

**AD4HEL - Activation Detectors for High Energy
Lasers: využití kvazi-offline metod pro detekci
laserem generovaných neutronů**

TJ02000321-V9

System pro rychlé měření indukovaného gama a zpožděných
neutronů pomocí aktivačních fólií

Obsah

Úvod	4
1 Popis potrubní pošty	5
1.1 Pohonná a řídicí část	6
1.2 Trasa potrubní pošty	9
1.3 Sekce pro výměnu vzorku	11
1.4 Měřicí a ozařovací sekce	12
1.5 Periferie	14
2 Popis ovládní	16
Závěr	24

Seznam obrázků

1	Schéma zapojení potrubní pošty (1 - pohonná sekce, 2 - sekce pro výměnu vzorku, 3 - ozařovací sekce, 4 - měřící sekce, 5 - propojovací hadice, 6 - dewarova nádoba, 7 - HPGe detektor, 8 - zdroj částic).	5
2	Pohonná a řídicí část mobilní potrubní pošty.	6
3	Pohled na horní část s ovládacím panelem.	7
4	Pohled na zadní část s napájecí částí a částí pro připojení periferií.	8
5	Detail bajonetových koncovek na hadice potrubní pošty a výtisk transportního pouzdra. Připravená hadice o délce 15 m včetně spojky.	9
6	Různé typy transportních pouzder a poruchy 3D tištěných pouzder po testovací kampani.	10
7	Vylepšená verze sekce pro vložení a vyjmutí vzorku, kapsle pro zachycení transportního pouzdra.	11
8	Měřící sekce (vlevo), ozařovací sekce (vpravo).	12
9	Sekce pro měření zpožděných neutronů včetně připojené potrubní pošty a detektorů neutronů.	13
10	Dvoucestný rozbočovač pro potrubní poštu.	14
11	Samostatný modul pro detekci průletu vzorku potrubní poštou.	15
12	Úvodní informace zobrazované při spuštění řízení potrubní pošty.	16
13	Varovná hláška v případě kdy není připojená SD karta.	17
14	Úvodní menu během startu mikropočítače pro nastavení připojených periferií.	17
15	Hlavní menu.	18
16	Provozní menu.	19
17	Menu pro nastavení periferií včetně detailu nastavení pro zvolenou periferii.	20
18	Menu pro kalibraci servopohonů.	21
19	Menu pro kalibraci klapky, která mění směr proudění vzduchu v potrubní poště a pozic u rozbočovače trasy potrubní pošty.	21
20	Menu nastavení.	22
21	Menu nastavení času.	23

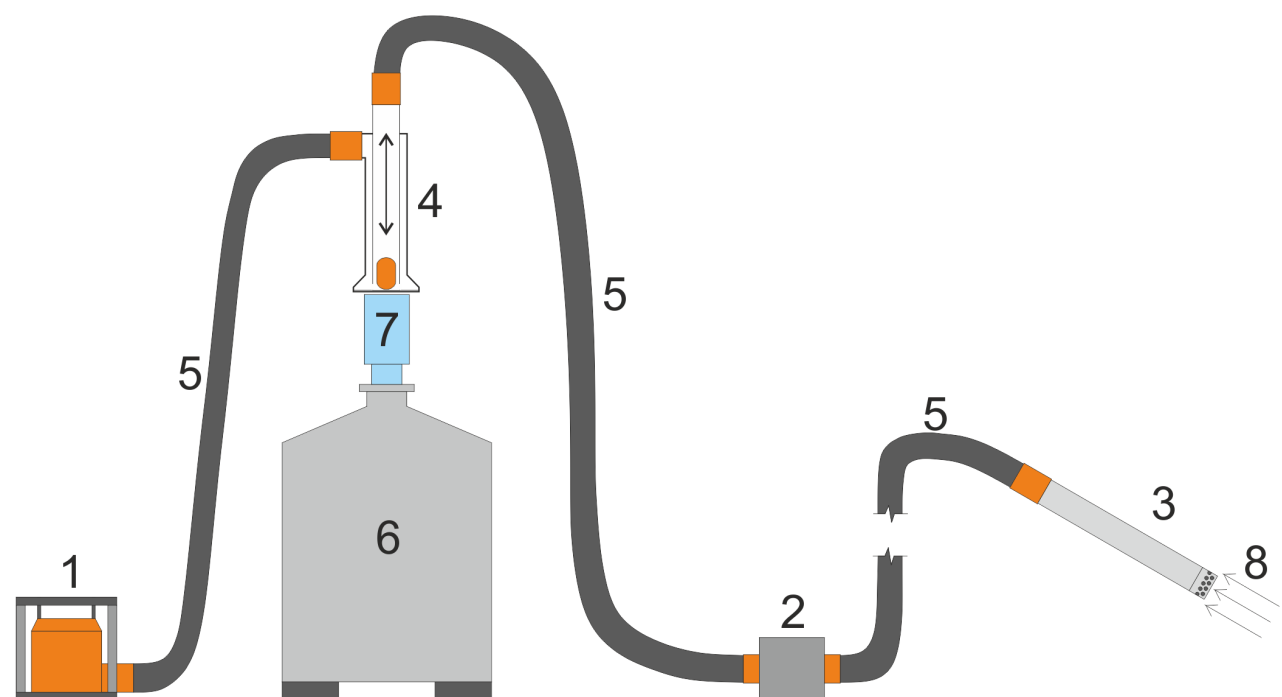
Úvod

Následující text slouží jako popis mobilní potrubní pošty, resp. jednotlivých komponent, ze kterých je složena. Podrobněji se věnuje pohonné a řídicí části, zejména pokud jde o ovládání, nastavení a různé stavy. Struktura návodu odpovídá skutečnému postupu uživatele pro použití potrubní pošty a její nastavení. Návod je pro názornost a lepší orientaci doplněn množstvím obrázků.

1 Popis potrubní pošty

Zde představená potrubní pošta byla vyvinuta na VUT FEKT UEEN jako mobilní a snadno transportovatelné zařízení, které lze využít na různých experimentálních pracovištích, jež disponují zdrojem ionizujícího záření o dostatečném výkonu pro provedení aktivačních a jiných měření, u kterých hraje roli rychlost transportu vzorku mezi zdrojem částic a detekčním systémem.

Vlastní zařízení je modulární a sestává z řady komponent, jež jsou krátce představeny dále v tomto dokumentu. Jednoduché schéma se nachází na Obr. 1. V tomto uspořádání je potrubní pošta využívána pro měření s pomocí HPGe detektoru. Následuje krátký popis jednotlivých komponent.



Obrázek 1: Schéma zapojení potrubní pošty (1 - pohonná sekce, 2 - sekce pro výměnu vzorku, 3 - ozařovací sekce, 4 - měřicí sekce, 5 - propojovací hadice, 6 - dewarova nádoba, 7 - HPGe detektor, 8 - zdroj částic).

Základní design tvoří měřicí sekce, ozařovací sekce, pohonná jednotka, jednotka pro výměnu vzorku, transportního pouzdra a propojovací hadice, které slouží pro vedení transportního pouzdra. Volitelně lze připojit rozbočovač a detekční vložné části, které detekují průlety vzorku mezi měřicí a ozařovací částí.

1.1 Pohonná a řídicí část

Pohonná část tvoří základ potrubní pošty, viz Obr. 2. Obsahuje dmychadlo, obraceč tahu a řídicí elektroniku.



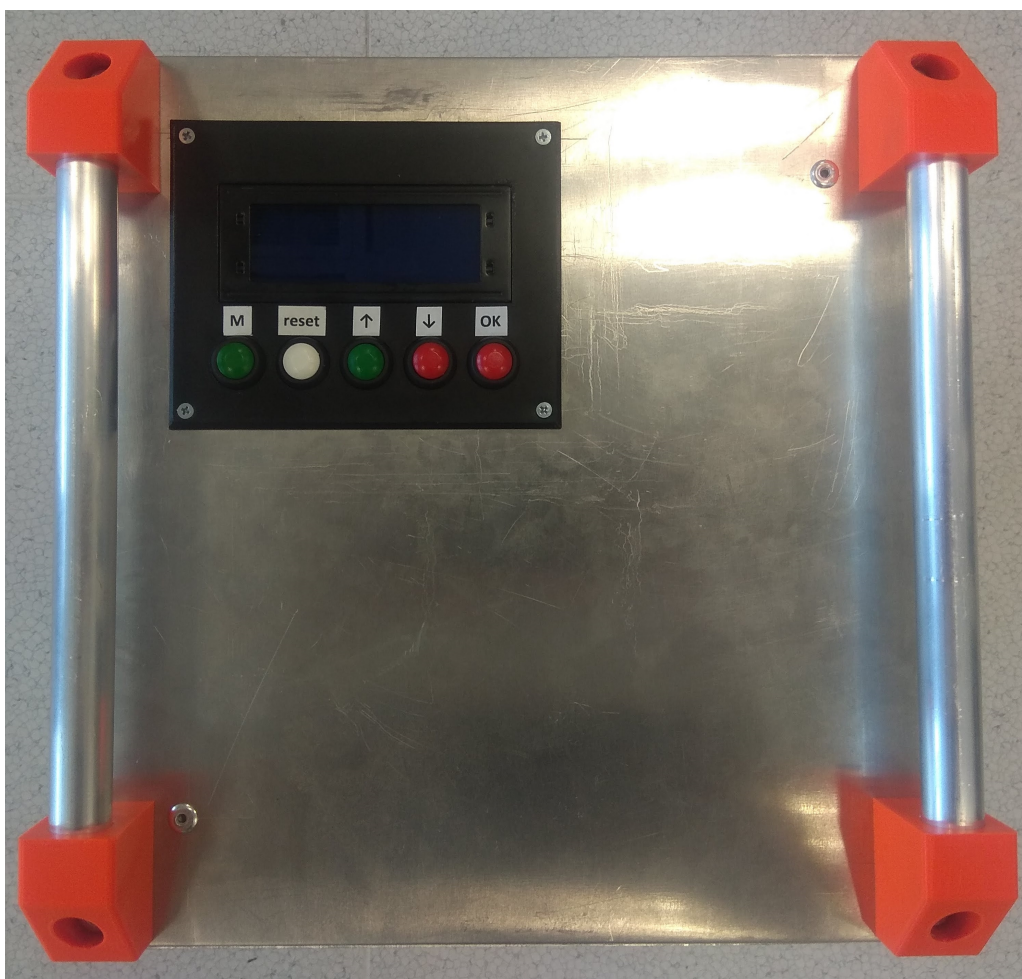
Obrázek 2: Pohonná a řídicí část mobilní potrubní pošty.

Na horní části se nachází madla, za která lze celou část přenášet a zejména ovládací panel s LCD displejem a pěti tlačítky. Další popis ovládání, viz Kap. 2.

Na zadní části se nachází připojovací panel, viz Obr. 4 a Obr. ??, kde je detail ovládacího panelu a chladicí mřížka, jež zajišťuje vstup a výstup chladícího vzduchu vlastního elektromotoru.

Na vlastním panelu se nachází EURO konektor pro napájení ze sítě, vypínač pro aktivaci spínaného zdroje, jež slouží k napájení mikropočítače typu Arduino a pomocného měniče pro napájení servopohonů. V druhé části se nachází slot pro SD kartu, USB konektor a dva D-sub konektory typu DA-15. USB konektor slouží k programování mikropočítače, kalibrace modulu přesného času a odesílání informací o době transportu vzorků. D-sub konektory slouží k připojení periférií jako jsou detektory průletu vzorku nebo rozbočovač pro změnu trasy transportu vzorkovnic.

Na předním panelu se nachází pouze bajonetový konektor pro připojení trasy potrubní pošty



Obrázek 3: Pohled na horní část s ovládacím panelem.

a na bočních panelech se nacházejí ventilační mřížky, které slouží pro přívod a odvod vzduchu z dmyhadla. Zároveň brání vniknutí cizích předmětů do zařízení.



Obrázek 4: Pohled na zadní část s napájecí částí a částí pro připojení periferií.

1.2 Trasa potrubní pošty

Vedení vzorku je zajištěno hadicemi využívanými u vysavačové techniky. Byly zvažovány i jiné typy hadic, ale ty se neosvědčily z důvodu vysokého vnitřního tření. Vnitřní průměr je 36 mm a délka segmentů je 15 m. Lze ale připravit i kratší segmenty. Každý segment má na konci koncovku s bajonetovým zámkovým mechanismem. Tyto koncovky pasují do všech dalších komponent, jež jsou vybaveny bajonetovým zámkem. S pomocí spojek lze navýšit délku hadic, nejdelší testovaná délka byla 80 m.

Transportní pouzdra, resp. vzorkovnice se skládají ze dvou částí a jejich vnější průměr je 33 mm a vnitřní 29 mm. Celková délka činí 44 mm a vnitřní délka 40 mm. Pohled na 15 m segment a zmiňované koncovky, spojku a transportní pouzdro, lze nalézt na Obr. 5.



Obrázek 5: Detail bajonetových koncovek na hadice potrubní pošty a výtisk transportního pouzdra. Připravená hadice o délce 15 m včetně spojky.

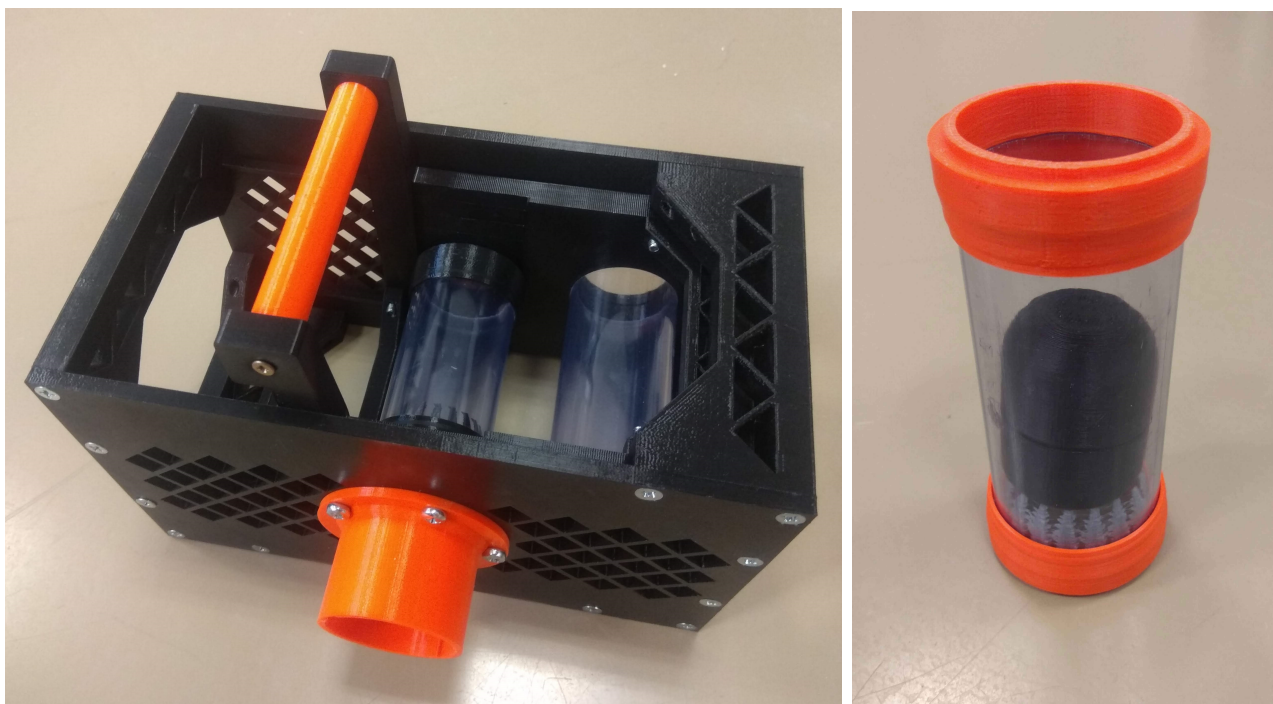
Během vývoje byly testovány různé materiály a nakonec byl vybrán takový, jež brání vzniku poruch u vzorkovnic, viz Obr. 6. Kromě tištěných pouzder lze použít i komerční pouzdro (první zleva) z polyetylenu. Jelikož se jedná o výlisek, tak netrpí na praskání, tak jako tištěná pouzdra. Nevýhodou je menší objem a ne úplně ideální tvar s ostrými hranami. Přesto bylo ověřeno jeho možné použití v potrubní poště.



Obrázek 6: Různé typy transportních pouzder a poruchy 3D tištěných pouzder po testovací kampani.

1.3 Sekce pro výměnu vzorku

Tato komponenta slouží k vkládání a vyjímání vzorků z potrubní pošty. Sekce sestává z rámu, jezdce a kapsle pro zachycení a vyjmutí transportního pouzdra, resp. vzorku. Sekce má dvě polohy: v první se sekce chová jako standardní trasa a pouzdra skrz ni volně procházejí. V druhé poloze je v cestě pouzdra tlumící mřížka, jež jej zastaví a lze jej následně vyjmout spolu s kapslí. Samotná kapsle obsahuje, v místě vstupu vzorku z trasy, pružnou zpětnou klapku, jež zabraňuje možnému odražení pouzdra zpět do trasy. Sekci a kapsli je možné vidět na Obr. 7.



Obrázek 7: Vylepšená verze sekce pro vložení a vyjmutí vzorku, kapsle pro zachycení transportního pouzdra.

1.4 Měřicí a ozařovací sekce

Oba konce trasy potrubní pošty mají zakončovací sekce. Část u detektoru a pohonu se označuje jako měřicí sekce/koncovka a u zdroje pak ozařovací sekce/koncovka. Ozařovací sekce je velmi jednoduchá, sestává pouze z hliníkové trubky o vnitřním průměru 37 mm a vnějším průměru 40 mm. Na jedné straně je zakončena hliníkovým dnem o tloušťce 1,5 mm a dvou řad otvorů po obvodu trubky, které umožňují proudění vzduchu do/z trasy. Druhý konec je opatřen koncovkou s bajonetem pro připojení k trase pošty.



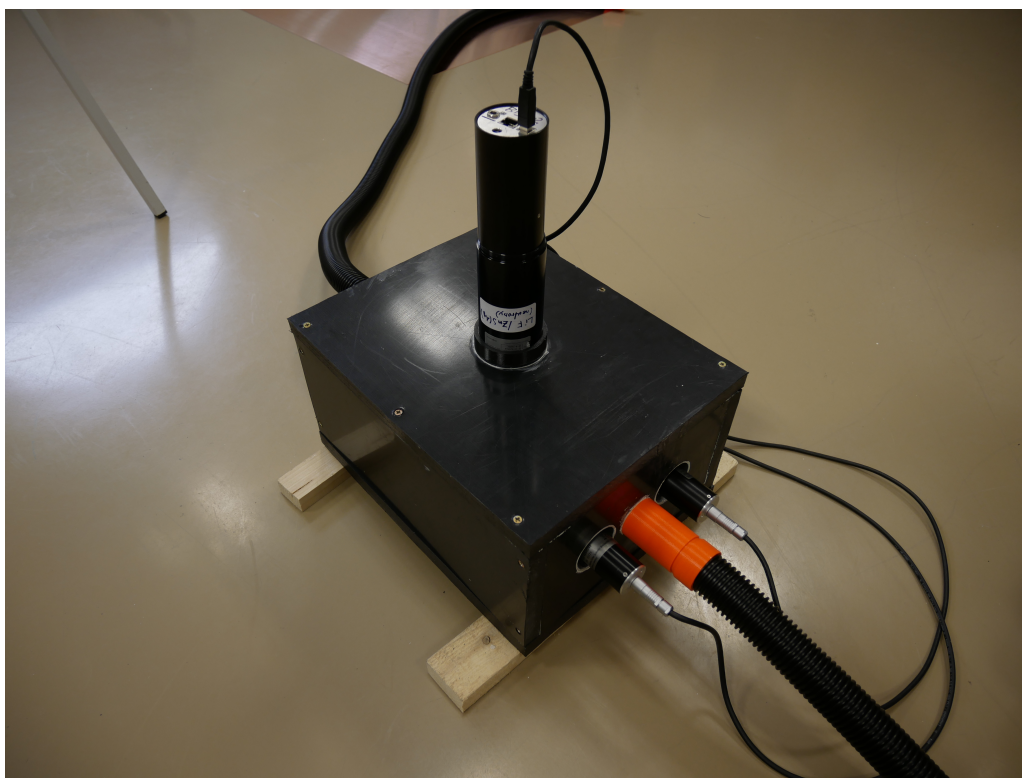
Obrázek 8: Měřicí sekce (vlevo), ozařovací sekce (vpravo).

Hliník byl zvolen díky nízkým hodnotám účinných průřezů reakcí neutronů o různých energiích. Navíc řada aktivačních produktů má relativně krátké poločasy přeměny. Ozařovací

i měřicí koncovky lze vidět na obrázku 8.

Měřicí sekce má tři účely. Prvním je připojení pohonné sekce a tedy přívod a odvod vzduchu. Druhým je zastavení transportního pouzdra aniž by došlo k jeho odrazu ode dna sekce. Horní a spodní část jsou opět vyrobeny pomocí 3D tisku. Spojovací trubice jsou z transparentního PVC, což je výhodné pro kontrolu funkce samotného zařízení.

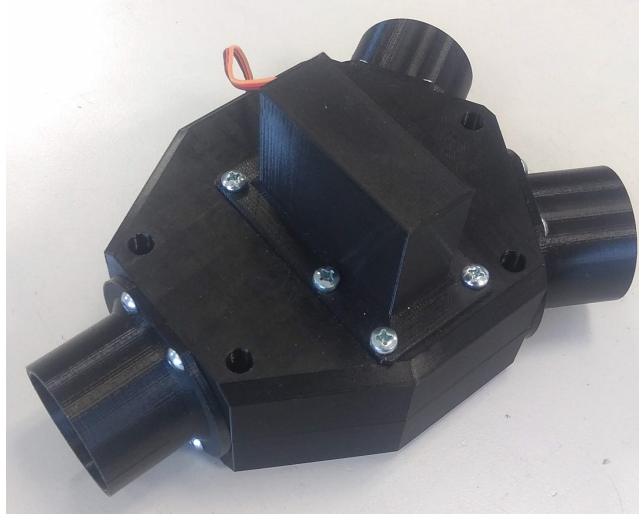
Kromě měřicí sekce pro měření gama záření byla vyvinuta i měřicí sekce pro detekci zpožděných neutronů, která je na Obr. 9. Jedná se o kvádr z HDPE desek vyplněných voskem, který složí k moderaci a stínění zpožděných neutronů. V přední části se nacházejí dva válcové otvory pro vložení proporcionálních plynových detektorů neutronů na bázi ^3He nebo BF_3 . V horní části je otvor pro vložení scintilačního detektoru. Středem zařízení pak prochází hliníková trubka, kterou přilétá vlastní vzorek, jež se zastaví o mřížku, která je umístěna uprostřed zařízení. Na obou koncích zařízení jsou vývody, jeden pro připojení pohonné sekce a druhý pro připojení trasy potrubní pošty.



Obrázek 9: Sekce pro měření zpožděných neutronů včetně připojené potrubní pošty a detektorů neutronů.

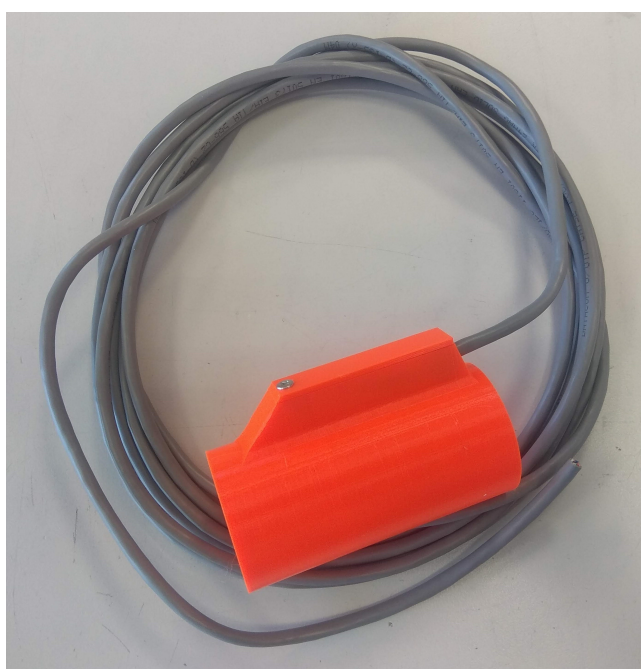
1.5 Periferie

Volitelnými součástmi jsou rozbočovač a IR detekce polohy vzorku. Rozbočovač je možné vidět na Obr. 10 a detekční sekci na Obr. 11. Rozbočovač má celkem dvě polohy a umožňuje tak například mít více ozařovacích větví.



Obrázek 10: Dvoucestný rozbočovač pro potrubní poštu.

Detekční modul umožňuje provádět měření doby transportu vzorku mezi dvěma body. Čas průletu je ukládán na SD kartu, dále je vysílán po USB kabelu na COM port připojeného PC a v neposlední řadě je zobrazován na displeji pohonné sekce. Na paměťovou kartu a do PC je předávána informace s časovou značkou (čas a datum) průletu vždy druhým modulem v pořadí od místa, kde se aktuálně nacházela vzorkovnice včetně informace o směru (směr ozařovací sekce nebo směr detekční sekce).



Obrázek 11: Samostatný modul pro detekci průletu vzorku potrubní poštou.

2 Popis ovládání

Následující kapitola je zaměřená na popis ovládání potrubní pošty. Veškeré popisy jsou doplněny obrazovou dokumentací pro usnadnění reálného používání. Ovládací panel je tvořen LCD displejem tvořeným 4×20 poli s nastavitelnou regulací jasu a kontrastu. K samotnému ovládání lze použít celkem pět tlačítek:

- **M** - slouží k aktivaci motoru dmychadla v provozním režimu.
- **reset** - slouží k resetu řídicího mikroprocesoru.
- **↑** - slouží k posunu v menu nahoru a k nastavování požadovaných hodnot (jejich zvyšování s přednastaveným krokem).
- **↓** - slouží k posunu v menu dolů a k nastavování požadovaných hodnot (jejich snižování s přednastaveným krokem).
- **OK** - slouží k potvrzení všech příkazů.

Po aktivaci napájení, viz zadní panel, je automaticky aktivován i řídicí mikroprocesor. Během jeho startu jsou zobrazeny vybrané informace, viz Obr. 12. Na první obrazovce je informace o výrobci, aktuálním datu a verzi použitého firmwaru. Následně je zobrazena obrazovka s informací o načtení SD karty. Ta slouží jednak pro ukládání naměřených dat.



Obrázek 12: Úvodní informace zobrazované při spuštění řízení potrubní pošty.

Pokud není SD karta vložena, dojde k zobrazení příslušné varovné hlášky, viz Obr. 13. V tomto případě nedojde k naběhnutí základního menu dokud nedojde k jejímu vložení.

Zároveň je třeba, aby se na SD kartě v základním adresáři nacházel textový soubor `log.txt`, který slouží k zapisování doby transportu vzorku mezi ozařovací a měřící sekcí.



Obrázek 13: Varovná hláška v případě kdy není připojená SD karta.

Třetí startovní obrazovka již vyžaduje interakci uživatele, který musí zadat informaci o připojených perifériích. Na výběr je z možnosti připojení modulů detekce průletu vzorků a připojení rozbočovače. Pokud zůstanou možnosti nastavené v režimu **NE**, tak jsou příslušné vstupy a výstupy mikropočítače deaktivované. Volba probíhá najetím kurzoru (>) na příslušnou možnost a stisknutím tlačítka **OK**.

Následný přechod do hlavního menu probíhá potvrzením možnosti **OK** v horní části menu.



Obrázek 14: Úvodní menu během startu mikropočítače pro nastavení připojených periférií.

Hlavní menu umožňuje zvolit celkem tři možnosti, viz Obr. 15:

- **provoz** - slouží k přesunu do menu provoz, ze kterého probíhá řízení potrubní pošty během vlastních experimentů.
- **připojené periferie** - slouží ke konfiguraci vstupních a výstupních konektorů, resp. jejich pinů.
- **nastavení a kalibrace** - slouží pro přesun do nastavení a kalibračního menu.



Obrázek 15: Hlavní menu.

Je-li zvoleno provozní menu, tak se uživateli zobrazí obrazovka z Obr. 16. Najetím na možnost **zpet** a její potvrzení tlačítkem **OK** se uživatel dostane zpět do hlavního menu¹ Následuje popis jednotlivých informací z provozního menu.

- **K** - zobrazuje stav klapky, jež řídí proudění vzduchu skrz trasu potrubní pošty. Rozeznáváme celkem tři polohy. Změna polohy probíhá najetím kurzoru na tento řádek a zvolením tlačítka **OK**.
 1. **mezi** - jedná se o mezipolohu, resp. střední polohu klapky. Slouží jako výchozí poloha při startu potrubní pošty.
 2. **sani** - v této poloze je vzduch nasáván skrz trasu potrubní pošty a vzorek se pohybuje směrem k měřící sekci.
 3. **vyfuk** - v této poloze je vzduch vyfukován skrz trasu potrubní pošty a vzorek se pohybuje směrem k ozařovací sekci.
- **t** - pokud je připojena detekce průletu vzorku, tak se zde zobrazuje rozdíl času mezi opuštěním ozařovací sekce a přiletem do měřící sekce a naopak. V pravé části je pak zobrazován aktuální čas s přesností na celé sekundy.
- **R** - v případě připojení rozbočovače zobrazuje jeho aktuální polohu.



Obrázek 16: Provozní menu.

¹tato možnost je stejná pro všechna menu a nastavení na vyšších úrovních.

Při volbě **Periferie**, viz obr. 17 vstoupí uživatel do nastavení vstupů/výstupů pro komponenty, jež lze připojit ke konektorům na zadním panelu. Jejich připojení probíhá přes konektor typu D-sub varianty DA-15. Jak již bylo uvedeno v popisu pohonné sekce. Na zadním panelu se nacházejí celkem dva tyto konektory. Horní je označován jako **in_A** a spodní **in_B**. Na horním konektoru se nachází celkem 5 digitálních vstupů/výstupů (označovaných jako **p_1 – p_5**), jež umožňují připojit různá zařízení. V menu periferie lze pro celkem tři různé komponenty vybrat vždy vstupní konektor a vstupní pin. Volba zásobníku vzorků je aktuálně neaktivní a počítá se s ní až v budoucnu.

Volba konektoru a pinu probíhá najetím kurzoru na příslušnou komponentu a stiskem tlačítka **OK**. K návratu do menu periferie, resp. základního menu slouží volba **zpet**. Informace o zvoleném konektoru a pinu se ukládají na SD kartu a jsou načítány při startu mikro počítače.



Obrázek 17: Menu pro nastavení periferií včetně detailu nastavení pro zvolenou periferii.

Menu kalibrace je přístupné přes volbu **nastavení a kal.**. Samotná kalibrace slouží k úpravě rozsahu pohybu servopohonů, u kterých může vlivem poruchy dojít ke změně nastavení. K dispozici jsou celkem dvě volby **Kalibrace klapky** a **Kalibrace rozb.**.



Obrázek 18: Menu pro kalibraci servopohonů.

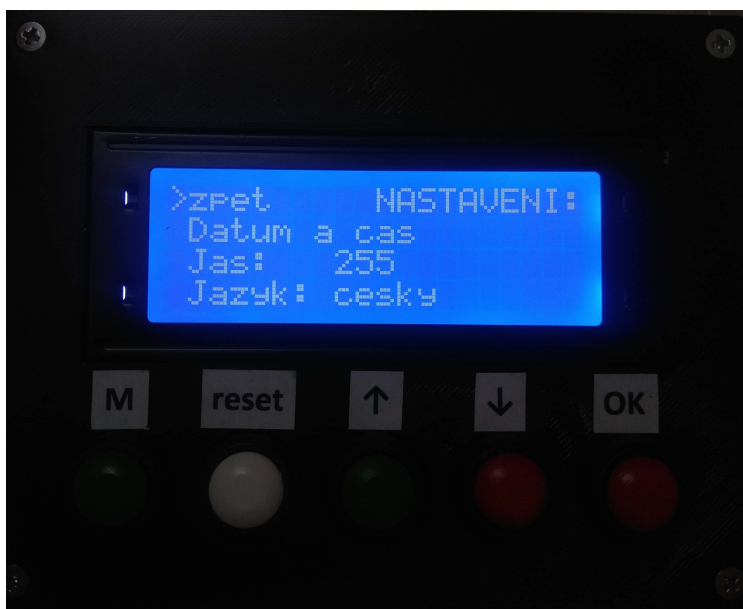
Obě volby jsou zobrazeny na Obr. 19. Každá z nich umožňuje nastavit dvě krajní polohy, které složí ke správnému zarovnání klapky v obráběcí tahu, resp. zarovnání pohyblivé části v rozbočovači. Nastavené hodnoty jsou v úhlových stupních a nastavení probíhá najetím kurzoru na příslušnou krajní polohu a stiskem tlačítka **OK**. Poté lze pomocí tlačítek se šipkami nastavovat příslušné hodnoty s rozlišením 1°. Po nastavení požadované hodnoty dojde k jejímu potvrzení pomocí tlačítka **OK**. Návrat do základního menu probíhá opět přes volbu **zpet**.



Obrázek 19: Menu pro kalibraci klapky, která mění směr proudění vzduchu v potrubní poště a pozic u rozbočovače trasy potrubní poště.

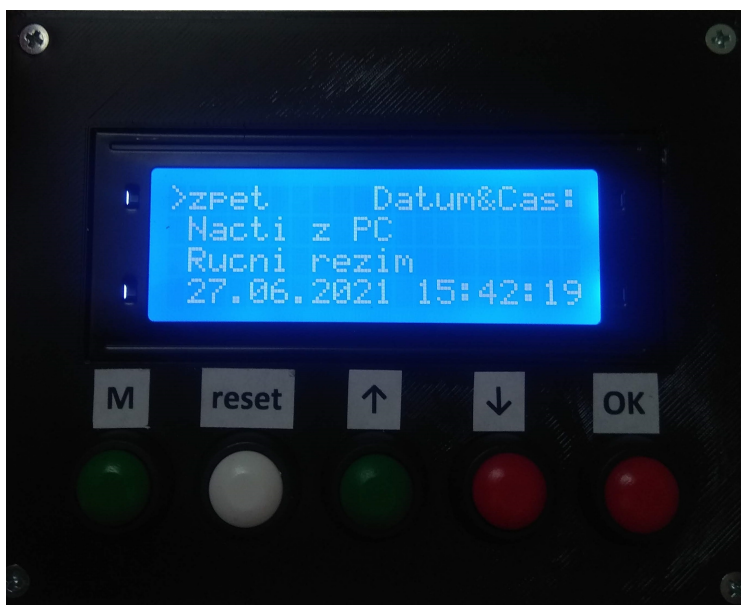
Z menu **nastaveni a kal.** lze dále vstoupit do menu nastavení. Příslušné menu je vidět na Obr. 20 a obsahuje celkem tři volby:

- **Datum a cas** - slouží k nastavení správného data a času, což je důležité pro ukládání informace o době transportu vzorku. Bez této informace nelze vyhodnotit zejména měření zpožděných neutronů, resp. nelze provést porovnání mezi různými měřeními s různě dlouhou trasou potrubní pošty a různě těžkými vzorky. Najetím kurzoru na tuto volbu a zmáčknutím tlačítka **OK** dojde k zobrazení příslušného menu, které slouží pouze k nastavení času.
- **Jas** - toto nastavení slouží ke změně jasu displeje. Volba probíhá najetím kurzoru a zmáčknutím tlačítka **OK**. Poté lze pomocí tlačítek s šípkami nastavit hodnotu jasu z intervalu $\langle 0; 255 \rangle$, kdy 0 je nejnižší jas a 255 naopak nejvyšší. Po zvolení vybrané hodnoty je třeba ji potvrdit opětovným zmáčknutím tlačítka **OK**.
- **Jazyk** - slouží k volbě jazyka pro ovládání potrubní pošty. Aktuálně jsou k dispozici pouze čeština a angličtina.



Obrázek 20: Menu nastavení.

Menu pro nastavení data a času obsahuje celkem dvě volby, viz Obr. 21. V dolní části je pak zobrazen aktuální datum a čas. Ke správě data a času slouží tzv. modul přesného času (RTC - Real Time Clock) typu DS3231, který obsahuje záložní baterii, jež udržuje tento modul v provozu i po dobu, kdy je pohon potrubní pošty odpojen od síťového napětí.



Obrázek 21: Menu nastavení času.

Aktualizaci času lze provést dvěma možnostmi. Automatická možnost je označena **Nacti z PC**. Jak již název naznačuje, tak tato volba vyžaduje připojení PC pomocí USB kabelu. Po najetí na volbu a stisk tlačítka **OK**, jež spustí funkci, který čeká na zaslání hodnoty z PC do příslušného COM portu. Na připojení PC je nutné spustit přiložený soubor **time_update.bat**, který pošle hodnotu data a času do potrubní pošty, resp. RTC modulu. Limitem této metody je aktuálnost data a času na připojeném PC, proto je doporučeno provést nejprve synchronizaci příslušného PC se servery pro přesný čas.

Naproti tomu ruční režim přebírá informaci pouze od uživatele. Po zvolení volby **Rucni rezim** je zobrazen kurzor ve spodní části, kde je zobrazeno datum a čas. Kurzor je nejprve zobrazen na roku, kde lze pomocí tlačítek se šipkami nastavovat rok v rozsahu (1970; 2100). Potvrzení probíhá zmáčknutím tlačítka **OK**. Následně je kurzor přesunut na měsíc, kde je rozsah (1; 12). V závislosti na volbě měsíce a roku² je pak nastaven rozsah pro volbu dnu v měsíci. Po nastavení data lze podobně provést nastavení času.

²informace o roku je důležitá pro identifikaci přestupných let.

Závěr

Účelem mobilní potrubní pošty, popsané v předchozích kapitolách, je doprava vzorků mezi ozařovací stanicí a detektorem gama záření nebo zpožděných neutronů. Zařízení bylo navrženo jako co možná nejvíce modulární a jednoduché na obsluhu při zachování pokročilých funkcí. Výše uvedený text představuje krátký popis samotných komponent tvořících potrubní poštu a programového vybavení pro jeho řízení.