

## Dokumentace k výsledku typu funkční vzorek ( $G_{\text{funk}}$ )

# Nositelný senzor míry perspirace v2.0

- Autoři:** Ondřej Baštán, Jakub Arm, Michal Harvánek, Jaromír Hubálek
- Projekt:** H2020 ECSEL JU, ID: 8A20007 – Next generation smart perception sensors and distributed intelligence for proactive human monitoring in health, wellbeing, and automotive systems (NextPerception)
- Součást:** RG-1-02, CEITEC, VUT Brno
- Datum:** 2.1.2023
- Popis:**

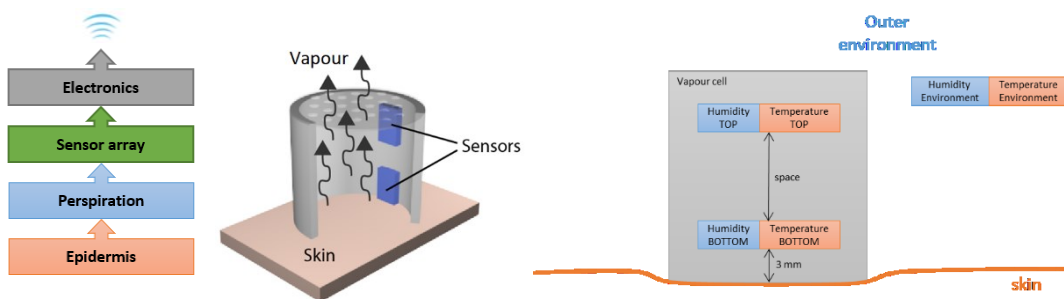
Toto zařízení představuje druhou generaci nositelného snímače perspirace, která je optimalizována pro dlouhodobé testování principu měření a ověření funkcí hardware a firmware. Oproti předchozí generaci má verze 2.0 výrazně optimalizovány rozměry pro každodenní používání a využívá pro toto řešení novou all-in-one platformu s SoC mikrokontrolerem Nordic.

### Metrologie

Druhá generace zařízení pro snímání míry perspirace využívá stejně jako jeho předchůdce pro výpočet této veličiny principu prvního Fickova zákona, pomocí kterého lze určit hustotu difúzního toku. Pro výpočet jsou využita data z vhodně umístěných snímačů teploty a vlhkosti.

$$ER = -D \frac{dp}{dx} [g \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}].$$

Kde  $D$  je difúzní konstanta vodních par,  $\frac{dp}{dx}$  je derivace parciálního tlaku a vzdálenosti mezi snímači. Měření perspirace je založeno na 4 funkčních vrstvách: Epidermis, která zajišťuje odpařování potu přes pokožku, Pocení jako proudění potu přes parní komoru, pole senzorů pro měření potřebných parametrů a elektronika zajišťující předzpracování signálu, výpočet PR a přenos dat.



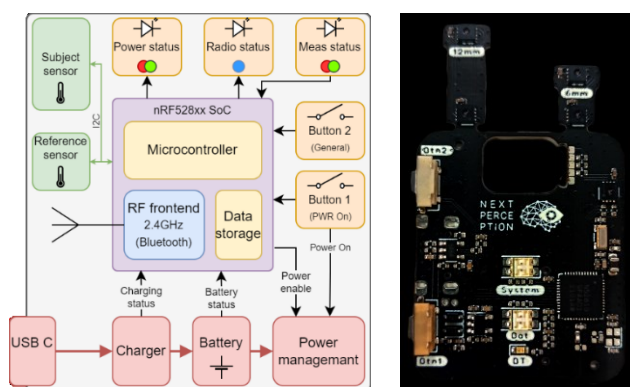
Obrázek 1 Zleva: Funkční vrstvy snímače; Vizualizace konceptu odpařovací komory; Uspořádání snímačů pro měření perspirace.

Senzor samotný byl navržen jako pole snímačů, které ve výsledku obsahuje dva kombinované snímače realizující měřeními relativní vlhkosti a teploty, které jsou integrovány uvnitř odpařovací komory. Toto pole je doplněno o jeden podobný senzor, který je umístěn mimo odpařovací

komoru a je určen pro měření parametrů okolního prostředí. Geometrické rozmístění senzorů uvnitř měřicího pole je vidět na Obrázek 1. Spodní senzor je umístěn co nejbližže pokožky tak, aby bylo zajištěno co možná nejpřesnější měření vlhkosti na pokožce. Druhý senzor byl umístěn ve vzdálenosti 6 mm od prvního senzoru.

### Elektronické řešení

Koncepce senzoru je založena na Bluetooth 5.2 SoC rodiny nRF528xx s rozhraními pro čtení dat ze sensorového pole, správu napájení a sériovou externí komunikaci používanou pro bezdrátový přenos dat BLE. Návrh koncepce lze vidět na Obrázek 2.



Obrázek 2 Koncepce elektroniky perspiračního snímače; Osazená deska plošného spoje.

Koncept je vybaven celkem třemi LED indikátory. První je jednobarevný (modrý) a slouží k indikaci stavu komunikačního rozhraní Bluetooth. Druhý je dvoubarevný (červená/zelená) a slouží jako indikátor správy napájení, tedy nabíjení nebo stavu baterie. Třetí LED indikátor je rovněž dvoubarevný a slouží k indikaci stavu měřicího systému. Pro ovládání přístroje je elektronika vybavena dvěma tlačítky, z nichž jedno umožňuje hardwarové povolení napájení. Sensorika je založena na integrovaném senzoru od společnosti Sensirion, který uvnitř jednoho čipu sdružuje funkci snímače teploty a vlhkosti. Uvnitř pole jsou použity celkem tři čipy, jeden pro referenční měření prostředí a dva pro měření toku par, které jsou umístěny uvnitř odpařovací komory. V celém konceptu je kladen důraz na miniaturizaci a snížení spotřeby energie mimo jiné proto, že vhodná baterie má kapacitu pouze 85 mAH. Z tohoto důvodu je důležité uzpůsobit hardwarovou konstrukci tak, aby bylo možné snížení spotřeby periférií, které se právě nepoužívají.

### Mechanické řešení

Pro mechanické řešení je kritické převážně umístění pole senzorů. To je umístěno v odpařovací komoře, jejíž pozice je při běžném použití na předloktí v horní části prostoru zápěstí. Odpařovací komora je přibližně 1 cm vysoká s objemem přibližně 1,2 cm<sup>2</sup>, a snímače jsou v ní umístěny ve vzdálenosti 3 mm od vstupu do komory (od kůže) s roztečí 6 mm. Třetí, environmentální snímač teploty a vlhkosti je umístěn uvnitř krytu v blízkosti pláště tak, aby spolehlivě snímal podmínky okolního prostředí.

Velikost celého senzoru cílí na velikost běžných nositelných zařízení jako jsou chytré hodinky nebo fit náramky. Z tohoto důvodu se elektronika musí vejít do prostoru 31x36x8 mm. K významným konstrukčním prvkům patří mimo jiné nabíjecí USB-C konektor, tlačítka uživatelského rozhraní pro ovládání zařízení a několik indikátorů používaných k indikaci a stavu napájení, komunikace a měřicích funkcí. Obal zařízení se skládá z plastového těla, jehož součástí je i odpařovací komora, a krycího panelu z plexiskla, k jejichž sestavě lze upevnit standardní hodinkový řemínek o šířce 22 mm. Celé řešení lze nalézt na Obrázek 3 a Obrázek 4.



Obrázek 3: Nositelný senzor míry perspirace – Zleva: Vizualizace složeného náramku; Rozložený pohled na chytrý náramek se senzorem perspirace.



Obrázek 4 Realizovaný snímač míry perspirace ve formě Fit náramku

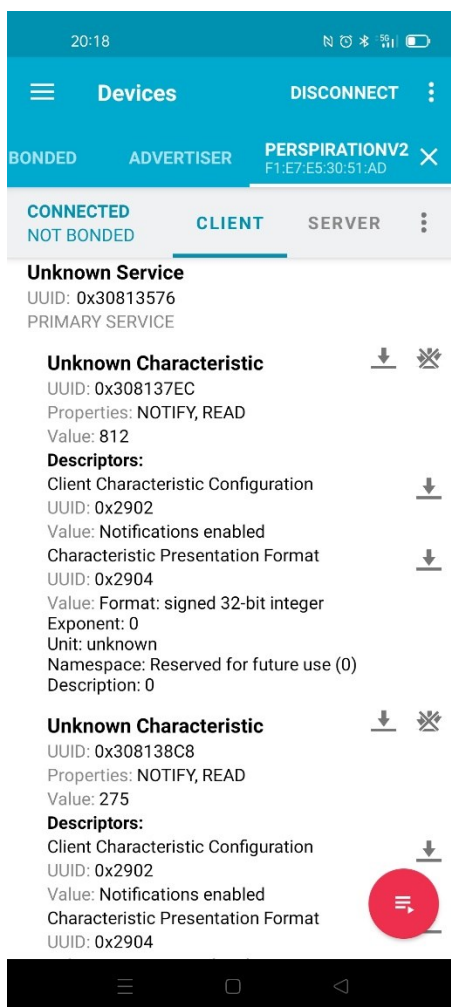
### Softwarové řešení

FW mikrokontroleru je plně autonomní a pro zachování nízké spotřeby pracující většinou v režimu spánku. Program se probouzí pouze v režimu měření, a to na pouze několik ms pro vykonání rutiny čtení dat ze snímačů, výpočet míry perspirace a uložení, popřípadě přenesení vypočtených hodnot. Následně se program opět uspí. Díky tomuto přístupu mohou být v maximální možné míře využity nízkopříkonové schopnosti použitých obvodů včetně RF frontendu.

Bluetooth low-energy komunikace je realizována prostřednictvím standardního GATT serveru s jednoduchým zabezpečením pomocí párovacího kódu. Zařízení může být připojeno jak do standardní WBAN sítě, tak do sítě typu MESH. Měření je poté schopno fungovat ve dvou režimech: online a off-line. Online režim přenáší naměřené hodnoty v reálném čase prostřednictvím GATT serveru do připojeného chytrého zařízení. Naproti tomu off-line režim umožňuje spustit ukládání měření do interní paměti bez nutnosti připojení nadřazeného systému. Naměřená data typicky vzorkovaná s periodou vzorkování 1 s lze zpětně stahovat přes Bluetooth.

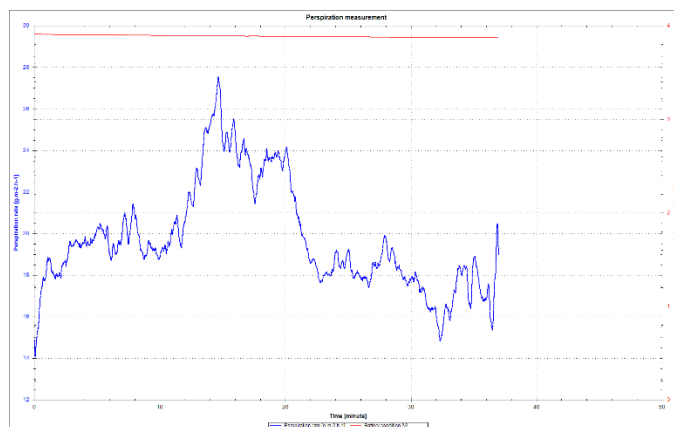
Díky rozhraní GATT pro připojení v režimu online měření je možné pro vyčítání použít jakoukoliv dostupnou mobilní aplikaci, protože se jedná o standardní rozšířený komunikační protokol.

Vyčítání hodnot je zabezpečeno vyčítáním charakteristik pro hodnotu perspirace a pro hodnotu teploty. Obě charakteristiky jsou zapouzdřeny službou. Jelikož se perspirace v seznamu standardizovaných označení služeb a charakteristik nevyskytuje, byla čísla zvolena. Hodnoty jsou formátovány jako celočíselný datový typ s jedním desetinným místem v pevném formátu (viz Obrázek 5). Hodnoty jsou občerstvovány s periodou 1 s.



Obrázek 5 Zobrazení měřených hodnot pomocí vyvinuté Android aplikace

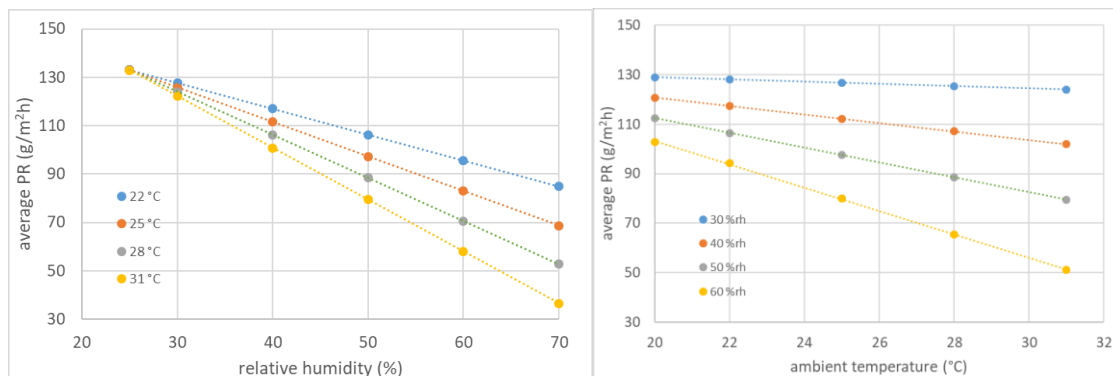
Pro předzpracování dat je využit algoritmus klouzavého průměru a komprese dat pro přenos, což ve výsledku snižuje spotřebu energie. Počet vzorků pro průměr je konfigurovatelný prostřednictvím GATT charakteristiky stejně jako kalibrační konstanty výpočtu perspirace. Kalibrační data byla zjištěna experimentálně při měření se známým množstvím par. Příklad naměřených dat lze vidět na Obrázek 6.



Obrázek 6: Data měřená nositelným senzorem. Modrá – míra perspirace [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ]; Červená – napětí akumulátoru [V].

### Kalibrace

Kalibrace byla provedena v environmentální komoře, kde se prokázala závislost vypočtené perspirace na okolních podmínkách. Byly stanoveny závislosti odparu na okolní teplotě a vlhkosti. Kalibrační křivky prokazující závislost na okolní teplotě a vlhkosti jsou ukázány na Obrázku 7. Tyto kalibrační křivky jsou využity ke kompenzaci odparu potu.



Obrázek 7: Kalibrační křivky závislosti na okolním prostředí.

### Parametry senzoru:

|            | Parametr             | Hodnota  |
|------------|----------------------|--|
| Perspirace | Dynamický rozsah     | 0–300 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ |
|            | Rozlišení            | 0.01 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  |
|            | Přesnost             | $\pm 5\%$  |
|            | Vzorkovací frekvence | 1 sps  |

|                   |              |                                  |
|-------------------|--------------|----------------------------------|
| <b>Bluetooth</b>  | Podpora      | BLE, Bluetooth 5, Bluetooth Mesh |
|                   | Dosah        | Až 10 m                          |
| <b>Napájení</b>   | Typ          | Akumulátor / USB                 |
|                   | Měřicí mód   | Až 10 dní na jedno nabití        |
|                   | Stand-by mód | až 20 dní                        |
| <b>Mechanické</b> | Pouzdro      | Chytré hodinky / náramek         |
|                   | Max. rozměry | 37x40x12 mm                      |

Přílohy: schémata a DPS

