Przepływ powietrza w serwerowni: szafa, korytarze, bypass i recyrkulacja

Poziom: podstawy

Dotyczy: przepływ powietrza przez serwery i szafy, zimny i gorący korytarz, ASHRAE TC 9.9 (wydanie 5), serwerownia Zielonej

Czas: ~50 min

Moc klimatyzacji nic nie da, jeśli zimne powietrze nie trafia do wlotów serwerów albo gorące wraca na front. Wyjaśniamy, jak powietrze płynie przez serwer i szafę, po co są korytarze i zaślepki oraz co to jest bypass i recyrkulacja. Wracamy tu, gdy jeden serwer się przegrzewa mimo chłodnego pokoju albo gdy do szafy dochodzi nowy sprzęt.

Skróty użyte na tej stronie (8)

Skrót	Co znaczy
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: amerykańskie stowarzyszenie inżynierów, którego zalecenia opisują temperaturę i wilgotność w serwerowniach
CCF	Cooling Capacity Factor: wskaźnik firmy Upsite, czyli moc znamionowa pracujących klimatyzatorów podzielona przez 110 procent mocy sprzętu IT; pokazuje nadmiar chłodzenia
IBM	International Business Machines: firma, w której laboratorium powstał model relacyjny i pierwszy działający silnik SQL
IT	Information Technology: dział albo praca związana z komputerami i infrastrukturą firmy
kW	Kilowat: tysiąc watów, miara mocy; prawie cała moc pobrana przez serwery zamienia się w ciepło
N+1	Układ z rezerwą: jedno urządzenie więcej, niż potrzeba, więc awaria jednego nie zatrzymuje całości

Skrót	Co znaczy
PKN	Polski Komitet Normalizacyjny: instytucja, która wydaje polskie wersje norm i sprzedaje je w katalogu
PUE	Power Usage Effectiveness: stosunek całej energii pobranej przez centrum danych do energii pobranej przez sam sprzęt IT; 1,0 to wartość idealna

Z życia wzięte

> **Z ŻYCIA WZIĘTE**
>
> Czwartek, 14:10. Ola wyjmuje z szafy R5 stary serwer 2U i zostawia po nim dziurę, bo zaślepek nie ma pod ręką. Po dwóch dniach Zabbix pokazuje, że wlot najwyższego serwera w R5 ma 29 °C, choć klimatyzacja B nawiewa 20 °C i wszystko wygląda w porządku. Gorące powietrze z korytarza wraca przez dziurę na front szafy i zasila serwery u góry. Dwie zaślepki za kilkanaście złotych kończą sprawę, a różnica między wlotem u dołu i u góry szafy wraca do dwóch kelwinów.

Skąd się wzięło

W pierwszych salach komputerowych szafy stały jak popadło i powietrze mieszało się w całym pokoju. Dopóki jedna szafa pobierała kilka kilowatów, nikomu to nie przeszkadzało. Przy większej gęstości mocy wlot jednego serwera zaczął zasysać wylot drugiego, a administrator mierzył temperaturę pokoju, która niczego nie mówiła.

Rozwiązaniem był układ zimnych i gorących korytarzy: fronty dwóch rzędów szaf patrzą w jeden korytarz, a tyły w drugi. Według części źródeł opisał go w 1992 roku Robert Sullivan z IBM [1]. Kolejnym krokiem było zamknięcie korytarza drzwiami, dachem i panelami, żeby powietrza nie dało się wymieszać nawet przez górę [1]. Dziś ten układ jest standardem w nowych serwerowniach i punktem wyjścia dla wytycznych ASHRAE [2].

Wnętrze serwerowni z rzędami szaf. Układ zimnych i gorących korytarzy to dziś podstawowy sposób

Wnętrze serwerowni z rzędami szaf. Układ zimnych i gorących korytarzy to dziś podstawowy sposób ułożenia szaf w serwerowni. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Firma Upsite Technologies opisała wskaźnik pojemności chłodzenia (CCF), żeby pokazać, ile mocy klimatyzacji kupujemy na próżno, bo część powietrza omija serwery [3]. W 2021 roku piąte wydanie wytycznych ASHRAE dołożyło klasę H1 dla bardzo gęstego sprzętu, który wymaga niższej temperatury [2].

Rodzaje i zasada działania

Powietrze w serwerze

> **Pojęcie: wlot i wylot serwera.** Wlot to przód serwera, z którego wentylatory zasysają powietrze, a wylot to tył, z którego je wypychają. Serwery w szafie mają wspólny kierunek: z przodu do tyłu.

Wentylatory w serwerze tworzą podciśnienie za kratką z przodu i nadciśnienie z tyłu, a powietrze płynie tam, gdzie ciśnienie jest niższe. Płynie przez radiatory, przez zasilacze i wychodzi z tyłu o kilkanaście stopni cieplejsze. Wentylatory zwiększają obroty, gdy rośnie temperatura, więc ΔT na serwerze pozostaje w zakresie od 10 do 15 K, a rośnie przepływ i hałas.

Ważne jest, że serwer bierze tyle powietrza, ile potrzebuje, niezależnie od tego, ile go dostarcza klimatyzacja. Jeśli klimatyzacja daje mniej, serwer zasysa brakującą część z miejsca, gdzie jest ciśnienie wyższe: z gorącego korytarza, przez dziury w szafie albo nad nią.

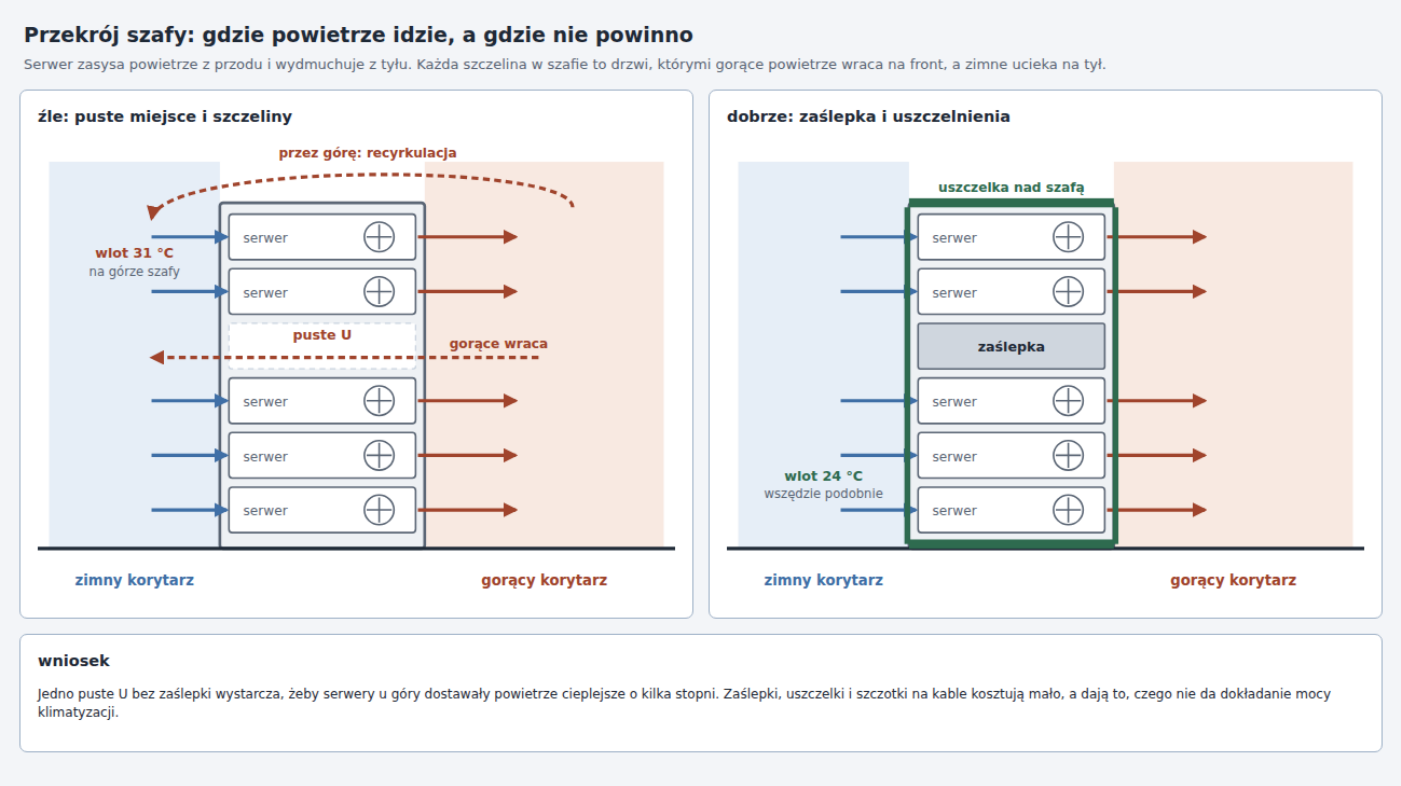
Szafa: gdzie powietrze ucieka

Szafa serwerowa to w tym obrazie ściana między zimnym a gorącym korytarzem. Każda szczelina w tej ścianie jest drzwiami, przez które powietrze idzie tam, gdzie ciśnienie jest niższe.

> **Pojęcie: zaślepka (blanking panel).** Plastikowy lub metalowy panel zamykający wolne jednostki U w szafie, żeby powietrze z tyłu nie wracało na front przez dziurę.

> **Pojęcie: panel szczotkowy.** Panel z szczeliną zamkniętą szczotką, przez którą przechodzą kable, a powietrze nie.

Uszczelniamy cztery miejsca: wolne jednostki U (zaślepki), przepusty kablowe (panele szczotkowe), boki szafy względem sąsiadów (uszczelki, listwy) i przestrzeń nad szafą oraz pod nią, jeśli zamknięcie korytarza tego nie robi. Zaślepki i uszczelki kosztują niewiele, a dają to, czego nie da dokładanie mocy klimatyzacji [3].



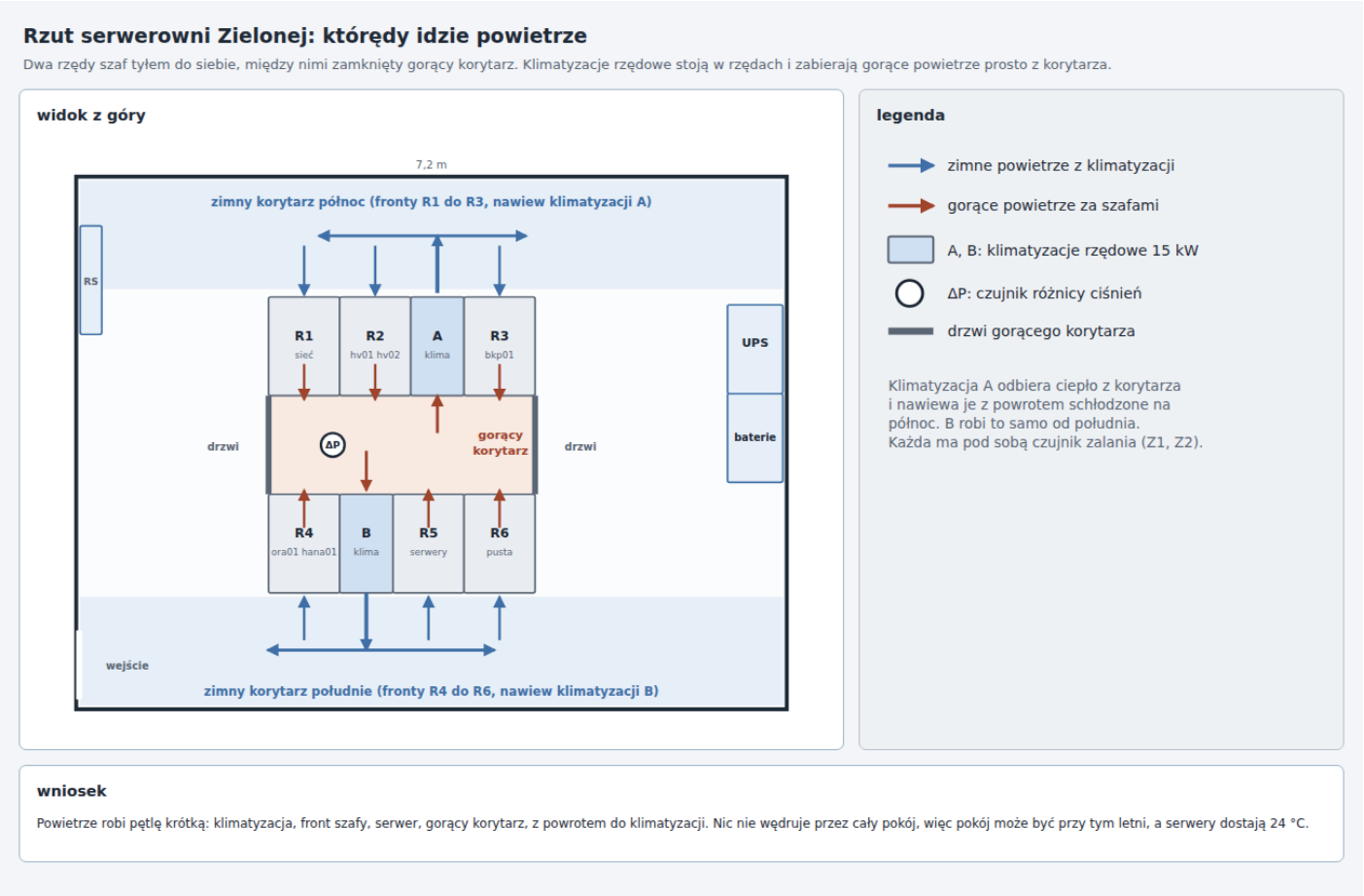
Rysunek 1. Przekrój szafy: po lewej puste miejsce i szczeliny, przez które gorące powietrze wraca na front i podnosi wlot do 31 °C u góry, po prawej zaślepka i uszczelnienia, dzięki którym wlot jest wszędzie około 24 °C. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Zimny i gorący korytarz

Pojęcie: zimny i gorący korytarz. Układ szaf, w którym fronty dwóch rzędów patrzą na siebie w korytarz zimny, a tyły na siebie w korytarz gorący. Klimatyzacja nawiewa do zimnego, a odbiera z gorącego.

Pojęcie: zamknięty korytarz (containment). Fizyczne oddzielenie korytarza ścianami, drzwiami i dachem, żeby nawiew i powrót nie mogły się mieszać. W Zielonej zamknięty jest korytarz gorący, a zimne powietrze zalewa resztę pokoju.

Zielona ma dwa rzędy szaf, plecami do siebie, z zamkniętym gorącym korytarzem pośrodku, o wymiarach około 3,0 na 1,0 m, z drzwiami na obu końcach. Fronty szaf patrzą na północną i południową ścianę, a w rzędach stoją klimatyzatory rzędowe A i B, które pobierają gorące powietrze prosto z korytarza i nawiewają zimne na fronty. Pokój poza korytarzem może być przy tym letni, bo to nie on jest ośrodkiem chłodzenia.



Rysunek 2. Rzut serwerowni Zielonej: dwa rzędy szaf plecami do siebie, zamknięty gorący korytarz z drzwiami na końcach i klimatyzacje rzędowe A i B w rzędach. Czujnik ΔP leży w gorącym korytarzu. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Zamknięcie korytarza ma dwie zalety i jedną wadę. Zaletą jest to, że powietrze wraca do klimatyzacji tak gorące, jak wyszło z serwerów, więc klimatyzacja pracuje przy dużym ΔT i dobrej sprawności. Drugą, że można podnieść temperaturę nawiewu. Wadą jest to, że drzwi korytarza muszą być zamknięte: otwarte na stałe niweczą cały układ.

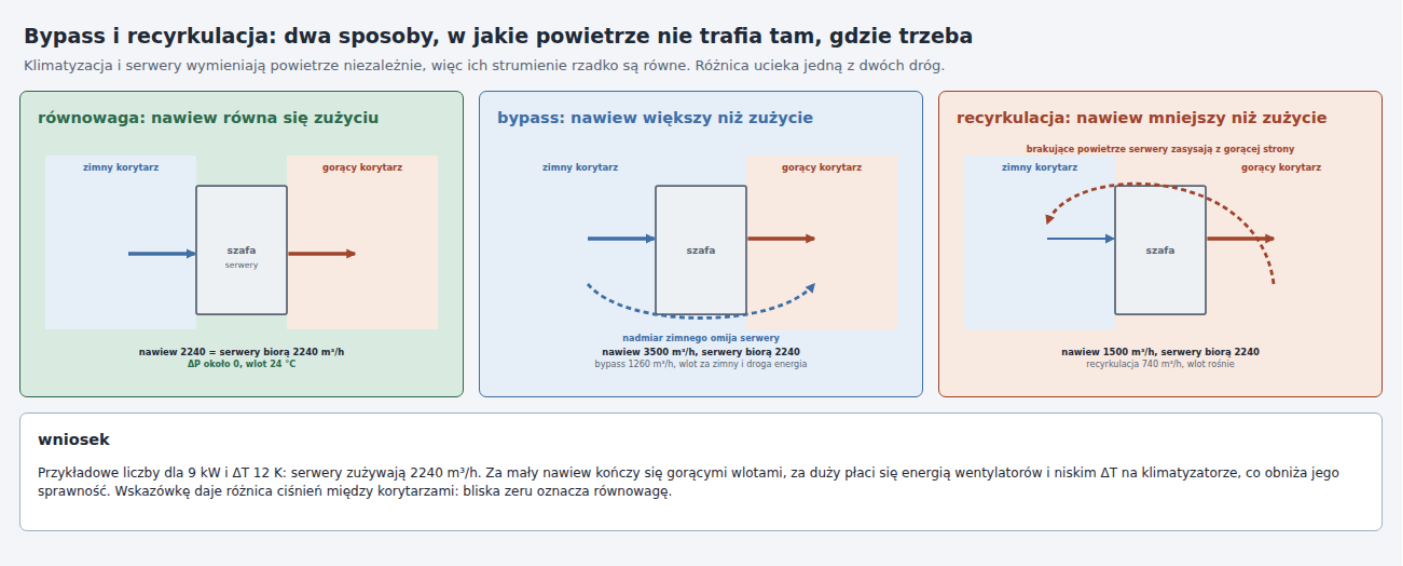
Bypass i recyrkulacja

> **Pojęcie: bypass.** Zimne powietrze, które wraca do klimatyzacji, nie przechodząc przez serwery. Klimatyzacja pracuje, a nic z tego nie ma serwer.

> **Pojęcie: recyrkulacja.** Gorące powietrze, które wraca na front serwera, zamiast wrócić do klimatyzacji. Serwer oddycha własnym wylotem.

Obie sytuacje wynikają z tego samego: strumień nawiewu klimatyzacji nie jest równy strumieniowi zużywanemu przez serwery. Jeśli nawiew jest za duży, nadmiar zimnego powietrza przepływa obok szaf, to bypass. Jeśli za mały, brakujące powietrze serwery zasysają z gorącej strony, to

recyrkulacja. Przykład dla 9 kW i ΔT 12 K, gdzie serwery biorą 2240 m³/h: nawiew 3500 m³/h daje bypass 1260 m³/h, czyli 36 procent nawiewu, a nawiew 1500 m³/h daje recyrkulację 740 m³/h i wyższy wlot.



Rysunek 3. Trzy sytuacje: równowaga, bypass i recyrkulacja. Wskazówką jest różnica ciśnień między korytarzami: bliska zeru oznacza równowagę. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Bypass jest kosztowny, ale nie niebezpieczny: serwery mają chłodno, a my płacimy za wentylatory i za niskie ΔT na klimatyzatorze. Recyrkulacja jest groźna, bo wlot rośnie i serwery zwalniają zegar albo wyłączają się. Obie wykrywamy, mierząc temperaturę na wlocie w kilku miejscach i różnicę ciśnień między korytarzami.

> **Pojęcie: CCF (Cooling Capacity Factor).** Wskaźnik Upsite: moc znamionowa pracujących klimatyzatorów podzielona przez 110 procent mocy IT [3]. Im większy, tym więcej mocy chłodniczej nie służy serwerom. W Zielonej, gdy pracują obie jednostki, CCF to 30 ÷ (1,1 × 9) czyli około 3. Wynik pokazuje nadmiar w układzie z rezerwą N+1, a nie błąd.

Co mówi ASHRAE o temperaturze na wlocie

> **Pojęcie: ASHRAE TC 9.9.** Komitet techniczny stowarzyszenia ASHRAE, który publikuje wytyczne temperatury i wilgotności dla centrów danych. Dotyczą powietrza na wlocie sprzętu, a nie temperatury pokoju [2].

Klasa	Zalecany wlot	Dopuszczalny wlot
A1	od 18 do 27 °C	od 15 do 32 °C
A2	od 18 do 27 °C	od 10 do 35 °C
A3	od 18 do 27 °C	od 5 do 40 °C
A4	od 18 do 27 °C	od 5 do 45 °C
H1 (gęsty sprzęt)	od 18 do 22 °C	od 15 do 25 °C

Piąte wydanie podaje zalecany zakres 18 do 27 °C dla klas A, a dla H1 węższy [2]. Zmiany temperatury nie powinny przekraczać 20 °C na godzinę i 5 °C w 15 minut [2]. W Zielonej zakładamy ostrożnie klasę A1, dopóki karta danego serwera nie wskazuje innej, i dlatego alarmujemy przy 27 °C, a krytycznie przy 32 °C.

Pomiar ΔT i różnicy ciśnień

Dwie liczby opisują, jak płynie powietrze, i obie da się zmierzyć niewielkim kosztem. Pierwsza to ΔT szafy, czyli średnia temperatura wylotów minus średnia temperatura wlotów. Dla serwerów w Zielonej oczekujemy około 12 K. Dużo niższe ΔT oznacza bypass albo serwery pracujące nieoptymalnie, a przegrzany wlot u góry szafy oznacza recyrkulację.

Druga liczba to różnica ciśnień między zimnym a gorącym korytarzem. Bliska zeru oznacza równowagę, ujemna oznacza, że gorący korytarz ma wyższe ciśnienie i gorące powietrze idzie na front, a duża dodatnia, że klimatyzacja wtłacza za dużo powietrza. Ustawiamy próg ostrzegawczy w okolicach 0 Pa z dołu i 15 Pa z góry, ale wartości dostrajamy po kilku tygodniach obserwacji. To nasza propozycja robocza, nie wartość z normy.

Kamera termowizyjna Flir. Termowizja pokazuje na froncie szafy, gdzie powietrze ucieka albo wraca

Kamera termowizyjna Flir. Termowizja pokazuje na froncie szafy, gdzie powietrze ucieka albo wraca, ale tylko jako migawka, więc do stałego nadzoru potrzebujemy czujników. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Jak zbudować czujniki, które liczą ΔT i różnicę ciśnień w sposób ciągły, opisuje strona Mapa cieplna na ESP32: ΔT szafy i różnica ciśnień (DIY).

Wszystkie objawy w jednej tabeli

Objaw	Co to znaczy	Co robimy

Wlot u góry szafy cieplejszy o kilka K niż u dołu	recyrkulacja nad szafą lub przez dziury	zaślepki, uszczelnienie góry szafy
ΔT na klimatyzatorze dużo niższe niż na serwerach	bypass	zmniejszamy nawiew, uszczelniamy korytarz
Różnica ciśnień ujemna (gorący wyższy)	za mały nawiew	zwiększamy nawiew albo zmniejszamy wyciek z korytarza
Wlot wszędzie wysoki mimo chłodnego pokoju	za mała moc lub brak zaślepek	sprawdzamy bilans i zaślepki
Jeden serwer gorący, reszta w normie	zasłonięty wlot, kable	oglądamy front szafy
Wlot wszędzie około 24 °C, ΔT 12 K	równowaga	nic nie zmieniamy

W serwerowni

U nas wlot mierzą czujniki T1 do T5 na szafach R1 do R5, każdy na trzech wysokościach. Czujnik TH wisi pod sufitem w gorącym korytarzu, a H1 i H2 mierzą wilgotność w zimnych korytarzach. Szafa R6 jest pusta i trzeba o niej pamiętać: pusta szafa w rzędzie jest wielką dziurą, przez którą powietrze przepłynie z gorącego korytarza na front. Zamykamy ją drzwiami i zaślepkami albo wypełniamy panelami.

Drzwi gorącego korytarza muszą się domykać same i nie wolno ich blokować w pozycji otwartej do prac. W tym czasie rośnie TH, a klimatyzacje, które widzą cieplejsze powietrze, pracują mocniej. Nowy serwer w szafie dostaje zaślepki w całej wolnej części i panel szczotkowy na kable w tym samym dniu, w którym zostaje wmontowany.

◫ ZRZUT EKRANU DO UZUPEŁNIENIA

Zdjęcie do zrobienia: front szafy R2 z założonymi zaślepkami i opisanymi panelami szczotkowymi, w jednym kadrze z czujnikiem T2 na wlocie.

Co sprawdzamy u wykonawcy

- Zamknięcie gorącego korytarza: drzwi z samozamykaczem i uszczelkami, uszczelniony dach i styk z klimatyzatorami rzędowymi.
- Zaślepki we wszystkich wolnych jednostkach U i komplet paneli szczotkowych w przepustach kablowych, razem z zapasem na przyszłe serwery.
- Plan zamknięcia pustej szafy R6, bez otworów w rzędzie.
- Uszczelnienie przestrzeni nad szafami i między szafami, tak aby ciśnienie w gorącym korytarzu było wyższe niż w pokoju o kilka paskali, a nie odwrotnie.

- Pomiar odbiorczy: temperatura na wlocie na trzech wysokościach w każdej szafie, ΔT szafy i różnica ciśnień między korytarzami przy pracy jednej i dwóch klimatyzacji.
- Dokumentacja przepływu powietrza klimatyzacji rzędowych i zakres regulacji obrotów wentylatorów.

Pytania, które zadajemy: jak wykonawca zmierzył przepływ w korytarzu, co się dzieje, gdy otworzymy drzwi korytarza, i czy można zwiększyć obroty wentylatorów bez wymiany jednostek.

Mity i sprostowania

Obiegowa wersja	Jak jest naprawdę
Wystarczy obniżyć temperaturę w pokoju, to wlot też spadnie	Wlot zależy od mieszania powietrza, a nie od temperatury pokoju. Przy recyrkulacji zimny pokój nie pomaga
Im więcej zimnego powietrza, tym lepiej	Nadmiar to bypass: płacimy za wentylatory, a ΔT na klimatyzatorze spada
Zaślepki to kosmetyka	To najtańszy sposób obniżenia wlotu u góry szafy
Wystarczy czujnik na ścianie	Ściana mierzy pokój, a serwer oddycha powietrzem z własnego wlotu
Zamknięty korytarz zawsze obniża koszty	Obniża je, jeśli jest szczelny i drzwi są zamknięte

Oś czasu

Data	Wydarzenie
1992	Robert Sullivan z IBM opisuje układ zimnych i gorących korytarzy (według części źródeł) [1]
2021	Piąte wydanie wytycznych ASHRAE, klasa H1 dla gęstego sprzętu [2]

Wątek polski

Normy serii EN 50600 dla centrów danych opisują między innymi środowisko i chłodzenie, a wskaźnik PUE definiuje EN 50600-4-2 z 2016 roku [4]. Krajowego wydania tych norm w katalogu PKN nie sprawdziliśmy, więc nie podajemy numerów polskich. Polskiego twórcy układu korytarzy nie znaleźliśmy w sprawdzonych źródłach.

Częste błędy

Objaw	Przyczyna	Co robimy
Wlot u góry szafy o kilka K wyższy niż u dołu	dziura po serwerze albo brak uszczelnienia	zaślepki, uszczelki
Klimatyzacja pracuje mocno, a serwery się grzeją	recyrkulacja, bypass albo zablokowany wlot	mierzymy wloty i ΔP
Drzwi korytarza stoją otwarte	„na chwilę”, która trwa tygodnie	samozamykacz, alarm otwarcia na wej01
Kable zasłaniają wylot serwera	zbyt gęste okablowanie z tyłu	porządkujemy kable, używamy ramion
Czujnik ΔP w gorącym korytarzu pokazuje szum	rurka zgnieciona albo wylot w strumieniu	przesuwamy wylot rurki w spokojne miejsce

□□ Ćwiczenia

1. W szafie R5 usunięto jeden serwer 2U i nie zamknięto luki. Co się stanie z wlotem serwerów nad luką?

Odpowiedź

Gorące powietrze z tyłu szafy wróci na front przez lukę, bo ciśnienie z tyłu jest wyższe. Serwery nad luką zassą je razem z zimnym i ich wlot wzrośnie o kilka stopni, jak na Rysunku 1 [1][3].

1. Klimatyzacja nawiewa 3500 m³/h, serwery biorą 2240 m³/h. Co to jest i jaka część nawiewu omija serwery?

Odpowiedź

To bypass. Omija 3500 minus 2240, czyli 1260 m³/h, co daje 36 procent nawiewu. Zimno jest, ale płacimy za wentylatory i klimatyzacja widzi niskie ΔT [3].

1. Różnica ciśnień zimny minus gorący wynosi minus 5 Pa. Jak to rozumiemy?

Odpowiedź

Gorący korytarz ma wyższe ciśnienie niż zimny, więc powietrze idzie z gorącego na front, czyli występuje recyrkulacja. Zwiększamy nawiew albo uszczelniamy ucieczkę z gorącego korytarza. To założony kierunek pomiaru i progi z tej książki, które dostrajamy po obserwacji.

1. Wlot serwera w klasie A1 wynosi 30 °C. Czy to alarm?

Odpowiedź

Przekroczony jest zalecany zakres 18 do 27 °C, ale jesteśmy poniżej granicy dopuszczalnej 32 °C klasy A1. To ostrzeżenie, nie awaria, ale trzeba znaleźć przyczynę i zdecydować, czy podnieść obroty klimatyzacji [2].

1. Dlaczego pusta szafa R6 wymaga zamknięcia, choć nie ma w niej sprzętu?

Odpowiedź

W rzędzie szaf stanowi część ściany między korytarzami. Pusta, otwarta szafa jest w tej ścianie otworem, przez który gorące powietrze przepływa na front sąsiednich szaf. Zamykamy ją drzwiami i zaślepkami [1][3].

Powiązane: Bilans cieplny serwerowni: waty, BTU i ile powietrza potrzeba, Klimatyzacja serwerowni: rodzaje, free cooling i czynniki chłodnicze, Termometry: rodzaje, zasada działania i zastosowania, Serwerownia Zielonej: gdzie stoją czujniki i dokąd płyną alarmy

Źródła:

1. Wikipedia, Hot aisle/cold aisle containment
2. ASHRAE, Thermal Guidelines, 5th edition, karta referencyjna
3. Upsite Technologies, blog o przepływie powietrza i czujnikach w centrach danych
4. Wikipedia, Power usage effectiveness

Revision #15
Created 2026-10-03 12:08:50 UTC by Tomasz Konieczny
Updated 2026-10-26 14:19:56 UTC by Tomasz Konieczny