Termometry

Rodzaje, zasada działania, zastosowania i własny czujnik.

- Termometry: rodzaje, zasada działania i zastosowania
- Termometry w praktyce: wybór, montaż i własny czujnik (DIY)

Termometry: rodzaje, zasada działania i zastosowania

Poziom: podstawy

Dotyczy: czujniki temperatury, ASHRAE TC 9.9 (wydanie 5), IEC 60751, IEC 60584

Czas: ~45 min

Temperatura jest najczęściej mierzoną wielkością w serwerowni, w magazynie i w kuchni, a rodzajów czujników jest kilkanaście. Na tej stronie opisujemy, jak działa każdy z nich, czym się różni od pozostałych i do czego go wybieramy. Wracamy tu, gdy trzeba dobrać czujnik albo zrozumieć, co właściwie pokazuje nam monitoring.

Skróty użyte na tej stronie (27)

Skrót	Co znaczy
1-Wire	Magistrala firmy Dallas, w której czujniki rozmawiają z mikrokontrolerem po jednym przewodzie danych, a każdy czujnik ma własny adres
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: amerykańskie stowarzyszenie inżynierów, którego zalecenia opisują temperaturę i wilgotność w serwerowniach
BMC	Baseboard Management Controller: osobny malutki komputer na płycie serwera, który działa nawet przy wyłączonym serwerze i odczytuje m.in. temperatury czujników
DIY	Do It Yourself: zrób to sam, czyli własnoręcznie zbudowany czujnik zamiast gotowego urządzenia
DS18B20	Cyfrowy czujnik temperatury z magistralą 1-Wire, z fabrycznym 64-bitowym adresem, popularny w układach domowych i małych serwerowniach
DTS	Digital Thermal Sensor: wbudowany w procesor cyfrowy czujnik temperatury; w światłowodach to też Distributed Temperature Sensing, czyli pomiar temperatury na całej długości włókna
HTTP	Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW
I2C	Inter-Integrated Circuit: prosta dwuprzewodowa magistrala, którą mały układ (np. czujnik) rozmawia z mikrokontrolerem

Skrót	Co znaczy
IEC	International Electrotechnical Commission: międzynarodowa organizacja, która wydaje normy elektrotechniczne, np. IEC 60751 dla czujników Pt100
IPMI	Intelligent Platform Management Interface: standard, przez który administrator pyta kontroler BMC serwera o temperatury, napięcia i obroty wentylatorów
ISO	International Organization for Standardization: organizacja, która wydaje normy techniczne używane na całym świecie
LM35	Analogowy scalony czujnik temperatury, który na wyjściu daje 10 mV na każdy stopień Celsjusza
NIST	National Institute of Standards and Technology: amerykańska agencja standaryzacyjna, tu autor wytycznych SP 800-63B o hasłach
NTC	Negative Temperature Coefficient: termistor, którego opór maleje, gdy temperatura rośnie
PDU	Power Distribution Unit: listwa zasilająca w szafie rack, w droższych wersjach z gniazdami mierzonymi i wejściem na czujnik temperatury
PKN	Polski Komitet Normalizacyjny: instytucja, która wydaje polskie wersje norm i sprzedaje je w katalogu
PN-EN	Polska Norma będąca wersją normy europejskiej, np. PN-EN 54 dla elementów systemów sygnalizacji pożaru
Pt100	Platynowy czujnik temperatury o oporze 100 omów w 0 stopni Celsjusza: dokładny i stabilny, stosowany w przemyśle
PTC	Positive Temperature Coefficient: termistor, którego opór rośnie, gdy temperatura rośnie, często gwałtownie po przekroczeniu progu
RTD	Resistance Temperature Detector: czujnik z metalowego drutu lub warstwy (np. platyny), którego opór rośnie przewidywalnie z temperaturą
SMART	Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology: wbudowany w dysk mechanizm zbierający liczniki o jego kondycji, na przykład temperaturę i liczbę realokowanych sektorów, odczytywany programami takimi jak smartctl
SMS	Short Message Service: krótka wiadomość tekstowa na telefon, która dociera także bez internetu
SNMP	Simple Network Management Protocol: protokół odczytu stanu urządzeń sieciowych
TjMax	Junction Temperature Maximum: największa dopuszczalna temperatura rdzenia procesora, od której system zaczyna zwalniać układ
TMP117	Cyfrowy czujnik temperatury firmy Texas Instruments z magistralą I2C, o dokładności rzędu 0,1 °C
TMP36	Analogowy scalony czujnik temperatury firmy Analog Devices, który daje napięcie proporcjonalne do temperatury i mierzy także poniżej zera
UPS	Uninterruptible Power Supply: zasilacz awaryjny, podtrzymuje zasilanie urządzeń na czas zaniku napięcia z sieci

Z życia wzięte

□□ Z ŻYCIA WZIĘTE

Piątek, 16:05. Pani Halina dzwoni, że Optima na `sql01` ledwo się rusza, a Tomek patrzy na termometr wiszący na ścianie serwerowni w Pamiątkowie: 22 °C, wszystko w normie. Dopiero zapis zdarzeń serwera `hv02` pokazuje temperaturę wlotu 31 °C, bo gorące powietrze z tyłu szafy wraca górą na front i zasila najwyższe serwery. Serwer zwolnił procesor, żeby się nie przegrzać, a razem z nim zwolniły maszyny wirtualne. Ściana mierzyła pokój, a serwer oddycha powietrzem sprzed własnego frontu.

Skąd się wzięło

Pojęcie: termoskop. Przyrząd, który pokazuje, że zrobiło się cieplej albo chłodniej, ale nie ma skali liczbowej. Pierwsze termoskopy działały na rozszerzaniu się powietrza, które wypychało słup wody w rurce.

Galileusz bywa uważany za wynalazcę termoskopu, ale dowody nie są jednoznaczne, a źródła podają daty od około 1593 do 1606 roku [1][4]. Za pierwszego, który opisał termoskop na piśmie, uchodzi Santorio Santorio w dziele z 1612 roku, a jego uznaje się też za pierwszego, który dodał skalę i zastosował przyrząd w medycynie [3][4]. Ole Rømer dodał skalę do termoskopu w 1701 roku i bywa uznawany za twórcę termometru w dzisiejszym sensie [1].

Termoskop przypisywany Galileuszowi, eksponat Musée des Arts et Métiers. Taki przyrząd pokazywa

□□ *Termoskop przypisywany Galileuszowi, eksponat Musée des Arts et Métiers. Taki przyrząd pokazywał tylko, że robi się cieplej albo chłodniej, bez skali liczbowej. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).*

Termometr z kolorowymi kulkami, który nazywamy termometrem Galileusza, nie jest jego dziełem. Zbudowali go uczeni z florenckiej Accademia del Cimento, wśród nich uczeń Galileusza Torricelli, a opis opublikowali w 1666 roku [2]. W 1654 roku Ferdynand II Medyceusz zrobił zamknięty termometr alkoholowy z rzetelną skalą, jeden z najwcześniejszych prawdziwych termometrów [4].

Współczesny termometr z kulkami, zwany termometrem Galileusza, wskazujący na zdjęciu 24 stopn

□□ *Współczesny termometr z kulkami, zwany termometrem Galileusza, wskazujący na zdjęciu 24 stopnie. Nazwa zostaje z tradycji, bo przyrząd zbudowali uczeni z Accademia del Cimento. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).*

Daniel Gabriel Fahrenheit zbudował około 1714 roku rtęciowy termometr i skalę, w której punkt zamarzania wody to 32 stopnie [3][4]. Anders Celsius przedstawił w 1742 roku skalę odwróconą: 0 oznaczało wrzenie wody, a 100 jej zamarzanie. Do dzisiejszej postaci skalę obrócono w latach 1743 do 1745, a zasługę przypisuje się Jeanowi-Pierre'owi Christinowi, Carlowi Linnaeusowi i Mårtenowi Strömerowi.

Nazwę „stopień Celsjusza” przyjęto oficjalnie w 1948 roku [5]. Skalę absolutną, od zera bezwzględnego, zaproponował William Thomson, późniejszy lord Kelvin, w 1848 roku [3].

Zabytkowy termometr medyczny z Europy z lat 1851 do 1900. Zastosowanie w medycynie to jedno

□□ *Zabytkowy termometr medyczny z Europy z lat 1851 do 1900. Zastosowanie w medycynie to jedno z najstarszych zastosowań termometru ze skalą. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).*

Elektryczne czujniki zaczęły się od odkrycia z 1821 roku. Thomas Johann Seebeck zauważył, że igła kompasu odchyla się przy obwodzie z dwóch różnych metali, gdy jedno ze złączy jest ogrzane, i nazwał to zjawisko termomagnetycznym. Termin „termoelektryczność” wprowadził dopiero Hans Christian Ørsted [6]. W tym samym roku Humphry Davy stwierdził, że oporność metali zależy od temperatury, a w 1871 roku William Siemens zaproponował platynę jako materiał czujnika [9]. Hugh Longbourne Callendar zbudował w 1885 roku pierwszy udany komercyjnie platynowy czujnik rezystancyjny, a jego konstrukcja dała początek wzorcowi, który do dziś definiuje międzynarodową skalę temperatury [9][11].

Termistory wywodzą się z obserwacji Michaela Faradaya z 1833 roku, który badał siarczek srebra, a komercyjny termistor opracował w latach trzydziestych XX wieku Samuel Ruben [12]. Równanie, którym do dziś przeliczamy ich oporność na temperaturę, opublikowali w 1968 roku John Steinhart i Stanley Hart [13]. Pomiar bez dotyku ma korzenie w 1800 roku, kiedy William Herschel wykrył promieniowanie podczerwone przez wzrost temperatury na termometrze za czerwonym końcem widma [25]. Bolometr, czyli przodek czujnika kamery termowizyjnej, zbudował w 1878 roku Samuel Langley [24].

Rodzaje i zasada działania

> **Pojęcie: czujnik temperatury.** Element, który zamienia temperaturę na coś, co umiemy zmierzyć: długość słupka cieczy, ruch wskazówki, napięcie, oporność albo ilość

promieniowania. Termometr to czujnik razem z miejscem, w którym odczytujemy wynik, czyli ze skalą, wyświetlaczem albo przetwornikiem.

Pojęcie: przetwornik. Układ, który odczytuje sygnał z czujnika, na przykład mikrowolty z termopary, i zamienia go na liczbę w stopniach. W czujnikach cyfrowych przetwornik jest zamknięty w tej samej obudowie co element pomiarowy.

Każdy rodzaj poniżej opisujemy tym samym schematem: zasada fizyczna, zakres, dokładność, czas reakcji, zalety, wady i miejsca użycia. Liczby pochodzą z kart katalogowych albo norm i podajemy je z oznaczeniem źródła. Dokładność zawsze dotyczy konkretnego zakresu i warunków, więc nie porównujemy jej mechanicznie między rodzajami.

Termoskop i termometr cieczowy

Pojęcie: termometr cieczowy. Szklana rurka (kapilara) ze zbiorniczkiem, w której ciecz rozszerza się razem z temperaturą i wspina po skali. Objętość rtęci rośnie o około 0,018 procent na każdy stopień, a wąska rurka powiększa ten ruch do widocznego [27].

Zasada fizyczna to rozszerzalność cieplna cieczy. Rtęć pozwala mierzyć od około -37 do 356 °C [27]. Alkohol, zwykle barwiony, jest bezpieczniejszy i mierzy niższe temperatury, ale ma znacznie niższy zakres górny. Trzecim wariantem jest stop galu, indu i cyny, który topi się dopiero w -19 °C i jest dużo mniej toksyczny od rtęci, a nazwa „Galinstan” to znak towarowy firmy Geratherm [28]. Taki stop przylega do szkła, więc wymaga innej konstrukcji kapilary niż rtęć [28].

- Zakres: rtęć od około -37 do 356 °C, alkohol i stopy galu zależnie od konstrukcji [27][28].
- Dokładność: zależy od klasy przyrządu i od odczytu na wysokości oczu, bo błąd paralaksy potrafi dać więcej niż sam przyrząd.
- Czas reakcji: sekundy do minut, zależnie od wielkości zbiorniczka.
- Zalety: nie potrzebuje zasilania, jest prosty i tani, a stary termometr bywa przyzwoitym wzorcem porównawczym.
- Wady: jest kruchy, nie nadaje się do zdalnego odczytu, a rtęć jest trująca.
- Gdzie: termometry okienne i laboratoryjne, wzorce odniesienia. Sprzedaż rtęciowych termometrów konsumenckich w Unii Europejskiej zakończyła się 3 kwietnia 2009 roku [27][37].

Termometr bimetaliczny

Pojęcie: bimetal. Dwa paski różnych metali o różnej rozszerzalności cieplnej, zgrzane ze sobą na całej długości. Po ogrzaniu metal rozszerzający się mocniej wygina cały pasek, a

sam ruch w bok jest znacznie większy niż wydłużenie [26].

Pasek zwinięty w spiralę obraca wskazówkę termometru tarczowego, a ten sam ruch zamyka albo otwiera styk w termostacie [26]. Wynalazek przypisuje się Johnowi Harrisonowi, który w 1759 roku użył go w chronometrze morskim, żeby wyrównać wpływ temperatury na sprężynę balansu [26]. Zakres zależy od pary metali, na przykład stal z miedzią albo inwar z mosiądzem [26].

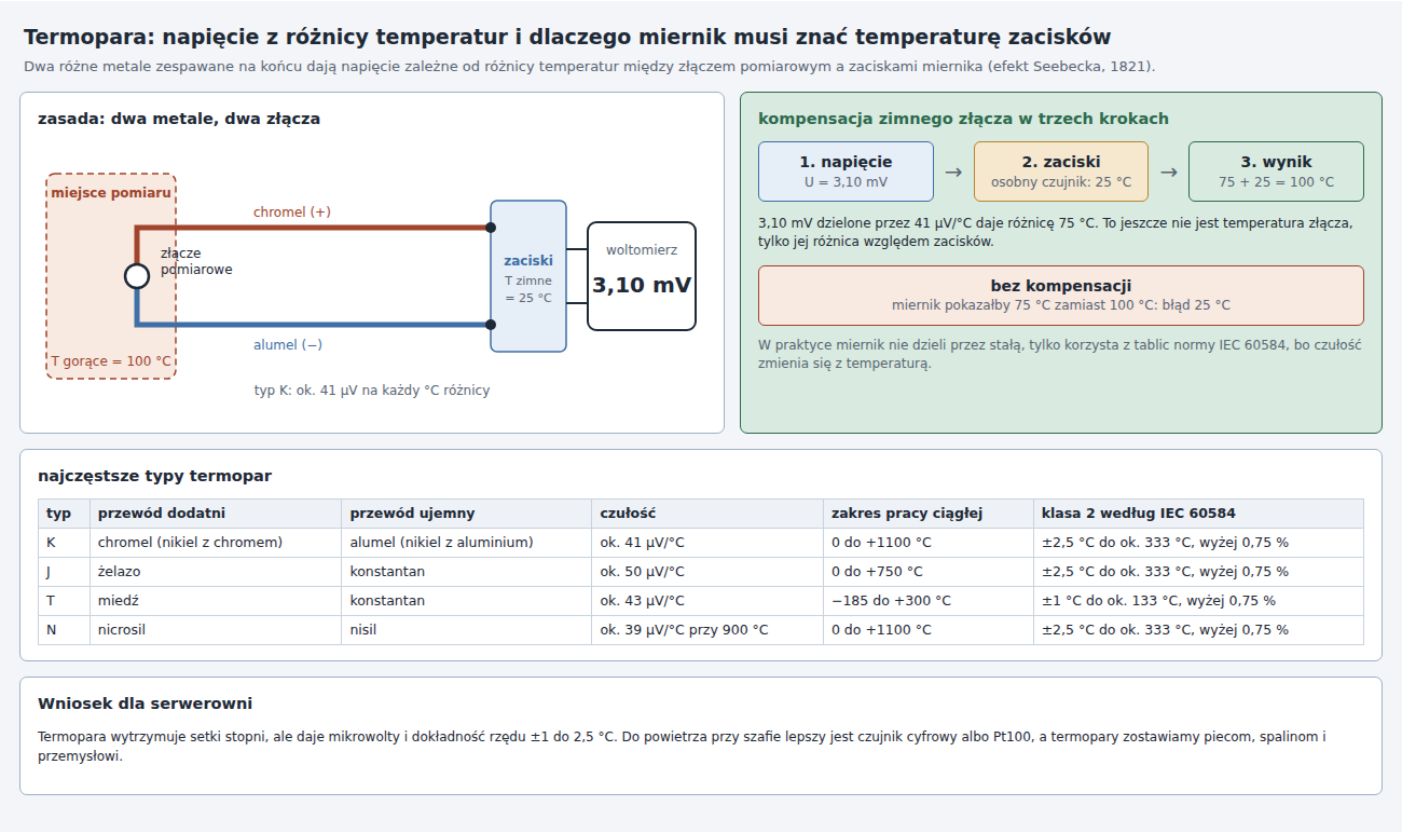
- Zakres: zależny od pary metali, zwykle od kilkudziesięciu stopni poniżej zera do kilkuset powyżej.
- Dokładność: niższa niż w czujnikach elektronicznych, bo mechanika ma tarcie i luz.
- Czas reakcji: sekundy do minut, zależnie od osłony.
- Zalety: nie potrzebuje zasilania, jest odporny i tani.
- Wady: nie da się go wpiąć w monitoring bez dodatkowego czujnika, a odczyt zależy od ustawienia tarczy.
- Gdzie: termometry tarczowe w piekarnikach, grillach i na rurach, termostaty, wyłączniki termiczne [26].

Termopara

Pojęcie: efekt Seebecka. Na styku dwóch różnych metali powstaje napięcie zależne od różnicy temperatur między tym stykiem a drugim końcem obwodu. Zjawisko odkrył w 1821 roku Thomas Johann Seebeck [6].

Pojęcie: termopara. Dwa przewody z różnych stopów, zespawane na jednym końcu (złącze pomiarowe). Drugi koniec, czyli zaciski miernika, to złącze zimne, a napięcie zależy od różnicy temperatur między nimi [7].

Pojęcie: kompensacja zimnego złącza. Pomiar temperatury zacisków miernika osobnym czujnikiem i dodanie jej do wyniku. Bez niej miernik pokazuje tylko różnicę temperatur, a nie temperaturę złącza [7].



Rysunek 1. Termopara: napięcie 3,10 mV daje różnicę 75 °C, a dopiero dodanie 25 °C z zacisków daje 100 °C. Tabela pokazuje, że typy różnią się materiałem, czułością i zakresem (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Najpopularniejszy jest typ K z chromelu i alumelu o czułości około 41 µV/°C, a obok niego typy J (żelazo i konstantan), T (miedź i konstantan) i N (nicrosil i nisil) [7]. Typ K mierzy chwilowo od -200 do 1350 °C [7]. Norma IEC 60584 dzieli termopary na klasy, a w klasie 2 typu K błąd wynosi ±2,5 °C do około 333 °C, wyżej 0,75 procent wartości, natomiast typ T w klasie 1 osiąga ±0,5 °C w niskich temperaturach [8].

Termopara typu K, najpopularniejszy rodzaj termopar. Daje napięcie rzędu mikrowoltów na stopień,

Termopara typu K, najpopularniejszy rodzaj termopar. Daje napięcie rzędu mikrowoltów na stopień, więc potrzebuje przetwornika. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

- Zakres: najszerszy ze wszystkich rodzajów, od około -270 do ponad 1300 °C zależnie od typu [7].
- Dokładność: zwykle ±1,5 do 2,5 °C, a błąd systemowy poniżej jednego stopnia trudno uzyskać [7][8].
- Czas reakcji: bardzo krótki przy cienkiej, odsłoniętej końcówce.
- Zalety: tania, bez zasilania, wytrzymuje bardzo wysokie temperatury [7].
- Wady: sygnał to mikrowolty, potrzebna jest kompensacja zimnego złącza i przewody kompensacyjne tego samego typu (KX, JX, TX, NX), a nie zwykła miedź [45].

- Gdzie: piece, spaliny, procesy przemysłowe, szybkie termometry sondowe. W serwerowni prawie nigdy.

Czujnik rezystancyjny RTD, Pt100 i Pt1000

Pojęcie: RTD. Czujnik, w którym temperaturę odczytujemy z oporności elementu metalowego. Skrót pochodzi od angielskiego resistance temperature detector. Najczęściej element jest z platyny, bo ta zmienia oporność przewidywalnie i powtarzalnie [9].

Pojęcie: Pt100. Platynowy RTD, który w 0 °C ma 100 Ω, a Pt1000 ma 1000 Ω. Współczynnik temperaturowy 0,00385 oznacza zmianę o około 0,385 Ω na stopień w Pt100, a norma IEC 60751 określa jego tolerancje [9][10].

Pojęcie: klasa dokładności. Dopuszczalny błąd czujnika, który według IEC 60751 rośnie z temperaturą: klasa AA to ±(0,1 + 0,0017·t), A to ±(0,15 + 0,002·t), B to ±(0,3 + 0,005·t), a C to ±(0,6 + 0,01·t), gdzie t to temperatura w stopniach Celsjusza bez znaku [10].

Czujnik rezystancyjny Pt100: oporność rośnie z temperaturą, a przewody potrafią to zepsuć

Platyna zmienia oporność przewidywalnie i powtarzalnie. Wynik zależy jednak od tego, jak podłączymy czujnik do miernika: dwoma, trzema albo czterema przewodami.

oporność Pt100 i Pt1000 (IEC 60751, α = 0,00385)

temperatura	Pt100	Pt1000
−20 °C	92,16 Ω	921,6 Ω
0 °C	100,00 Ω	1000,0 Ω
25 °C	109,73 Ω	1097,3 Ω
50 °C	119,40 Ω	1194,0 Ω
100 °C	138,51 Ω	1385,1 Ω

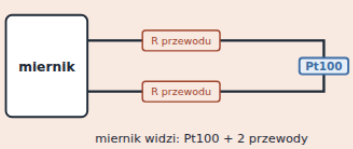
Nazwa mówi, ile omów czujnik ma w 0 °C. Zmiana o 1 °C to ok. 0,39 Ω dla Pt100 i ok. 3,9 Ω dla Pt1000.

klasy dokładności czujnika (IEC 60751)

klasa	tolerancja w °C	przy 0 °C	przy 25 °C	przy 100 °C
AA	±(0,1 + 0,0017·t)	±0,10	±0,14	±0,27
A	±(0,15 + 0,002·t)	±0,15	±0,20	±0,35
B	±(0,3 + 0,005·t)	±0,30	±0,43	±0,80
C	±(0,6 + 0,01·t)	±0,60	±0,85	±1,60

t to temperatura w °C bez znaku. Klasa AA występuje tylko w ograniczonym zakresie (od −50 do +250 °C dla elementów drutowych).

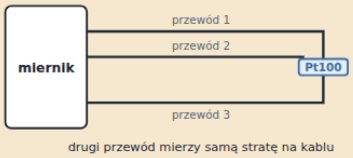
układ 2-przewodowy



miernik widzi: Pt100 + 2 przewody

Dwa przewody po 0,5 Ω dodają 1 Ω, czyli ok. 2,6 °C błędu. Wystarcza tylko przy krótkim, grubym kablu.

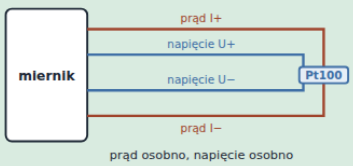
układ 3-przewodowy



drugi przewód mierzy samą stratę na kablu

Miernik odejmuje stratę na przewodzie, zakładając, że wszystkie trzy są jednakowe. To standard w przemyśle.

układ 4-przewodowy



prąd osobno, napięcie osobno

Przewody napięciowe nie niosą prądu, więc nie ma na nich spadku. Kabel może być długi i nie wpływa na wynik.

Wniosek dla serwerowni

Przy kilku metrach kabla do szafy trzy przewody dają wynik z zapasem dokładności. Dwa przewody wymagają korekty, cztery są potrzebne dopiero przy pomiarach laboratoryjnych albo przy bardzo długich liniach.

Rysunek 2. Oporność Pt100 w kilku punktach, klasy dokładności i trzy sposoby podłączenia czujnika. Przy dwóch przewodach opór kabla dodaje się do wyniku, a trzy i cztery przewody to usuwają (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

> **Pojęcie: układ 2-, 3- i 4-przewodowy.** Sposób podłączenia czujnika do miernika. W układzie dwuprzewodowym oporność przewodów dodaje się do oporności czujnika, w trójprzewodowym miernik mierzy ją i odejmuje, a w czteroprzewodowym prąd i napięcie idą osobnymi parami przewodów, więc kabel nie wpływa na wynik [9].

Dla przykładu dwa przewody po 0,5 Ω dodają 1 Ω, co daje około 2,6 °C błędu. Klasa B obejmuje od -196 do 600 °C w wersji drutowej i od -50 do 500 °C w wersji cienkowarstwowej, a klasa AA jest dostępna tylko w węższych zakresach [10]. Zwykły Pt100 klasy B w 25 °C ma więc tolerancję ±0,43 °C, a klasy A ±0,20 °C.

Czujnik Pt100, platynowy czujnik rezystancyjny. Jego oporność zmienia się z temperaturą w przewid

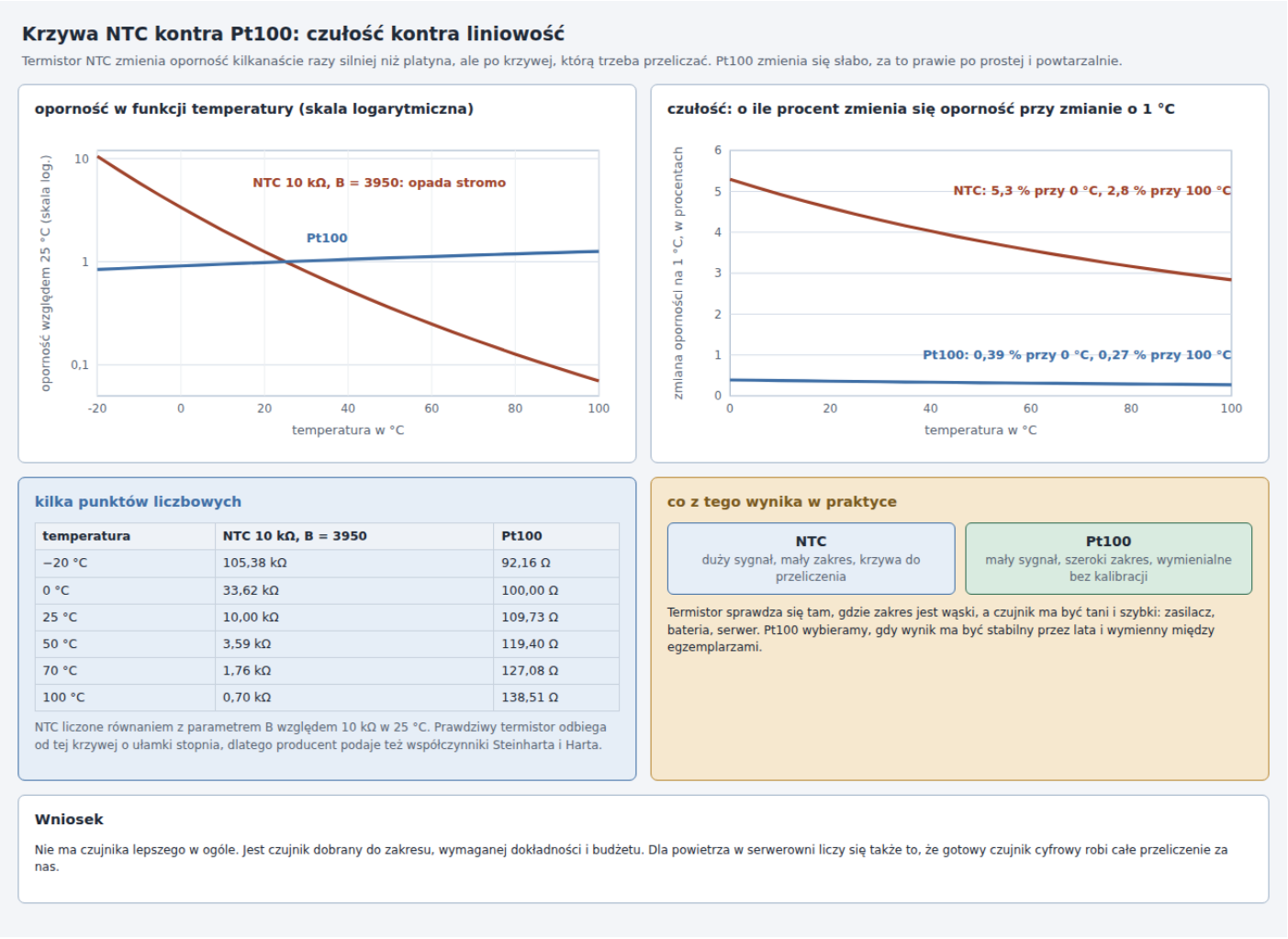
Czujnik Pt100, platynowy czujnik rezystancyjny. Jego oporność zmienia się z temperaturą w przewidywalny sposób, dlatego należy do najdokładniejszych czujników tej strony. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

- Zakres: od -196 do 600 °C zależnie od wykonania [10].
- Dokładność: od ±0,1 do ±0,6 °C w 0 °C zależnie od klasy [10].
- Czas reakcji: sekundy, zależnie od osłony.
- Zalety: stabilność w czasie, powtarzalność i wymienność czujników, a platynowy termometr wzorcowy definiuje międzynarodową skalę temperatury [11].
- Wady: sygnał jest słaby, potrzebny jest prąd pomiarowy, który lekko nagrzewa element, i kabel trzy- albo czteroprzewodowy.
- Gdzie: przemysł, laboratoria, farmacja, chłodnictwo, rozdzielnie ciepła.

Termistor NTC i PTC

> **Pojęcie: termistor.** Rezystor, którego oporność silnie zależy od temperatury. Nazwa to zbitka słów „thermal” i „resistor”, a elementy robi się z prasowanych tlenków metali [12].

> **Pojęcie: NTC i PTC.** W termistorze NTC oporność maleje, gdy temperatura rośnie, i takie czujniki najczęściej służą do pomiaru. W termistorze PTC oporność rośnie z temperaturą, więc używa się go do zabezpieczeń przed przeciążeniem i do samoregulujących grzałek [12].



Rysunek 3. Krzywa oporności NTC 10 kΩ spada stromo, a Pt100 zmienia się niewiele. Prawy wykres pokazuje, że NTC jest kilkanaście razy czulszy, ale po krzywej, którą trzeba przeliczać (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

> **Pojęcie: parametr B.** Liczba opisująca, jak stromo spada oporność termistora NTC. Z parametrem B liczymy: `R = R25 · exp(B · (1/T - 1/T25))`, gdzie R25 to oporność w 25 °C, a temperatury podajemy w kelwinach. Dokładniejsze jest równanie Steinharta i Harta: `1/T = A + B·ln(R) + C·(ln R)^3`, którego współczynniki A, B i C podaje producent dla danego termistora [13].

Typowy zakres to od -55 do 150 °C, a nowoczesne NTC osiągają ±0,1 do ±0,2 °C w wąskim przedziale [12]. Równanie Steinharta i Harta przestaje wystarczać przy pomiarach naukowych, ale do monitoringu wystarcza z zapasem [13].

Termistor NTC, element, którego oporność spada wraz ze wzrostem temperatury. Dzięki temu mały

Termistor NTC, element, którego oporność spada wraz ze wzrostem temperatury. Dzięki temu mały i tani czujnik wystarcza do monitoringu. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja

podane na stronie pliku).

- Zakres: zwykle od -55 do 150 °C [12].
- Dokładność: ±0,1 do ±0,2 °C po dobraniu parametrów, w wąskim zakresie [12].
- Czas reakcji: bardzo krótki dla małych koralików.
- Zalety: duża czułość, niska cena, mała masa.
- Wady: nieliniowa krzywa, rozrzut między egzemplarzami, samonagrzewanie przy zbyt dużym prądzie.
- Gdzie: zasilacze, baterie, drukarki 3D, urządzenia domowe, motoryzacja [12].

Półprzewodnikowy czujnik scalony

> **Pojęcie: czujnik scalony.** Układ w jednej obudowie, który zawiera element pomiarowy i elektronikę. Producent przeliczył już sygnał z elementu na prosty wynik: napięcie proporcjonalne do temperatury albo liczbę w komunikacie cyfrowym.

Czujniki analogowe są najprostsze. LM35 daje 10 mV na stopień, mierzy od -55 do 150 °C, a typowy błąd w temperaturze pokojowej to ±0,25 °C [15]. TMP36 też daje 10 mV na stopień, ale ma przesunięcie 500 mV w 0 °C, czyli 750 mV w 25 °C, mierzy od -40 do 125 °C i pracuje od 2,7 V [16].

> **Pojęcie: 1-Wire.** Magistrala, w której czujnik i procesor łączą się jedną linią danych i masą, a każdy układ ma własny 64-bitowy numer fabryczny, dzięki czemu na jednym przewodzie może pracować wiele czujników.

> **Pojęcie: I2C.** Dwuprzewodowa magistrala cyfrowa (zegar i dane), na której procesor rozmawia z czujnikami po adresach.

Cyfrowy DS18B20 działa na magistrali 1-Wire, mierzy od -55 do 125 °C, w zakresie od -10 do 85 °C z dokładnością ±0,5 °C, a rozdzielczość można ustawić od 9 do 12 bitów, przy czym pełny pomiar trwa do 750 ms [14]. Układ można zasilać z linii danych albo osobnym przewodem od 3,0 do 5,5 V, a po włączeniu jego rejestr zawiera 85 °C [14]. TMP117 działa na I2C, ma dokładność ±0,1 °C od -20 do 50 °C, rozdzielczość 0,0078 °C i adres wybieramy spośród czterech, a producent testuje każdy egzemplarz na stanowisku ze wzorcem powiązanym ze wzorcami NIST [17].

Sonda z cyfrowym czujnikiem DS18B20. To dobry wybór na własne punkty pomiarowe w serwerown

Sonda z cyfrowym czujnikiem DS18B20. To dobry wybór na własne punkty pomiarowe w serwerowni. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

- Zakres: od -55 do 125 lub 150 °C [14][15][17].
- Dokładność: od ±0,1 °C (TMP117) przez ±0,5 °C (DS18B20) do ±1 do 2 °C (TMP36) [14][16][17].
- Czas reakcji: zależy od obudowy, w sondach metalowych dziesiątki sekund.
- Zalety: gotowy wynik, brak kalibracji, mała cena, łatwe podłączenie do mikrokontrolera.
- Wady: wąski zakres górny, delikatne wyprowadzenia, samonagrzewanie (LM35 około 0,08 °C w spokojnym powietrzu) [15].
- Gdzie: płyty główne, monitoring środowiska, własne czujniki DIY. W serwerowni to najlepsza klasa do własnych punktów pomiarowych.

Czujniki w procesorach i dyskach

> **Pojęcie: dioda termiczna.** Złącze półprzewodnikowe w układzie scalonym, którego napięcie zależy od temperatury. Procesor ma takich złączy kilka i sam z nich korzysta, żeby zwolnić, zanim się przegrzeje.

W procesorach Intela jest cyfrowy czujnik temperatury, w skrócie DTS. Sterownik jądra Linuksa `coretemp` odczytuje go dla każdego rdzenia i dla całego układu z rozdzielczością jednego stopnia, a surowy odczyt jest odległością od TjMax, czyli od maksymalnej temperatury złącza, która zależy od modelu [18].

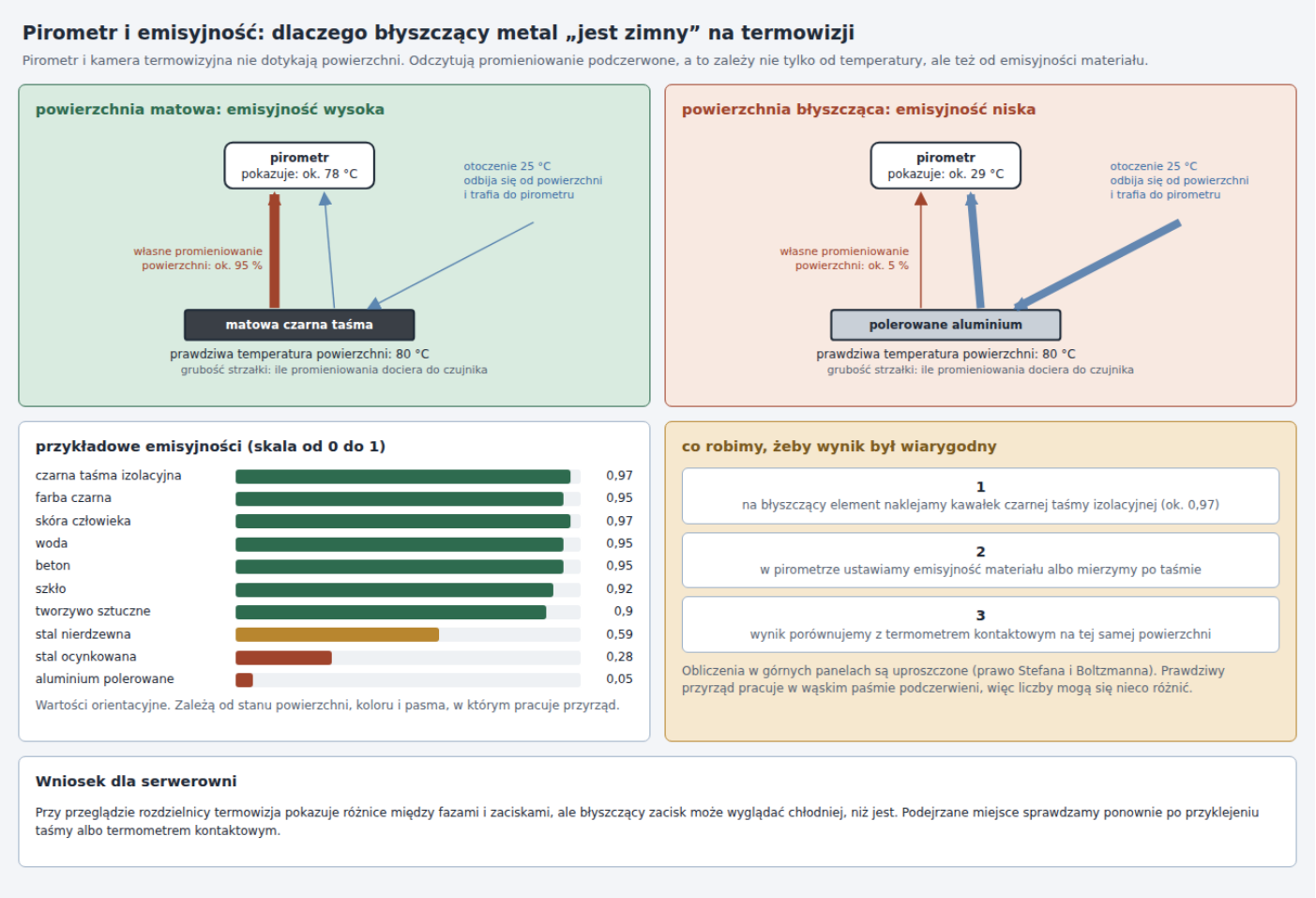
> **Pojęcie: SMART.** Mechanizm dysku, który zbiera liczniki o jego kondycji, w tym temperaturę. Atrybut 194 podaje temperaturę w stopniach Celsjusza w najmłodszym bajcie wartości, a atrybut 190 odpowiada 100 minus temperatura [20]. Sterownik `drivetemp` udostępnia ten odczyt jądru, a przy zbyt częstym czytaniu na niektórych dyskach może przeszkadzać w usypianiu [19].

- Zakres: ograniczony zakresem pracy samego układu.
- Dokładność: rozdzielczość 1 °C, a bezwzględna dokładność zależy od modelu i nie jest gwarantowana [18].
- Zalety: są zawsze, nic nie kosztują, widzą temperaturę tam, gdzie zewnętrzny czujnik nigdy nie dotrze.
- Wady: to temperatura złącza albo dysku, nie powietrza, więc nie zastępuje czujnika na wlocie.
- Gdzie: monitoring serwerów, alarmy przegrzania, diagnostyka wentylatorów.

Pirometr i termometr na podczerwień

Pojęcie: pirometr. Przyrząd mierzący temperaturę bez dotyku, na podstawie promieniowania podczerwonego emitowanego przez powierzchnię. Soczewka skupia promieniowanie na detektorze, a ten zamienia moc promieniowania na sygnał elektryczny [21].

Pojęcie: emisyjność. Liczba od 0 do 1 mówiąca, jak skutecznie powierzchnia wysyła promieniowanie w porównaniu z idealnym ciałem. Skóra, woda, beton i czarna farba mają emisyjność powyżej 0,9, a polerowane aluminium około 0,05 [21][22].



Rysunek 4. Matowa taśma o emisyjności 0,95 pokazuje prawie prawdziwe 80 °C, a polerowane aluminium pokazuje około 29 °C, bo pirometr widzi głównie odbite otoczenie (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Moc promieniowania rośnie z czwartą potęgą temperatury (prawo Stefana i Boltzmanna), a przyrząd musi wiedzieć, ile promieniowania pochodzi z samej powierzchni, a ile jest odbitym otoczeniem [21]. Dlatego błyszczące elementy wyglądają na zimne, a rozwiązaniem jest czarna taśma izolacyjna o emisyjności około 0,97 albo ustawienie emisyjności w przyrządzie [22]. Prosty przyrząd ma błąd rzędu ±2 °C, a stosunek odległości do plamki, na przykład 12:1, mówi, jak małą powierzchnię widzi z danej odległości [21].

- Zakres: zależy od modelu, od kilkudziesięciu stopni poniżej zera do kilkuset powyżej.
- Dokładność: rzędu ±2 °C w prostych przyrządach i silnie zależna od emisyjności [21].
- Czas reakcji: poniżej sekundy.
- Zalety: bez dotyku, szybki, bezpieczny przy elementach pod napięciem, jeśli sprawdzamy z odległości.
- Wady: mierzy tylko powierzchnię, wymaga znajomości emisyjności, szyba i para wodna zakłócają odczyt.
- Gdzie: przeglądy rozdzielnic, silniki, łożyska, kuchnia, termometry czołowe i uszne w medycynie [21].

Kamera termowizyjna

> **Pojęcie: mikrobolometr.** Matryca maleńkich elementów, których oporność zmienia się, gdy pochłoną promieniowanie podczerwone o długości fali od 7,5 do 14 µm. Każdy element to jeden piksel obrazu, a matryca nie wymaga chłodzenia [23]. Zasadę bolometru wymyślił Samuel Langley w 1878 roku, a materiałem detektora jest najczęściej tlenek wanadu albo krzem amorficzny [23][24].

> **Pojęcie: kamera termowizyjna.** Aparat z obiektywem podczerwonym i matrycą mikrobolometrów, który zamienia temperaturę każdego punktu sceny na kolor. Rozdzielczości to zwykle 160×120 albo 320×240, a nowsze modele dochodzą do 640×480 punktów [23].

Technologię mikrobolometrów opracował Honeywell w ramach tajnego kontraktu dla armii Stanów Zjednoczonych od końca lat siedemdziesiątych, a odtajniono ją w 1992 roku [23]. Kamera widzi tylko powierzchnie i podlega tym samym zasadom emisyjności co pirometr, więc interpretujemy kolory, a nie czytamy ich jak liczb.

Ręczna kamera termowizyjna FLIR E8. Pokazuje temperaturę powierzchni jako kolory, więc przy odc

Ręczna kamera termowizyjna FLIR E8. Pokazuje temperaturę powierzchni jako kolory, więc przy odczycie trzeba pamiętać o emisyjności. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

- Zakres: zależy od modelu, zwykle od kilkudziesięciu stopni poniżej zera do kilkuset powyżej.
- Dokładność: podobnie jak pirometr, zależna od emisyjności, odległości i warunków.
- Czas reakcji: obraz w czasie rzeczywistym.
- Zalety: widzimy rozkład temperatur na całej powierzchni naraz, a nie punkt po punkcie.
- Wady: wysoka cena, szyba blokuje obraz, błyszczące powierzchnie dają błędne wartości.

- Gdzie: rozdzielnice, wycieki i mostki cieplne w budynkach, przegląd szaf, szukanie awarii.

Czujniki światłowodowe

Światłowód potrafi sam być czujnikiem temperatury. W metodzie rozproszonej (DTS) laser wysyła impuls, a stosunek natężenia dwóch składowych światła rozproszonego Ramana mówi, jaka jest temperatura w danym miejscu włókna. Typowy system ma zasięg ponad 30 km, rozdzielczość przestrzenną około metra i dokładność ±1 °C [43]. Druga metoda wykorzystuje siatki Bragga, w których długość fali odbitego światła zmienia się z temperaturą [44].

Czujniki światłowodowe są odporne na zakłócenia elektromagnetyczne i bezpieczne w strefach zagrożonych wybuchem [43]. Stosuje się je przy kablach energetycznych, w tunelach, rurociągach i do wykrywania pożarów. W typowej serwerowni zwykle ich nie spotykamy, bo trzy czujniki na szafie wystarczą, a koszt jest nieporównywalny.

Wszystkie rodzaje w jednej tabeli

Rodzaj	Zasada	Typowy zakres	Dokładność (przykład)	Najlepsze zastosowanie
Cieczowy (rtęć, alkohol, stop galu)	rozszerzalność cieczy	rtęć od -37 do 356 °C [27]	zależna od klasy i odczytu	wzorce porównawcze, termometry okienne
Bimetaliczny	różna rozszerzalność dwóch metali	zależny od pary metali [26]	niższa niż elektroniczne	termometry tarczowe, termostaty
Termopara	napięcie Seebecka	od -200 do 1350 °C (typ K, chwilowo) [7]	±1,5 do 2,5 °C [8]	piece, spaliny, przemysł
Pt100 i Pt1000	oporność platyny	do 600 °C (wersja drutowa) [10]	klasa A ±(0,15 + 0,002·t) [10]	przemysł, laboratoria, farmacja
Termistor NTC	oporność półprzewodnika	od -55 do 150 °C [12]	±0,1 do 0,2 °C w wąskim zakresie [12]	zasilacze, baterie, AGD
Scalony analogowy	napięcie proporcjonalne	LM35 od -55 do 150 °C [15]	LM35 ±0,25 °C typowo [15]	proste układy, dydaktyka
Scalony cyfrowy	liczba w komunikacie	DS18B20 od -55 do 125 °C [14]	±0,5 °C od -10 do 85 °C [14]; TMP117 ±0,1 °C [17]	monitoring środowiska, DIY
Dioda w procesorze, SMART	napięcie złącza, licznik dysku	zależny od układu [18][20]	rozdzielczość 1 °C [18]	diagnostyka serwerów
Pirometr	promieniowanie podczerwone	zależny od modelu	około ±2 °C w prostych [21]	przeglądy, pomiar bez dotyku
Kamera termowizyjna	matryca mikrobolometrów	zależny od modelu	zależna od emisyjności [23]	rozdzielnice, szafy, budynki

Rodzaj	Zasada	Typowy zakres	Dokładność (przykład)	Najlepsze zastosowanie
Światłowodowy	rozpraszanie światła w włóknie	zasięg ponad 30 km [43]	±1 °C, rozdzielczość 1 m [43]	kable, tunele, rurociągi

W serwerowni

Co zaleca ASHRAE

> **Pojęcie: ASHRAE TC 9.9.** Komitet techniczny amerykańskiego stowarzyszenia ASHRAE, który publikuje wytyczne dla centrów danych. W zbiorze „Thermal Guidelines” wyróżnia klasy sprzętu od A1 (najbardziej wymagający, typowe serwery firmowe) do A4 (najbardziej odporny) [29].

> **Pojęcie: temperatura na wlocie.** Temperatura powietrza, które sprzęt wciąga z przodu szafy. Wytyczne ASHRAE dotyczą właśnie tego miejsca, a nie temperatury pokoju ani powietrza z nawiewu klimatyzacji [29][30].

Klasa	Zalecany wlot	Dopuszczalny wlot	Maksymalny punkt rosy
A1	od 18 do 27 °C	od 15 do 32 °C	17 °C
A2	od 18 do 27 °C	od 10 do 35 °C	21 °C
A3	od 18 do 27 °C	od 5 do 40 °C	24 °C
A4	od 18 do 27 °C	od 5 do 45 °C	24 °C

Źródłem tabeli jest piąte wydanie wytycznych (2021, poprawione 2024) [29]. Zalecany zakres jest jednakowy dla wszystkich klas, a klasy różnią się tylko zakresem dopuszczalnym [29]. W Zielonej zakładamy ostrożnie klasę A1, dopóki karta katalogowa danego serwera nie wskazuje wprost innej klasy.

> **Pojęcie: punkt rosy.** Temperatura, w której para wodna z powietrza zaczyna się skraplać. Im wyższy punkt rosy, tym wilgotniejsze powietrze, a na zimnych elementach może wtedy osiadać woda.

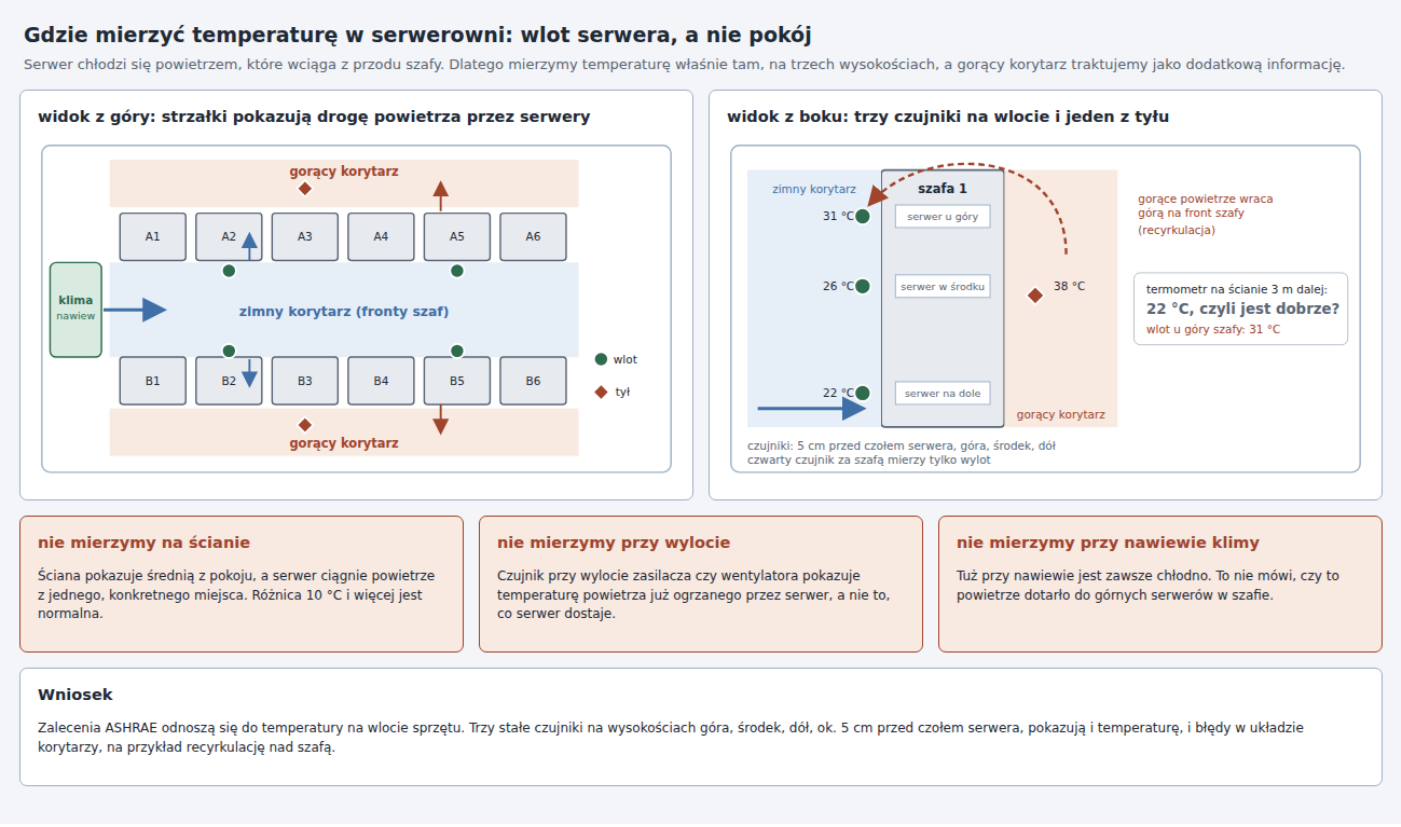
W klasie A1 dopuszczalna wilgotność mieści się między punktem rosy -12 °C i 8 procent wilgotności względnej a punktem rosy 17 °C i 80 procent wilgotności względnej [29]. Przyjmujemy z tego dwa progi dla Zabbixa: ostrzeżenie powyżej 27 °C, czyli górna granica zalecana, i alarm krytyczny

powyżej 32 °C, czyli górna granica dopuszczalna klasy A1.

Gdzie mierzyć

> **Pojęcie: zimny i gorący korytarz.** Układ szaf, w którym fronty dwóch rzędów patrzą na siebie w jednym korytarzu, a klimatyzacja nawiewa tam chłodne powietrze. Serwery wciągają je z przodu, a ogrzane wypuszczają z tyłu do osobnego, gorącego korytarza.

ASHRAE opisuje dwa podejścia. Do stałego nadzoru stawia się czujnik co czwarta szafa, na wysokości około 1,5 m, w osi zimnego korytarza, a do sprawdzenia instalacji mierzy się środek wlotu najwyższego, środkowego i najniższego serwera w szafie, około 5 cm przed obudową [31]. Pierwsza metoda jest łatwa, ale potrafi przegapić gorące powietrze wracające górą nad szafą, a druga pokazuje to, co serwer naprawdę zasysa [31].



Rysunek 5. Plan serwerowni z zimnym i gorącym korytarzem oraz przekrój szafy z trzema czujnikami na wlocie. Czujnik u góry pokazuje 31 °C, choć termometr na ścianie wskazuje 22 °C (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Zalecamy więc po trzy stałe czujniki na wlocie w szafach z największą gęstością sprzętu (góra, środek, dół) oraz jeden w gorącym korytarzu, który nie służy do alarmów, tylko do oceny różnicy temperatur. Jak taki zestaw zbudować i podłączyć do Zabbixa, opisuje strona Termometry w

praktyce: wybór, montaż i własny czujnik (DIY).

Dlaczego temperatura pokoju to nie to samo co wlot serwera

Powietrze w serwerowni nie jest jednorodne. Jeśli chłodne i gorące powietrze się mieszają, temperatura przy wlocie może być o 15 °C i więcej wyższa od temperatury na nawiewie [30]. Powodami są recyrkulacja nad szafą, przecieki przez puste miejsca w szafie bez zaślepek i słabe odseparowanie korytarzy.

Dlatego czujnik na ścianie albo przy klimatyzacji nie mówi nic o tym, co dostaje serwer. Z drugiej strony czujnik za szafą mierzy tylko wylot, który z natury jest cieplejszy.

Czujniki, które już mamy

> **Pojęcie: BMC i IPMI.** BMC to osobny, mały komputer wbudowany w płytę serwera, który działa nawet wyłączony system. IPMI to standard rozmowy z nim po sieci, dzięki któremu odczytujemy czujniki bez udziału systemu operacyjnego [32].

Serwery firmowe mają zwykle czujnik wlotu, czujnik wylotu i temperatury podzespołów. Zabbix odczytuje je elementem typu IPMI agent, a serwer Zabbixa musi mieć uruchomione procesy pobierające dane IPMI (parametr `StartIPMIPollers`) [32].

Przykład odczytu z BMC serwera `hv02` programem `ipmitool` z komendą `sdr type temperature`:

```
Inlet Temp       | 04h | ok  |  7.1 | 31 degrees C
Exhaust Temp     | 01h | ok  |  7.1 | 44 degrees C
Temp             | 0Eh | ok  |  3.1 | 52 degrees C
```

Dla dysków korzystamy z mechanizmu SMART. Przykład wiersza z wyniku `smartctl -A` dla dysku w `bkp01`:

```
194 Temperature_Celsius     0x0022   064   045   000    Old_age   Always       -       36
(Min/Max 21/55)
```

Zasilacze awaryjne (UPS) mają czujnik temperatury baterii, który przez SNMP udostępnia obiekt `upsBatteryTemperature` o numerze `1.3.6.1.2.1.33.1.2.7`, czyli temperaturę otoczenia przy obudowie baterii w stopniach Celsjusza [33]. Inteligentne listwy zasilające (PDU) często mają złącze na zewnętrzną sondę temperatury i wilgotności, a odczyt również idzie przez SNMP.

> **Pojęcie: PDU.** Listwa zasilająca montowana w szafie, która rozdziela prąd na serwery. Wersje inteligentne mierzą pobór prądu, a niektóre mają wejścia na zewnętrzne czujniki środowiska.

Termowizja przy przeglądzie rozdzielnicy

Kamera termowizyjna pozwala zobaczyć miejsca, w których połączenie elektryczne grzeje się bardziej niż sąsiednie, zanim dojdzie do awarii. Porównujemy zaciski tej samej fazy i trzy fazy między sobą, bo jednakowo obciążone punkty powinny mieć zbliżoną temperaturę. Prace przy rozdzielnicy pod napięciem wykonują tylko osoby z uprawnieniami, a zasady opisuje książka Uprawnienia SEP.

Odczyt błyszczących zacisków wymaga ostrożności, bo niska emisyjność zaniża wynik (Rysunek 4). Podejrzany punkt sprawdzamy drugi raz po przyklejeniu czarnej taśmy albo pirometrem w wersji z regulowaną emisyjnością.

Gotowe urządzenia komercyjne

Nie wskazujemy producentów, tylko klasy urządzeń, które spotykamy w serwerowniach.

- Sieciowy czujnik środowiska do szafy z wejściami na sondy temperatury i wilgotności, odczytywany przez SNMP albo HTTP.
- Sondy podłączane do inteligentnej listwy PDU albo do karty sieciowej UPS.
- Rejestrator temperatury z certyfikatem wzorcowania, z alarmem SMS albo pocztą, do chłodni i mroźni.
- Bezprzewodowe czujniki z komunikacją radiową dalekiego zasięgu, na baterię, do magazynu.
- Ręczna kamera termowizyjna do przeglądów rozdzielnic.
- Wzorcowy termometr kontaktowy z certyfikatem, do sprawdzania pozostałych.

Poza serwerownią

Chłodnia i magazyn Zielonej w Swarzędzu to łańcuch chłodniczy żywności. Marek kieruje magazynem, w którym towar schłodzony i mrożony nie może się ogrzać na żadnym etapie od przyjęcia do wydania. Dyrektywa Komisji 92/2/EWG mówi, że głęboko mrożona żywność ma być w temperaturze -18 °C albo niższej, a termometry kontrolne mają mieć dokładność ±0,5 °C w zakresie od -20 do 30 °C, rozdzielczość 0,1 °C i ważne świadectwo wzorcowania [34]. W komorach chłodniczych temperaturę sprawdza się przy drzwiach, w środku i przy powrocie powietrza [34].

Rozporządzenie Komisji (WE) nr 37/2005 wymaga rejestratorów temperatury w środkach transportu i magazynach żywności głęboko mrożonej, zgodnych z normami EN 12830, EN 13485 i EN 13486, a

zapisy przechowuje się co najmniej rok [35]. Norma EN 12830 obejmuje systemy rejestracji od -80 do 85 °C dla żywności, leków i produktów krwiopochodnych [36]. Z tego powodu własny czujnik DIY nie zastępuje w chłodni certyfikowanego rejestratora.

W medycynie termometr szklany z rtęcią zastąpiono elektronicznymi, a gotowe czujniki scalone, jak TMP117, są projektowane pod normę ISO 80601-2-56 dla termometrów medycznych [17]. Termometry czołowe i uszne korzystają z zasady pirometru [21]. W kuchni spotykamy termometry tarczowe na bimetalu oraz cyfrowe sondy z termistorem albo termoparą, które wbijamy w środek produktu. W domu to samo robi termostat grzejnika z bimetalem albo czujnikiem NTC [12][26].

Mity i sprostowania

Obiegowa wersja	Jak jest naprawdę
Termometr wymyślił Galileusz.	Galileusz najpewniej zbudował termoskop bez skali, a skalę dodał Santorio w 1612 roku. Termometr z kulkami nazywany jego imieniem zbudowano we Florencji i opisano w 1666 roku [1][2][4].
Celsjusz od początku miał 0 przy zamarzaniu wody.	W 1742 roku miał 0 przy wrzeniu i 100 przy zamarzaniu. Odwrócono to w latach 1743 do 1745, a o zasługę spierają się Christin, Linnaeus i Strömer [5].
Pt100 pokazuje 100 stopni.	Liczba mówi o oporności w 0 °C, czyli 100 omów. Temperaturę liczymy z tablic normy [9].
Termopara mierzy temperaturę złącza i tyle.	Mierzy różnicę względem zacisków miernika, więc bez kompensacji zimnego złącza wynik jest zaniżony o temperaturę zacisków [7].
DS18B20 pokazał 85 stopni, więc jest gorąco.	85 °C to wartość, z jaką startuje rejestr czujnika po włączeniu, zanim policzy pierwszy pomiar [14].
W serwerowni jest 22 °C, więc serwery też mają 22 °C.	Serwer ma temperaturę powietrza ze swojego wlotu, która potrafi być o kilkanaście stopni wyższa od temperatury pokoju [30][31].
Im chłodniej w serwerowni, tym lepiej.	Zalecany wlot to od 18 do 27 °C. Schłodzenie poniżej kosztuje energię i nie jest potrzebne [29].
Kamera termowizyjna pokazuje prawdziwą temperaturę każdej rzeczy.	Błyszczące powierzchnie o niskiej emisyjności wyglądają na zimniejsze, niż są [21][22].

Oś czasu

Data	Wydarzenie

około 1593 do 1606	Galileusz buduje termoskop, daty w źródłach różnią się, a autorstwo bywa kwestionowane [1][4]
1612	Santorio Santorio opisuje termoskop i dodaje skalę [3][4]
1654	Ferdynand II Medyceusz buduje zamknięty termometr alkoholowy ze skalą [4]
1666	Accademia del Cimento publikuje opis termometru z kulkami [2]
1701	Ole Rømer dodaje skalę do termoskopu [1]
około 1714	Fahrenheit buduje termometr rtęciowy i skalę [3][4]
1742	Celsius przedstawia skalę, w której 0 to wrzenie, a 100 zamarzanie [5]
1743 do 1745	skala Celsjusza zostaje odwrócona [5]
1759	Harrison stosuje bimetal w chronometrze morskim [26]
1800	Herschel odkrywa promieniowanie podczerwone [25]
1821	Seebeck opisuje zjawisko termoelektryczne, Davy stwierdza zależność oporności od temperatury [6][9]
1833	Faraday obserwuje ujemny współczynnik temperaturowy siarczku srebra [12]
1848	William Thomson proponuje skalę absolutną [3]
1871	Siemens proponuje platynę na czujnik rezystancyjny [9]
1878	Langley wynajduje bolometr [24]
1883	Wróblewski i Olszewski w Krakowie skraplają tlen [38][39]
1885	Callendar buduje pierwszy komercyjny platynowy czujnik rezystancyjny [9]
lata trzydzieste XX wieku	Samuel Ruben opracowuje komercyjny termistor [12]
1968	Steinhart i Hart publikują równanie dla termistorów [13]
od końca lat siedemdziesiątych	Honeywell rozwija mikrobolometry, odtajnione w 1992 roku [23]
1995	specyfikacja SMART trafia do domeny publicznej [20]
3 kwietnia 2009	w Unii Europejskiej kończy się sprzedaż konsumencka termometrów rtęciowych [27][37]
2021	piąte wydanie wytycznych ASHRAE Thermal Guidelines [29]

Wątek polski

W kwietniu 1883 roku w Krakowie Zygmunt Wróblewski i Karol Olszewski jako pierwsi na świecie skroplili tlen, azot i tlenek węgla w stanie trwałym [38][39]. W 1884 roku Olszewski skroplił wodór i osiągnął rekordową wtedy temperaturę -225 °C [38]. Źródła, które sprawdziliśmy, nie podają, jakich termometrów używali, więc tego nie opisujemy.

Polska norma na termoelementy to PN-EN 60584-1 [42]. Dla czujników Pt100 międzynarodowa norma IEC 60751 jest stosowana w Polsce na co dzień, ale numeru i roku aktualnego wydania w katalogu PKN nie sprawdziliśmy, więc go nie podajemy. Rejestratory w chłodnictwie żywności podlegają unijnej normie EN 12830, o której pisze rozporządzenie 37/2005 [35][36].

Czujniki temperatury produkują w Polsce między innymi Lumel z Zielonej Góry, który ma w ofercie czujniki, przetworniki i rejestratory oraz laboratorium badawczo-wzorcujące [40], oraz CZAKI Thermo-Product z Raszyna, działający od 1978 roku [41]. Nie udało się nam potwierdzić, czy i w jakim zakresie Główny Urząd Miar realizuje skalę temperatury, dlatego odsyłamy do jego wykazu usług metrologicznych. Polskiego wynalazcy termometru nie znaleźliśmy w sprawdzonych źródłach i nie twierdzimy, że taki istniał.

Częste błędy

Objaw	Przyczyna	Co robimy
Pokój 22 °C, a serwer zgłasza przegrzanie	czujnik na ścianie zamiast na wlocie	dokładamy czujniki na wlocie szafy, na trzech wysokościach
Termopara pokazuje temperaturę zaniżoną o kilkanaście stopni	brak kompensacji zimnego złącza albo zwykły miedziany przewód zamiast kompensacyjnego	używamy miernika z kompensacją i przewodu tego samego typu co termopara [7][45]
Pt100 na długim kablu pokazuje o 2 do 3 °C za dużo	układ dwuprzewodowy	przechodzimy na trzy albo cztery przewody
Po wymianie termistora wynik skoczył	inny parametr B albo rozrzut egzemplarzy	wpisujemy parametry konkretnego typu z karty katalogowej i sprawdzamy w punkcie 0 °C [12][13]
DS18B20 pokazuje 85 °C po restarcie	wartość startowa rejestru albo spadek zasilania	odrzucamy odczyt 85,0 i sprawdzamy zasilanie i rezystor podciągający [14]
Termowizja pokazuje zimny zacisk w gorącej rozdzielnicy	niska emisyjność powierzchni	naklejamy czarną taśmę albo ustawiamy emisyjność [22]
W Zabbixie brak danych z czujnika	rozłączony kabel albo wyłączona płytka	wyzwalacz braku danych, a potem sprawdzenie zasilania i połączeń

□□ Ćwiczenia

1. Dlaczego odczyt 22 °C z termometru na ścianie serwerowni nie wystarcza do oceny temperatury serwerów?

Odpowiedź

Serwer chłodzi się powietrzem z własnego wlotu z przodu szafy, a ta temperatura zależy od mieszania się gorącego i zimnego powietrza. Może być o kilkanaście stopni wyższa od temperatury pokoju, zwłaszcza u góry szafy [30][31]. Dlatego mierzymy na wlocie, na trzech wysokościach.

1. Termopara typu K daje 3,10 mV, a zaciski miernika mają 25 °C. Jaka jest temperatura złącza pomiarowego, jeśli czułość to około 41 µV/°C?

Odpowiedź

3,10 mV dzielone przez 0,041 mV/°C daje około 75 °C różnicy. Po dodaniu 25 °C zacisków wychodzi około 100 °C. Miernik bez kompensacji pokazałby 75 °C [7].

1. Pt100 w układzie dwuprzewodowym podłączono kablem, w którym każdy przewód ma 0,4 Ω. Ile stopni błędu to daje?

Odpowiedź

Dwa przewody dodają 0,8 Ω. Zmiana o 1 °C to około 0,385 Ω, więc błąd wynosi około 2,1 °C. W układzie trójprzewodowym miernik odjąłby tę stratę [9].

1. DS18B20 po włączeniu zasilania pokazuje dokładnie 85,0 °C. Co o tym sądzimy i co robimy w skrypcie?

Odpowiedź

85 °C to wartość początkowa rejestru czujnika, zanim wykona pierwszy pomiar, a nie temperatura powietrza [14]. W skrypcie odrzucamy ten odczyt i czekamy na następny. Jeśli wraca stale, sprawdzamy zasilanie i rezystor podciągający.

1. Pirometr pokazuje 30 °C na błyszczącym zacisku, a po przyklejeniu czarnej taśmy 62 °C. Który wynik uznajemy za wiarygodny i dlaczego?

Odpowiedź

62 °C, bo taśma ma emisyjność około 0,97, więc pirometr widzi własne promieniowanie powierzchni. Polerowany metal ma emisyjność bliską 0,05 i odbija otoczenie, więc pokazuje wartość zbliżoną do temperatury pokoju [21][22].

Źródła:

1. Wikipedia, Thermoscope
2. Wikipedia, Galileo thermometer
3. World History Encyclopedia, The Thermometer and the Scientific Revolution
4. Brannan, History of Thermometers
5. Wikipedia, Celsius
6. Wikipedia, Thermoelectric effect
7. Wikipedia, Thermocouple
8. TC Direct, Thermocouple accuracies (IEC 60584-1)
9. Wikipedia, Resistance thermometer
10. WIKA, Pt100 in class B or F 0.3, what does IEC 60751 say
11. Chemistry World, Callendar's platinum thermometer
12. Wikipedia, Thermistor
13. Wikipedia, Steinhart-Hart equation
14. Analog Devices, karta katalogowa DS18B20
15. Texas Instruments, karta katalogowa LM35
16. Analog Devices, karta katalogowa TMP35, TMP36, TMP37
17. Texas Instruments, karta katalogowa TMP117
18. Dokumentacja jądra Linuksa, coretemp
19. Dokumentacja jądra Linuksa, drivetemp
20. Wikipedia, S.M.A.R.T.
21. Wikipedia, Infrared thermometer
22. ThermoWorks, Emissivity Table
23. Wikipedia, Microbolometer
24. Wikipedia, Bolometer
25. Wikipedia, Infrared
26. Wikipedia, Bimetallic strip
27. Wikipedia, Mercury-in-glass thermometer
28. Wikipedia, Galinstan
29. ASHRAE, Thermal Guidelines, 5th edition, karta referencyjna

30. Upsite, What is the difference between ASHRAE's recommended and allowable limits, part 4
31. Upsite, Data Center Temperature Sensor Location
32. Zabbix 7.0, IPMI checks
33. Observium, UPS-MIB (RFC 1628), upsBatteryTemperature
34. Dyrektywa Komisji 92/2/EWG
35. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 37/2005
36. EVS, EN 12830:2018
37. RMF24, Termometry rtęciowe odchodzą do lamusa
38. Wikipedia, Karol Olszewski
39. Uniwersytet Jagielloński, 130. rocznica skroplenia gazów trwałych w Krakowie
40. Lumel S.A.
41. CZAKI Thermo-Product
42. Wikipedia (pl), Termopara
43. Wikipedia, Distributed temperature sensing
44. Wikipedia, Fiber Bragg grating
45. Thermosense Direct, Thermocouple technical reference

Termometry w praktyce: wybór, montaż i własny czujnik (DIY)

◫◫ Poziom: średnio

◫◫ Dotyczy: ESP32, ESPHome 2026.x, DS18B20, Raspberry Pi OS, Zabbix 7.0 LTS

▯ Czas: ~90 min

Budujemy własny zestaw czujników temperatury do szafy serwerowej: ESP32 z czterema sondami DS18B20 na jednej magistrali i alarmami w Zabbixie na `mon01`, a krócej wariant na Raspberry Pi. Wracamy tu przy montażu nowego zestawu, wymianie sondy i szukaniu przyczyny braku danych. Komendy ESPHome wykonujemy na stacji administratora z Pythonem 3.12 albo nowszym i dostępem do sieci serwerowni, a komendy drugiego wariantu na samej malince jako użytkownik z uprawnieniami sudo.

◫◫ Skróty użyte na tej stronie (24)

Skrót	Co znaczy
1-Wire	Magistrala firmy Dallas, w której czujniki rozmawiają z mikrokontrolerem po jednym przewodzie danych, a każdy czujnik ma własny adres
API	Application Programming Interface: sposób, w jaki programy rozmawiają ze sobą
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: amerykańskie stowarzyszenie inżynierów, którego zalecenia opisują temperaturę i wilgotność w serwerowniach
CE	Community Edition: darmowa, społecznościowa wersja Dockera, w odróżnieniu od płatnej wersji Enterprise
DIY	Do It Yourself: zrób to sam, czyli własnoręcznie zbudowany czujnik zamiast gotowego urządzenia
DS18B20	Cyfrowy czujnik temperatury z magistralą 1-Wire, z fabrycznym 64-bitowym adresem, popularny w układach domowych i małych serwerowniach
ESP32	Tani mikrokontroler z Wi-Fi i Bluetooth firmy Espressif: malutki komputer, z którego budujemy własne czujniki sieciowe

Skrót	Co znaczy
ESPHome	Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć
GPIO	General Purpose Input Output: uniwersalny pin mikrokontrolera, który można ustawić jako wejście albo wyjście
HTTP	Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW
IT	Information Technology: dział albo praca związana z komputerami i infrastrukturą firmy
JSON	JavaScript Object Notation: tekstowy format danych z klamrami i cudzysłowami
JSONPath	Zapis ścieżki, która wskazuje jedną wartość w dokumencie JSON, np. $.value to pole value na samym wierzchu
LTS	Long Term Support: wersja z długim wsparciem poprawkami
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport: lekki protokół, w którym urządzenia wysyłają krótkie wiadomości na nazwane tematy przez serwer pośredniczący
OS	Operating System: system operacyjny
PoE	Power over Ethernet: zasilanie urządzenia tym samym kablem sieciowym, którym płyną dane
ppoż.	Przeciwpożarowy: dotyczący ochrony przed pożarem, na przykład centrala ppoż.
REST	sposób budowania API przez zwykłe żądania HTTP (GET, POST) zamiast osobnego protokołu
SMS	Short Message Service: krótka wiadomość tekstowa na telefon, która dociera także bez internetu
URL	Uniform Resource Locator: adres strony lub zasobu
USB	Universal Serial Bus: standard portów i urządzeń podłączanych do komputera, tu pendrive'y i inne nośniki wymienne
Wi-Fi	Sieć bezprzewodowa: wygodna w biurze, ale w serwerowni dokłada kolejną możliwą przyczynę awarii
YAML	YAML Ain't Markup Language: format plików konfiguracyjnych oparty na wcięciach

Fiszka

□□ ZMIENIA SYSTEM

Instalacja ESPHome: pipx install esphome

```
pipx install esphome
```

ESPHome to narzędzie, które z jednego pliku YAML buduje program dla płytki ESP32 i wgrywa go przez USB albo przez sieć. Wersja 2026.9.1 wymaga Pythona 3.12 albo nowszego [1].

Przykład:

```
  installed package esphome 2026.9.1, installed using Python 3.13.5
  These apps are now globally available
    - esphome
done!
```

ESPHome = Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć · **YAML** = YAML Ain't Markup Language: format plików konfiguracyjnych oparty na wcięciach · **ESP32** = Tani mikrokontroler z Wi-Fi i Bluetooth firmy Espressif: malutki komputer, z którego budujemy własne czujniki sieciowe · **USB** = Universal Serial Bus: standard portów i urządzeń podłączanych do komputera, tu pendrive'y i inne nośniki wymienne · **pipx** = instaluje narzedzia napisane w Pythonie, kazde we wlasnym, odizolowanym srodowisku, bez mieszania zaleznosci miedzy programami

TYLKO ODCZYT

Wygenerowanie klucza API: openssl rand -base64 32

```
openssl rand -base64 32
```

Klucz szyfrujący natywne API ESPHome to 32 losowe bajty zapisane w base64. Wynik wpisujemy w sekcji `api` pliku konfiguracyjnego [2].

> W serwerowni Zielonej płytki to `esp01` i `esp02`: ESP32 z Ethernetem i zasilaniem PoE, a nie z Wi-Fi. Kabel nie zależy od zasięgu w szafie, a PoE zasila płytkę z przełącznika, więc nie ma osobnego zasilacza. Plik poniżej opisuje płytkę `esp02` w wariancie z Wi-Fi, który zostaje dla domu i do prób na biurku. W serwerowni zamiast bloku `wifi` wpisujemy blok `ethernet` jak na stronie ESPHome i urządzenia: adopcja esp01 i esp02, API albo MQTT, nazwy encji, a w sekcji `esp32` ustawiamy `board: esp32-poe`:

```
ethernet:
  type: LAN8720
  mdc_pin: GPIO23
  mdio_pin: GPIO18
  clk:
    pin: GPIO17
```

```
    mode: CLK_OUT
  phy_addr: 0
  power_pin: GPIO12
  manual_ip:
    static_ip: 10.20.10.71
    gateway: 10.20.10.1
    subnet: 255.255.255.0
    dns1: 10.20.10.11
```

Blok pochodzi z przykładu w dokumentacji ESPHome dla płytki Olimex ESP32-POE, a numery pinów sprawdzamy w opisie własnej płytki. Ethernet zajmuje część pinów, więc inne magistrale ustawiamy na wolnych. Magistrala 1-Wire na GPIO4 z pliku poniżej mieści się bez zmian.

API = Application Programming Interface: sposób, w jaki programy rozmawiają ze sobą · **ESPHome** = Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć · **ESP32** = Tani mikrokontroler z Wi-Fi i Bluetooth firmy Espressif: malutki komputer, z którego budujemy własne czujniki sieciowe · **PoE** = Power over Ethernet: zasilanie urządzenia tym samym kablem sieciowym, którym płyną dane · **Wi-Fi** = Sieć bezprzewodowa: wygodna w biurze, ale w serwerowni dokłada kolejną możliwą przyczynę awarii · **MQTT** = Message Queuing Telemetry Transport: lekki protokół, w którym urządzenia wysyłają krótkie wiadomości na nazwane tematy przez serwer pośredniczący · **1-Wire** = Magistrala firmy Dallas, w której czujniki rozmawiają z mikrokontrolerem po jednym przewodzie danych, a każdy czujnik ma własny adres · **openssl** = zestaw narzędzi do certyfikatów i szyfrowania

PLIK KONFIGURACYJNY

Plik konfiguracyjny ESPHome: esp02.yaml

```
esphome:
  name: esp02
  friendly_name: esp02

esp32:
  board: esp32dev
  framework:
    type: esp-idf

logger:

wifi:
```

```
  ssid: "NazwaSieciWifi"
  password: "HasloSieciWifi"
  ap:
    ssid: "esp02"
    password: "HasloAwaryjne"

# Bez klienta API (Home Assistant) płytka restartowałaby się co 15 minut,
# a u nas dane pobiera Zabbix przez web_server, więc wyłączamy ten restart.
api:
  encryption:
    # Przykładowy klucz (32 bajty w base64). Własny generujemy poleceniem openssl rand -
base64 32.
    key: "0690dTduZJXaRAhYiVWcgHzWAV4sXEigdsftww8qW+4="
  reboot_timeout: 0s

ota:
  - platform: esphome
    password: "HasloOta"

web_server:
  port: 80
  auth:
    username: "nazwa_usera"
    password: "HasloWebServera"

one_wire:
  - platform: gpio
    pin: GPIO4

sensor:
  # Adresy poniżej są przykładowe: podmieniamy je na adresy z dziennika (patrz niżej).
  - platform: dallas_temp
    name: "wlot_dol"
    address: 0x8c0000046e9b4f28
    resolution: 12
    update_interval: 30s
    filters:
      - offset: 0.0
  - platform: dallas_temp
```

```
    name: "wlot_srodek"
    address: 0x3d0000046e9c1a28
    resolution: 12
    update_interval: 30s
    filters:
      - offset: 0.0
  - platform: dallas_temp
    name: "wlot_gora"
    address: 0xe20000046e9d7b28
    resolution: 12
    update_interval: 30s
    filters:
      - offset: 0.0
  - platform: dallas_temp
    name: "korytarz_goracy"
    address: 0x510000046e9e2c28
    resolution: 12
    update_interval: 30s
    filters:
      - offset: 0.0
  - platform: wifi_signal
    name: "wifi_sygnal"
    update_interval: 60s
```

Plik opisuje całą płytkę: sieć Wi-Fi, szyfrowane API, aktualizacje przez sieć, serwer HTTP z prostym interfejsem REST, magistralę 1-Wire na pinie GPIO4 i cztery czujniki. Składnia `one_wire` z `platform: gpio` oraz `dallas_temp` jest aktualna w dokumentacji ESPHome [3][4]. Nazwy czujników celowo nie mają spacji ani polskich liter, bo wchodzą do adresu URL.

W prawdziwym pliku hasła trzymamy w `secrets.yaml` i zapisujemy je jako `!secret nazwa`. Tutaj stoją placeholdery, żeby plik był jednym blokiem do skopiowania.

Przykład wpisów w pliku `secrets.yaml` i odwołań do nich:

```
# secrets.yaml
wifi_haslo: "HasloSieciWifi"
api_klucz: "0690dTduZJXaRAhYiVWcgHzWAV4sXEigdsftww8qW+4="   # przykład, własny klucz
generujemy poleceniem openssl rand -base64 32
ota_haslo: "HasloOta"
```

```
# w esp02.yaml
wifi:
  password: !secret wifi_haslo
api:
  encryption:
    key: !secret api_klucz
ota:
  - platform: esphome
    password: !secret ota_haslo
```

ESPHome = Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć · **Wi-Fi** = Sieć bezprzewodowa: wygodna w biurze, ale w serwerowni dokłada kolejną możliwą przyczynę awarii · **API** = Application Programming Interface: sposób, w jaki programy rozmawiają ze sobą · **HTTP** = Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW · **REST** = sposób budowania API przez zwykłe żądania HTTP (GET, POST) zamiast osobnego protokołu · **1-Wire** = Magistrala firmy Dallas, w której czujniki rozmawiają z mikrokontrolerem po jednym przewodzie danych, a każdy czujnik ma własny adres · **URL** = Uniform Resource Locator: adres strony lub zasobu

PLIK KONFIGURACYJNY

Zamiana API na MQTT: sekcja mqtt

```
mqtt:
  broker: "NazwaBrokeraMqtt"
  username: "nazwa_usera"
  password: "HasloMqtt"
  topic_prefix: "serwerownia/esp02"
```

Ten blok wpisujemy w miejsce sekcji `api`, jeśli dane mają iść przez brokera MQTT, a nie przez Home Assistanta. Jeśli zostawimy oba, a nie ma klienta API, trzeba ustawić `reboot_timeout: 0s` w sekcji `api` [5].

API = Application Programming Interface: sposób, w jaki programy rozmawiają ze sobą · **MQTT** = Message Queuing Telemetry Transport: lekki protokół, w którym urządzenia wysyłają krótkie wiadomości na nazwane tematy przez serwer pośredniczący

TYLKO ODCZYT

Sprawdzenie pliku: esphome config esp02.yaml

```
esphome config esp02.yaml
```

Polecenie wczytuje plik, sprawdza składnię i parametry i wypisuje je w pełnej postaci, niczego nie wgrywając. Kończy się komunikatem `Configuration is valid!`.

esphome = ESPHome: buduje i wgrywa oprogramowanie na ESP32 z pliku YAML, pokazuje logi urządzenia

TYLKO ODCZYT

Wgranie programu przez USB: esphome run esp02.yaml

```
esphome run esp02.yaml
```

Przy pierwszym wgraniu płytkę podłączamy kablem USB do stacji administratora. Kolejne aktualizacje idą przez sieć, według ustawień z sekcji `ota`.

USB = Universal Serial Bus: standard portów i urządzeń podłączanych do komputera, tu pendrive'y i inne nośniki wymienne · **esphome** = ESPHome: buduje i wgrywa oprogramowanie na ESP32 z pliku YAML, pokazuje logi urządzenia

TYLKO ODCZYT

Odczyt adresów czujników: esphome logs esp02.yaml

```
esphome logs esp02.yaml
```

Po starcie ESPHome skanuje magistralę i wypisuje w dzienniku adresy wszystkich znalezionych urządzeń, nawet jeśli żaden czujnik nie jest jeszcze opisany w pliku [3]. Skanowanie widać także wtedy, gdy plik ma tylko sekcję `one_wire`.

Przykład (skrócony, bez znaczników czasu i nazw modułów):

```
Found devices:
  0x8c0000046e9b4f28 (DS18B20)
  0x3d0000046e9c1a28 (DS18B20)
  0xe20000046e9d7b28 (DS18B20)
  0x510000046e9e2c28 (DS18B20)
```

ESPHome = Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć · **esphome** = ESPHome: buduje i wgrywa oprogramowanie na ESP32 z pliku YAML, pokazuje logi urządzenia

TYLKO ODCZYT

Odczyt czujnika przez REST: curl

```
curl --user nazwa_usera http://NazwaCzujnika/sensor/wlot_gora
```

Przy takim zapisie `curl` pyta o hasło, więc nie zostaje ono w historii poleceń. Serwer HTTP płytki odpowiada obiektem JSON z polem `value`, które Zabbix wyciąga w następnym kroku [6].

Przykład:

```
{"id":"sensor/wlot_gora","state":"26.1 °C","value":26.1}
```

REST = sposób budowania API przez zwykłe żądania HTTP (GET, POST) zamiast osobnego protokołu · **HTTP** = Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW · **JSON** = JavaScript Object Notation: tekstowy format danych z klamrami i cudzysłowami · **curl** = client URL: pobieranie i wysyłanie przez HTTP z terminala

TYLKO ODCZYT

Edycja pliku konfiguracyjnego Raspberry Pi: sudoedit /boot/firmware/config.txt

```
sudoedit /boot/firmware/config.txt
```

Na Raspberry Pi OS plik `config.txt` leży w partycji startowej pod `/boot/firmware/` [7]. Na końcu pliku dopisujemy linię z następnej fiszki.

OS = Operating System: system operacyjny · **sudoedit** = sudo edit: bezpieczne otwarcie pliku z uprawnieniami administratora we własnym edytorze, z zapisem pliku dopiero po wyjściu

PLIK KONFIGURACYJNY

Włączenie magistrali 1-Wire: dtoverlay=w1-gpio

```
dtoverlay=w1-gpio
```

Nakładka `w1-gpio` uruchamia sterownik 1-Wire na pinie GPIO4, a pin można zmienić parametrem `gpiopin` [8]. Zmiana wchodzi w życie po ponownym uruchomieniu.

1-Wire = Magistrala firmy Dallas, w której czujniki rozmawiają z mikrokontrolerem po jednym przewodzie danych, a każdy czujnik ma własny adres

TYLKO ODCZYT

Ponowne uruchomienie systemu: sudo reboot

```
sudo reboot
```

reboot = restart systemu: zamyka usługi i uruchamia komputer od nowa

TYLKO ODCZYT

Lista czujników 1-Wire: ls /sys/bus/w1/devices/

```
ls /sys/bus/w1/devices/
```

Każdy czujnik DS18B20 ma katalog zaczynający się od `28-`, a dalej jego numer fabryczny. Prefiks `28` to kod rodziny układu [9].

Przykład:

```
28-3c01d6075a21  28-3c01d6075b32  28-3c01d6075c43  w1_bus_master1
```

1-Wire = Magistrala firmy Dallas, w której czujniki rozmawiają z mikrokontrolerem po jednym przewodzie danych, a każdy czujnik ma własny adres · **DS18B20** = Cyfrowy czujnik temperatury z magistralą 1-Wire, z fabrycznym 64-bitowym adresem, popularny w układach domowych i małych serwerowniach · **ls** = list: wypisz zawartość katalogu

TYLKO ODCZYT

Odczyt jednego czujnika: cat w1_slave

```
cat /sys/bus/w1/devices/28-NumerCzujnika/w1_slave
```

(gdzie `28-NumerCzujnika` to nazwa katalogu czujnika z poprzedniej fiszki)

Plik ma dwie linie. Pierwsza kończy się słowem `YES`, gdy suma kontrolna się zgadza, a druga zawiera temperaturę w tysięcznych stopnia po `t=`.

Przykład:

```
4b 01 4b 46 7f ff 05 10 d8 : crc=d8 YES
4b 01 4b 46 7f ff 05 10 d8 t=20687
```

cat = concatenate: sklej i wypisz pliki

□□ ZMIENIA SYSTEM

Instalacja programu zabbix_sender: sudo apt install zabbix-sender

```
sudo apt install zabbix-sender
```

`zabbix_sender` to mały program, który wysyła pojedyncze wartości do serwera Zabbix, bez agenta na maszynie [10].

□□ **apt** = Advanced Package Tool: menedżer pakietów Debiana i Ubuntu

□□ TYLKO ODCZYT

Wysyłka testowa wartości: zabbix_sender

```
zabbix_sender -z NazwaSerweraZabbix -s NazwaHosta -k KluczElementu -o Wartosc -vv
```

(gdzie `NazwaHosta` to nazwa hosta dokładnie taka, jak w Zabbixie, z rozróżnieniem wielkości liter, a `KluczElementu` to klucz elementu typu trapper)

Przykład:

```
info from server: "processed: 1; failed: 0; total: 1; seconds spent: 0.000052"
sent: 1; skipped: 0; total: 1
```

□□ **zabbix_sender** = Zabbix sender: wysyła pojedynczą wartość do elementu typu trapper w Zabbixie

□□ TYLKO ODCZYT

Skrypt Pythona: w1_do_zabbixa.py

```
#!/usr/bin/env python3
# -*- coding: utf-8 -*-
"""Odczyt czujników DS18B20 z magistrali 1-Wire i wysyłka do Zabbixa przez
zabbix_sender."""
import os
import subprocess
import sys

SERWER_ZABBIXA = "mon01"
```

```
NAZWA_HOSTA = "czujnik-rpi01"
KATALOG_W1 = "/sys/bus/w1/devices"

# numer czujnika z katalogu 28-... -> klucz elementu typu trapper w Zabbixie
CZUJNIKI = {
    "28-3c01d6075a21": "temp.wlot.dol",
    "28-3c01d6075b32": "temp.wlot.srodek",
    "28-3c01d6075c43": "temp.wlot.gora",
}


def odczytaj(numer, katalog=KATALOG_W1):
    """Zwraca temperaturę w °C albo None, gdy odczyt jest niepewny."""
    sciezka = os.path.join(katalog, numer, "w1_slave")
    try:
        with open(sciezka, encoding="ascii") as plik:
            linie = plik.read().splitlines()
    except OSError as blad:
        print("Brak odczytu %s: %s" % (numer, blad), file=sys.stderr)
        return None
    if len(linie) < 2 or not linie[0].endswith("YES"):
        print("Błędna suma kontrolna: %s" % numer, file=sys.stderr)
        return None
    pozycja = linie[1].find("t=")
    if pozycja < 0:
        return None
    mc = int(linie[1][pozycja + 2:])
    if mc == 85000:
        # 85,0 °C to wartość startowa układu, nie pomiar
        print("Wartość startowa 85 °C: %s" % numer, file=sys.stderr)
        return None
    return mc / 1000.0


def wyslij(wartosci):
    """Wysyła pary (klucz, wartość) jednym wywołaniem zabbix_sender."""
    wejscie = "".join(
        "%s %s %.3f\n" % (NAZWA_HOSTA, klucz, temp) for klucz, temp in wartosci
    )
```

```
    wynik = subprocess.run(
        ["zabbix_sender", "-z", SERWER_ZABBIXA, "-i", "-"],
        input=wejscie, text=True, capture_output=True, timeout=30,
    )
    print(wynik.stdout.strip())
    return wynik.returncode


def main():
    wartosci = []
    for numer, klucz in CZUJNIKI.items():
        temp = odczytaj(numer)
        if temp is not None:
            wartosci.append((klucz, temp))
    if not wartosci:
        print("Żaden czujnik nie dał poprawnego odczytu", file=sys.stderr)
        return 1
    return wyslij(wartosci)


if __name__ == "__main__":
    sys.exit(main())
```

Skrypt czyta pliki `w1_slave`, odrzuca odczyty z błędną sumą kontrolną i wartość startową 85 °C, a resztę wysyła jednym wywołaniem `zabbix_sender` na standardowe wejście programu. Numery w słowniku `CZUJNIKI` podmieniamy na numery z fiszki z listą czujników. Skrypt kompiluje się poleceniem `python3 -m py_compile`.

DS18B20 = Cyfrowy czujnik temperatury z magistralą 1-Wire, z fabrycznym 64-bitowym adresem, popularny w układach domowych i małych serwerowniach

ZMIENIA SYSTEM

Instalacja skryptu: sudo install

```
sudo install -m 0755 w1_do_zabbixa.py /usr/local/bin/w1_do_zabbixa.py
```

install = install: kopiuje pliki i tworzy katalogi z jednoczesnym ustawieniem uprawnień

TYLKO ODCZYT

Uruchomienie skryptu: python3 w1_do_zabbixa.py

```
python3 /usr/local/bin/w1_do_zabbixa.py
```

Przykład:

```
info from server: "processed: 3; failed: 0; total: 3; seconds spent: 0.000081"
sent: 3; skipped: 0; total: 3
```

python3 = uruchom interpreter Pythona w wersji 3 albo wskazany skrypt

ZMIENIA SYSTEM

Zadanie cykliczne: /etc/cron.d/w1-zabbix

```
* * * * * nazwa_usera /usr/bin/python3 /usr/local/bin/w1_do_zabbixa.py 2>&1 | logger -t
w1-zabbix
```

Wpis w katalogu `/etc/cron.d/` uruchamia skrypt co minutę jako wskazany użytkownik, a wynik trafia do dziennika systemowego pod znacznikiem `w1-zabbix`.

Z życia wzięte

Z ŻYCIA WZIĘTE

Poniedziałek, 7:35. Tomek wchodzi do serwerowni w Pamiątkowie i czuje, że jest ciepło, a wyświetlacz klimatyzatora pokazuje błąd po sobotnim zaniku zasilania. W Zabbixie nie ma żadnego alarmu, bo `hv02` i `hv01` zgłaszały ostrzeżenia temperatury tylko w swoich własnych logach, których nikt nie czytał. Serwery przetrwały dzięki zapasowi w ustawieniach wentylatorów, ale zespół uznał, że o przegrzaniu ma dowiadywać się z alarmu, a nie z zapachu. Tego samego dnia Tomek zamawia cztery sondy i płytkę, a do wieczora z Olą opisują, gdzie je zamontują.

Projekt DIY krok po kroku

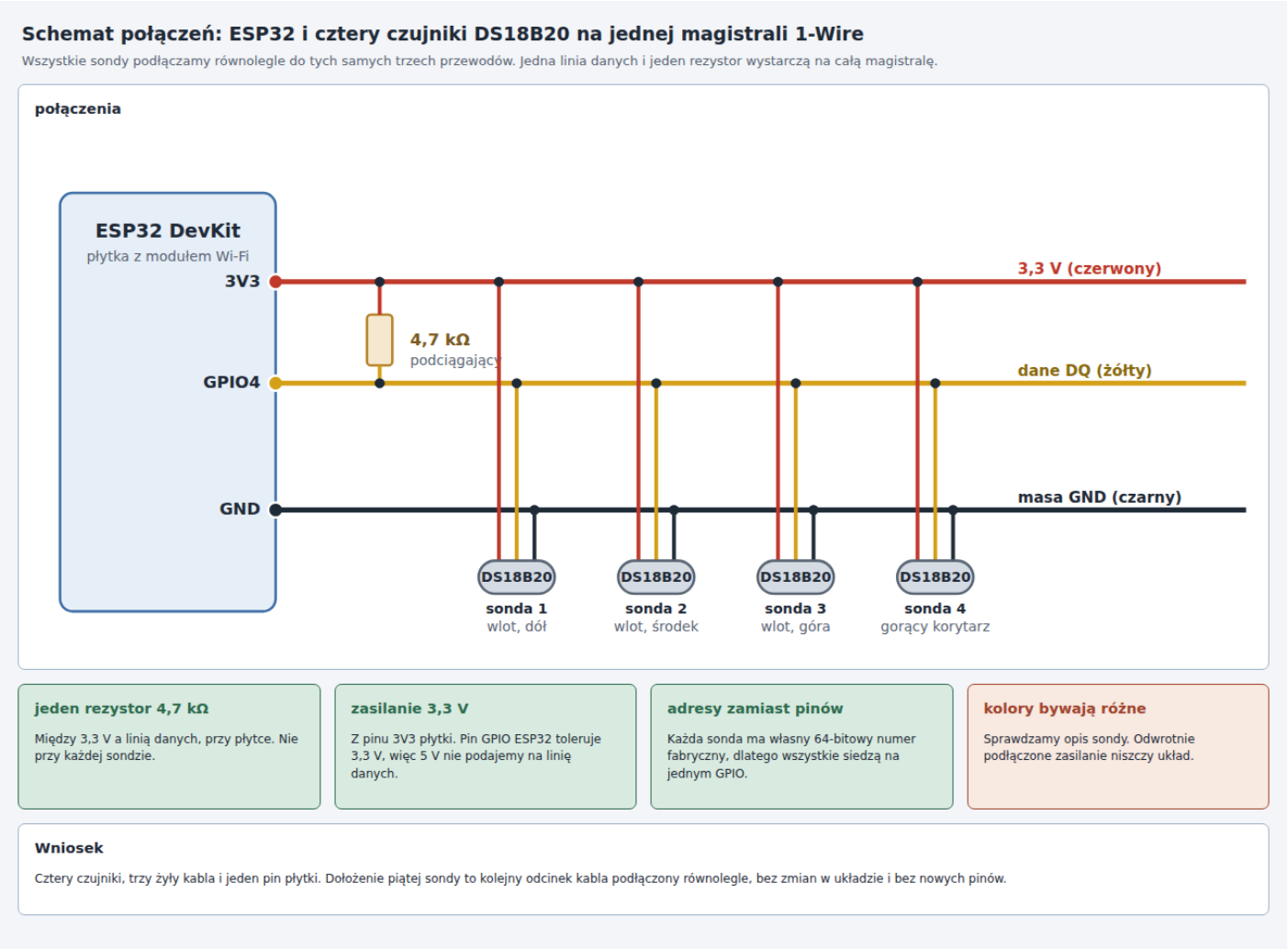
Zestaw mierzy temperaturę w czterech miejscach: trzy sondy na wlocie szafy (dół, środek, góra) i jedna w gorącym korytarzu. Dlaczego akurat tam, wyjaśnia strona Termometry: rodzaje, zasada

działania i zastosowania. Pierwsze trzy punkty to wartości, na których opiera się alarm, a czwarty służy do trendów i oceny różnicy temperatur.

Lista części

Część	Po co	Uwagi
Płytka ESP32 DevKit z modułem ESP32	procesor z Wi-Fi, który odczytuje czujniki i udostępnia je w sieci	płytka z gniazdem USB i wyprowadzonym pinem 3V3
Cztery sondy DS18B20 w stalowej gilzie na kablu	czujniki temperatury	wodoodporne sondy mają trzy przewody, a ich kolory różnią się między producentami
Rezystor 4,7 kΩ	podciągnięcie linii danych do 3,3 V	jeden na całą magistralę
Kabel trzyżyłowy albo skrętka	przedłużenie sond do miejsc w szafie	trzy żyły: zasilanie, masa i dane
Listwa zaciskowa albo lutowane połączenia z koszulkami	równoległe połączenie sond	sprawdzone, pewne styki
Zasilacz USB 5 V z certyfikatem CE	zasilanie płytki	z listwy w szafie, najlepiej z gniazda objętego zasilaniem awaryjnym
Obudowa na płytkę	ochrona przed kurzem i przypadkowym zwarciem	otwory na kable i dostęp do portu USB
Opaski, uchwyty i taśma dwustronna	mocowanie sond	z tworzywa, żeby sonda nie dotykała metalowej szafy
Termometr wzorcowy z certyfikatem wzorcowania	sprawdzenie sond	albo zlecenie wzorcowania w laboratorium
Lód i woda	punkt odniesienia 0 °C	w naczyniu o wysokich ściankach

Schemat połączeń



Rysunek 6. Schemat połączeń: wszystkie sondy podłączamy równolegle do zasilania 3,3 V, masy i jednej linii danych na pinie GPIO4. Jeden rezystor 4,7 kΩ między 3,3 V a linią danych obsługuje całą magistralę (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Wszystkie cztery sondy łączymy równolegle, bo każda ma własny 64-bitowy adres i magistrala 1-Wire rozróżnia je po nim [9]. Zasilamy je z pinu 3V3 płytki, a rezystor 4,7 kΩ łączymy między 3V3 i linią danych. Dokumentacja ESPHome dopuszcza wartości w granicach ±1 kΩ, o ile kable nie są niezwykle długie [3].

Czujnik DS18B20 od SparkFun. Takie sondy łączymy równolegle do jednej linii danych, a kolory prze

Czujnik DS18B20 od SparkFun. Takie sondy łączymy równolegle do jednej linii danych, a kolory przewodów sprawdzamy w opisie konkretnej sondy. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Układ DS18B20 można też zasilać z linii danych (zasilanie pasożytnicze), ale w serwerowni wybieramy osobny przewód zasilający, bo daje stabilniejsze odczyty na dłuższym kablu [9]. Odwrotnie podłączone zasilanie nagrzewa i niszczy układ, więc kolory przewodów sprawdzamy w opisie sondy.

Pierwsze uruchomienie i adresy czujników

Najpierw wgrywamy plik tylko z sekcjami `wifi`, `api`, `ota` i `one_wire`, bez sekcji `sensor`. Po starcie dziennik (fiszka Odczyt adresów czujników) pokazuje cztery adresy, bo skanowanie magistrali działa także bez opisanych czujników [3].

Żeby poznać, który adres należy do której sondy, ogrzewamy ją w dłoni i obserwujemy, która wartość rośnie. Potem uzupełniamy plik o sekcję `sensor` z właściwymi adresami i nazwami `wlot_dol`, `wlot_srodek`, `wlot_gora` i `korytarz_goracy`. Adresów nie zastępujemy numerami kolejnymi (`index`), bo kolejność zmienia się po dodaniu albo wymianie sondy [4].

Montaż w szafie

Trzy sondy mocujemy na wlocie najwyższego, środkowego i najniższego serwera, około 5 cm przed obudową, tak jak opisuje ASHRAE przy sprawdzaniu instalacji [11]. Czwartą sondę zawieszamy za szafą, w gorącym korytarzu, mniej więcej na środku wysokości. Kable prowadzimy wzdłuż prowadnic szafy, a nie przez wlot powietrza, i nie zasłaniamy wentylatorów.

◫ ZRZUT EKRANU DO UZUPEŁNIENIA

Zdjęcie do zrobienia po montażu: szafa 1 z frontu, trzy sondy na wlocie na trzech wysokościach i opis każdej sondy na kablu.

Płytkę ESP32 montujemy poza strumieniem gorącego powietrza, najlepiej z boku szafy od strony zimnego korytarza. Sondy opisujemy na obu końcach kabla, a adresy zapisujemy w tabeli w NetBoxie przy szafie.

Kalibracja i porównanie z wzorcem

> **Pojęcie: wzorcowanie.** Porównanie wskazań przyrządu z wzorcem o znanej, wyższej dokładności i zapisanie różnicy. Oddzielnym krokiem jest regulacja, czyli poprawienie wskazań, na przykład przez dopisanie stałej poprawki w pliku konfiguracyjnym.

Punkt 0 °C przygotowujemy w kąpieli lodowej. Wysokie naczynie napełniamy po brzegi pokruszonym lodem, dolewamy wody tak, żeby sięgała pół centymetra poniżej brzegu, i czekamy minutę lub dwie [12]. Sondy zanurzamy w środku mieszaniny i delikatnie mieszamy, żeby nie dotykały ścianek ani dna, bo wtedy wynik jest fałszywy [12].

Dobrze przygotowana kąpiel ma 0 °C z dokładnością do ułamków stopnia, a źle przygotowana, na przykład zwykła szklanka z kostkami lodu, potrafi pokazać kilkanaście stopni za dużo [12].

DS18B20 w tym zakresie ma gwarantowane ±0,5 °C [9]. Odczyt zapisujemy dla każdej sondy osobno.

Drugi punkt wybieramy blisko temperatury pracy, w pokoju około 22 do 25 °C. Wszystkie sondy leżą obok siebie z wzorcowym termometrem w tym samym miejscu przez co najmniej kilkanaście minut, a potem porównujemy odczyty. Różnice poniżej ±0,5 °C przyjmujemy bez zmian, a większe korygujemy poprawką `offset` w sekcji `filters` danej sondy.

Obudowa i miejsce montażu

Obudowa płytki ma dostęp powietrza, bo ESP32 się grzeje i nie powinien podgrzewać sond. Sondy wychodzą kablem na zewnątrz i nie wiszą przy samej obudowie płytki. Płytkę zasilamy zasilaczem USB z listwy w szafie, a kabel USB prowadzimy tak, żeby nikt nie zahaczył o niego przy pracach w szafie.

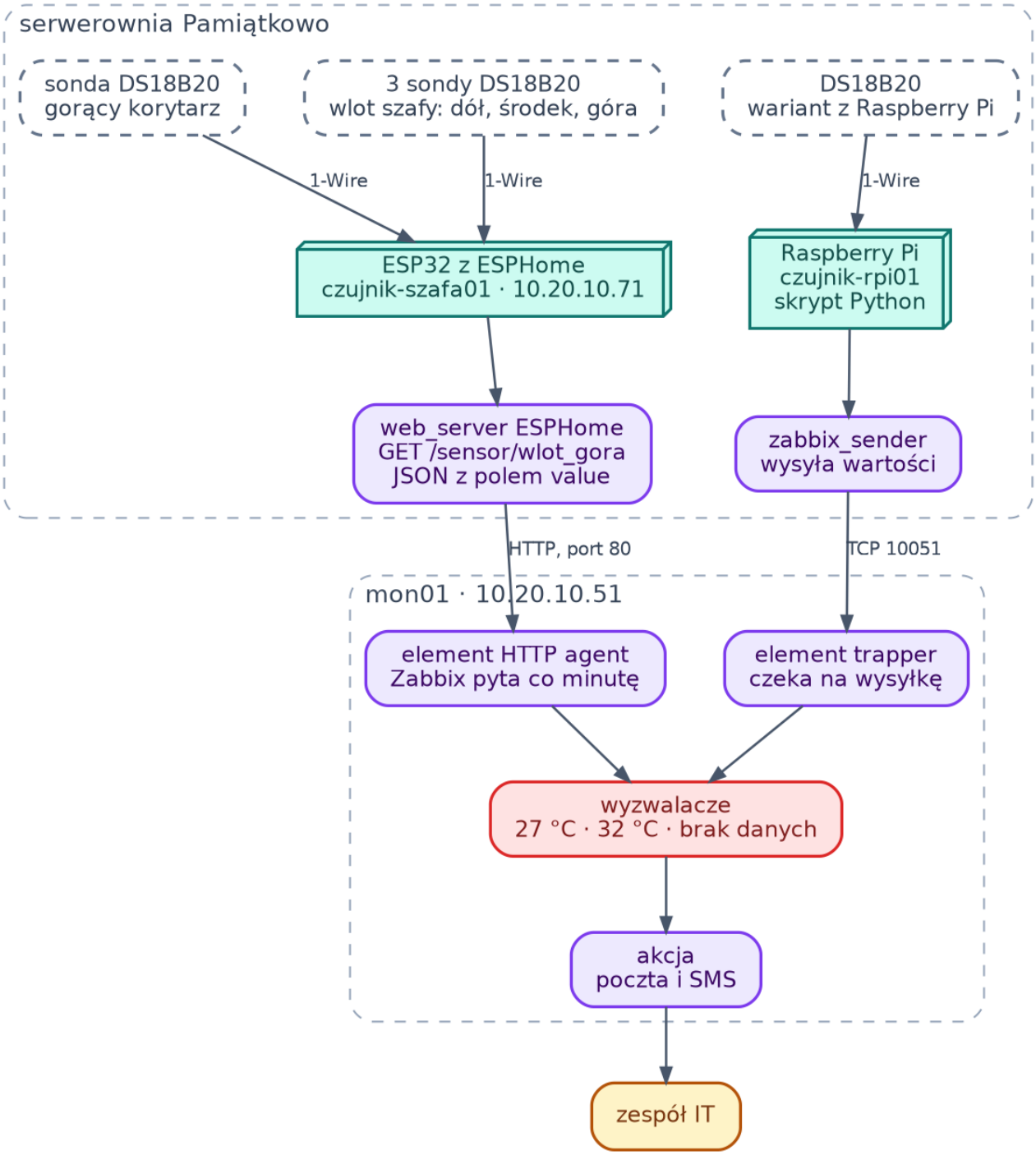
Drugi wariant: Raspberry Pi

Ten sam czujnik DS18B20 podłączamy do Raspberry Pi. Fizycznie łączymy pin 1 (3,3 V), pin 7 (GPIO4) i pin 9 (masa) z trzema żyłami sond, a rezystor 4,7 kΩ stawiamy między pinami 1 i 7. Schemat jest ten sam co na Rysunku 6, tylko zamiast płytki ESP32 stoi złącze malinki.

Włączamy nakładkę 1-Wire fiszkami Edycja pliku konfiguracyjnego, Włączenie magistrali i Ponowne uruchomienie. Nakładka `w1-gpio` ma też wariant `w1-gpio-pi5`, opisany jako wersja dla Raspberry Pi 5 [8]. Po restarcie czujniki widać w katalogu `/sys/bus/w1/devices/`.

Dane trafiają do Zabbixa przez element typu trapper, a nie przez odpytywanie. Skrypt z fiszki Skrypt Pythona czyta czujniki i co minutę wysyła wartości do `mon01` programem `zabbix_sender` [10]. Host w Zabbixie nazywa się tak samo jak `NAZWA_HOSTA` w skrypcie, czyli `czujnik-rpi01`.

Integracja z monitoringiem



Rysunek 7. Droga danych do Zabbixa: Zabbix sam pyta płytkę ESP32 przez HTTP, a malinka wysyła wartości przez zabbix_sender. Oba źródła spotykają się w wyzwalaczach na mon01 (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Dla ESP32 wybieramy odpytywanie. Zabbix co minutę pyta płytkę o wartości przez serwer HTTP ESPHome, a odpowiedź JSON ma pole `value`, które element wyciąga ścieżką JSONPath [6]. Dzięki temu na płytce nie trzeba żadnych dodatków, a gdy płytka milknie, Zabbix to widzi.

Host i makra w Zabbixie

> **Pojęcie: element HTTP agent.** Element danych, który sam wysyła zapytanie HTTP pod wskazany adres i przetwarza odpowiedź. Typ elementu opisuje strona o pojęciach Zabbixa, a w wersji 7.0 pozwala na uwierzytelnianie podstawowe i przetwarzanie wstępne JSONPath [13].

Ścieżka w interfejsie, w której tworzymy host:

```
Data collection → Hosts → Create host
```

Host nazywamy `esp02`, dodajemy go do nowej grupy `Czujniki środowiska` i nie dodajemy żadnego interfejsu agenta, bo na płytce nie działa agent Zabbixa. Na hoście ustawiamy makra z tabeli.

Makro	Wartość	Po co
`{$CZUJNIK.ADRES}`	`10.20.10.71`	adres płytki ESP32
`{$CZUJNIK.UZYTKOWNIK}`	nazwa użytkownika z sekcji `web_server`	uwierzytelnianie do serwera HTTP
`{$CZUJNIK.HASLO}`	hasło z sekcji `web_server`, typ Secret text	hasło nie jest widoczne w interfejsie
`{$TEMP.WLOT.OSTRZEZENIE}`	`27`	górna granica zalecana (°C)
`{$TEMP.WLOT.KRYTYCZNY}`	`32`	górna granica dopuszczalna klasy A1 (°C)

Progi wynikają z zaleceń ASHRAE: 27 °C to górna granica zalecanego zakresu wlotu 18 do 27 °C, a 32 °C to górna granica zakresu dopuszczalnego klasy A1 [11][14]. Jeśli karta katalogowa serwera przewiduje klasę A2 albo szerszą, próg krytyczny podnosimy zgodnie z nią.

Elementy danych

Dla każdej sondy tworzymy jeden element. Zasady są takie same, zmienia się tylko nazwa i końcówka adresu.

Nazwa	Typ	Klucz	URL	Przetwarzanie wstępne
Wlot, dół	HTTP agent	`temp.wlot.dol`	`http://{$CZUJNIK.ADRES}/sensor/wlot_dol`	JSONPath `$.value`
Wlot, środek	HTTP agent	`temp.wlot.srodek`	`http://{$CZUJNIK.ADRES}/sensor/wlot_srodek`	JSONPath `$.value`
Wlot, góra	HTTP agent	`temp.wlot.gora`	`http://{$CZUJNIK.ADRES}/sensor/wlot_gora`	JSONPath `$.value`

Nazwa	Typ	Klucz	URL	Przetwarzanie wstępne
Gorący korytarz	HTTP agent	`temp.korytarz.goracy`	`http://{$CZUJNIK.ADRES}/sensor/korytarz_goracy`	JSONPath `$.value`

W każdym elemencie ustawiamy: typ informacji liczba zmiennoprzecinkowa, jednostka `°C`, interwał 1m, uwierzytelnianie podstawowe z makrami użytkownika i hasła, a historię i trendy według zasad bazy. Wartość `NaN` z uszkodzonej sondy nie przejdzie przez konwersję na liczbę, więc element stanie się niewspierany, a wtedy zadziała alarm braku danych.

Dla wariantu z malinką tworzymy host `czujnik-rpi01` z trzema elementami typu Zabbix trapper o kluczach `temp.wlot.dol`, `temp.wlot.srodek` i `temp.wlot.gora`. W polu Allowed hosts wpisujemy adres Raspberry Pi. Wartości wysyła skrypt, a nazwa hosta w wywołaniu musi być identyczna z nazwą w Zabbixie [10].

Wyzwalacze

Wyrażenia zapisujemy w składni Zabbixa 7.0, w której nazwę hosta i klucz podajemy w ukośnikach [15]. Próg ostrzegawczy sprawdzamy na wartości minimalnej z pięciu minut, czyli alarm zgłaszamy dopiero wtedy, gdy każdy odczyt w tym czasie jest powyżej progu.

Ostrzeżenie o wysokiej temperaturze na wlocie (poziom Warning):

```
min(/esp02/temp.wlot.gora,5m)>{$TEMP.WLOT.OSTRZEZENIE}
or min(/esp02/temp.wlot.srodek,5m)>{$TEMP.WLOT.OSTRZEZENIE}
or min(/esp02/temp.wlot.dol,5m)>{$TEMP.WLOT.OSTRZEZENIE}
```

Wyrażenie powrotu, które daje histerezę jednego stopnia, żeby alarm nie migał na granicy:

```
max(/esp02/temp.wlot.gora,5m)<{$TEMP.WLOT.OSTRZEZENIE}-1
and max(/esp02/temp.wlot.srodek,5m)<{$TEMP.WLOT.OSTRZEZENIE}-1
and max(/esp02/temp.wlot.dol,5m)<{$TEMP.WLOT.OSTRZEZENIE}-1
```

Alarm krytyczny, wyższy próg i krótszy czas (poziom Disaster):

```
min(/esp02/temp.wlot.gora,3m)>{$TEMP.WLOT.KRYTYCZNY}
or min(/esp02/temp.wlot.srodek,3m)>{$TEMP.WLOT.KRYTYCZNY}
or min(/esp02/temp.wlot.dol,3m)>{$TEMP.WLOT.KRYTYCZNY}
```

Brak danych z któregokolwiek czujnika (poziom High):

```
nodata(/esp02/temp.wlot.gora,5m)=1
or nodata(/esp02/temp.wlot.srodek,5m)=1
or nodata(/esp02/temp.wlot.dol,5m)=1
or nodata(/esp02/temp.korytarz.goracy,5m)=1
```

Funkcje `min`, `max` i `nodata` oraz wyrażenie powrotu to standardowe elementy składni wyzwalaczy Zabbixa [15]. Sondy w gorącym korytarzu nie obejmujemy alarmem temperatury, bo wylot jest z natury cieplejszy. Zbieramy z niej historię, żeby widzieć różnicę temperatur między korytarzami.

Akcja: poczta i SMS

Ścieżka w interfejsie, w której tworzymy akcję:

```
Alerts → Actions → Trigger actions → Create action
```

Dla poziomów od Warning w górę wysyłamy wiadomość pocztą do grupy użytkowników IT. Dla poziomu Disaster dodajemy drugą operację, czyli SMS przez typ nośnika SMS z modemem albo przez webhook do bramki SMS. Zasady łączenia zdarzenia z reakcją opisuje strona o pojęciach Zabbixa.

Test progów robimy bez grzania szafy: tymczasowo obniżamy makra `{$TEMP.WLOT.OSTRZEZENIE}` i `{$TEMP.WLOT.KRYTYCZNY}` do kilku stopni powyżej bieżącej temperatury, a sondę ogrzewamy w dłoni. Po sprawdzeniu, że alarmy i wiadomości dochodzą, przywracamy 27 i 32.

Bezpieczeństwo i ograniczenia

Własny czujnik nie ma świadectwa wzorcowania ani deklaracji zgodności, a jego dokładność wynika wyłącznie z karty katalogowej DS18B20 i z naszej kalibracji w kąpieli lodowej. Dlatego traktujemy go jako uzupełnienie istniejącego monitoringu, a nie jego zastąpienie.

- Gwarancja i ubezpieczenie: urządzenie własnej roboty w szafie z serwerami może być sprzeczne z warunkami gwarancji sprzętu albo polisy. Przed montażem uzgadniamy je z zarządcą serwerowni i ubezpieczycielem, a prace wykonujemy tylko na niskim napięciu i z gotowym zasilaczem z oznaczeniem CE.
- Chłodnia w Swarzędzu: dla żywności głęboko mrożonej wymagane są rejestratory zgodne z EN 12830, EN 13485 i EN 13486, a zapisy przechowujemy co najmniej rok, więc zestaw DIY ich nie zastępuje [16][17].
- Sygnalizacja pożarowa: czujki temperatury w systemie ppoż. podlegają serii norm EN 54 i odbiorowi, a nasz zestaw w żaden sposób ich nie zastępuje [18].
- Czujnik przy wylocie zasilacza serwera pokazuje temperaturę wylotu, nie wlotu. Montujemy sondy tylko na froncie szafy.

- Samonagrzewanie: sam DS18B20 grzeje się pomijalnie, ale płytka ESP32 i zasilacz USB nie, więc sondy prowadzimy kablem z dala od nich.
- Sieć: serwer HTTP ESPHome domyślnie używa uwierzytelniania podstawowego, a dokumentacja zapowiada zmianę domyślnego schematu na digest w wersji 2027.1.0 [6]. Na `fw01` ograniczamy dostęp do portu 80 płytki do adresu `mon01` i nie wystawiamy go poza serwery.
- Wi-Fi w serwerowni bywa niestabilne za metalowymi szafami. Jeśli odczyty wypadają, przechodzimy na wersję z przewodową siecią Ethernet, którą ESPHome również obsługuje.
- Aktualizacje: płytkę aktualizujemy przez sieć według sekcji `ota`, a przed aktualizacją sprawdzamy, że nie wypada okno zmian w listopadzie i styczniu.

Częste błędy

Objaw	Przyczyna	Co robimy
W dzienniku `Found no devices!`	brak rezystora podciągającego, zły pin albo odwrócone zasilanie	sprawdzamy 4,7 kΩ między 3V3 i linią danych, pin GPIO4 i kolory przewodów [3]
Sonda mocno się nagrzewa, a odczytu brak	odwrócone zasilanie	odłączamy zasilanie i wymieniamy sondę
Odczyt zawsze 85,0 °C	wartość startowa układu albo spadek napięcia	sprawdzamy zasilanie, dodajemy odrzucanie 85,0, jak w skrypcie [9]
Odczyty skaczą albo część brakuje	zbyt długi kabel, słabe styki	skracamy kabel, lutujemy zamiast skręcać, sprawdzamy rezystor [3]
Płytka restartuje się co 15 minut	sekcja `api` bez klienta i bez `reboot_timeout: 0s`	dopisujemy `reboot_timeout: 0s` albo przechodzimy na MQTT [5]
Element w Zabbixie niewspierany	błędny URL, hasło albo brak JSONPath	sprawdzamy `curl` z tego samego adresu i przetwarzanie wstępne `$.value`
`zabbix_sender` zgłasza `failed: 1`	nazwa hosta inna niż w Zabbixie, brak elementu trapper albo zły Allowed hosts	porównujemy nazwę hosta, klucz i adres nadawcy [10]
Odczyt w kąpieli lodowej 1 do 2 °C zamiast 0	lód bez wody, sonda przy ściance albo dnie	robimy kąpiel od nowa: pokruszony lód, woda, mieszanie, sonda w środku [12]
Czujnik w szafie pokazuje o kilka stopni za dużo	sonda przy wylocie zasilacza albo dotyka metalu	przenosimy na front i mocujemy w uchwycie z tworzywa

□□ Ćwiczenia

1. Ile rezystorów 4,7 kΩ potrzeba przy czterech sondach DS18B20 na jednej magistrali?

Odpowiedź

Jeden, na całą magistralę. Łączymy go między zasilaniem 3,3 V a linią danych, przy płytce [3].

1. Dlaczego sondy zasilamy z pinu 3V3, a nie z 5 V?

Odpowiedź

Piny GPIO płytki ESP32 pracują na 3,3 V, a linia danych jest podciągana do napięcia zasilania sond. DS18B20 wystarcza zasilanie od 3,0 do 5,5 V, więc 3,3 V jest bezpieczne dla obu stron [9].

1. Jakie wyrażenie wyzwalacza zgłosi brak danych z sondy `temp.wlot.gora` po pięciu minutach?

Odpowiedź

`nodata(/esp02/temp.wlot.gora,5m)=1`. Wyzwalacz przejdzie w stan problemu, gdy przez pięć minut nie przyjdzie żadna wartość, także wtedy, gdy element stał się niewspierany [15].

1. Sonda w kąpieli lodowej pokazuje 0,4 °C. Wymieniamy ją czy korygujemy?

Odpowiedź

Nie wymieniamy. Producent gwarantuje ±0,5 °C w tym zakresie, więc 0,4 °C mieści się w tolerancji [9]. Jeśli chcemy większej zgodności, dopisujemy poprawkę `offset: -0.4` w sekcji `filters` tej sondy, ale tylko po sprawdzeniu drugiego punktu z termometrem wzorcowym.

1. Dlaczego czwarta sonda w gorącym korytarzu nie ma własnego alarmu temperatury?

Odpowiedź

Gorący korytarz jest z natury cieplejszy, bo zbiera powietrze po przejściu przez serwery. Zalecenia ASHRAE dotyczą wlotu, więc alarmy ustawiamy na trzech sondach przy froncie, a czwartą zbieramy tylko do historii i trendów [11][14].

Źródła:

1. PyPI, esphome (wersja 2026.9.1, wymagany Python od 3.12)
2. ESPHome, Native API Component

3. ESPHome, 1-Wire Bus oraz 1-Wire przez GPIO
4. ESPHome, Dallas Temperature Sensor
5. ESPHome, MQTT Client Component
6. ESPHome, Web Server Component oraz Web Server API
7. Raspberry Pi, config.txt
8. Raspberry Pi, opis nakładek (overlays README)
9. Analog Devices, karta katalogowa DS18B20
10. Zabbix 7.0, zabbix_sender oraz strona podręcznika zabbix_sender
11. Upsite, Data Center Temperature Sensor Location
12. ThermoWorks, How to Create a Properly Made Ice Bath
13. Zabbix 7.0, element HTTP agent
14. ASHRAE, Thermal Guidelines, 5th edition, karta referencyjna
15. Zabbix 7.0, wyrażenia wyzwalaczy
16. Rozporządzenie Komisji (WE) nr 37/2005
17. EVS, EN 12830:2018
18. Wikipedia, EN 54