Higrometry

Wilgotność, punkt rosy, rodzaje czujników i własny czujnik.

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

Higrometry: rodzaje, zasada działania i zastosowania

Poziom: podstawy

Dotyczy: pomiar wilgotności powietrza, serwerownia, magazyn, ASHRAE TC 9.9 wydanie 5 (2021)

Czas: ~40 min

Higrometr to przyrząd do pomiaru wilgotności powietrza, a ta strona opisuje wszystkie ważniejsze rodzaje, od włosa Saussure'a po czujnik wielkości ziarenka ryżu. Wyjaśniamy, czym różni się wilgotność względna od punktu rosy, które czujniki nadają się do serwerowni i dlaczego. Wracamy tu, gdy wybieramy czujnik albo gdy odczyt wygląda podejrzanie.

Pojęcie: higrometr. Przyrząd, który mierzy, ile pary wodnej jest w powietrzu. Czujnik wilgotności na płytce elektronicznej też jest higrometrem, tylko bardzo małym.

Pojęcie: wilgotność względna. Stosunek ilości pary wodnej, jaka jest w powietrzu, do największej ilości, jaką to powietrze może unieść w danej temperaturze. Podajemy ją w procentach i zapisujemy skrótem RH. Przy 100 % powietrze jest nasycone i para zaczyna się skraplać.

Pojęcie: punkt rosy. Temperatura, do której trzeba ochłodzić powietrze, żeby jego wilgotność względna doszła do 100 % i na zimnej powierzchni pojawiła się rosa. Zależy tylko od ilości pary w powietrzu, a nie od tego, jak ciepłe jest powietrze teraz.

Skróty użyte na tej stronie (20)

Skrót	Co znaczy
AM2302	Inna nazwa czujnika DHT22 w obudowie z trzema wyprowadzeniami
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: amerykańskie stowarzyszenie inżynierów, którego zalecenia opisują temperaturę i wilgotność w serwerowniach

Skrót	Co znaczy
BME280	Bosch BME280: czujnik temperatury, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego na I2C lub SPI, dokładność wilgotności około 3 %
DHT11	Tani czujnik wilgotności i temperatury z jednym przewodem danych: mierzy wilgotność w zakresie 20 do 80 % z dokładnością około 5 %, więc nadaje się do zabawy, nie do serwerowni
DHT22	Czujnik wilgotności i temperatury z jednym przewodem danych (AM2302): zakres 0 do 100 %, dokładność 2 do 5 %, odczyt najwyżej raz na 2 sekundy
ESP32	Tani mikrokontroler z Wi-Fi i Bluetooth firmy Espressif: malutki komputer, z którego budujemy własne czujniki sieciowe
ESPHome	Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć
EURAMET	European Association of National Metrology Institutes: europejskie stowarzyszenie krajowych urzędów miar
FAQ	Frequently Asked Questions: zbiór najczęściej zadawanych pytań z odpowiedziami
GUM	Główny Urząd Miar: polski urząd, który prowadzi państwowe wzorce, m.in. punktu rosy, i do którego wysyłamy przyrządy na wzorcowanie
HTTP	Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW
I2C	Inter-Integrated Circuit: prosta dwuprzewodowa magistrala, którą mały układ (np. czujnik) rozmawia z mikrokontrolerem
IARC	International Agency for Research on Cancer: Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem, wymieniana przy ocenie ryzyka związanego z solami kobaltu
ISO	International Organization for Standardization: organizacja, która wydaje normy techniczne używane na całym świecie
PN-EN	Polska Norma będąca wersją normy europejskiej, np. PN-EN 54 dla elementów systemów sygnalizacji pożaru
RH	Relative Humidity: wilgotność względna, czyli ile pary wodnej powietrze zawiera w stosunku do maksimum, które mogłoby utrzymać w danej temperaturze, podawana w procentach
RHT03	Inna nazwa czujnika DHT22 używana przez producenta Maxdetect
SHT31	Sensirion SHT31: cyfrowy czujnik temperatury i wilgotności z magistralą I2C, w serwerowni dobry wybór ze względu na dokładność około 2 % RH
SHT40	Sensirion SHT40: następca SHT31, mniejszy i oszczędniejszy cyfrowy czujnik temperatury i wilgotności na I2C
SNMP	Simple Network Management Protocol: protokół odczytu stanu urządzeń sieciowych

Z życia wzięte

□□ Z ŻYCIA WZIĘTE

Piątek, 16:10. Technik serwisowy wyłącza w serwerowni w Pamiątkowie klimatyzację precyzyjną na dwadzieścia minut, temperatura rośnie z 24 do 30 °C, a czujnik na szafie pokazuje, że wilgotność względna spadła z 45 do 32 %. Tomek, w drugim tygodniu pracy, chce włączyć nawilżacz, bo „zrobiło się sucho”. Zerkamy na punkt rosy: 11 °C, tyle samo co przed przerwą. W powietrzu jest dokładnie tyle samo wody, tylko powietrze jest cieplejsze, więc nawilżacz zostaje wyłączony.

Skąd się wzięło

Pierwsze próby mierzenia wilgotności były ważeniem. Mikołaj z Kuzy około 1450 roku opisał, że kłąb wełny zawieszony na jednym ramieniu wagi robi się cięższy, gdy powietrze jest wilgotne, i lżejszy, gdy jest suche [1]. Leonardo da Vinci narysował około 1480 roku wagę z dwiema szalkami: na jednej leży bawełna, na drugiej wosk, który wody nie chłonie, a pochylenie wagi pokazuje zmianę wilgotności [2].

□□ ZRZUT EKRANU DO UZUPEŁNIENIA

Zdjęcie do uzupełnienia: szkic wagi higrometrycznej Leonarda da Vinci z Codex Atlanticus.

W siedemnastym wieku Francesco Folli i Robert Hooke ulepszali te przyrządy, a Johann Heinrich Lambert w 1755 roku zbudował wersję, którą źródła nazywają nowoczesną [3]. Przełom przyszedł w 1783 roku. Szwajcar Horace Bénédict de Saussure (1740 do 1799) opisał w książce Essai sur l'hygrométrie higrometr włosowy i przekonywał do jego przewagi nad innymi przyrządami tamtych lat [4]. Włos, a dokładnie odtłuszczony ludzki włos, wydłuża się, gdy wilgotność rośnie, i skraca, gdy maleje.

Higrometr włosowy, mechaniczny przyrząd bez zasilania. Zmiana długości włosa pod wpływem wilgo

□□ *Higrometr włosowy, mechaniczny przyrząd bez zasilania. Zmiana długości włosa pod wpływem wilgotności jest przenoszona na wskazanie. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).*

Kolejne dwie idee szły inną drogą: nie mierzyć wydłużenia, tylko chłód. Ernst Ferdinand August (1795 do 1870), nauczyciel z Berlina, wprowadził w 1818 roku nazwę i opis psychrometru, czyli pary termometrów, z których jeden jest owinięty mokrym knotem [5]. Dwa lata później John Frederic Daniell (1790 do 1845) zbudował higrometr punktu rosy z dwiema szklanymi kulami i eterem [6]. Ten sam Daniell jest autorem ogniwa elektrycznego, które nosi jego nazwisko.

Higrometr Daniella, przyrząd punktu rosy z 1820 roku. Rosa pojawia się na schłodzonej szklanej kuli

Higrometr Daniella, przyrząd punktu rosy z 1820 roku. Rosa pojawia się na schłodzonej szklanej kuli, a jej temperatura jest punktem rosy. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Najdokładniejszą wersję psychrometru zbudował Richard Assmann (1845 do 1918), meteorolog z Berlina, który razem z Rudolfem Sigsfeldem pracował nad nią w latach 1887 do 1892 [7]. Termometry schował w podwójnych metalowych rurach, które odbijają promieniowanie słońca, a powietrze przez rury przeciągał wentylator napędzany sprężyną zegarową. Przyrząd miał działać także w balonach na dużej wysokości, a według pracy historycznej do dziś zalecany jest jako przyrząd wzorcowy roboczy [8]. Daty pracy nad nim w różnych opracowaniach nieco się różnią, bo prace trwały kilka lat.

Elektronika dołożyła ostatni rozdział. Dziś w sprzęcie komputerowym i automatyce dominuje czujnik pojemnościowy z cienką warstwą polimeru, mały, cyfrowy i tani. Nowsze rodzaje nie wyparły starszych: lustro chłodzone i psychrometr zostały wzorcami, a wskaźniki chemiczne dalej leżą w paczkach z elektroniką.

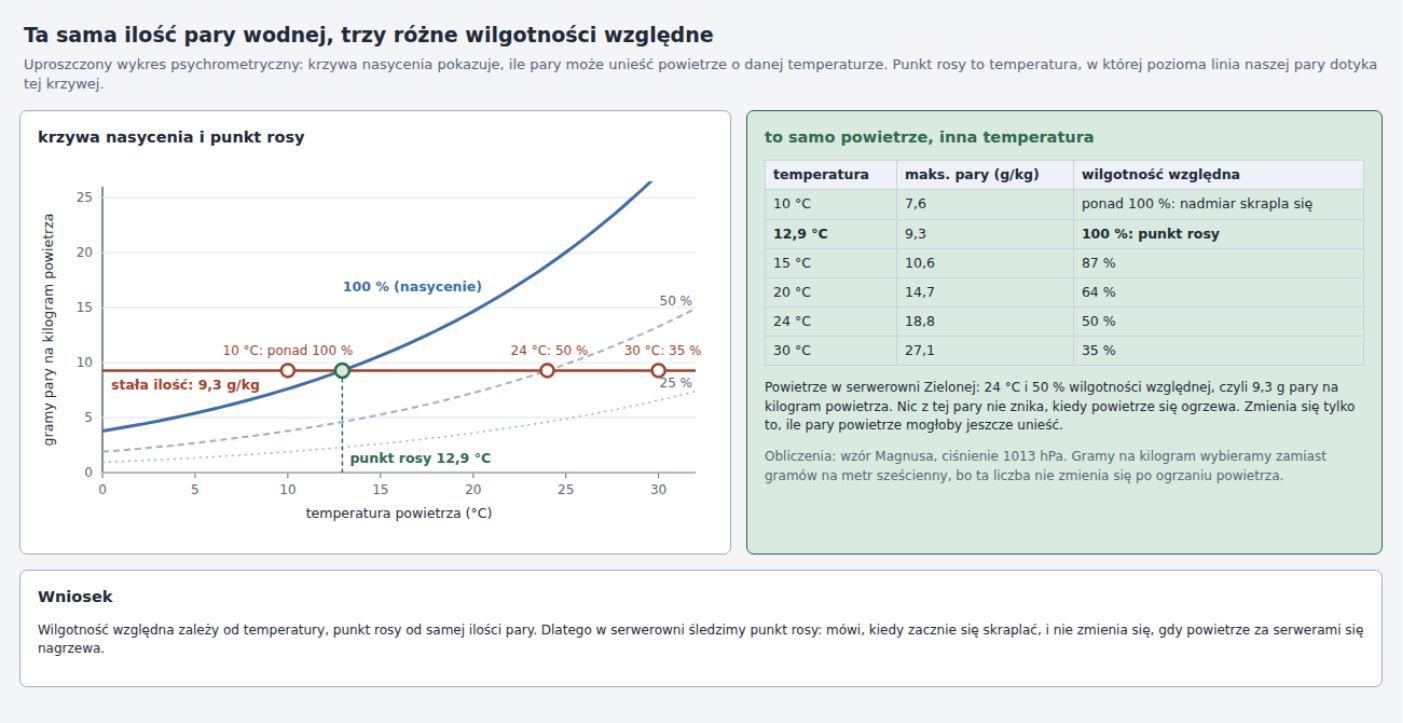
Rodzaje i zasada działania

Wilgotność względna, bezwzględna i punkt rosy

> **Pojęcie: wilgotność bezwzględna.** Masa pary wodnej w jednym metrze sześciennym powietrza, w gramach na metr sześcienny. Zmienia się, gdy powietrze się ogrzewa i rozpręża, nawet jeśli pary nie przybyło ani nie ubyło.

> **Pojęcie: zawartość wilgoci.** Masa pary wodnej na kilogram suchego powietrza, w gramach na kilogram. Nie zmienia się po ogrzaniu ani ochłodzeniu, dopóki para nie zacznie się skraplać, dlatego rysujemy ją na wykresach psychrometrycznych.

Powietrze w serwerowni Zielonej ma 24 °C i 50 % wilgotności względnej, czyli około 9,3 g pary na kilogram powietrza. Gdy się ogrzeje do 30 °C, nadal ma 9,3 g pary, ale mogłoby unieść jej 27 g, więc wilgotność względna spada do 35 %. Gdy ochłodzimy je do 12,9 °C, osiąga 100 % i jest to właśnie punkt rosy.



Rysunek 1. Ta sama ilość pary wodnej daje inną wilgotność względną w zimnym i ciepłym powietrzu: pozioma linia to stała ilość pary, a niebieska krzywa to największa ilość pary, jaką powietrze unosi w danej temperaturze. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Maksymalna ilość pary rośnie z temperaturą szybciej niż liniowo: mniej więcej podwaja się na każde dziesięć stopni [9]. Z tego wynikają dwa praktyczne wnioski. Wilgotność względna sama w sobie nie mówi, ile wody jest w powietrzu, a punkt rosy mówi to jednoznacznie. Tabela zbiera cztery sposoby opisu wilgotności.

Wielkość	Jednostka	Co mówi	Zmienia się po ogrzaniu powietrza
Wilgotność względna	%	jak blisko nasycenia jest powietrze	tak, maleje
Wilgotność bezwzględna	g/m³	ile pary jest w metrze sześciennym	tak, lekko maleje
Zawartość wilgoci	g/kg	ile pary przypada na kilogram suchego powietrza	nie
Punkt rosy	°C	przy jakiej temperaturze zacznie się skraplanie	nie

Higrometr włosowy

> **Pojęcie: higrometr włosowy.** Przyrząd mechaniczny, w którym odtłuszczony włos albo włókno syntetyczne zmienia długość wraz z wilgotnością, a układ dźwigni przenosi to na wskazówkę.

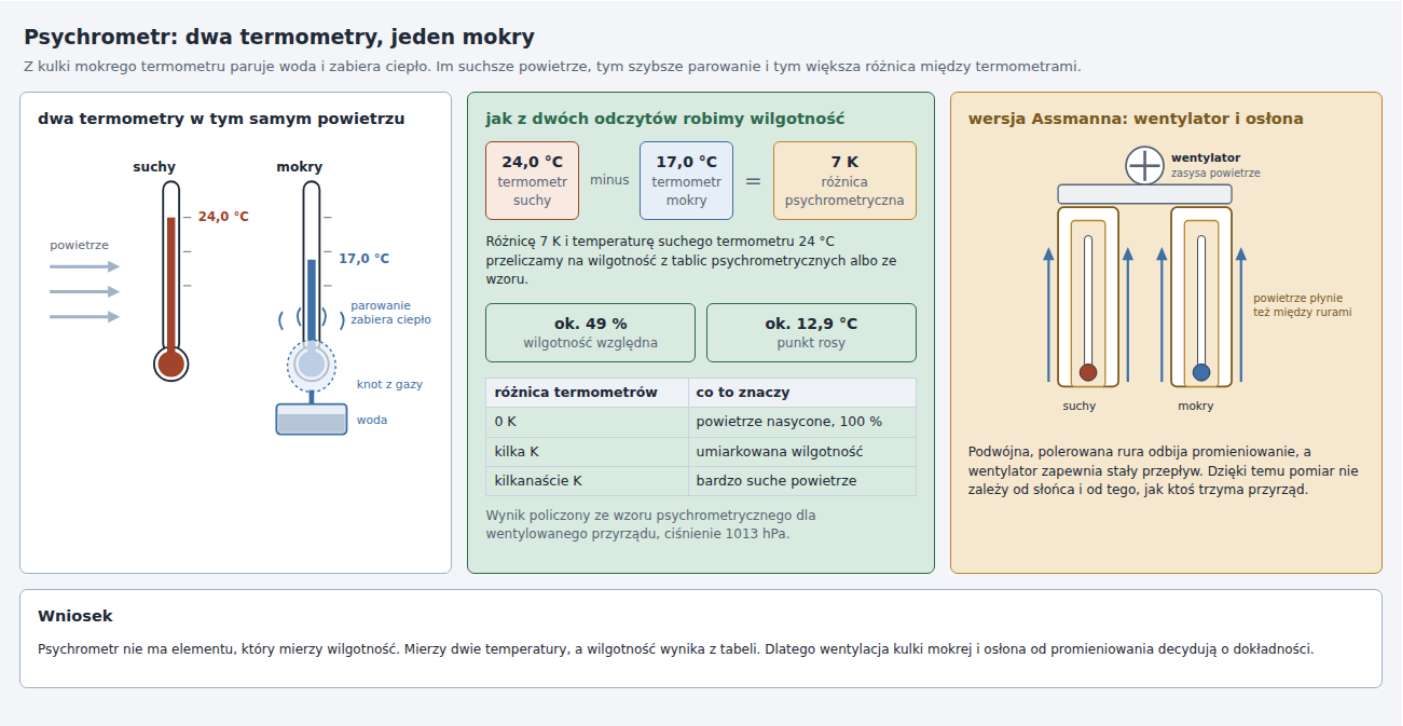
- Zasada: włókno pochłania parę wodną i się wydłuża, a po wyschnięciu skraca. Wydłużenie przekłada się na obrót wskazówki.
- Zakres i dokładność: cały zakres wilgotności względnej, ale błąd rzędu kilku punktów procentowych i największy na krańcach skali. Po długim pobycie w bardzo suchym albo bardzo mokrym powietrzu włókno wymaga regeneracji.
- Czas reakcji: minuty, bo włókno musi nasiąknąć.
- Zalety: nie potrzebuje prądu, nie ma elektroniki, działa w każdym pomieszczeniu.
- Wady: mała dokładność, powolność, dryf. Nie da się go podłączyć do monitoringu bez dodatkowego czujnika.
- Gdzie: mechaniczne wskaźniki w domach, muzeach i szafkach z instrumentami, a także wnętrza termohigrografów. Istnieje polski patent z 1986 roku na higrometr z włóknem higroskopijnym [10].

Psychrometr: suchy i mokry termometr

> **Pojęcie: psychrometr.** Przyrząd z dwoma termometrami, z których jeden ma kulkę owiniętą mokrym knotem. Wilgotność wyliczamy z różnicy ich wskazań.

- Zasada: z mokrej kulki paruje woda i zabiera ciepło, więc mokry termometr pokazuje mniej niż suchy. Im suchsze powietrze, tym szybsze parowanie i większa różnica. Przy powietrzu nasyconym różnica wynosi zero.
- Zakres i dokładność: działa dla temperatur powyżej zera, gdzie na knocie jest woda, a nie lód. Wersja Assmanna jest zalecana jako przyrząd wzorcowy roboczy. Australijskie badanie z końca lat dziewięćdziesiątych wykazało jednak, że szklane termometry mokre bywały cieplejsze niż w teorii nawet przy dużej staranności, co zawyżało wilgotność o dwa do pięciu punktów procentowych [11].
- Czas reakcji: od kilkudziesięciu sekund do kilku minut, zależnie od przepływu powietrza.
- Zalety: prosta zasada, brak polimeru, który się starzeje, łatwa kontrola przez termometry.
- Wady: potrzebna woda i czysty knot, potrzebny przepływ powietrza, a wynik trzeba przeliczyć z tabel albo ze wzoru.
- Gdzie: stacje meteorologiczne, wzorcowanie, laboratoria, szklarnie.

W wersji Assmanna wentylator zasysa powietrze przez dwie rury, a polerowana podwójna osłona odbija promieniowanie słońca. Dzięki temu wynik nie zależy od tego, jak przyrząd trzymamy.



Rysunek 2. Psychrometr: dwa termometry w tym samym powietrzu, z mokrego knota paruje woda i obniża wskazanie, a wersja Assmanna dodaje wentylator i osłonę. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Psychrometr obrotowy z dwoma termometrami, suchym i mokrym. Z mokrego knota paruje woda i o

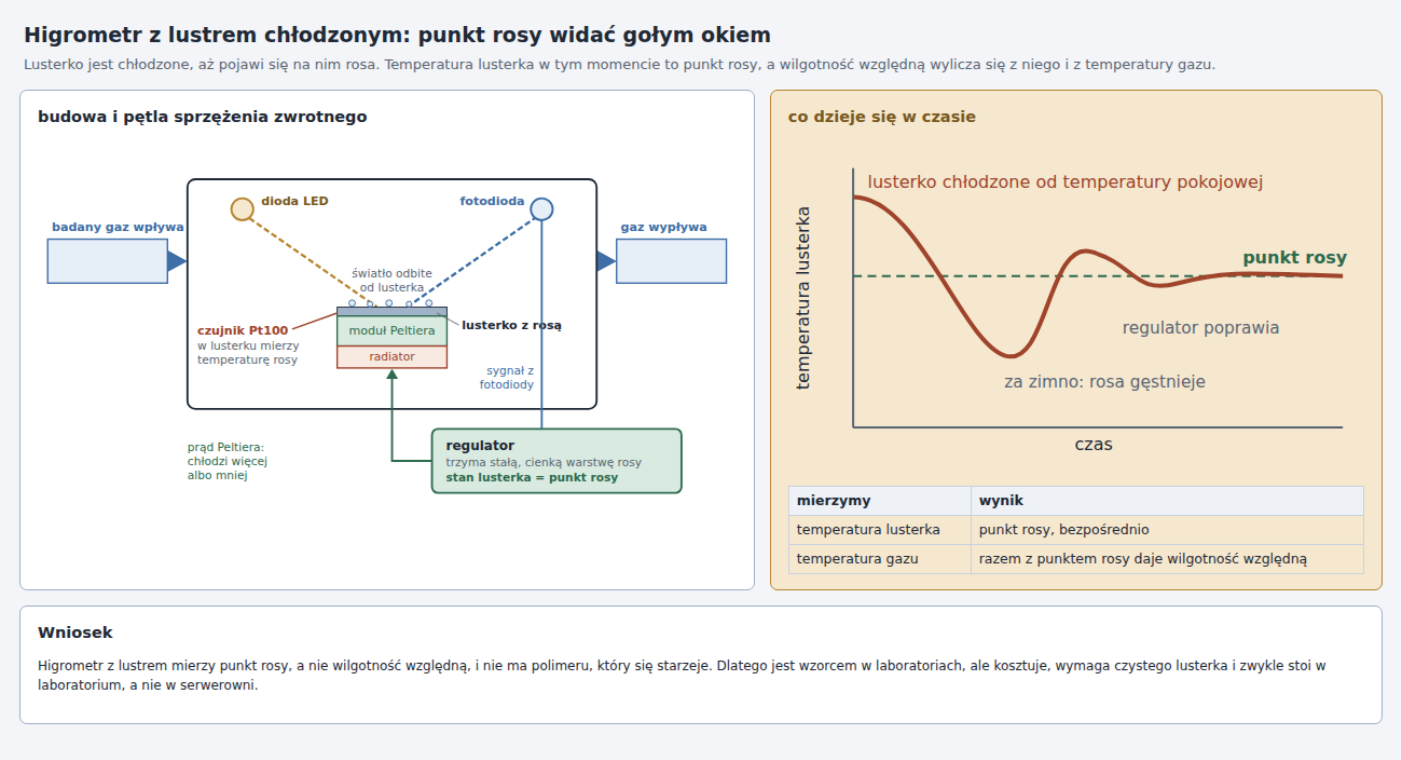
Psychrometr obrotowy z dwoma termometrami, suchym i mokrym. Z mokrego knota paruje woda i obniża wskazanie, a w wersji Assmanna przepływ powietrza zapewnia wentylator. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Higrometr z lustrem chłodzonym

> **Pojęcie: higrometr z lustrem chłodzonym.** Przyrząd, w którym małe lusterko chłodzimy tak długo, aż pojawi się na nim rosa, a temperatura lusterka w tym momencie jest punktem rosy.

- Zasada: dioda świeci na lusterko, a fotodioda mierzy odbite światło. Gdy rosa zmatowi lusterko, sygnał spada, a regulator mniej chłodzi (zwykle ogniwem Peltiera), aż warstwa rosy się ustabilizuje. Czujnik temperatury w lusterku podaje punkt rosy.
- Zakres i dokładność: według źródeł urządzenia tego rodzaju osiągają dokładność rzędu 0,2 °C punktu rosy [3]. Krajowe wzorce w laboratoriach metrologicznych mają dokładność o rząd wielkości lepszą, co opisujemy w sekcji o wątku polskim.

- Czas reakcji: sekundy do minut, bo trzeba schłodzić lusterko i odczekać na ustabilizowanie warstwy.
- Zalety: mierzy wprost punkt rosy, nie ma polimeru, który dryfuje, służy jako wzorzec.
- Wady: drogi, wymaga czystego lusterka (zabrudzenia fałszują odczyt) i regularnej obsługi.
- Gdzie: laboratoria wzorcujące, kontrola jakości sprężonego powietrza i gazów, badania klimatyczne.



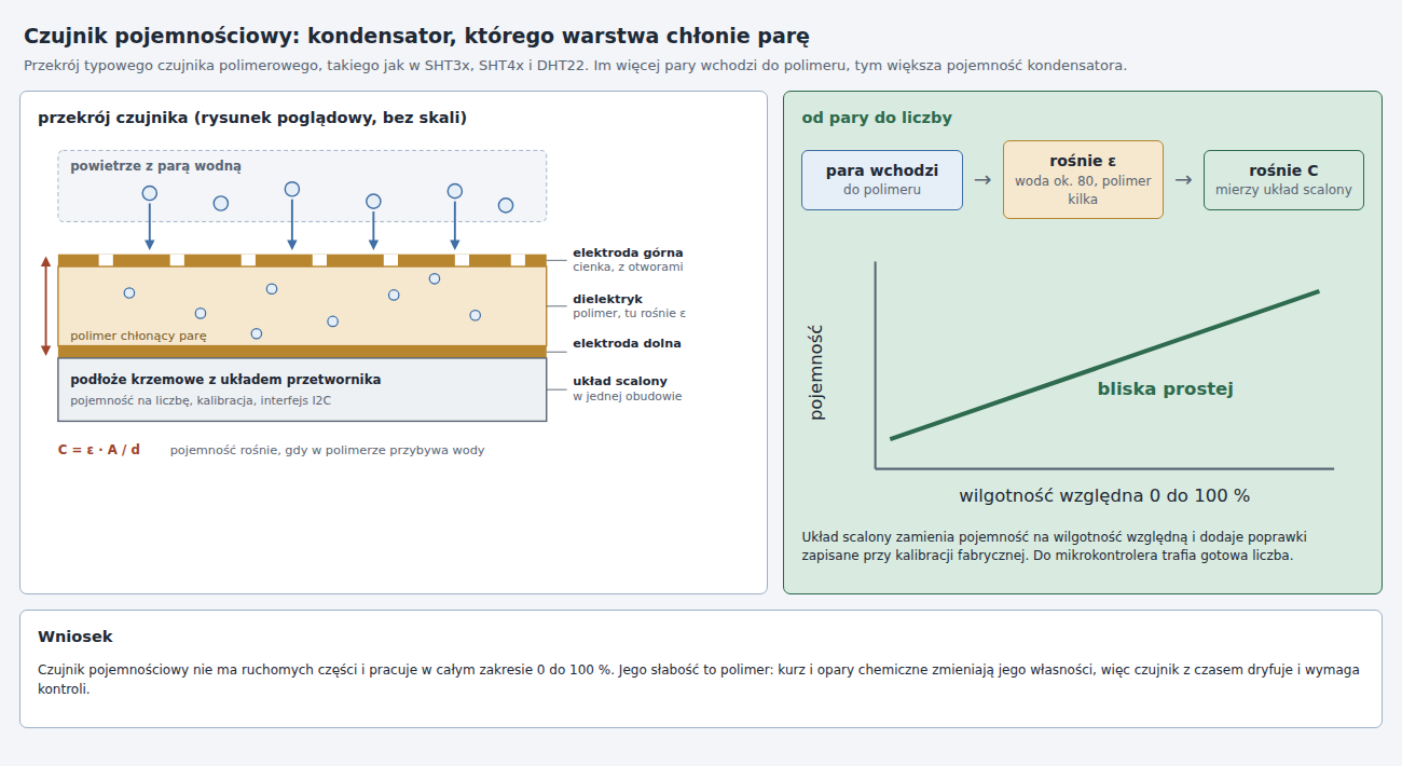
Rysunek 3. Higrometr z lustrem chłodzonym: fotodioda widzi, kiedy lusterko matowieje od rosy, a regulator tak steruje chłodzeniem, żeby warstwa rosy była stała. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Czujnik pojemnościowy polimerowy

> **Pojęcie: czujnik pojemnościowy.** Miniaturowy kondensator, w którym między dwiema elektrodami leży cienka warstwa polimeru chłonącego parę wodną. Zmiana wilgotności zmienia pojemność, a układ scalony zamienia ją na liczbę.

- Zasada: przenikalność elektryczna wody wynosi około 80, a większości materiałów stałych kilka [12], więc każda cząsteczka pary w polimerze podnosi pojemność kondensatora. Zależność jest bliska liniowej.
- Zakres i dokładność: czujniki cyfrowe Sensirion SHT31 i SHT40 podają typowo plus minus 2 i 1,8 % RH, a temperaturę z błędem około 0,2 °C [13][14]. Popularny DHT22 podaje 2 do 5 % RH i plus minus 0,5 °C [15], a BME280 około 3 % RH i plus minus 1 °C [16].

- Czas reakcji: dla SHT31 stała czasowa 63 % wynosi około 8 s, dla SHT40 około 6 s (przy przepływie powietrza 1 m/s) [13][14].
- Zalety: małe, tanie, nie mają ruchomych części, cyfrowy interfejs I2C, fabryczna kalibracja.
- Wady: polimer starzeje się i dryfuje (producent podaje typowo mniej niż 0,25 % RH na rok), a opary chemiczne i zanieczyszczenia zmieniają jego własności, dlatego producent opisuje procedurę regeneracji przez wygrzewanie i nawilżanie [14][17].
- Gdzie: elektronika użytkowa, automatyka, stacje pogodowe, serwerownie, wszystkie czujniki Arduino, ESP32 i Raspberry Pi.



Rysunek 4. Przekrój czujnika pojemnościowego: para przenika przez cienką elektrodę do polimeru, zmienia jego przenikalność i pojemność kondensatora, a układ scalony przekształca to w wilgotność względną. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Czujnik temperatury i wilgotności RHT03 firmy Maxdetect. To ten sam układ co DHT22 pod inną naz

Czujnik temperatury i wilgotności RHT03 firmy Maxdetect. To ten sam układ co DHT22 pod inną nazwą handlową. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Czujnik rezystancyjny

> **Pojęcie: czujnik rezystancyjny.** Czujnik, w którym wilgotność zmienia rezystancję elektryczną higroskopijnej warstwy, na przykład soli albo przewodzącego polimeru.

- Zasada: im więcej pary pochłonie warstwa, tym łatwiej płynie przez nią prąd. Układ mierzy rezystancję i przelicza ją na wilgotność.
- Zakres i dokładność: wersje o większej odporności na kondensację mają dokładność do około 3 % RH [3]. Tani DHT11 podaje zakres 20 do 80 % RH z dokładnością 5 % i temperaturę od 0 do 50 °C z błędem 2 °C [15].
- Czas reakcji: kilka sekund do kilkudziesięciu sekund.
- Zalety: bardzo tani i prosty.
- Wady: mała dokładność, mały zakres, rozdzielczość tylko do całych procent.
- Gdzie: zabawki edukacyjne i proste stacje pogodowe. Do serwerowni go nie wybieramy.

Czujnik z tlenkiem glinu

> **Pojęcie: czujnik z tlenkiem glinu.** Czujnik, w którym porowata warstwa tlenku glinu (Al2O3) wchłania parę, a zmiana jej własności elektrycznych podaje punkt rosy gazu.

- Zasada: para wodna wchodzi w pory tlenku i zmienia pojemność oraz rezystancję warstwy między elektrodami.
- Zakres i dokładność: przenośny miernik tego typu mierzy punkt rosy od -100 do +20 °C z dokładnością 3 °C i powtarzalnością 0,5 °C [18].
- Czas reakcji: dla wspomnianego miernika około 90 s do osiągnięcia 63 % zmiany [18].
- Zalety: sięga bardzo suchych gazów, do jakich czujniki polimerowe nie dochodzą.
- Wady: dryf, trzeba go okresowo wzorcować, droższy od polimerowego.
- Gdzie: sprężone powietrze, gazy techniczne, gaz ziemny, osuszacze. W serwerowni nie występuje.

Higrometr grawimetryczny

> **Pojęcie: higrometr grawimetryczny.** Układ, który wyciąga z odmierzonej porcji powietrza całą wodę (na przykład wiąże ją osuszaczem) i waży przyrost masy.

- Zasada: liczymy gramy wody w znanej objętości powietrza, bez żadnego pośredniego czujnika.
- Zakres i dokładność: według źródeł to najdokładniejsza metoda pierwotna pomiaru wilgotności bezwzględnej [3].
- Czas reakcji: godziny, bo trzeba przepuścić przez układ wystarczającą ilość powietrza.
- Zalety: wzorzec pierwotny, bez zależności od kalibracji czujnika.
- Wady: powolny, pracochłonny, stoi w laboratorium.

- Gdzie: wzorcowanie innych higrometrów i generowanie wzorcowych wilgotności.

Wskaźniki chemiczne: karty z chlorkiem kobaltu

> **Pojęcie: wskaźnik wilgotności.** Papierowa karta z polami nasączonymi solą, która zmienia kolor po przekroczeniu progu wilgotności względnej.

- Zasada: chlorek kobaltu jest niebieski, gdy jest suchy, a różowy po uwodnieniu [19].
- Zakres i dokładność: karta mówi tylko, czy próg został przekroczony, a nie podaje liczby.
- Czas reakcji: godziny, bo sól musi nasiąknąć.
- Zalety: nie potrzebuje zasilania, jest bardzo tania, a zmianę koloru widać w paczce na pierwszy rzut oka.
- Wady: dokładność orientacyjna. Chlorek kobaltu jest uznawany za możliwie rakotwórczy (grupa 2B według IARC), dlatego produkuje się też karty bez kobaltu [19].
- Gdzie: opakowania sprzętu elektronicznego i części, szafy z archiwum, magazyn części.

Rejestrator: termohigrograf bębnowy

> **Pojęcie: termohigrograf.** Mechaniczny rejestrator, w którym czujnik temperatury i czujnik wilgotności (zwykle włosowy) poruszają pisakami, a pisaki rysują wykres na papierze owiniętym na obracającym się bębnie.

Bęben robi pełny obrót w dobę albo w tydzień, więc na papierze zostaje zapis przebiegu temperatury i wilgotności bez żadnej elektroniki. Takie rejestratory można do dziś spotkać w muzeach i archiwach, a papierowy zapis łatwo pokazać konserwatorowi albo audytorowi.

Baro-termo-higrograf, mechaniczny rejestrator zapisujący przebieg na papierowym wykresie. Taki za

Baro-termo-higrograf, mechaniczny rejestrator zapisujący przebieg na papierowym wykresie. Taki zapis łatwo pokazać konserwatorowi albo audytorowi. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Wszystkie rodzaje w jednej tabeli

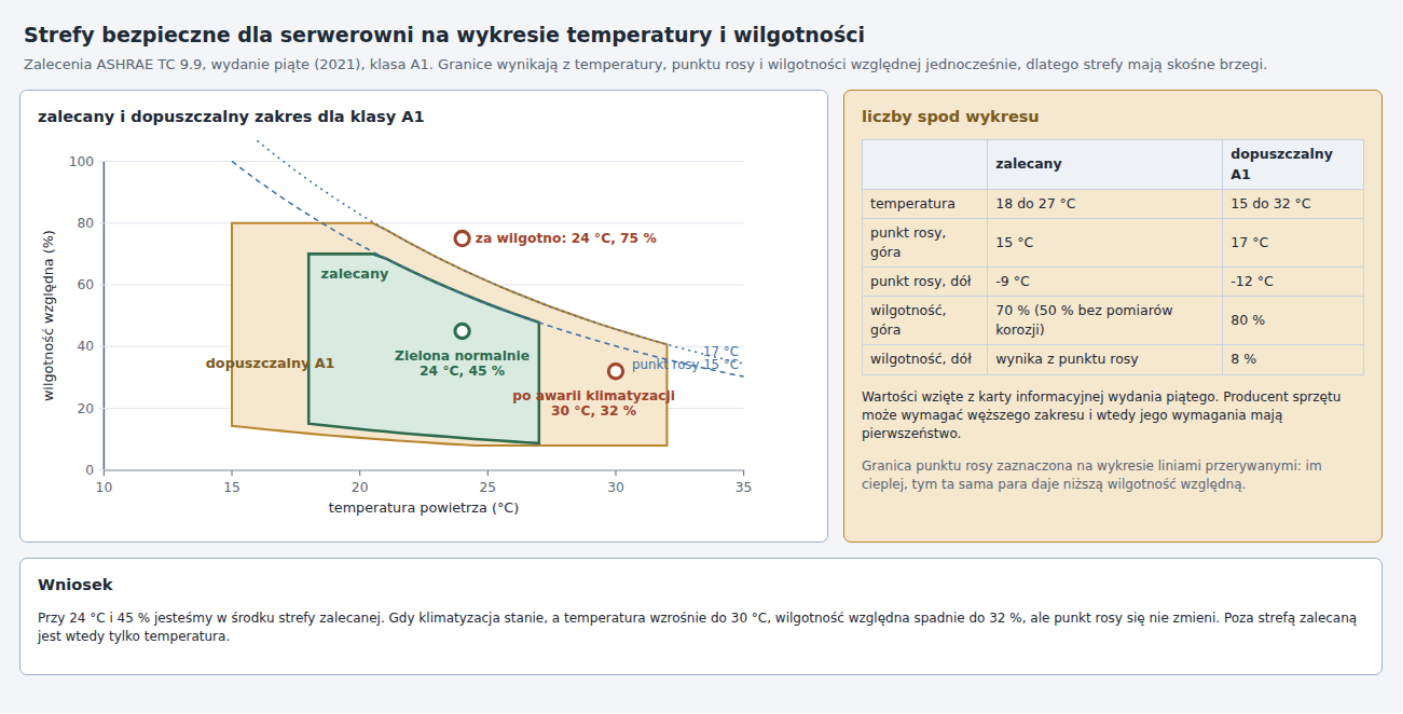
Rodzaj	Co mierzy	Typowa dokładność	Czas reakcji	Zasilanie	Gdzie najczęściej
Włosowy	wilgotność względna	kilka % RH	minuty	brak	dom, muzeum, termohigraf
Psychrometr (Assmann)	wilgotność z dwóch temperatur	przyrząd wzorcowy roboczy	sekundy do minut	wentylator	meteorologia, wzorcowanie
Lustro chłodzone	punkt rosy	rzędu 0,2 °C punktu rosy	sekundy do minut	tak	laboratoria, gazy
Pojemnościowy polimerowy	wilgotność względna	1,8 do 5 % RH zależnie od modelu	6 do 8 s	tak, 1 do 5 V	elektronika, serwerownia
Rezystancyjny	wilgotność względna	około 5 % RH	sekundy	tak	zabawki, proste stacje
Tlenek glinu	punkt rosy gazów	około 3 °C punktu rosy	około 90 s	tak	sprężone powietrze
Grawimetryczny	wilgotność bezwzględna	wzorzec pierwotny	godziny	wagi	laboratorium
Wskaźnik chemiczny	próg wilgotności	orientacyjna	godziny	brak	opakowania

W serwerowni

Zalecenia ASHRAE: temperatura, punkt rosy i wilgotność względna

> **Pojęcie: ASHRAE TC 9.9.** Komitet techniczny amerykańskiego stowarzyszenia inżynierów ogrzewnictwa, chłodnictwa i klimatyzacji, który wydaje zalecenia środowiskowe dla centrów danych w publikacji Thermal Guidelines for Data Processing Environments. Zalecenia obejmują cztery klasy sprzętu, od A1 (serwery i pamięci masowe klasy korporacyjnej) do A4.

Wydanie piąte z 2021 roku podaje dla wszystkich klas A zakres zalecany: temperatura od 18 do 27 °C, punkt rosy od -9 do 15 °C i wilgotność względna najwyżej 70 % (albo 50 %, gdy nie mierzymy korozji) [20][21]. Dla klasy A1 zakres dopuszczalny to temperatura od 15 do 32 °C, punkt rosy od -12 do 17 °C i wilgotność względna od 8 do 80 % [20]. Nowszego wydania nie znaleźliśmy w chwili pisania tej strony (październik 2026), a przy zakupie sprzętu sprawdzamy to ponownie. Wymagania producenta sprzętu mają pierwszeństwo przed zaleceniem ASHRAE.



Rysunek 5. Zalecany (zielony) i dopuszczalny dla klasy A1 (piaskowy) zakres temperatury i wilgotności względnej: skośne brzegi wynikają z limitów punktu rosy, a trzy punkty pokazują normalną pracę, awarię klimatyzacji i zbyt wilgotne powietrze. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Parametr	Zalecany (A1 do A4)	Dopuszczalny A1
Temperatura	od 18 do 27 °C	od 15 do 32 °C
Punkt rosy, góra	15 °C	17 °C
Punkt rosy, dół	-9 °C	-12 °C
Wilgotność względna, góra	70 % (50 %, gdy nie mierzymy korozji)	80 %
Wilgotność względna, dół	wynika z punktu rosy	8 %

Dlaczego mierzymy punkt rosy, a nie samą wilgotność względną

Wilgotność względna zmienia się z temperaturą powietrza: za serwerami, gdzie powietrze jest o kilkanaście stopni cieplejsze, ta sama para daje mniejszą wilgotność względną niż przed szafą. Punkt rosy jest w całej sali taki sam, dopóki nic nie nawilża ani nie osusza powietrza. Mówi też wprost, jak zimna powierzchnia musi być, żeby skropliła się na niej woda. Dlatego ASHRAE opisuje zalecenia dziś przez punkt rosy, a wilgotność względna jest tylko dodatkowym ograniczeniem [22].

Co się psuje, gdy jest za sucho, za mokro i za brudno

- Za sucho: rośnie ryzyko wyładowań elektrostatycznych, czyli iskry, która może uszkodzić układy scalone. Komitet uznaje, że punkt rosy -9 °C wystarcza do opanowania tego ryzyka [22]. Przy 25 °C to wilgotność względna około 10 %. Obok powietrza ważne są też przewodzące podłogi i uziemienie nadgarstków przy pracy z podzespołami.
- Za mokro: skraplanie na zimnych elementach, na przykład na radiatorach i rurach z wodą lodową. Dlatego sprzęt przywieziony z zimnego magazynu odstawiamy w sali na kilka godzin, zanim go uruchomimy.
- Korozja: siarkowodór i chlor przyspieszają korozję miedzi przy podwyższonej wilgotności. Wydanie piąte wprowadziło kuponowe pomiary korozji (srebro poniżej 200, miedź poniżej 300 ångströmów na miesiąc) i uzależniło górny limit wilgotności od ich wyniku [21].
- Kurz: osadza się na płytkach i przy wysokiej wilgotności chłonie wodę, co może zwierać ścieżki, dlatego filtry klimatyzacji wymieniamy według harmonogramu.

Nawilżacze i osuszanie w klimatyzacji precyzyjnej

> **Pojęcie: klimatyzacja precyzyjna.** Szafy chłodnicze zaprojektowane do serwerowni, które utrzymują temperaturę i wilgotność w wąskich granicach, całą dobę i bez przerwy na sezon.

Nawilżacz w takiej szafie dodaje parę wodną (kanister elektrodowy wytwarzający parę, lampa podczerwona albo ultradźwięki), a osuszanie polega na wychłodzeniu wymiennika poniżej punktu rosy, skąd woda spływa do tacy, po czym powietrze jest dogrzewane. Obie funkcje zużywają dużo energii, dlatego ASHRAE zmieniło dolną granicę zakresu zalecanego z 40 % wilgotności względnej na punkt rosy -9 °C, co ogranicza potrzebę nawilżania [22]. Dwie szafy potrafią walczyć ze sobą, gdy jedna nawilża, a druga osusza, więc niezależny czujnik poza klimatyzacją pomaga wykryć takie przepychanki.

Gdzie montujemy czujnik

Zalecenia ASHRAE opisują warunki przy wlocie powietrza do sprzętu, więc tam mierzymy: przed szafą, na wysokości dolnej, środkowej i górnej jednostki, w zimnym korytarzu. Czujnik na wylocie pokaże wysoką temperaturę i niską wilgotność względną, co nie opisuje tego, co widzi serwer.

- Przy wlocie powietrza do szafy, w zimnym korytarzu, nie na górze szafy.
- Z dala od wylotów klimatyzacji i drzwi, bo wtedy pokazują wiatr, a nie pomieszczenie.

- Co kilka szaf w rzędzie, a nie tylko jeden czujnik na całą salę.
- Dodatkowy czujnik przy rurach z wodą lodową i w miejscach, gdzie nawilżacz podaje parę.
- Czujnik przy podłodze technicznej, jeśli pod podłogą idą rury z wodą.

Czego nie robimy: nie zaklejamy czujnika w obudowie bez wentylacji, nie wieszamy go nad zasilaczem i nie wkładamy do plastikowej torebki dla ochrony przed kurzem, bo para wtedy do niego nie dociera.

Wpięcie w monitoring: Zabbix na mon01

Czujnik cyfrowy trafia do Zabbixa na `mon01` jedną z trzech dróg: przez element typu HTTP agent (Zabbix odpytuje adres czujnika), przez Zabbix trapper (czujnik albo skrypt wysyła wartość komendą `zabbix_sender`) albo przez SNMP, gdy kupujemy gotowy czujnik sieciowy. Najpierw zapisujemy temperaturę, wilgotność względną i punkt rosy jako trzy osobne elementy, a potem wyzwalacze na punkt rosy i temperaturę. Pełny przykład z ESP32, ESPHome i progami dla serwerowni opisujemy na stronie Higrometry w praktyce: wybór, montaż i własny czujnik (DIY).

Gotowe urządzenia komercyjne

Nie reklamujemy producentów, więc pokazujemy klasy urządzeń. Wybieramy według tego, kto ma korzystać z pomiaru.

Klasa urządzenia	Czym jest	Kiedy się opłaca
Czujnik sieciowy do szafy	mały moduł z Ethernetem albo PoE, odczyt przez SNMP albo HTTP	gdy chcemy mieć wartości w Zabbixie bez własnej elektroniki
Rejestrator z pamięcią	urządzenie z wyświetlaczem i kartą pamięci, odczyt do raportu	gdy audytor chce okresowych zapisów
Przetwornik przemysłowy	wyjście 4 do 20 mA albo Modbus przez RS-485	gdy dane idą do sterownika albo systemu BMS
Czujniki w klimatyzacji precyzyjnej	wbudowane w szafę czujniki regulacji	do sterowania, ale nie jako niezależny nadzór
Higrometr z lustrem	laboratoryjny przyrząd wzorcowy	do wzorcowania naszych czujników, nie do stałego nadzoru

Poza serwerownią

Magazyn w Swarzędzu. O 6:15 Marek zgłasza, że etykiety na kartonach z chłodni odklejają się, a skanery ich nie czytają. Hala ma 18 °C i 70 % wilgotności względnej, czyli punkt rosy 12,4 °C, a kartony tuż po wyjściu z chłodni mają około 0 do 2 °C [23]. Powierzchnia zimniejsza niż punkt rosy pokrywa się rosą, więc etykiety wilgotnieją i puszczają klej. Podobnie sucha żywność, na przykład mąka i cukier, w wilgotnym magazynie zbryla się i pleśnieje [23], dlatego Marek ma dwa czujniki: w

hali i w chłodni.

Muzea i archiwa. Pani Halina trzyma w piwnicy w Pamiątkowie archiwum dokumentów księgowych. Archiwum Państwowe w Warszawie zaleca dla papieru stabilną temperaturę około 16 do 18 °C i wilgotność względną od 45 do 55 % [24]. Źródło podkreśla stabilność temperatury, więc czujnik w piwnicy zestawiamy z termohigrografem, a nie zastępujemy nim termohigrografu.

Mieszkania i pleśń. Pleśń rozwija się na powierzchniach, gdy wilgotność względna powietrza tuż przy nich dochodzi do około 80 %. Przy 20 °C i 50 % punkt rosy wynosi 9,3 °C, ale pleśń pojawia się już na ścianie o temperaturze 12,6 °C, bo przy takiej ścianie powietrze osiąga 80 % [25]. Sam punkt rosy nie wystarcza więc do oceny ryzyka pleśni: ściana musi być cieplejsza od punktu rosy z zapasem.

Rolnictwo. Szklarnie, suszarnie zbóż i przechowalnie owoców mierzą wilgotność, bo od niej zależą choroby grzybowe roślin i czas suszenia ziarna. Stosuje się tam zwykle czujniki pojemnościowe w obudowach odpornych na wilgoć oraz psychrometry aspiracyjne jako wzorzec.

Medycyna i przemysł. Wilgotność jest parametrem w inkubatorach, salach operacyjnych, lakierniach i halach produkcyjnych, gdzie wpływa na przyczepność, zbrylanie i elektrostatykę.

Mity i sprostowania

Obiegowa wersja	Jak jest naprawdę
50 % wilgotności to połowa wody w powietrzu	to połowa tego, co powietrze może unieść w tej temperaturze, a nie połowa masy powietrza
Wilgotność spadła, więc powietrze zrobiło się suche	często tylko się ogrzało, a punkt rosy nie zmienił się wcale
Higrometr wynalazł Saussure	Saussure w 1783 roku opisał higrometr włosowy, ale wagi z wełną znali już Mikołaj z Kuzy i Leonardo da Vinci
Im sucho w serwerowni, tym lepiej	zbyt suche powietrze zwiększa ryzyko wyładowań elektrostatycznych, dlatego zalecenia mają dolną granicę
100 % wilgotności to deszcz	to nasycenie powietrza, rosa pojawia się dopiero na powierzchni chłodniejszej niż punkt rosy
Tani czujnik jest tak samo dobry jak laboratoryjny	tani DHT11 podaje 5 % RH i 2 °C, a czujnik polimerowy dryfuje bez kalibracji
Karta z chlorkiem kobaltu zawsze pokazuje, że jest sucho	pokazuje tylko, czy próg został przekroczony, a sam kobalt jest podejrzany o rakotwórczość

Oś czasu

Data	Wydarzenie
około 1450	Mikołaj z Kuzy opisuje ważenie wełny jako sposób oceny wilgotności powietrza
około 1480	Leonardo da Vinci szkicuje wagę z bawełną i woskiem (Codex Atlanticus, karta 30 verso)
1755	Johann Heinrich Lambert buduje wersję higrometru uznawaną za nowoczesną
1783	Horace Bénédict de Saussure publikuje Essai sur l'hygrométrie i opisuje higrometr włosowy
1818	Ernst Ferdinand August opisuje psychrometr z mokrym i suchym termometrem
1820	John Frederic Daniell buduje higrometr punktu rosy z dwiema kulami i eterem
1887 do 1892	Richard Assmann z Rudolfem Sigsfeldem rozwija psychrometr aspiracyjny z wentylatorem
1975 do 1980	polski patent PL108309 na higrometr punktu rosy z kondensatorem na schłodzonej płytce (zgłoszenie 1975, publikacja 1980)
1986	polski patent PL139205 na higrometr z włóknem higroskopijnym
2015	czwarte wydanie zaleceń ASHRAE: zakres zalecany od -9 do 15 °C punktu rosy i najwyżej 60 % wilgotności względnej [26]
2021	piąte wydanie zaleceń ASHRAE: górny limit 70 % wilgotności względnej, a 50 %, gdy nie mierzymy korozji [20][21]

Wątek polski

Krajowe wzorce punktu rosy utrzymuje Laboratorium Wilgotności Głównego Urzędu Miar. Dwa generatory odniesienia pokrywają razem zakres od -80 do +95 °C punktu rosy (DPG1 od -80 do +20 °C, DPG2 od +10 do +95 °C), a najlepsza deklarowana niepewność rozszerzona to plus minus 0,03 °C. Oba generatory przeszły międzynarodowe porównania EURAMET K6 i EUROMET K8 [27]. Na takich wzorcach opiera się spójność pomiarów punktu rosy w kraju.

Wśród polskich patentów trafiliśmy na dwa. PL108309 (zgłoszony w 1975, opublikowany w 1980 roku) opisuje higrometr punktu rosy z jednostronnym kondensatorem płaskim na schłodzonej płytce krzemowej, pokrytej dielektrykiem z dwutlenku krzemu, praktycznie niewrażliwy na zapylenie gazu [12]. Nazwisk wynalazców nie udało się odczytać z dostępnej kopii. PL139205 (zgłoszony w 1984, opublikowany w 1986 roku, autor Władysław Michałowski) opisuje higrometr z włóknem higroskopijnym, przeznaczony do pomiaru wilgotności dojrzewającego betonu [10].

Co do norm: międzynarodowa norma ISO 7726 dotyczy przyrządów do pomiaru wielkości fizycznych w środowisku termicznym i istnieje w wydaniu z 2025 roku [28]. Norma ISO 11799 o warunkach przechowywania materiałów archiwalnych ma wydanie z 2024 roku [29]. Polskich wydań tych norm (PN-EN ISO 7726 i PN-ISO 11799) nie potwierdziliśmy, więc nie podajemy ich numerów. Nie udokumentowaliśmy też nazw polskich producentów czujników wilgotności, więc ich nie wymieniamy.

Częste błędy

Objaw	Przyczyna	Co robimy
Wilgotność względna spadła o kilkanaście punktów, choć nic nie osuszało	powietrze się ogrzało, a ilość pary nie zmieniła się	patrzymy na punkt rosy, a nie na samą wilgotność względną
Czujnik pokazuje 100 % tuż po wyniesieniu z chłodni	na czujniku skropliła się rosa	odczekujemy kilkanaście minut, aż czujnik zrówna temperaturę z otoczeniem
Czujnik przy wylocie serwerów pokazuje bardzo niską wilgotność	mierzy gorące powietrze za szafą, a nie to, co wchodzi do sprzętu	przenosimy czujnik do zimnego korytarza, przed szafę
Dwa czujniki w jednej sali różnią się o kilka procent	tolerancja czujników i różne miejsca montażu	sprawdzamy oba w teście solnym i uwzględniamy tolerancję z karty katalogowej
Odczyt nagle zmienił się o kilka procent po malowaniu albo remoncie	opary rozpuszczalników zmieniły własności polimeru	wietrzymy, odczekujemy, a przy braku powrotu wymieniamy czujnik
Psychrometr pokazuje prawie tyle samo na obu termometrach	knot wysechł albo nie ma przepływu powietrza	uzupełniamy wodę w knocie i uruchamiamy wentylator
Wilgotność w danych z klimatyzacji inna niż na naszym czujniku	czujnik klimatyzacji jest w innym miejscu albo ma dryf	porównujemy oba z trzecim, wzorcowym, i ustawiamy alarm na własnym czujniku

□□ Ćwiczenia

1. Powietrze ma 24 °C i 50 % wilgotności względnej. Do jakiej wilgotności względnej spadnie po ogrzaniu do 30 °C, jeśli ilość pary się nie zmieni?

Odpowiedź

Do około 35 %. Punkt rosy pozostaje bez zmian i wynosi około 12,9 °C.

1. Dlaczego psychrometr nie ma żadnego elementu, który mierzyłby wilgotność?

Odpowiedź

Mierzy tylko dwie temperatury: suchą i mokrą. Wilgotność wynika z ich różnicy, z tabel albo ze wzoru, bo parowanie z mokrego knota zależy od suchości powietrza.

1. Który rodzaj higrometru mierzy punkt rosy wprost i dlaczego służy jako wzorzec?

Odpowiedź

Higrometr z lustrem chłodzonym: temperatura lusterka w chwili pojawienia się rosy jest punktem rosy. Nie używa polimeru, który się starzeje, więc nie dryfuje tak jak czujniki polimerowe.

1. W serwerowni klasy A1 czujnik pokazuje punkt rosy 18 °C. W jakim zakresie jesteśmy i co robimy?

Odpowiedź

Powyżej granicy dopuszczalnej, która dla klasy A1 wynosi 17 °C, a tym bardziej powyżej zalecanej 15 °C. Wysyłamy alarm wysoki, szukamy źródła wilgoci (nawilżacz, przeciek, otwarte drzwi z zewnątrz) i sprawdzamy, czy na zimnych elementach nie ma skroplin.

1. Dlaczego DHT11 nie nadaje się do serwerowni?

Odpowiedź

Podaje wilgotność tylko w zakresie 20 do 80 % z dokładnością 5 % RH, a temperaturę z błędem 2 °C. Dla zaleceń z granicą punktu rosy co do stopnia to za mało, a rozdzielczość całych procent maskuje wolne zmiany.

Źródła:

1. Nicolaus de Cusa, hygrometer (1450), The Book of Science: sharpgiving.com/thebookofscience/items/p1450.html
2. Leonardo's Hygrometer, Museo Ideale Leonardo da Vinci (Codex Atlanticus, f. 30 v): museoleonardiano.it/en/opera/hygrometer
3. Hygrometer, Wikipedia (historia, rodzaje, dokładności): en.wikipedia.org/wiki/Hygrometer
4. Horace-Bénédict de Saussure, Wikipedia (Essai sur l'hygrométrie, 1783): en.wikipedia.org/wiki/Horace-Bénédict_de_Saussure

5. Ernst Ferdinand August, Wikipedia oraz Hygrometer, Museo Galileo (rok 1818, nazwa psychrometr): en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Ferdinand_August, catalogue.museogalileo.it/indepth/Hygrometer.html
6. John Frederic Daniell, Wikipedia (higrometr punktu rosy, 1820): en.wikipedia.org/wiki/John_Frederic_Daniell
7. Richard Assmann, Wikipedia (psychrometr aspiracyjny, lata 1887 do 1892): en.wikipedia.org/wiki/Richard_Assmann
8. Assmann's development of aspiration psychrometers, Meteorologische Zeitschrift, Schweizerbart: schweizerbart.de/papers/metz/detail/21/78475
9. Humidity, Wikipedia (definicje, zależność od temperatury): en.wikipedia.org/wiki/Humidity
10. Patent PL139205B2, Hygrometer with sensor made of hygroscopic fibre, Google Patents: patents.google.com/patent/PL139205B2/pl
11. Psychrometer, Wikipedia (psychrometr Assmanna i błędy mokrego termometru): en.wikipedia.org/wiki/Psychrometer
12. Patent PL108309B2, Dew-point hygrometer (Higrometr punktu rosy), Google Patents: patents.google.com/patent/PL108309B2/pl
13. Sensirion, SHT3x-DIS Datasheet: sensirion.com, Datasheet_SHT3x_DIS.pdf
14. Sensirion, SHT40 Datasheet (kopia SparkFun): cdn.sparkfun.com, SHT40_Datasheet.pdf
15. Adafruit, DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors: learn.adafruit.com/dht
16. Adafruit BME280 Humidity + Barometric Pressure + Temperature Sensor Breakout: learn.adafruit.com, BME280
17. Sensirion, Humidity Sensors FAQ (regeneracja, długość przewodów I2C): sensirion.com/products/support/faq
18. COSA XPDM Portable Dew Point Meter, karta katalogowa (czujnik Al2O3): core.instrumart.com/assets/COSA-XPDM-datasheet.pdf
19. Cobalt(II) chloride, Wikipedia: en.wikipedia.org/wiki/Cobalt(II)_chloride_chloride)
20. ASHRAE, 2021 Equipment Thermal Guidelines for Data Processing Environments, 5th ed., karta informacyjna: ashrae.org, therm-gdlns-5th-r-e-refcard.pdf
21. Uptime Institute, New ASHRAE guidelines challenge efficiency drive: journal.uptimeinstitute.com
22. ASHRAE TC 9.9 Thermal Guidelines (5th Ed.), A1 to A4 Limits, CKY: cky.com.tw/en/insights/ashrae-tc9-datacenter-thermal-guidelines
23. TEFAP, Commodity Storage, Handling, and Shipping, Kansas DCF: content.dcf.ks.gov, TEFAP3200
24. Archiwum Państwowe w Warszawie, Problemy domowego archiwisty: warszawa.ap.gov.pl, 4-problemy-domowego-archiwisty.pdf
25. Schöck, Mieszkanie bez wilgoci (punkt rosy i temperatura powstawania pleśni): schoeck.com, schoeck_mieszkanie_bez_wilgoci.pdf

26. ASHRAE, 2015 Thermal Guidelines (4th ed.), Reference Card: xp20.ashrae.org/datacom1_4th/ReferenceCard.pdf
27. R. Jarosz, Porównanie wzorców odniesienia temperatury punktu rosy DPG1 i DPG2 w zakresie +10 °C do +20 °C, Biuletyn GUM 4/2011: gum.gov.pl, biuletyn_4-2011_str__27-30.pdf
28. ISO 7726:2025, Ergonomics of the thermal environment: Instruments for measuring physical quantities: iso.org/standard/78238.html
29. ISO 11799:2024, Information and documentation: Document storage requirements for archive and library materials: boutique.afnor.org

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

◫◫ Poziom: średnio

◫◫ Dotyczy: ESP32, SHT31 i SHT40 na I2C, ESPHome 2026.x, Zabbix 7.0 LTS na mon01

▯ Czas: ~90 min

Ta strona opisuje budowę własnego czujnika wilgotności z ESP32 i SHT31, jego kalibrację solami i wpięcie w Zabbix na `mon01`. Komendy wykonujemy z CLI bash na stacji z Linuksem, a konfigurację ESPHome edytujemy w pliku YAML. Teoria, rodzaje czujników i normy są na stronie Higrometry: rodzaje, zasada działania i zastosowania.

◫◫ Skróty użyte na tej stronie (38)

Skrót	Co znaczy
ADDR	Address: pin wyboru adresu na module czujnika SHT31, który łączymy z masą albo z zasilaniem, żeby wybrać adres I2C 0x44 lub 0x45
AM2302	Inna nazwa czujnika DHT22 w obudowie z trzema wyprowadzeniami
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
BME280	Bosch BME280: czujnik temperatury, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego na I2C lub SPI, dokładność wilgotności około 3 %
CLI	Command Line Interface: praca przez wpisywanie komend w terminalu
CSB	Chip Select Bar: pin BME280 wybierający interfejs, który podciągamy do 3,3 V, żeby czujnik rozmawiał po I2C
DHT11	Tani czujnik wilgotności i temperatury z jednym przewodem danych: mierzy wilgotność w zakresie 20 do 80 % z dokładnością około 5 %, więc nadaje się do zabawy, nie do serwerowni
DHT22	Czujnik wilgotności i temperatury z jednym przewodem danych (AM2302): zakres 0 do 100 %, dokładność 2 do 5 %, odczyt najwyżej raz na 2 sekundy

Skrót	Co znaczy
DIY	Do It Yourself: zrób to sam, czyli własnoręcznie zbudowany czujnik zamiast gotowego urządzenia
ESP32	Tani mikrokontroler z Wi-Fi i Bluetooth firmy Espressif: malutki komputer, z którego budujemy własne czujniki sieciowe
ESPHome	Oprogramowanie, które zamienia ESP32 w gotowy czujnik sieciowy bez pisania kodu od zera, a odczyty udostępnia przez sieć
FAQ	Frequently Asked Questions: zbiór najczęściej zadawanych pytań z odpowiedziami
GET	Metoda HTTP, którą prosimy serwer o odczyt zasobu bez zmieniania czegokolwiek, np. o wartość wilgotności z czujnika
HTTP	Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW
I2C	Inter-Integrated Circuit: prosta dwuprzewodowa magistrala, którą mały układ (np. czujnik) rozmawia z mikrokontrolerem
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
OTA	Over The Air: wgrywanie nowego oprogramowania do urządzenia przez sieć, bez kabla
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
RH	Relative Humidity: wilgotność względna, czyli ile pary wodnej powietrze zawiera w stosunku do maksimum, które mogłoby utrzymać w danej temperaturze, podawana w procentach
SCL	Serial Clock: przewód zegarowy magistrali I2C, który wyznacza rytm, w jakim odczytujemy bity z przewodu danych
SDA	Serial Data: przewód danych magistrali I2C, którym czujnik i mikrokontroler wymieniają bity
SHT31	Sensirion SHT31: cyfrowy czujnik temperatury i wilgotności z magistralą I2C, w serwerowni dobry wybór ze względu na dokładność około 2 % RH
SHT40	Sensirion SHT40: następca SHT31, mniejszy i oszczędniejszy cyfrowy czujnik temperatury i wilgotności na I2C
SHT4X	Rodzina czujników Sensirion SHT4x: nazwa platformy w ESPHome, której używamy dla SHT40 i jego pokrewnych
SMS	Short Message Service: krótka wiadomość tekstowa na telefon, która dociera także bez internetu

Skrót	Co znaczy
SOP	Standard Operating Procedure: standardowa procedura postępowania, tu opis kalibracji czujników solami
USB	Universal Serial Bus: standard portów i urządzeń podłączanych do komputera, tu pendrive'y i inne nośniki wymienne
VIN	Voltage In: pin zasilania na płytce modułu, do którego podłączamy napięcie wejściowe
Wi-Fi	Sieć bezprzewodowa: wygodna w biurze, ale w serwerowni dokłada kolejną możliwą przyczynę awarii
WMO	World Meteorological Organization: Światowa Organizacja Meteorologiczna, której przewodniki opisują, jak mierzyć wilgotność i wzorcować higrometry
WWW	World Wide Web: strony i aplikacje otwierane w przeglądarce po HTTP albo HTTPS
YAML	YAML Ain't Markup Language: format plików konfiguracyjnych oparty na wcięciach

Fiszka

◫ ZMIENIA SYSTEM

Instalacja ESPHome w środowisku wirtualnym: pip install

Komendy można wykonywać całościowo jako blok tekstu. Wymagany jest Python 3 i `python3-venv`.

```
python3 -m venv ~/esphome-venv
source ~/esphome-venv/bin/activate
pip install esphome
```

Środowisko wirtualne trzyma ESPHome osobno od systemowego Pythona, więc aktualizacja nie psuje innych narzędzi.

> 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 `esp01` 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: 10.20.10.70
    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 m.in. GPIO21 i GPIO22, czyli domyślne piny I2C z pliku poniżej, więc w serwerowni ustawiamy `sda: GPIO13` i `scl: GPIO16`, jak w `esp01.yaml` na wskazanej stronie. W takim pliku usuwamy też czujnik `wifi_signal` i stały adres z bloku `wifi`.

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 · **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 · **I2C** = Inter-Integrated Circuit: prosta dwuprzewodowa magistrala, którą mały układ (np. czujnik) rozmawia z mikrokontrolerem · **python3** = uruchom interpreter Pythona w wersji 3 albo wskazany skrypt

PLIK KONFIGURACYJNY

Plik konfiguracyjny czujnika: esp01.yaml

```
substitutions:
  nazwa: esp01
  nazwa_przyjazna: "esp01"
  wifi_ssid: "NazwaSieciWifi"
  wifi_haslo: "HasloSieciWifi"
```

```
  ota_haslo: "HasloOta"
  # Przykładowy klucz (32 bajty w base64). Własny generujemy poleceniem openssl rand -
base64 32.
  api_klucz: "KRpA//DKkfXi7KTmZRKQoCykJf6HNIN6vtvgxSOale4="
  web_user: "nazwa_usera"
  web_haslo: "HasloWebserwera"

esphome:
  name: ${nazwa}
  friendly_name: ${nazwa_przyjazna}

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

logger:

api:
  encryption:
    key: ${api_klucz}

ota:
  - platform: esphome
    password: ${ota_haslo}

wifi:
  ssid: ${wifi_ssid}
  password: ${wifi_haslo}
  manual_ip:
    static_ip: 10.20.10.70
    gateway: 10.20.10.1
    subnet: 255.255.255.0
    dns1: 10.20.10.11

# domyślnie GPIO21 to SDA, a GPIO22 to SCL; skanowanie wypisze adresy w dzienniku
i2c:
  sda: GPIO21
  scl: GPIO22
```

```
  scan: true

sensor:
  - platform: sht3xd
    address: 0x44
    update_interval: 30s
    temperature:
      name: "Temperatura"
      id: temperatura
    humidity:
      name: "Wilgotnosc"
      id: wilgotnosc
  - platform: dew_point
    name: "Punkt rosy"
    id: punkt_rosy
    temperature: temperatura
    humidity: wilgotnosc
  - platform: wifi_signal
    name: "Sila sygnalu Wi-Fi"
    update_interval: 60s

web_server:
  port: 80
  auth:
    username: ${web_user}
    password: ${web_haslo}
```

Hasła i klucz wpisujemy w sekcji `substitutions` tylko w pliku roboczym. W pliku, który trafia do repozytorium, zamieniamy je na odwołania `!secret` i trzymamy w osobnym pliku `secrets.yaml` poza repozytorium.

TYLKO ODCZYT

Pierwsze wgranie programu przez USB: esphome run

```
esphome run esp01.yaml
```

Pierwsze wgranie robimy kablem USB, a ESPHome pyta o port. Kolejne zmiany ESP32 przyjmuje już przez sieć, jeśli ma ustawione hasło OTA.

USB = Universal Serial Bus: standard portów i urządzeń podłączanych do komputera, tu pendrive'y i inne nośniki wymienne · **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 · **OTA** = Over The Air: wgrywanie nowego oprogramowania do urządzenia przez sieć, bez kabla · **esphome** = ESPHome: buduje i wgrywa oprogramowanie na ESP32 z pliku YAML, pokazuje logi urządzenia

TYLKO ODCZYT

Podgląd dziennika czujnika przez sieć: esphome logs

```
esphome logs esp01.yaml
```

Przykład:

```
[10:42:11][I][i2c.idf:...]: Found i2c device at address 0x44
[10:42:41][D][sht3xd:...]: 'Temperatura': Got temperature=23.7°C
[10:42:41][D][sht3xd:...]: 'Wilgotnosc': Got humidity=45.2%
[10:42:41][D][sensor:...]: 'Punkt rosy': Sending state 11.30000 °C with 1 decimals of
accuracy
```

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

TYLKO ODCZYT

Sprawdzenie identyfikatorów czujników: curl na adres events

```
curl -s -m 5 -N -u nazwa_usera:HasloWebserwera http://NazwaCzujnika/events | head -n 20
```

Strumień zdarzeń podaje pole `id` każdego czujnika, które potem wpisujemy w adresie `/sensor/`.

curl = client URL: pobieranie i wysyłanie przez HTTP z terminala

TYLKO ODCZYT

Odczyt punktu rosy przez HTTP: curl

```
curl -s -u nazwa_usera:HasloWebserwera http://NazwaCzujnika/sensor/punkt_rosy
```

Przykład:

```
{"id":"sensor-punkt_rosy","value":11.3,"state":"11.3 °C"}
```

HTTP = Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW · **curl** = client URL: pobieranie i wysyłanie przez HTTP z terminala

TYLKO ODCZYT

Wysyłka jednej wartości do Zabbixa: zabbix_sender

```
zabbix_sender -z NazwaSerweraZabbix -s NazwaHostaWZabbixie -k serwerownia.temperatura -o 23.7
```

(gdzie `-s` to nazwa hosta dokładnie taka, jaka jest w Zabbixie, a `-k` to klucz elementu typu Zabbix trapper)

Przykład:

```
info from server: "processed: 1; failed: 0; total: 1; seconds spent: 0.000071"
sent: 1; skipped: 0; total: 1
```

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

TYLKO ODCZYT

Wysyłka trzech wartości jednym skryptem: czujnik_do_zabbixa.sh

Skrypt uruchamiamy z crona co minutę. Wymaga `curl`, `jq` i `zabbix_sender`, a plik z hasłem ma uprawnienia `0700`.

```
#!/bin/bash
# Pobranie wartości z czujnika ESPHome i wysłanie do Zabbixa (elementy typu Zabbix trapper)
CZUJNIK="NazwaCzujnika"
UZYTKOWNIK="nazwa_usera"
HASLO="HasloWebserwera"
SERWER_ZABBIX="NazwaSerweraZabbix"
HOST_ZABBIX="NazwaHostaWZabbixie"
```

```
for para in "temperatura:serwerownia.temperatura" "wilgotnosc:serwerownia.wilgotnosc"
"punkt_rosy:serwerownia.punkt_rosy"; do
  czujnik_id="${para%%:*}"
  klucz="${para##*:}"
  wartosc=$(curl -s -m 5 -u "${UZYTKOWNIK}:${HASLO}"
"http://${CZUJNIK}/sensor/${czujnik_id}" | jq -r '.value')
  if [ -n "${wartosc}" ] && [ "${wartosc}" != "null" ]; then
    zabbix_sender -z "${SERWER_ZABBIX}" -s "${HOST_ZABBIX}" -k "${klucz}" -o
"${wartosc}"
  fi
done
```

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

TYLKO ODCZYT

Sprawdzenie magistrali I2C na Raspberry Pi: i2cdetect

```
sudo i2cdetect -y 1
```

Wymaga pakietu `i2c-tools` i włączonej obsługi I2C w ustawieniach Raspberry Pi.

Przykład:

```
     0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:                         -- -- -- -- -- -- -- --
10: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
20: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
30: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
40: -- -- -- -- 44 -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
```

I2C = Inter-Integrated Circuit: prosta dwuprzewodowa magistrala, którą mały układ (np. czujnik) rozmawia z mikrokontrolerem · **i2cdetect** = Linux (i2c-tools): skanuje magistralę I2C i wypisuje adresy podłączonych urządzeń, np. 44 dla SHT31, więc od niej zaczynamy, gdy czujnik nie odpowiada

TYLKO ODCZYT

Odczyt SHT31 z Raspberry Pi: czujnik_sht31.py

Czujnik łączymy z pinami: SDA do pinu 3 (GPIO2), SCL do pinu 5 (GPIO3), zasilanie 3,3 V z pinu 1, masa z pinu 6. Raspberry Pi ma na tych liniach własne rezystory podciągające, więc nie dokładamy ich. Biblioteka: `pip install smbus2`.

```
#!/usr/bin/env python3
"""Odczyt czujnika SHT31 na magistrali I2C i wyliczenie punktu rosy."""
import math
import time

from smbus2 import SMBus, i2c_msg

ADRES = 0x44        # ADDR do GND; przy ADDR do VIN: 0x45
MAGISTRALA = 1      # /dev/i2c-1 na Raspberry Pi
KOMENDA = [0x24, 0x00]  # pojedynczy pomiar, wysoka powtarzalność


def crc8(dane):
    crc = 0xFF
    for bajt in dane:
        crc ^= bajt
        for _ in range(8):
            crc = ((crc << 1) ^ 0x31) & 0xFF if crc & 0x80 else (crc << 1) & 0xFF
    return crc


def punkt_rosy(t, rh):
    a, b = 17.625, 243.04
    alfa = math.log(rh / 100.0) + a * t / (b + t)
    return b * alfa / (a - alfa)


def odczyt(szyna):
    szyna.i2c_rdwr(i2c_msg.write(ADRES, KOMENDA))
    time.sleep(0.02)
    odpowiedz = i2c_msg.read(ADRES, 6)
    szyna.i2c_rdwr(odpowiedz)
    d = list(odpowiedz)
    if crc8(d[0:2]) != d[2] or crc8(d[3:5]) != d[5]:
        raise IOError("Zła suma kontrolna z czujnika")
```

```
    t = -45 + 175 * ((d[0] << 8) | d[1]) / 65535.0
    rh = 100 * ((d[3] << 8) | d[4]) / 65535.0
    return t, rh


if __name__ == "__main__":
    with SMBus(MAGISTRALA) as szyna:
        while True:
            t, rh = odczyt(szyna)
            print(f"temperatura={t:.1f} wilgotnosc={rh:.1f} punkt_rosy={punkt_rosy(t,
rh):.1f}")
            time.sleep(30)
```

SHT31 = Sensirion SHT31: cyfrowy czujnik temperatury i wilgotności z magistralą I2C, w serwerowni dobry wybór ze względu na dokładność około 2 % RH · **SDA** = Serial Data: przewód danych magistrali I2C, którym czujnik i mikrokontroler wymieniają bity · **SCL** = Serial Clock: przewód zegarowy magistrali I2C, który wyznacza rytm, w jakim odczytujemy bity z przewodu danych · **I2C** = Inter-Integrated Circuit: prosta dwuprzewodowa magistrala, którą mały układ (np. czujnik) rozmawia z mikrokontrolerem · **ADDR** = Address: pin wyboru adresu na module czujnika SHT31, który łączymy z masą albo z zasilaniem, żeby wybrać adres I2C 0x44 lub 0x45 · **GND** = Ground: masa, wspólny punkt odniesienia obwodu elektrycznego · **VIN** = Voltage In: pin zasilania na płytce modułu, do którego podłączamy napięcie wejściowe

ZMIENIA SYSTEM

Szkic Arduino: odczyt DHT22 z punktem rosy

Wymaga biblioteki DHT sensor library (Adafruit) razem z Adafruit Unified Sensor. Pin danych łączymy z zasilaniem rezystorem od 4,7 do 10 kΩ.

```
#include <DHT.h>

#define PIN_DHT 2
#define TYP_DHT DHT22

DHT dht(PIN_DHT, TYP_DHT);

float punktRosy(float t, float rh) {
  const float a = 17.625;
  const float b = 243.04;
  float alfa = log(rh / 100.0) + a * t / (b + t);
```

```
  return b * alfa / (a - alfa);
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  dht.begin();
}

void loop() {
  delay(2000);  // DHT22 odpowiada najwyżej raz na 2 sekundy
  float rh = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  if (isnan(rh) || isnan(t)) {
    Serial.println("Blad odczytu DHT22");
    return;
  }
  Serial.print("temperatura=");
  Serial.print(t, 1);
  Serial.print(" wilgotnosc=");
  Serial.print(rh, 1);
  Serial.print(" punkt_rosy=");
  Serial.println(punktRosy(t, rh), 1);
}
```

□□ **DHT22** = Czujnik wilgotności i temperatury z jednym przewodem danych (AM2302): zakres 0 do 100 %, dokładność 2 do 5 %, odczyt najwyżej raz na 2 sekundy

□□ **KLIKAMY W INTERFEJSIE**

Konfiguracja elementu HTTP agent w Zabbixie

```
Data collection → Hosts → esp01 → Items → Create item
```

Pola elementu zapisujemy w osobnym bloku, żeby było je widać obok ścieżki:

```
Name: Temperatura w serwerowni
Type: HTTP agent
Key: serwerownia.temperatura
URL: http://10.20.10.70/sensor/temperatura
```

```
Request type: GET
HTTP authentication: Basic, użytkownik {$ESP.USER}, hasło {$ESP.HASLO}
Type of information: Numeric (float)
Update interval: 1m
Preprocessing: JSONPath, parametr $.value
```

HTTP = Hypertext Transfer Protocol: protokół stron WWW

TYLKO ODCZYT

Test łączności z czujnikiem: ping

```
ping -c 3 NazwaCzujnika
```

Przykład:

```
PING esp01 (10.20.10.70) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.20.10.70: icmp_seq=1 ttl=255 time=3.12 ms
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2003ms
```

ping = Packet InterNet Groper: sprawdź, czy host odpowiada w sieci i jak długo trwa odpowiedź

Z życia wzięte

Z ŻYCIA WZIĘTE

Środa, 9:20. Tomek przykleił czujnik DHT22 taśmą do tylnych drzwi szafy, tuż przy wylocie serwerów, i pokazuje nam odczyt: 34 °C i 25 % wilgotności. Klimatyzacja w tej samej sali podaje 24 °C i 45 %. Czujnik nie kłamie, tylko mierzy gorące powietrze za serwerami, w którym wilgotność względna spada. Przenosimy go na przód szafy, do zimnego korytarza, dodajemy punkt rosy i okazuje się, że w obu miejscach wynosi on około 11 °C.

Projekt DIY krok po kroku

Dlaczego SHT31 albo SHT40, a nie DHT22

DHT22 jest tani i łatwo go znaleźć, ale rozmawia własnym jednoprzewodowym protokołem, który wymaga dokładnego odmierzania czasu i dopuszcza odczyt najwyżej raz na dwie sekundy [1]. SHT31 i SHT40 są cyfrowymi czujnikami I2C, więc kilka urządzeń dzieli te same dwa przewody, a ich dokładność, czas reakcji i dryf producent podaje w karcie katalogowej [2][3]. Mają też wbudowaną grzałkę do usuwania skroplin.

Czujnik DHT22, tani, ale z jednoprzewodowym protokołem i odczytem najwyżej raz na dwie sekundy

Czujnik DHT22, tani, ale z jednoprzewodowym protokołem i odczytem najwyżej raz na dwie sekundy. W naszej budowie główną rolę ma SHT31 na I2C. Źródło: Wikimedia Commons (autor i wolna licencja podane na stronie pliku).

Czujnik	Wilgotność	Temperatura	Interfejs i zasilanie	Czas reakcji (63 %)
DHT11	20 do 80 %, dokładność 5 %	0 do 50 °C, błąd 2 °C	jeden przewód, 3 do 5 V	próbkowanie do 1 Hz [1]
DHT22	0 do 100 %, dokładność 2 do 5 %	od -40 do 80 °C, błąd 0,5 °C	jeden przewód, 3 do 5 V	próbkowanie do 0,5 Hz [1]
BME280	około 3 %	około 1 °C, do tego ciśnienie 1 hPa	I2C albo SPI, adres 0x76 lub 0x77 [4]	zależy od ustawień
SHT31	typowo 2 %	typowo 0,2 °C	I2C, 0x44 lub 0x45, 2,15 do 5,5 V	8 s, dryf typowo poniżej 0,25 % na rok [2]
SHT40	typowo 1,8 %	typowo 0,2 °C	I2C, 0x44 (AD1B) lub 0x45 (BD1B), 1,08 do 3,6 V	6 s, dryf typowo poniżej 0,25 % na rok [3]

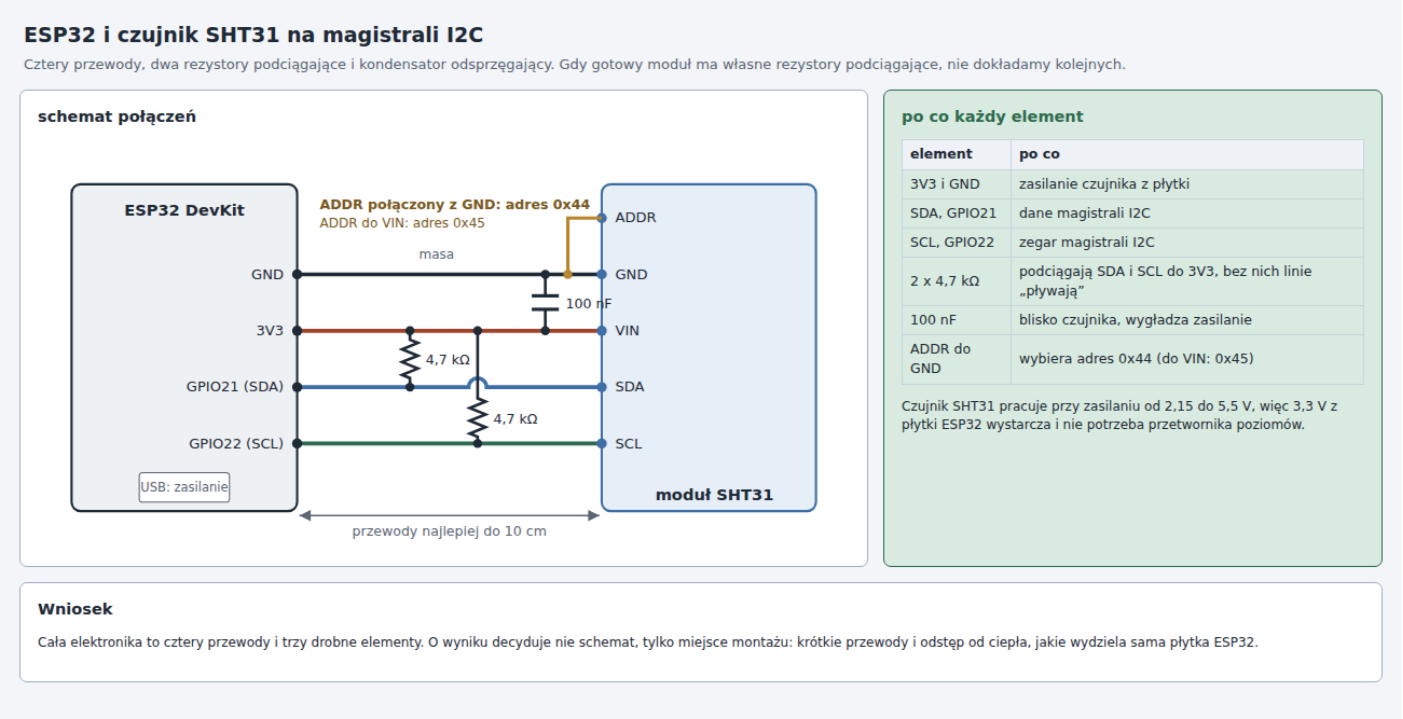
Wybieramy SHT31 jako czujnik główny, bo ma szerszy zakres zasilania i jest szeroko dostępny na gotowych modułach. SHT40 jest lepszy w dokładności i szybkości, ale zasilamy go najwyżej 3,6 V, więc 5 V z płytki by go uszkodziło. W ESPHome zmiana jednego czujnika na drugi to zamiana nazwy platformy.

Lista części

Część	Po co	Uwagi
Płytka ESP32 DevKit	mikrokontroler z Wi-Fi i USB	najlepiej z wyprowadzonymi GPIO21 i GPIO22
Moduł z czujnikiem SHT31	pomiar temperatury i wilgotności	gotowy moduł często ma własne rezystory podciągające
Dwa rezystory 4,7 kΩ	podciągają linie SDA i SCL do 3,3 V	tylko gdy moduł ich nie ma
Kondensator 100 nF	odsprzęga zasilanie czujnika	blisko czujnika, często już na module

Część	Po co	Uwagi
Krótkie przewody połączeniowe	łączą płytkę z czujnikiem	najlepiej do 10 cm
Wentylowana obudowa	chroni przed kurzem i uderzeniem	z otworami albo siatką, żeby powietrze swobodnie dochodziło
Zasilacz USB 5 V i kabel	zasila ESP32	najlepiej z gniazda za zasilaniem awaryjnym serwerowni
Sól do testu i szczelny pojemnik	kalibracja	chlorek magnezu i chlorek sodu o wysokiej czystości

Czujnik łączymy według schematu. Linia SDA idzie do GPIO21, a SCL do GPIO22, oba przewody dostają rezystor podciągający do 3,3 V, a ADDR łączymy z masą, co daje adres 0x44. Pinu ADDR nie zostawiamy wiszącego, bo producent wymaga podłączenia go do zera albo jedynki [2].



Rysunek 1. Schemat połączeń ESP32 i SHT31: cztery przewody, dwa rezystory podciągające 4,7 kΩ i kondensator 100 nF, a krótkie przewody i adres wybrany pinem ADDR. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

ESP32 ma wewnętrzne rezystory podciągające, ale dokumentacja ESPHome mimo to zaleca zewnętrzne, zwłaszcza przy dłuższych przewodach [5]. Producent czujnika zaleca przewody nie dłuższe niż 10 cm. Przy dłuższych trzeba zmniejszyć rezystory do około 3 kΩ, użyć ekranowanego przewodu albo obniżyć częstotliwość magistrali [6]. Prościej przenieść ESP32 razem z czujnikiem i dalej korzystać z Wi-Fi.

◫ ZRZUT EKRANU DO UZUPEŁNIENIA

Zdjęcie do uzupełnienia: moduł z czujnikiem SHT31 na płytce, podłączony do ESP32 krótkimi przewodami.

Konfiguracja ESPHome i punkt rosy

Plik YAML z karty Fiszki robi trzy rzeczy. Odczytuje temperaturę i wilgotność z SHT31, wylicza punkt rosy i udostępnia wartości przez wbudowany serwer WWW. ESPHome ma gotowy komponent `dew_point`, który liczy punkt rosy z temperatury i wilgotności wzorem Magnusa i publikuje wartość niepoprawną (NaN), gdy dane wejściowe są poza zakresem [7].

Jeśli nie chcemy używać gotowego komponentu, to samo możemy policzyć czujnikiem typu `template` ze stałymi 17,625 i 243,04, tymi samymi, których używa komponent [8][7].

```
sensor:
  - platform: template
    name: "Punkt rosy szablon"
    id: punkt_rosy_szablon
    unit_of_measurement: "°C"
    device_class: temperature
    accuracy_decimals: 1
    update_interval: 30s
    lambda: |-
      const float a = 17.625;
      const float b = 243.04;
      float t = id(temperatura).state;
      float rh = id(wilgotnosc).state;
      if (isnan(t) || isnan(rh) || rh <= 0 || rh > 100) return NAN;
      float alfa = logf(rh / 100.0f) + (a * t) / (b + t);
      return (b * alfa) / (a - alfa);
```

Wariant z SHT40 różni się tylko nazwą platformy, bo SHT40 ma w ESPHome osobny komponent `sht4x`, w którym można też ustawić dokładność pomiaru (`precision`) i wbudowaną grzałkę [9]. Grzałka na czas pracy wyłącza pomiar, więc zostaje domyślnie wyłączona.

```
sensor:
  - platform: sht4x
    address: 0x44
    update_interval: 30s
```

```
  temperature:
    name: "Temperatura"
    id: temperatura
  humidity:
    name: "Wilgotnosc"
    id: wilgotnosc
```

Nazwy czujników zapisujemy bez polskich liter ("Wilgotnosc"), bo z nich ESPHome tworzy identyfikator czujnika, którego używamy w adresie HTTP. Odczyt co 30 sekund wystarcza, a dłuższe interwały zmniejszają samonagrzewanie czujnika.

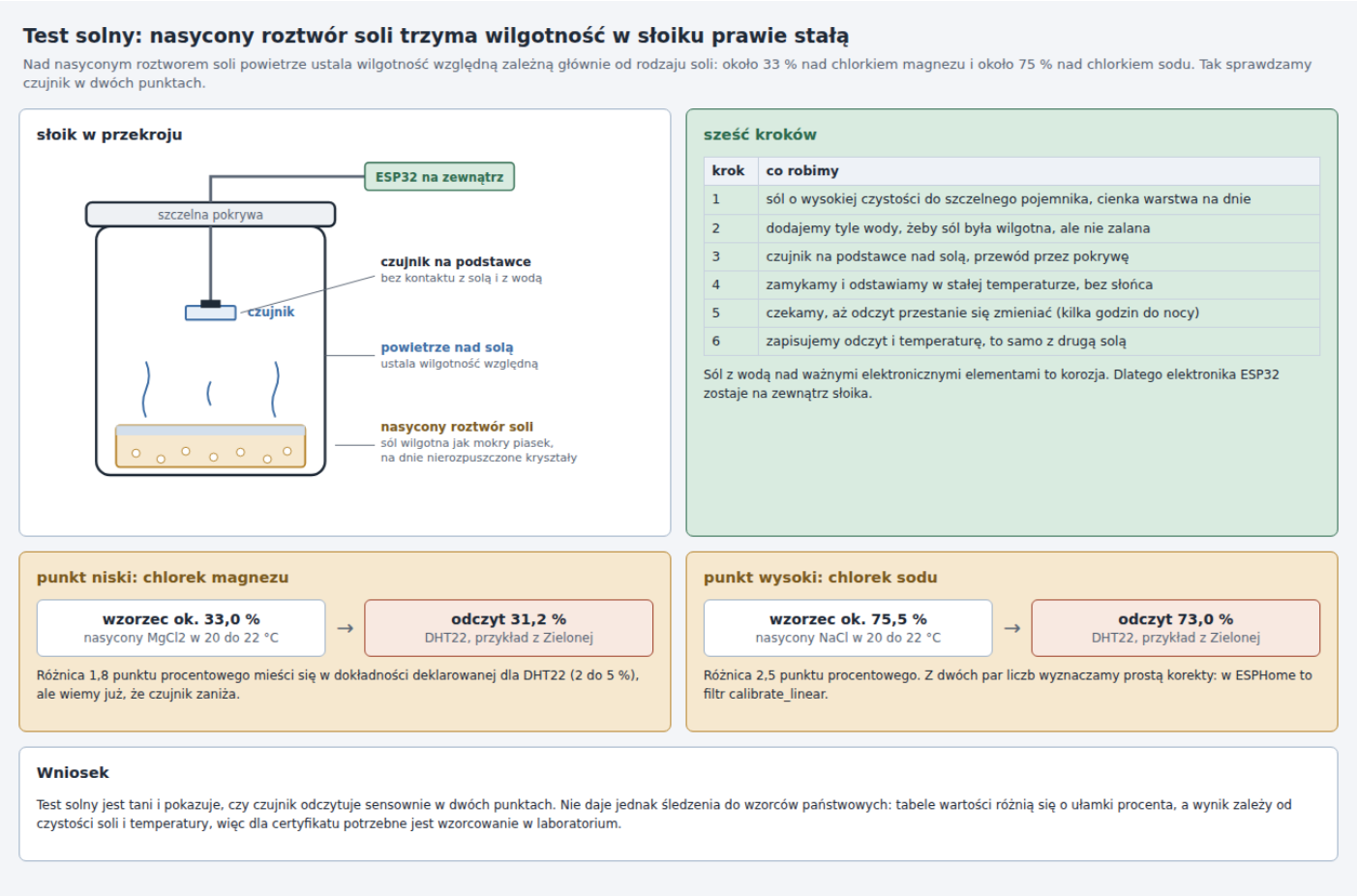
Montaż i miejsce w obudowie

Obudowa ma wentylację na dole i na górze, żeby powietrze przepływało przez nią swobodnie, a czujnik stoi w jej części najbardziej oddalonej od płytki ESP32, bo płytka nagrzewa się podczas pracy Wi-Fi. Producenci czujników opisują samonagrzewanie jako częstą przyczynę zawyżonej temperatury [6].

- Przy wlocie powietrza do szafy, w zimnym korytarzu, a nie przy wylocie ani w pobliżu zasilaczy.
- Z dala od nawiewu klimatyzacji, żeby nie mierzyć strugi zimnego powietrza.
- Czujnik skierowany otworami do dołu, żeby skropliny nie spływały na niego.
- Nie zalewamy czujnika żywicą ani nie zamykamy w szczelnej torebce, bo para wodna musi docierać do polimeru.
- Płytka ESP32 w osobnym obszarze obudowy albo za przegrodą, a czujnik na krótkim, ale nie przylegającym do niej przewodzie.

Kalibracja i weryfikacja z wzorcem: test solny

Tani czujnik może pokazywać o kilka procent za mało albo za dużo, więc przed wdrożeniem porównujemy go z wilgotnością, którą trzyma nasycony roztwór soli. Nad nasyconym roztworem chlorku magnezu wilgotność względna wynosi około 33 %, a nad chlorkiem sodu około 75 do 76 %, zależnie od tabeli, temperatury i czystości soli [10][11]. Chlorek litu daje około 11 % i bywa używany jako trzeci, najniższy punkt [12].



Rysunek 2. Test solny: czujnik na podstawce nad nasyconym roztworem soli w szczelnym słoiku, a obok kroki procedury i przykład poprawki dla dwóch soli. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Przebieg testu jest taki. Cienką warstwę soli rozsypujemy na dnie szczelnego pojemnika i dodajemy tyle wody, żeby sól była wilgotna jak mokry piasek, a na dnie zostały nierozpuszczone kryształy [10]. Czujnik stawiamy na podstawce nad solą, bez kontaktu z nią, zamykamy pojemnik i odstawiamy w stałej temperaturze, bez słońca.

Sól nie może dotknąć czujnika [13]. Czekamy, aż odczyt przestanie się zmieniać, co w słoiku zajmuje zwykle kilka godzin, najlepiej całą noc, a w profesjonalnych komorach około 10 do 40 minut [12].

Sól	Wilgotność względna nad roztworem	Uwagi
Chlorek litu	około 11 %	punkt najniższy
Chlorek magnezu	około 33 %	punkt niski
Chlorek sodu	około 75 do 76 %	punkt wysoki

Tabele wartości różnią się o ułamki procenta, a dokumenty Światowej Organizacji Meteorologicznej zastrzegają, że same tabele nie dają śledzenia do wzorców i trzeba je zweryfikować wzorcowym higrometrem [13]. Test solny uczy, ile nasz czujnik się myli, ale nie zastępuje świadectwa wzorcowania.

Przykład z Zielonej: DHT22 pokazał nad chlorkiem magnezu 31,2 %, a nad chlorkiem sodu 73,0 %. Z dwóch par liczb wynika, że zaniża o około 2 punkty procentowe, a filtr `calibrate_linear` w ESPHome poprawia odczyt prostą przez te punkty [14].

```
sensor:
  - platform: dht
    model: DHT22
    pin: GPIO4
    update_interval: 30s
    temperature:
      name: "Temperatura DHT22"
      id: temperatura_dht
    humidity:
      name: "Wilgotnosc DHT22"
      id: wilgotnosc_dht
      filters:
        - calibrate_linear:
            - 31.2 -> 33.0
            - 73.0 -> 75.5
```

Dla SHT31 poprawka zwykle nie jest potrzebna. Gdy odchyłka w teście przekracza dokładność z karty katalogowej, wpisujemy ją tak samo.

Czujniki polimerowe dryfują, producent SHT31 i SHT40 podaje typowo mniej niż 0,25 % RH na rok [2][3], więc test powtarzamy raz w roku. Po lutowaniu wilgotność może być przez kilka dni zaniżona o 2 do 3 %, a potem się stabilizuje [6]. Gdy czujnik zetknie się z oparami chemicznymi, producent opisuje procedurę regeneracji: wygrzewanie w 100 do 105 °C przy wilgotności poniżej 5 % przez 10 godzin i nawilżanie w 20 do 30 °C przy około 75 % przez 12 godzin [6]. Dotyczy ona samego czujnika, a gotowy moduł z tworzywem i lutowinami może jej nie przeżyć, więc zwykle wymieniamy moduł.

Obudowa i miejsce montażu w serwerowni

Czujnik główny montujemy przy wlocie powietrza do pierwszej szafy w rzędzie, na wysokości środkowej jednostki. Drugi czujnik, ten sam układ, stawiamy przy nawiewie z klimatyzacji precyzyjnej, bo różnica temperatury między nawiewem a punktem rosy jest dla nas sygnałem ryzyka skraplania. Opis miejsc montażu w serwerowni jest też na stronie o rodzajach higrometrów.

Drugi wariant: BME280 oraz DHT22 z Arduino

BME280 mierzy temperaturę, wilgotność i ciśnienie atmosferyczne, a jego dokładność wilgotności to około 3 %, czyli gorzej niż SHT31 [4]. Ciśnienie nie jest nam potrzebne w serwerowni, ale przydaje się w stacji pogodowej i przy dokładniejszym wyliczaniu punktu rosy. W ESPHome dodajemy go na tej samej magistrali I2C, a dokumentacja zaleca podciągnięcie pinu CSB do 3,3 V, żeby uniknąć błędów komunikacji [15].

```
sensor:
  - platform: bme280_i2c
    address: 0x76
    update_interval: 30s
    temperature:
      name: "Temperatura BME280"
      id: temperatura_bme
    humidity:
      name: "Wilgotnosc BME280"
      id: wilgotnosc_bme
    pressure:
      name: "Cisnienie BME280"
  - platform: dew_point
    name: "Punkt rosy BME280"
    temperature: temperatura_bme
    humidity: wilgotnosc_bme
```

DHT22 z Arduino to najprostszy sposób na pierwszy kontakt z pomiarem wilgotności: jedna płytka, jeden czujnik, wynik w monitorze portu szeregowego. Szkic jest w Fiszce. Do porównania dokładności wkładamy do tego samego słoika z solą po jednym egzemplarzu każdego czujnika.

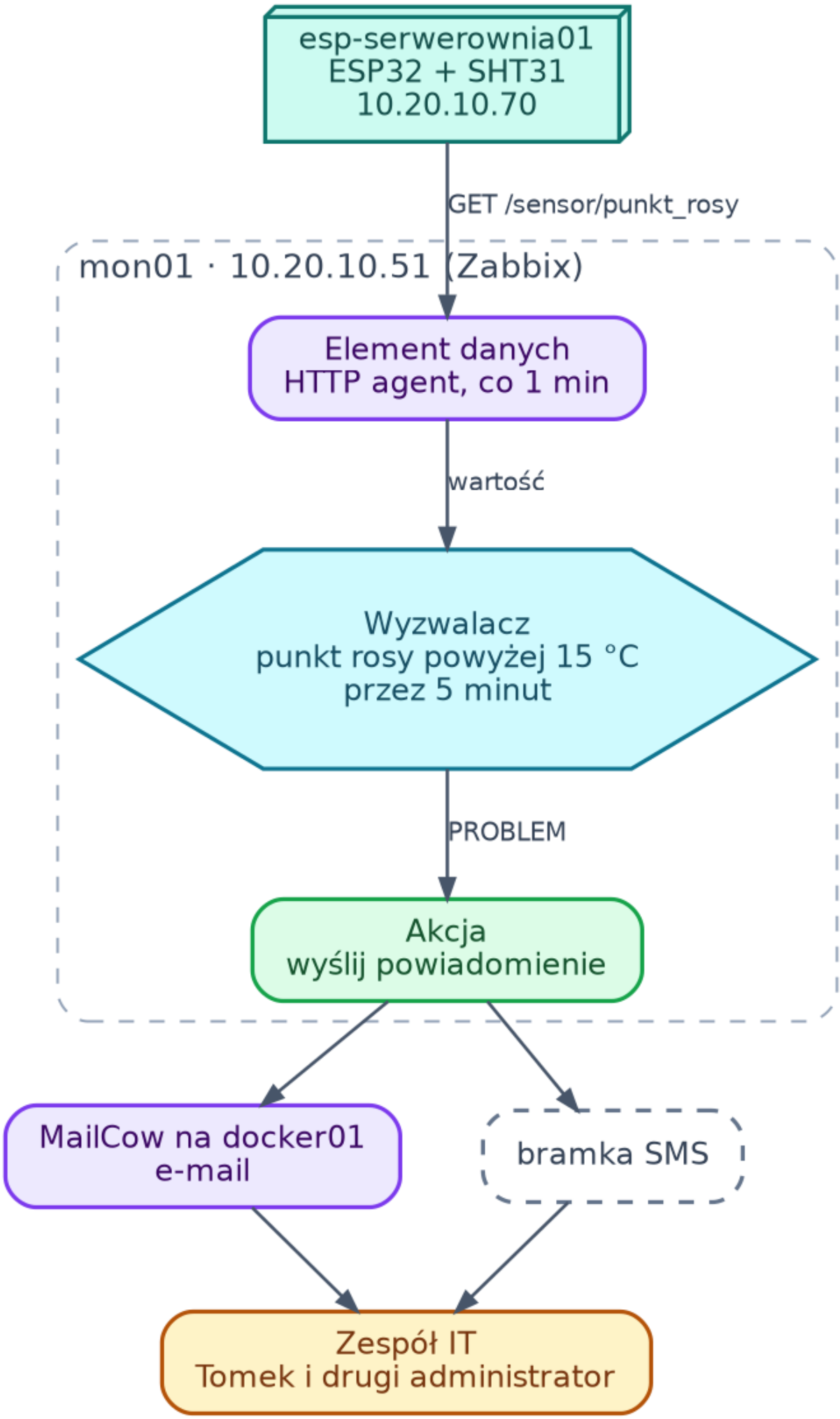
Przykład z Zielonej, wyniki nad chlorkiem magnezu (wzorzec około 33,0 %) i chlorkiem sodu (wzorzec około 75,5 %):

Czujnik	Odczyt nad MgCl2	Odczyt nad NaCl	Największy błąd
SHT31	32,6 %	74,7 %	0,8 punktu procentowego
BME280	31,9 %	73,9 %	1,6 punktu procentowego
DHT22	31,2 %	73,0 %	2,5 punktu procentowego

Każdy z trzech wyników mieści się w dokładności deklarowanej przez producenta, ale tylko SHT31 mieści się w niej z zapasem. Dlatego do serwerowni wybieramy SHT31 albo SHT40, a DHT22 zostaje do nauki i do mniej ważnych miejsc.

Integracja z monitoringiem

Czujnik ma wbudowany serwer WWW ESPHome z interfejsem REST. Odczyt elementu to zwykłe zapytanie GET na adres `/sensor/<id>`, a odpowiedź to JSON z polami `id`, `value` i `state` [16]. Zabbix potrafi takie zapytanie wysyłać sam, elementem typu HTTP agent, a potem wyciągnąć liczbę z pola `value` przetwarzaniem wstępnym JSONPath [17].


esp-serwerownia01
ESP32 + SHT31
10.20.10.70
GET /sensor/punkt_rosy
mon01 · 10.20.10.51 (Zabbix)
Element danych
HTTP agent, co 1 min
wartość
Wyzwalacz
punkt rosy powyżej 15 °C
przez 5 minut
PROBLEM
Akcja
wyślij powiadomienie
MailCow na docker01
e-mail
bramka SMS
Zespół IT
Tomek i drugi administrator

Rysunek 3. Droga alarmu: ESP32 wystawia wartości przez HTTP, Zabbix na mon01 odpytuje je co minutę, wyzwalacz ocenia średni punkt rosy, a akcja wysyła e-mail przez MailCow na docker01 oraz SMS. (kliknięcie otwiera pełny rozmiar)

Na hoście `esp01` w Zabbixie zakładamy trzy elementy typu HTTP agent z kluczami `serwerownia.temperatura`, `serwerownia.wilgotnosc` i `serwerownia.punkt_rosy`. Adres, uwierzytelnianie i przetwarzanie wstępne opisuje karta w Fiszce, a dane logowania trzymamy w makrach sekretnych hosta, nie w samym elemencie. Alternatywą jest skrypt z crona i element typu Zabbix trapper, co też jest w Fiszce.

Progi dla serwerowni

Progi bierzemy z zaleceń ASHRAE dla klasy A1, zakres zalecany daje ostrzeżenie, a dopuszczalny wysoki alarm [18]. Zielona nie prowadzi monitoringu korozji na kuponach, więc dla wilgotności względnej przyjmujemy ostrożną granicę 50 % jako informację, a nie alarm [19]. To przykładowe wartości, które po miesiącu pracy dopasowujemy do rzeczywistego tła w sali.

Wielkość	Ostrzeżenie	Wysoki alarm	Podstawa
Temperatura	powyżej 27 °C albo poniżej 18 °C	powyżej 32 °C albo poniżej 15 °C	zakres zalecany i dopuszczalny A1
Punkt rosy	powyżej 15 °C albo poniżej -9 °C	powyżej 17 °C albo poniżej -12 °C	zakres zalecany i dopuszczalny A1
Wilgotność względna	powyżej 50 % (informacja)	powyżej 80 % albo poniżej 8 %	dopuszczalny A1
Brak danych z czujnika	brak	brak odczytu przez 5 minut	zasilanie, Wi-Fi, awaria czujnika

Wyrażenia wyzwalaczy zapisujemy w składni Zabbixa 7.0 i używamy średnich z kilku minut, żeby pojedyncza fluktuacja nie robiła alarmu [20]. Przykłady dla hosta `esp01`:

```
Punkt rosy powyżej 15 °C (Warning):
avg(/esp01/serwerownia.punkt_rosy,5m)>15

Punkt rosy powyżej 17 °C (High):
avg(/esp01/serwerownia.punkt_rosy,5m)>17

Wilgotność względna poniżej 8 % (High):
avg(/esp01/serwerownia.wilgotnosc,15m)<8

Temperatura powyżej 32 °C (High):
avg(/esp01/serwerownia.temperatura,5m)>32
```

```
Brak danych z czujnika (High):
nodata(/esp01/serwerownia.temperatura,5m)=1
```

Wyzwalacz na punkt rosy zbliżający się do temperatury wlotu

Skraplanie zaczyna się na powierzchni zimniejszej od punktu rosy, więc nie wystarcza pilnować samego punktu rosy. Pilnujemy też odstępu między temperaturą powietrza a punktem rosy: gdy się kurczy, wilgotność względna rośnie, a każda zimna powierzchnia staje się ryzykowna. Drugi wyzwalacz porównuje punkt rosy w sali z temperaturą nawiewu klimatyzacji z drugiego czujnika `esp02`.

```
Odstęp temperatury i punktu rosy mniejszy niż 6 K (Warning):
last(/esp01/serwerownia.temperatura)-last(/esp01/serwerownia.punkt_rosy)<6

Punkt rosy w sali blisko temperatury nawiewu (High):
last(/esp02/serwerownia.temperatura)-last(/esp01/serwerownia.punkt_rosy)<2
```

W salach, gdzie nawiew jest chłodniejszy od sali, drugi wyzwalacz mówi, że na wylocie klimatyzacji zaczyna się skraplanie. Ten sam układ pilnuje też rur z wodą lodową, jeśli czujnik postawimy przy nich.

Alarm pocztą i SMS

Akcja Zabbixa wysyła powiadomienie e-mailem przez serwer pocztowy MailCow na `docker01` oraz SMS-em przez bramkę SMS. Wiadomość zawiera nazwę hosta, wartość punktu rosy i temperatury oraz czas. Alarm o braku danych ma ten sam kanał, bo cisza z czujnika często znaczy, że zniknęło zasilanie albo Wi-Fi, a nie że w sali jest dobrze.

Inna droga: Home Assistant albo MQTT

ESPHome wysyła dane też do Home Assistanta przez wbudowane API, a przez komponent MQTT do brokera. Z brokera dane można czytać do Zabbixa wtyczką MQTT agenta 2, której klucze sprawdzamy w dokumentacji naszej wersji. W Zielonej wybraliśmy HTTP agent, bo nie wymaga brokera i działa od razu na istniejącym Zabbixie.

Bezpieczeństwo i ograniczenia

- Kondensacja na czujniku: skroplona woda zawyża odczyt do 100 % i może zostawić trwałą zmianę. Czujnik po przeniesieniu z zimna odczekujemy, a wbudowaną grzałkę włączamy tylko świadomie, bo na czas pracy wyłącza pomiar [9].
- Zanieczyszczenia: kurz, opary i płyny czyszczące zmieniają własności polimeru. Obudowa z siatką pomaga, ale zalania żywicą nie stosujemy.
- Sieć: ESP32 z serwerem WWW ma słabe zabezpieczenia, więc stawiamy go w osobnej sieci albo ograniczamy dostęp regułą na `fw01` tylko do `mon01`. Hasło serwera WWW, klucz API i hasło OTA ustawiamy zawsze.
- Zasilanie: czujnik zasilamy z gniazda za zasilaniem awaryjnym, bo inaczej zniknie wraz z awarią, którą ma wykryć.
- DIY nie zastępuje certyfikatów: własny czujnik nie ma świadectwa wzorcowania ani śledzenia do wzorców państwowych. Nie spełnia też wymagań ubezpieczyciela ani audytora, którzy mogą żądać przyrządów z certyfikatem.
- Odbiór ppoż. i systemy ochrony: czujnik wilgotności z ESP32 nie jest częścią systemu sygnalizacji pożarowej ani gaszenia gazem. Takie systemy muszą mieć własne, certyfikowane czujniki i odbiór przez uprawnione osoby.

Częste błędy

Objaw	Przyczyna	Co robimy
`i2cdetect` albo skan ESPHome nie widzi czujnika	pomylone SDA i SCL, brak zasilania, ADDR wiszący	sprawdzamy połączenia, ADDR do GND albo VIN, zasilanie 3,3 V
Temperatura o 2 do 3 °C za wysoka	czujnik blisko ESP32 albo zasilacza, za częsty odczyt	oddalamy czujnik od płytki, wydłużamy interwał do 30 s
Wilgotność 100 % i temperatura rośnie	skroplona woda na czujniku	odczekujemy, w razie potrzeby grzałka lub wyjęcie z wilgoci
Punkt rosy pokazuje NaN	wilgotność poza zakresem 0 do 100 % albo brak danych	sprawdzamy odczyt wilgotności i połączenia [7]
Adres `/sensor/nazwa` zwraca 404	identyfikator czujnika inny niż zakładamy, na przykład przez polskie litery	sprawdzamy pole `id` w strumieniu `/events`
Element w Zabbixie ma status nieobsługiwany	zły adres, brak uwierzytelniania albo zła ścieżka JSONPath	sprawdzamy to samo `curl`-em z `mon01` i poprawiamy element
Test solny daje 60 % zamiast 75 %	pojemnik nieszczelny, sól niewystarczająco wilgotna albo za krótki czas	uszczelniamy, dodajemy wody, czekamy dłużej

Objaw	Przyczyna	Co robimy
SHT40 przestał działać po podłączeniu do 5 V	zasilanie powyżej 3,6 V	zasilamy SHT40 z 3,3 V
Czujnik znika z Wi-Fi	słaby sygnał albo zmiana hasła sieci	sprawdzamy czujnik sygnału w ESPHome i zasięg

□□ Ćwiczenia

1. Jaki adres I2C ma SHT31, gdy pin ADDR jest podłączony do zasilania VIN?

Odpowiedź

0x45. Przy ADDR połączonym z masą adres to 0x44. Pinu ADDR nie zostawiamy niepodłączonego.

1. Dlaczego alarm ustawiamy na punkt rosy, a nie tylko na wilgotność względną?

Odpowiedź

Wilgotność względna zależy od temperatury i różni się przed szafą oraz za nią. Punkt rosy jest w całej sali taki sam, dopóki nic nie nawilża ani nie osusza powietrza, i mówi wprost, kiedy zacznie się skraplanie. Zalecenia ASHRAE też opisują granice punktem rosy.

1. Czujnik w serwerowni klasy A1 pokazuje punkt rosy 16 °C. Jaki alarm powinien się włączyć?

Odpowiedź

Ostrzeżenie, bo 16 °C jest powyżej zalecanego 15 °C, ale poniżej dopuszczalnego 17 °C. Wysoki alarm włączy się dopiero powyżej 17 °C.

1. DHT22 pokazał 31,2 % nad chlorkiem magnezu i 73,0 % nad chlorkiem sodu. Ile wynosi błąd w obu punktach i jak go skorygujemy?

Odpowiedź

Wzorce to około 33,0 % i 75,5 %, więc czujnik zaniża o 1,8 i 2,5 punktu procentowego. Korygujemy go filtrem `calibrate_linear` w ESPHome z parami 31.2 -> 33.0 oraz 73.0 -> 75.5.

1. Dlaczego nie zalewamy czujnika wilgotności żywicą, żeby chronić go przed kurzem?

Odpowiedź

Czujnik polimerowy mierzy wilgotność tylko wtedy, gdy para wodna dociera do polimeru. Żywica zablokuje dostęp pary i czujnik będzie mierzył wnętrze żywicy, a nie powietrze.

Źródła:

1. Adafruit, DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors: learn.adafruit.com/dht
2. Sensirion, SHT3x-DIS Datasheet: sensirion.com, Datasheet_SHT3x_DIS.pdf
3. Sensirion, SHT40 Datasheet (kopia SparkFun): cdn.sparkfun.com, SHT40_Datasheet.pdf
4. Adafruit BME280 Humidity + Barometric Pressure + Temperature Sensor Breakout: learn.adafruit.com, BME280
5. ESPHome, I²C Bus: esphome.io/components/i2c
6. Sensirion, Humidity Sensors FAQ (regeneracja, długość przewodów I2C): sensirion.com/products/support/faq
7. ESPHome, Dew Point (platforma dew_point): esphome.io/components/sensor/dew_point
8. ESPHome, Template Sensor: esphome.io/components/sensor/template
9. ESPHome, SHT4X Temperature and Humidity Sensor: esphome.io/components/sensor/sht4x
10. Conservation Physics, Saturated salt solutions: conservationphysics.org/satslt/satsalt.html
11. CAMEO, Saturated salt solutions, Museum of Fine Arts Boston: cameo.mfa.org/wiki/Saturated_salt_solutions
12. Purdue University, SOP 7, Calibration of humidity sensors with saturated salt solutions: engineering.purdue.edu/~odor/QAPP/sop7.htm
13. WMO, Humidity Part 3, Procedures (training material): etrp.wmo.int, 5_3_Humidity Part 3 Procedures.pdf
14. ESPHome, Sensor Filters (calibrate_linear): esphome.io/components/sensor
15. ESPHome, BME280 Temperature+Pressure+Humidity Sensor: esphome.io/components/sensor/bme280
16. ESPHome, Web Server Component (REST API): esphome.io/components/web_server
17. Zabbix 7.0, HTTP agent item: zabbix.com/documentation/current/en/manual/config/items/itemtypes/http

18. ASHRAE, 2021 Equipment Thermal Guidelines for Data Processing Environments, 5th ed., karta informacyjna: ashrae.org, therm-gdlns-5th-r-e-refcard.pdf
19. Uptime Institute, New ASHRAE guidelines challenge efficiency drive: journal.uptimeinstitute.com
20. Zabbix 7.0, Trigger expression: zabbix.com/documentation/7.0/en/manual/config/triggers/expression