Ciepło, powietrze i klimatyzacja

Bilans cieplny, przepływ powietrza i rodzaje klimatyzacji.

- Bilans cieplny serwerowni: waty, BTU i ile powietrza potrzeba
- Przepływ powietrza w serwerowni: szafa, korytarze, bypass i recyrkulacja
- Klimatyzacja serwerowni: rodzaje, free cooling i czynniki chłodnicze

Bilans cieplny serwerowni: waty, BTU i ile powietrza potrzeba

Poziom: podstawy

Dotyczy: obliczenia ciepła w serwerowni, serwerownia Zielonej, UPS 20 kVA, klimatyzacja rzędowa 2 × 15 kW

Czas: ~45 min

Serwer zamienia pobrany prąd w ciepło, a klimatyzacja ma to ciepło wynieść z pokoju. Pokazujemy, jak policzyć całe ciepło w serwerowni Zielonej, czym różni się moc jawna od utajonej i ile powietrza trzeba przepchnąć przez szafy. Wracamy tu, gdy czytamy ofertę klimatyzacji w BTU na godzinę albo sprawdzamy, czy nowy sprzęt zmieści się w mocy chłodniczej.

Skróty użyte na tej stronie (9)

Skrót	Co znaczy
BTU	British Thermal Unit: brytyjska jednostka ciepła, w ofertach klimatyzacji jako BTU na godzinę; 1 kW to około 3412 BTU/h
CFM	Cubic Feet per Minute: stopy sześcienne na minutę, amerykańska jednostka strumienia powietrza; 1 m³/h to około 0,5885 CFM
IT	Information Technology: dział albo praca związana z komputerami i infrastrukturą firmy
kVA	Kilowoltoampery: moc pozorna zasilacza UPS, określa, jaki sprzęt może on zasilić
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
PDU	Power Distribution Unit: listwa zasilająca w szafie rack, w droższych wersjach z gniazdami mierzonymi i wejściem na czujnik temperatury
SHR	Sensible Heat Ratio: jaka część mocy chłodniczej klimatyzatora to ciepło jawne (chłodzenie), a nie utajone (osuszanie); w serwerowni chcemy wartości bliskiej 1

Skrót	Co znaczy
UPS	Uninterruptible Power Supply: zasilacz awaryjny, podtrzymuje zasilanie urządzeń na czas zaniku napięcia z sieci

Z życia wzięte

Z ŻYCIA WZIĘTE

Wtorek, 9:20. Oferta na nową klimatyzację przychodzi w BTU/h: „51 200 BTU/h, klasa ekonomiczna”. Ola pyta, czy to dużo, a Tomek liczy na kartce: 51 200 podzielone przez 3412 to 15 kW, czyli tyle, ile mają obie obecne jednostki każda z osobna. Dopiero wtedy zauważa, że w ofercie nie ma słowa o mocy jawnej, a pokój ma prawie wyłącznie ciepło jawne. Dopytuje dostawcę i dowiaduje się, że to urządzenie komfortowe: część mocy zjada na osuszanie powietrza, którego w serwerowni nie trzeba.

Skąd się wzięło

Pojęcie: BTU (British thermal unit). Brytyjska jednostka ciepła, mniej więcej tyle energii, ile trzeba, żeby podgrzać jeden funt wody o jeden stopień Fahrenheita, czyli około 1055 dżuli [1]. W ofertach klimatyzacji występuje jako BTU na godzinę, czyli jako moc.

Jednostki ciepła pochodzą z czasów, gdy ciepło uważano za osobną substancję. W latach czterdziestych XIX wieku James Prescott Joule pokazał doświadczalnie, że ciepło i praca mechaniczna to dwie postacie energii, a jednostką energii w układzie SI został dżul [2]. Joseph Black rozróżnił w latach sześćdziesiątych XVIII wieku ciepło, które zmienia temperaturę, od ciepła, które zmienia stan skupienia, i dziś nazywamy je ciepłem jawnym i utajonym [3].

Chłodnictwo przyniosło własną jednostkę: tonę chłodniczą. Odpowiada mocy potrzebnej, żeby w ciągu doby zamrozić tonę wody w lód, czyli 12 000 BTU/h, w przeliczeniu około 3,517 kW [4]. Z tego powodu starsze katalogi podają moc klimatyzacji w „tonach”, a nowsze w kilowatach.

Wnętrze centrum danych z rzędami szaf serwerowych. Każda szafa pobiera prąd i oddaje go w całoś

Wnętrze centrum danych z rzędami szaf serwerowych. Każda szafa pobiera prąd i oddaje go w całości jako ciepło, które klimatyzacja musi wynieść z pokoju. Źródło: Wikimedia Commons (autor i

wolna licencja podane na stronie pliku).

W serwerowni ta wiedza wraca z dwóch stron. Producenci klimatyzacji podają moc w kilowatach i BTU, a producenci serwerów w watach poboru prądu i, czasem, w BTU/h wydzielanego ciepła. Zielona jest dobrym przykładem, bo ofertę, kartę UPS i kartę serwera piszą trzy różne firmy w trzech różnych jednostkach.

Rodzaje i zasada działania

Wat i BTU/h: jak przeliczać

> **Pojęcie: moc cieplna.** Ilość ciepła przypadająca na jednostkę czasu. W układzie SI mierzymy ją w watach: 1 W to 1 dżul na sekundę. Moc cieplna serwera jest równa mocy elektrycznej, którą pobiera [5].

Wzór, który zapamiętujemy: 1 W = 3,412 BTU/h, czyli 1 kW = 3412 BTU/h. Tona chłodnicza to 12 000 BTU/h, czyli 3,517 kW.

Wielkość	Waty	kW	BTU/h	Tony chłodnicze
Jeden serwer 1U	500	0,5	1706	0,14
Szafa R2 w Zielonej	2600	2,6	8871	0,74
Wszystkie serwery Zielonej	9000	9,0	30 708	2,6
Całe ciepło Zielonej (średnio)	10 470	10,5	35 724	3,0
Jedna klimatyzacja rzędowa	15 000	15,0	51 180	4,3

Dlaczego prawie cała energia staje się ciepłem

Serwer pobiera prąd i produkuje informację: obliczenia, ruch w sieci, zapisy na dyski. Informacja nie przenosi energii na zewnątrz pokoju, więc praktycznie cała pobrana energia kończy jako ciepło w procesorach, pamięciach, zasilaczach i wentylatorach. Drobne wyjątki, jak światło wysłane światłowodem, też gasną w końcu jako ciepło, tyle że poza szafą.

Z tego wynika zasada, której nie da się obejść: moc cieplna serwera w watach jest równa jego poborowi mocy w watach. Serwer o poborze 500 W trzeba chłodzić tak, jakby grzał 500 W. Nie ma sprawności serwera w sensie cieplnym.

Bilans cieplny Zielonej

> **Pojęcie: bilans cieplny pokoju.** Suma wszystkich źródeł ciepła w pomieszczeniu, w kilowatach. Klimatyzacja musi odebrać tyle samo, ile się wydziela, bo inaczej temperatura rośnie.

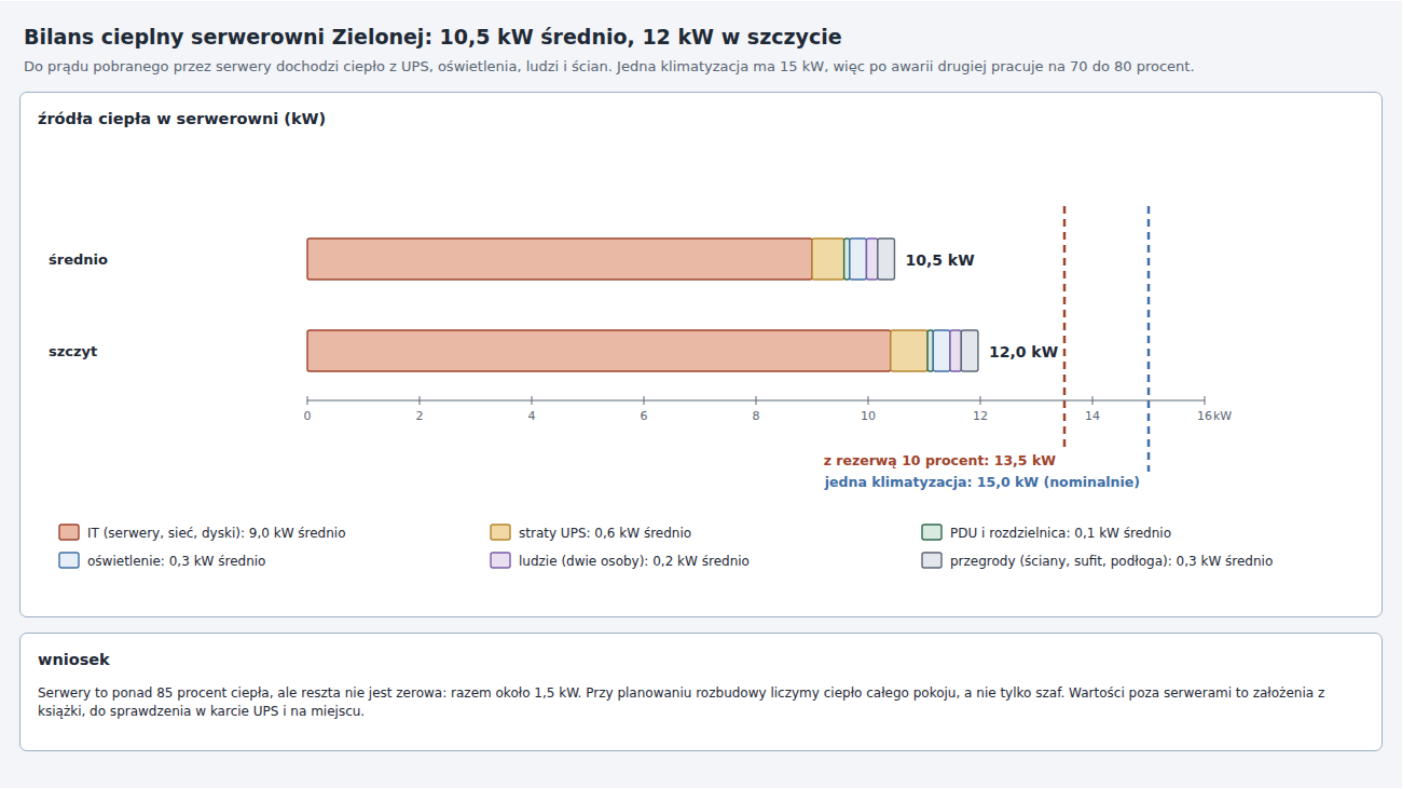
W Zielonej źródeł jest sześć. Serwery, sieć i dyski to 9,0 kW średnio i 10,4 kW w szczycie, zgodnie z bilansem w książce o zasilaniu. UPS nie jest idealny: przy założonej sprawności 94 procent przy połowie obciążenia traci 0,57 kW średnio i 0,66 kW w szczycie, a ta strata to ciepło wydzielane w pokoju. Rozdzielnica i listwy PDU grzeją około 0,1 kW. Oświetlenie to około 0,3 kW, czyli około 8 W na metr kwadratowy przy powierzchni 38,9 m² (7,2 na 5,4 m). Dwie osoby w pokoju dają około 0,2 kW, a ściany, sufit i podłoga przepuszczają około 0,3 kW z korytarzy budynku.

Źródło	Średnio, kW	Szczyt, kW	Uwaga
Serwery, sieć, dyski (IT)	9,00	10,40	bilans z książki o zasilaniu
Straty UPS	0,57	0,66	założenie: sprawność 94 procent
PDU i rozdzielnica	0,10	0,10	założenie
Oświetlenie	0,30	0,30	założenie: około 8 W/m²
Ludzie (dwie osoby)	0,20	0,20	założenie
Przegrody (ściany, sufit, podłoga)	0,30	0,30	założenie
Razem	**10,47**	**11,96**	

Zasilacz awaryjny UPS. Energia, której UPS nie przekazuje do serwerów, zostaje w pokoju jako ciepło

Zasilacz awaryjny UPS. Energia, której UPS nie przekazuje do serwerów, zostaje w pokoju jako ciepło, więc jego straty dopisujemy do bilansu. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Wartości z oznaczeniem „założenie” są naszymi szacunkami i do sprawdzenia: sprawność UPS bierzemy z karty producenta przy rzeczywistym obciążeniu, a przegrody mierzymy po lecie.



Rysunek 1. Bilans cieplny serwerowni Zielonej: źródła ciepła średnio i w szczycie. Serwery to ponad 85 procent ciepła, ale reszta razem to około 1,5 kW, którego nie wolno pominąć przy doborze klimatyzacji. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Dwie rzeczy wynikają z tej tabeli. Po pierwsze, jedna klimatyzacja 15 kW pokrywa średnie ciepło z zapasem 30 procent, ale w szczycie zostaje 3 kW zapasu. Po drugie, przy zachowaniu 10 procent rezerwy limit mocy IT dla jednej jednostki to około 11,8 kW, a nie nominalne „13 do 14 kW”, które pojawia się w książce o zasilaniu jako krawędź bez żadnej rezerwy.

Ciepło jawne i utajone

Pojęcie: ciepło jawne. Ciepło, które zmienia temperaturę powietrza, a nie jego wilgotność. Czujemy je jako ciepło i mierzymy termometrem.

Pojęcie: ciepło utajone. Ciepło, które zmienia stan skupienia wody w powietrzu: odparowanie albo skroplenie pary wodnej. Nie zmienia temperatury, tylko wilgotność [3].

Pojęcie: SHR (sensible heat ratio). Stosunek mocy jawnej klimatyzatora do jego mocy całkowitej, czyli jawnej i utajonej razem. SHR 1,0 oznacza, że urządzenie tylko chłodzi, a nie osusza.

Serwery wydzielają prawie wyłącznie ciepło jawne. Utajonego dokładają tylko ludzie, a w Zielonej to ułamek kilowata. Wynika z tego, że potrzebujemy klimatyzatora o SHR bliskim 1,0. Klimatyzator komfortowy ma niższy SHR: część jego mocy idzie na skraplanie wilgoci, które nie jest w serwerowni potrzebne, a które powoduje przesuszenie powietrza i zużycie energii. W ofercie zawsze pytamy o moc jawną w naszych warunkach, nie o moc całkowitą.

Ile powietrza potrzeba

Ciepło z serwerów odbiera powietrze, a ilość odebranego ciepła zależy od trzech rzeczy: ilości powietrza, jego gęstości i ciepła właściwego oraz od tego, o ile stopni powietrze się ogrzewa na serwerze.

> **Pojęcie: ΔT na serwerze.** Różnica temperatury powietrza na wylocie i na wlocie serwera, w kelwinach albo stopniach Celsjusza. Serwery z kart katalogowych mają zwykle od 10 do 15 K, a w Zielonej przyjmujemy 12 K.

Wzór: $Q = \rho \cdot cp \cdot V \cdot \Delta T$, gdzie Q to moc cieplna, ρ to gęstość powietrza (około 1,2 kg/m³), cp to ciepło właściwe powietrza (około 1,005 kJ/(kg·K)), V to strumień objętości powietrza, a ΔT to różnica temperatur [5][6]. Po przekształceniu i przeliczeniu jednostek dostajemy dwie reguły do zapamiętania:

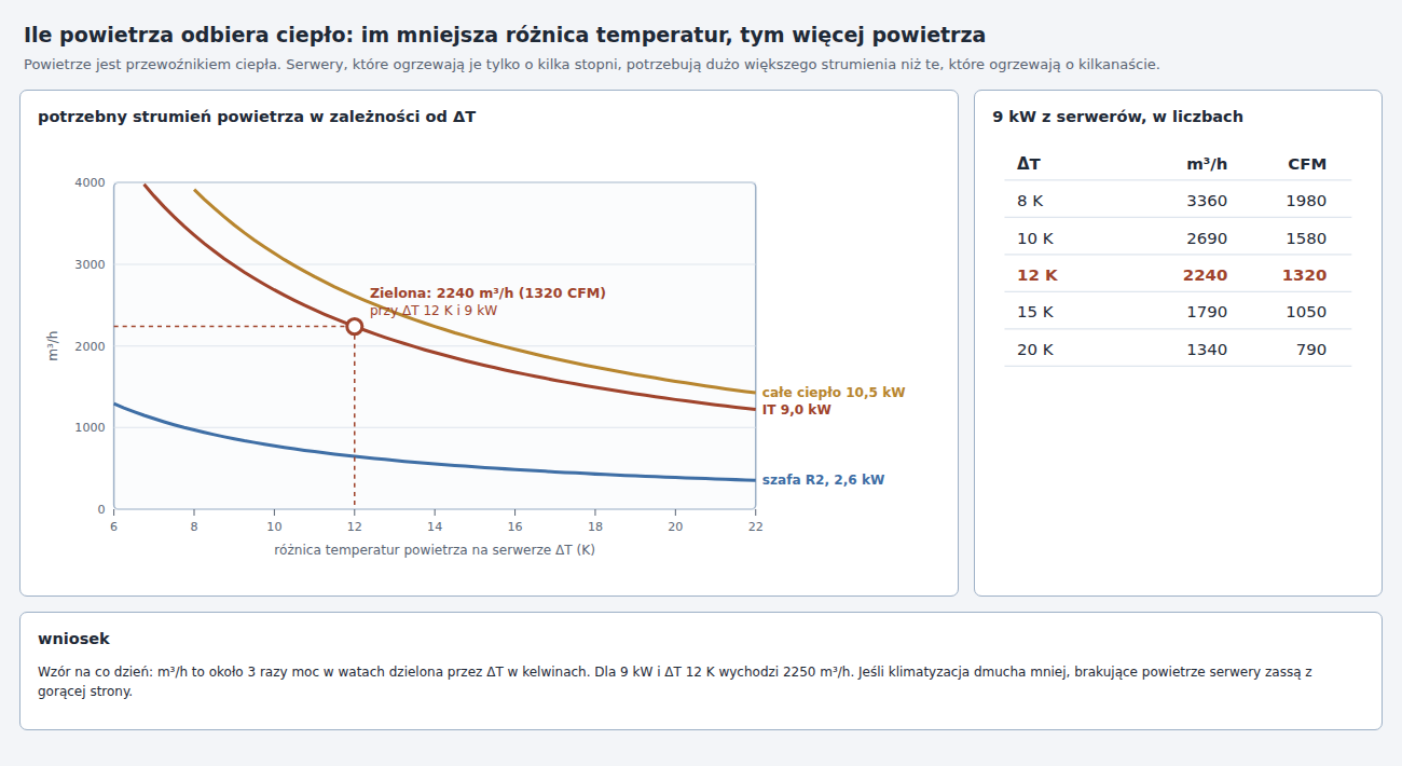
- strumień w m³/h ≈ 3 × moc w watach ÷ ΔT w kelwinach,
- strumień w CFM ≈ 1,76 × moc w watach ÷ ΔT w kelwinach.

> **Pojęcie: CFM (cubic feet per minute).** Stopy sześcienne na minutę, amerykańska jednostka strumienia powietrza. 1 m³/h to około 0,5885 CFM.

Dla ΔT w stopniach Fahrenheita obowiązuje wzór amerykański: CFM = 3,16 × moc w watach ÷ ΔT w °F [7]. Po zamianie 12 K na 21,6 °F daje to ten sam wynik.

Przykład dla Zielonej: wszystkie serwery 9000 W przy ΔT 12 K wymagają 3 × 9000 ÷ 12 = 2250 m³/h, w dokładnym liczeniu 2240 m³/h, czyli 1320 CFM. Dla samej szafy R2 (2600 W) wychodzi około 650 m³/h.

ΔT na serwerze	Przepływ dla 9 kW, m³/h	Przepływ dla 9 kW, CFM
8 K	3360	1980
10 K	2690	1580
12 K	2240	1320
15 K	1790	1050
20 K	1340	790



Rysunek 2. Potrzebny strumień powietrza w zależności od ΔT. Im mniejsza różnica temperatur na serwerze, tym więcej powietrza trzeba przepchnąć, a dla Zielonej przy 12 K to 2240 m³/h. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Wniosek praktyczny jest taki, że klimatyzacja musi dostarczyć co najmniej tyle powietrza, ile zużywają serwery. Jeśli da mniej, brakujące powietrze serwery zassą z gorącej strony, a jeśli da więcej, część zimnego powietrza ucieknie obok szaf. Obie sytuacje opisuje strona Przepływ powietrza: szafa, korytarze, bypass i recyrkulacja.

Wszystkie jednostki w jednej tabeli

Wielkość	Jednostka SI	Jednostka z ofert	Przelicznik
Moc cieplna	kW	BTU/h, tona chłodnicza (TR)	1 kW = 3412 BTU/h, 1 TR = 3,517 kW
Przepływ powietrza	m³/h	CFM	1 m³/h = 0,5885 CFM
Różnica temperatur	K	°F	1 K = 1,8 °F
Gęstość powietrza	kg/m³		około 1,2 przy 20 do 25 °C
Ciepło właściwe powietrza	kJ/(kg·K)		około 1,005
Moc jawna i utajona	kW		SHR = jawna ÷ całkowita

W serwerowni

Pobór mocy serwerów bierzemy z pomiarów, a nie z tabliczek znamionowych. Moc z tabliczki to maksimum zasilacza, a serwer w praktyce pobiera zwykle ułamek tej wartości. W Zielonej źródłem są UPS i listwy PDU, a historię liczymy w Zabbixie na `mon01`. Szczyt czytamy z wykresu z kilku tygodni, nie z jednego dnia.

Klimatyzacje nie stoją na UPS. W czasie zaniku napięcia serwery pracują dalej na baterii, a klimatyzacje stają, więc ciepło dalej się wydziela, a nie ma kto go odebrać. Jak szybko rośnie wtedy temperatura, liczymy na stronie Planowanie chłodzenia: bilans, zapas N+1, awaria klimatyzacji.

ZRZUT EKRANU DO UZUPEŁNIENIA

Zdjęcie do zrobienia: tabliczka znamionowa i wyświetlacz UPS w serwerowni Zielonej z odczytem aktualnego obciążenia w kilowatach, żeby w jednym kadrze były moc i data.

Co sprawdzamy u wykonawcy

- Moc chłodnicza jawna w kilowatach, w naszych warunkach pracy: temperatura powietrza powrotnego z gorącego korytarza i temperatura powietrza z zewnątrz w lecie, a nie tylko w warunkach katalogowych.
- SHR urządzenia. Dla serwerowni oczekujemy wartości bliskiej 1,0.
- Przepływ powietrza w m^3/h przy naszym ciśnieniu zewnętrznym i ΔT, z którego wynika moc.
- Pobór prądu klimatyzacji przy pracy z pełną mocą i przy rozruchu, bo wynika z niego obwód i zabezpieczenie.
- Jednostki w ofercie. Jeśli podano BTU/h albo tony chłodnicze, prosimy o przeliczenie na kW na piśmie.
- Czy moc podano dla jednej jednostki, czy dla dwóch pracujących razem. W układzie N+1 liczy się moc jednej.

Pytania, które zadajemy: przy jakiej temperaturze powrotu producent podaje 15 kW, ile mocy zostaje przy 35 °C na zewnątrz i czy wynik jest zmierzony, czy tylko policzony.

Mity i sprostowania

Obiegowa wersja	Jak jest naprawdę

Klimatyzacja 15 kW poradzi sobie z serwerami 15 kW	Musi jeszcze odebrać ciepło z UPS, oświetlenia, ludzi i ścian, więc limit IT jest niższy
Serwer pobiera 800 W z zasilacza, ale grzeje mniej	Grzeje dokładnie tyle, ile pobiera. Praca użyteczna nie zostaje w pokoju w postaci energii
Im mocniejsza klimatyzacja, tym lepiej	Za duża moc przy małym obciążeniu pracuje w krótkich cyklach, a zwykła komfortowa przesusza powietrze
BTU i kW to dwie wielkości	To ta sama wielkość, moc cieplna, w dwóch jednostkach
Ciepło z UPS nas nie dotyczy	UPS stoi w pokoju i jego straty trzeba odebrać razem z ciepłem serwerów

Oś czasu

Data	Wydarzenie
lata 1760	Joseph Black rozróżnia ciepło jawne i utajone [3]
lata 1840	Joule wykazuje, że ciepło i praca to dwie postacie energii [2]
1902	Carrier buduje urządzenie do stałej wilgotności w drukarni na Brooklynie
2007	The Green Grid popularyzuje PUE, wskaźnik narzutu energii na chłodzenie i zasilanie

Wątek polski

W Polsce obowiązuje układ SI, więc dokumentacja techniczna i projekty podają moc w kilowatach. BTU/h spotykamy w ofertach klimatyzatorów komfortowych, zwłaszcza importowanych, i wtedy przeliczamy je na kW. Polskiego wkładu w sam rachunek bilansu cieplnego serwerowni nie znaleźliśmy w sprawdzonych źródłach i nie twierdzimy, że taki był.

Częste błędy

Objaw	Przyczyna	Co robimy
Klimatyzacja „na 15 kW” nie nadąża przy 10 kW IT	liczono tylko serwery, bez UPS, ludzi, oświetlenia i ścian	liczymy pełny bilans i zostawiamy 10 procent rezerwy
Moc IT policzona z tabliczek zasilaczy	tabliczka podaje maksimum, a nie pobór	bierzemy pomiar z UPS i PDU z kilku tygodni

Objaw	Przyczyna	Co robimy
Pomylenie mocy jawnej z całkowitą	oferta podaje tylko moc całkowitą	żądamy mocy jawnej i SHR
Przelicznik BTU na kW odwrócony	podzielono zamiast pomnożyć albo odwrotnie	pamiętamy: kW × 3412 daje BTU/h
Strumień powietrza policzony dla ΔT, którego serwery nie mają	przyjęto 20 K, a serwer ma 10 K	bierzemy ΔT z karty serwera albo z pomiaru na wlocie i wylocie

Ćwiczenia

1. Dostawca podaje klimatyzację 48 000 BTU/h. Ile to kilowatów i czy zastępuje jedną jednostkę 15 kW?

Odpowiedź

48 000 ÷ 3412 to około 14,1 kW. To nie to samo co 15 kW, a w dodatku nie wiemy, ile z tego jest mocą jawną. Pytamy o moc jawną w naszych warunkach [1][4].

1. Szafa R5 pobiera 2,0 kW, a serwery mają ΔT 10 K. Ile powietrza potrzeba w m³/h i w CFM?

Odpowiedź

3 × 2000 ÷ 10 = 600 m³/h, w dokładnym liczeniu około 597 m³/h. W CFM to około 353, bo 600 × 0,5885 daje 353 [5][7].

1. Dlaczego do bilansu dodajemy straty UPS?

Odpowiedź

UPS stoi w pokoju, a energia, której nie przekazuje do serwerów, zostaje w nim jako ciepło. Przy 9 kW IT i sprawności 94 procent daje to około 0,57 kW dodatkowego ciepła do odebrania [5].

1. W serwerowni nie ma ludzi, światła i okien. Klimatyzator ma SHR 0,7. Co się dzieje z wilgotnością?

Odpowiedź

Urządzenie ma 30 procent mocy przeznaczone na ciepło utajone, a w pokoju nie ma pary wodnej do skroplenia, więc zaczyna przesuszać powietrze. Pobiera więcej prądu, a niska wilgotność sprzyja wyładowaniom elektrostatycznym [3].

1. Zielona dokłada szafę R6 z 2,5 kW. Jaką dodatkową ilość powietrza trzeba dostarczyć przy ΔT 12 K?

Odpowiedź

3 × 2500 ÷ 12 to około 625 m³/h, czyli około 370 CFM. Do nawiewu klimatyzacji dochodzi więc ponad jedna czwarta obecnego strumienia, a jednocześnie rośnie ciepło, o czym mówi strona o planowaniu [5].

Powiązane: Przepływ powietrza: szafa, korytarze, bypass i recyrkulacja, Klimatyzacja serwerowni: rodzaje, free cooling i czynniki chłodnicze, Planowanie chłodzenia: bilans, zapas N+1, awaria klimatyzacji, UPS: topologie, dobór i baterie

Źródła:

1. Wikipedia, British thermal unit
2. Wikipedia, James Prescott Joule
3. Wikipedia, Latent heat oraz Sensible heat
4. Wikipedia, Ton of refrigeration
5. Wikipedia, Data center cooling oraz Computer room air conditioning
6. Wikipedia, Heat capacity oraz Density of air
7. Wikipedia, Cubic foot per minute

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.

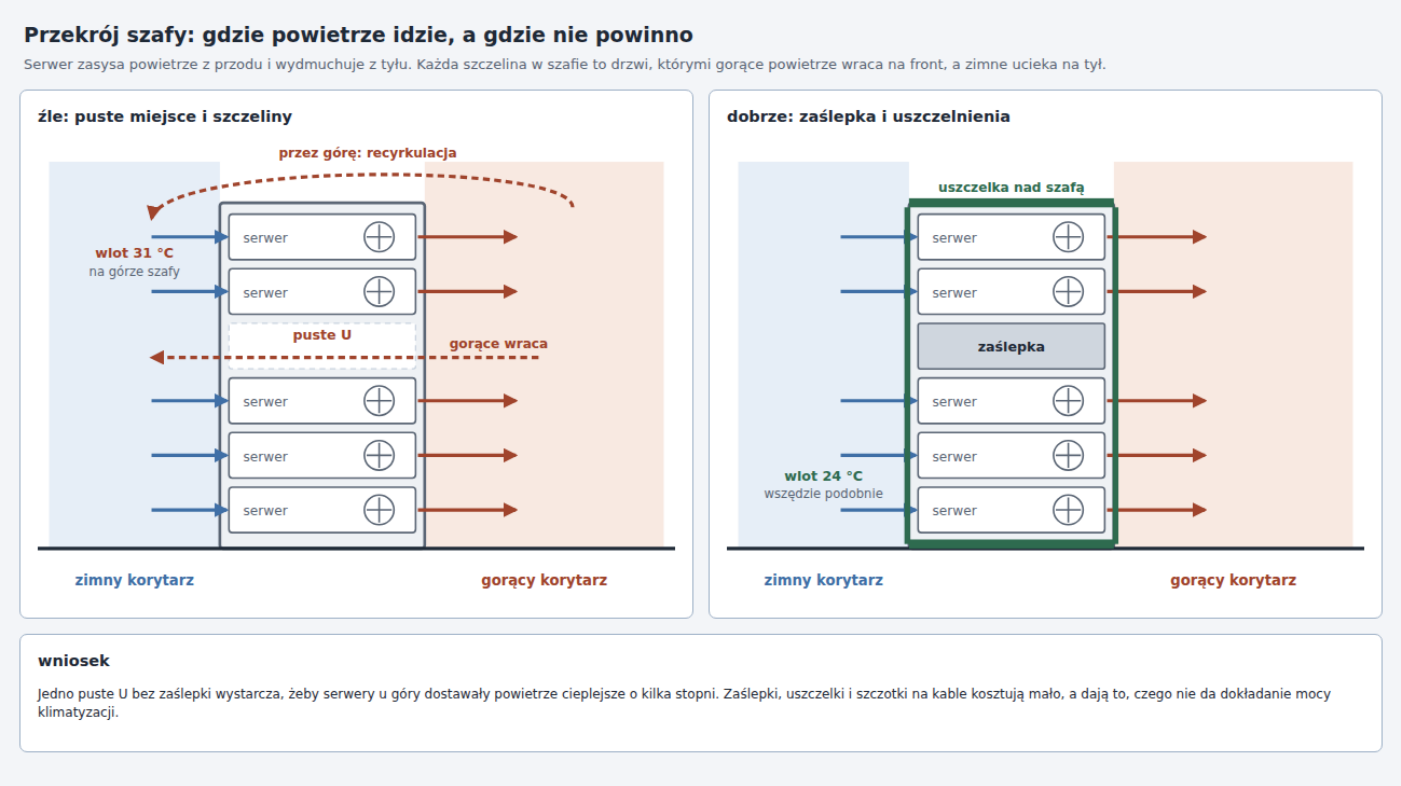
Szafa: gdzie powietrze ucieka

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].



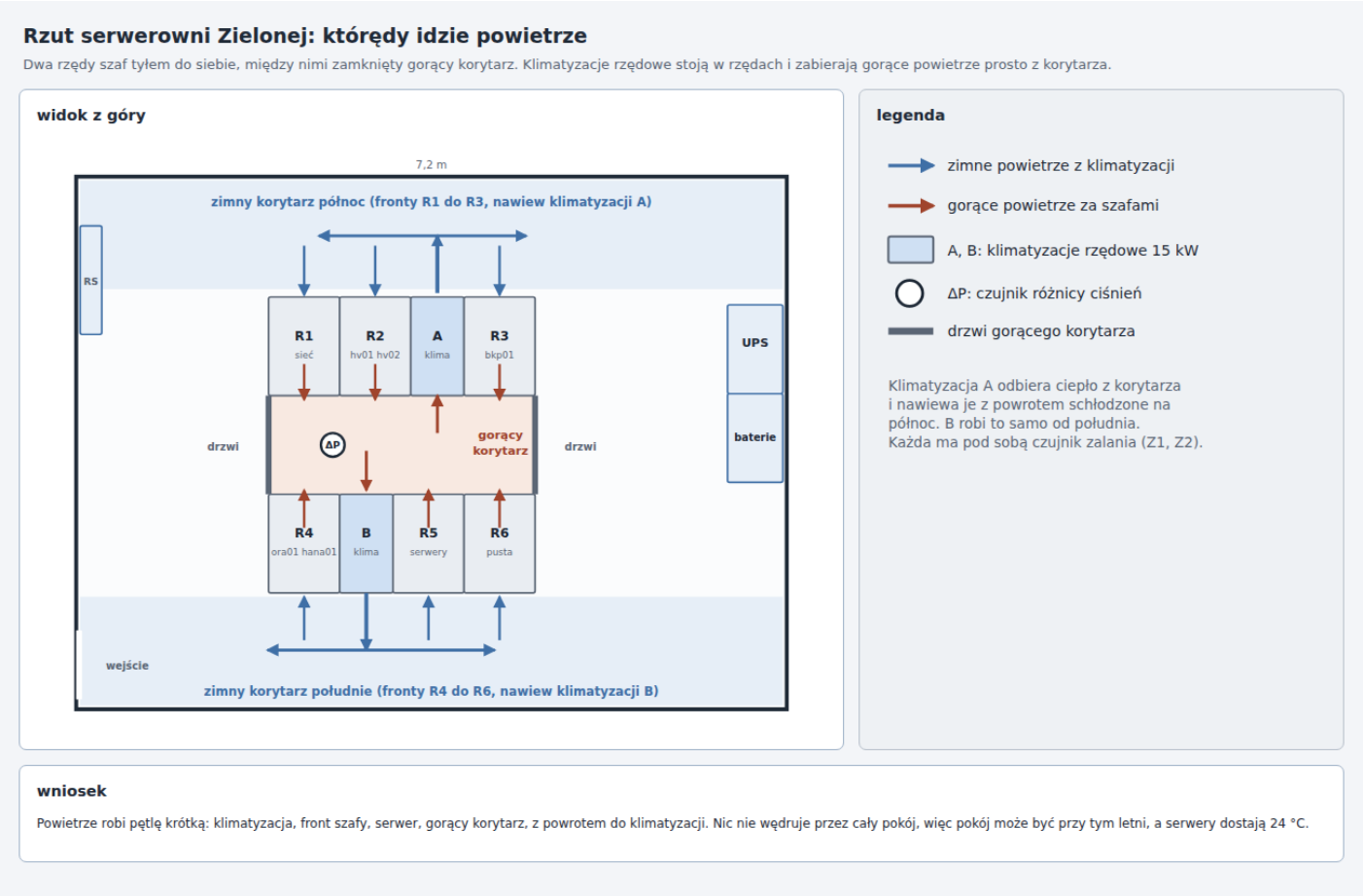
Rysunek 1. Przekrój szafy: po lewej puste miejsce i szczeliny, przez które gorące powietrze wraca na front i podnosi wlot do 31 °C u góry, po prawej zaślepka i uszczelnienia, dzięki którym wlot jest wszędzie około 24 °C. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

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.

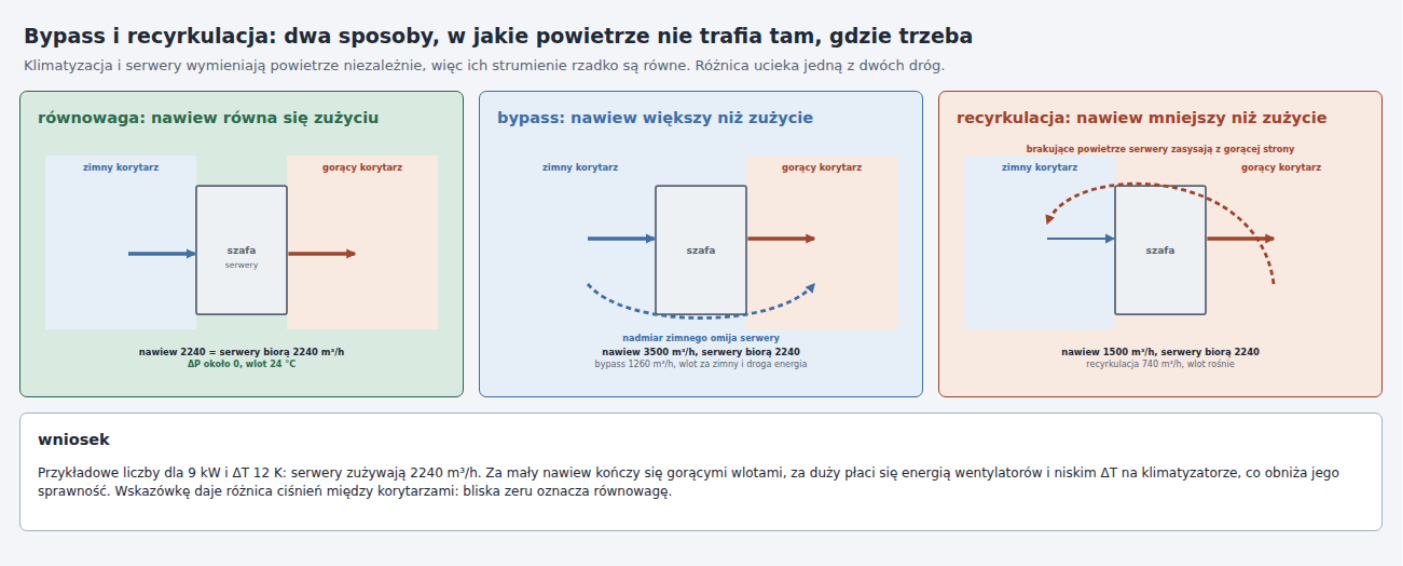
Bypass i recyrkulacja

> **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

Klimatyzacja serwerowni: rodzaje, free cooling i czynniki chłodnicze

Poziom: średnio

Dotyczy: klimatyzacja precyzyjna CRAC i CRAH, chłodzenie rzędowe, free cooling, chłodzenie cieczą, rozporządzenie (UE) 2024/573, serwerownia Zielonej

Czas: ~60 min

Opisujemy, czym klimatyzator serwerowni różni się od zwykłego, jak działa obieg czynnika chłodniczego i jak można postawić klimatyzację w pokoju: przy ścianie, w rzędzie, nad szafami albo w drzwiach szafy. Dodajemy free cooling, chłodzenie cieczą, czynniki chłodnicze i to, dokąd zmierzają przepisy. Wracamy tu, gdy wybieramy urządzenie, czytamy ofertę wykonawcy albo planujemy zmianę.

Skróty użyte na tej stronie (20)

Skrót	Co znaczy
AI	Artificial Intelligence: sztuczna inteligencja, czyli programy naśladujące ludzkie rozumowanie
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: amerykańskie stowarzyszenie inżynierów, którego zalecenia opisują temperaturę i wilgotność w serwerowniach
CO2	Dwutlenek węgla: gaz, który wydychamy, a jego stężenie w pomieszczeniu pokazuje, jak bardzo powietrze zużyli ludzie i czy trzeba wietrzyć
CRAC	Computer Room Air Conditioner: klimatyzator pokojowy do serwerowni ze sprężarką we własnej obudowie (układ freonowy)
CRAH	Computer Room Air Handler: klimatyzator pokojowy bez sprężarki, który chłodzi powietrze zimną wodą z zewnętrznego agregatu (chillera)
EC	Elliptic Curve: kryptografia na krzywych eliptycznych, krótsze klucze przy podobnym bezpieczeństwie jak RSA
GPU	Graphics Processing Unit: karta graficzna, która liczy modele językowe wielokrotnie szybciej niż procesor

Skrót	Co znaczy
GWP	Global Warming Potential: ile razy dany gaz silniej ogrzewa atmosferę niż dwutlenek węgla w ciągu 100 lat; podstawa liczenia ekwiwalentu CO2 czynnika chłodniczego
HFC	Hydrofluorowęglowodory: grupa gazów, także gaśniczych, objęta stopniowym ograniczaniem w Unii Europejskiej
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
Modbus	Prosty protokół komunikacji przemysłowej, którym liczniki energii i moduły pomiarowe wysyłają odczyty
N+1	Układ z rezerwą: jedno urządzenie więcej, niż potrzeba, więc awaria jednego nie zatrzymuje całości
R-410A	Mieszanina czynników chłodniczych HFC o GWP 2088, dotychczas najczęstsza w klimatyzacji, wycofywana w nowych urządzeniach
SHR	Sensible Heat Ratio: jaka część mocy chłodniczej klimatyzatora to ciepło jawne (chłodzenie), a nie utajone (osuszanie); w serwerowni chcemy wartości bliskiej 1
SNMP	Simple Network Management Protocol: protokół odczytu stanu urządzeń sieciowych
UDT	Urząd Dozoru Technicznego: polska instytucja, która według informacji od autora książki wydaje certyfikaty osobom i firmom pracującym przy czynnikach F-gazowych
UE	Unia Europejska
UPS	Uninterruptible Power Supply: zasilacz awaryjny, podtrzymuje zasilanie urządzeń na czas zaniku napięcia z sieci

Z życia wzięte

□□ Z ŻYCIA WZIĘTE

Środa, 21:50. Czujnik zalania Z1 pod klimatyzacją A wysyła alarm SMS-em z `wej01`. Tomek jedzie do Pamiątkowa i znajduje kałużę: pompka skroplin stanęła, tacka się przepełniła, a woda spływa pod szafę R3. Klimatyzacja nadal chłodzi, więc nikt nie zauważył niczego poza alarmem. Gdyby czujnika pod nią nie było, woda doszłaby do listwy zasilającej szafy R3 przed poniedziałkiem.

Skąd się wzięło

Klimatyzację dla komputerów trzeba było wymyślić od nowa, bo zwykła chłodzi i osusza dla ludzi, a komputer potrzebuje stałego chłodu i stałej wilgotności przez całą dobę. Willis Carrier zbudował w 1902 roku urządzenie do stałej wilgotności w drukarni na Brooklynie [1]. W 1965 roku Ralph Liebert wprowadził pierwsze klimatyzatory pokojowe do sal komputerowych, z regulacją temperatury i wilgotności [2].

Z czynnikami chłodniczymi poszło trudniej. Pierwsze freony z lat trzydziestych XX wieku niszczyły warstwę ozonową, więc protokół montrealski z 1987 roku kazał je wycofać [3]. Zastąpiły je czynniki bez chloru, czyli HFC, na przykład R-410A, które nie niszczą ozonu, ale silnie wzmacniają efekt cieplarniany [4]. Poprawka z Kigali z 2016 roku objęła więc stopniowym ograniczaniem także HFC [5], a w Unii przepisy te przejmuje rozporządzenie (UE) 2024/573, które weszło w życie 11 marca 2024 roku [6].

Klimatyzacja serwerowni dziś rzadko bywa jedną dużą szafą pod ścianą: coraz częściej stoi w rzędzie

□□ *Klimatyzacja serwerowni dziś rzadko bywa jedną dużą szafą pod ścianą: coraz częściej stoi w rzędzie z szafami albo w ich drzwiach, bliżej serwerów. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).*

W latach osiemdziesiątych ciepło w komputerach przestało mieścić się w powietrzu: IBM w modułach TCM komputera 3081 z 1980 roku odbierał je wodą, a Cray-2 z 1985 roku zanurzył procesory w cieczy [7][8]. Dzisiejsze szafy z akceleratorami AI wracają do tego pomysłu na masową skalę [9].

Rodzaje i zasada działania

Klimatyzacja komfortowa i precyzyjna

> **Pojęcie: klimatyzacja precyzyjna.** Urządzenie zbudowane do chłodzenia sprzętu IT przez całą dobę. Ma wysoką moc jawną, duży przepływ powietrza, szeroki zakres regulacji i alarmy, które potrafią rozmawiać z monitoringiem.

Cecha	Komfortowa (split)	Precyzyjna (serwerownia)
Cel	komfort ludzi	stały wlot serwerów

Cecha	Komfortowa (split)	Precyzyjna (serwerownia)
Praca	sezonowa, kilka godzin dziennie	cała doba, cały rok
Moc jawna do całkowitej (SHR)	niska, część mocy osusza powietrze	bliska 1,0
Przepływ powietrza	mały, do chłodzenia ludzi	duży, do odbioru ciepła z szaf
Regulacja	prosta, dwa stany	płynna, wentylatory i sprężarki o zmiennej mocy
Alarmy i łączność	pilot, brak monitoringu	SNMP albo Modbus, styki alarmowe
Rezerwacja i rotacja	brak	jednostki z rotacją pracy i podziałem obciążenia

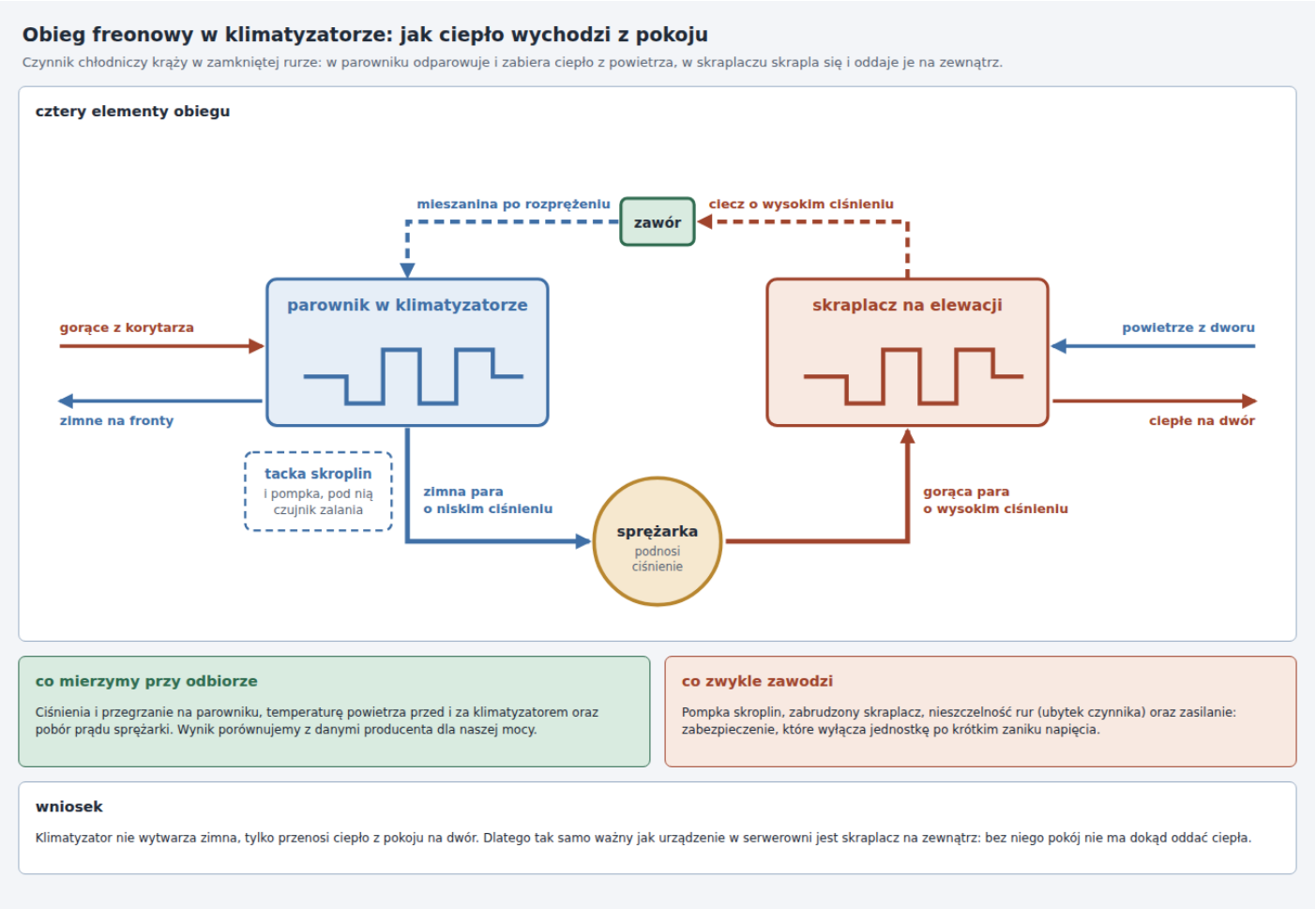
Klimatyzator komfortowy w serwerowni działa, ale źle: przesusza powietrze, nie ma alarmów, a po zaniku napięcia często pozostaje wyłączony, aż ktoś go włączy pilotem. To ostatnie jest w serwerowni najgorszą cechą.

Obieg czynnika chłodniczego

> **Pojęcie: czynnik chłodniczy (freon).** Substancja krążąca w zamkniętym obiegu klimatyzatora, która odparowuje, zabierając ciepło, i skrapla się, oddając je. Nie zużywa się, ale może uciec przez nieszczelność.

> **Pojęcie: DX (direct expansion).** Klimatyzator, w którym czynnik chłodniczy odparowuje bezpośrednio w wymienniku w pokoju, w parowniku. Skraplacz stoi na zewnątrz.

Obieg ma cztery elementy. W parowniku w klimatyzatorze czynnik odparowuje i zabiera ciepło z powietrza z korytarza. Sprężarka podnosi jego ciśnienie, a razem z nim temperaturę. W skraplaczu na zewnątrz czynnik skrapla się i oddaje ciepło do powietrza z dworu. Zawór rozprężny obniża ciśnienie i czynnik wraca do parownika. Klimatyzator nie wytwarza zimna, tylko przenosi ciepło.



Rysunek 1. Obieg freonowy: parownik w klimatyzatorze, sprężarka, skraplacz na elewacji i zawór rozprężny. Poniżej, co mierzymy przy odbiorze i co zwykle zawodzi. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

CRAC i CRAH

> **Pojęcie: CRAC (computer room air conditioner).** Klimatyzator pokojowy ze sprężarką we własnej obudowie, czyli układ DX [10].

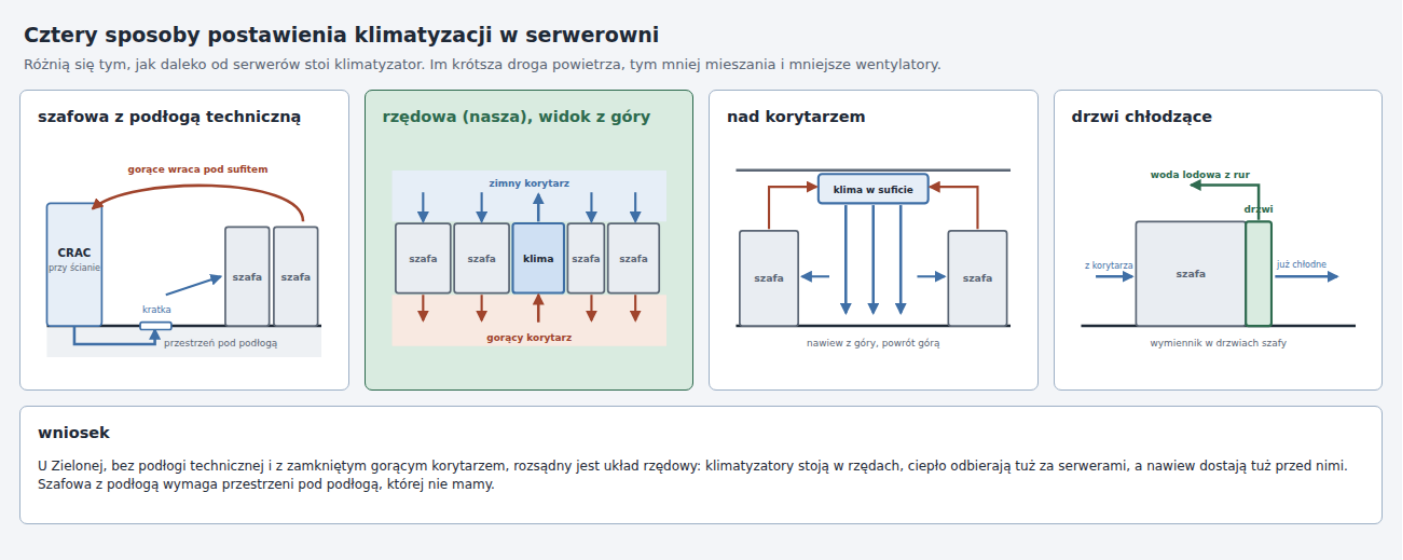
> **Pojęcie: CRAH (computer room air handler).** Klimatyzator pokojowy bez sprężarki: powietrze przechodzi przez wymiennik z zimną wodą z zewnętrznego agregatu chłodniczego, czyli chillera [10].

CRAC jest prostszy i tańszy w małych pokojach. CRAH wymaga chillera i instalacji wodnej, ale w dużych centrach danych jest wydajniejszy. Zielona ma dwa urządzenia typu CRAC.

Jak można postawić klimatyzację

Im krótsza droga powietrza, tym mniej mieszania i mniejsze wentylatory. Stąd cztery typowe układy.

- **Szafowa z podłogą techniczną.** Duża jednostka przy ścianie nawiewa zimne powietrze pod podłogę, a stamtąd przez perforowane płytki w korytarzu przed szafami. Wymaga podłogi technicznej, której Zielona nie ma.
- **Rzędowa (in-row).** Jednostka stoi w rzędzie szaf, odbiera gorące powietrze z korytarza tuż za serwerami i nawiewa zimne tuż przed nimi. To nasz układ.
- **Nad szafami.** Jednostka wisi nad korytarzem albo na suficie i nawiewa w dół, a gorące powietrze wraca górą. Pasuje do pokoi z niską podłogą, ale wymaga miejsca nad szafami.
- **Drzwi chłodzące (rear door).** Wymiennik z zimną wodą w tylnych drzwiach szafy schładza powietrze, zanim wejdzie do pokoju. Wymaga instalacji wodnej do szaf.



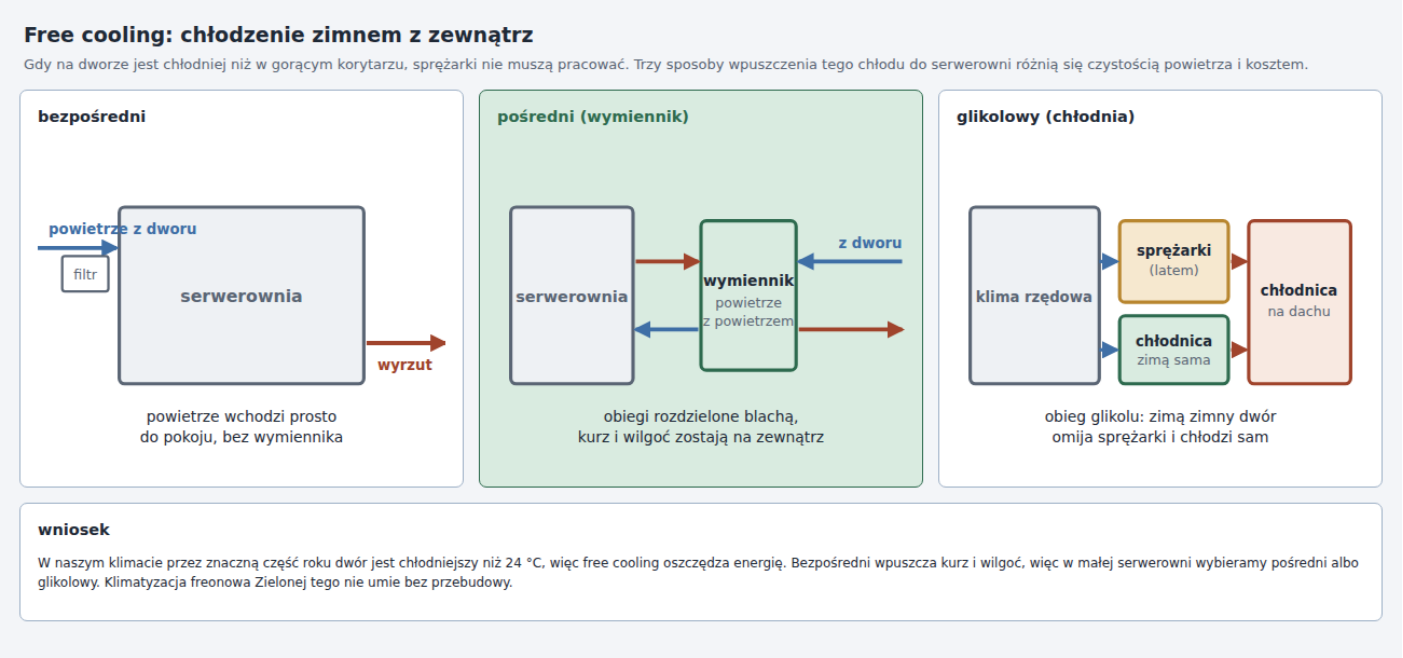
Rysunek 2. Cztery sposoby postawienia klimatyzacji. Układ rzędowy jest rozsądny w pokoju bez podłogi technicznej i z zamkniętym gorącym korytarzem, bo ciepło odbieramy tuż za serwerami. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Free cooling

> **Pojęcie: free cooling.** Chłodzenie serwerowni zimnym powietrzem z zewnątrz, bez pracy sprężarek, gdy na dworze jest dostatecznie chłodno [11].

Są trzy sposoby. Bezpośredni wpuszcza powietrze z dworu do pokoju przez filtr, więc jest tani, ale wnosi kurz i wilgoć. Pośredni oddziela obiegi blachą wymiennika, więc kurz i wilgoć zostają na zewnątrz. Glikolowy używa niezamarzającej cieczy z glikolem, która krąży przez chłodnicę na dachu: zimą zimny dwór chłodzi sam, a latem pracują sprężarki. W Polsce dwór jest chłodniejszy niż 24 °C przez większość roku, więc free cooling oszczędza energię, ale freonowe klimatyzatory

Zielonej tego nie potrafią bez przebudowy.



Rysunek 3. Trzy rodzaje free coolingu: bezpośredni, pośredni z wymiennikiem i glikolowy z chłodnicą na dachu. W małej serwerowni wybieramy pośredni albo glikolowy, bo bezpośredni wpuszcza kurz i wilgoć. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Chłodzenie cieczą

Gdy szafa przekracza kilkadziesiąt kilowatów, powietrze nie wystarcza. Wikipedia podaje, że chłodzenie powietrzem sięga około 23 kW na szafę, a zanurzeniowe około 100 kW [9]. Są trzy podejścia:

- **Cieczą do układu (direct to chip).** Zimna płyta na procesorze i akceleratorze, przez którą płynie woda, a reszta sprzętu chłodzona jest powietrzem.
- **Zanurzeniowe (immersion).** Serwery zanurzone w cieczy dielektrycznej.
- **Drzwi chłodzące.** Opisane wyżej, jako rozwiązanie pośrednie.

Zielona tego nie potrzebuje: najmocniejsza szafa ma 2,6 kW, a serwer z kartami GPU `gpu01` pobiera około 0,9 kW. Gdyby w przyszłości stanął tu serwer do trenowania modeli, jego moc trzeba będzie policzyć osobno.

Czynniki chłodnicze i kierunek zmian

> **Pojęcie: GWP (global warming potential).** Współczynnik, który mówi, ile razy dany gaz silniej ogrzewa atmosferę niż dwutlenek węgla w ciągu 100 lat. Im niższy, tym lepiej dla klimatu.

Czynnik	GWP (AR4)	Uwagi
R-410A	2088	mieszanina HFC, najczęstszy dotychczas w klimatyzacji, wycofywany w nowych urządzeniach [4]
R-32	około 675	HFC, niższe GWP, łagodnie palny (klasa A2L) [12]
HFO (na przykład R-1234yf)	bardzo niskie	nowa grupa, objęta osobnymi progami w rozporządzeniu [6]

Rozporządzenie (UE) 2024/573 ma doprowadzić do wycofania HFC z rynku do 2050 roku [6]. W praktyce oznacza to, że nowe urządzenia dostają czynniki o coraz niższym GWP, a serwis starszych korzysta z odzysku. Zakres dat dla klimatyzatorów, od 2027 do 2030, podają źródła popularne i traktujemy go jako orientacyjny do sprawdzenia w tekście rozporządzenia [4]. Obowiązki posiadacza urządzenia z tych przepisów opisuje strona Odbiór i serwis klimatyzacji: lista kontrolna, F-gazy, przeglądy.

Skropliny i odpływ

Gdy powietrze schładza się poniżej punktu rosy, na parowniku skrapla się woda. Spływa do tacki, a stamtąd do odpływu. Jeśli odpływ nie ma spadku, używa się pompki. Pompka jest jednym z najczęstszych powodów awarii klimatyzacji, bo jest mała, pracuje stale i ma kilka ruchomych elementów. Dlatego w serwerowni stosuje się tacki z czujnikiem zalania, alarm pompki i, jeśli się da, odpływ grawitacyjny. W naszej serwerowni czujniki Z1 i Z2 leżą pod jednostkami A i B.

Nawilżanie i osuszanie

Klimatyzatory precyzyjne mają zwykle nawilżacz, parowy albo ultradźwiękowy. Dawniej zalecano wąski zakres wilgotności względnej, około 40 do 55 procent. Wytyczne ASHRAE od lat oceniają wilgotność przez punkt rosy, a dolna granica klasy A1 to punkt rosy minus 12 °C i 8 procent wilgotności względnej [13]. W typowym biurowym klimacie nawilżanie jest rzadko potrzebne, a pochłania prąd i woda w nawilżaczu to dodatkowa awaria. Proponujemy wyłączyć nawilżanie w Zielonej i polegać na czujnikach H1 i H2, o ile urządzenie je ma. To decyzja do uzgodnienia z autorem projektu.

Psychrometr obrotowy: przyrząd z dwoma termometrami, suchym i mokrym, z którego odczytujemy

Psychrometr obrotowy: przyrząd z dwoma termometrami, suchym i mokrym, z którego odczytujemy wilgotność względną. Podobną zależność liczą czujniki wilgotności w serwerowni.

Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Wszystkie rodzaje w jednej tabeli

Rodzaj	Zasada	Zalety	Wady	Pasuje do Zielonej
CRAC z podłogą techniczną	nawiew pod podłogę	duża moc w jednej jednostce	wymaga podłogi technicznej	nie
Rzędowa DX	jednostki w rzędach	krótka droga powietrza, skalowalna	czynnik chłodniczy w pokoju	tak, jest
Nad szafami	nawiew z góry	zajmuje mało miejsca w pokoju	wymaga wysokości i prowadzenia rur	możliwa
Drzwi chłodzące	wymiennik w drzwiach szafy	bardzo krótka droga	woda przy szafach	tylko dla mocnych szaf
Free cooling pośredni	wymiennik z powietrzem z dworu	oszczędza prąd, czyste powietrze	większy koszt, miejsce na wymiennik	po przebudowie
Free cooling glikolowy	glikol i chłodnica	wyższa sprawność zimą	instalacja glikolowa	po przebudowie
Cieczą do układu, zanurzeniowe	woda lub ciecz dielektryczna	bardzo duża gęstość mocy	koszt, serwis, nowe procedury	nie

W serwerowni

Zielona ma dwie klimatyzacje rzędowe A i B po 15 kW, w układzie N+1: pracują razem, każda na około 35 do 40 procent mocy, a po awarii jednej druga przejmuje całość. Zakładamy, że są to jednostki DX z zewnętrznymi skraplaczami na elewacji i dwoma obiegami po około 7 kg czynnika. To założenie z książki do sprawdzenia na tabliczkach znamionowych. Klimatyzacje stoją na własnych obwodach, poza UPS, i zbiorczy alarm z nich idzie na `wej01`, który wysyła SMS-a niezależnie od sieci.

Z braku UPS wynika konsekwencja: po zaniku napięcia klimatyzacje stają, a serwery pracują dalej na baterii. Ciepło rośnie bez odbioru, a ile mamy na to minut, liczy strona Planowanie chłodzenia: bilans, zapas N+1, awaria klimatyzacji. Dlatego zależy nam na tym, żeby klimatyzacje same się uruchamiały po powrocie napięcia i startowały po kolei, a nie jednocześnie.

◫ ZRZUT EKRANU DO UZUPEŁNIENIA

Zdjęcie do zrobienia: klimatyzacja rzędowa A od frontu z otwartym panelem serwisowym, w jednym kadrze z tabliczką znamionową (rodzaj czynnika i jego masa w kilogramach).

Co sprawdzamy u wykonawcy

- Moc jawna w kilowatach w naszych warunkach, SHR i zakres pracy do upału na zewnątrz, na przykład do 40 °C.
- Automatyczny restart po zaniku napięcia i rozruch jednostek w odstępach czasu, a nie wszystkich naraz.
- Rotacja jednostek (lead i lag) i automatyczne włączenie drugiej, gdy pierwsza zgłasza awarię.
- Wentylatory o płynnej regulacji obrotów (EC) i zakres regulacji przepływu.
- Rodzaj i ilość czynnika, jego GWP i ekwiwalent CO2 w tonach, zapisane w karcie urządzenia.
- Pompka skroplin: czy ma alarm i czy odpływ da się poprowadzić grawitacyjnie.
- Czujnik zalania w tacce, styki alarmowe i łączność z monitoringiem (SNMP albo Modbus).
- Filtr powietrza: klasa, sposób wymiany i alarm zabrudzenia.
- Skraplacz: miejsce montażu, odstępy, ochrona przed zabrudzeniem i zalaniem śniegiem.
- Dostęp serwisowy: czy można wymienić filtr i pompkę bez wyłączania drugiej jednostki.

Pytania, które zadajemy: ile czasu wykonawca potrzebuje na wymianę sprężarki, czy utrzymuje zapas części, kto odbiera czynnik przy wycofaniu urządzenia i czy certyfikaty serwisu są aktualne.

Mity i sprostowania

Obiegowa wersja	Jak jest naprawdę
Klimatyzator wytwarza zimno	Przenosi ciepło z pokoju na dwór. Dlatego skraplacz jest tak samo ważny jak urządzenie w pokoju
Zwykły split wystarczy do serwerowni	Działa, ale przesusza powietrze, nie ma alarmów i często nie wstaje sam po awarii zasilania
Freon się zużywa	Nie zużywa się. Jeśli ubywa, to uciekł przez nieszczelność
Free cooling to wpuszczenie powietrza z dworu	To jeden z trzech sposobów, a najtańszy wnosi kurz i wilgoć
Chłodzenie cieczą jest tylko dla gigantów	Dla szaf powyżej kilkudziesięciu kilowatów jest zwykle jedyną opcją, ale w małej serwerowni nie jest potrzebne

Obiegowa wersja	Jak jest naprawdę
Nowy czynnik chłodniczy jest bezpieczniejszy, więc można go dolać do starego	Czynników nie mieszamy. Każdy układ ma swój typ i ilość z tabliczki

Oś czasu

Data	Wydarzenie
1902	Carrier buduje urządzenie do stałej wilgotności [1]
1965	Liebert wprowadza klimatyzatory dla sal komputerowych [2]
1987	Protokół montrealski ogranicza substancje niszczące ozon [3]
2016	Poprawka z Kigali obejmuje HFC [5]
11 marca 2024	Wchodzi w życie rozporządzenie (UE) 2024/573 [6]
do 2050	Planowane wycofanie HFC z rynku UE [6]

Wątek polski

Polskiego wynalazcy w dziedzinie klimatyzacji serwerowni nie znaleźliśmy w sprawdzonych źródłach. Polskie obowiązki użytkowników urządzeń z czynnikami F-gazowymi, w tym certyfikaty personelu i firm wydawane przez UDT i prowadzony rejestr, opisujemy na stronie o odbiorze i serwisie, razem z tym, co jest do potwierdzenia w krajowej ustawie.

Częste błędy

Objaw	Przyczyna	Co robimy
Alarm zalania pod klimatyzacją	pompka skroplin stanęła albo odpływ jest zatkany	czyścimy tackę i pompkę, dodajemy alarm pompki
Klimatyzacja nie wstaje po zaniku napięcia	brak automatycznego restartu	konfigurujemy restart i start schodkowy
Spada wydajność latem	zabrudzony skraplacz	czyścimy skraplacz, sprawdzamy odstępy
Wlot rośnie mimo pracy obu jednostek	bypass lub recyrkulacja	patrz strona o przepływie powietrza

Objaw	Przyczyna	Co robimy
Ubywa czynnika	nieszczelność	kontrola szczelności przez uprawnioną firmę
Powietrze zbyt suche	nawilżacz wyłączony przy niskim punkcie rosy albo zbyt niski SHR	sprawdzamy ustawienia i klasę urządzenia

□□ Ćwiczenia

1. Dlaczego klimatyzacja rzędowa jest lepsza od szafowej w pokoju bez podłogi technicznej?

Odpowiedź

Szafowa wymaga przestrzeni pod podłogą do rozprowadzenia powietrza, a w Zielonej jej nie ma. Rzędowa stoi między szafami i ma krótką drogę powietrza, więc potrzebuje mniejszych wentylatorów i mniej miesza zimne z gorącym.

1. Czym różni się CRAC od CRAH?

Odpowiedź

CRAC ma własną sprężarkę i czynnik chłodniczy w jednostce, a CRAH przepuszcza powietrze przez wymiennik z zimną wodą z zewnętrznego chillera [10].

1. Jakie GWP ma R-410A i co oznacza liczba 2088?

Odpowiedź

Kilogram R-410A ogrzewa atmosferę w ciągu 100 lat 2088 razy silniej niż kilogram CO2 (wartość AR4) [4]. Siedem kilogramów to więc 14,6 tony ekwiwalentu CO2.

1. Który rodzaj free coolingu wybierzemy do małej serwerowni, jeśli nie chcemy kurzu i wilgoci?

Odpowiedź

Pośredni z wymiennikiem albo glikolowy. Bezpośredni wpuszcza powietrze z dworu razem z kurzem i wilgocią [11].

1. Klimatyzacja A stoi, Z1 daje alarm zalania. Co sprawdzamy najpierw?

Odpowiedź

Pompkę skroplin i drożność odpływu, bo to najczęstsza przyczyna. Najpierw odcinamy możliwość, że woda dojdzie do listwy zasilającej szafy sąsiedniej, a potem czyścimy tackę.

Powiązane: Bilans cieplny serwerowni: waty, BTU i ile powietrza potrzeba, Przepływ powietrza w serwerowni: szafa, korytarze, bypass i recyrkulacja, Planowanie chłodzenia: bilans, zapas N+1, awaria klimatyzacji, Odbiór i serwis klimatyzacji: lista kontrolna, F-gazy, przeglądy, Higrometry: rodzaje, zasada działania i zastosowania, Jakość powietrza: rodzaje czujników, zasada działania i własny moduł (DIY)

Źródła:

1. Wikipedia, Willis Carrier
2. Wikipedia, Liebert Corporation
3. Wikipedia, Montreal Protocol
4. Wikipedia, R-410A
5. Wikipedia, Kigali Amendment
6. Rozporządzenie (UE) 2024/573 w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych, EUR-Lex
7. Wikipedia, Data center cooling
8. Wikipedia, Cray-2
9. Wikipedia, Immersion cooling
10. Wikipedia, Computer room air conditioning
11. Wikipedia, Free cooling
12. Wikipedia, Difluoromethane (R-32)
13. ASHRAE, Thermal Guidelines, 5th edition, karta referencyjna