

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

СЕМИНАРСКИ РАД

УПОТРЕБА ВЕНТИЛОМ РЕГУЛИСАНИХ ОЛОВНИХ БАТЕРИЈА
ЗА НАПАЈАЊЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИХ УРЕЂАЈА

ПРЕДМЕТ: Специјалне електричне инсталације

Студент:
Дарко Ђ. Врачар

Ментор:
Проф. Др. Зоран Радаковић

Београд, јун 2004

Садржај

1. УВОД.....	1
2. ТЕОРИЈСКА ОСНОВА.....	2
2.1 ОСНОВНЕ ЧИЊЕНИЦЕ	2
2.2 ПОДЈЕЛА И ПРИМЈЕНА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИХ БАТЕРИЈА	2
2.3 ПРИНЦИП РАДА ВЕНТИЛ-РЕГУЛИСАНИХ БАТЕРИЈА	4
2.3.1 Електрохемијска реакција	4
2.3.2 Теорија интерне рекомбинације	5
2.4 КОНСТРУКЦИЈА	6
2.5 ОСНОВНИ ПОЈМОВИ И КАРАКТЕРИСТИЧНЕ ВЕЛИЧИНЕ	8
2.5.1 Капацитет.....	8
2.5.2 Напони	10
2.5.3 Пажњење	10
2.5.4 Пуњење	12
2.5.5 Редно и паралелно везивање.....	16
2.5.6 Валовитост струје	16
2.5.7 Самопражњење.....	17
2.5.8 Складиштење	18
2.5.9 Радни вијек батерија	19
2.5.10 Циклусни рад.....	20
2.5.11 Струја кратког споја и унутрашња отпорност.....	21
2.5.12 Емисија гаса	22
2.5.13 Вентилација просторија.....	23
2.5.14 Сигурносни размак.....	23
2.5.15 Емитовање топлоте	24
3. ПРАКТИЧНИ АСПЕКТИ	25
3.1 СТАЊЕ НА ТРЖИШТУ	25
3.2 ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА	25
3.3 УСЛОВИ У ПРОСТОРИЈИ И МОНТАЖА БАТЕРИЈА	26
3.4 ЕКОНОМСКИ АСПЕКТИ	28
4. ОДРЖАВАЊЕ БАТЕРИЈА	29
4.1 КАПАЦИТИВНЕ ПРОБЕ БАТЕРИЈА	30
4.2 ОМСКЕ МЕТОДЕ УТВРЂИВАЊА СТАЊА БАТЕРИЈА.....	32
5. ЗАКЉУЧАК	36
ЛИТЕРАТУРА.....	37
ИНТЕРНЕТ СТРАНИЦЕ.....	37
ДОДАТАК А - РАЧУНСКИ ПРИМЈЕРИ ИЗБОРА БАТЕРИЈА	38
ПРИМЈЕР 1. ПРАЖЊЕЊЕ КОНСТАНТНОМ СТРУЈОМ.....	38
ПРИМЈЕР 2. ПРАЖЊЕЊЕ КОНСТАНТНОМ СНАГОМ	38

1. Увод

Посљедњих година свједоци смо убрзаног развоја телекомуникација и пратећих садржаја. Развој је очевидан не само у домену мобилне и бежичне телефоније већ и класичне тзв. фиксне телефоније.

Да би телекомуникациона опрема радила како треба потребно је обезбједити квалитетно и поуздано напајање електричном енергијом како на једносмјерном тако и на наизмјеничном напону. Телекомуникациони уређаји (код нас) раде на једносмјерном напону +24 V, -48 V и +60V, док пратећи рачунарски сервери раде на наизмјеничном напону 230 V, 50 Hz или 3x400/230 V, 50 Hz.

Непрекидност напајања потрошача обезбјеђује се употребом разних машина и уређаја. То могу бити нпр. дизел-електрични агрегат, агрегат са гасном турбином, уређај за непрекидно напајање (енгл. UPS - *Uninterruptable Power Supply*), батеријска поља, соларно напајање, вјетрогенератор и сл. Често се користе и хибридна напајања тј. комбинације неких од горе наведених система.

Већина од горе наведених система у свом саставу има неку батерију која служи као акумулатор електричне енергије у неком коначном интервалу времена.

У овом раду ћемо анализирати неке аспекте везане за употребу оловних батерија (херметичке вентилом регулисане) у киселини као резервног напајања телекомуникационе опреме која ради на једносмјерном напону. Циљ нам је да објаснимо основне појмове везане за ове батерије као и да укажемо на неке специфичности при употреби и одржавању оваквих система напајања. Рад је намјењен, свима онима који желе да се баве или нешто сазнају о батеријским резервама, како инжењерима тако и студентима.

2. Теоријска основа

2.1 Основне чињенице

По нашем пропису, под стационарним оловним батеријама се подразумевају хемијски извори електричне енергије једносмјерног напона, који се користе као резервни извор електричне енергије за напајање телекомуникационих уређаја [1]. У даљњем тексту навешћемо пар дефиниција по IEC пропису [2,3].

Секундарна ћелија је конструкција састављена од електрода (позитивних и негативних) и електролита (галванске ћелије), која чини основну јединицу секундарне батерије. Номинални напон ћелије је 2 V. Секундарна ћелија је реверзибилни извор електричне енергије способан да више пута прими и преда електричну енергију. Примарна ћелија није допуњива. Када се каже ћелија онда се мисли на секундарну ћелију стављену у одговарајуће кућиште (контејнер).

Секундарна батерија је група од двије или више секундарних ћелија повезаних међусобно и коришћених као извор напајања потрошача на једносмјерном напону. Број секундарних ћелија везаних редно одређује номинални напон секундарне батерије. Нормално је да се користи 2, 3 или 6 секундарних ћелија.

Батеријски моноблок је секундарна батерија којој су паковања електрода убачена у одговарајући контејнер (кућиште) са више преграда. Уобичајен је и назив блок или батеријски блок.

Под батеријом се подразумева више батеријских моноблокова или ћелија повезаних међусобно које служе као извор електричне енергије на једносмјерном напону. Већ смо рекли да су ти напони у телекомуникацијама +24 V, -48 V и +60V. Батерије могу да се везују и паралелно у циљу постизања веће струје ка потрошачима.

У даљем тексту подразумева се да говоримо о батеријској ћелији или о батеријском блоку иако то често нећемо наглашавати.

Електролит је мјешавина сумпорне киселине H_2SO_4 и дестиловане дејонизоване воде.

Исправљач је уређај који претвара систем наимјеничних напона и струја одговарајуће учестаности у систем једносмјерних напона и струја одговарајуће снаге. Подразумева се да излазне карактеристике исправљача задовољавају потребе потрошача и батерија при њиховом напајању.

Комбинација исправљача и оловне батерије у киселини постаје систем када се веже паралелно електричном оптерећењу. Потрошач је опрема која вуче снагу на једносмјерном напону из исправљача и/или батерије. Комбинација исправљач-батерија-оптерећење је најефикаснија када су све компоненте међусобно добро усклађене.

2.2 Подјела и примјена телекомуникационих батерија

Када су исправљач и батерија трајно повезани међусобно и са оптерећењем, а исправљач регулише напон напајања потрошача и батерија, такав систем зовемо систем са стално пуним батеријама (енгл. *full-float system* или *floating-battery system*).

Већина инжењера сматра да су системи са стационарним батеријама најбржи и најпоузданији системи резервног напајања критичних потрошача у току коначног интервала времена.

По начину конструкције батерије се дијеле у двије основне групе:

- отворене (енгл. *flooded* или *VLA-vented lead acid*),

- херметички затворене вентилом регулисане (енгл. *VRLA – Valve Regulated Lead Acid*).

У овом раду ћемо разматрати само батерије другог типа јер су по свим перформансама боље од батерија отвореног типа. Батерије првог типа се и даље производе и има их доста у употреби и код нас. Јефтине су, али заузимају више простора и захтјевају досипање воде.

Главна карактеристике вентилом регулисаних оловних батерија су: херметичка затвореност, одржавање је олакшано, не захтјевају досипање воде, заузимају мање простора, већа густина енергије по запремини и/или маси, мање самопражњење, дужи животни вијек, широк радни опсег температура, економичан рад. Оне су скупље од отворених приликом куповине, али кад би се направила техно-економска анализа видјели би да су херметички затворене батерије економичније. Постоје два типа ових батерија:

- са електролитом апсорбованим у преградама од стаклених влакана (енгл. *AGM - Absorbed Glass Mat* или *starved design batteries*),
- са електролитом имобилизованим у гелу (енгл. *Gell*).

Исти произвођач у својој понуди обично има оба типа батерија. Батерије са апсорбованим електролитом су погодне за примјену гдје имамо пражњење великим струјама док су гел батерије мање осјетљиве на промјену температуре.

Прву батерију типа гел направила је фирма Sonnenschein 1957. и од тада се све више употребљавају у свијету (поготово од 80-тих) и код нас (од 90-тих). Класичне (отворене) батерије су у употреби већ више од 100 година.

Постоји више модела батерија у зависности од примјене или главних особина. Произвођачи подешавају карактеристике батерија према специфичним захтјевима сваке од примјена. Тако имамо нпр. батерије за телекомуникације, производњу и дистрибуцију електричне енергије, даљинско управљање и сигурносна напајања, алармне системе и сигурносно освјетљење, медицину, уређаје за непрекидна напајања, електричну вучу, соларно напајање итд. Не препоручује се употреба батерија за неку намјену која није прописана од стране произвођача јер ћемо имати лоше преформансе, скратићемо животни вијек батерије, често није економично, а можемо изазвати и прегријавање батерија. За поређење: батерије за соларно напајање су великог капацитета (реда 500-3000Ah), мањих напона (до 60 V) и предвиђене су за дуготрајно пражњење малом струјом (реда до 10A), док су батерије за уређаје непрекидног напајања (UPS) малог капацитета (реда до 100Ah), великог напона (реда 200-300V по полу) и предвиђене су за краткотрајно пражњење великом струјом (реда 100A). Батерије за телекомуникационе уређаје су негдје између ове двије споменуте врсте. Оно што је добро је да се често праве батерије које имају разноврсну (универзалнију) примјену тако да увијек можемо наћи батерију каква нам треба.

Главне особине које обично разматрамо при избору батерије су : начин прављења електрода (мрежа или у туби), конструкција (моноблок или ћелија), опсег капацитета у Ah, животни вијек изражен у годинама, број циклуса и неки специфични захтјеви као нпр. висока струја пражњења.

Произвођачи, у своји каталозима, обично дају табеле са примјенама њихових батерија и главним особинама истих. Свака примјена или особина има одговарајући графички симбол тако да се лако можемо сналазити кад прегледамо каталоге различитих произвођача. На наредној слици приказане су такве табле за Dryfit серију батерија произвођача Sonnenschein, Њемачка [4].

Постоје и разне националне и међународне класификације батерија као нпр. DIN, UL, Vds, EUROBAT, BP Telekom итд. Навешћу EUROBAT (европско удружење произвођача и купаца батерија) класификацију по вијеку трајања само као примјер како можемо да вршимо подјелу батерија. То су батерије [5]:

- опште намјене (3-5 год.),
- стандардне комерцијалне (6-9 год.),

- високих преформанси (10-12 год.),
- дугог животног вијека (преко 12 година).

Series	A 200	A 300	A 400	A 500	A 500 C	OGIV	A 600	A 600 Solar	Solar Block	A 700
Applications										
Telecom										
Energy production/energy distribution										
Remote switch/control systems, emergency power supply, data systems										
UPS										
Home, security alarm systems, emergency/safety lighting										
Mobile systems (navigation, lighting, portables, photovoltaic)										
Main Features										
Grid plate										
Tubular plate										
Construction type										
Monoblock										
Cells										
Capacity range in Ah	 1 200 Ah	 1 800 Ah	 8.5-180 Ah	 1.2-1.15 Ah	 4.3-1.111 Ah	 18-258 Ah	 200-3000 Ah	 240-1800 Ah	 30-200 Ah	 380-1430 Ah
Service life in years	 4-2 years	 4-2 years	 10 years	 6 years		 12 years	 15 years			 12 years
Cycles according to IEC 6180 Part 2	 400 cycles			 400 cycles	 800 cycles			 1400 cycles	 1200 cycles	
Special high-current performance										

Слика 1. Примјер табеле са примјенама и карактеристикама батерија какву обично дају сви произвођачи. Овдје смо приказали Dryfit серију гел батерија произвођача Sonnenschein.

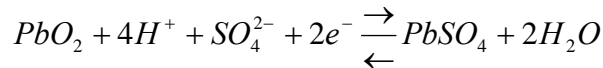
2.3 Принцип рада вентил-регулисаних батерија

2.3.1 Електрохемијска реакција

Сљедеће хемијске реакције тачно описују трансформације које се јављају на обе електроде (позитивна и негативна), захваљујући електрохемијским процесима [6]:

Позитивна електрода

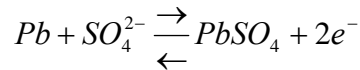
пражњење



пуњење

Негативна електрода

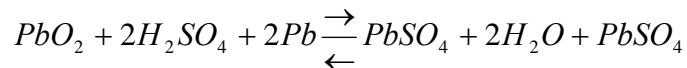
пражњење



пуњење

Ако иксомбинујемо ове двије формуле добијамо сљедећи израз:

пражњење



пуњење

Пражњење

Током пражњења, олово-диоксид PbO_2 позитивне електроде постаје олово-сулфат $PbSO_4$; а порозно олово Pb негативне електроде постаје олово-сулфат $PbSO_4$. Ово изазива смањење специфичне тежине електролита како сумпорна киселина, која се налази у електролиту, прелази на електроде током пражњења.

Ови процеси се инвертују током фазе пуњења.

Пуњење

Током фазе пуњења, олово-сулфат $PbSO_4$ позитивне електроде оксидира и реформира се као олово-диоксид PbO_2 , док се на негативној електроди олово-сулфат $PbSO_4$ реформира као порозно олово Pb .

Да би се могла остварити реакција пражњења потребно је обезбједити активне материјале у сљедећем пропорционалном односу: 239,2 g PbO_2 , 207,2 g Pb и 196,2 g SO_4 . Исти омјер маса потребан је и код реакције пуњења батерије.

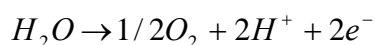
2.3.2 Теорија интерне рекомбинације

Када је традиционална (тзв. отворена) оловна ћелија напуњена јавља се емисија гаса (хидроген). Ово се дешава када се вода, у процесу електролизе, декомпонује на своје основне елементе.

Да би одржали хемијски баланс у ћелији, изгубљена вода се мора повремено надокнадити, што укључује испитивање (које нам одузима вријеме) и допуњавање електролита.

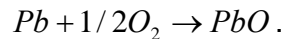
У случају вентил-регулисаних батерија, елементи који се стварају у гасовима се поново комбинују током фазе пуњења кроз тзв. циклус рекомбинације кисеоника, према томе производећи воду како је описано у сљедећем циклусу:

1) На позитивним електродама, кисеоник се генерише на основу електролизе воде:

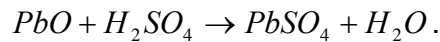


и дифузно пролази кроз сепараторе ка негативним електродама.

2) На негативним електродама, кисеоник се комбинује са дијелом олова које је садржано у овим електродама стварајући олово-оксид:

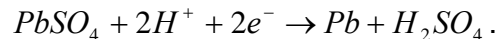


3) Оловни оксид се комбинује са сумпорном киселином електролита, формирајући олово-сулфат и воду:



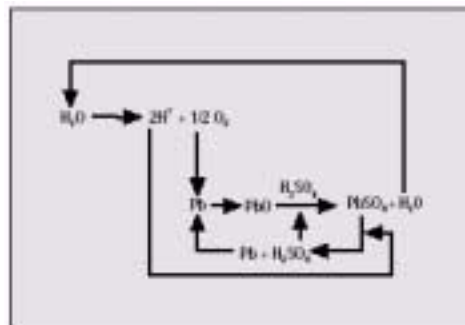
Према томе, вода се регенерише на позитивној електроди, док се на парцијално испражњеној негативној електроди формира оловни сулфат.

4) Процес пуњења поновно пуни парцијално испражњену негативну электроду и тиме затвара циклус:



Овим је циклус рекомбинације, како је горе описан, теоријски комплетиран (види сл.2).

Саставни дијелови воде и сумпорне киселине у електролиту, као и количина олова на негативној електроди, на крају процеса се поново појављују у њиховом оригиналном стању, без утицаја на услове пуњења електрода.



Слика 2. Графички приказ процеса рекомбинације.

При свакодневним околностима, рекомбинација тежи да буде малчице мања од потпуне. Због тога имамо ефикасност од приближно 98%.

2.4 Конструкција

Главна карактеристика вентилом регулисаних оловних батерија је да им је имобилизиран електролит (тј. није у течном стању) и да користе неку легуру олова нпр. $Pb - Ca - Sn$. Ове батерије се разликују од класичних по томе што имају имобилизиран електролит и кућиште са вентилом. Свака ћелија батерије има вентил који може да испусти било какав резултујући гас водород захваљујући повишеном притиску у ћелији (типична вриједност је око 100 mbar). Вентил је добро затворен захваљујући атмосферском притиску. Након испуштања водородна вентил се поново затвара спречавајући улазак кисеоника у ћелију.

Херметичке оловне батерије са киселином не захтјевају одржавање због следећих разлога [4]:

- легура олова (нпр. $Pb - Ca - Sn$) гарантује механичку стабилност електрода и повећава напон гасирања система на велике вриједности;
- електролит је имобилизиран;
- затварањем система вентилом ослобођени кисеоник се може рекомбиновати и тиме смањити стварање водородна.

Електролит је имобилизован или у облику гела или апсорпцијом у преградама (сепараторима) од стаклених влакана (фибергласа). Ово друго је већ

споменута АГМ технологија. Горе поменути сепаратори се стављају између равних електрода са нанесеном пастом. Електролит је упијен у сепаратор и у поре електроде. АГМ батерије обично имају већу густину енергије. Већ смо раније рекли да је овај тип батерија погодан за примјене код уређаја непрекидног напајања гдје имамо пражњење великим струјама у кратком временском интервалу. Гел се добија мјешавином сумпорне киселине H_2SO_4 , воде и силицијум диоксида SiO_2 . Кисеоник се транспортује од негативне до позитивне електроде кроз микро пукотине у гелу. Систем са гел технологијом такође нуди могућност мијењања састава и могу му се додати одређени адитиви у циљу постизања стабилности циклуса.

У поређењу са АГМ батеријама, дизајн са гелом садржи више електролита. Нормално, он није тако температурно осјетљив као АГМ дизајн. Пошто имају трајније сепараторе више су и отпорни на нечистоће (опиљке) олова. Опиљци олова могу да постану краткоспојни мостићи кроз сепаратор између позитивне и негативне електроде.

Електроде могу бити разних облика. Негативне електроде са нанесеном пастом се користе у скоро свим конструкцијама батерија. У електроди са нанесеном пастом носилац активног материјала је мрежа од легуре олова. Размак између окцади мреже зависи од типа батерије. Дебљина електроде се креће од 1 до 5 mm, зависно од примјене. На мрежу се наноси паста сачињена од олово-оксида, органских адитива (експандера), сумпорне киселине и воде. Електрохемијским процесом, који се зове формирање, паста се претвара у веома порозно олово.

Постоје разне врсте позитивних електрода: тубуларна, хомогена (Планте електрода) и електрода са нанесеном пастом, зависно од примјене оловне батерије у киселини. Тубуларне позитивне електроде се користе у вучи, стационарним батеријама и батеријама за подморнице. Таква електрода има мрежу која служи као проводник струје и као носилац активног материјала. Начињена је од легуре олова и састоји се од горњег рама са одређеним бројем паралелних шипки. Шипке су окружене микропорозним тубама које су направљене од материјала отпорног на киселину и пречника типично 6-10 mm. Тубе ојачавају електроду и садрже активан материјал. Позитивне електроде са нанесеном пастом се најчешће користе у вентилом регулисаним и стартним батеријама. Конструкција је слична негативној електроди са пастом, али са другим активним материјалом. На мрежу се наноси паста сачињена од олово-оксида, сумпорне киселине и воде. У процесу формирања паста се претвара у олово-диоксид.

Да поновимо, чисто порозно олово (сиве боје) је активна супстанца на негативној електроди, а на позитивној електроди је то оловни оксид (тамно браон боје).

Сепаратор раздваја позитивне и негативне електроде једне од других механички и електрично. Он мора не само да гарантује високу порозност да би дозволио прихват електролита и кретање јона, већ мора и да спријечи кратке спојеве.

Кућишта се највише праве од ABS материјала (Acrylnitrile butadiene styrene copolymer). Сви материјали морају да гарантују одређену механичку чврстоћу и да буду незапаљиви. Врста упоријебљеног материјала зависи и од капацитета појединог блока или ћелије за које се користи. Код разних произвођача можемо срести још и сљедеће материјале: полипропилен (PP) и SAN (Styrene acrylnitrile copolymer). Више информација о овој теми може се наћи у страним прописима UL 94, IEC 707 и VDE 0304, Part 3.

Што се тиче облика батерија у зависности од положаја при монтажи имамо три осовна типа блокова:

- блокови за вертикални положај;
- блокови за вертикални и/или хоризонтални положај; и

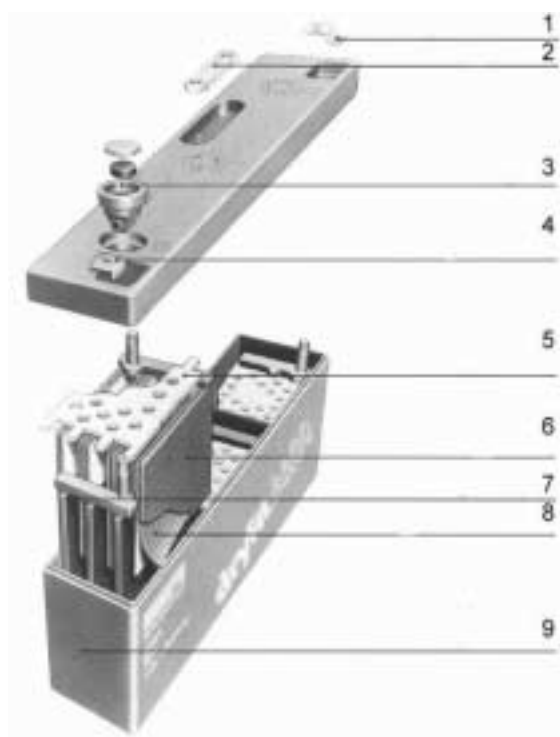
- блокови за монтажу рекове (19", 23" и ETSI).

На наредним сликама дати су примјери саставних дијелова АГМ и гел батерије познатих европских произвођача Фиам [5] и Зоненшејн [4].



- 1 - прикључци
- 2 - сигурносни вентил
- 3 - сепаратор од стаклених влакана
- 4 - кућиште са поклопцем (ABS)
- 5 - негативна електрода
- 6 - позитивна електрода

Слика 3. Детаљни приказ Фиамм АГМ батерије из серије GS.



- 1 - посребрени S-конектор
- 2 - конектор ћелије
- 3 - вентил
- 4 - посребрени S-конектор
- 5 - штит електроде
- 6 - негативна електрода
- 7 - позитивна електрода
- 8 - микропорозни сепаратор
- 9 - пластично кућиште отпорно на ударце (ABS материјал)

Слика 4. Детаљни приказ гел батерије Sonnenschein из серије Dryfit.

2.5 Основни појмови и карактеристичне величине

2.5.1 Капацитет

Капацитет батерије је количина електрицитета или електричног набоја, коју може да да напуњена батерија под одређеним условима. Јединица у SI систему је кулон ($1C = 1A \cdot s$), али се у пракси изражава у Ah и рачуна се као производ струје пражњења и времена које протекне до крајњег пражњења.

Постоји више врста капацитета батерије по IEC пропису па ћемо њихове дефиниције навести редом [2, 3].

Стварни капацитет C_a је количина електрицитета коју је дала ћелија или батерија, утврђен експериментално пражњењем одређеном струјом до специфицираног крајњег напона и при специфицираној температури.

Номинални капацитет C_n је одговарајућа приближна количина електрицитета која се користи за идентификовање капацитета ћелије или батерије. Ова вриједност се обично изражава у Ah.

Назначени капацитет C_{rt} је количина електрицитета, декларисана од стране произвођача, коју батерија може да да под специфицираним условима након пуњења до краја. Ова вриједност се обично изражава у Ah.

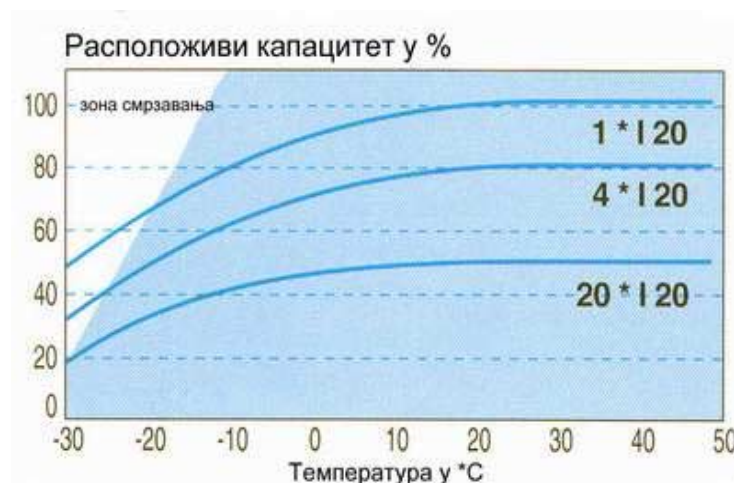
Транспортни капацитет C_{sh} је количина електрицитета, декларисана од стране произвођача, коју батерија може да да у тренутку испоруке, под специфицираним условима након пуњења до краја. Ова вриједност се обично изражава у Ah. У садашњем стандарду сматра се да ова вриједност износи $0,95 C_n$.

Номинални капацитет се задаје за пражњење константном струјом у одређеним временским трајањима и са задатим крајњим напонем пражњења ћелије при температури електролита 20°C (ако није другачије наглашено). Нпр. пражњење константном струјом у току 10 сати одговара капацитету C_{10} . За овај капацитет произвођачи специфирају крајњи напон ћелије обично $1,80 \text{ V/ћел}$.

По нашем пропису, капацитет C_{10} се сматра номиналним капацитетом, при температури електролита 20°C и крајњем напону који специфицира произвођач. Измјерени капацитет C_t јесте производ константне струје пражњења у [A] и времена пражњења у часовима при средњој вриједности температуре електролита у ћелијама 20°C . Ако средња температура електролита одступа од 20°C онда се мора извршити корекција по сљедећој формули:

$$C = \frac{C_t}{1 + ft \cdot (T - 20)} [Ah]$$

гдје су: ft - $0,01$ температурни коефицијент промјене капацитета у опсегу од 18 до 27°C , T - стварна просјечна температура електролита у $^{\circ}\text{C}$ и C - стварни капацитет акумулаторске батерије у [Ah].



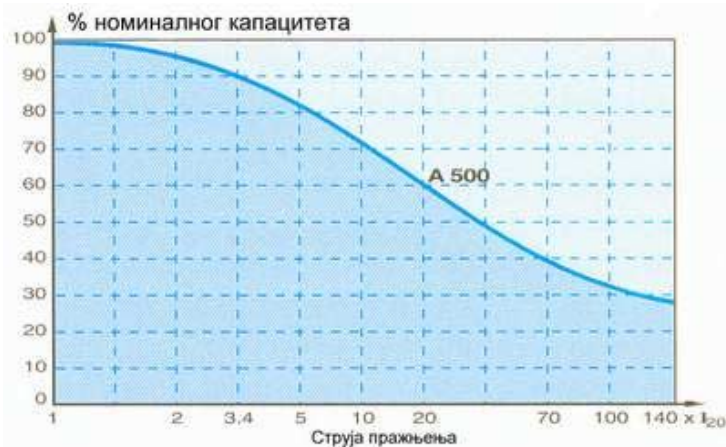
Слика 5. Зависност расположивог капацитета од температуре.

По пропису IEC [2] батерије се испитују за сљедеће капацитете: C_{10} , C_8 , C_3 , C_1 и $C_{0,25}$, док неки произвођачи дају и капацитет C_{20} . Натписи на батеријама обично одговарају капацитету C_{10} и крајњем напону пражњења $1,80 \text{ V/ћел}$ при температури околине 20°C . Ако није другачије наглашено ове вриједности уобичајено представљају и номинални капацитет ћелије или батерије.

Струје пражњења се рачунају по формули (нпр. за 10 сати): $I_{10} = C_{10} / 10h$. Произвођачи дају капацитете својих батерија и у зависности од примјене. Нпр. капацитет батерија за соларно напајање се даје типично на нивоу од 100 сати [4].

Капацитет вентилом регулисаних оловних батерија у киселини зависи од температуре и струје пражњења. Произвођачи у својим каталозима дају такве

дијаграме. Два таква дијаграма су дата на сл 5 и сл.6. Подразумјева се и утицај задатог крајњег напона пражњења. Видимо да ако су струје пражњења мање од I_{20} или I_{10} излаз батерије може да премаши номинални капацитет. Са струјама већим од I_{20} излаз батерије је мањи од номиналног капацитета.



Слика 6. Расположивост капацитета батерија у зависности од струје пражњења.

Треба имати у виду да пражњење у зони мржњења електролита може да доведе до уништења батерије.

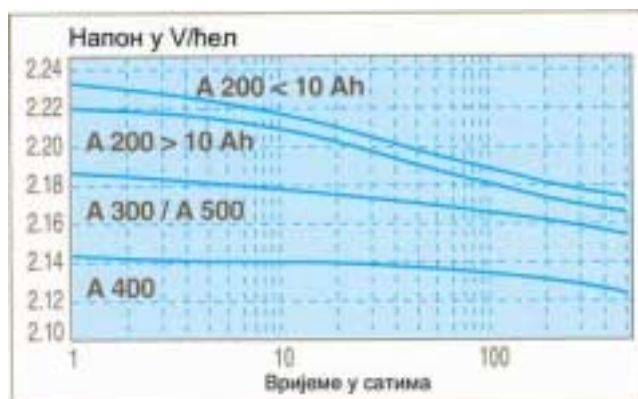
Крајњи напон пражњења и времена пражњења, као и карактеристичне струје могу се узети са одговарајућих дијаграма за поједине серије из брошура произвођача. Један такав дијаграм произвођача Sonnenschein дат је на сл. 9.

2.5.2 Напони

Номинални напон ћелије је фиксна вриједност и износи 2V. Номинални напон батерије је једнак умношку номиналног напона једне ћелије и броја ћелија.

Напон одржавања U_{fl} је напон, специфициран од стране произвођача, на којем се налази батерија, круто везана на извор напајања, у режиму са сталним допуњавањем (енгл. *floating battery*) [2, 3]. Обично је тај напон у опсегу 2,23-2,30 V/ћел.

Напон форсираног пуњењења је напон специфициран од стране произвођача за пуњење при повишеном напону да би убрзали пуњење, малчице препунили или за изједначавање стања напуњености ћелија или блокова [2, 3]. Тај напон такође дају произвођачи и обично износи (2,33-2,50)V.



Слика 7. Зависност напона празног хода пуних батерија од времена стајања за пар модела батерија произвођача Sonnenschein.

Напон празног хода се може измјерити само код ускладиштених батерија. Ово значи да се овај напон може мјерити тек након периода мировања од бар 24 сата, а не одмах након пуњења или пражњења. Напон празног хода зависи од стања напуњености и температуре. Један такав дијаграм је дат на слици 7.

2.5.3 Пражњење

Ако позитивне и негативне електроде батерије спојимо преко отпорника имаћемо затворено електрично коло и ћелија ће почети да даје струју, тј. појавиће се хемијске реакције на активном материјалу електрода и батерија ће почети да се празни. Овај процес је детаљно описан у поглављу 2.3.1. Можемо рећи да је

празњење секундарне батерије процес одвођења енергије из ње, при чему се хемијска енергија претвара у електричну [1].

У пракси, када празнимо батерију константном струјом, по Омовом закону ми би очекивали да напон линеарно пада, али то није случај. На почетку се деси карактеристични пропад напона (фр. *coup de fouet*) и онда празњење тече по стандардној карактеристици. Нећемо улазити у физичко објашњење ове појаве, али ваља напоменути да се ово дешава због одређених кашњења у реакцијама јона олова и јона сулфата који треба да формирају олово сулфат као и засићења електролита јонима олова. Детаљно објашњење се може наћи у литератури [7], а графички приказ је дат на слици 8.



Слика 8. Зависност напона батерије у функцији времена празњења.

Крајњи напон празњења

Овај напон је специфициран од стране произвођача као вриједност испод које напон батерије не смије да падне при празњењу датом струјом. Ако наставимо да даље празнимо батерију онда улазимо у зону дубинског празњења (тј. тада је напон батерије мањи од крајњег напона празњења).

Крајњи напон празњења U_E се нормално даје у V/ћел и зависи од струје празњења и температуре. У пракси се заштита од дубинског празњења изводи аутоматским искључењем потрошача при достизању крајњег напона празњења и даљинском сигнализацијом тог стања.

Струја празњења

Струја празњења I_x која је једнака умношку струја I_{10} или I_{20} рачуна се по следећој формули:

$$n = \frac{I_x \cdot 20h}{C_{20}} \text{ или } n = \frac{I_x \cdot 10h}{C_{10}}.$$

У озбиљнијим брошурама дају се и подаци о следећим струјама:

- максимално оптерећење батерије је максимална континуална струја празњења;
- максимална струја празњења за период од 5s (користи се за димензионисање батеријског осигурача).

Дубина празњења

Под дубином празњења (енгл. D.O.D – *depth of discharge*) сматрамо капацитет узет из батерије. Нпр., ако је искоришћено 80% номиналног капацитета батерије онда је дубина празњења такође 80%.

Максимална дозвољена дубина празњења зависи од нивоа струје празњења и температуре.

Дубинско празњење

Батерија улази у зону дубинског празњења када се:

- празњење настави испод датог крајњег напона празњења, нпр. када континуално оптерећење није искључено у току периода демонтаже;
- батерија празни у интервалима тако да може доћи до регенерације батерије (при појави овог, када се достигне крајњи напон празњења,

дубина пражњења буде већ сувише ниска, а ми мислимо да је све у реду).

Сви подаци који се дају за дубинско пражњење се односе на једну јединицу (ћелију или блок). Када имамо више ћелија или блокова у редној вези може се јавити разнолико понашање зависно од дубине пражњења.

По пропису DIN 43539, Part 5 тест дубинског пражњења се дефинише на сљедећи начин [4]: Батерија која има најмање свој номинални капацитет се оптерети отпорничким потрошачем. Отпорничко оптерећење је изабрано тако да струја пражњења до 2 V/ћел лежи у опсегу $2I_N$ максимално дозвољене струје пражњења. Батерија се чува на собној температури 30 дана. На крају периода складиштења батерија се пуни 48 сати. Наредни капацитивни тест мора да покаже капацитет преко 75%.

Нпр., након овог пуњења Dryfit серија гел батерија фирме Sonnenschein би достигла око 90-100% свог номиналног капацитета [4].

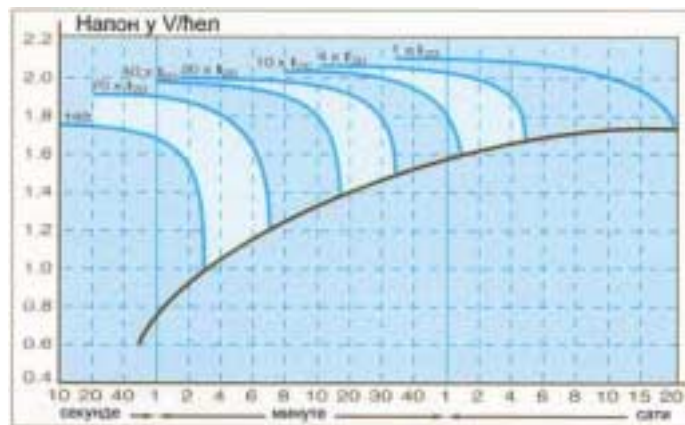
Током пражњења оловних батерија у киселини смањује се густоћа киселине и због тога се смањује проводност дубоко испражњених батерија. Овај ефекат се може компензовати додавањем адитива у електролит чиме се повећава проводност.

Напомена: дубинска пражњења треба избјегавати!

Сулфатизација електрода се може јавити ако батерију празнимо струјама пражњења мањим од $0,2 \cdot I_{20}$. Након тога батерија се може пунити само на одговарајући начин, нпр. пуњењем по IU-карактеристици, о чему ће бити више ријечи у наредном поглављу 2.5.4.

Напон пражњења

Напон пражњења је напон батерије у току процеса пражњења. Као примјер на слици 9 дати су дијаграми пражњења за разне струје пражњења једне гел батерије. Дијаграм показује вријеме за које се може вући дата струја, напон пражњења батерије и крајњи напон пражњења батерије за дату струју.



Слика 9. Графички приказ напона пражњења батерије у зависности од времена и струје пражњења.

2.5.4 Пуњење

Пуњење је операција током које секундарна батерија прима електричну енергију из спољног извора, која се претвара у хемијску енергију. Пуњење је дефинисано максималним напонам, струјом и трајањем [2, 3].

Ако електроде батерије повежемо на извор једносмјерне струје (позитивна на плус пол, а негативна на минус пол), батерија ће се пунити ако је напон извора довољно велик. Овај процес је детаљно описан у поглављу 2.3.1.

Стање потпуне напуњености батерије, по IЕС пропису, је стање у којем је сав расположиви активни материјал секундарне ћелије или батерије поново претворен у своје потпуно напуњено стање [2, 3].

Препуњавање је континуално пуњење батерије након што је она достигла стање потпуне напуњености.

Карактеристике пуњења

Постоји неколико метода пуњења батерија па ћемо их укратко описати. Сматра се да је батерија потпуно напуњена када се заостала струја пуњења не промјени у току два сата [4].

1) Пуњење константним напоном (U-карактеристика)



Слика 10. Графички приказ пуњења батерије константним напоном.

Код ове методе батерија ограничава струју пуњења. Батерија смањује струју пуњења са повећањем нивоа напуњености. Таква карактеристика је приказана на слици 10. Ово је најједноставнији начин пуњења батерија, али ако је та струја велика врло брзо ће доћи до деградације перформанси батерије, тј. скратиће јој се животно вијек.

2) Пуњење по IU-карактеристици

Ова метода спада у групу пуњења константном струјом. Ова метода је најпогоднија за пуњење вентилом регулисаних оловних батерија у киселини.



Слика 11. Графички приказ пуњења батерије по IU-карактеристици.

Батерија се прво пуни константном струјом док се не достигне препоручени напон пуњења. Онда се напон пуњења држи константним док батерија ограничава струју пуњења као код U-карактеристике. Графички приказ је дат на слици 11.

3) Пуњење по IU1-карактеристици

Пуњење по овој карактеристици се препоручује у примјенама са циклусним радом батерија, гдје мора бити загарантовано максимално вријеме пуњења од 16 сати. Ова карактеристика пуњења је само продужетак претходне методе. Када струја опадне на одређену вриједност I_2 , онда се батерија пуни овом константном струјом све док се не искључи пуњач батерија. Графички приказ ове методе дат је на слици 12.



Слика 12. Графички приказ пуњења батерије по UII-карактеристици.

Овдје се морају примјенити слjedeће препоруке:

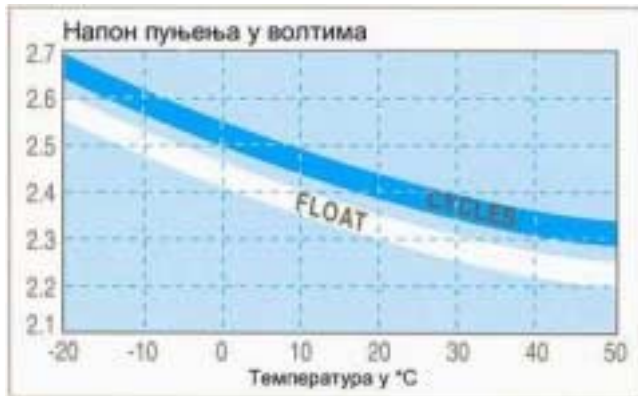
I_1 : (2-6) I_{20} ,

U_1 : читамо из табеле произвођача (обично је 2,23-2,27 V/ћел или 2,30-2,35 V/ћел),

I_2 : 0,24 I_{20} (мора бити прекинута максимално након 4 сата пуњења овом струјом).

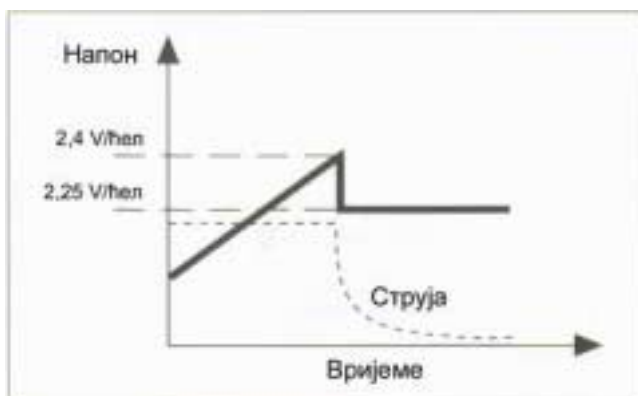
Напон пуњења

Напон пуњења је одређен на основу препорука произвођача за сваки тип батерије. У поглављу 2.5.2 дефинисали смо напоне одржавања и форсираног пуњења, а овдје би то излагање мало проширили.



Слика 13. Зависност напона пуњења батерије од температуре и режима рада.

Форсирани режим пуњења батерија се користи и онда када је потребно брзо допунити батерију при циклусном раду или ако очекујемо честе нестанке напајања. По нашем пропису, од пуњача се очекује да има могућност аутоматског уласка у овај режим по доласку струје.



Слика 14. Графички приказ форсираног пуњења батерије.

За једну те исту батерију различит је дозвољени опсег напона пуњења по ћелији, зависно од тога да ли батерија ради у режиму допуњавања (енгл. *float*) или у циклусном режиму (енгл. *cycles*) и од температуре. Један такав примјер је дат на слици 13. На слици 14 приказан је дијаграм напона форсираног пуњења једне батерије у току времена.

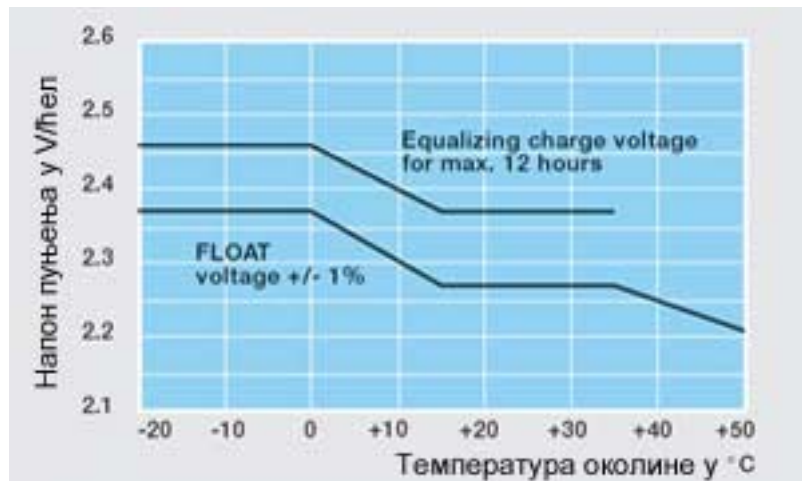
Температурна компензација напона пуњења

Температурну компензацију напона пуњења вршимо када се температура мијења да би избјегли појаву повећаног гасирања при високим температурама. Препоручује се слjedeћа температурна компензација:

- У режиму сталног допуњавања за температуре испод 15⁰C и изнад 25⁰C.
- У циклусном режиму рада за температуре испод 10⁰C и изнад 30⁰C.
- Пуњење батерија није дозвољено на температурама изнад 50⁰C

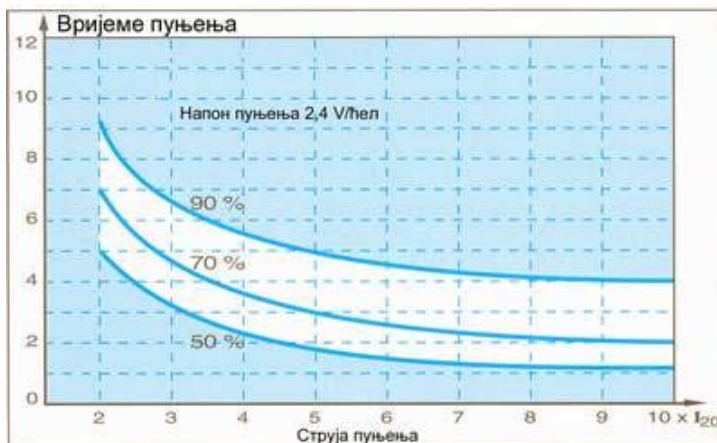
- Када пунимо батерију на температурама испод 5°C тренутно се мора очекивати дуже вријеме пуњења пошто су хемијске реакције веома споре.
- Појединачне температуре блокова или ћелија при инсталацији не смију да варирају више од 3°C .

Исправљачки системи за напајање батерија морају имати могућност подешавања напона пуњења по ћелији у опсегу од 0 до -5 mV/ћел . Уобичајено се узима да то буде $-3,5\text{ mV/ћел}$. Видимо да при повећаним температурама морамо смањити напон пуњења батерије да се не би повећало гасирање. На слици 15 дат је један типичан дијаграм пуњења батерије у зависности од температуре.



Слика 15. Графички приказ типичне температурне компензације за режиме допуњавања и форсираног пуњења.

Вријеме допуњавања



Слика 16. Зависност времена пуњења батерије од струје пуњења и жељеног капацитета.

То је вријеме потребно да би се батерија напунила до одређеног процента свог номиналног капацитета. Пропорционално је жељеној напуњености батерије, а обрнуто пропорционално струји пуњења. Типичан дијаграм је дат на слици 16.

Струје пуњења

Обично произвођачи препоручују следеће номиналне струје пуњења батерија [4]:

- у режим сталног допуњавања $0,1$ до $0,2\text{ A/Ah}$; ово одговара струјама $2I_{20} - 4I_{20}$ ($I_{10} - 2I_{10}$);
- у циклусном режиму $0,2$ до $0,4\text{ A/Ah}$; ово одговара струјама $4I_{20} - 8I_{20}$ ($2I_{10} - 4I_{10}$);

Препуњавање се избјегава слједећим поступцима: промјеном IU карактеристике температурном компензацијом, подешавањем одговарајућих струја пуњења и ограничавањем валовитости струје (енгл. *ripple current*).

2.5.5 Редно и паралелно везивање

Најважније за било какво везивање батерија је то да је дозвољено употребљавати само исти тип (тј. модел) батерија истог произвођача. Редним везивањем повећавамо укупни напон, а паралелним максималну струју пражњења.

Паралелно везивање нуди неколико предности па ћемо их редом навести. У паралелној вези енергија се даје из двије или више батерија па овим имамо редувантност у случају да нам нека батерија откаже. За велике снаге блокови би били изузетно тешки (преко 70 kg) зато је боље користити мање и лакше блокове. Код вентилом регулисаних батерија паралелним везивањем повећавамо површину хлађења по Ah што побољшава дисипацију топлоте и термички менаџмент.

Постоји неколико услова који су битни за сигуран рад батерија у паралелној вези. То су [8]:

- 1) Тип, номинални капацитет, унутрашњи распоред и дужине каблова до исправљача треба да буду што је могуће истих вриједности да би избјегли нежељене струје изједначења батерија током пуњења или пражњења. Специфична омска отпорност каблова (у $m\Omega mm^2/cm$) треба да буде приближно иста.
- 2) Свака од батерија треба да има осигурач и прекидач. Осигурач служи за заштиту од кратких спојева, а прекидач за сигурно одвајање од остатка система. Осигураче димензионисати према максималној струји коју батерија може да да.
- 3) По препоруци EUROBAT удружења треба избјежавати паралелно везивање више од 4 батерије (по главном прекидачу система). Неки произвођачи допуштају везивање и више батерија, али под условом да њихов тим за техничку подршку одради комплетан посао и то за сваку ситуацију понаособ [oerlik].
- 4) Када имамо батерије у паралели дозвољава се само пуњење константним напоном.

2.5.6 Валовитост струје

Наизмјенична валовитост

Када се наизмјенична струја дода једносмјерној то може резултовати загријавањем батеријем и скраћењем вијека трајања. Додата наизмјенична струја или струја рипла (енгл. *ripple current*) може бити изазвана од стране исправљача/ пуњача или од потрошача који су везани на батерију. Одређивање амплитуде наизмјеничне валовитости захтјева посматрање узајамне интеракције батерије, исправљача и инвертора (ако постоји у систему).

Постоје мјерни уређаји којима се ово може лако измјерити, као што су нпр. анализатори хармоника у енергетици (енгл. *Power Harmonics Meter/Analyzer*) или осцилоскопи.

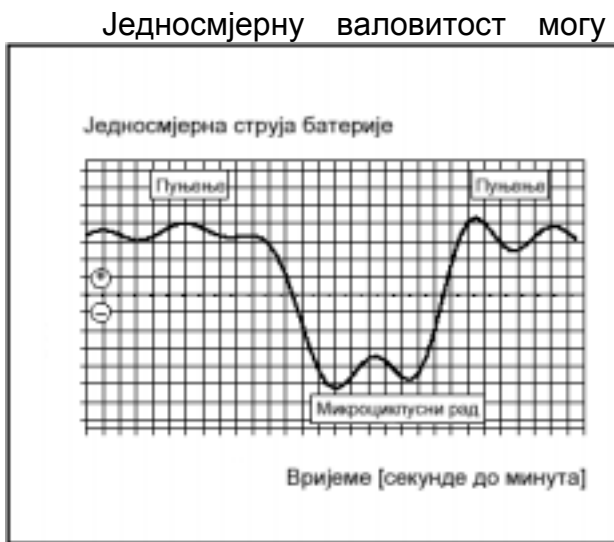
Ова наизмјенична компонента ствара топлоту у ћелијама и моноблоковима и треба је држати мањом колико год је то практично могуће. Дозвољена граница валовитости (ефективна вриједност) за рад у режиму допуњавања је 5A /100 Ah C₁₀ и 10A /100 Ah C₁₀ за рад у циклусном режиму. Неки произвођачи то задају у

односу на капацитет C_{20} [4]. Дозвољени пораст температуре батерије је максимално 3°C .



Слика 17. Графички приказ наизмјеничне валовитости струје пуњења батерије.

Једносмјерна валовитост



Слика 18. Графички приказ једносмјерне валовитости струје батерије.

Једносмјерна струја допуњавања сво вријеме треба да је позитивна и унутар опсега од 0,1 до 1 mA по Ah C_{10} . На слици 17 дат је примјер наизмјеничне валовитости струје.

Једносмјерну валовитост могу да изазову: екстремна наизмјенична валовитост напона на батеријама, недовољно димензионисан или покварен исправљач. Под овим околностима струја пражњења тече из батерије у периодима реда секунди или минута да би задовољила потребе потрошача. У овом режиму рада имамо микроциклусни рад који одступа од чистог режима одржавања (допуњавања). Радни вијек батерија под овим условима рада може бити краћи и до 5 пута у односу на батерију у режиму одржавања под истим климатским условима.

Штета изазвана оваквим микропражњењима расте са порастом њихове учестаности и кумулативно са претварањем Ah. На слици 18 имамо графички приказ такве појаве.

2.5.7 Самопражњење

У оловним ћелијама у киселини увијек постоји одређени износ самопражњења, што означава да активни материјал реагује са сумпорном киселином малом брзином. За модерне стационарне батерије типичан износ је (1-2)% мјесечно при температури од 20°C . Ово је много мање у односу на класичне батерије.

На самопражњење утиче и температура као што је приказано на слици 19. Додатно овоме, антимоно који се ослободи са оловне легуре позитивне решетке се пребацује до негативног активног материјала и утиче на развој водоника. Овај процес је познат под називом тровање антимоном [7]. Наталожени антимоно

формира локалне елементе заједно са негативним активним материјалом. Као резултат имамо електрична кола за пражњење. Остале нечистоће као што су бакар, никл, платина и хлор, такође утичу на самопражњење.

Губитак капацитета (самопражњење) изражава се у процентима према слjedeћој релацији [1]:

$$dC = \frac{C_n - C}{C_n} \cdot 100 [\%]$$

гдје је C_n декларисани номинални капацитет, а C измјерени капацитет.



Слика 19. Зависност самопражњења батерије од температуре

2.5.8 Складиштење

Након наруџбе батерија, произвођач у њих налива електролит и форсирано их пуни прије испоруке. Датум пуњења би требало да буде видљив и од њега се рачуна дужина трајања гарантног рока.

Због самопражњења, оловне батерије у киселини периодично треба да се пуне напоном одржавања од 2,25 V/ћел ±1% и струјом I_{10} . Интервал допуњавања



Слика 20. Графичко одређивање интервала допуњавања батерија

зависи од температуре складиштења и потребно ју је пратити да не би дошло трајног губитка капацитета. Произвођачи често на паковању напишу датум слjedeћег допуњавања, а ако не онда допуњавање треба извршити када напон падне испод 2,06 V/ћел. На сл. 20 дата је графичка зависност тренутка допуњавања од температуре и времена складиштења. Поједини произвођачи нагласе максимално трајање складиштења њихових батерија без обзира на допуњавање, нпр. 2 године при температури 20°C.

Приликом складиштења потребно је избјегавати директно излагање сунчевој свјетлости, високу влажност амбијента (релативна влажност >90%), кондензацију воде, хемијска испарења и претјерано таложење прашине (која може бити електропроводна у дебљем слоју).

2.5.9 Радни вијек батерија

Радни вијек батерије у режиму константног допуњавања је период након којег батерија има само 80% свог номиналног капацитета C_{10} тј. C_{20} . Ово важи за пражњење при I_{10} до напона 1,8 V/ћел тј. при I_{20} до напона 1,75 V/ћел [4], на собној температури од 20°C. Ово је важан фактор за батерије у стационарном паралелном раду. Он се одређује на основу убрзаних тестова старења и практичног искуства.

Постоји и пар дефиниција по IEC пропису па ћемо их навести [2, 3]. *Пројектовани радни вијек* батерије је очекивани период корисног радног вијека батерије на основу компоненти, пројектовања и примјене. *Сервисни радни вијек* је корисни радни вијек батерије под специфицираним условима. *Корисни радни вијек* батерије, под датим условима, је временски интервал који почиње у неком тренутку времена, а завршава се онда када батерија није у могућности да испуни тражене захтјеве или када се сматра да се батерији не могу поправити карактеристике.

Наш пропис дефинише само вијек трајања (животни вијек) као вријеме трајања које се постиже нормалном употребом батерије, уз исправно редовно одржавање и у прописаним температурним условима [1].



Слика 21. Радни вијек батерије у функцији напона допуњавања (енгл. *float voltage*)

Радни вијек зависи од температуре и може бити постигнут само ако је напон пуњења одговарајуће подешаван. На сл. 21 приказан је утицај напона допуњавања на радни вијек батерије. Наравно, постоје и други фактори који утичу на радни вијек батерија. То су: било које дубинско пражњење, учестаност пражњења, циклусни рад и валовитост струје.

Потребно је испоштовати сљедећа температурна ограничења:

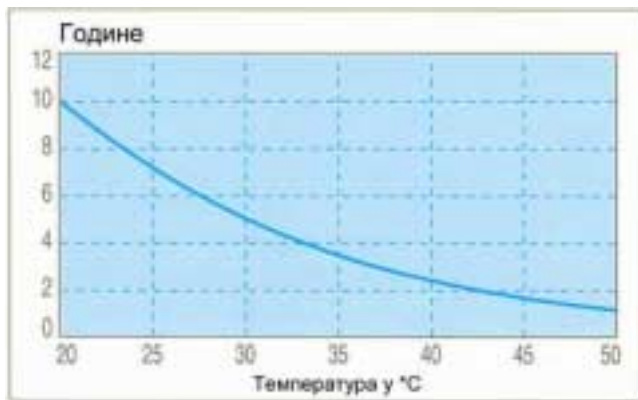
- максимална температура у трајном раду да не пређе 40°C;
- максимална температура у краткотрајном раду да не пређе 50°C (свега пар радних сати годишње).

Штета која настаје услед рада батерија при повишеној температури је значајно смањење радног вијека, губитак капацитета и могући температурни побјег.

Температурни побјег је опасно радно стање батерије када она генерише више топлоте него што може да се одведе од ње и може да резултује топлеем кућишта. Може да настане у режиму допуњавања у топлом окружењу, ако је кратко спојена нека од ћелија или при великим струјама пуњења/пражњења. По дефиницији [2, 3]: термички побјег је критично стање које настаје при пуњењу константним напоном, гдје струја и температура произведу кумулативни самопокретачки ефекат који их даље повећава и доводи до уништења батерије.

Неки произвођачи испоручују Келвин-Аренијусове мониторе уз батерије који нам дају индикацију животног вијека батерије у датом тренутку. Они се залијепе на неки од блокова и промјеном боје у зависности од температуре блока означавају тренутно стање капацитета у %.

Произвођачи за сваки модел дају дијаграме зависности радног вијека од температуре и један такав је дат на слици 22.



Слика 22. Зависност животног вијека батерије од температуре

По Аренијусовом правилу, повећање температуре батерије за 10°C скраћује њен животно вијек за 50% (ако су електроде у виду мреже). Животно вијек батерије се скраћује за 30% ако су електроде у виду тубе и ово одступа од ове законитости [9, 13].

2.5.10 Циклусни рад

Поред радног вијека батерије дефинише се и број циклуса који батерија може да издржи. У пракси се сматра да батерија постаје неупотребљива када достигне или период радног вијека или декларисани број циклуса. У нашим условима експлоатације (тј. непоузданости НН мреже) други критеријум се врло брзо достугне (некад и након 2 године). Циклусни рад се примјењује онда када се батерија не користи у стационарном паралелном раду.

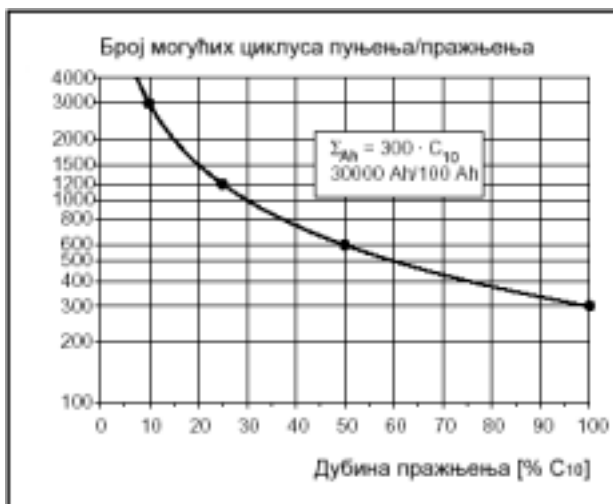
Постоје двије дефиниције циклуса и произвођачи, најчешће, дају оба податка за своје моделе батерија [4].

1) Тестирање циклуса по DIN 43539, Part 5

Тест се изводи на батеријама које су достигле свој номинални капацитет. Пажњење се врши струјом $3,4 \cdot I_{20}$ до напона $U_E = 1,7V/ћел.$ Израчунавање броја циклуса се прекида када вријеме пражњења падне испод 3 сата.

2) Тестирање циклуса по IEC 896, Part 2

Тест се изводи на батеријама које су достигле свој номинални капацитет. Пажњење се врши струјом $2 \cdot I_{10}$ у трајању од три сата. Капацитивна проба се врши након сваких 50 циклуса. Тест се прекида када батерија има мање од 60% свог номиналног капацитета.



Слика 23. Зависност броја циклуса од степена испражњености батерије

Број циклуса који батерија може да постигне зависи од њене конструкције и степена испражњености. Произвођачи дају ове податке у табелама и/или преко дијаграма. Један такав примјер батерије Oerlikon серије Compact Power™ је дат на слици 23. Значење ознака на слици је да та врста батерија може да издржи 300 циклуса пражњења (дубина пражњења 100%) при номиналним условима [8]. Такође, видимо да је производ броја могућих циклуса и дубине пражњења константан.

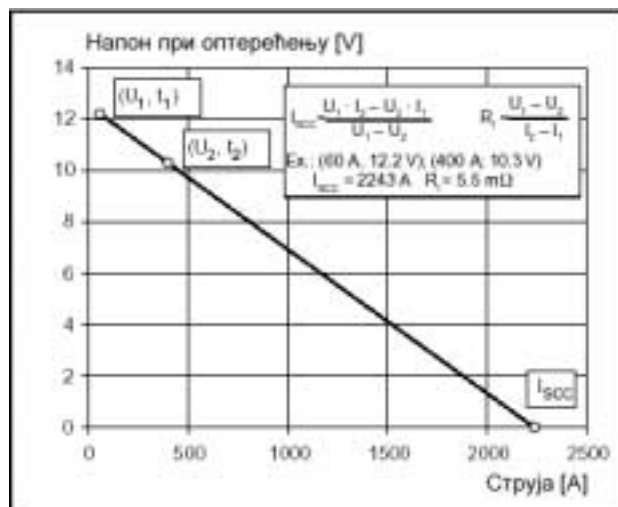
Интересантно је примјетити да је број циклуса по IEC два пута већи од броја циклуса по DIN пропису (бар оно што сам до сад видио у пракси) [4].

2.5.11 Струја кратког споја и унутрашња отпорност

Струја кратког споја јесте струја која протиче кроз струјно коло у случају директног спајања позитивног и негативног пола [1]. По пропису EN 60896-2, струја кратког споја се одређује из напона ћелије мјереног у току два импулса струје трајања 5s са $40 \cdot I_{10}$ и 20s са $6 \cdot I_{10}$. Ови напони се цртају и струја, нађена из линеарне интерполације до $U=0$ V, се дефинише као струја кратког споја [8].

Измјерене вриједности имају прецизност од $\pm 10\%$ и користе се за димензионисање батеријских осигурача и осталих заштитних уређаја.

Струја кратког споја је она струја која би, у стационарном стању, текла кроз спољно коло када би оно, у поређењу са унутрашњом отпорношћу батерије, имало занемарљиву отпорност. На слици 24 дат је графички приказ и бројни примјер одређивања струје кратког споја и унутрашње отпорности ћелије [8]. У пракси, ред величине је сљедећи: батерија капацитета 100 Ah може да има струју кратког споја до 3000 A.



Слика 24. Графичко одређивање струје кратког споја и унутрашње отпорности

Укупна отпорност батерије је сума унутрашњих отпора свих ћелија и њихових међувеза. За израчунавање тог отпора може се примјенити сљедећа формула уз услов да је батерија потпуно напуњена и да се налази на собној температури (20 - 25°C):

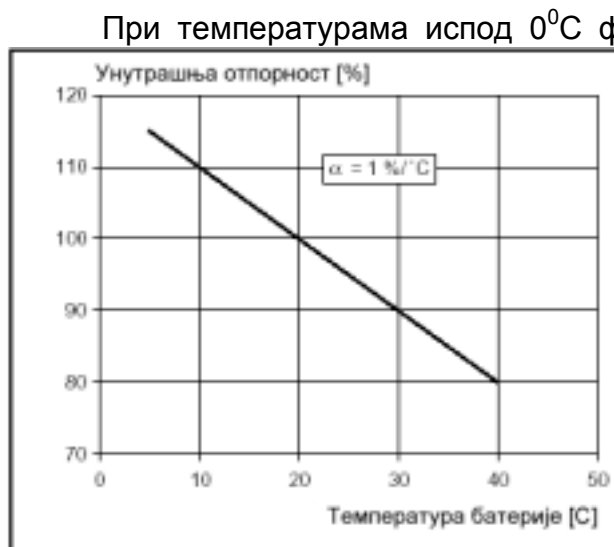
$$R_B = n \cdot R_i / C_{10}$$

гдје је: n-број ћелија, а R_i таблична вриједност унутрашње отпорности ћелије у [mΩ Ah/ћел]. Унутрашња отпорност зависи од стања напуњености и температуре.

Током пражњења батерије њена унутрашња отпорност расте приближно пропорционално смањењу напона ћелије под оптерећењем. Пораст има слично понашање по питању једносмјерне отпорности (по EN 60896-2) и по питању наизмјеничне импедансе (1000 Hz) као што је показано на типичном графику на слици 25 [8]. У овом примјеру коришћена је батерија 100Ah, 24V произвођача Oerlikon. На графику видимо да је при 50% (C_{10}) дубини испражњености (енгл. d.o.d - *depth of discharge*) наизмјенична импеданса повећана за 20%, а при 80% (C_{10}) испражњености наизмјенична импеданса повећана за 100%. У почетној фази пражњења једносмјерна отпорност показује лагани пад да би при испражњености од 80% (C_{10}) имала скок од 100%. Више ријечи о мјерењима отпорности и импедансе у циљу одређивања капацитета батерије ће бити у поглављу 4.2. Индуктивност батерије из овог примјера је приближно 0,2 μH/ћел.

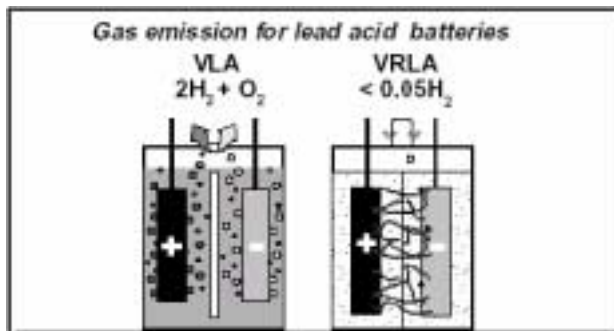


Слика 25. Зависност унутрашње отпорности од трајања пражњења



Слика 26. Зависност унутрашње отпорности од температуре батерије

2.5.12 Емисија гаса



Слика 27. Поређење емисија гаса код оловних батерија у киселини

Температурна зависност једно-смјерне отпорности је претежно под утицајем проводности електролита и механизма електрохемијских реакција. У опсегу од 5⁰С до 40⁰С отпорност се смањује приближно за 1%/⁰С. Један такав примјер је дат на слици 26. На слици је приказан график за вриједност температурног коефицијента α од -1%/⁰С.

При температурама испод 0⁰С формирање леда у електролиту може да изазове скок отпорности електролита. Електролит потпуно напуњене ћелије или моноблока мрзне на температурама испод -60⁰С док се код испражњене (C₁₀) мрзне на -5⁰С. Батерије неких произвођача могу да поднесу пар циклуса смрзавања и одмрзавања чак и у залеђеном стању, мада при јако малим струјама пуњења реда 0,03·I₁₀. Током рада на температурама испод 0⁰С треба предузети одговарајуће мјере да би се спријечило формирање спољног леда који би могао да блокира вентил.

Заједничка особина свих вентилом регулисаних оловних батерија у киселини је да емитују врло мале количине водоника. Ова емисија гаса је мања од 5% теоријске количине (у току режима допуњавања при 2,25 V/ћел и 20⁰С) од 1 до 3 ml по Ah(C₁₀), седмици и ћелији.

Под ненормалним условима допуњавања, нпр. при 2,40 V/ћел, ова вриједност може порастати на 50 до 100 ml. На слици 27 упоредо је приказан однос емисија гаса код класичне батерије (енгл. VLA- vented lead acid) и вентилом регулисане батерије (VRLA).

На основу стандарда EN50272-2:2001, који третира безбједност батерија, све вентилом регулисане оловне батерије морају бити вентилисане сљедећим протоком ваздуха [8, 9]:

$$Q = 0,05 \cdot N_{CELL} \cdot I_{GAS} \cdot C_{10} \cdot 0,001 \text{ [m}^3 / \text{h]}$$

гдје је $I_{gas} = 1 \text{ mA/Ah}$ при $2,25 \text{ V/ћел}$, а $I_{gas} = 8 \text{ mA/Ah}$ при $2,40 \text{ V/ћел}$, N_{cell} је број ћелија посматране батерије.

2.5.13 Вентилација просторија

Оловне батерије у киселини не би требало да раде у просторијама или кабинетима са ограниченом измјеном ваздуха. Тамо гдје имамо само природну вентилацију ваздуха површина отвора треба да буде већа од $A > 28 \cdot Q \text{ [cm}^2\text{]}$; гдје је Q проток ваздуха израчунат у претходној глави 2.5.12.

Сви произвођачи нуде и системе за скупљање гасова и они могу да буду веома корисни тамо гдје имамо проблема са вентилацијом. Такав систем представља скуп пластичних цјевчица спојених на заједнички колектор са једне стране, а са друге стране су накачене на вентил батерија. Колекторска цјевчица одводи гас ван просторије са батеријама.

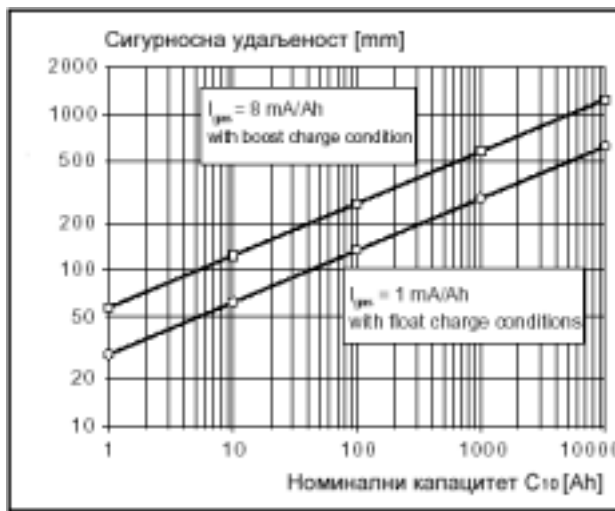
Примјер: Одређивање протеклог времена након којег ће се појавити недозвољена концентрација водородна у просторијама без вентилације
Батерија: 100Ah , 48V , 6V блокови; запремина собе 5m^3 ; дозвољени запремински удио водородна 2% . Израчунати потребно вријеме за достизање недозвољене концентарције водородна при пуњењу напонима $2,25 \text{ V/ћел}$ (при $v_h=3 \text{ ml/Ah}$ седмици ћелији) и $2,40 \text{ V/ћел}$ (при $v_h=50 \text{ ml/Ah}$ седмици ћелији).

Недозвољена концентарција водородна се рачуна по формули: $V_{2\%} = v_h \cdot T_{2\%} \cdot C_{10} \cdot N_{ћел}$ из које се једноставно добија израз за тражено вријеме. Недозвољена запремина водородна је 100l , а број ћелија је 24 из чега добијамо:

$$T_{2\%} = 14 \text{ седмица при } 2,25 \text{ V/ћел}$$

$$T_{2\%} = 0,5 \text{ седмица при } 2,40 \text{ V/ћел.}$$

2.5.14 Сигурносни размак



Слика 28. Зависност сигурносног размака од номиналног капацитета батерије.

Концентрација водородна мања од дозвољених 4% , у простору око батерија, неће се јавити одмах по отварању вентила. Због тога се мора планирати сигурносна удаљеност између вентила који се отвара и извора варница или извора повишене температуре ($>300^\circ\text{C}$).

Сигурносни размак се може израчунати на основу графика датог на слици 28. График је настао на основу прописа EN 50272-2:2001 [8].

Такође, сигурносни размак се може израчунати и на основу следеће формуле дате у истом пропису [9]:

$$d = 28,8 \cdot \left(\sqrt[3]{N}\right) \cdot \left(\sqrt[3]{I_{GAS}}\right) \cdot \sqrt[3]{C_{RT}} \text{ [mm]}$$

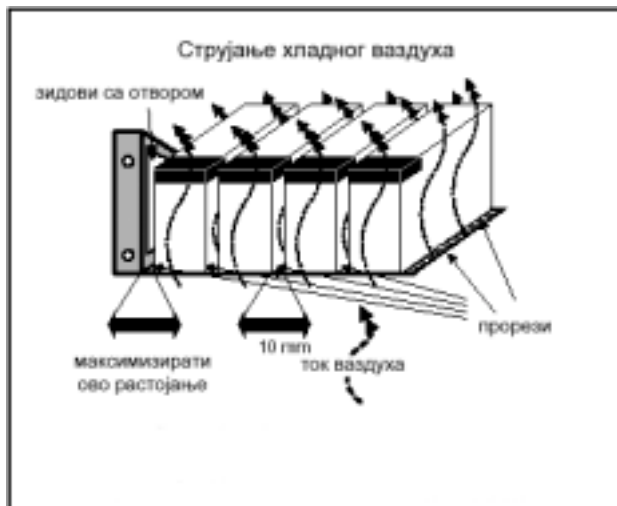
гдје су I_{GAS} [mA/Ah] струја гасирања која зависи од режима пуњења батерије, C_{RT} назначени капацитет, а N зависи од извора емисије гаса. То може бити број ћелија по моноблоку које учествују у емисији гаса и тада користимо N . Ако посматрамо број отварања вентила по ћелији онда узимамо фактор $1/N$ у горњој формули, тј. $\sqrt[3]{1/N}$.

Као што смо видјели на износ размака утичу номинални капацитет C_{10} , износ испуштања гаса у зависности од напона пуњења (одржавање или форсирано) уз претпоставку да је растварање водоника у ваздуху по хемисферичном моделу. Распршење експлозивног гаса зависи од брзине емитовања гаса и вентилације у близини испуштања гаса. Захтјевана сигурносна удаљеност може се постићи и употребом преграда између батерија и извора варница.

Ако су батерије интегрални дио система напајања (нпр. код уређаја непрекидног напајања) онда се сигурносни размак може смањити на основу прорачуна произвођача и мјерења. Ниво вентилације мора да осигура да износ водоника у ваздуху буде мањи од 1% плус сигурносна маргина у односу на потенцијални извор варница.

2.5.15 Емитовање топлоте

Топлота се генерише у околину на основу протицања струје одржавања у батерију и интерне рекомбинације гаса. У режиму допуњавања топлота се генерише у износу приближно од 0,1W/100Ah по ћелији. Задржавање ове топлоте може изазвати повећање температуре батерија, веће струје пуњења и вјероватно би резултовало термичким побјегом. Препоручује се сигурносна удаљеност између блокова (ћелија) од 5 до 10 mm због хлађења и вентилације.



Слика 29. Приказ правилног струјања ваздуха приликом хлађења батерија

Ако се батерија монтира у кабинетима мора се осигурати адекватна вентилација и хлађење. На слици 29 графички је приказано слагање блокова на полици са одговарајућим размацима.

Када су стално присутне високе температуре околине онда се мора смањити напон одржавања (о чему је било ријечи у поглављу 2.5.4). Смањењем напона пуњења смањујемо генерисање топлоте и спречавамо достизање високе температуре батерија.

Топлотна снага која се ослободи при раду батерије у режиму одржавања може се израчунати на основу сљедеће формуле:

$$Q = V_{PC} \cdot N \cdot I \cdot h \quad [W]$$

гдје су: V_{PC} напон пуњења по ћелији, N број ћелија, I струја пуњења и h вријеме у сатима. Типичан износ је око 0,1W/100Ah по ћелији/моноблоку на сат.

3. Практични аспекти

3.1 Стање на тржишту

Постоји много произвођача батерија у свијету од којих је доста присутно на европском тржишту па и код нас. Неки општи тренд је да велика предузећа купују мања тако да имамо свега пар великих групација у чијем саставу је гомила некада познатих фирми. Имена тих малих фирмионда постају само робна марка појединих батерија. Укратко ћу се осврнути на стање у Европи.

У европској унији постоје три удружења која представљају цјелокупну производњу и продају батерија. Они су удружени у BIC (Battery Industry Coalition). То су [10]:

- EPBA (European Portable Battery Association). Ово је трговачка организација која заступа интересе произвођача портабл батерија (примарних и допуњивих) који су активни на европском тржишту.
- Eurobat . Ово је удружење европских произвођача и препродаваца стационарних батерија (индустријске и аутомобилске). Они под својом „контролом” имају око 85% тржишта европске уније [11].
- CollectNiCad. Удружење које заступа интересе произвођача NiCd батерија, корисника и сакупљача.

Оваква и слична удружења заједнички раде на сакупљању и рециклажи батерија, доношењу неких прописа, анализирају тржиште и предлажу разне регулативе по питању батерија и сл.

За нас је интересантно удружење Eurobat кога чине сљедећи произвођачи: Enersys, EXIDE Technologies, FAAM, Leclanche S.A., Oerlikon Batterien AG, Varta/Johnson Controls, ROMBAT, SAFT и још 10 других мање познатих предузећа.

Код нас су присутне батерије свјетских и европских групација EXIDE Technologies, Enersys и Fiamm. Групацију EXIDE Technologies (САД) у Европи чине: Fulmen, Sonnenschein, Tudor, Hagen Batteries и GNB Technologies. Групацију Enersys (САД) чине: Loadhog, Powersafe, General, NP, Genesis, Hawker Energy, Varta, Yuasa и други. Групацију Fiamm (Италија) чине: Fiamm, Fiamm FAB, Klaxon, AKKU GmbH, AKUMA, Varen, IBS и други. Такође, приустни су и разни други произвођачи батерија за које не знам коме или чему припадају као нпр.: NortStar, SunLight, Monbat, Hoppecke, Chloride и сл.

Батерије из ових групација могу и да се купе у СиЦГ код више домаћих представника. Добрим батеријама, за примјену у телекомуникацијама, сматрају се нпр.: Sonnenschein, Marathon, Fiamm, Oerlikon, Tudor, NorthStar [13] и Varta.

3.2 Законска регулатива

Овдје нисмо намјеравали да цитирамо неке домаће и стране прописе већ само да укажемо шта све постоји и какво је стање код нас. Као што се можда види, овај рад је прожет дефиницијама из домаћег прописа и IEC што је и била ауторова намјера.

Што се тиче СиЦГ и даље је су на снази Технички услови за стационарне оловне батерије из 1985. Они се налазе у оквиру Збирке Прописа из области електроенергетике и уређаја за напајање и резервно напајање ТТ постројења ЕН-1 из 1987, познатијих под именом Жута књига. Ти прописи су застарјели и углавном се односе на класичне оловне батерије.

Да би се нека батерија могла уградити у неком телекомуникационом објекту у СиЦГ потребно је да добије атест од надлежне институције, а то је ЗЈПТТ (Заједница југословенских пошта, телеграфа и телефона). Атест се даје ако батерије задовоље сва испитивања која се врше по протоколу за испитивање

стационарних оловних батерија. Без овог атеста нема разговора са продавцима батерија којих код нас има небројено много. Очекује се неко ново издање техничких услова за стационарне оловне батерије. Наши прописи, иако стари, и даље су строжији од IEC по питању неких ствари као нпр. критеријума неисправности батерија. Ово ћемо споменути у поглављу о одржавању.

Што се тиче страних прописа ту је ситуација врло разноврсна. Имамо разне међународне, европске и националне прописе који се стално усавршавају. У следећој табели су побројани неки важнији страни прописи који су битни за инжењера енергетике који се бави планирањем и радом са батеријама.

1.	EN 60896-2:1996	Standard VRLA battery test.
2.	EN 50272-2:2001	Safety requirements for secondary batteries and battery installations. Stationary batteries.
3.	ANSI TI.330-1999	Standard VRLA battery test.
4.	BS 6290 Part 1	Lead-acid stationary cells and batteries. Specifications for general requirements.
5.	BS 6133:1995	Safety of battery installations.
6.	IEEE 1187-1996	Design of VRLA battery installations.
7.	IEEE 1188-1996	Maintenance and test of VRLA battery installations.
8.	IEEE 1189-1996	Selections of VRLA batteries.
9.	DIN 43530	Electrolyte and water for secondary battery purposes.
10.	DIN 57510 (VDE 0510)	Installation, maintenance, testing and use of secondary batteries.
11.	IEC 896-1	Stationary lead-acid batteries. General requirements and methods of test. Vented types.
12.	IEC 896-2	Stationary lead-acid batteries. General requirements and methods of test. Valve-regulated types.
13.	IEC 1429	Marking of secondary cells and batteries with the international recycling symbol ISO 7000-1135.

Табела 1. Преглед страних прописа у вези оловних батерија

3.3 Услови у просторији и монтажа батерија

Температура у просторији би требала бити између $+5^{\circ}\text{C}$ и $+30^{\circ}\text{C}$. Наравно, оптимална температура је $+20^{\circ}\text{C}$ ($+25^{\circ}\text{C}$ у Америци). Максимална температурна разлика између ћелија или блокова у оквиру једне батерије не смије да буде већа од 5°C [9].

Висина батеријске собе би требала бити бар 2m изнад радне површине пода. Под треба да се налази на разумном нивоу и треба да буде способан да издржи потребну масу батерија.

Површина пода треба да буде отпорна на киселину ако користимо класичне батерије, а за вентилом регулисане није неопходна мада је пожељна за случај цурења батерије услед неисправности.

Под треба да има одређену отпорност због сигурности особља. По IEC 61340-4-1 отпорност између пода и тачке уземљења, за номинални напон батерија $\leq 500\text{V}$, треба да буде у границама: $50\text{ k}\Omega \leq R \leq 10\text{ M}\Omega$ [9].

Батеријска соба треба да има добру вентилацију, о чему смо раније говорили, да би се разриједила концентрација испуштеног хидрогена и да би избјегли експлозије. Према томе, електрична инсталација не смије да буде у Ех изведби, али мора да буде пројектована за влажне услове. Батерије не би требало инсталирати у простору са ограниченим струјањем ваздуха.

Дијелови који могу генерисати варнице треба да имају сигурносну удаљеност у односу на вентиле ћелија и блокова одређену у 2.5.14. Забрањена је

употреба гријача или уређаја са отвореним пламеном или ужареним дијеловима. Температура гријача не смије прећи 300°C . Дозвољена је употреба ручних лампи са прекидачима и заштитним стаклом који имају степен заштите class II и IP54.

Да би се спријечила појава статичког електрицитета приликом рада са батеријама потребно је да одјећа, заштитне чизме и рукавице имају:

- отпорност површине мању од $10^8\Omega$, и
- отпорност изолације већу од $10^5\Omega$.

По пропису EN 50272-2, минимални отпор изолованости између струјног круга батерије и осталих проводних дијелова требао би да буде већи од 100Ω по V номиналног напона батерије. Ово одговара струји цурења мањој од 10 mA [9].

Заштита од додира се мора остварити за све дијелове под напоном ако је напон већи од 60V једносмјерно помоћу изоловања, покривача и преграда.

Батерије је потребно монтирати у чистим и сувим просторијама. Потребно их је и осигурати од падајућих предмета и таложења прљавштине.

Већ смо раније рекли да се батерије могу монтирати у сталцима или у рековима (типично за уређаје непрекидног напајања) 19", 23" и ANSI . Приликом монтаже у сталцима батерије се могу слагати хоризонтално или вертикално зависно од типа или потреба корисника. Рекови и кабинети би требало да буду одмакнути од зида 100 mm због лакшег повезивања проводника и чишћења. Батерије треба да буду приступачне ради лакшег сервиса и употребе нормалног изолованог алата.

Произвођач испоручује међувезе између моноблокова (ћелија) док корисник треба да користи свој кабл (финожични са силиконском изолацијом) од полова до исправљача. Зависно од капацитета батерија тј. максималне струје потрошача често се предвиђају и два проводника по полу батерије. Оријентир за попречни пресјек проводника је да се за међувезе узима $50\text{ mm}^2/100\text{Ah}$ батерије, а за крајње проводнике $100\text{ mm}^2/100\text{Ah}$ [9].

Све међувезе између ћелија или блокова у батерији и крајње каблове потребно је причврстити одређеним моментом затезања чија вриједност је прописана од стране произвођача за сваки тип батерије понаособ. Ред величине момента затезања је типично 5-20 Nm. Као алат се користи момент кључ.

Батеријски сталак или рек морају да буду одговарајуће уземљени због заштите и због изједначења потенцијала у објекту. Попречни пресјек уземљивачког проводника се бира на основу струје кратког споја, али се уобичајено користи проводник P/F-Y величине реда 35 mm^2 . Проблем који се може јавити код уземљавања батерија је тај да се често за фарбање сталка користи лак отпоран на киселину који, у ствари, представља изолатор. Наиме, сталци се често праве слагањем одговарајућег броја полица. Чак и када огулимо фарбу на мјесту везивања уземљивачког проводника не постоји електрична веза ка осталим полицама. Овакав сталак испоручује произвођач и ту се ништа не може учинити. Замјена сталка често није могућа јер се баш не уклапају димензије батерија свих произвођача са свим сталцима.

Приликом монтаже батерија потребно је да се поштују прописи о заштити на раду и да се носи заштитна опрема (наочале, рукавице, чизме и одијело). Посебну пажњу треба посветити слагању батерија да се не деси да испадну из руку јер су поједини моноблокови изузетно тешки (реда 30-70 kg). Нуспојаве код радника који често монтирају батерије су ишијас и проблеми са кичмом.

Потребно је скинути све металне предмете са руку (пстење, наруквице итд.) приликом рада са батеријама. Такође, није дозвољено стављање металних предмета (нпр. алата) на батерије јер може доћи до случајног премошћавања појединих ћелија или блокова и изазивања хаварије. Треба имати на уму да је олово отровно и зато је обавезно прање руку након рада са батеријама.

3.4 Економски аспекти

У наредном тексту дато је упутство како урадити економску анализу батеријске инсталације. Трошкови се могу подијелити у фиксне и промјењиве. Наравно, ово се може урадити на више начина, а ово је један од приступа схватању укупних трошкова батерија. Посматрамо систем у којем имамо и класичне и вентилом регулисане батерије [7].

Фиксни трошкови

- 1) Амортизација инвестиција укључујући монтажу (уз очекивани економичан радни вијек);
- 2) Интереси ($x\%$ од инвестиције);
- 3) Годишњи трошкови одабране интересне области у вези батерије (нпр. трошкови смјештаја батерија у изнајмљеном објекту).

Годишњи фиксни (капитални) трошкови = 1+2+3.

Промјенљиви трошкови

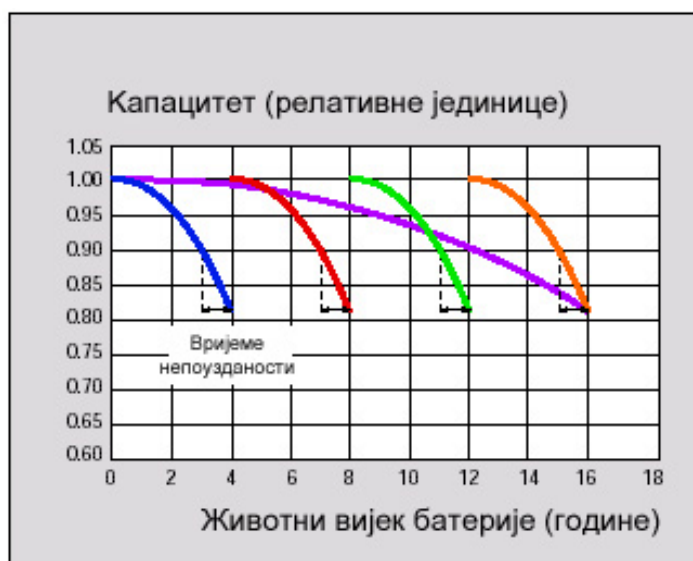
- 1) Годишњи трошкови доливања воде;
- 2) Годишњи трошкови читавања густоће електролита;
- 3) Годишњи трошкови прегледа;
- 4) Годишњи трошкови капацитивних проба.

Годишњи промјенљиви трошкови= 1+2+3+4.

Годишњи трошкови батеријске инсталације су сума фиксних и промјенљивих трошкова.

Економика батерија није само питање трошкова у вези батерије. Батерија је често најважнији дио неког сигурносног система. Зависно од важности система и ефеката које може изазвати испад батерија, потребно је размотрити и поузданост батерија.

Као опште правило, може се рећи да батерије дужег животног вијека резултују и сигурнијим радом за разлику од батерија кратког животног вијека. Дио са непоузданим радом се налази при крају животног вијека батерије. На неком



Слика 30. Периоди непоузданог рада батеријске инсталације

периоду, рецимо 10 до 15 година, постојаће неколико периода са непоузданим радом ако је изабран систем са батеријама кратког животног вијека, као што је приказано на слици 30. Да би се избјегао овај недостатак морамо скратити интервал замјене батерија.

У општем случају, класичне батерије су сигурније него вентилом регулисане. Разлог је тај што је рад вентилом регулисаних батерија комплекснији, са више хемијских реакција као што је циклус кисеоника [7].

4. Одржавање батерија

За инжењера енергетике, који под својом надлежношћу има стационарне оловне батерије, одржавање тих батерија представља изузетно важан дио посла. Овом виду одржавања најчешће није посвећена довољна пажња јер увијек има нешто што је „важније” да се ради у том тренутку. Међутим, ако нисмо на вријеме преконтролисали стање наше батерије највјероватније ће нам се десити да нас батерије „издају” при озбиљнијем нестанку струје.

Иако се за вентилом регулисане оловне батерије у киселини, у страниој литератури, често каже да не захтјевају одржавање (енгл. *maintenance free*) под тим се обично мисли да не треба досипати дестиловану воду у њих. И за овај тип батерија је потребно одређено одржавање мањег обима да би смо осигурали да буду у добром стању.

У литератури коју дају произвођачи видимо да се одржавање батерија може подијелити у двије категорије: корективно и превентивно.

Корективно одржавање батерија представља скуп активности које је потребно спровести да би се батеријска резерва на некој локацији довела у стање потпуне функционалности. Под тим се обично мисли на замјену ћелија или моноблокова који цуре, који су се надули од загријавања или комплетне батерије ако јој је смањен капацитет.

Превентивно одржавање батерија представља скуп активности које потребно спровести благовремено да би смо утврдили у каквом стању су наше батерије и тиме спријечили горе последице по наш систем напајања. У овом раду ћемо се базирати на овој категорији одржавања јер је она много важнија и потребно јој је посветити доста времена у току. Благовременим откривањем неисправних блокова или смањења капацитета батерија можемо спријечити велике штете које би настале испадом тих батерија из рада при нестанку струје.

Превентивно одржавање батерија обично се спроводи у одређеном временском периоду према унапријед утврђеном плану . Тај период може бити 6 мјесеци или годину дана, некад чак краће или дуже зависно од важности појединих локација, броја и географског распореда локација, инсталисане опреме или економских фактора. У пракси се показало да се обично нађе времена за одржавање само на годишњем нивоу.

Свака процедура приликом одржавања батерија треба да буде документована. Иако је многим ово најтеже да раде ипак од тога имамо вишеструке користи. Подаци из листа одржавања батерија се користе за анализу отказа појединих батерија, анализу стања појединих ћелија и блокова, праћење тренда животног вијека батерије и као доказ приликом рекламација батерија.

Поступак се састоји од визуелног прегледа, читавања карактеристичних параметара и пробе за утврђивања стања батерије: капацитивна или омска.

Приликом доласка на локацију са батеријском резервом потребно је прегледати и/или измјерити слjedeће [9, 12, 13]:

- укупан напон батерије
- напоне појединих ћелија или блокова
- напон пуњења исправљача
- струју пуњења батерије
- температуру околине
- температуру неколико карактеристичних блокова
- чистоћу батеријна и опреме
- услове вентилације
- физичка оштећења или промјене на ћелијама или блоковима
- цурење
- корозију конектора (папучица)

Приликом мјерења укупног напона узети у обзир постојање температурне компензације да не би смо погрешно помислили да имамо лош напон пуњења. Ако постоји велика разлика између напона пуњења исправљача и укупног напона батерије онда то треба детаљније испитати и евентуално кориговати.

Познато нам је из претходних поглавља да ће већи напон пуњења повећати брзину корозије мреже позитивне електроде, гасирање, могућност температурног побјега и смањење животног вијека батерије. Мањи напон ће продужити вријеме пуњења батерије, неће покривати унутрашње губитке и може изазвати деградацију негативне електроде због сталног губитка капацитета [12]. Због свега овог јако је битно да се води рачуна о правилно подешеном напону допуњавања при превентивном одржавању батерија.

Напони појединих ћелија или блокова у оквиру батерије могу варирати један у односу на други. Дозвољено одступање од средње вриједности је $\pm 5\%$.

Батерију је потребно држати чистом и сувом да би смо избјегли појаву струја цурења. Пластичне дијелове батерија, а поготово кућишта, потребно је чистити обичном водом без додатка детерџената.

Неисправне ћелије или блокове потребно је послати центру за рециклажу. већина произвођача је развила технику рециклаже дотрајалих батерија и они организују прихват таквих батерија.

Једном годишње потребно је преконтролисати: дотегнутост свих конектора и међувеза, стање укупне инсталације једносмјерног напона и урадити пробу за утврђивање стања батерије. Ове пробе су јако битне у пракси и зато ћемо им посветити пажњу у наредним поглављима.

4.1 Капацитивне пробе батерија

Класичан, али веома поуздан начин тестирања стања батерија јесте да их откачимо са извора напајања и оптеретимо потрошачем у виду константне ступе или константне снаге пражњења током неког коначног интервала времена. Ако имамо инвертор или уређај за непрекидно напајање са батеријама онда се може радити и проба са констатном привидном снагом. На основу овог су се издвојиле двије врсте капацитивних проба тзв. пражњење константном струјом и пражњење константном снагом.

Да би смо извели пражњење константном струјом потребно је да имамо уређај за пражњење, тзв. пражњач, који може да представља такво оптерећење. Уређај треба да има подешавање струје пражњења у корацима као и могућност искључења при достигнутом крајњем напону пражњења. Потребно је да има и индикацију времена трајања пражњења. Ова метода се најчешће примјењује у пракси јер су овакви уређаји лако доступни за набавку и производе их и домаће фирме.

End voltage 1,80 V/cell														
Discharge time														
Battery type	10h	8h	5h	3h	2h	1h	30m	20m	15m	10m	7m	5m	3m	1m
SCP 6088	8,8	10,7	16,0	24,4	34,3	57,9	91,4	116	134	162	186	209	240	270
SCP 6106	10,6	12,9	19,2	29,3	41,4	69,8	110	140	161	195	224	252	289	325
SCP 6137	13,7	16,6	24,8	37,9	53,5	90,2	142	180	209	252	290	325	373	420
SCP 6155	15,5	18,8	28,1	42,9	60,5	102	161	204	236	285	328	368	422	475
SCP 6210	21,0	25,1	36,0	54,2	76,1	130	208	263	302	360	407	447	495	540
SCP 6270	27,0	32,3	46,3	69,6	97,0	165	261	329	376	447	505	550	620	670
SCP 4328	32,8	39,2	56,0	83,5	117	201	316	398	450	530	595	650	715	765
SCP 4355	35,5	42,4	60,6	90,5	127	217	340	426	482	565	630	685	750	800

Слика 31. Примјер таблице за пражњење батерија Tudor Highpower SCP константном струјом при 20°C.

Даље је потребно да дефинишемо жељено вријеме трајања капацитивне пробе: 1, 3, 5 или 10 сати и крајњи напон пражњења (обично 1,80 V/ћел). Затим из таблице произвођача читамо потребну константну струју пражњења. Примјер једне такве таблице је дат на слици 31.

Све таблице се дају за температуру 20°C (за САД 25°C). Ако стварна температура одступа онда капацитет добијен на крају ове пробе треба прерачунати у односу на табличну температуру да би добили стварни капацитет батерије. То се ради помоћу формуле дате у 2.5.1 По новом IEC пропису 60896-21 коефицијент температурне промјене за 10 сатно пражњење је 0,006, а не 0,01 као у 2.5.1 [1].

Долазимо до најважнијег дијела пробе, а то је критеријум исправности батерије тј. шта мора бити испуњено да би се ћелија или моноблок сматрала неисправним. Наравно, то је вриједност напона пражњења. По нашем пропису, ако напон једне ћелије или моноблока падне испод 1,80 V/ћел или укупни напон батерије падне испод напона $n \cdot 1,80$ V/ћел (n -број ћелија или моноблокова који чине једну батерију), прије истека времена предвиђеног за пражњење комплетна батерија се сматра неисправном [1]. За овај критеријум се добија и атест.

Међутим, проблем прави горе споменути IEC [2] који допушта да напон једне ћелије или блока буде мањи од 1,80 V/ћел по формули коју су они дали. Наиме, по њима тест је потребно прекинути када се испуни један од два услова. Први, услов је да укупан крајњи напон пражњења буде достигнут прије истека времена предвиђеног за пражњење (као и код нас), а други је да напон једне ћелије или моноблока падне испод напона $U = U_{KR} - (\sqrt{n} \cdot 0,2)$, гдје је $U_{KR} = 1,80$ V / ћел. Ово значи да, ако се наша батерија састоји од ћелија 2 V, онда је крајњи напон пражњења 1,60 V/ћел, а не 1,80 V/ћел.

На основу искуства у СиЦГ можемо рећи да, ако ми такву ћелију оставимо у нашој батерији, већ након 1-2 године комплетна батерија ће бити упропашћена. Ово одговара произвођачима јер ће тад истећи гарантни рок (1 год. за СиЦГ, док за друге земље и фирме може бити и пар година) и они неће бити у обавези да вам замјену батерије. Овог прописа се држе неки произвођачи који испоручују батерије на овим просторима и може бити проблема ако треба да се рекламирају неке батерије. Овакве игарије могу само довести до губитка атеста јер су га они добили по нашим прописима, а не по IEC који ми још нисмо прихватили.

Што се тиче капацитивне пробе пражњењем константном снагом важи све што смо горе рекли за пражњење константном струјом, с тим да се мора користити пражњач који може да представи такво оптерећење. Овај начин се рјеђе користи код нас јер су такви пражњачи доста скупи, а немам податке да их неко производи код нас. Пробе урађене са њима су много релевантније јер доста

End voltage 1,70 V/cell								
Battery type	Discharge time							
	1h	45m	30m	20m	15m	10m	5m	3m
S5 12/1.2	1,50	2,00	2,67	3,50	4,17	5,33	8,17	10,0
S5 12/2.0	2,67	3,50	4,67	6,33	7,50	9,83	14,7	18,3
S5 12/3.5	5,20	6,50	8,30	11,2	13,3	17,0	24,3	29,5
S5 12/6.5	9,00	11,5	15,7	21,3	25,2	32,7	46,7	55,5
S5 12/10	15,5	19,2	24,8	34,2	41,8	51,5	66,7	71,3
S5 12/16	23,5	29,7	39,2	52,7	61,2	77,3	106	128
S5 12/25	28,0	34,7	46,8	61,2	73,2	89,3	121	144
S5 12/30	40,0	50,7	64,3	86,0	103	135	192	225
S5 12/40	48,8	61,2	81,8	109	133	161	214	258
S5 12/55	72,5	91,3	118	155	173	216	301	354
S5 12/60	75,2	95,2	131	174	202	250	375	446
S5 12/65	70,7	87,7	117	148	178	214	290	325
S5 12/85	118	146	194	256	298	369	461	537
S5 12/115	143	180	237	315	376	465	622	760

телекомуникационих уређаја ради са константном снагом. Наравно, ове пробе временски обично трају краће него пражњења константном струјом, мада неки произвођачи дају податке и за дужа времена пражњења. Примјер једне таблице за пражњење константном снагом дат је на слици 32.

Слика 32. Примјер таблице за пражњење батерија Tudor Saferpower S5 константном снагом при 20°C.

Приликом вршења капацитивне пробе измјерене вриједности напона се уписују у одговарајућу табелу. Временски размак између два сусједна читавања зависи од дужине трајања капацитивне пробе. Нека општа смјерница је да се у почетку уписи врше на сваких сат времена, а при крају на 15 минута или краће. Ако је нека ћелија/блок лоша њен напон ће врло брзо да падне. Ако примјетимо такву ситуацију, читавања је потребно вршити без прекида на тим ћелијама да би могли прекинути пражњење батерије.

Већ смо рекли да је предност овог начина утврђивања стања батерија што су резултати доста тачни и поуздани. Овај начин утврђивања стања батерије има доста мана па ћемо побројати неке од њих. То су:

- потребно је знатно времена за његово извршење (нпр. за 2 батерије на једној локацији при тросатној проби потребно нам је преко 6 сати за тестирање истих (тј. један радни дан по локацији);
- свака проба скраћује животни вијек за један циклус (номинални број циклуса се обично креће од 200 до 400 по DIN-у);
- пражњач емитује топлоту, а и могућа је појава варница при повезивању;
- компликован па је потребно обучено особље;
- током теста смањили смо расположиву батеријску резерву;
- ако произвођач није предвидио прекидач којим се свака од батерија може изоловати од остатка система ту није могуће урадити безбједну капацитивну пробу;
- да би се проба могла поновити на истој батерији потребно је прво сачекати да се она напуни;
- немогућност прављења неких статистичких предвиђања и алгоритама (стратегија) замјене батерија.

У додатку А на крају рада дати су рачунски примјери избора батерија за оптерећења константном струјом и константном снагом.

4.2 Омске методе утврђивања стања батерија

Први радови на ову тему обављени су у компанији Моторола (САД) током 70-тих година прошлог вијека. Већа пажња овоме посвећена је крајем 80-тих када је компанија Midtronics, Inc. откупила лиценцу од Мотороле и почела сопствени развој ових метода [14]. Од тада се и у свијету придаје све већа пажња овом начину утврђивања стања батерија [15]. Овдје нећемо пуно детаљисати о овим методама већ ћемо само дати основне информације.

Подршка овом начину тестирања долази кроз сљедеће препоруке и потврде (за сада само у САД):

- IEEE 1188 - Recommended practice for testing and replacing VRLA batteries;
- T1E1 ANSI (American National Standards Institute). Approval in process;
- EPRI (Electrical Power Research Institute) Guide for testing stationary batteries.

Овај начин тестирања још увијек није прихваћен од стране IEC и у прописима европске уније мада се врше интензивна и обимна истраживања и пробе.

У наредном тексту даћемо дефиниције омских тестова по стандарду IEEE (Std. 484-1996, Std. 1187.1996). Постоје сљедеће три методе [14]:

1) Мјерење једносмјерне отпорности

Врши се довођењем једносмјерног оптерећења кратког трајања на ћелији/блоку у циљу мјерења тренутне промјене струје и напона. По Омовом закону, дијелјењем промјене напона са промјеном струје добијамо једносмјерну отпорност.

2) Мјерење импедансе

Ово се врши инјектовањем наизмјеничне струје познате амплитуде и учестаности у ћелију/блок и мјерењем наизмјеничног пада напона. Резултујућа импеданса се добија примјеном Омовог закона.

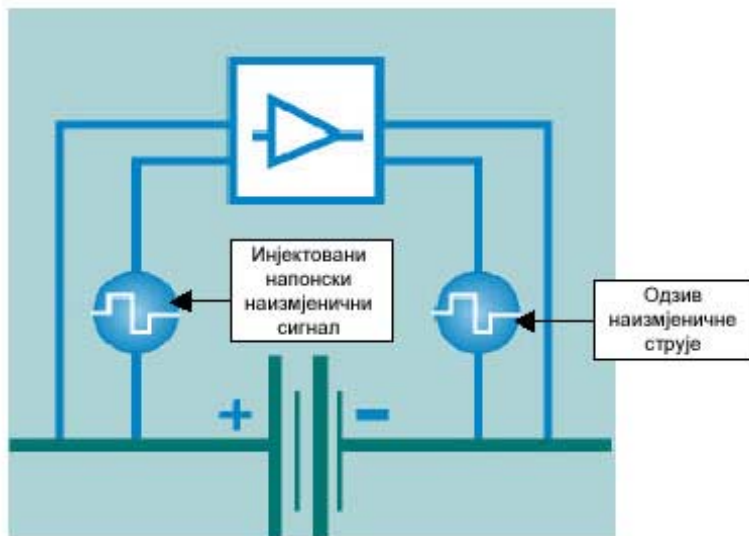
3) Мјерење проводности (кондуктансе)

Врши се довођењем наизмјеничног напона познате амплитуде и учестаности на ћелију/блок и мјерењем наизмјеничног одзива струје. Проводност је однос наизмјеничне струје кола, која је у фази са наизмјеничним напонем, и наизмјеничног напона који је производи.

Заједничко за све ове методе је да се њихова употреба може боље описати на сљедећи начин [15]: Повећање унутрашње отпорности или смањење измјерене проводности ћелије резултује смањењем очекиваног капацитета или перформанси пражњења те ћелије. На основу овог закључка можемо рећи да се „здравствено“ стање батерије може утврдити поређењем измјерених вриједности сличних ћелија у једном систему.

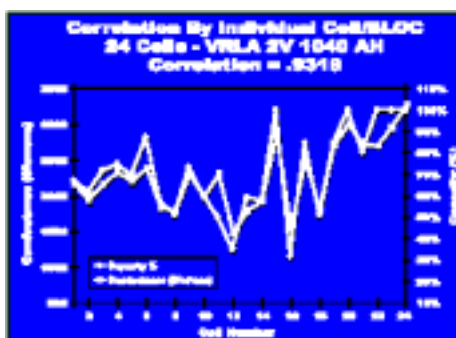
Метода мјерења проводности (реални дио комплексне адмитансе) се најчешће примјењује код већине произвођача опреме за тестирање батерија јер се тада добија линеарна зависност проводности од стања напуњености батерије [16]. На слици 33 дат је графички приказ мјерења проводности. Символ коришћен на слици представља електронски склоп који врши све оно што је потребно да би се могла примјенити ова метода. Ова метода се сматра лидером међу омским методама утврђивања стања батерија зато ћемо рећи још пар реченица о њој.

Проводност се такође може описати као еквивалентно мјерење површине електрода расположве за хемијску реакцију и измјену у оквиру батерије (позната коначна граница снаге коју може да да батерија). Током нормалних процеса старења и употребе батерије, површина електрода батерије може сулфатизирати, може се истрошити активни материјал или хемијски промјенити. Све ово утиче на радни вијек батерије. Ови нормални процеси изазивају опадање проводности како се смањује радни вијек батерије.

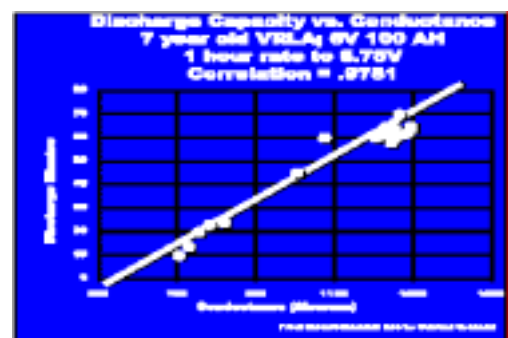


Мјерење проводности се може користити за откривање дефеката ћелија, кратких спојева и отворених веза који смањују могућност батерије да да потребну струју. Према томе, видимо да мјерења проводности могу да постану еквивалент дијагнозе стварног стања батерија. Резултати добијени овим мјерењима показују добру корелацију проводности и капацитета батерије што је и приказано на наредним сликама 34 и 35.

Слика 33. Графички приказ мјерења проводности.



Слика 34. Зависност капацитета ћелија од проводности



Слика 35. Зависност капацитета батерије од проводности

Графици на сликама 34 и 35 су приказани као примјери какви се добри резултати (добро корелисани) могу добити мјерењем проводности [15]. На слици 34 приказана је зависност проводности индивидуалних ћелија/блокова и њиховог капацитета. У тесту су коришћене 24 ћелије батерије 2V, 1054 Ah и добијена је корелација резултата од 0,9316. На ординатама су дате проводност ћелија у сименсима и капацитет у %, редом са лијева у десно. На апсциси је дат редни број ћелија. На слици 35 приказана је зависност проводности батерије и капацитета пражњења. Тест је рађен на 7 година старој батерији 6V, 100 Ah и добијена је корелација резултата од 0,9781. На ординати је приказан капацитет батерије, а на апсциси проводност у сименсима.

Ако ми нпр. добијемо да једна ћелија има проводност од 400 S, а остатак батерије има средњу вриједност од 1500 S онда можемо посумњати да посматрана ћелија није добра и да је потребно извршити капацитивну пробу због коначне оцјене.

Опрема која користи ове методе може се подијелити у двије групе: батеријски тестери и уређаји за непрекидни надзор батерија у раду (енгл. on-line battery monitoring systems). Новији уређаји врше сва потребна математичка израчунавања.

Оно што је интересантно је да произвођачи ове опреме хвале те методе на сва уста [14, 15], а произвођачи батерија их не одбацују, али су мало резервисани и не одустају у потпуности од употребе капацитивних проба батерија [9].

Доста произвођача још увијек не дају вриједности импедансе/ проводности за своје батерије јер нису одређене званичне референтне вриједности њихових батерија. Што се тиче корисника батерија, свега пар оператера телефоније у свијету је потпуно прешло на употребу ових метода с тим да се капацитивне пробе користе онда када добијемо (на основу омских мјерења) да нека ћелија/блок нису добри. Међу тим компанијама је и British Telecommunications plc.

Предност ових метода тестирања над капацитивним огледа се у сљедећем:

- брзо добијање резултата (за пар секунди);
- директно тестирање без потребе за искључењем батерије из рада;
- тест се може поновити више пута;
- сигурност при раду (због пасивности ових метода);
- лак и једноставан рад тестером (кориснички оријентисан)
- тестер је лак и са њим се ради из руку (портабл);
- могућност предвиђања животног вијека батерије;
- могућност дефинисања стратегије замјене батерија на основу добијених резултата [16].

Недостаци ових метода у односу на капацитивне:

- мјерење се мора вршити при потпуно напуњеној батерији;
- температурна зависност;
- не могу да дају апсолутне резултате већ се користе за праћење тренда података добијених на основу мјерења (примјена статистичких метода)
- не може у потпуности избацити капацитивни тест из употребе;
- зависност тачности од тачке мјерења на половима батерије и квалитета контакта (људски фактор);
- зависност тачности од примјењене методе (учестаност и амплитуда сигнала);
- тестери су јако скупи (нпр. СТА-2000 компаније Midtronics Inc. кошта ~3500 €) мада произвођачи тврде да је употреба ових уређаја јефтинија од употребе пражњака. Ово може бити предмет неке техноекономске анализе у сваком предузећу понаособ.

Сљедећи водич се може користити за интерпретацију резултата мјерења импедансе/ проводности/ отпорности [9].

Ако код вентилом регулисаних батерија користимо мјерења импедансе или проводности препоручљиво је да се батерије прво инсталирају и онда држе на

напону одржавања бар два дана. Након два дана, а максимално седам дана потребно је извршити прво читавање. Ова читавања представљају почетне вриједности импедансе/ проводности блокова или ћелија.

Затим се препоручује да се мјерења импедансе/ проводности врше сваких 6 или 12 мјесеци. Ако имамо неку локацију критичну по питању поузданости напајања онда се читавања могу вршити и чешће.

Тумачење измјерених вриједности импедансе/ проводности не може се завршити закључком да батерија посједује пун капацитет, мали капацитет или нема капацитета. Према томе, могу се направити сљедеће препоруке [9]:

1. Ако се вриједности импедансе/ проводности блокова или ћелија мијењају више од 35% у негативном смјеру¹, у поређењу са почетним вриједностима, прво се препоручује форсирано пуњење 12 сати, праћено пуњењем напоном одржавања два дана. Затим се мјерења морају поновити. Ако вриједности не опадају испод критеријума од 35%, потребно је извршити капацитивну пробу батерије.
2. Ако измјерене вриједности импедансе/ проводности блокова или ћелија имају негативно одступање² веће од 35%, у поређењу са усредњеним вриједностима (по батерији), прво се препоручује форсирано пуњење 12 сати, праћено пуњењем напоном одржавања два дана. Затим се мјерења морају поновити. Ако вриједности не опадају испод критеријума од 35%, потребно је извршити капацитивну пробу батерије.
3. Ако нису измјерене почетне вриједности за батерију онда се може примјенити само метод 2.

Сва мјерења импедансе/ проводности могу се међусобно поредити само ако температура не одступа више од $\pm 2^{\circ}\text{C}$. За позитивна одступања (импеданса мања, проводност већа) није потребна никаква акција (осим ако се не подудара са малим напоном одржавања) због тога што се ова промјена односи на повећање капацитета батерија која ради у режиму одржавања. Оваква ситуација се може понекад јавити у пракси [9].

Ако су блок или ћелија замјењени на основу мјерења импедансе/ проводности и враћени произвођачу на испитивање препоручује се да се на њима (маркером) напишу те измјерене вриједности.

Интензивна истраживања се врше у овој области посљедњих 15-ак година и можемо очекивати даљи помак по питању тачности и широј употреби ових метода. Такође, тренутно се ради доста тестова у многим компанијама које производе батерије ради добијања употребљивих референтних вриједности као и у друштвима за стандардизацију. Надамо се да ће и батеријски тестери појефтинити да би били приступачнији ширем кругу корисника.

Очекујемо да ће ове методе све више доћи до изражаја у пракси, а поготово у предузећима која достигну велик број локација са батеријским резервама, јер тада се физички неће моћи постићи одрађивање толиког броја капацитивних проба.

¹ Импеданса расте, а проводност се смањује.

² Импеданса расте, а проводност се смањује.

5. Закључак

У овом раду објаснили смо основне појмове и параметре везане за вентилом регулисане оловне батерије у киселини које се користе за напајање телекомуникационих уређаја на једносмјерном напону. За корисника батерија јако је важно разумијевање ових појмова да би могли добро радити све послове везано за избор батерија, пројектовање, монтажу и одржавање таквих система. Намјера нам је била и да са овим упознамо све заинтересоване студенте и инжењере који би жељели да се баве радом са оловним батеријама.

У остатку рада објаснили неке практичне аспекте који се јављају приликом употребе батерија. Главна пажња је посвећена њиховом одржавању јер од тога зависи правилан, поуздан и дуготрајан рад и, самим тим, смањење трошкова као и штета које могу настати услед отказа батеријске резерве. Један од великих проблема који се јавља код употребе батерија је усаглашавање произвођача и купца о критеријуму по којем би се нека батерија сматрала неисправном.

Надамо се да смо успјели да читаоцима бар мало приближимо проблематику са којом се сусреће инжењер који се бави одржавањем батерија и да, можда, неке то и наведе да се одредје за овакав посао. Рад са батеријама је доста интересантан са једне стране, а са друге стране је доста напоран и одговоран. Ту имамо прилику да доста тога научимо и напредујемо у пољу струке и пружа нам се могућност писања разних научних радова о експлоатацији и одржавању батерија.

У области стационарних оловних батерија стално имамо разна побољшања како по питању квалитета и перформанси самих батерија тако и по питању мјерења и дијагностике. Према томе, можемо очекивати и већу распрострањеност омиких метода дијагностике батерија.

За оне који желе нешто више да науче о батеријама препоручио бих проучавање референтне литературе. Од књига оштег типа, једна интересантна је такође наведена у референцама [17].

Даље унапређење овог рада било би у правцима дефинисања одређених критеријума и алгоритама замјене дотрајалих или неисправних батерија и метода предвиђања животног вијека. Било би корисно направити неке анализе колико често радити капацитивне пробе батерија у неком предузећу. Нпр., да ли је јефтиније или не, дефинисање неке стратегије замјене батерија на сваких пар година (на основу искуства из прошлости), а којом би можда смањили трошкове одржавања и тестирања батерија и сл.?

Литература

- [1] Заједница Југословенских ПТТ, Технички услови за стационарне оловне акумулаторске батерије, Београд 1985.
- [2] IEC 60896-21/FDIS Stationary Lead-Acid Batteries - Part 21: Valve regulated types -Functional characteristics and methods of test.
- [3] IEC 60896-22/FDIS Stationary Lead-Acid Batteries - Part 22: Valve regulated types - Requirements.
- [4] Standby Batteries: Technical brochure Dryfit, Sonnenschein GmbH.
- [5] The EUROBAT Guide for the Specification of Valve Regulated Lead-Acid Stationary cells and Batteries, Eurobat.
- [6] Technical Handbook Valve-Regulated Lead-Acid Batteries, Fiamm-GS.
- [7] Technical Manual -Tudor Standby Batteries, Tudor.
- [8] Compact Power™ Stationary Batteries Technical Manual, Oerlikon Stationary Batteries Ltd. Aesch BL, april 2004.
- [9] Handbook for Gel-VRLA-Batteries Part 2:Installation, Commissioning and Operation, Exide Technologies (Industrial Energy), december 2003.
- [10] Battery Industry Coalition: CommonPosition Paper on Batteries In the light of the revision of European battery legislation, april 2003.
- [11] Eurobat brochure 2003.
- [12] PowerSafe SBS product Guide, Enersys, february 2003.
- [13] Application Manual and Product Information for NSB Series Valve-Regulated Lead Acid Batteries, Northstar Battery Company, may 2002.
- [14] Midtronics, Inc power point presentation: World Leader in Battery Management Technology.
- [15] Todd J. Stukenberg and Thomas J. Dwyer, *“Using Conductance Technology to ensure Battery System Reliability”*, Batcon 2003.
- [16] M. Kniveton and A. I. Harrison, *“Impedance/Conductance Measurements as an Aid to Determining Replacement Strategies”*, INTELEC 1998.
- [17] Isidor Buchmann, *Batteries in a Portable World* (Handbook on Rechargeable Batteries for Non - Engineers), Second Edition,1997.

Интернет странице

- [18] www.exide.com
- [19] www.eurobat.org
- [20] www.fiamm.com
- [21] www.tudor.se
- [22] www.accuoerlikon.com
- [23] www.enersysinc.com
- [24] www.northstar.com
- [25] www.midtronics.com
- [26] www.elkproducts.com

Додатак А - Рачунски примјери избора батерија

Примјер 1. Пажњење константном струјом

Потребно је димензионисати стационарну батерију Tudor Highpower SCP за следеће услове: номинални напон система 48V уз дозвољена одступања од (+15%, -10%), напон одржавања батерија 2,25 V/ћел, струја пажњења: константна 50 А у трајању од 3 сата, радна температура 15°C.

Рјешење:

Максимални напон система: $U_{\max} = 1,15 \cdot U_{\text{nom}} = 1,15 \cdot 48 = 55,2V$.

Минимални напон система: $U_{\min} = 0,90 \cdot U_{\text{nom}} = 0,90 \cdot 48 = 43,2V$.

Број ћелија: $\frac{U_{\max}}{\text{напон пуњења}} = \frac{55,2}{2,25} = 24 \text{ ћелије}$.

Крајњи напон пажњења ћелије: $\frac{U_{\min}}{\text{број ћелија}} = \frac{43,2}{24} = 1,80V / \text{ћел}$.

Корекциони фактор за температуру: $1 - (0,006 / C \cdot 5C) = 0,97$.

Струја пажњења на 20°C: $50 / 0,97 = 51,55A$.

Након израчунавања крајњег напона пажњења ћелије, потражимо прву већу струју пажњења, у односу на израчунату, за период од 3 сата, у табели коју даје произвођач за тај крајњи напон ћелије (слика 31). Из табеле добијамо да је то батерија SCP 6210 (6V блок, 210 Ah) тросатне струје пажњења од 54,2 А. Наш систем ће се састојати од укупно 8 блокова батерија Tudor SCP 6210 капацитета 210 Ah.

Примјер 2. Пажњење константном снагом

Потребно је димензионисати стационарну батерију Tudor Safepower S5 за следеће услове: максимални напон система 432 V, минимални напон система 324 V, напон одржавања батерија 2,25 V/ћел, снага пажњења: константна привидна од 25 kVA у трајању од 30 минута, фактор снаге 0,8, степен корисног дејства 0,95, радна температура 20°C.

Рјешење:

Снага батерије: $P = S \cdot PF / \eta = 25kVA \cdot 0,8 / 0,95 = 21,05kW$.

Број ћелија: $342V / 2,25V / \text{ћел} = 192 \text{ ћелије}$.

Крајњи напон пажњења: $326,4V / 192 \text{ ћелије} = 1,70V / \text{ћел}$.

Потребна снага из батерије по ћелији: $P / 192 \text{ ћел} = 110W / \text{ћел}$.

Након израчунавања снаге по ћелији гледамо табелу дату на слици 32. За израчунату снагу, крајњи напон пажњења ћелије и дато вријеме пажњења читавамо прву већу вриједност која ово задовољава. То је батерија S5 12/65 (12V блок, 65 Ah) 30-минутне снаге пажњења од 117 W/ћел. Значи, наш систем ће се састојати од укупно 32 блока батерија Tudor S5 12/65 капацитета 65 Ah.

Напомена:

Овдје смо радили примјер са константном привидном снагом због општости (он се користи код димензионисања батерија за уређаје непрекидног напајања). У случају да треба димензионисати батерију за пажњење константном активном (средњом) снагом очигледно је да у претходном примјеру треба ту снагу уврстити умјесто $S \cdot PF$ у изразу за снагу батерије.