

# Adiabatická tlakovzdušná akumulární elektrárna

Ing. Karel Kabeš

Uskladňovat či akumulovat elektrickou energii bezpečně, účinně a ve velkých množstvích, to je jeden z hlavních úkolů pro zajištění plynulého zásobování elektrinou v nejbližší budoucnosti. Vyžaduje to stále rostoucí podíl obnovitelných energií na energetickém mixu, který sice přispívá k výraznému snížení emisí CO<sub>2</sub>, ale také přidělová vrásky energetikům, kteří mají na starosti vyvažování zátěže rozvodných sítí.

## Vyrovnávacích elektráren je nedostatek

Do roku 2020 má podíl obnovitelných energií na výrobě elektrického proudu v Německu vzrůst ze současných asi 15 % na zhruba 30 %, a to zejména díky většímu využití větrné a solární energie. Jenom modernizací větrných elektráren na pevnině a plánovanou výstavbou větrných farem na moři



Obr. 1. Přecherpací vodní elektrárna Herdecke (foto: Wikipedia.de)

se má instalovaný výkon větrných turbín do roku 2020 zdvojnásobit na téměř 50 GW a do roku 2030 více než zpětinasobit na 130 GW. Dodávky elektrického proudu z větrných a fotovoltaických elektráren do rozvodné sítě jsou ale silně závislé na rozmarech počasí a mohou značně kolísat, podle zkušeností v rozmezí 0 až 85 % maximálního instalovaného výkonu. Aby rozvodná síť zůstala stabilní, je nutné toto kolísání vyrovnat, protože množství proudu dodávaného a odebíraného ze sítě musí být v každém okamžiku stejné, tedy vyvážené.

O zmíněný stav rozvodné sítě se starají vyrovnávací (akumulační) elektrárny s velmi krátkou dobou náběhu, jejichž výkon lze operativně měnit a přizpůsobovat aktuálním podmínkám v rozvodné síti. V současné době jsou nejlepším řešením přecherpací vodní elektrárny (obr. 1). Při přebytku proudu v rozvodné síti je mohutnými elektrickými čerpadly přecherpacována voda potrubím do horní nádrže, obvykle na kopci, odkud se při zvýšené poptávce po elektrickém proudu řízeně vypouští do spodní nádrže a přitom pohání turbínu. Přecherpací elektrárny mají velkou kapacitu a účinnost mezi 75 až 85 %, ale je-

jich stavba je drahá, vždy znamená výrazný zásah do krajiny a je silně omezena nedostatkem vhodných lokalit. V současnosti mají přecherpací elektrárny v Německu celkovou kapacitu asi 7 GW (v ČR asi 1,5 GW). Pro vyrovnávání je možné využít i operativně spouštěné menší elektrárny plynové a uhelné, ale také jejich možnosti jsou omezené, zejména při trvalém preferování kogenerační výroby tepla a elektřiny.

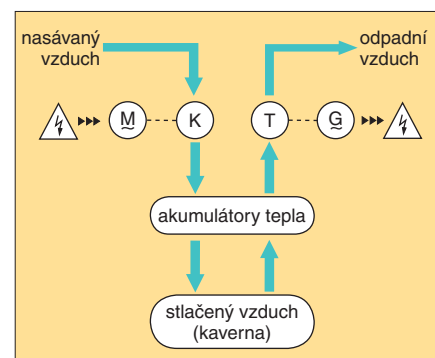
Potřeba elektrického vyrovnávacího výkonu pro udržení stability rozvodné sítě s rostoucím podílem větrné a fotovoltaické energie silně roste a již v současnosti jsou při určitých povětrnostních situacích disponibilní kapacity vyrovnávacích elektráren téměř vyčerpány. Proto se v poslední době odborníci vracejí ke starším projektům skladování energie, jako jsou např. tlakovzdušné akumulární elektrárny pracující v principu podobně jako přecherpací vodní elektrárny. V době, kdy je v rozvodné síti elektrického proudu přebytek, nasávají elektricky poháněné kompresory okolní vzduch, stlačují ho na 7 až 10 MPa a vhánějí do utěsněných kaveren, vyhloubených pod zemským povrchem. Při nedostatku proudu v síti se stlačený vzduch z podzemního zásobníku odebírá a přivádí do turbín, které pohánějí generátory vyrábějící elektrický proud. Účinnost tlakovzdušných vyrovnávacích elektráren je však jen do 50 % a je o více než 20 % menší než účinnost přecherpacích vodních elektráren. Je to způsobeno zejména tím, že stlačený a silně ohřátý vzduch je nutné ochladit zhruba na teplotu okolí, aby jej bylo možné v podzemí skladovat, a při opětovném použití je nutné ho před zavedením do turbíny nejprve ohřát, protože se v turbíně při expanzi silně ochladí. K ohřevu se běžně využívá zemní plyn. Akumulační elektrárna tohoto typu pracuje již od roku 1978 poblíž dolnosaského města Oldenburg. Ve dvou solných jeskyních lze uložit až 150 000 m<sup>3</sup> stlačeného vzduchu, který může v případě potřeby dodávat po dobu tří hodin výkon až 320 MW při celkové účinnosti asi 42 %.

## Adiabatické ukládání stlačeného vzduchu do podzemí

Velké naděje jsou proto vkládány do adiabatického způsobu ukládání stlačeného vzduchu

(obr. 2), při němž se teplo vznikající při stlačování nevypouští bez užítku do okolí, ale ze stlačeného vzduchu se odebere a přechodně se uchová v zásobníku (akumulátoru) tepla [2]. Při odebrání chladného stlačeného vzduchu z podzemního zásobníku se naopak energie akumulátoru tepla využije k ohřátí stlačeného vzduchu na teplotu potřebnou pro turbínu. Teplo se tím neztrácí, zůstává v procesu a znovu se využívá pro výrobu elektrického proudu, což přispívá ke zvýšení účinnosti systému asi na 70 % (téměř jako u přecherpacích elektráren). Navíc k ohřevu stlačeného vzduchu již není zapotřebí zemní plyn, a tím se také současně snižují emise CO<sub>2</sub>.

Proveditelnost adiabatického akumulárního systému byla potvrzena evropským projektem AA-CAES (*Advanced Adiabate Compressed Air Energy Storage*) řešeným v letech



Obr. 2. Princip adiabatické tlakovzdušné akumulární elektrárny

2003 až 2007 a podrobnou případovou studii vypracovanou společností General Electric a RWE Power v roce 2008. Na jejím základě se šest partnerů z německého průmyslu a výzkumu (společnosti RWE AG, General Electric AG, Ed. Züblin AG, Německé středisko pro letectví a kosmonautiku – DLR aj.) rozhodlo adiabatický akumulární systém ukládání stlačeného vzduchu společně ověřit v rámci projektu ADELE (*Adiabater Druckluftspeicher für die Elektrizitätsversorgung*). Příslušnou dohodu o spolupráci při vývoji podepsali účastníci projektu 19. ledna 2010 v Berlíně [1].

## Pomoci má projekt ADELE

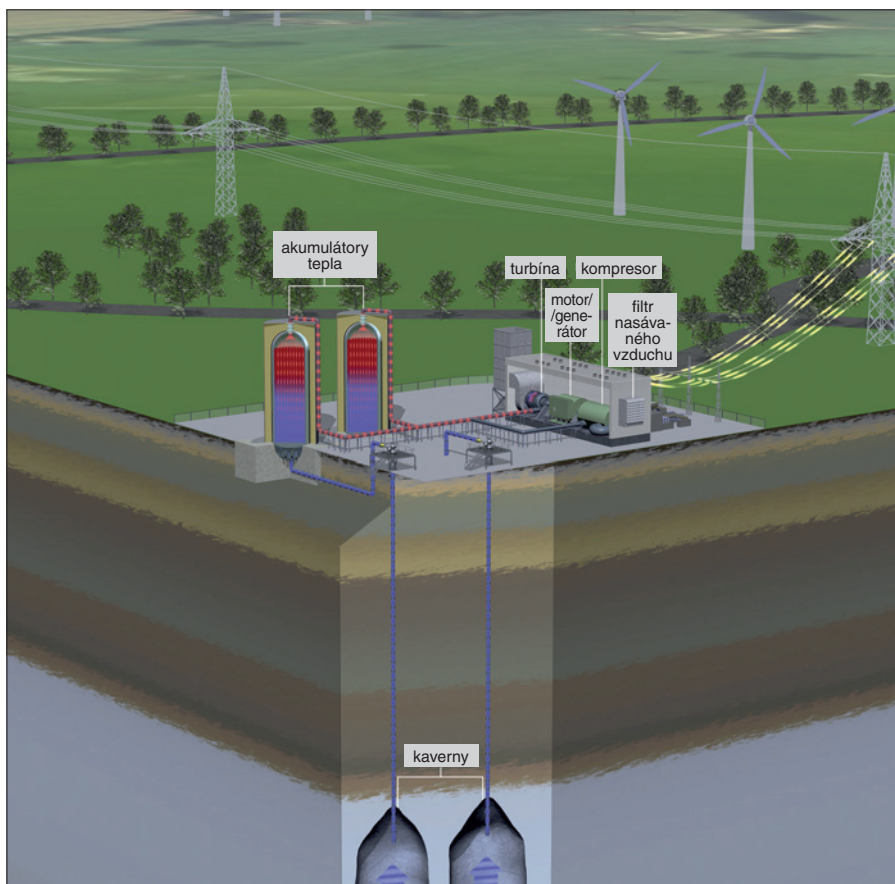
Cílem projektu ADELE je vybudovat do roku 2013 komerčně využitelnou pilotní tlakovzdušnou akumulární elektrárnu [3], která bude mít akumulární kapacitu 1 GW-h a elektrický výkon až 200 MW (obr. 3). Tím bude

schopná v případě potřeby v nejkratším čase plně nahradit po dobu zhruba pěti hodin výkon až čtyřiceti větrných turbín se jmenovitým výkonem 5 MW. Vzhledem k mimořádnému celospolečenskému významu projektu přislíbilo spolkové ministerstvo hospodářství (BMWi) jeho finanční podporu. Kooperační partneři zatím vyčlenili pro realizaci projektu ze svých zdrojů 10 milionů eur.

Další důležitou a možno říci centrální součástí systému je vysokoteplotní zásobník (akumulátor) tepla, jehož vývoj společně zajišťují odborníci firmy Ed. Züblin AG a Ústavu pro technickou termodynamiku DLR. Bude to velká nadzemní nádrž válcového tvaru s dokonalou tepelnou izolací a výškou až 40 m, naplněná keramickými tvárnici a drobným kamením, kterou při „nabíjení“ proudí hor-

budou vypracovány zásady a požadavky pro výběr lokalit, přičemž budou využity zkušenosti firmy Erdgasspeicher Kalle GmbH, která je součástí koncernu RWE a dlouhodobě se věnuje projektování, stavbě a provozování podzemních zásobníků zemního plynu.

Nedostatečné možnosti skladování energie v současné době již brzdí další rozvoj využití elektřiny z obnovitelných zdrojů a ohrožují plnění cílů, které si EU vytyčila do roku 2020. Proto odborníci energetické společnosti RWE s nadějí očekávají výsledky provozních zkoušek pilotní adiabatické tlakovzdušné akumulční elektrárny, které by mohly ke zlepšení situace přispět. Také energetická společnost ČEZ ve svých výhledových plánech považuje techniku skladování energie prostřednictvím stlačování vzduchu do podzemí za jednu z perspektivních možností pro akumulaci elektrické energie i přesto, že v ČR k tomu nejsou geologické podmínky tak příznivé jako v sousedním Německu.



Obr. 3. Model adiabatické tlakovzdušné akumulční elektrárny podle projektu ADELE (vizualizace: RWE)

V rámci projektu ADELE je třeba vyřešit množství organizačních, technických a termodynamických problémů, které si účastníci rozdělili podle svých zkušeností a kompetencí. Celý projekt koordinuje elektrárenská společnost RWE Power AG jako budoucí provozovatel vyrovnávacích akumulčních elektráren na stlačený vzduch. Zajištění optimální souhry všech technických komponent a komplexní dimenzování celého systému bude mít na starosti společnost General Electric (GE). V jejím evropském výzkumném středisku GE Global Research v Garchingu u Mnichova budou také vyvíjeny dvě klíčové komponenty systému – vysokotlaké kompresory a tlakovzdušné turbíny, na nichž hodně závisí úspěch celého projektu. Obě komponenty musí dlouhodobě vydržet střídavé účinky vysoké teploty a tlaku a turbína navíc musí zvládnout silně kolísající tlaky a průtoková množství při vyprazdňování podzemního zásobníku.

ký stlačený vzduch a odevzdává zde teplo. Naopak při „vybíjení“ nádrží proudí studený vzduch z podzemního zásobníku a ohřívá se zde. S ohledem na velký vnitřní tlak (až 10 MPa), teplotu přesahující 600 °C a velmi časté cykly nabíjení/vybíjení jsou požadavky na konstrukci zásobníku a výběr materiálů s dobrými izolačními a akumulčními schopnostmi mimořádně náročné. Při vývoji budou využity dlouholeté zkušenosti a technické prostředky pracovníků DLR získané zejména při testování vysokoteplotních izolací (obr. 4).

Pro umístění tlakovzdušné akumulční elektrárny je nutné vybrat také vhodnou lokalitu. Zvláště příznivé podmínky jsou zejména v oblastech s geologickými solnými strukturami na severozápadě Německa, v nichž lze dobře vybudovat podzemní dutiny k uskladnění velkého množství stlačeného vzduchu a přitom se nacházejí v blízkosti větrných elektráren, kde jsou vyrovnávací kapacity nejvíce zapotřebí. V rámci projektu ADELE



Obr. 4. Zařízení pro testování vysokoteplotních akumulátorů tepla v Ústavu pro technickou termodynamiku DLR ve Stuttgartu (foto: DLR)

#### Literatura:

- [1] Tiskové materiály DLR: *ADELE soll Strom sicher, effizient und in großen Mengen speichern*. 19. 1. 2010.
- [2] Zumft, S., Tamme, R.: *Strom speichern unter Hochdruck*. DLR-Nachrichten, Dezember 2006, Nr. 116 (dostupné na [http://www.dlr.de/Portaldata/1/Resources/standorte/stuttgart/DLR-Nachrichten-Nr116Dez2006\\_Adiabate.pdf](http://www.dlr.de/Portaldata/1/Resources/standorte/stuttgart/DLR-Nachrichten-Nr116Dez2006_Adiabate.pdf)).
- [3] Tiskové materiály RWE: *ADELE – Der adiabate Druckluftspeicher für die Elektrizitätsversorgung*. RWE Power AG, Essen/Köln, 2009 (dostupné na: [http://www.dlr.de/Portaldata/1/Resources/standorte/stuttgart/Broschue\\_re\\_ADELE\\_1\\_.pdf](http://www.dlr.de/Portaldata/1/Resources/standorte/stuttgart/Broschue_re_ADELE_1_.pdf)).