

# SOUČASNÉ MOŽNOSTI AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE VE FOTOVOLTAICKÝCH APLIKACÍCH

Petr Křivák, (Petr Bača)

Ústav elektrotechnologie, Vysoké učení technické v Brně, Údolní 53, 602 00 Brno,  
[krivak@feec.vutbr.cz](mailto:krivak@feec.vutbr.cz) ([baca@feec.vutbr.cz](mailto:baca@feec.vutbr.cz))

## Abstrakt:

*Příspěvek rozebírá možnosti jednotlivých alternativních sekundárních zdrojů elektrické energie, které připadají do úvahy k akumulaci elektrické energie pro fotovoltaické (pv) systémy*

## Úvod

Životní úroveň velkého podílu světové populace je omezená nedostatkem dodávky energie. Finální zpráva G8 úkolového uskupení o obnovitelných zdrojích uzavřelo svou zprávu tím, že „moderní energetické služby jsou základem k ekonomickému, sociálnímu, a politickému rozvoji a jsou podstatné pro udržení lidského života a zlepšení lidského blahobytu“ [1].

Odhad Světové banky hovoří o tom, že cca dvě miliardy lidí žijí bez přístupu k elektřině a další miliony mají přístup k elektrické energii omezený. Obyvatelstvo žijící mimo dosah rozvodných systémů velkých elektráren mohou využívat energii jen z tzv. autonomních energetických systémů RAPS (remote area power supply systems).

Úsilí přivést elektřinu dosud zanedbaným oblastem by mělo být součástí snahy o udržitelný rozvoj v globálních podmínkách. V tomto kontextu, udržitelný rozvoj byl definován [2] tímto způsobem: „udržitelný rozvoj je vývoj který splní potřeby současnosti bez omezení schopnosti budoucí generace vyhovět svým vlastním potřebám“. Tedy technický vývoj vedoucí ke zlepšení dostupnosti elektřiny by měl uchovat zemské zdroje (minerály, atd.) a chránit životní prostředí, při zlepšování životních podmínek lidí.

V mnoha vzdálených oblastech, je nyní primárním způsobem vytváření elektřiny diesellový generátor. Zatímco generátory jsou relativně levné a snadno instalovatelné, používají drahou naftu a produkují významná množství emisí, včetně skleníkových plynů. Logická cesta k získání většího objemu elektrické energie ve shodě s udržitelným rozvojem je využít skutečnosti, že v průměru, 235W slunečního záření dosáhne povrchu země [3] a to znamená využívat obnovitelný zdroj energie.

V RAPS aplikacích musí splňovat sekundární elektrochemické zdroje (akumulátory) následující kritéria:

- spolehlivost za specifických PV podmínek
- nízké samovybití
- nulový požadavek na údržbu
- vysoká nabíjecí účinnost
- široká provozní teplota
- robustní design
- nízké Wh náklady
- vysoká koncentrace energie na jednotku objemu i hmotnosti
- bezpečnost
- uskladnění i použití v jakékoli pozici
- možnost dlouhodobého stání ve vybitém stavu

Existují tři alternativní, komerčně dosažitelné typy akumulátorů, které splňují většinu výše uvedených kritérií, a zvláště splňují „kritické“ požadavky na bezpečnost, bezúdržbovost a cenu. Jsou to:

## Ni-Cd (Nikl Kadmiové) akumulátory

Ni-Cd akumulátory mají následující atributy: osvědčená spolehlivost za extrémních provozních stavů, vysoká hustota energie na jednotku hmotnosti i objemu ( $100\text{Wh}/\text{dm}^3$ ), dobrá tolerance na přebíjení i převybití (přepólování), malé samovybití, odolnost proti zvýšeným teplotám. Také životnost je více než 500 cyklů nabití/vybití při 80% DOD. Na druhé straně Ni-Cd akumulátory jsou dražší než adekvátní VRLA (cca 700 Euro/kWh), cena je 6-8 krát větší. Baterie jsou také citlivé na tzv. paměťový efekt. Jeden z mála výrobců, který vyrábí produktovou řadu speciálně pro PV aplikace je francouzská fa. SAFT s výrobkem SUNICA PLUS. Technologie výroby není veřejně prezentovaná, předpokládáme, že mají sintrovanou pozitivní elektrodu a plastem pojenou zápornou. Jejich udávaná životnost je 20 let, ovšem pouze při 15% DOD vytěžování. Jedná se o zaplavenou konstrukci s doplňovacím systémem vody, bez rekombinace plynů vznikajících při nabíjení.



Obr. 1.: Ni-Cd akumulátor SUNICA PLUS výrobce SAFT

Je potřeba připomenout největší problém, a tím je ohrožení životního prostředí i člověka při výrobě i recyklaci Ni-Cd baterií, kdy oba kovy jsou jedovaté a Cd je vysoce nebezpečný karcinogenní kov. Proto výrobce musí zabezpečit zpětný odběr a recyklovatelnost svých výrobků (SAFT udává recyklovatelnost 99,9% všech kovových součástí). Pro výše uvedené problémy se na celém světě upouští od výroby těchto akumulátorů a jako neperspektivní systém je opouštěn.

## Ni-MH (Nikl Metal Hydridové) akumulátory

Ni-MH články mají vynikající objemovou koncentraci energie, typicky  $300\text{Wh}/\text{dm}^3$ . Také životnost je více než 500 cyklů nabití/vybití při 80% DOD. Ačkoliv Ni-MH akumulátory mají podstatně větší kapacitu a výkon na jednotku hmotnosti i objemu než olověné akumulátory, jsou výrazně dražší (1100 Euro/kWh). Cena je tak 10 až 12krát větší než ekvivalentní olověný

VRLA. Je to především kvůli ceně slitiny prvků titan-zirkon, která je užívaná ve výrobě Ni-MH akumulátorů. Také současná technologie výroby Ni-MH akumulátorů je složitá a drahá. Navíc Ni-MH mají relativně vysoké samovybíjení a je problematické určit stav plného nabití (článek Ni-MH má málo výrazný pokles napětí po dosažení plného nabití). Tím se zvyšuje pravděpodobnost přehřívání, nadměrného vytváření tepla, špatně určené kapacity a kratší životnosti. Řídicí metody nabíjení jsou tudíž komplexní a založené na následujících technikách:

- hlídání růstu teploty na konci nabíjení  $dT/dt$
- detekce maximálního napětí
- hlídání poklesu napětí článku po dosažení maxima  $-dV/dt$

Výrobci, kteří vyrábějí Ni-MH akumulátory speciálně pro PV aplikace je více (SAFT, SEC), jako příklad si vezměme opět francouzský SAFT s typem NHE, který je bezúdržbový se 100% rekombinací plynů. Protože je citlivý na teplotu, podle způsobu provozu jej výrobce vybavuje chladícím systémem. Kladná elektroda je pěnová (FOAM), záporná nikl metal hydridová (slitina typu AB5).

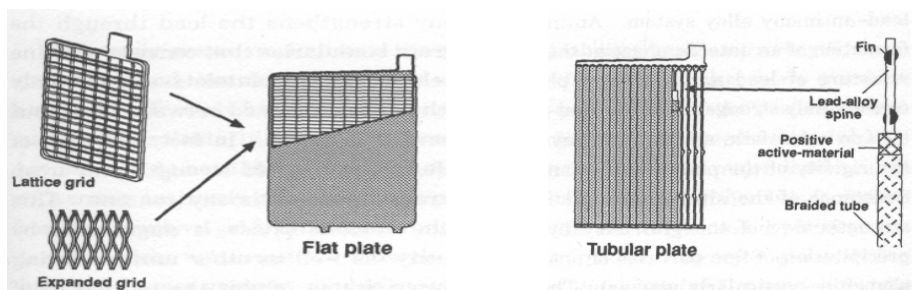
Celkově lze říct, že Ni-MH baterie jsou dobrým kompromisem mezi výkonem, energetickou spotřebou a cenou pro dražší produkty, jako jsou např. přenosné počítače, bezdrátové spotřebiče a komunikační zařízení.



Obr.2: Ni-MH akumulátor fy. SAFT typ NHE

## Olověné akumulátory

Díky níže uvedeným vhodným vlastnostem se na celém světě v PV aplikacích používá z 99% olověný akumulátor. Tyto akumulátory lze podle provedení rozdělit na dva základní typy: otevřené akumulátory se zaplavenou konstrukcí a akumulátory bezúdržbové ventilem řízené (VRLA). Další dělení může být podle typu elektrod na akumulátory s elektrodami deskovými a akumulátory s elektrodami trubkovými (někdy též nazývané pancéřové).



Obr.3: deskový typ elektrod

a

trubkový typ elektrod

Deskové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí (automobilový design) jsou cenově jednoznačně nejvýhodnější (50 Euro/kWh), nicméně na úkor hustoty energie na jednotku objemu (50 Wh/dm<sup>3</sup>). Také životnost tohoto systému je pouze 0,5 až 3 roky podle podmínek provozu. Díky ceně se tento typ akumulátoru používá v PV aplikacích v rozvojových zemích pro domácí solární systémy. Díky malé životnosti však celkové náklady stoupají.

Trubkové olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí vykazují mnohem větší životnost – cca 8 let při 50 % DOD a jejich cena se pohybuje kolem 150 Euro/kWh. Tento typ se používá ve velkých, stacionárních PV aplikacích se zaškolenou obsluhou (velké elektrárenské systémy na bázi PV, nebo hybridních systémů, venkovských elektrifikací, domácích aplikacích). Příkladem může být typ SEC-T-RANGE (USA) s garantovanou životností 2000 cyklů při vytěžení 80% DOD v každém cyklu.

Při jejich použití pro PV aplikace nastává výrazná stratifikace kdy dochází k hromadění elektrolytu o vyšší koncentraci u dna nádoby s důsledkem postupné nevratné sulfatace elektrod akumulátoru a ukončení životnosti. Tomuto problému lze předejít nuceným pohybem elektrolytu. Pohyb je obstaráván buď speciálním míchacím zařízením, nebo upraveným dobíjecím režimem s úmyslným vývinem plynů při přebíjení. Základní problém akumulátorů se zaplavenou konstrukcí však spočívá ve vlastní konstrukci, která klade zvýšené nároky na obsluhu. Tyto akumulátory nejsou bezúdržbové a vyžadují kontrolu stavu elektrolytu s doléváním destilované vody. Olověné akumulátory se zaplavenou konstrukcí není možno provozovat v jakékoli poloze.



*Obr.4: Olověný akumulátor zaplavené konstrukce fy SEC (USA), model SEC-T-RANGE, kladná elektroda trubková, záporná elektroda desková pastovaná*

VRLA akumulátory mají dva rozdílné koncepty znehybnění elektrolytu uvnitř článků akumulátoru, a to elektrolyt nasáknutý v pórech separátoru ze skelných vláken (AGM) a elektrolyt ve formě gelu.

VRLA akumulátory s deskovým typem elektrod ať už AGM, nebo GELové konstrukce vykazují středně dlouhou životnost – cca 5 let a cena je kolem 100 Euro/kWh. AGM

akumulátory na rozdíl od GELových vykazují problémy především s částečnou stratifikací a může u nich docházet k teplotnímu zkratu (thermal runaway), proto výrobci začali dávat přednost GELové konstrukci. Tento typ akumulátoru se často používá pro malé profesionální PV aplikace např. v telekomunikacích.

VRLA akumulátory používající trubkovou konstrukci elektrod se znehybněným GELovým elektrolytem nevyžadují údržbu po celou dobu života - tj. cca 8-10 let. Nevýhodou je cena, která přesahuje 200 Euro/kWh. Jejich použití je pro vysoce profesionální systémy s důrazem kladeným na spolehlivost a životnost bez ohledu na výši nákladů.

Akumulátory typu AGM jsou značně citlivé na pracovní teplotu, kdy za vysokých teplot může dojít k teplotnímu zkratu (thermal runaway) s výsledkem generování velkého množství kyslíku (který rekombinuje exotermicky na záporné elektrodě), vysoušení elektrolytu, vzrůstu vnitřního odporu článku a porušení těsnosti akumulátorové nádoby. V extrémním případě může dojít k roztavení olovených komponent a explozi akumulátoru. Celkově AGM akumulátory nelze používat za extrémních teplotních podmínek a pro řízení jejich činnosti je vhodná teplotní kompenzace. Svým určením jsou vhodné do záložních zdrojů (UPS) s trvalým dobíjením na konstantní napětí. Pro PV aplikace jsou typické nízké vybíjecí rychlosti, hluboké vybíjení a málo časté nabíjení s jen občasným plným nabitím.

Pro tento režim se ukazuje mnohem výhodnější druhý typ VRLA konstrukce s elektrolytem ve formě gelu. GEL-VRLA akumulátory vyvinuté pro PV aplikace používají speciální postupy při výrobě aktivní hmoty s omezením tvorby sulfátů. S tím souvisí konečná vyšší cena těchto akumulátorů.



*Obr. 5.: Novinka fy. SEC (USA) – model 2TLGM -VRLA akumulátor deskové konstrukce s AGM separátorem s možností horizontálního i vertikálního uložení. Kromě kyslíkového cyklu je umístěn ve ventilu katalyzátor-minimalizace vývinu plynů a koroze záporné elektrody*

Tato práce byla sponzorována výzkumným záměrem MŠMT ČR č. MSM0021630516.

## **Literatura**

- [1] G8 Renewable Energy Task Force, Final Report, July 2001.
- [2] World Commission on Environment Development, Our Common Future, Oxford Press, 1987, s. 43.
- [3] A. Maurellis, J. Tennyson, Phys. World 16 (2003), s. 29.