

Rittal – The System.

Faster – better – everywhere.



Whitepaper – Adaptacyjne infrastruktury IT

ENCLOSURES

POWER DISTRIBUTION

CLIMATE CONTROL

IT INFRASTRUCTURE

SOFTWARE & SERVICES

FRIEDHELM LOH GROUP



Spis treści

Streszczenie	4
Wprowadzenie	5
Architektura referencyjna	6
Cel regulacji dla całego obszaru	8
Cel pierwszy: optymalny pod względem energetycznym punkt pracy	8
Cel drugi: adaptacyjne dostosowanie do zmian obciążenia.....	8
Regulacja adaptacyjna	10
Regulacja Delta-T (ΔT).....	10
Regulacja Delta P (Δp).....	11
Zmienna temperatura dopływu	11
Regulacja dla całego obszaru	12
Zarządzanie obciążeniem i mocą dla całego obszaru	14
Literatura	17
Wykaz skrótów	18

Wykaz ilustracji

Rysunek 1.	Zarządzanie obciążeniem wielu lokalizacji.....	5
Rysunek 2.	Moduł centrum danych Single 9 systemu modułowego RiMatrix S.....	6
Rysunek 3.	Przepływ powietrza przez moduły serwerowe	7
Rysunek 4.	Moduł wytwarzania zimna.....	7
Rysunek 5.	Adaptacyjny pobór mocy (30 kW na 50 kW, 50 kW na 30 kW).....	9
Rysunek 6.	Strefa ASHRAE dla temperatury i wilgotności na wykresie h, x (© ref. 7).....	9
Rysunek 7.	Adaptacyjny pobór mocy (30 kW na 50 kW).....	10
Rysunek 8.	Definicja wielkości dla regulacji Delta T	10
Rysunek 9.	Delta T, Delta P po stronie wody i powietrza	11
Rysunek 10.	Pomiary efektywności w architekturze referencyjnej.....	12
Rysunek 11.	Wyniki regulacji dla całego obszaru.....	13
Rysunek 12.	Komunikacja w ramach zarządzania systemowego.....	14
Rysunek 13.	Współpraca zarządzania serwerami z infrastrukturą.....	16

Streszczenie

Serwerownie i sieci pomiędzy nimi stanowią szkielet dzisiejszej technologii informacyjnej (IT). Coraz więcej usług jest przenoszonych do chmury. Ma to tę zaletę, że urządzenia końcowe użytkowników mogą być mniejsze i wykazywać więcej możliwości stosowania dzięki przeniesieniu mocy obliczeniowej oraz pamięci dyskowej. Z drugiej strony trend ten powoduje zwiększenie obciążenia sieci oraz coraz większe wymagania stawiane serwerowniom. Pomimo zastosowania oszczędnych urządzeń wzrasta zapotrzebowanie na energię przez centra przetwarzania danych, choćby z powodu rosnącej liczby serwerów oraz systemów pamięci masowej. Każda watogodzina energii elektrycznej, którą zużywa IT, ucieka z serwerowni w formie energii cieplnej, co przyczynia się do zwiększenia zapotrzebowania na energię elektryczną.

Projekt AC4DC (Adaptive Computing for green Data Centers) [ref. 1] ma na celu przeciwdziałanie tendencji do wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną w serwerowniach, odnosząc się do nieefektywnego wykorzystania obecnych systemów i infrastruktury IT, oraz jej bardziej efektywne zarządzanie. Najważniejsze cele zawarte w kontekście niniejszego raportu to:

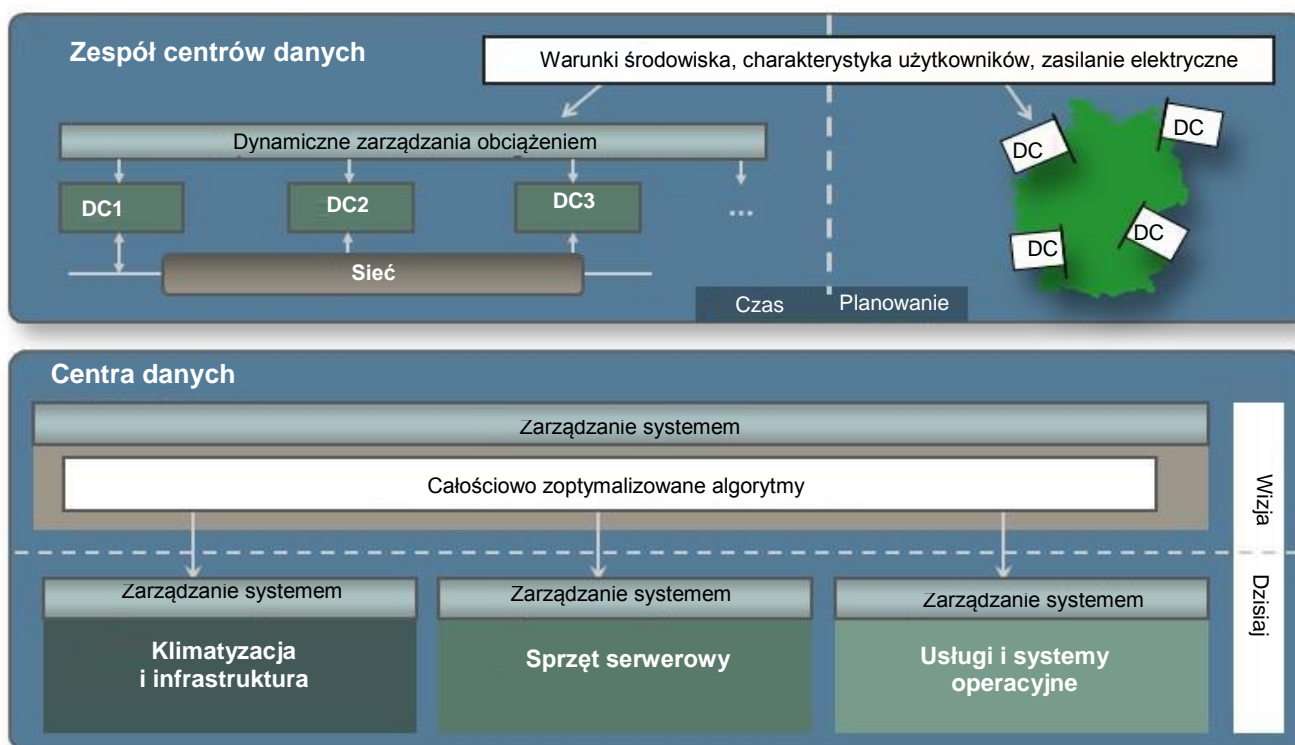
- Zamiana zarządzania obciążeniem i poborem mocy przez usługi oraz serwery na dynamiczne, proaktywne dostosowanie zapotrzebowania na zasoby do rzeczywistych potrzeb.
- Zastosowanie regulacji klimatyzacji dla całej infrastruktury w celu dynamicznej optymalizacji całego łańcucha chłodzenia w zależności od bieżącego poboru mocy przez infrastrukturę IT.
- Optymalizacja kosztów eksploatacji w zespołach centrów danych poprzez przesunięcie obciążenia roboczego do lokalizacji, które zapewniają niższe koszty.

Ze względu na szerokie spektrum celów technicznych projekt AC4DC zakładał zbadanie i optymalizację wykorzystania energii prawie całego systemu serwerowni pod względem technicznym. Głównym celem stało się odpowiednie połączenie poszczególnych działań, czego wynikiem jest pełna optymalizacja. Podczas gdy zarządzanie obciążeniem i wykorzystaniem mocy koncentruje się na dynamicznym przebiegu obciążenia zasobów IT, całościowa regulacja systemu dba o dostosowanie klimatyzacji do dynamicznej podaży energii cieplnej.

Wprowadzenie

Celem projektu AC4DC (Adaptive Computing for green Data Centers) [ref. 1] w ramach inicjatywy badawczej IT2Green [ref. 2] jest trwale obniżenie zużycia energii elektrycznej przez centra przetwarzania danych. W związku z tym w ramach projektu przebadano inteligentne rozwiązania zarządzania obciążeniem i infrastrukturą na obszarze centrów przetwarzania danych oraz poza nimi.

Wspólną zależność poszczególnych układów przedstawia ilustracja 1.



Rysunek 1. Zarządzanie obciążeniem wielu lokalizacji

W odniesieniu do infrastruktury centrów danych główny nacisk spoczywa na systemach klimatyzacji i ich optymalnym zastosowaniu na wszystkich poziomach układu w zależności od zapotrzebowania. Istotne są nie tylko odpowiednie komponenty oraz wymagana architektura, lecz również nadrzędne algorytmy regulacji, które umożliwiają dostosowanie do zapotrzebowania.

Na rysunku 1 symbolizuje to ciemnozielony blok „Klimatyzacja i infrastruktura“, przy czym system zarządzania infrastrukturą ma tu zadanie regulacji w ramach całej infrastruktury.

W drugiej fazie dochodzi do tego komunikacja z nadrzędnym zarządzaniem obciążeniem, co umożliwia całościową optymalizację zarządzania serwerami, usługami i infrastrukturą IT.

Architektura referencyjna

Na architekturę referencyjną wybrano serwerownię modułową RiMatrix S [ref. 3, ref. 4, ref. 5], której system klimatyzacji jest optymalnie dopasowany do małych i średnich rozwiązań centrów danych.

Moduły serwerowe – przedstawione na rysunku 2 – są dostępne w wersji ze zintegrowanym systemem zasilania bezprzerwowego lub bez niego. Moduły te stanowią kompletne środowisko do pracy komponentów IT (serwer, pamięć masowa, przełącznik), należy je jedynie podłączyć do zasilania elektrycznego, medium chłodzącego (woda lodowa) oraz sieci transmisji danych.



Rysunek 2. Moduł centrum danych Single 9 systemu modułowego RiMatrix S

W module Singel 9 (na rysunku 2) umieszczono osiem szaf serwerowych i jedną szafę sieciową oraz system dystrybucji zasilania. Obszar zimny utworzono przed płaszczyzną serwerów. Obszar ciepły – z tyłu szaf serwerowych – jest odgradzony od obszaru zimnego.

W przypadku zastosowania systemu zasilania bezprzerwowego UPS można zintegrować wyłącznie sześć szaf serwerowych. Wówczas w odgradzonym ze względu na klimat o obszarze technicznym znajduje się zasilacz UPS wraz z akumulatorami. Wydzielenie obszaru serwerowego oraz obszaru technicznego umożliwia rozdzielnie temperatury nadmuchu serwerów od niskiej temperatury w obszarze technicznym, a w efekcie zastosowanie dwóch stref klimatycznych.

Podwójna podłoga modułów serwerowych służy nie tylko do prowadzenia strumienia powietrza, lecz również do umieszczenia urządzeń klimatyzacji i rozprowadzenia zimnego powietrza, tak jak to przedstawia rysunek 3. Klimatyzatory zamontowano w podwójnej podłodze, co zwiększa dostępną przestrzeń na szafy serwerowe w ramach modułu serwerowego.

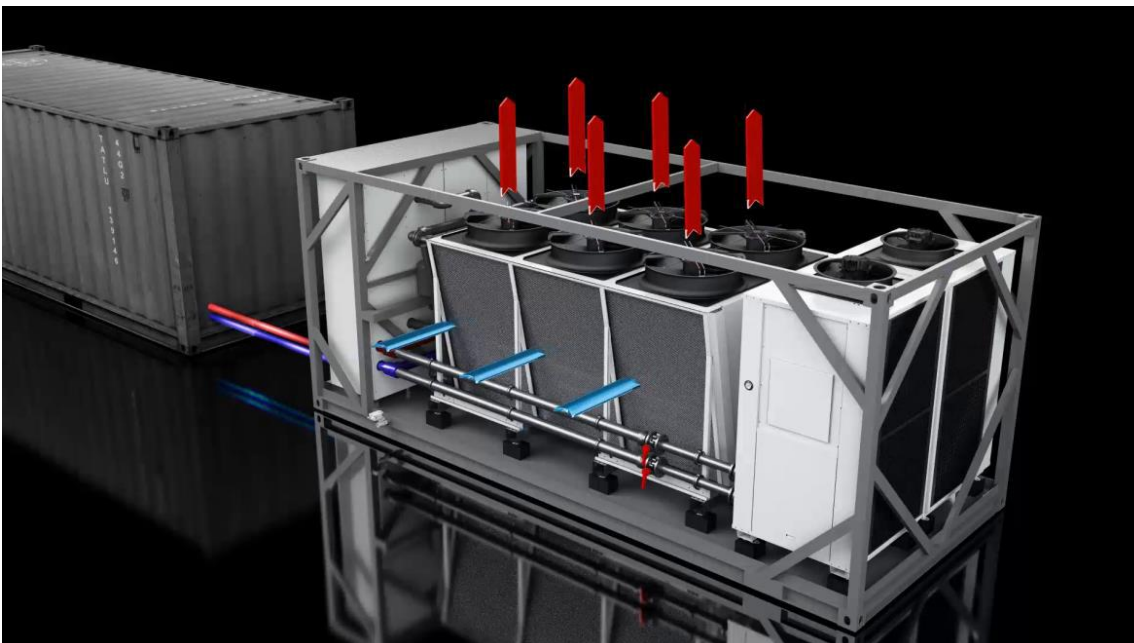
Perforowane płyty podwójnej podłogi zostały wyposażone w wysokowydajny wentylator, który nadmuchiwa zimne powietrze bezpośrednio przed szafy serwerowe. Wymiennik ciepła, wykorzystujący chłód wody lodowej do schładzania powietrza, znajduje się w podwójnej podłodze pod każdą z szaf. Powyżej szeregu szaf znajduje się ściana grodziowa, która oddziela zimny obszar przed serwerami od ciepłego obszaru za serwerami.



Rysunek 3. Przepływ powietrza przez moduły serwerowe

W celu chłodzenia wymienniki ciepła modułów serwerowych należy zasilić schłodzoną wodą. Potrzebny do tego moduł chłodniczy składa się z chłodnicy chłodzenia swobodnego w kształcie litery V, redundantnych chillerów (zestaw schładzania wody) oraz pompowni na końcu układu.

Moduł chłodniczy RiMatrix S – patrz rysunek 4 – jest optymalnie dostosowany do modułów serwerowych RiMatrix S i występuje w dwóch wersjach mocy (70 kW, 100 kW).



Rysunek 4. Moduł wytwarzania zimna

Cel regulacji dla całego obszaru

Cel pierwszy: optymalny pod względem energetycznym punkt pracy

Dla całego zużycia energii przez centrum danych należy znaleźć wartość minimalną w zadanym okresie (t_1 , t_2). Stałą wielkością jest przy tym wytyczna obciążenia komponentów aktywnych, do której należy optymalnie dostosować infrastrukturę.

$$\begin{aligned} E &= \int P(t) dt \\ &= \int (P_{IT}(t) + P_C(t) + P_{UPS}(t) + P_{FC}(t)) dt \end{aligned}$$

Moc P wynika ze zużycia prądu elektrycznego poszczególnych układów:

P_{IT} := pobór mocy elementów aktywnych

P_{UPS} := zużycie własne zasilaczy UPS (dla buforowania komponentów aktywnych)

Zmienne są w dalszym rozważaniu składowe klimatyzacji:

P_C := pobór mocy przez urządzenia rozdzielające chłód w centrum danych

P_{FC} := pobór mocy przez urządzenia wytwarzające chłód

Wynika z tego, że suma poboru mocy ($P_C(t) + P_{FC}(t)$) w rozpatrywanym okresie musi mieć wartość minimalną.

Zmienne wielkości w tym układzie to:

- Temperatura nadmuchu serwera
- Temperatura dopływu
- Natężenie przepływu
- Objętości strumienia powietrza w serwerowni
- Objętość strumienia powietrza w układzie wytwarzania zimna
- Różnica temperatur – Delta T , pomiędzy powietrzem dolotowym do serwerów a powietrzem wylotowym

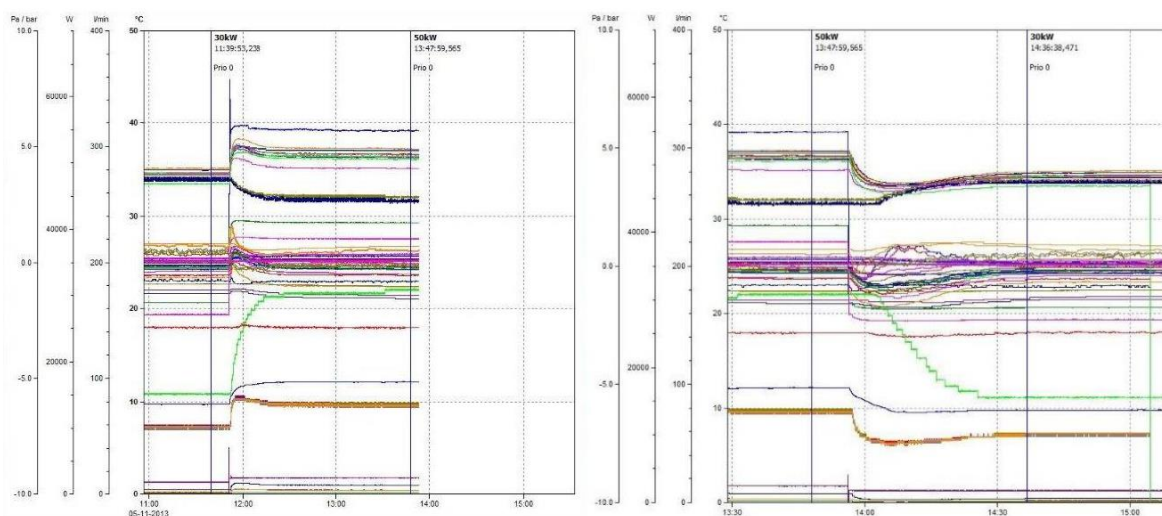
Z uwzględnieniem warunków:

- Zachowanie wytycznych ASHRAE dla temperatur granicznych i wilgotności powietrza
- Zachowanie minimalnej różnicy ciśnień – Delta P pomiędzy powietrzem dolotowym a wylotowym z serwerów

Cel drugi: adaptacyjne dostosowanie do zmian obciążenia

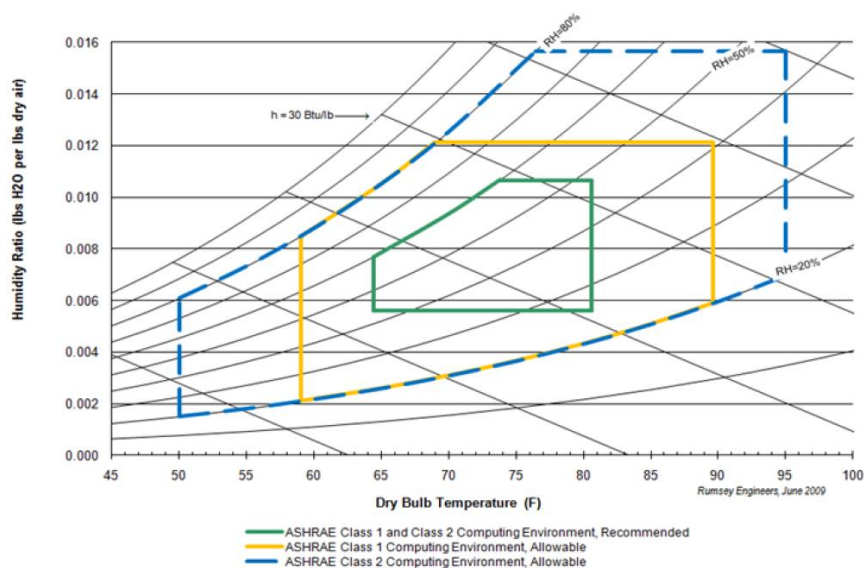
Regulację klimatyzacji w serwerowni należy dostosować automatycznie do zmian obciążenia. Stanowi to duże wyzwanie w przypadku skokowych zmian obciążenia, które występuje w sytuacji włączenia i wyłączenia całych systemów serwerowych typu Blade. Rysunek 5 przedstawia

przykład serwerowni referencyjnej, w którym pobór mocy wzrósł gwałtownie z 30 kW do 50 kW i następnie ponownie spadł do wartości wyjściowej.



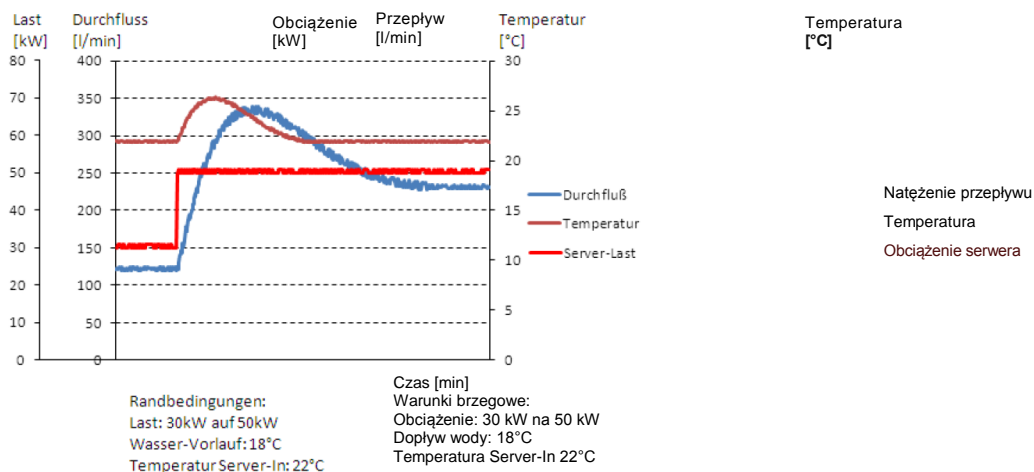
Rysunek 5. Adaptacyjny pobór mocy (30 kW na 50 kW, 50 kW na 30 kW)

Skokowe załączenie mocy powoduje zwiększone wytwarzania energii cieplnej. Na określony czas wzrasta temperatura przed serwerami zanim zostanie ona wyregulowana do wartości wyjściowej. Ważne jest, żeby wzrost temperatury pozostał w strefie ASHRAE [ref. 6].



Rysunek 6. Strefa ASHRAE dla temperatury i wilgotności na wykresie h, x (© ref. 7)

Ponieważ wentylatory klimatyzatorów reagują na zmianę obciążenia szybciej, niż układ chłodzenia jest w stanie dostarczyć schłodzoną wodę, można stwierdzić tu równoległe przesunięcie pomiędzy wzrostem energii cieplnej w serwerowni a natężeniem przepływu.



Rysunek 7. Adaptacyjny pobór mocy (30 kW na 50 kW)

Przebiegi krzywej temperatury i natężenia przepływu na rysunkach 5 oraz 7 przedstawiają przebieg stłumionego drgania, jak np.: w przypadku zastosowania regulatora PID w obwodzie regulacji, przy czym wzrost obciążenia serwera powoduje załączenie regulacji (regulacja skokowa).

Regulacja adaptacyjna

Regulacja Delta-T (ΔT)

Różnica (ΔT) pomiędzy temperaturą powietrza dolotowego a temperaturą powietrza wylotowego wyposażenia IT ma wpływ na proces chłodzenia. Czym wyższa jest temperatura powietrza wylotowego, tym oszczędniej pod względem energetycznym pracuje układ chłodzenia. Dla energii termicznej Q obowiązuje następująca zależność:

$$Q := c m \Delta T$$

przy czym:

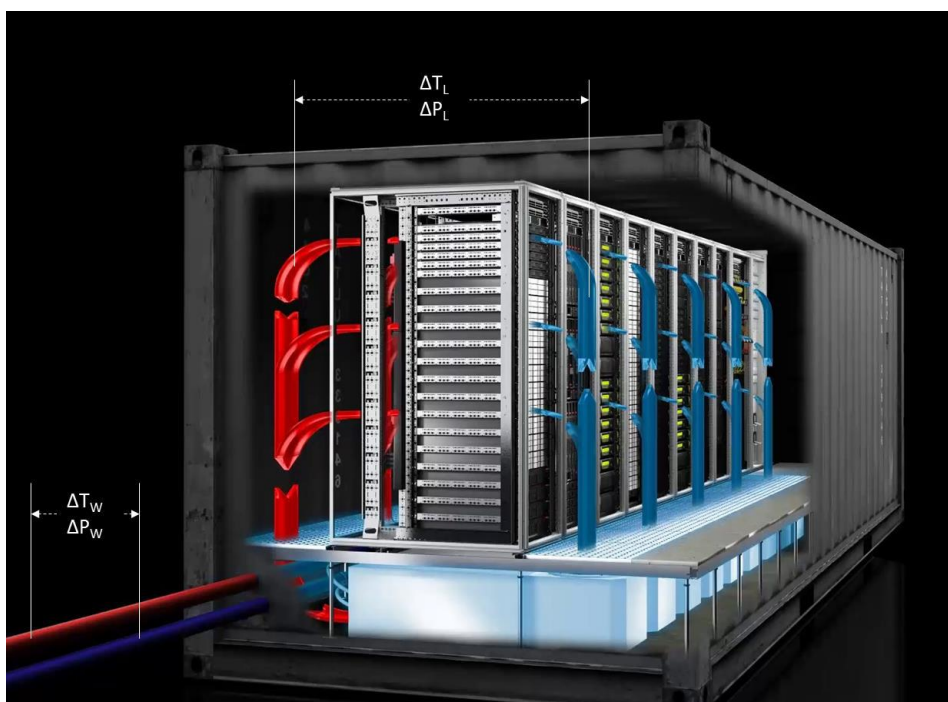
c := współczynnik energii cieplnej

m_L lub m_W := masa medium transportowego (woda lub powietrze)

ΔT_L lub ΔT_W := Delta T dla powietrza lub wody

Rysunek 8. Definicja wielkości dla regulacji Delta T

Oznacza to, że czym wyższa jest wartość Delta T dla powietrza (ΔT_L , patrz rysunek 9), tym mniej powietrza trzeba podać, żeby odebrać ciepło z serwerów. Oznacza to również, że czym wyższa jest wartość Delta-T (ΔT_W) po stronie obiegu wody pomiędzy dopływem i powrotem wody do układu, tym mniej wody trzeba podawać pomiędzy układem wytwarzania chłodu a jego rozdziałem, żeby odprowadzić ciepło z serwerowni.



Rysunek 9. Delta T, Delta P po stronie wody i powietrza

Obowiązują przy tym warunki ASHRAE [ref. 6] dla temperatury nadmuchu serwerów oraz dla wilgotności powietrza w celu zagwarantowania optymalnego punktu eksploatacji komponentów IT. Poza tym regulacja Delta T musi odnosić się co do zasady do wielkości strumienia powietrza dla serwerów.

W odniesieniu do procesu wytwarzania zimna należy również rozpatrzyć przypadek stałej wartości Delta T po stronie wody. Dlatego podejmuje się próby utrzymania maksymalnie wysokiej wartości dla Delta T po stronie obiegu wody wzgl. nieprzekraczania zadanej temperatury granicznej w obiegu zwrotnym. W tym trybie (Facility Mode) urządzenia chłodzące pracują szczególnie wydajnie.

Również w przypadku regulacji całego obszaru należy uwzględnić podstawowe aspekty regulacji Delta T.

Regulacja Delta P (Δp)

W tym przypadku należy zwrócić uwagę, żeby do serwerów dostarczono tylko tyle powietrza, ile są one w stanie pobrać przez ich wewnętrzne wentylatory. Dlatego do strefy zimnej dostarcza się powietrze z minimalnym nadciśnieniem około 1-2 Pa. Należy przy tym wykluczyć tworzenie się lokalnych hot-spotów, które mogą powstać wskutek niewystarczającego natężenia strumienia powietrza przy zbyt małym ciśnieniu różnicowym.

Regulacja Delta P (patrz rysunek 9) ma zadanie zapewnienia stałego i minimalnego ciśnienia różnicowego pomiędzy powietrzem dolotowym i wylotowym z obszaru komponentów IT.

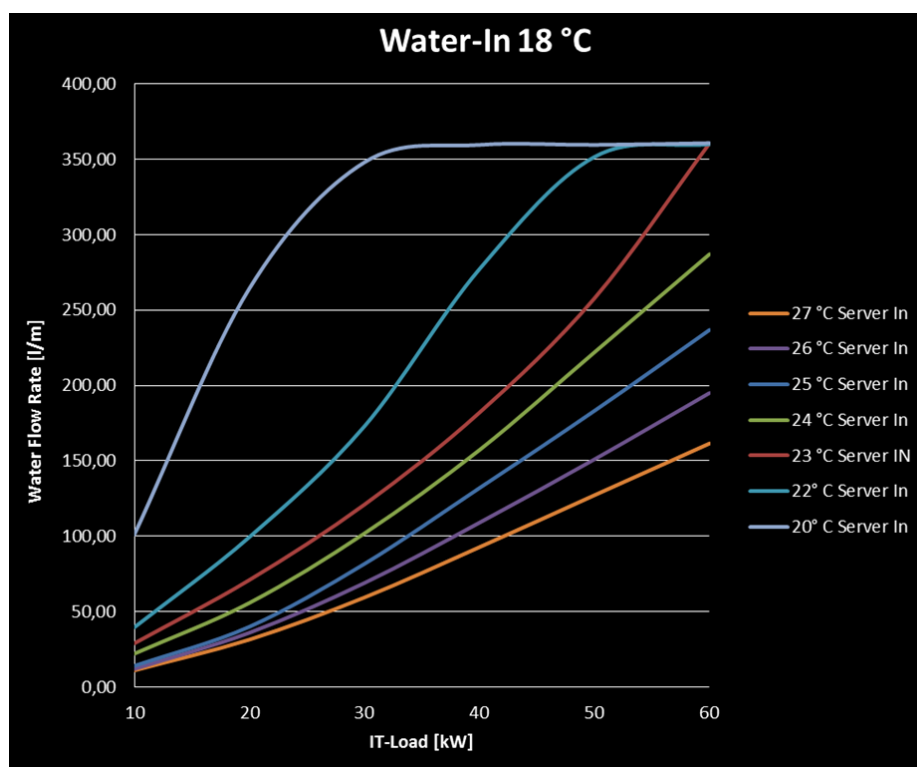
Zmienna temperatura dopływu

System chłodzenia tak długo samodzielnie podnosi temperaturę dopływu, dopóki będzie możliwe utrzymanie zadanej temperatury powietrza dolotowego do serwerów. W tym celu zewnętrzny system chłodzenia „może” samodzielnie zmienić np.: natężenie przepływu, przełączać pomiędzy chillerem a pośrednim chłodzeniem swobodnym czy zmieniać prędkość obrotową wentylatorów/sprężarek itp. W każdym przypadku należy utrzymać maksymalną temperaturę nadmuchu serwerów zgodnie z wytycznymi ASHRAE [ref. 6].

W ten sposób można uzyskać dodatkową efektywność energetyczną, ponieważ utrzymanie maksymalnej temperatury dopływu umożliwia zwiększenie udziału chłodzenia swobodnego. Temperatura dopływu zmienia się dynamicznie wraz z obciążeniem zasobów IT. Oznacza to znaczące podniesienie efektywności.

Regulacja dla całego obszaru

Celem regulacji dla całego obszaru jest optymalizacja wszystkich komponentów biorących udział w procesie chłodzenia z uwzględnieniem poboru mocy. Wielkością regulacji jest tu pobór mocy elektrycznej całego systemu, który należy zminimalizować.

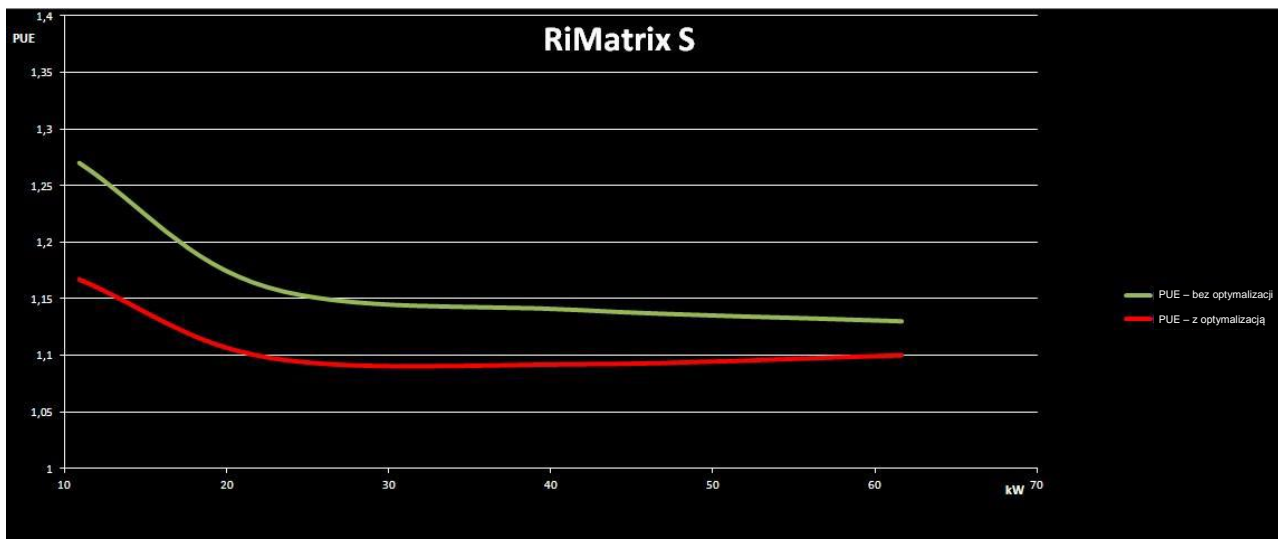


Rysunek 10. Pomiary efektywności w architekturze referencyjnej

Rysunek 10 przedstawia kilka krzywych, które odzwierciedlają natężenie przepływu wody w zależności od obciążenia zasobów IT. Dla zadanej temperatury doprowadzanej wody pokazano różne krzywe temperatur powietrza dolotowego serwerów oraz ich zachowanie w zależności od ustawionego natężenia przepływu.

Dotychczasowa wielkość regulacji temperatury powietrza dolotowego serwerów utrzymuje się do temperatury granicznej.

Nadrzędna regulacja dla całego obszaru może w tym przypadku zmienić te same parametry, tak jak to przedstawiono wcześniej, oraz wszystkie wartości regulacji klimatyzacji (parametry rozdzielu chłodzenia w serwerowni). Równoległy pomiar poboru mocy odzwierciedla bezpośredni wpływ „regulacji” na bilans energetyczny całego systemu. Należy przy tym tak dostosować poszczególne parametry, żeby uzyskać minimalną energię całkowitą i nie przekroczyć temperatury granicznej.



Rysunek 11. Wyniki regulacji dla całego obszaru

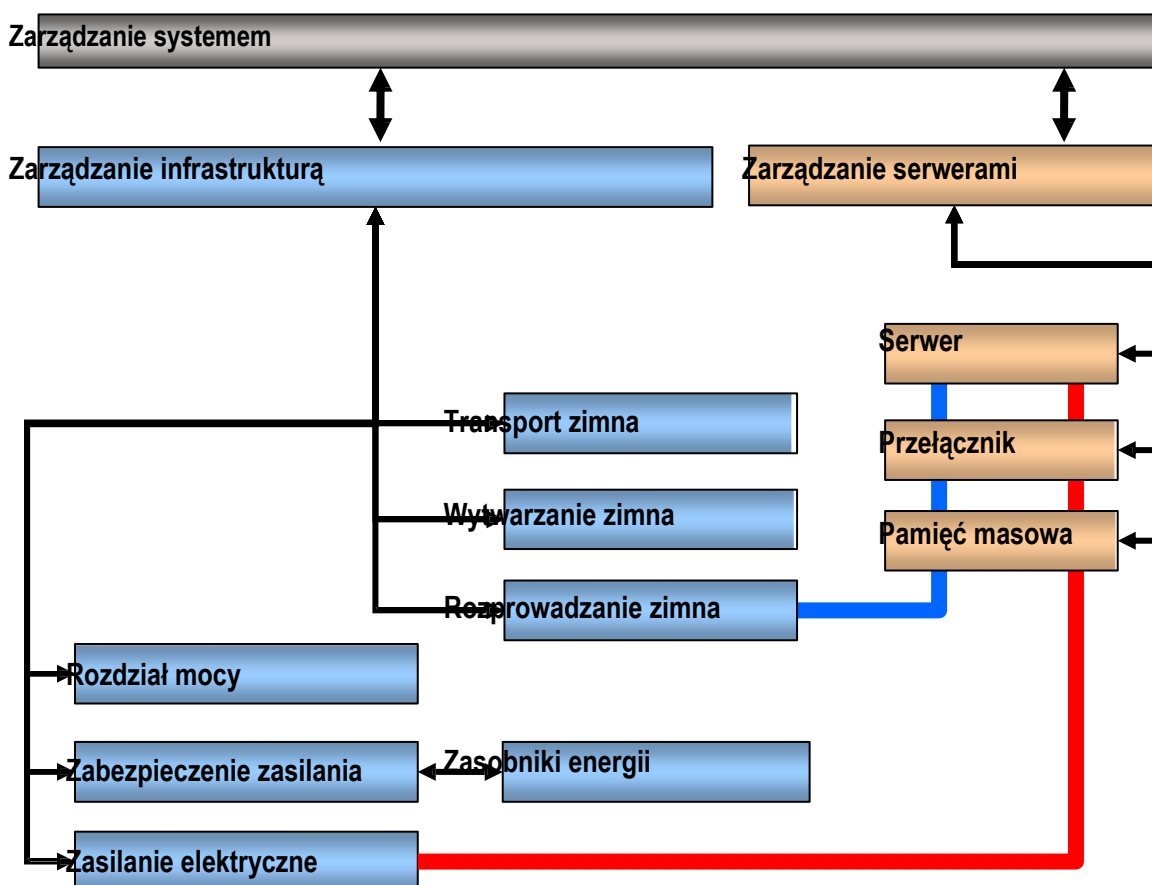
Rysunek 11 przedstawia podsumowanie wyników regulacji dla całego obszaru. Można zauważyć jednoznaczne polepszenie wydajności (PUE) dla całego systemu.

Zapewniono minimalne zużycie prądu elektrycznego przez urządzenia oraz niezawodność ich eksploatacji. Jeżeli zwiększono by wyłącznie temperaturę dopływu czy temperaturę powietrza dolotowego do serwerów, to zużycie energii przez serwery wzrosłoby gwałtownie przy temperaturze około 27°C (w zależności od zastosowanych serwerów). Od temperatury granicznej wentylatory serwerów włączają maksymalną prędkość obrotową, co oznacza znaczny wzrost obciążenia IT – parametr PUE polepsza się, ale całkowity bilans energetyczny nie. Użytkownik serwerowni płaci jednak za kWh, a nie za parametr PUE. Właśnie dlatego ma sens regulacja całego zakresu, która optymalizuje całkowite zużycie energii.

Zarządzanie obciążeniem i mocą dla całego obszaru

Oprogramowanie do zarządzania infrastrukturą (Data Center Infrastructure Management-Software - DCIM) RiZone [ref. 8] dysponuje opartym na protokole SNMP dwukierunkowym interfejsem do nadrzędnego systemu zarządzania. Celem jest dostarczenie do systemu zarządzania serwerami (nadrzędny system zarządzania obciążeniem i mocą – LPM) wszystkich informacji, które są potrzebne do osiągnięcia optymalnego rozkładu obciążenia.

Opisany poniżej interfejs komunikacyjny opiera się na hierarchii wielostopniowej zgodnie z poniższym szkicem:



Rysunek 12. Komunikacja w ramach zarządzania systemowego

Najważniejsze parametry komunikacji to:

- **Koszty chłodzenia**

Koszty chłodzenia to „fikcyjne”, jednorazowo wyliczone koszty zależne od wybranego wariantu chłodzenia (klimatyzacja pomieszczeń, szeregów czy szaf); ich celem jest zdefiniowanie w ramach serwerowni – z ewent. różnymi strefami klimatycznymi – szaf priorytetowych, w których przeważnie występuje obciążenie.

- **PUE**

Efektywność serwerowni (PUE oraz wartości PUE – wartość średnia godzinowa, PUE – wartość średnia dzienna)

- **Zużycie energii IT**

Zużycie energii przez IT (zużycie energii przez serwery, pamięci, przełączniki ...)

- **Zużycie energii na chłodzenie**

Zużycie energii przez system chłodzenia (oraz zużycie energii przez chłodnice chłodzenia swobodnego czy chillery)

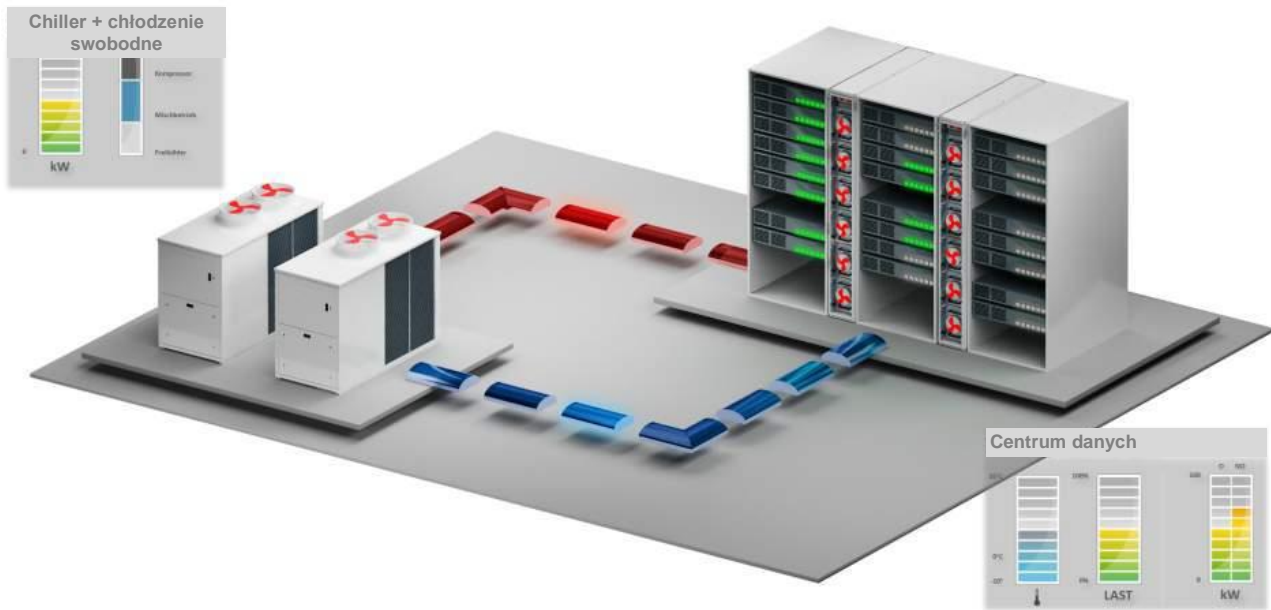
- **Temperatury**

Temperatura zewnętrzna (na wolnej przestrzeni, w miejscu wytwarzania zimna), temperatura nadmuchu serwerów, temperatura powietrza wylotowego serwerów).

W ten sposób LPM [ref. 9] dysponuje wszystkimi istotnymi danymi regulacji oraz monitorowania centrum danych.

Celem zastosowania dynamicznego zarządzania obciążeniem i mocą komponentów infrastruktury oraz serwerów jest dostosowanie aktywnego sprzętu serwerowego do bieżącego zapotrzebowania na zasoby usług oraz ich dynamiczne inicjowanie w trakcie eksploatacji. Usługi definiuje się jako aplikacje, które należy eksploatować w sposób ciągły.

Warunkiem zastosowania tej metody jest eksploatacja zarządzanych serwerów w środowisku wirtualnym oraz odizolowanie usług w maszynach wirtualnych (VM). Za pomocą funkcji Live Migration, która umożliwia przenoszenie maszyn wirtualnych pomiędzy serwerami bez konieczności przerywania ich pracy można zarządzać wirtualnymi maszynami oraz konsolidacją serwerów.



Rysunek 13. Współpraca zarządzania serwerami z infrastrukturą

W odniesieniu do infrastruktury można zrealizować oszczędności dla całego obszaru. Nieużywane serwery, tak jak przedstawia to rysunek 13, zostają wyłączone. Również wykorzystywana przez nie infrastruktura nie jest wykorzystywana: konfiguracja eksploatacji dziennej / nocnej czy weekendowej ze znacząco różnymi profilami obciążenia jest możliwa w ramach całego obszaru.

Literatura

- Ref. 1 AC4DC: Adaptive Computing for green Data Centers; www.ac4dc.de
- Ref. 2 IT2Green – Inicjatywa wsparcia; www.it2green.de
- Ref. 3 Rittal Whitepaper: RiMatrix S – Koncepcja budowy standaryzowanych centrów danych
- Ref. 4 Rittal Whitepaper: „Die Kühltechnologie des Rechenzentrums RiMatrix S“ („Technologia chłodzenia centrów danych RiMatrix S”)
- Ref. 5 Rittal Whitepaper: „Das Effizienzpaket des Rechenzentrums RiMatrix S“ („Pakiet efektywności centrów danych RiMatrix S”)
- Ref. 6 <https://www.ashrae.org>
- Ref. 7 <https://nsidc.org/about/green-data-center/project.html>
- Ref. 8 Rittal Whitepaper: „RiZone – die Rittal Management Software für IT-Infrastrukturen“ („RiZone – oprogramowanie Rittal do zarządzania infrastrukturą IT”)
- Ref. 9 Offis e.V. FuE Bereich Energie, www.offis.de

Wykaz skrótów

BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik – Federalny Urząd Bezpieczeństwa IT
CMC	Computer Multi Control – system sieci czujników centrum przetwarzania danych
CRAC	Computer Room Air Conditioner – urządzenie do klimatyzacji pomieszczeń serwerowni
DCIM	Data Center Infrastructure Management – zarządzanie infrastrukturą centrum danych
HPC	High Performance Computing, wysoka moc obliczeniowa
IT	Technologia informacyjna
ITIL	IT Infrastructure Library (ITIL) jest wytyczną w zakresie zarządzania usługami IT
LPM	Zarządzanie obciążeniem i mocą (Zarządzanie aplikacjami i serwerami)
NSHV	Rozdzielnia główna niskiego napięcia
PDR	Power Distribution Rack – podrozdzielnia szeregów szaf
PDU	Power Distribution Unit – jednostka dystrybucji zasilania
DC	Centrum danych
SNMP	Simple Network Management Protocol (protokół komunikacyjny)
UKS	System powietrza obiegowego
UPS	Bezprzerwowe zasilanie elektryczne

Rittal – The System.

Faster – better – everywhere.

- Szafy sterownicze
- Rozdział mocy
- Klimatyzacja
- Infrastruktura IT
- Software & Services

Rittal Sp. z o.o. • The Park Warsaw, budynek 3
ul. Krakowiaków 48 • 02-255 Warszawa
Tel.: (022) 310 06 00 • Fax: (022) 310 06 16
www.rittal.pl • e-mail: rittal@rittal.pl • Tech Info 0 801 380 320

ENCLOSURES

POWER DISTRIBUTION

CLIMATE CONTROL

IT INFRASTRUCTURE

SOFTWARE & SERVICES

FRIEDHELM LOH GROUP

