

Velkokapacitní akumulace vysokopotenciálního tepla - aktivity a pilotní jednotky + technologie sCO₂

SUSCHEM Workshop: Moderní energetika v chemickém průmyslu

Otakar Frýbort, Tomáš Melichar

Centrum výzkumu Řež

Centrum výzkumu Řež

Zaměření na výzkum, vývoj a inovace o oboru energetiky, zejména jaderné.

Oddělení pokročilých energetických technologií

- Akumulace vysokopotenciální tepelné energie, inovativní konverzní oběhy se superkritickým CO₂
- Pokročilé jaderné systémy - GEN IV & fúze
- Inženýrská podpora ozařovacích aktivit v LVR-15 a LR-0
- Realizace a provoz experimentálních zařízení a pilotních jednotek



Reaktor LVR-15



S-Allegro



sCO₂ smyčka

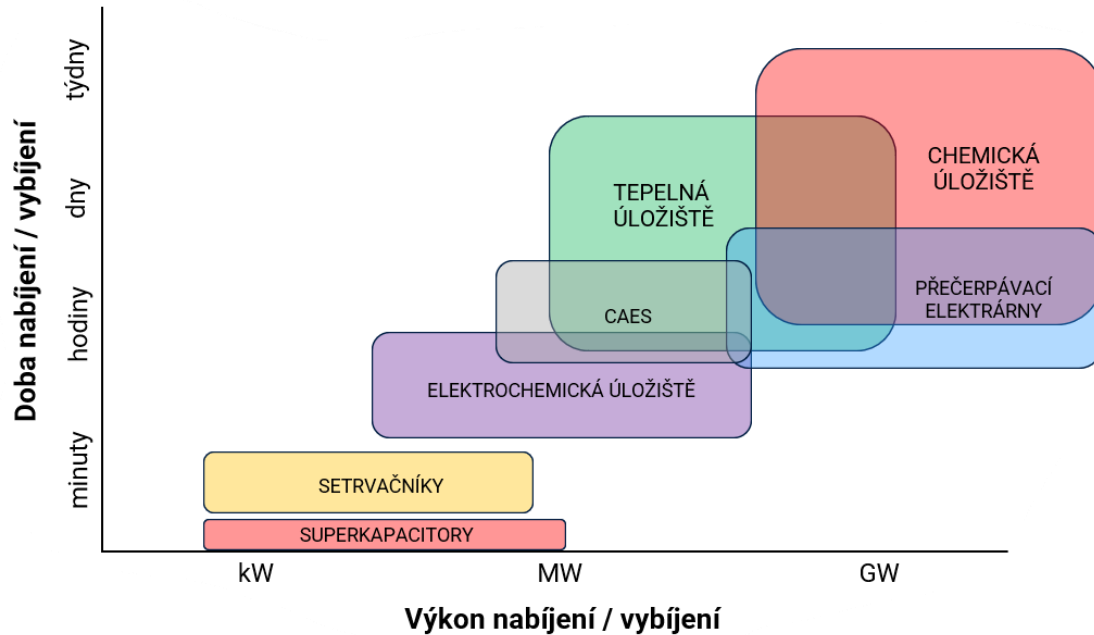
Obsah

- Velkokapacitní akumulace energie – cíle, principy
- Akumulace tepelné energie (Thermal Energy Storage, TES)
- Aktivity CVŘ v oblasti TES
- Technologie konverzních oběhů se superkritickým CO₂

Velkokapacitní akumulace

- Kapacita a výkon - Desítky / stovky MW a MWh
- Stabilizace přenosové soustavy
- Zvýšení využitelnosti a umožnění růstu časově nestabilních (obnovitelných) zdrojů energie
- Dekarbonizace energetiky a průmyslu
- Zvýšení energetické bezpečnosti (závislost na dodávkách primárních zdrojů, součástí,...)
- Zvýšení flexibility zdrojů, možnost retrofitu fosilních bloků
- Podpůrné služby, obchodování na denním trhu s elektřinou, kompenzace odchylek, úspora fosilních paliv a emisních povolenek

Porovnání akumulačních technologií



Grid-scale úložiště - celosvětově

Instalovaný výkon	cca 250 GW
Kapacita	cca 8500 GWh
Z toho	
Přečerpávací elektrárny	cca 80 %
Elektrochemická úložiště	cca 15 %
TES	cca 3 %
Ostatní	..

... porovnání není možné v plném kontextu

- **Důvodem jsou rozličné technicko-ekonomické parametry**
 - Typ vstupní/výstupní energie, výkony, kapacita, provozní podmínky a požadavky, CAPEX, OPEX, geologické možnosti, dostupnost technologie a materiálů,...

→ **Potřeba diverzity**

Velkokapacitní akumulace – principy

Přečerpávací elektrárny

- Účinné, spolehlivé, robustní
- Geologické a enviromentální limity



Dlouhé stráně, Czech Republic

Elektrochemické baterie

- Rozvinutá a dostupná technologie
- Regulace přenosové soustavy



Moss Landing battery storage

<https://www.teslarati.com/tesla-moss-landing-megapack-battery-latest-updates-incidents/>

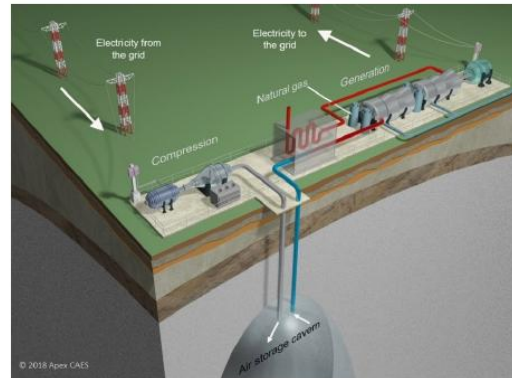
Velkokapacitní akumulace – principy

LAES (Zkapalňování vzduchu)



<https://www.shi.co.jp/english/products/energy/cryobattery/index.html>

CAES (Komprese vzduchu/plynu)



<http://www.apexcaes.com/caes>



<https://energydome.com/co2-battery/>

Setrvačníky



Amber Kinetics flywheel unit module and multi-module plant rendering

Gravitační úložiště



<https://www.energyvault.com/>



ARES pilot-scale project near Tehachapi, California
<https://newatlas.com/ares-rail-energy-storage/28395/>

Velkokapacitní akumulace – principy

Akumulace tepelné energie

Nízkopotenciální tepelná akumulace

Teplárna Brno – Červený mlýn



Vysokopotenciální tepelná akumulace

Andasol Solar Plant

<http://large.stanford.edu/publications/power/references/docs/Andasol1-3engl.pdf>

Chemický princip (H₂)

- Produkce vodíku z přebytkové energie
- Transport / Skladování
- Využití v různých oblastech a aplikacích

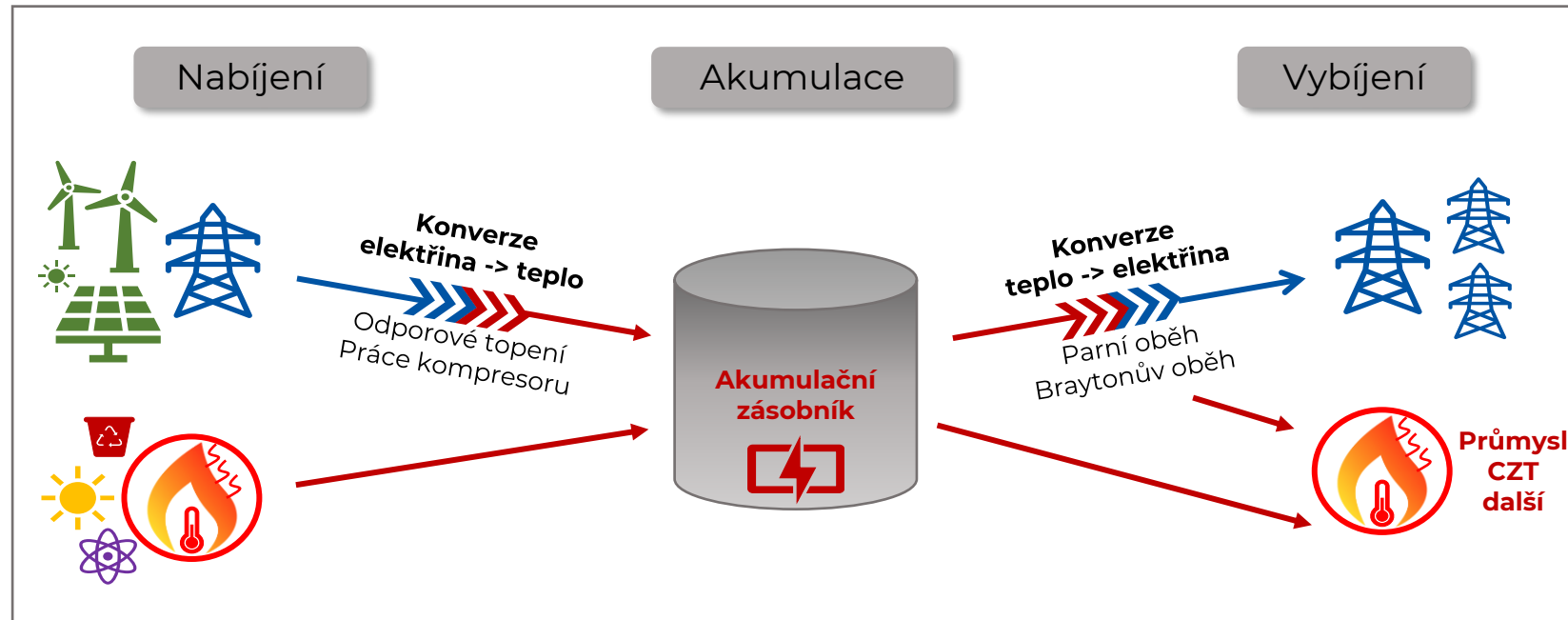


<https://www.hydrogeninsight.com/electrolysers/hydrogen-electrolyser-maker-itm-power-is-the-most-shorted-stock-in-london-says-market-data-firm/2-1-1414279>

Thermal energy storage (TES) - definice

= Ukládání energie ve formě tepla

- Nízkoteplotní TES– např. akumulční nádrž na vodu (vytápění)
- **Vysokoteplotní TES (> 400 °C) –CSP jednotky, průmyslová pára, potenciál pro KVET**



Výhody TES

Dostupná technologie (vysoké TRL)

Nízké investiční náklady

Dlouhá životnost

Škálovatelné do vysokých kapacit a výkonů

Volitelné provozní parametry (teploty)

Jednoduché a kompaktní řešení

Nezávislé na geologických podmínkách

Bezpečné a dostupné materiály

Široká aplikovatelnost



Parametry v závislosti na režimu

Režimy provozu:

- **Heat-to-Heat**
- **Heat-to-Heat-to-Power**
- **Power-to-Heat**
- **Power-to-Heat-to-Power**

Kapacita	až GWh
Výkon nabíjení/vybíjení	až stovky MW
Vhodná doba akumulace	hodiny – týdny
Samovybíjení	< 1%/den
Životnost	10 000 cyklů / 30 let
Degradace kapacity	zanedbatelná
Parametry závislé na režimu a konfiguraci	
Účinnost H2H	98 %
Účinnost P2H	95 %
Účinnost P2H2P	40 % (dle konverzního cyklu)
Doba najetí P2H	< 5 minut
Doba najetí H2H, P2H2P	Desítky minut

TES - Koncepty

Kapalné skupenství



Andasol 1-3
Španělsko
2009
3x 50 MWe
1,1 GWhe
Termální olej,
Solární sůl
Až 400 °C



NOOR I,II,III
Maroko
2016
510 MWe
2,9 GWhe
Solární sůl
Až 560 °C

Pevné skupenství



Airlight Energy TES prototype
Švýcarsko 2012; 6,5 MWhth; kamenivo; až 650 °C

Pevné + kapalné (thermocline)



DLR TESIS
Německo
3,8 MWhth
Solární sůl + čedič
Až 560 °C

Změna fáze



Azelio
TES.POD
Maroko
2020
Hliník
Až 600 °C



1414 degrees
Austrálie
2018
10 MWhth
SiBrick™
Až 1414 °C

Zdroje obrázků:

Andasol: <http://large.stanford.edu/publications/power/references/docs/Andasol1-3engl.pdf>

NOOR: <https://www.solarpaces.org/worldwide-csp/csp-potential-solar-thermal-energy-by-country/morocco/>

Airlight Energy: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.116>;

Energynest: [Steam grid balancing integration unlocks flexibility: chemical plant \(energy-nest.com\)](http://www.energy-nest.com)

Thermocline DLR: <https://www.dlr.de/en/research-and-transfer/research-infrastructure/test-facility-for-thermal-energy-storage-in-molten-salt-tesis-com>; <https://doi.org/10.1063/1.4984440>

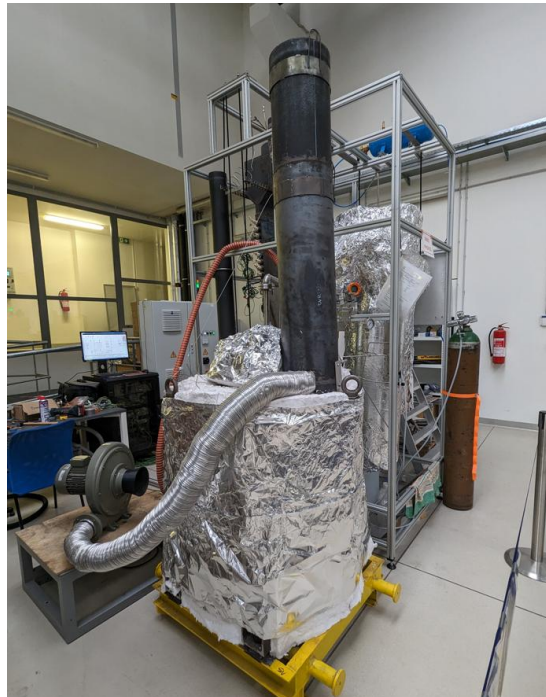
Azelio: [Novel long-duration energy storage system installed at world's largest CSP plant | Recharge](http://www.azelio.com)

1414 degrees: [Our History | 1414degrees.com.au](http://www.1414degrees.com.au)

Aktivity CVŘ v oblasti akumulace

Akumulace do skupenského tepla

- Vývoj, realizace a provoz jednotky o 20 kWh / 5 kW
- Akumulace do slitiny Al-Si
- Akumulační teplota 577 °C



Akumulace do pevných materiálů

- Studie a testování konceptu s kamenivem
- Termomechanické a termodynamické testy



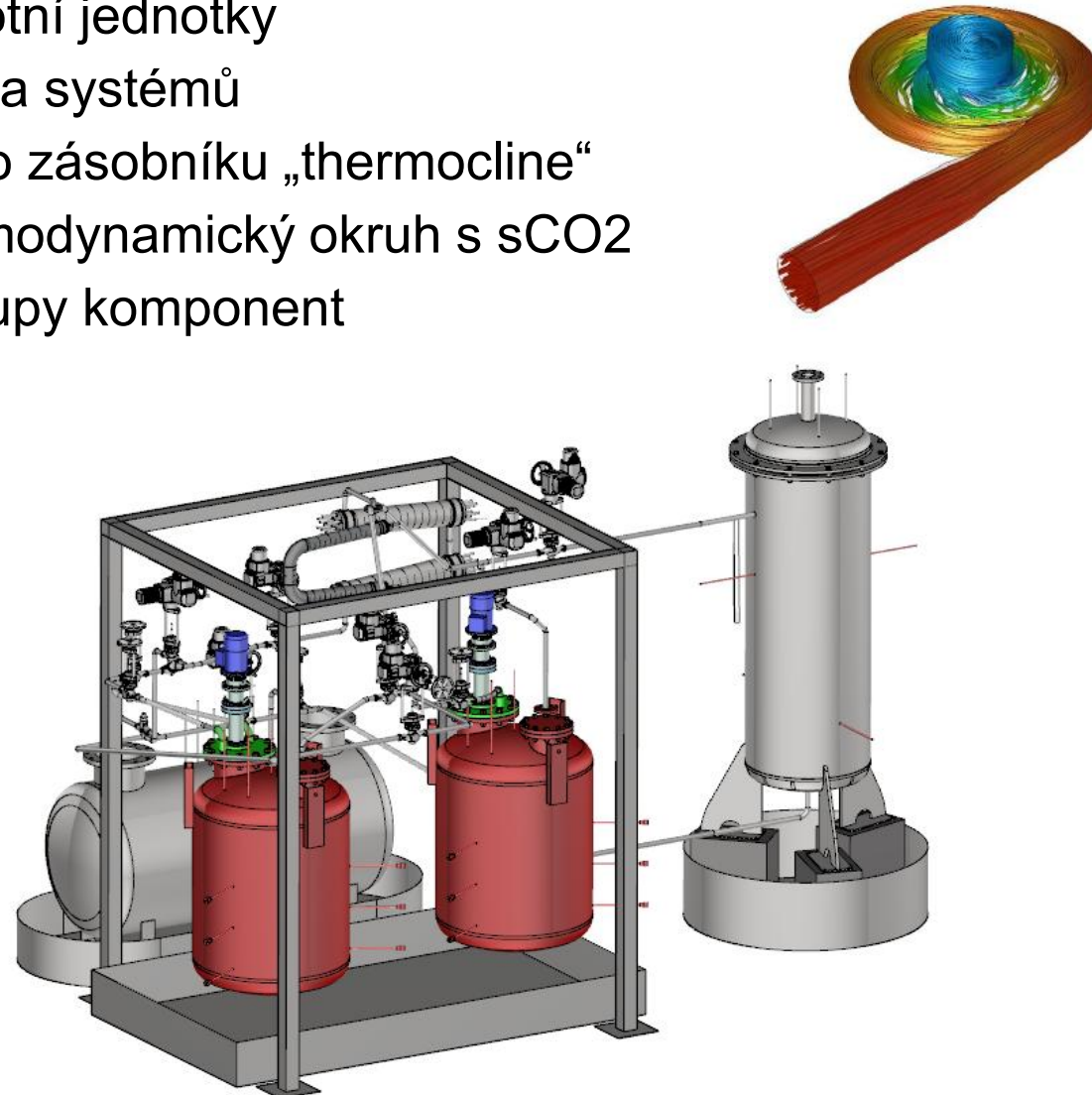
Akumulace do sypkých materiálů

- Využití keramických částic
- Testování až do 900 °C



Lab-TES akumulční jednotka

- Akumulační jednotka v malém měřítku (200 kWh, 30 kW)
- Podpora realizace pilotní jednotky
- Testování komponent a systémů
- Realizace inovativního zásobníku „thermocline“
- Vybíjecí systém – termodynamický okruh s sCO₂
- Probíhá výroba a nákupy komponent
- Zprovoznění 2025



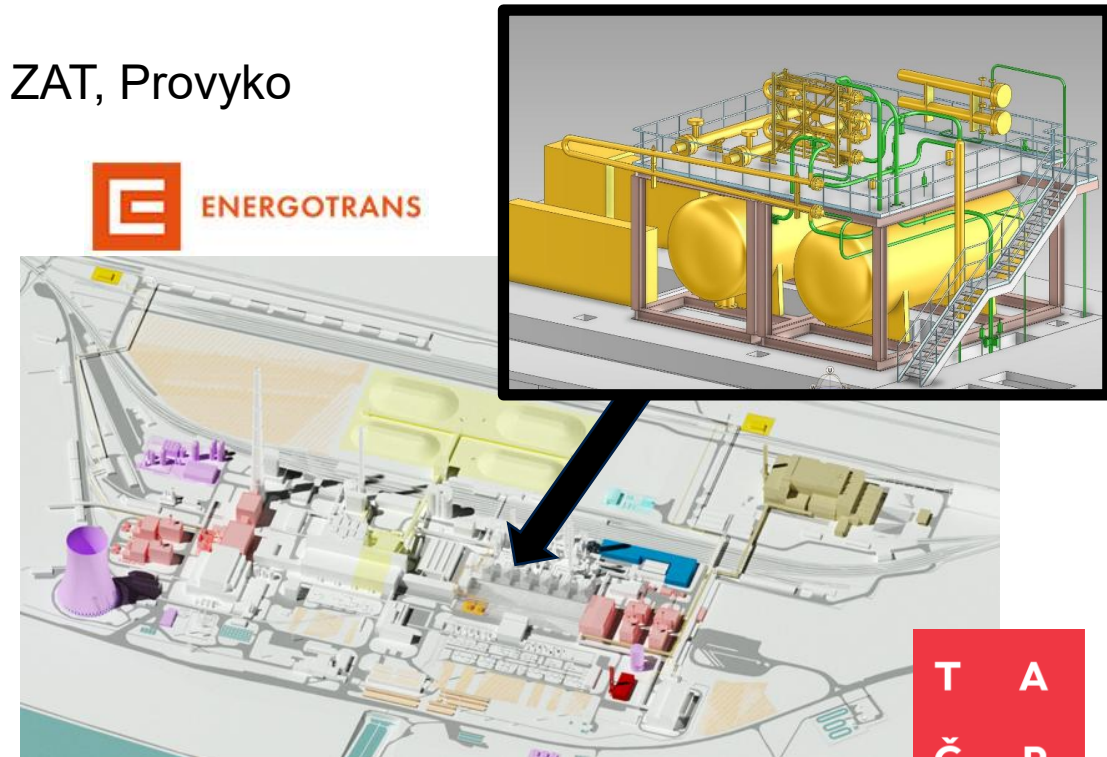
Pilotní jednotka – projekt NCE II

- Projekt TAČR NCK - NCE II
 - Dílčí projekt „Akumulace“
 - Partneři projektu: CVŘ, ÚJV, Energotrans, ČEZ, ZČU, ZAT, Provyko
 - Zahájení v roce 2023

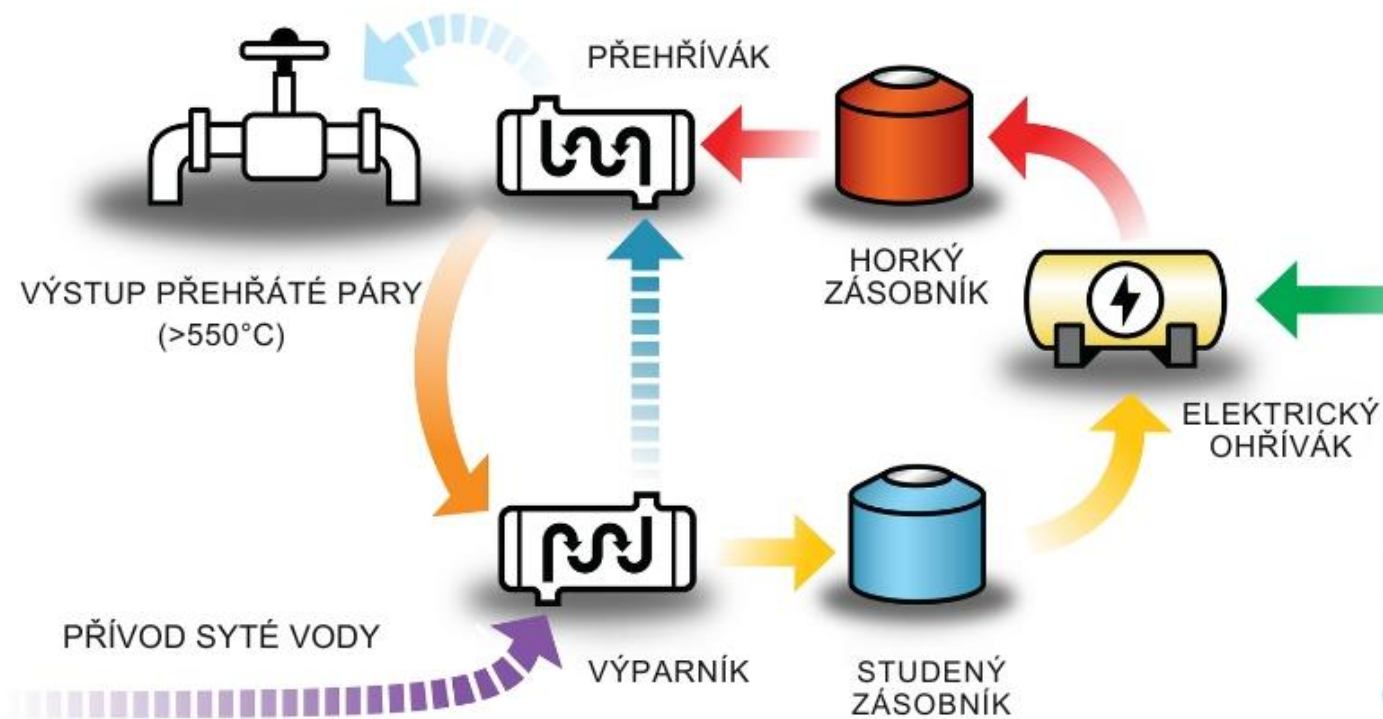


REALIZACE PILOTNÍ AKUMULAČNÍ JEDNOTKY

- Unikátní výzkumný projekt
- Zaměření na realizaci velké demonstrační jednotky
- Realizace v areálu Elektrárny Mělník
- Ukládání přebytkové elektrické energie
- Využití roztavených solí jako akumulčního média
- **Kapacita cca 10 MWh, výkon 4 MW**
- Cílem je ověření technologie a komponent při reálných podmínkách s možností energetického využití

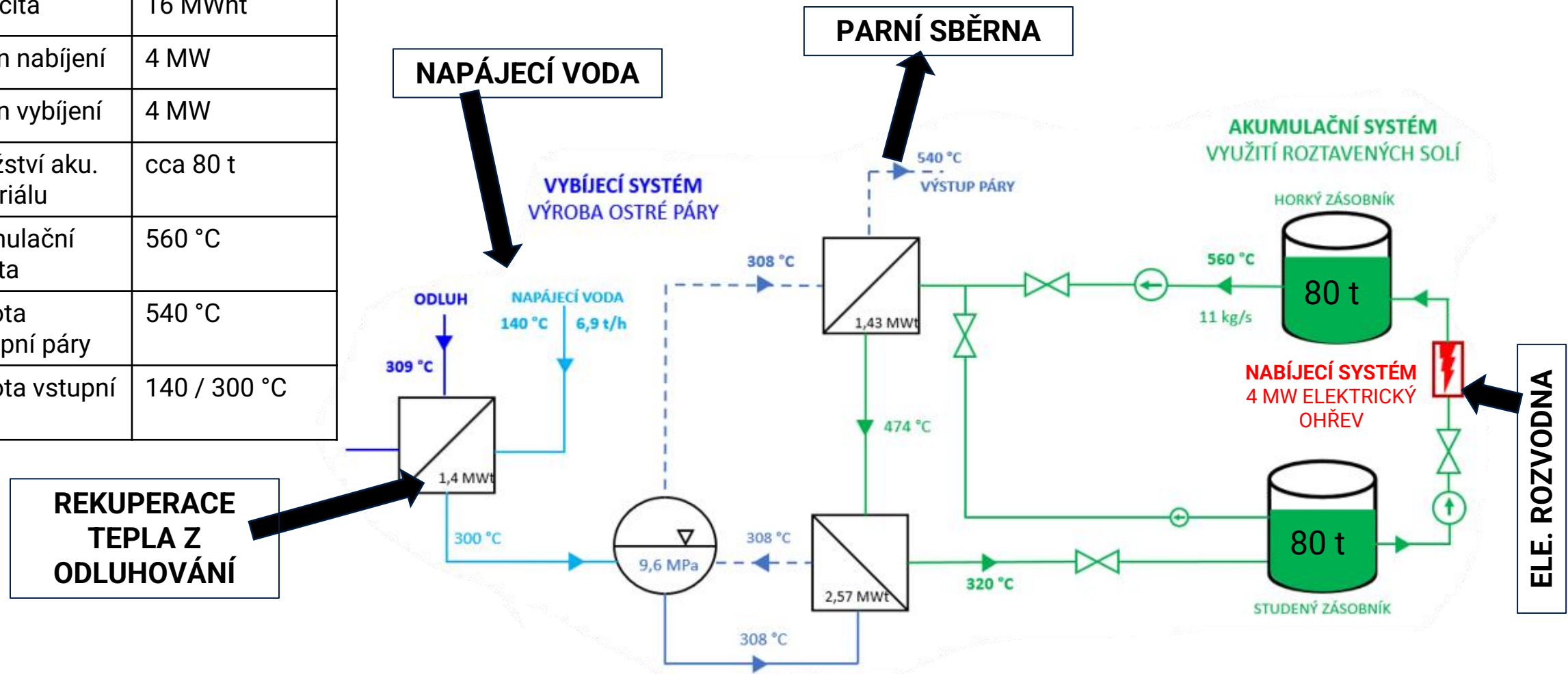


Pilotní jednotka - princip



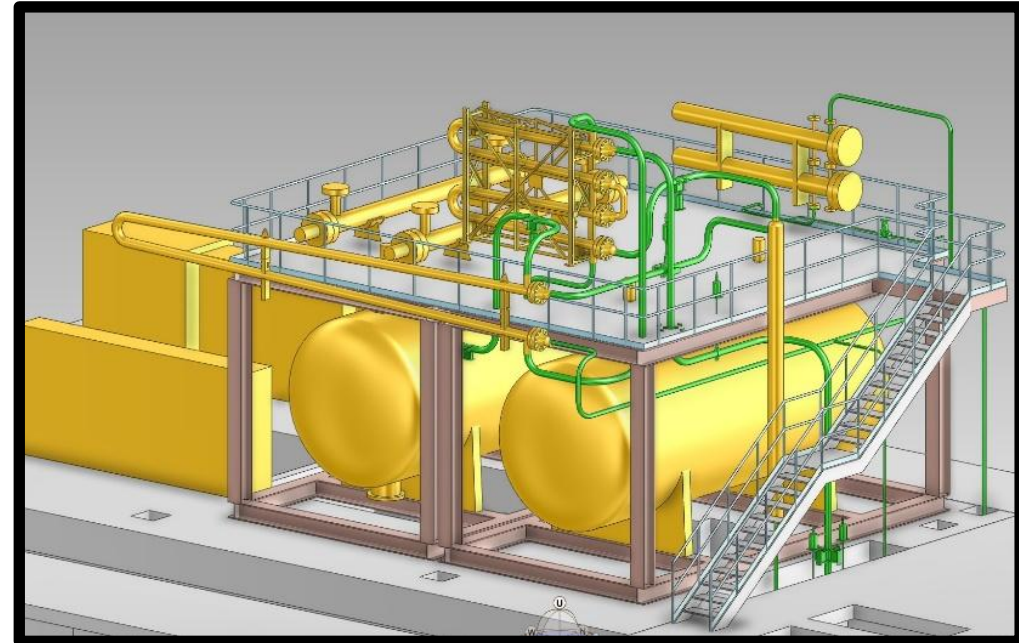
Princip – schéma a parametry

Kapacita	16 MWht
Výkon nabíjení	4 MW
Výkon vybíjení	4 MW
Množství aku. materiálu	cca 80 t
Akumulační teplota	560 °C
Teplota výstupní páry	540 °C
Teplota vstupní vody	140 / 300 °C



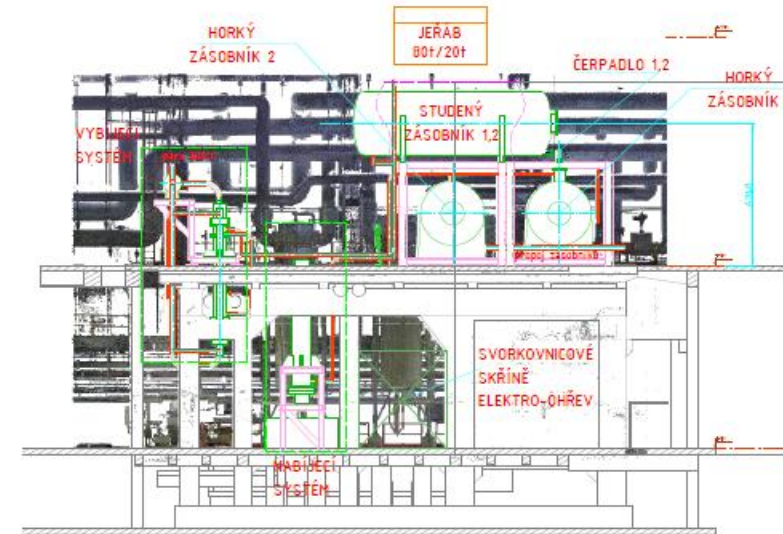
Technické detaily

- Akumulační médium
 - „Solární sůl“ – směs NaNO_3 a KNO_3
 - Provozní teploty 270 °C – 600 °C,
 - Netoxický, nehořlavý, recyklovatelný
 - Materiálově kompatibilní, dostupný materiál
 - Beztlaký provoz
- Akumulační část
 - 1× „horká“ (560 °C) + 1× „studená“ (320 °C) nádoba
 - Průměr 2,9 m, délka 7 m
- Nabíjecí část
 - Elektrický odporový ohřev, s možností regulace výkonu 1 – 4 MW
- Vybíjecí část
 - Průtočný parní generátor ohříváný horkou solí, napojení na parní sběrnou
- Materiály
 - Použití dostupných konstrukčních materiálů (SS316)



Stav realizace a harmonogram

- Aktuálně ve fázi dokončování a optimalizace finálního návrhu
- Zahájen nákup materiálu a výroba komponent
 - Vybíjecí systém – design Provyko, výroba CVŘ
 - Nabíjecí systém – design a výroba CVŘ
 - Akumulační nádoby – externí dodavatel (ČR)
 - Solná čerpadla – externí dodavatel (mimo ČR)
 - Instrumentace, podpůrná zařízení – externí dodavatelé



	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Etapa 1 (DP NPO) Lab-scale ověření						
Etapa 2 (DP NPO) Basic design						
Etapa 3 (DP NCE II) Detail design						
Etapa 4 (DP NCE II) Realizace a zprovoznění						

Cíle pilotní jednotky

- Ověření technologie a komponent v prostředí lokální energetiky a průmyslu
 - Získání provozních charakteristik, OPEX, CAPEX
- Získání reference pro realizaci průmyslových jednotek
- Vybudování konsorcia tvořeného lokálními dodavateli se schopností realizovat velké jednotky při konkurenceschopných nákladech

- Potenciál provozu v chemickém průmyslu s odběrem vysokopotenciálního tepla
 - Provozy s potřebou tepla o teplotě nad 250 °C
 - Možnost nabíjení zásobníku z OZE, levnou elektřinou nebo odpadním teplem

Shrnutí

- Technologie s potenciálem zvýšení využitelnosti OZE, stabilizace přenosové soustavy, příspěvní k dekarbonizaci energetiky
- Kompatibilita s dalšími akumulačními principy - zajištění diverzity v energetickém (akumulačním) mixu
- Možnost zachování / prodloužení životnosti stávajících / nově budovaných bloků (paroplyny)
 - Konverzní oběhy, napojení na CZT, napojení na elektrizační soustavu
- Zachování rotující hmoty pro udržení stability elektrizační soustavy
- Možnost přizpůsobení systému širokému spektru aplikací
 - Teplárenství, chemický průmysl, podpůrné služby, kompenzace odchylek

Poděkování



Projekt by nebylo možné realizovat bez podpory Technologické agentury ČR (Program Národní centra kompetence) a průmyslových partnerů

**Otakar Frýbort
Tomáš Melichar**

**Centrum výzkumu Řež
otakar.frybort@cvrez.cz
tomas.melichar@cvrez.cz**