

LK-29 Softvérová špecifikácia

Geigerovský monitor & meteostanica

Verzia 1.4.0 | Júl 2026 | dedeideas.eu | Ľubomír Karlík sr.

Tento dokument popisuje architektúru firmvéru LK-29 tak, ako je implementovaná v aktuálnom MicroPython projekte. Verzia 1.3.5 pridáva prácu s nadmorskou výškou stanice a prepočíta absolútnu hodnotu tlaku BME688 na tlak na hladine mora hneď po každom čítaní senzora.

1. Rozsah a funkcie

- Meranie ionizujúceho žiarenia GM trubicou, regulácia vysokého napätia, výpočet CPM a dávkového príkonu.
- Meranie prostredia senzorom BME688: teplota, vlhkosť, absolútny tlak stanice, odpor plynu a IAQ.
- Výpočet tlaku na hladine mora pomocou STATION_ELEVATION_M; surová hodnota zo senzora zostáva dostupná ako PRESSURE_RAW.
- Vyhľadanie nadmorskej výšky z OpenTopoData SRTM90m pri zmene nakonfigurovaných súradníc stanice alebo keď výška chýba.
- Responzívny webový dashboard s metrickými dlaždicami, dvomi dvojsovými grafmi s podporou ťahania, 24-hodinovou históriou v RAM a predpoveďou počasia.
- 2,9-palcový trojfarebný e-paper displej, otočený o 180 stupňov, s lokalizáciou SK/EN a exportom snímky obrazovky.
- OTA aktualizácia firmvéru zo ZIP, živá webová konzola, záložný Wi-Fi AP, konfiguračný panel s Basic Auth a logovanie do InfluxDB.

2. Hardvérová platforma

Položka	Hodnota
MCU	ESP32-S3 Zero, 240 MHz dvojjadrový, 8 MB PSRAM, 4 MB flash
Displej	Waveshare 2,9-palcový e-Paper B V3, 128 × 296 px, čierna/červená/biela
Detektor žiarenia	Impulzný vstup GM trubice XERAM 3G8B na GPIO1 (širokorozsahová priemyselná trubica)
Senzor prostredia	BME688 na I2C adrese 0x77; fallback detekcia podporuje aj senzory triedy SHT3x
Vysoké napätie	PWM controlled boost converter, target output typically 400-450 V

Položka	Hodnota
Buzzer	Pasívny buzzer na GPIO10, 3 kHz PWM tick pre každý GM impulz plus sekvencie alarmu
Napájanie	USB-C 5 V or Li-Ion battery plus boost converter
Network	Wi-Fi 802.11 b/g/n, 2.4 GHz

2.1 Priradenie pinov

GPIO	Funkcia
1	Impulzný vstup GM trubice
2	ADC deliča napätia batérie
3	SPI MOSI pre e-paper
4	SPI CLK pre e-paper
5	Reset displeja
6	HV ADC feedback
7	PWM výstup pre HV regulátor
8	I2C SCL pre BME688
9	I2C SDA pre BME688
10	PWM výstup buzzera
11	Vstup BUSY displeja
12	Display DC
13	Display CS
16	SPI MISO, aktuálne nevyužívané

3. Runtime architektúra

Firmvér beží na MicroPython. main.py vykonáva inicializáciu, Wi-Fi, synchronizáciu času, inicializáciu modulov a hlavnú meraciu slučku. Dáta zo senzorov a GM trubice sú uchovávané v runtime premenných config.py a následne sprístupňované cez dashboard, API, displej, historický buffer a InfluxDB writer.

Modul	Zodpovednosť
main.py	Sekvencia bootovania, Wi-Fi pripojenie, NTP, GeoIP, HTTP server a orchestrácia hlavnej

Modul	Zodpovednosť
	slučky.
config.py	Perzistentná konfigurácia a živé runtime hodnoty vrátane PRESSURE_RAW, PRESSURE a STATION_ELEVATION_M.
reg.py	Spracovanie GM IRQ, rolling CPM, prepočet dávkového príkonu a HV PI regulácia.
buzzer.py	Tick jednotlivých impulzov a alarm signalizácia na GPIO10.
bme680.py	Nízkoúrovňový driver BME688, forced-mode čítania a prístup k registrom plynu.
i2c.py	I2C sken, čítania BME688/SHT, výpočet IAQ a prepočet tlaku na hladinu mora.
elevation.py	Vyhľadanie nadmorskej výšky v OpenTopoData SRTM90m a prepočet tlaku stanice na hladinu mora.
display.py	Kompozícia e-paper, lokalizácia, otočené vykresľovanie a buffer BMP snímky.
history.py	24-hodinový kruhový RAM buffer pre séria grafov.
http_server.py	HTTP routing, statické súbory, autentizačné rozhodnutia a prenos súborov.
http_api.py	REST handlers, operácie save/set konfigurácie, OTA endpointy a endpointy konzoly.
http_cfg.py	Runtime zrkadlo konfiguračných polí zobrazovaných vo webovom konfiguračnom paneli.
influx.py	Bufferovaný writer line protokolu InfluxDB 1.x/2.x s tagmi id a ip.
openweather.py	Klient OpenWeatherMap pre aktuálne počasie a predpoveď.
openmeteo.py	Klient Open-Meteo pre aktuálne počasie a predpoveď.
geoip.py	Optional IP-based location detection.
ota.py	Extrahovanie ZIP, podpora validácie CRC a atomická výmena súborov firmvéru.
console.py	Live stream konzoly pravidelným pollovaním klienta (/api/console/recent); server voliteľne poskytuje aj SSE stream (/api/console/stream), ktorý aktuálny klient nevyužíva.

4. Konfiguračný model

Konfigurácia je uložená v config.py a editovateľná cez /config. Rozloženie formulára je popísané v html/http_server.json, zatiaľ čo http_cfg.py zrkadlí živé len-na-čítanie a editovateľné hodnoty pre UI.

Premenná	Význam
FIRMWARE_VERSION	Aktuálny reťazec firmvéru: ESP-32 S3 Zero v1.3.5.

Premenná	Význam
OWM_LAT / OWM_LON	Súradnice stanice používané poskytovateľmi počasia a vyhľadáním nadmorskej výšky.
STATION_ELEVATION_M	Nadmorská výška stanice v metroch; načítaná z OpenTopoData SRTM90m podľa potreby.
PRESSURE_RAW	Absolútny tlak z BME688 v nadmorskej výške stanice, v hPa.
PRESSURE	Tlak BME688 zredukovaný na hladinu mora, v hPa; toto je hodnota zobrazovaná a logovaná.
I2C_INTERVAL	Sensor read interval in seconds.
CPM_PER_USV	Kalibračný faktor trubice pre prepočet dávkového príkonu.
TARGET_VOLTAGE / HV_DIVIDER_RATIO	Cieľová hodnota HV regulátora a škálovanie spätnej väzby.
OWM_ENABLED / OM_ENABLED	Weather provider selection. OpenWeatherMap requires an API key; Open-Meteo does not.
INFLUX_*	Nastavenia endpointu InfluxDB, bucket/database, token, measurement, interval a buffer.
AUTH_PASSWORD	Heslo HTTP Basic Auth pre chránené stránky a akcie.
LANG	Kľúč jazyka UI/displeja, napr. sk alebo en.

4.1 Politika obnovovania nadmorskej výšky

Počas /api/save http_api.py kontroluje, či sa zmenili OWM_LAT alebo OWM_LON, alebo či neexistuje platná hodnota STATION_ELEVATION_M. Ak áno, zavolá elevation.refresh_config_elevation().

Vyhľadanie používa <https://api.opentopodata.org/v1/srtm90m> s nakonfigurovanou zemepisnou šírkou a dĺžkou. Uloženie pokračuje aj v prípade zlyhania vyhľadávania; vrátený JSON obsahuje upozornenie, aby používateľ mohol skúsiť znovu alebo zadať výšku manuálne.

5. Tok senzorových dát

1. main.py periodicky volá i2c.read_bme688_values() podľa I2C_INTERVAL.
2. BME688 je spustený v režime forced mode a vracia teplotu, vlhkosť, tlak a odpor plynu.
3. i2c.py ukladá surový absolútny tlak do config.PRESSURE_RAW.
4. i2c.py volá elevation.pressure_to_sea_level(raw_hPa, temp_C, STATION_ELEVATION_M).
5. Prepočítaný tlak na hladine mora je zaokrúhlený na 0,1 hPa a uložený v config.PRESSURE.
6. IAQ sa počíta z odporu plynu, adaptívnej baseline a miernej kompenzácie na vonkajšiu teplotu/vlhkosť.

Obmedzenie: meranie plynu/IAQ senzorom BME688 je určené primárne na odhad kvality vzduchu v interiéri. Nejde o senzor pevných častíc a neposkytuje hodnoty PM1, PM2,5, PM10, prach, peľ ani koncentráciu aerosólov. Keďže vonkajšia vlhkosť, kolísanie teploty, prúdenie vzduchu a starnutie senzora ovplyvňujú odpor plynu, LK-29 považuje IAQ len za indikatívnu trendovú hodnotu, nie za kalibrované meranie znečistenia ovzdušia alebo zdravotnej bezpečnosti.

7. HTTP API, e-paper displej, dashboard, history.py a influx.py čítajú config.PRESSURE, nie PRESSURE_RAW.

5.1 Vzorec pre tlak na hladine mora

Tlak stanice je zredukovaný na hladinu mora barometrickou aproximáciou s použitím nadmorskej výšky v metroch a nameranej teploty BME688. V kóde je implementácia v `elevation.pressure_to_sea_level()`. Pre aktuálnu nadmorskú výšku stanice 268,0 m sa surový tlak približne 983 hPa zmení na približne 1015 hPa.

Položka	Hodnota
Vstup	pressure_hpa z BME688, temp_c z BME688, elevation_m z STATION_ELEVATION_M
Fallback	Ak teplota chýba, použije sa 15 °C. Ak nadmorská výška chýba, použije sa 0 m.
Výstup	Tlak na hladine mora v hPa, používaný ako config.PRESSURE.
Odôvodnenie	Predpovede počasia a verejné meteorologické hodnoty tlaku sú štandardne uvádzané na hladine mora.

5.2 Výpočet IAQ

- Odpor plynu sa číta z registrov plynu BME688 po forced-mode meraní plynu.
- IAQ_GAS_BASELINE sa upravuje riadenou normalizáciou počas pokojného okna; vzorky čistejšieho vzduchu sa neprijímajú okamžite, ale až po splnení podmienok stability a vlhkosti.
- Primárny pomer je $\log_{10}(\text{baseline} / \text{gas})$; IAQ je namapované približne na 10..500.
- Vonkajšia kompenzácia orezáva vlhkosť na 30–85 percent a teplotu na 5–35 °C.
- Kompenzačné koeficienty sú zámerne mierne a aplikujú sa len nad nakonfigurovaným prahom pomeru.
- IAQ_TEXT je lokalizovaný z lang_sk.json alebo lang_en.json.

Webové UI a dokumentácia preto prezentujú IAQ ako orientačnú hodnotu. Pre meranie prachových častíc alebo regulačné vonkajšie monitorovanie kvality ovzdušia je potrebný samostatný PM senzor.

6. Webový dashboard

Dashboard na / je implementovaný v `html/dashboard.html` a `html/dashboard.css`. Periodicky vyzýva `/api/data`, jednorazovo pri štarte načíta `/api/history` a vykresľuje metrické dlaždice, kompas vetra, karty predpovede a dva grafy.

- Zobrazený tlak je tlak na hladine mora z `config.PRESSURE`.
- Pozadia metrických dlaždíc používajú farby závislé od hodnoty s intenzitou približne 20 percent.
- Konfigurácia grafov je drag-and-drop: používatelia ťahajú metrické dlaždice na ľavú alebo pravú os grafu.
- Drag-and-drop v dashboarde je implementovaný pomocou Pointer Events a detekcie drop-zóny na základe súradníc. Natívny HTML5 drag je pre metrické dlaždice vypnutý, aby sa predišlo nespoľahlivému doručovaniu drop udalostí v prehliadačoch s dotykovým vstupom.
- Časovač dlhého stlačenia (približne 260 ms) spúšťa režim ťahania na dotykových zariadeniach skôr, než ho môže zrušiť gesto kontextového menu prehliadača. Kontextové menu a WebKit touch callout sú pre metrické dlaždice vypnuté.
- Kliknutie alebo klepnutie na metrickú dlaždicu zobrazí v dlaždici 24-hodinové min/max prekrytie na 7 sekúnd. Prekrytie používa rovnaké historické polia ako grafy a zahŕňa jednotky metriky.
- Veľkosť ikon predpovede sa prepočíta zo skutočnej geometrie dlaždice po zmene veľkosti/orientácie. Práca pri resize je debouncovaná, aby sa zabránilo zaseknutiu hlavného vlákna v Chrome počas zmeny veľkosti okna.
- Preferencie grafov sú uložené per-prehliadač, zatiaľ čo historické vzorky sú uložené v RAM ESP32.
- Historický buffer uchováva až 1440 vzoriek, jeden bod za minútu, a po reštarte ESP32 sa vymaže.
- Predpoveď môže pochádzať z OpenWeatherMap alebo Open-Meteo podľa konfigurácie.

6.1 Metriky dashboardu

Metrické dlaždice sú klikateľné. Pre metriky s historickými poliami (teplota, vlhkosť, tlak, radiácia a IAQ) môže dlaždica dočasne zobraziť minimálnu a maximálnu hodnotu v zobrazenom 24-hodinovom intervale. Vietor je vylúčený, pretože historický rad vetra sa neukladá.

Min/max prekrytie je absolútne pozicované, nemení rozloženie dlaždice a dynamicky prispôsobuje typografiu popisu/hodnoty/jednotky rozmerom dlaždice.

Metrika	Zdroj
Teplota	<code>config.TEMPERATURE</code> zo senzora BME688/SHT.
Vlhkosť	<code>config.HUMIDITY</code> zo senzora BME688/SHT.
Tlak	<code>config.PRESSURE</code> , tlak na hladine mora odvodený zo surového tlaku BME688.
Radiácia	Dávkový príkon z <code>reg.py</code> , na základe rolling CPM a <code>CPM_PER_USV</code> .

Metrika	Zdroj
IAQ	config.IAQ a config.IAQ_TEXT z algoritmu plynu BME688.
Vietor	Aktuálna rýchlosť a smer vetra od poskytovateľa počasia.

7. HTTP rozhranie

Endpoints pre Wi-Fi konfiguráciu:

- /api/connect validuje parametre, pošle okamžitú JSON odpoveď so status=connecting, zatvorí klientsky socket a potom vykoná blokujúci pokus o STA pripojenie. Výsledok sa uloží do config.CONNECT_STATUS.
- /api/connect_status vracia connecting, success:<ip> alebo failed. Pri úspechu alebo zlyhaní endpoint vyčistí CONNECT_STATUS a po odpovedi reštartuje zariadenie.
- Uložené Wi-Fi heslá sa opätovne používajú len vtedy, keď požadovaný SSID zodpovedá uloženému SSID v wifi_config.json. Pri inom SSID API vráti chybu vyžadujúcu nové heslo.
- Ak wifi_config.json chýba alebo neobsahuje žiadny SSID, WiFiManager.connect() vráti False a main.py spustí záložný AP GeigerCounter s inštalačným portálom.

Endpoint	Účel
/	Dashboard.
/config	Authenticated configuration panel.
/wifi	Stránka nastavenia Wi-Fi a captive portalu.
/ota	Authenticated OTA upgrade page.
/console	Live console page.
/screenshot	BMP snímka framebufferu e-paper.
/api/data	Aktuálne hodnoty, popisky dashboardu, stav a súhrn počasia.
/api/history	Polia histórie grafov v RAM: temp, hum, pres, rad, iaq a časové značky.
/api/set?KEY=VALUE	Authenticated single-field configuration update.
/api/save	Autentizované ukladanie konfigurácie; obnovuje nadmorskú výšku podľa potreby.
/api/i2c_scan	Authenticated I2C bus scan.
/api/weather_fetch	Authenticated immediate weather refresh.
/api/db_buffer	Stav bufferu InfluxDB a voliteľné debug okno.
/api/config/download	Download current config.py.

Endpoint	Účel
/api/ota/upload	POST ZIP archívu firmvéru s CRC hlavičkou.
/api/ota/run	Spustí OTA extrahovanie so streamovaným priebehom.
/api/ota/status	OTA progress snapshot.
/api/console/recent	Recent console lines since sequence number.
/api/console/stream	Streaming console output.
/api/set_password	Authenticated password update.

8. Konfiguračný panel

Panel je generovaný z `html/http_server.json`. Zahŕňa live merania, stav Wi-Fi, nástroje pre I2C zbernicu, systémové informácie, nastavenia počasia, nastavenia HV/regulátora, lokalizáciu, InfluxDB a akcie.

Verzia 1.3.5 pridáva editovateľné pole Altitude [m] priradené k `STATION_ELEVATION_M`.

- Live Measurements zobrazuje teplotu, vlhkosť, tlak na hladine mora a IAQ.
- Weather Settings zahŕňajú zemepisnú šírku, dĺžku a nadmorskú výšku.
- Uloženie nastavení zapisuje hodnoty do `config.py` cielenou úpravou.
- Nastavenie grafov zámerne nie je súčasťou panela; osi grafov sa konfigurujú drag-and-drop v dashboarde.

9. E-paper displej

`display.py` vykresľuje Waveshare panel v troch farbách a otočí výsledný obraz o 180 stupňov, aby zodpovedal fyzickej inštalácii. Riadok tlaku používa `config.PRESSURE`, preto zobrazuje tlak na hladine mora.

- Hlavička zobrazuje `DEVICE_NAME` a verziu firmvéru.
- Wi-Fi riadok zobrazuje SSID a IP adresu alebo lokalizované upozornenie.
- Riadky merania zobrazujú teplotu, vlhkosť, tlak, dávkový príkon a IAQ, ak sú dostupné.
- Fonty zahŕňajú ASCII plus symboly stupňa a mikro.
- Endpoint `/screenshot` generuje BMP snímku aktuálnych framebufferov displeja.

10. Radiácia a riadenie vysokého napätia

- IRQ pri nábežnej hrane GPIO1 inkrementuje počítadlo impulzov GM.
- `micropython.schedule()` sa používa na spustenie práce buzzera mimo kontextu IRQ.

- CPM sa počíta ako rolling počet za posledných 60 sekúnd.
- Dávkový príkon v $\mu\text{Sv/h}$ je CPM delené CPM_PER_USV.
- HV regulátor používa ADC spätnú väzbu, TARGET_VOLTAGE a PI regulátor s pásmom necitlivosti a limitmi duty cyklu.
- Pri prekročení CPM_ALARM_THRESHOLD sa spustí akustický alarm.

11. Poskytovatelia počasia

Poskytovateľ	Protocol	API Key	Predpoveď
OpenWeatherMap	HTTP/HTTPS podľa nakonfigurovaného endpointu	Požadované	5 days / 3 hours
Open-Meteo	HTTPS	Nepotrebné	Až 16 dní / hodinové dáta

Aktuálny tlak z Open-Meteo od poskytovateľa sa uchováva ako tlak od poskytovateľa počasia. Lokálna dlaždica tlaku v dashboarde používa lokálne meraný tlak BME688 na hladine mora, nie tlak od poskytovateľa predpovede.

12. Logovanie do InfluxDB

- Zápisy do InfluxDB obsahujú iba merané hodnoty: teplota, vlhkosť, tlak, radiácia a IAQ.
- pressure je config.PRESSURE, teda tlak na hladine mora v hPa.
- Každý záznam obsahuje tagy id, ip a tagy súvisiace s lokáciou tam, kde sú nakonfigurované.
- Kapacita RAM kruhového bufferu je INFLUX_BUF_SIZE; zlyhané zápisy zostávajú čakajúce do neskoršieho flush.
- Podporované sú konfigurácie InfluxDB 1.x s database/write endpointom aj InfluxDB 2.x s bucket/org/token.

13. OTA a konzola

OTA proces nahrá ZIP archív na /api/ota/upload, validuje CRC32 ak je poskytnuté, a rozbalí súbory cez /api/ota/run so streamovaným priebehom. Webová konzola sprístupňuje posledné riadky logu a živý stream pre diagnostiku bez sériového terminálu.

14. Sekvencia bootovania

8. ESP32-S3 bootuje MicroPython a spúšťa main.py.

9. Importuje sa config.py a inicializujú sa runtime východiskové hodnoty.
10. Wi-Fi sa pripojí alebo spustí záložný AP s captive portalom.
11. Spustí sa NTP a voliteľné GeoIP vyhľadanie.
12. Spustí sa HTTP server a stanú sa dostupnými statické stránky/API route.
13. E-paper displej sa inicializuje a vykreslí štartovací stav.
14. I2C scan identifikuje zariadenia BME688/SHT.
15. Hlavná slučka spúšťa čítanie senzorov, aktualizácie GM/HV, refresh displeja, aktualizácie počasia a flushovanie InfluxDB.

15. Súhrn zmien vo verzii 1.3.5

- Webové UI: /config, /wifi, /ota a /console zdieľajú jednotnú modrú paletu (#04223d / #0a2f52 / #1565C0) s prepínaním svetlej/tmavej témy pre každú stránku; téma dashboardu zostáva nezmenená.
- Dashboard: robustný drag-and-drop grafov na báze Pointer Events s podporou dlhého stlačenia a potlačením kontextového menu na metrických dlaždiciach.
- Dashboard: metrické dlaždice môžu po klepnutí/kliknutí zobraziť 24-hodinové min/max hodnoty s jednotkami na 7 sekúnd.
- Dashboard: veľkosť ikon predpovede a teploty sa prepočíta po zmene veľkosti/orientácie s debouncovaním.
- Wi-Fi setup: /api/connect teraz vracia okamžite a inštalačná stránka sa dotazuje na /api/connect_status, čím sa predchádza zlyhaniu fetch v prehliadači počas pokusov o STA pripojenie.
- Wi-Fi setup: uložené heslá sa opätovne používajú len pre rovnaký SSID; ESP32-S3 zostáva obmedzený na 2,4 GHz Wi-Fi sieť.
- Do config.py a webového konfiguračného panela pribudlo STATION_ELEVATION_M.
- Pribudol modul elevation.py pre vyhľadanie v OpenTopoData SRTM90m a prepočet tlaku.
- Pribudlo PRESSURE_RAW ako absolútny tlak BME688 v nadmorskej výške stanice.
- Zmena: config.PRESSURE teraz po každom čítaní BME688 uchováva tlak na hladine mora.
- Dlaždica tlaku v dashboarde, grafy, e-paper displej, historický buffer a záznamy v InfluxDB teraz používajú tlak na hladine mora.
- Cesta ukladania konfigurácie obnovuje nadmorskú výšku pri zmene súradníc alebo keď výška nie je dostupná.
- Reťazec verzie firmvéru je aktualizovaný na v1.3.5.

16. Poznámky k verifikácii

- Kontroly syntaxe Python prešli pre upravené firmvérové moduly.

- html/http_server.json bol úspešne rozparsovaný ako JSON.
- Pri STATION_ELEVATION_M = 268,0 m sa nameraný tlak približne 983 hPa prepočíta na približne 1015 hPa.
- Táto špecifikácia je regenerovaná z aktuálneho stavu projektu pre firmvér 1.3.5.

Doplnok v1.3.5 - IAQ normalizacia plynu a 24 h trend

BME688 moduly mozu v rovnakom cistom vzduchu davat absolutne rozdielne hodnoty plynoveho odporu. Firmware preto pouziva normalizovany plyn GAS_NORMALIZED, aby sa merania dali porovnavat aj po vymene senzora alebo medzi zariadeniami LK-29 a LK-30.

Vzorec normalizacie je: $GAS_NORMALIZED = GAS_RESISTANCE * GAS_NORM_TARGET / IAQ_CLEAN_BASELINE$. Predvolena referencna hodnota GAS_NORM_TARGET je 250000 ohm. IAQ_CLEAN_BASELINE sa po 24 hodinach stabilneho cisteho vzduchu povazuje za referenciu daneho senzora.

Plynové meranie je doveryhodné iba vtedy, keď BME688 hlási gas_valid=True, heat_stab=True a odpor je v rozsahu 1000 až 50000000 ohm. Neplatné alebo nestabilné merania nesmú meniť IAQ baseline, clean-air vektor ani trend.

Po zmene IAQ_CLEAN_BASELINE sa automaticky zbiera nový samostatný 24 h clean-air vektor do suboru iaq_clean_vector.json. Aktuálne 24 h okno normalizovaného plynu sa potom porovnáva s referenčným vektorom cez zmenu úrovne a tvar krivky.

Pokles normalizovaného plynu nad 10 % sa považuje za pomalé zhoršenie kvality ovzdušia. Menší pokles so zhodným tvarom krivky môže byť označený ako pravdepodobný drift senzora. Stav je dostupný cez IAQ_TREND_STATUS, IAQ_TREND_DELTA_PCT, IAQ_TREND_LEVEL_RATIO a IAQ_TREND_SHAPE_ERROR_PCT.

Historia meraní a diagnostika obsahujú aj gas_normalized, gas_adc, gas_range, gas_valid, heat_stab a gas_history_trusted. Tieto hodnoty pomáhajú odlíšiť skutočnú zmenu plynu od nestabilného alebo nesprávne nacistaného BME688 merania. Clean-air vektor a IAQ trend môžu aktualizovať iba doveryhodné gas_normalized vzorky.

BME688 je primárne senzor pre vnútorné prostredie, nemeria prachové častice PM1/PM2.5/PM10 a jeho IAQ treba brať ako orientačný údaj, nie ako certifikované meranie kvality ovzdušia alebo bezpečnostný detektor plynu.

Doplnok v1.3.5 - Bosch kompenzacia odporu plynu a vyhladenie IAQ krivky

Výpočet plynového odporu z registrov gas_adc/gas_range používal zjednodušený odhad $var1 = 262144 >> gas_range$, ktorý ignoroval kalibračný bajt range_switching_error (register 0x04, číta sa už do sensor._sw_err v bme688.py) a Bosch kalibrované lookup tabuľky pre jednotlivých 16 rozsahov. Pri niektorých hodnotách gas_range sa tento zjednodušený odhad výrazne odchyľoval od skutočnej kalibrácie konkrétneho čipu, čo sa pri každom prepnutí rozsahu senzorom (bez náhody automatického

autorangingu BME688) prejavovalo ako pravidelny, opakovatelny skok vo vypocitanom odpore - viditelne ako "zuby" na IAQ/Gas grafe. Neislo o sum senzora, ale o algoritmicke chybu.

Oprava: vypocet plynoveho odporu teraz pouziva oficialny Bosch vzorec s tabulkami LOOKUP_TABLE_1/LOOKUP_TABLE_2 a hodnotou sensor._sw_err, teda identicky vzorec, aký už obsahovala (ale nikdy nevolala kvôli blokujúcemu citaniu) vlastnosť gas v bme688.py.

Suvisiaca druhá oprava: interpolácia krivky IAQ vo funkcii _iaq_from_gas_ratio() teraz beží nad log10(pomeru baseline/gas) namiesto nad surovým pomerom. Prvý úsek krivky (pomer 1.0 až IAQ_RATIO_100, predvolené 2.0) mal predtým niekoľkonásobne strmší sklon než neskôršie úseky, čím sa bezný súm senzora v tejto časti zosilňoval do viditeľných "zubov" a nerovnomerného poklesu IAQ. Hodnoty IAQ v konfigurovaných bodoch zlomu (IAQ_RATIO_100..500) ostávajú rovnaké ako predtým, mení sa iba tvar krivky medzi nimi.

Dosledok pre existujúce zariadenia: uložené hodnoty IAQ_GAS_BASELINE aj IAQ_CLEAN_BASELINE boli nakalibrované podľa starého vzorca, takže po tejto oprave dočasne nezodpovedajú novej (správnejšej) skále odporu, kým sa nedorovnajú automatickou normalizáciou alebo ručnou servisnou kalibráciou baseline.

Obe opravy boli pôvodne identifikované a nasadené na paralelnom projekte LK-30 airQ (rovnaký BME688 fingerprint/IAQ základ) a následne prenesené aj do LK-29.

Doplnok v1.3.5 - OTA manifest a doveryhodná história plynu

Diferenciálna OTA aktualizácia teraz používa model z LK-30. Po úspešnej aktualizácii firmware uloží /ota_manifest.json s kompletným zoznamom súborov nainštalovanej verzie. Endpoint /api/ota/manifest vracia tento uložený manifest namiesto toho, aby ESP pred každým uploadom prechádzalo celú flash a počítalo CRC32 každého súboru. Ak manifest ešte neexistuje, prehliadač automaticky použije full upload; ďalšie aktualizácie už môžu nahrávať iba zmenené súbory.

Prehliadač pri /api/ota/upload posiela hlavičku X-OTA-Mode: diff alebo full a zvolený režim sa uchová v OTA stave pre /api/ota/run. OTA_CLIENT_IDLE_TIMEOUT_MS a OTA_RUN_TIMEOUT_MS určujú toleranciu nečinnosti na strane prehliadača a timeout behu na strane servera. Lokálne perzistentné súbory, Wi-Fi nastavenia, heslo, konfigurácia InfluxDB/OpenWeatherMap a IAQ kalibračné hodnoty zostávajú po OTA zachované.

Sprístupná sa aj ochrana IAQ trendu. Runtime príznak GAS_HISTORY_TRUSTED určuje, či aktuálna vzorka plynu z BME688 môže vstupovať do gas_normalized, clean-air vektora a dlhodobej detekcie trendu. Vzorky z clean pulse, vzorky počas post-pulse settling, ADC saturácia a merania s neplatným gas_valid/heat_stab stavom ostávajú viditeľné v diagnostike, ale neaktualizujú IAQ baseline, clean-air vektor ani trend. /api/data pre diagnostiku vracia aj gas_history_trusted.

Doplnok v1.3.6 — reaktívny clean-pulse, kalibrácia trubice XERAM 3G8B a UI úpravy

Periodický clean-pulse (pevný rozvrh každých N cyklov) bol nahradený reaktívnym: senzor beží stále na jednej konštantnej teplote ohrievača (BME688_IAQ_HEATER_TEMP_C) a vyšší 400°C pulz sa spustí až po BME688_CLEAN_PULSE_SATURATION_STREAK (predvolene 3) po sebe idúcich saturovaných meraniach ($gas_adc \geq 1023$), nie na časovač. Pevný rozvrh spôsoboval periodický „zub“ v IAQ grafe pri každom pulze aj napriek vylúčeniu z histórie, pretože senzor po pulze potrebuje niekoľko cyklov na tepelné/chemické ustálenie.

Okno vylúčenia po pulze (BME688_CLEAN_PULSE_SETTLE_CYCLES) bolo zväčšené zo 4 na 8 cyklov na základe reálnych prevádzkových dát, ktoré ukázali premenlivý čas ustálenia 4 až 7 cyklov.

Textová klasifikácia IAQ_TEXT bola zmenená na: ≤ 100 Excellent, ≤ 200 Good, ≤ 250 Fair, ≤ 300 Poor, ≤ 400 Bad, > 400 Very bad.

Farebné prahy dlaždice aj grafu Radiácia boli prepočítané: zelená (bezpečné) do 1 $\mu\text{Sv/h}$, oranžová (zvýšené) do 10 $\mu\text{Sv/h}$, červená (vysoké) od 10 $\mu\text{Sv/h}$ vyššie.

Identifikovaná bola skutočne osadená GM trubica XERAM 3G8B (predtým dokument aj config.py predpokladali J305/STS-5/SBM-20). Z datasheetu trubice („1 stroke/sec per mR/h“) bola dopočítaná kalibračná konštanta CPM_PER_USV = $60 / 8,76 \approx 6,85$ (1 R = 8,76 mSv), namiesto pôvodnej hodnoty 114 prevzatej z J305. Editovateľný rozsah poľa CPM per 1 uSv/h na konfiguračnej stránke bol rozšírený z 50–200 na 1–200.

Web konzola (/console) mala chybu s duplicitným zobrazením riadkov logu pri prekrytí súbežných dopytov na /api/console/recent počas krátkeho zaneprázdnenia zariadenia. Pridaná bola poistka proti prekryvujúcim sa požiadavkám.

V logu OTA aktualizácie (/ota) bolo slovo „mtime“ nahradené slovom „timestamp“ v hláseniach o dôvode zmeny súboru — kozmetická úprava textu, porovnávacia logika (veľkosť + CRC32) sa nezmenila.

Doplnok v1.3.7 — prepis architektúry na neblokujúci (tick/flag) model

Jadrové moduly firmvéru boli prepracované z blokujúceho volania na kooperatívny tick/flag model. Podnetom bolo priame meranie: refresh e-papierového displeja blokoval hlavnú slučku (a s ňou aj HTTP server) na 2,5-3,9 sekundy, pričom I2C a zápisy do InfluxDB blokovali ďalej. i2c.py (čítanie BME688), display.py + epaper2in9bv3.py (refresh displeja), http_server.py (obsluha HTTP požiadaviek) a influx.py (zápisy do InfluxDB) už nerobia jedno dlhé blokujúce volanie - každý postupuje po malých, časovo ohraničených krokoch (register read/write, kontrola deadline) riadených zdieľaným softvérovým časovačom.

Pridaný soft_timer.py, prevzatý zo súbežného projektu LK-30 airQ: jeden hardvérový časovač (Timer 2, jediný voľný - zvyšné tri už využívajú reg.py a buzzer.py) roz distribuuje viacero nezávislých odpočítavacích úloh cez micropython.schedule(), takže žiadny modul nepotrebuje vlastné hardvérové ID

časovača. Počas tejto práce sa našiel a opravil okrajový prípad zaplnenia naplánovacieho frontu, ktorý dokázal potichu a natrvalo zastaviť všetky moduly riadené tikmi (i2c/displej/influx/http zamrznuté bez akejkolvek chybovej hlásky).

Hlavná slučka v main.py teraz obsluhuje HTTP len keď to signalizuje periodicky nastavovaný flag (konfiguračné konštanty HTTP_ACCEPT_POLL_MS=50ms, HTTP_ACCEPT_BURST=3, rovnaký vzor ako LK-30 airQ), nie pri každom prechode slučky, a keď nie je čo robiť, volá machine.idle() namiesto pevného sleep - CPU tak medzi udalosťami skutočne odpočíva namiesto busy-pollingu.

Wi-Fi power-save (modem-sleep) je teraz explicitne vypnutý (WLAN.PM_NONE). Spôsoboval, že prichádzajúce pakety sa bufferovali a doručovali až pri ďalšom DTIM majáku, čo sa prejavovalo pílovitým vzorom latencie (viditeľným aj na obyčajnom ICMP ping) po tom, ako hlavná slučka začala medzi udalosťami skutočne čakať namiesto busy-loopu.

Wi-Fi sa teraz drží predtým asociovaného prístupového bodu (WIFI_CONNECT_BY_BSSID) naprieč reštartmi, ale automaticky prepne na iný prístupový bod vysielajúci rovnaké SSID, ak je dosiahnuteľný s jednoznačne silnejším signálom (WIFI_BSSID_UPGRADE_MARGIN_DB, predvolene 5 dB rezerva proti častému prepínaniu), a novú BSSID si zapamätá do wifi_config.json.

Pridaný ľahký endpoint /api/dashboard_data. Štyri dashboard stránky (dashboard.html, dashboard1/2/3.html) predtým poll-ovali každých 15 sekúnd rovnaký endpoint /api/data, aký používa aj admin stránka /config - odpoveď obsahujúca všetky editovateľné nastavenia, RAM/flash diagnostiku, stav Wi-Fi aj výsledok I2C scanu. Nový endpoint vracia len tých pár hodnôt, ktoré dashboardy naozaj zobrazujú.

Oprava chyby synchronizácie hodín so serverom: živé hodiny a čas "ďalšieho refreshu" na dashboarde mohli ísť asi o dve hodiny dopredu. RTC zariadenia je zámerne nastavené na lokálny čas (UTC + TIMEZONE_DEV + DST_DEV), ale Unix časová značka posiadaná do prehliadača pre synchronizáciu hodín (server_ts) sa čítala z tohto už posunutého RTC a považovala sa za skutočný UTC čas - keď ju prehliadač v rovnakej časovej zóne skombinoval so svojimi vlastnými UTC hodinami, posun časovej zóny/letného času sa zarátal dvakrát.

Opravená chyba NameError v ceste debug logovania odporu plynu BME688 (vznikla pri rozdelení čítania na tick/flag kroky), ktorá pri zapnutom DBG_I2C potichu prerušila každý merací cyklus do chybového stavu, takže sa nikdy neuložila žiadna čerstvá hodnota senzora.

Jednorazový burn-in senzora BME688 po štarte (impulz 400°C) sa teraz preskočí pri softvérovom reštarte alebo OTA aktualizácii, ak pamäť RTC stále obsahuje značku z predchádzajúceho, nepretržité napájaného behu - iba skutočná strata napájania ho znova spustí, pretože opakované pulzovanie už kondicionovaného senzora je zbytočné a mohlo narušovať inak stabilné čítanie plynu.

Druhý štartovací refresh displeja teraz čaká aspoň `DISPLAY_BOOT_DELAY_S` (predvolene 120 s) po zapnutí, kým zobrazí "reálne" dáta zo senzora, namiesto okamžitého refreshu po prvom úspešnom čítaní BME688 - prvé čítanie(a) hneď po burn-ine nie sú reprezentatívne (zvýšená teplota/IAQ).

Grafy histórie na dashboarde teraz vždy zobrazujú presne 5 hodnôt na osi Y na oboch grafoch (predtým mohla automatická voľba 5 alebo 6 vyjsť v každom grafe inak), a oprava zaokrúhľovania zabraňuje prípadnému odrezaniu najvyššieho popisku mimo plochy grafu.

Verzia firmvéru aktualizovaná na v1.3.7.

Doplnok v1.3.8 — kontrola identity OTA balíka a dokončenie neblokujúcej architektúry

Do `config.py` boli pridané konštanty `PROJECT_ID` ("LK-29_meteo") a `OTA_TARGET` ("LK29"), ktoré jednoznačne identifikujú projekt bežiaci na zariadení.

Baliaci skript `make_LK29_zip.bat` teraz pred vytvorením ZIP archívu automaticky vygeneruje súbor `ota_project.json` s obsahom `project_id/ota_target/firmware_version` - podľa vzoru súbežného projektu LK-30 airQ.

`ota.py` pred zápisom či i len jedného súboru z nahratého balíka overí, že vložený `ota_project.json` zodpovedá `PROJECT_ID/OTA_TARGET` bežiacieho zariadenia. Pri nesúlade (napr. omylom nahratý balík LK-30 airQ na zariadenie LK-29) upgrade odmietne s hláškou v tvare "OTA rejected: package target LK30 does not match device target LK29" a žiadny súbor sa neprepíše.

Ak balík `ota_project.json` neobsahuje vôbec (napr. staršia verzia balíka), aktualizácia sa z bezpečnostných dôvodov tiež odmietne - nie je k dispozícii žiadny spôsob obídenia tejto kontroly.

Diferenciálny (diff) upload z prehliadača (`ota.html`) bol upravený tak, aby `ota_project.json` vždy zaradil medzi nahrávané súbory (aj keď sa nezmenil), a súčasne ho vynecháva zo zoznamu súborov v `ota_diff_manifest.json`.

Dokončená bola posledná, piata fáza prepisu architektúry na neblokujúci (tick/flag) model: prehliadka `http_api.py` potvrdila, že všetky zostávajúce blokujúce čakania (sleep) patria výhradne do explicitne vyňatých ciest - pripojenie na Wi-Fi, reštart zariadenia a OTA aktualizácia - a nevyžadujú ďalší zásah.

Pri tejto kontrole bol odstránený nepoužívaný kód: SSE (Server-Sent Events) endpoint webovej konzoly, ktorý nebol nikde napojený na smerovanie HTTP servera - webová konzola (`/console`) reálne funguje výhradne cez periodické dopytovanie (`/api/console/recent`).

Verzia firmvéru aktualizovaná na v1.3.8.

Doplnok v1.3.9 — hladšie grafy a presnejšie meranie teploty/tlaku/vlhkosti

Vykresľovanie kriviek v grafoch dashboardu bolo zmenené z Catmull-Rom spline na monotónnu kubickú Hermiteho interpoláciu (Fritsch-Carlson). Krivka stále presne prechádza cez každý reálny bod, ale medzi

dvoma susednými bodmi už nikdy neprestrelí za ich hodnoty - predchádzajúce zvyšovanie tenzie krivky (až na 0.8) totiž pri ostrých reálnych výkyvoch (napr. rádioacia) paradoxne krivku ešte viac "prestrel'ovalo", čo vyzeralo ako špicaté zubaté vrcholy.

Y os všetkých grafov dashboardu teraz vykresluje vždy presne 5 rovnakých častí (6 mriežkových čiar/hodnôt) namiesto predošlých 5 hodnôt (4 časti).

Graf rádioacie má teraz najmenší rozsah Y osi 5 $\mu\text{Sv/h}$ namiesto pôvodných 0.04 $\mu\text{Sv/h}$ - pri nízkych reálnych hodnotách (typicky 0.1-0.3 $\mu\text{Sv/h}$) sa už os nezobrazuje prehnane priblížená, ktorá by štatistický šum GM trubice vizuálne zveličila. Zároveň bola opravená súvisiaca chyba, ktorá pri tomto rozšírení mohla poslať os do záporných hodnôt - os teraz vždy začína na 0 a rozširuje sa len nahor.

BME688: teplota, tlak a vlhkosť sa teraz merajú v samostatnom kroku PRED zohriatím čipu na meranie plynu, nie spoločne s ním ako doteraz. Každý čítací cyklus najskôr spustí krátke forced-mode meranie s vypnutým ohrevom (config.BME688_AMBIENT_WAIT_MS, predvolene 160 ms), uloží z neho T/P/H, a až potom spustí zohrievací cyklus pre meranie plynu - jeho vlastné T/P/H sa už nepoužijú. Toto odstraňuje skreslenie teploty (a následne aj vlhkosti a prepočítaného tlaku na hladinu mora) vlastným ohrevom senzora pri meraní plynu.

Ako vedľajší prínos presnosti: výpočet res_heat registra pre ohrev teraz používa čerstvo nameranú ambientnú teplotu namiesto poslednej publikovanej hodnoty config.TEMPERATURE (ktorá mohla byť sama ešte ovplyvnená predchádzajúcim ohrevom).

Verzia firmvéru aktualizovaná na v1.3.9.

Doplnok v1.4.0 — priemery v grafoch, uloženie historie pri restarte a jej vymazanie

Grafy na dashboarde teraz pod nadpisom zobrazujú priemernú hodnotu zo zozbieraných vzoriek historie (rovnake 24 h okno ako graf) v tvare "x: hodnota jednotka" pre obe zobrazené veličiny - farba textu sleduje aktuálne priradenú metriku aj po presunutí medzi stranami grafu.

Potvrdzovacie okno OTA aktualizácie (/ota) má teraz nadpis "Firmware upgrade".

Pri riadenom restarte (tlacidlo Restart na /config, OTA aktualizácia, Wi-Fi rekonfigurácia) sa RAM historia meraní teraz uloží do suboru history.json spolu s jednorazovým markerom history.json.restore. Po nasledujúcom nabehu sa historia automaticky obnoví do RAM a marker sa odstráni - neskorsí nekontrolovaný výpadok napajania (pad, strata napajania) tak už stare data znova nenacita.

Na stránke /config pribudla nová sekcia "Maintenance" s tlačidlom na trvale vymazanie uloženej historie (RAM buffer aj suboru na disku), s potvrdzovacím dialogom pred vykonaním.

Overene (bez zmeny kodu): mechanizmus preskocenia burn-in ohrevu BME688 pri softverovom restarte (RTC marker, Doplnok v1.3.8/v1.3.9) už sám o sebe zabezpečuje, že riadený restart (tlacidlo alebo OTA) nikdy nespustí zbytočný 400C ohrev - meranie pokračuje ihneď ambientným krokom. Rovnako bol overený časový odstup medzi koncom posledného ohrevu a ďalším ambientným (bez-ohrevovým)

meranim - pri bežnej 60 s perióde je odstup cca 59 s, výrazne viac než je potrebné pre chladnutie MEMS
hotplate senzora.

Verzia firmveru aktualizovaná na v1.4.0.