# Souhrnná zpráva k čidlu Libellium

## Úvod

Tento dokument souhrnně popisuje čidlo Libellium, jeho způsob fungování, strukturu naměřených dat a jejich interpretaci. Při zprovoznění čidla byly identifikovány chyby v jeho fungování. Dokument popisuje také opravy, které byly provedeny.

## Základní funkce

Čidlo Libellium je zařízení, ke kterému lze volitelně připojovat externí sondy, měřící jednotlivé veličiny indikující stav ovzduší a životního prostředí.

Do čidla je nahrán obslužný program, který periodicky vyčítá hodnoty z jednotlivých sond a přenáší je sítí LORAWAN do obslužné aplikace.

Na základě zjištění energetické náročnosti měření některých veličin byla integrována možnost dynamické změny intervalu měření. Interval měření je možné nastavovat z obslužné aplikace prostřednictvím předem definovaných zpráv s nastavovacími parametry. Struktura zpráv je popsána v popisu struktury downlink zprávy v textu níže.

Na základě zjištění energetické náročnosti měření některých veličin byla provedena úprava nastavení čidla, na základě které se odpojují energeticky nejnáročnější sondy z periodického měření při poklesu stavu nabití baterie pod limitní hodnotu. Dále byla provedena úprava, při které se odpojí veškeré měření při poklesu nabití baterie pod limitní kritickou hodnotu. Nastavení limitní a kritické limitní hodnoty baterie lze realizovat prostřednictvím downlink zprávy.

Pro zabezpečení kontinuální provozu je v čidlu implementována funkce automatického restartu čidla v případě jeho zamrznutí vinou nepředvídané chyby v kódu.

Čidlo v současné době spolehlivě funguje, přesto se doporučuje výhledově zapracovat funkci pravidelného restartu čidla, která by eliminovala případné dlouhodobé „zamrznutí“ čidla v případě výskytu nějaké vnitřní chyby.

## Popis struktury payloadu

### Ukázkový payload uplink zprávy :

04 45 34 62 C2 23 00 3F F5 FF E1 FF 0F 04 3D 73 09 40 39 33 00 00 46 33 33 3F 41 47 00 00 5C 41 48 7B 14 6E 41 4A EC 51 C6 41 4C 00 04 D8 41 4D 40 D5 C1 47 01 AE 1C E0 43 14 00 00 00 00 06 00 00 00 00 00 00 00 00 00 BE DD BF EE C0 32 C1 11

### Postup dešifrování uplink zprávy:

Celý payload je sestaven z hodnot v hexadecimální soustavě.

Má-li položka více bytů, tak LSB je vlevo a MSB vpravo.

Pokud nemá hodnota uvedený typ, jedná se o celé číslo (typ int). Převod se provádí prostým převodem do desítkové soustavy.

Pokud má uvedený typ float, je zakódována podle standardu IEEE-754. Příklad převodu na hodnotu float:

**C0 D9 99 9A**

**C 0 D 9 9 9 9 A**

**1100 0000 1101 1001 1001 1001 1001 1010**

1. **Nejprve rozdělíme bity do 3 skupin.**  
   Bit **31** (bit nejvíce v levo) ukazuje znaménko čísla (0=+; 1=-).  
   Bity **23-30** (následujících 8 bitů zleva) představují exponent.  
   Bity **0-22** (napravo) představují zlomek zlomek

**1 10000001 10110011001100110011010**

1. **Nyní učíme znaménko hodnoty.**   
     
     
   Bit 31 je 1, takže číslo je záporné.
2. **Nyní získáme exponent.**  
   Exponent je prosté binární nezáporné číslo, které převedeme do dekadické soustavy.  
   10000001bin = 129ten   
     
   Pamatujte, že je třeba získat binární doplněk odečtem rozdílu hodnot 255 a dekadického čísla. V tomto případě je binární doplněk hodnota 127
3. **Převod zlomku do dekadické soustavy.**   
   Toto je nejsložitější část převodu. Binární řetězec představuje zlomek, takže konverze je následující:  
     
   Části zlomku vypadají následovně:  
     
   0.1 = (1/2) = 2-1  
   0.01 = (1/4) = 2-2  
   0.001 = (1/8) = 2-3  
     
     
   Takže v tomto případě násobíme každou binární hodnotu odpovídající odmocninou 2:  
     
   0.10110011001100110011010bin = **1\*2-1**+ 0\*2-2 + **1\*2-3** + **1\*2-4** + 0\*2-5 + 0 \* 2-6 + ...   
   0.10110011001100110011010bin = 1/2 + 1/8 + 1/16 + ...  
     
   V tomto případě zlomek je 0.7000000476837158.
4. **Nyní vložíme získané části do níže uvedeného vzorce:**  
     
   (-1)znaménko \*   (1+fraction)  \* 2 exponent - doplněk  
     
   = (-1)1 \*   (1.7000000476837158) \* 2 129-127

**= -6.8**  
  
**C0 D9 99 9A = -6.8**

### Výpis jednotlivých položek payloadu uplink zprávy a jejich význam :

04 - Pořadí paketu od restartu čidla (v tomto případě 5. paket)

45 - Celková délka payloadu v bytech (v tomto případě 69 bytů)

34 - Konstanta označující, že následující 1 byte označuje procento nabití akumulátoru

62 - Nabití akumulátoru (v tomto případě 99%)

C2 – Konstanta označující, že následující dva byty označují proud v mA, který je na výstupu ze solárního panelu.

23 00 – Hodnota výstupního proudu ze solárního panelu v mA (v tomto případě 35 mA). První byte je významově nižší.

3F - Konstanta, že následujících 6 bytů označují data z vnitřního akcelerometru (2 byty na každou osu x, y, z).

E0 FF DB FF 0C 04 - První dva byty udávají akceleraci v ose x, byty 3 a 4 udávají akceleraci v ose y a byty 5 a 6 udávají akceleraci v ose z. Dvojice bytů je pak kódováná ve dvojkovém doplňku (viz např. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvojkov%C3%BD_dopln%C4%9Bk>), přičemž platí, že LSB je vlevo a MSB vpravo. V tomto případě tedy x = -32, y = -37, z = 1036.

3D - Konstanta označující, že následující 2 byty označují obsazenou paměť RAM

73 09 - Počet volných bytů paměti RAM (v tomto případě 2419 bytů).

40 - Konstanta označující, že následující 4 byty označují hodnotu funkce millis() - počet milisekund od posledního restartu čidla

39 33 00 00 - Hodnota funkce millis() (v tomto případě 13107 ms od spuštění čidla) (typ int)

46 - Konstanta označující, že následující 4 byty označují koncentraci PM1 (prach) v mikrogramech na m3

33 33 3F 41 - Koncentrace PM1 (typ float), v tomto případě 11,95 ppm

47 - Konstanta označující, že následující 4 byty označují koncentraci PM2.5 (prach) v mikrogramech na m3

00 00 5C 41 - Koncentrace PM2.5 (typ float), v tomto případě 13,75 ppm

48 - Konstanta označující, že následující 4 byty označují koncentraci PM10 (prach) v mikrogramech na m3

7B 14 6E 41 - Koncentrace PM10 (typ float), v tomto případě 7.71 ppm

4A - Konstanta označující, že následující 4 byty označují naměřenou teplotu ve stupních Celsia

EC 51 C6 41 - Data teploty (v tomto případě 24.79000091552734375 °C)

4C - Konstanta označující, že následující 4 byty označují naměřenou relativní vlhkost vzduchu v %

00 04 D8 41 - Data vlhkosti (v tomto případě 27.001953125 %)

4D - Konstanta označující, že následující 4 byty označují naměřený atmosferický tlak (Pa)

40 D5 C1 47 - Data tlaku (v tomto případě 99242.5 Pa)

01 - Konstanta označující, že následující 4 byty označují naměřenou úroveň CO2 v PPM

AE 1C E0 43 - Data CO2 (v tomto případě 448.22406005859375 PPM)

14 - Konstanta označující, že následující 4 byty označují naměřenou úroveň SO2 v PPM

00 00 00 00 - Data SO2 (v tomto případě 0 PPM nebo pod měřitelnou mez nebo není čidlo ještě dostatečnou dobu v provozu, což je alespoň několik hodin)

06 - Konstanta označující, že následující 4 byty označují naměřenou úroveň NO2 v PPM

00 00 00 00 - Data NO2 (v tomto případě 0 PPM nebo pod měřitelnou mez nebo není čidlo ještě dostatečnou dobu v provozu, což je alespoň několik hodin)

00 - Konstanta označující, že následující 4 byty označují naměřenou úroveň CO v PPM

00 00 00 00 - Data CO (v tomto případě 0 PPM nebo pod měřitelnou mez nebo není čidlo ještě dostatečnou dobu v provozu, což je alespoň několik hodin)

BE – Konstanta označující, že následující byte označuje počet hodin spánku čidla mezi iteracemi

DD – Počet hodin spánku čidla mezi iteracemi (v tomto případě 221 hodin)

BF - Konstanta označující, že následující byte označuje počet minut spánku čidla mezi iteracemi

EE - Počet minut spánku čidla mezi iteracemi (v tomto případě 238 minut)

Poznámka k intervalu spánku:

Zobrazená hodnota odpovídá hodnotám, které byly poslány downlinkovou komunikací v nezměněné podobě. Hodnota v hodinách i v minutách lze nastavit v rozsahu registru 0-255. Konkrétní prodleva zařízení je pak dána součtem hodinového registru převedeného na minuty a minutového registru. Pokud se v downlinkové zprávě pošle 2 hodiny a 125 minut, uloží se to jako 2 hodiny a 125 minut. Pokud se pošle 4 hodiny a 5 minut, uloží se to jako 4 hodiny a 5 minut. Výsledné chování bude ale vždy stejné – tedy v tomto případě bude interval 245 minut. Jde tedy jen o reprezentaci stejné hodnoty.

C0 – Konstanta označující, že následující byte označuje hodnotu nízké úrovně baterie, kdy jsou vypnutá čidla CO2 a prachu

32 – Procento nabití baterie, pod které není prováděno měření CO2 a prachu (v tomto případě 50%)

C1 - Konstanta označující, že následující byte označuje hodnotu kriticky nízké úrovně baterie, kdy jsou vypnutá všechna čidla a posílá se pouze stav baterie a nabíjení

11 – Procento nabití baterie, pod které se neprovádí žádné měření a posílá se pouze stav baterie a nabíjení

#### Měření v případě chyby sondy

V případě chyby některé ze sond (např. její odejmutí) nezpůsobí chybu celého čidla, ale pošle naměřenou hodnotu -1000, čímž je obslužné aplikaci signalizována závada sondy.

### Ukázkový payload downlink zprávy :

001E320A

### Výpis jednotlivých položek payloadu pro downlink komunikaci a jejich význam :

Význam bytů vysvětlen na příkladu.

Pokud má zpráva více než4 byty, jsou byty navíc ignorovány.

Pokud má méně než 4 byty, tak je zbytek doplněn nulami.

Hodnoty jsou trvale uloženy do paměti EEPROM. Mohou být přepsány jen další downlink zprávou.

1. byte, např „00“ – nastavuje počet hodin iterace. V tomto případě tedy 0 hodin.

2. byte, např. „1E“ – nastavuje počet minut iterace, V tomto případě tedy 30 minut.

3. byte, např. „32“ – Nastavení horní hranice baterie. V tomto případě tedy 50. Pokud je vyšší než 100, tak se nastaví na 100 (rovná se efektivnímu vypnutí sond).

4. byte, např „0A“ – Nastavení dolní hranice baterie (tj. kriticky nízká). V tomto případě tedy 10. Pokud je vyšší než 100, tak se nastaví na 100 (rovná se efektivnímu vypnutí sond).

## Přepočet hodnot ppm na g/m3

Pro dosazení do vzorců je nutné dosadit konkrétní hodnoty molekulární hmotnosti pro jednotlivé plyny:

CO2 44,01 g/mol

NO2  46,01 g/mol

SO2 64,06 g/mol

CO 28,01 g/mol

Pro převod za tlaku jedné atmosféry a teploty 25 °C lze pak použít vzorec:

koncentrace = (počet ppm) \* (molekulární hmotnost plynu)/24.45

Zjednodušený vzorec pro přepočet je detailněji popsán na následujícím odkazu:

<http://www.aresok.org/npg/nioshdbs/calc.htm>.

Zjednodušení spočívá v tom, že je do výpočtu brána konstantní hodnota teploty a tlaku. Čidlo však hodnoty teploty a tlaku měří, lze tedy zapracovat kompletní vzorce pro přepočet např. dle odkazu:

<https://www.lenntech.com/calculators/ppm/converter-parts-per-million.htm>.

### Sonda měření CO2

#### Typ sondy

9372-P Kalibrovaná sonda měření CO2

#### Měřící rozsah

0 až 5000 ppm

#### Tolerance, přesnost měření

+- 50 ppm při koncentracích do 2500 ppm

+- 200 ppm při koncentracích vyšších než 2500 ppm

#### Životnost

minimálně 5 let

### Energetická náročnost

80 mA

#### Cross sensitivita s jinými měřenými hodnotami

Není

#### Dosah měření

Sonda CO2 je svojí konstrukcí určena k měření koncentrace plynu uvnitř sondy. Pro vlastní měření je nasáván okolní vzduch prostřednictvím vnitřního ventilátoru. Nasátý vzduch je ve vnitřním prostoru dále předehříván. Z principu měření je tedy zřejmé, že koncentrace plynu je měřena pouze v bezprostřední vzdálenosti od čidla.

### Sonda měření CO

#### Typ sondy

9371-P – Kalibrovaná sonda měření CO pro vysoké koncentrace

Pozn. Existují v produktovém portfoliu výrobce následující alternativy:

9371-LC-P – Kalibrovaná sonda měření CO pro nízké koncentrace

#### Měřící rozsah

0 až 500 ppm

#### Tolerance, přesnost měření

+- 1 ppm

#### Životnost

minimálně 5 let

### Energetická náročnost

méně než 1 mA

#### Cross selektivita s jinými měřenými hodnotami

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Plyn** | **Koncentrace v ppm** | **% měřeného plynu** |
| Cl2 | 10 | 1 |
| C2H4 | 100 | 16 |
| H2 | 100 | 40 |

#### Dosah měření

Sonda CO je svojí konstrukcí určena k měření koncentrace plynu uvnitř sondy. Z principu měření je tedy zřejmé, že koncentrace plynu je měřena pouze v bezprostřední vzdálenosti od čidla.

### Sonda měření SO2

#### Typ sondy

9377-P Kalibrovaná sonda měření SO2

#### Měřící rozsah

0 až 20 ppm

#### Tolerance, přesnost měření

+- 0,1 ppm

#### Životnost

minimálně 2 roky

### Energetická náročnost

méně než 1 mA

#### Cross selektivita s jinými měřenými hodnotami

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Plyn** | **Koncentrace v ppm** | **% měřeného plynu** |
| H2S | 5 | < 40 |
| NO | 5 | < -160 |
| Cl2 | 5 | < -70 |
| CO | 5 | < 2 |
| C2H4 | 100 | < 1 |
| NH3 | 20 | <0.1 |
| H2 | 100 | < 1 |
| CO2 | 5% vol. | < 0.1 |

#### Dosah měření

Sonda SO2 je svojí konstrukcí určena k měření koncentrace plynu uvnitř sondy. Z principu měření je tedy zřejmé, že koncentrace plynu je měřena pouze v bezprostřední vzdálenosti od čidla.

### Sonda měření NO2

#### Typ sondy

9376-P Kalibrovaná sonda měření NO2

#### Měřící rozsah

0 až 20 ppm

#### Tolerance, přesnost měření

+- 0,1 ppm

#### Životnost

6 měsíců

### Energetická náročnost

méně než 1 mA

#### Cross sensitivita s jinými měřenými hodnotami

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Plyn** | **Koncentrace v ppm** | **% měřeného plynu** |
| H2S | 5 | < -80 |
| NO | 5 | < 5 |
| Cl2 | 5 | < 75 |
| SO2 | 5 | < -5 |
| CO | 5 | < -5 |
| C2H4 | 100 | < 1 |
| NH3 | 20 | <0.2 |
| H2 | 100 | < 0.1 |
| CO2 | 5% vol. | 0.1 |

#### Dosah měření

Sonda NO2 je svojí konstrukcí určena k měření koncentrace plynu uvnitř sondy. Z principu měření je tedy zřejmé, že koncentrace plynu je měřena pouze v bezprostřední vzdálenosti od čidla.

### Sonda měření Teploty

#### Typ sondy

9370-P Kalibrovaná sonda měření teploty, vlhkosti, tlaku

#### Měřící rozsah

-40 až 85 °C

#### Tolerance, přesnost měření

+- 1 °C

#### Životnost

Neomezeno, sonda nestárne.

### Energetická náročnost

max 8 μA

#### Cross selektivita s jinými měřenými hodnotami

není

#### Dosah měření

Sonda teploty je svojí konstrukcí určena k měření pouze v bezprostřední vzdálenosti od čidla.

### Sonda měření Vlhkosti

#### Typ sondy

9370-P Kalibrovaná sonda měření teploty, vlhkosti, tlaku

#### Měřící rozsah

0 až 100% relativní vlhkosti vzduchu

#### Tolerance, přesnost měření

+- 3% relativní vlhkosti vzduchu

#### Životnost

Neomezeno, sonda nestárne.

### Energetická náročnost

max 8 μA

#### Cross selektivita s jinými měřenými hodnotami

není

#### Dosah měření

Sonda měření vlhkosti je svojí konstrukcí určena k měření pouze v bezprostřední vzdálenosti od čidla.

### Sonda měření Atmosferického tlaku

#### Typ sondy

9370-P Kalibrovaná sonda měření teploty, vlhkosti, tlaku

#### Měřící rozsah

30 až 110 kPa

#### Tolerance, přesnost měření

+- 0,1 kPa

#### Životnost

Neomezeno, sonda nestárne.

### Energetická náročnost

max 8 μA

#### Cross selektivita s jinými měřenými hodnotami

není

#### Dosah měření

Sonda atmosférického tlaku je svojí konstrukcí určena k měření pouze v bezprostřední vzdálenosti od čidla.

### Sonda měření Prachových částic

#### Typ sondy

9387-P Kalibrovaná sonda měření teploty, vlhkosti, tlaku

#### Měřící rozsah

Maximum 10 000 prachových částic za sekundu.

#### Tolerance, přesnost měření

Při počtu 10 částic na litr je odchylka 0,91%.

Při počtu 500 částic na mililitr je odchylka 0,24%.

#### Životnost

Neomezeno, sonda nestárne.

### Energetická náročnost

250 mA

#### Cross selektivita s jinými měřenými hodnotami

Není

#### Dosah měření

Sonda koncentrace prachových částic je svojí konstrukcí určena k měření pouze v bezprostřední vzdálenosti od čidla.