

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

Workshop „Vývoj plastikářského průmyslu ČR a možnosti řešení akumulace energie v chemickém průmyslu“

Tomáš Melichar

Centrum výzkumu Řež

06.05.2025

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

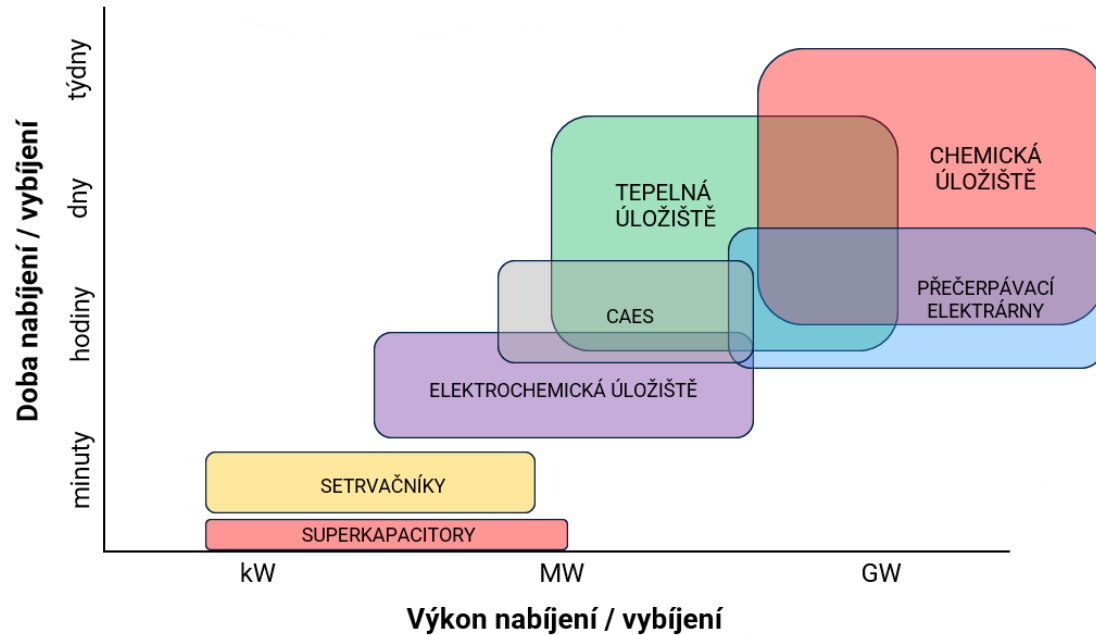
Obsah

- Velkokapacitní akumulace energie – cíle, principy
- Akumulace tepelné energie (Thermal Energy Storage, TES)
- Aktivita 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 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/>

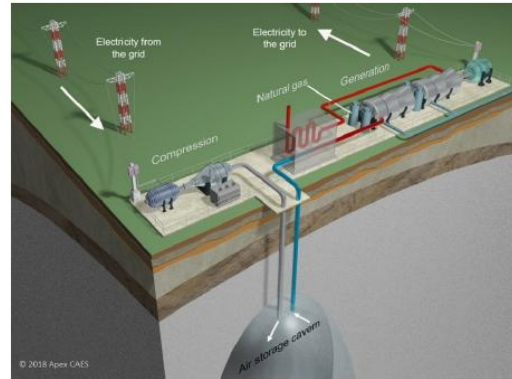
Velkokapacitní akumulace – principy

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

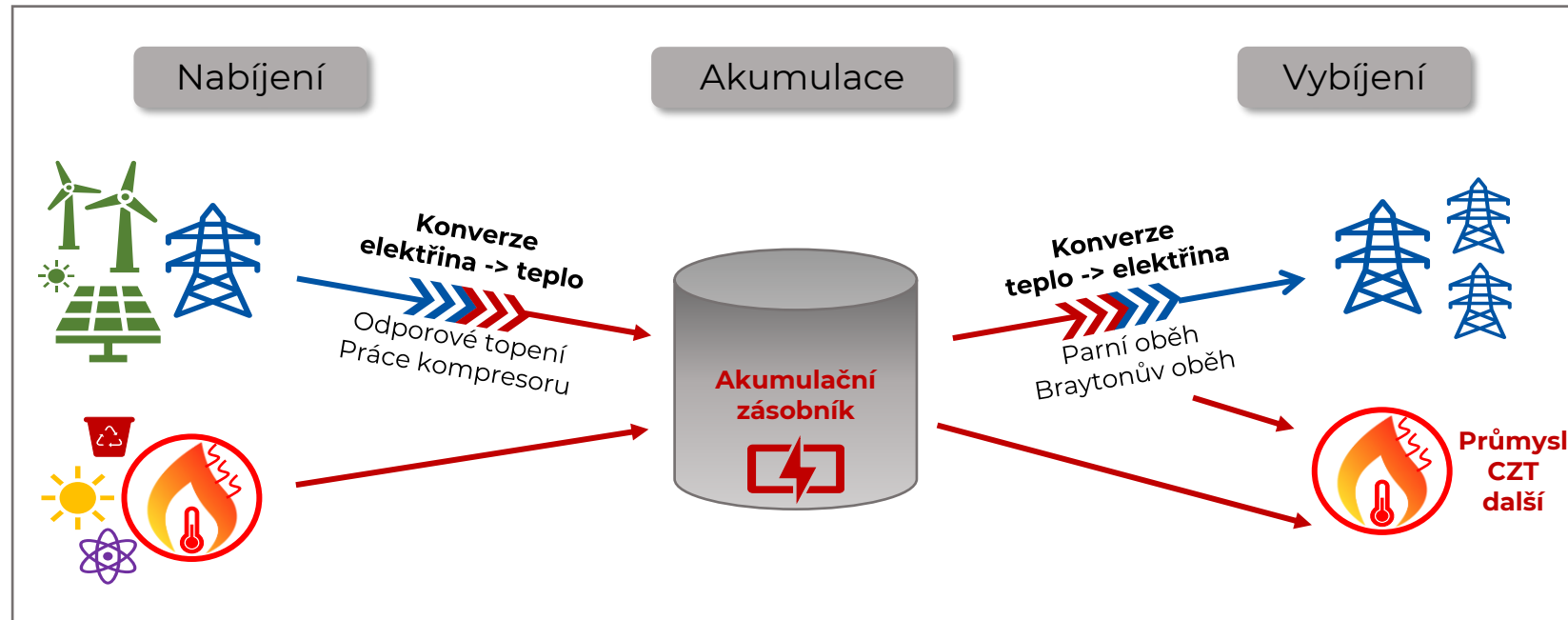


<https://www.hydrogeninsight.com/electrolysers/hydrogen-electrolyser-maker-itm-power-is-the-most-shortest-stock-in-london-says-market-data-firm/2-1-1414279>

Thermal energy storage (TES) - definice

= Ukládání energie ve formě tepla

- Nízkoteplotní TES– např. akumulární 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 TES

Parametr	Hodnota
Kapacita	až GWh
Výkon nabíjení/vybíjení	až stovky MW
Vhodná doba akumulace	hodiny – dny
Samovybíjení	< 1%/den
Životnost	10 000 cyklů / 30 let
Degradace kapacity	zanedbatelná
Účinnost	Dle zvoleného konceptu, viz dále
Doba najetí	



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

Pilotní jednotka – projekt NCE II

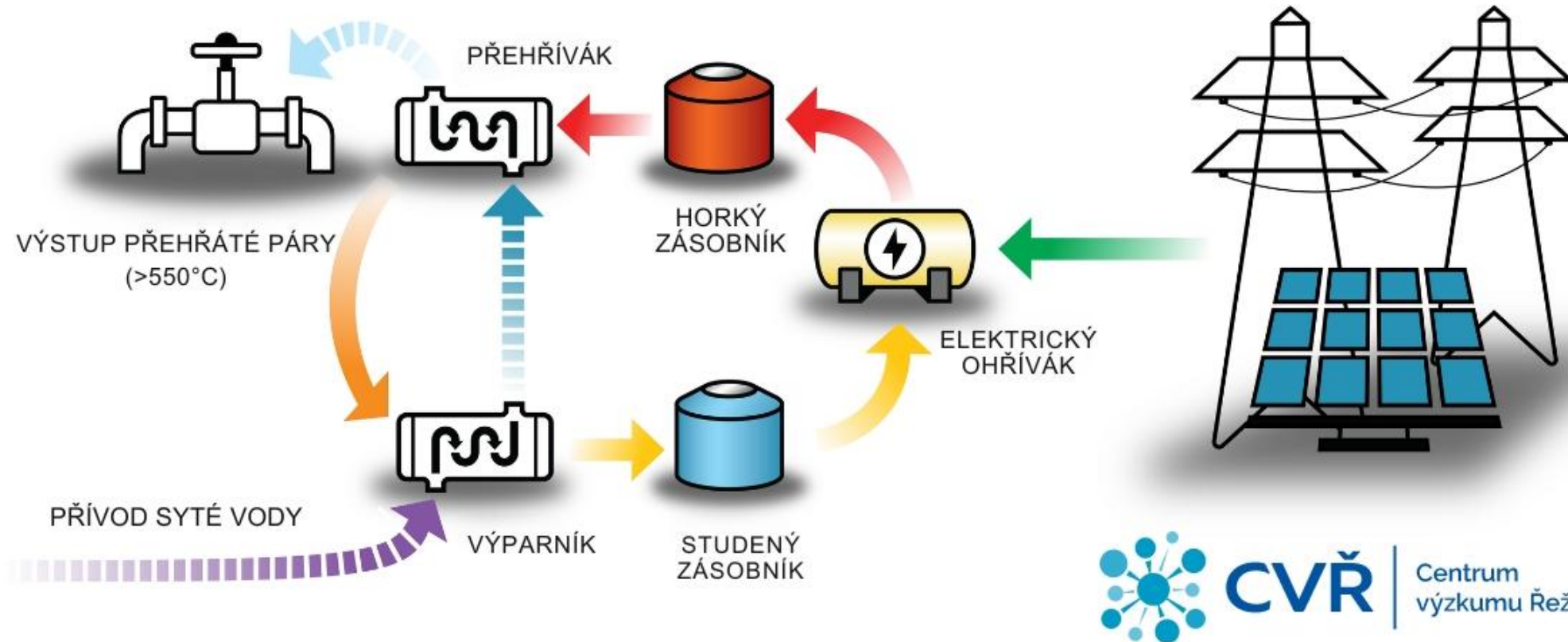
- Projekt TAČR NCK - NCE II
 - Dílčí projekt „Akumulace“
 - Partneři projektu: CVŘ, ÚJV, Energotrans, ČEZ, ZČU, ZAT, Provyko*
 - Zahájení v roce 2023

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 akumulárního média
- **Kapacita cca 16 MWh, výkon 4 MW**
- Cílem je ověření technologie a komponent při reálných podmínkách s možností energetického využití

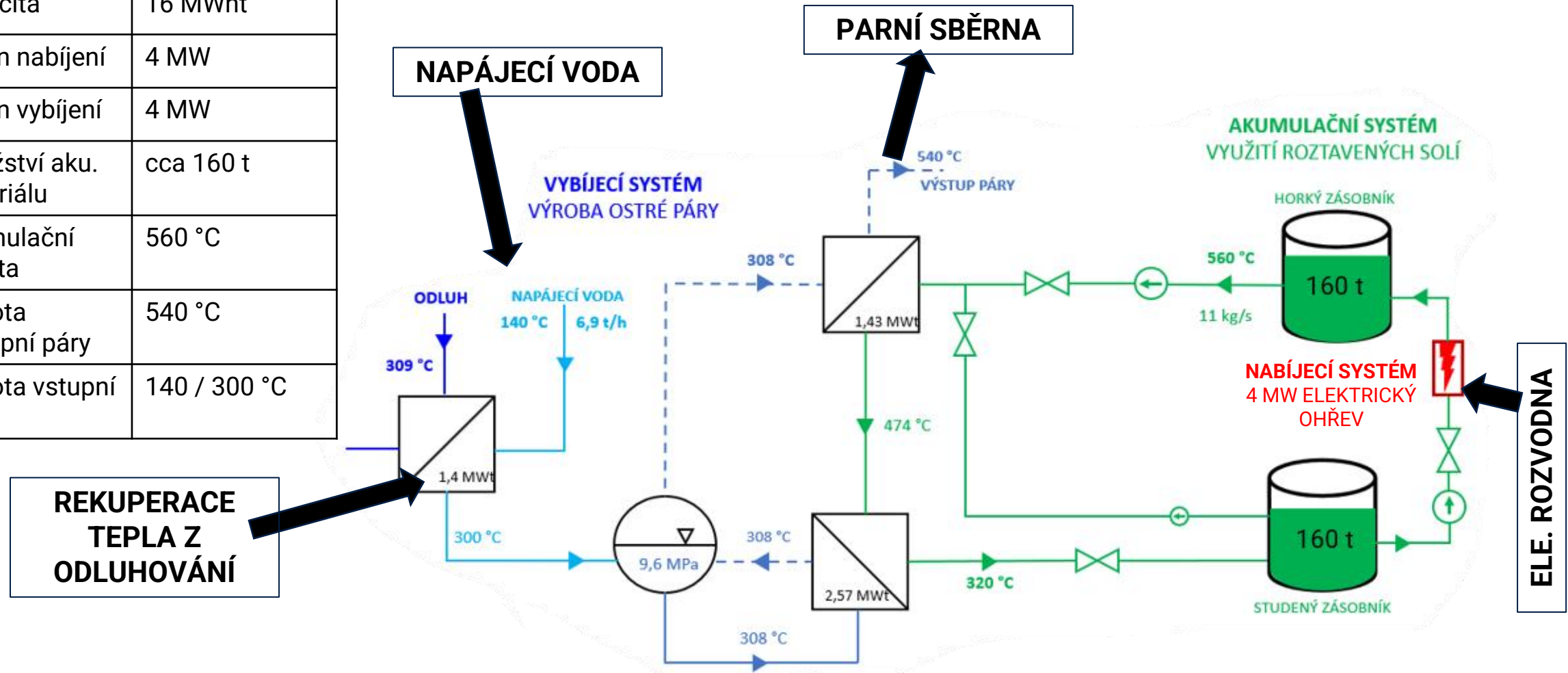


Pilotní jednotka - princip



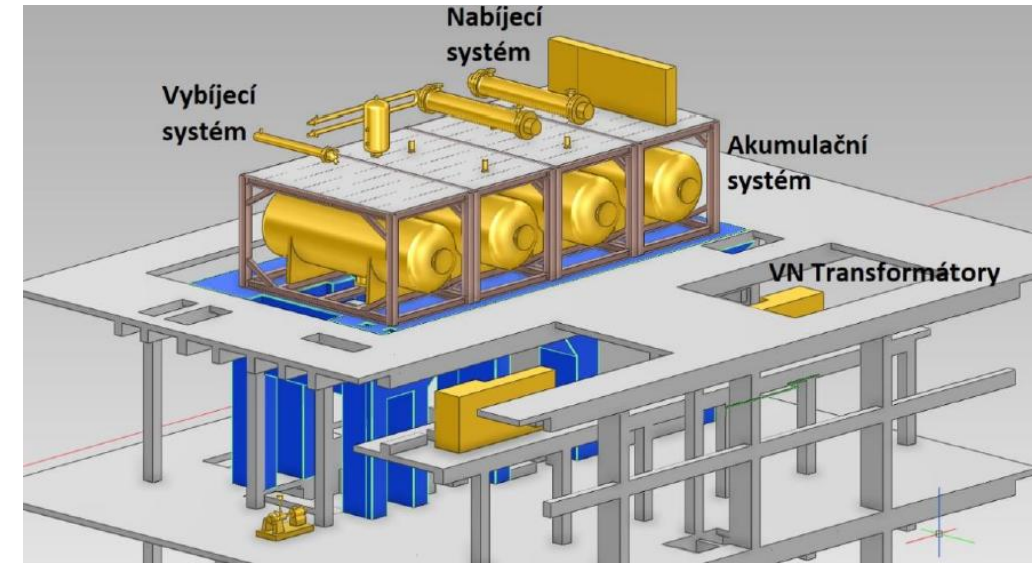
Princip – schéma a parametry

Kapacita	16 MWht
Výkon nabíjení	4 MW
Výkon vybíjení	4 MW
Množství aku. materiálu	cca 160 t
Akumulační teplota	560 °C
Teplota výstupní páry	540 °C
Teplota vstupní vody	140 / 300 °C



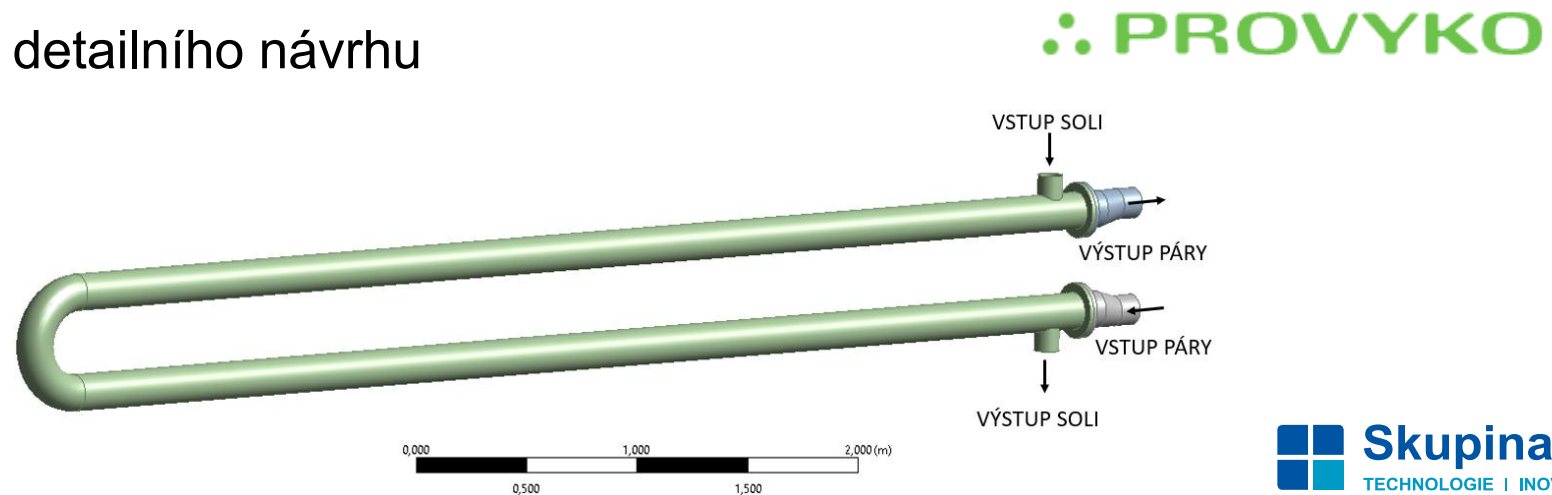
Technické detaily

- 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
 - 2× „horká“ (560 °C) + 2× „studená“ (320 °C) nádoba
 - Využití gravitace pro přepouštění ve směru studená → horká
- Nabíjecí část
 - Elektrický odporový ohřev, z možností regulace výkonu 1 – 4 MW
- Vybíjecí část
 - Parní generátor ohříváný horkou solí, napojení na parní sběrnou
- Materiály
 - Použití dostupných konstrukčních materiálů



Technické detaily – vybíjecí systém

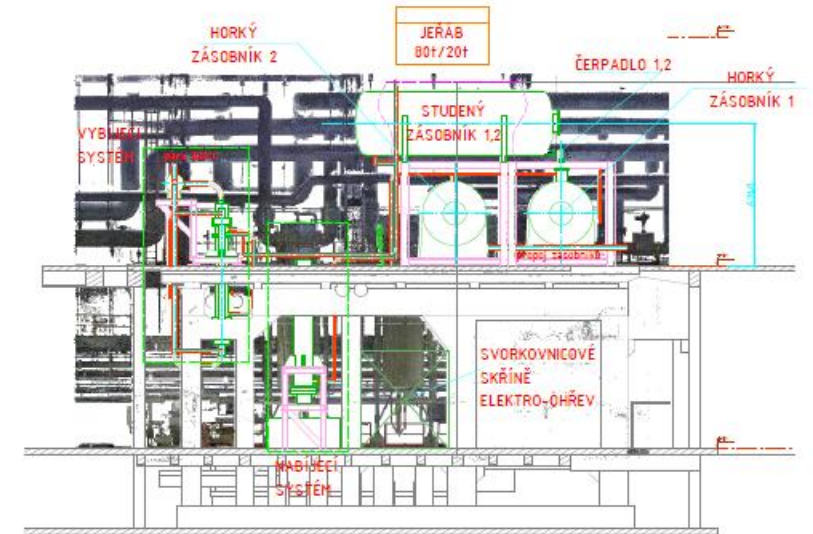
- Součásti vybíjecího systému
 - Předehřev napájecí vody odluhem
 - Výparník
 - Přehřívák
 - Napojení na parní sběrnou
- Parní generátor (2,77 MW) rozpracován ve dvou variantách
 - Varianta s parním bubnem
 - Průtlačný výparník ohříváný roztavenou solí
- Spolupráce s Provyko
 - Aktuálně ve fázi detailního návrhu



Stav realizace a harmonogram

- Dokončen koncepční návrh
 - Koncepce technologie, dispozice, volba a dimenzování komponent, elektro + SKŘ
 - Napojení na stávající infrastrukturu
 - Definování provozních režimů
 - Návrh stavebních úprav
 - Intenzivní komunikace s dodavateli
 - Tepelné výměníky, čerpadla, armatury, topné elementy...
 - Příprava DSŘ, basic/detail design součástí

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



Varianty – teplo, teploty, pára, ...

- Akumulační systém TES lze navrhnout v širokém rozmezí provozních parametrů

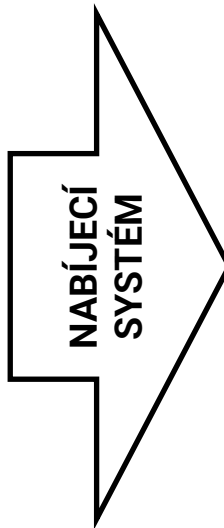
VSTUPNÍ ENERGIE

ELEKTŘINA Z OZE

PŘEBYTKOVÁ
ELEKTRICKÁ ENERGIE
ZE SÍTĚ

ELEKTŘINA NEBO
TEPLO Z **FOSILNÍCH**
TEPLÁREN – V DOBĚ
SNÍŽENÉHO ODBĚRU

ODPADNÍ TEPLLO Z
PRŮMYSLVÝCH
PROCESŮ



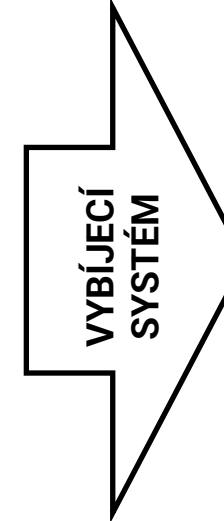
TECHNOLOGICKÁ ČÁST

SYSTÉM AKUMULACE TEPELNÉ ENERGIE

TEPLOTA AKUMULACE:
150 – 600 °C
DLE POTŘEBY DANÉ APLIKACE

KAPACITA
JEDNOTKY AŽ STOVKY MWh

DOBA AKUMULACE
HODINY AŽ DNY



VÝSTUPNÍ ENERGIE

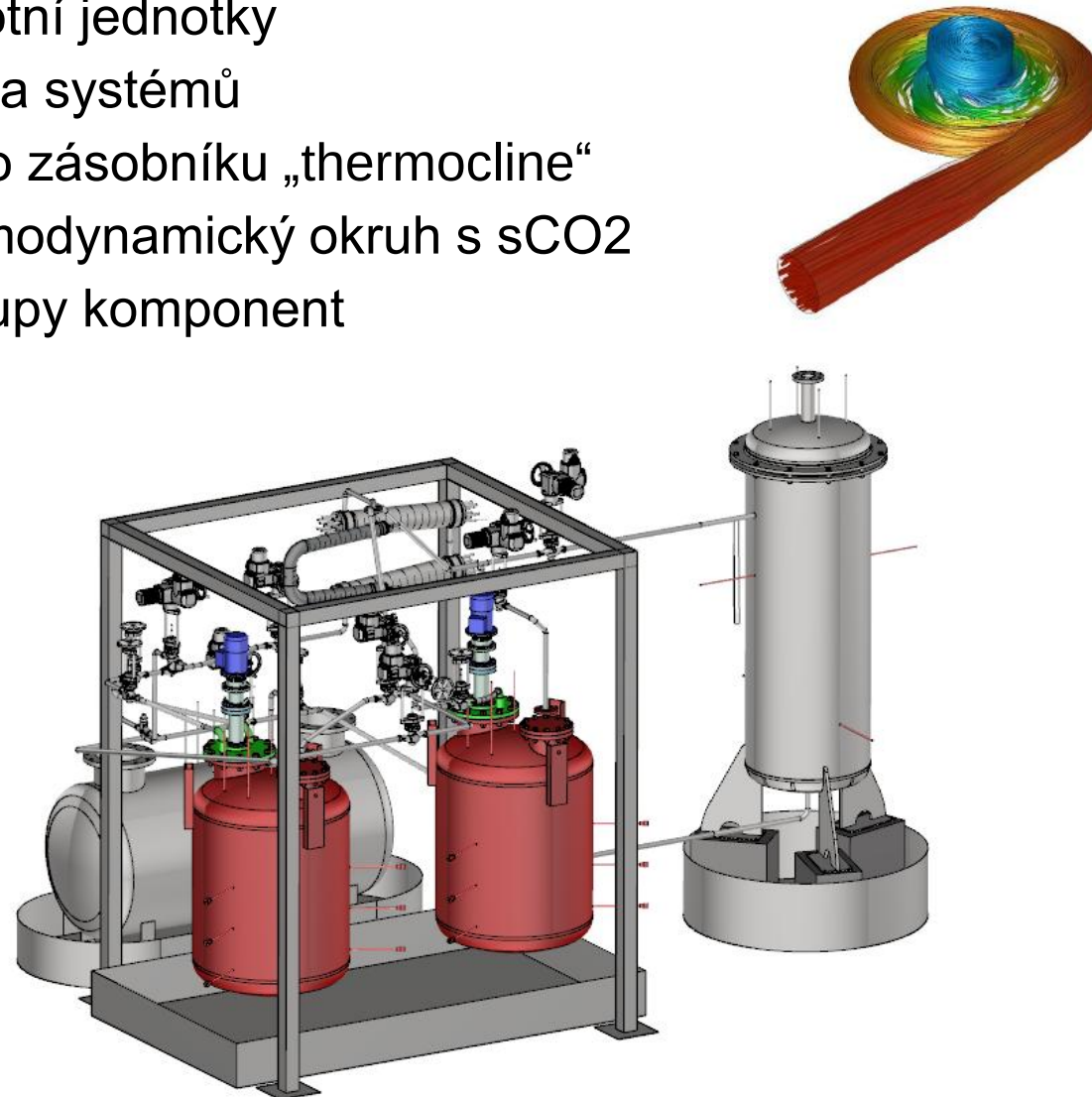
VYUŽITÍ
VYSOKOPOTENCIÁLNÍHO
TEPLA PRO PRŮMYSLVÉ
APLIKACE, VÝROBA PŘEHŘÁTÉ
PÁRY

KONVERZE NA ELEKTŘINU NEBO
PRO **KVET**, MOŽNOST VYUŽITÍ
STÁVAJÍCÍ INFRASTRUKTURY
FOSILNÍCH BLOKŮ

TEPLO PRO VYTÁPĚNÍ

Lab-scale akumulční jednotka

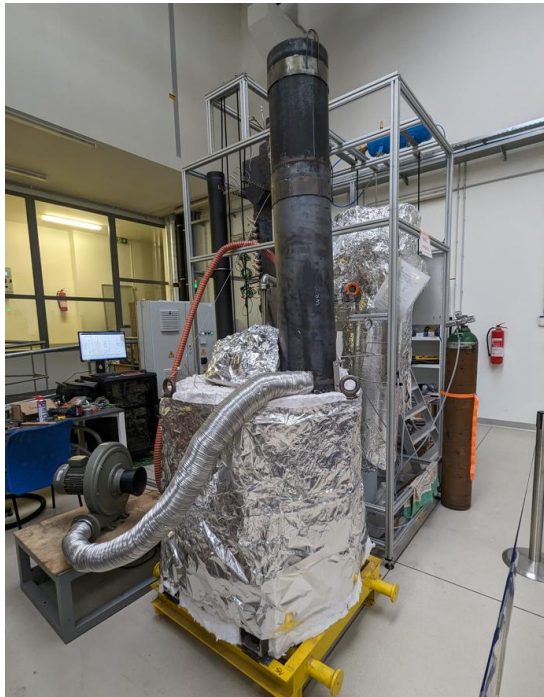
- Akumulační jednotka v malém měřítku (200 kWh, 30 kW)
- Podpora realizace pilotní jednotky
- Testování komponent a systémů
- Realizace inovativního zásobníku „thermocline“
- Vybíjecí systém – termodynamický okruh s sCO₂
- Probíhá výroba a nákupy komponent
- Zprovoznění 2025



Další aktivity

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 sympkých materiálů

- Využití keramických částic
- Testování až do 900 °C

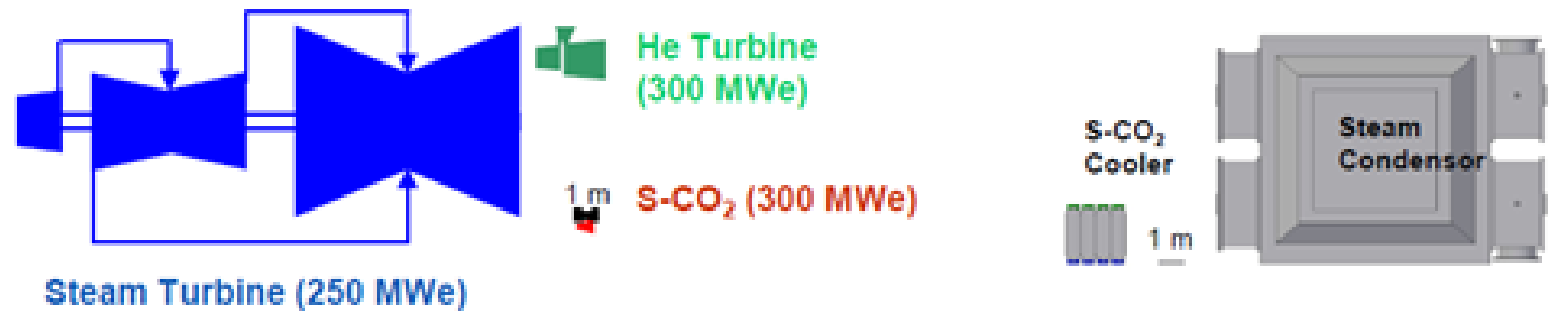


Shrnutí

- Technologie s potenciálem zvýšení využitelnosti OZE, stabilizace přenosové soustavy, přispění k dekarbonizaci energetiky
- Kompatibilita s dalšími akumulacími 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, vytápění, průmyslové aplikace, podpůrné služby, kompenzace odchylek
- Realizace pilotní jednotky
 - Účelem je ověření spolehlivosti a proveditelnosti technologie
 - Získání reference, budování konsorcia partnerů / dodavatelského řetězce – možnost zapojení českým průmyslových firem v případě implementace velkých energetických jednotek

Konverzní oběhy se superkritickým CO₂

- Systém konverze tepelné energie na elektřinu, alternativa k parním nebo plynovým oběhům
- Využití CO₂ v superkritickém stavu (31 °C, 74 bar) jako pracovní látky – vhodné fyzikální vlastnosti
- Uspořádání odpovídá Braytonovým oběhům



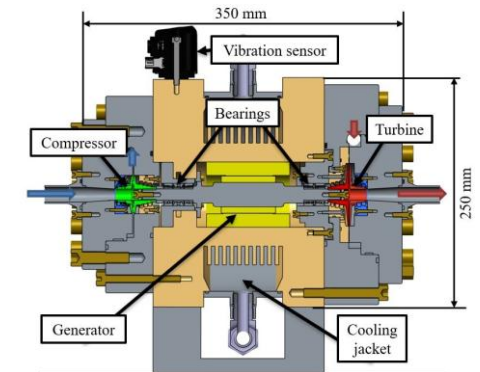
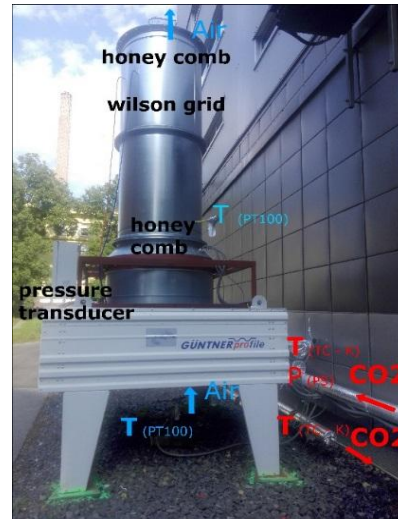
Výhody

- Vyšší termodynamická účinnost, především u vyšších teplot (nad 550 °C)
- Výrazně menší rozměry komponent
 - Vyšší flexibilita, nižší CAPEX
- Možnost eliminace potřeby chladicí vody
- Široká aplikovatelnost (fosilní zdroje, odpadní teplo, akumulace TES, jaderná energetika, princip „tepelné čerpadlo“)

Konverzní oběhy se superkritickým CO₂

Stav vývoje

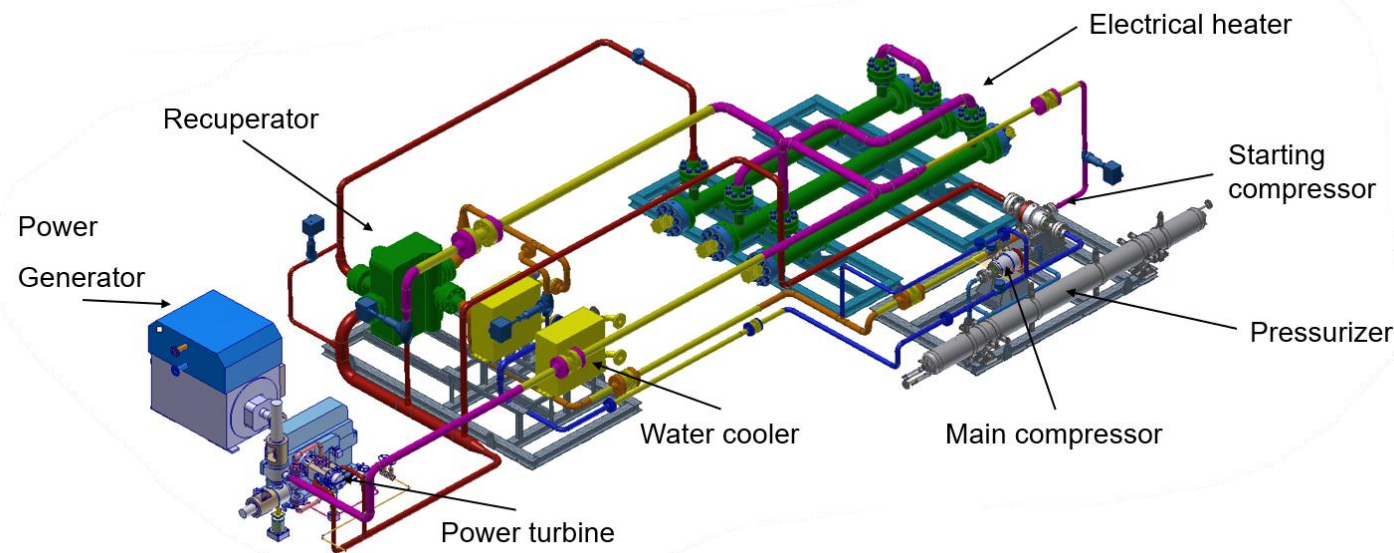
- Dosud především výzkumné aktivity, v posledních letech rozvoj v rámci EU
- V realizaci pilotní jednotky o výkonu kolem 1,5 MW
- V USA v provozu jednotky o výkonu 10 – 25 MW (Echogen, STEP)



Konverzní oběhy se superkritickým CO₂

Experimentální jednotka SOFIA

- Realizace v areálu Teplárny Mělník
- Výkon 1 MWe, 550 °C, 25 MPa
- Spolupráce s Doosan (výkonová turbína)
- Cílem je ověření komponent, získání provozních zkušeností, mezikrok před realizací velké pilotní jednotky



Poděkování



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

Tomáš Melichar

Centrum výzkumu Řež
tomas.melichar@cvrez.cz