



## Demonstrátor vysokoteplotního akumulátoru

Datum dosažení výsledku: 25.11.2025

Datum zhotovení zprávy: 25.11.2025

Typ projektu:  $G_{\text{funk}}$  – funkční vzorek

Autoři: Ing. Ladislav Šnajdárek, Ph.D.,  
Ing. Libor Kudela, Ph.D.,  
prof. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.,

Identifikační číslo výstupu: TN02000025/001-V32

Vazba na projekt: TN02000025 Národní centrum pro energetiku II. Dílčí projekt TN02000025/001 Inovativní řešení pro udržitelnou energetiku.

## Úvod

Vysokoteplotní uložistiště získávají stále větší pozornost díky svému silnému potenciálu stát se cenově dostupnou alternativou pro ukládání energie ve formě tepla, s využitím dostupných domácích a plně recyklovatelných materiálů. Hlavní výhodou těchto baterií je schopnost dlouhodobě uchovávat velké množství tepelné energie a umožnit její časový posun z období přebytku do období zvýšené potřeby. Tím lze významně snížit provozní náklady a zároveň přispět k ochraně životního prostředí. Pro technický návrh vysokoteplotních akumulátorů chybí dostupné databáze s dostatečně detailním popisem fyzikálních parametrů ovlivňujících přenos tepla mezi zrny různých sypkých materiálů a ostatními konstrukčními prvky akumulátorů ve velkém rozsahu teplot. Na tuto skutečnost reaguje vytvořený demonstrátor.

## Technický popis účelu zařízení

Zařízení (demonstrátor) je určeno pro výzkum přenosu tepla a akumulace tepelné energie ve formě vysoko-potenciálního citelného tepla v sypkých tuhých materiálech. Problematika přenosu tepla v sypkém prostředí za vysokých teplot je spojena s řadou fyzikálních parametrů, které je nutné pro konkrétní sypké materiály a zátěžové stavy experimentálně stanovit. Demonstrátor poskytuje experimentální výsledky, které tvoří nezbytné vstupy pro analytické výpočty a slouží k ověřování a kalibraci vyvíjených matematických modelů.

Primárním účelem demonstrátoru je verifikace a kalibrace matematických modelů popisujících komplexní tepelné děje probíhající jak uvnitř, tak i vně tepelného úložiště. Zařízení umožňuje velmi detailní sledování teplotních polí uvnitř nahřívaného média, a tím poskytuje klíčová data pro určování efektivních termodynamických vlastností sypkých materiálů v kontextu akumulace tepla. Mezi tyto vlastnosti patří zejména:

- efektivní tepelná vodivost v závislosti na teplotě a hutnosti,
- efektivní tepelná kapacita,
- efektivní koeficienty přestupu tepla mezi sybkým materiálem a okolními povrchy.

Návrh konkrétní aplikace vysokoteplotní tepelné baterie závisí na přesnosti těchto experimentálních dat, neboť ta přímo ovlivňuje korektnost simulačních modelů.

Demonstrátor dále umožňuje nepřímé stanovení efektivnosti akumulace v konkrétním testovaném uspořádání, stanovením velikosti tepelných ztrát. To je umožněno použitím různého provedení tepelně izolačního pláště demonstrátoru. Demonstrátor dále umožňuje testovat dynamicky měnící se intenzitu nabíjení, což je důležité pro hodnocení využití potenciálu nestabilních zdrojů el. energie. Demonstrátor dále umožňuje stanovit efektivní tepelnou kapacitu akumulačního sypkého lože, která je ovlivněna geometrií a rozmístěním distribučních kanálů a topných těles. Tyto geometrické vlastnosti zároveň určují dostupné nabíjecí a vybíjecí výkony, které se v průběhu provozu vysokoteplotních akumulátorů mohou výrazně měnit.

Demonstrátor ve spojení s výpočtovými nástroji umožňuje hledání optimálního návrhu provedení tepelné baterie. Tento proces není realizovatelný bez ověřených údajů o teplotních dějích a fyzikálních parametrech získaných v jednodušším experimentálním systému

(demonstrátoru), který umožňuje systematicky zkoumat vliv jednotlivých nastavení, geometrií a použitých materiálů.

### **Základní technické parametry**

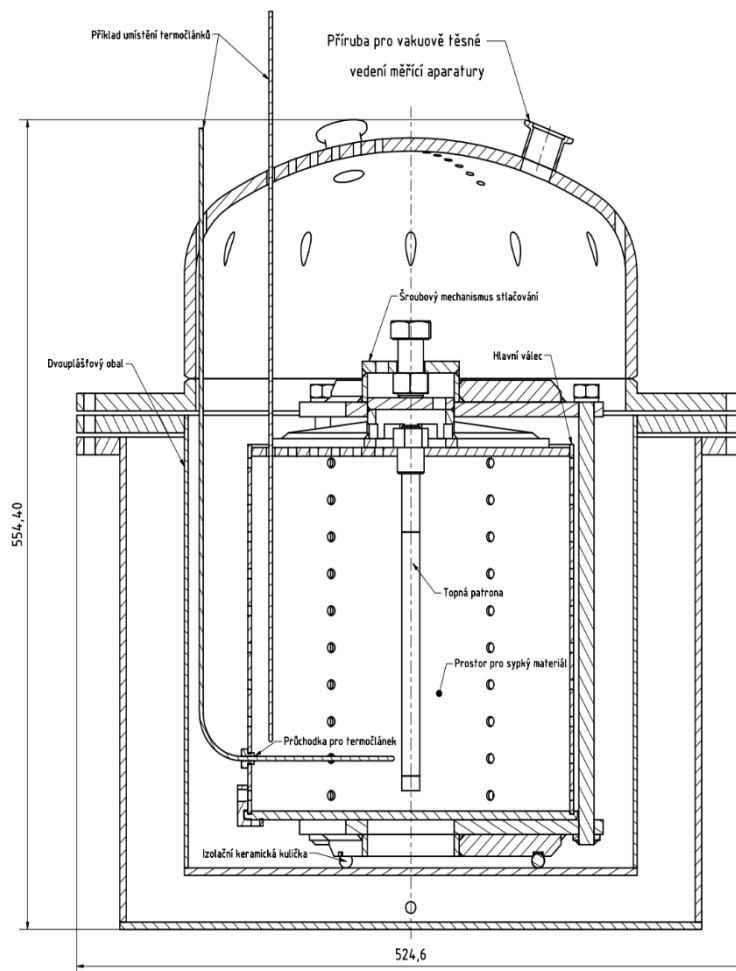
Demonstrátor je modulární experimentální zařízení sestavené z hlavního válcového ocelového tělesa o průměru 250 mm a výšce 250 mm, se silou stěny 3 mm. Vnitřní prostor válce je vyplněn sypkým materiálem, do kterého je během nabíjecí fáze dodáváno teplo pomocí elektrické topné patrony. Podélná osa patrony je orientována ve vertikálním směru. Patrona je umístěna v ose demonstrátoru. Patrona může být hladká nebo opatřena žebrováním, zajišťujícím efektivnější přenos tepla do okolního sypkého média.

Plášť hlavní nádoby je vybaven 78 průchodkami pro umístění kalibrovaných termočlánků. Aretační šroubení umožňují jejich lineární posuv, což poskytuje možnost detailního liniového měření teplotního pole v radiálním i axiálním směru. Teplotní rozsah zařízení je navržen pro provoz v rozmezí 0–500 °C.

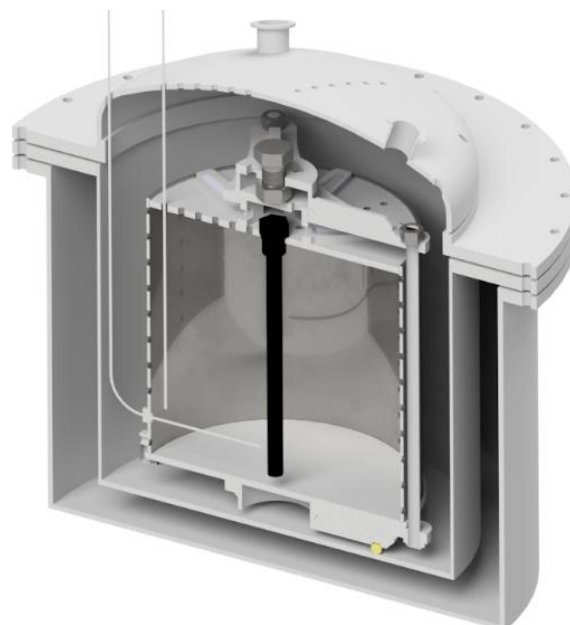
Součástí demonstrátoru je šroubový mechanismus umožňující axiální stlačení sypkého materiálu na požadovanou hutnost. Tento mechanismus umožňuje simulovat reálné provozní zatížení elementu sypkého lože umístěného ve sloupci sypkého materiálu v reálném akumulátoru.

Pro potřeby sledování tepelných toků v sypkém loži s výrazným teplotním gradientem je možno demonstrátor provozovat bez tepelné izolace. V případech potřeby testování tepelných ztrát demonstrátoru je na vnější těleso možno umístit tepelně izolační plášť z různých materiálů. Dalším doplňkovým modulem nahrazujícím plášť demonstrátoru je dvouplášťová nádoba určená k testování izolačních systémů založených na vakuové izolaci. Kontakt mezi hlavní nádobou a dvouplášťovým obalem je omezen na keramické kuličky o průměru 5 mm, které minimalizují vedení tepla. Dvouplášťový obal má maximální průměr 524,6 mm a výšku 554,4 mm. Zařízení je možné provozovat jak s tímto obalem, tak samostatně. Pro vytvoření požadovaného vakua je využito napojení na externí turbo-vývěvu.

Celé zařízení je umístěno na závěsném stojanu, který umožňuje optický přístup ze všech stran pro inspekci pláště termovizní kamerou. Termovizní záznam slouží jako okrajová podmínka pro simulační nástroj.



Obr. 1 Schéma zařízení (demonstrátoru) v osovému řezu



Obr. 2 3D model demonstrátoru

## Podoba komponent a sestavení demonstrátoru

S ohledem na provozní teploty a životnost zařízení jsou všechny hlavní díly demonstrátoru vyrobeny z nerezové oceli. Obr. 3 zobrazuje podobu hlavního válcového tělesa se 78 průchodkami. Uvnitř hlavního tělesa je umístěno vnitřní těleso doplněné přítlačným křížem pro vyvození požadovaného silového zatížení sypkého lože, viz Obr. 4.



Obr. 3 Hlavní válcové těleso s průchodkami      Obr. 4 Vnitřní těleso s přítlačným křížem

Konce válcových těles jsou uzavřeny dolním a horním pevnostním víkem vyztuženým radiálními žebry pro zamezení deformace víka v průběhu silového zatěžování. Do osy demonstrátoru je vložena topná patrona zasypaná testovaným sypkým materiálem. Pomocí průchodek v hlavním válcovém tělese a horním víku jsou zavedeny termočláňkové sondy do různých poloh objemu sypkého lože. Jednotlivé sondy umožňují liniové traverzování a identifikaci rozložení teplot v celém objemu sypkého lože.



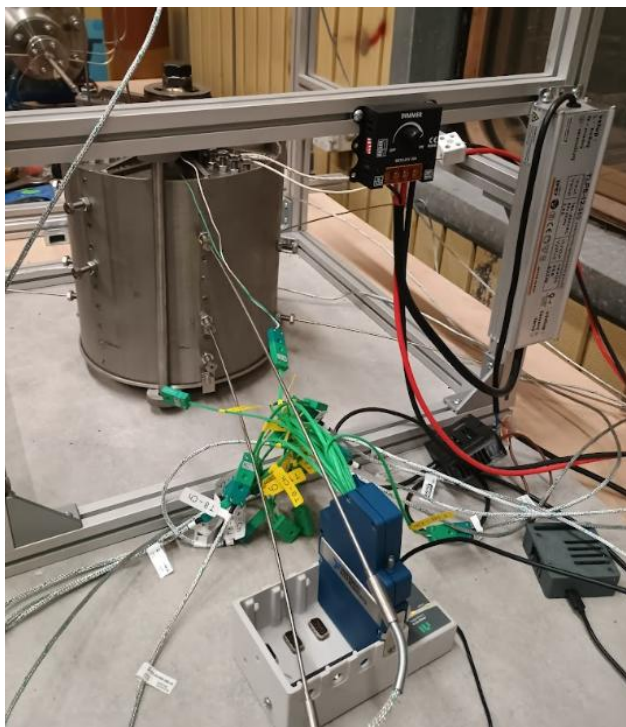
Obr. 5 Sestavení demonstrátoru bez tepelněizolačního pláště





Obr. 6 Fotodokumentace z montáže zařízení

Experimentální zařízení je doplněno systémem regulace tepelného výkonu topného tělesa a systémem měření teplot. Systém je dále doplněn ochranou proti překročení limitní teploty topného tělesa. Celé zařízení je umístěno v hliníkovém rámu a napojeno na zdroj el. energie. Měřicí prvky jsou napojeny na měřicí karty a měřicí počítač pro vyhodnocení a archivaci dat. Přesné měření teplot je zajištěno pomocí kalibračního zařízení, kde jsou zkalibrovány všechny termočlánky najednou.



a)



b)

Obr. 7 Demonstrátor napojený na zdroj el. energie a systém sběru dat

Zařízení je vybaveno systémem zpracování dat a monitoringu sledovaných parametrů. Pro jeho vytvoření bylo využito prostředí LabView, ve kterém jsou data sbírána, graficky prezentována na měřicím počítači a ukládána. Grafické prostředí umožňuje zpětné ovládání napájení topné patrony, což umožňuje realizaci dlouhodobých testů a testování dynamických nabíjecích stavů dle stanoveného scénáře.

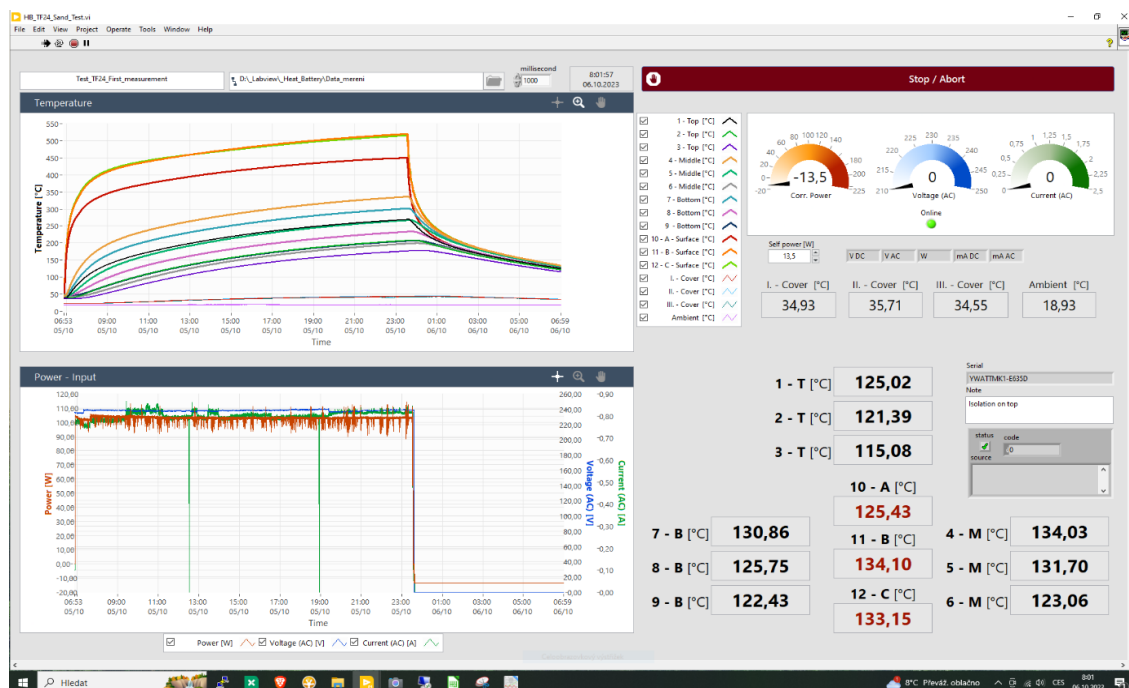


Obr. 8 Grafické prostředí monitoringu demonstrátoru



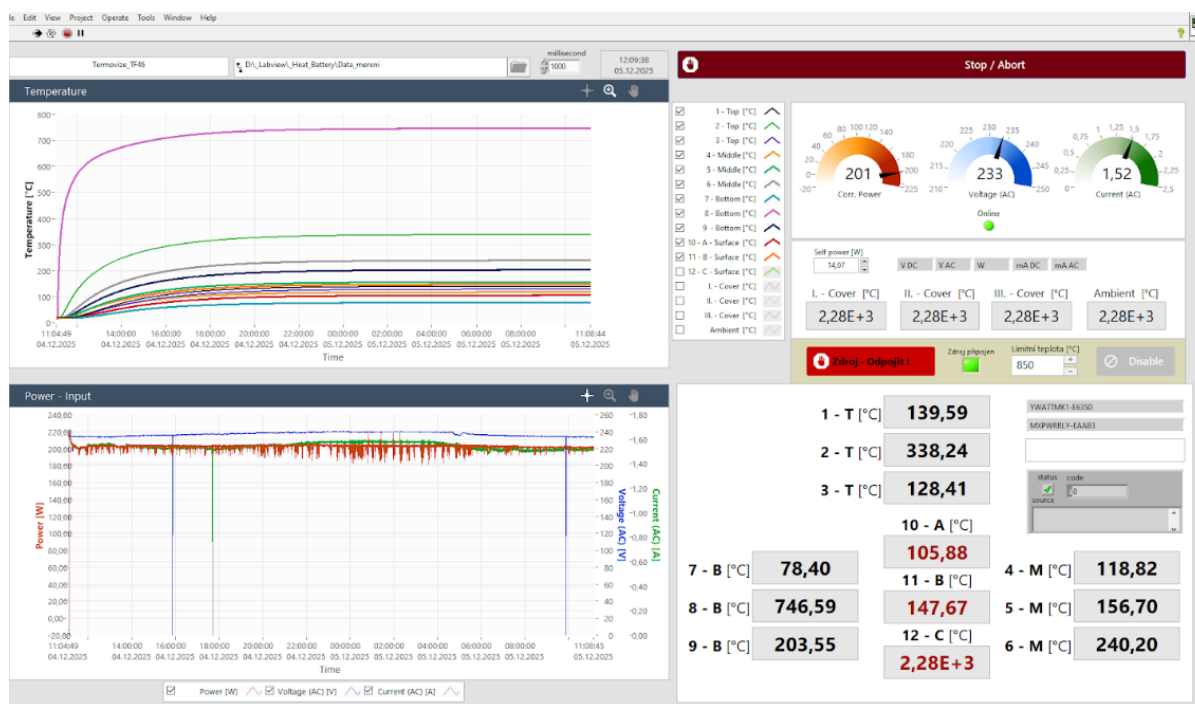
## Výsledky zkoušek, použití

Funkce experimentálního zařízení byla ověřena sérií měření. Níže je prezentován záznam naměřeného časového průběhu teplot uvnitř hlavního válce, povrchu topného tělesa, povrchu samotného válce a okolní teploty společně s příkonem do topného tělesa v průběhu nabití, držení na nabitém stavu a samovolné vybití.



Obr. 9 Průběh nabití, držení na nabitém stavu a samovolné vybití

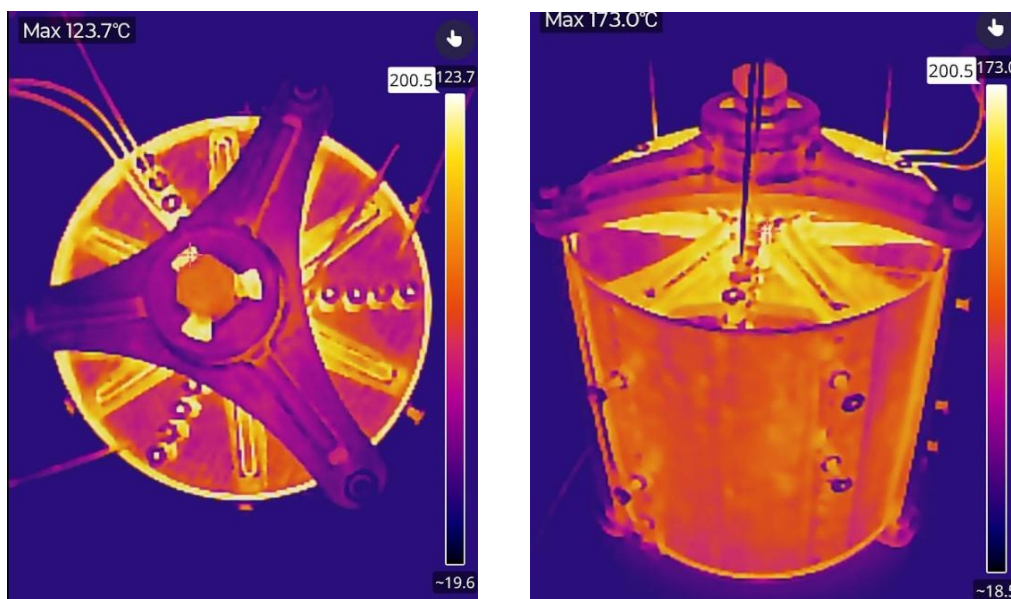
Druhá ukázka ukazuje výsledky dynamiky náhřevu s následnou výdrží. Prezentuje teplotní zatížení patrony a prostoru sytkého lože, viz obr. 10



Obr. 10 Ukázka dynamiky náhřevu s monitoringem teploty topné patrony a prostoru sytkého lože



Vnější plášť zařízení je monitorován pomocí termovizní kamery. Plošná informace o rozložení teplot je využívána pro stanovení tepelných ztrát zařízení skrz plášť a napojené prvky.



Obr. 11 Ukázka tepelného zatížení demonstrátoru

Pilotní měření prokázala funkčnost experimentálního zařízení a jeho způsobilost pro plánované výzkumné aktivity v rámci kterých bude sledována trojrozměrná distribuce teploty ve stabilních stavech a časové konstanty dynamických přechodů při změnách výkonu topného tělesa. V rámci využití zařízení budou probíhat detailní měření stacionárních stavů na různých výkonech a budou identifikovány liniové profily teploty (radiální i axiální) v různých polohách sypkého lože. Data budou použita pro optimalizaci matematického modelu vyvíjeného v rámci financujícího projektu.

### **Způsob realizace**

Byl navržen a vyroben funkční vzorek, provedena pilotní ověření funkce, realizována úvodní série měření. Funkční vzorek bude použit pro plánované experimentální práce za účelem optimalizace (nastavení modelu).

### **Vazba na projekt**

TN02000025 Národní centrum pro energetiku II. – Dílčí projekt TN02000025/001 Inovativní řešení pro udržitelnou energetiku.

### **Umístění**

Adresa: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Technická 2896/2, 616 69 Brno, místnost C3/0213

### **Licenční podmínky**

Využití výsledku jiným subjektem je možné po uzavření licenční smlouvy.

### **Kontaktní osoba**

prof. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D., +420 541 142 581, [pospasil.j@fme.vutbr.cz](mailto:pospasil.j@fme.vutbr.cz)