

## 6. ELEKTROCHEMICKÉ ZDROJE ENERGIE

### 6.1. ZÁKLADNÍ POJMY A ROZDĚLENÍ ZDROJŮ

Elektrochemické zdroje energie jsou zařízení, v nichž probíhá spontánní či řízená konverze chemické energie na energii elektrickou prostřednictvím elektrochemických oxidačně redukčních reakcí. Během těchto reakcí dochází k transportu elektronů vnějším obvodem z jednoho materiálu do druhého a dále k pohybu iontů ve vnitřním prostředí zdroje.

Základní elektrochemickou jednotkou je článek. Článek má již všechny vlastnosti elektrochemického zdroje energie, jeho napětí a výkon však zpravidla bývá dosti malý. Proto se jednotlivé články podle potřeby řadí do série nebo paralelně. Seskupení jednoho či více článků v jednom pouzdře se nazývá baterie.

Jak plyne z předchozího výkladu, článek sestává ze tří hlavních částí; elektrody (kladná a záporná), elektrolyt a separátor. Elektrody jsou rozhodující pro výkon článku a jeho životnost. Sestávají obecně z nosné části (např. kovové mřížky), ze sběrače proudu (kolektoru) a z aktivního materiálu, který se zúčastňuje oxidačně redukční reakce. Elektrolyt tvoří vnitřní prostředí článku a slouží k transportu iontů mezi oběma elektrodami; často se jedná o kapalinu, avšak může mít i gelovou, pastózní nebo tuhounou konzistenci. Separátorem bývá obvykle pórovitá membrána umístěná mezi oběma elektrodami. Ta musí umožnit volný průchod iontů, ale současně musí zabránit vnitřním zkratům v důsledku přímého elektrického kontaktu obou elektrod. Přítomnost separátoru není nutná tam, kde dostatečná elektrická izolace elektrod je zajištěna jejich vzájemnou vzdáleností.

Články (a tedy i baterie) lze podle základních vlastností a charakteristik rozdělit do tří hlavních skupin:

- články primární,
- články sekundární,
- články palivové.

### 6.2. PRIMÁRNÍ ČLÁNKY

Hlavním znakem primárních článků je velmi omezená možnost jejich opětovného nabíjení; jsou určeny pro jednorázové použití a vybitím se prakticky znehodnotí. Příčina spočívá ve vlastnostech probíhajících oxidačně redukčních reakcí, které jsou téměř nevratné a v některých případech dokonce nemožné. Pokus o jejich opětovné nabíjení může být navíc

doprovázen vývinem plynů uvnitř článků (plynování), případně prosakováním elektrolytu. Primární články se obvykle dělí na suché články, články na bázi lithia a články tepelné.

### 6.2.1. SUCHÉ ČLÁNKY

Název "suché články" je odvozen od vlastností použitého elektrolytu, který je zahuštěn a má konzistenci pasty nebo gelu. Během vybíjení vznikají v blízkosti elektrod suchých článků tuhé i plynné látky. Zatímco tuhé látky zůstávají s elektrodami v trvalém kontaktu, plynné postupně unikají do okolí. Zpětný proces často nebývá možný; plynné látky již nemusí být k dispozici a v případě tuhých látek je schopna v rozumném čase vratně reagovat jen velmi tenká vrstva bezprostředně přiléhající k příslušné elektrodě. Některé podrobnosti budou podrobněji vyloženy v odstavcích popisujících vlastnosti jednotlivých typů článků.

Většina vyráběných suchých článků má válcový nebo knoflíkový tvar. Anoda bývá nejčastěji zinková, méně se používá hořčík nebo kadmium. Zinkové anody (požadovaná čistota zinku by měla být vyšší než 99%, příměsi různých dalších kovů podporují korozi) se vyrábějí buď lisováním z prášku, stáčením z plechu, nebo jako lisované nádobky. Hořčíkové anody využívají podobné konstrukce; ve skutečnosti se však nejedná o čistý hořčík, ale o jeho slitiny s hliníkem, zinkem a jinými kovy. Tyto slitiny musí být dostatečně odolné proti korozi a musí být dobře obrobitelné. Konečně kadmiové anody se připravují lisováním práškového kadmia.

Katoda bývá většinou vyrobena z oxidu manganičitého  $MnO_2$ . Ten představuje velmi složitou a polymorfní sloučeninu (její struktura může nabývat několika různých podob) a připravuje se buď elektrolyticky (v nejvyšší kvalitě), chemicky, nebo se získává přímo jako přírodní materiál. Aby se zvýšila elektrická vodivost katody, míchá se práškový  $MnO_2$  s dobrým vodičem (např. grafit). Někdy se používá rtuťová katoda, sestávající ze směsi oxidu rtuťnatého  $HgO$  a různých aditiv. Úkolem aditiv je opět zvýšit elektrickou vodivost (grafit) a zabránit hromadění rtuti (používají se oxidy manganu nebo stříbro). Katodového materiálu bývá vždy více; tím se zajistí, že pro životnost článku je limitujícím prvkem anoda. Ve speciálních případech může být katoda vyrobena i z kovu, který slouží jako katalyzátor probíhajících reakcí.

Většina suchých článků produkuje jak během doby skladování, tak i během činnosti plyny. Těm musí být umožněno unikat, aby nevznikl přetlak a nedošlo k poškození článku. Odvětrávání se realizuje prostřednictvím pórů v elektrodách, nebo jinými mechanismy.

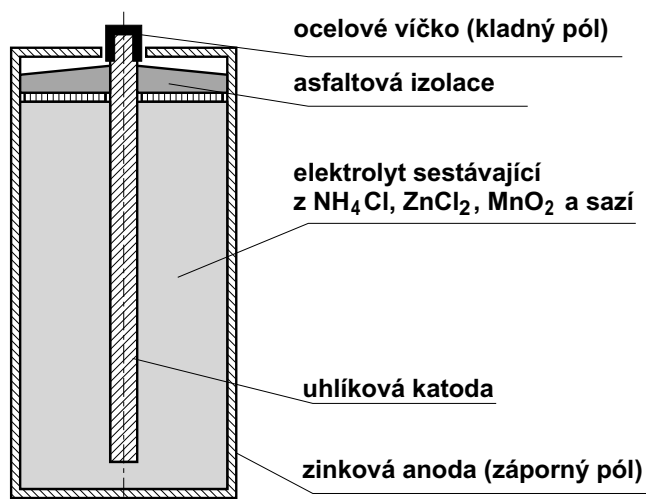
Během několika posledních desetiletí bylo vyvinuto značné množství typů suchých článků. Řada z nich se však neosvědčila ať už z ekonomických, provozních či ekologických příčin. Světoví výrobci v této oblasti v současné době nabízejí

- a) články na bázi  $C - Zn$ ,
- b) alkalické články s  $MnO_2$ ,
- c) články na bázi  $Hg - Zn$ ,
- d) články na bázi  $Ag - Zn$ ,
- e) články na bázi  $Zn - \text{vzduch}$ ,
- f) články na bázi  $Hg - Cd$ ,
- g) články na bázi  $Mg - MnO_2$ .

Těmito články se budeme blíže zabývat v následujících odstavcích, a to především z hlediska konstrukce, probíhajících chemických procesů a základních vlastností.

### a) Článek na bázi $C - Zn$

Suchý článek na této bázi sestává ze zinkové nádoby, která tvoří anodu (a tedy záporný! pól), zatímco katodou (a tedy kladným! pólem) je chemicky inertní uhlíková tyčinka (žádné reakce se nezúčastňuje). Elektrolytem je roztok salmiaku,  $MnO_2$ ,  $ZnCl_2$  a sazí či grafitového prášku zahuštěný do pastózní nebo gelové formy. Jako zahušťovadlo se používala pšeničná mouka, savý papír (který též může sloužit jako separátor), sádra nebo škrobové látky; nověji se v tomto směru provádějí experimenty s oxidy některých kovů. Napětí naprázdno článku  $C - Zn$  se pohybuje kolem 1.5 V a jeho zjednodušené schéma je na obr. 6.2.1.



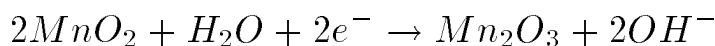
Obr. 6.2.1: Základní schéma  $Zn - C$  článku

Na anodě probíhá jednoduchá oxidace atomů zinku, kterou lze za-

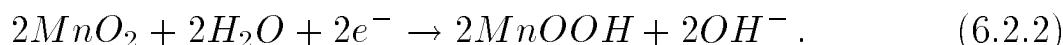
psat ve tvaru



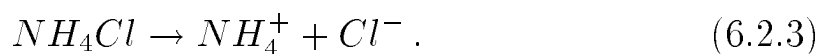
Kationt zinku uvolněný z anody se rozpouští v elektrolytu, zatímco dva nadbytečné elektrony se pohybují díky rozdílu potenciálů vnějším obvodem ke katodě. Redukční proces na katodě je podstatně složitější. V zásadě zde probíhá redukce manganu obsaženého v  $\text{MnO}_2$  ve čtvrtém oxidačním stupni na řadu sloučenin obsahující mangan ve třetím oxidačním stupni, jako např. oxid manganitý  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  nebo oxihydroxid manganu  $\text{MnOOH}$  podle vztahů



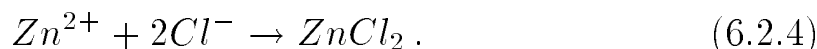
a



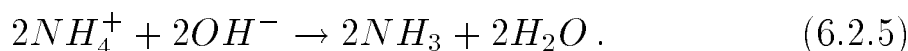
Salmiak  $\text{NH}_4\text{Cl}$  je v elektrolytu disociovaný na ionty podle rovnice



Anionty chloru reagují se zinkem uvolněným z katody za vzniku chloridu zinečnatého



Kationty  $\text{NH}_4^{+}$  reagují se vznikajícími hydroxylovými anionty  $\text{OH}^{-}$ , přičemž vzniká voda a plynný čpavek.



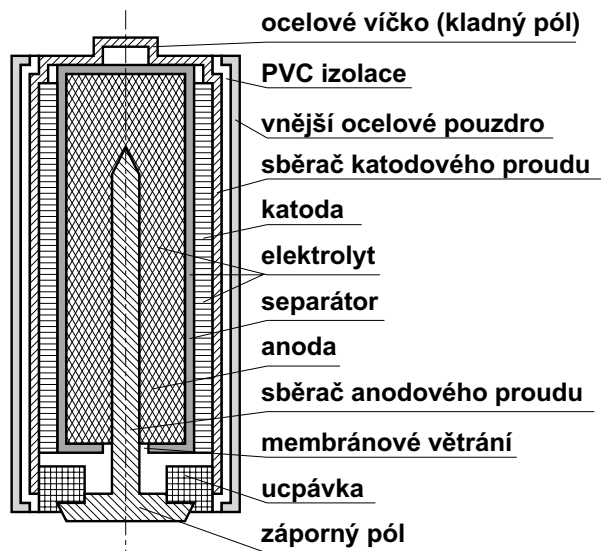
Přítomnost plynné vrstvy čpavku v elektrolytu je nežádoucí, neboť by způsobila přerušování proudu. K tomu však nedochází, vzápětí poté vzniká buď nerozpustný komplex  $\text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$ , nebo ionty  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ .

Některé látky vznikající během vybíjení článku jsou špatně elektricky vodivé a jejich objem se postupně zvětšuje. To má za důsledek nárůst vnitřního odporu článku (ten se obvykle pohybuje na úrovni desetin  $\Omega$ , což spolehlivě zabrání zničení článku při zkratu) a tedy pokles napětí. Proto jej užíváme především tam, kde podmínka stálosti napětí nehraje rozhodující roli (fotoblesky, dětské hračky apod.). Článek se pokládá za vybitý, jestliže jeho napětí poklesne pod 0.9 V. Jinak se jedná o spolehlivý a relativně levný zdroj energie.

### b) Alkalický článek s $\text{MnO}_2$

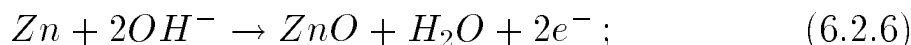
Jedná se o další variantu suchého článku (vyrábí se ve válcovém i v knoflíkovém provedení), v němž je kyselý roztok  $\text{NH}_4\text{Cl}$  nahrazen

koncentrovaným roztokem  $KOH$  nebo  $NaOH$  zahuštěným některým z derivátů celulózy a uhlíkový sběrač katodového proudu je nahrazen např. ocelovou tyčinkou nebo mosaznou trubičkou. Katodou je opět oxid manganičitý  $MnO_2$  obsahující práškový grafit či saze. Anoda je tvořena práškovým zinkem. Schéma typického uspořádání alkalického článku je znázorněno na obr. 6.2.2.

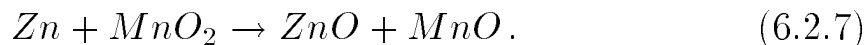


Obr. 6.2.2: Řez alkalickým článkem s  $MnO_2$

Základní reakce probíhající na anodě se od předchozího případu (6.2.1) liší. Zinek na anodě reaguje se dvěma hydroxylovými skupinami vzniklými disociací molekul roztoku podle rovnice



vzniklý oxid zinečnatý  $ZnO$  je v alkalickém roztoku dále nerozpustný. Reakce na katodě se shoduje s (6.2.2) s tím že trojmocný mangan dále redukuje za vzniku  $MnO$ . Souhrnná rovnice má tedy tvar

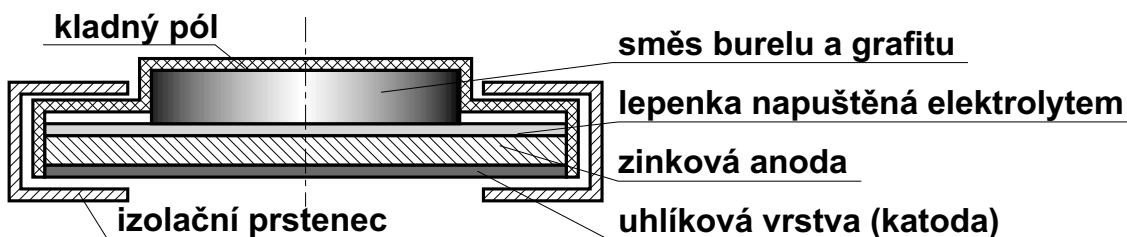


Alkalické články jsou v současné době nejpoužívanější. Jsou sice dražší než uhlíkové, neboť musí být daleko lépe zabezpečeny proti úniku agresivního elektrolytu, ale objemová hustota energie je vyšší než u typu předchozího a také životnost je podstatně delší. Napětí naprázdno se i zde pohybuje v blízkosti 1.5 V. Napěťová charakteristika však neklesá tak rychle, jako u článku uhlíkového. Další údaje viz tabulky 6.1–6.2.

Alkalické články lze omezeně dobíjet. Počet dobíjecích cyklů může za ideálních podmínek dosáhnout až několik tisíc při účinnosti asi 70%.

Podaří-li se během vybíjení článku zabránit další redukci manganu, lze jej dobíjet již zcela regulérně (viz kapitola 6.3. o člancích sekundárních).

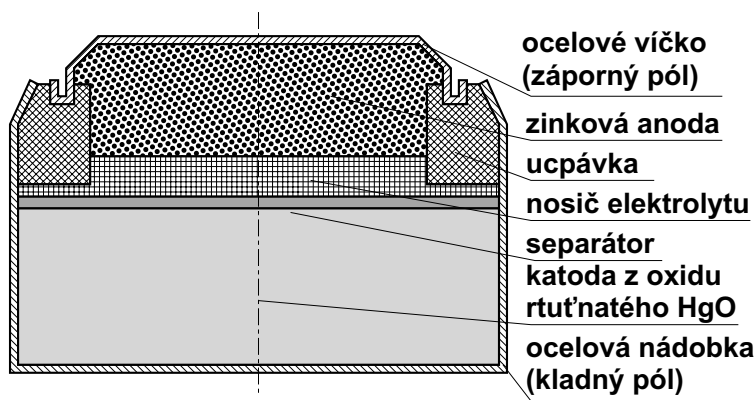
Kromě běžných válcových baterií tohoto typu existují na trhu baterie vzniklé jejich sériovým řazením (např. devítivoltová baterie obsahující 6 článků pro napájení některých tranzistorových přijímačů). Dílčí články jsou v tomto případě destičkové a mají tvar podle obr. 6.2.3. Základní částí takového článku je zinková anoda (záporná elektroda), na níž je položena lepenka se zahuštěným elektrolytem. Nad ní je další vrstva sestávající ze směsi burelu a tuhy. Na spodní straně je zinkový kotouček potřený vodivým lakem s obsahem grafitu nebo sazí, který představuje katodu (kladnou elektrodu). Všechny uvedené části jsou uloženy v pružném prstencovitém pouzdru. Několik takových článků se pak slisuje do sloupce, který se opatří vývody. Celek se vloží do pouzdra a zalije asfaltem, který zabraňuje vysychání.



Obr. 6.2.3: Základní schéma destičkového článku

### c) Článek na bázi Hg - Zn

Rtuťový článek se v současné době vyrábí vesměs v knoflíkovém provedení a používá se pro napájení drobných elektronických spotřebičů (naslouchátka, kalkulačky, hodinky); jeho základní schéma je na obr. 6.2.4.

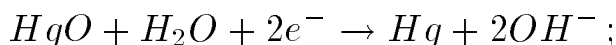


Obr. 6.2.4: Základní schéma článku Hg - Zn

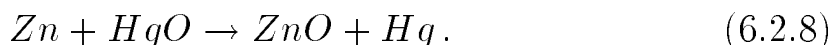
Článek je uložen v nosné konstrukci sestávající z misky a víčka. Tyto části jsou odděleny vrstvou polyamidu nebo jiného plastu, který má

jednak funkci izolace, jednak slouží jako těsnění. Obě zmíněné části, které současně slouží jako sběrače proudu, se zhotovují z nerezavějící oceli. Miska je plátovaná niklovou vrstvou o tloušťce desítek mikronů, víčko je potaženo o něco silnější měděnou vrstvou. Anoda je vyrobena z amalgamovaného zinku (protikorozi úprava) vysoké čistoty (minimálně 99.99%  $Zn$ ). Elektrolytem je hydroxid draselný (méně častěji sodný) zahuštěný vhodným derivátem celulózy, v němž může být příměs  $ZnO$ . Jeho nosičem je obvykle elektrolytový papír, nebo přímo gelová anoda. Katoda má rovněž tvar tabletky a je tvořena směsí sestávající z více než 90%  $HgO$  a necelých 10% koloidního grafitu. Separátorem (který je rovněž napuštěn elektrolytem) bývá plast, porézní celulóza, látka z vhodných vláken, celofán nebo pružná membrána.

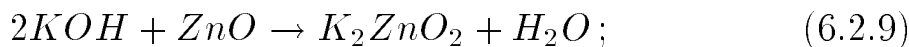
Na anodě probíhá oxidace zinku popsaná rovnicí 6.2.6, zatímco na katodě redukce rtuti podle rovnice



souhrnně lze proto psát



Jak vyplývá ze souhrnné reakce, množství a složení elektrolytu zůstává téměř nezměněno. Malá část hydroxidu draselného reaguje s oxidem zinečnatým podle rovnice



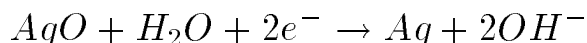
zinečnatán draselný vznikající v okolí anody zabraňuje její korozi a jeho vliv lze tedy hodnotit jako příznivý.

Počáteční napětí rtuťového článku po jeho zhotovení je 1.4 V, po krátké době skladování klesá na 1.345 V a na této hodnotě se udržuje téměř po celou zbývající skladovací dobu. Provozní napětí článku je trvale 1.2 V a teprve na samém konci vybíjení prudce klesá. Minimální přípustné napětí je 0.9 V; v takovém případě je nutno článek pokládat již za vybitý. Pozornost je rovněž třeba věnovat proudovému přetěžování článku (nejvyšší dovolený proud je dán rozměry elektrod a bývá uváděn výrobcem). Při odběru nadměrných proudů vzniká v článku nerovnovážný stav, který se vyznačuje nadbytkem iontů zinku. Při jejich reakci s vodou obsaženou v elektrolytu se začne vyvíjet plynný vodík a v článku

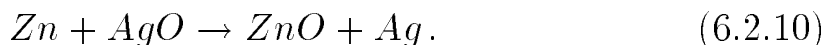
vzniká přetlak. Poněvadž zde není prostor pro vyvíjející se plyny a článek je hermeticky uzavřen, mohlo by dojít i k jeho destrukci. Hustota energie bývá poměrně vysoká a dosahuje až 115 W/kg (350 W/l). Další parametry jsou uvedeny v tab. 6.1–6.2. Rtuťové články špatně snášejí teploty nad 50<sup>0</sup> C. Nepříznivé jsou jejich ekologické aspekty, poněvadž rtuť je vysoce toxická.

#### d) Článek na bázi Ag - Zn

Stříbrozinkový článek je konstrukčně prakticky shodný s článkem rtuťovým a stejná je i oblast jeho používání. Katoda je ovšem v tomto případě tvořena směsí oxidů stříbra a grafitu, který se opět chová inertně. Dříve se používal spíše oxid stříbrný  $Ag_2O$ , nyní oxid stříbrnatý  $AgO$ . Reakce na katodě je popsána rovnicí



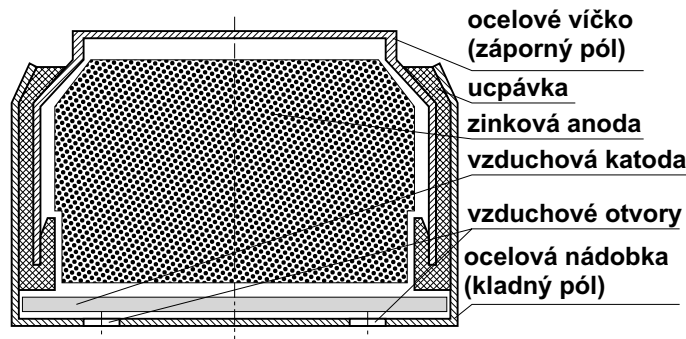
a souhrnně lze psát



Teoreticky dosažitelné napětí  $Ag - Zn$  článku je 1.589 V, ve skutečnosti je však vlivem nečistot o něco nižší, asi 1.55 V. Vybíjecí charakteristika je podobná charakteristice článku rtuťového. Stříbrný článek má vyšší měrnou energii (W/kg) než rtuťový, táž hodnota vztažená na objem je ovšem nižší. Lépe pracuje při nižších teplotách. Některé další údaje jsou v tab. 6.1–6.2. Nevýhodou je, že i stříbro je pokládáno z ekologického hlediska za toxické.

#### e) Článek na bázi Zn - vzduch

Je převážně konstruován jako článek knoflíkový (v poslední době se však objevují i články prizmatické) a jeho základní schéma je znázorněno na obr. 6.2.5.



Obr. 6.2.5: Schéma článku Zn - vzduch

Vzduchová katoda se nachází vespod článku, kde jsou umístěny i otvory pro přívod vzduchu (ty jsou během skladování článku uzavřeny).



Anoda, která zaujímá většinu prostoru článku, je z práškového zinku a od katody je oddělena separátorem. Separátor je napuštěn elektrolytem obsahujícím  $KOH$ . V článku probíhá za účasti tetrafluoroborátového katalyzátoru reakce



Používá se všude tam, kde se odebírají malé až střední proudy. Má nejvyšší hustotu energie, plochou vybíjecí křivku a velmi dlouhou skladovatelnost v neaktivovaném stavu. Napětí naprázdno je 1.4 V. Další parametry jsou uvedeny v tabulkách 6.1–6.2. Špatně snáší vyšší teploty.

### f) Článek na bázi Hg - Cd

V současné době se používá už jen sporadicky v některých aplikacích (např. vojenské miny). Důvodem je kadmium, které je drahé a navíc toxické. Uspořádání knoflíkového článku je podobné jako v případě článku  $Hg-Zn$ ; výhodou je, že vůbec neplyne a může být proto hermetizován. Katoda je vyrobena z grafitem obohaceného  $HgO$ , anoda z práškového lisovaného  $Cd$ . Separátor je vyroben z plastu nebo porézní gumy.

Souhrnnou chemickou reakci probíhající v článku lze popsat rovnicí



Napětí naprázdno je asi 0.9 V a vybíjecí křivka je plochá. Další údaje viz tabulky 6.1–6.2.

### g) Článek na bázi Mg - $MnO_2$

Jedná se o článek válcový, v němž se zinková anoda nahrazuje anodou vyrobenou z práškového hořčíku obohaceného některými dalšími kovy ( $Al$ ,  $Zn$ ,  $Mn$ ,  $Ca$ ); jejich přítomnost zabraňuje korozi. Katoda je z burelu obohaceného acetylénovými sazemi. Elektrolytem je roztok chloridu hořečnatého  $MgCl_2$ , bromidu hořečnatého  $MgBr_2$  nebo některých sloučenin chromu, barya a lithia, který je ztužovadlem zahuštěn do gelové formy. Základní schéma článku je na obr. 6.2.6.

Probíhající chemické reakce jsou podobné jako v alkalickém článku; souhrnně lze psát



Napětí článku naprázdno je asi 2 V, provozní napětí pak bývá o něco nižší. Kapacita je více než dvojnásobná oproti  $C-Zn$  článku. Jeho nevýhodou je to, že napětí začne narůstat až poté, co se uzavře vnější elektrický

obvod a dále to, že plynuje (během činnosti se zahřívá a vyvíjí se v něm vodík). Na druhé straně mohou tyto články pracovat i za teplot, při nichž se ostatní typy znehodnotí. Jejich výroba je dosti nákladná a proto se používají pouze pro speciální aplikace a vojenské účely.



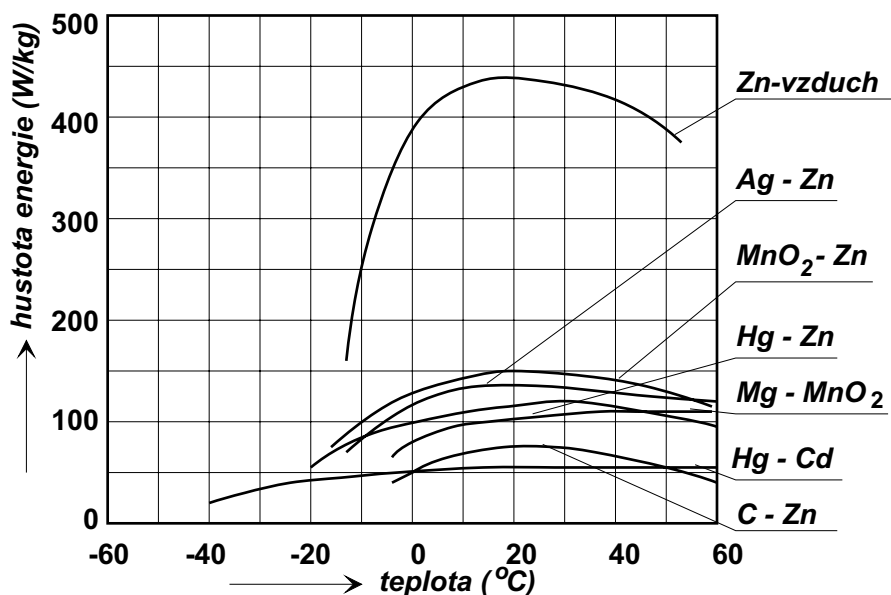
Obr. 6.2.6: Schéma článku  $Mg - MnO_2$

### Shrnutí

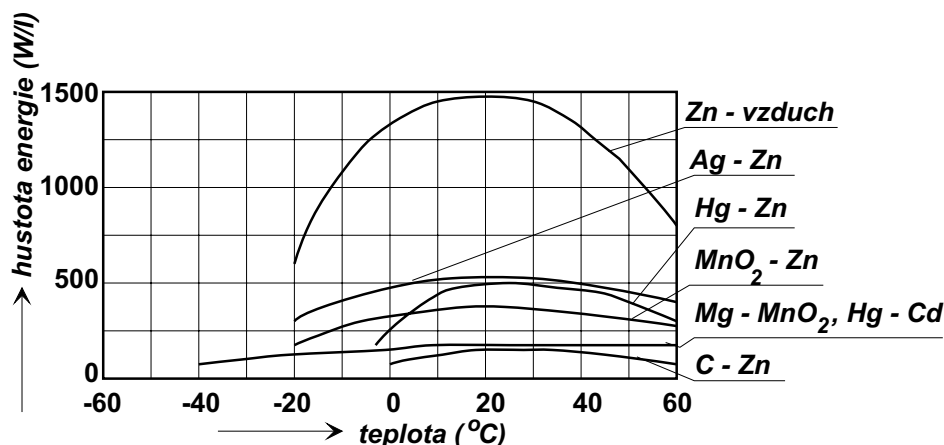
Výrobní programy světových výrobců baterií (Duracell, Varta, Eveready, Maxell, Sanyo, Toshiba, Tadiran a další) naznačují, že nejširšího uplatnění v oblasti suchých článků válcového typu dosahují v současnosti články alkalické s  $MnO_2$  a očekává se, že se tento trend v následujících letech ještě prohloubí. Tyto články jsou výrobně nepřiliš nákladné, nyní již ekologicky nezávadné a zlepšenou technologií se daří stále ještě zvyšovat jeden z jejich nejdůležitějších parametrů—hustotu využitelné energie. Teplotní rozsah, v němž může článek pracovat, je postačující, samovybíjení a plynování se pohybují v rozumných mezích. U klasických  $C - Zn$  článků nedosahuje poměr cena/využitelná energie tak příznivých hodnot a jejich výroba klesá. Hořčíkové články se využívají pouze velmi omezeně ve speciálních aplikacích (armáda, meteorologie) a v budoucnu by mohly být nahrazeny špičkovými články alkalickými.

V oblasti knoflíkových článků se jeví jako nejperspektivnější články  $Zn - \text{vzduch}$ , přičemž rozhodující vliv má dosažená hustota využitelné energie a ekologická nezávadnost. Prakticky jedinou větší nevýhodou je značná závislost kapacity článku na teplotě. Z těchto důvodů i do budoucna počítají světoví výrobci s produkcí článků stříbrných a velmi omezeně i rtuťových.

Na závěr je ještě provedeno srovnání jednotlivých typů suchých článků co do hustoty energie (obr. 6.2.7 a 6.2.8).



Obr. 6.2.7: Závislost hmotnostní hustoty energie článku na teplotě



Obr. 6.2.8: Závislost objemové hustoty energie článku na teplotě

Tabulka 6.1: Popis systémů článků

systém	katoda	anoda	elektrolyt	$U_n$ (V)
$C - Zn$	$MnO_2$	$Zn$	$NH_4Cl, ZnCl_2$	1.50
$MnO_2$	$MnO_2$	$Zn$	$KOH, NaOH$	1.50
$Hg - Zn$	$HgO$	$Zn$	$KOH, NaOH$	1.35
$Ag - Zn$	$Ag_2O$	$Zn$	$KOH$	1.60
$Zn-vzduch$	$O_2+katal.$	$Zn$	$KOH, NaOH$	1.40
$Hg - Cd$	$HgO$	$Cd$	$KOH$	0.91
$Mg - MnO_2$	$MnO_2$	$Mg$	$MgCl_2, LiCr$	2.00

**Tabulka 6.1: Popis systémů článků - pokračování**

SYSTÉM ČLÁNKU	SBĚRAČ PROUDU	SEPARÁTOR
$C - Zn$	uhlíková tyčinka	savý papír
$MnO_2$	mosazná tyčinka	porézní papír
$Hg - Zn$	poniklovaná ocel. čepička	plast, guma
$Ag - Zn$	poniklovaná ocel. čepička	polyamid
$Zn$ -vzduch	poniklovaná ocel. čepička	škrobový gel
$Hg - Cd$	poniklovaná ocel. čepička	plast, guma
$Mg - MnO_2$	uhlíková tyčinka	papír

**Tabulka 6.2: Parametry jednotlivých systémů**

system	provozní $U$ (V)	min. $U$ (V)	max. sklad. teplota $^{\circ}C$	provozní teplota $^{\circ}C$
$C - Zn$	1.25–1.15	0.9	40–45	5–50
$MnO_2$	1.25–1.15	0.9	40–50	-20–55
$Hg - Zn$	1.3–1.2	0.9	20–55	20–55
$Ag - Zn$	1.55–1.45	1.0	40–55	-20–55
$Zn$ -vzduch	1.4–1.2	1.0	20–40	0–55
$Hg - Cd$	0.9–0.7	0.6	65–80	55–80
$Mg - MnO_2$	1.8–1.6	1.2	40–70	20–60

**Tabulka 6.2: Parametry jednotlivých systémů - pokračování**

system	hustota energie (Wh/kg)	hustota energie (Wh/l)	kapacitní rozsah (Ah)	plynování
$C - Zn$	80 <sup>1</sup>	150 <sup>1</sup>	0.06–9	střední
$MnO_2$	150 <sup>1</sup> 80 <sup>2</sup>	400 <sup>1</sup> 350 <sup>2</sup>	0.03–30	malé
$Hg - Zn$	105 <sup>1</sup> 115 <sup>2</sup>	325 <sup>1</sup> 500 <sup>2</sup>	0.045–19	malé
$Ag - Zn$	130 <sup>2</sup>	500 <sup>2</sup>	0.015–0.25	malé
$Zn$ -vzduch	430 <sup>2</sup>	1450 <sup>2</sup>	0.05–10	malé
$Hg - Cd$	55 <sup>2</sup>	230 <sup>2</sup>	0.03–3	nepatrné
$Mg - MnO_2$	115 <sup>1</sup>	225 <sup>1</sup>	0.5–65	značné

<sup>1</sup> válcový článek, <sup>2</sup> knoflíkový článek