
Betonska plošča	15,2	2,27	837,36
Kamena volna	4	0,038	840
Cementni estrih	5	1,4	650
Keramične ploščice	1	0,8	850
ZGORAJ			

Okno

Izbrano okno je bilo sestavljeno in analizirano v programskem orodju Window 7.6 [48]. Sestavljeno je iz troslojne zasteklitve in lesenega okvirja [49] (Preglednica 10). Toplotna prehodnost okna (U_w) znaša 0,81 W/m²K, faktor prepustnosti sončnega sevanja $g = 39,8 \%$ in stopnja prepustnosti svetlobe $LT = 50,8 \%$. S sončno zaščitno zasteklitvijo, ki jo dosežemo z nižjim faktorjem prepustnosti sončnega sevanja – g , smo želeli doseči čim večjo prepustnost vidnega dela sončnega sevanja ob čim manjši

prepustnosti infrardečega spektra. Za izračun toplotne prehodnosti okna je bila uporabljena dimenzija okna 4 m x 1,5 m s širino okvirja 5,7 cm.

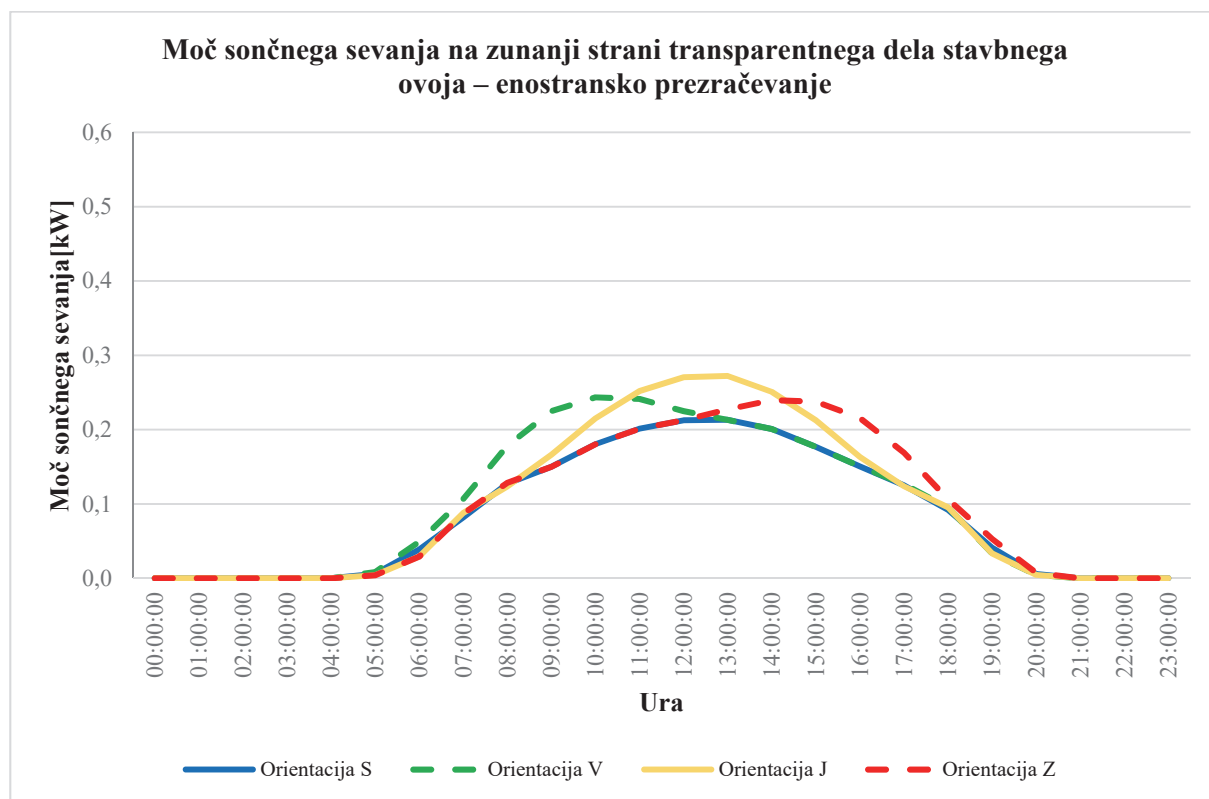
Preglednica 10: Toplotne prehodnosti elementov okna.

Table 10: Thermal conductivity of window elements.

Toplotna prehodnost zasteklitve – U_g	0,75 W/m ² K
Toplotna prehodnost okvirja – U_f	0,97 W/m ² K
Toplotna prehodnost okna – U_w	0,81 W/m ² K

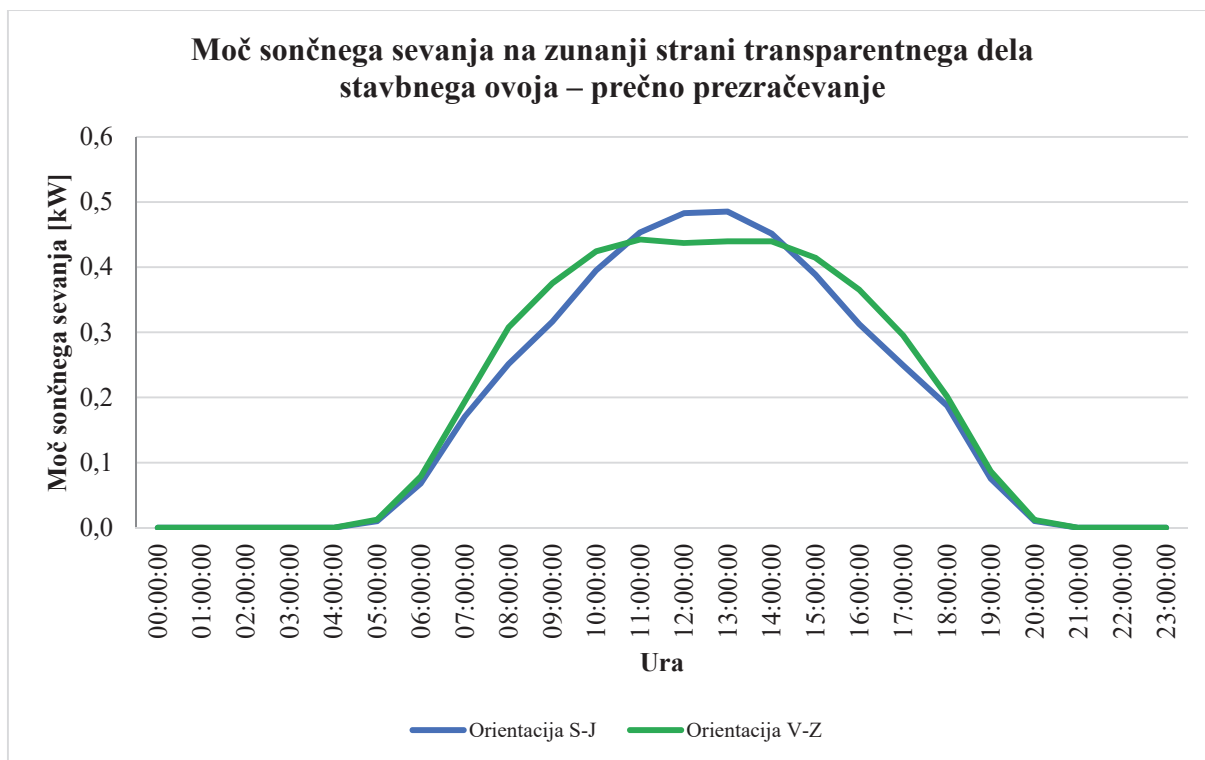
3.2.2 Moč sončnega sevanja in senčenje

Moč vpadnega sončnega sevanja na transparentne dele stavbnega ovoja je predstavljena na grafikonih 1 in 2. Moč sončnega sevanja je za prečno prezračevanje predstavljena kot kumulativna vrednost obeh različno orientiranih delov transparentnega stavbnega ovoja. Orientacija S–J prečnega prezračevanja skozi dan prejme več sončnega sevanja kot orientacija V–Z. Pri enostranskem prezračevanju največ sončnega sevanja prejme orientacija J in najmanj orientacija S. Za zagotavljanje prijetnejšega notranjega okolja in zmanjšanje potrebe po hlajenju je omogočeno senčenje. Za potrebe izračuna smo v programu Design Builder izbrali zunanje žaluzije, ki bi v realnosti onemogočale prost pretok zraka. Vendar lahko enako senčenje dosežemo s pomočjo drugačnih senčil, kot so, recimo, premični nadstreški ali od stavbe odmaknjena senčila. Senčenje je tako za potrebe izračuna omogočeno z zunanjimi senčili – žaluzijami, ki se aktivirajo ob prejemanju sončnega sevanja 130 W/m². Njihovo delovanje je omogočeno skozi celo leto ob izpolnjevanju navedenega pogoja. Senčila so aktivirana tako pri mehanskem hlajenju kot pri hlajenju z naravnim prezračevanjem.



Grafikon 1: Moč sončnega sevanja na zunanji strani transparentnega dela stavbnega ovoja – enostransko prezračevanje.

Graph 1: The power of solar radiation on the transparent part of the building envelope – single-sided ventilation.



Grafikon 2: Moč sončnega sevanja na zunanji strani transparentnega dela stavbnega ovoja – prečno prezračevanje.

Graph 2: The power of solar radiation on the transparent part of the building envelope – cross ventilation.

3.2.3 Urniki, toplotni dobitki in notranji pogoji

Za standardne vrednosti, kot so nivo zasedenosti, število uporabnikov, urniki delovanja, notranji pogoji in ostale lastnosti, ki zagotavljajo ustrezno delovno mesto, smo povzeli iz veljavne zakonodaje in naslednjih standardov: Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije [42], Energijske lastnosti stavb – Prezračevanje stavb – 1. del SIST EN 16798-1:2019 [40] in Ergonomija toplotnega okolja – Ugotavljanje presnovne toplote (ISO 8996:2004) [50]. Uporabljene vrednosti so predstavljene v preglednici 11.

Preglednica 11: Uporabljene vrednosti v programu Design Builder.**Table 11: Values used in Design Builder.**

Energijske lastnosti stavb – Prezračevanje stavb – 1. del SIST EN 16798-1:2019	
Urnik zasedenosti	7.00–18.00 (ponedeljek–petek)
Temperatura	20 °C–26 °C (16 °C–32 °C)
Relativna vlažnost	25 %–60 %
Osvetljenost	500 lx
Površina na uporabnika	17 m ² /osebo
Gostota moči – uporabniki	7 W/m ²
Gostota moči – oprema	12 W/m ²
Vrednosti za oblačila – pozimi	1,0 clo
Vrednosti za oblačila – poleti	0,5 clo
Minimalni sveži zrak	14 l/(s na osebo)
Mehansko prezračevanje – cona	1,4 l/(sm ²)
Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije	
Gostota moči – luči	11 W/m ²
Število izmenjav zraka pri tlačni razliki 50 Pa	1,5 h ⁻¹
Ergonomija toplotnega okolja – Ugotavljanje presnovne toplote (ISO 8996:2004)	
Stopnja metabolizma	70 W/osebo
Faktor metabolizma	0,93 (moški = 1,0; ženske = 0,85)
Število uporabnikov	2
Maksimalna dovoljena temperatura zunanjega zraka za naravno prezračevanje	26 °C
Minimalna temperaturna razlika med zunanjim in notranjim zrakom za naravno prezračevanje	2 °C

Urnike uporabnikov, opreme in luči smo povzeli iz standarda Energijske lastnosti stavb – Prezračevanje stavb – 1. del SIST EN 16798-1:2019 [40] (Preglednica 12).

Preglednica 12: Urniki uporabnikov, opreme in razsvetljave [40].**Table 12: User, equipment and lighting schedules [40].**

Ura	Uporabniki	Oprema	Razsvetljava
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0,2	0,2	0,2
9	0,6	0,6	0,6
10	0,6	0,6	0,6
11	0,7	0,7	0,7
12	0,7	0,7	0,7
13	0,4	0,4	0,4
14	0,6	0,6	0,6
15	0,7	0,7	0,7
16	0,7	0,7	0,7
17	0,6	0,6	0,6
18	0,2	0,2	0,2
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0

4 REZULTATI

V tem poglavju so prikazani rezultati izračunov za različne načine naravnega prezračevanja. V prvem delu so prikazani rezultati za t. i. načrtovano metodo (ang. *Scheduled*), kjer so stopnje prezračevanja vnaprej določene z uporabo maksimalnih vrednosti izmenjav zraka na uro glede na urnik delovanja. V drugem delu so prikazani rezultati za izračunano metodo (ang. *Calculated*), kjer se stopnje prezračevanja izračunajo z upoštevanjem vetra, vzgonskega učinka, velikosti odprtih in njihovega delovanja, velikosti razpok itd. s souporabo omrežja EnergyPlus Airflow Network. [43]

Rezultati so prikazani glede na določene stopnje prezračevanja in efektivne odprtine, in sicer v obliki zmanjšanja rabe energije za hlajenje, dosežene operativne temperature, časovne distribucije dosežene notranje operativne temperature, toplotnega neudobja, maksimalne dosežene stopnje prezračevanja in povprečne stopnje prezračevanja. Zmanjšanje rabe energije prikazuje, za koliko se zmanjša raba energije za hlajenje v primeru uporabe naravnega prezračevanja glede na rabo energije za hlajenje v primeru mehanskega hlajenja. Če je zmanjšanje rabe energije 100 %, potem potrebe po mehanskem hlajenju ni. Operativna temperatura je izražena v povprečni vrednosti za analizirano obdobje od 21. 6. do 21. 9. Časovna distribucija dosežene notranje operativne temperature je izražena v številu ur, ko je dosežena določena operativna temperatura v odvisnosti od načina prezračevanja, orientacije odprtih in stopnje prezračevanja oz. velikosti efektivnih odprtih. Toplotno neudobje je izraženo v deležu ur, ko notranja operativna temperatura naraste oz. pade pod sprejemljivo mejo (20 °C–26 °C [40]). Povprečne in maksimalne stopnje prezračevanja, ki so dosežene glede na vnaprej načrtovano stopnjo prezračevanja ali efektivno odprtino, so izražene za obdobje delovanja naravnega prezračevanja, bodisi v nočnem, dnevnem ali celodnevem obdobju.

4.1 Naravno prezračevanje – načrtovana metoda

V prvem delu analize smo preučevali vpliv hlajenja s prezračevanjem ob uporabi načrtovane metode. Spremenljivka, ki je bila analizirana, je stopnja naravnega prezračevanja. Poleg stopnje naravnega prezračevanja se je spreminjal tudi način in čas prezračevanja. Stopnje prezračevanja so vnaprej določene z uporabo maksimalnih vrednosti izmenjav zraka na uro glede na urnik delovanja. S spreminjanjem stopenj prezračevanja smo opazovali vpliv le-te na zmanjšanje rabe energije za hlajenje in notranje temperature pogoje.

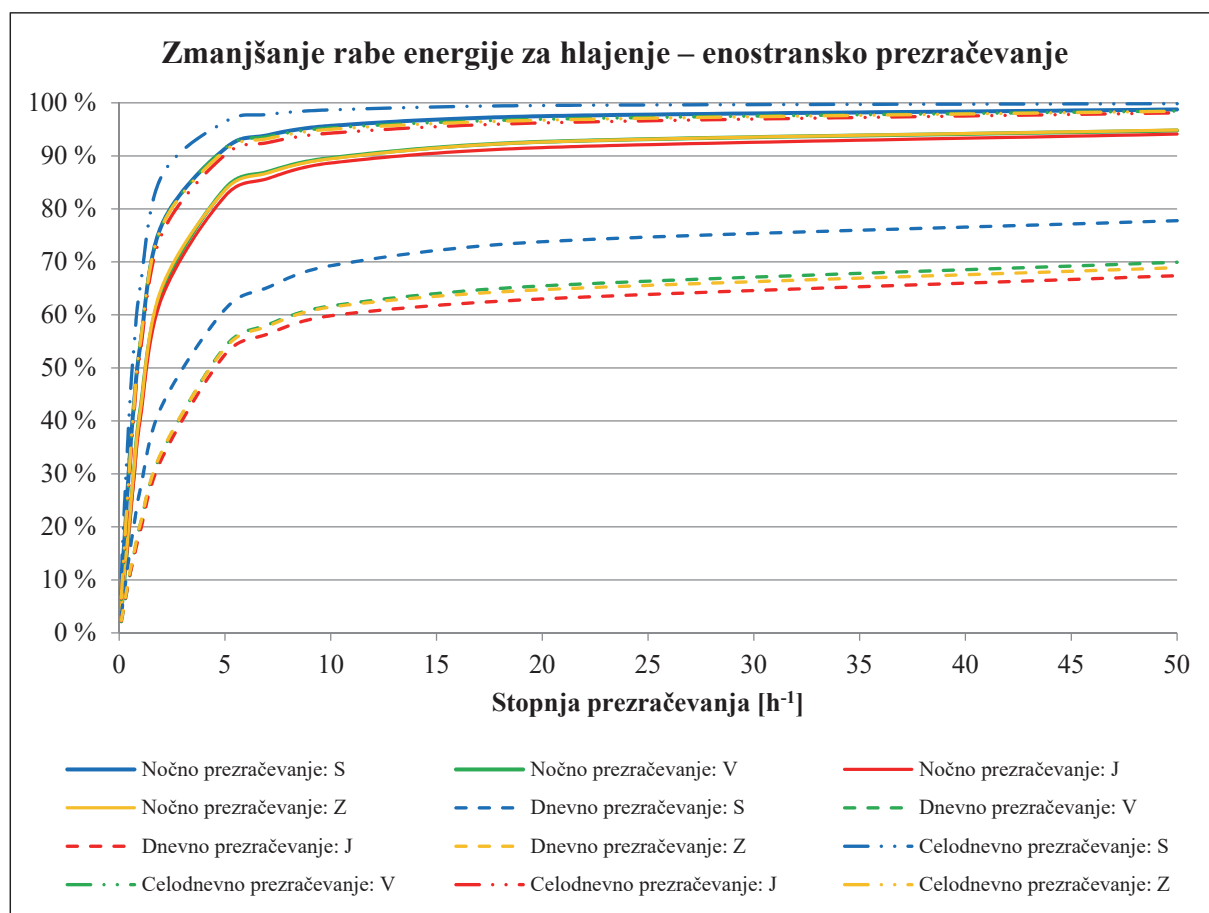
4.1.1 Prezračevanje glede na smer prezračevanja

Iz grafikona 3 je razvidno, da je naravno prezračevanje najmanj učinkovito, če ga uporabljamo zgolj v dnevnem času in najbolj učinkovito, če je na razpolago ves čas (ko so izpolnjeni pogoji). Dnevno prezračevanje v povprečju zmanjša rabo energije za hlajenje za 37,2 %. Največ se zmanjša za 77,8 % pri orientaciji S ($n = 50 \text{ h}^{-1}$) in najmanj za 2,1 % pri orientaciji V ($n = 0,1 \text{ h}^{-1}$). Nočno prezračevanje v povprečju zmanjša rabo energije za hlajenje za 58,0 %. Največ se zmanjša za 98,8 % pri orientaciji S ($n = 50 \text{ h}^{-1}$) in najmanj za 4,1 % pri orientaciji V ($n = 0,1 \text{ h}^{-1}$). Pri celodnevem prezračevanju se v povprečju zmanjša raba energije za 65,1 %. Tako kot pri dnevnem in nočnem prezračevanju se tudi pri celodnevem prezračevanju največ zmanjša pri orientaciji S ($n = 50 \text{ h}^{-1}$), in sicer za 99,9 %, in najmanj pri orientaciji V ($n = 0,1 \text{ h}^{-1}$) za 6,3 %.

Nočno prezračevanje je v povprečju učinkovitejše za 20,8 odstotkovnih točk v primerjavi z dnevnim prezračevanjem (za največ 34,1 odstotkovnih točk in najmanj 2,0 odstotkovnih točk) in celodnevno prezračevanje je učinkovitejše za kar 27,9 odstotkovnih točk v primerjavi z dnevnim prezračevanjem (za največ 43,4 odstotkovnih točk in najmanj 4,2 odstotkovnih točk). Z nadgradnjo nočnega

prezračevanja v celodnevno se raba energije za hlajenje dodatno zmanjša v povprečju za 7,1 odstotkovnih točk. Pri celodnevem prezračevanju se raba energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja v primerjavi z rabo energije za mehansko hlajenje zmanjša nad 90 % pri $n = 5 \text{ h}^{-1}$ in za 99,9 % pri stopnji prezračevanja $n = 50 \text{ h}^{-1}$ za orientacijo S. Kljub temu da se število izmenjav poveča za 10-krat, se raba energije dodatno zmanjša le za 6,4 odstotkovnih točk.

Najučinkovitejše zmanjšanje rabe energije je pri severni orientaciji, saj so tam tudi najmanjši solarni dobitki (Grafikon 1). Dnevno prezračevanje je manj učinkovito glede zmanjšanja rabe energije za hlajenje v primerjavi z nočnim in celodnevno prezračevanjem, saj je zunanja temperatura v dnevnem času višja v primerjavi z nočnim, kar posledično vpliva na delovanje naravnega prezračevanja in potencialno zmanjšanje rabe energije za hlajenje. Hkrati pa je dnevno prezračevanje z vidika uporabnikov tudi najmanj prijetno in praktično zaradi višjih izmenjav in hitrosti zraka, kar uporabnikom lahko povzroča neprijetno počutje.



Grafikon 3: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.

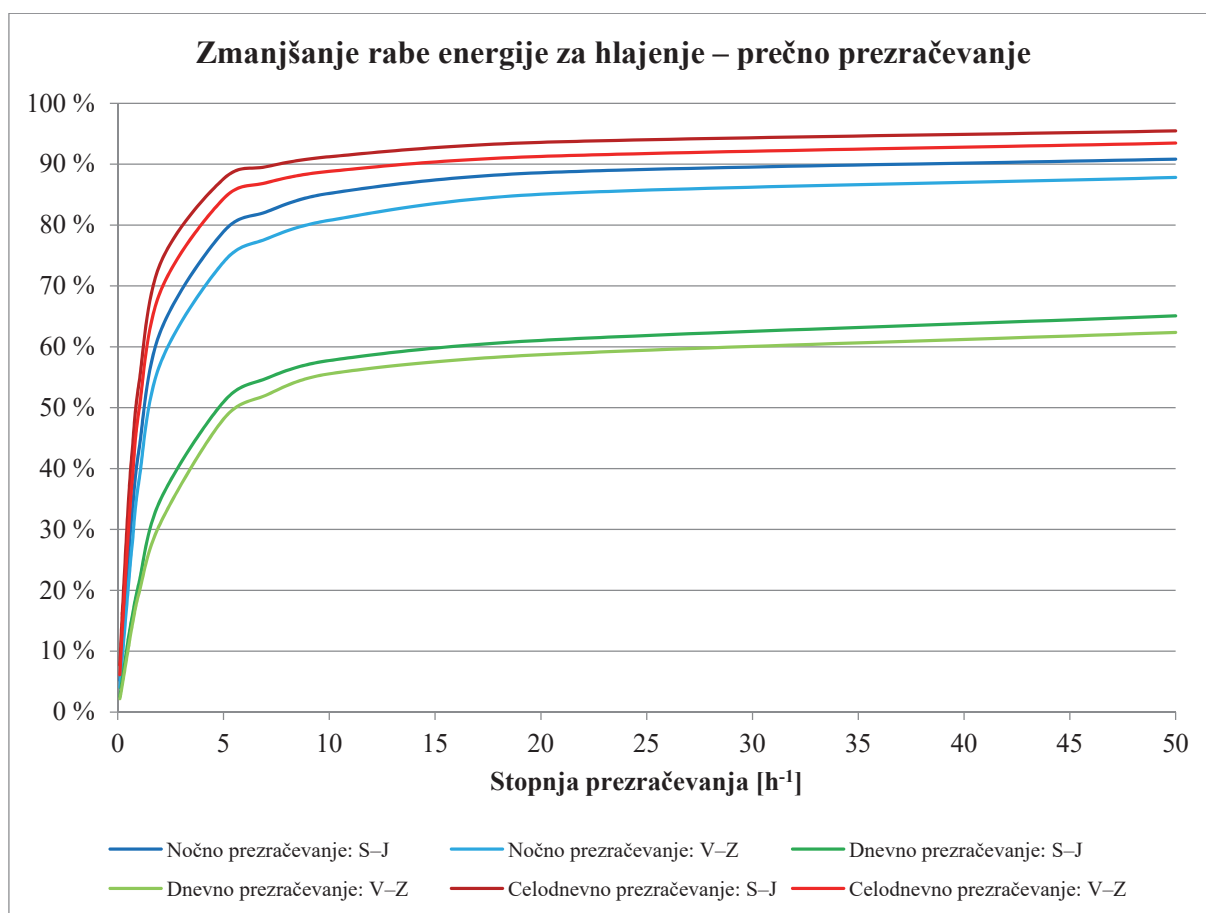
Graph 3: Reduction of energy consumption for cooling with natural ventilation for single-sided ventilation – Scheduled method.

Pri prečnem prezračevanju je stanje podobno kot pri enostranskem prezračevanju, saj je tudi tu najučinkovitejše celodnevno prezračevanje, sledi nočno in nato dnevno (Grafikon 4). Če je v primeru enostranskega prezračevanja doseženo tudi do 99,9 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje, je v primeru prečnega prezračevanja najvišje doseženo 95,5 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje. Dnevno prezračevanje v povprečju zmanjša rabo energije za hlajenje za 33,6 %. Največ se zmanjša za 65,1 % pri orientaciji S–J ($n = 50 \text{ h}^{-1}$) in najmanj za 2,2 % pri orientaciji V–Z ($n = 0,1 \text{ h}^{-1}$). Nočno prezračevanje

v povprečju zmanjša rabo energije za hlajenje za 53,0 %. Največ se zmanjša za 90,8 % pri orientaciji S–J ($n = 50 \text{ h}^{-1}$) in najmanj za 4,1 % pri orientaciji V–Z ($n = 0,1 \text{ h}^{-1}$). Pri celodnevem prezračevanju se v povprečju zmanjša rabo energije za 60,7 %. Tako kot pri dnevnem in nočnem prezračevanju se tudi pri celodnevem prezračevanju največ zmanjša pri orientaciji S–J ($n = 50 \text{ h}^{-1}$) za 95,5 % in najmanj pri orientaciji V–Z ($n = 0,1 \text{ h}^{-1}$) za 6,1 %.

Nočno prezračevanje je v povprečju učinkovitejše za 19,4 odstotkovnih točk v primerjavi z dnevnim prezračevanjem (za največ 28,0 odstotkovnih točk in najmanj 1,9 odstotkovnih točk) in celodnevno prezračevanje je učinkovitejše za kar 27,1 odstotkovnih točk v primerjavi z dnevnim prezračevanjem (za največ 38,8 odstotkovnih točk in najmanj 3,9 odstotkovnih točk). Z nadgradnjo nočnega prezračevanja v celodnevno prezračevanje se rabo energije za hlajenje dodatno zmanjša v povprečju za 7,7 odstotkovnih točk.

Pri celodnevem prezračevanju se rabo energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja zmanjša v primerjavi z rabo energije za mehansko hlajenje nad 90 % pri $n = 10 \text{ h}^{-1}$ za orientacijo S–J v primerjavi z enostranskim prezračevanjem, kjer je bil ta pogoj izpolnjen že pri $n = 5 \text{ h}^{-1}$ za vse orientacije. Dnevno prezračevanje je tudi pri prečnem prezračevanju manj učinkovito glede zmanjšanja rabe energije za hlajenje v primerjavi z nočnim in celodnevno prezračevanjem, saj je zunanja temperatura v dnevnem času višja kot v nočnem, kar posledično vpliva na delovanje naravnega prezračevanja in potencialno zmanjšanje rabe energije za hlajenje.



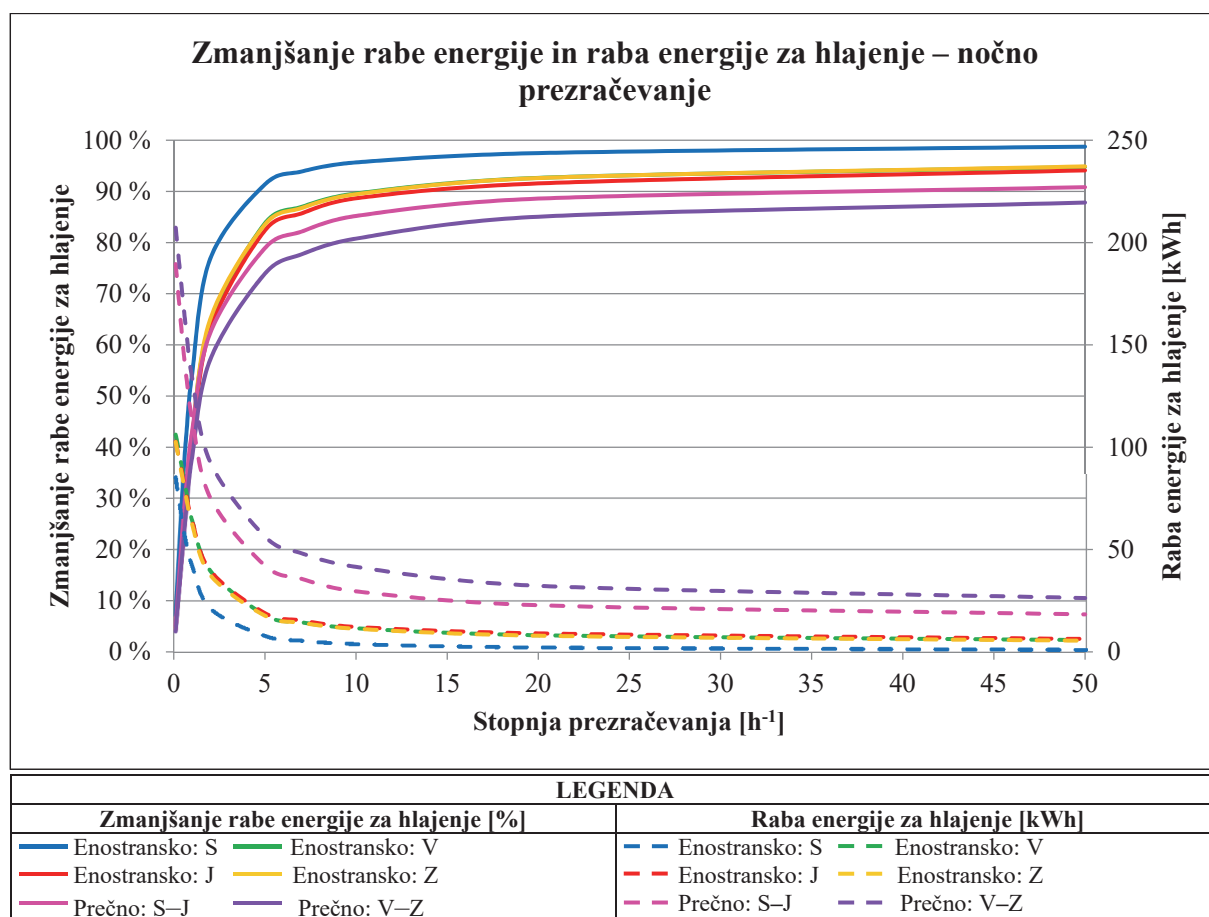
Grafikon 4: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 4: Reduction of energy consumption for cooling with natural ventilation for cross ventilation – Scheduled method.

4.1.2 Prezračevanje glede na čas prezračevanja

Enostransko prezračevanje S orientaciji pisarne je najučinkovitejši način nočnega prezračevanja glede na razmerje zmanjšanja rabe energije za mehansko hlajenje zaradi uporabe prezračevanja (Grafikon 6). Sledijo si preostale orientacije enostranskega prezračevanja in nato prečno prezračevanje v smeri S–J in V–Z. V povprečju je enostransko prezračevanje učinkovitejše za 4,3 odstotkovnih točk kot prečno prezračevanje pri zmanjšanju rabe energije za hlajenje prostora. Najvišja sprememba je opazna pri orientaciji S, ki je glede na orientacijo S–J prečnega prezračevanja višja za 9,2 odstotkovnih točk. V povprečju je orientacija J enostranskega prezračevanja učinkovitejša le za 0,3 odstotkovne točke kot prečno prezračevanje orientacije S–J. Manj učinkovita je do $n = 1 \text{ h}^{-1}$ in učinkovitejša pri višjih stopnjah prezračevanja. Orientaciji V in Z enostranskega prezračevanja sta v povprečju učinkovitejši za 5,1 odstotkovnih točk in 5,3 odstotkovne točke glede na prečno prezračevanje orientacije V–Z.

Pri enostranskem prezračevanju 80 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja dosežemo že pri $n = 5 \text{ h}^{-1}$, pri prečnem prezračevanju pa le-to dosežemo pri $n = 7 \text{ h}^{-1}$ pri orientaciji S–J in pri $n = 10 \text{ h}^{-1}$ pri orientaciji V–Z.

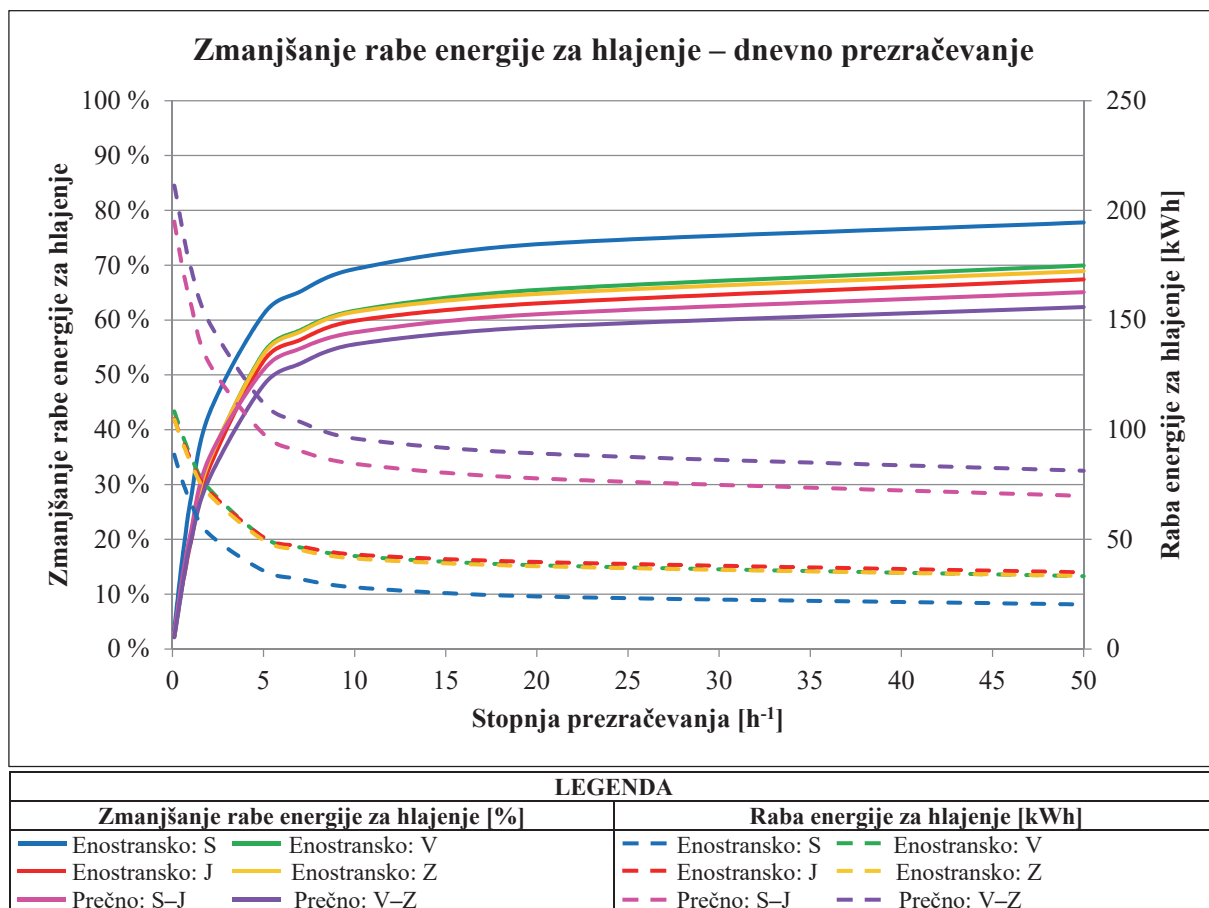


Grafikon 5: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri nočnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 5: Reduction of cooling energy consumption and cooling energy consumption with natural ventilation for night ventilation – Scheduled method.

Enako kot pri nočnem je tudi pri dnevnem prezračevanju enostranski način prezračevanja učinkovitejši od prečnega glede na razmerje med rabo energije za hlajenje z naravnim prezračevanjem in rabo energije z mehanskim hlajenjem (Grafikon 6). V povprečju je dnevno enostransko prezračevanje učinkovitejše za 3,6 odstotkovnih točk pri zmanjšanju rabe energije za hlajenje kot dnevno prečno prezračevanje. Najvišja sprememba je opazna pri orientaciji S, ki je glede na orientacijo S–J prečnega prezračevanja

višja za 7,4 odstotkovnih točk. V povprečju je orientacija J enostranskega prezračevanja učinkovitejša le za 0,2 odstotkovnih točk od prečnega prezračevanja orientacije S–J. Manj učinkovita je do $n = 2 \text{ h}^{-1}$ in bolj učinkovita pri višjih stopnjah prezračevanja. Orientaciji V in Z enostranskega prezračevanja sta v povprečju učinkovitejši za 3,4 odstotkovnih točk in 3,3 odstotkovnih točk glede na prečno prezračevanje orientacije V–Z.

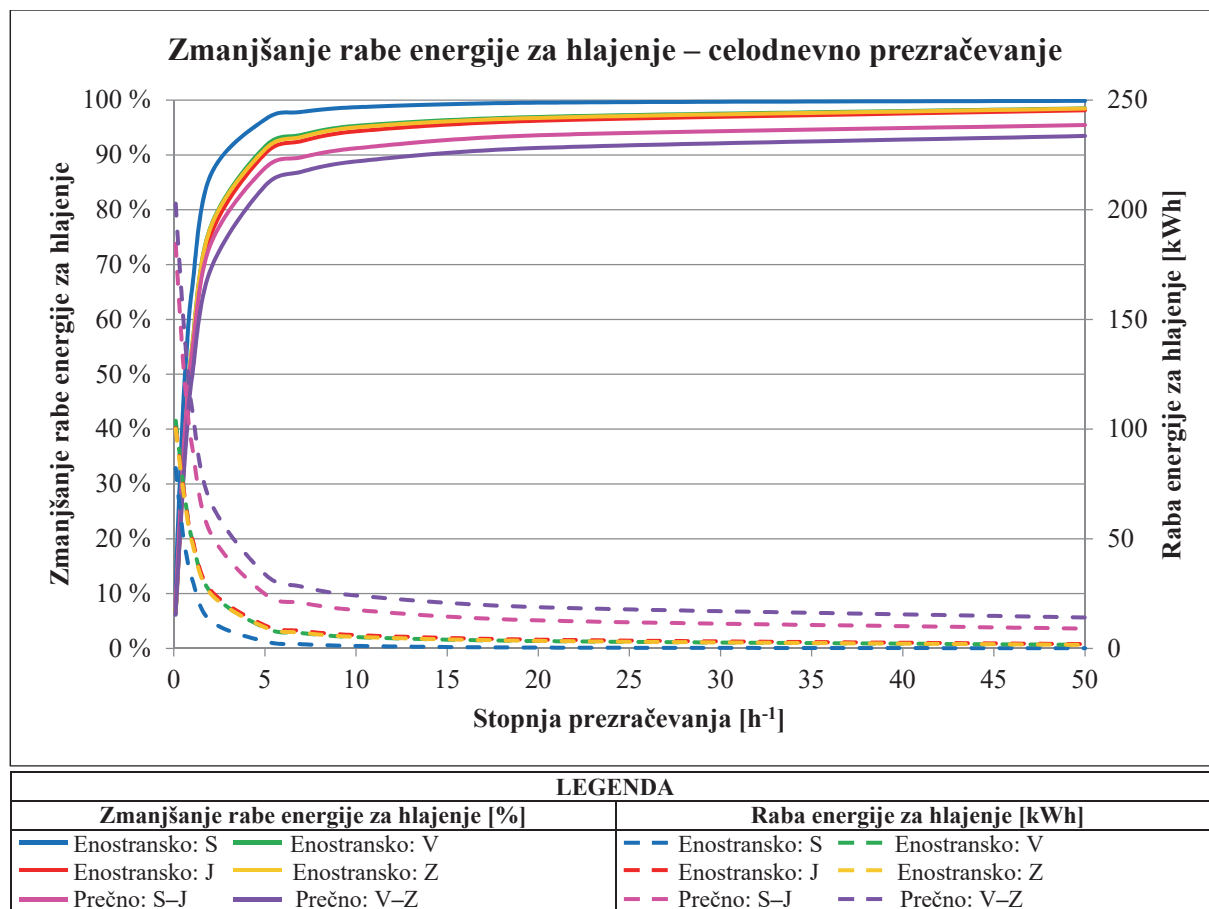


Grafikon 6: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri dnevnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 6: Reduction of cooling energy consumption and cooling energy consumption with natural ventilation for day ventilation – Scheduled method.

Tudi pri celodnevem prezračevanju je enostranski način prezračevanja učinkovitejši od prečnega glede na razmerje med rabo energije za hlajenje z naravnim prezračevanjem in rabo energije z mehanskim hlajenjem (Grafikon 7). V povprečju je celodnevno enostransko prezračevanje učinkovitejše za 4,4 odstotkovne točke pri zmanjšanju rabe energije za hlajenje kot celodnevno prečno prezračevanje. Najvišja sprememba je opazna pri orientaciji S, ki je glede na orientacijo S–J prečnega prezračevanja višja za 7,9 odstotkovnih točk. V povprečju je južna orientacija enostranskega prezračevanja učinkovitejša le za 0,5 odstotkovnih točk kot prečno prezračevanje orientacije S–J. Manj učinkovita je do $n = 1 \text{ h}^{-1}$ in učinkovitejša pri višjih stopnjah prezračevanja. Orientaciji V in Z enostranskega prezračevanja sta v povprečju učinkovitejši za 4,6 odstotkovnih točk glede na prečno prezračevanje orientacije V–Z.

Pri enostranskem prezračevanju pri $n = 5 \text{ h}^{-1}$ dosežemo 90 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje, pri prečnem prezračevanju pa pri $n = 5 \text{ h}^{-1}$ dosežemo nad 84 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje.

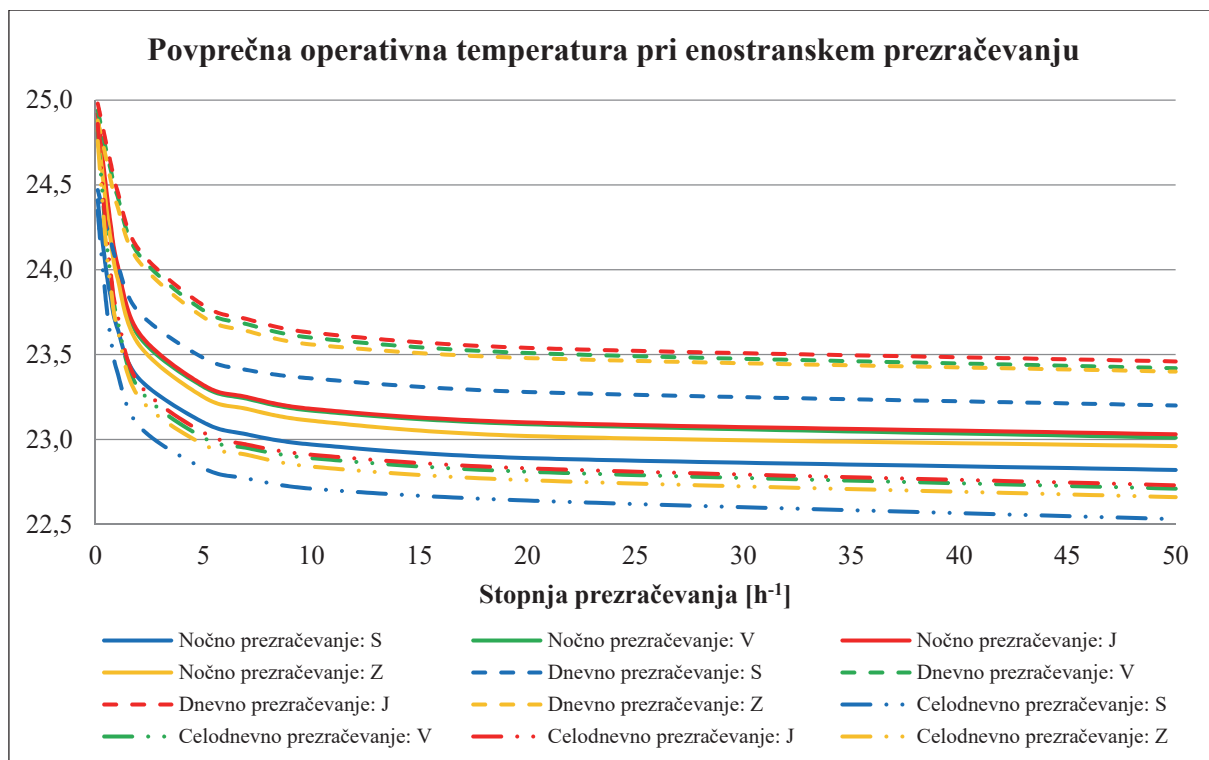


Grafikon 7: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri celodnevnom prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 7: Reduction of cooling energy consumption and cooling energy consumption with natural ventilation for all-day ventilation – Scheduled method.

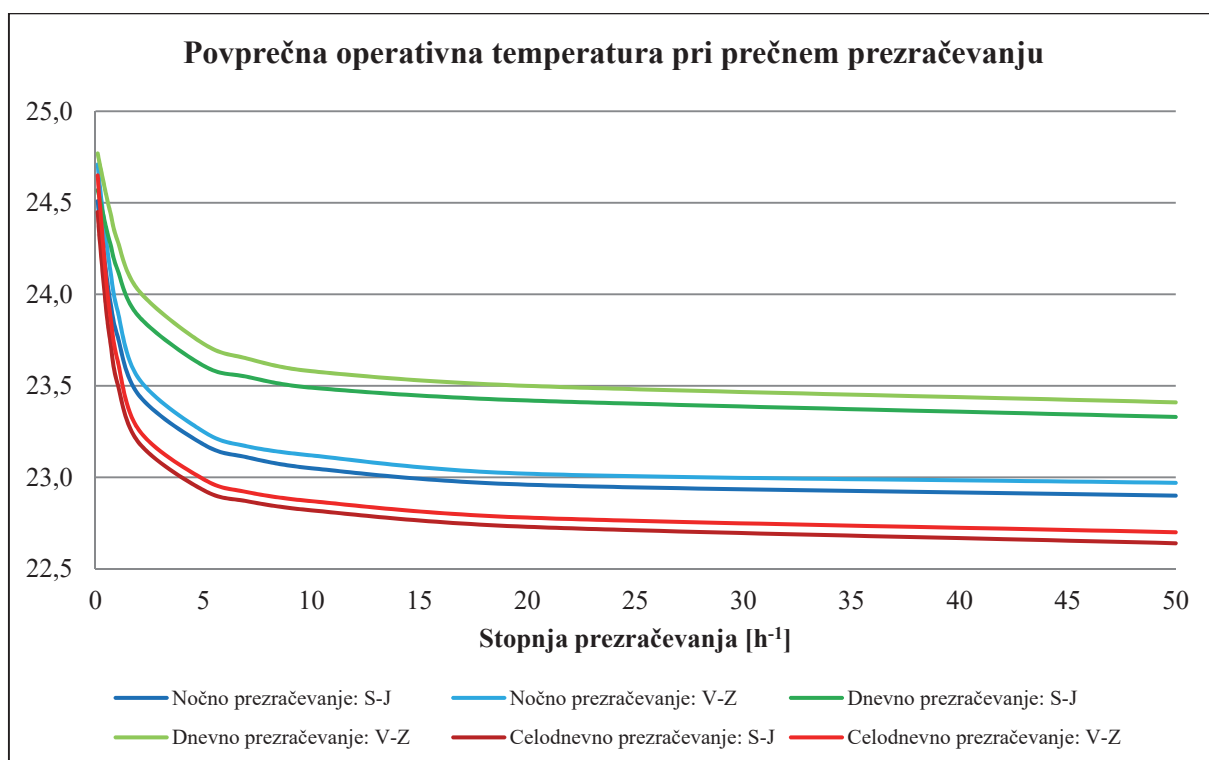
4.1.3 Vpliv prezračevanja na operativno temperaturo

Operativna temperatura se v povprečju giblje med 22,5 °C in 25 °C pri enostranskem prezračevanju (Grafikon 8). Najnižje operativne temperature beleži celodnevno prezračevanje z orientacijo S in najvišje dnevno prezračevanje z orientacijo J. Vse analizirane opcije ne presegajo podanih vrednosti Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb, ki narekuje vrednosti operativne temperature v poletnem času med 22 °C in 27 °C. Enako velja za prečno prezračevanje (Grafikon 9). Najnižje operativne temperature beleži celodnevno prezračevanje z orientacijo S-J in najvišje dnevno prezračevanje z orientacijo V-Z.



Grafikon 8: Povprečna operativna temperatura pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 8: Average operative temperature for single-sided ventilation – Scheduled method.



Grafikon 9: Povprečna operativna temperatura pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 9: Average operative temperature for cross ventilation – Scheduled method.

4.1.4 Vpliv prezračevanja na toplotno udobje uporabnikov

Cilj naloge je preveriti tudi, kako lahko ob zmanjšanju rabe energije za hlajenje z različnimi načini prezračevanja vplivamo tudi na toplotno udobje uporabnikov. Le-to zagotavlja ustrezna notranja operativna temperatura, ki predstavlja povprečje med temperaturo zraka v prostoru in srednjo sevalno temperaturo. Za pisarne za več ljudi je v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30] notranja operativna temperatura v času hlajenja določena med 22 °C in 27 °C in v standardu Energijske lastnosti stavb – prezračevanje stavb – 1. del [40] med 23 °C in 26 °C.

Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura, je izraženo s pomočjo srednje vrednosti oz. mediane. Delež ur toplotnega neudobja je izražen v številu ur pri operativni temperaturi nad 26 °C ali pod 23 °C. Izražen je za celotno analizirano obdobje in v času zasedenosti pisarne.

V preglednicah od 13 do 15 je prikazana časovna distribucija dosežene notranje operativne temperature v odvisnosti od časa prezračevanja, orientacije odprtin in stopnje prezračevanja za enostransko prezračevanje. Tako pri nočnem kot celodnevem prezračevanju je pri manjši stopnji prezračevanja časovna distribucija notranje operativne temperature enakomerna in operativna temperatura niha skozi celotno obdobje delovanja. Pri višjih stopnjah prezračevanja je najpogosteje dosežena operativna temperatura 22 °C, ki je dosežena v 35 % analiziranega časa pri nočnem prezračevanju in 40 % pri celodnevem prezračevanju. Glede na Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30] temperatura 22 °C predstavlja spodnjo mejo še vedno ustrezne operativne temperature, vendar lahko pri uporabnikih že vzbuja toplotno neudobje.

Pri dnevnem prezračevanju je moč opaziti enakomerno časovno distribucijo dosežene notranje operativne temperature skozi vse stopnje prezračevanja. Nižje stopnje prezračevanja obravnavanih modelov pisarn rezultirajo v višji doseženi operativni temperaturi, obratno pa uporaba višjih stopenj prezračevanja privede do nižjih operativnih temperatur. Z višjimi stopnjami prezračevanja tako hitreje in učinkoviteje ohlajamo prostor. Če je operativna temperatura pri uporabi višjih stopenj prezračevanja v primeru nočnega in celodnevnega prezračevanja konstantnejša, pa pri dnevnem prezračevanju bolj niha.

Preglednica 13: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za enostransko nočno prezračevanje – načrtovana metoda.

Table 13: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for single-sided night ventilation – Scheduled method.

	Operativna temperatura [°C]	ŠTEVILO UR										
		<i>Nočno prezračevanje</i>										
		Stopnja prezračevanja [h ⁻¹]										
		0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	7	10	20	50
Orientacija S	28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	79,8	55,0	17,7	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	501,7	465,0	345,3	285,7	220,0	103,2	43,7	31,2	24,3	14,7	8,2
	25	464,7	449,8	438,3	414,0	373,8	316,8	253,3	243,2	222,7	212,7	197,8
	24	406,5	428,3	430,2	427,8	434,8	379,5	322,2	301,7	294,8	282,3	270,8
	23	175,0	205,8	327,3	380,2	426,7	514,3	542,2	529,0	499,3	449,5	399,2
	22	253,7	254,0	251,2	278,3	315,0	429,2	548,7	597,7	654,0	723,2	800,5
	21	240,2	242,7	255,2	261,8	269,5	271,3	277,7	279,2	279,8	277,7	287,7
	20	109,8	128,0	159,2	169,5	178,3	193,0	210,7	215,8	220,2	229,8	229,2
	19	0,7	3,3	7,7	9,8	13,8	24,7	33,7	34,3	36,8	42,2	38,7
Orientacija V	28	49,5	36,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	263,0	250,5	174,2	121,5	43,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	487,2	459,7	428,8	386,3	343,2	196,7	87,0	71,5	59,2	43,8	33,0
	25	435,0	426,3	379,2	374,2	383,0	334,8	282,8	266,8	255,0	243,3	225,7
	24	293,0	322,5	382,8	395,0	394,5	405,3	328,3	315,0	295,0	281,0	274,8
	23	183,5	183,2	245,2	306,5	373,3	472,3	556,0	552,2	542,2	492,3	434,0
	22	273,3	280,2	280,8	286,3	310,0	402,7	518,7	558,8	602,5	686,0	762,3
	21	207,0	223,7	266,7	280,0	291,0	303,7	311,3	313,7	311,0	312,8	326,5
	20	40,5	50,0	70,0	82,2	93,3	116,5	146,0	151,8	162,8	168,2	171,2
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	2,2	4,3	4,5	4,5
Orientacija J	28	52,3	42,3	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	280,2	246,7	178,5	125,7	57,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	460,8	453,5	421,2	379,7	334,2	197,7	85,2	72,0	59,7	44,0	33,7
	25	421,7	414,5	361,3	372,8	367,3	323,3	275,5	258,0	248,7	241,8	224,5
	24	317,8	338,5	389,5	388,0	395,2	404,3	322,7	307,0	288,2	268,5	265,0
	23	214,8	220,5	285,5	331,3	391,3	489,7	565,3	565,5	548,8	502,0	446,8
	22	273,8	282,3	288,0	304,8	330,3	423,5	551,3	589,3	636,8	714,7	798,7
	21	186,8	199,0	247,8	267,2	285,3	302,7	319,0	323,3	317,8	319,2	324,8
	20	23,7	34,7	53,5	62,5	71,3	90,8	113,0	116,7	130,7	139,8	136,8
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,3	2,0	1,7
Orientacija Z	28	42,7	32,5	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	266,2	237,8	154,3	112,3	45,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	467,3	454,7	434,5	386,7	331,5	188,7	79,7	67,7	56,0	41,8	30,3
	25	434,0	420,2	363,5	363,3	372,8	325,2	276,0	259,0	244,0	228,7	212,8
	24	309,0	341,7	389,7	393,0	392,0	399,5	316,8	300,0	287,3	274,2	268,5
	23	182,3	185,2	265,5	324,3	384,5	479,7	565,0	564,2	545,2	492,2	442,2
	22	253,7	260,5	258,7	269,3	298,7	399,5	521,2	561,0	610,2	692,7	770,7
	21	212,2	223,8	255,2	255,3	262,2	268,2	277,8	280,5	282,0	280,7	291,8
	20	64,7	75,7	104,7	125,5	140,8	164,2	183,0	185,7	190,3	199,5	197,7
	19	0,0	0,0	0,2	2,2	4,2	7,2	12,5	14,0	17,0	22,3	18,0
LEGENDA												
Najnižja vrednost			Srednja vrednost (50.percentil)					Najvišja vrednost				

Preglednica 14: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za enostransko dnevno prezračevanje – načrtovana metoda.**Table 14: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for single-sided day ventilation – Scheduled method.**

	Operativna temperatura [°C]	ŠTEVILO UR										
		<i>Dnevno prezračevanje</i>										
		Stopnja prezračevanja [h ⁻¹]										
		0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	7	10	20	50
Orientacija S	28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	95,2	82,3	54,0	44,2	29,0	12,8	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	524,2	515,0	482,8	450,2	414,5	318,0	201,8	178,0	154,2	132,3	113,3
	25	476,0	463,7	427,2	425,7	415,5	406,8	387,0	366,0	365,8	350,8	336,3
	24	377,2	395,0	417,0	409,5	398,8	354,0	326,2	340,7	332,5	338,7	337,5
	23	165,3	166,0	209,2	243,2	286,7	356,2	425,8	421,2	429,7	431,2	412,0
	22	254,0	252,2	239,5	230,7	221,0	256,7	348,7	382,7	398,5	414,2	448,8
	21	237,2	239,3	245,8	256,3	271,2	278,5	274,3	275,5	276,8	273,8	278,8
	20	103,0	116,7	149,8	163,7	178,0	212,8	224,7	226,3	230,8	242,5	253,7
	19	0,0	1,8	6,7	8,7	17,3	36,2	40,8	41,7	43,7	48,5	51,5
Orientacija V	28	54,2	49,3	31,0	17,7	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	280,8	267,8	245,5	222,2	178,5	110,5	19,5	8,0	6,3	3,5	0,0
	26	496,8	492,2	457,0	455,2	452,7	414,0	316,2	285,3	244,0	211,5	181,3
	25	435,8	431,5	429,2	414,3	390,7	340,0	371,7	372,2	376,7	371,3	369,7
	24	271,5	286,7	314,2	323,7	351,5	347,3	305,8	310,5	310,2	308,8	303,5
	23	184,5	175,8	176,2	191,0	212,5	297,0	408,0	415,8	429,0	429,0	423,7
	22	270,3	270,5	268,5	266,8	256,0	264,3	325,2	347,8	366,3	393,3	425,2
	21	201,8	212,7	248,5	267,8	288,7	304,3	305,0	307,2	309,2	306,7	308,7
	20	36,2	45,5	62,0	73,3	92,8	151,0	175,2	179,5	184,0	200,0	210,5
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	5,5	5,7	6,3	7,8	9,5
Orientacija J	28	57,7	51,7	37,7	18,8	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	298,0	284,3	243,8	224,0	176,3	123,5	23,8	10,8	5,7	3,0	0,0
	26	468,7	466,5	450,2	451,5	455,2	400,7	319,5	292,0	253,3	223,7	191,2
	25	425,8	414,8	407,5	387,0	366,2	324,8	358,5	358,3	363,5	367,7	365,2
	24	302,0	315,5	336,5	350,3	355,8	347,2	302,5	310,8	313,0	296,7	297,5
	23	214,2	209,2	209,2	224,8	256,3	324,8	422,7	424,0	435,8	435,7	435,5
	22	265,5	270,2	274,3	273,7	266,8	282,7	348,7	371,8	390,0	413,7	432,0
	21	178,0	190,5	225,8	246,5	275,3	315,2	308,3	310,5	311,0	313,2	310,3
	20	22,2	29,3	47,0	55,3	69,5	113,0	145,7	151,0	156,8	174,8	195,0
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,3	2,7	2,8	3,7	5,3
Orientacija Z	28	47,8	42,2	26,0	15,5	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	282,3	270,7	230,2	204,8	165,0	108,2	22,5	9,7	5,7	3,5	1,3
	26	476,5	470,3	461,7	461,5	455,5	412,7	306,5	278,7	239,0	211,2	182,5
	25	438,3	432,8	417,5	392,8	370,0	322,7	368,0	369,0	374,0	376,8	370,0
	24	290,8	305,8	332,8	352,3	365,2	348,7	302,0	309,5	306,3	292,3	293,7
	23	180,3	174,7	181,5	197,8	228,5	314,5	413,8	415,5	427,3	434,2	427,0
	22	248,2	251,0	245,8	243,5	237,5	251,5	317,5	342,8	367,3	391,0	424,3
	21	206,0	215,2	246,7	251,8	257,7	276,5	279,2	280,3	279,3	277,8	281,0
	20	61,7	69,3	89,8	110,8	137,7	183,2	200,2	202,3	206,5	214,3	219,2
	19	0,0	0,0	0,0	1,0	4,5	14,2	22,3	24,2	26,5	30,8	33,0
LEGENDA												
Najnižja vrednost			Srednja vrednost (50.percentil)					Najvišja vrednost				

Preglednica 15: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za enostransko celodnevno prezračevanje – načrtovana metoda.

Table 15: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for single-sided all-day ventilation – Scheduled method.

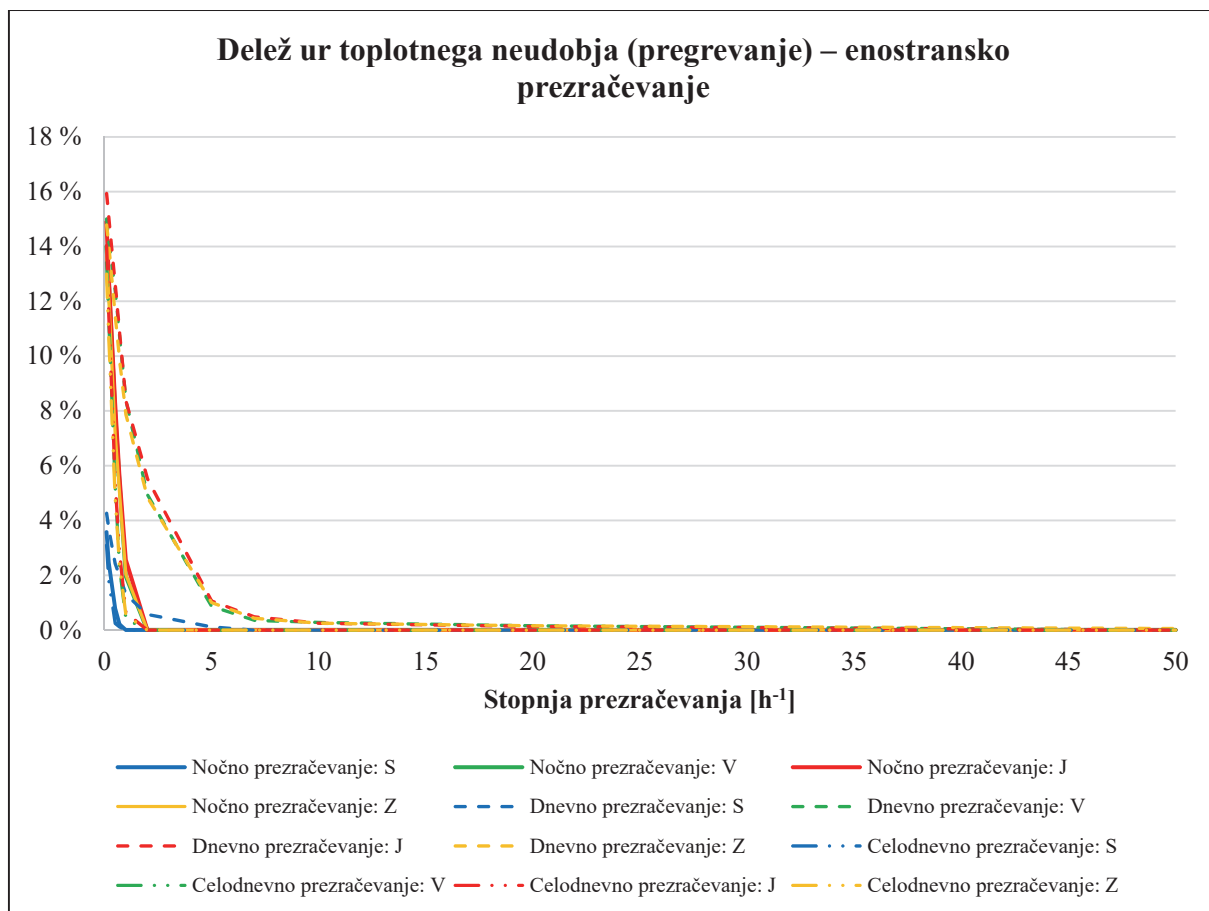
	Operativna temperatura [°C]	ŠTEVILO UR										
		<i>Celodnevno prezračevanje</i>										
		Stopnja prezračevanja [h ⁻¹]										
		0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	7	10	20	50
Orientacija S	28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	69,3	40,0	5,5	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	490,5	434,5	292,0	227,8	165,0	68,5	20,2	14,3	8,8	3,2	0,7
	25	453,5	438,8	410,5	373,0	328,0	260,2	206,2	194,0	183,8	164,3	138,8
	24	417,5	432,0	396,5	388,2	395,3	326,7	264,5	251,5	240,3	238,3	231,7
	23	181,2	241,3	388,8	420,8	429,8	467,3	444,5	415,5	378,0	319,0	270,7
	22	252,5	242,5	264,2	316,2	383,8	549,2	702,8	750,5	797,2	870,0	902,7
	21	241,2	247,7	270,8	276,3	278,0	280,5	296,7	300,8	311,8	318,8	345,5
	20	123,7	148,7	184,3	198,5	215,7	235,5	249,2	255,2	260,2	264,0	280,3
	19	2,7	6,5	19,3	28,5	36,3	44,2	48,0	50,2	51,8	54,3	61,7
Orientacija V	28	42,7	24,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	256,8	228,0	116,0	51,8	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	476,7	447,8	386,7	344,8	275,5	127,8	51,3	40,0	30,0	21,7	11,2
	25	430,7	416,3	367,3	373,2	355,8	283,3	237,0	224,5	212,2	200,5	189,5
	24	307,8	342,5	377,7	361,3	355,5	339,0	263,0	249,5	238,7	230,2	220,2
	23	176,2	187,5	310,0	369,7	414,3	471,0	487,0	463,7	439,3	372,5	312,2
	22	273,5	273,2	276,3	301,7	356,8	504,3	656,3	705,7	752,2	823,3	872,7
	21	219,5	250,7	297,0	302,3	307,5	310,2	322,5	328,8	332,7	345,2	364,3
	20	48,2	61,2	101,0	127,2	154,2	190,2	206,8	211,5	217,7	223,8	241,0
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	6,2	8,0	8,3	9,3	14,8	21,0
Orientacija J	28	48,0	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	265,3	228,2	120,2	63,0	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	459,5	445,2	385,7	334,3	273,8	133,3	53,8	42,0	31,8	24,2	12,8
	25	412,3	398,5	351,8	359,0	345,8	278,3	235,7	227,2	216,2	202,8	187,0
	24	328,5	354,8	375,0	358,3	354,5	329,5	255,8	240,0	229,7	221,8	214,0
	23	211,7	223,7	340,7	388,3	424,7	475,7	492,7	474,5	441,3	378,3	316,7
	22	277,7	280,2	290,2	327,5	382,2	538,0	680,8	725,7	776,0	842,8	905,2
	21	195,8	227,8	291,5	305,0	321,2	316,2	326,3	330,8	335,2	345,5	366,2
	20	33,2	45,7	77,0	96,5	115,5	158,2	183,0	187,7	196,8	209,0	221,0
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,8	3,8	4,2	5,0	7,5	9,2
Orientacija Z	28	38,0	19,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	252,0	218,0	107,2	52,8	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	462,8	450,0	388,3	330,8	261,2	124,8	51,2	40,7	30,2	20,5	10,5
	25	428,8	403,8	351,2	369,5	355,0	277,0	225,7	216,3	206,3	195,5	180,5
	24	322,7	358,2	379,0	352,5	349,7	327,8	258,5	241,2	231,2	223,0	215,2
	23	176,3	193,7	327,2	384,5	418,7	471,5	492,2	471,2	440,7	373,3	306,3
	22	257,3	250,7	262,7	293,5	357,3	510,7	656,2	708,8	752,8	827,3	884,7
	21	220,5	248,7	263,5	272,2	276,2	282,2	295,0	297,2	305,0	319,7	341,5
	20	73,5	89,7	147,5	168,3	186,3	211,3	221,7	223,5	230,0	234,5	248,7
	19	0,0	0,0	5,5	7,8	15,5	26,7	31,7	33,2	35,8	38,2	44,7
LEGENDA												
Najnižja vrednost			Srednja vrednost (50.percentil)					Najvišja vrednost				

Delež ur toplotnega neudobja je izražen v razmerju seštevka števila ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C ali pod 23 °C in skupnim številom ur analiziranega obdobja. Za bolj konservativen kriterij smo se orientirali glede na standard Energijske lastnosti stavb – prezračevanje stavb – 1. del [40], ki podaja strožji kriterij o primerni operativni temperaturi v notranjih prostorih v primerjavi s Pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30]. Le-ta podaja, da je primerna operativna temperatura za hlajenje med 22 °C in 27 °C.

Na grafikonu 10 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja za operativne temperature nad 26 °C za enostransko prezračevanje. V povprečju je 3,4 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C. Operativnih temperatur nad 27 °C je v povprečju 0,3 % vseh ur. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – pregrevanja 3 %, pri dnevnem prezračevanju 4,9 % in pri celodnevem prezračevanju 2,4 %. Najvišji delež ur toplotnega neudobja velja za orientacije V, J, Z za vsa tri časovna obdobja prezračevanja.

Pri orientaciji S je delež ur pregrevanja najmanjši pri vseh stopnjah prezračevanja. Pri vseh orientacijah je delež ur pregrevanja višji pri nižjih stopnjah prezračevanja. Za orientacijo S velja, da je pregrevanje prisotno do $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ pri nočnem in celodnevem prezračevanju ter do $n = 5 \text{ h}^{-1}$ pri dnevnem prezračevanju. V nočnem in celodnevem času za preostale orientacije velja, da je pregrevanje prisotno le do $n = 1 \text{ h}^{-1}$. Pri dnevnem prezračevanju je pregrevanje moč opaziti tudi do $n = 50 \text{ h}^{-1}$ za orientacijo Z in do $n = 20 \text{ h}^{-1}$ za orientaciji V in J. Stanje je nekoliko drugačno glede na kriterij Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Pri orientaciji S ni težav s pregrevanjem pri nobeni stopnji in času prezračevanja. Za preostale orientacije je pri nočnem in celodnevem prezračevanju prisotno pregrevanje le pri nizkih stopnjah prezračevanja (do $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ pri nočnem prezračevanju in do $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ pri celodnevem prezračevanju).

Delež ur pregrevanja se z višjimi stopnjami prezračevanja zmanjšuje, saj te bolj ohlajajo prostor, s tem pa več ne prihaja do pregrevanja. Kljub temu da je pregrevanje prisotno pri nižjih stopnjah prezračevanja (v povprečju 11,7 % pri $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$), lahko previsoke temperature v prostoru skoraj eliminiramo z nižjimi stopnjami prezračevanja. Do pregrevanja bi lahko prišlo v primeru, če bi bilo naravno prezračevanje edini način hlajenja.

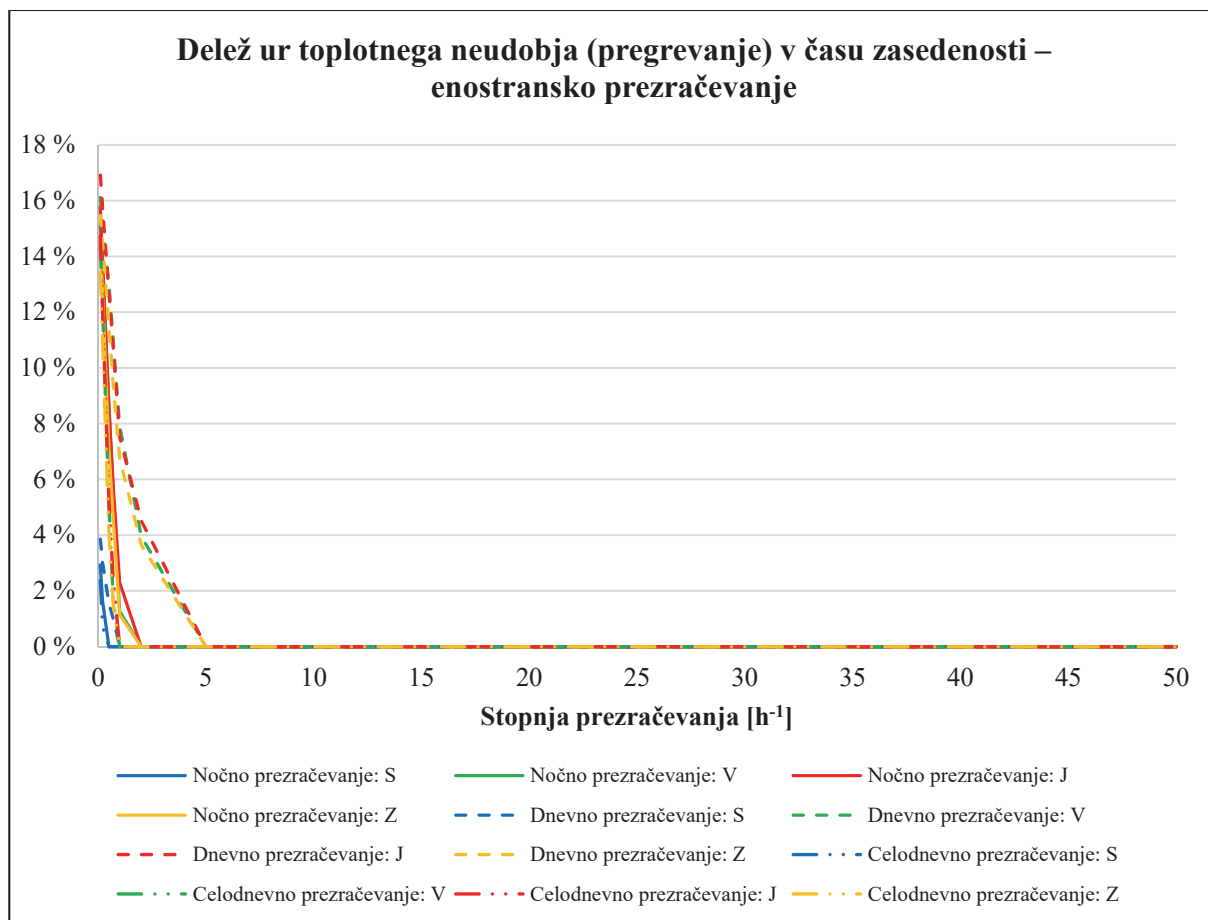


Grafikon 10: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 10: The percentage of hours of thermal discomfort (overheating) for single-sided ventilation – Scheduled method.

Na grafikonu 11 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja v času zasedenosti za operativne temperature nad 26 °C za enostransko prezračevanje. V povprečju je 3,3 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C v času zasedenosti. Operativnih temperatur nad 27 °C je v povprečju 0,2 %. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – pregrevanja 3,1 %, pri dnevnem prezračevanju 4,7 % in pri celodnevem prezračevanju 2,3 %. Najvišji delež ur toplotnega neudobja velja za orientacije V, J, Z za vsa tri časovna obdobja prezračevanja.

Tudi v času zasedenosti je delež ur pregrevanja najmanjši pri orientaciji S pri vseh stopnjah prezračevanja. Za orientacijo S velja, da je pregrevanje prisotno do $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ pri nočnem in celodnevem prezračevanju ter do $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ pri dnevnem prezračevanju. Za preostale orientacije velja, da je pregrevanje prisotno le do $n = 1 \text{ h}^{-1}$ v nočnem času in do $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ v celodnevem času. Pri dnevnem prezračevanju je pregrevanje moč opaziti tudi do $n = 2 \text{ h}^{-1}$ za orientacije V, J in Z. Glede na kriterij Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb pri orientaciji S ni težav s pregrevanjem pri nobeni stopnji in času prezračevanja. Za preostale orientacije je pri nočnem in celodnevem prezračevanju prisotno pregrevanje le pri nizkih stopnjah prezračevanja do $n = 2 \text{ h}^{-1}$. Pri dnevnem prezračevanju je pregrevanje prisotno do $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ pri orientaciji V in J ter do $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ pri orientaciji Z.

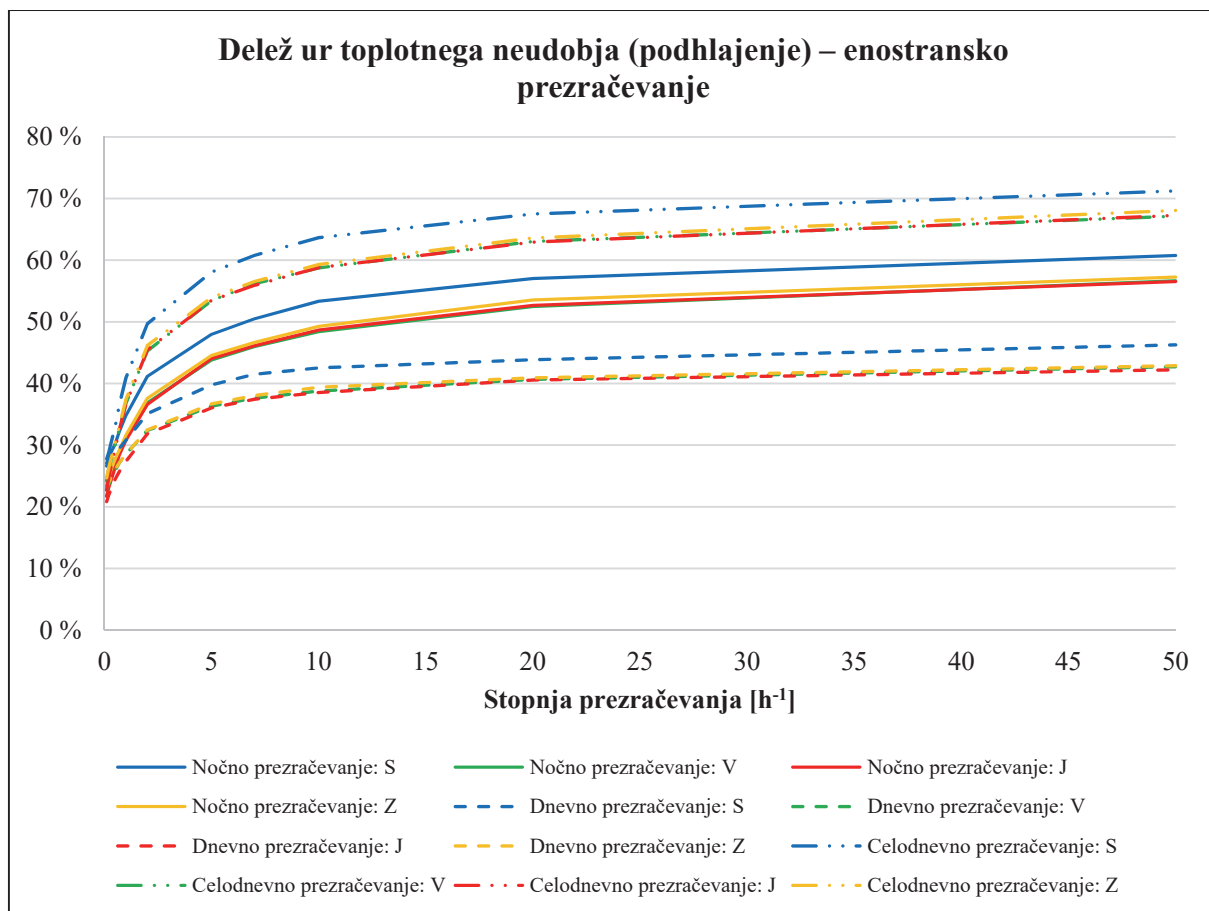


Grafikon 11: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) v času zasedenosti pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 11: The percentage of hours of thermal discomfort (overheating) during the occupancy hours for single-sided ventilation – Scheduled method.

Na grafikonu 12 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja za operativne temperature pod $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ za enostransko prezračevanje. V povprečju je 39,4 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ in 19,9 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – podhlajenja 39,2 %, pri dnevnem 33,1 % in pri celodnevem 46 %. Vse orientacije imajo pri najmanjši stopnji prezračevanja ($n = 0,1\text{ h}^{-1}$) v povprečju 24,1 % vseh ur pod operativno temperaturo $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, od tega je 12,3 % vseh ur z operativno temperaturo pod $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri najvišji stopnji prezračevanja ($n = 50\text{ h}^{-1}$) je največji delež ur toplotnega neudobja – podhlajenje pri celodnevem prezračevanju v povprečju 68,4 %, sledi nočno prezračevanje s 57,8 % in dnevno prezračevanje s 43,5 %.

Najvišji delež ur podhlajenja ima v povprečju orientacija S, ki pa ima hkrati najmanjši delež ur pregrevanja. Do podhlajenja prihaja zaradi manjših solarnih dobitkov, ki jih prejme orientacija S v primerjavi s preostalimi orientacijami. Pri vseh orientacijah delež ur podhlajenja narašča z naraščanjem stopenj prezračevanja, če delež ur z operativno temperaturo pod $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ naraste v povprečju za 32,5 odstotkovnih točk glede na najnižjo in najvišjo stopnjo prezračevanja. Pri deležu ur z operativno temperaturo pod $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ pa naraste v povprečju le za 12,8 odstotkovnih točk glede na najnižjo in najvišjo stopnjo prezračevanja.

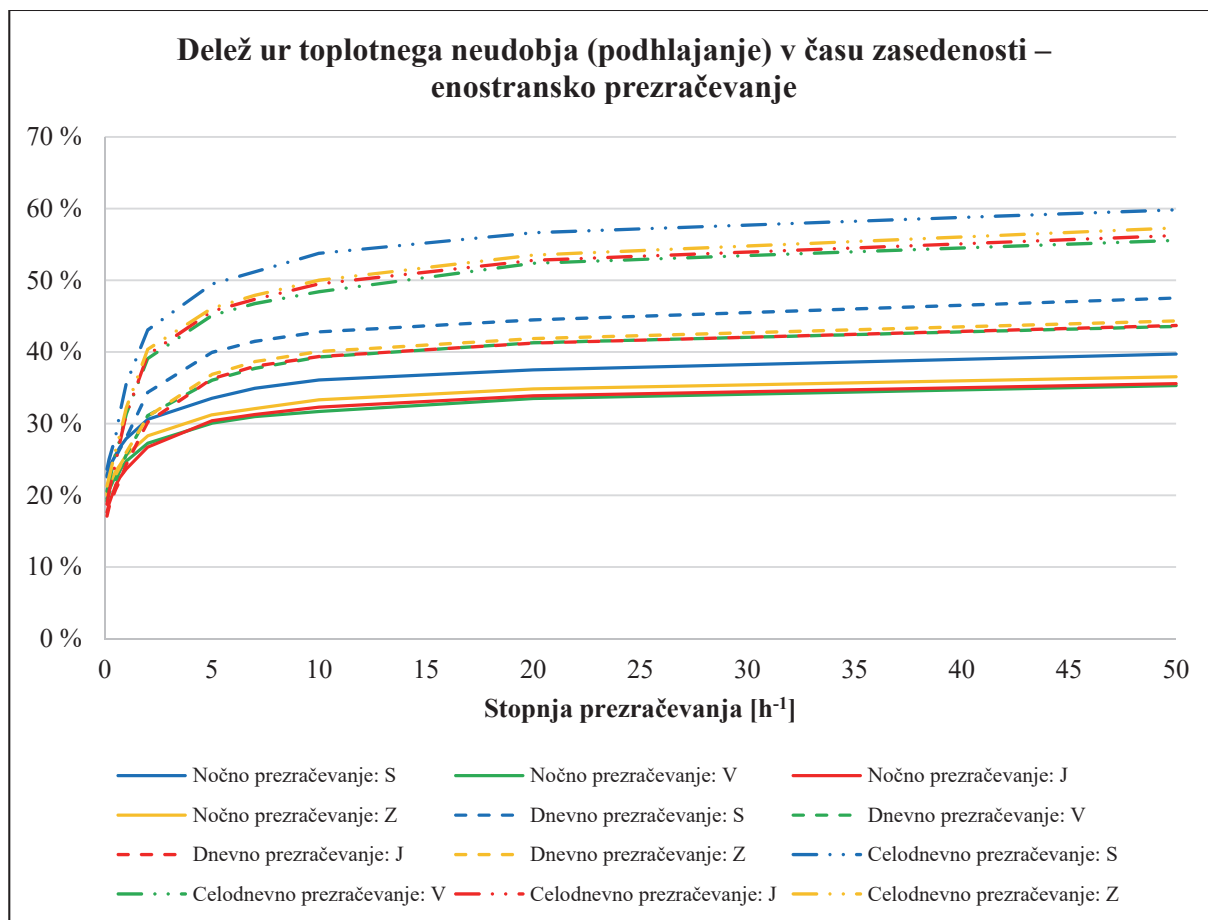


Grafikon 12: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 12: The percentage of hours of thermal discomfort (overcooling) for single-sided ventilation – Scheduled method.

Na grafikonu 13 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja v času zasedenosti za operativne temperature pod 23°C za enostransko prezračevanje. V povprečju je 33 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 23°C in 15,3 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 22°C . Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – podhlajenje 28,3 %, pri dnevnem 31,7 % in pri celodnevem 38,9 %. Vse orientacije imajo pri najmanjši stopnji prezračevanja ($n = 0,1 \text{ h}^{-1}$) v povprečju 20,3 % vseh ur pod operativno temperaturo 23°C , od tega je 9,1 % vseh ur z operativno temperaturo pod 22°C . Pri najvišji stopnji prezračevanja ($n = 50 \text{ h}^{-1}$) je največji delež ur toplotnega neudobja – podhlajenje pri celodnevem prezračevanju v povprečju 38,9 %, sledi dnevno prezračevanje z 31,7 % in nočno prezračevanje z 28,3 %. Pri celotnem analiziranem obdobju je pri nočnem prezračevanju višji delež ur toplotnega neudobja kot pri dnevnem prezračevanju. Do večjega podhlajanja prostora prihaja v nočnem času, ki je izven analiziranega časa zasedenosti in ima posledično manjši vpliv na delež ur toplotnega neudobja.

Najvišji delež ur podhlajanja ima v povprečju še vedno orientacija S, ki pa ima hkrati najmanjši delež ur pregrevanja. Če delež ur z operativno temperaturo pod 23°C naraste v povprečju za 26 odstotkovnih točk glede na najnižjo in najvišjo stopnjo prezračevanja. Pri deležu ur z operativno temperaturo pod 22°C pa naraste v povprečju le za 10,9 odstotkovnih točk glede na najnižjo in najvišjo stopnjo prezračevanja.



Grafikon 13: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajanje) v času zasedenosti pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 13: The percentage of hours of thermal discomfort (overcooling) during the occupancy hours for single-sided ventilation – Scheduled method.

V preglednicah od 16 do 18 je prikazana časovna distribucija dosežene notranje operative temperature za prečno prezračevanje v odvisnosti od časa prezračevanja, orientacije odprtih in stopnje prezračevanja. Tako pri nočnem kot celodnevem prezračevanju je pri manjših stopnjah prezračevanja časovna distribucija dosežene notranje operative temperature enakomerna in operativna temperatura niha skozi celotno obdobje delovanja. Pri višjih stopnjah prezračevanja je najpogosteje dosežena operativna temperatura 22 °C, ki je dosežena v 32 % analiziranega časa pri nočnem in 36 % pri celodnevem prezračevanju.

Preglednica 16: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za prečno nočno prezračevanje – načrtovana metoda.

Table 16: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for cross night ventilation – Scheduled method.

		ŠTEVILO UR										
		Nočno prezračevanje										
		Stopnja prezračevanja [h ⁻¹]										
		0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	7	10	20	50
Orientacija S–J	28	11,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	184,8	162,2	96,3	52,5	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	475,3	454,2	391,2	353,5	303,2	186,5	94,2	79,7	68,3	54,8	44,8
	25	413,7	392,0	371,0	378,0	366,5	311,7	271,0	255,5	243,8	234,2	216,0
	24	369,3	384,0	384,2	380,0	389,3	357,3	301,8	288,5	274,8	256,2	256,7
	23	180,5	219,3	322,0	365,0	400,2	499,2	546,8	546,0	528,0	478,8	428,8
	22	225,5	222,7	236,2	259,0	298,5	390,8	502,8	535,7	587,8	661,2	731,7
	21	226,5	230,7	246,0	246,2	247,0	252,7	261,5	268,2	265,3	264,3	283,0
	20	134,7	145,7	160,5	168,8	178,3	195,7	209,5	212,7	215,7	228,5	222,3
	19	10,7	15,0	24,7	29,0	32,5	38,2	44,3	45,8	48,2	54,0	48,7
Orientacija V–Z	28	56,8	44,5	13,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	259,5	241,0	176,3	137,7	69,3	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	447,3	434,2	403,8	375,2	337,7	227,7	129,2	105,7	89,0	71,0	61,7
	25	407,7	394,2	346,3	340,0	355,7	320,0	273,0	266,2	258,7	240,7	228,7
	24	322,7	343,3	368,7	368,3	369,3	376,0	302,5	283,7	270,3	256,7	251,5
	23	159,3	177,0	276,8	327,0	376,2	462,2	549,3	552,5	541,8	508,2	453,0
	22	221,3	221,0	229,3	245,5	274,5	362,5	467,0	502,7	548,3	619,2	693,3
	21	225,5	229,0	242,5	250,2	249,5	256,2	263,2	269,5	268,5	266,3	281,7
	20	123,5	136,5	155,7	161,7	171,0	188,7	206,3	209,3	212,3	220,0	217,2
	19	8,3	11,3	19,5	24,0	28,8	34,7	41,5	42,5	43,0	50,0	45,0
LEGENDA												
Najnižja vrednost				Srednja vrednost (50.percentil)				Najvišja vrednost				

Preglednica 17: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za prečno dnevno prezračevanje – načrtovana metoda.

Table 17: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for cross day ventilation – Scheduled method.

		ŠTEVILO UR										
		<i>Dnevno prezračevanje</i>										
		Stopnja prezračevanja [h ⁻¹]										
		0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	7	10	20	50
Orientacija S–J	28	14,2	11,8	6,5	3,3	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	198,5	186,3	161,0	146,3	121,2	64,0	13,2	7,5	5,8	3,2	0,0
	26	490,8	483,7	461,5	446,3	432,0	386,8	298,3	271,2	237,7	212,0	189,5
	25	419,2	412,7	381,5	372,0	357,0	345,3	364,0	361,2	364,2	367,8	356,3
	24	356,0	362,8	372,5	366,0	359,2	337,2	295,3	303,8	306,5	299,5	299,2
	23	165,0	176,2	222,5	255,3	284,8	343,7	415,5	409,0	413,8	418,7	409,0
	22	225,7	221,0	209,8	202,8	207,7	244,5	322,3	354,0	370,5	382,7	408,3
	21	223,8	226,7	239,7	245,0	248,2	250,3	249,0	249,2	247,7	250,3	258,3
	20	129,5	138,8	154,5	166,0	184,3	213,3	222,7	224,3	230,7	239,3	249,0
	19	9,3	12,0	22,5	28,8	36,0	46,8	51,7	51,8	55,2	58,5	62,3
Orientacija V–Z	28	63,2	55,8	37,0	23,8	15,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	272,5	261,8	232,2	214,5	188,8	132,7	36,7	18,8	8,7	6,3	5,2
	26	459,0	453,8	448,2	442,5	434,2	402,3	340,5	318,2	291,5	256,8	227,3
	25	413,8	406,3	380,7	371,0	353,3	311,3	352,8	358,5	356,3	365,0	360,8
	24	302,8	316,3	340,5	346,8	338,8	335,8	282,7	288,0	292,7	286,8	286,2
	23	153,5	158,0	180,8	201,5	245,3	309,2	404,5	405,7	409,7	411,5	405,0
	22	217,7	217,0	209,2	204,8	200,7	230,2	296,0	321,2	345,7	365,3	391,0
	21	223,5	225,3	236,3	246,2	249,3	256,3	255,8	252,7	254,7	253,0	254,0
	20	118,3	128,0	149,8	158,0	174,7	206,7	214,8	219,0	222,5	232,3	242,7
	19	7,7	9,5	17,3	22,8	31,8	43,2	48,2	50,0	50,3	54,8	59,8
LEGENDA												
Najnižja vrednost				Srednja vrednost (50.percentil)				Najvišja vrednost				

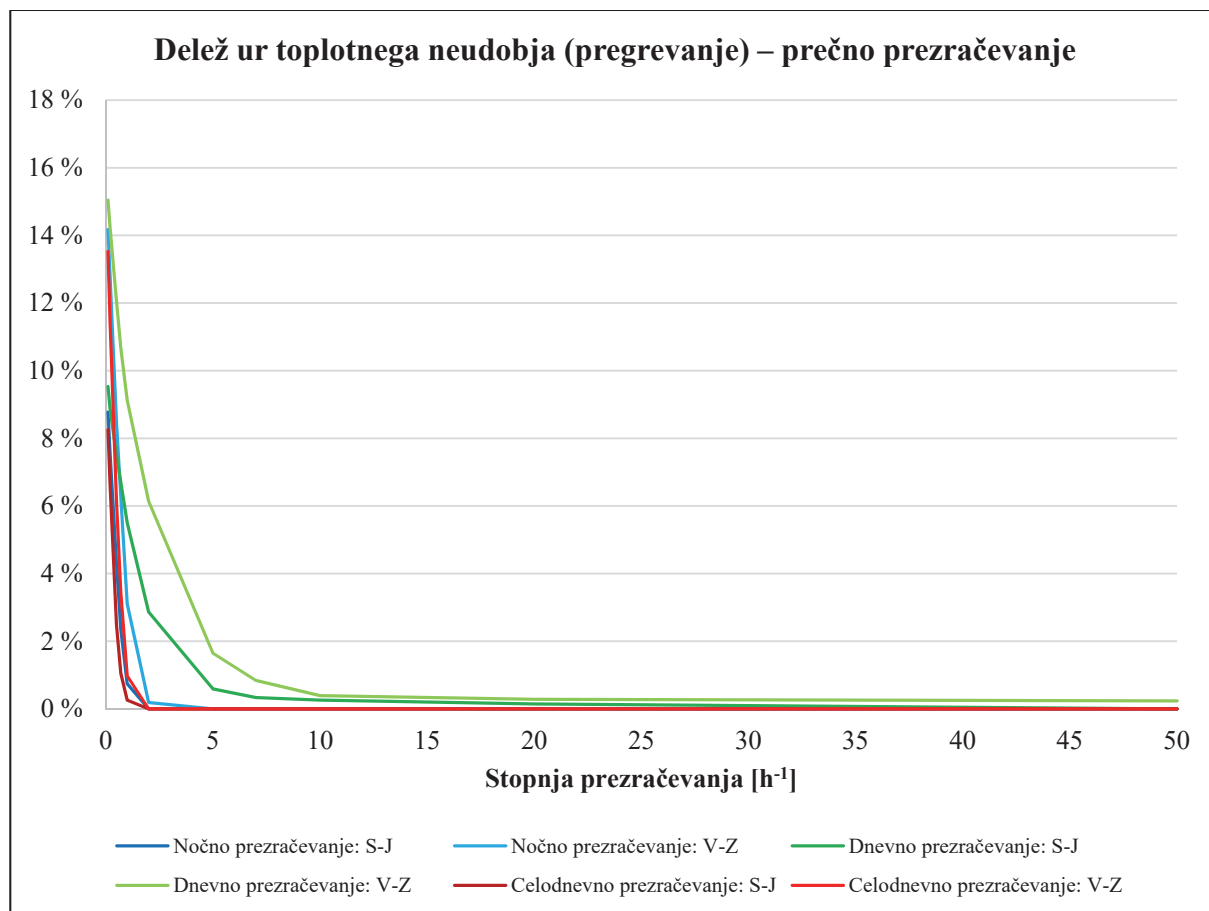
Preglednica 18: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih stopnjah prezračevanja za prečno celodnevno prezračevanje – načrtovana metoda.

Table 18: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for cross all-day ventilation – Scheduled method.

		ŠTEVILO UR										
		<i>Celodnevno prezračevanje</i>										
		Stopnja prezračevanja [h ⁻¹]										
		0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	7	10	20	50
Orientacija S–J	28	8,5	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	175,7	145,8	55,5	23,5	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	468,5	439,3	355,2	308,7	241,0	125,5	59,7	51,3	45,0	33,2	25,7
	25	404,2	372,7	376,2	363,2	331,5	277,8	234,2	221,7	210,7	202,5	189,2
	24	371,5	386,7	351,2	346,5	364,7	309,7	252,0	236,2	226,0	214,5	205,3
	23	196,8	252,5	367,8	395,5	417,3	480,5	488,0	463,2	436,8	379,3	310,2
	22	221,0	217,2	254,3	299,3	359,5	490,8	611,8	662,5	699,7	766,3	827,2
	21	229,5	239,8	249,3	253,8	253,2	265,0	288,3	294,3	304,0	310,3	337,7
	20	142,0	154,2	186,8	200,5	211,8	229,5	240,2	243,3	247,2	257,3	266,0
	19	14,3	21,5	35,7	41,0	47,2	53,2	57,8	59,5	62,7	68,5	70,8
Orientacija V–Z	28	48,7	34,7	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	253,2	220,8	133,8	76,8	21,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	444,2	427,0	377,0	342,2	294,8	167,8	77,5	65,8	57,8	48,2	37,0
	25	398,0	375,8	336,0	349,8	337,8	276,7	238,2	226,8	215,8	201,5	194,2
	24	334,0	351,0	349,3	334,3	339,7	312,2	251,2	238,7	226,0	215,5	204,0
	23	163,2	204,3	332,5	364,2	399,0	471,2	506,3	487,2	463,5	407,5	341,2
	22	219,3	214,3	238,3	278,0	331,3	467,5	586,3	629,2	672,2	736,5	797,7
	21	228,2	237,5	252,5	254,3	256,8	263,7	282,8	289,0	297,2	305,3	327,3
	20	132,7	149,7	177,8	195,5	208,0	222,7	234,8	239,0	242,0	252,8	262,0
	19	10,7	16,8	31,5	36,8	42,7	50,3	54,8	56,3	57,5	64,7	68,7
LEGENDA												
Najnižja vrednost				Srednja vrednost (50.percentil)				Najvišja vrednost				

Na grafikonu 14 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja za operativne temperature nad 26 °C za prečno prezračevanje. V povprečju je 3,6 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C in 0,3 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 27 °C. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – pregrevanja 3,1 %, pri dnevnem prezračevanju 5,1 % in pri celodnevnom prezračevanju 2,5 %.

Najvišji delež ur toplotnega neudobja velja za orientacijo V–Z in najmanjši za orientacijo S–J. Pri vseh orientacijah je delež ur pregrevanja višji pri nižjih stopnjah prezračevanja. Za orientacijo S–J velja, da je pregrevanje prisotno do $n = 1 \text{ h}^{-1}$ pri nočnem in celodnevnom ter do $n = 20 \text{ h}^{-1}$ pri dnevnem prezračevanju. Za orientacijo V–Z pa velja, da je pregrevanje prisotno do $n = 2 \text{ h}^{-1}$ pri nočnem prezračevanju, do $n = 50 \text{ h}^{-1}$ pri dnevnem in do $n = 1 \text{ h}^{-1}$ pri celodnevnom prezračevanju. Glede na kriterij Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb je pri orientaciji S–J pri nočnem in celodnevnom prezračevanju nekaj pregrevanja le do $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$ in pri dnevnem prezračevanju do $n = 1 \text{ h}^{-1}$. Za orientacijo V–Z je pri nočnem prezračevanju prisotno pregrevanje do $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$, pri dnevnem prezračevanju do $n = 2 \text{ h}^{-1}$ in pri celodnevnom prezračevanju do $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$.

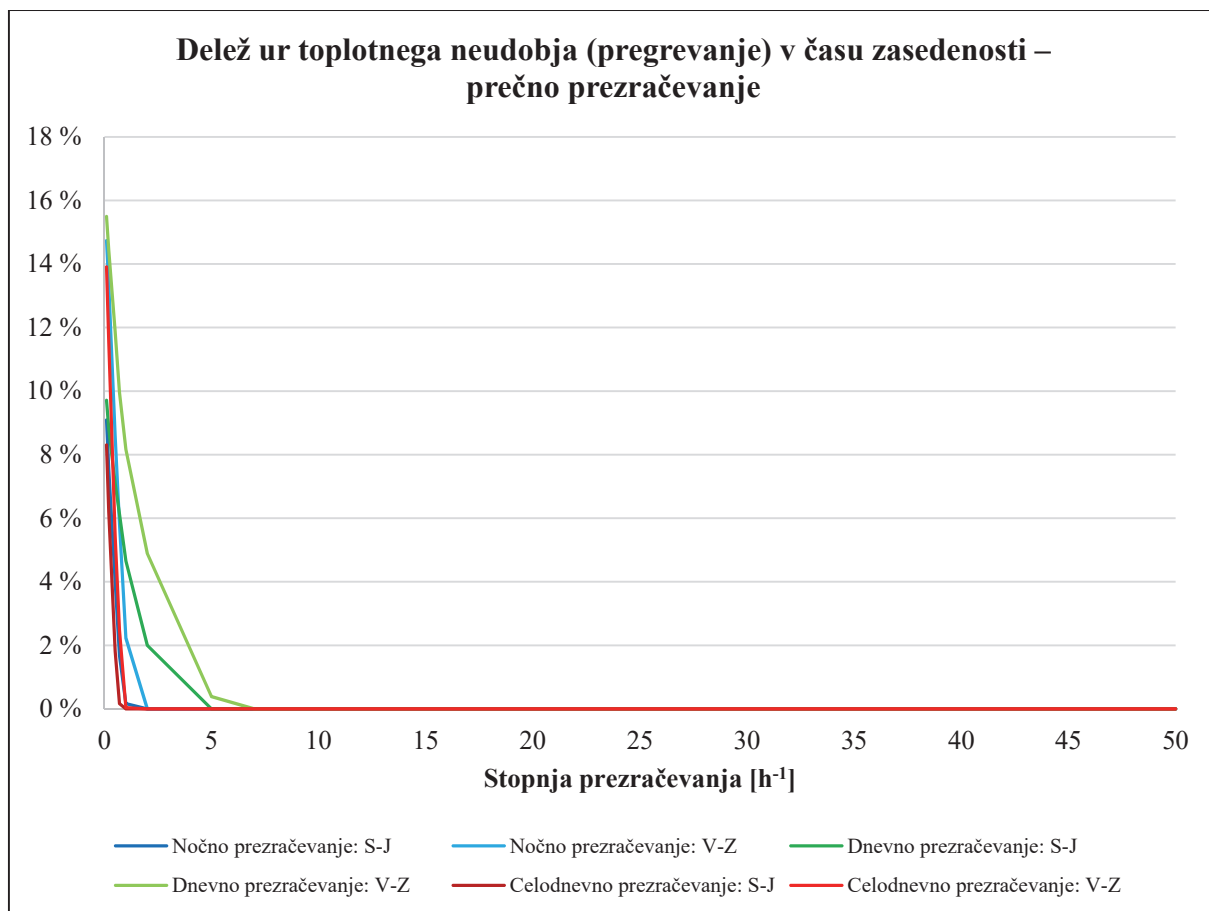


Grafikon 14: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 14: The percentage of hours of thermal discomfort (overheating) for cross ventilation – Scheduled method.

Na grafikonu 15 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja v času zasedenosti za operativne temperature nad $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ za prečno prezračevanje. V povprečju je 3,3 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ in 0,2 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – pregrevanja 3,1 %, pri dnevnem prezračevanju 5,1 % in pri celodnevem prezračevanju 2,5 %.

Najvišji delež ur toplotnega neudobja velja za orientacijo V–Z in najmanjši za orientacijo S–J. Pri vseh orientacijah je delež ur pregrevanja višji pri nižjih stopnjah prezračevanja. Za orientacijo S–J velja, da je pregrevanje prisotno do $n = 1\text{ h}^{-1}$ pri nočnem, do $n = 2\text{ h}^{-1}$ pri dnevnem in do $n = 0,7\text{ h}^{-1}$ pri celodnevem prezračevanju. Za orientacijo V–Z pa velja, da je pregrevanje prisotno do $n = 1\text{ h}^{-1}$ pri nočnem, do $n = 5\text{ h}^{-1}$ pri dnevnem in do $n = 0,7\text{ h}^{-1}$ pri celodnevem prezračevanju. Stanje je nekoliko drugačno glede na kriterij Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Pri orientaciji S–J ne prihaja do pregrevanja za vse tri analizirane čase prezračevanja. Za orientacijo V–Z je pri nočnem in celodnevem prezračevanju prisotno pregrevanje do $n = 0,2\text{ h}^{-1}$ in pri dnevnem prezračevanju do $n = 0,5\text{ h}^{-1}$.

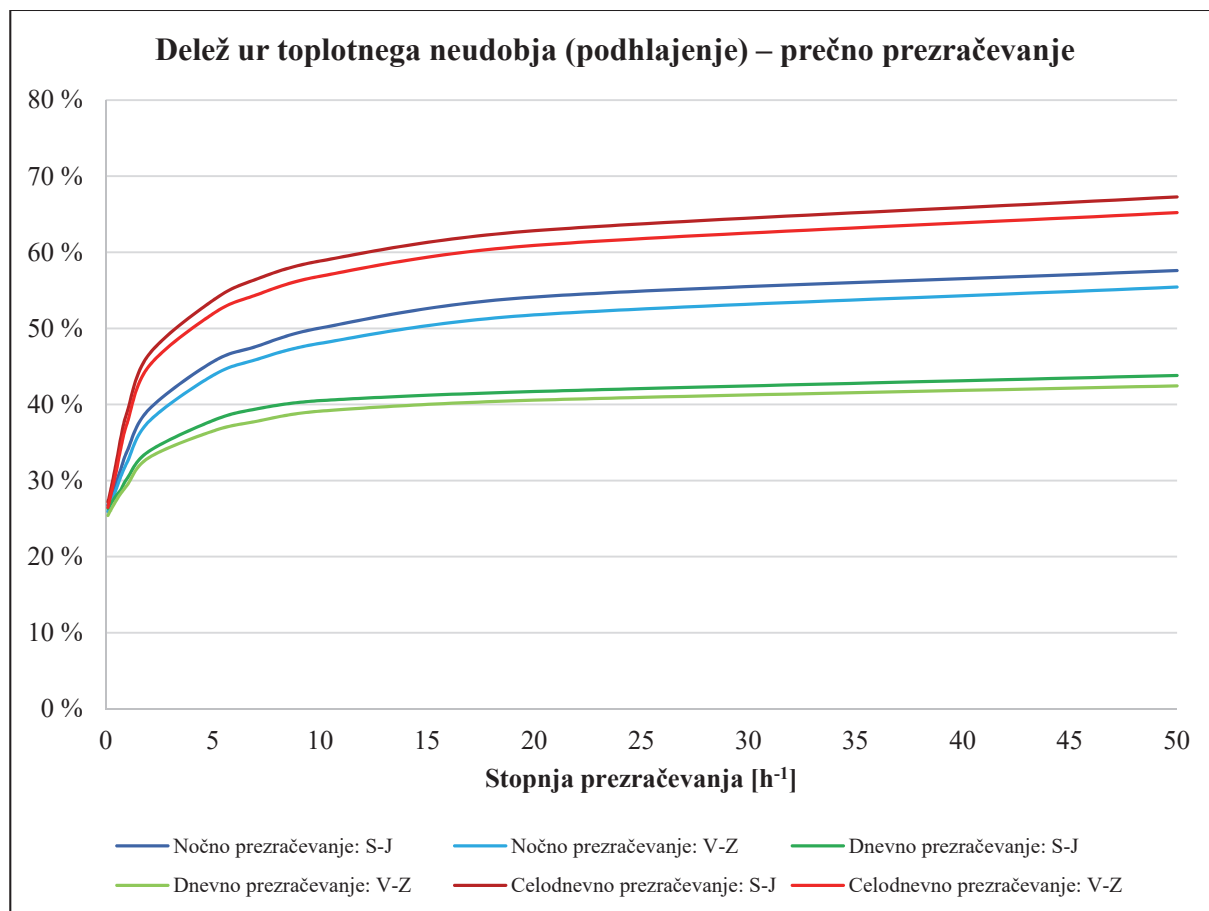


Grafikon 15: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) v času zasedenosti pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 15: The percentage of hours of thermal discomfort (overheating) during the occupancy hours for cross ventilation – Scheduled method.

Na grafikonu 16 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja za operativne temperature pod 23 °C za prečno prezračevanje. V povprečju je 39,6 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 23 °C in 22,1 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 22 °C. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – podhlajenja 39,6 %, pri dnevnem 33,8 % in pri celodnevem 45,5 %. Vse orientacije imajo pri najmanjši stopnji prezračevanja ($n = 0,1 \text{ h}^{-1}$) v povprečju 26,4 % vseh ur pod operativno temperaturo 23 °C, od tega je 16,4 % vseh ur z operativno temperaturo pod 22 °C. Pri najvišji stopnji prezračevanja ($n = 50 \text{ h}^{-1}$) je največji delež ur toplotnega neudobja – podhlajenja pri celodnevem prezračevanju v povprečju 66,3 %, sledi nočno prezračevanje s 56,5 % in dnevno prezračevanje s 43,1 %.

Najvišji delež ur podhlajenja ima v povprečju celodnevno prezračevanje, ki pa ima hkrati najmanjši delež ur pregrevanja. Do podhlajenja prihaja zaradi višjih stopenj prezračevanja in daljšega časovnega delovanja. Pri vseh orientacijah in časih prezračevanja delež ur podhlajenja narašča z naraščanjem stopenj prezračevanja. Delež ur z operativno temperaturo pod 23 °C naraste v povprečju za 28,9 odstotkovnih točk glede na najnižjo in najvišjo stopnjo prezračevanja. Pri deležu ur z operativno temperaturo pod 22 °C pa naraste v povprečju le za 10,1 odstotkovne točke glede na najnižjo in najvišjo stopnjo prezračevanja.

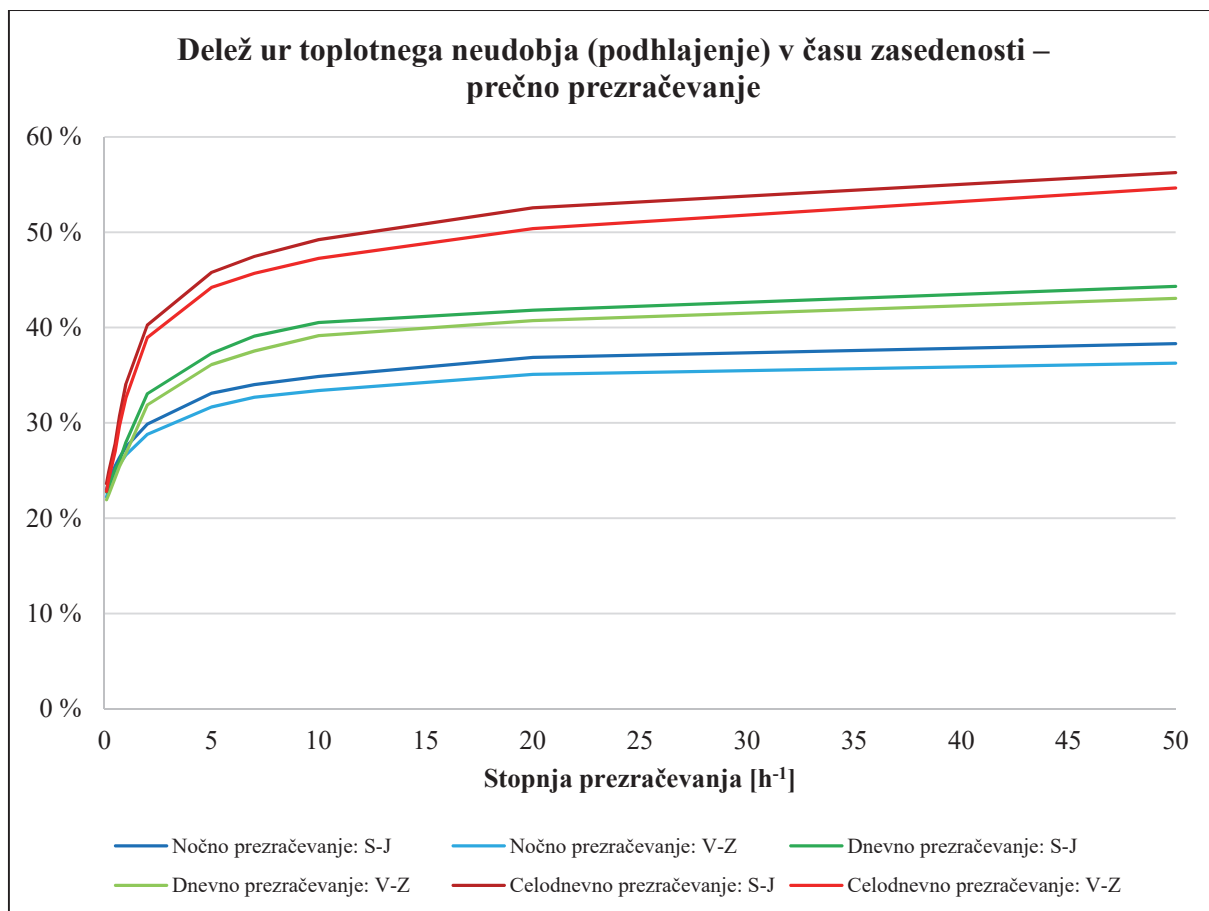


Grafikon 16: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 16: The percentage of hours of thermal discomfort (overcooling) for cross ventilation – Scheduled method.

Na grafikonu 17 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja v času zasedenosti za operativne temperature pod 23 °C za prečno prezračevanje. V povprečju je 33,5 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 23 °C in 17,9 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 22 °C. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – podhlajenja 29,7 %, pri dnevnem 32,3 % in pri celodnevem 38,6 %. Vse orientacije imajo pri najmanjši stopnji prezračevanja ($n = 0,1 \text{ h}^{-1}$) v povprečju 22,7 % vseh ur pod operativno temperaturo 23 °C, od tega je 13 % vseh ur z operativno temperaturo pod 22 °C. Pri najvišji stopnji prezračevanja ($n = 50 \text{ h}^{-1}$) je največji delež ur toplotnega neudobja – podhlajenja pri celodnevem prezračevanju v povprečju 55,4 %, sledi dnevno prezračevanje s 55,4 % in nočno prezračevanje s 37,3 %. V celotnem analiziranem obdobju je pri nočnem prezračevanju višji delež ur toplotnega neudobja kot pri dnevnem prezračevanju. Do večjega podhlajanja prostora prihaja v nočnem času, ki je izven analiziranega časa zasedenosti in ima posledično manjši vpliv na delež ur toplotnega neudobja.

Najvišji delež ur podhlajenja ima v povprečju še vedno celodnevno prezračevanje, ki pa ima hkrati najmanjši delež ur pregrevanja. Delež ur z operativno temperaturo pod 23 °C naraste v povprečju za 22,8 odstotkovnih točk glede na najnižjo in najvišjo stopnjo prezračevanja in za 8,5 odstotkovnih točk pri deležu ur z operativno temperaturo pod 22 °C.



Grafikon 17: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) v času zasedenosti pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 17: The percentage of hours of thermal discomfort (overcooling) during the occupancy hours for cross ventilation – Scheduled method.

4.1.5 Maksimalne in povprečne stopnje prezračevanja

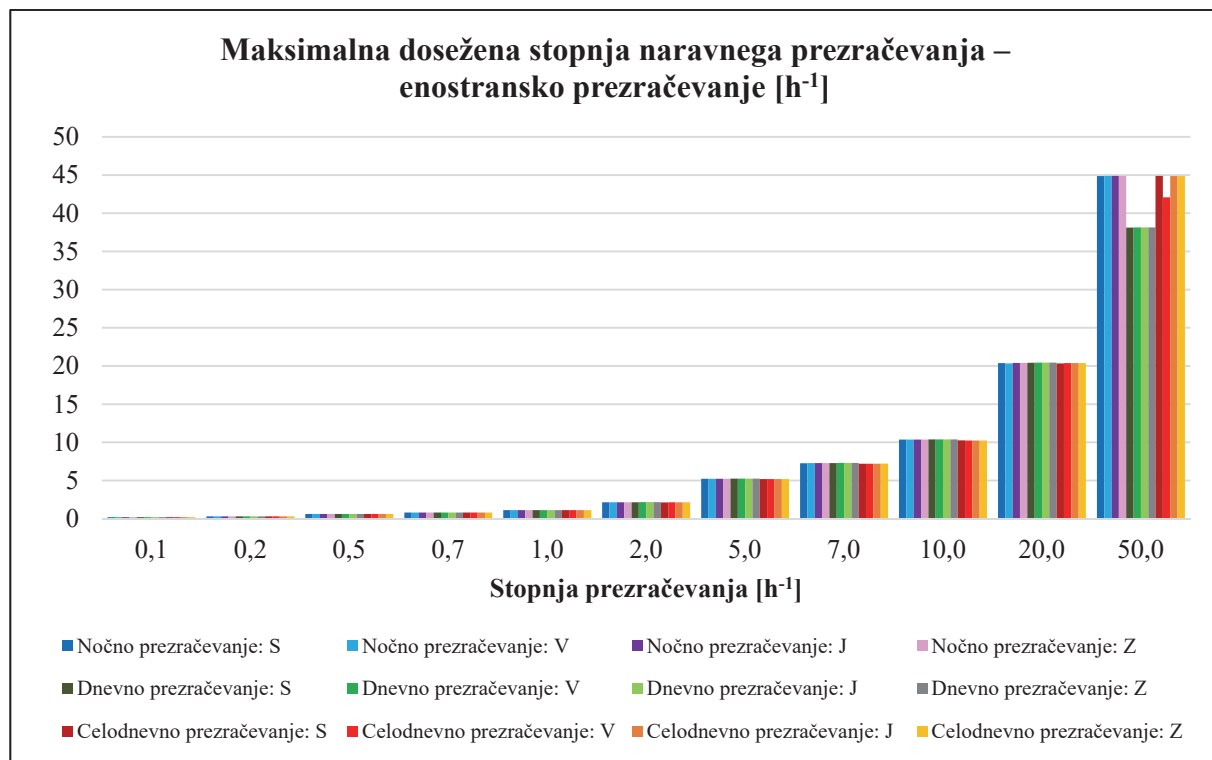
V preglednici 19 so prikazane vrednosti maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja glede na načrtovano maksimalno stopnjo prezračevanja pri enostranskem prezračevanju. V vrednostih je zajeta tudi infiltracija skozi odprtine stavbnega ovoja, zaradi česar so določene maksimalne vrednosti višje od načrtovanih vrednosti. Preostale vrednosti so manjše od načrtovanih, saj so maksimalne vrednosti dosežene glede na notranje in zunanje temperature za doseganje ustreznih notranjih pogojev.

Maksimalne dosežene stopnje prezračevanja se bistveno ne spreminjajo pri različnih časih prezračevanja, opazna razlika je le pri $n = 50 \text{ h}^{-1}$, kjer je pri dnevnem prezračevanju v primerjavi z nočnim in celodnevnim prezračevanjem razlika med najvišjo in najnižjo vrednostjo kar 17,8 %. Minimalne spremembe maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja pri različnih orientacijah in časih prezračevanja so opazne šele pri $n = 2 \text{ h}^{-1}$. Le-te se razlikujejo za 1,4 % med najvišjo in najnižjo maksimalno doseženo stopnjo prezračevanja.

Preglednica 19: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.**Table 19: Maximum achieved rate of natural ventilation for single-sided ventilation – Scheduled method.**

Stopnja prezračevanja [h ⁻¹]	Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja [h ⁻¹]											
	Nočno prezračevanje				Dnevno prezračevanje				Celodnevno prezračevanje			
	Orientacija				Orientacija				Orientacija			
	S	V	J	Z	S	V	J	Z	S	V	J	Z
0,1	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
0,2	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
0,5	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
0,7	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
1,0	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
2,0	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,17	2,17	2,17	2,14	2,15	2,15	2,15
5,0	5,24	5,24	5,24	5,24	5,25	5,25	5,25	5,25	5,19	5,19	5,19	5,19
7,0	7,27	7,28	7,28	7,28	7,29	7,30	7,30	7,30	7,21	7,21	7,21	7,22
10,0	10,36	10,36	10,36	10,36	10,38	10,39	10,39	10,39	10,26	10,24	10,24	10,24
20,0	20,37	20,34	20,41	20,41	20,42	20,45	20,45	20,45	20,34	20,37	20,37	20,37
50,0	44,87	44,89	44,89	44,89	38,12	38,14	38,14	38,14	44,89	42,08	44,87	44,87

Na grafikonu 18 so prikazane maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja glede na načrtovano maksimalno stopnjo prezračevanja za enostransko prezračevanje. Skozi različne načrtovane stopnje prezračevanja se maksimalne vrednosti bistveno ne spreminjajo glede na orientacije in čas delovanja. Razlika je vidna pri najvišji načrtovani stopnji naravnega prezračevanja ($n = 50 \text{ h}^{-1}$), kjer je maksimalna dosežena stopnja dnevnega prezračevanja za 17,8 % nižja od nočnega in celodnevnega prezračevanja.

**Grafikon 18: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.****Graph 18: Maximum achieved rate of natural ventilation for single-sided ventilation – Scheduled method.**

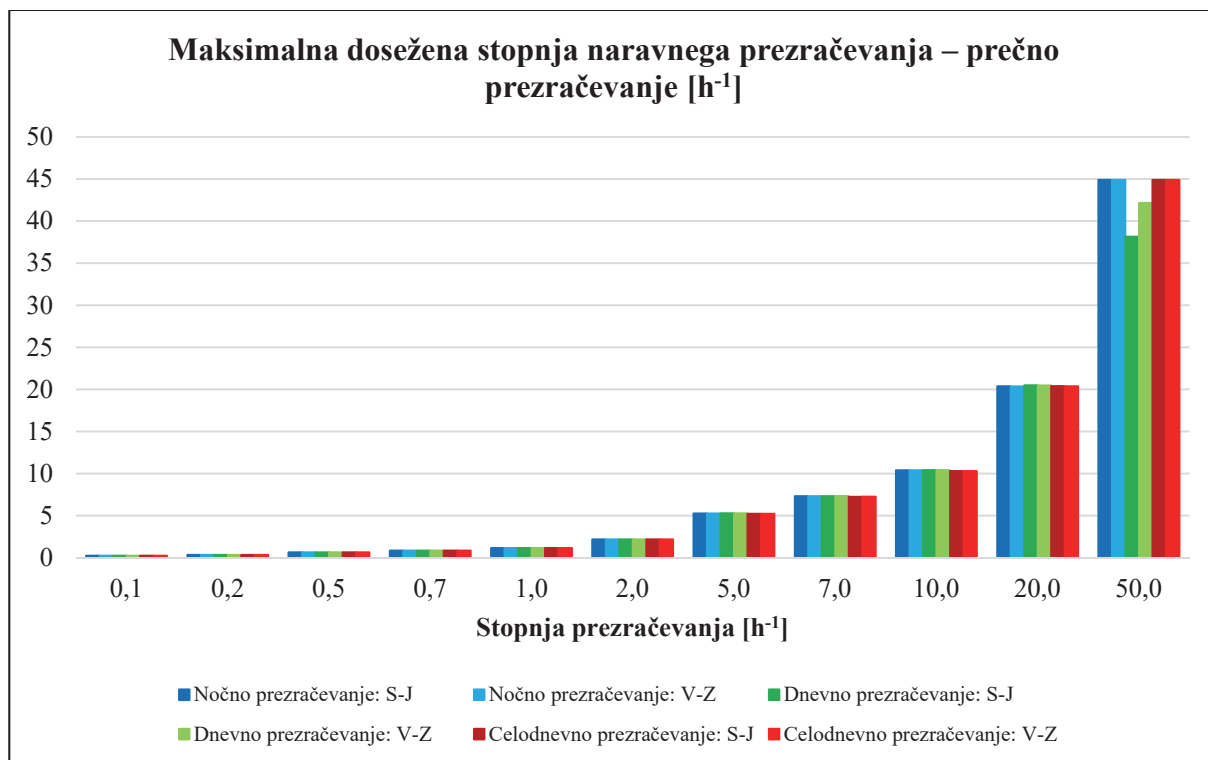
V preglednici 20 so prikazane vrednosti maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja glede na načrtovano maksimalno stopnjo prezračevanja pri prečnem prezračevanju. V vrednostih je zajeta tudi infiltracija skozi odprtine stavbnega ovoja, zaradi česar so maksimalne vrednosti višje od načrtovanih vrednosti. Tako kot pri prečnem se tudi pri enostranskem prezračevanju maksimalne dosežene stopnje prezračevanja bistveno ne spreminjajo pri različnih časih prezračevanja, opazna razlika je le pri $n = 50 \text{ h}^{-1}$, kjer je pri dnevnem prezračevanju v primerjavi z nočnim in celodnevno razlika med najvišjo in najnižjo vrednostjo kar 17,7 %. Minimalne spremembe maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja pri različnih orientacijah in časih prezračevanja so opazne šele pri $n = 2 \text{ h}^{-1}$. Le-te se razlikujejo za 0,5 % med najvišjo in najnižjo maksimalno doseženo stopnjo prezračevanja.

Preglednica 20: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Table 20: Maximum achieved rate of natural ventilation for cross ventilation – Scheduled method.

Stopnja prezračevanja [h ⁻¹]	Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja [h ⁻¹]					
	<i>Nočno prezračevanje</i>		<i>Dnevno prezračevanje</i>		<i>Celodnevno prezračevanje</i>	
	Orientacija		Orientacija		Orientacija	
	S-J	V-Z	S-J	V-Z	S-J	V-Z
0,1	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
0,2	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
0,5	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
0,7	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
1,0	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
2,0	2,19	2,19	2,19	2,19	2,18	2,18
5,0	5,27	5,27	5,28	5,28	5,22	5,22
7,0	7,31	7,31	7,32	7,33	7,24	7,25
10,0	10,39	10,40	10,42	10,42	10,30	10,30
20,0	20,37	20,35	20,49	20,48	20,40	20,37
50,0	44,91	44,91	38,16	42,17	44,91	44,91

Na grafikonu 19 so prikazane maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja glede na načrtovano maksimalno stopnjo prezračevanja za prečno prezračevanje. Skozi različne načrtovane stopnje prezračevanja se maksimalne vrednosti bistveno ne spreminjajo glede na orientacije in čas delovanja. Razlika je vidna pri najvišji načrtovani stopnji naravnega prezračevanja ($n = 50 \text{ h}^{-1}$), kjer je maksimalna dosežena stopnja dnevnega prezračevanja za 17,7 % manjša od nočnega in celodnevnega prezračevanja.



Grafikon 19: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.

Graph 19: Maximum achieved rate of natural ventilation for cross ventilation – Scheduled method.

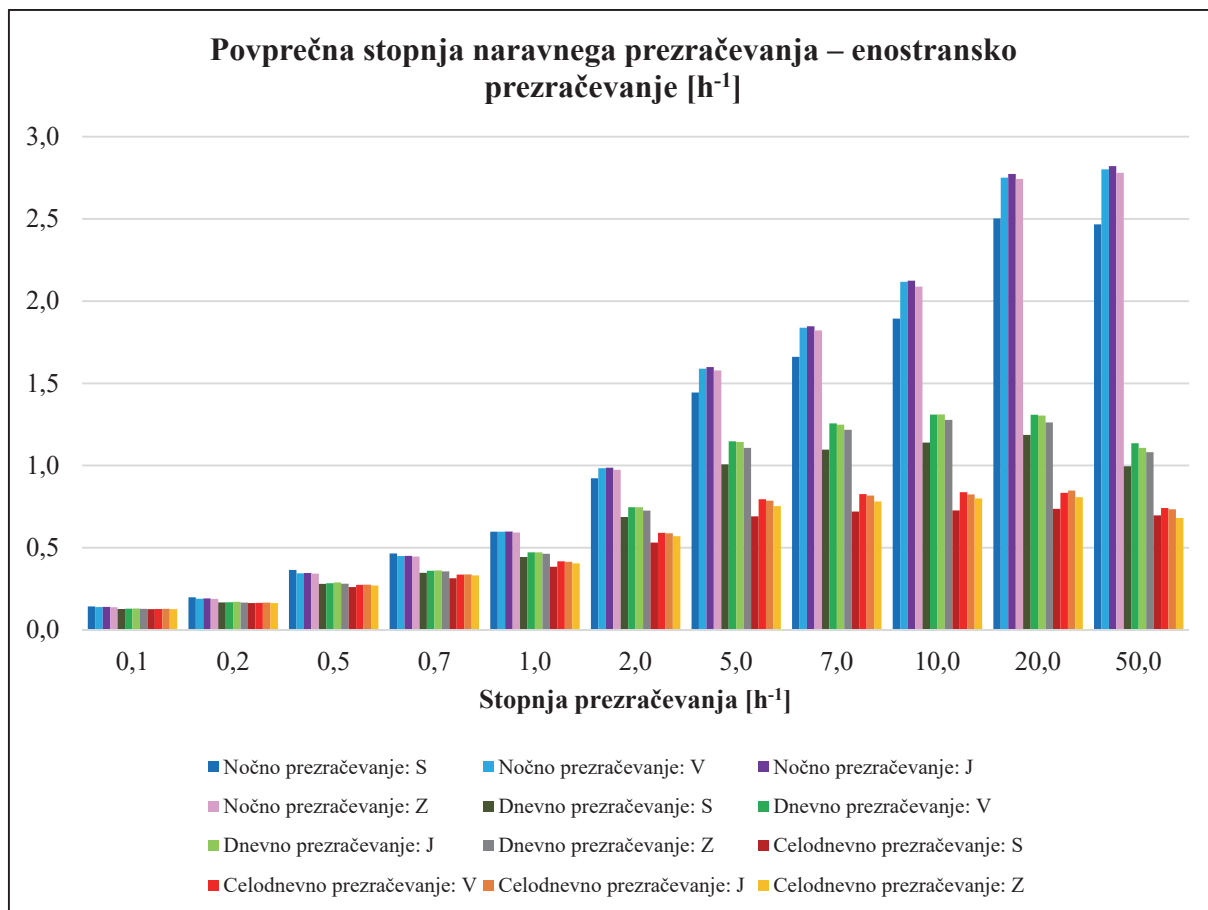
Povprečne stopnje naravnega prezračevanja za enostransko prezračevanje so predstavljene v preglednici 21 in predstavljajo zgolj povprečne vrednosti stopenj naravnega prezračevanja v predpisanem času njegovega delovanja. Najvišje povprečne stopnje prezračevanja dosežemo pri nočnem prezračevanju, sledi dnevno in nato celodnevno prezračevanje. V povprečju je razlika med najnižjimi in najvišjimi vrednosti za enako stopnjo prezračevanja 121,3 %, in sicer med nočnim in celodnevno prezračevanjem. Pri nočnem prezračevanju dosegamo v povprečju $n = 1,23 \text{ h}^{-1}$, pri dnevnem $n = 0,73 \text{ h}^{-1}$ in pri celodnevno $n = 0,52 \text{ h}^{-1}$. Najučinkovitejši orientaciji pri doseganju višjih povprečnih stopenj prezračevanja sta orientaciji J in V.

Preglednica 21: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.

Table 21: Average rate of natural ventilation for single-sided ventilation – Scheduled method.

Stopnja prezračevanja [h^{-1}]	Povprečna stopnja naravnega prezračevanja [h^{-1}]											
	Nočno prezračevanje				Dnevno prezračevanje				Celodnevno prezračevanje			
	Orientacija				Orientacija				Orientacija			
	S	V	J	Z	S	V	J	Z	S	V	J	Z
0,1	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
0,2	0,20	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16
0,5	0,36	0,34	0,35	0,34	0,28	0,28	0,29	0,28	0,26	0,27	0,28	0,27
0,7	0,46	0,45	0,45	0,45	0,35	0,36	0,36	0,36	0,31	0,34	0,34	0,33
1,0	0,60	0,60	0,60	0,59	0,44	0,47	0,47	0,46	0,38	0,42	0,41	0,40
2,0	0,92	0,98	0,99	0,97	0,69	0,75	0,75	0,73	0,53	0,59	0,59	0,57
5,0	1,44	1,59	1,60	1,58	1,01	1,15	1,14	1,11	0,69	0,79	0,79	0,75
7,0	1,66	1,84	1,85	1,82	1,10	1,26	1,25	1,22	0,72	0,83	0,82	0,78
10,0	1,89	2,12	2,12	2,09	1,14	1,31	1,31	1,28	0,73	0,84	0,82	0,80
20,0	2,50	2,75	2,77	2,74	1,19	1,31	1,30	1,26	0,74	0,83	0,85	0,81
50,0	2,47	2,80	2,82	2,78	1,00	1,14	1,11	1,08	0,70	0,74	0,73	0,68

Glede na grafični prikaz povprečnih stopenj naravnega prezračevanja za enostransko prezračevanje (Grafikon 20) lahko vidimo, da skozi vse stopnje prezračevanja prevladuje nočno prezračevanje, sledi dnevno in nato celodnevno prezračevanje. Z višanjem stopenj prezračevanja se viša tudi razlika med najvišjimi in najnižjimi vrednostmi povprečnih stopenj prezračevanja, od 12,9 % do 314,5 %.



Grafikon 20: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – načrtovana metoda.

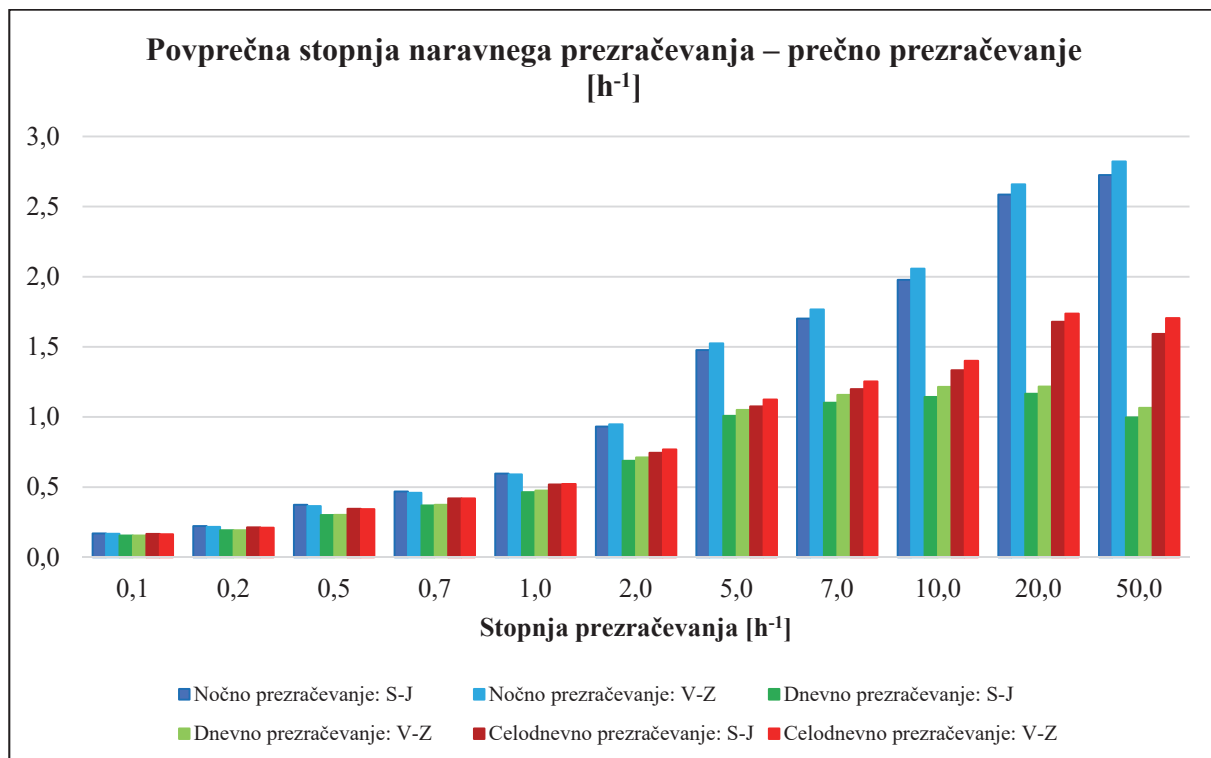
Graph 20: Average rate of natural ventilation for single-sided ventilation – Scheduled method.

Povprečne vrednosti stopenj naravnega prezračevanja so za prečno prezračevanje predstavljene v preglednici 22. Najvišje povprečne stopnje prezračevanja dosežemo pri nočnem prezračevanju, sledi celodnevno in nato dnevno prezračevanje. Pri enostranskem prezračevanju so bile povprečne vrednosti stopenj prezračevanja višje pri dnevnem prezračevanju kot pri celodnevnem. V povprečju je razlika med najnižjimi in najvišjimi vrednostmi za enako stopnjo prezračevanja 58,7 %, in sicer med nočnim in dnevnim prezračevanjem. Pri nočnem prezračevanju dosegamo v povprečju $n = 1,22 \text{ h}^{-1}$, pri dnevnem $n = 0,70 \text{ h}^{-1}$ in pri celodnevem $n = 0,86 \text{ h}^{-1}$. Najučinkovitejša orientacija pri doseganju višjih povprečnih stopenj prezračevanja je orientacija V–Z.

Preglednica 22: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.**Table 22: Average rate of natural ventilation for cross ventilation – Scheduled method.**

Stopnja prezračevanja [h ⁻¹]	Povprečna stopnja naravnega prezračevanja [h ⁻¹]					
	<u>Nočno prezračevanje</u>		<u>Dnevno prezračevanje</u>		<u>Celodnevno prezračevanje</u>	
	Orientacija		Orientacija		Orientacija	
	S-J	V-Z	S-J	V-Z	S-J	V-Z
0,1	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16
0,2	0,22	0,22	0,19	0,19	0,21	0,21
0,5	0,37	0,36	0,30	0,30	0,35	0,34
0,7	0,47	0,46	0,37	0,37	0,42	0,42
1,0	0,60	0,59	0,46	0,48	0,52	0,52
2,0	0,93	0,95	0,69	0,71	0,75	0,77
5,0	1,48	1,52	1,01	1,05	1,08	1,12
7,0	1,70	1,77	1,10	1,16	1,20	1,25
10,0	1,98	2,06	1,14	1,22	1,33	1,40
20,0	2,59	2,66	1,17	1,22	1,68	1,74
50,0	2,73	2,82	1,00	1,06	1,59	1,71

Pri prečnem prezračevanju pa ne glede na stopnjo prezračevanja prevladuje nočno prezračevanje (glede na doseženo povprečno vrednost), ki mu sledi celodnevno in dnevno prezračevanje za razliko, ko je pri enostranskem prezračevanju višje povprečne stopnje dosegalo dnevno prezračevanje kot celodnevno (Grafikon 21). Z višanjem stopenj prezračevanja se viša tudi razlika med najvišjimi in najnižjimi vrednostmi povprečnih stopenj prezračevanja, od 9,7 % do 183,0 %.

**Grafikon 21: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – načrtovana metoda.****Graph 21: Average rate of natural ventilation for cross ventilation – Scheduled method.**

4.2 Naravno prezračevanje – izračunana metoda

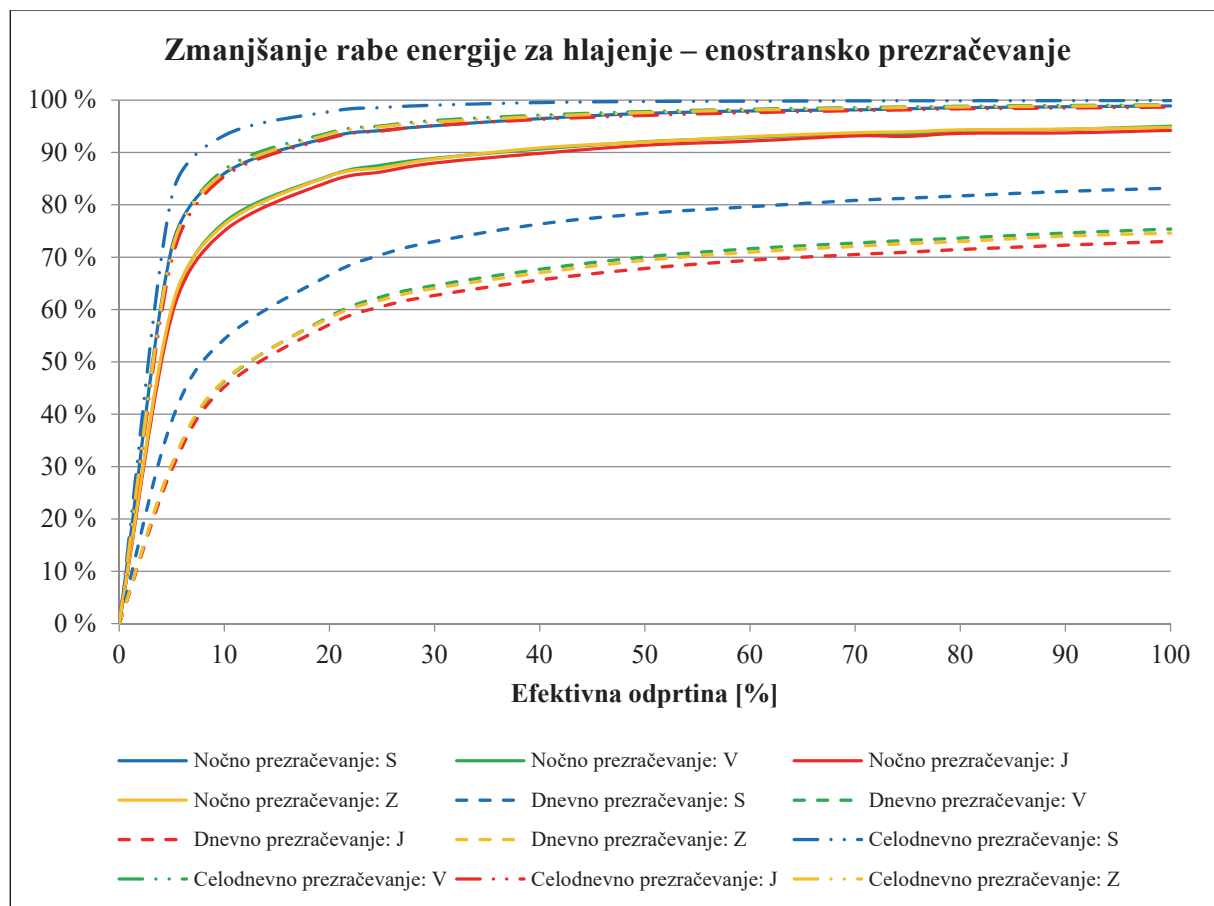
V drugem delu analize se je preučevala izračunana metoda. Spremenljivka, ki je bila analizirana, je velikost efektivne odprtine. Poleg le-te sta se spreminjala tudi način in čas prezračevanja. S spreminjanjem velikosti efektivne odprtine smo opazovali vpliv le-te na zmanjšanje rabe energije za hlajenje in notranje pogoje.

4.2.1 Prezračevanje glede na smer prezračevanja

Pri izračunani metodi so se analizirale različne efektivne odprtine in njihov vpliv na zmanjšanje rabe energije za hlajenje, operativno temperaturo, notranje pogoje in stopnjo prezračevanja. Iz grafikona 22 je razvidno, da je za zmanjšanje rabe energije za hlajenje naravno prezračevanje najmanj učinkovito, če ga uporabljamo zgolj v dnevnem času, in najbolj učinkovito, če je na razpolago ves čas (ko so izpolnjeni pogoji). V povprečju lahko z dnevnim prezračevanjem zmanjšamo rabo energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja v primerjavi z mehanskim hlajenjem za 66,2 %. Največ se zmanjša za 83,2 % pri orientaciji S pri 100 % efektivni odprtini in najmanj za 29,4 % pri orientaciji J pri 5 % efektivni odprtini. Nočno prezračevanje v povprečju zmanjša rabo energije za hlajenje za 89,4 %. Največ se zmanjša za 98,9 % pri orientaciji S pri 100 % efektivni odprtini in najmanj za 58,8 % pri orientaciji J pri 5 % efektivni odprtini. Pri celodnevem prezračevanju se v povprečju zmanjša raba energije za 95,1 %. Tako kot pri dnevnem in nočnem prezračevanju se tudi pri celodnevem prezračevanju največ zmanjša za 99,9 % pri orientaciji S pri 100 % efektivni odprtini in najmanj za 69,5 % pri orientaciji J pri 5 % efektivni odprtini.

Nočno prezračevanje je v povprečju učinkovitejše za 23,2 odstotkovnih točk v primerjavi z dnevnim (za največ 33,0 odstotkovnih točk in najmanj 15,7 odstotkovnih točk) in celodnevno prezračevanje učinkovitejše za 29,0 odstotkovnih točk v primerjavi z dnevnim (za največ 42,8 odstotkovnih točk in najmanj 16,7 odstotkovnih točk). Pri celodnevem prezračevanju pri 5 % efektivni odprtini dosežemo nad 69,5 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje v primerjavi z mehanskim hlajenjem, pri nočnem prezračevanju dosežemo nad 58,8 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje in pri dnevnem prezračevanju nad 29,4 %. Če 5 % efektivno odprtino povečamo za 2-krat, se raba energije za hlajenje v povprečju zmanjša za 1,3-krat za nočno prezračevanje, 1,5-krat za dnevno prezračevanje in 1,2-krat za celodnevno prezračevanje. Če efektivno odprtino povečamo za 20-krat, se raba energije za hlajenje v povprečju zmanjša za 1,5-krat za nočno prezračevanje, 2,4-krat za dnevno prezračevanje in 1,4-krat za celodnevno prezračevanje. Povečanje efektivnih odprtin ima večji vpliv na zmanjšanje rabe energije za hlajenje pri dnevnem prezračevanju kot pri nočnem ali celodnevem prezračevanju.

Pri celodnevem prezračevanju je učinkovitost orientacije S za zmanjšanje rabe energije za hlajenje v povprečju 97,6 %, pri čemer 99 % učinkovitost dosežemo že pri 30 % efektivni odprtini ($1,8 \text{ m}^2$). Pri enaki efektivni odprtini pri nočnem prezračevanju dosežemo 95,1 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje, pri dnevnem prezračevanju pa le 73,0 %.



Grafikon 22: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.

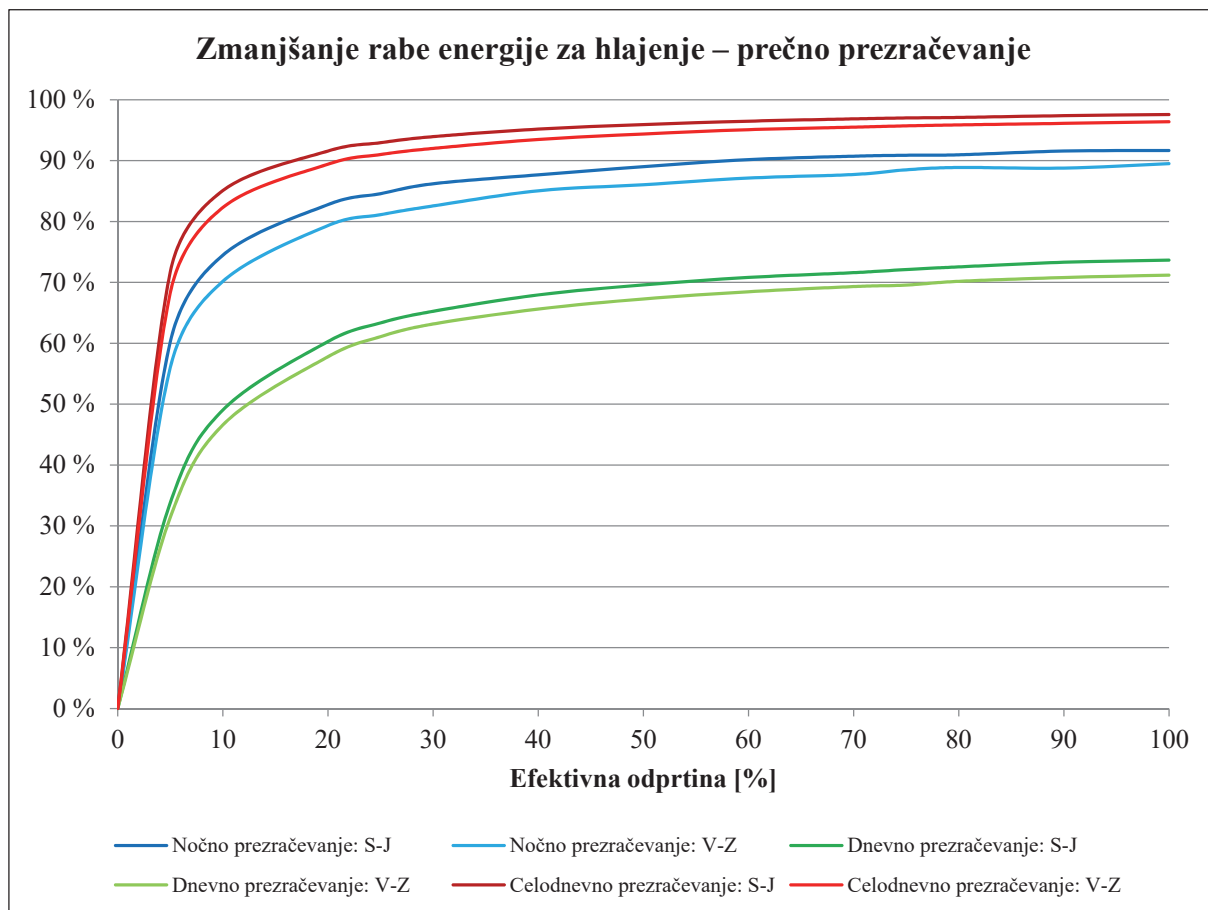
Graph 22: Reduction of energy consumption for cooling with natural ventilation for single-sided ventilation – Calculated method.

Iz analiziranja prečnega prezračevanja za zmanjšanje rabe energije za hlajenje je razvidno, da je tudi tu naravno prezračevanje najmanj učinkovito v dnevnem času in najbolj učinkovito, če je na razpolago ves čas (ko so izpolnjeni pogoji) (Grafikon 23). Pri nočnem prezračevanju se raba energije za hlajenje v primerjavi z mehanskim hlajenjem zmanjša v povprečju za 83,9 %. Največ se zmanjša za 91,7 % pri orientaciji S–J pri 100 % efektivni odprtini in najmanj za 56,0 % pri orientaciji V–Z pri 5 % efektivni odprtini. Dnevno prezračevanje v povprečju zmanjša rabo energije za hlajenje za 63,7 %. Največ se zmanjša za 73,7 % pri orientaciji S–J pri 100 % efektivni odprtini in najmanj za 31,4 % pri orientaciji V–Z pri 5 % efektivni odprtini. Pri celodnevno prezračevanju se v povprečju zmanjša raba energije za 92,1 %. Tako kot pri dnevnem in nočnem prezračevanju se tudi pri celodnevno največ zmanjša za 97,6 % pri orientaciji S–J pri 100 % efektivni odprtini in najmanj za 68,3 % pri orientaciji V–Z pri 5 % efektivni odprtini.

Nočno prezračevanje je v povprečju učinkovitejše za 20,2 odstotkovnih točk v primerjavi z dnevnim (za največ 26,4 odstotkovnih točk in najmanj 18,0 odstotkovnih točk) in celodnevno prezračevanje je učinkovitejše za 8,2 odstotkovnih točk v primerjavi z dnevnim (za največ 12,3 odstotkovnih točk in najmanj 5,8 odstotkovnih točk). V primerjavi z mehanskim hlajenjem pri celodnevno prezračevanju pri 5 % efektivni odprtini dosežemo nad 68,3 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje, pri nočnem prezračevanju dosežemo nad 56,0 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje in pri dnevnem prezračevanju nad 31,4 %. Če 5 % efektivno odprtino povečamo za 2-krat, se raba energije za hlajenje v povprečju zmanjša za 1,2-krat za nočno prezračevanje, 1,5-krat za dnevno prezračevanje in 1,2-krat za celodnevno

prezračevanje. Če efektivno odprtino povečamo za 20-krat, se raba energije za hlajenje v povprečju zmanjša za 1,6-krat za nočno prezračevanje, 2,2-krat za dnevno prezračevanje in 1,4-krat za celodnevno prezračevanje. Povečanje efektivnih odprtini ima večji vpliv na zmanjšanje rabe energije za hlajenje pri dnevnem prezračevanju kot pri nočnem ali celodnevem prezračevanju.

Pri celodnevem prezračevanju je učinkovitost orientacije S–J za zmanjšanje rabe energije za hlajenje v povprečju 93,0 %, pri čemer 91,6 % učinkovitost dosežemo že pri 20 % efektivni odprtini (1,2 m²). Pri enaki efektivni odprtini pri nočnem prezračevanju dosežemo 82,8 % zmanjšanje rabe energije za hlajenje in pri dnevnem prezračevanju le 60,3 %.

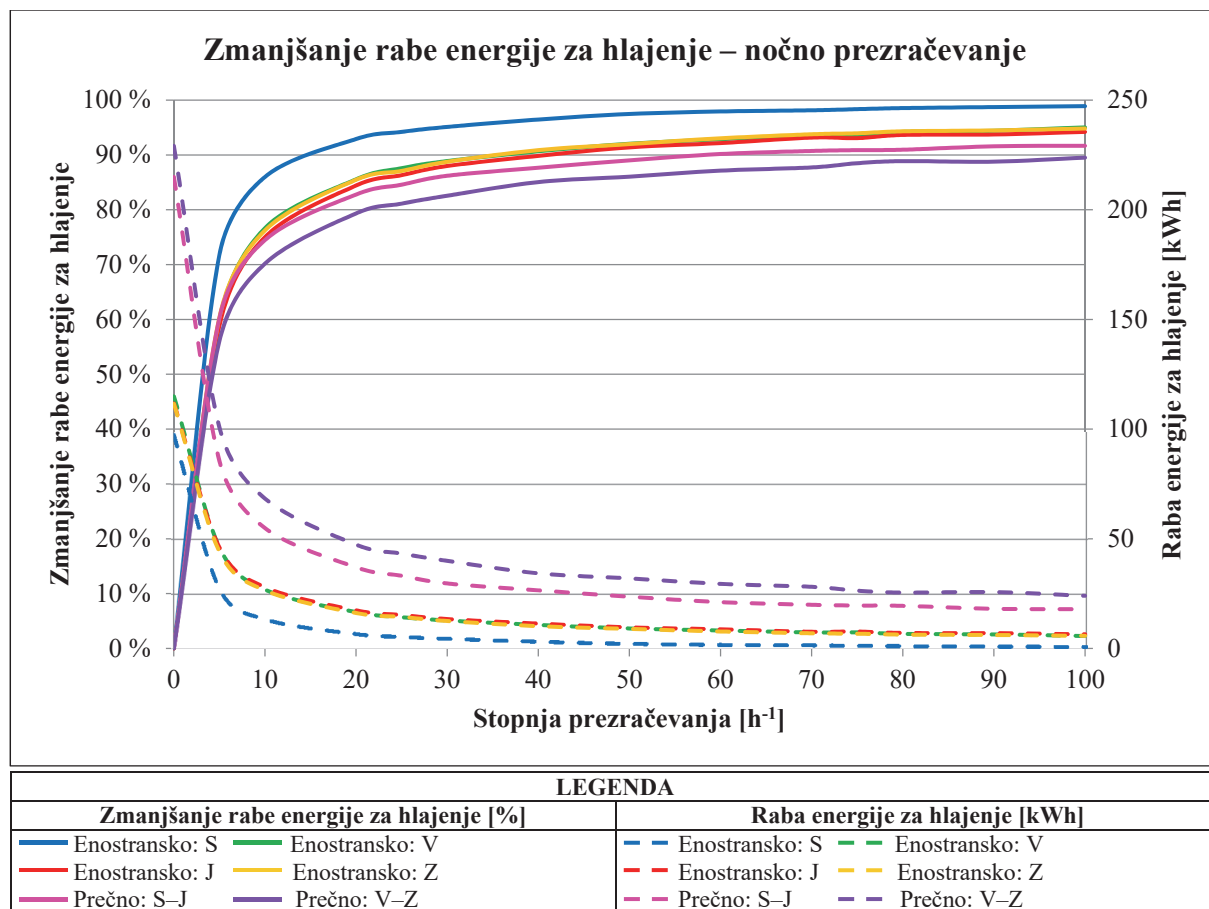


Grafikon 23: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 23: Reduction of energy consumption for cooling with natural ventilation for cross ventilation – Calculated method.

4.2.2 Prezračevanje glede na čas prezračevanja

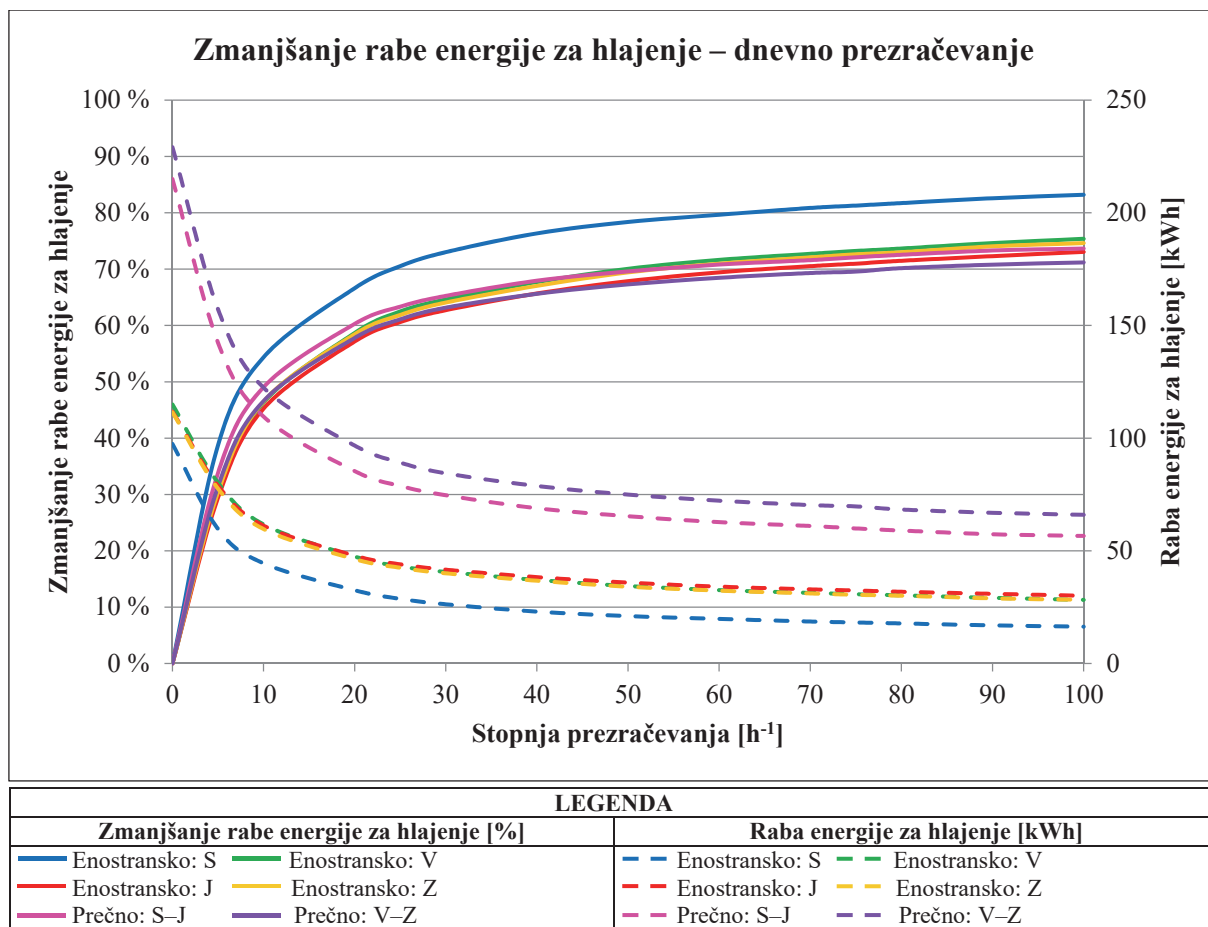
Enostransko prezračevanje je najučinkovitejši način nočnega prezračevanja glede na razmerje med rabo energije za hlajenje z naravnim prezračevanjem in rabo energije z mehanskim hlajenjem (Grafikon 24). V povprečju je enostransko prezračevanje učinkovitejše za 5,5 odstotkovnih točk kot prečno prezračevanje pri zmanjšanju rabe energije za hlajenje v primerjavi z mehanskim hlajenjem. Najvišja sprememba je opazna pri orientaciji S, ki je glede na orientacijo S–J prečnega prezračevanja višja za 8,7 odstotkovnih točk. Enostransko prezračevanje je manj učinkovito zgolj pri 5 % efektivni odprtini pri orientaciji J.



Grafikon 24: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije s pomočjo naravnega prezračevanja pri nočnem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 24: Reduction of cooling energy consumption and cooling energy consumption with natural ventilation for night ventilation – Calculated method.

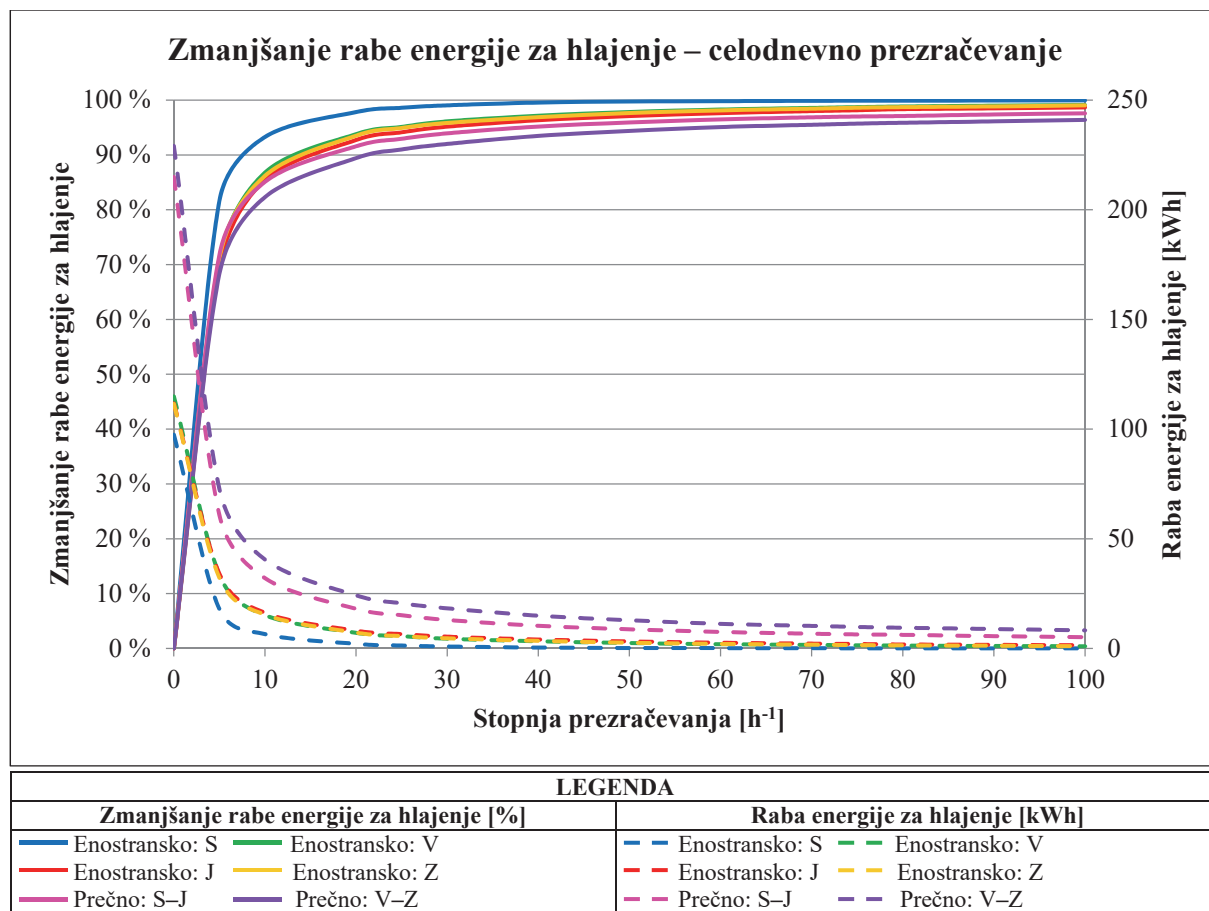
Enostransko prezračevanje je najučinkovitejši način dnevnega prezračevanja (Grafikon 25). V povprečju je enostransko prezračevanje učinkovitejše za 2,5 odstotkovnih točk kot prečno prezračevanje pri zmanjšanju rabe energije za hlajenje v primerjavi z mehanskim hlajenjem. Najvišja sprememba je opazna pri orientaciji S, ki je glede na orientacijo S-J prečnega prezračevanja višja za 8,0 odstotkovnih točk. Pri dnevnem prezračevanju je v povprečju orientacija J enostranskega prezračevanja manj učinkovita za 2,1 odstotkovnih točk kot prečno prezračevanje orientacije S-J. Slabša učinkovitost ohlajanja prostora je tudi pri 5 % in 10 % efektivni odprtini orientacije V in Z v primerjavi s prečnim prezračevanjem.



Grafikon 25: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije s pomočjo naravnega prezračevanja pri dnevnem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 25: Reduction of cooling energy consumption and cooling energy consumption with natural ventilation for day ventilation – Calculated method.

Tudi pri celodnevem prezračevanju je enostranski način prezračevanja učinkovitejši pri ohlajanju prostora kot prečni način prezračevanja (Grafikon 26). V povprečju je enostransko prezračevanje učinkovitejše za 3,0 odstotkovnih točk kot prečno prezračevanje pri zmanjšanju rabe energije za hlajenje v primerjavi z mehanskim hlajenjem. Najvišja sprememba je opazna pri orientaciji S enostranskega prezračevanja, ki je glede na orientacijo S-J prečnega prezračevanja višja za 4,6 odstotkovnih točk. Enostranski način prezračevanje je v primerjavi s prečnim načinom prezračevanja slabše učinkovit le pri orientaciji J, in sicer pri efektivni odprtini 5 %.

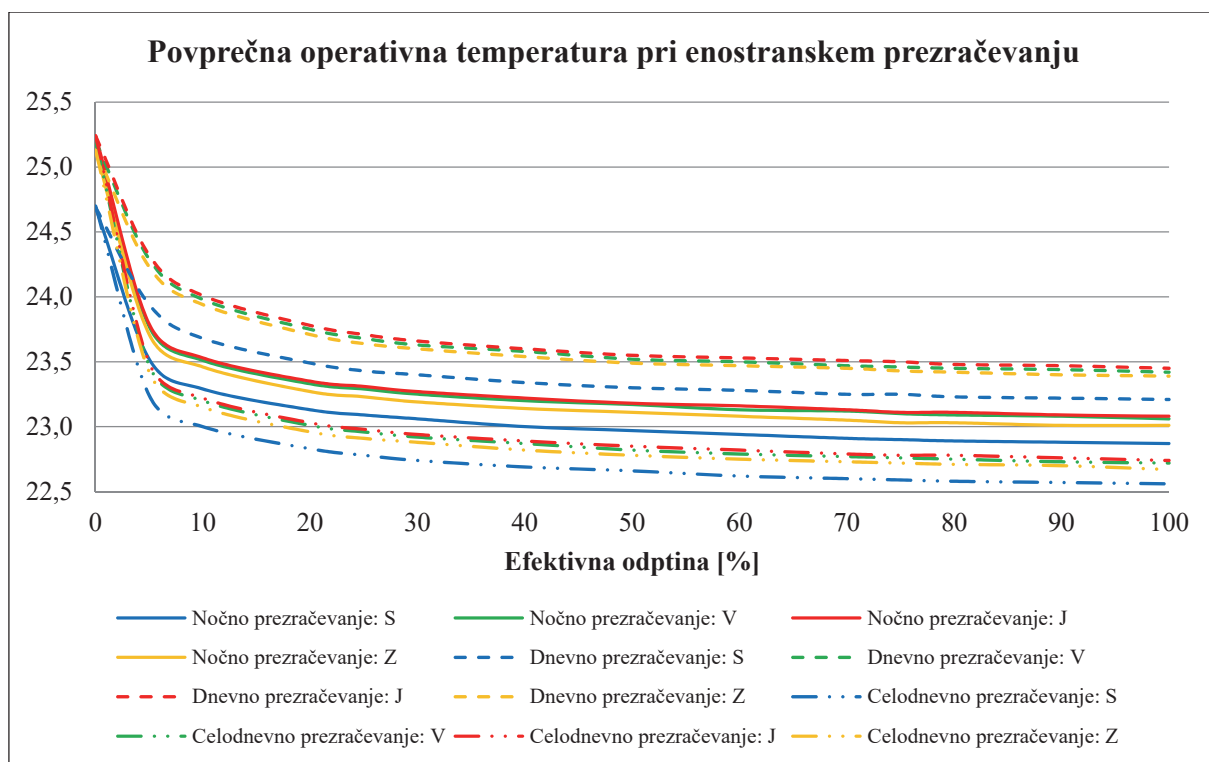


Grafikon 26: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje in raba energije s pomočjo naravnega prezračevanja pri celodnevem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 26: Reduction of cooling energy consumption and cooling energy consumption with natural ventilation for all-day ventilation – Calculated method.

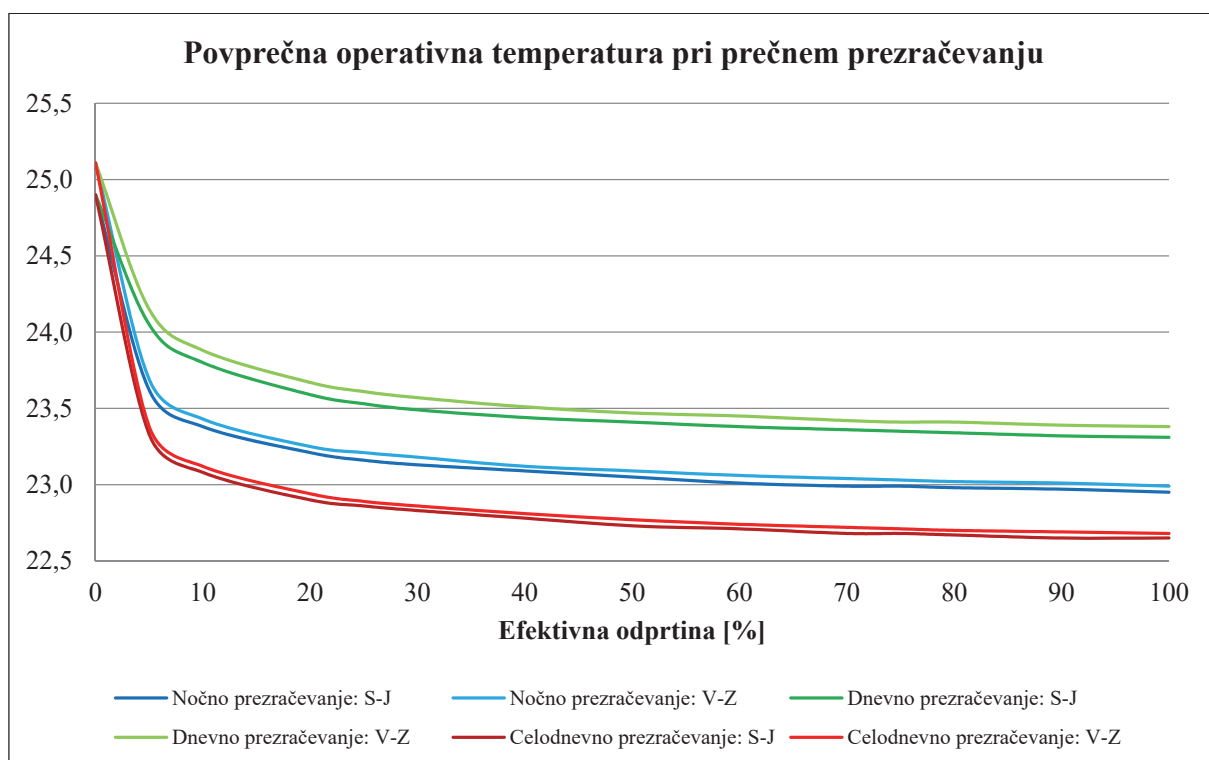
4.2.3 Vpliv prezračevanja na operativno temperaturo

Operativna temperatura se v povprečju giblje med 22,5 °C in 25,5 °C pri enostranskem prezračevanju (Grafikon 27). Najnižje operativne temperature beleži celodnevno prezračevanje orientacije S in najvišje dnevno prezračevanje z orientacijo J. Vse analizirane opcije ne presegajo podanih vrednosti Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb, ki narekuje vrednosti operativne temperature v poletnem času med 22 °C in 27 °C. Enako velja za prečno prezračevanje (Grafikon 28). Najnižje operativne temperature beleži celodnevno prezračevanje z orientacijo S-J in najvišje dnevno prezračevanje z orientacijo V-Z.



Grafikon 27: Povprečna operativna temperatura pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 27: Average operative temperature for single-sided ventilation – Calculated method.



Grafikon 28: Povprečna operativna temperatura pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 28: Average operative temperature for cross ventilation – Calculated method.

4.2.4 Vpliv prezračevanja na toplotno udobje uporabnikov

Cilj naloge je preveriti tudi, kako lahko ob zmanjšanju rabe energije za hlajenje z različnimi načini prezračevanja vplivamo na toplotno udobje uporabnikov. Le-to zagotavlja ustrezna notranja operativna temperatura, ki predstavlja temperaturo med temperaturo zraka v prostoru in srednjo sevalno temperaturo. Za pisarne za več ljudi je v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30] notranja operativna temperatura v času hlajenja določena med 22 °C in 27 °C in v standardu Energijske lastnosti stavb – prezračevanje stavb – 1. del [40] med 23 °C in 26 °C.

Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura, je izraženo s pomočjo srednje vrednosti oz. mediane. Delež ur toplotnega neudobja je izražen v številu ur pri operativni temperaturi nad 26 °C ali pod 23 °C. Izražen je za celotno analizirano obdobje in v času zasedenosti.

V preglednicah od 23 do 25 je prikazana časovna distribucija dosežene notranje operativne temperature v odvisnosti od časa prezračevanja, orientacije odprtin in velikosti efektivnih odprtin za enostransko prezračevanje. Tako pri nočnem kot celodnevem prezračevanju je pri manjši efektivni odprtini časovna distribucija notranje operativne temperature enakomerna in operativna temperatura niha skozi celotno obdobje delovanja. Pri nočnem in celodnevem prezračevanju se že pri 10 % efektivne odprtine število ur razporedi pri operativni temperaturi od 22 °C do 23 °C in se z večanjem efektivne odprtine ustali na 22 °C. Pri 100 % efektivni odprtini predstavlja obdobje z operativno temperaturo 22 °C 35 % delež vseh analiziranih ur pri nočnem prezračevanju in 42 % delež vseh analiziranih ur pri celodnevem prezračevanju.

Pri dnevnem prezračevanju je možno opaziti enakomerno časovno distribucijo dosežene notranje operativne temperature pri različnih efektivnih odprtinah. Manjše efektivne odprtine rezultirajo v višji doseženi operativni temperaturi, obratno pa uporaba večjih efektivnih odprtin privede do nižjih operativnih temperatur. Tako se operativna temperatura giblje od 22 °C pri velikih efektivnih odprtinah do 26 °C pri manjših efektivnih odprtinah. Z večjimi efektivnimi odprtinami tako hitreje in učinkovitejše ohlajamo prostor.

Preglednica 23: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtih za enostransko nočno prezračevanje – izračunana metoda.

Table 23: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for single-sided night ventilation – Calculated method.

		ŠTEVILO UR													
Operativna temperatura [°C]		<i>Nočno prezračevanje</i>													
		Efektivna odprtina [%]													
		0	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
Orientacija S	28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	137,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	560,3	135,3	68,5	37,2	31,3	28,0	21,2	16,7	13,5	11,7	10,7	9,7	9,0	8,2
	25	492,8	351,0	287,3	251,2	241,7	231,8	214,2	206,5	201,3	197,8	196,0	193,5	190,0	185,2
	24	337,2	415,2	359,0	328,2	315,8	311,0	303,7	295,8	293,7	289,0	285,5	284,0	282,0	278,2
	23	178,7	483,3	543,0	532,5	525,7	516,5	497,3	475,8	464,3	450,3	449,5	442,0	436,3	432,0
	22	267,7	406,0	507,0	595,2	623,5	646,0	687,3	723,7	742,7	761,2	766,5	780,0	791,3	798,0
	21	203,0	281,5	284,3	289,2	290,0	291,5	294,8	297,3	296,3	294,3	296,0	292,7	292,2	304,7
	20	54,7	155,7	176,2	189,0	193,2	195,0	200,0	202,2	205,5	210,8	210,8	212,5	213,0	210,2
	19	0,0	4,0	6,7	9,7	10,8	12,2	13,5	14,0	14,7	16,8	17,0	17,7	18,2	15,7
Orientacija V	28	89,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	328,5	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	512,2	226,2	124,5	79,8	70,2	64,8	56,2	49,7	43,3	38,7	38,8	36,0	34,7	32,3
	25	433,8	367,7	328,0	282,2	268,7	262,3	249,5	240,7	236,2	233,3	229,5	226,5	226,5	221,2
	24	216,2	421,5	359,0	331,3	325,5	316,7	306,3	298,5	292,2	292,2	289,7	288,8	286,8	282,2
	23	236,0	458,3	539,0	553,7	551,8	542,2	531,2	520,0	504,7	495,5	488,5	490,2	480,0	474,2
	22	274,7	384,0	482,8	562,7	592,0	614,0	650,3	677,7	705,5	719,3	721,7	732,2	744,2	759,3
	21	136,7	300,5	313,8	325,5	327,0	330,5	331,0	336,0	339,2	340,3	344,7	340,8	339,8	343,8
	20	5,0	69,7	84,8	96,8	96,8	101,5	107,5	109,5	111,0	112,7	119,2	117,5	120,0	119,0
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Orientacija J	28	90,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	348,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	479,5	224,8	127,7	78,5	71,5	65,3	56,7	47,7	42,8	38,2	38,7	36,2	35,5	33,8
	25	421,8	356,0	314,0	275,8	260,2	253,0	242,8	236,3	232,2	227,8	227,2	221,7	221,3	216,7
	24	277,5	428,7	363,0	324,2	318,5	311,0	298,5	290,2	287,3	285,2	279,8	281,0	278,0	273,2
	23	247,7	470,8	550,7	571,5	565,8	559,5	545,8	532,3	515,2	504,7	494,5	491,8	487,8	478,8
	22	263,0	409,3	504,8	584,0	615,2	636,2	671,3	706,8	734,5	747,5	754,0	771,5	773,5	794,0
	21	102,7	284,0	305,7	321,7	324,2	328,3	330,2	332,2	333,0	337,2	342,2	336,2	339,8	342,0
	20	1,2	54,8	66,2	76,3	76,7	78,7	86,7	86,5	87,0	91,5	95,7	93,7	96,0	93,5
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Orientacija Z	28	78,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	334,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	489,5	215,5	120,0	73,5	68,0	61,8	52,8	46,8	42,8	38,0	36,0	34,0	33,2	31,8
	25	438,2	359,2	314,0	274,5	259,8	250,2	236,0	228,2	221,3	217,8	216,2	214,8	210,2	207,8
	24	235,7	420,7	361,0	318,0	311,7	304,7	297,3	288,7	285,5	284,5	280,2	279,5	276,8	275,3
	23	219,2	462,5	539,8	566,0	560,2	553,0	537,0	524,0	509,5	497,3	490,0	489,8	481,3	476,8
	22	256,8	378,3	479,2	558,7	588,7	612,7	654,8	687,2	710,0	725,7	733,5	743,3	751,5	761,7
	21	159,8	285,8	291,2	295,2	296,2	298,2	296,3	298,5	295,7	292,5	295,8	295,7	294,8	298,7
	20	20,7	106,0	125,0	143,3	144,7	148,3	154,3	155,3	163,7	171,8	175,5	170,2	178,7	174,8
	19	0,0	0,0	1,8	2,8	2,8	3,2	3,3	3,3	3,5	4,3	4,8	4,7	5,5	5,0
LEGENDA															
Najnižja vrednost				Srednja vrednost (50.percentil)						Najvišja vrednost					

Preglednica 24: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih učinkovitih odprtih za enostransko dnevno prezračevanje – izračunana metoda.

Table 24: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for single-sided day ventilation – Calculated method.

	Operativna temperatura [°C]	ŠTEVILO UR													
		<i>Dnevno prezračevanje</i>													
		Efektivna odprtina [%]													
		0	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
Orientacija S	28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	137,7	23,0	5,7	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	560,3	369,2	270,3	184,0	161,0	147,5	130,3	118,2	110,7	104,7	102,5	100,0	94,5	91,3
	25	492,8	403,3	403,8	387,0	372,0	367,3	356,8	350,0	344,0	339,2	337,5	335,8	332,5	330,7
	24	337,2	381,7	342,8	326,0	336,8	333,8	329,5	329,5	331,5	332,3	334,7	332,3	333,7	332,5
	23	178,7	324,7	399,0	438,0	430,8	441,2	449,3	450,3	450,8	452,5	447,3	447,2	447,5	445,3
	22	267,7	257,8	301,3	375,5	407,3	416,2	433,7	446,7	451,5	457,5	463,8	466,5	470,2	478,3
	21	203,0	279,8	288,3	287,8	286,8	287,2	286,2	288,0	289,8	287,7	285,2	289,7	296,0	297,0
	20	54,7	183,2	204,8	212,0	214,5	215,7	219,2	221,3	224,2	226,8	228,3	227,8	226,3	226,0
	19	0,0	9,3	15,8	20,8	22,7	23,2	27,0	28,0	29,5	31,3	32,7	32,7	31,3	30,8
Orientacija V	28	89,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	328,5	128,7	50,8	10,5	7,2	6,2	4,5	3,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	512,2	453,8	379,5	299,8	264,2	239,7	205,5	189,2	180,3	172,0	169,8	166,3	160,3	155,8
	25	433,8	365,7	351,7	372,3	377,7	381,3	382,3	380,8	377,7	372,3	368,3	368,5	367,5	365,3
	24	216,2	354,7	356,3	305,7	302,0	306,3	312,5	305,7	300,0	303,7	305,5	304,5	304,3	302,2
	23	236,0	255,0	348,2	431,5	442,0	436,8	437,2	447,5	453,5	454,2	455,3	456,7	456,2	455,5
	22	274,7	275,5	303,5	352,3	372,2	390,7	410,2	412,5	425,2	435,7	436,3	432,8	437,2	450,2
	21	136,7	311,5	329,3	325,8	325,8	326,3	330,0	328,7	328,2	326,5	327,8	326,3	329,7	327,0
	20	5,0	85,2	112,7	134,0	141,0	144,7	149,3	163,0	164,3	166,0	167,2	174,5	174,3	173,3
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,7	1,7	1,7	1,7	2,3	2,5	2,7
Orientacija J	28	90,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	348,0	143,8	57,0	14,8	7,0	5,7	4,2	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	479,5	436,8	378,3	304,3	275,5	249,5	217,2	202,3	189,7	179,7	176,7	173,0	169,2	164,0
	25	421,8	351,2	341,3	358,2	362,7	368,5	374,5	370,8	375,0	373,0	371,5	370,7	366,5	363,3
	24	277,5	352,5	349,5	306,7	302,3	303,2	304,7	300,5	293,5	291,0	292,3	292,3	293,2	293,2
	23	247,7	296,2	369,5	438,5	446,0	446,8	445,3	453,0	460,8	465,8	468,7	463,5	465,5	466,0
	22	263,0	288,8	324,5	378,0	399,0	414,5	432,2	441,3	445,0	454,2	450,8	459,8	453,7	460,3
	21	102,7	298,8	321,3	327,3	328,8	330,2	333,0	335,2	333,5	335,5	334,2	333,2	337,5	336,7
	20	1,2	63,8	90,5	104,2	110,7	113,7	121,0	126,5	134,5	132,8	137,7	139,0	145,5	147,3
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	1,0	1,2
Orientacija Z	28	78,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	334,2	126,2	52,0	13,0	6,7	5,8	4,3	3,2	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	489,5	448,3	380,0	292,7	261,5	234,3	205,2	191,3	181,0	173,2	169,5	166,2	160,8	156,7
	25	438,2	351,3	339,2	368,2	373,3	381,2	383,5	379,8	378,5	376,0	374,0	373,2	370,3	368,3
	24	235,7	354,7	346,3	305,2	302,2	300,0	297,8	290,8	287,0	287,7	290,3	289,8	289,8	288,3
	23	219,2	275,7	362,2	429,8	436,0	440,7	440,3	448,8	454,7	458,7	453,8	456,0	457,3	460,5
	22	256,8	255,3	293,2	346,3	368,5	382,8	401,3	413,2	424,7	430,0	434,2	433,3	435,2	443,5
	21	159,8	289,5	291,8	290,7	293,2	294,7	294,8	294,2	295,5	291,8	290,7	289,7	292,8	291,5
	20	20,7	127,3	163,3	180,3	183,8	185,7	194,2	199,0	197,7	201,7	205,7	209,3	210,5	209,0
	19	0,0	2,0	4,0	5,8	6,8	6,8	10,5	11,7	11,3	13,0	13,8	14,5	15,2	14,2
LEGENDA															
Najnižja vrednost				Srednja vrednost (50.percentil)						Najvišja vrednost					

Preglednica 25: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtih za enostransko celodnevno prezračevanje – izračunana metoda.

Table 25: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for single-sided all-day ventilation – Calculated method.

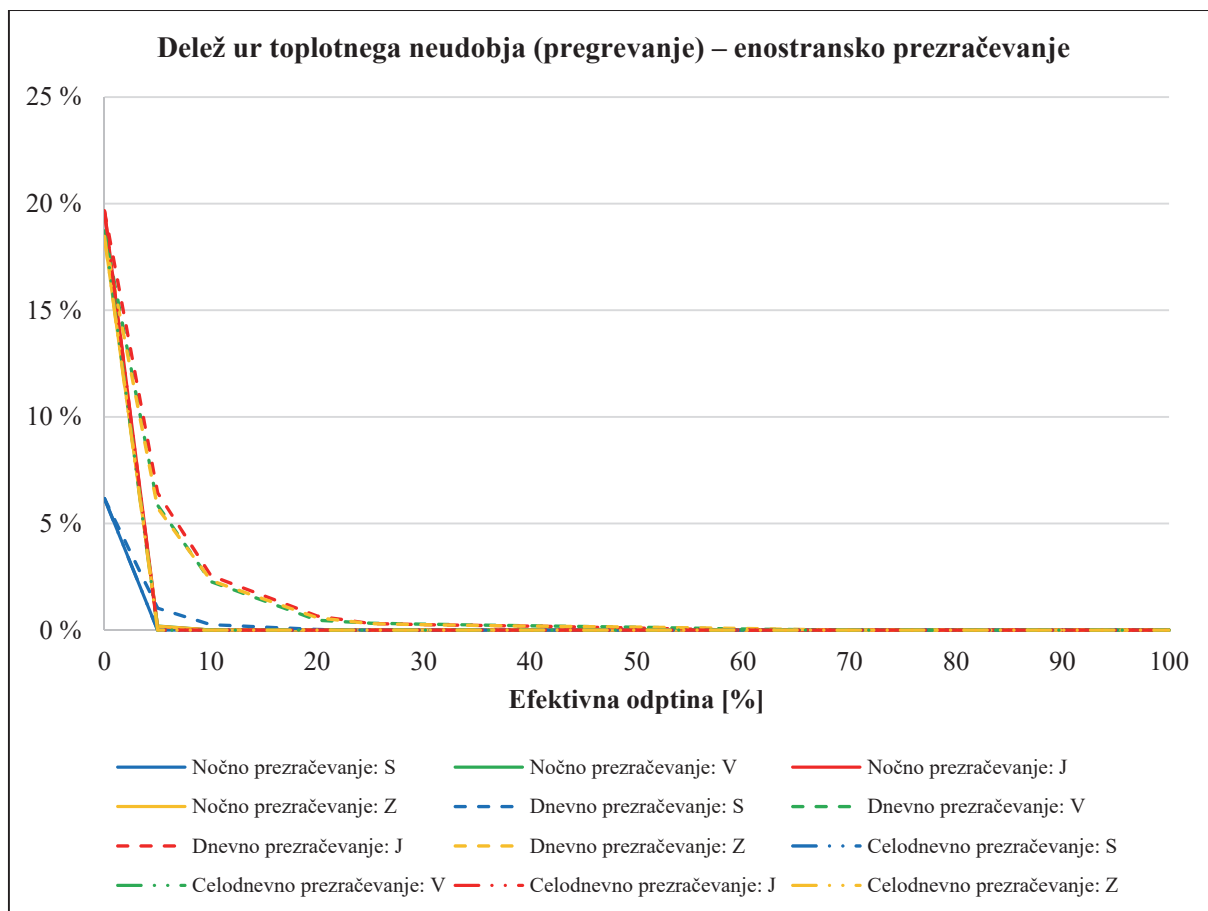
	Operativna temperatura [°C]	ŠTEVILO UR													
		<i>Celodnevno prezračevanje</i>													
		Efektivna odprtina [%]													
		0	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
Orientacija S	28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	137,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	560,3	90,0	40,2	14,2	10,2	6,7	3,3	1,8	1,3	1,0	0,7	0,7	0,5	0,3
	25	492,8	293,2	234,2	192,5	180,2	170,8	156,0	143,7	135,7	130,2	127,8	125,3	122,8	118,8
	24	337,2	354,3	298,5	264,3	256,0	247,7	243,2	241,7	238,2	235,8	234,0	233,0	229,2	228,3
	23	178,7	462,8	473,2	427,8	402,8	389,7	353,5	336,0	320,5	308,3	304,5	299,2	292,3	287,5
	22	267,7	508,8	637,2	761,7	799,7	824,2	867,5	894,0	903,8	919,8	920,5	928,3	936,5	938,5
	21	203,0	289,3	299,5	311,2	317,3	322,2	331,7	337,5	343,3	349,8	354,3	355,8	360,7	365,7
	20	54,7	215,3	223,8	230,8	235,7	238,7	242,8	243,8	251,7	249,8	252,7	252,7	252,7	254,3
	19	0,0	18,2	25,5	29,5	30,2	32,2	34,0	33,5	37,5	37,2	37,5	37,0	37,3	38,5
Orientacija V	28	89,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	328,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	512,2	166,0	75,7	40,8	31,3	25,0	19,3	16,2	12,5	10,5	9,5	8,5	7,7	6,5
	25	433,8	315,5	266,5	228,2	216,3	207,5	195,3	185,2	180,2	175,2	173,8	171,8	167,2	166,2
	24	216,2	361,7	298,5	258,2	253,3	247,2	235,3	232,8	229,8	228,3	225,8	224,5	224,2	220,5
	23	236,0	455,0	503,3	477,7	459,8	447,2	420,0	394,5	377,3	360,8	358,5	345,8	337,2	326,8
	22	274,7	473,5	601,2	710,8	746,3	777,3	821,7	844,8	864,0	885,7	891,0	902,7	909,5	922,2
	21	136,7	336,2	335,7	344,5	343,8	346,2	351,8	363,7	368,2	370,8	370,3	370,8	379,5	377,8
	20	5,0	124,2	150,7	170,2	179,0	179,3	186,0	192,0	196,7	197,2	199,2	203,5	202,8	207,3
	19	0,0	0,0	0,5	1,7	2,0	2,3	2,5	2,8	3,3	3,5	3,8	4,3	4,0	4,7
Orientacija J	28	90,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	348,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	479,5	168,7	76,3	43,2	32,8	27,7	23,2	19,2	16,0	13,8	12,3	11,2	9,3	8,5
	25	421,8	308,8	264,7	228,5	219,7	210,0	194,3	186,7	181,5	176,3	174,8	174,7	171,8	167,2
	24	277,5	356,2	295,0	253,2	245,2	239,8	233,5	228,0	225,5	222,5	220,8	219,5	217,7	217,3
	23	247,7	463,0	508,3	483,5	463,2	449,8	418,3	393,7	375,7	361,3	352,0	346,5	339,5	330,5
	22	263,0	500,8	627,2	732,7	774,3	798,0	838,2	868,0	889,7	907,0	921,2	924,7	930,0	944,5
	21	102,7	333,8	341,2	354,8	357,8	359,2	367,3	373,2	379,7	383,2	379,7	385,8	387,2	387,8
	20	1,2	100,7	119,3	136,2	139,0	146,8	155,8	161,5	162,0	165,8	169,2	167,5	174,2	173,8
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,3	1,8	2,0	2,0	2,0	2,2	2,3	2,3
Orientacija Z	28	78,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	334,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	489,5	161,5	73,7	40,0	32,3	24,5	20,8	15,8	12,8	9,7	9,2	8,5	7,8	6,7
	25	438,2	309,7	261,0	219,7	208,2	201,2	186,5	179,5	173,8	169,8	169,0	165,8	163,7	161,0
	24	235,7	352,2	291,5	254,0	246,7	240,5	231,2	226,7	224,3	222,5	220,0	219,5	216,0	214,7
	23	219,2	457,3	507,2	481,7	460,3	445,0	415,5	391,7	370,5	357,0	349,0	342,0	334,5	325,7
	22	256,8	473,2	594,8	710,5	752,7	779,8	825,3	852,3	875,5	891,8	899,0	907,2	918,2	924,3
	21	159,8	297,3	297,0	302,2	305,3	310,2	315,8	324,7	330,5	336,7	338,7	339,0	345,7	346,7
	20	20,7	176,0	197,5	210,8	213,2	216,2	221,0	224,3	225,5	226,8	229,2	229,5	227,2	231,2
	19	0,0	4,8	9,3	13,2	13,3	14,7	15,8	17,0	19,0	17,7	18,0	20,5	19,0	21,8
LEGENDA															
Najnižja vrednost				Srednja vrednost (50.percentil)						Najvišja vrednost					

Delež ur toplotnega neudobja je izražen v razmerju seštevka števila ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C ali pod 23 °C in skupnim številom ur analiziranega obdobja. Za bolj konservativen kriterij smo se orientirali glede na standard Energijske lastnosti stavb – prezračevanje stavb – 1. del [40], ki podaja strožji kriterij o primerni operativni temperaturi v notranjih prostorih v primerjavi s Pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb [30]. Le-ta podaja, da je primerna operativna temperatura za hlajenje med 22 °C in 27 °C.

Na grafikonu 29 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja za operativne temperature nad 26 °C za enostransko prezračevanje. Pri naravnem prezračevanju je v povprečju 0,2 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C in 0,0 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 27 °C. Najvišji delež ur pregrevanja velja za dnevno prezračevanje v povprečju 0,6 % vseh ur, in sicer pri orientacijah V, J in Z, ki so v povprečju 0,8 %. Pri orientacijama V in Z je pregrevanje prisotno do 60 % efektivne odprtine, pri orientaciji J pa je pregrevanje prisotno do 50 % efektivne odprtine. Pri vseh orientacijah je delež ur pregrevanja višji pri manjši efektivni odprtini. Pri orientaciji S je delež ur pregrevanja najmanjši pri vseh analiziranih efektivnih odprtinah. Za orientacijo S velja, da je pregrevanje prisotno le pri mehanskem hlajenju pri nočnem in celodnevem prezračevanju ter do 20 % efektivne odprtine pri dnevnem prezračevanju. Za celodnevno prezračevanje velja, da so operativne temperature višje od 26 °C le pri mehanskem hlajenju, pri uporabi naravnega prezračevanja do pregrevanja ne prihaja. Pri mehanskem hlajenju je v povprečju 15,7 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C in 2,9 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 27 °C.

Stanje je nekoliko drugačno glede na kriterij Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Pri orientaciji S ni težav s pregrevanjem pri nobeni velikosti efektivne odprtine in času prezračevanja. Za preostale orientacije je pri nočnem in celodnevem prezračevanju prisotno pregrevanje le pri mehanskem hlajenju. Pri dnevnem prezračevanju pregrevanje nastopi do 5 % efektivne odprtine za orientaciji V in Z ter pri mehanskem prezračevanju za orientaciji S in J.

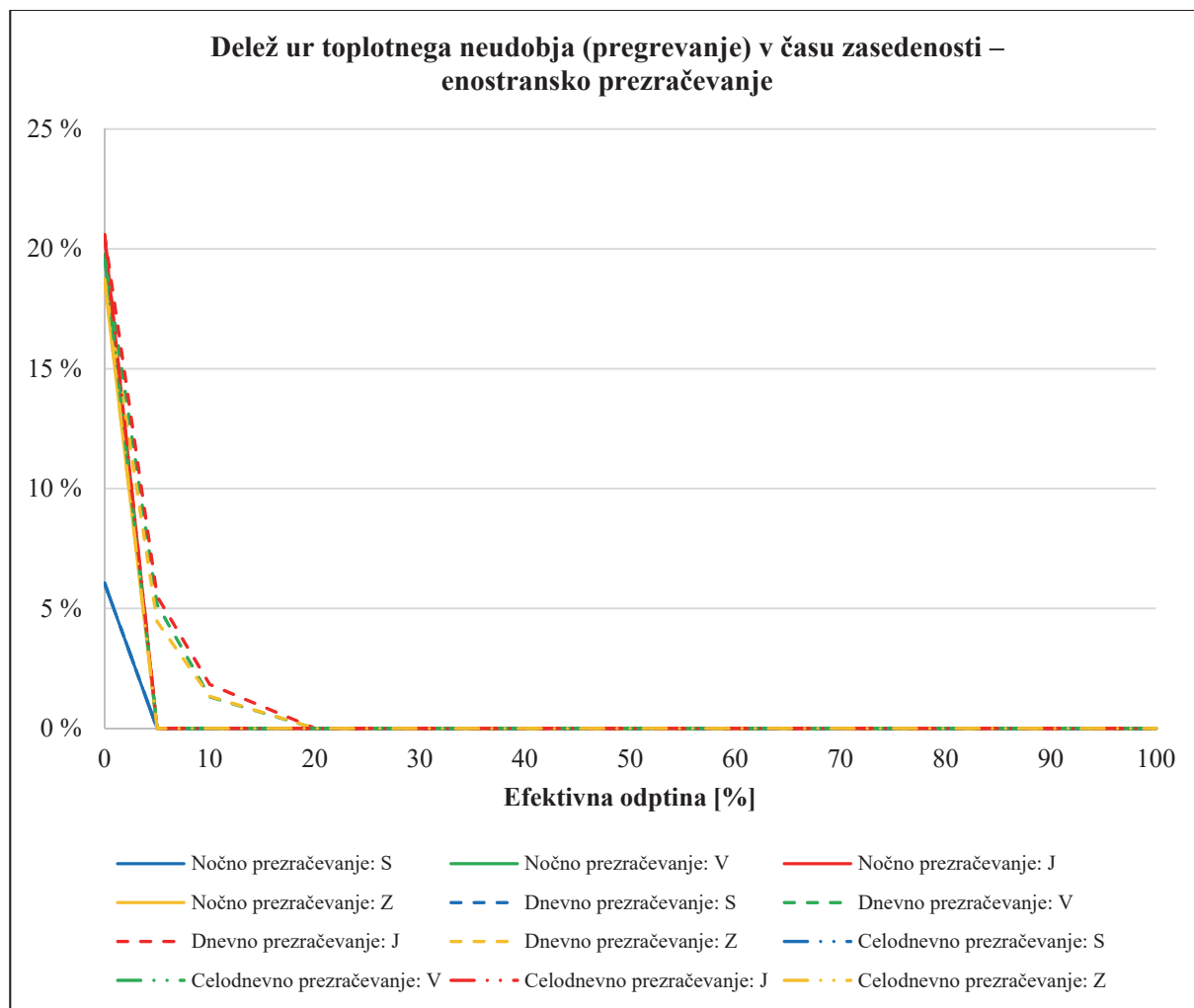
Delež ur pregrevanja se z večjimi efektivnimi odprtinami zmanjšuje. Do pregrevanja prihaja predvsem v primeru mehanskega hlajenja v času odsotnosti uporabnikov, ko so za operativne temperature dovoljene višje vrednosti.



Grafikon 29: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 29: The percentage of hours of thermal discomfort (overheating) for single-sided ventilation – Calculated method.

Na grafikonu 30 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja za operativne temperature nad 26 °C za enostransko prezračevanje v času zasedenosti. Pri naravnem prezračevanju je v povprečju 0,1 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C. Glede na kriterij Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb je pregrevanje prisotno le pri mehanskem hlajenju. Najvišji delež ur pregrevanja pri naravnem prezračevanju velja za dnevno prezračevanje v povprečju 0,4 % vseh ur, in sicer pri orientacijah V, J in Z, ki so v povprečju 0,5 %. Pri slednjih orientacijah je pregrevanje prisotno do 10 % efektivne odprtine. Pri vseh orientacijah je delež ur pregrevanja višji pri manjši efektivni odprtini. Za nočno in celodnevno prezračevanje velja, da je pregrevanje prisotno le pri mehanskem hlajenju, pri uporabi naravnega prezračevanja do pregrevanja ne prihaja. Pri mehanskem hlajenju je v povprečju 16,3 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C in 2,9 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 27 °C. Pri vseh treh časih prezračevanja pri orientaciji S ne prihaja do pregrevanja pri uporabi mehanskega hlajenja.

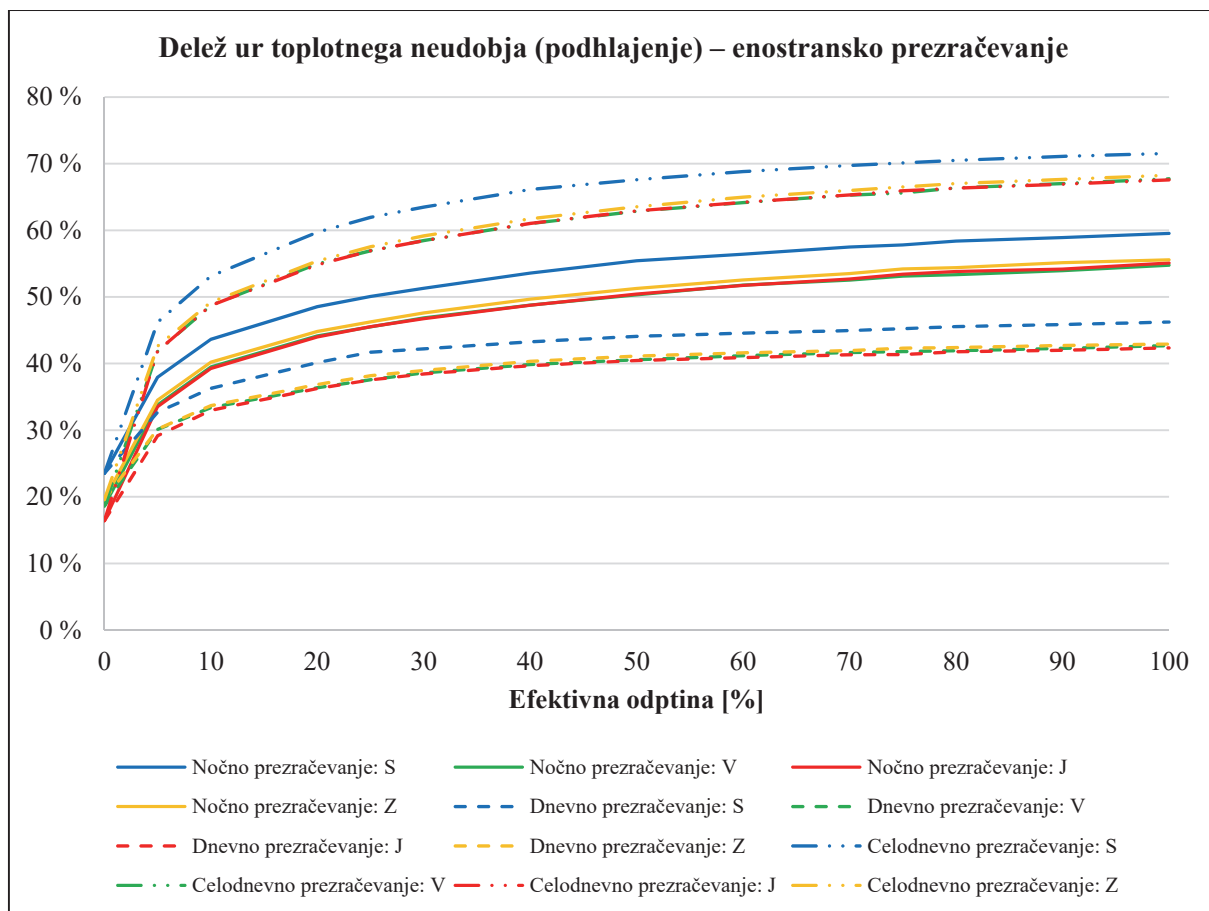


Grafikon 30: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) v času zasedenosti pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 30: The percentage of hours of thermal discomfort (overheating) during the occupancy hours for single-sided ventilation – Calculated method.

Na grafikonu 31 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja za operativne temperature pod 23 °C za enostransko prezračevanje. Vse orientacije imajo pri mehanskem hlajenju v povprečju 19,6 % vseh ur pod operativno temperaturo 23 °C, od tega je 7,7 % vseh ur z operativno temperaturo pod 22 °C. Pri naravnem prezračevanju je v povprečju 50,4 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 23 °C in 22,4 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 22 °C. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – podhlajenja 20,2 %, pri dnevnem 21,9 % in pri celodnevnom 25 %. Pri največji efektivni odprtini 100 % je največji delež ur toplotnega neudobja – podhlajenja pri celodnevnom prezračevanju v povprečju 61,4 %, sledi nočno prezračevanje z 49,7 % in dnevno prezračevanje s 40 %.

Najvišji delež ur podhlajenja ima v povprečju orientacija S, ki pa ima hkrati najmanjši delež ur pregrevanja. Do podhlajenja prihaja zaradi manjših solarnih dobitkov, ki jih prejme orientacija S v primerjavi s preostalimi orientacijami. Pri vseh orientacijah delež ur podhlajenja narašča z naraščanjem velikosti efektivnih odprtin. Delež ur z operativno temperaturo pod 23 °C naraste v povprečju za 36,6 odstotkovnih točk glede na mehansko hlajenje in 100 % efektivno odprtino. Delež ur z operativno temperaturo pod 22 °C pa naraste v povprečju za 16,1 odstotkovnih točk glede na mehansko hlajenje in 100 % efektivno odprtino.

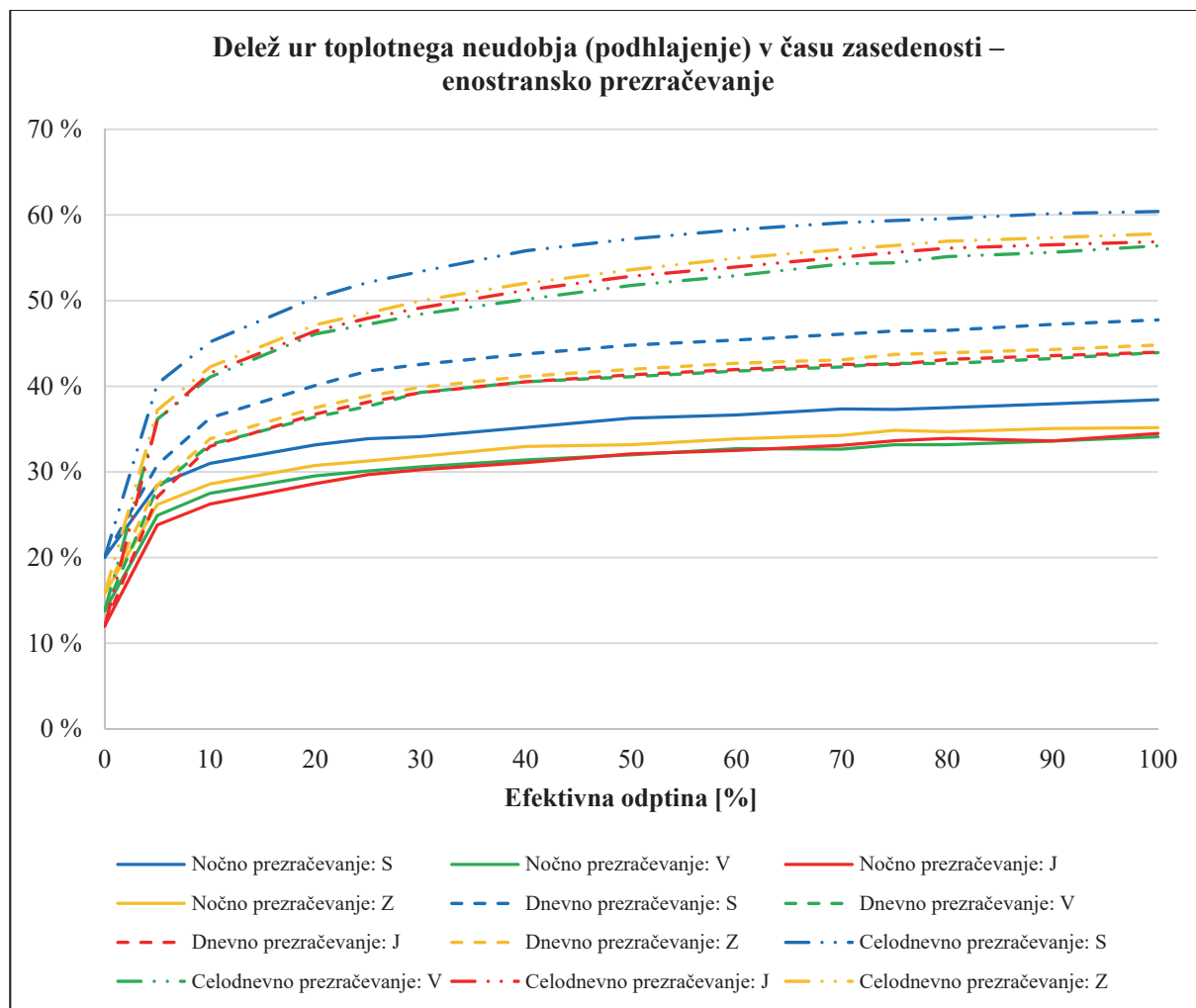


Grafikon 31: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 31: The percentage of hours of thermal discomfort (overcooling) for single-sided ventilation – Calculated method.

Na grafikonu 32 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja v času zasedenosti za operativne temperature pod 23 °C za enostransko prezračevanje. Vse orientacije imajo pri mehanskem hlajenju v povprečju 15,4 % vseh ur pod operativno temperaturo 23 °C, od tega je 5,3 % vseh ur z operativno temperaturo pod 22 °C. Pri naravnem prezračevanju je v povprečju 41,6 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 23 °C in 16,9 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 22 °C. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – podhlajenja 32,5 %, pri dnevnem prezračevanju 40,6 % in pri celodnevem prezračevanju 51,8 %. Pri največji efektivni odprtini 100 % je največji delež ur toplotnega neudobja – podhlajenja pri celodnevem prezračevanju v povprečju 57,9 %, sledi dnevno prezračevanje s 45,1 % in nočno prezračevanje s 35,5 %. Pri celotnem analiziranem obdobju je pri nočnem prezračevanju višji delež ur toplotnega neudobja kot pri dnevnem prezračevanju. Do večjega podhlajanja prostora prihaja v nočnem času, ki je izven analiziranega časa zasedenosti in ima posledično manjši vpliv na delež ur toplotnega neudobja.

Najvišji delež ur podhlajenja ima v povprečju orientacija S, ki pa ima hkrati najmanjši delež ur pregrevanja. Do podhlajenja prihaja zaradi manjših solarnih dobitkov, ki jih prejme orientacija S v primerjavi s preostalimi orientacijami. Pri vseh orientacijah delež ur podhlajenja narašča z naraščanjem velikosti efektivnih odprtin. Delež ur z operativno temperaturo pod 23 °C naraste v povprečju za 30,8 odstotkovnih točk glede na mehansko hlajenje in 100 % efektivno odprtino. Delež ur z operativno temperaturo pod 22 °C pa naraste v povprečju za 12,9 odstotkovnih točk glede na mehansko hlajenje in 100 % efektivno odprtino.



Grafikon 32: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) v času zasedenosti pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 32: The percentage of hours of thermal discomfort (overcooling) during the occupancy hours for single-sided ventilation – Calculated method.

V preglednicah od 26 do 28 je prikazana časovna distribucija dosežene notranje operative temperature za prečno prezračevanje v odvisnosti od časa prezračevanja, orientacije odprtih in velikosti efektivnih odprtih. Tako pri nočnem kot celodnevem prezračevanju je pri manjši efektivni odprtini časovna distribucija dosežene notranje operative temperature enakomerna in temperatura niha skozi celotno obdobje delovanja. Pri nočnem in celodnevem prezračevanju se pri 10 % efektivni odprtini število ur razporedi pri operativni temperaturi od 22 °C do 23 °C in se z večanjem efektivne odprtine ustali na 22 °C. Pri 100 % efektivni odprtini predstavlja obdobje z operativno temperaturo 22 °C 33 % delež vseh analiziranih ur pri nočnem prezračevanju in 40 % delež vseh analiziranih ur pri celodnevem prezračevanju.

Pri dnevnem prezračevanju je možno opaziti enakomernejšo časovno distribucijo dosežene notranje operative temperature pri različnih efektivnih odprtinah. Manjše efektivne odprtine rezultirajo v višji doseženi operativni temperaturi, obratno pa uporaba večjih efektivnih odprtih privede do nižjih operativnih temperatur. Tako se operativna temperatura giblje od 22 °C pri velikih do 26 °C pri manjših efektivnih odprtinah. Z večjimi efektivnimi odprtini tako hitreje in učinkovitejše ohlajamo prostor.

Preglednica 26: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtih za prečno nočno prezračevanje – izračunana metoda.

Table 26: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for cross night ventilation – Calculated method.

		ŠTEVILO UR													
		<i>Nočno prezračevanje</i>													
Operativna temperatura [°C]		Efektivna odprtina [%]													
		0	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
Orientacija S–J	28	37,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	263,3	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	501,2	199,8	118,3	82,0	74,2	67,7	62,0	55,7	48,8	46,7	46,2	45,8	43,3	42,8
	25	453,5	345,0	298,2	257,7	244,5	237,0	226,7	221,7	216,5	212,3	207,7	209,0	207,0	203,2
	24	296,7	395,5	342,2	308,2	302,3	296,3	286,7	278,3	273,7	271,2	271,2	268,8	266,7	262,8
	23	185,5	476,0	545,0	554,3	545,3	537,8	522,5	505,8	490,8	480,5	470,7	467,2	462,5	454,3
	22	249,2	388,5	476,8	556,2	580,8	607,0	641,5	669,5	697,2	709,7	727,3	730,2	743,8	748,2
	21	189,2	278,7	280,3	285,3	287,0	284,7	285,2	291,8	287,2	292,7	290,3	289,3	283,8	294,8
	20	55,8	140,3	161,2	175,7	183,7	186,5	191,0	192,8	198,8	199,5	199,2	201,3	203,0	204,0
	19	0,0	5,7	10,0	12,7	14,2	15,0	16,5	16,3	19,0	19,5	19,5	20,3	21,8	21,8
Orientacija V–Z	28	111,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	329,2	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	468,7	229,7	148,7	100,8	92,0	84,2	75,3	70,5	66,0	64,0	59,7	58,7	58,0	55,7
	25	429,5	352,3	295,3	262,3	253,7	246,0	229,8	224,5	217,7	213,3	208,8	208,2	205,7	203,3
	24	230,3	398,8	347,8	304,0	294,3	287,3	283,2	277,2	275,0	269,5	272,8	267,8	266,8	263,3
	23	187,3	465,3	544,3	563,5	559,8	550,5	532,2	518,3	510,3	503,7	488,7	490,2	483,3	472,2
	22	248,8	362,3	452,5	536,3	560,2	592,0	626,3	646,8	662,3	676,3	699,3	701,7	713,2	725,2
	21	177,0	281,3	280,2	285,7	286,5	284,7	289,8	292,2	290,7	296,3	294,8	295,5	289,3	297,3
	20	49,3	131,0	155,8	169,3	175,3	176,7	182,7	188,8	194,5	192,0	192,3	193,3	196,0	194,8
	19	0,0	5,5	7,3	10,0	10,2	10,7	12,7	13,7	15,5	16,8	15,5	16,7	19,7	20,2
LEGENDA															
Najnižja vrednost				Srednja vrednost (50.percentil)						Najvišja vrednost					

Preglednica 27: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih učinkovitih odprtih za prečno dnevno prezračevanje – izračunana metoda.

Table 27: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for cross day ventilation – Calculated method.

		ŠTEVILO UR													
	Operativna temperatura [°C]	Dnevno prezračevanje													
		Efektivna odprtina [%]													
		0	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
Orientacija S-J	28	37,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	263,3	74,2	25,8	7,5	5,8	4,5	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	501,2	429,5	339,7	251,2	220,0	206,2	187,3	179,7	172,8	166,7	165,3	162,8	157,5	155,7
	25	453,5	346,0	371,8	379,5	377,3	372,0	367,8	360,3	354,2	349,3	347,5	345,3	342,5	341,0
	24	296,7	339,0	311,8	293,0	301,2	301,8	296,3	297,0	299,3	303,3	304,0	303,3	303,8	303,2
	23	185,5	331,3	392,3	424,2	428,2	430,8	442,3	443,3	441,8	438,0	439,8	438,2	432,7	433,2
	22	249,2	247,8	306,7	381,5	402,0	411,2	422,3	432,7	438,3	443,2	445,3	451,8	459,3	461,7
	21	189,2	277,0	272,3	272,0	269,5	271,8	276,2	275,2	277,7	279,0	278,2	281,8	283,2	282,0
	20	55,8	173,7	191,8	200,5	204,5	207,5	210,8	216,0	217,8	221,3	220,7	218,0	221,2	222,0
	19	0,0	13,5	19,7	22,7	23,5	26,2	26,7	27,8	30,0	31,2	31,2	30,7	31,8	33,3
Orientacija V-Z	28	111,8	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	329,2	132,7	53,2	15,5	8,7	7,5	6,0	5,0	4,2	3,3	3,0	2,7	1,5	1,0
	26	468,7	435,3	373,7	294,3	257,8	239,7	223,0	209,0	200,5	194,5	193,3	189,0	185,5	181,8
	25	429,5	329,0	348,5	370,3	378,8	373,5	370,2	368,5	365,5	363,3	361,3	360,3	358,7	357,0
	24	230,3	326,2	304,7	280,7	283,5	292,0	283,0	281,5	283,3	284,2	285,2	286,0	285,0	282,5
	23	187,3	300,0	371,8	421,0	427,0	428,0	433,7	437,3	434,7	431,5	433,5	432,5	429,7	431,5
	22	248,8	243,3	299,3	358,8	380,8	393,0	406,7	417,0	429,7	431,5	429,2	438,7	449,2	451,5
	21	177,0	279,7	277,3	278,7	275,2	275,8	280,0	278,2	281,8	279,5	278,7	280,7	281,7	283,5
	20	49,3	170,2	186,8	193,2	198,8	199,8	205,7	210,2	207,0	214,5	217,0	214,7	212,7	213,7
	19	0,0	10,5	16,7	19,5	21,3	22,7	23,8	25,3	25,3	29,7	30,8	27,5	28,2	29,5
LEGENDA															
Najnižja vrednost				Srednja vrednost (50.percentil)						Najvišja vrednost					

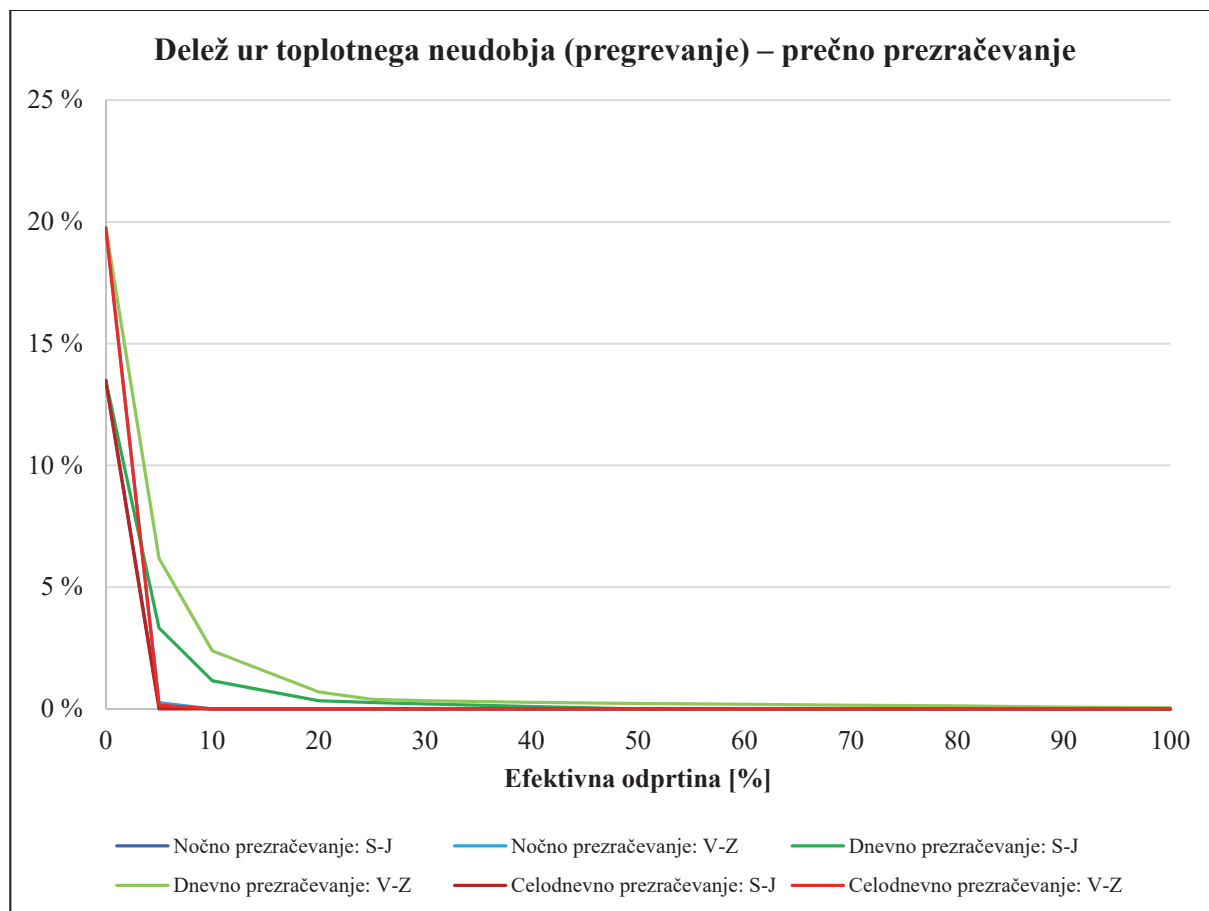
Preglednica 28: Število ur, ko je dosežena določena operativna temperatura pri različnih velikostih efektivnih odprtih za prečno celodnevno prezračevanje – izračunana metoda.

Table 28: Number of hours when a certain operative temperature is reached at different ventilation rates for cross all-day ventilation – Calculated method.

		ŠTEVILO UR													
Operativna temperatura [°C]		<i>Celodnevno prezračevanje</i>													
		Efektivna odprtina [%]													
		0	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
Orientacija S-J	28	37,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	263,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	501,2	140,7	74,3	46,0	38,0	31,8	27,0	23,3	21,3	19,5	18,5	18,5	17,0	16,0
	25	453,5	296,3	242,5	205,0	198,3	193,3	179,7	172,3	167,8	164,7	163,0	161,2	157,7	154,8
	24	296,7	338,2	284,5	246,8	235,0	230,2	223,2	218,5	215,0	209,5	208,7	208,0	207,2	205,5
	23	185,5	472,7	499,8	464,3	449,0	432,2	407,7	381,0	362,3	348,0	342,5	333,5	325,7	317,5
	22	249,2	482,5	606,2	712,3	747,0	770,5	803,0	827,7	850,0	856,8	872,5	881,0	888,8	903,5
	21	189,2	280,3	287,3	305,8	311,0	318,0	330,7	340,8	346,7	357,5	353,3	354,8	361,7	361,7
	20	55,8	200,8	212,8	222,7	224,3	225,8	229,0	235,0	235,0	239,0	237,7	238,0	236,5	237,3
	19	0,0	20,5	24,5	29,0	29,3	30,2	31,8	33,3	33,8	37,0	35,8	37,0	37,5	35,7
Orientacija V-Z	28	111,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	27	329,2	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	26	468,7	162,0	89,3	57,7	50,2	45,3	37,0	31,5	29,0	29,3	27,2	26,2	24,3	23,2
	25	429,5	302,7	245,5	199,3	191,2	186,8	180,5	173,5	168,2	163,8	164,5	163,3	160,7	159,5
	24	230,3	338,0	282,7	246,5	236,3	229,0	217,8	214,8	211,7	206,7	205,0	204,0	202,0	200,7
	23	187,3	461,0	508,0	481,8	468,8	451,7	428,3	408,7	388,5	373,7	365,7	361,3	347,5	339,8
	22	248,8	465,8	590,0	703,7	730,3	758,5	785,2	807,0	825,8	849,2	853,5	858,7	879,3	885,7
	21	177,0	285,3	287,7	301,7	308,5	314,0	331,3	336,2	344,3	344,3	347,8	350,8	350,7	353,3
	20	49,3	195,5	207,3	216,5	220,8	220,7	224,7	229,5	231,8	232,3	234,3	233,7	233,2	235,5
	19	0,0	18,2	21,5	24,8	25,8	26,0	27,2	30,8	32,7	32,7	34,0	34,0	34,3	34,3
LEGENDA															
Najnižja vrednost				Srednja vrednost (50.percentil)						Najvišja vrednost					

Na grafikonu 33 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja za operativne temperature nad 26 °C za prečno prezračevanje. Pri naravnem prezračevanju je v povprečju 0,2 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C in 0,0 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 27 °C. Najvišji delež ur pregrevanja velja za dnevno prezračevanje v povprečju 0,6 % vseh ur. Pri dnevnem prezračevanju je pri orientaciji V-Z pregrevanje prisotno do 90 % efektivne odprtine in pri orientaciji S-J do 40 % efektivne odprtine. Pri nočnem prezračevanju je pri obeh orientacijah pregrevanje prisotno le do 5 % efektivne odprtine, medtem ko je pri nočnem prezračevanju pregrevanje le pri orientaciji V-Z do 5 % efektivne odprtine. Za vse orientacije in čas prezračevanja pa velja, da je delež ur pregrevanja višji pri manjši efektivni odprtini. Pri mehanskem hlajenju je v povprečju 16,6 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C in 3,3 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 27 °C. Najvišji delež ur pregrevanja povzroča ravno mehansko hlajenje, pri orientaciji S-J 13,5 % in pri orientaciji V-Z 19,8 %.

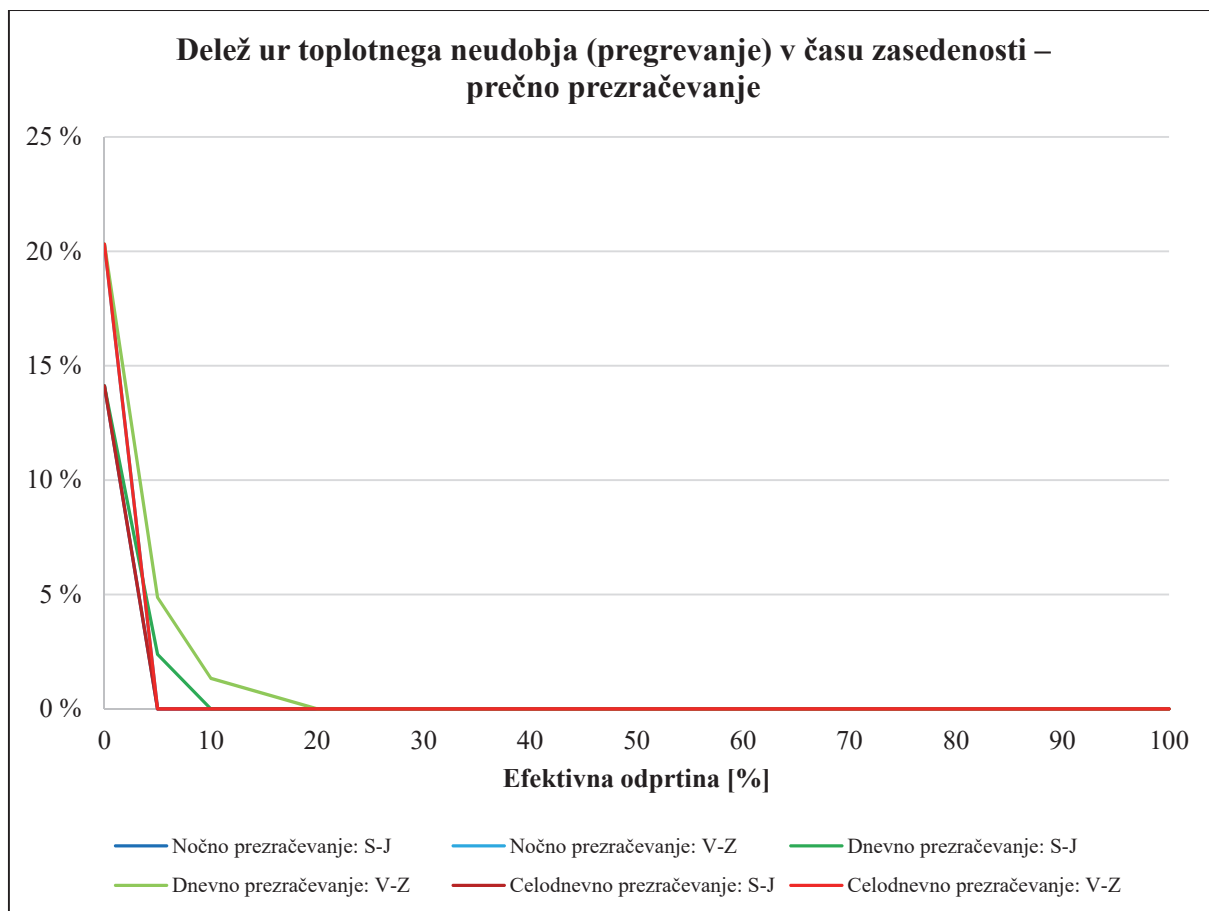
Stanje je nekoliko drugačno glede na kriterij Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb, ki dopušča višje operativne temperature. Do pregrevanja prihaja le v primeru dnevnega prezračevanja orientacije V-Z pri 5 % efektivni odprtini.



Grafikon 33: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 33: The percentage of hours of thermal discomfort (overheating) for cross ventilation – Calculated method.

Na grafikonu 34 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja v času zasedenosti za operativne temperature nad 26 °C za prečno prezračevanje. Pri naravnem prezračevanju je v povprečju 0,1 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C in 0,0 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 27 °C. Najvišji delež ur pregrevanja velja za dnevno prezračevanje v povprečju 0,3 % vseh ur. Pri dnevnem prezračevanju je pri orientaciji V–Z pregrevanje prisotno do 10 % efektivne odprtine in pri orientaciji S–J do 5 % efektivne odprtine. Pri nočnem in celodnevem prezračevanju je pri obeh orientacijah pregrevanje prisotno le pri mehanskem hlajenju. Pri mehanskem hlajenju je v povprečju 17,2 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 26 °C in 2,9 % vseh ur z operativnimi temperaturami nad 27 °C. Najvišji delež ur pregrevanja povzroča ravno mehansko hlajenje, pri orientaciji S–J 14,1 % in pri orientaciji V–Z 20,3 %. Glede na kriterij Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb, ki dopušča višje operativne temperature, do pregrevanja prihaja le v primeru mehanskega prezračevanja.

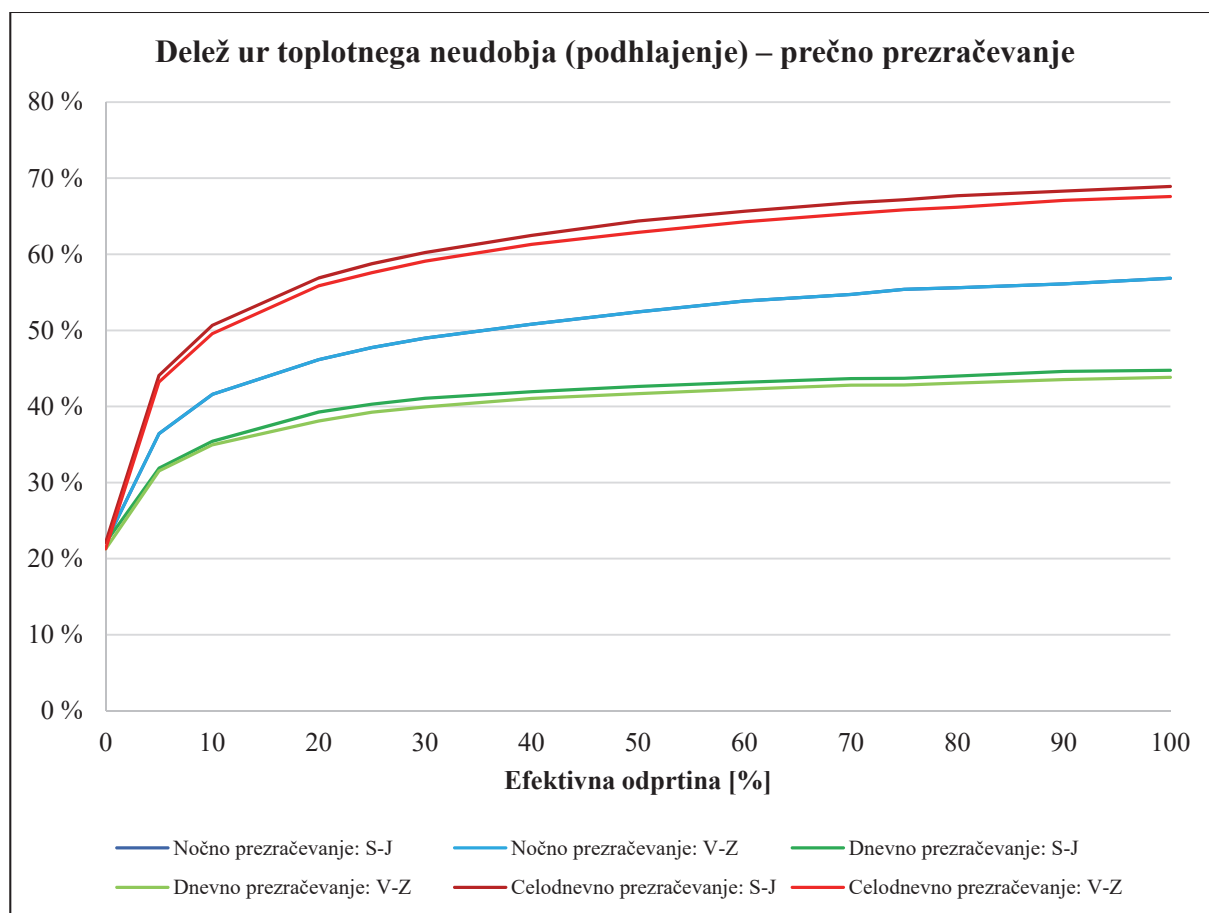


Grafikon 34: Delež ur toplotnega neudobja (pregrevanje) v času zasedenosti pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 34: The percentage of hours of thermal discomfort (overheating) during the occupancy hours for cross ventilation – Calculated method.

Na grafikonu 35 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja za operativne temperature pod 23 °C za prečno prezračevanje. Vse orientacije imajo pri mehanskem hlajenju v povprečju 21,7 % vseh ur pod operativno temperaturo 23 °C, od tega je 10,6 % vseh ur z operativno temperaturo pod 22 °C. Pri naravnem prezračevanju je v povprečju 50,6 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 23 °C in 23,6 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 22 °C. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – podhlajanja 49,8 %, pri dnevnem 40,8 % in pri celodnevnom 61,1 %. Pri največji efektivni odprtini 100 % je največji delež ur toplotnega neudobja – podhlajanja pri celodnevnom prezračevanju v povprečju 68,3 %, sledi nočno prezračevanje s 56,1 % in dnevno prezračevanje s 44,3 %.

Najvišji delež ur podhlajanja ima v povprečju celodnevno prezračevanje, ki pa ima hkrati najmanjši delež ur pregrevanja. Delež ur z operativno temperaturo pod 23 °C naraste v povprečju za 34,5 odstotkovnih točk glede na mehansko hlajenje in 100 % efektivno odprtino. Delež ur z operativno temperaturo pod 22 °C pa naraste v povprečju za 14,5 odstotkovnih točk glede na mehansko hlajenje in 100 % efektivno odprtino.

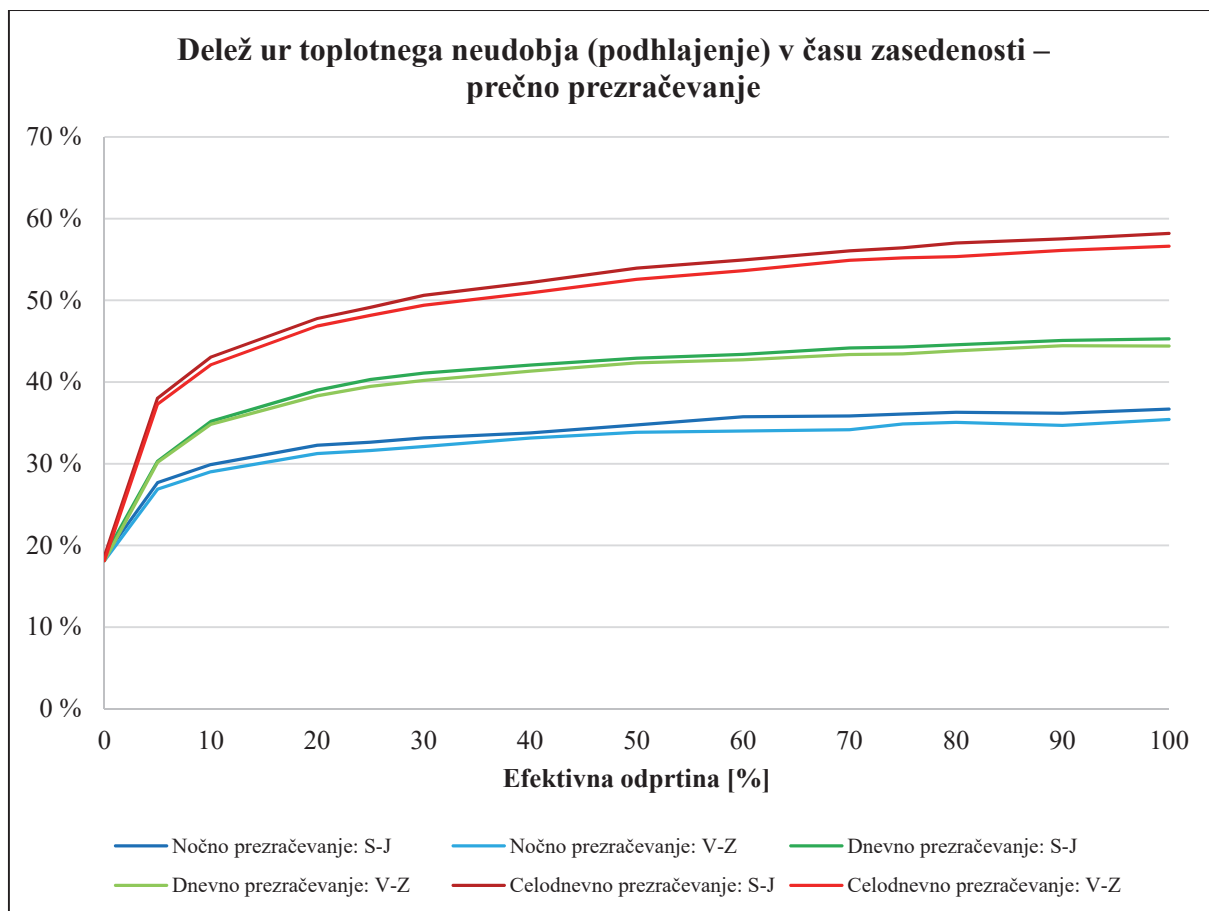


Grafikon 35: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 35: The percentage of hours of thermal discomfort (overcooling) for cross ventilation – Calculated method.

Na grafikonu 36 so predstavljeni deleži ur toplotnega neudobja v času zasedenosti za operativne temperature pod 23 °C za prečno prezračevanje. Vse orientacije imajo pri mehanskem hlajenju v povprečju 18,4 % vseh ur pod operativno temperaturo 23 °C, od tega je 7,8 % vseh ur z operativno temperaturo pod 22 °C. Pri naravnem prezračevanju je v povprečju 41,9 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 23 °C in 18,4 % vseh ur z operativnimi temperaturami pod 22 °C. Pri nočnem prezračevanju je v povprečju delež ur toplotnega neudobja – podhlajanja 33,3 %, pri dnevnem 41 % in pri celodnevem 51,3 %. Pri največji efektivni odprtini 100 % je največji delež ur toplotnega neudobja – podhlajanja pri celodnevem prezračevanju v povprečju 57,4 %, sledi dnevno prezračevanje s 44,8 % in nočno prezračevanje s 36,1 %. Pri celotnem analiziranem obdobju je pri nočnem prezračevanju višji delež ur toplotnega neudobja kot pri dnevnem prezračevanju. Do večjega podhlajanja prostora prihaja v nočnem času, ki je izven analiziranega časa zasedenosti in ima posledično manjši vpliv na delež ur toplotnega neudobja.

Najvišji delež ur podhlajanja ima v povprečju še vedno celodnevno prezračevanje, ki pa ima hkrati najmanjši delež ur pregrevanja. Delež ur z operativno temperaturo pod 23 °C naraste v povprečju za 27,7 odstotkovnih točk glede na mehansko hlajenje in 100 % efektivno odprtino. Delež ur z operativno temperaturo pod 22 °C pa naraste v povprečju za 12 odstotkovnih točk glede na mehansko hlajenje in 100 % efektivno odprtino.



Grafikon 36: Delež ur toplotnega neudobja (podhlajenje) v času zasedenosti pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 36: The percentage of hours of thermal discomfort (overcooling) during the occupancy hours for cross ventilation – Calculated method.

4.2.5 Maksimalne in povprečne stopnje prezračevanja

V preglednici 29 so prikazane vrednosti maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja glede na različne velikosti efektivnih odprtin pri enostranskem prezračevanju. V vrednostih je zajeta tudi infiltracija skozi odprtine stavbnega ovoja. Maksimalne dosežene stopnje prezračevanja so maksimalne vrednosti stopenj prezračevanja, ki so možne glede na veter, vzgonski učinek, velikosti odprtin in njihovega delovanja, velikosti razpok itd.

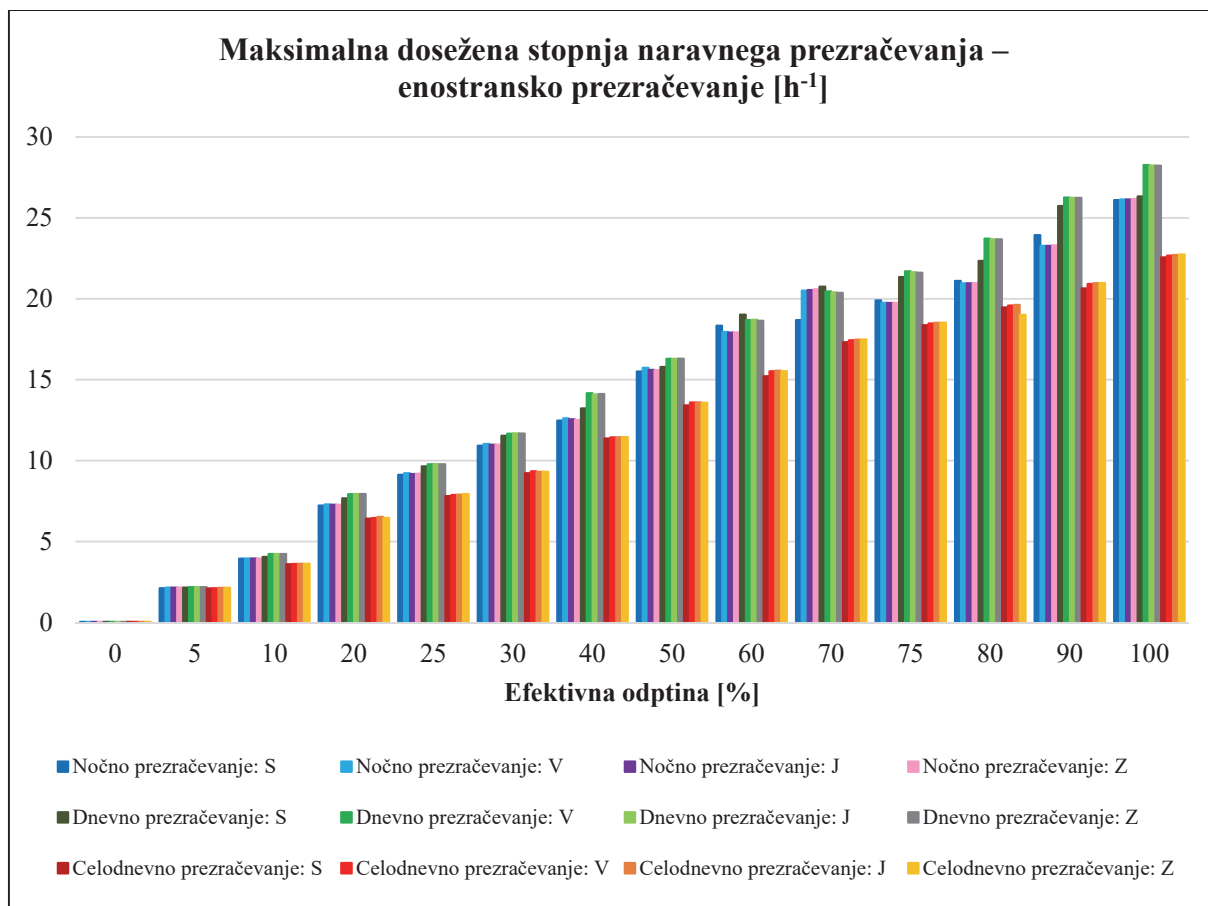
Maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja se pri 5 % efektivni odprtini med različnimi orientacijami in časi prezračevanja bistveno ne spreminjajo. Pri preostalih analiziranih efektivnih odprtinah je razlika med najvišjo in najnižjo maksimalno stopnjo naravnega prezračevanja pri enaki efektivni odprtini v povprečju 21,8 %. V povprečju so višje maksimalne stopnje naravnega prezračevanja dosežene pri dnevnem delovanju in manjše pri celodnevem ter nočnem prezračevanju.

Če 5 % efektivno odprtino povečamo za 10-krat, se maksimalna stopnja prezračevanja poveča v povprečju za 7-krat, in če 5 % efektivno odprtino povečamo za 20-krat, se maksimalna stopnja prezračevanja poveča v povprečju za 11,8-krat.

Preglednica 29: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.**Table 29: Maximum achieved rate of natural ventilation for single-sided ventilation – Calculated method.**

Efektivna odprtina [%]	Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja [h^{-1}]											
	<i>Nočno prezračevanje</i>				<i>Dnevno prezračevanje</i>				<i>Celodnevno prezračevanje</i>			
	Orientacija				Orientacija				Orientacija			
	S	V	J	Z	S	V	J	Z	S	V	J	Z
0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
5	2,12	2,16	2,16	2,16	2,16	2,19	2,19	2,19	2,11	2,12	2,15	2,15
10	3,95	3,96	3,96	3,96	4,06	4,24	4,24	4,24	3,61	3,63	3,64	3,64
20	7,23	7,30	7,28	7,28	7,68	7,94	7,95	7,95	6,42	6,46	6,53	6,47
25	9,13	9,23	9,18	9,20	9,66	9,78	9,79	9,78	7,82	7,89	7,91	7,95
30	10,93	11,04	10,99	11,00	11,54	11,67	11,69	11,68	9,23	9,35	9,32	9,32
40	12,48	12,62	12,56	12,52	13,23	14,17	14,09	14,12	11,38	11,44	11,45	11,46
50	15,52	15,74	15,62	15,60	15,79	16,30	16,30	16,31	13,42	13,60	13,61	13,58
60	18,34	17,96	17,92	17,93	19,03	18,69	18,71	18,65	15,22	15,53	15,57	15,54
70	18,69	20,51	20,55	20,59	20,76	20,46	20,40	20,37	17,33	17,44	17,48	17,49
75	19,91	19,76	19,75	19,76	21,35	21,71	21,65	21,62	18,37	18,48	18,52	18,53
80	21,11	20,96	20,96	20,97	22,35	23,72	23,68	23,68	19,47	19,59	19,63	19,02
90	23,94	23,28	23,28	23,31	25,74	26,26	26,24	26,24	20,65	20,92	20,97	20,98
100	26,10	26,14	26,14	26,17	26,33	28,27	28,24	28,23	22,57	22,67	22,71	22,74

Na grafikonu 37 so prikazane maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja glede na efektivne odprtine za enostransko prezračevanje. Skozi različne efektivne odprtine je moč opaziti, da se pri dnevnem prezračevanju dosežejo višje maksimalne stopnje naravnega prezračevanja in nižje pri celodnevem prezračevanju.



Grafikon 37: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 37: Maximum achieved rate of natural ventilation for single-sided ventilation – Calculated method.

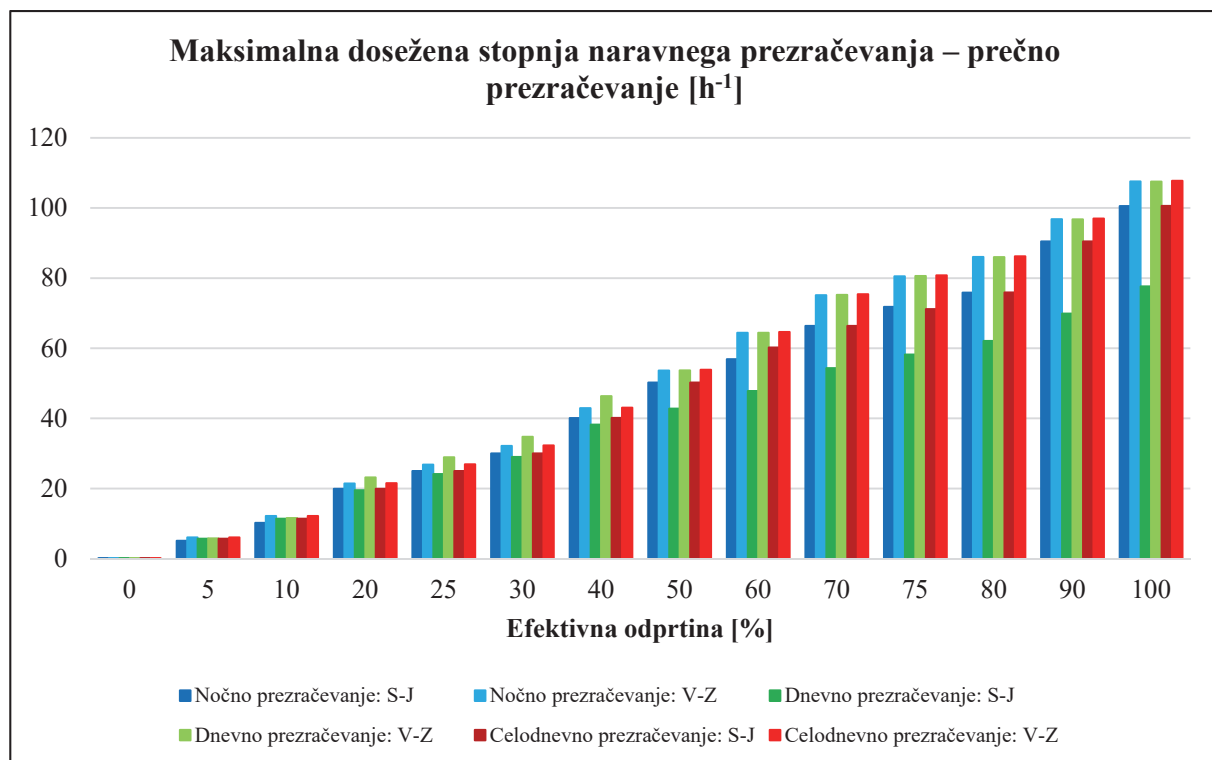
V preglednici 30 so prikazane vrednosti maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja glede na velikosti efektivnih odprtin pri prečnem prezračevanju. V vrednostih je zajeta tudi infiltracija skozi odprtino stavbnega ovoja. Maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja se za enako efektivno odprtino med različnimi orientacijami in časi prezračevanja spremenijo v povprečju za 28,7 %. Orientacija V–Z nudi višjo stopnjo naravnega prezračevanja v primerjavi z orientacijo S–J, in sicer za 10,7 % pri nočnem prezračevanju, 25,8 % pri dnevnem prezračevanju in 8,7 % pri celodnevem prezračevanju.

Če 5 % efektivno odprtino povečamo za 10-krat, se maksimalna stopnja prezračevanja poveča v povprečju za 8,9-krat, in če 5 % efektivno odprtino povečamo za 20-krat, se maksimalna stopnja prezračevanja poveča v povprečju za 17,5-krat.

Preglednica 30: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.**Table 30: Maximum achieved rate of natural ventilation for cross ventilation – Calculated method.**

Efektivna odprtina [%]	Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja [h ⁻¹]					
	<i>Nočno prezračevanje</i>		<i>Dnevno prezračevanje</i>		<i>Celodnevno prezračevanje</i>	
	Orientacija		Orientacija		Orientacija	
	S–J	V–Z	S–J	V–Z	S–J	V–Z
0	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
5	5,09	6,05	5,69	5,79	5,69	6,05
10	10,23	12,18	11,40	11,58	11,40	12,19
20	19,93	21,44	19,54	23,16	19,93	21,53
25	24,99	26,81	24,13	28,95	25,01	26,92
30	30,04	32,17	29,02	34,75	30,04	32,31
40	40,13	42,92	38,23	46,34	40,15	43,09
50	50,24	53,68	42,81	53,70	50,26	53,87
60	56,88	64,41	47,81	64,45	60,21	64,66
70	66,39	75,16	54,35	75,23	66,40	75,44
75	71,80	80,54	58,23	80,61	71,16	80,83
80	75,90	86,05	62,12	86,00	75,91	86,22
90	90,47	96,83	69,89	96,77	90,49	97,01
100	100,58	107,61	77,66	107,55	100,61	107,79

Na grafikonu 38 so prikazane maksimalne dosežene stopnje naravnega prezračevanja glede na efektivne odprtine za prečno prezračevanje. Skozi različne efektivne odprtine je moč opaziti, da se višje maksimalne stopnje naravnega prezračevanja dosežejo pri orientaciji V–Z ne glede na čas prezračevanja. Najmanjše maksimalne stopnje naravnega prezračevanja se doseže pri orientaciji S–J dnevnega prezračevanja.

**Grafikon 38: Maksimalna dosežena stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.****Graph 38: Maximum achieved rate of natural ventilation for cross ventilation – Calculated method.**

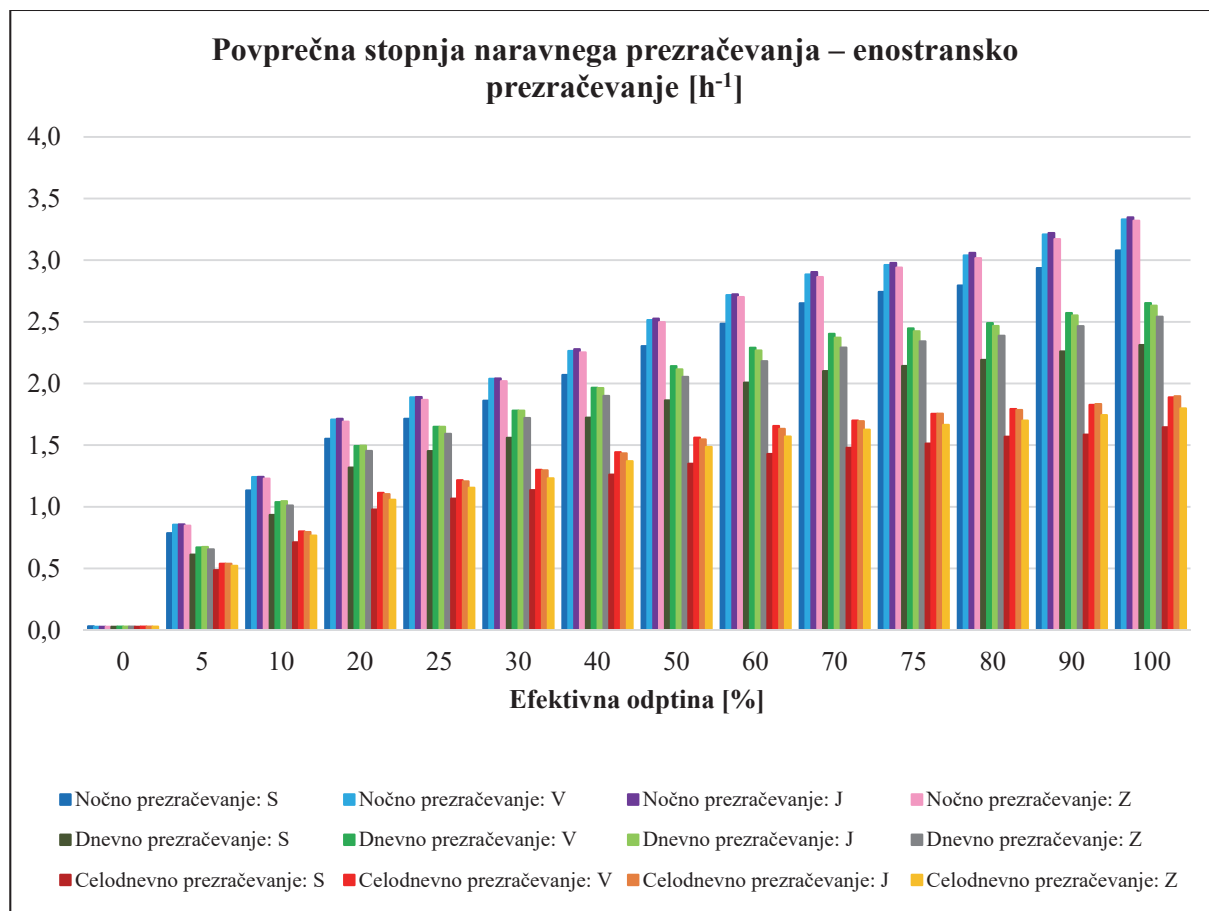
Povprečne stopnje naravnega prezračevanja za enostransko prezračevanje so predstavljene v preglednici 31 in predstavljajo zgolj povprečne vrednosti stopenj naravnega prezračevanja v predpisanem času njegovega delovanja. Najvišje povprečne stopnje prezračevanja dosežemo pri nočnem prezračevanju, sledi dnevno in nato celodnevno prezračevanje. V povprečju je razlika med najnižimi in najvišjimi vrednostmi za enako stopnjo prezračevanja 187,2 %. Pri nočnem prezračevanju dosegamo v povprečju $n = 2,31 \text{ h}^{-1}$, pri dnevnem prezračevanju $n = 1,89 \text{ h}^{-1}$ in pri celodnevnom prezračevanju $n = 1,37 \text{ h}^{-1}$. Najučinkovitejši orientaciji pri doseganju višjih povprečnih stopenj prezračevanja sta orientaciji J in V.

Preglednica 31: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.

Table 31: Average rate of natural ventilation for single-sided ventilation – Calculated method.

Efektivna odprtina [%]	Povprečna stopnja naravnega prezračevanja [h^{-1}]											
	<i>Nočno prezračevanje</i>				<i>Dnevno prezračevanje</i>				<i>Celodnevno prezračevanje</i>			
	Orientacija				Orientacija				Orientacija			
	S	V	J	Z	S	V	J	Z	S	V	J	Z
0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,79	0,86	0,86	0,85	0,61	0,67	0,68	0,66	0,49	0,54	0,54	0,52
10	1,13	1,24	1,24	1,23	0,94	1,04	1,05	1,01	0,71	0,80	0,80	0,77
20	1,55	1,71	1,71	1,69	1,32	1,49	1,50	1,45	0,98	1,11	1,10	1,06
25	1,71	1,89	1,89	1,87	1,45	1,65	1,65	1,59	1,07	1,22	1,21	1,16
30	1,86	2,04	2,04	2,02	1,56	1,78	1,78	1,72	1,14	1,30	1,30	1,23
40	2,07	2,27	2,28	2,25	1,72	1,97	1,96	1,90	1,26	1,44	1,43	1,37
50	2,30	2,52	2,53	2,50	1,86	2,14	2,12	2,05	1,35	1,56	1,55	1,49
60	2,49	2,72	2,72	2,70	2,01	2,29	2,27	2,18	1,43	1,66	1,63	1,57
70	2,65	2,89	2,91	2,86	2,10	2,40	2,37	2,29	1,48	1,70	1,70	1,63
75	2,74	2,96	2,98	2,94	2,14	2,45	2,42	2,34	1,51	1,75	1,76	1,66
80	2,80	3,04	3,06	3,02	2,19	2,49	2,47	2,39	1,57	1,79	1,79	1,70
90	2,94	3,21	3,22	3,17	2,26	2,57	2,55	2,47	1,59	1,83	1,83	1,75
100	3,08	3,33	3,35	3,32	2,31	2,65	2,63	2,54	1,65	1,89	1,90	1,80

Glede na grafični prikaz povprečnih stopenj naravnega prezračevanja za enostransko prezračevanje (Grafikon 39) lahko vidimo, da skozi vse stopnje prezračevanja prevladuje nočno prezračevanje, sledi dnevno in nato celodnevno prezračevanje. Z višanjem stopenj prezračevanja se viša tudi razlika med najvišjimi in najnižjimi vrednostmi povprečnih stopenj prezračevanja, od 74,5 % do 103,0 %.



Grafikon 39: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri enostranskem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 39: Average rate of natural ventilation for single-sided ventilation – Calculated method.

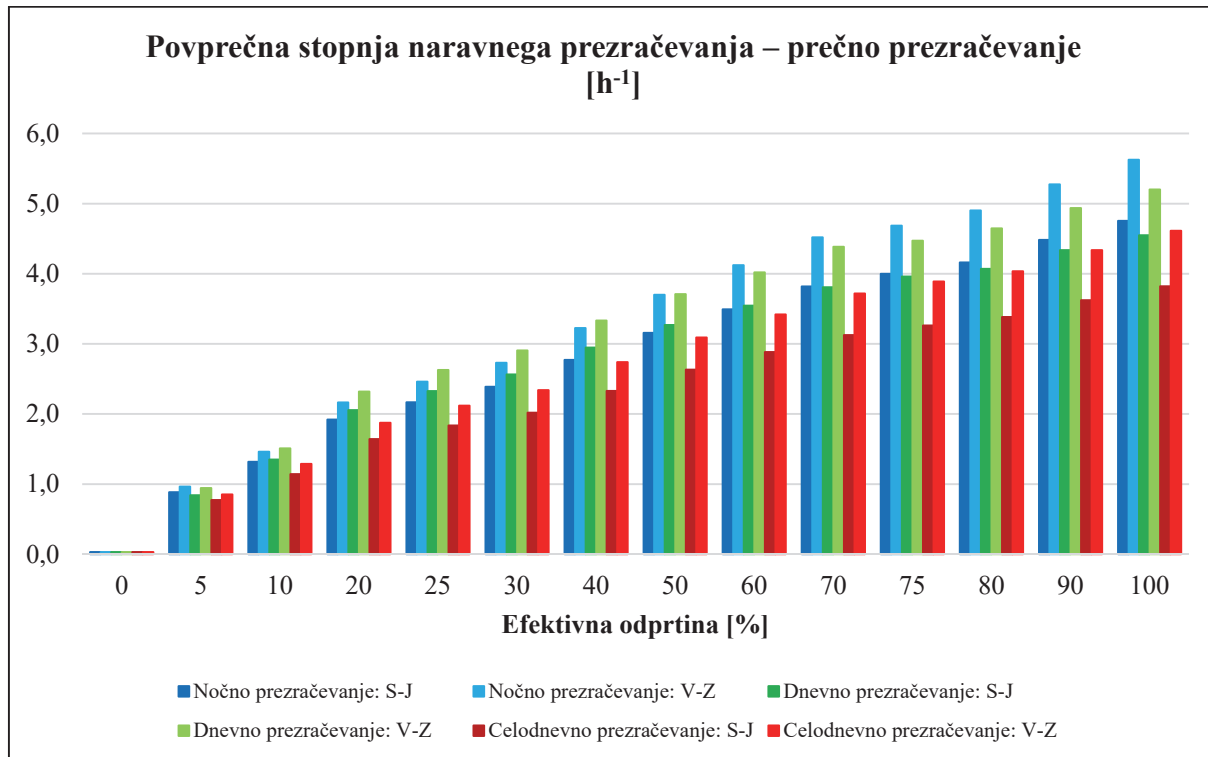
Povprečne vrednosti stopenj naravnega prezračevanja so za prečno prezračevanje predstavljene v preglednici 32. Najvišje povprečne stopnje prezračevanja dosežemo pri nočnem prezračevanju, sledi dnevno in nato celodnevno prezračevanje. V povprečju je razlika med najnižjimi in najvišjimi vrednosti za enako stopnjo prezračevanja 41,5 %. Pri naravnem prezračevanju pri nočnem delovanju dosegamo v povprečju $n = 3,28 \text{ h}^{-1}$, pri dnevnem $n = 3,26 \text{ h}^{-1}$ in pri celodnevni $n = 2,72 \text{ h}^{-1}$. Najučinkovitejša orientacija pri doseganju višjih povprečnih stopenj prezračevanja je orientacija V–Z.

Preglednica 32: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.

Table 32: Average rate of natural ventilation for cross ventilation – Calculated method.

Efektivna odprtina [%]	Povprečna stopnja naravnega prezračevanja [h^{-1}]					
	<u>Nočno prezračevanje</u> Orientacija		<u>Dnevno prezračevanje</u> Orientacija		<u>Celodnevno prezračevanje</u> Orientacija	
	S-J	V-Z	S-J	V-Z	S-J	V-Z
0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
5	0,88	0,96	0,84	0,94	0,77	0,85
10	1,32	1,46	1,35	1,51	1,14	1,29
20	1,92	2,17	2,06	2,32	1,64	1,87
25	2,17	2,46	2,33	2,63	1,84	2,12
30	2,39	2,73	2,57	2,91	2,02	2,34
40	2,77	3,23	2,95	3,33	2,33	2,74
50	3,16	3,70	3,27	3,71	2,63	3,09
60	3,49	4,12	3,54	4,02	2,88	3,42
70	3,82	4,52	3,81	4,39	3,12	3,72
75	4,00	4,69	3,96	4,47	3,26	3,89
80	4,16	4,90	4,07	4,65	3,38	4,04
90	4,48	5,28	4,34	4,94	3,62	4,34
100	4,75	5,63	4,55	5,20	3,82	4,61

Glede na grafični prikaz povprečnih stopenj naravnega prezračevanja za prečno prezračevanje (Grafikon 40) lahko vidimo, da skozi vse stopnje prezračevanja prevladuje prezračevanje pri orientaciji V-Z. Z višanjem stopenj prezračevanja se viša tudi razlika med najvišjimi in najnižjimi vrednostmi povprečnih stopenj prezračevanja, od 24,7 % do 47,4 %.



Grafikon 40: Povprečna stopnja naravnega prezračevanja pri prečnem prezračevanju – izračunana metoda.

Graph 40: Average rate of natural ventilation for cross ventilation – Calculated method.

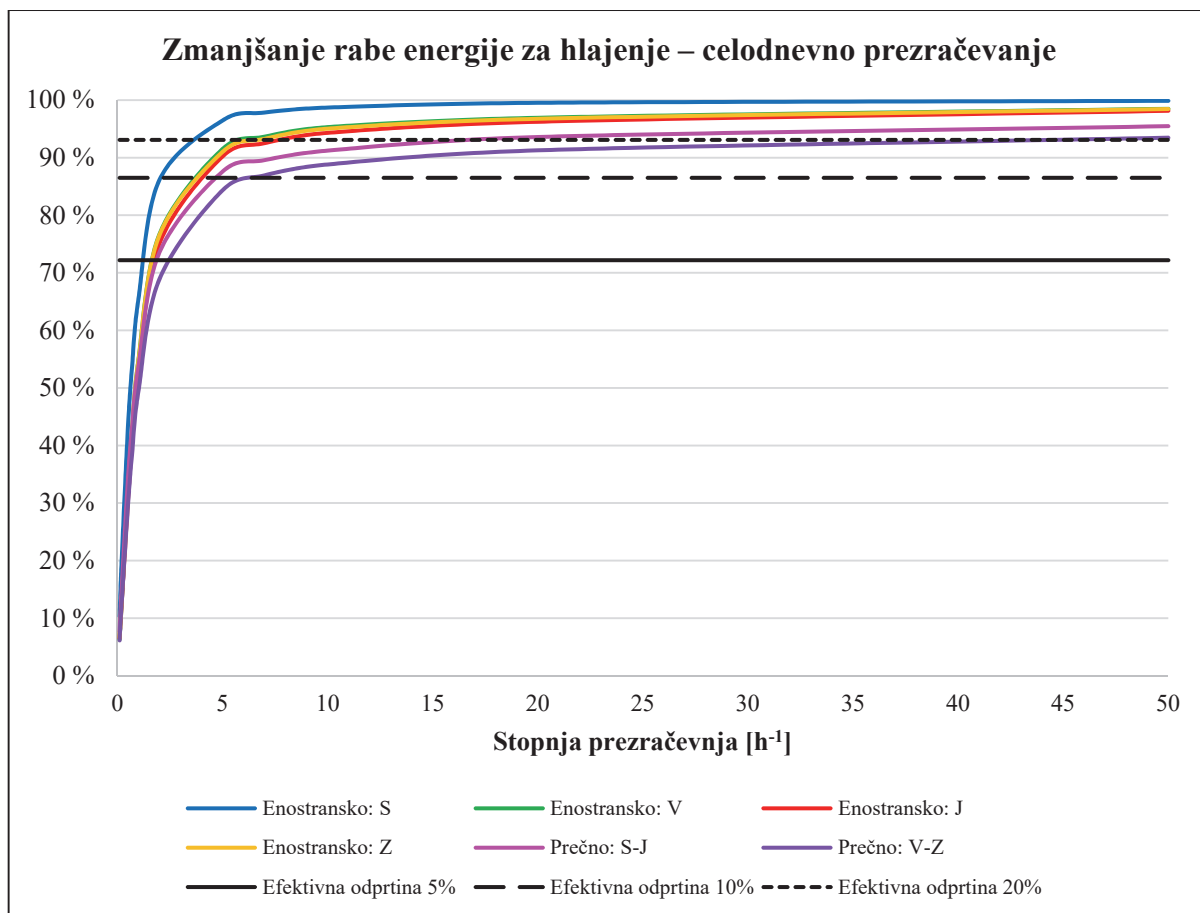
5 RAZPRAVA

Z raziskovalno nalogo smo želeli ugotoviti, ali je zmanjšanje rabe energije za hlajenje s pomočjo naravnega prezračevanja učinkovito. Z analiziranjem različnih načinov in časov delovanja naravnega prezračevanja pri spreminjanju stopenj prezračevanja in efektivnih odprtih smo iskali, kateri načrtovani stopnji prezračevanja ustreza efektivna odprtina, ki ravno tako zagotavlja enako raven zmanjšanja rabe energije za hlajenje kot pri načrtovani stopnji prezračevanja.

Zmanjšanje rabe energije se drastično ne spreminja nad stopnjo prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ pri celodnevem prezračevanju (v povprečju za 7,1 odstotkovne točke), nad $n = 7 \text{ h}^{-1}$ pri nočnem prezračevanju (v povprečju za 8 odstotkovnih točk) in nad $n = 10 \text{ h}^{-1}$ pri dnevnem prezračevanju (v povprečju za 7,6 odstotkovnih točk). Pri spreminjanju velikosti efektivne odprtine med 5 % in 100 % je največje zmanjšanje rabe energije pri dnevnem prezračevanju (v povprečju za 42,9 odstotkovnih točk). Sledi nočno prezračevanje, kjer se v povprečju raba energije dodatno zmanjša za 32,8 odstotkovnih točk in nato pri celodnevem prezračevanju, kjer se v povprečju raba energije zmanjša za 26,3 odstotkovne točke.

Pri celodnevem prezračevanju je za vse orientacije pri stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ moč opaziti zmanjšanje rabe energije v povprečju za 76,2 %. Najmanjše zmanjšanje rabe energije za hlajenje je pri prečnem prezračevanju V–Z (68,9 %) in največje pri enostranskem prezračevanju S (86,2 %). Povprečne dosežene stopnje prezračevanja pri podani stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ znašajo $n = 0,63 \text{ h}^{-1}$. Približno enake povprečne vrednosti tako stopnje prezračevanja kot zmanjšanje rabe energije za hlajenje dosežemo že pri efektivni odprtini 5 %. Pri slednji je zmanjšanje rabe energije v povprečju 72,2 % in povprečne stopnje prezračevanje znašajo $n = 0,62 \text{ h}^{-1}$. Razlika med zmanjšanjem rabe energije pri stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ (načrtovana metoda) in zmanjšanjem rabe energije pri efektivni odprtini 5 % (izračunana metoda) je v povprečju 4 odstotkovne točke. Najmanjša razlika je pri prečnem prezračevanju V–Z, kjer je zmanjšanje rabe energije pri izračunani metodi za 0,6 odstotkovnih točk manjše kot pri načrtovani metodi. Največja razlika pa je opazna pri enostranskem prezračevanju V, kjer je zmanjšanje rabe energije pri izračunani metodi za 5,9 odstotkovnih točk manjše kot pri načrtovani metodi.

Na grafikonu 41 je poleg povprečne vrednosti zmanjšanja rabe energije za hlajenje pri efektivni odprtini 5 % predstavljena tudi povprečna vrednost zmanjšanja rabe energije pri efektivni odprtini 10 % in 20 %. Efektivna odprtina 5 % predstavlja $0,3 \text{ m}^2$ odprtine, kar je le 1,2 % celotne tlorisne površine pisarne.

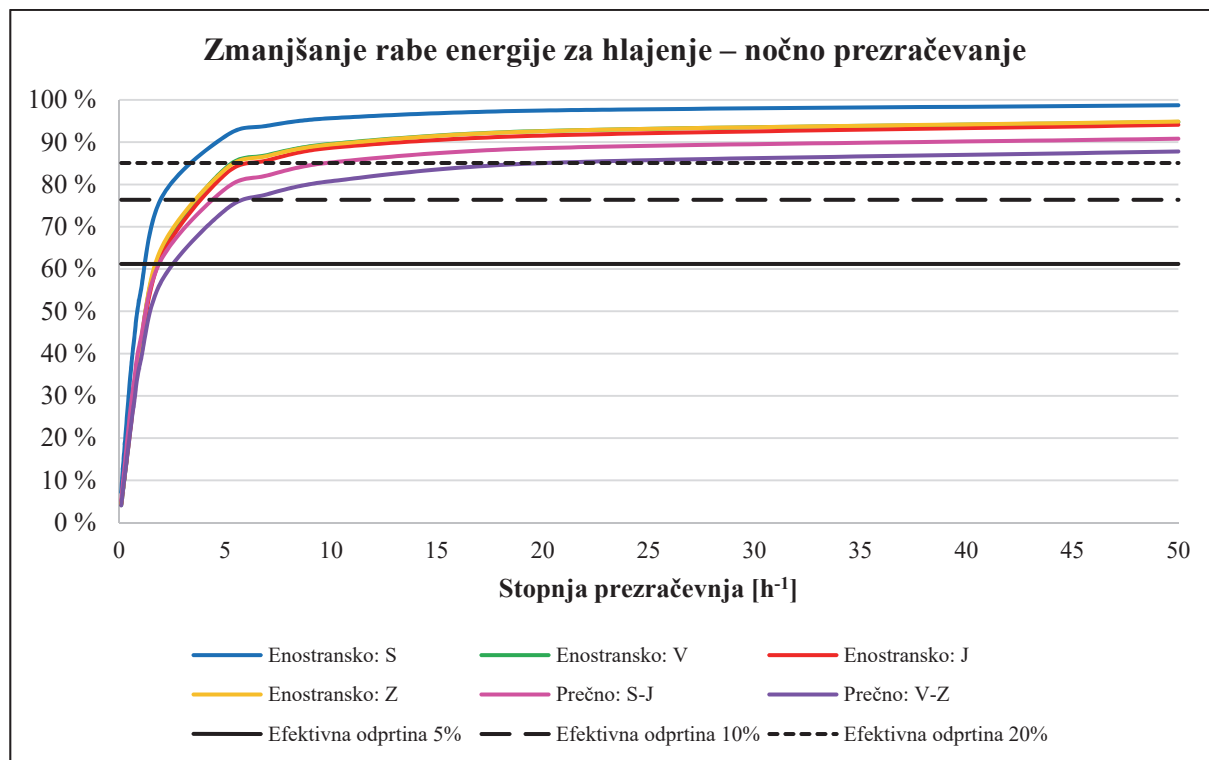


Grafikon 41: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje – celodnevno prezračevanje.

Graph 41: Reduction of energy consumption for cooling – all-day ventilation.

Pri nočnem prezračevanju se pri stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ raba energije za hlajenje v povprečju zmanjša za 64,8 %. Najmanjše zmanjšanje rabe energije za hlajenje je pri prečnem prezračevanju V–Z (57,1 %) in največje pri enostranskem prezračevanju S (76,8 %). Povprečne dosežene stopnje prezračevanja pri podani stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ znašajo $n = 0,96 \text{ h}^{-1}$. Približno enake povprečne vrednosti tako stopnje prezračevanja kot zmanjšanje rabe energije za hlajenje dosežemo že pri efektivni odprtini 5 %. Pri slednji je zmanjšanje rabe energije v povprečju 61,2 % in povprečne stopnje prezračevanje znašajo $n = 0,87 \text{ h}^{-1}$. Razlika med zmanjšanjem rabe energije pri stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ (načrtovana metoda) in zmanjšanjem rabe energije pri efektivni odprtini 5 % (izračunana metoda) je v povprečju 3,6 odstotkovne točke. Najmanjša razlika je pri prečnem prezračevanju V–Z, kjer je zmanjšanje rabe energije pri izračunani metodi za 1,1 odstotkovno točko manjše kot pri načrtovani metodi. Največja razlika pa je opazna pri enostranskem prezračevanju S, kjer je zmanjšanje rabe energije pri izračunani metodi za 5,9 odstotkovnih točk manjše kot pri načrtovani metodi. Pri efektivni odprtini 20 % je zmanjšanje rabe energije v povprečju 85,1 %, kar je približno enako kot pri načrtovani stopnji prezračevanja $n = 7 \text{ h}^{-1}$, kjer je zmanjšanje rabe energije v povprečju 85,5 %. Razlika med zmanjšanjem rabe energije pri stopnji prezračevanja $n = 7 \text{ h}^{-1}$ (načrtovana metoda) in zmanjšanjem rabe energije pri efektivni odprtini 20 % (izračunana metoda) je v povprečju le 0,4 odstotkovne točke. Pri prečnem načinu prezračevanja je pri izračunani metodi višje zmanjšanje rabe energije kot pri načrtovani metodi in obratno velja za enostransko prezračevanje. Povprečni doseženi stopnji prezračevanja sta $n = 1,79 \text{ h}^{-1}$ pri izračunani metodi in $n = 1,77 \text{ h}^{-1}$ pri načrtovani metodi.

Na grafikonu 42 je poleg povprečne vrednosti zmanjšanja rabe energije za hlajenje pri efektivni odprtini 5 % predstavljena tudi povprečna vrednost zmanjšanja rabe energije pri efektivni odprtini 10 % in 20 %. Efektivna odprtina 5 % predstavlja 0,3 m² odprtine, kar je le 1,2 % celotne tlorisne površine pisarne, in efektivna odprtina 20 % predstavlja 1,2 m², kar je 4,8 % celotne tlorisne površine pisarne.



Grafikon 42: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje – nočno prezračevanje.

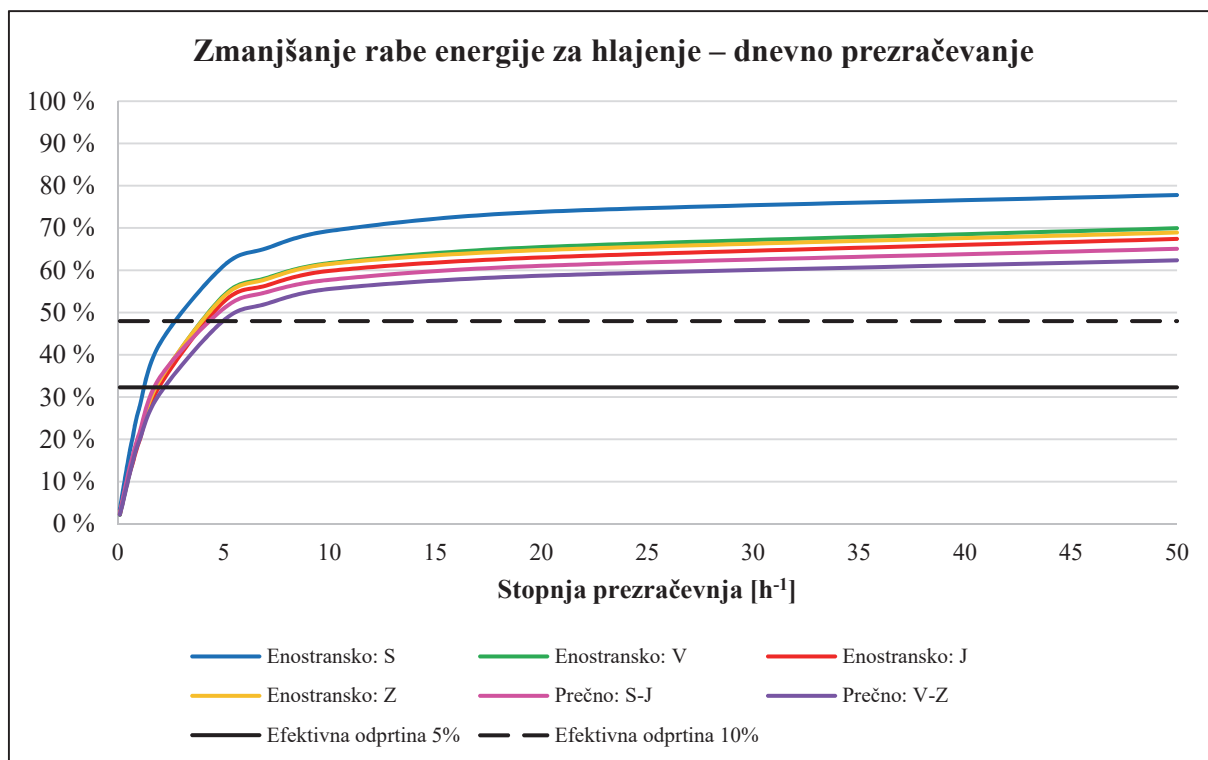
Graph 42: Reduction of energy consumption for cooling – night ventilation.

Pri dnevnem prezračevanju se pri stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ raba energije za hlajenje v povprečju zmanjša za 34,9 %. Najmanjše zmanjšanje rabe energije za hlajenje je pri prečnem prezračevanju V-Z (30,9 %) in največje pri enostranskem prezračevanju S (42,8 %). Povprečne dosežene stopnje prezračevanja pri podani stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ znašajo $n = 0,72 \text{ h}^{-1}$. Približno enake povprečne vrednosti tako stopnje prezračevanja kot zmanjšanje rabe energije za hlajenje dosežemo že pri efektivni odprtini 5 %. Pri slednji je zmanjšanje rabe energije v povprečju 32,3 % in povprečne stopnje prezračevanje znašajo $n = 0,73 \text{ h}^{-1}$. Razlika med zmanjšanjem rabe energije pri stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ (načrtovana metoda) in zmanjšanjem rabe energije pri efektivni odprtini 5 % (izračunana metoda) je v povprečju 2,5 odstotkovne točke. Najmanjša razlika je pri prečnem prezračevanju V-Z, kjer je zmanjšanje rabe energije pri izračunani metodi za 0,5 odstotkovnih točk večje kot pri načrtovani metodi. Pri preostalih načinih in orientacijah prezračevanja je zmanjšanje rabe energije večje pri načrtovani kot pri izračunani metodi. Največja razlika je opazna pri enostranskem prezračevanju S, kjer je zmanjšanje rabe energije pri izračunani metodi za 4 odstotkovne točke manjše kot pri načrtovani metodi.

Pri efektivni odprtini 10 % je zmanjšanje rabe energije v povprečju 48 %. Povprečna dosežena stopnja prezračevanja je $n = 1,15 \text{ h}^{-1}$, kar je približno enako kot pri načrtovani stopnji prezračevanja $n = 7 \text{ h}^{-1}$, kjer je povprečna dosežena stopnja prezračevanja $n = 1,18 \text{ h}^{-1}$. Vendar je zmanjšanje rabe energije pri načrtovani metodi v povprečju 57,4 %, kar je za 9,4 odstotkovne točke večje kot pri izračunani metodi. Pri efektivni odprtini 20 % je zmanjšanje rabe energije v povprečju 59,8 % in povprečna dosežena

stopnja prezračevanja znaša $n = 1,69 \text{ h}^{-1}$. Pri načrtovani stopnji prezračevanja dosežemo zmanjšanje rabe energije v povprečju za 60,9 %, vendar je povprečna dosežena stopnja prezračevanja le $n = 1,22 \text{ h}^{-1}$.

Na grafikonu 43 je poleg povprečne vrednosti zmanjšanja rabe energije za hlajenje pri efektivni odprtini 5 % predstavljena tudi povprečna vrednost zmanjšanja rabe energije pri efektivni odprtini 10 % in 20 %. Efektivna odprtina 5 % predstavlja $0,3 \text{ m}^2$ odprtine, kar je le 1,2 % celotne tlorisne površine pisarne, in efektivna odprtina 20 % predstavlja $1,2 \text{ m}^2$, kar je 4,8 % celotne tlorisne površine pisarne.



Grafikon 43: Zmanjšanje rabe energije za hlajenje – dnevno prezračevanje.

Graph 43: Reduction of energy consumption for cooling – day ventilation.

Toplotno neudobje zaradi pregrevanja v času zasedenosti je prisotno le pri nižjih stopnjah prezračevanja, do $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ pri celodnevem prezračevanju (v povprečju 6,3 %), do $n = 1 \text{ h}^{-1}$ pri nočnem prezračevanju (v povprečju 6,7 %) in do $n = 5 \text{ h}^{-1}$ pri dnevnem prezračevanju (v povprečju 7,4 %). Pri različnih efektivnih odprtinah je pregrevanje prisotno le pri dnevnem prezračevanju pri efektivni odprtini 10 % v povprečju 2,3 %. Tako previsoke notranje operative temperature praktično eliminiramo že z nizkimi in realnimi stopnjami prezračevanja. Toplotno neudobje zaradi podhlajenja je prisotno skozi vse stopnje prezračevanja in različne efektivne odprtine. Pri celodnevem prezračevanju pri stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ je v povprečju 40,2 % deleža ur, ki povzroča podhlajenje prostora. Enak delež ur toplotnega neudobja se giblje med efektivno odprtino 5 % (v povprečju 37,5 %) in 10 % (v povprečju 42,5 %). V primeru nočnega prezračevanja pri stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ in efektivni odprtini 10 % dosežemo enak delež ur toplotnega neudobja zaradi podhlajenja, medtem ko je enaki stopnji prezračevanja za potrebe zmanjšanja rabe energije ustrezala efektivna odprtina 5 %. Pri slednji je razlika v deležu ur podhlajenja 2,3 odstotkovne točke. Pri stopnji prezračevanja $n = 7 \text{ h}^{-1}$, ki ji je za zmanjšanje rabe energije ustrezala efektivna odprtina 20 %, z efektivno odprtino kar 40 % dosežemo enak delež ur podhlajenja. V primerjavi z efektivno odprtino 20 % se delež ur glede na stopnjo prezračevanja $n = 7 \text{ h}^{-1}$ razlikuje le za 1,8 odstotkovnih točk. V dnevnem času prezračevanja pri $n = 2 \text{ h}^{-1}$ dosežemo delež ur podhlajenja v povprečju 31,9 %, čemur ustreza efektivna odprtina med 5 % (v povprečju 29,2 %) in 10 % (v povprečju

34,4 %). Delež ur podhlajenja se z višjimi stopnjami prezračevanja in večjimi efektivnimi odprtinami povečuje, kar predstavlja slabost uporabe naravnega prezračevanja za potrebe hlajenja. Potreben bi bil kriterij, ki bi prenehal z naravnim prezračevanjem, ko bi bila notranja operativna temperatura zraka pod določeno operativno mejo. S tem bi povečali toplotno udobje, vendar bi hkrati zmanjšali samo učinkovitost naravnega prezračevanja za potrebe zmanjšanja rabe energije za hlajenje.

6 ZAKLJUČEK

Z magistrskim delom smo želeli ugotoviti, ali je naravno prezračevanje učinkovito v zmanjšanju rabe energije za hlajenje. Analizirali smo pisarni, ki omogočata enostransko in prečno prezračevanje. Ravno tako smo želeli ugotoviti, v katerem delu dneva je naravno prezračevanje učinkovitejše, in sicer ali v času nočnega, dnevnega ali celodnevne prezračevanja. S pomočjo dveh izbranih metod smo za spremenljivki določili stopnjo prezračevanja pri načrtovani metodi in velikost učinkovite odprtine pri izračunani metodi ter opazovali, kako izbrani parametri vplivajo na zmanjšanje rabe energije in notranje pogoje.

V naši analizi so rezultati pokazali, da je v povprečju pri vseh treh časih prezračevanja enostransko prezračevanje učinkovitejše v zmanjšanju rabe energije za hlajenje. Pri načrtovani metodi je prečno prezračevanje S–J manj učinkovito le od enostranskega prezračevanja S do stopnje prezračevanja $n = 1 \text{ h}^{-1}$ pri celodnevem in nočnem prezračevanju ter do stopnje prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ pri dnevnem prezračevanju. Že pri načrtovani stopnji prezračevanja $n = 2 \text{ h}^{-1}$ lahko dosežemo zadostno zmanjšanje rabe energije, ki ji ustreza že samo 5 % učinkovita odprtina. V povprečju se raba energije zmanjša za dodatnih 21,1 odstotkovnih točk glede na stopnjo prezračevanja $n = 50 \text{ h}^{-1}$ pri celodnevem prezračevanju, za dodatnih 28,8 odstotkovnih točk pri nočnem in za dodatnih 33,7 odstotkovnih točk pri dnevnem. Ugotovili smo, da že majhne stopnje prezračevanja in manjše učinkovite odprtine bistveno vplivajo na zmanjšanje rabe energije za hlajenje in eliminiranje visokih operativnih temperatur. Zavedati se moramo, da so tako visoke stopnje prezračevanja kot tudi velike učinkovite odprtine nerealistične ter omejene s stopnjo toplotnega neudobja.

V primeru manjših stopenj prezračevanja je prečno prezračevanje učinkovitejše le pri določenih orientacijah, vendar je v povprečju glede na analizirane stopnje prezračevanja enostransko prezračevanje učinkovitejše. S tem smo ovrgli prvo hipotezo, ki govori, da je prečno prezračevanje učinkovitejše od enostranskega. Kljub temu je glede na izbrana prostora naša analiza primerljiva z analizo, ki so jo izvedli Gratia in sodelavci [12]. Slednji so ravno tako pri svoji študiji izbrali prostora, pri katerima je tlorisna površina prostora za prečno prezračevanje večja kot tlorisna površina prostora za enostransko prezračevanje. Preostale študije ([13], [14], [15]), ki so za analiziranje učinkovitosti naravnega prezračevanja uporabile enak prostor, potrjujejo postavljeno hipotezo, da je prečno prezračevanje učinkovitejše od enostranskega. Razlika med našo študijo in zaključki omenjenih študij je v različnih tlorisnih površinah primerljivih prostorov. Druga zastavljena hipoteza govori, da je nočno prezračevanje učinkovitejše od dnevnega. Rezultati kažejo, da hipoteza velja za oba načina prezračevanja. Nočno prezračevanje je učinkovitejše od dnevnega pri načrtovani metodi v povprečju za 20,3 odstotkovne točke in izračunani metodi v povprečju za 22,2 odstotkovni točki. Celodnevno prezračevanje je sicer najučinkovitejši čas prezračevanja, ki je glede na nočno prezračevanje učinkovitejši v povprečju za 7,3 odstotkovnih točk pri načrtovani metodi in za 6,6 odstotkovnih točk pri izračunani metodi, vendar lahko njegovo delovanje v času zasedenosti povzroča toplotno nelagodje uporabnikom.

Zavedati se moramo, da je študija bazirana na idealiziranem vplivu vetra, ki bi se v primeru upoštevanja urbanega okolja lahko drastično spremenjal, zato bi bili lahko predhodni rezultati bistveno drugačni. Zaradi izbranih prostorov rezultati med enostranskim in prečnim načinom prezračevanja niso direktno primerljivi. Enostransko prezračevanje predstavlja realnejšo rešitev v manjših prostorih in prečno prezračevanje v večjih, ki segajo čez celoten tloris stavbe. S tem izbrana prostora predstavljata realistični pisarni. Kot nadaljno delo bi lahko preverili, na kakšen način bi zmanjšali delež ur toplotnega neudobja za temperature, manjše od $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Eden od potencialnih načinov zmanjšanja deleža ur toplotnega

neudobja bi bil kompleksnejši pristop k krmiljenju naravnega prezračevanja, ki bi omogočal prenehanje prezračevanja pri določeni temperaturi, četudi bi bili pogoji za hlajenje s prezračevanjem izpolnjeni. Zanimivo bi bilo preveriti tudi, kateri način prezračevanja bi bil učinkovitejši v primeru, če bi bili pisarni orientirani tako, da bi daljše stranice predstavljale zunanje površine stavbnega ovoja.

Pri poslovnih objektih, v katerih se poraja vprašanje zasebnosti in varnosti pisarniških prostorov, prečno prezračevanje predstavlja potencialni problem izvedljivosti. Če prostori omogočajo prečno prezračevanje, se ga le poslužujemo, saj je učinkovitejši od enostranskega ([13], [14], [15]) pri enakih dimenzijah prezračevanega prostora. Če takšna izvedba ni možna, se prostori zasnujejo s polovično tlorisno površino, ki so medsebojno ločeni s pregradnimi stenami in/ali hodniki. Pri takšnih prostorih je enostransko prezračevanje edini možen način prezračevanja, ki učinkovito zmanjšuje rabo energije za hlajenje.

VIRI IN LITERATURA

- [1] Košir, M. 2019. Prosojnice iz predavanj pri predmetu Učinkovita raba energije. Ljubljana, UL FGG. (Pridobljeno: 16. 2. 2019)
- [2] Temperature anomaly. 2021.
https://climate.nasa.gov/system/internal_resources/details/original/1987_yearly_temperature_anomalies_from_1880_to_2019.jpeg (Pridobljeno: 23. 1. 2020)
- [3] History of air conditioner. 2021.
<https://www.airconditioning-systems.com/history-of-air-conditioner.html> (Pridobljeno: 9. 2. 2020)
- [4] Energy use in buildings. 2021.
https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets-topics-tree/energy-use-buildings_en?redir=1 (Pridobljeno: 19. 2. 2020)
- [5] Global status report. 2017.
<https://www.worldgbc.org/news-media/global-status-report-2017> (Pridobljeno: 14. 1. 2020)
- [6] Emmerich, S.J., Dols, W.S., Axley, J.W. 2001. Natural ventilation review and plan for design and analysis tools.
- [7] Sacht, H., Lukiantchuki, M. A. 2017. Windows size and the performance of natural ventilation. *Procedia Engineering* 196. Elsevier Ltd: p. 972–979.
- [8] Kantzioura, A., Kosmopoulos, P., Dimoudi, A., Zoras S. 2015. Experimental investigation of microclimatic conditions in relation to the built environment in a central urban area in Thessaloniki (Northern Greece): A case study. *Sustainable Cities and Society* 19. Elsevier Ltd: p. 331–340.
- [9] Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., Watson, I. D. 1991. Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night part 2: Diagnosis of causation. *Boundary – Layer Meteorology* 56: p. 339–358.
- [10] Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., Kolokotsa, D. 2014. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings* 98. Elsevier Ltd: p. 119–124.
- [11] Causone, F. 2015. Climatic potential for natural ventilation. Department of Energy, Politecnico di Milano, Milano, Italy.
- [12] Gratia, E., Bruyère I., De Herde A. 2004. How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. *Building and environment* 39. Elsevier Ltd: p. 1157–1170.
- [13] Ahmed, T., Kumar, P., Mottet, L. 2021. Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 138. Elsevier Ltd.

- [14] Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B.R., Drogemuller, R. 2017. Effect of natural ventilation mode on thermal comfort and ventilation performance: Full-scale measurement. *Energy and Buildings* 156. Elsevier Ltd: p. 1–16.
- [15] Spentzou, E., Cook, M.J., Emmitt, S. 2017. Modelling natural ventilation for summer thermal comfort in Mediterranean dwellings. *International Journal of Ventilation* (2019).
- [16] Passe, U., Battaglia, F. Designing spaces for natural ventilation. An architect's guide.
- [17] Lechner, N. Heating, cooling, lighting: Design Methods for Architects.
- [18] Košir, M. 2019. Climate Adaptability of Buildings. Bioclimatic Design in the Light of Climate Change.
- [19] Haggard, K., Bainbridge, D., Aljilani, R. 2009. Passive solar architecture pocket reference book. International Solar Energy Society, Freiburg
- [20] DeKay, M., Brown, G.Z. 2014. Sun, wind & light: architectural design strategies.
- [21] Engineering Guide: Natural Ventilation.
- [22] Natural ventilation. 2017.
<https://www.slideshare.net/roopachikkalgi/natural-ventilation-73526859> (Pridobljeno: 14. 1. 2020)
- [23] Wind Towers – passive cooling – Iran. 2021.
http://earthsci.org/mineral/energy/wind_tower_iran/WIND_TOWERS.html
(Pridobljeno: 20. 10. 2020)
- [24] Design and performance comparison of two patterns of wind-catcher for a semi-enclosed courtyard. 2017.
https://www.researchgate.net/profile/Naima_Benkari2/publication/319942783/figure/fig1/AS:540987518709760@1505992883874/Working-principle-of-wind-catcher-source10-modified-by-authors.png
(Pridobljeno: 29. 10. 2020)
- [25] Light Matters: Mashrabiya - Translating Tradition into Dynamic Facades. 2014.
https://images.adsttc.com/media/images/5383/c71d/c07a/8031/7a00/0050/large_jpg/Suhaymi044.jpg?1401145113 (Pridobljeno: 26. 2. 2021)
- [26] Alhambra De Granada. 2021.
https://www.alhambradegranada.org/imagenes/productos/q27uihzbmw6kq3dxudnwppvw5e_3.jpg
(Pridobljeno: 26. 2. 2021)
- [27] Shoji. 2021.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Shoji> (Pridobljeno: 25. 11. 2020)
- [28] A Traditional Japanese House. 2019.
<https://www.ancient.eu/uploads/images/11013.jpg?v=1610671503> (Pridobljeno: 26. 2. 2021)

- [29] Prek, M. 2014. Učinkovitost prezračevanja. Ljubljana, UL FS. (Pridobljeno: 5. 2. 2020)
- [30] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS, št. 42/02, 105/02, 110/02 – ZGO-1 in 61/17 – GZ.
- [31] Dynamic Pressure. 2015.
- <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/dynpress.html> (Pridobljeno: 10. 2. 2020)
- [32] Natural ventilation. 2021.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_ventilation (Pridobljeno: 10. 2. 2020)
- [33] Basics of Natural Ventilation. 2021.
- <https://natvent.scripts.mit.edu/home/wp-content/uploads/2013/06/CrossVentilationCartoon.png> (Pridobljeno: 24. 1. 2020)
- [34] Natural ventilation. 2016.
- <https://www.wbdg.org/resources/natural-ventilation> (Pridobljeno: 10. 2. 2020)
- [35] Basics of Natural Ventilation. 2021.
- <https://natvent.scripts.mit.edu/home/wp-content/uploads/2013/06/StackVentilationCartoon.png> (Pridobljeno: 24. 1. 2020)
- [36] ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [37] Dovjak, M. 2019. Prosojnice iz predavanj pri predmetu Bivalno okolje. Ljubljana, UL FGG. (Pridobljeno: 9. 2. 2019)
- [38] Standards of Human Comfort. 2021.
- https://soa.utexas.edu/sites/default/disk/preliminary/preliminary/1-Boduch_Fincher-Standards_of_Human_Comfort.pdf (Pridobljeno: 14. 1. 2020)
- [39] Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih. Uradni list RS, št. 89/99, 39/05 in 43/11 – ZVZD-1.
- [40] Energijske lastnosti stavb – prezračevanje stavb – 1. del: Vstopni podatki notranjega okolja za projektiranje in ocenjevanje energijskih lastnosti stavb glede kakovosti notranjega zraka, toplotnega okolja, razsvetljave in akustike – Modul M1- 6. SIST EN 16798-1:2019.
- [41] Programsko orodje DesignBuilder Software Ltd.
- [42] Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije.
- [43] EnergyPlus. 2021.
- <https://energyplus.net/> (Pridobljeno: 24. 4. 2019)

[44] Welcome To DesignBuilder V5. 2021.

<http://designbuilder.co.uk/helpv5.5/> (Pridobljeno: 19. 7. 2020)

[45] Effective opening area of two typical windows. 2015.

https://www.researchgate.net/profile/Yan_Li225/publication/268156841/figure/fig1/AS:295472817295361@1447457617274/Effective-opening-area-of-two-typical-windows.png (Pridobljeno: 27. 7. 2020)

[46] ARHIV - opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji. 2021.

<https://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (Pridobljeno: 24. 4. 2019)

[47] Visoka sposobnost akumulacija toplote za najboljše ugodje. 2021.

<https://termologik.com/wp-content/uploads/2018/05/Graf01.1.jpg> (Pridobljeno: 5. 6. 2020)

[48] Programsko orodje Window 7.6. 2019. <https://windows.lbl.gov/tools/window/software-download> (Pridobljeno: 16. 1. 2019)

[49] Izračun toplotne prehodnosti – Natura Optimo. 2016.

https://www.m-sora.si/si/files/default/projekti-in-certifikati/Toplotna_prehodnost_Uw_2016/slovenski/NATURA%20OPTIMO,%200,7.pdf (Pridobljeno: 5. 5. 2019)

[50] Ergonomija toplotnega okolja – Ugotavljanje presnovne toplote (ISO 8996:2004)