



Příjemci podpory:

Poskytovatel:

VI04000087-V2

**G_{prot}- Dýchací polomaska s modulárním systémem výměnných filtrů
a indikací stavu filtru**

Vytvořen ve výzkumném projektu:

VI04000087- Vývoj smart dýchací obličejové polomasky se systémem výměnných nanovlákných filtrů.

Radek Joudal, Lubomír Přichystal, Michal Komárek, Jakub Hrůza

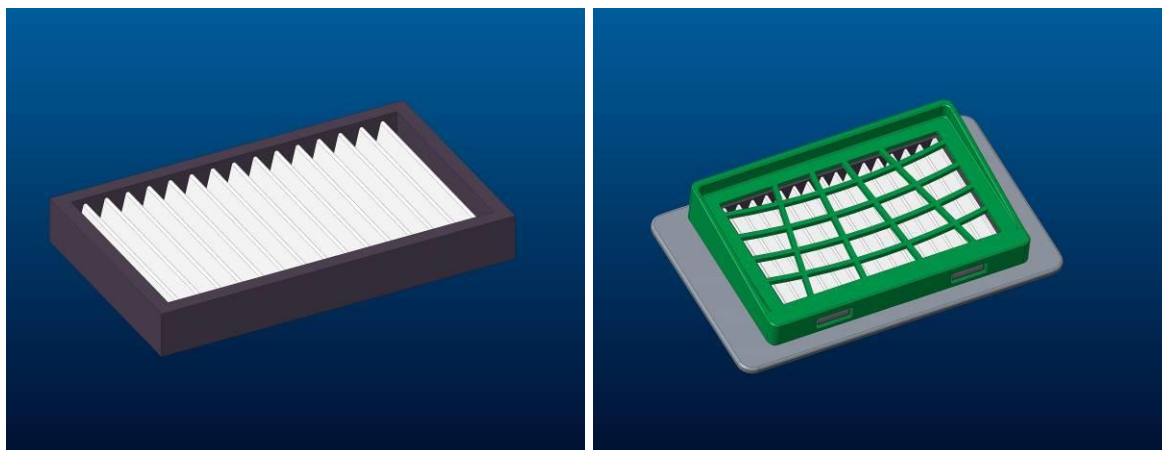
20. 7. 2022

Oblast techniky

Technické řešení dýchací polomasky zahrnuje vyměnitelný modul s filtrem tvořeným kompozitním nanovlákněným filtračním materiálem a systém diagnostiky stavu filtru. Úkolem indikačního systému je sledovat kvalitu vzduchu a v případě překročení sledovaných hodnot na toto upozornit uživatele. Indikátorem kvality vzduchu je sledovaný obsah CO₂, v jednotkách ppm, teplota vzduchu uvnitř masky ve °C a relativní vlhkost vzduchu vyjádřená v %. Monitorování průchodnosti filtru je zajištěno snímáním diferenčního tlaku uvnitř masky a tlaku okolního prostředí. Chod indikátoru zajišťuje mikrokontrolér umožňující načtení měřených hodnot z obou senzorů, jejich zpracování a odeslání přes USB do PC.

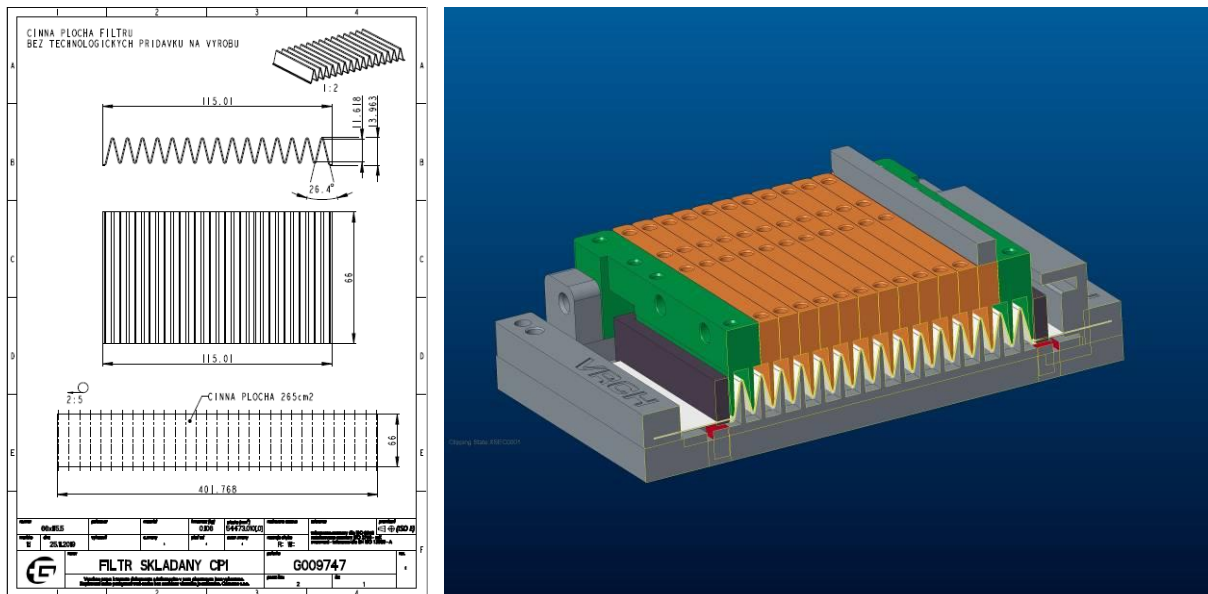
Popis technického řešení

Technické řešení výroby a kompletace kartuší je navrženo tak, aby při vkládání a utěšňování nanovlákněného filtru nedocházelo k jeho poškození. Pro navržené technické řešení byl realizován softwarový model filtrační kartuše:

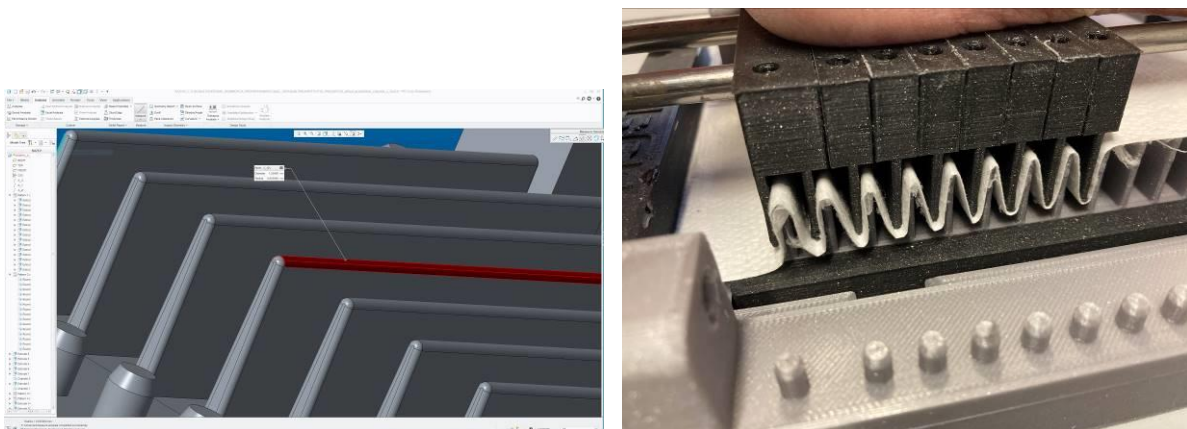


Vlastní prototypová výroba je realizována technologií 3D tisku a gravitačního lití. K odlévání do připravených forem byly použity vícekomponentní směsi polyuretanů. Při samotném výrobním procesu byly dodrženy interní technologické standardy pro jednotlivě zvolené materiály, samotný proces zahrnuje mj. vakuování vstupních komponent a směsí a temperaci forem.

Příprava prototypové kazety s integrovaným skládaným filtrem zajišťuje dosažení maximálně efektivní plochy filtračního materiálu zhotovitelné bez deformace a poškození funkční vrstvy filtračního materiálu, a to při „miniaturizaci“ celkových rozměrů filtrační kazety. Pro navrženou kazetu o celkových rozměrech pracovního otvoru 66x115mm (plocha 76 cm²) jsme u skládaného filtru dosáhli činné filtrační plochy 265 cm².

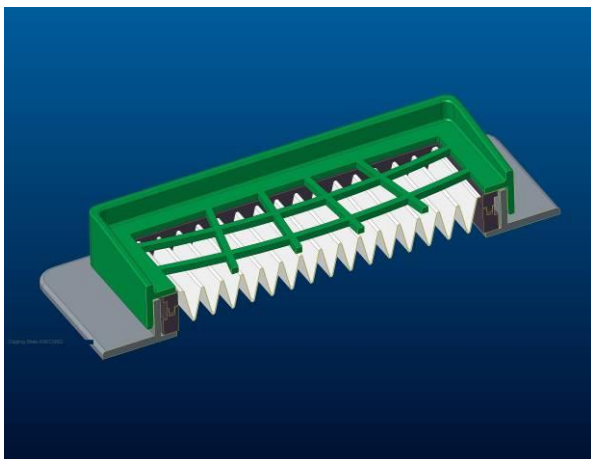


Pro zhotovení skladů byla modifikována metoda nožového skládání tak, aby nedocházelo k tření a zlomové deformaci filtračního materiálu. Optimalizací parametrů tvářecího nástroje jsme dosáhli odvalování filtrační tkaniny v místě styku s nástrojem a v místě zpětného ohybu skladu nyní nedochází k lomu materiálu, ale k definovanému ohybu $R=0.625\text{mm}$.





System nosiče umožňuje jednoduchou výměnou filtrační kazety.



Indikace kvality vzduchu v dýchací masce (technické řešení)

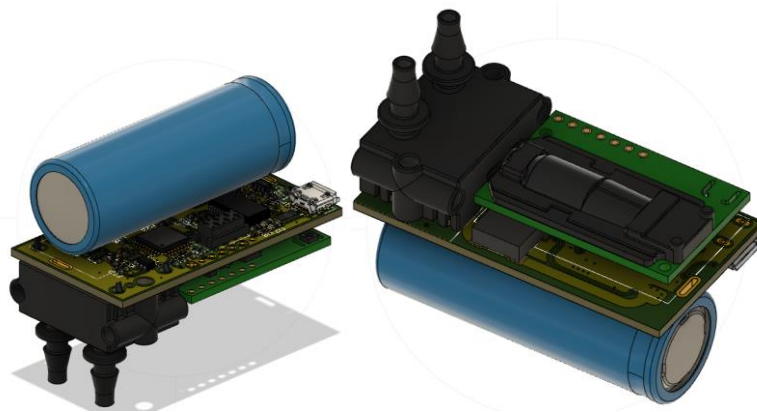
Zařízení je navrženo jako součást ochranné masky. Úkolem zařízení (dále jen indikátor) je sledovat kvalitu vdechovaného vzduchu a v případě překročení sledovaných hodnot na toto upozornit uživatele.

Jako ukazatel kvality vzduchu je sledovaný obsah CO_2 , v jednotkách ppm (parts per million). Koncentrace CO_2 je výborným indikátorem kvality vzduchu tzv. vydýchanosti.

Na vyšší koncentraci CO_2 reaguje člověk ztrátou koncentrace, zvýšenou malátností a může vést až k pocitu únavy provázené např. bolestmi hlavy a nevolností. V přirozeném prostředí je koncentrace CO_2 kolem 400 ppm, v průmyslových oblastech je hodnota o něco vyšší. Přibližně 20% populace začíná negativně reagovat již při

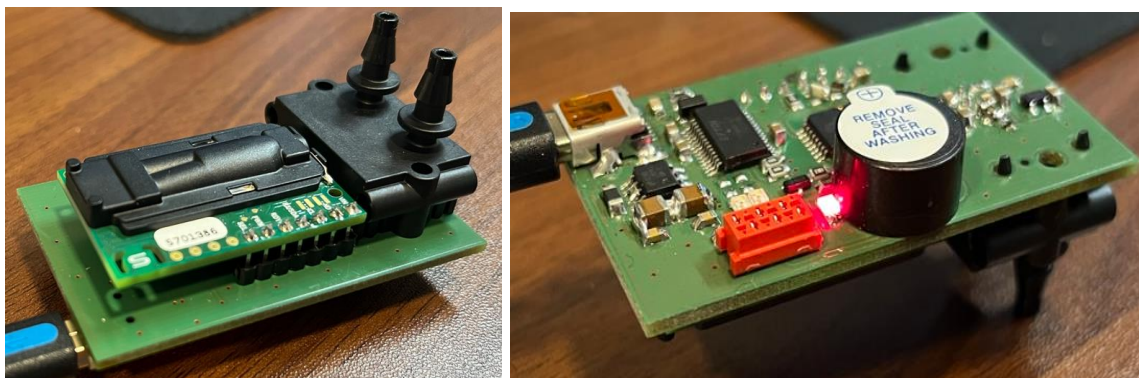
koncentraci CO₂ kolem 1000 ppm. Dalšími sledovanými údaji jsou teplota vzduchu uvnitř masky ve °C a relativní vlhkost vzduchu vyjádřená v %. Ochranná maska je dále vybavena filtrem vzduchu, ve kterém díky zachycujícím se pevným částicím dochází k jeho zanesení a snížení průchodnosti nasávaného vzduchu přes filtr, následné snížení kvality vzduchu a zvýšení zatížení dýchacího ústrojí.

Monitorování průchodnosti filtru je zajištěno snímáním diferenčního tlaku uvnitř masky a tlaku okolního prostředí. Pomocí snímání hodnot tlaku a jejich změn jsme schopni jednoduše zjistit také dobu využívání ochranné masky a upozornit i na případnou výměnu filtru, nebo jakékoliv části ochranné masky, podléhající časové omezenosti použití.



obr 1. CAD výkres technického řešení provozní identifikace stavu filtru

V rámci tohoto projektu vzniklo několik prototypů, na jejichž základě docházelo k úpravám a vylepšením.



obr 2. Systém měřícího modulu

Požadavky na indikátor byly schopnost snímání obsahu CO₂, relativní vlhkosti vzduchu, teploty a snímání tlaku. Pro potřebu vývoje disponuje indikátor USB

rozhraním pro přenos dat a uživatelským rozhraním v podobě aplikace v PC pro zobrazení a záznam měřených dat. Dále aplikace zajišťuje zápis dat do indikátoru a vyčtení jeho provozních dat.

Aby indikátor mohl pracovat samostatně, byl doplněn o Li-Ion akumulátor a ochranný obvod proti nadměrnému vybití akumulátoru a zajištění správného nabíjení. Nabíjení je zajištěno pomocí USB.

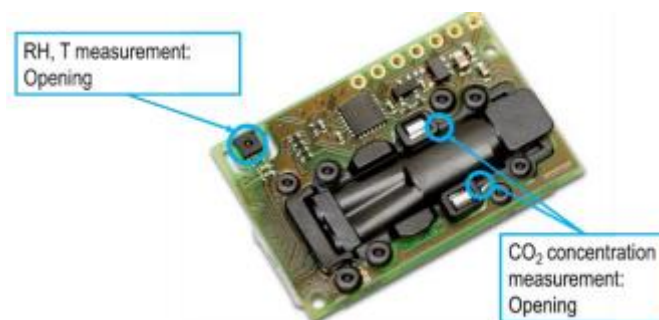
Indikátor je osazen na DPS o velikosti 55 x 30 mm. Pro nabíjení a přenos dat je použit konektor USB micro-B a převodník FT232RL komunikující pomocí RS232 s mikrokontrolérem. Akumulátor je typu NCR18500 s kapacitou 2000mAh a nominálním napětím 3,6 V. Rozměry akumulátoru jsou 18 x 50 mm a s vývody umožňující připojení do DPS.



obr 3. Použitý akumulátor NCR18500

Nabíjecí obvod Li-ion akumulátoru je použit BQ21040DBVT. Napájecí napětí celého systému je 3,3 V. O stabilizaci tohoto napětí se stará Buck-Boost converter TPS631000. Při poklesu napětí na akumulátoru pod hodnotu 2,8 V dochází k deaktivaci pulzního zdroje, aby nedocházelo k nadměrnému vybití akumulátoru a jeho poškození.

Pro snímání CO₂, vlhkosti vzduchu a teploty je použit modul SCD30 firmy Sensirion. Komunikace mezi modulem a mikrokontrolerem je I²C. Specifikace modulu níže:



obr 4. Použitý modul SCD30

CO ₂ Sensor Specifications	
CO ₂ measurement range	0 – 10'000 ppm
Accuracy	± 30 ppm ± 3% (25 °C, 400 – 10'000 ppm)
Repeatability	10 ppm
Temperature stability	2.5 ppm / °C (0 – 50 °C)
Response time (t ₆₃)	25 s

Humidity Sensor Specifications	
Relative humidity measurement range	0 – 100% RH
Typ accuracy	± 2% RH (0 – 100% RH)
Repeatability	0.1% RH
Response time (t ₆₃)	8 s

Temperature Sensor Specifications	
Temperature measurement range	– 40 °C – 120 °C
Typ accuracy (°C)	± 0.5 °C (0 – 50 °C)
Repeatability (°C)	0.1 °C
Response time (t ₆₃)	>2 s

Jako senzor tlaku byl zvolen diferenciální senzor tlaku SDP800-500 Pa. Jde o analogový senzor a jeho výstupní hodnota je snímána mikrokontrolérem a následně přepočítána na hodnotu tlaku.

Parameter	Configuration	SDP806/SDP816-500Pa
Measurement range ²	Linear	– 50 to 500 Pa (-0.2 to 2 inH ₂ O)
	Square Root	– 500 to 500 Pa (-2 to 2 inH ₂ O)
Zero point accuracy ^{3,4,5}		0.1 Pa ⁵
Span accuracy ^{3,4,5}		3% of reading ⁵
Zero point repeatability ^{4,5}		0.05 Pa ⁵
Span repeatability ^{4,5}		0.5% of reading ⁵
Span shift due to temperature variation		< 0.5% of reading per 10°C
Offset stability		< 0.05 Pa/year



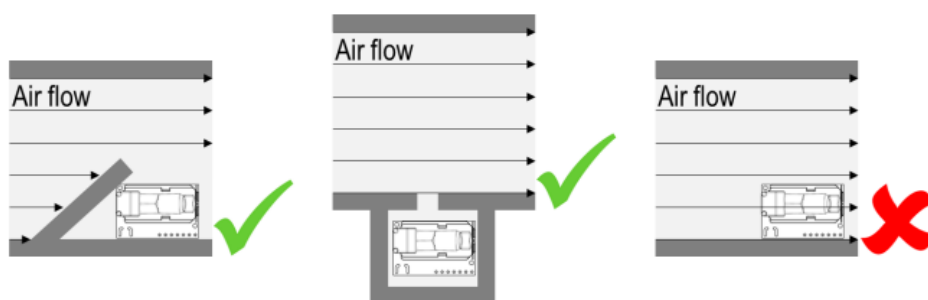
obr 5. Specifikace SDP800

Chod indikátoru zajišťuje mikrokontrolér CY8C4025AXI-S402. Zajišťuje načtení měřených hodnot z obou senzorů, jejich zpracování a odeslání přes USB do PC. Dále měří hodnotu napětí akumulátoru a v případě, že napětí klesne pod 3 V, dochází k akustické signalizaci, jako upozornění na potřebu nabití akumulátoru. Jedná se o krátký zvukový signál v časovém intervalu 1 min. Při poklesu napětí akumulátoru < 2,8 V dojde k vypnutí zařízení.

Mikrokontrolér má alokovanou paměť pro uchování hodnot tlaku, teploty, vlhkosti a CO₂, při jejichž překročení dojde k akustické signalizaci jako varování. Dále hodnota reprezentující časový údaj v minutách. Jedná se časový údaj, kdy byla dýchací maska aktivně využívána a tím je možné upozornit na potřebu výměny některé z opotřebitelných částí dýchací masky. Tato funkce může a nemusí být využita.

Způsob indikace zařízení je provedeno jak akusticky (piezo), tak světelnou indikací pomocí LED.

Z hlediska požadavků modulu SCD30, musí být indikátor umístěn mimo přímý průtok vzduchu.



Jeden z vývodů diferenčního snímače tlaku je společně s modulem uvnitř dýchací masky, druhý je vyvedený do okolního prostředí vzduchovou hadičkou mimo dýchací masku.

Indikace kvality vzduchu v dýchací masce - aplikace

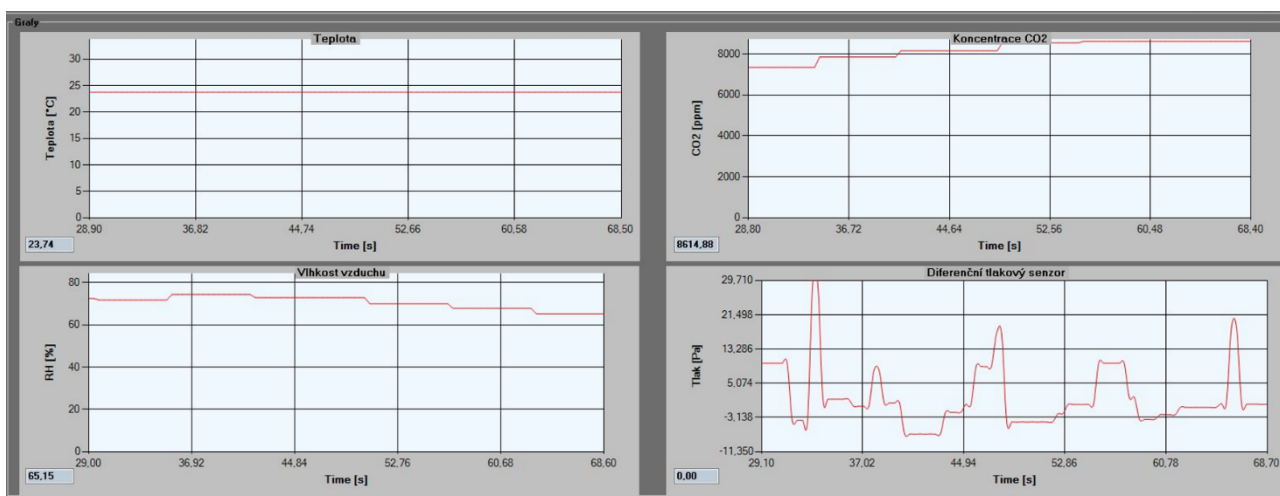
Aplikace je určena k zobrazení aktuálně měřených hodnot diferenčního tlaku, teploty, vlhkosti vzduchu a obsahu CO₂. Dále se pomocí aplikace zapisují mezní hodnoty jednotlivých měřených veličin do indikátoru na jejich základě probíhá varování při jejich překročení. Přes spuštěním sběru dat je nutné vybrat COM port. V tomto případě je to port COM2. Následně se spustí komunikace tlačítkem „Start“. Naopak ukončení aplikace se provádí stiskem tlačítka „Zastav sběr dat“.



obr 6. Nastavení komunikace

Oblast grafu.

Na jednotlivých grafech jsou zobrazeny průběhy měřených veličin. Aktuální číselná hodnota je zobrazena v numerickém indikátoru umístěném v levém dolním rohu grafického průběhu.



obr 7. Oblast grafů

Zobrazení maximálních a minimálních hodnot.

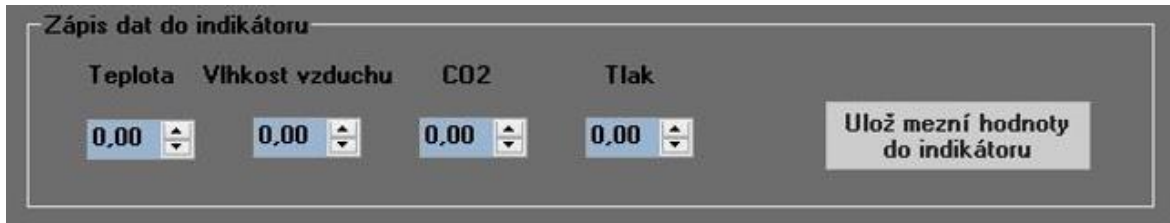
V levé spodní části jsou zobrazeny maximální a minimální hodnoty od doby spuštění aplikace.

	Teplota	Vlhkost vzduchu	CO2	Tlak
MIN	23,6	62,11	2542,69	-10,35
MAX	23,74	74,39	8614,89	28,71

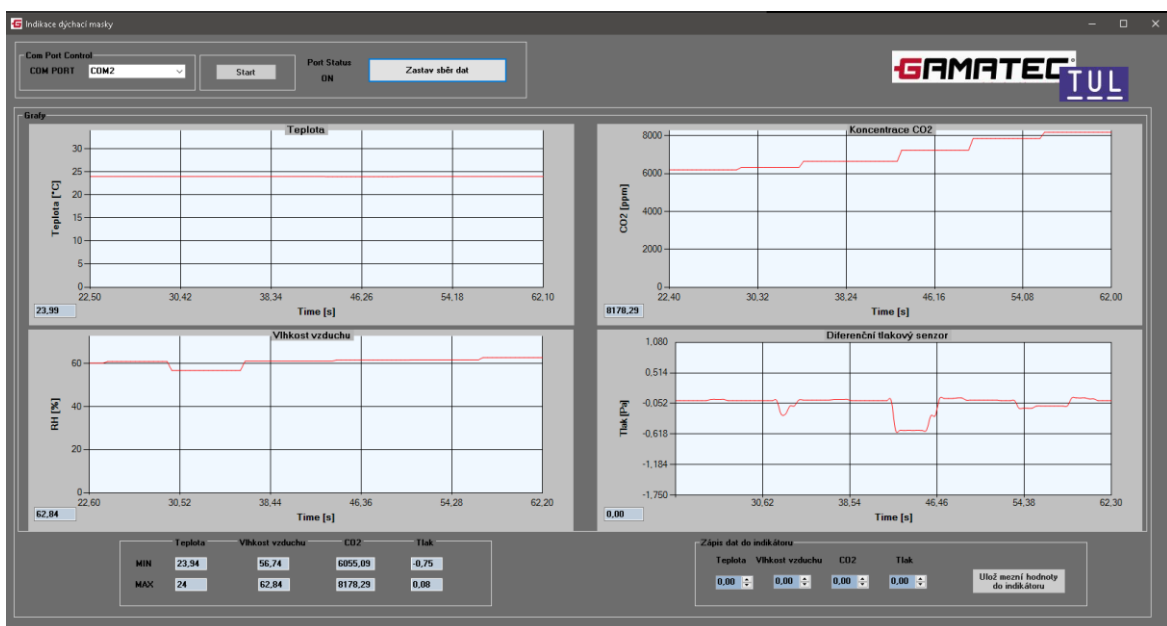
obr 8. Horní a dolní dosažené hranice

Nastavení limitních hodnot.

Tato funkce umožňuje zapsání limitních hodnot do indikátoru. Při běžném provozu při překročení těchto hodnot dochází k indikaci (varování) dosažení nadlimitních hodnot sledovaných ukazatelů kvality ovzduší.



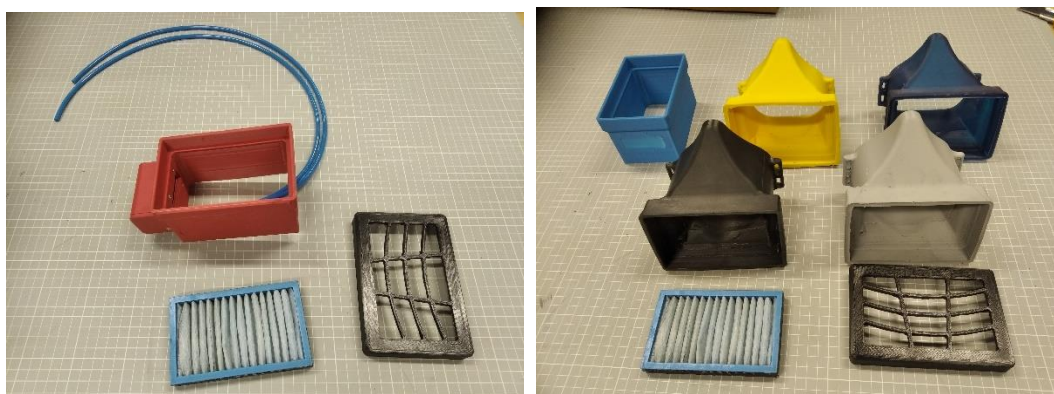
obr 9. Zápis limitních hodnot



obr 10. Grafické vyhodnocení měřených dat z jednotlivých senzorů



obr 11. Testované prototypové řešení dýchací polomasky Gamatec s.r.o.



obr 12. Modulární uspořádání dýchací polomasky Gamatec