

ANALIZA I PRIMJENA PC VENTILATORA

Tarandek, Timon

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:333012>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PRIJEDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

TIMON TARANDEK

ANALIZA I PRIMJENA PC VENTILATORA

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2024.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PRIJEDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

TIMON TARANDEK

ANALIZA I PRIMJENA PC VENTILATORA

ZAVRŠNI RAD

Filip Žugčić, mag. ing. el.

KARLOVAC, 2024.

KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
UNDERGRADUATE PROFESSIONAL STUDY OF MECHATRONICS

TIMON TARANDEK

ANALYSIS AND APPLICATION OF PC FANS

FINAL PAPER

KARLOVAC, 2023/2024.

OBRAZAC ZADATKA ZAVRŠNOG RADA

Ime i prezime	Timon Tarandek		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta			
JMBAG			
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	X	prijediplomski	stručni diplomski
Naziv studija	Stručni studij Mehatronika		
Godina upisa	2018./2019.		
Datum podnošenja molbe			
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: Analiza i primjena PC ventilatora	
Naslov teme na engleskom: Analysis and application of PC fans	
Opis zadatka: U ovom završnom radu istražuje se i analizira važnost, princip rada, karakteristike i primjena PC ventilatora u modernim računalima. Postavit će se devet različitih konfiguracija ventilatora u sustavu kako bi se istražio i usporedio utjecaj različitih modova protoka zraka u kućištu. Pomoću softverskog stres testiranja računalnih komponenti mjerit će se, bilježiti i uspoređivati ključne karakteristike kako bi se identificirala optimalna konfiguracija koja omogućuje najefikasniji rad računala	
Mentor: Filip Žugčić, mag.ing.el., v. pred.	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

IZJAVA

Ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica završnog rada predanog u elektronskom obliku te sam suglasan/na da se isti pohrani u digitalnom obliku kao cjelovit tekst u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Veleučilišta u Karlovcu i u javnoj internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu (prema Zakonu o izmjenama i dopunama Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, članak 83., NN 94/13) kao završni rad u otvorenom pristupu.

Zahvaljujem se svom mentoru Filipu Žugčiću na pristupačnosti, korisnim savjetima i stručnoj pomoći.

Karlovac, 2024.

Timon Tarandek

SAŽETAK

Tema završnog rada je analiza i primjena PC ventilatora. U ovom radu istražit će se karakteristike, princip rada te primjena ventilatora u modernim računalima, kao i optimizacija zračnog protoka unutar kućišta. Biti će postavljeno devet različitih konfiguracija ventilatora u sustavu, nakon čega će se softverskim stres testiranjem računalnih komponenti mjeriti i bilježiti ključne karakteristike kao što su maksimalna i prosječna temperatura procesora i grafičke kartice, stabilnost temperature procesora i grafičke kartice, te maksimalno opterećenje grafičke kartice, itd. Nakon toga će se podaci analizirati i usporediti.

Cilj rada je optimizirati upravljanje toplinom unutar kućišta radi osiguranja najefikasnijeg protoka zraka i najefektivnijeg rada računala prilagođenog specifičnom sustavu.

Ključne riječi: PC ventilator, računalne komponente, stres testiranje, termalno upravljanje, efikasnost sustava.

SUMMARY

The topic of the thesis is the analysis and application of PC fans. This study will explore the characteristics, operating principles, and applications of fans in modern computers, as well as the optimization of airflow within the case. Nine different fan configurations will be set up in the system, followed by software stress testing of computer components to measure and record key features such as maximum and average temperatures of the processor and graphics card, temperature stability of the processor and graphics card, and maximum graphics card load, among others. Subsequently, the data will be analyzed and compared.

The aim of the study is to optimize thermal management within the case to ensure the most efficient airflow and effective operation of the computer tailored to the specific system.

Keywords: PC fan, computer components, stress testing, thermal management, system efficiency.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKE OSNOVE ISTRAŽIVANJA	2
2.1. Termalni menadžment u računalima	2
2.2. Metode hlađenja u računalima	3
2.2.1. Pasivno hlađenje.....	3
2.2.2. Aktivno hlađenje.....	4
2.2.3. Hlađenje tekućinom	5
2.3. PC Ventilatori	6
2.3.1. Vrste PC ventilatora	6
2.3.2. Karakteristike PC ventilatora.....	7
2.3.3. Princip rada.....	9
2.3.4. Tehničke karakteristike	13
2.3.5. Montaža i uporaba	16
3. FORMULACIJA ZADATKA	25
3.1. Metodologija testiranja.....	25
3.1.1. Termometar	26
3.1.2. Softverski alat Furmark	27
3.1.3. Kućište	28
3.1.4. Ventilator.....	29
3.2. Testne konfiguracije	30
3.2.1. Konfiguracija 1: Kontrolni raspored (0 ventilatora)	31
3.2.2. Konfiguracija 2: Ekstremni usis (6 usisnih ventilatora)	32
3.2.3. Konfiguracija 3: Ekstremni ispuh (6 ispušnih ventilatora).....	33
3.2.4. Konfiguracija 4: Balansirani usis (5 ispušnih, 1 usisni ventilator)	34
3.2.5. Konfiguracija 5: Balansirani ispuh (5 usisnih, 1 ispušni ventilatora)	35
3.2.6. Konfiguracija 6: Neutralan tlak (3 usisna, 3 ispušna ventilatora).....	36
3.2.7. Konfiguracija 7: Optimizirani protok 1 (4 usisna, 2 ispušna ventilatora)	37
3.2.8. Konfiguracija 8: Optimizirani protok 2 (4 usisna, 2 ispušna ventilatora)	38
3.2.9. Konfiguracija 9: Minimalni ispuh (0 usisnih, 1 ispušni ventilator).....	39
4. RAZRADA ZADATKA	40
4.1. Temperatura procesora	41
4.1.1. Maksimalna temperatura procesora.....	42

4.1.2.	Prosječna temperatura procesora.....	43
4.1.3.	Stabilnost temperature procesora.....	44
4.2.	Temperatura grafičke kartice.....	45
4.2.1.	Maksimalna temperatura grafičke kartice.....	46
4.2.2.	Prosječna temperatura grafičke kartice.....	47
4.2.3.	Stabilnost temperature grafičke kartice.....	48
4.3.	Opterećenje grafičke kartice.....	49
4.3.1.	Maksimalno opterećenje grafičke kartice.....	50
4.4.	Potrošnja snage grafičke kartice.....	51
4.4.1.	Prosječna potrošnja snage grafičke kartice.....	52
4.5.	Temperatura unutar kućišta.....	53
4.5.1.	Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (stražnja strana).....	54
4.5.2.	Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (prednja strana).....	55
5.	ANALIZA REZULTATA.....	56
5.1.	Sistem rangiranja.....	57
5.1.1.	Maksimalna temperatura procesora.....	57
5.1.2.	Maksimalna temperatura grafičke kartice.....	58
5.1.3.	Prosječna temperatura procesora.....	58
5.1.4.	Prosječna temperatura grafičke kartice.....	59
5.1.5.	Prosječna potrošnja grafičke kartice.....	59
5.1.6.	Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (stražnja strana).....	60
5.1.7.	Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (prednja strana).....	60
5.1.8.	Sveukupna rang lista testiranih parametara.....	61
5.2.	Konačni rezultati istraživanja.....	62
5.2.1.	Zaključci završne analize testiranih konfiguracija.....	63
6.	ZAKLJUČAK.....	66
7.	LITERATURA.....	67

POPIS SLIKA

Slika 1: Noctua NH-P1 pasivni CPU hladnjak [4].....	3
Slika 2: Noctua NH-D15 aktivni CPU hladnjak [4].....	4
Slika 3: Jednostavni prikaz vodenog hlađenja [4].....	5
Slika 4: Noctua NF-A12x25 120mm ventilator za kućište [4].....	6
Slika 5: Shematski prikaz DC i BLDC motora [9].....	9
Slika 6: Prikaz pozitivnog tlaka unutar kućišta [12].....	17
Slika 7: Prikaz negativnog tlaka unutar kućišta [12].....	18
Slika 8: Prikaz neutralnog tlaka unutar kućišta [12].....	19
Slika 9: Oznaka za smjer protoka zraka ventilatora [14].....	20
Slika 10: Montaža ventilatora pomoću anti-vibracijskih vijaka [14].....	21
Slika 11: Montaža ventilatora pomoću anti-vibracijskih jastučića [14].....	21
Slika 12: 3-pin i 4-pin konektori [14].....	22
Slika 13: Vanjski konektor (external fan hub) [14].....	22
Slika 14: ASUS UEFI BIOS sučelje [Autor: Timon Tarandek].....	23
Slika 15: Radno sučelje ASUS Q-Fan kontola [15].....	24
Slika 16: UNI-T mini dual K/J Termometar [16].....	26
Slika 17: Furmark sučelje [Autor: Timon Tarandek].....	27
Slika 18: Corsair 4000D airflow kućište [18].....	28
Slika 19: ROG STRIX XF 120 ventilator [19].....	29
Slika 20: Konfiguracija 1: Kontrolni raspored [Autor: Timon Tarandek].....	31
Slika 21: Konfiguracija 2: Ekstremni usis [Autor: Timon Tarandek].....	32
Slika 22: Konfiguracija 3: Ekstremni ispuh [Autor: Timon Tarandek].....	33
Slika 23: Konfiguracija 4: Balansirani usis [Autor: Timon Tarandek].....	34
Slika 24: Konfiguracija 5: Balansirani ispuh [Autor: Timon Tarandek].....	35
Slika 25: Konfiguracija 6: Neutralan tlak [Autor: Timon Tarandek].....	36
Slika 26: Konfiguracija 7: Optimizirani protok 1 [Autor: Timon Tarandek].....	37
Slika 27: Konfiguracija 8: Optimizirani protok 2 [Autor: Timon Tarandek].....	38
Slika 28: Konfiguracija 9: Minimalni ispuh [Autor: Timon Tarandek].....	39
Slika 29: Prikaz svih testiranih konfiguracija [Autor: Timon Tarandek].....	63

POPIS TABLICA

Tablica 1: Maksimalna temperatura procesora [K] [Autor: Timon Tarandek]	42
Tablica 2: Prosječna temperatura procesora [K] [Autor: Timon Tarandek]	43
Tablica 3: Stabilnost temperature procesora [K] [Autor: Timon Tarandek]	44
Tablica 4: Maksimalna temperatura grafičke kartice [K] [Autor: Timon Tarandek]	46
Tablica 5: Prosječna temperatura grafičke kartice [K] [Autor: Timon Tarandek]	47
Tablica 6: Stabilnost temperature grafičke kartice [K] [Autor: Timon Tarandek]	48
Tablica 7: Maksimalna temperatura unutar kućišta (stražnja strana) [K] [Autor: Timon Tarandek]	54
Tablica 8: Maksimalna temperatura unutar kućišta (prednja strana) [K] [Autor: Timon Tarandek]	55
Tablica 9: Rezultati testiranja [Autor: Timon Tarandek]	56
Tablica 10: Rang lista maksimalne temperature procesora [Autor: Timon Tarandek]	57
Tablica 11: Rang lista maksimalne temperature grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek] ..	58
Tablica 12: Rang lista prosječne temperature procesora [Autor: Timon Tarandek]	58
Tablica 13: Rang lista prosječne temperature grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]	59
Tablica 14: Rang lista prosječne potrošnje grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]	59
Tablica 15: Rang lista maksimalne temperature kućišta (stražnja) [Autor: Timon Tarandek]	60
Tablica 16: Rang lista maksimalne temperature kućišta (prednja) [Autor: Timon Tarandek]	60
Tablica 17: Rang lista svih testiranih parametara [Autor: Timon Tarandek]	61
Tablica 18: Konačna rang lista testiranih parametara [Autor: Timon Tarandek]	62

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1: Dijagram termalnog ograničenja grafičke kartice [2].....	2
Dijagram 2: Prikaz ciklusa signala PWM ventilatora [7].....	11
Dijagram 3: Prikaz ciklusa signala DC ventilatora [Autor: Timon Tarandek].....	12
Dijagram 4: Temperatura procesora [Autor: Timon Tarandek]	41
Dijagram 5: Maksimalna temperatura procesora [°C] [Autor: Timon Tarandek]	42
Dijagram 6: Prosječna temperatura procesora [°C] [Autor: Timon Tarandek]	43
Dijagram 7: Stabilnost temperature procesora [°C] [Autor: Timon Tarandek].....	44
Dijagram 8: Temperatura grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]	45
Dijagram 9: Maksimalna temperatura grafičke kartice [°C] [Autor: Timon Tarandek]	46
Dijagram 10: Prosječna temperatura grafičke kartice [°C] [Autor: Timon Tarandek]	47
Dijagram 11: Stabilnost temperature grafičke kartice [°C] [Autor: Timon Tarandek].....	48
Dijagram 12: Opterećenje grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek].....	49
Dijagram 13: Maksimalno opterećenje grafičke kartice [%] [Autor: Timon Tarandek]	50
Dijagram 14: Potrošnja snage grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]	51
Dijagram 15: Prosječna potrošnja snage grafičke kartice [W] [Autor: Timon Tarandek].....	52
Dijagram 16: Maksimalna temperatura unutar kućišta (Stražnja strana) [°C] [Autor: Timon Tarandek].....	54
Dijagram 17: Maksimalna temperatura unutar kućišta (prednja strana) [°C] [Autor: Timon Tarandek].....	55

1. UVOD

U današnjem modernom svijetu tehnologije sve smo više okruženi elektroničkom opremom. Elektronika radi tako da regulira protok struje, što generira toplinu u otporničkim elementima. Što je veći protok struje ili veći otpor, to je veća proizvodnja topline.

Ako se toplina ne kontrolira pravilno, temperature mogu porasti do razine koja može uzrokovati kvarove i trajno oštetiti komponente te prekinuti protok struje. Stoga je ključno učinkovito upravljanje toplinom kako bi se osigurao pouzdan, stabilan i dugotrajan rad komponenti. To predstavlja glavni izazov u elektroničkim sustavima. [1]

U svijetu računalne tehnologije, upravljanje toplinom postaje još složenije i važnije. S porastom performansi računalnih komponenata, proizvodnja topline u računalima značajno se povećala. Stoga raste potreba za efikasnim sustavima hlađenja.

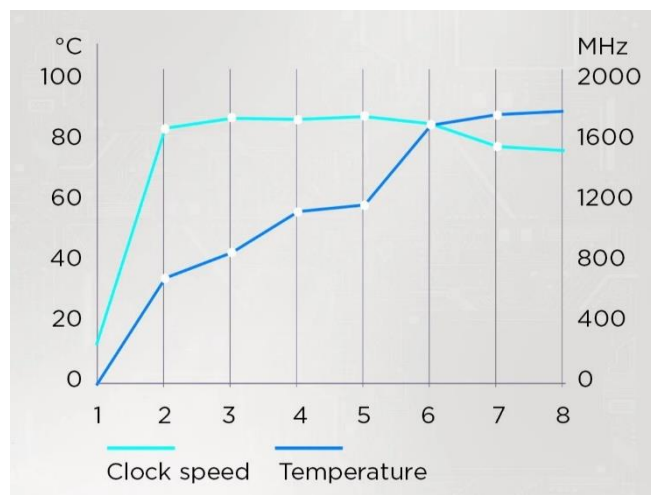
Cilj ovog rada je istražiti važnost termalnog upravljanja u računalima, glavne metode hlađenja s naglaskom na PC ventilatore, njihovu primjenu, karakteristike rada te testirati različite konfiguracije montaže.

2. TEORIJSKE OSNOVE ISTRAŽIVANJA

2.1. Termalni menadžment u računalima

Termalni menadžment je ključna komponenta u dizajnu i održavanju modernih računalnih sustava. Kako računalne komponente postaju sve moćnije i energetske zahtjevnije, tako raste i količina proizvedene topline. Stoga održavanje temperature unutar preporučenih radnih granica je ključno za osiguravanje pouzdanosti, stabilnosti i dugovječnosti računalnih komponenti. Pregrijavanje može dovesti do smanjenja performansi, slučajnih gašenja sustava, te trajnog oštećenja komponenti. [1]

U računalima, najkritičniji dijelovi koji zahtijevaju učinkovito hlađenje su procesor i grafička kartica, no i druge komponente poput napajanja, matične ploče i memorije također zahtijevaju odgovarajuće termalno upravljanje. Neadekvatno hlađenje može uzrokovati smanjenje performansi „thermal throttling“ ili potpuno isključivanje sustava radi zaštite. [2]



Dijagram 1: Dijagram termalnog ograničenja grafičke kartice [2]

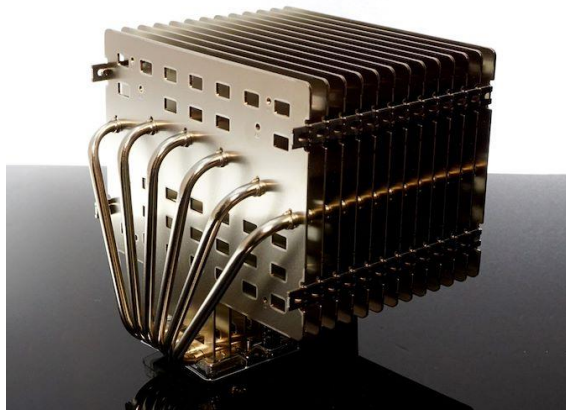
„Termalno ograničenje“ ili „thermal throttling“ se pojavljuje kada procesor ili grafička kartica dosegnu određeni temperaturni prag, obično oko 90°C. Tada smanjuju svoj radni takt kako bi smanjili generiranje topline i spriječili oštećenje komponenti. To rezultira smanjenjem performansi sustava. [2]

2.2. Metode hlađenja u računalima

U računalnoj industriji postoje različite metode za učinkovito upravljanje toplinom, svaka sa svojim karakteristikama, prednostima i nedostacima. Glavne metode hlađenja uključuju pasivno hlađenje, aktivno hlađenje i hlađenje tekućinom.

2.2.1. Pasivno hlađenje

Pasivno hlađenje koristi prirodne procese konvekcije, provođenja i zračenja topline za hlađenje komponenti. Ostvaruje se upotrebom metalnog hladnjaka ili hladnjaka s toplinskim cijevima, koji su najčešće izrađeni od aluminija ili bakra s posebnim rebrastim dizajnom kako bi se povećala površina za prijenos topline. Složeniji dizajni uključuju toplinske cijevi koje koriste fenomen konvekcije. [3]



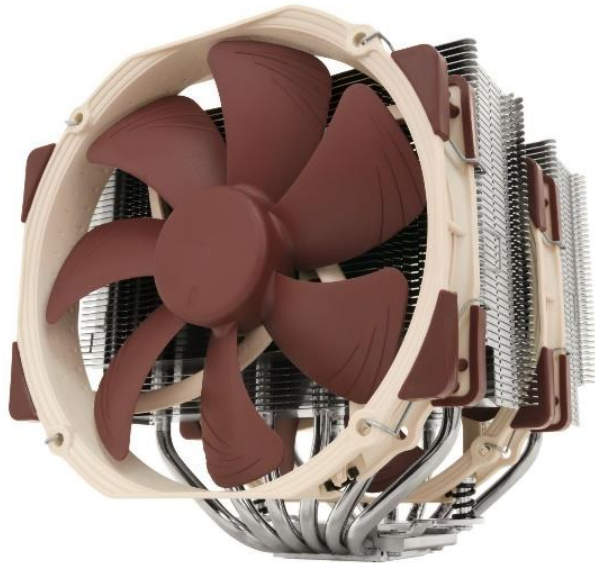
Slika 1: Noctua NH-P1 pasivni CPU hladnjak [4]

Prednosti pasivnog hlađenja su sljedeće: energetski je učinkovito jer ne troši električnu energiju, potpuno je tiho zbog izostanka pokretnih dijelova, pouzdano je i manje sklono kvarovima, jednostavno za održavanje, dugovječno je zbog manjeg broja komponenti te je ekološki prihvatljivije jer smanjuje potrošnju energije i potrebu za zamjenom dijelova. [4]

Nedostaci pasivnog hlađenja su: manja učinkovitost u usporedbi s aktivnim sustavima, posebno pri visokim opterećenjima, često su veći i teži, zahtijevaju specifične dizajnerske prilagodbe za osiguranje površine za disipaciju topline, manje su učinkoviti u ekstremnim toplinskim uvjetima te su kvalitetni materijali poput bakra i aluminija skupi. [4]

2.2.2. Aktivno hlađenje

Aktivno hlađenje uključuje: korištenje mehaničkih uređaja poput ventilatora ili pumpi za prisilno protjerivanje zraka ili tekućine preko komponenti koje proizvode toplinu. Predstavlja napredak u odnosu na koncept pasivnog hlađenja i obično se sastoji od aluminijskog hladnjaka u kombinaciji s jednim ili više ventilatora. Hladnjak djeluje kao medij koji apsorbira toplinsku energiju iz komponente koja zahtijeva hlađenje, a dodavanje ventilatora značajno poboljšava učinkovitost povećanjem protoka zraka i odvođenja topline. [3]



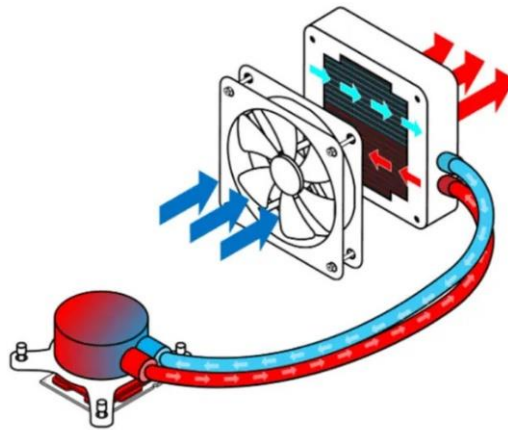
Slika 2: Noctua NH-D15 aktivni CPU hladnjak [4]

Prednosti aktivnog hlađenja su: visoka efikasnost hlađenja budući da imaju mogućnost brzo i učinkovito ukloniti velike količine topline, precizna kontrola temperature, aktivni sustavi mogu biti manjih dimenzija stoga imaju fleksibilan dizajn te sposobnost nošenja s visokim termičkim opterećenjima. [4]

Nedostaci aktivnog hlađenja su: povećana potrošnja energije, mogu stvarati značajnu razinu buke, aktivni sustavi zahtijevaju redovito održavanje. Pokretni dijelovi su skloni kvarovima. Također, aktivni sustavi hlađenja često su skuplji zbog složenosti i dodatnih komponenti poput ventilatora i pumpi za tekućinu. Uz to, pokretni dijelovi mogu uzrokovati vibracije koje negativno utječu na osjetljive komponente uređaja. [4]

2.2.3. Hlađenje tekućinom

Hlađenje tekućinom je metoda kojom se koriste tekućine, najčešće voda ili specijalizirane rashladne tekućine, za prijenos i odvod topline. Ovaj tip hlađenja je posebno učinkovit za komponente koje proizvode veliku količinu topline. Pomoću pumpe tekućina se kontinuirano prenosi kroz vodene blokove na komponentama, gdje apsorbira toplinu, a zatim se kreće dalje prema radijatoru, gdje se toplina odvodi i raspršuje ventilatorima. Sustav za hlađenje tekućinom obično uključuje i rezervoar koji omogućuje lakše održavanje i upravljanje tekućinom. [3]



Slika 3: Jednostavni prikaz vodenog hlađenja [4]

Prednosti hlađenja tekućinom su: visoka učinkovitost uklanjanja topline što ga čini idealnim za komponente visokih performansi koje generiraju puno topline. Također, omogućuje ravnomjerno raspoređivanje temperature po cijelom sustavu. Sustavi hlađenja tekućinom su znatno tiši od zračnih hladnjaka. Mnogi sustavi su modularni, što znači da je prilagodba i nadogradnja sustava olakšana. [4]

Nedostaci hlađenja tekućinom uključuju kompleksan dizajn i kompliciranu instalaciju, visoku cijenu dodatnih komponenti te zahtjeve za redovitim održavanjem kao što su izmjena tekućine, čišćenje radijatora i zamjena dijelova. Postoji rizik od curenja tekućine, a sustavi vodenog hlađenja zauzimaju više prostora unutar kućišta. Sve računalne komponente nisu kompatibilne sa sustavima vodenog hlađenja. [4]

2.3. PC Ventilatori

PC ventilatori su aktivne komponente hlađenja, ključne za termalni menadžment velikog broja modernih sustava. Njihova primarna funkcija je regulacija temperature unutar kućišta računala, sprječavajući pregrijavanje ključnih komponenti. To postižu pretvaranjem električne energije u mehaničku energiju, pokrećući ventilatorske lopatice koje stvaraju protok zraka. Ventilatori usmjeravaju hladni zrak prema komponentama, dok istovremeno izvlače topli zrak iz kućišta. [5]



Slika 4: Noctua NF-A12x25 120mm ventilator za kućište [4]

2.3.1. Vrste PC ventilatora

PC ventilatori dolaze u različitim oblicima i veličinama te se mogu klasificirati prema njihovoj primjeni i poziciji unutar računalnog sustava. Neki od njih uključuju [6]:

- Ventilatore za kućište: osiguravaju protok zraka kroz cijelo kućište.
- Ventilatore za procesor: specijalizirani ventilatori za hlađenje procesora.
- Ventilatore za radijatore: hlađenje radijatora u sustavima s tekućim hlađenjem.
- Ventilatore za grafičke kartice: integrirani ventilatori na grafičkim karticama.
- Ventilatore za specifične namjene: hlađenje jedinica napajanja, memorijskih modula ili drugih specifičnih komponenti.

2.3.2. Karakteristike PC ventilatora

PC ventilatori imaju niz karakteristika koje su važne za odabir i optimalno hlađenje računalnih komponenti. Neke od ključnih karakteristika su [6]:

- 1) Veličina ventilatora - Veličina ventilatora određuje koliko zraka ventilator može premjestiti i koliko buke može proizvesti. Najčešće dimenzije ventilatora za osobna računala su 80 mm, 92 mm, 120 mm, 140 mm i 200 mm. (posebice 120 i 140 mm)
- 2) Protok zraka - Protok zraka ventilatora mjeri se u kubičnim metrima po satu (m^3/h) ili u kubičnim stopama po minuti (CFM - Cubic Feet per Minute). Prema imperijalnom sustavu m^3/h je ključan pokazatelj učinkovitosti ventilatora u hlađenju, jer veći protok zraka može učinkovitije sniziti temperaturu unutar računala.
- 3) Razina buke - Razina buke ventilatora mjeri se u decibelima (dB) i označava razinu glasnoće ventilatora tijekom rada. Ventilatori s nižom razinom buke pružaju ugodnije korisničko iskustvo te nešto manje performanse hlađenja, dok ventilatori s višom razinom buke nude bolje performanse hlađenja uz nešto manje ugodno iskustvo. Važno je pronaći ravnotežu između performansi hlađenja i razine buke.
- 4) Brzina okretaja - Brzina okretaja ventilatora mjeri se u revolucijama po minuti (RPM - Revolutions Per Minute). Ovaj parametar označava koliko puta se lopatice ventilatora okrenu u jednoj minuti. Brzina okretaja ventilatora izravno utječe na protok zraka, razinu buke i ukupnu učinkovitost hlađenja ventilatora. Veći broj okretaja po minuti omogućava ventilatoru da premješta više zraka kroz kućište računala što efikasnije odvodi toplinu, ali istovremeno povećava razinu buke. S nižim okretajima efekt je obrnut. Visokopperformansni sustavi zahtijevaju brzinu okretaja u rasponu od 1500 do 2000 okretaja po minuti, dok sustavi s manjim performansama zahtijevaju raspon od 800 do 1200 okretaja po minuti.
 - Ventilatori s ugrađenom kontrolom brzine PWM (Pulse Width Modulation) omogućuju preciznu kontrolu brzine putem softvera na matičnoj ploči ili vanjskog kontrolera. PWM tehnologija omogućava dinamičko prilagođavanje brzine vrtnje ventilatora prema temperaturi komponenti. [7]

5) Statički Tlak – Statički tlak mjeri se u milimetrima vodenog stupca (mm H₂O) i predstavlja snagu kojom ventilator može premjestiti zrak protiv otpora. [8]

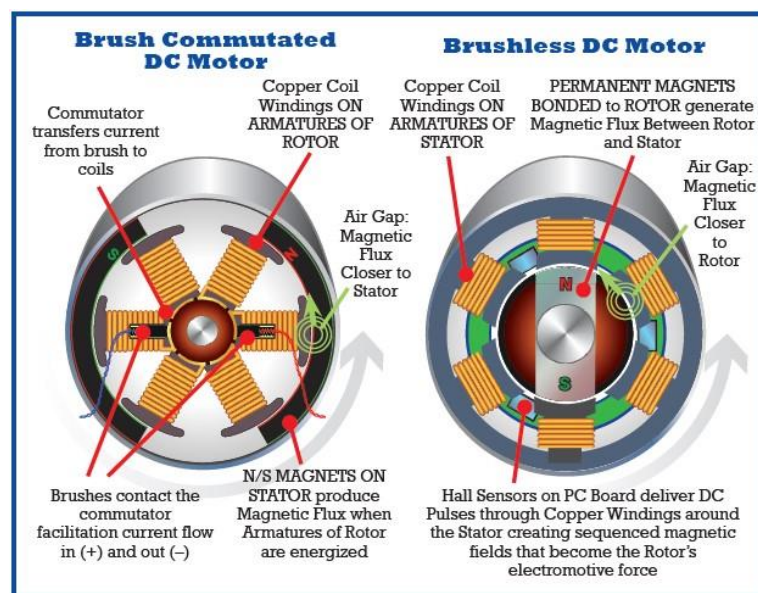
- Ventilatori s visokim statičkim pritiskom su dizajnirani za snažan protok zraka kroz gustu strukturu, kao što su radijatori u sustavima s vodenim hlađenjem i veliki procesorski hladnjaci.
- Ventilatori s niskim statičkim pritiskom su pogodni za otvorene prostore unutar kućišta gdje nema značajnih prepreka zraku. Idealni su za opću ventilaciju kućišta gdje je važniji volumen protoka zraka nego snaga protoka kroz prepreke.

2.3.3. Princip rada

PC ventilatori pretvaraju električnu energiju u mehaničku energiju putem elektromotora. Motor pokreće lopatice stvarajući protok zraka. Brzina ventilatora može se prilagođavati po potrebi pomoću PWM (modulacija širine impulsa) ili DC (istosmjerna struja).

2.3.3.1. Elektromotor

Ventilatori u računalima koriste dva glavna tipa motora: istosmjerne (DC) motore i motore bez četkica (BLDC).



Slika 5: Shematski prikaz DC i BLDC motora [9]

- Istosmjerni (DC) motori koriste istosmjernu struju za rad. DC motori su jednostavni, jeftini i pouzdani. Imaju jednostavnu konstrukciju i lakoću u kontroli brzine putem promjene napona. Međutim, mogu imati kraći vijek trajanja zbog habanja četkica. [9]
- Motori bez četkica (BLDC) ne koriste četkice, smanjujući trenje i trošenje, ali imaju složeniju konstrukciju i skuplje dijelove. Upravljanje rotorom se vrši pomoću elektroničke komutacije. Imaju duži vijek trajanja, tiši rad, veću efikasnost i manju potrebu za održavanjem. [9]

2.3.3.2. *Ležajevi*

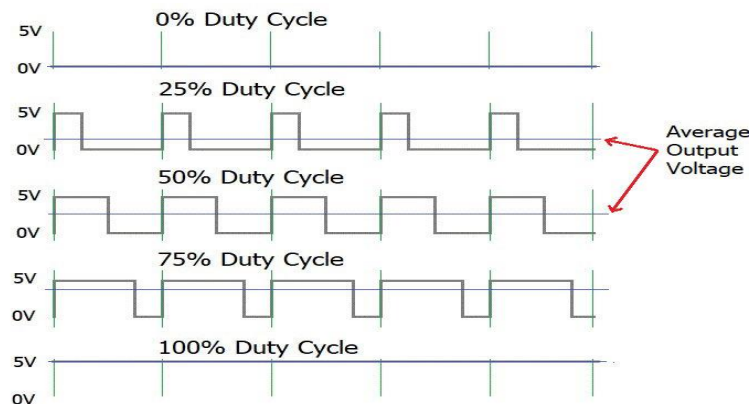
Ležajevi su ključni za smanjenje trenja i osiguravanje glatkog rotiranja lopatica. Vrsta ležajeva ventilatora utječe na performanse, trajnost, razinu buke i pouzdanost ventilatora. Neke od vrsta su [9]:

- Klizni ležajevi (Sleeve Bearings) koriste tanki sloj ulja za smanjenje trenja, jeftini su za proizvodnju i tihi u radu, ali imaju kraći vijek trajanja i skloni su habanju, osobito u vertikalnoj orijentaciji. Pogodni su za ventilatore koji rade u horizontalnom položaju.
- Kuglični ležajevi (Ball Bearings) koriste male kuglice za smanjenje trenja između rotirajućih dijelova, imaju dulji vijek trajanja i pouzdaniji su u svim orijentacijama, ali su bučniji u radu u usporedbi s kliznim ležajevima. Idealni su za ventilatore koji rade u vertikalnom položaju.
- Fluidni ležajevi (Fluid Bearings) koriste tanki sloj tekućine za smanjenje trenja i osiguranje glatkog rada, tiši su te imaju dulji vijek trajanja u usporedbi s kugličnim i kliznim ležajevima, ali su osjetljiviji na prašinu i manje pouzdani u vertikalnoj orijentaciji.
- Puškasti ležajevi (Rifle Bearings), poboljšana verzija kliznih ležajeva, koriste spiralne utore za distribuciju ulja, tiši su od kugličnih ležajeva i imaju dulji vijek trajanja od kliznih ležajeva, ali imaju srednju razinu buke i trajnosti. Pogodni su za opće namjene gdje je potreban balans između buke i trajnosti.
- Maglev ležajevi (Maglev Bearings) magnetske levitacije čime eliminiraju trenje, imaju najdulji vijek trajanja, skoro su nečujni, rade u bilo kojoj orijentaciji, ali su veoma skupi. Primjenjuju se u sustavima koji traže visoko performanse, gdje je pouzdanost ključna.

2.3.3.3. Kontrola brzine ventilatora

Kontrola brzine PC ventilatora omogućava optimizaciju hlađenja računala prema potrebi. Kada je potrebno intenzivnije hlađenje, brzina vrtnje ventilatora se povećava, dok se pri nižim temperaturama brzina smanjuje, što smanjuje buku i poboljšava energetska učinkovitost te dugovječnost komponenti.

1. PWM (Pulse Width Modulation) je metoda koja kontrolira brzinu ventilatora koristeći digitalni signal. Princip rada PWM-a temelji se na modulaciji širine impulsa (pulse width), tj. vremenskom trajanju impulsa u odnosu na cjelokupni period. Frekvencija impulsa je konstantna, ali omjer između trajanja uključenog i isključenog stanja (duty cycle) varira. Koristi 4-pinski konektor. [7]

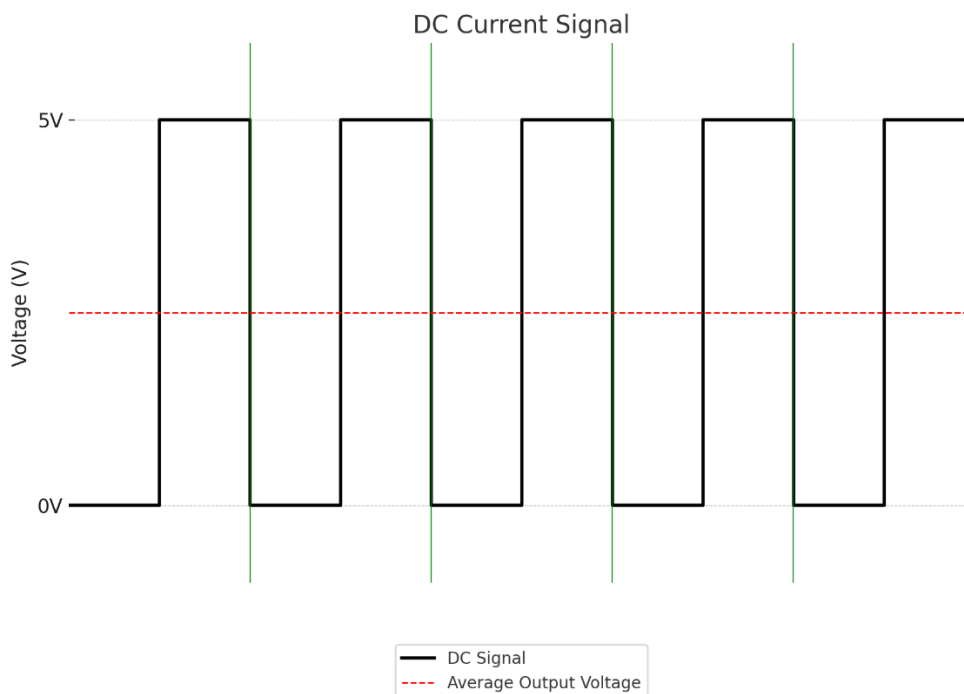


Dijagram 2: Prikaz ciklusa signala PWM ventilatora [7]

Prednosti PWM metode su: omogućavanje precizne kontrole brzine ventilatora, smanjenje buke jer ventilatori rade tiše pri nižim brzinama, održavanje tih nižih brzina bez žrtvovanja stabilnosti rada te smanjenje potrošnje energije jer ventilator radi samo onoliko koliko je potrebno.

Nedostaci PWM metode uključuju složenost implementacije. Kompatibilnost može biti problem, budući da ne podržavaju svi ventilatori i matične ploče PWM kontrolu. PWM signal također može generirati elektromagnetske smetnje koje mogu utjecati na osjetljive elektroničke komponente u blizini. Uz to, PWM kontroleri i ventilatori obično su skuplji od DC ekvivalenata.

2. DC metoda (Direct Current) temelji se na kontroliranoj promjeni napona. Brzina ventilatora se kontrolira promjenom napona s matične ploče ili vanjskog kontrolera. Povećanjem napona povećava se brzina vrtnje ventilatora, dok se snižavanjem napona brzina smanjuje. Koristi 3-pinski konektor. [9]



Dijagram 3: Prikaz ciklusa signala DC ventilatora [Autor: Timon Tarandek]

Prednosti DC metode su: jednostavnost primjene i korištenja te široka dostupnost. Obično je jeftinija metoda zbog manje složenosti elektroničkih komponentata.

Nedostaci DC metode su: manja preciznost regulacije brzine te manje optimalno hlađenje. Brzina može biti smanjena do 40% nazivne brzine. Postoji mogućnost da zastane pri radu ispod minimalnog praga napona.

2.3.4. Tehničke karakteristike

Tehničke karakteristike PC ventilatora obuhvaćaju izradu, ugradnju, konfiguraciju, softverske i hardverske metode kontrole. Odabir kvalitetnih materijala i pravilna ugradnja osiguravaju dugotrajnost i efikasnost ventilatora, dok napredne metode kontrole omogućavaju precizno upravljanje brzinom i radnim sposobnostima ventilatora, kako bi se postiglo optimalno hlađenje računalnog sustava.

2.3.4.1. *Materijali i izrada*

- 1) **Plastika** - Plastika je najčešće korišteni materijal radi svoje lakoće i troškovne učinkovitosti. Omogućava jednostavnu proizvodnju različitih oblika lopatica. Najčešće korištene vrste plastike uključuju PBT (Polybutylene Terephthalate), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), i najlon (Polyamide, PA). [10]
 - PBT (Polibutilen Tereftalat) je materijal koji se široko koristi u industriji zbog svojih svojstava, lakoće oblikovanja i jednostavne dostupnosti. Danas se najčešće koristi za okvire ventilatora. Različite viskoznosti koje može imati, visoka čvrstoća, dimenzionalna stabilnost i gotovo nula naprezanja pri pucanju čine ga pogodnim za injekcijsko prešanje okvira.
 - ABS (Akrilonitril Butadien Stiren) je jeftina i lako oblikovana plastika, ali ne podržava previše deformacija, pa se koristi za ventilatore nižeg ranga. Također je problem što, iako se lako oblikuje pod toplinom, proizvodnja je vrlo zahtjevna, pa se danas rijetko koristi osim ako kompanija želi konkurirati cijenom.
 - Najlon (Poliamid ili PA) je najčešće korišteni materijal u današnjim ventilatorima zbog svojih izvrsnih svojstava i velikog broja varijanti dostupnih na tržištu. Materijal je idealan za rotore i lopatice jer omogućava minimalno uvijanje u određenim varijantama. Također, zbog svoje polu-kristalne i polu-transparentne strukture, omogućuje ugradnju LED dioda.

2) Metal - ventilatori izrađeni od metala najčešće se koriste u visokokvalitetnim i skupim modelima zbog njihove sposobnosti podnošenja viših temperatura i mehaničkih opterećenja. Zbog visoke izdržljivosti i dobre disipacije topline obično se koriste čelik, mesing i aluminij. Metalni dijelovi doprinose torzijskoj krutosti ventilatora zbog osiguravanja dugotrajne stabilnosti i performanse. [10]

- Čelik je idealan za dijelove koji zahtijevaju veliku mehaničku stabilnost zbog njegove čvrstoće i otpornosti na habanje
- Aluminij se koristi zbog svoje male težine i dobre toplinske vodljivosti. Ta svojstva pomažu u učinkovitom hlađenju i smanjenju ukupne težine ventilatora
- Mesing se koristi zbog otpornosti na koroziju i sposobnosti smanjenja vibracija zbog čega se smanjuje buka ventilatora

3) Kompozitni materijali - predstavljaju kombinaciju različitih materijala u svrhu poboljšanja trajnosti i drugih ključnih karakteristika. Kombiniraju se plastika i vlaknasti materijali, kao što su staklena ili karbonska vlakna kako bi se stvorili čvrsti a lagani ventilatori. [10]

- Staklena vlakna povećavaju čvrstoću i otpornost na savijanje kao i visoku otpornost na habanje
- Karbonska vlakna povećavaju čvrstoću uz minimalnu težinu i poboljšavaju toplinsku vodljivost u svrhu bolje disipacije topline
- Polimerni kompoziti kombiniraju malu težinu plastike s čvrstoćom metala. Tekući kristalni polimeri (LCP) nude visoku krutost i minimalnu deformaciju pri rotaciji.

2.3.4.2. *Trajnost i pouzdanost*

Trajnost i pouzdanost PC ventilatora utječu na njihov dugoročni rad i učinkovitost. Značajnu ulogu u trajnosti i pouzdanosti PC ventilatora imaju kvaliteta materijala, dizajn ležajeva te zaštita od vanjskih utjecaja kao što su prašina i vlaga.

1) Otpornost na habanje

- Kvaliteta ležajeva - Ležajevi visoke kvalitete kao što su hidraulični i magnetski ležajevi smanjuju trenje i trošenje što utječe na produžavanje vijeka trajanja ventilatora. Da bi se trenje smanjilo, hidraulični ležajevi koriste sloj ulja dok magnetski ležajevi eliminiraju mehanički kontakt. Isto rezultira manjim habanjem. [9]
- Materijali - Izdržljivi materijali poput PBT plastike, aluminijski i kompozitnih materijala smanjuju troškove i produžuju radni vijek ventilatora. Zbog svoje otpornosti na mehanička opterećenja, metalni dijelovi, poput čeličnih okvira, povećavaju trajnost. [10]

2) Otpornost na prašinu i vlagu

- Zaštitni premazi - Mnogi ventilatori dolaze s dodatnim zaštitnim premazima ili su izrađeni od materijala otpornog na koroziju, što štiti unutarnje komponente od vlage i prašine. Na primjer, aluminijski dijelovi često imaju premaz protiv oksidacije, dok plastični dijelovi mogu biti tretirani UV zaštitom i antikorozivnim sredstvima. [11]
- Zaštitne mrežice - Neki ventilatori su opremljeni zaštitnim mrežicama ili filterima koji sprječavaju ulazak prašine u mehaničke dijelove ventilatora, čime se smanjuje potreba za čišćenjem i održavanjem te produžava vijek trajanja ventilatora. [11]

2.3.5. Montaža i uporaba

2.3.5.1. *Instalacija*

Instalacija i podešavanje PC ventilatora imaju važnu ulogu u efikasnom hlađenju računalnih komponenti. Na optimalno strujanje zraka utječu pozicioniranje i orijentacija usisnih i ispušnih ventilatora. Dobrim pozicioniranjem i orijentacijom se povećava ukupna učinkovitost sustava i smanjivanje temperature unutar kućišta.

1) Usisni ventilatori (intake)

- Usisni ventilatori uvlače svježi zrak u kućište računala te na taj način hlade unutarnje komponente. Kako bi mogli učinkovito uvlačiti hladniji zrak iz okoline, smješteni su na prednjoj ili donjoj strani kućišta. Usisni ventilatori imaju funkciju stvaranja pozitivnog tlaka zraka unutar kućišta. Kako bi se izbjegla mjesta gdje bi se mogao akumulirati topli zrak, potrebno je usisne ventilatore uravnotežiti s ispušnim ventilatorima. [12]

2) Ispušni ventilator (exhaust)

- Ispušni ventilatori imaju ulogu u izbacivanju toplog zraka koji se generira radom komponenti unutar kućišta. Obično se nalaze na stražnjoj ili gornjoj strani kućišta kako bi efikasno uklonili topli zrak i sprječavali pregrijavanje sustava. Oni stvaraju negativan tlak unutar kućišta te je važno osigurati uravnoteženost s usisnim ventilatorima kako bi se osigurao pravilan protok zraka. [12]

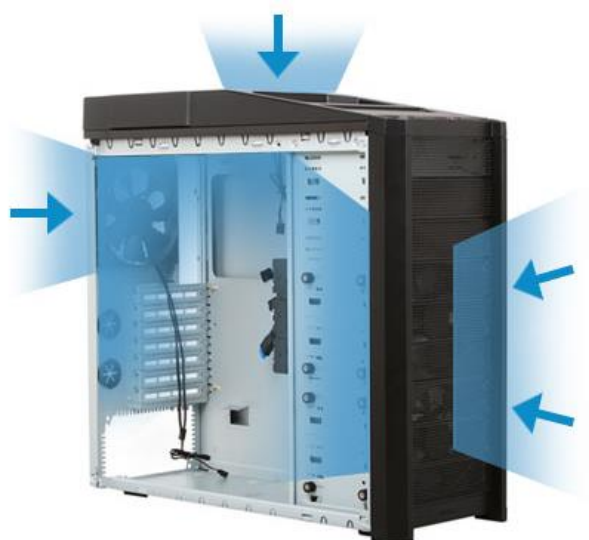
2.3.5.2. *Vrste tlaka*

U računalnom kućištu, koncept pozitivnog, negativnog i neutralnog tlaka odnosi se na ravnotežu zračnog tlaka između unutarnjeg dijela kućišta i okoline. U amaterskoj primjeni, često se više naglašava koji tlak je najbolji za sprječavanje pretjeranog nakupljanja prašine nego za samu regulaciju topline unutar kućišta. Također, sama razlika u temperaturi unutar sustava ne varira previše, s obzirom na to da računalna kućišta nisu hermetički zatvorena. Rezultati mogu varirati od kućišta do kućišta, pa je optimalna konfiguracija performanse hlađenja i temperature te nakupljanja prašine nešto drugačija za svaki sustav.

2.3.5.3. *Pozitivan tlak*

Pozitivan tlak nastaje kada je tlak zraka unutar kućišta veći od okoline. To može rezultirati malom količinom dodatnog zraka koji ostaje zarobljen unutar kućišta, što može pomoći u sprječavanju ulaska prašine u sustav kroz manje otvore u kućištu. [13]

Za postizanje pozitivnog tlaka u kućištu, postavlja se više ventilatora za dovod zraka u odnosu na ispušne ventilatore, čime se osigurava da uđe više zraka nego što izađe. Alternativno, može se postaviti da ventilatori za dovod zraka rade nešto brže od ispušnih ventilatora, što također ima isti učinak. [13]



Slika 6: Prikaz pozitivnog tlaka unutar kućišta [12]

2.3.5.4. *Negativan tlak*

Negativni tlak nastaje kada je tlak zraka unutar kućišta manji od okoline, stvarajući mali vakuum unutar kućišta. To znači da je lakše usisati prašinu koja ulazi u sustav kroz male otvore u kućištu, što je glavni nedostatak negativnog tlaka. [13]

Za postizanje negativnog tlaka u kućištu, postavlja se više ispušnih ventilatora u odnosu na one za dovod zraka (no može biti i posljedica vrlo prozračnog kućišta).

Prednost negativne konfiguracije tlaka je učinkovitost u odvođenju toplog zraka unutar kućišta. Negativni tlak nastaje kada iz kućišta izlazi više zraka nego što se unosi. Također, negativni tlak smanjuje unutarnje temperature u usporedbi s pozitivnim tlakom.

Uklanjanje toplog zraka iz kućišta je važnije u odnosu na usisavanje više hladnog zraka. [13]



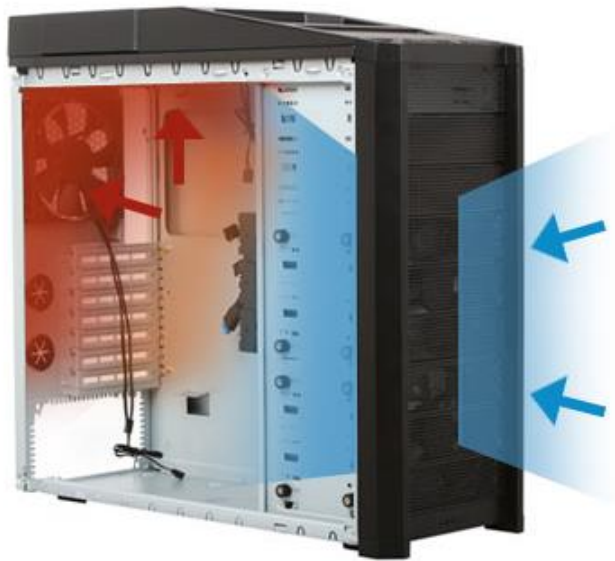
Slika 7: Prikaz negativnog tlaka unutar kućišta [12]

2.3.5.5. Neutralni tlak

Neutralni tlak nastaje kada je tlak zraka unutar kućišta jednak tlaku zraka u okolini. Isto može rezultirati relativno stabilnim protokom zraka i ravnomjernom distribucijom unutar kućišta čime se postiže efikasno upravljanje temperaturom. [13]

Za postizanje neutralnog tlaka u kućištu postavlja se jednak broj usisnih i ispušnih ventilatora.

Neutralni tlak zraka osigurava da količina zraka koja ulazi u kućište odgovara količini koja se izbacuje, što rezultira uravnoteženijim protokom zraka. Uravnotežen protok zraka može rezultirati tišim radom jer se ventilatori ne moraju toliko naprezati kako bi nadoknadili neujednačene tlakove. Također, neutralni tlak je pogodan zbog svoje jednostavnosti; većina kućišta će optimalno funkcionirati uz neutralni tlak, iako nisu sva kućišta optimizirana za druge tlakove. [13]

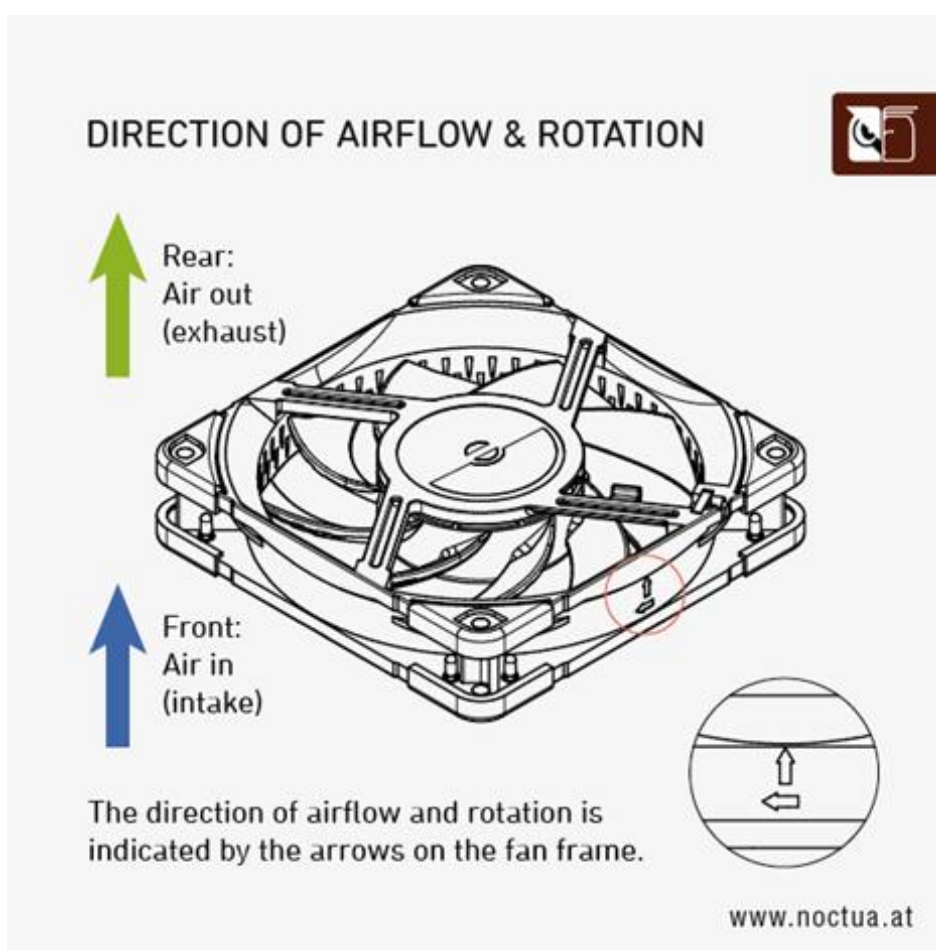


Slika 8: Prikaz neutralnog tlaka unutar kućišta [12]

2.3.5.6. Orijentacija ventilatora

Za pravilnu montažu ventilatora važno je obratiti pažnju na nekoliko bitnih stvari. Jedna od čestih grešaka prilikom montaže ventilatora je kriva orijentacija smjera puhanja.

Većina ventilatora ima ucrtanu strelicu na bočnoj strani kućišta koja jasno pokazuje smjer protoka zraka. Također, smjer protoka može se prepoznati po izgledu samog ventilatora. Prednja strana ventilatora, obično označena logotipom proizvođača, služi kao usisna strana koja uvlači zrak prema unutra. Stražnja strana, gdje je smješten elektromotor, služi kao ispušna strana koja izbacuje zrak prema van.

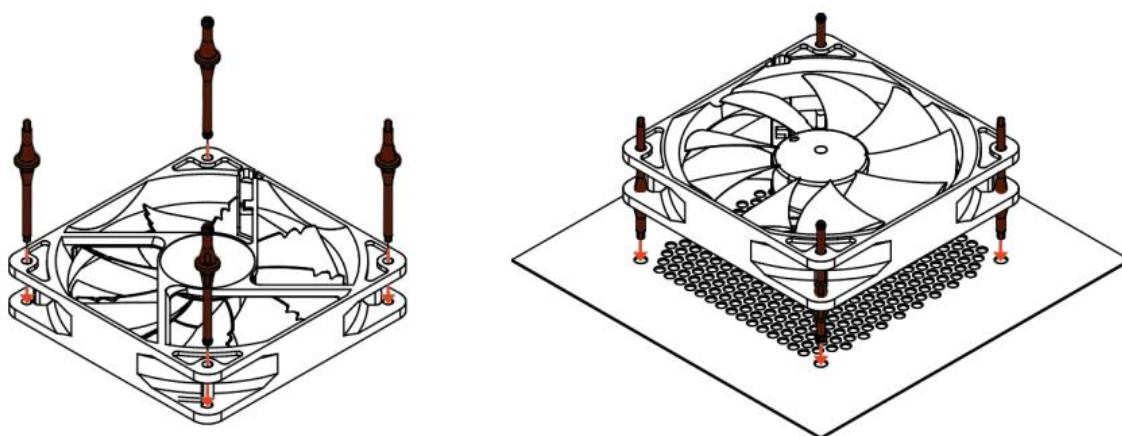


Slika 9: Oznaka za smjer protoka zraka ventilatora [14]

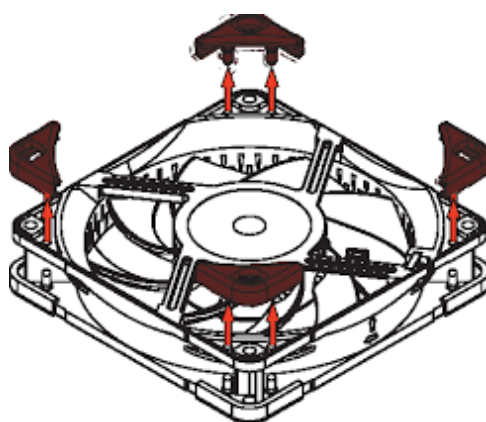
2.3.5.7. Vijci i montaža

Uz odabranu konfiguraciju postavljanja i provjerenu orijentaciju ventilatora, sljedeći korak je sama montaža ventilatora u kućište pomoću vijaka.

Većina ventilatora dolazi s klasičnim metalnim vijcima, no postoji opcija upotrebe gumenih antivibracijskih vijaka koji, kao što samo ime kaže, smanjuju prijenos vibracija koje nastaju od rada ventilatora te na taj način smanjuju buku. Također postoji opcija korištenja anti vibracijskih jastučića koji omogućuju montažu ventilatora pomoću metalnih vijaka i također prigušuju vibracije.



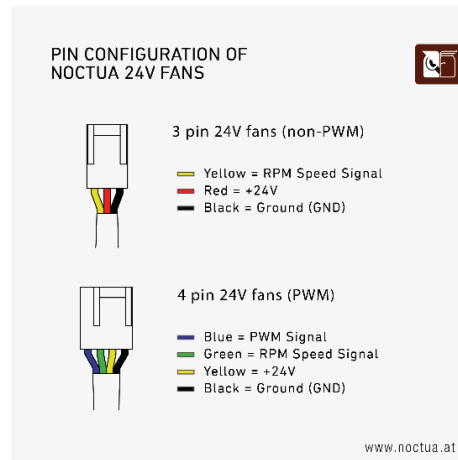
Slika 10: Montaža ventilatora pomoću anti-vibracijskih vijaka [14]



Slika 11: Montaža ventilatora pomoću anti-vibracijskih jastučića [14]

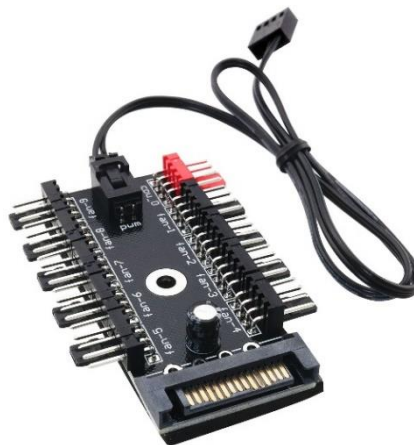
2.3.5.8. Kablovi i spajanje

Nakon pravilne montaže ventilatora u kućište, potrebno je spojiti kablove na odgovarajuće konektore na matičnoj ploči ili vanjskom kontroleru. Potrebno je provjeriti dužinu kablova i broj raspoloživih konektora na matičnoj ploči. U prosjeku većina matičnih ploča ima od 3 do 5 4-pin konektora, uključujući 2 konektora namijenjena za ventilatore procesora (“CPU_OPT” i “CPU_FAN”) . 4-pin konektori podržavaju i spajanje 3-pin konektora. [14]



Slika 12: 3-pin i 4-pin konektori [14]

Alternativno, ventilatori se mogu spojiti direktno na napajanje računala pomoću molex konektora, ali u tom slučaju nije moguće kontrolirati brzinu ventilatora. Ako kablovi nisu dovoljno dugački ili nema dovoljno konektora na matičnoj ploči, mogu se koristiti Y- razdjelnici (Y-splitter) ili vanjski kontroleri kako bi se osiguralo napajanje svih ventilatora. [14]



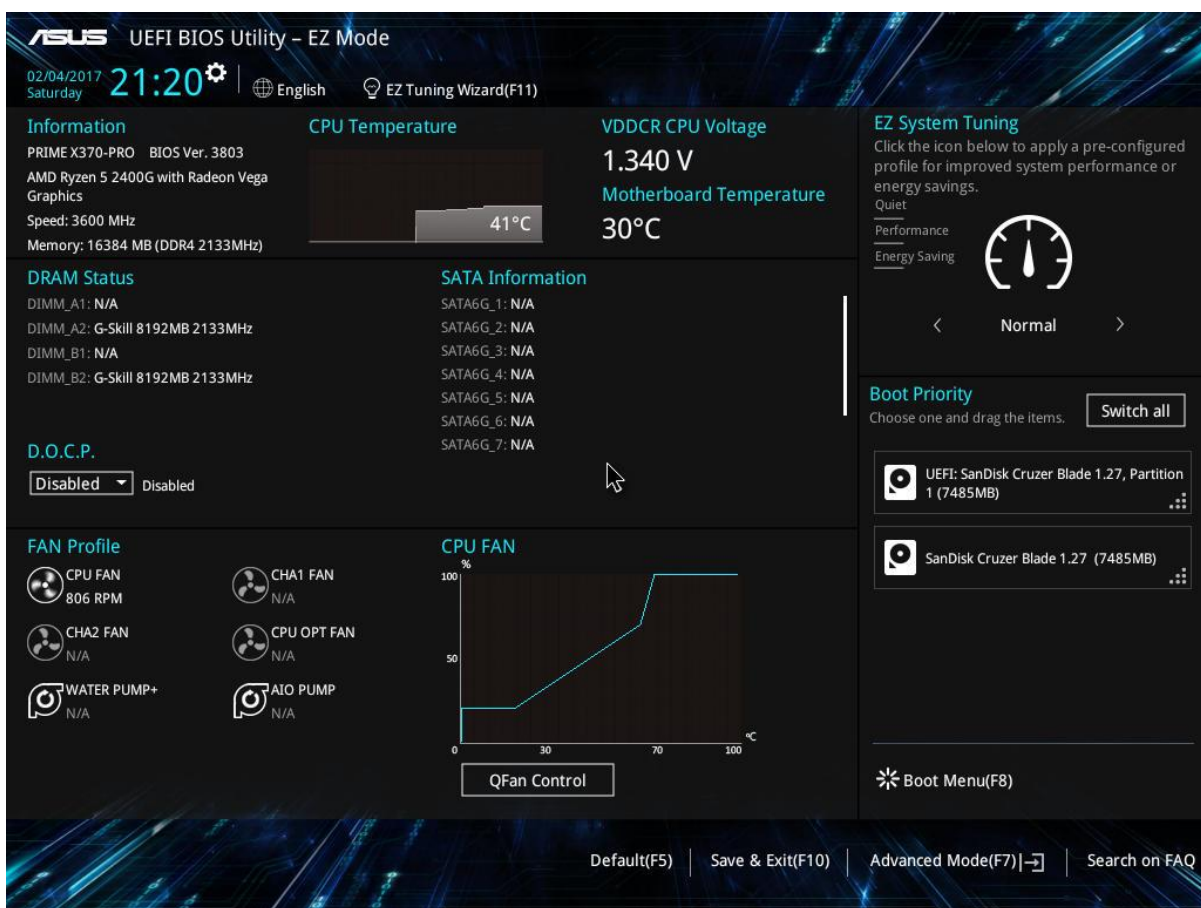
Slika 13: Vanjski konektor (external fan hub) [14]

2.3.5.9. Softverski alat i postavke

Nakon uspješne instalacije računalnih komponenti, moguće je dalje softverski prilagoditi i poboljšati rad komponenti.

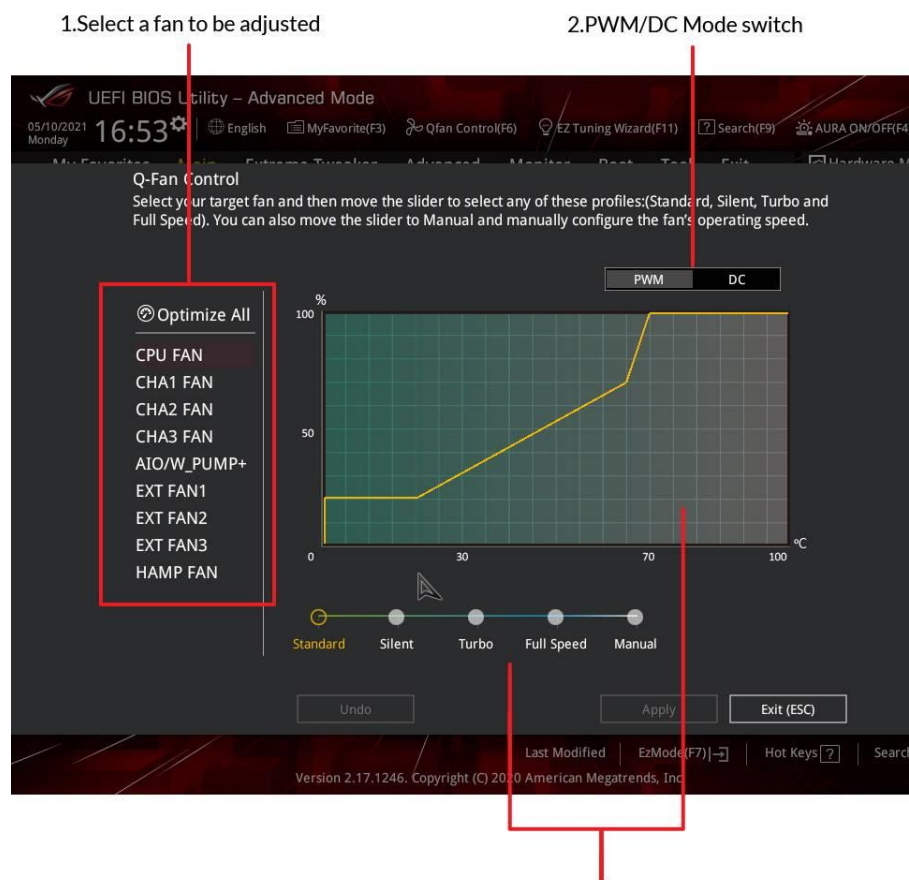
Za pristup BIOS/UEFI sučelju, obično pritiskom na tipku F2, Delete ili Escape prilikom pokretanja računala, omogućeno je detaljno mijenjanje postavki računala.

Izgled sučelja i detaljne mogućnosti prilagodbe postavki ovise o proizvođaču matične ploče. Ventilatori koji podržavaju PWM regulaciju prilagođavaju brzinu rada ovisno o temperaturi, što se naziva "krivulja ventilatora" (fan curve). Optimizacija krivulje ventilatora zahtijeva pažljivo podešavanje kako bi se postiglo najefikasnije hlađenje. [15]



Slika 14: ASUS UEFI BIOS sučelje [Autor: Timon Tarandek]

Proizvođači često ugrađuju nekoliko pred definiranih načina postavki kako bi olakšali proces, uključujući "standardni" način rada koji postepeno povećava brzinu ventilatora s porastom temperature. Tu su i "tih" način rada koji održava minimalnu brzinu sve dok temperatura ne zahtijeva veću brzinu, te "turbo" način rada koji naglo povećava brzinu ventilatora čak i pri nižim temperaturama. Postoji mnogo zadanih načina rada s raznim varijacijama na ova tri osnovna načina, i na korisniku je da odabere onaj koji najbolje odgovara njegovim potrebama. [15]



Slika 15: Radno sučelje ASUS Q-Fan kontola [15]

Moguće je dodatno upravljati i prilagođavati rad komponenti pomoću softvera treće strane: SpeedFan, MSI Afterburner, Corsair iCUE, NZXT CAM, ASUS AI Suite i slično.

3. FORMULACIJA ZADATKA

Cilj ovog praktičnog istraživanja je istražiti, izmjeriti i ocijeniti važnost PC ventilatora za termalni menadžment i efikasnost računala. Također, planira se istražiti kako različite konfiguracije utječu na rad, njihove karakteristike, kao i optimizirati broj ventilatora i konfiguraciju koja daje najbolje rezultate, prilagođeno specifičnom sustavu.

Neke od karakteristika koje će se analizirati i uspoređivati su: temperature procesora i grafičke kartice, unutarnje toplinsko zračenje unutar kućišta, temperatura ambijenta, postotak opterećenja grafičke kartice i potrošnja snage grafičke kartice.

3.1. Metodologija testiranja

Proces testiranja bit će izveden na sljedeći način: testirati će se 9 odabranih konfiguracija, pri čemu će procesor i grafička kartica biti podvrgnuti stres testu korištenjem poznatog i intenzivnog programa Furmark.

Vrijednosti će se mjeriti i bilježiti na log datoteku putem internih senzora. Također, unutarnja temperatura kućišta bit će izmjerena na dva mjesta (prednji i stražnji dio kućišta) pomoću termometra. Također, bit će izmjerena i sobna temperatura istim termometrom.

Dobiveni rezultati će biti zabilježeni i uspoređeni, nakon čega će se svaka konfiguracija rangirati prema svojoj učinkovitosti u svakoj kategoriji. Konačno, rang liste za svaku kategoriju će se sumirati u konačnu ukupnu rang ljestvicu kako bi se pronašla najbolja konfiguracija prema definiranim parametrima.

3.1.1. Termometar

UNI-T Mini Dual K/J Termometar je kompaktan uređaj za precizno mjerenje temperature, podržava K i J tip termoparove. Termometar omogućava simultano mjerenje na dva mjesta čime se postiže korist za industrijske i laboratorijske primjene. Način rada temelji se na termoelektričnom učinku. Termoparovi mjere razliku u naponu uzrokovanu temperaturnom razlikom. Uređaj ima funkciju memoriranja maksimalne i minimalne temperature. Prednost uređaja je pristupačna cijena i zadovoljavajuća preciznost. Navedena svojstva čine ga izuzetno pogodnim za potrebe ovog istraživanja. [16]

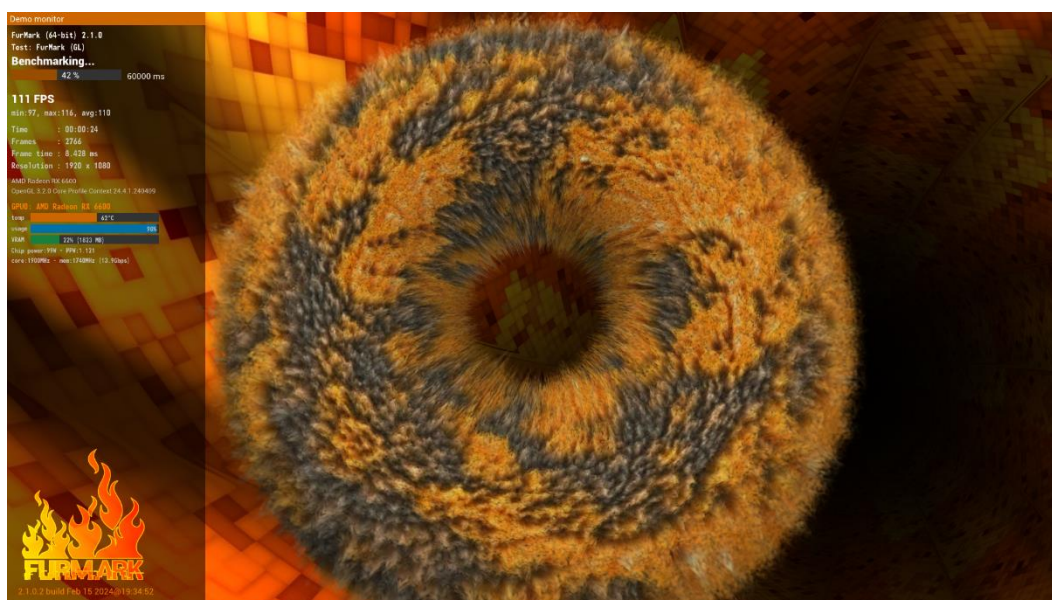


Slika 16: UNI-T mini dual K/J Termometar [16]

3.1.2. Softverski alat Furmark

Furmark je softverski alat namijenjen za stres testiranje grafičkih kartica, poznat po svojoj sposobnosti da maksimizira opterećenje grafičke kartice i procesora, kako bi se testirala njihova stabilnost i termalna efikasnost.

Razvijen od strane Geeks3D, Furmark koristi renderiranje kompleksnih, visokodetaljnih 3D scena kako bi simulirao intenzivne grafičke operacije koje mogu generirati velike količine topline i opteretiti grafičku karticu do njenih krajnjih granica. Ovaj program je posebno koristan za overclockere i inženjere koji žele testirati performanse i pouzdanost svojih komponenata pod ekstremnim uvjetima. [17]



Slika 17: Furmark sučelje [Autor: Timon Tarandek]

Furmark pruža detaljne izvještaje o performansama, uključujući mjerenje FPS-a (frames per second), temperature [°C], postotka iskorištenosti, brzine takta [MHz], brzine ventilatora [rpm], napona [V], potrošnje energije [W] i još mnogo toga, što omogućava korisnicima da identificiraju potencijalne probleme kao što su pregrijavanje ili nestabilnost sustava. Međutim, zbog svoje intenzivne prirode, Furmark može izazvati ekstremna opterećenja koja nisu reprezentativna za tipičnu upotrebu grafičke kartice te se preporučuje pažljivo korištenje kako bi se izbjeglo oštećenje hardvera. [17]

3.1.3. Kućište

Corsair Airflow 4000D je popularno kućište visokih performansi dizajnirano za optimalno hlađenje i jednostavnu instalaciju komponenti. S minimalističkim dizajnom i naprednim opcijama za protok zraka, idealno je za korisnike koji traže učinkovito hlađenje svojih sustava.



Slika 18: Corsair 4000D airflow kućište [18]

Corsair Airflow 4000D ima dimenzije 453mm x 230mm x 466mm, izrađen je od čelika i plastike s bočnim prozorom od kaljenog stakla te se odlikuje minimalističkim dizajnom s perforiranim prednjim panelom za bolji protok zraka. [18]

Corsair Airflow 4000D je fokusiran na protok zraka zahvaljujući prednjem perforiranom panelu te podržava do šest ventilatora ukupno (prednji: 3 x 120mm ili 2 x 140mm, gornji: 2 x 120mm ili 2 x 140mm, stražnji: 1 x 120mm). Također, podržava radijatore do 360mm sprijeda, 280mm na vrhu i 120mm straga. [18]

3.1.4. Ventilator

ROG STRIX XF 120 je visokokvalitetan ventilator iz ASUS-ove ROG (Republic of Gamers) serije. Ovaj 120mm ventilator je kompatibilan s većinom standardnih kućišta i radijatora za vodeno hlađenje. Dizajniran je s aerodinamički optimiziranim lopaticama i gumiranim anti-vibracijskim jastučićima na kutovima kako bi se smanjila buka i poboljšala stabilnost.



Slika 19: ROG STRIX XF 120 ventilator [19]

Brzina vrtnje ROG STRIX XF 120 ventilatora varira od 250 do 1800 RPM, omogućujući korisnicima prilagodbu performansi prema potrebama hlađenja. Maksimalni protok zraka iznosi 62.5 CFM (kubičnih stopa u minuti), što osigurava učinkovit prijenos topline. Ventilator također nudi statički tlak do 3.07 mm H₂O, što ga čini idealnim za upotrebu s radijatorima i hladnjacima. Radna buka varira od 22.5 do 31 dB(A), čineći ga relativno tihim čak i pri visokim brzinama. [19]

Ventilator koristi Magnetic Levitation Bearing (MagLev) tehnologiju koja smanjuje trenje, produžuje životni vijek ventilatora i smanjuje buku. Podržava PWM (Pulse Width Modulation) kontrolu, omogućujući precizno upravljanje brzinom ventilatora putem matične ploče ili kontrolera ventilatora. Dizajniran je za dug životni vijek, često se navodi trajanje do 400,000 sati rada zahvaljujući naprednim ležajevima i kvalitetnim materijalima. [19]

3.2. Testne konfiguracije

Za testiranje su odabrane različite konfiguracije ventilatora, od ekstremnog usisa i ispuha do balansiranog usisa i ispuha, kao i minimalistički pristup te kontrolni raspored bez ventilatora. Ovaj raspon konfiguracija trebao bi pružiti uvid u razlike između određenih tlakova strujanja zraka, pokazati optimalan broj ventilatora za rad te utvrditi je li raspored ventilatora uistinu mjerljivo bitan.

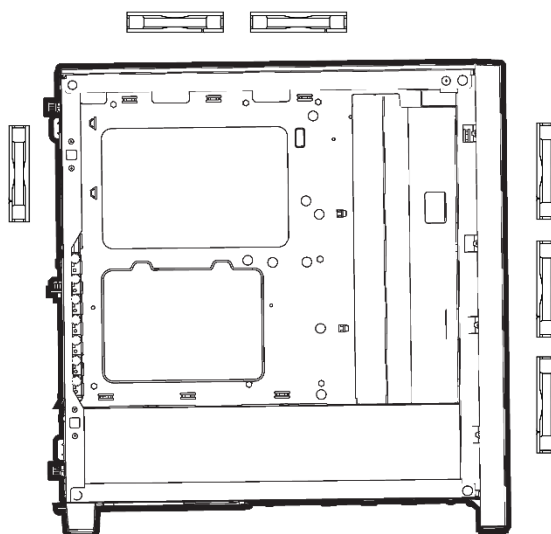
Za testiranje će se koristiti Standardni FurMark benchmark test u rezoluciji 1080p, a svaka konfiguracija će biti testirana tri puta radi postizanja najpreciznijih rezultata. Ponavljanje testa više od jednog puta je nužno kako bi se komponente zagrijale, dok ponavljanje testa 5 ili više puta nema smisla jer se vrijednosti uglavnom značajno ne mijenjaju. Stoga je odlučeno testirati svaku konfiguraciju 3 puta.

Brzina svih ventilatora bit će postavljena na maksimalnu brzinu od 1800 RPM, a PWM mod rada bit će isključen kako bi se osigurali jednaki uvjeti i pravedno mjerenje rezultata za svaku konfiguraciju. Testovi će se provoditi u zatvorenom prostoru bez strujanja zraka, uz osiguranje konstantne sobne temperature radi poboljšanja točnosti rezultata.

3.2.1. Konfiguracija 1: Kontrolni raspored (0 ventilatora)

Za konfiguraciju 1, odlučeno je izvesti kontrolni raspored, što znači da nije korišten niti jedan ventilator kako bi se dobila osnovna referentna vrijednost performansi bez njihove pomoći.

1. Kontrolni raspored



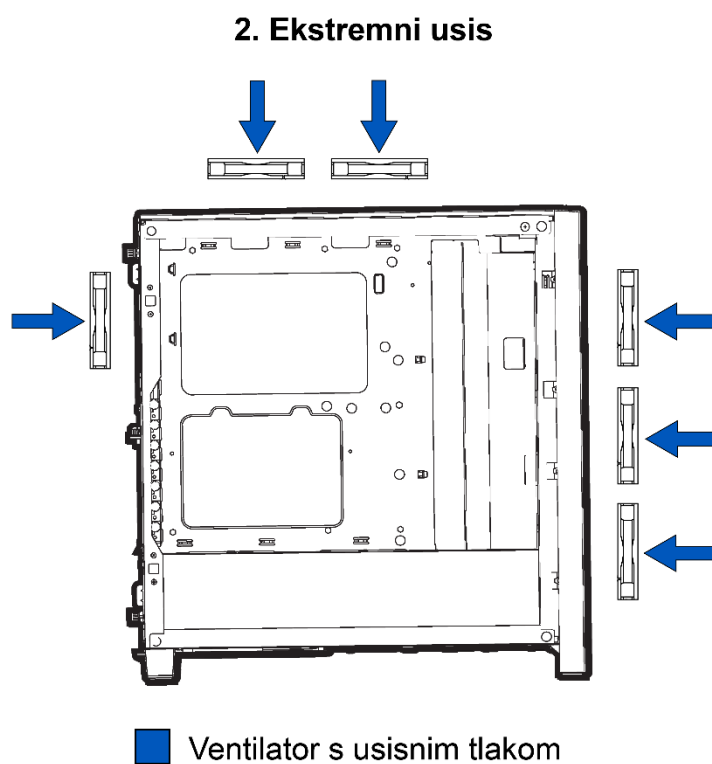
Slika 20: Konfiguracija 1: Kontrolni raspored [Autor: Timon Tarandek]

Za sam test očekuje se da će temperatura biti najviša među svim konfiguracijama, osobito s svakim sljedećim testom, zbog nedostatka cirkulacije zraka.

3.2.2. Konfiguracija 2: Ekstremni usis (6 usisnih ventilatora)

Za konfiguraciju 2, odlučeno je postaviti raspored s 6 ventilatora koji usisavaju zrak unutar kućišta (usisni ventilatori), stvarajući pozitivan tlak zraka unutar kućišta.

Pozitivan tlak znači da je tlak zraka unutar kućišta veći od okoline. Usisavanje zraka sa svih strana kućišta stvorilo bi vrlo ograničen protok zraka unutar sustava, jer bi se zrak borio da prođe kroz uske prostore između komponenti. [13]

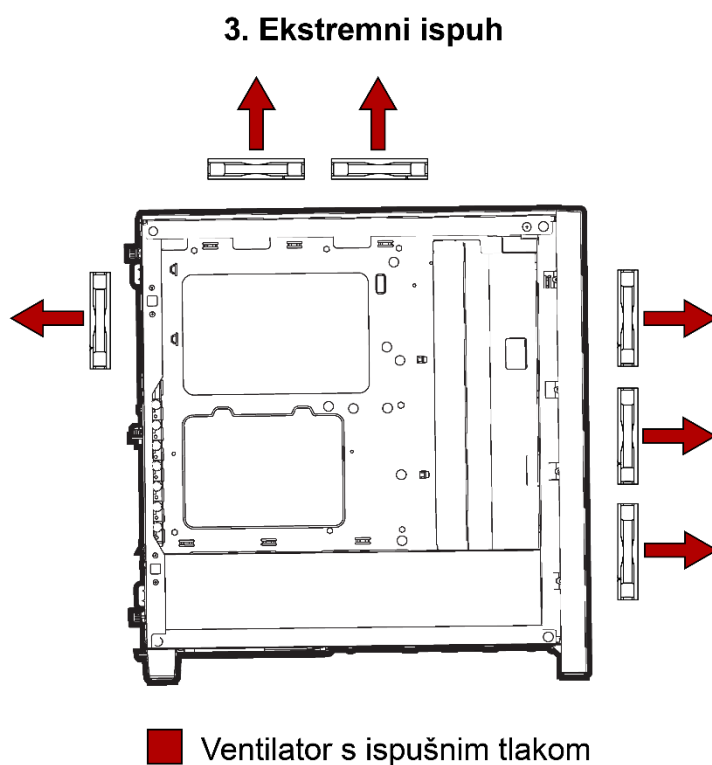


Slika 21: Konfiguracija 2: Ekstremni usis [Autor: Timon Tarandek]

3.2.3. Konfiguracija 3: Ekstremni ispuh (6 ispušnih ventilatora)

Za konfiguraciju 3, odlučeno je postaviti raspored s 6 ventilatora koji izbacuju zrak izvan kućišta (ispušni ventilatori), stvarajući negativni tlak unutar kućišta.

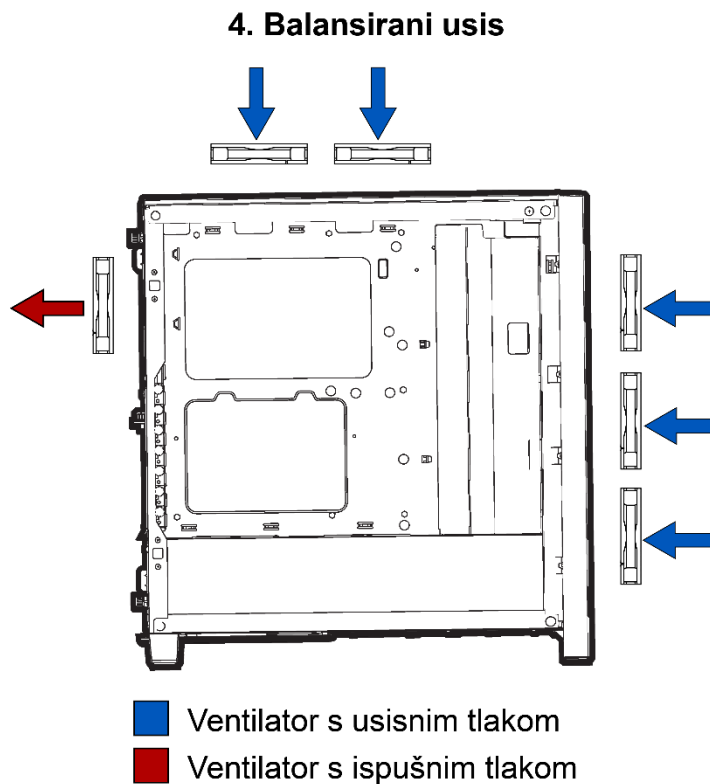
Negativni tlak znači da je tlak zraka unutar kućišta manji od okoline. [13]



Slika 22: Konfiguracija 3: Ekstremni ispuh [Autor: Timon Tarandek]

3.2.4. Konfiguracija 4: Balansirani usis (5 ispušnih, 1 usisni ventilator)

Za konfiguraciju 4, postavljen je raspored s 6 ventilatora, od kojih 5 usisavaju zrak, dok jedan izbacuje. Ovaj raspored rezultira pozitivnim tlakom, protok zraka je poboljšán u usporedbi s konfiguracijom 2.

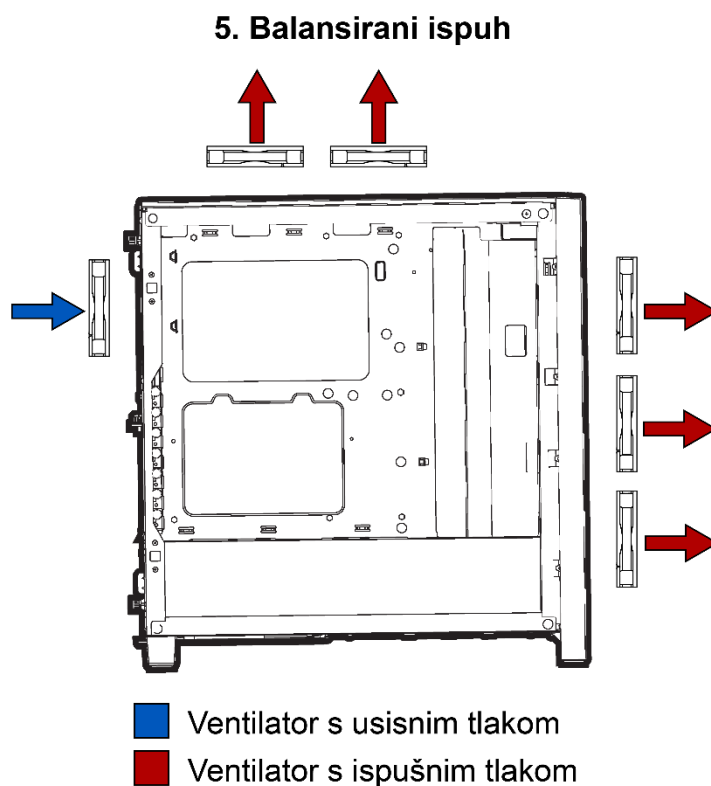


Slika 23: Konfiguracija 4: Balansirani usis [Autor: Timon Tarandek]

Očekuje se postizanje najboljih rezultata do sada, što znači niže temperature, zahvaljujući velikom dotoku svježeg zraka i učinkovitom odvodu toplog zraka.

3.2.5. Konfiguracija 5: Balansirani ispuh (5 usisnih, 1 ispušni ventilatora)

Za konfiguraciju 5, postavljen je raspored s 6 ventilatora, od kojih jedan usisava zrak, dok pet izbacuje. Ovo rezultira negativnim tlakom. Iako je više ventilatora za izbacivanje toplog zraka iz sustava, što bi potencijalno moglo rezultirati boljim performansama, očekuje se nešto lošiji rezultati u usporedbi s prethodnom konfiguracijom 4.

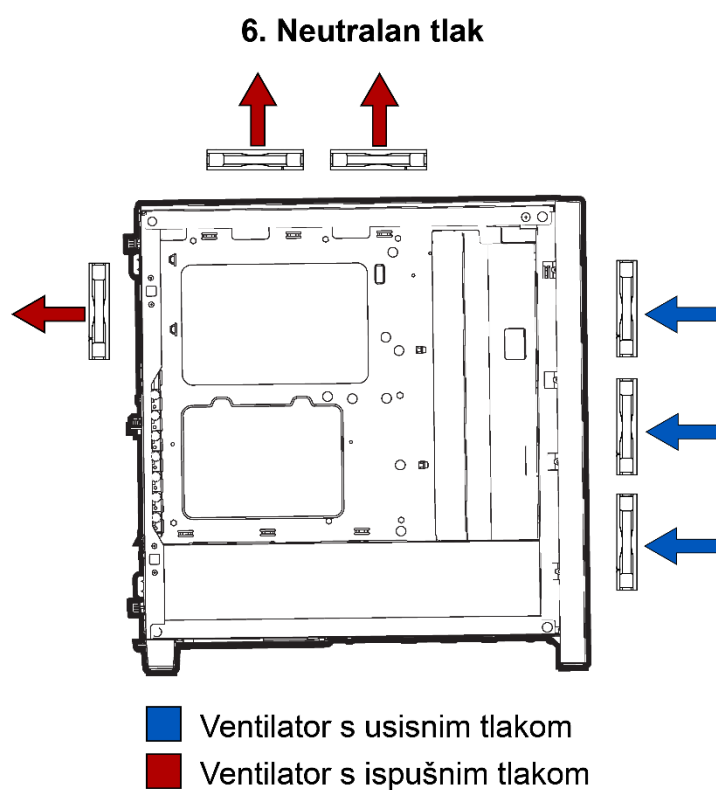


Slika 24: Konfiguracija 5: Balansirani ispuh [Autor: Timon Tarandek]

3.2.6. Konfiguracija 6: Neutralan tlak (3 usisna, 3 ispušna ventilatora)

Za konfiguraciju 6, postavljen je raspored s 6 ventilatora, od kojih 3 usisavaju zrak, dok 3 izbacuju. Ovo rezultira neutralnim tlakom.

Neutralni tlak nastaje kada je tlak zraka unutar kućišta jednak tlaku zraka u okolini što znači da postoji relativno stabilan protok zraka i ravnomjerna distribucija unutar kućišta. To pridonosi efikasnom upravljanju temperaturom. [13]

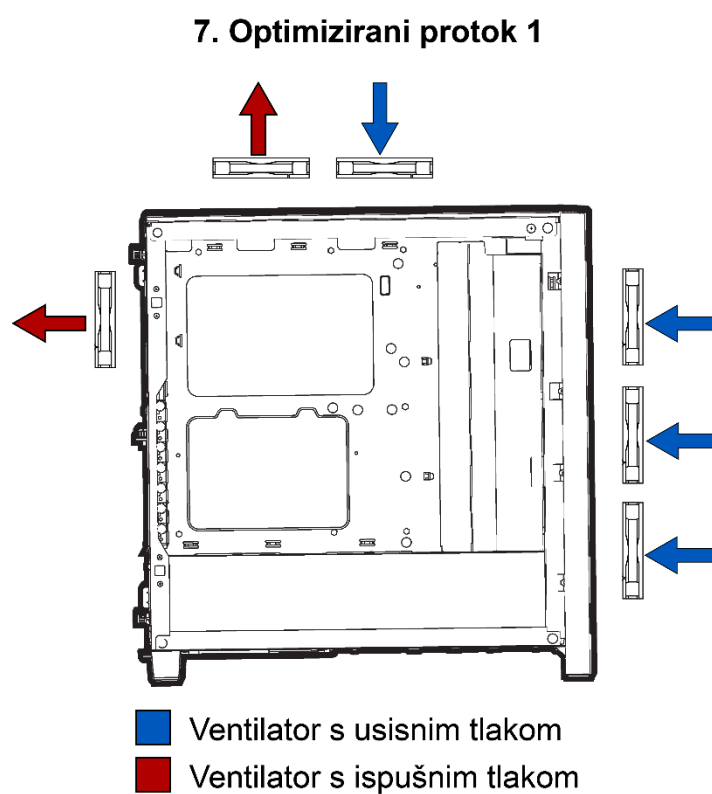


Slika 25: Konfiguracija 6: Neutralan tlak [Autor: Timon Tarandek]

3.2.7. Konfiguracija 7: Optimizirani protok 1 (4 usisna, 2 ispušna ventilatora)

Za konfiguraciju 7, postavljen je raspored s 6 ventilatora, od kojih 4 usisavaju zrak, dok 2 izbacuju. Ovo rezultira pozitivnim tlakom.

Za razliku od konfiguracije 4, ovaj put ima jedan ventilator manje za ispuhivanje zraka. Ova konfiguracija se generalno preporučuje zajedno s 6. konfiguracijom jer pruža dobar protok zraka i učinkovit odvod toplog zraka.

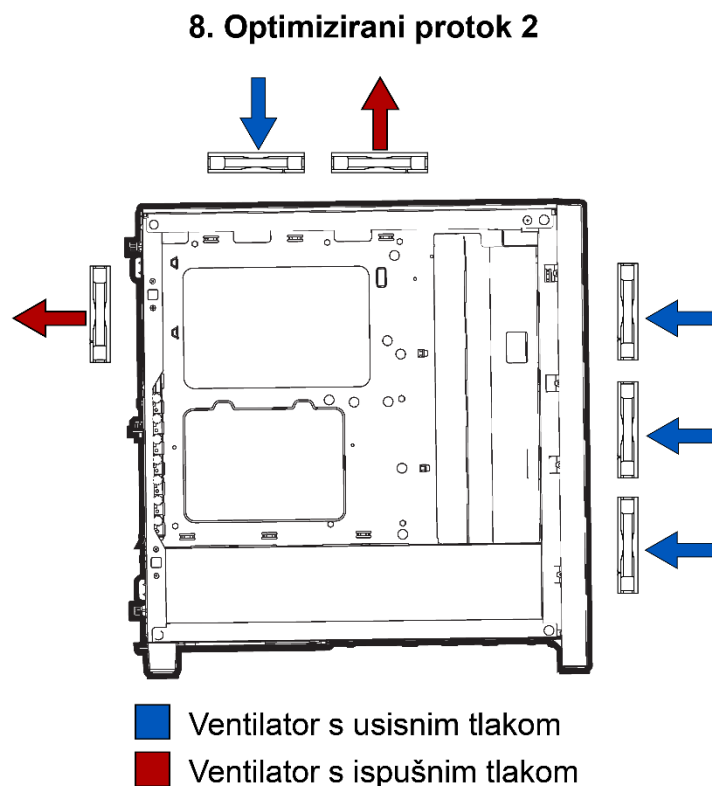


Slika 26: Konfiguracija 7: Optimizirani protok 1 [Autor: Timon Tarandek]

3.2.8. Konfiguracija 8: Optimizirani protok 2 (4 usisna, 2 ispušna ventilatora)

Za konfiguraciju 8 postavljen je raspored s 6 ventilatora, od kojih 4 usisavaju zrak dok 2 izbacuju. Ovaj raspored rezultira pozitivnim tlakom.

Glavna razlika u odnosu na konfiguraciju 7 je u poziciji ventilatora. Dok je u konfiguraciji 7 ispušni ventilator smješten odmah iznad procesora i grafičke kartice, bliže stražnjem dijelu kućišta, u konfiguraciji 8 ispušni ventilator je postavljen dalje od grafičke kartice i procesora te je zapravo bliže prednjem dijelu kućišta.



Slika 27: Konfiguracija 8: Optimizirani protok 2 [Autor: Timon Tarandek]

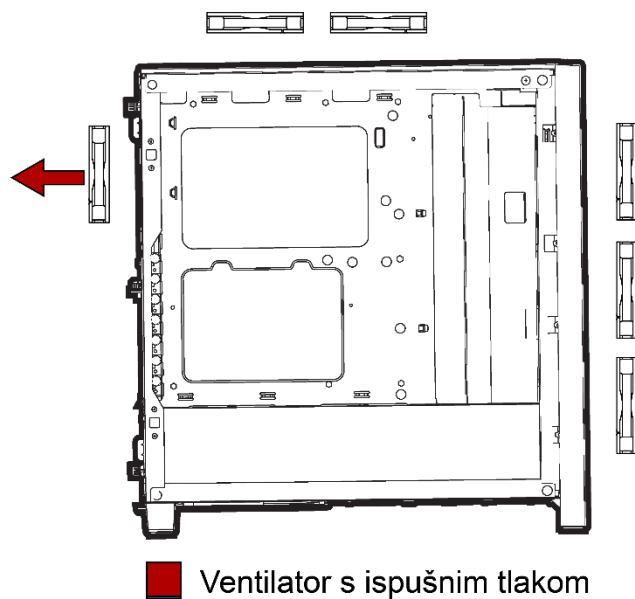
Razlog testiranja ove konfiguracije leži u debati među entuzijastima o učinkovitosti između konfiguracija 7 i 8.

3.2.9. Konfiguracija 9: Minimalni ispuh (0 usisnih, 1 ispušni ventilator)

Za konfiguraciju 9 postavljen je samo jedan ispušni ventilator koji bi trebao stvoriti blagi negativan tlak.

Razlog za testiranje ove konfiguracije je istraživanje minimalističkog pristupa koji se često koristi. Istražit će se je li bolje imati minimalan broj ventilatora ili ih uopće ne koristiti. Također, analizirat će se učinkovitost ove konfiguracije i usporediti s konfiguracijom 3.

9. Minimalni ispuh



Slika 28: Konfiguracija 9: Minimalni ispuh [Autor: Timon Tarandek]

4. RAZRADA ZADATKA

Testovi su uspješno provedeni. Osigurano je da su testovi izvedeni u zatvorenom prostoru s konstantnim uvjetima. Temperatura sobe tijekom svih testova održana je na konstantnih 293.15 K (20 °C).

Svaka konfiguracija je testirana tri puta, pri čemu su rezultati trećeg testiranja uzeti u obzir za analizu. Nakon testiranja svake konfiguracije, dopušteno je dovoljno vremena da se komponente ohlade prije testiranja sljedeće konfiguracije.

Interni senzori komponenti bilježili su rezultate provedenih testova u zapisničku datoteku (log file). Od različitih parametara, odabrano je pet glavnih za potrebe istraživanja, a to su:

- Vrijeme [s]
- Temperatura procesora [K]
- Temperatura grafičke kartice [K]
- Opterećenje grafičke kartice [%]
- Potrošnja snage grafičke kartice [W]

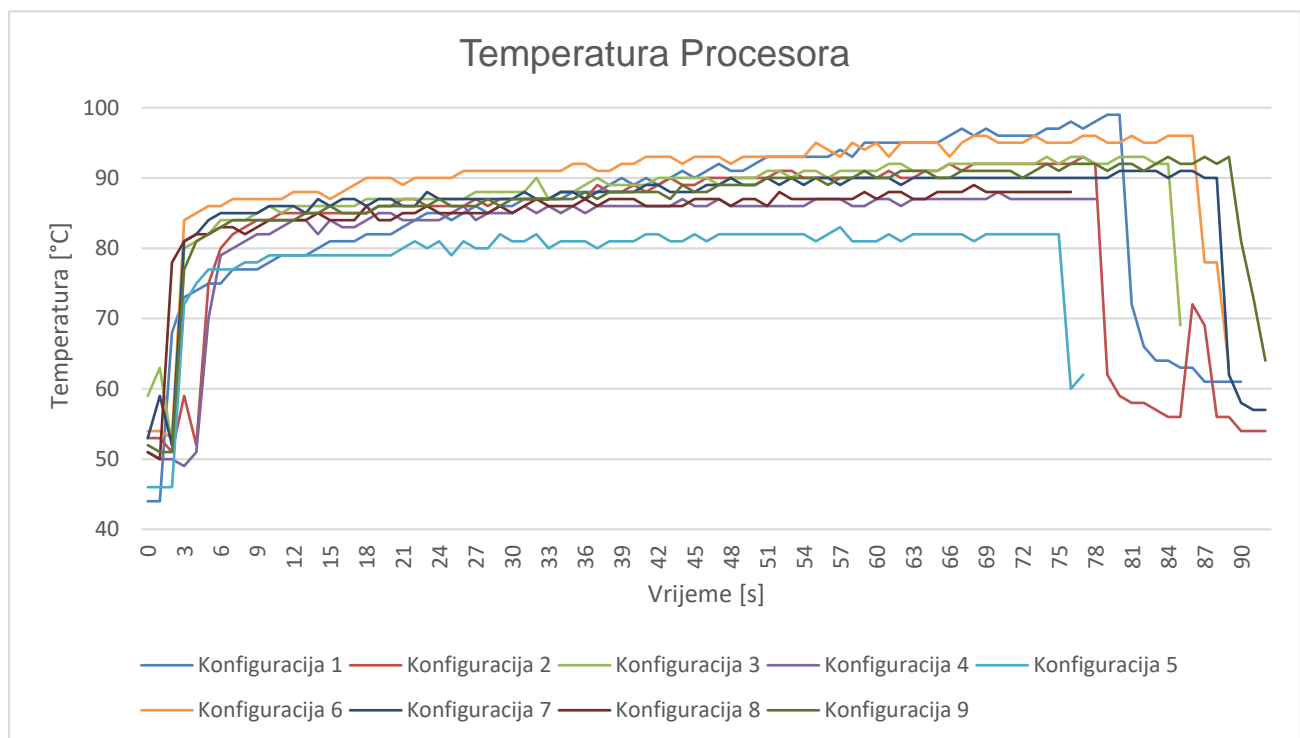
Također je izvršeno dodatno mjerenje maksimalne unutarnje temperature kućišta pomoću K-tip termometra. Mjerenje je obavljeno s obje strane kućišta, kako stražnje tako i prednje strane.

- Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (stražnja strana) [K]
- Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (prednja strana) [K]

Analizom tih glavnih parametara odlučeno je izvući i zabilježiti dodatne važne parametre kao što su: maksimalna temperatura, prosječna temperatura, stabilnost temperature, maksimalno opterećenje grafičke kartice te prosječna potrošnja energije grafičke kartice.

4.1. Temperatura procesora

Temperatura procesora je temeljni parametar koji utječe na njegov optimalan rad i dugovječnost. Za procesor intel i5 13400F pomoću kojeg su provedeni testovi, idealna radna temperatura pod stresom kreće se između 333.15 K (60 °C) i 348.15 K (75 °C). Maksimalna sigurna temperatura za rad (T_{junction}) iznosi 373.15 K (100 °C). Međutim, redovito upravljanje procesorom na visokim temperaturama može značajno smanjiti njegov životni vijek i performanse. Stoga se ne preporučuje da temperatura dugotrajno prelazi 358.15 K (85 °C).



Dijagram 4: Temperatura procesora [Autor: Timon Tarandek]

Dijagram 4 prikazuje razinu temperature procesora tijekom vremena za devet različitih konfiguracija. Sve konfiguracije započinju s niskim temperaturama, nakon čega dolazi do naglog rasta. Temperature se zatim stabiliziraju u rasponu od 348.15 K (75 °C) do 363.15 K (90 °C) s manjim fluktuacijama, te na kraju naglo padaju. Konfiguracija 1, označena plavom bojom, ističe se po najvišoj razini temperature u usporedbi s ostalim konfiguracijama, dok konfiguracija 5, prikazana svijetlo plavom bojom, pokazuje znatno nižu temperaturu od ostalih konfiguracija te stabilan porast.

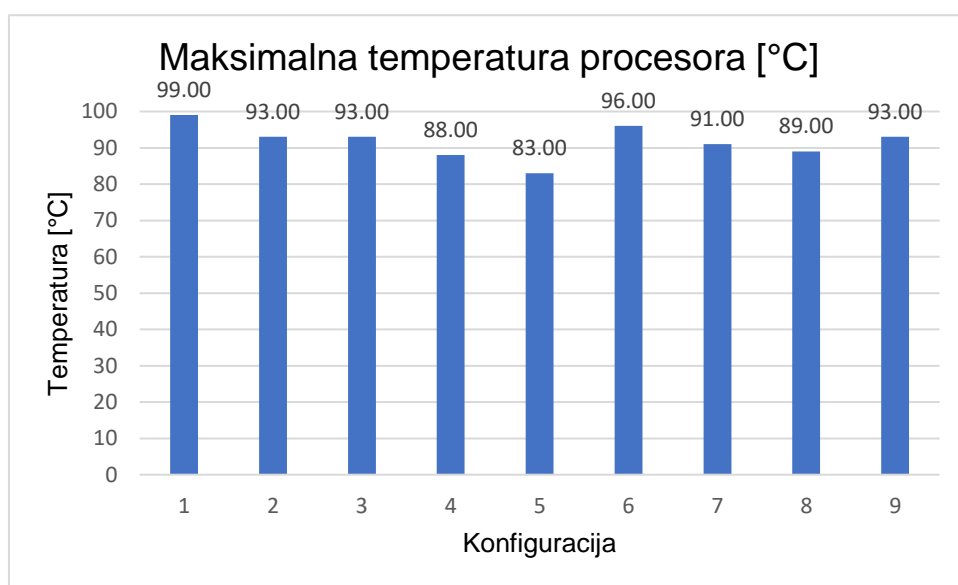
4.1.1. Maksimalna temperatura procesora

Visoke temperature procesora mogu dovesti do termalnog ograničenja, što rezultira smanjenjem performansi računala. Stoga, niže maksimalne temperature procesora ukazuju na bolju učinkovitost hlađenja. [2]

Tablica 1: Maksimalna temperatura procesora [K] [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Temperatura [K]
Konfiguracija 1	372.15
Konfiguracija 2	366.15
Konfiguracija 3	366.15
Konfiguracija 4	361.15
Konfiguracija 5	356.15
Konfiguracija 6	369.15
Konfiguracija 7	364.15
Konfiguracija 8	362.15
Konfiguracija 9	366.15

Prema tablici 1, konfiguracija 1 se ističe ekstremno visokom radnom temperaturom od 372.15 K (99 °C), dok konfiguracija 6 pokazuje također visoku radnu temperaturu od 369.15 K (96 °C). Konfiguracija 5 se ističe najnižom maksimalnom temperaturom od 356.15 K (83 °C)



Dijagram 5: Maksimalna temperatura procesora [°C] [Autor: Timon Tarandek]

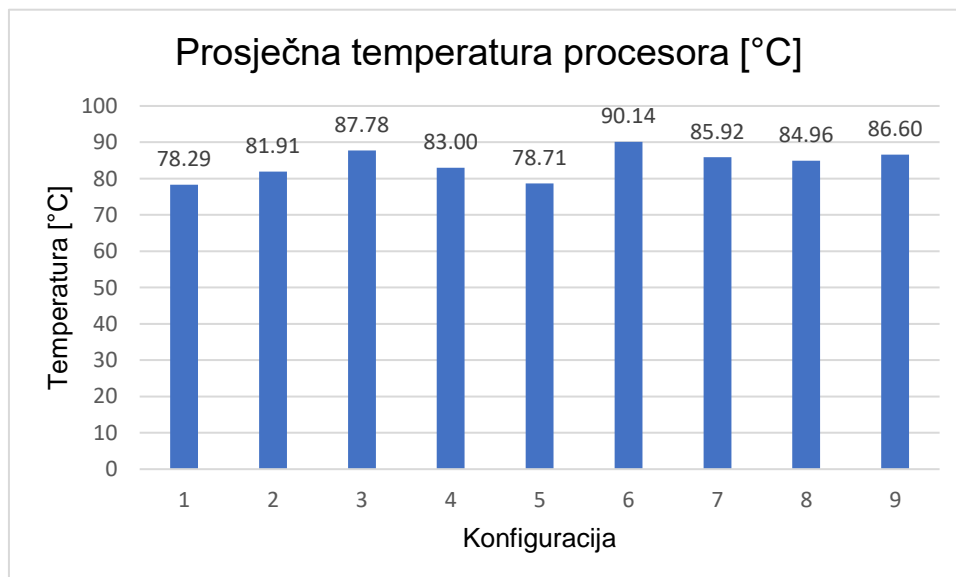
4.1.2. Prosječna temperatura procesora

Prosječna temperatura je pokazatelj ukupne učinkovitosti hlađenja sustava tijekom njegove uporabe. Konstantno visoke prosječne temperature upućuju na nedovoljno učinkovito hlađenje. S druge strane, niže prosječne temperature ukazuju na bolju učinkovitost hlađenja.

Tablica 2: Prosječna temperatura procesora [K] [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Temperatura [K]
Konfiguracija 1	351.44
Konfiguracija 2	355.06
Konfiguracija 3	360.93
Konfiguracija 4	356.15
Konfiguracija 5	351.86
Konfiguracija 6	363.29
Konfiguracija 7	359.07
Konfiguracija 8	358.11
Konfiguracija 9	359.75

Prema tablici 2, konfiguracija 6 se ističe najvišom prosječnom temperaturom od 363.29 K (90.14 °C), dok konfiguracija 1 ima najnižu prosječnu temperaturu od 351.44 K (78.71 °C).



Dijagram 6: Prosječna temperatura procesora [°C] [Autor: Timon Tarandek]

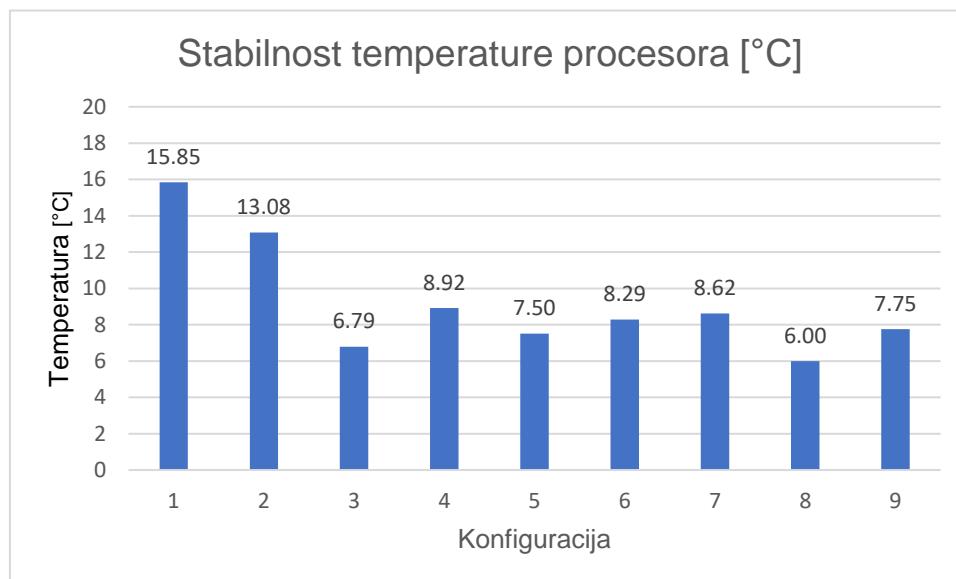
4.1.3. Stabilnost temperature procesora

Stabilnost temperature važna je za dosljednost performansi. Fluktuacije u temperaturi mogu uzrokovati nestabilnost i utjecati na performanse. Niža standardna devijacija procesora pokazuje koliko temperatura ostaje blizu prosječne vrijednosti, što ukazuje na veću stabilnost rada. Visoka stabilnost je poželjna radi održavanja konzistentnih performansi.

Tablica 3: Stabilnost temperature procesora [K] [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Temperatura [K]
Konfiguracija 1	289.00
Konfiguracija 2	286.23
Konfiguracija 3	279.94
Konfiguracija 4	282.07
Konfiguracija 5	280.65
Konfiguracija 6	281.44
Konfiguracija 7	281.77
Konfiguracija 8	279.15
Konfiguracija 9	280.90

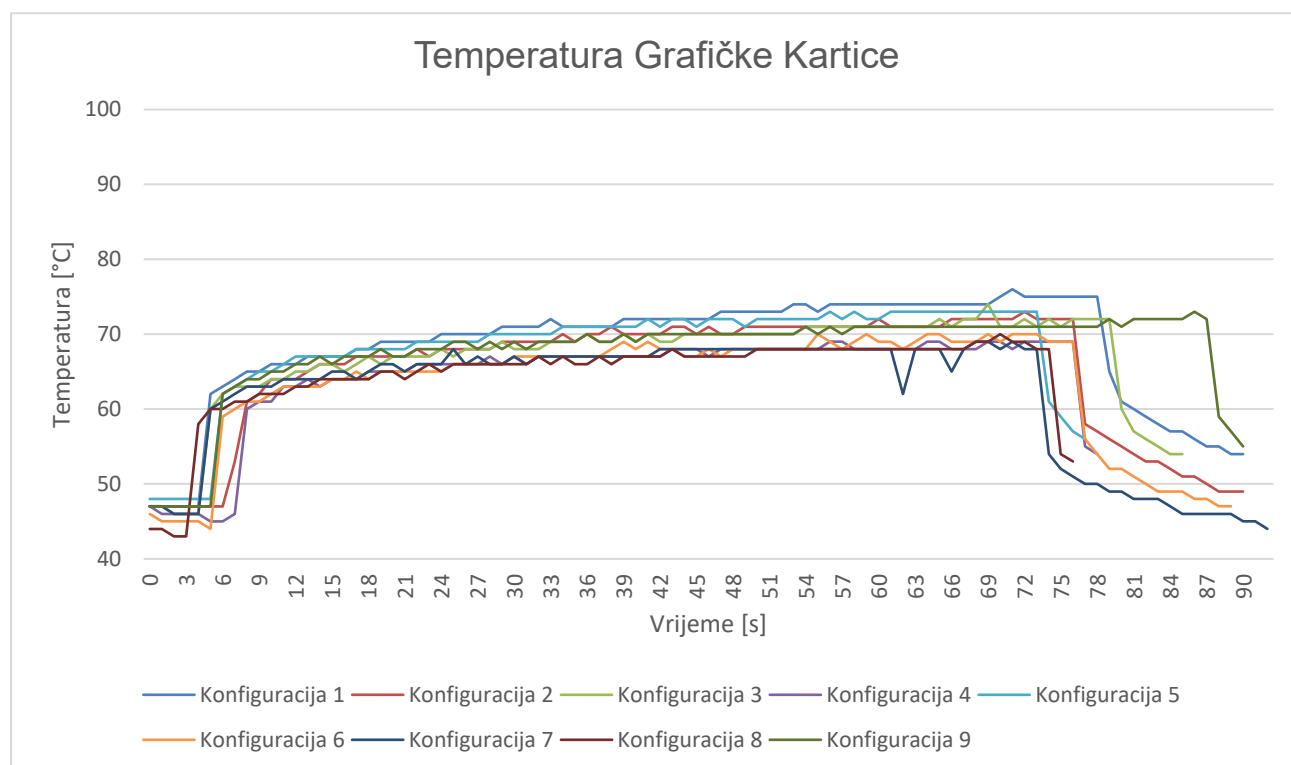
Za standardnu devijaciju temperature, manja vrijednost je poželjnija. Prema tablici 3 ističe se konfiguracija 1 s stabilnošću temperature od 279.15 K (6 °C), dok konfiguracija s najvećom standardnom devijacijom ima iznos od 289 K (15.85 °C).



Dijagram 7: Stabilnost temperature procesora [°C] [Autor: Timon Tarandek]

4.2. Temperatura grafičke kartice

Slično kao i kod procesora, temperatura grafičke kartice je ključan parametar koji utječe na njezin optimalan rad i dugovječnost. Na primjeru AMD Radeon RX 6600 grafičke kartice korištene u testiranju, idealna radna temperatura kreće se od 333.15 K (60 °C) do 348.15 K (75 °C). Maksimalna sigurna temperatura za rad iznosi 368.15 K (95 °C). Ipak, kako bi se osigurao dug životni vijek i održale maksimalne performanse, ne preporučuje se da temperatura dugotrajno prelazi 358.15 K (85 °C).



Dijagram 8: Temperatura grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]

Prema dijagramu 8 koji prikazuje razinu temperature grafičke kartice tijekom vremena za devet različitih konfiguracija, sve konfiguracije počinju s niskom temperaturom, zatim naglo rastu i stabiliziraju se u rasponu od 333.15 K (60 °C) do 348.15 K (75 °C) s manjim fluktuacijama, na kraju dolazi do naglog pada temperature. Konfiguracija 1, prikazana plavom bojom, ističe se po znatno višim temperaturama u usporedbi s ostalim konfiguracijama. Konfiguracija 8, prikazana tamno crvenom bojom, ističe se konstantnom temperaturom bez velikih fluktuacija, dok konfiguracija 7, prikazana tamno plavom bojom, pokazuje nekoliko naglih padova temperature.

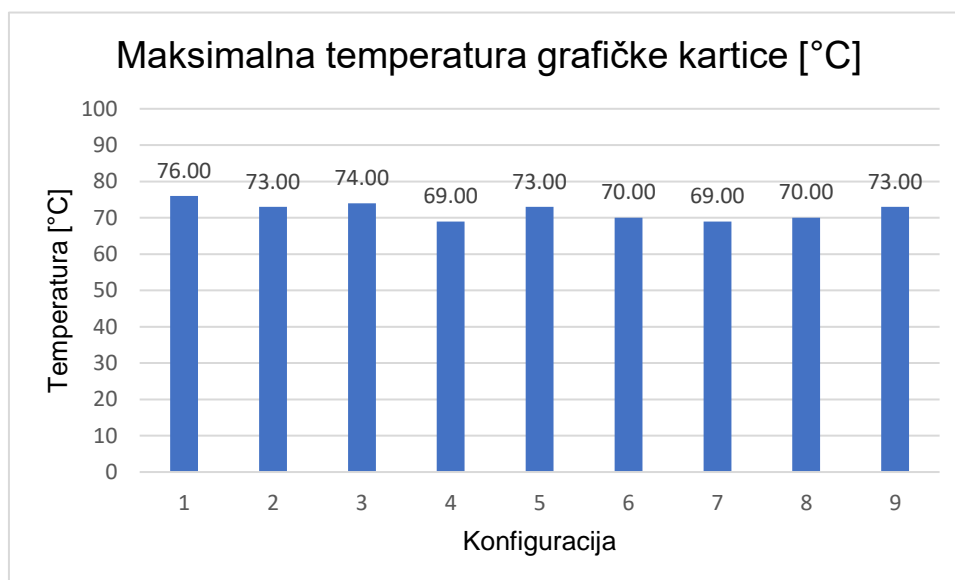
4.2.1. Maksimalna temperatura grafičke kartice

Visoke temperature grafičke kartice mogu uzrokovati termalno ograničenje, što rezultira smanjenjem performansi računala. Stoga, niže maksimalne temperature grafičke kartice ukazuju na bolju učinkovitost hlađenja. [2]

Tablica 4: Maksimalna temperatura grafičke kartice [K] [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Temperatura [K]
Konfiguracija 1	349.15
Konfiguracija 2	346.15
Konfiguracija 3	347.15
Konfiguracija 4	342.15
Konfiguracija 5	346.15
Konfiguracija 6	343.15
Konfiguracija 7	342.15
Konfiguracija 8	343.15
Konfiguracija 9	346.15

Prema tablici 4, primjećuje se da je konfiguracija 1 imala najvišu maksimalnu temperaturu od 349.15 K (76 °C), odmah nakon nje slijedi konfiguracija 3 s temperaturom od 347.15 K (74 °C). Konfiguracije 4 i 6 imaju izjednačeno najnižu maksimalnu temperaturu od 342.15 K (69 °C).



Dijagram 9: Maksimalna temperatura grafičke kartice [°C] [Autor: Timon Tarandek]

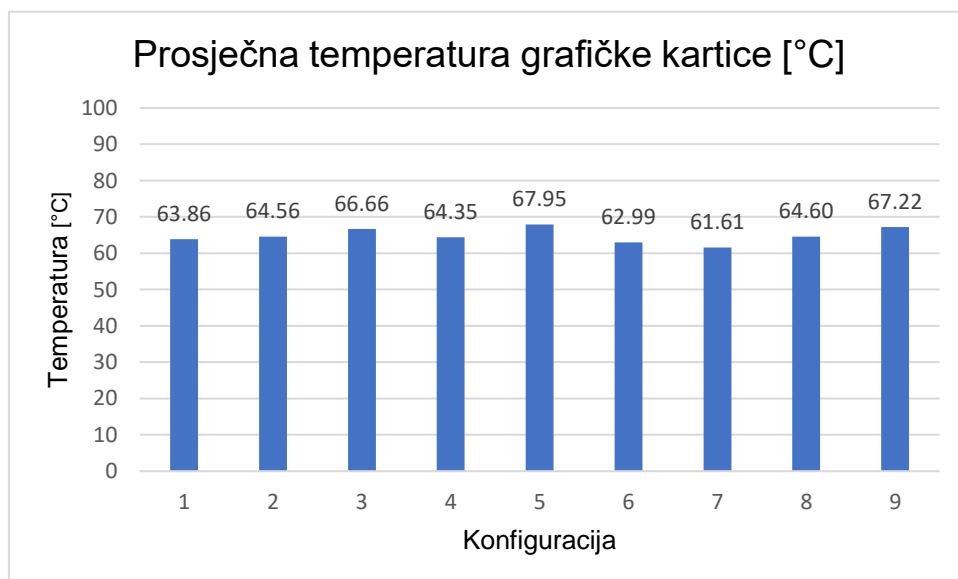
4.2.2. Prosječna temperatura grafičke kartice

Prosječna temperatura ukazuje na ukupnu učinkovitost hlađenja sustava tijekom njegove uporabe. Neprestano visoke prosječne temperature upućuju na nedovoljno učinkovito hlađenje, dok niže prosječne temperature ukazuju na bolju učinkovitost hlađenja.

Tablica 5: Prosječna temperatura grafičke kartice [K] [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Temperatura [K]
Konfiguracija 1	337.01
Konfiguracija 2	337.71
Konfiguracija 3	339.81
Konfiguracija 4	337.50
Konfiguracija 5	341.10
Konfiguracija 6	336.14
Konfiguracija 7	334.76
Konfiguracija 8	337.75
Konfiguracija 9	340.37

Prema tablici 5, konfiguracija s najvišom prosječnom temperaturom je konfiguracija 5 s vrijednošću od 341.1 K (67.95 °C), dok je konfiguracija s najnižom prosječnom temperaturom konfiguracija 7 s vrijednošću od 334.76 K (61.61 °C).



Dijagram 10: Prosječna temperatura grafičke kartice [°C] [Autor: Timon Tarandek]

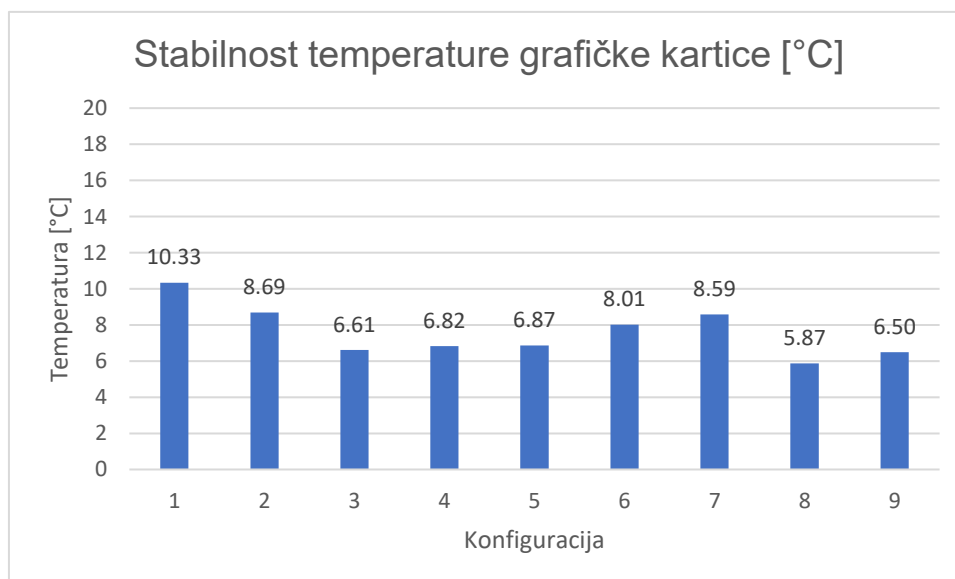
4.2.3. Stabilnost temperature grafičke kartice

Stabilnost temperature bitna je za dosljednost performansi. Fluktuacije u temperaturi mogu uzrokovati nestabilnost i utjecati na performanse. Niža standardna devijacija procesora pokazuje koliko temperatura ostaje blizu prosječne vrijednosti, što ukazuje na veću stabilnost rada. Visoka stabilnost je poželjna radi održavanja konzistentnih performansi.

Tablica 6: Stabilnost temperature grafičke kartice [K] [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Temperatura [K]
Konfiguracija 1	283.48
Konfiguracija 2	281.84
Konfiguracija 3	279.76
Konfiguracija 4	279.97
Konfiguracija 5	280.02
Konfiguracija 6	281.16
Konfiguracija 7	281.74
Konfiguracija 8	279.02
Konfiguracija 9	279.65

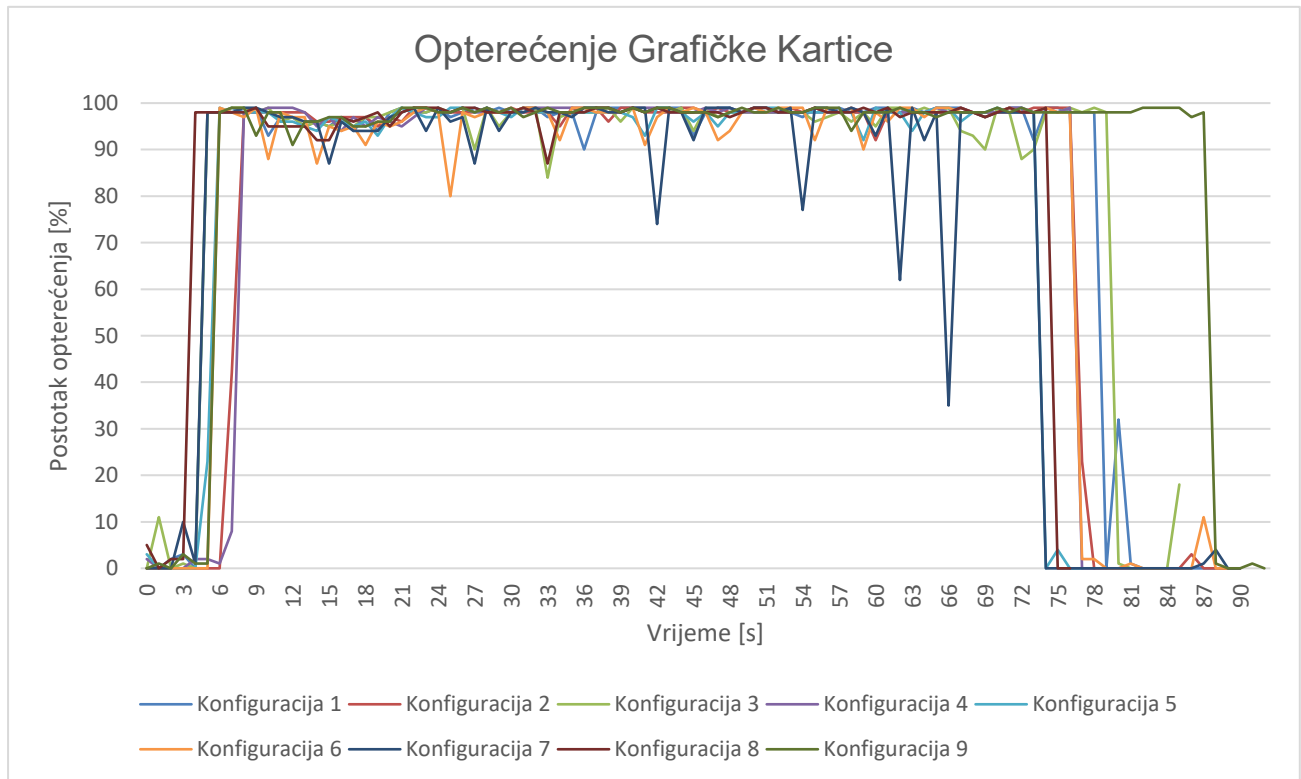
Za standardnu devijaciju temperature, manja vrijednost je poželjnija. Prema tablici 6, konfiguracija 8 se ističe po stabilnosti temperature od 279.02 K (5.87 °C), dok konfiguracija s najvećom standardnom devijacijom ima iznos od 283.48 K (10.33 °C).



Dijagram 11: Stabilnost temperature grafičke kartice [°C] [Autor: Timon Tarandek]

4.3. Opterećenje grafičke kartice

Opterećenje grafičke kartice odnosi se na postotak kapaciteta grafičke procesne jedinice koji se koristi u određenom trenutku te mjeri koliko se procesne snage koristi za obradu trenutnih zadataka. Što je zadatak zahtjevniji, to je veće opterećenje. Općenito, što je veći postotak korištenja kapaciteta grafičke kartice, to je veća potrošnja energije i stvaranje topline.

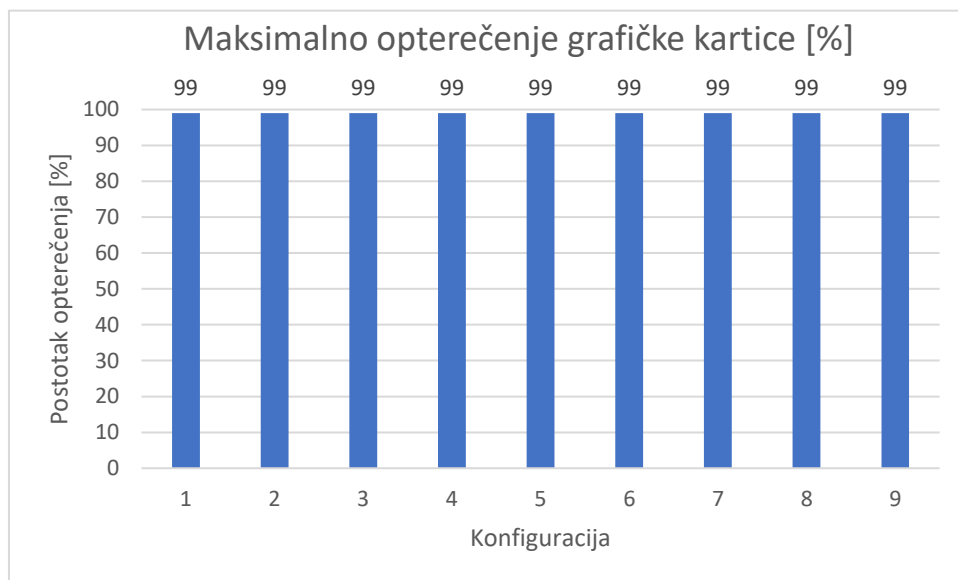


Dijagram 12: Opterećenje grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]

Dijagram 12 prikazuje nagli porast opterećenja svih konfiguracija na početku, zatim održavanje visokog opterećenja tijekom većeg dijela testiranja te nakon toga nagli pad opterećenja pred kraj. Ovo ukazuje na razdoblje intenzivne upotrebe grafičke kartice. Većina konfiguracija održava konstantno opterećenje bez većih fluktuacija, osim konfiguracije 7 označene tamno plavom bojom, koja posebno ističe nekoliko naglih padova opterećenja tijekom testiranja. Također, konfiguracija 6 označena narančastom bojom pokazuje sličan broj padova, ali manje intenzivnih. Ti padovi mogu indicirati na termalno opterećenje (termalno throttlanje), odnosno problem sa hlađenjem ili možda neki drugi problem.

4.3.1. Maksimalno opterećenje grafičke kartice

Maksimalno opterećenje grafičke kartice ukazuje na učinkovito korištenje resursa grafičke kartice te istovremeno može otkriti potencijalne probleme koji zahtijevaju optimizaciju ili nadogradnju sustava.

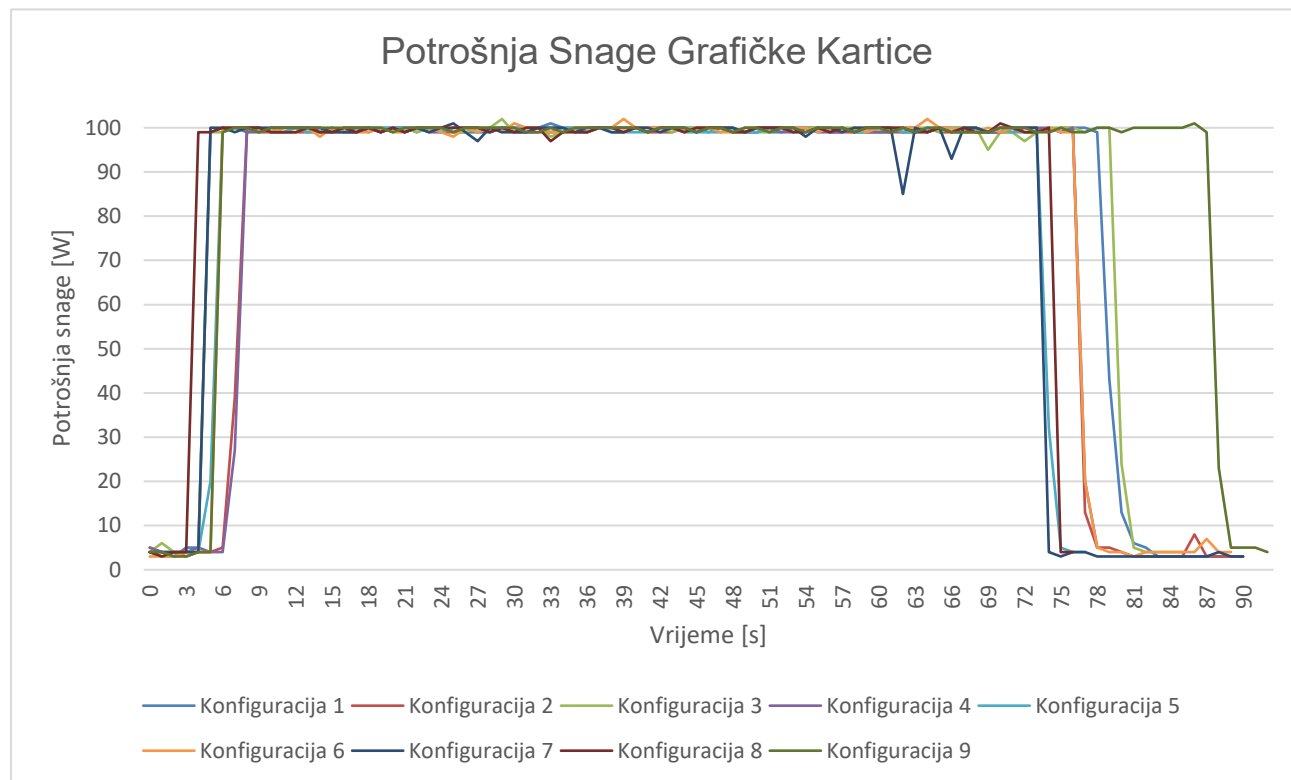


Dijagram 13: Maksimalno opterećenje grafičke kartice [%] [Autor: Timon Tarandek]

Dijagram 13 prikazuje maksimalan postotak opterećenja grafičke kartice. Svaka konfiguracija je postigla isti maksimalni postotak opterećenja, što ukazuje da je grafička kartica korištena gotovo do punog kapaciteta tijekom svakog testa. To znači da su svi sustavi testirani pod jednako zahtjevnim zadacima, što osigurava pouzdanu usporedbu podataka i ostalih parametara.

4.4. Potrošnja snage grafičke kartice

Potrošnja snage grafičke kartice odnosi se na količinu energije koju grafička kartica koristi tijekom rada i služi kao pokazatelj učinkovitosti njezinog korištenja energije.

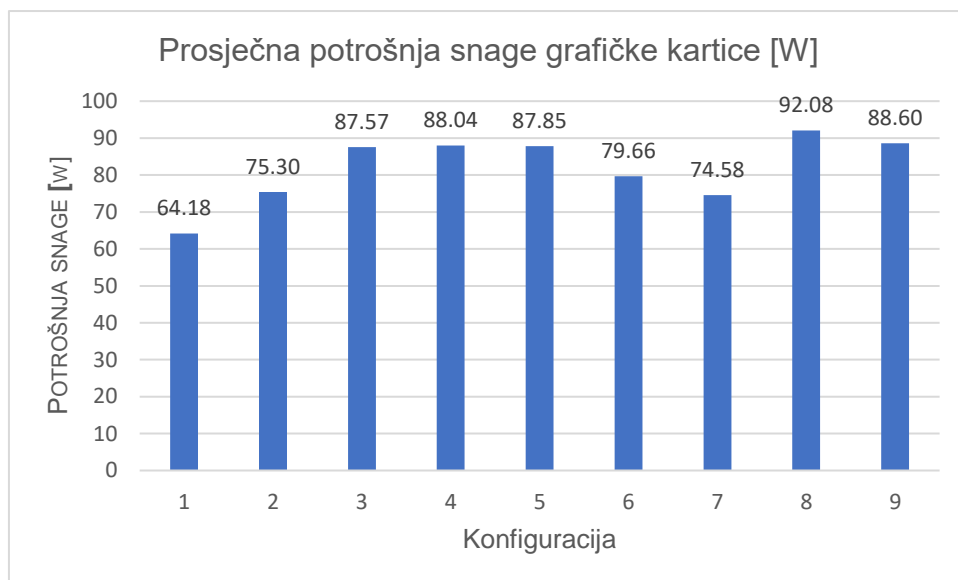


Dijagram 14: Potrošnja snage grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]

Dijagram 14 prikazuje potrošnju snage grafičke kartice tijekom vremena za devet različitih konfiguracija. Sve konfiguracije započinju s niskom potrošnjom snage i naglo rastu blizu maksimalne vrijednosti od 100 W, nakon čega se potrošnja snage stabilizira između 90 i 100 W za sve konfiguracije uz male fluktuacije. Na kraju dolazi do naglog pada potrošnje. Dijagram ilustrira učinkovitu upotrebu resursa grafičke kartice, pri čemu se ističe konfiguracija 7 označena tamno plavom bojom s nekoliko naglih padova potrošnje, konfiguracija 3 označena svijetlo zelenom bojom s nešto manjim padovima, te konfiguracija 6 označena narančastom bojom s nekoliko trenutaka porasta potrošnje iznad 100 W.

4.4.1. Prosječna potrošnja snage grafičke kartice

Prosječna potrošnja snage grafičke kartice mjeri se u vatima (W) i pokazuje prosječnu količinu električne energije koju grafička kartica troši tijekom rada, što služi kao pokazatelj učinkovitosti korištenja energije. Niže vrijednosti ukazuju na učinkovitiji rad jer grafička kartica troši manje energije za izvršavanje zadataka i generira manje topline. Više vrijednosti upućuju na to da grafička kartica troši više energije, što rezultira većom proizvodnjom topline.



Dijagram 15: Prosječna potrošnja snage grafičke kartice [W] [Autor: Timon Tarandek]

Dijagram 15 prikazuje prosječnu potrošnju snage grafičke kartice u devet konfiguracija. Niža prosječna potrošnja je poželjna, pri čemu konfiguracija 1 ima najmanju prosječnu potrošnju od 64.18 W, dok konfiguracija 8 ima najvišu prosječnu potrošnju od 92.08 W.

4.5. Temperatura unutar kućišta

Mjerenjem temperature unutar kućišta dobiva se uvid u termalne performanse, odnosno kako dobro sustav hlađenja upravlja i disipira toplinu. Također se primjećuju razlike u temperaturi između različitih točaka unutar kućišta, što može ukazivati na obrasce protoka zraka i potencijalne vruće točke.

Pomoću termometra unutar kućišta izmjereno je:

- Maksimalna radijacijska temperatura sa stražnje strane - odnosi se na najvišu temperaturu zabilježenu u blizini procesora, grafičke kartice i ostalih komponenti koje su blizu stražnjeg ventilatora.
- Maksimalna radijacijska temperatura s prednje strane - odnosi se na najvišu temperaturu zabilježenu u blizini prednje mreže, gdje se nalaze prednji ventilatori.

Mjerenjem temperatura na prednjem i stražnjem dijelu dobiva se cjeloviti termalni profil kućišta, koji prikazuje kretanje i upravljanje toplinom unutar kućišta. Također, pomaže u razumijevanju protoka zraka od usisa do ispuha te daje uvid u učinkovitost tog protoka.

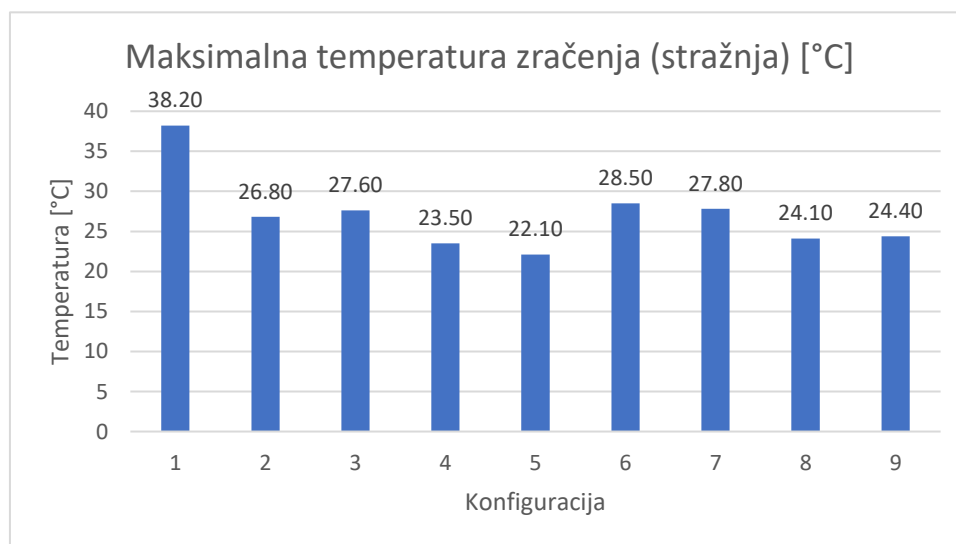
4.5.1. Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (stražnja strana)

Maksimalna izmjerena temperatura na stražnjoj strani kućišta odnosi se na najvišu temperaturu zabilježenu blizu procesora, grafičke kartice i ostalih komponenti koje su blizu stražnjeg ventilatora. Niže radijacijske temperature ukazuju na učinkovito uklanjanje topline koju generiraju komponente iz kućišta, što rezultira boljim performansama hlađenja. S druge strane, više vrijednosti signaliziraju da hlađenje može imati problema s uklanjanjem topline.

Tablica 7: Maksimalna temperatura unutar kućišta (stražnja strana) [K] [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Temperatura [K]
Konfiguracija 1	311.35
Konfiguracija 2	299.95
Konfiguracija 3	300.75
Konfiguracija 4	296.65
Konfiguracija 5	295.25
Konfiguracija 6	301.65
Konfiguracija 7	300.95
Konfiguracija 8	297.25
Konfiguracija 9	297.55

Prema tablici 7, primjećuje se da konfiguracija 1 ima daleko najvišu izmjerenu temperaturu od 311.35 K (38.20 °C), dok konfiguracija 5 ima najnižu izmjerenu temperaturu od 295.25 K (22.10 °C).



Dijagram 16: Maksimalna temperatura unutar kućišta (Stražnja strana) [°C] [Autor: Timon Tarandek]

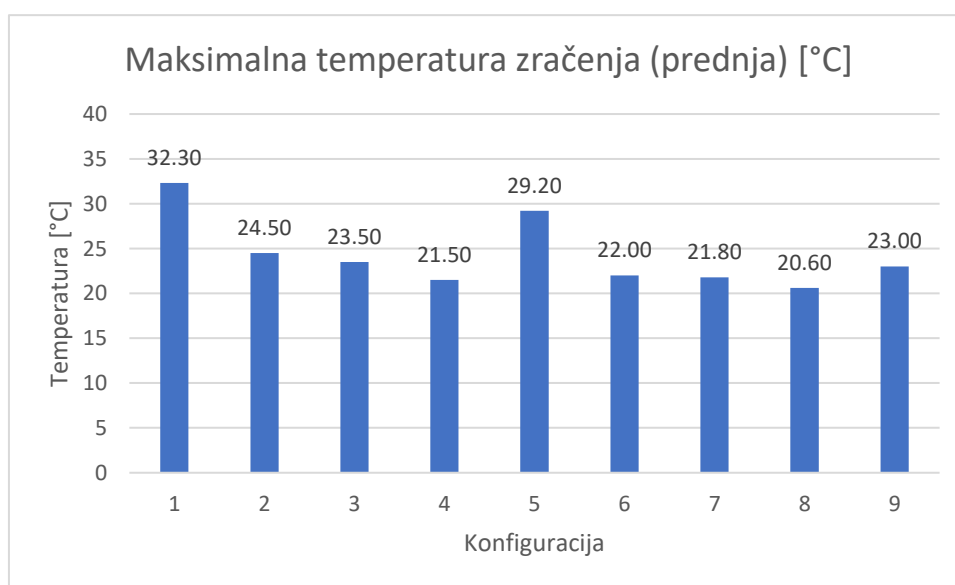
4.5.2. Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (prednja strana)

Maksimalna izmjerena temperatura na prednjoj strani kućišta odnosi se na najvišu temperaturu zabilježenu blizu prednje mreže, gdje se nalaze prednji ventilatori. Niže radijacijske temperature ukazuju na bolje performanse hlađenja jer sustav učinkovito uklanja toplinu. S druge strane, više vrijednosti signaliziraju da hlađenje može imati problema s efikasnim uklanjanjem topline.

Tablica 8: Maksimalna temperatura unutar kućišta (prednja strana) [K] [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Temperatura [K]
Konfiguracija 1	305.45
Konfiguracija 2	297.65
Konfiguracija 3	296.65
Konfiguracija 4	294.65
Konfiguracija 5	302.35
Konfiguracija 6	295.15
Konfiguracija 7	294.95
Konfiguracija 8	293.75
Konfiguracija 9	296.15

Prema tablici 8, konfiguracija 1 ima najvišu izmjerenu temperaturu od 305.45 K (32.30 °C), dok konfiguracija 8 ima najnižu izmjerenu temperaturu od 293.75 K (20.60 °C).



Dijagram 17: Maksimalna temperatura unutar kućišta (prednja strana) [°C] [Autor: Timon Tarandek]

5. ANALIZA REZULTATA

Nakon uspješnog testiranja i zapisivanja rezultata, slijedi analiza podataka i odabir najučinkovitije konfiguracije prema parametrima testiranja. Glavni fokus pri traženju najbolje konfiguracije ventilatora za hlađenje računala bit će na konfiguraciji s ukupnom najnižom zabilježenom temperaturom i minimalnom potrošnjom energije, što ukazuje na efikasnost rada i smanjenje opterećenja komponenata.

Tablica 9: Rezultati testiranja [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Max. CPU Temp. [K]	Max. GPU Temp. [K]	Avg. CPU Temp. [K]	Avg. GPU Temp. [K]	Std. CPU Temp. [K]	Std. GPU Temp. [K]	Avg. Potrošnja snage GPU [W]	Max. Temp. kućišta (stražnja) [K]	Max. Temp. kućišta (prednja) [K]
1	372.15	349.15	351.44	337.01	289.00	283.48	64.18	311.35	305.45
2	366.15	346.15	355.06	337.71	286.23	281.84	75.30	299.95	297.65
3	366.15	347.15	360.93	339.81	279.94	279.76	87.57	300.75	296.65
4	361.15	342.15	356.15	337.50	282.07	279.97	88.04	296.65	294.65
5	356.15	346.15	351.86	341.10	280.65	280.02	87.85	295.25	302.35
6	369.15	343.15	363.29	336.14	281.44	281.16	79.66	301.65	295.15
7	364.15	342.15	359.07	334.76	281.77	281.74	74.58	300.95	294.95
8	362.15	343.15	358.11	337.75	279.15	279.02	92.08	297.25	293.75
9	366.15	346.15	359.75	340.37	280.90	279.65	88.60	297.55	296.15

Tablica 9 prikazuje rezultate testiranja ključnih parametara koji će biti analizirani dalje. Parametri su navedeni s lijeva na desno i obuhvaćaju:

Broj testirane konfiguracije (1-9), Maksimalna temperatura procesora [K], Maksimalna temperatura grafičke kartice [K], Prosječna temperatura procesora [K], Prosječna temperatura grafičke kartice [K], Stabilnost temperature procesora [K], Stabilnost temperature grafičke kartice [K], Prosječna potrošnja grafičke kartice [W], Maksimalna temperatura kućišta (stražnja) [K], Maksimalna temperatura kućišta (prednja) [K]

5.1. Sistem rangiranja

Odabrani sustav rangiranja je vrlo jednostavan: za svaki parametar testiranja dodjeljuje se rang ili ocjena. S obzirom na to da su niže vrijednosti poželjne za svaku metriku, konfiguracija s najnižom vrijednošću dobiva rang 1, druga najniža dobiva rang 2, i tako dalje.

Kada konfiguracije dijele istu vrijednost za određenu metriku, dodjeljuju im se isti rang. Broj ranga koji slijedi nakon vezanih rangova povećava se za broj ponovljenih rangova.

Na primjer, ako dvije konfiguracije dijele prvo mjesto, obje će dobiti rang 1, a sljedeći rang će biti 3 jer obje konfiguracije zauzimaju prva dva ranga.

Nakon što se dodijele ocjene za svaki parametar testiranja, zbrojit će se ukupni rang svih konfiguracija. Konfiguracija koja ima najnižu ukupnu vrijednost bit će najbolja za hlađenje računala, jer pokazuje najbolje ukupne rezultate među svim važnim parametrima testiranja.

5.1.1. Maksimalna temperatura procesora

Tablica 10: Rang lista maksimalne temperature procesora [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Maksimalna temperatura procesora [K]	Rang ljestvica
Konfiguracija 1	372.15	9
Konfiguracija 2	366.15	5
Konfiguracija 3	366.15	5
Konfiguracija 4	361.15	2
Konfiguracija 5	356.15	1
Konfiguracija 6	369.15	8
Konfiguracija 7	364.15	4
Konfiguracija 8	362.15	3
Konfiguracija 9	366.15	5

Prema Tablici 10, Konfiguracija 5 ima najnižu izmjerenu maksimalnu temperaturu procesora, stoga je rangirana kao 1. Konfiguracija 1 ima najvišu izmjerenu maksimalnu temperaturu procesora, zato je rangirana kao 9.

5.1.2. Maksimalna temperatura grafičke kartice

Tablica 11: Rang lista maksimalne temperature grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Maksimalna temperatura grafičke kartice [K]	Rang ljestvica
Konfiguracija 1	349.15	9
Konfiguracija 2	346.15	5
Konfiguracija 3	347.15	8
Konfiguracija 4	342.15	1
Konfiguracija 5	346.15	5
Konfiguracija 6	343.15	3
Konfiguracija 7	342.15	1
Konfiguracija 8	343.15	3
Konfiguracija 9	346.15	5

Prema Tablici 11, Konfiguracija 4 ima najnižu izmjerenu maksimalnu temperaturu grafičke kartice, te je rangirana kao 1. Konfiguracija 1 ima najvišu izmjerenu maksimalnu temperaturu grafičke kartice, zato je rangirana kao 9.

5.1.3. Prosječna temperatura procesora

Tablica 12: Rang lista prosječne temperature procesora [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Prosječna temperatura procesora [K]	Rang ljestvica
Konfiguracija 1	351.44	1
Konfiguracija 2	355.06	3
Konfiguracija 3	360.93	8
Konfiguracija 4	356.15	4
Konfiguracija 5	351.86	2
Konfiguracija 6	363.29	9
Konfiguracija 7	359.07	6
Konfiguracija 8	358.11	5
Konfiguracija 9	359.75	7

Prema Tablici 12, Konfiguracija 1 se ističe s najnižom prosječnom temperaturom procesora, te je stoga rangirana kao broj 1. Konfiguracija 6 ima najvišu prosječnu temperaturu procesora, pa je rangirana kao broj 9.

5.1.4. Prosječna temperatura grafičke kartice

Tablica 13: Rang lista prosječne temperature grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Prosječna temperatura grafičke kartice [K]	Rang ljestvica
Konfiguracija 1	337.01	3
Konfiguracija 2	337.71	5
Konfiguracija 3	339.81	7
Konfiguracija 4	337.50	4
Konfiguracija 5	341.10	9
Konfiguracija 6	336.14	2
Konfiguracija 7	334.76	1
Konfiguracija 8	337.75	6
Konfiguracija 9	340.37	8

Prema Tablici 13, Konfiguracija 7 se ističe s najnižom prosječnom temperaturom grafičke kartice, stoga rangirana kao broj 1. Konfiguracija 5 ima najvišu prosječnu temperaturu grafičke kartice, pa je rangirana kao broj 9.

5.1.5. Prosječna potrošnja grafičke kartice

Tablica 14: Rang lista prosječne potrošnje grafičke kartice [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Prosječna potrošnja grafičke kartice [W]	Rang ljestvica
Konfiguracija 1	64.18	1
Konfiguracija 2	75.30	3
Konfiguracija 3	87.57	5
Konfiguracija 4	88.04	7
Konfiguracija 5	87.85	6
Konfiguracija 6	79.66	4
Konfiguracija 7	74.58	2
Konfiguracija 8	92.08	9
Konfiguracija 9	88.60	8

Prema Tablici 14, Konfiguracija 1 se ističe s najnižom prosječnom potrošnjom snage, te je stoga rangirana kao broj 1. Konfiguracija 8 ima najvišu prosječnu potrošnju pa je rangirana kao broj 9 na listi.

5.1.6. Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (stražnja strana)

Tablica 15: Rang lista maksimalne temperature kućišta (stražnja) [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Maksimalna temperatura kućišta (stražnja) [K]	Rang ljestvica
Konfiguracija 1	311.35	9
Konfiguracija 2	299.95	5
Konfiguracija 3	300.75	6
Konfiguracija 4	296.65	2
Konfiguracija 5	295.25	1
Konfiguracija 6	301.65	8
Konfiguracija 7	300.95	7
Konfiguracija 8	297.25	3
Konfiguracija 9	297.55	4

Prema Tablici 15, Konfiguracija 5 ima najnižu izmjerenu maksimalnu temperaturu unutar kućišta, stoga je rangirana kao 1. Konfiguracija 1 ima najvišu izmjerenu maksimalnu temperaturu unutar kućišta, zato je rangirana kao 9.

5.1.7. Maksimalna izmjerena temperatura unutar kućišta (prednja strana)

Tablica 16: Rang lista maksimalne temperature kućišta (prednja) [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Maksimalna temperatura kućišta (prednja) [K]	Rang ljestvica
Konfiguracija 1	305.45	9
Konfiguracija 2	297.65	7
Konfiguracija 3	296.65	6
Konfiguracija 4	294.65	2
Konfiguracija 5	302.35	8
Konfiguracija 6	295.15	4
Konfiguracija 7	294.95	3
Konfiguracija 8	293.75	1
Konfiguracija 9	296.15	5

Prema Tablici 16, Konfiguracija 8 ima najnižu izmjerenu maksimalnu temperaturu unutar kućišta, stoga je rangirana kao broj 1. Konfiguracija 1 ima najvišu izmjerenu maksimalnu temperaturu unutar kućišta, zato je rangirana kao broj 9.

5.1.8. Sveukupna rang lista testiranih parametara

Tablica 17: Rang lista svih testiranih parametara [Autor: Timon Tarandek]

Column 1	Maksimalna temperatura procesora	Maksimalna temperatura grafičke kartice	Prosječna temperatura procesora	Prosječna temperatura grafičke kartice	Stabilnost temperature procesora	Stabilnost temperature grafičke kartice	Prosječna potrošnja grafičke kartice	Maksimalna temperatura kućišta (stražnja)	Maksimalna temperatura kućišta (prednja)
Konfiguracija 1	9	9	1	3	9	9	1	9	9
Konfiguracija 2	5	5	3	5	8	8	3	5	7
Konfiguracija 3	5	8	8	7	2	3	5	6	6
Konfiguracija 4	2	1	4	4	7	4	7	2	2
Konfiguracija 5	1	5	2	9	3	5	6	1	8
Konfiguracija 6	8	3	9	2	5	6	4	8	4
Konfiguracija 7	4	1	6	1	6	7	2	7	3
Konfiguracija 8	3	3	5	6	1	1	9	3	1
Konfiguracija 9	5	5	7	8	4	2	8	4	5

Prema Tablici 17, primjećuje se da konfiguracija 8 ima najviše kategorija rangiranih kao broj 1. Izdvaja se po najboljim rezultatima u kategorijama: stabilnost temperature procesora, stabilnost temperature grafičke kartice te prosječna potrošnja grafičke kartice, što ukazuje na njezinu visoku učinkovitost.

Konfiguracija 5 se ističe najvišim rangom u kategoriji maksimalne temperature procesora i maksimalne temperature kućišta sa stražnje strane, dok konfiguracija 1 postiže najviše ocjene u prosječnoj temperaturi procesora i prosječnoj potrošnji grafičke kartice.

Konfiguracija 4 ima najviši rang u maksimalnoj temperaturi grafičke kartice, dok konfiguracija 7 postiže najviši rang u prosječnoj temperaturi grafičke kartice. Konfiguracije 2, 3, 6 i 9 ne postižu najviši rang ni u jednoj kategoriji.

5.2. Konačni rezultati istraživanja

Za dobivanje konačnih rezultata istraživanja, bilo je potrebno zbrojiti prethodno dobivene rezultate svake kategorije u jednu konačnu rang listu svih testiranih parametara.

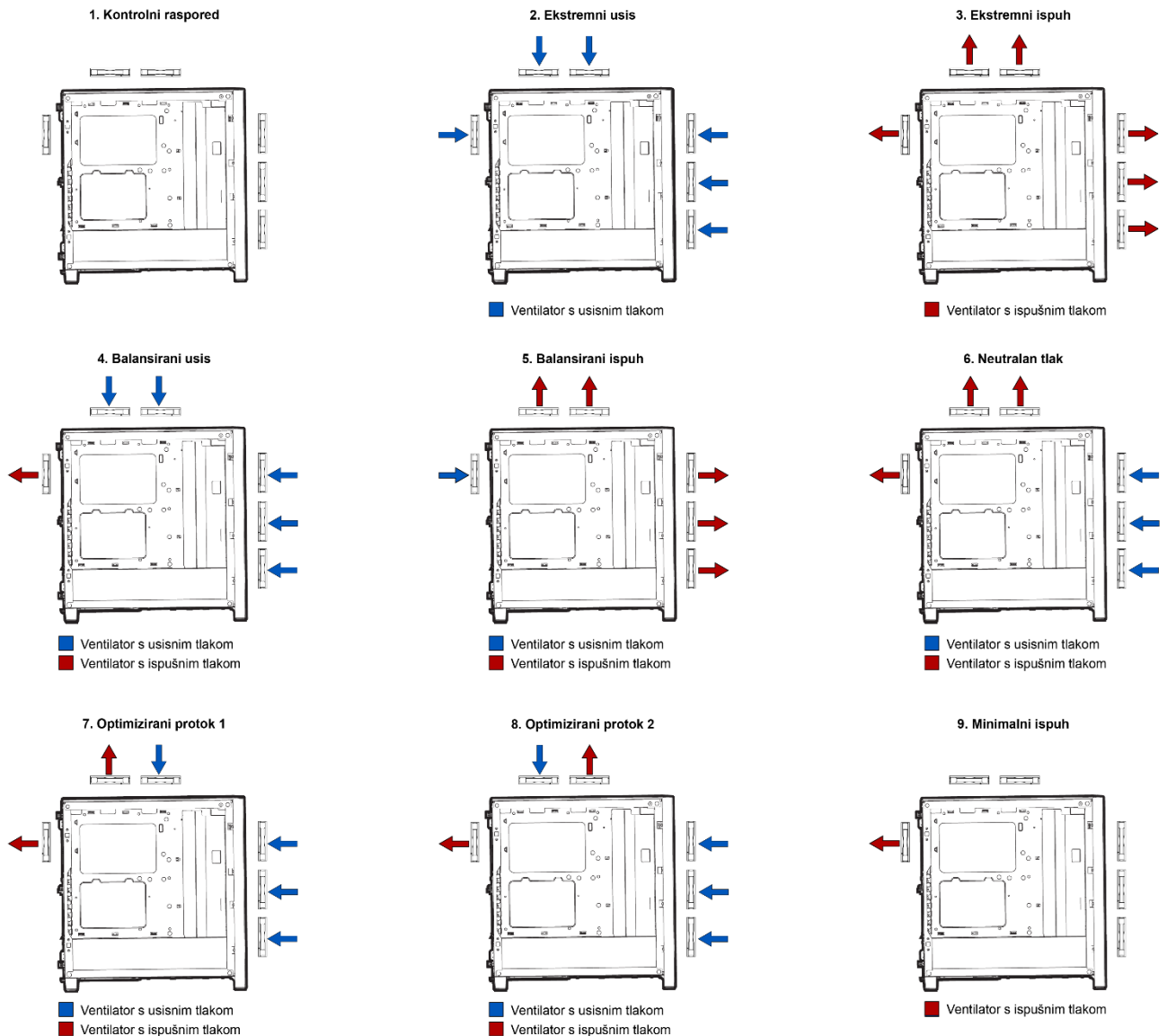
Tablica 18: Konačna rang lista testiranih parametara [Autor: Timon Tarandek]

Konfiguracija	Ukupni rezultat
Konfiguracija 1	59
Konfiguracija 2	49
Konfiguracija 3	50
Konfiguracija 4	33
Konfiguracija 5	40
Konfiguracija 6	49
Konfiguracija 7	37
Konfiguracija 8	32
Konfiguracija 9	48

Iz Tablice 18, koja prikazuje zbroj rangova svih kategorija, vidljivo je da konfiguracija 8 ostvaruje najviši ukupni zbroj rangova od 32, što je čini najboljom konfiguracijom ventilatora za hlađenje u ovom specifičnom sustavu.

Konfiguracija 4 se nalazi odmah iza kao druga najbolja s ukupnim zbrojem rangova od 33. Slijedi je konfiguracija 7 s ukupnim zbrojem rangova od 37, zatim konfiguracija 5 s 40, konfiguracija 9 s 48, konfiguracija 6 s 49, konfiguracija 2 također s 49, konfiguracija 3 s 50, dok konfiguracija 1 bilježi najniži ukupni zbroj rangova od 59.

5.2.1. Zaključci završne analize testiranih konfiguracija



Slika 29: Prikaz svih testiranih konfiguracija [Autor: Timon Tarandek]

5.2.1.1. Konfiguracija 8

Konfiguracija 8 je, prema provedenim testovima, pokazala najučinkovitije rezultate za ventilatore u kućištu. Ova konfiguracija, zajedno s konfiguracijama 7 i 6, dobila je najviše preporuka od drugih korisnika. Konfiguracija 8 omogućuje optimalan protok zraka kroz kućište s tri prednja i jednim gornjim ventilatorom koji unose svježi zrak, dok stražnji i gornji ispušni ventilatori izbacuju zrak van kućišta, stvarajući blagi pozitivan tlak.

5.2.1.2. *Konfiguracija 4*

Konfiguracija 4 je vrlo slična konfiguraciji 8, što objašnjava njezinu visoku učinkovitost. Glavna razlika leži u orijentaciji gornjih ventilatora; umjesto jednog usisnog i jednog ispušnog ventilatora kao u konfiguraciji 8, konfiguracija 4 ima dva usisna ventilatora. Dodatak dodatnog ispušnog ventilatora čini malu razliku u učinkovitosti uklanjanja topline. Zbog velikog broja usisnih ventilatora, konfiguracija 4 omogućuje efikasno uklanjanje toplog zraka i stvara pozitivan tlak.

5.2.1.3. *Konfiguracija 7*

Treća na ljestvici je konfiguracija 7, koja dijeli sličnosti s konfiguracijama 8 i 4. Glavna razlika u odnosu na konfiguraciju 8 je pozicija gornjih ventilatora. U konfiguraciji 7, ispušni ventilator je smješten neposredno iznad procesora i ostalih komponenti, dok je usisni ventilator pozicioniran bliže prednjem dijelu kućišta.

Zaključak je da se optimalnije pokazalo koristiti usisni ventilator iznad procesora zajedno s ispušnim ventilatorom na stražnjem dijelu kućišta. Ova kombinacija najefikasnije uklanja toplinu s pozadine kućišta, gdje se koncentrira visoka temperatura zbog komponentata koje generiraju najviše topline.

5.2.1.4. *Konfiguracija 5*

Četvrta na ljestvici po učinkovitosti je konfiguracija 5, koja se ističe sa pet ispušnih ventilatora i jednim usisnim ventilatorom na stražnjem dijelu kućišta, stvarajući negativan tlak unutar kućišta.

Ovaj raspored se rijetko koristi, ali se može zaključiti da njegova učinkovitost proizlazi iz kombinacije usisnog i ispušnog ventilatora na stražnjem dijelu kućišta. Usisni ventilator dovodi svjež zrak koji gura topao zrak prema gore prema ispušnom ventilatoru. Dodatno, preostali ispušni ventilatori pomažu u uklanjanju topline iz kućišta.

5.2.1.5. *Konfiguracija 9*

Peta po redu na ljestvici je konfiguracija 9, koja se ističe sa samo jednim ispušnim ventilatorom smještenim na stražnjoj strani kućišta. Ovaj minimalistički pristup pokazuje da je jedan ispušni ventilator dovoljan za adekvatno uklanjanje topline. To ukazuje da minimalan broj ventilatora može biti potpuno zadovoljavajući. U situacijama gdje korisnik nije u mogućnosti instalirati više ventilatora, postavljanje samo jednog može pružiti sigurno rješenje koje je bolje nego nemati nijedan ventilator.

5.2.1.6. *Konfiguracija 6*

Na šestom mjestu na ljestvici je konfiguracija 6, koja ima balansiranih 3 usisna ventilatora i 3 ispušna ventilatora, stvarajući neutralan tlak. Usisni ventilatori su smješteni na prednjoj strani kućišta, dok su ispušni ventilatori smješteni gore i straga. Njeno nisko rangiranje na ljestvici je iznenađujuće s obzirom da je konfiguracija 6 općenito vrlo popularna među korisnicima. Međutim, čini se da nije najučinkovitija za ovaj specifični sistem.

5.2.1.7. *Konfiguracija 2*

Također, na šestom mjestu na ljestvici je konfiguracija 2, koja ima šest usisnih ventilatora stvarajući pozitivan tlak. Može se zaključiti da je dovod svježeg zraka važan, ali bez adekvatnog ispuha, topli zrak nema kamo pobjeći, stoga je ova konfiguracija neoptimalna.

5.2.1.8. *Konfiguracija 3*

Osma po redu na ljestvici je konfiguracija 3, koja se odlikuje s postavljenih 6 ispušnih ventilatora u kućištu, stvarajući negativni tlak unutar kućišta. Može se zaključiti da bez adekvatnog dovoda svježeg zraka, velik broj ispušnih ventilatora ne može učinkovito hladiti računalo

5.2.1.9. *Konfiguracija 1*

Posljednja na ljestvici je konfiguracija 1, koja ne uključuje nijedan postavljen ventilator. Očito je da je ova konfiguracija vrlo loša za učinkovitost rada računala. Može se zaključiti da je postavljanje barem jednog ventilatora ključno za znatno poboljšanje njegove efikasnosti.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je istražiti važnost termalnog upravljanja u računalima, istražiti glavne metode hlađenja s naglaskom na PC ventilatore, njihovu primjenu, karakteristike rada te testirati različite konfiguracije montaže.

U uvodnom i teorijskom dijelu rada naglašena je važnost i uloga upravljanja topline, istražene su različite metode hlađenja, posebno je analizirana primjena PC ventilatora. Opisane su vrste ventilatora, njihove karakteristike, princip rada, tehničke specifikacije poput materijala, izrade, trajnosti i pouzdanosti te aspekti instalacije, različiti tipovi tlakova koje generiraju, instalacija te softversko upravljanje i postavke.

Nakon toga slijedi metodologija testiranja koja uključuje opis softverskih i mjernih alata korištenih u istraživanju, kao i detaljan pregled različitih konfiguracija ventilatora u kućištu koje su testirane.

Nakon prikupljanja podataka iz testiranja, obrađeni su glavni mjerni parametri i njihova važnost za potrebe istraživanja. Rezultati su analizirani i rangirani prema njihovoj učinkovitosti u hlađenju sustava. Na kraju, zbrojem svih rangova dobivena je najučinkovitija konfiguracija.

Iz istraživanja se može zaključiti nekoliko važnih stvari o termalnom menadžmentu u računalima. Važnost ventilatora za učinkovitost računala je izuzetno visoka; čak i jedan ventilator znatno poboljšava termalno upravljanje u usporedbi s nedostatkom istog.

Pravilno raspoređivanje ventilatora također igra ključnu ulogu: postavljanje jednog usisnog i jednog ispušnog ventilatora na stražnji dio kućišta, gdje se nalaze glavne komponente koje proizvode toplinu, pruža već značajne rezultate. Dodavanjem dodatnih usisnih ventilatora dalje poboljšava strujanje zraka i učinkovitost hlađenja sustava. Pozitivan tlak unutar kućišta obično daje bolje rezultate od negativnog tlaka.

Međutim, može se zaključiti da pretjerana optimizacija hlađenja nije toliko bitna za svakodnevne korisnike jer razlike u rezultatima nisu značajne. Stoga je dovoljno uspostaviti osnovni raspored koji omogućuje pravilan protok zraka unutar kućišta.

7. LITERATURA

[1] Steinberg, D. S.: Cooling Techniques for Electronic Equipment, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1991.

[2] Harper, C.: Thermal Throttling Guide (Prevent your GPU & CPU from Thermal throttling), CGDirector, dostupno na: <https://www.cgdirector.com/thermal-throttling-guide/>, pristupljeno 22. lipnja 2024.

[3] Szulzyk-Cieplak, J., et al.: The influence of the cooling system on the efficiency of thermal management and the performance of computer components, J. Phys.: Conf. Ser. 2628 012029, 2023.

[4] Cooling Solutions: Keeping Your Computer Components at Optimal Temperatures, Hakia, dostupno na: <https://www.hakia.com/cooling-solutions-keeping-your-computer-components-at-optimal-temperatures/>, pristupljeno 22. lipnja 2024.

[5] Dhumal, A. R., Kulkarni, A. P., Ambhore, N. H.: A comprehensive review on thermal management of electronic devices, Journal of Engineering and Applied Science, 2023, 70:140. <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00309-2>

[6] Cooling Solutions: A Comprehensive Guide to Buying PC Fans for Optimal Cooling Performance, 10Best, dostupno na: <https://www.10best.guide/pc-fans>, pristupljeno 23. lipnja 2024.

[7] PWM (Pulse Width Modulation) Definition, Tom's Hardware, dostupno na: <https://www.tomshardware.com/reviews/glossary-pwm-pulse-width-modulation-definition,5888.html>, pristupljeno 23. lipnja 2024.

[8] Set Up PC Case Fans for Airflow and Performance, Tom's Hardware, dostupno na: <https://www.tomshardware.com/how-to/set-up-pc-case-fans-for-airflow-and-performance>, pristupljeno 24. lipnja 2024.

[9] Anatomy of Computer Fans, Hardware Secrets, dostupno na: <https://hardwaresecrets.com/anatomy-of-computer-fans/>, pristupljeno 24. lipnja 2024.

[10] Materials Used by the Best PC Fans, Tech Unwrapped, dostupno na: <https://techunwrapped.com/these-are-the-materials-used-by-the-best-pc-fans/>, pristupljeno 24. lipnja 2024.

[11] Metal vs Plastic Fan Blades, Airflow Academy, dostupno na: https://airflowacademy.com/metal-vs-plastic-fan-blades/?utm_content=cmp-true, pristupljeno 26. lipnja 2024.

[12] Intake vs Exhaust Fan, Tech Whoop, dostupno na: https://www.techwhoop.com/intake-vs-exhaust-fan/?utm_content=cmp-true, pristupljeno 27. lipnja 2024.

[13] Positive vs Negative Pressure in PC Cases, Tech News Today, dostupno na: <https://www.technewstoday.com/positive-vs-negative-pressure-pc/>, pristupljeno 27. lipnja 2024.

[14] Where to Connect Fans to Motherboard, CGDirector, dostupno na: <https://www.cgdirector.com/where-to-connect-fans-to-motherboard/>, pristupljeno 28. lipnja 2024.

[15] How to Control Fan Speed on PC, Help Desk Geek, dostupno na: <https://helpdeskgeek.com/how-to/how-to-control-fan-speed-on-pc/>, pristupljeno 29. lipnja 2024.

[16] UT320 Series Mini Contact Type Thermometers, dostupno na: <https://meters.untrend.com/product/ut320-series/>, pristupljeno 30. lipnja 2024.

[17] How to Test Graphics Card Stability Using FurMark and Other Tools, MakeUseOf, dostupno na: <https://www.makeuseof.com/tag/test-graphics-card-stability-furmark-gaming/>, pristupljeno 30. lipnja 2024.

[18] 4000D AIRFLOW Tempered Glass Mid-Tower ATX Case — White, dostupno na: <https://www.corsair.com/us/en/p/pc-cases/cc-9011201-ww/4000d-airflow-tempered-glass-mid-tower-atx-case-white-cc-9011201-ww>, pristupljeno 30. lipnja 2024.

[19] ROG STRIX XF 120, Whisper-quiet, 4-pin PWM fan for PC cases, radiators or CPU cooling, dostupno na: <https://rog.asus.com/cooling/fans/rog-strix-xf-120-model/>, pristupljeno 30. lipnja 2024.