

genoskopiju i fluorografiju; danas ga zamjenjuju jeftinije fluorescentne mase na bazi cinkova i kadmijeva sulfida i sl.

Barijev acetat, $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ba} \cdot \text{H}_2\text{O}$, bezbojni trikliniski kristali, dobiva se otapanjem barijeva karbonata ili sulfida u octenoj kiselini, služi kao močilo u bojadisarstvu i bojadisarском tisku.

LIT.: C. A. Hampel, Rare metals handbook, New York 1956. — N. V. Sidgwick, The chemical elements and their compounds, New York 1950. — H. Remy, Lehrbuch der anorganischen Chemie, Leipzig 1960.

K. Ca. i R. Py.

BATERIJA, električna, u običajnom smislu, uređaj za proizvodnju električne struje neposrednim pretvaranjem kemijske energije u električnu. U širem smislu pojam električne baterije obuhvaća također sunčane ili fotoelektrične baterije, termoelektrične baterije i nuklearne baterije, u kojima se proizvodi električna energija neposredno iz svjetlosne energije, toplinske energije, odn. energije čestica emitiranih iz atomske jezgre. U skladu s općim smislom riječi »baterija« u tehnici, kao skupa više jednakih dijelova, aparata ili elemenata povezanih radi pojačanja djelovanja, električna baterija sastavljena je po pravilu od bar dva *električna elementa*. Međutim, u običnom govoru naziva se baterijom i kompletni uređaj koji se sastoji samo od jednog elementa. U ovom članku bit će govora o električnim baterijama u gore navedenom užem smislu, koje su sastavljene od *galvanskih elemenata*. Za ostale v. *Solarna baterija, Nuklearna baterija i Termoelement*.

Talijanski liječnik Luigi Galvani opazio je 1789 da se oguljeni žablji kraljci, obješeni bakrenom žicom na željeznu ogradu, trzaju svaki put kad dodirnu ogradu. On je to smatrao dokazom za postojanje životinjskog elektriciteta. Talijanski fizičar Alessandro Volta pokazao je 1794 da se dobiva električna struja kad god su dva vodljiva spojena različita metala istovremeno u dodiru s vodljivom tekućinom. On je sagradio 1799 prvu napravu za dobivanje stalne električne struje, poznati *Voltin stup*. Taj se sastojao od većeg broja srebrnih i cinčanih pločica i komada ljepenke, sukna, kože ili drugog poroznog materijala ovlaženog kiselinom; pločice su bile naslagane jedna na drugu tako da je svaka srebrna pločica bila s jednom cinčanom pločicom vodljivo spojena, a od druge odvojena navlaženim materijalom (sl. 1). Kasnije je Volta srebro zamijenio bakrom, a mjesto stupa upotrijebio je i niz posuda s razrijeđenom sumpornom kiselinom u koju su bile uronjene po jedna cinčana i jedna bakrena ploča. U čast Galvaniju nazvan je na taj način dobiveni elektricitet *galvanskim elektricitetom*; jedinica sastavljena od jednog para metalnih ploča (*elektroda*) i vodljive tekućine (*elektrolita*) među njima nazvana je *galvanskim elementom* (galvanskom ćelijom, galvanskim člankom), a skup spojenih galvanskih elemenata *galvanskom baterijom*.

Dalja etapa u razvoju galvanskih baterija označena je izumima radi smanjenja polarizacije: prvi *element s dvije tekućine* dao je Daniell (1836), *elemente s tekućim depolarizatorom* konstruirali su Grove (1839) i Bunsen (1841), *element sa čvrstim depolarizatorom* Leclanché (1868). Na bazi Leclanchéhova elementa napravljene su oko 1888 prve upotrebljive *suhe baterije* (Gaßner). God. 1859 konstruirao je Gaston Planté prvi upotrebljivi *električni akumulator*. Depolarizacija uzduhom, poznata već u Voltino vrijeme, tehnički je uspješno provedena 1879 (Maiche). Sasvim novog datuma su *baterije sa čvrstim elektrolitom*.

Galvanski element sastoji se dakle, u suštini, od dvije *elektrode* i *elektrolita*. Dio elektrode kojim se ona može povezati s drugom elektrodom ili sa spoljnim krugom struje naziva se *pol* elementa; dio pola kojim se element ili baterija priključuje na spoljni strujni krug zove se *priključak* elementa ili baterije.

Elektroda *od* koje u vanjskom krugu struje teku elektroni i na kojoj nastaju pozitivni ioni ili se izbijaju negativni, zove se *negativna elektroda* ili *anoda*; elektroda *prema* kojoj teku u vanjskom krugu struje elektroni i na kojoj se stvaraju negativni ili se izbijaju pozitivni ioni zove se *pozitivna elektroda* ili *katoda* galvanskog elementa. U elektrolitskoj ćeliji anoda (elektroda na kojoj nastaju pozitivni ili se izbijaju negativni ioni) spojena je s *pozitivnim*, a katoda (elektroda na kojoj nastaju negativni ili se izbijaju pozitivni ioni) s *negativnim* polom izvora istosmjerne struje, pa su se nekad riječi »anoda« i »katoda« (koje je Faraday prvobitno i stvorio za elektrode u elektrolizi) upotrebljavale kao sinonimi za riječi »pozitivna elektroda« i »negativna elektroda«, što je za galvanske elemente u suprotnosti s gore navedenom modernom definicijom. Pri čitanju starijih djela treba se čuvati zabune do koje može dovesti ova razlika u terminologiji.

Električne baterije dijele se na *primarne* (galvanske baterije u užem smislu riječi) i *sekundarne* (električne akumulatori). Sekundarne su baterije reverzibilne, tj. pusti li se kroz njih struja u smjeru protivnom smjeru struje koju proizvode, zbiva se u njima reakcija suprotna reakciji pri proizvodnji struje i njome se uspostavlja početno stanje; primarne baterije su ili ireverzibilne, tj. pri propuštanju struje u obrnutom smjeru u njima se zbivaju reakcije koje su bitno različite od reakcije koja daje struju i prema tome ne uspostavljaju početno stanje, ili su u načelu reverzibilne, ali ne ispunjavaju druge uvjete, tehničke i ekonomske, da budu upotrebljive kao sekundarne baterije. Sekundarne baterije mogu se, kad su iscrpene, ponovo »napuniti« i opetovano upotrijebiti, primarnim baterijama treba aktivne materijale nadoknaditi kad se istroše, ili se istrošene baterije bacaju. Ovdje će biti govora samo o primarnim baterijama; o sekundarnim baterijama v. *Akumulator*.

TEORIJA GALVANSKOG ELEMENTA

Volta je postanak električne struje smatrao posljedicom kontakta između metala, a ulogu elektrolita smatrao je sekundarnom. Još za njegova života Ritter je toj »kontaktnoj« teoriji suprotstavio »kemijsku«, prema kojoj je postanak struje uzročno povezan s kemijskom reakcijom. Ali tek kad su otkriveni zakoni termodinamike mogla se dokazati neodrživost Voltine teorije i formulirati veza između kemijske i električne energije u galvanskom elementu. Nakon postavljanja Arrheniusove teorije o elektrolitskoj disocijaciji i van 't Hoffove teorije o osmotskom pritisku u otopinama mogao je Nernst, pretpostavkom o »pritisku otapanja«, objasniti elektrodne procese i matematički formulirati njihove zakone.

Da bi se u galvanskom elementu kemijska energija trajno pretvarala u energiju električne struje, potrebno je: a) da se u njemu trajno zbivaju neke reakcije koje (sumarno uzeto) razvijaju energiju u obliku pretvorljivom u električnu energiju, i b) da se te reakcije zbivaju na dva odvojena mjesta tako da se između tih mjesta stvara i održava razlika električnog potencijala, bez koje ne može teći struja.

Zbog drugog zakona termodinamike, od ukupne energije koja se oslobađa pri nekoj kemijskoj reakciji može se samo jedan dio pretvoriti u rad, tj. u energiju različitu od toplinske, dakle i u električnu energiju. Prema osnovnom zakonu kemijske termodinamike, taj dio koji se može pretvoriti u rad na određenoj temperaturi T i pod konstantnim pritiskom u najpovoljnijem slučaju, tj. kad se pretvorba vrši reverzibilno, iznosi

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S, \quad (1)$$

gdje je ΔG taj (maksimalni) reakcijski rad, ΔH ukupna oslobođena energija (toplina reakcije) a ΔS promjena entropije nastala reakcijom, sve za količine tvari u molovima prema reakcijskoj jednadžbi. Lako je dokazati da je $\Delta S = - \left(\frac{\partial(\Delta G)}{\partial T} \right)_p$, tj. jednako temperaturnom koeficijentu reakcijskog rada, te se jednadžba (1) može pisati

$$\Delta H = \Delta G - T \left(\frac{\partial(\Delta G)}{\partial T} \right)_p \quad (\text{Gibbs-Helmholtzova jednadžba}).$$

Kad je ΔG pretvoren u energiju električne struje, njezina količina je izražena kao umnožak količine elektriciteta i elektromotorne sile, a taj je prema Faradayjevu zakonu:

$$\Delta G = - n F E, \quad (2)$$

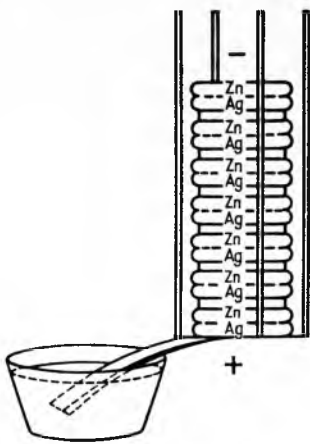
gdje je n broj ekvivalenata prema reakcijskoj jednadžbi, F količina elektriciteta vezana uz jedan ekvivalent (Faradayjeva konstanta) i E elektromotorna sila elementa. Predznak je minus jer se struja *dobiva* na račun reakcijskog rada, tj. kad sistem odgovarajuću količinu energije *gubi*. Uvrsti li se jednadžba (2) u Gibbs-Helmholtzovu jednadžbu, dobiva se zavisnost između toplinske reakcije ΔH , elektromotorne sile i njezina temperaturnog koeficijenta:

$$\Delta H = - n F \left[E - T \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_p \right].$$

Uvrsti li se brojna vrijednost Faradayjeve konstante F u kulonima, dobiva se, za E u voltima i ΔH u kalorijama, ova računaska formula:

$$\Delta H = - n \cdot 23\,062 \left[E - T \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_p \right].$$

Elektromotorna sila elementa jednaka je razlici između potencijalâ elektroda. Elektrode se u doticaju s elektrolitom nabi-



Sl. 1. Voltin stup

jaju zbog tendencije tvari da u otopinu šalju električki nabite ione, kojoj se tendenciji suprotstavlja osmotski pritisak otopine. Ako je *pritisak otapanja* tvari veći nego osmotski pritisak, preći će sa elektrode u otopinu električki nabiti ioni i elektroda će ostati sa nabojem suprotnog predznaka; ako je jači osmotski pritisak, nešto će se iona izlučiti na elektrodi i predati joj svoje naboje, tako da će ona dobiti naboj istog predznaka kao izlučeni ioni. Koja će od tih tendencija prevladati i kolika će biti tendencija koja prevlada — a to znači: kako će se nabiti elektroda i do kojeg potencijala — to zavisi, za danu elektrodu, o temperaturi i koncentraciji iona (osmotskom pritisku) u otopini uz elektrodu. Da bi se potencijali raznih tvari mogli upoređivati, normirane (standardizirane) su koncentracija iona i temperatura, pa se *normalnim (standardnim) potencijalom* tvari naziva potencijal do koga se ona nabija na 25°C u doticaju s normalnom otopinom svojih iona (tj. otopinom koja sadržava 1 ekvivalent tih iona u litri). Budući da se ne može mjeriti apsolutni potencijal jedne elektrode, već samo razlika potencijala između dvije elektrode, konvencijom je utvrđeno da će se svi potencijali upoređivati s potencijalom normalne (standardne) vodikove elektrode, tj. normalni (standardni) potencijal te elektrode je konvencijom stavljen jednak nuli. Elementi poredani po veličini njihova normalnog potencijala tvore *elektrokemijski naponski niz* (tabl. 1 i 2). Predznak potencijala u tom nizu odgovara načinu nabijanja elektrode; u USA se još upotrebljavaju obrnuti predznaci, po starijoj konvenciji. Potencijal elektrode u doticaju s otopinom iona koncentracije *c* izražava se iz normalnog potencijala po Nernstovoj jednadžbi:

$$E_e = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln c,$$

gdje je E_e potencijal elektrode, E_0 normalni potencijal elementa od kojeg je elektroda, R plinska konstanta, T apsolutna temperatura, n broj ekvivalenata u molu iona, F Faradayjeva konstanta, c koncentracija (ili tačnije: aktivitet) iona u ekvivalentima na jedinicu volumena.

TABLICA 1
ELEKTROKEMIJSKI NAPONSKI NIZ (STANDARDNI POTENCIJALI)
ZA KATIONE
 E_0 u V na 25°C i $c = 1$

Element	E_0	Element	E_0	Element	E_0
Li/Li ⁺	-3,01	Cr/Cr ²⁺	-0,86	Cu/Cu ²⁺	+0,34
Rb/Rb ⁺	-2,98	Zn/Zn ²⁺	-0,763	Co/Co ²⁺	+0,4
Cs/Cs ⁺	-2,92	Cr/Cr ³⁺	-0,71	Ru/Ru ²⁺	+0,45
K/K ⁺	-2,92	Ga/Ga ³⁺	-0,52	Cu/Cu ⁺	+0,52
Ba/Ba ²⁺	-2,92	Ga/Ga ²⁺	-0,45	Te/Te ²⁺	+0,56
Str/Sr ²⁺	-2,89	Fe/Fe ²⁺	-0,44	Po/Po ²⁺	+0,56
Ca/Ca ²⁺	-2,84	Cd/Cd ²⁺	-0,402	Rh/Rh ²⁺	+0,6
Na/Na ⁺	-2,713	In/In ³⁺	-0,34	Po/Po ³⁺	+0,65
La/La ³⁺	-2,4	Tl/Tl ⁺	-0,335	Os/Os ²⁺	+0,7
Mg/Mg ²⁺	-2,38	Co/Co ³⁺	-0,27	Rh/Rh ³⁺	+0,7
Y/Y ³⁺	-2,1	In/In ⁺	-0,25	Tl/Tl ³⁺	+0,71
Th/Th ⁴⁺	-2,06	Ni/Ni ²⁺	-0,23	Hg/Hg ⁺	+0,798
Sc/Sc ³⁺	-2,0	Mo/Mo ³⁺	-0,2	Ag/Ag ⁺	+0,799
Ti/Ti ²⁺	-1,75	Sn/Sn ²⁺	-0,14	Pb/Pb ²⁺	+0,80
Be/Be ²⁺	-1,70	Pb/Pb ⁴⁺	-0,126	Pd/Pd ²⁺	+0,83
U/U ³⁺	-1,7	Fe/Fe ³⁺	-0,036	Hg/Hg ²⁺	+0,854
Al/Al ³⁺	-1,66	D ₂ /2D ⁺	-0,003	Ir/Ir ²⁺	+1,0
V/V ³⁺	-1,5	H ₂ /2H ⁺	0,000	Pt/Pt ²⁺	+1,2
U/U ⁴⁺	-1,4	Bi/Bi ³⁺	+0,2	Au/Au ²⁺	+1,42
Nb/Nb ³⁺	-1,1	Sb/Sb ³⁺	+0,24	Ce/Ce ²⁺	+1,68
Mn/Mn ²⁺	-1,05	As/As ³⁺	+0,3	Au/Au ⁺	+1,7

Uvrste li se univerzalne konstante i pređe li se na dekadski logaritme, dobiva se računaska formula (E u voltima, T u °K, c u val/l):

$$E_e = E_0 + \frac{1,983 \cdot 10^{-4}}{n} T \log c. \quad (3)$$

Elektromotorna sila (EMS) elementa jednaka je razlici potencijala elektroda

$$E = E_p - E_n.$$

TABLICA 2
ELEKTROKEMIJSKI NAPONSKI NIZ (STANDARDNI POTENCIJALI)
ZA ANIONE

E_0 u V na 25°C i za $c = 1$

Reakcija	E_0	Reakcija	D_0
Te ²⁻ /Te	-0,92	2 Br ⁻ /Br ₂ (tekućina)	+1,066
Te ₂ ²⁻ /2Te	-0,84	2 Br ⁻ /Br ₂ (plin)	+1,08
Se ²⁻ /Se	-0,78	2 Br ⁻ /Br ₂ (otopina)	+1,09
S ²⁻ /S	-0,51	ClO ₂ ⁻ /ClO ₂ (plin)	+1,15
4 OH ⁻ /O ₂ +H ₂ O	-0,401	2 Cl ⁻ /Cl ₂ (plin)	+1,358
Re ⁻ /Re	-0,4	2 Cl ⁻ /Cl ₂ (otopina)	+1,40
2 J ⁻ /J ₂ (čvrst)	+0,536	4 OH ⁻ /O ₂ +2 H ₂ O	+1,4
2 J ⁻ /J ₂ (otopina)	+0,62	2 F ⁻ /F ₂ (plin)	+2,85
2 CNS ⁻ /(CNS) ₂	+0,77		

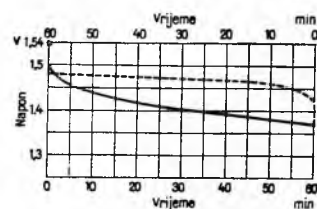
Polarizacija. Da bi galvanski element stalno davao struju, treba da se razlika među potencijalima elektroda ne samo uspostavi nego i održava. Tome se suprotstavlja *polarizacija*, tj. smanjenje elektromotorne sile ili čak nastajanje suprotne elektromotorne sile zbog promjena na elektrodama u toku rada elementa. Npr., ako se na pozitivnom polu Voltina elementa Cu/H₂SO₄/Zn razvija vodik brže nego što se može ukloniti, time se stvara element H₂/H₂SO₄/Zn, kojemu je EMS znatno manja nego Voltinu elementu. Ili, ako se u tom istom elementu cink otapa brže nego što se cinkovi ioni mogu difuzijom ukloniti iz okoline elektrode, narast će koncentracija c_{Zn} uz elektrodu, potencijal će elektrode postati pozitivniji i razlika potencijala će se uslijed toga smanjiti. U oba slučaja efekt će biti kao da je elektromotornoj sili Voltina elementa oduzeta suprotna EMS (*protu-EMS polarizacije*) elementa Cu/H₂SO₄/H₂ odn. Zn/H₂SO₄/ZnSO₄/Zn. Polarizacija zbog iscrpenja elektrolita ne može se spriječiti kad elektrolit sudjeluje u reakciji, ali se smanjuje ili nestaje ako baterija neko vrijeme stoji izvan pogona u otvorenom strujnom krugu (baterija se »oporavlja») jer se razlike u koncentraciji elektrolita difuzijom izjednačuju; polarizacija zbog promjene na elektrodama može se izbjeći upotrebom elemenata koji se ne mogu polarizirati (reverzibilnih), a može se spriječiti ili ublažiti *depolarizacijom*. Npr. Daniellov element Cu/CuSO₄/ZnSO₄/Zn ne može se polarizirati reakcijom na pozitivnoj elektrodi jer se ta reakcija sastoji od izlučivanja bakra na bakru. Depolarizacija se redovito sastoji od uklanjanja vodika sa pozitivnog pola oksidacijom.

Napon pražnjenja i kapacitet baterije. Napon galvanskog elementa jednak je teorijskoj elektromotornoj sili samo kad se procesi u elementu odvijaju reverzibilno, ili kad je strujni krug otvoren i element ne radi. Kad je vanjski krug struje zatvoren i element radi, napon je manji od EMS zbog unutarnjeg otpora elementa i polarizacije. *Napon pražnjenja (napon na stezaljkama)* U izražen je jednadžbom

$$U = E - E_p - IR_u,$$

gdje je E teorijska EMS elementa, E_p protu-EMS polarizacije, I struja u strujnom krugu, R_u unutarnji otpor elementa. Polarizacija i unutarnji otpor, a prema tome i napon na stezaljkama, mijenjaju se u toku rada elementa, u zavisnosti od toga kako se iscrpljuje elektrolit i u kolikoj mjeri okolnosti pri pražnjenju omogućavaju oporavljanje od polarizacije. Sl. 2 pokazuje promjenu napona s vremenom za vrijeme rada (apskisa raste od lijeva na desno) i za vrijeme oporavljanja (apskisa od desna na lijevo) suhe baterije na bazi Leclanchéova elementa. Razlika između početne vrijednosti i konačne (nakon oporavka) uzrokovana je definitivnim utroškom materijala pri reakciji, npr. smanjenjem ili povećanjem koncentracije elektrolita.

Kapacitet elementa ili baterije je ukupna električna energija što je element ili baterija može dati pod propisanim uvjetima iskorištavanja; izražava se u vatsatima, ampersatima ili vre-



Sl. 2. Tok napona za vrijeme rada i oporavljanja suhe baterije Leclanchéova tipa

menu potrebnom za pražnjenje. Izražavanje u ampersatima, iako vrlo uobičajeno, nije za primarne baterije, kad ih treba upoređivati, tako pogodno kao u slučaju akumulatora, jer napon na stezaljkama (s kojim treba pomnožiti ampersate da bi se dobila energija) može za razne primarne baterije biti vrlo različit, dok je za akumulatore uglavnom uvijek isti i općepoznat. Kapacitet baterija kojima napon za vrijeme rada stalno opada (v. sl. 2) zavisi uvelike o konačnom naponu; ukupni je kapacitet veći ako se iz takve baterije uzima struja sa prekidima za vrijeme kojih se ona može oporavljati. Znatno je utjecaj temperature na kapacitet; budući da s temperaturom raste EMS (prema jedn. 3), a opada unutarnji otpor, povišenje temperature ima redovito povoljan utjecaj na kapacitet baterije.

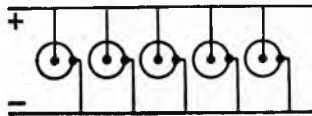
Spajanje elemenata u bateriju može biti serijsko, paralelno i kombinirano. Pri *serijskom spajanju* n jednakih elemenata (sl. 3), EMS baterije n puta je veća od EMS pojedinog elementa, a unutarnji otpor baterije je n puta veći od unutarnjeg otpora pojedinog elementa, kapacitet baterije jednak je kapacitetu pojedinog elementa. Po Ohmovu zakonu vrijedi



Sl. 3. Serijsko spajanje elemenata

$$I = \frac{nE}{R_v + nR_u} = \frac{nE}{R_v} \cdot \frac{1}{1 + (nR_u/R_v)}$$

gdje je E elektromotorna sila, R_v i R_u vanjski i unutarnji otpor pojedinog elementa, a I jakost struje u krugu. Iz te se jednadžbe vidi da je, uz dani R_v , struja baterije samo onda n puta veća od struje pojedinog elementa kad je $R_u \ll R_v$, inače je razlika između n -terostruke struje pojedinog elementa i struje baterije to veća što je veći omjer R_u/R_v i što je veći n .



Sl. 4. Paralelno spajanje elemenata

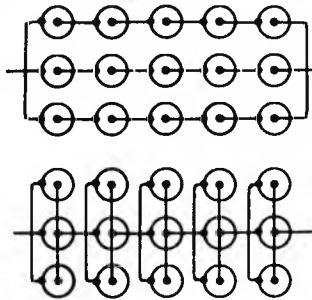
Paralelno (sl. 4) se mogu spajati samo elementi iste EMS, koja je onda i EMS baterije. Unutarnji otpor baterije je n puta manji od unutarnjeg otpora pojedinog elementa, kapacitet baterije je n puta veći od kapaciteta pojedinog elementa. Iz jednadžbe

$$I = \frac{E}{R_v + (R_u/n)} = \frac{E}{R_v} \cdot \frac{1}{1 + (R_u/nR_v)}$$

slijedi da je paralelni spoj povoljan kad je R_v malen u poređenju sa R_u . Pri *kombiniranom spajanju* (sl. 5) je p serijski od po s elemenata u seriji spojeno paralelno, odn. po p paralelno spojenih elemenata spojeno je u s serijski ($ps = n$). EMS takve baterije je sE , unutarnji otpor je sR_u/p . Iz jednadžbe

$$I = \frac{sE}{R_v + \frac{s}{p}R_u} = \frac{sE}{R_v} \cdot \frac{1}{1 + \frac{sR_u}{pR_v}}$$

lako je dokazati da se, uz dani n , dobiva najveći I kad je $s/p = R_u/R_v$, tj. kad se učini da je unutarnji otpor baterije jednak vanjskom otporu, tj. kad je $sR_u/p = R_v$.



Sl. 5. Kombinirano spajanje elemenata

Samopražnjenje. Ako elektrode nisu kemijski čiste, nastaju pod djelovanjem elektrolita između pojedinih raznovrsnih čestica iste elektrode potencijalne razlike koje stvaraju sitne kratko spojene lokalne elemente. Ta pojava uzrokuje trošenje elektroda (otapanje u elektrolitu) i onda kada baterija nije u radu a vanjski je strujni krug otvoren. Takvo »samopražnjenje« pojavljuje se prvenstveno na negativnim elektrodama mnogih elemenata kojima su te elektrode od cinka. Da se trošenje cinka samopražnjenjem spriječi ili smanji, cinčane se elektrode amalgamiraju, tj. na površini legiraju sa živom. Jednolična površina amalgamiranog cinka ne daje povoda za stvaranje lokalnih elemenata i struja.

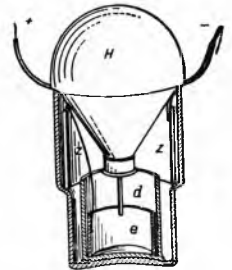
BATERIJE S TEKUĆIM ELEKTROLITOM

Električne baterije (galvanske) koje se danas industrijski proizvode i u tehnici primjenjuju spadaju pretežno u *baterije s tekućim elektrolitom*; u kudikamo manjoj mjeri upotrebljavaju se *baterije sa čvrstim elektrolitom*. *Rezervnim baterijama* nazivaju se baterije koje se proizvode i uskladištavaju u neaktivnom stanju a prije upotrebe se *aktiviraju* time da se u njih nalije tekućina ili uvodi plin, ili da se zagriju.

U najvećem obimu se baterije s tekućim elektrolitom upotrebljavaju u obliku tzv. *suhih baterija*, tj. baterija u kojima je tekući elektrolit pogodnim dodacima zgusnut, tako da ne može iscuriti ni kad se baterija postavi naglavce. *Mokre baterije*, koje su u načelu neprenosive zbog toga što je u njima elektrolit tekućina sa slobodnom površinom, bile su do izuma dinamomašine gotovo jedini izvori električne struje; danas je njihova upotreba ograničena na neka specijalna područja.

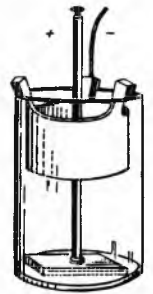
Mokre baterije. Većina tipova mokrih baterija koji su se u većoj mjeri nekad proizvodili i upotrebljavali, danas su samo historijski zanimljivi. Najdulje su se održale u upotrebi razne modifikacije Daniellova elementa sa dvije tekućine i Leclanchéov element sa čvrstim depolarizatorom. Tamo gdje primarne baterije nisu mogle biti zamijenjene akumulatorima, od mokrih baterija upotrebljavaju se danas najviše novi tipovi baterija s alkalničnim elektrolitom, depolarizirane uzduhom ili bakrenim oksidom. Neke druge mokre baterije upotrebljavaju se u maloj mjeri za specijalne svrhe.

Elementi s dvije tekućine. Prvi takav element bio je Daniellov, koji se sastojao od porozne posude s otopinom modre galice (CuSO_4) i bakrenom elektrodom, uronjene u posudu sa sumpornom kiselinom, i cinkove elektrode u obliku valjka koji je obuhvatio poroznu dijafragmu. Vrlo dugo su se upotrebljavale, naročito za signalne uređaje željeznica i pošte (a možda se i danas ponegdje upotrebljavaju) razne modifikacije Daniellova članka u kojima elektroliti nisu odvojeni dijafragmom nego otopina sumporne kiseline (odn. cinkova ili magnezijeva sulfata) pliva na otopini bakarnog sulfata, zbog znatne razlike u specifičnoj težini. Sl. 6 pokazuje *Meidingerov element* njemačkih saveznih željeznica. Bakrena elektroda e je u posebnoj čaši d da ne bi došla u dodir sa cinkom koji može otpadati s negativne elektrode z ; bakreni sulfat se nadoknađuje zasićenom otopinom iz balona H čije grlo odozgo siže u posudu s bakrenom elektrodom. EMS tog članka je 1,18 V, unutarnji otpor 3,5...4 Ω. Pod nazivom *Krügerov element* (sl. 7) njemačka pošta je upotrebljavala znatno pojednostavnjeni oblik Meidingerova elementa, a načelno jednak se element upotrebljavao u Francuskoj pod imenom *Callaudov element* i u USA pod imenom *gravity cell*. EMS tih članaka je 1,0 V, a unutarnji otpor 5 Ω. Ovi su elementi — u poređenju s modernim alkaljskim tipovima — zahtijevali dosta mnogo rada za održavanje. Smrtni udarac zadalo im je naglo povećanje cijene modre galice 1916.



Sl. 6. Meidingerov element

Historijski je zanimljiv *Groveov element*, koji je bio građen kao Daniellov, ali je mjesto bakra u bakarnom sulfatu imao platinu u koncentriranoj dušičnoj kiselini. EMS tog elementa je razmjerno visoka, 1,90...1,96 V, a unutarnji otpor vrlo malen, ~0,18 Ω. S retortnim ugljenom mjesto platine (*Bunsenov element*) i s drugim depolarizatorima (npr. *Poggendorffov element* s kromnom kiselinom mjesto dušične) taj element mnogo se upotrebljavao u vrijeme kad se električna struja dobivala pretežno iz primarnih baterija.



Sl. 7. Krügerov element

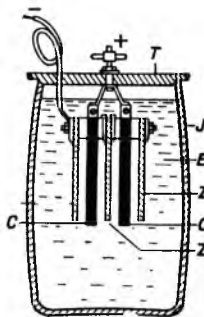
Mokre baterije i elementi sa čvrstim depolarizatorom. Najviše upotrebljavan takav element je *Leclanchéov*, kojemu je pozitivna elektroda ugljen okružen manganovim dioksidom, negativna elektroda cink, a elektrolit otopina amonijeva klorida (salmijaka). Sl. 8 pokazuje Leclanchéov element u

originalnom obliku (*C* je ugljen, *Z* cink, *P* depolarizator u glinenoj dijafragmi). Danas se proizvodi pod imenom *tobolasti element* pozitivna elektroda Leclanchéova članka; ona se na mjestu upotrebe stavlja u staklenu posudu i obavije u rastojanju od 2...3 cm negativnom elektrodom u obliku valjkasto zavijenog cinčanog lima sa zavarenom olovnom trakom kao priključkom. Elektrolit je obično 15% tna otopina salmijaka, koju treba mijenjati svakih sedam dana. Tako dobiven Leclanchéov element ima napon od 1,5 V, velikog je kapaciteta i može se proizvoditi u različitim veličinama. Tobolac se može držati na skladištu kroz neodređeno dugo vrijeme. Leclanchéove baterije služe u neelektrificiranim područjima za kućna zvonca, za pogon normalnih satova i telefonskih aparata, za automatske javljače vodostaja, temperature i sl. (0,1...0,3 A), zatim za signale (do 2 A), za paljenje teških topova (4...10 A) itd., dakle svugdje gdje se struja upotrebljava sa duljim prekidima kroz kratko vrijeme. Inače je u obliku suhe baterije Leclanchéov element daleko najviše upotrebljavani električni element. Njegova teorija obrađena je u ovom članku u poglavlju o suhim baterijama.



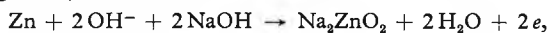
Sl. 8. Leclanchéov mokri element

Druga danas mnogo upotrebljavana mokra baterija sa čvrstim depolarizatorom je *Edisonova alkalična baterija* (sl. 9) s bakarnim oksidom, koja predstavlja moderan oblik elementa što su ga izumili F. de Lalande i G. Chaperon 1882. Negativne elektrode *Z* u elementu te baterije su ploče od amalgamiranog cinka, između njih je pozitivna ploča *C* napravljena prešanjem od bakarnog oksida u prahu i smještena u bakreni okvir; čim element počne da radi, bakarni se oksid na površini ploče reducira u bakar i ploča postaje vodljiva. Kako bakar ima manji specifični volumen nego oksid, površina pri redukciji bakarnog oksida u metal postaje istovremeno i porozna te redukcija može napredovati u dubinu ploče. Sve su ploče među sobom spojene izolatorima i jednim su svornjakom, koji je ujedno i pozitivni pol, pričvršćene na porculanski poklopac *T* staklene posude *Ź* u kojoj se nalazi elektrolit *E*, natrijeva lužina *d* 1,21 (20% NaOH), zaštićen od djelovanja ugljičnog dioksida u uzduhu slojem mineralnog ulja. Rjeđe su elektrode izrađene u obliku šupljih cilindara, koaksijalno smještenih. Posude su cilindrične, pravokutne ili u obliku bačve, od stakla otpornog prema lužini i naglim promjenama temperature. Kad se cinkove elektrode istroše, umetne se novi paket elektroda i obnovi se elektrolit, a stare elektrode se vraćaju u fabriku gdje služe kao sirovina za dobivanje bakarnog oksida.

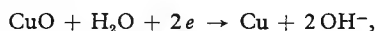


Sl. 9. Edisonova alkalična baterija

Reakcije koje daju struju u Edisonovu elementu jesu ove: na negativnoj elektrodi:



na pozitivnoj elektrodi:



što daje bruto-reakciju:



Početni napon takva elementa je uz normalno opterećenje 0,66 V, unutarnji otpor je vrlo malen.

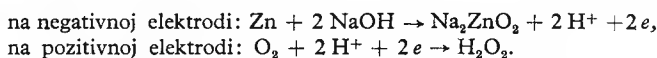
Edisonove baterije su u USA najviše upotrijebljene baterije jer se njima služe željeznice za signalizaciju i druge sigurnosne uređaje. Za te svrhe proizvode se elementi kapaciteta 250 Ah i za trajno opterećenje 1,00 i 9,00 A do napona od 0,5 V, 500 Ah (za trajno opterećenje 1,75, 2,25, 6,50 i 12,00 A) i 100 Ah, uz stalno opterećenje 3,50, 9,00 i 20 A. Elementi za mala opterećenja imaju tri elektrode (1 Cu + 2 Zn), za srednja opterećenja 5 elektroda (2 Cu + 3 Zn), za velika opterećenja imaju devet i više ploča. Elektrolit se smrzava tek ispod -20°C .

Dalja vrsta modernijeg mokrog elementa je element Ag/KOH/Zn, depolariziran srebrnim peroksidom. Prije nego što je pošlo

za rukom razviti ga kao akumulator, on je bio za specijalne svrhe upotrebljavan kao primarni element. Za njegove prednosti v. *Akumulator*.

Mokre baterije depolarizirane plinom. Depolarizacija uzduhom opažena je kratko vrijeme nakon Voltina izuma galvanskog elementa. Leclanché se njome koristio u svom elementu time što nije depolarizacionu elektrodu zaronio cijelu u elektrolit; sudjelovanje uzduha u depolarizaciji nazvao je »disanjem« ugljikove elektrode. Međutim, baterije s isključivo uzdušnom depolarizacijom tek su od razmjerno nedavna na tržištu. Elementi razvijeni u USA za svrhe željeznice imaju isti oblik kao Edisonovi (sl. 10), a imaju također isti elektrolit i jednake cinčane elektrode (jako amalgamirane), ali pozitivna im je elektroda ploča od izvanredno poroznog uglja (poroziteta 60%, prostorne težine svega 0,65 g/cm³), kojemu su pore tako sitne da elektrolit zbog napetosti površine ne može prodrijeti u nj. Porculanski poklopac ima otvore kroz koje uzduh može odozgo doprijeti do elektrode i u nju. Osim takvih elemenata prave se i baterije za radio-aparate, koje zbog svojih pravokutnih kutija od ebonita liče donekle na akumulatore.

Reakcije koje daju struju u takvim elementima smatra se da su ove:

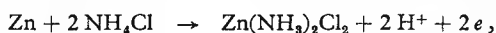


Vodik superoksid je nestabilan i raspada se oslobađajući polovicu prethodno vezanog kisika. EMS ovog elementa je 1,46 V. Element za potrebe željeznice ima kapacitet od 550 Ah ili 620 Wh, a izbija se kroz 275 sati uz opterećenje od 2,00 A; napon na stezaljkama pri tom pada od 1,22 na 1,05, držeći se dugo na $\sim 1,13$ V, dakle vrijednosti oko dvostruko višoj nego što je napon Edisonova elementa. Baterije za radio-aparate imaju kapacitete od 650 i 750 Ah, odn. 740...1005 Wh. Upotrebljavaju se i za telefonske instalacije, rezervnu rasvjetu, laboratorijske svrhe i slično.

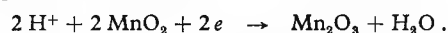
U novije vrijeme prave se i uzduhom depolarizirane minijaturne baterije aparata za nagluhe. Na tržištu su se pojavile i mokre baterije s uzdušnom depolarizacijom koje imaju kao elektrolit otopinu salmijaka namjesto lužine.

Suhe baterije. Kako je već gore rečeno, danas se galvanske baterije u najvećem obimu upotrebljavaju u obliku tzv. suhih baterija, tj. baterija s tekućim elektrolitom koji je zgusnut da ne bi mogao iscuriti. Od tih baterija, opet, kudikamo najveći dio (blizu 90%) otpada na baterije Leclanchéova tipa; ostatak su živine baterije, srebro-kloridne baterije, vanadijeve baterije i po koja druga.

Kemizam Leclanchéova elementa ni do danas nije posve razjašnjen, iako je istraživao uz upotrebu najsuvremenijih naučnih pomagala, kao što je elektronski mikroskop za proučavanje kristalnih faza koje nastaju i spektrograf masa za određivanje plinova koji se razvijaju. Po svemu sudeći, tok reakcija je i različit prema okolnostima pod kojima se izbijanje vrši, što objašnjava mnoga protuslovlja u nalazima istraživača. Pod normalnim uvjetima cink se na negativnoj elektrodi oksidira reagirajući s amonijevim kloridom:



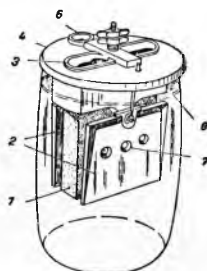
a na pozitivnoj elektrodi se razviti vodik in statu nascendi oksidira manganovim dioksidom:



Sumarna reakcija koja daje struju prikazana je, prema tome, jednadžbom:



Ispitivanje kristalnih faza na katodi pokazalo je da nastali Mn_2O_3 reagira s cinkovim spojem koji je tamo prisutan uslijed hidrolize cinkova klorida:



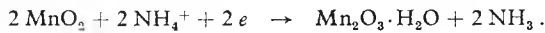
Sl. 10. Uzduhom depolarizirana baterija. 1 ugljena elektroda, 2 cinčana elektroda, 3 otvor za uzduh, 4 poklopac, 5 otvor za nalijevanje ulja, 6 zaštitni sloj ulja, 7 indikator istrošenosti cinčane elektrode



Zaista se pokazalo da reakcija elektrolita u sloju depolarizatora uz katodu postaje kiselija. $\text{ZnO} \cdot \text{Mn}_2\text{O}_3$ je hetaerolit, cinkov manganit, spoj izomorfan hausmanitu, manganomanganitu Mn_3O_4 . Pribroje li se i gornje dvije jednadžbe sumarnoj jednadžbi koja je prije toga izvedena, dobiva se da se kao kemijska reakcija koja daje struju može smatrati i ova:



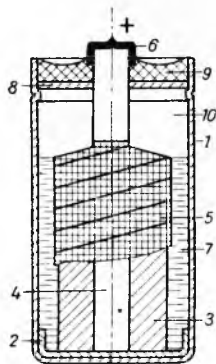
Ako se element jako optereti te se $\text{Zn}(\text{OH})_2$ na pozitivnoj elektrodi brže troši nego što može difuzijom pristići, razvija se amonijak:



Taj amonijak, prema prilikama (koncentraciji elektrolita, kiselosti i dr.), može ostati slobodan ili reagirati na razne načine. To objašnjava pojave polarizacije i oporavljanja Leclanchéova elementa. Grafit i čada u depolarizacionoj masi ne sudjeluju u reakcijama nego služe za to da masu čine provodljivom.

Konstrukcija suhih baterija Leclanchéova tipa. Razlikuju se dva tipa elemenata: cilindrični i pločasti.

Cilindrični elementi. Glavni dijelovi cilindričnih elemenata su depolarizaciona elektroda (pozitivna), cinkova čašica (negativna elektroda) i elektrolit (sl. 11). Depolarizaciona elektroda 5 sastoji se od mješavine manganova dioksida (prirodnog, umjetnog ili elektrolitskog), acetilenske čade, grafita i salmijaka 3, koja se uz dodatak neke količine elektrolita preša zajedno s ugljenim štapićem 4 u tzv. pupe. One mogu biti različite veličine ili oblika, a obaviju se obično filter-papirom, koji se učvrsti koncem da se spriječi njihovo bubrenje i raspadanje. Na ugljeni štapić se nabije mesingasta kapica 6 a dno i vrh pupe se parafiniraju. Čašica od cinka 1 ima unutarnji promjer nešto veći od promjera pupe, a debljina zida određena je s obzirom na činjenicu da se metal za vrijeme reakcije troši. Elektrolit je vodena otopina salmijaka i cinkova klorida uz eventualni dodatak drugih sastojina. Da se spriječi samopražnjenje na cinku, elektrolitu se dodaje mala količina sublimata (živina klorida HgCl_2), čime se zidovi čaše amalgamiraju. Obični elektrolit ima specifični otpor 2,42 Ω cm na 20°C, a smrzava se na -23°C. Za rad na niskim temperaturama upotrebljavaju se specijalni elektroliti; npr. elektrolit sa 12% ZnCl_2 , 15% LiCl , 8% NH_4Cl i 65% H_2O ne smrzava se ni na -40°C. Drugi elektroliti za tu svrhu sadržavaju i kalcijeva klorida. Elektrolitu se radi zgušnjavanja dodaje pšenično brašno (ponekad krumpirov škrob); nakon ulijevanja u čašicu s pupom masa se želatinira (već prema sastavu mase) na običnoj temperaturi, grijanjem ili hlađenjem. Kruta želatinozna masa služi u elementu kao dio elektrolita (ostatak je u pupi) i istovremeno kao separator koji sprečava kontakt među elektrodama. ZnCl_2 u elektrolitu pomaže želatiniranje, smanjuje nagrizanje cinka, sprečava polarizaciju i održava u elektrolitu povoljan pH. Postoje bezbrojne modifikacije u proizvodnji suhih elemenata. Tako se u novije vrijeme pupe sve češće ne obavijaju papirom, a postoji i postupak da se depolarizaciona masa nabije izravno u čašicu nakon što je u nju umetnut separator od kartona na pogodan način impregniran elektrolitom. Vrsta sirovina i recepture mješavina za depolarizator i elektrolit variraju prema namjeni baterije, npr. prema tome da li će se baterija upotrijebiti naskoro poslije fabricacije ili će ležati na skladištu, da li će biti opterećena povremeno ili trajno, jako ili slabo, da li treba da radi na normalnoj ili niskoj temperaturi itd. Čašice i pupe prave se i kvadratne.

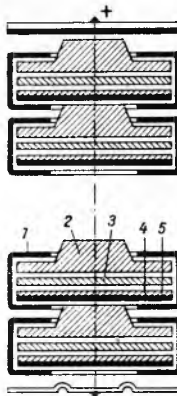


Sl. 11. Cilindrični suhi element

Na dnu čašice odvojene su elektrode izolacijom 2, pri vrhu elementa stavi se vjenčić 8 od izolacionog materijala, koji štiti i centriraju pupu. Na kraju se element zatvori nalijevanjem bitumena ili druge izolacione mase, da se spriječi isušavanje elektrolita. Između ramena pupe i vjenčića nalazi se uzdužni prostor koji služi za »disanje« elementa. Dva ili više elemenata, spojeni

serijski, paralelno ili kombinirano, pakovani u zajedničku kutiju i snabdjeveni priključcima, čine suhu galvanisku bateriju.

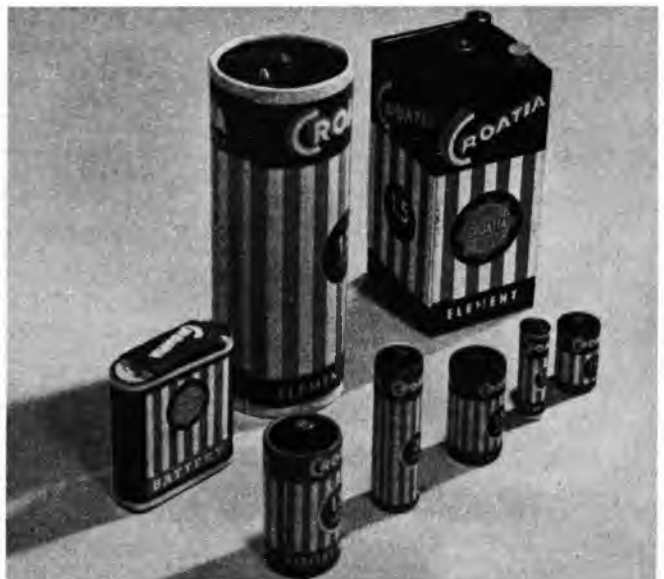
Pločasti elementi. Elementi s pločastim elektrodama su zapravo najstariji poznati elementi: Voltin stup bio je sastavljen od takvih elemenata. Ali taj način konstrukcije bio je brzo napušten jer se onda nije znalo kako spriječiti da elektrolit iscuri i dospije u metalni kontakt elektroda. U modernim pločastim elementima to je postignuto na razne načine, od kojih se primjera radi navodi princip jedne vrste američkih baterija Leclanchéova tipa (sl. 12). Negativnu elektrodu predstavlja u njima tzv. duplex-elektroda, cinčana pločica 4 s donje strane prevučena folijom 5 koja vodi struju ali je nepropusna za elektrolit. Danas se za to upotrebljava folija izrađena od mješavine grafita, čade i neke pogodne umjetne smole, npr. poliizobutilena. Preko te mase negativna elektroda dolazi u kontakt s pozitivnom elektrodom drugog elementa, ona dakle ima istu ulogu kao ugljeni štapić cilindričnih elektroda. Na gornju stranu duplex-elektrode položen je — kao separator i nosilac elektrolita — list papira 3 jednake veličine kao elektroda, a natopljen



Sl. 12. Pločasti suhi element

zgnusnutim elektrolitom. Na separator položena je pozitivna elektroda 2 opet iste površine, napravljena od manganova dioksida, grafita i čade na isti način kao pupa cilindričnih elektroda. Ta ploča od depolarizacione mase ravna je na donjoj strani, gdje je u kontaktu sa separatorom, a na gornjoj ima u sredini plosnatu uzvisinu, kojom će, kad se elementi sastave u bateriju, doći u kontakt sa donjom stranom duplex-elektrode slijedećeg elementa. Sva tri dijela elementa, duplex-elektroda, separator i ploča depolarizatora, gurnu se u obujmicu 1 od gume ili umjetne plastične mase, koja pokriva strane tako stvorenog paketa, a gornju i donju plohu samo toliko da ostavlja slobodnu uzvisinu na pozitivnoj ploči i odgovarajuću površinu na duplex-elektrodi. Od takvih elemenata obrazuje se baterija tako da se potreban broj naslaže jedan na drugi, na vrhu dodaje još jedna duplex-elektroda, stup vrpcom ili kanapom stegne i onda umoči u izolacionu masu.

Baterije sa četverouglatim pločastim elementima imaju izvjesne prednosti pred baterijama s elementima cilindrična oblika. Budući da bolje iskorištavaju prostor, baterije su znatno manjih dimenzija, a uz to su lakše i imaju veći kapacitet. Međutim, imaju veći unutarnji otpor pa se ne smiju opteretiti strujom jačom od 30 mA, dok baterije s cilindričnim elementima podnose opterećenja i do 500 mA i više, a normalno rade pod opterećenjem od 300 mA. Stoga se pločaste baterije upotrebljavaju



Sl. 13. Suhe baterije. U prednjem redu od lijeva na desno: R 20, 2 R 10, R 14, R 6, R 10; u stražnjem redu: 3 R 12, R 40, S 4 nalivna

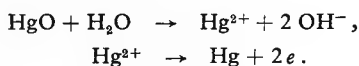
uglavnom za tranzistorske aparate, kao anodne baterije i za druge primjene u kojima dolazi do izražaja njihov veći napon i manje dimenzije, a opterećenje je maleno.

Svojstva i upotreba suhih baterija Leclanchéova tipa. Suhu elementi cilindrična oblika (prema JUS N. J 2.030 od 1960 oznaka: R) prave se u 11 veličina s promjerom 11...64 mm i visinom 30...166 mm (R1...R40), pločasti (oznaka prema JUS: F) prave se s dimenzijama $24 \times 13,5 \times 2,8$ mm do $60 \times 45 \times 10,4$ mm (F 20...F 100). Do 100 cilindričnih ili 60 pločastih elemenata spajaju se serijski (oznake: 100 R odn. 60 F); do 18 cilindričnih paralelno (oznaka npr. R 25—18) u baterije za razne svrhe. Tako se npr. elementi R 1...R 20 upotrebljavaju za osvjetljenje i kao baterije nižeg napona (A-baterije) za aparate za nagluhe, baterije 2 R 10 i 3 R 12 za osvjetljenje, baterije 10 F 20, 15 F 20, 20 F 20 i 30 F 40 u aparatima za nagluhe kao baterije višeg napona (B-baterije), baterije R 20, R 25—4, R 25—8 i 3 R 25 kao A-baterije za radio-aparate, baterije 30 F 40...100, 45 F 30...40, 60 F 40, 30 R 10 i 30...100 R 12 kao B-baterije za radio-aparate, a elementi R 40 i S 4 (kvadratna) za signalne aparate.

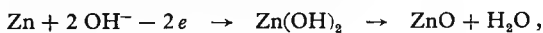
EMS jednog suhog Leclanché-elementa je 1,6 V, odn. malo više ili manje, prema upotrebljenim sirovinama. Kao nazivni napon uzima se 1,5 V za element, za bateriju 1,5 puta broj elemenata spojenih u seriji. Zbog svojstva Leclanchéova elementa da mu napon na stezaljkama pri opterećenju stalno opada, a nakon oporavka opet naraste, kapacitet elementa zavisi mnogo o tome s kakvim prekidima i kroz koje se vrijeme on opterećuje dok mu napon padne na krajnju vrijednost. Stoga standardi propisuju, prema namjeni elementa ili baterije, način opterećenja pri određivanju kapaciteta. Npr. baterije za osvjetljenje se prazne 5...30 minuta dnevno kroz otpor 5...20 Ω (prema veličini) uzastopno 5 dana sedmično, baterije za radio-aparate 4 sata dnevno kroz 5...15 000 Ω , uzastopno 5 dana sedmično. Propisani kapaciteti su, primjerice: po prvom načinu ispitivanja 620 min do krajnjeg napona 0,75 V za element R 20, 1240 min do krajnjeg napona 3,0 V za 4 R 25; po drugom načinu 4 h do krajnjeg napona 1 V za R 20, 160 h do krajnjeg napona 90 V za 100 R 12.

Jednaku važnost kao pogonske karakteristike baterije ima često njezina trajnost pri skladištenju, s obzirom na to da baterije ponekad kroz dulje vrijeme leže na skladištu prije nego budu upotrebljene, ili se transportiraju na velike udaljenosti. Baterije se kvare pri skladištenju uslijed šamopražnjenja zbog nečistoća na cinku, uslijed otapanja cinka u elektrolitu (pri čemu se razvija vodik: $Zn + 2 NH_4Cl \rightarrow Zn(NH_3)_2Cl_2 + H_2$), uslijed redukcije manganova dioksida organskim supstancijama (pri čemu nastaje ugljični dioksid), uslijed oksidacije i korozije cinka četverovalentnim ionima mangana ili ionima bakra (s mesingane kapice) koji su nepažnjom dospjeli u elektrolit; uslijed isparavanja vode iz elektrolita. Standardi zahtijevaju da nakon određenog vremena skladištenja kapacitet baterije ne opadne na manje od 80% kapaciteta propisanog za novu bateriju. Propisana vremena skladištenja iznose za baterije za osvjetljenje, aparate za nagluhe i radio-aparate 3 ili 6 mjeseci, prema veličini.

Druge vrste suhih baterija. Živine baterije imaju negativnu elektrodu od amalgamiranog cinka, katodu od živina oksida, pomiješanog (radi bolje vodljivosti) s grafitom, i elektrolit koji se sastoji od kalijeve lužine zasićene cinkovim oksidom (odn. kalijevim cinkatom). Na pozitivnoj elektrodi se izbjaju živini ioni koji su nastali iz živina oksida:



Na negativnoj elektrodi cink ide u otopinu:

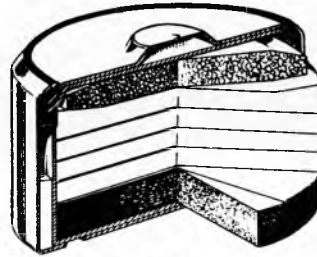


što je sumarno:



EMS elementa izračunata iz gornje jednadžbe iznosi 1,317 V. Elektrolit ne sudjeluje u reakciji i stoga EMS ne zavisi bitno o njegovoj koncentraciji, pa se element i ne polarizira za vrijeme rada nego održava razmjerno konstantan napon do potpunog istrošenja cinka. Stoga je kapacitet takvog elementa, po jedinici težine, 2,3...3 puta veći od kapaciteta Leclanchéova suhog elementa. Zbog skupoće depolarizacijske mase takvi elementi

ne mogu služiti u širokom obimu za sve svrhe, već se izgrađuju većinom u obliku plosnatih kutijica ili dugmeta promjera $\sim 15\text{--}30$ mm i visine 6...17 mm za vojne prenosne radio-uređaje, tranzistorske radio-aparate, uređaje za telekomunikaciju, aparate za nagluhe, geofizičke instrumente i sl. Sl. 14 pokazuje (znatno povećano) presjek kroz tipičan takav element. Na dnu unutrašnje čelične zdjelice (čije je dno pozitivni pol elementa) nalazi se sloj depolarizacijske mase, a nad njime potreban broj slojeva elektrolita zgusnutog karboksimetilcelulozom; između depolarizatora i elektrolita je list mikroporoznog, prema lužini otpornog pergament-papira, koji sprečava čestice depolarizatora da dospiju



Sl. 14. Živin element

u elektrolit i do cinka. Na vrhu elektrolita je tableta od amalgamiranog cinka, i sve je pokrito čeličnim poklopcem, koji tvori negativni pol, i stegnuto vanjskim čeličnim kućištem. Između ovog i unutrašnje posudice nalazi se porozno brtvilo za sigurnost. Količina cinka odmjerena je tako da se sav cink potroši nešto prije nego što se izreducira sva živa, tako da ne može doći do razvijanja vodika potkraj rada elementa.

U iste svrhe kao živine baterije služe *alkalne suhe Leclanchéove baterije*, koje namjesto HgO imaju kao depolarizator MnO_2 , eventualno uz dodatak malih količina HgO. Njihov je kapacitet 50% viši od kapaciteta obične Leclanchéove baterije analogne veličine. U USA razvijena je u posljednje vrijeme (za prenosne televizore) alkalna suha Leclanchéova baterija koja se može ponovno nabiti do 20 puta i tako daje ukupno energiju od ~ 200 Wh. Za specijalne svrhe konstruirana je i Leclanchéova alkalna baterija s kalijevim dikromatom kao depolarizatorom.

Još minijaturniji elementi nego živini jesu *vanadijski elementi*, koji nisu veći od dugmeta na cipeli a služe kao izvor napona (a ne struje) za mreže elektroničkih aparata, kao aparata za nagluhe i sl. Imaju oblik žira, pri čemu je čašica od cinka ili kadmija anoda, a izolirano u njoj smješteni oraščić od vanadijeva pentoksida katoda. Elektrolit između njih je viskozna pasta amonijeva glikolborata. Jedan element daje i kroz 10 i više godina bez bitne promjene EMS 1,04 (kad je anoda Zn) odn. 1,2 (kad je anoda Cd). Elementi se spajaju u baterije time što se u držala s oprugama umeću tako da je pozitivna elektroda jednog elementa u dobrom kontaktu s negativnom elektrodom slijedećeg.

Dalja vrsta suhe baterije koja se upotrebljava najviše kao izvor konstantnog potencijala uz vrlo mala opterećenja jest *suha baterija sa srebrnim kloridom* kao depolarizatorom. Element joj se sastoji od cilindrične cinčane posude, koja ujedno služi kao negativna elektroda, elektrolita od vodene otopine klorida i drugih soli cinka, zgusnute brašnom i škrobom, i srebrne žice s prevlakom srebrnog klorida kao pozitivne elektrode. Posuda je zatvorena sadrenim čepom kroz koji prolaze priključci. Sumarna reakcija tog elementa je $Zn + 2 Ag^+ \rightarrow 2 Ag + Zn^{2+}$. Težina takvog elementa je 45 g, EMS 1 V, unutarnji otpor 2...3 Ω , kapacitet ~ 1 Ah ili $\sim 10\,000$ sati uz opterećenje od 0,1 mA. Normalno stalno opterećenje ne treba da bude veće od 10 mA, ali kroz vrlo kratko vrijeme može se element opteretiti i sa 300...500 mA. 50...200 elemenata spaja se u seriji ili kombinirano u bateriju tako da se može oduzeti svaki napon od 1 V do maksimuma u stepenima od 1 V. Takve baterije upotrebljavaju se npr. u medicinskim aparatima i uz galvanometre kojima se ispituje strujni krug prije okidanja detonatora pri miniranju u građevinarstvu i otpucavanju u rudarstvu. Za ovu drugu svrhu čini ih naročito pogodnima nizak napon, dug vijek trajanja i velik unutarnji otpor, koji predstavlja dodatno osiguranje protiv prijevremene eksplozije.

REZERVNE BATERIJE

Kako je rečeno već u uvodu ovog članka, rezervne baterije (koje se nazivaju i *baterijama s naknadnim djelovanjem*) proizvode se i skladište u neaktivnom stanju i aktiviraju se bilo uli-jevanjem tekućine, bilo uvođenjem plina, bilo grijanjem.

Baterije koje se aktiviraju tekućinom (nalivne baterije). U načelu se svaka mokra baterija može izgraditi tako da se elektrolit u nju nalijeva tek prije same upotrebe. Tako su npr. konstruirane *baterije Leclanchéova tipa* s cilindričnim elementima u kojima je depolarizacijska masa sasvim suha, a na mjestu elektrolita se nalazi suha mješavina salmijaka, brašna, nešto sublimata i piljevine. Baterija je hermetски zatvorena smolom a otvor za nalijevanje vode je zatvoren čepićem. Neposredno prije upotrebe u bateriju se nalije čista voda i time se ona (dosta sporo: obično za ~1 sat) aktivira. Nakon potpunog aktiviranja napon jednog elementa iznosi 1,5 V. Ima i malih bakrenih elemenata, tipa Edisonova, kapaciteta 75 Ah, u kojima su elektrode cilindričnog oblika smještene u staklenoj tubi gore zatvorenoj poklopcem na navoj, a između elektroda i poklopca smještena je tableta od kalijeva hidroksida, koja se otapa kad se tik prije upotrebe kroz otvor u poklopcu nalije voda.

Za specijalne svrhe, naročito vojne, konstruirane su baterije koje se aktiviraju uronjavanjem u vodu (i morsku) ili se tekućina iz posebnog rezervoara pakovanog uz bateriju pogodnim mehanizmom (eventualno teledirigiranim) prebacuje u bateriju. Tim baterijama vrijeme aktiviranja redovito treba da bude vrlo kratko, a one same moraju biti što lakše. Za takve baterije upotrebljavaju se i elementi koji se inače za obične baterije ne upotrebljavaju, kao magnezijevi elementi sa srebrnim ili bakrenim kloridom kao depolarizatorom i olovni elementi sa topljivim produktima reakcije.

Element *magnezijeve baterije sa srebrnim kloridom kao depolarizatorom* napravljen je tako da se na traku srebrne folije, kojoj je površina djelovanjem solne kiseline ili elektrolitskim postupkom pretvorena u klorid, položi najprije traka filter-papira pa traka magnezijeve folije iste veličine i sve zajedno smota. Tako dobiveni element može se izolirati zamatanjem u foliju od pogodne mase i na nj namotati drugi element. Za veće napone prave se i plosnate baterije slaganjem pločica (površine 2×2 do 4×4 cm) kloriranog srebra, filter-papira, magnezija i izolatora u mnogo slojeva navedenim redom. Baterije se aktiviraju umakanjem u vodu bilo kakve vrste. Ako se aktiviranje vrši u slanoj vodi i temperiranoj prostoriji, baterija se poslije toga može upotrijebiti na temperaturi i do -40°C , jer se pri radu razvija nešto topline. Baterija daje i uz gustoće struje od $7,5 \text{ A/dm}^2 \sim 1,6 \text{ V}$ po elementu i taj napon je gotovo konstantan za cijelo vrijeme izbijanja. Kapacitet joj je, na jedinicu volumena ili težine, vrlo velik. Takve se baterije upotrebljavaju za lampice na balonima s pomoću kojih meteorolozi mjere brzinu vjetrova, za radio-sonde, za avijaciju itd. Mjesto srebrnog klorida upotrijebljen je i jeftiniji kuproklorid (Cu_2Cl_2); takve baterije imaju niži napon i manji kapacitet (1,1...1,3 V po elementu). U posljednje vrijeme pojavile su se magnezijeve baterije s depolarizacijom organskim spojevima koji sadržavaju dušik i klor, npr. s trikloromelaminom. Takve baterije imaju napon 1,9...2,3 V po elementu, a i kapacitet im je gotovo dvostruko veći nego kapacitet baterije sa kupro-kloridom (po jedinici težine i volumena) i veći nego kapacitet bilo koje druge baterije.

Olovne baterije s topljivim produktima reakcije konstruirane su u USA u početku Drugoga svjetskog rata, u okviru nastojanja da se nađe lagana baterija pogodna za rad s meteorološkim instrumentima, kao što je radio-sonda i balon za mjerenje brzine vjetrova na niskim temperaturama koje vladaju u višim slojevima atmosfere. Tipičan je predstavnik takve baterije olovna baterija s perklornom kiselinom kao elektrolitom. Ta baterija ima pozitivne elektrode od PbO_2 a negativne od Pb, kao olovni akumulator, a i reakcija koja u njoj daje struju sasvim je analogna reakciji olovnog akumulatora, s time da na objema elektrodama nastaje olovni perklorat $\text{Pb}(\text{ClO}_4)_2$ namjesto sulfata. Ali konstrukcija, rad i karakteristike primarnih baterija s perklornom i sekundarnih sa sumpornom kiselinom iz temelja su različite. Zahvaljujući tome da su produkti reakcije elementa s perklornom kiselinom — za razliku od olovnog sulfata — topljivi u vodi, aktivni se materijali (PbO_2 i Pb) mogu u njoj u cijelosti iskoristiti, pa na elektrodama ne treba da bude više PbO_2 i olova nego što traži Faradayjev zakon, i stoga baterije mogu biti vrlo lagane. PbO_2 se obično dobiva elektrolitskim taloženjem na niklenoj mreži kao anodi. EMS elementa $\text{PbO}_2/\text{HClO}_4/\text{Pb}$ zavisi od koncentracije kiseline: raste

na 23°C od 1,85 V za element s kiselinom 40%tnom na 2,23 V kad je kiselina 70%tna. Kiselina veće koncentracije ne upotrebljava se zbog njezine eksplozivnosti. Za baterije koje su namijenjene radu na temperaturama ispod -40°C treba uzeti razrijeđenu kiselinu (40%), za rad na sobnoj temperaturi i iznad nje može se upotrijebiti najkoncentriranija kiselina (70%), za opću upotrebu uzima se koncentracija 50...60%. Zbog opasnosti od eksplozije ne treba raditi na temperaturama iznad 40°C . Kad su ti elementi pravilno konstruirani, njihov je napon za vrijeme izbijanja konstantniji nego napon suhih baterija i većine drugih primarnih baterija.

Nedostatak je tih baterija da im se pozitivna elektroda stojeći u elektrolitu brzo kvari: kiselina nagriza nikal pa sloj PbO_2 puca i otpada (zbog toga taj sloj treba da bude što kompaktniji, a nikako porozan kao u akumulatorima). Takve se baterije mogu stoga upotrebljavati samo kao nalivne, a kad su jednom aktivirane, treba ih odmah upotrijebiti.

Zbog dobrog iskorištenja aktivnih materijala, ove baterije imaju i uz veliko opterećenje razmjerno velik kapacitet po jedinici težine: do $\sim 45 \text{ Wh/kg}$ po elementu. I najmanji od tih elemenata, težine svega 7 g, ispražnjen za 1 minutu do napona od 1 V, daje $9,4 \text{ Wh/kg}$, što je mnogo u poređenju s kapacitetom većine drugih elemenata uz toliko opterećenje. Olovne baterije s perklornom kiselinom grade se težine od 7 g (bez rezervoara, punjenje pipetom) do preko 5 kg (sa rezervoarom). Izmišljene su ingeniozne metode za aktiviranje baterija, bilo tako da se elektrolit iz boce odjednom usiše u evakuiranu bateriju, bilo da se udarom, pritiskom ili s pomoću eksploziva (izdaleka električki opaljenog) ukloni pregrada između baterije i rezervoara.

Gradene su i baterije koje namjesto opasne perklorne kiseline imaju kao elektrolit fluorobornu kiselinu (HBF_4) ili silikofluornu kiselinu (H_2SiF_6); kapacitet takvih baterija je, međutim, 25 odn. 35% manji nego kapacitet baterija s perklornom kiselinom.

Učinjeni su i uspješni pokusi da se u elementu $\text{PbO}_2/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Pb}$ olovo na negativnoj elektrodi zamijeni cinkom. Budući da je Zn u naponskom nizu mnogo više udaljen od PbO_2 nego Pb, a zbog topljivosti cinkova sulfata može se do kraja iskoristiti, takav element ima velikih prednosti za primjene koje zahtijevaju jaka opterećenja baterije kroz kratko vrijeme. Zbog korozije cinka u sumpornoj kiselini takva baterija može biti samo nalivna.

Baterije koje se aktiviraju plinom. Neki plinovi na običnoj temperaturi reagiraju sa čvrstim tvarima dajući vodljivu tekućinu koja može služiti kao elektrolit u galvanskom elementu. Tako plinoviti *trifluorid bora* (BF_3) reagira sa suhim dehidriranim barijevim hidroksidom uz postanak vrlo kisele otopine koja sadržava barijeve soli, borate i fluoroborate, a plinoviti *amonijak* reagira s amonijevim solima dajući vodljive tekućine. Na osnovu toga konstruirane su baterije koje se aktiviraju borovim trifluoridom (radni napon 1,6...3,1 V po elementu) ili amonijakom (1,3...1,6 V po elementu). Na drugom se principu osniva *klorini elementi*, koji ima kao pozitivnu elektrodu porozni ugljen, kao negativnu cink, a između njih sloj elektrolita zgusnuta brašnom. Čuva se u hermetски zatvorenim posudama u atmosferi bez kisika do časa upotrebe, a onda se aktivira uvođenjem klora, koji služi kao depolarizator. Radni napon takva elementa je 1,3...1,9 V; baterije se sastoje od pločastih elemenata naslaganih jedan na drugi i odvojenih vodljivom i za plin nepropusnom folijom. Sve tri spomenute vrste baterija odmah se aktiviraju, imaju velik kapacitet, dobro rade u vrlo širokom području temperature i mogu se jeftino proizvoditi.

Baterije koje se aktiviraju grijanjem (termalne baterije). Neki spojevi, npr. alkalijski kloridi i hidroksidi, koji su vrlo loši vodiči elektriciteta kad su čvrsti, u rastaljenom stanju su vrlo dobri vodiči (druge vrste) i mogu služiti kao elektroliti u galvanskim elementima. To se iskorištava u baterijama koje treba da rade za velike studeni; ali kako elektrodni elektroliti ne mogu dugo odolijevati korozivnom djelovanju taline, upotreba takvih baterija ograničava se na specijalne (npr. vojne) svrhe, kad treba da djeluju svega nekoliko minuta. Element sastavljen od cinka kao negativne i srebrnog oksida kao pozitivne elektrode i ploča eutektične smjese natrijeva i kalijeva hidroksida, zagrijan na 200°C ili više, daje kroz nekoliko minuta struju

velike jakosti; napon mu je uz gustoću struje od 15 A/dm² pozitivne ploče 1,16 V na 200°C, 1,23 V na 250°C, 1,30 na 300°C. Jedna baterija s elektrodama od magnezija i manganova dioksida i natrijevim hidroksidom kao elektrolitom ima veći napon i zbog veće stalnosti reaktanata dulji vijek trajanja nego baterija s cinkom i srebrnim oksidom. Ukupni koeficijent iskorištenja termalnih baterija je nizak jer toplina utrošena za taljenje elektrolita nije iskorištena za proizvodnju struje; stoga su takve baterije redovito malih dimenzija.

Pravljene su takve baterije i s kalcijem kao negativnom elektrodom, metalnim kromatima kao pozitivnom elektrodom i kloridima kao elektrolitom. Postignuti su time radni naponi i preko 3 V po elementu.

BATERIJE SA ČVRSTIM ELEKTROLITOM

Takve baterije sastoje se od elemenata kojima je elektrolit ili čvrsta kristalna sol koja je prvenstveno ionski vodljiva, ili membrana selektivno permeabilna za ione (v. *Ionski izmjenjivači*). U oba slučaja vodljivost treba da je gotovo 100% ionska, jer se element kroz elektronski vodljiv elektrolit kontinuirano izbija. Tipični element sa čvrstom soli je element AgCl/PbCl₂/Pb. Pri izbijanju olovo se oksidira na ione Pb²⁺, a srebrni klorid reducira na metalno srebro. EMS tog elementa je 0,49 V. Na osnovu njega napravljene su minijaturne baterije; jedna, npr., daje 90...100 V uz opterećenje od 10⁻¹¹A, a ima kapacitet 1 A sek (tj. skoro milion dana uz 10⁻¹¹A). Rok skladištenja joj je najmanje 30 dana na 70°C, a radi na svim temperaturama između -55 i 75°C. Baterija je cilindrična, ø 9 mm, duljine 25 mm.

Primjer elementa s ionoizmjenjivačkom membranom je element: Ag/membrana permeabilna za Ag⁺/membrana permeabilna za Zn²⁺/Zn. Reakcija pri izbijanju povećava količinu iona cinka a smanjuje količinu iona srebra proporcionalno prošloj struji. EMS takva elementa je ~1,5 V. Vrijeme skladištenja mu je maleno (zbog elektronske vodljivosti membrane) a kapacitet je ograničen malom koncentracijom izmjenljivih iona u membrani. Element sa slojem manganova dioksida na inertnom metalu (npr. tantalu) mjesto srebra i membrane uz njega, ima, uz isti volum, 100 puta veći kapacitet.

Napravljene su baterije bez tekućine i na taj način da su pločice od elektrodnih materijala (npr. cinka i MnO₂) naslagane izmjenično u direktnom kontaktu i odvojene separatorom od papira premazanog obostrano nekom voskastom tvari (npr. polietilen-glikolom) u kojoj je otopljena mala količina pogodine soli (npr. ZnCl₂). Stup od 25 takvih elemenata MnO₂/ZnCl₂/Zn, duljine 8,5 mm i ø 6,5 mm, ima težinu 1,5 g; početna EMS mu je 1,5 V po elementu. Zbog slabe vodljivosti elektrolita unutarnji otpor je velik i struja koja se može dobiti je malena (~1,5·10⁻⁷ A/cm²), pa se takve baterije upotrebljavaju samo kao izvori napona duga vijeka (10...20 godina) i minijaturnih dimenzija.

DOMAĆA PROIZVODNJA ELEKTRIČNIH BATERIJA

U Jugoslaviji postoje danas tri tvornice električnih baterija: »Croatia« u Zagrebu (najveća, postoji preko 50 godina), »Zmaj« u Ljubljani i »Nikola Tesla« u Gospiću. Sve te tvornice proizvode puni program suhih i nalivnih članaka i baterija Leclanchéova tipa, cilindrična i pločasta oblika. Ukupni broj radnika zaposlenih u toj proizvodnji iznosi oko 700, fabrikaciona je površina 4000 m², vrijednost bruto-produkta (1961) 1,8 milijardi dinara. Proizvodni kapaciteti pokrivaju domaću potrebu na svim vrstama elemenata i baterija, a znatne se količine izvoze, osobito anodne i kombinirane baterije za radio-aparate. Izvozne zemlje su naročito zemlje bliskog Istoka i sjeverne afričke obale, zatim Njemačka Demokratska Republika. God. 1961 izvezeno je 1,5 kt u vrijednosti od 800 miliona dinara.

U USA proizvedeno je 1957 primarnih baterija u vrijednosti od 126 miliona dolara; sekundarnih baterija je u istoj godini proizvedeno za 353 miliona dolara.

LIT.: C. Drucker i A. Finkelstein, Galvanische Elemente und Akkumulatoren, Leipzig 1932. — G. W. Vinal, Primary batteries, New York 1950. — C. Droischmann, Moderne Primärbatterien, Berlin 1951. A. Joh.

BAZIS (osnovica). Osnovne geodetske tačke nalaze se na fizičkoj površini Zemlje na udaljenostima od 30...60 km. Kako je fizička površina Zemlje veoma neravna, bilo bi vrlo zamorno, a i nedovoljno tačno, određivati međusobni položaj tih tačaka direk-

nim mjerenjima dužina. Njihov se međusobni položaj određuje indirektno, time što se formiraju geometrijske figure, trokuti, a na terenu mjere kutovi tih trokuta (*triangulacija*). Da bi se mogle izračunati dužine strana svih tih trokuta koji se naslanjaju jedan na drugi, potrebno je znati dužinu bar jedne strane, i ta se strana zove osnovnom stranom triangulacije. Teško je, međutim, na zemljištu naći čist i ravan potez bez terenskih prepreka koji bi imao potrebnu dužinu za osnovnu stranu (30...60 km), da bi se ona mogla direktno izmjeriti. Zato se izabere na ravnom terenu neka manja dužina, 5...8 km, koju je moguće direktno mjeriti, i ona se direktno izmjeri. Ta se dužina zove (geodetska) *osnovica* ili *bazis*. Sva triangulacija bivše Austro-Ugarske, radena potkraj prošloga stoljeća, izračunata je samo na jedan bazis, josefstadtski. Bilo je, doduše, izmjereno još 16 drugih bazisa, ali su oni služili samo kao kontrola mjerenja. Većina bazisa bila je dužine 4...6 km; najduži bio je bečki (josefstadtski), 9,5 km, a najkraći sinjski, 2,5 km. Na teritoriju naše države izmjereni je tada mariborski, dubički, sarajevski, sinjski i vršački bazis.

Na području Srbije postavljeni su i izmjereni 1904 ovi bazisi: paraćinski (5 km), negotinski (4 km), vranjski (5 km) i loznički (5 km). Između dva rata postavljeni su 1922 i izmjereni bazisi prizrenski (5 km), strumički (6 km) i pilepski (6 km), a 1924 sjenički (5 km).

Pri računanju triangulacije prvog reda na području Srbije, Makedonije i Crne Gore uzeti su u obzir svi bazisi izmjereni na tom području, ali je radi povezivanja čitave teritorije Jugoslavije i radi orijentacije mreže (posebna orijentacija nije izvršena, jer bi za nju bilo potrebno izvršiti i niz astronomskih mjerenja) mreža bila naslonjena na triangulaciju Austro-Ugarske u Bosni. Takvim načinom dobivena je jedinstvena mreža na cijelom teritoriju Jugoslavije. Ta je mreža uz neke nadopune (u staroj su, naime, austrijskoj mreži postojale neke praznine, a i mnoge su tačke od tada nestale) služila za sva praktična mjerenja i za izradu različitih karata i planova do danas.

Austrijska orijentacija trigonometrijske mreže bila je loše izvršena, pa je tako i cjelokupna naša mreža pogrešno smještena na izabranom elipsoidu. Ta se pogreška očituje na graničnim potezima sa susjednim državama koje imaju svoju orijentaciju, a iznosi i do 300 m. Mnoge su trigonometrijske tačke i reda nestale. Svi austrijski bazisi na našem teritoriju ili su nestali ili nisu više upotrebljivi. Zbog svih tih razloga naša je civilna i vojna geodetska služba preuzela zadatak: da obnovi triangulaciju prvog reda s novim mjerenjima; da postavi i izmjeri niz novih bazisa i bazisnih mreža na teritoriju koji je nekad pripadao Austro-Ugarskoj; da nanovo izmjeri nekoliko postojećih bazisa na teritoriju Srbije i Makedonije; da izvrši astronomska mjerenja na potrebnom broju osnovnih tačaka radi pravilne orijentacije mreže (određivanje geografske širine, dužine i azimuta). U tom cilju postavljeni su i izmjereni u vremenu između 1950 i 1957 novi bazisi (i odgovarajuće bazisne mreže), svake godine po jedan, i to ovim redom: kod Radovljice, Zagreba, Osijeka, Okučana, Mostara, Titograda, Livna i Udbine. Ponovo je izmjerena bazis sjenički. Novi raspored bazisa (i bazisnih mreža) na teritoriju naše države prikazuje sl. 1.

Na osnovu relativno kratkih neposredno mjerenih bazisa (nekoliko kilometara) moraju se dobiti međusobni položaji svih tačaka na teritoriju neke države i čitavih kontinenata, a konačno se mora dobiti veličina i oblik Zemlje. Da bi se sveo na najmanju mjeru utjecaj pogrešaka, koje se pri tom neizbježno gomilaju, moraju bazisi biti izmjereni s najvećom mogućom tačnošću. Isto se tako moraju najtačnije znati i dužine mjernih sprava, koje se nazivaju bazisnim aparatima.

Bazisni aparati. Približno do kraja XIX st. bazisi su se mjerili letvama dugačkim 4...6 m, a od onda do danas invarnim žicama dugačkim redovito 24 m, po metodi švedskog profesora Jäderina. Letve su ispočetka bile drvene, kasnije metalne. Traženi su metali i legure sa što manjim koeficijentom rastezanja. Dužina je svake takve letve ispitana komparacijom, a ispitan je i koeficijent rastezanja. S vremenom su se ti aparati i mjerenja usavršavali. Da živin termometar što bolje primi temperaturu same letve, ugrađivani su termometri u samu mjeru, a mjera se uvukla u drvenu kutiju da se zaštiti od direktnog utjecaja sunca.

Općenito se letve mogu podijeliti na *konačne* ili *kontaktne letve* i *letve sa narezima*.