



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

LORENA KOVAČIĆ

**GOSPODARENJE OTPADNIM BATERIJAMA U KRUŽNOM
GOSPODARSTVU: POTENCIJAL KORIŠTENJA PREOSTALE
ELEKTRIČNE ENERGIJE**

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2022.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 19.09.2022. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 19.09.2022.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva

izr. prof. dr. sc. Sanja Kosić

Članovi povjerenstva

- 1) Prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić
- 2) Doc. dr. sc. Viktor Premr
- 3) Doc. dr. sc. Ivana Grčić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**GOSPODARENJE OTPADNIM BATERIJAMA U KRUŽNOM
GOSPODARSTVU: POTENCIJAL KORIŠTENJA PREOSTALE
ELEKTRIČNE ENERGIJE**

KANDIDAT:

Lorena Kovačić

Lorena K.

MENTOR:

Prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić

VARAŽDIN, 2022.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

**GOSPODARENJE OTPADNIM BATERIJAMA U KRUŽNOM GOSPODARSTVU: POTENCIJAL
KORIŠTENJA PREOSTALE ELEKTRIČNE ENERGIJE**

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 05.09.2022.

Lorena Kovačić
(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

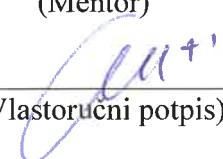
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

**GOSPODARENJE OTPADNIM BATERIJAMA U KRUŽNOM GOSPODARSTVU: POTENCIJAL
KORIŠTENJA PREOSTALE ELEKTRIČNE ENERGIJE**

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 05.09.2022.

Prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić
(Mentor)



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK:

Ime i prezime: Lorena Kovačić

Naslov rada: Gospodarenje otpadnim baterijama u kružnom gospodarstvu: potencijal korištenja preostale električne energije

Tema ovog diplomskog rada je zbrinjavanje otpadnih baterija u kružnom gospodarstvu – korištenje preostale električne energije. Danas se u svijetu javlja trend sve veće potražnje za sirovinama iako na tržištu trenutno postoji oskudica resursa. Dok populaciju na globalnoj razini zahvaća trend rasta uz povećanu potražnju, cijeli niz materijala je ograničen radi oskudice resursa. Ujedno radi manje ponude resursa javlja se sve veća ovisnost o zemljama koje su izvori tih resursa.

Načela kružnog gospodarstva temelje se na ponovnoj uporabi i recikliranju postojećih proizvoda i materijala za stvaranje dodatne vrijednosti proizvoda, odnosno produljenje životnog vijeka pojedinačnih proizvoda.

Ovaj diplomski rad predstavlja rezultate mjerenje preostale energije u otpadnim AA baterija, te se dobiveni rezultati koriste kako bi se utvrdio potencijal na razini Republike Hrvatske.

Ključne riječi: kružno gospodarstvo, otpadne baterije, potencijal

ABSTRACT:

Name and surname: Lorena Kovačić

Title: Waste batteries management in accordance with circular economy: potential usage of waste electric energy

The subject of this final paper is the disposal of waste batteries in the circular economy - the use of residual electricity. In modern times, the world is experiencing a trend of increasing demand for raw materials, although there is currently a shortage of resources on the market. While the global population is affected by the growth trend with increased demand, the whole range of materials is limited due to lack of resources. At the same time, due to less supply of resources, there is a growing dependence on the countries that are the sources of these resources.

The basis of the principles of the circular economy is the reuse and recycling of existing products and materials in order to enable the creation of additional product value or longer life of an individual product.

This master thesis presents the results of measuring the remaining energy in waste AA batteries and the obtained results are used to determine the potential at the level of the Republic of Croatia.

Keywords: circular economy, waste batteries, potential

Sadržaj:

1.	UVOD	1
2.	KRUŽNO GOSPODARSTVO	2
2.1.1.	Kružno gospodarstvo	5
3.	POSEBNE KATEGORIJE OTPADA	7
4.	BATERIJA I AKUMULATORI	10
4.1.	Vrste baterija i akumulatora	13
4.1.1.	Klasifikacija otpada za otpadne baterije i akumulatore	15
4.2.	Sastav baterija (akumulatora)	16
4.3.	Način rada baterije (akumulatora)	16
5.	PONOVNA UPORABA BATERIJA (AKUMULATORA)	18
6.	RECIKLIRANJE BATERIJA I AKUMULATORA	20
6.1.	Pregled podataka	23
6.1.1.	Količine baterija i akumulatora stavljenih na tržište	23
6.1.2.	Stopa sakupljanja	24
6.1.3.	Učinkovitost recikliranja	28
7.	ENERGETSKA KRIZA	30
8.	EKSPERIMENTALNI DIO	31
8.1.	Razvrstavanje otpadnih baterija	31
8.2.	Vaganje otpadnih baterija	33
8.3.	Mjerenje baterija	35
8.4.	Rezultati mjerenja	38
8.5.	Masa baterija	42
8.5.1.	Postaje li baterija lakša kada se isprazni?	43

8.6. Potencijal na razini RH	44
9. ZAKLJUČAK	46
10. LITERATURA.....	47
POPIS SLIKA.....	50
POPIS TABLICA	50
POPIS GRAFIKONA	50

1. UVOD

Danas se u svijetu javlja trend sve veće potražnje za sirovinama dok je trenutno stanje na tržištu takvo da je resursa sve manje. Dok populacija na globalnoj razini sve više bilježi trend rasta uz povećanje potražnje, cijeli niz materijala je ograničen radi ograničenih sirovina odnosno resursa. Ujedno radi fenomena manje ponude resursa javlja se sve veća ovisnost o zemljama koje su izvori tih resursa. Razvoj novih tehnologija i njihov napredak podigli su svijest o problemima zaštite okoliša i klimatski promjena. Također je istaknuta važnost poduzimanja određenih radnji i preporuka u svrhu očuvanja održivog razvoja. S obzirom da električni i elektronički uređaji sadrže opasne tvari u svom sastavu koje mogu imati vrlo nepovoljan utjecaj na okoliš, njihova uporaba te odlaganje čine veliki izazov danas, pogotovo kada se govori o problemu onečišćenja za okoliš.

Trošenje energije i povećanje emisija štetnih plinova poput CO₂ nastali su kao posljedice potrošnje materijala koji su imali utjecaj na klimu i na okoliš. Razborito korištenje materijala može dovesti do smanjenja emisija štetnih plinova i tvari u okoliš. Dva ključna svjetska problema (ograničeni resursi i klimatske promjene) mogu se ublažiti modelom kružnog gospodarstva.

Tema ovog diplomskog rada je zbrinjavanje otpadnih baterija u kružnom gospodarstvu – korištenje preostale električne energije. Cilj rada je obraditi temu Zbrinjavanja otpadnih baterija u kružnom gospodarstvu odnosno korištenje preostale električne energije. U sklopu rada obaviti će se istraživanje na realnim uzorcima otpadnih baterija na način da se utvrdi vrsta baterije, masa i električna energija koja je zaostala u baterijama. Rezultati mjerenja će biti analizirani i obrađeni, te će se dobiveni rezultati koristiti kako bi se utvrdio potencijal na razini Republike Hrvatske.

Tema je obrađena kroz poglavlja Kružno gospodarstvo, posebne kategorije zatim baterije i akumulatori te njihovo recikliranje. Na kraju je obrađen praktični dio.

2. KRUŽNO GOSPODARSTVO

Kružno gospodarstvo odnosi se na obrasce proizvodnje i potrošnje koji se temelje na dijeljenju, posuđivanju, ponovnoj uporabi, popravku i recikliranju postojećih proizvoda i materijala što je više moguće u svrhu stvaranja dulje ili dodatne vrijednosti proizvoda. Na taj način dolazi do produljenja životnog vijeka proizvoda, a u isto vrijeme dolazi do smanjenja količine otpada. [1]

Na primjer, u linearnim modelima, proizvodi se odbacuju nakon upotrebe, zahtijevajući velike količine jeftinih materijala i energije.[1] Naime, kružno gospodarstvo je alternativna opcija u odnosu na linearni model gospodarstva (što znači: uzmi – napravi - koristi – baci), tj. načelno model koji se temelji na principu eliminacije otpada i onečišćenja, održavanja materijala u upotrebi što je dulje moguće te obnavljanja prirodnih sustava

Prevencijom stvaranja otpada, eko-dizajnom, ponovnom uporabom otpada te sličnim mjerama, poduzeća iz EU-a mogu ostvariti uštede uz smanjenje emisija stakleničkih plinova. Proizvodnja materijala koji se svakodnevno koriste trenutno čini 45 % emisije CO₂. [2]

Prema procjenama Europske komisije, uvođenje načela kružnog gospodarstva neće samo smanjiti pritisak na okoliš, već će značajno poboljšati sigurnost nabave sirovina, konkurentnost i inovativnost, a pritom će pospješiti gospodarski rast koji bi bio čak 0,5 % BDP-a. Nadalje, procjenjuje se da će princip kružnog gospodarstva do 2030.godine otvoriti 700,000 novih radnih mjesta u EU, a potrošači bi imali za što biti zahvalni jer bi u konačnici imali dugotrajnije i otpornije proizvode. [2]

U modelu kružnog gospodarstva cilj je zatvoriti jaz između proizvodnog ciklusa i prirodnog ekosustava- o kojemu ljudi u konačnici ovise.[3] Njime se teži stvaranju gospodarstva koje djeluje u skladu s našim okruženjem, odnosno prirodom i okolišem.

Ključni sektori u kružnom gospodarstvu su:

- Plastika
- Tekstil
- e-otpad

- hranjive tvari, voda
- pakiranje
- baterije [1]

Temeljna 3 principa kružnog gospodarstva su:

1. Održavanje proizvoda i materijala u upotrebi što je dulje moguće (ponovna upotreba, održavanje trajnosti, ponovna proizvodnja, reciklaža)
2. Smanjenje količine otpada i zagađenja koje ima loš utjecaj na okoliš
3. Čuvanje i obnavljanje prirodnih sustava

Kretanje prema principu kružnog gospodarstva stvorilo bi niz prednosti za naše gospodarstvo, prirodno okruženje te klimatske promjene. Neke od prednosti bi bile:

- smanjenje pritiska na prirodne resurse,
- poboljšanje sigurnosti opskrbe sirovinama,
- povećanje konkurentnosti,
- poticanje inovacija,
- poticanje gospodarskog rasta. [4]

Potrošači bi u konačnici dobili trajnije i inovativnije proizvode koji bi znatno doprinijeli povećanju kvalitete života. Dugoročno bi dovelo i do uštede novaca.

Učinkovitost resursa i smanjenje onečišćenja okoliša ključni su aspekti kružnog gospodarstva. Inovacije mogu imati veliki utjecaj na poboljšanje učinkovitosti resursa. [4]



Slika 1: Kružno gospodarstvo [5]

Početakom 2020. godine Europska komisija je predstavila novi akcijski plan za kružno gospodarstvo s preporukama o održivom dizajnu proizvoda, smanjenju otpada i osnaživanju građana. Posebna pozornost posvećena je elektronici, informacijskoj i komunikacijskoj tehnologiji, plastici, tekstilu i građevinarstvu.[1]

U veljači 2021.godine. Parlament je odobrio novi akcijski plan za kružno gospodarstvo kojim se pozivaju na dodatne mjere za postizanje ugljično neutralnog, netoksičnog, ekološki održivog te potpuno kružnog gospodarstva do 2050.godine. [1]

U ožujku 2022.godine Europska komisija najavila je prvi skup mjera za ubrzanje prijelaza na kružno gospodarstvo. Prijedlozi uključuju poticanje održivih proizvoda, reviziju regulative o građevinskim proizvodima, osnaživanje da prijeđu na ekološki način te strategiju

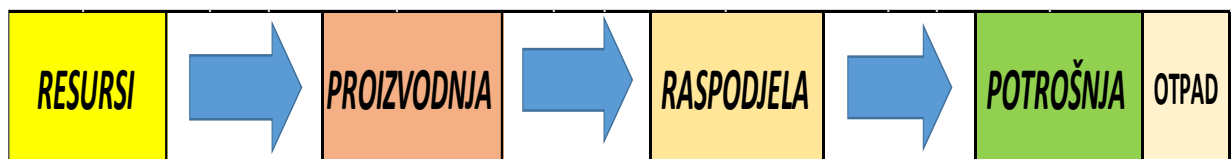
održivog tekstila. Cilj je smanjiti količinu opasnih tvari – posebice kadmija, olova i žive– koje se ispuštaju u okoliš te povećati recikliranje otpadnih baterija. [6]

Dva su toka materijala u kružnom gospodarstvu: biološki i tehnički hranjivi. Biološke hranjive tvari dizajnirane su za siguran ponovni ulazak u biosferu i izgradnju prirodnog kapitala, a tehnološke hranjive tvari omogućuju visokokvalitetne cikluse bez ulaska u biosferu. [7]

2.1.1. Kružno gospodarstvo

Dva tipa odnosno kategorije gospodarstava koje postoje su linearni model i kružno gospodarstvo. Linearno gospodarstvo funkcionira po sistemu ili nizu koraka koji se mogu prikazati kao “uzmi – proizvedi – odbaci“. Resursi se iskapaju te koriste, dolazi do procesa proizvodnje i korištenja proizvoda sve dok se ne odbace i zbrinu kao otpad, dok se vrijednost stvara tako da se maksimizira iznos proizvedenih, i potom prodanih proizvoda.

Bit linearnog gospodarstva može se definirati kao uzmi-napravi-odloži, tj. uzmi potrebne resurse, napravi proizvod (prodaj ga i ostvari profit) i odloži nepotrebno- uključujući i sam proizvod na kraju njegova života. Linearni model gospodarstva došao je do svojih granice te činjenica je da postaje sve više neodrživ.



Slika 2: Linearni model gospodarstva

Tijekom proizvodnog procesa linearnog modela gospodarstva, sirovine se koriste za izradu proizvoda, a nakon upotrebe sav otpad se baca. Procjenjuje se da tekstilna industrija EU svake godine proizvede oko 16 milijuna tona otpada, od čega se većina baca na odlagališta ili spaljuje, negativno utječući na okoliš i klimatske promjene uz visoke troškove. Linearni

modeli nepovratno iscrpljuju resurse našeg planeta. Sirovine završe kao otpad umjesto da se recikliraju.[8]

U linearnom gospodarstvu sirovine se iskopavaju i prerađuju u proizvode koji se nakon upotrebe odbacuju. U kružnom gospodarstvu ciklus svih ovih sirovina je zatvoren , što zahtijeva puno više od recikliranja. U tome procesu dolazi do izmjene načina na koji se stvara i čuva vrijednost, kao i načini na koje se proizvodnja čini održivijom i odabir poslovnih modela koji se koriste.

3. POSEBNE KATEGORIJE OTPADA

Otpad je svaka tvar ili predmet koji vlasnik odbaci, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatraju svi predmeti i tvari koje je potrebno skupljati, transportirati i zbrinjavati radi zaštite javnog interesa.[9]

Proizvođač otpada je svaka osoba čije aktivnosti stvaraju otpad i/ili mijenjaju sastav ili prirodu otpada prethodnom obradom, miješanjem ili drugim postupcima. [11]

Posebne kategorije otpada obuhvaćaju sljedeće:

- Ambalažni otpad
- Električni i elektronički otpad
- Otpadne gume
- Otpadna ulja
- Otpadna vozila
- Otpadne baterije i akumulatori
- Otpad koji sadrži azbest
- Ostale posebne kategorije otpada [10]

Recikliranje je svaki postupak oporabe, uključujući ponovnu preradu organskih materijala, kojim se otpad prerađuje u proizvode, materijale ili tvari za njegovu izvornu namjenu ili korištenje otpada u druge svrhe osim energetske odnosno preradu za korištenje kao gorivo ili odlagališni materijal.[11]

Ambalaža je sve ono što u odnosu na proizvod ima zaštitnu, uporabnu, transportnu, ekološku te informativnu funkciju i mora se odložiti ili odbaciti prije ili tijekom konzumacije proizvoda (sadržaja). U trenutku kada se ambalaža baca ona postaje otpad. [10]

Ambalažni otpad dijeli se na sljedeće materijale: plastika, metalni, drvo, papir/karton, višeslojna (kompozitna), staklena, tekstilni. [10]

Prema Fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, (nadalje: FZOEU) električni i elektronički otpad (EE otpad) spada u posebne kategorije otpada (PKO), koja sadrži vrijedne

metalne i nemetalne sirovine dobivene recikliranjem materijala (reciklaža), a koje se također mogu koristiti u energetske svrhe. Također su odvojeni dijelovi za ponovnu uporabu. [10]

Kategorije električne i elektroničke opreme:

- Oprema za izmjenu topline
- Monitori, zasloni te oprema koja sadrži površine veće od 100cm²
- Žarulje
- Velika oprema (vanjska dimenzija veća od 50 cm)
- Mala oprema (vanjska dimenzija nije veća od 50 cm)
- Mala oprema informatičke tehnike [10]

U RH gospodarenje otpadnim gumama provodi Fond sukladno Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 91/13) i Pravilniku o gospodarenju otpadnim gumama (NN 113/16). Guma je svaki proizvod iz članka 2. ovog Pravilnika koji je stavljen na tržište kao samostalan proizvod ili kao sastavni dio drugog proizvoda ili kotača koji se može svrstati u kategorije iz Priloga I. Pravilnika.

Odvojeno prikupljanje otpadnih guma osiguravaju ovlašteni sakupljači. Otpadne gume se ne smiju odlagati na odlagališta. Vlasnici otpadnih guma mogu ih odnijeti u reciklažno dvorište, serviseru kada se gume zamijene ili na skladište sakupljača. Ovlašten sakupljač dužan je preuzeti otpadne gume bez plaćanja naknade vlasniku otpadnih guma. Usluge prikupljanja otpadnih guma uključuju prikupljanje otpadnih guma (sakupljanje i transport do skladišta sakupljača) sortiranje, skladištenje, pripremu i transport do obrađivača. [10]

Otpadno ulje je svako ulje (biljno ulje, životinjsko mineralno ulje, sintetičko ulje, industrijsko izolacijsko i/ili termičko ulje) koje se više ne koristi za svoju izvornu namjenu. Razlikujemo otpadna jestiva i otpadna maziva ulja. Sva ulja proizvedena u ugostiteljsko-turističkim djelatnostima, industriji, trgovini, zdravstvenoj djelatnosti, javnoj upravi i drugim sličnim djelatnostima u kojima se sprema 20 obroka i više dnevno, svrstavaju se u rubriku otpadnih jestivih ulja koja su razgrađiva te predstavljaju neopasni otpad.[10]

Otpadna maziva ulja opasni su otpad jer jedna litra ulja kontaminira milijun litara vode, tj. trajno zagađuje tlo jer većina njih nije biorazgrađiva. Vrijedna su sirovina jer se mogu

regenerirati i koristiti kao sirovina za proizvodnju svježih mazivih ulja, tj. procesom materijalne oporabe iz kojih se mogu dobiti esteri za proizvodnju sapuna, deterdženta itd. Otpadna maziva ulja vrijedni su energenti za energetska i proizvodna postrojenja, a instalirana snaga opreme je veća ili jednaka 3 MW, jer se takvom oporabom može spriječiti onečišćenje okoliša. [10]

Otpadno vozilo je vozilo koje je odbačeno, namijenjeno ili mora biti odbačeno od strane vlasnika zbog oštećenja, istrošenosti i drugih razloga. Zbog mogućnosti nekontroliranoga ispuštanja tekućina predstavljaju opasnost za okoliš i zahtijevaju poseban oprez pri gospodarenju otpadnih vozila. Gospodarenje otpadnim vozilima i njihovim dijelovima niz je mjera koje uključuju prikupljanje, obradu, ponovnu uporabu otpadnih automobilskih dijelova, uporabu otpadnih automobila te zbrinjavanje novonastalog otpada koji se ne može oporabiti.[10]

Baterija ili akumulator znači bilo koji izvor električne energije proizveden izravnom pretvorbom kemijske energije koji se sastoji od jedne ili više primarnih baterijskih ćelija/članaka (koje se ne mogu puniti) ili jedne ili više sekundarnih baterijskih ćelija/članaka (koje se mogu puniti). [10]

Mineralni kristal vlaknaste strukture nazivamo Azbest. Postoji šest osnovnih tipova azbesta: tremolit, antofilit, tremolit, aktinolit, krizotil (bijeli), krokidolit (plavi), i amozit (smeđi). Najčešće korišteni azbestni materijal u RH je krizotil, ujedno najmanje opasan od navedenih materijala. S obzirom na njegova vrlo dobra svojstva, azbest se dodaje raznim proizvodima kako bi im se osigurala mehanička i kemijska svojstva, otpornost na vatru, vrućinu, vlagu, buku, trenje, habanje te elektricitet. Zabrana proizvodnje, prometa i uporabe azbesta i materijala koji sadrže azbest u RH stupila je na snagu 01.01.2006. godine. [10]

U ostale vrste otpada se ubrajaju medicinski otpad, farmaceutski otpad te otpadni mulj, zatim razni otpad nastao prilikom procesa proizvodnje te otpadna obuća i odjeća odnosno otpadni tekstil.

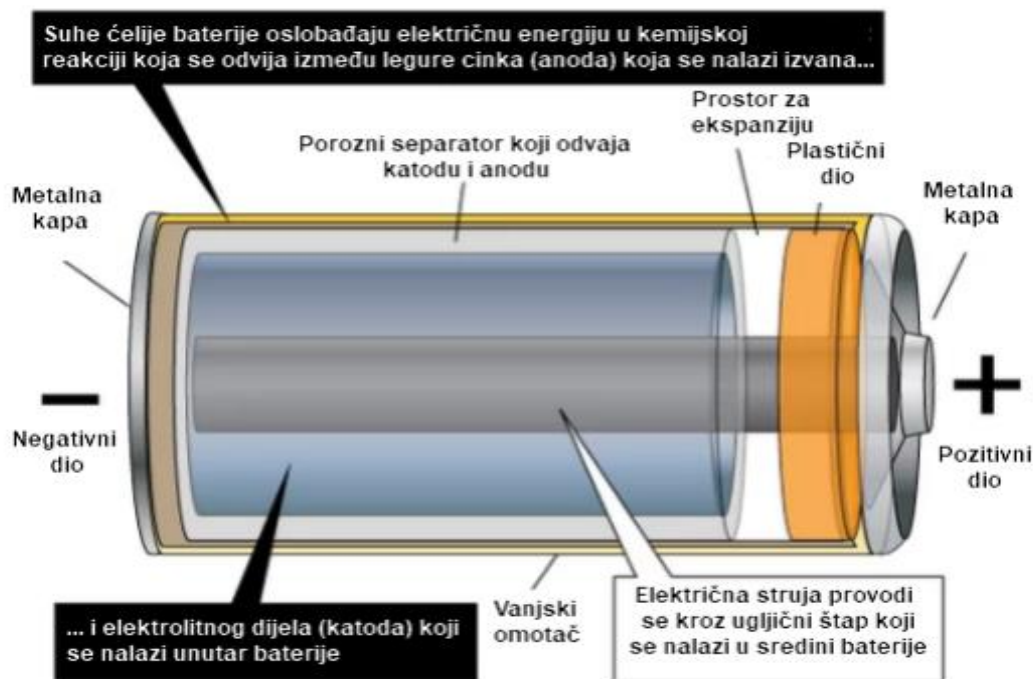
4. BATERIJA I AKUMULATORI

Kroz proces razvoja proizvodnje električne energije, javila se potreba za skladištenjem energije tijekom vremena kada je njena proizvodnja iz obnovljivih izvora povećana, sa svrhom njezinog iskorištavanja u periodu eventualne nedostupnosti ili smanjene proizvodnje električne energije kada ju najviše treba, u svojstvu električnog izvora.

Baterije se danas koriste svakodnevno u raznom obliku primjene, a najviše se koriste u već spomenutim prijenosnim elektroničkim uređajima u cilju olakšanog kretanja i smanjenju udjela materijala koji se koriste u kabelima. Baterija je osnovni uređaj današnjih modernih vremena koji pohranjuje kemijsku energiju koju potom pretvara u električnu energiju. Općenito, baterije su elektrokemijske ćelije koje stvaraju elektrone putem svojih reakcija koji će u konačnici služiti napajanju različitih elektronskih ili električnih uređaja.

Ponovimo, baterija ili akumulator znači bilo koji izvor električne energije proizveden izravnom pretvorbom kemijske energije koji se sastoji od jedne ili više primarnih baterijskih ćelija/članaka (koje se ne mogu puniti) ili jedne ili više sekundarnih baterijskih ćelija/članaka (koje se mogu puniti). [10]

Unutar svake baterije nalaze se dvije elektrode izrađene od vodljivog materijala. Prva elektroda, zvana katoda, spojena je na pozitivnu elektrodu baterije, dio kojim struja teče iz baterije. Druga elektroda, koja se naziva anoda i povezana je s negativnom elektrodom baterije, gdje električna energija ulazi u bateriju. [13]



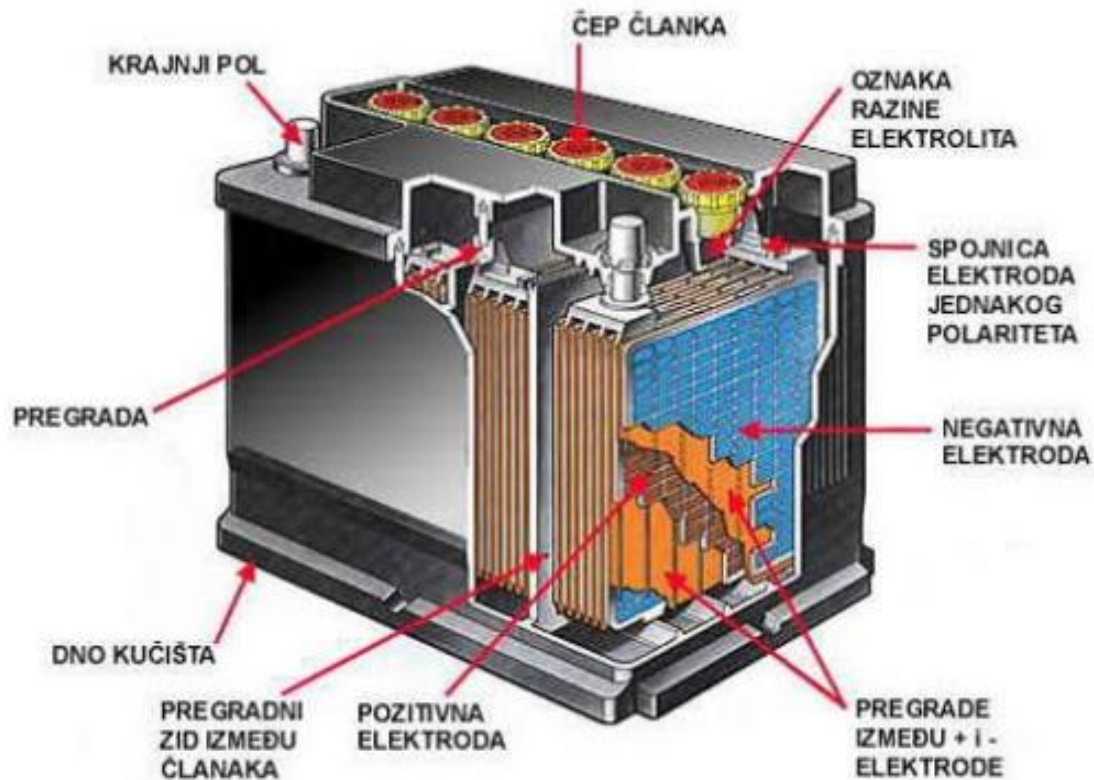
Slika 3: Građa i dijelovi baterije [13]

Između ovih elektroda, kao i unutar njih, nalazi se elektrolit. To je tekuća ili želatinasta tvar koja sadrži električno nabijene čestice ili ione. Ioni se spajaju s materijalima koji čine elektrode, stvarajući kemijske reakcije koje omogućuju bateriji da generira električnu struju. [13]

Akumulator je baterija koja se pod određenim uvjetima može ponovo napuniti tj. ima sposobnost pohranjivanja električne energije čime se višestruko povećava njezino korištenje. U engleskom jeziku riječ *battery* koristi se za dva pojma, prevodi se kao baterija, a pojam *rechargeable battery* koristi se samo za punjive baterije. Postoji i izraz punjive baterije, što su zapravo akumulatori. Možemo reći da su svi akumulatori baterije, ali sve baterije nisu akumulatori. U običnom se govoru, iako to nije točno, baterijom naziva i samo jedan galvanski članak, čak i ručna električna svjetiljka napajana galvanskim člancima. Osim toga, povezivanje nekoliko energetske kondenzatora za kompenzaciju faktora snage, također se naziva baterija (kondenzatorska baterija). [14]

Akumulator se ubraja u sekundarne galvanske elemente, odnosno ima mogućnost punjenja i ponovnog korištenja, za razliku od primarnih baterija koje se koriste jednokratno, kao što su

obične. Kada je akumulator napunjen, električna energija se pretvara u kemijsku, a kada se isprazni, kemijska energija se pretvara u električnu energiju. Akumulatori se najviše koriste za pokretanje dizelskih i benzinskih motora, ali neki automobili i strojevi se u potpunosti pokreću pomoću akumulatora (električni automobili i radni strojevi). [15]



Slika 4: Građa i dijelovi akumulatora [16]

Protok struje ili elektrona s negativne elektrode akumulatora na pozitivnu elektrodu događa se kada su elektrode električno spojene. Otpuštanjem elektrona negativna elektroda (anoda) se troši, a elektroni prolaze kroz potrošač do pozitivne elektrode (katode) gdje elektroni nedostaju.[16]

Opasni otpad uključuje olovne baterije, nikal- kadmijeve baterije, živine baterije i elektrolite koji se skupljaju odvojeno od baterija i akumulatora. Prednost recikliranja baterija je smanjenje primarne proizvodnje materijala i energenata, te ispuštanje olova, kadmija i žive u prirodu. [17]

4.1. Vrste baterija i akumulatora

Baterije se dijele na primarne i sekundarne baterije. Primarne baterije se ne mogu puniti odnosno one su nepunjive, dok su sekundarne vrste baterija punjive tj. mogu se puniti. Primarne baterije se uglavnom koriste u medicini, elektroničkoj opremi, satovima, daljinskim signalima. Prednosti primarnih baterija su visoka specifična energija, dug radni vijek te jednostavno korištenje. Jedan od nedostataka je njihov veliki unutarnji otpor, pa u uvjetima velikog opterećenja napon pada i baterija se zagrijava.

Značajan korak na području korištenja baterija i električne energije je bilo otkriće sekundarne baterije koje se dogodilo 1859. godine. Francuski fizičar Gaston Planté otkrio je da su kemijske reakcije reverzibilne. Olovna baterija ili olovni-kiselinski akumulator je energetska spremnik koji ima sposobnost pohraniti određenu količinu električne energije pretvaranjem električne energije u kemijsku energiju ili može izvršiti pretvorbu kemijske energije u električnu energiju ako je trošilo spojeno na njegove priključke (+/-). [18]

Vrste baterija ili akumulatora su:

Prijenosne baterije i akumulatori - sve baterije, gumbaste ili baterijski sklop ili akumulator, zapečaćeni i pogodni za ručno nošenje, osim industrijskih ili automobilskih baterija i akumulatora

Industrijske baterije i akumulatori - sve baterije ili akumulatori koji su namijenjeni za industrijsku ili profesionalnu uporabu ili za bilo koju vrstu električnih vozila.

automobilske baterije i akumulatori - nazivaju se još i starteri, to su svake baterije ili akumulatori koji se koriste za pokretanje, kretanje ili osvjetljavanje vozila. [19]

Najčešći tipovi primarnih baterija u proizvodnji su cink karbonske baterije i alkalne baterije. Općenito, primarne baterije rade učinkovitije od punjivih (sekundarnih) baterija, ali nedostatak je njihov ograničen vijek trajanja.

U upotrebi su u današnja vremena i cink karbonske baterije. Njihova značajna prednost je što su najjednostavnije i najjeftinije baterije. Obično se mogu prepoznati u prodaji ili pakiranju

po oznakama AAA, AA, C i D, koje označavaju „suhe“ ćelije. U cink baterijama, anoda je cink, katoda magnezijev dioksid, a elektrolit je amonijak ili cinkov klorid. [20]

AA baterije su nešto duže po veličini i imaju veći domet od AAA baterija. Upravo zbog ove razlike u veličini, AA baterije daju veću snagu. [16] Tako primjerice uređaji kojima je potrebna veća snaga funkcioniraju uz pomoć AA baterija, dok manji uređaji poput telefona, zidnog sata i sl. koriste baterije manje snage odnosno AAA baterije. Za usporedbu, primjerice određene dječje igračke troše više energije zbog čega rade uz pomoć baterija tipa AA. Uz to, čak i svjetiljke zahtijevaju više energije tj. snage pa u tu svrhu za njihov rad se koriste AA baterije. U konačnici AA imaju veći kapacitet rada, ali i duži vijek trajanja od AAA baterija. Zanimljivo je to da obje baterije koriste napon od oko 1,5 V. [20]

Tablica 1: Kemijski sastav alkalnih baterija (AA i AAA) [21]

Kemijski sastav/veličina	AA	AAA
Ukupna masa baterije (g)	22	11
Olovo (%)	<0,04	<0,04
Cink (%)	16	15
Mangan dioksid (%)	37	35
Ugljik (%)	4	4
Kalij hidroksid (%)	17	17
Nikal (%)	17	19
Mjed - slitina bakra i cinka %	2	5
Plastika (%)	1	3

Alkalne baterije su najčešće korištene i vrlo su slične cink karbonskim baterijama. Mangan dioksid i ugljik čine pozitivnu elektrodu (katodu), dok cinkov prah čini negativnu elektrodu (anodu). Elektrolit sačinjen od cinkovog i kalijevog hidroksida izaziva iritaciju dišnih puteva, očiju i kože, što se također smatra nedostatkom ove vrste baterija.[22] Alkalne baterije se najčešće koriste u satovima, igračkama, kamerama i ručnoj elektronici.

Prema Svjetskoj statistici za 2020., alkalne baterije čine 80% svih baterija proizvedenih u Sjedinjenim Državama, a globalna proizvodnja prelazi 10 milijardi. U Japanu alkalne baterije čine 46% ukupne prodaje primarnih baterija. Alkalne baterije čine 68% ukupne prodaje

baterija u Švicarskoj, 60% u Velikoj Britaniji i 47% u EU, uključujući sekundarne baterije. [22]

Najčešće korištene sekundarne baterije na tržištu su: litij - ionske (LiOn) baterije i nikal – kadmij (NiCd) baterije. Litij – ionske (LiOn) baterije su sekundarne baterije i trenutno su najbolji izbor za baterije unutar mobilnih uređaja. Imaju nešto manji kapacitet od nikal – kadmij baterija, ali je njihov proces proizvodnje jednostavan, također nisu prevelike, lakše su po težini te imaju značajan ciklus potencijalnih punjenja odnosno pražnjenja. [23]

Nikal – kadmij (NiCd) baterije su prve sekundarne baterije korištene u svijetu. Korištene su u mobitelima sve dok se litij – ionske baterije nisu pokazale boljom opcijom.[23]

4.1.1. Klasifikacija otpada za otpadne baterije i akumulatore

Ključni brojevi otpada navedeni u tablici 2. uvršteni su u otpadne baterije i akumulatore prema Dodatku 1. Pravilnika o Katalogu otpada (NN,broj 90/15). [24]

Tablica 2. Prikaz otpadnih baterija i akumulatora te ključnih brojeva iz Kataloga otpada [24]

Ključni broj otpada	Naziv otpada
16 06	baterije i akumulatori
16 06 01*	olovne baterije
16 06 02*	nikal-kadmij baterije
16 06 03*	baterije koje sadrže živu
16 06 04	alkalne baterije (osim 16 06 03*)
16 06 05	ostale baterije i akumulatori
16 06 06*	odvojeno sakupljeni elektroliti iz baterija i akumulatora
20 01	odvojeno sakupljeni sastojci komunalnog otpada (osim 15 01)
20 01 33*	baterije i akumulatori obuhvaćeni pod 16 06 01*, 16 06 02* ili 16 06 03* i nesortirane baterije i akumulatori koji sadrže te baterije
20 01 34	baterije i akumulatori, koji nisu navedeni pod 20 01 33*

4.2. Sastav baterija (akumulatora)

Baterije ili akumulatori sadrže teške metale kao što su živa, olovo i kadmij, koji su vrlo otrovni i zahtijevaju posebne metode recikliranja. Kao što je opisano u radu, elektrokemijske ćelije sastoje se od različitih elemenata koji su i dalje izuzetno opasni za okoliš, kao što su : živa, kadmij, nikal, olovo cink i kobalt. [17]

Većina otpadnih baterija (akumulatora) klasificira se kao opasni otpad. Što se tiče sastava baterije, zapravo je baterija sastavljena od raznih materijala od kojih su neki štetni za okoliš, a neki izuzetno rijetki pa je svakako isplativije ponovno ih koristiti. Baterije mogu sadržavati sljedeće materijale: nikal, cink, kobalt, živu, kadmij i olovo. Ako se baterija ne reciklira nego jednostavno bace, mogla bi se dogoditi velika ekološka i zdravstvena katastrofa.

Vanjski dio baterije (kućište) izrađeno od polietilena, slojeva polipropilena i karbonizirane plastike. Ovisno o vrsti baterije koriste se sljedeći elektroliti: kalijev nitrat, natrijev klorid, natrijev hidroksid, natrijev acetat klorovodična kiselina, dušična kiselina, sumporna kiselina i magnezijev hidroksid. Kao anode koriste se ugljik i cink, a kao katode mangan dioksid i olovo dioksid. [13]

4.3. Način rada baterije (akumulatora)

Unutar svake baterije nalaze se dvije elektrode izrađene od materijala koji lako provodi struju. Svaka od elektroda ima drukčiju ulogu. Prva elektroda naziva se katoda i ona se spaja na pozitivni kraj baterije dok se druga elektroda naziva anoda i ona se spaja na negativni kraj baterije. Inače, na pozitivnom kraju baterije struja izlazi iz baterije dok na negativnom kraju ona ulazi u bateriju. [13]

U prostoru između elektroda nalazi se vodljiv spoj, poznat i kao elektrolit. Elektrolit je sam po sebi kemijski spoj koji je provodi električnu struju ili to može postati u otopljenom ili rastaljenom svojstvu jer tada dolazi do stvaranja pokretljivih iona koji služe za prenošenje električnog naboja. Kao elektrolit u bateriji najčešće se koriste: natrijev klorid, natrijev

hidroksid, sumporna kiselina, klorovodična kiselina, dušična kiselina, natrijev acetat, kalijev nitrat i magnezijev hidroksid. [13]

Baterijske ćelije oslobađaju električnu energiju kada dođe do kemijske reakcije između vanjske strane (anode) i elektrolita (katode) u bateriji. Kemijske reakcije koje se odvijaju u elektrodama nazivaju se reduksijske i oksidacijske (redoks) reakcije. U bateriji, anoda je klasificirana kao oksidacijsko sredstvo jer prihvata elektrone od anode, dok je katoda reduksijsko sredstvo, jer daje elektrone. Tijekom kemijske reakcije ioni teku između katode i anode. [13]

Slobodni ioni nakupljaju se unutar anode, tako da dvije elektrode imaju različite naboje. Anoda je negativno nabijena kada se elektroni otpuštaju, dok je katoda pozitivno nabijena. Ta razlika u naboju uzrokuje da se elektroni žele kretati prema pozitivnoj elektrodi, ali zbog razdjelnika ne mogu. Svrha postojanja razdjelnika u bateriji je upravo odvajanje anoda od katode jer bez razdjelnika baterija ne bi mogla ispravno funkcionirati obzirom da bi dolazilo u njoj do kratkog spoja. [13]

Suhe ćelije oslobađaju električnu energiju čak i kada se dogodi kemijska reakcija između vanjskog dijela od legure cinka (anoda) i elektrolita (katode) u bateriji. Porozni separator odvaja katodu i anodu. Električna energija se provodi kroz ugljični štap koji se nalazi u središtu baterije. Kada je krug zatvoren, struja teče kroz bateriju. Struja se može kretati u oba smjera, ovisno o izvedbi sklopa i vodljivim materijalima. [13]

5. PONOVA UPORABA BATERIJA (AKUMULATORA)

Sustav gospodarenja otpadnim baterijama i akumulatorima sastavni je dio sustava prikupljanja otpadnih prijenosnih baterija i akumulatora, čija je svrha smanjenje negativnog utjecaja baterija i akumulatora na okoliš i s time povezano ponašanje svih gospodarskih objekata. [12]

Cilj gospodarenja otpadnim baterijama i akumulatorima je stjecanje visokog postotka sakupljanja otpadnih baterija i akumulatora, kao i postizanje visoke učinkovitosti recikliranja zbog dostupnosti vrijednih sirova koje se ponovo mogu upotrijebiti. Koristeći proces recikliranja, komponente baterija i akumulatora mogu se ponovno koristiti.[10]

Proizvođači prijenosnih baterija i akumulatora moraju postići godišnju stopu sakupljanja veću od 25%. Zanimljivo je da je od 29.rujna.2016.godine stopa sakupljanja veća od 45% i to odvojenim prikupljanjem otpadnih prijenosnih baterija i akumulatora, kako bi se smanjilo besmisleno bacanje i njihovo zbrinjavanje u miješanom komunalnom otpadu. [12]

Proces pripreme prije uporabe ili zbrinjavanja otpadnih baterija i akumulatora (priprema za proces recikliranja) uključuje razvrstavanje i odvajanje ambalaže i zajedničkog vanjskog kućišta baterijskog sklopa, ali ne uključuje otvaranje baterijskog članka.

Određena su zlatna pravila koja treba poštivati prilikom bacanja korištenih ili starih baterija. Pravila su sljedeća:

1. Baterije se uvijek trebaju reciklirati u jednom od službeno navedenih centara za prikupljanje elektroničnog otpada ili u drugom ovlaštenom centru za prikupljanje,
2. Baterije trebaju biti zasebno pakirane (npr. u plastične vrećice) kako bi se izbjegli kratki spojevi tijekom transporta do ovlaštenog centar za prikupljanje.
3. Moraju se poštovati svi lokalni propisi koji se odnose na transport ili skladištenje otpadnih baterija.
4. NE SMIJE SE rastavljati baterijske uloške.
5. Baterije s tragovima spaljivanja, vidljivim curenjem tekućine ili tragovima korozije NE SMIJU se transportirati

6. NEMOJTE ODLAGATI baterije kao obično smeće.
7. NE PREPORUČA SE prodavati ili dati rabljenju bateriju neovlaštenom preprodavaču.
8. NE PREVOZITE otpadne baterije zrakoplovom.[25]

6. RECIKLIRANJE BATERIJA I AKUMULATORA

Otpadna baterija ili akumulator je svaka baterija ili akumulator koja je otpad. *Proces recikliranja otpadnih baterija ili akumulatora* (u daljnjem tekstu: proces recikliranja) odnosi se na obradu otpadnih materijala iz baterija i akumulatora tijekom proizvodnog procesa, u primarne ili sekundarne svrhe osim oporabe energije. U principu, kompletan proces recikliranja sastoji se od sortiranja baterija, zatim klasifikaciju pojedinih vrsta baterija, kao i mehanički tretman nakon kojeg slijedi piro-hidrometalurški proces, najprije odlaganje otpada a zatim recikliranje. [23]

Zbog velike potražnje za baterijama u električnim strojevima i automobilima, potražnja za baterijama u industriji baterija je u rastućem trendu. Nakupljanje istrošenih baterija u otpadu može imati ozbiljne posljedice za okoliš i zdravlje ljudi, jer su kućišta baterija izrađena od korozivnih materijala, a razne otrovne tekućine mogu iscuriti u okoliš i vode te narušiti prirodnu ravnotežu. Sve baterije koje sadrže opasne tvari moraju bit označene posebnim simbolom za odvojeno sakupljanje otpadnih baterija.[22]

Broj procesa recikliranja baterija u svijetu je sve veći jer odlaganjem takvog otpada može doći do istjecanja spomenutih opasnih tvari i teških metala koji ozbiljno ugrožavaju zdravlje ljudi i životinja te zagađuju prirodu. Kemikalije mogu zagađiti tlo i vodu zbog korozije kućišta baterije, a neke vrste baterija mogu izazvati požare u određenim okruženjima.

Baterije i akumulatori moraju sadržavati oznake koje specificiraju sastav opasnih materijala u njihovim komponentama i bitno je da su označene posebnom oznakom za odvojeno sakupljanje istrošenih baterija i akumulatora u skladu s Direktivom 2013/56/EU i lokalnim propisima.

U slučaju da određeni aparati sadrže baterije koje se ne mogu mijenjati tada takvi uređaji ulaze u grupu otpadnih električnih i elektroničkih uređaja koje nalazimo u Direktivi Europske unije 2013/56/EU. Takve vrste uređaja treba predati ovlaštenom sakupljaču elektronskog otpada za prikupljanje koji će zatim poduzeti određene korake u cilju zbrinjavanja i recikliranja.

Recikliranje baterija kao tehnički postupak sastoji od niza koraka koji uključuju prikupljanje istrošenih ili odbačenih baterija na odgovarajućim određenim lokacijama. U slučaju da se pojedine baterije još uvijek nalaze unutar određenog elektroničkog uređaja, takve baterije se moraju najprije rastaviti u skladištima ili reciklažnim dvorištima a zatim se mora osigurati transport na siguran način do reciklažnog postrojenja odnosno pogona. Nadalje, slijedi proces razvrstavanja različitih vrsta baterija, odnosno usitnjavanje raznim postupcima i strojevima, a zatim je potrebno obaviti razvrstavanje različitih vrsta materijala odgovarajućim metodama. [26]

Alkalne baterije ili akumulatori

Kada je riječ o alkalnim baterijama, bitno je istaknuti kako se one mogu cijele reciklirati. Prije samog procesa recikliranja alkalnih baterija, njihove komponente je potrebno mehanički razdvojiti na: cink, mangan, čelik i plastiku. Nakon odvajanja, sve te komponente mogu se vratiti na tržište za ponovnu upotrebu ili u novim proizvodima kako bi se nadoknadili troškovi recikliranja. [27]

Olovno-kisele baterije ili akumulatori

Na primjeru reciklaže olovno kiselinskog akumulatora, biti će pojašnjeni detaljno koraci u samom procesu reciklaže. Prvenstveno, prije procesa reciklaže potrebno je sakupiti istrošene akumulate. Akumulatori se moraju vrlo oprezno transportirati iz razloga što oni i dalje sadrže 20%tnu sumpornu kiselinu u sebi a tu se radi o jednoj od najjačih anorganskih kiselina s kojom se mora oprezno rukovati.

Olovno-kiselinski akumulatori moraju se rastaviti prije recikliranja jer se nekoliko ćelija nalazi u metalnim kućištima. Nakon što se istrošene baterije prikupe i odvezu u reciklažno dvorište, stavljaju se na pokretnu traku koja ih odvozi dalje u tvornicu. Na pokretnoj traci se nalaze senzori za provjeru tipa akumulatora.

Proces recikliranja baterija i akumulatora je različit i ovisi o materijalima koji se koriste u ćelijama, tako da ako senzori otkriju pogrešnu vrstu akumulatora, oni će biti odbačeni i ti akumulatori moraju biti odneseni na drugo mjesto za recikliranje koje je za njih prikladno. Nakon toga se ispušta kiselina iz akumulatora, a proces se nastavlja do stroja koji usitnjava

akumulator na sitne dijelove. Osnovni materijali dobiveni recikliranjem akumulatora su sljedeći: kiselina, plastika, olovo i razni metali. Svaki od ovih elemenata mora biti odvojen jedan od drugog jer se kasnije u procesu svaki element pojedinačno reciklira te svaki zahtjeva drugačiju obradu.

Nakon usitnjavanja akumulatora, mali dijelovi idu u komoru za odvajanje materijala pomoću tekućine. Teški materijali, kao što je olovo, tonu na dno, dok plastika pluta na površini.

Nakon što olovo postane tekuće kroz proces taljenja, odvaja se od ostatka metala i odlazi u tekućem obliku u spremnik pomiješan s natrijevim hidrogenkarbonatom, kako bi se bolje pročistio. Pročišćeno olovo se zatim stavlja ili izlijeva u blokove i hladi vodom. Olovni blokovi se grupiraju i transportiraju do mjesta za ponovnu proizvodnju olovni elektroda. [27]

Litij-ionske baterije ili akumulatori

Litij-ionske baterije recikliraju se u odsutnosti kisika kroz specijalizirani mehanički proces na sobnoj temperaturi, tijekom kojeg se komponente baterije odvajaju u tri finalna proizvoda. U te proizvode spadaju: bakar, plastika, kobalt i litijeve soli, aluminij i nehrđajući čelik.

Svi se proizvodi zatim vraćaju na tržište i ponovno koriste u novim proizvodima. Sve komponente litij-ionskih baterija mogu se reciklirati. [27]

Nikal-kadmijeve baterije ili akumulatori

Plastika se odvaja od metalnih dijelova prije recikliranja. Metali se potom recikliraju procesom obrade metala na visokoj temperaturi. Plastika i metal zatim se vraćaju na tržište kako bi se ponovno upotrijebili u novim proizvodima. Ove baterije se mogu 100% reciklirati. [27]

Proces recikliranja trebao bi postići sljedeće minimalne učinkovitosti recikliranja:

- recikliranje 65 % prosječne mase olovno-kiselih baterija i akumulatora, uključujući recikliranje sadržaja olova u maksimalnoj mjeri tehnički izvedivoj, uz izbjegavanje previsokih troškova

- recikliranje 75 % prosječne mase nikal-kadmijских baterija i akumulatora, uključujući recikliranje sadržaja kadmija u najvećoj tehničkoj izvedivoj mjeri, uz izbjegavanje previsokih troškova
- recikliranje 50 % prosječne mase ostalih otpadnih baterija i akumulatora [12]

6.1.Pregled podataka

6.1.1. Količine baterija i akumulatora stavljenih na tržište

Prema podacima FZOEU, u 2020.godini na hrvatsko tržište stavljeno je 16.129 tona baterija i akumulatora, što je povećanje od 9% (1.319 t) naspram prethodne godine. Prema vrstama baterija i akumulatora, u 2020.godini isporučeno je 1.052 tone prijenosnih baterija, 12.569 tona automobilskih baterija (startera) te 2.508 tona industrijskih baterija i akumulatora. Prijenosne baterije, prema Članku 14. Pravilnika, po. kemijskoj vrsti dijele se na olovne, nikal-kadmijeve i ostale baterije. Tablica 3. prikazuje broj baterija i akumulatora koji su danas stavljeni na tržište od vremena kad je sustav uspostavljen. [28]

Tablica 3. Prikaz količine baterija i akumulatora stavljenih na tržište RH, po vrstama u 2020.godini [28]

Rb.	Vrsta baterije (akumulatora)	Proizvodnja (kg)	Uvoz (kg)	Izvoz (kg)	Stavljeno na tržište (kg)
1.	Prijenosne baterije i akumulatori - olovne	0	189.090	31.619	157.471
2.	Prijenosne baterije i akumulatori - nikal-kadmijeve	0	15.597	0	15.597
3.	Prijenosne baterije i akumulatori - ostale	0	881.180	2.207	878.972
Ukupno prijenosnih baterija i akumulatora (kg)		0	1.085.867	33.826	1.052.040
4.	Starteri	24	12.568.795	0	12.568.819
5.	Industrijske baterije i akumulatori	15.292	2.492.743	0	2.508.035
UKUPNO Rb.1-5 (kg):		15.316	16.147.405	33.826	16.128.894

Sljedeća tablica (tablica 4.) prikazuje količine baterija i akumulator stavljenih na tržište RH, po vrstama u razdoblju od 2015.do 2020.godine. Zaključujemo kako je svake godine sve veći broj baterija i akumulatora.

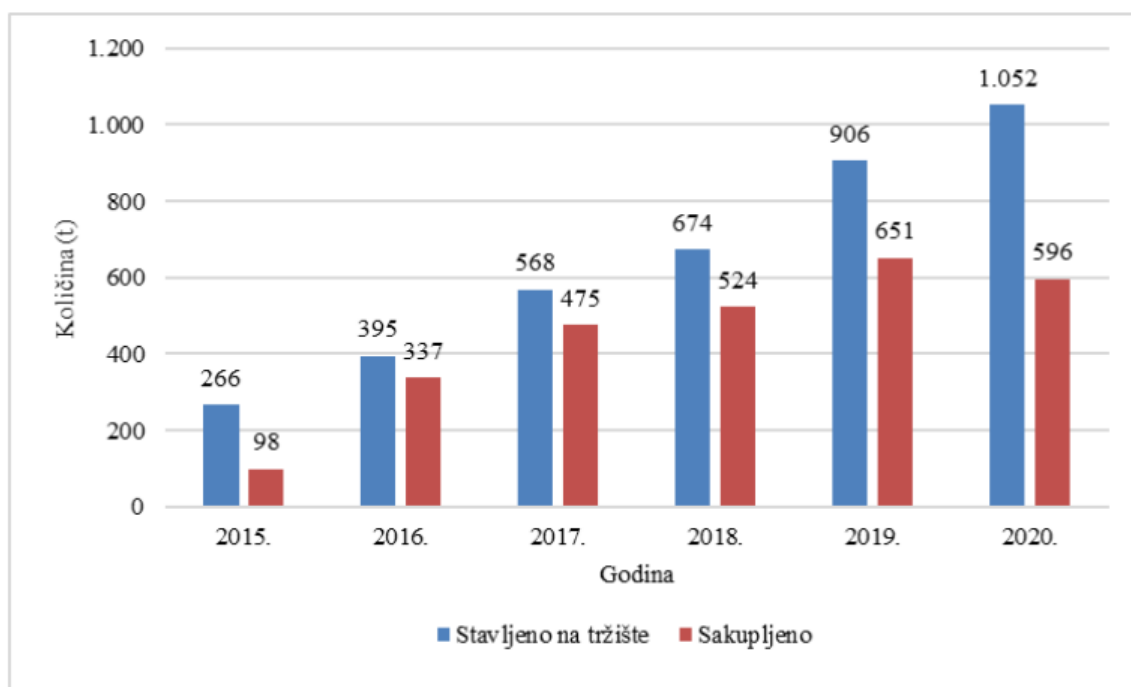
Tablica 4. Prikaz količine baterija i akumulatora stavljenih na tržište RH, po vrstama u razdoblju od 2015.-2020.godine [28]

Stavljeno na tržište RH (tona)	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.
Prijenosne baterije i akumulatori	266	395	568	674	906	1.052
Starteri	7.729	9.410	12.519	10.057	11.606	12.569
Industrijske baterije i akumulatori	1.576	1.819	2.570	2.558	2.298	2.508
UKUPNO (tona):	9.570	12.019	15.657	13.289	14.810	16.129

Broj prijava baterija i akumulatora stavljenih na tržište Republike Hrvatske u 2017.godini značajno je porastao, na što je, između ostalog, utjecalo utvrđivanje obveznika plaćanja naknada i edukacija FZOEU inspektorima Ministarstva financija- Carinske uprave u svrhu nadzora nad obveznicima plaćanja pristojbi. Isto tako, tijekom 2017.i 2018.godine održane su edukacije isplatitelja u suradnji s Hrvatskom gospodarskom komorom i Hrvatskom obrtničkom komorom, što je također utjecalo na spomenuti rast koji se pojavio i u 2019.i 2020.godini. Osim navedenog, od 2017.godine u količinu baterija i akumulatora stavljenih na tržište, uključena je i količina koju proizvođač deklarira za uvoz kao dio EE opreme i vozila (ugrađeno), dok prethodnih godina taj iznos nije bio uključen. [28]

6.1.2. Stopa sakupljanja

Podaci FZOEU pokazuju da se u razdoblju od 2015. do 2020. godine broj prijenosnih baterija i akumulatora stavljenih na tržište poveća četiri puta, a broj sakupljenih količina povećao za šest puta. U odnosu na 2019.godinu, broj prijenosnih baterija i akumulatora stavljenih na tržište u 2020. povećao se za 16%, tj. 146 tona, dok je prikupljanje otpadnih prijenosnih baterija i akumulatora smanjeno za 8% tj.55 tona (graf 1.)



Graf 1. Prikaz količine prijenosnih baterija i akumulatora stavljenih na tržište i sakupljeno, 2015.- 2020. godine [28]

U 2020.godini sedam ovlaštenih sakupljača sustava FZOEU (tablica5.) prijavilo je ukupno 596 tona, točnije 595.86 tona otpadnih prijenosnih baterija i akumulatora, od čega najveći dio (467 tona ili 78%) otpadnih olovnih baterija i akumulatora, gotovo sve (99%) prerađeno u RH, dok se ostatak otpadnih baterija i akumulatora prepakira, razvrsta i sortira izvoz u obradu. Najviše (254 tone ili 43%) otpadnih prijenosnih baterija i akumulatora prikupljeno je na području grada Zagreba (tablica 5.) [28]

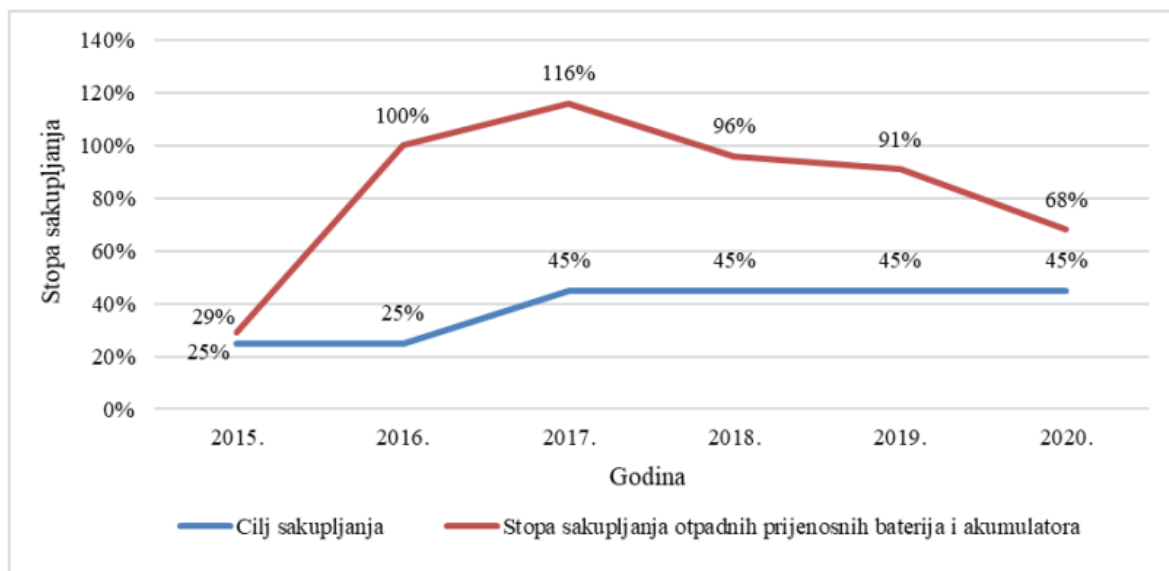
Tablica 5. Prikaz sakupljenih količina otpadnih baterija po županijama [28]

Županija	Sakupljeno (t)	Udio po županijama (%)
Grad Zagreb	253,57	42,56
Koprivničko-križevačka	104,49	17,54
Osječko-baranjska	47,54	7,98

Virovitičko-podravska	41,38	6,94
Zagrebačka	30,69	5,15
Primorsko-goranska	24,62	4,13
Istarska	21,15	3,55
Krapinsko-zagorska	14,26	2,39
Splitsko-dalmatinska	13,39	2,25
Bjelovarsko-bilogorska	12,01	2,02
Varaždinska	9,47	1,59
Međimurska	7,84	1,32
Zadarska	2,86	0,48
Dubrovačko-neretvanska	2,82	0,47
Sisačko-moslavačka	2,81	0,47
Karlovačka	2,17	0,36
Požeško-slavonska	1,32	0,22
Vukovarsko-srijemska	1,31	0,22
Brodsko-posavska	0,90	0,15
Šibensko-kninska	0,73	0,12
Ličko-senjska	0,53	0,09
UKUPNO	595,86	100%

Prema članku 32.Pravilnika, MINGOR je dužan izraditi izvješće o stopi prikupljanja otpadnih prijenosnih baterija i akumulatora u skladu Direktive 2006/66/EZ , te ga dostaviti Europskoj komisiji u roku od šest mjeseci prije isteka kalendarske godine u kojoj je izvješće pripremljeno. MINGOR izrađuje izvješća na temelju podataka FZOEI. Izračun stope prikupljanja za prijenosne baterije provodi se prema metodi navedenoj u Prilogu VII. Pravilnika koja je prenesena iz Direktive 2006/66/EC. Stoga je stopa prikupljanja u 2020. izračunata na temelju omjera mase prijenosnih baterija i akumulatora prikupljenih u 2020.i prosječne mase prijenosnih baterija i akumulatora stavljenih na tržište u 2020.godini te prethodne dvije godine. [28]

Prema procjenama, stopa prikupljanja prijenosnih baterija i akumulatora za 2020.godinu iznosi 68%, čime je postignut cilj stope prikupljanja (graf 2).



Graf 2. Prikaz stopa prikupljanja otpadnih prijenosnih baterija i akumulatora te usporedba s ciljevima prikupljanja, između 2015.-2020.godine [28]

Visoke stope prikupljenih otpadnih prijenosnih baterija i akumulatora u 2016. i 2017. djelomično su rezultat loše kvalitete podataka. Obveznik (uvoznik/proizvođač) podnosi godišnje izvješće o prijenosnim baterijama i akumulatorima stavljenim na tržište FZOEU, od kojih su neki pri pokretanju registrirani pod starterom dok su se isti kod sakupljača

prijavljivali ispravno. Zbog različitog tumačenja Pravilnika, poput baterija i akumulatora za mopede, quadova i sl., može doći do lažnih registracija. Prijavljeni su kao starteri, a ne kao prijenosne baterije. No, od 2018.godine dokumentirana je bolja kvaliteta podataka jer je FZOEU u partnerstvu s Hrvatskom gospodarskom komorom održao edukaciju za porezne obveznike o načinu popunjavanja izvješća i važnosti pravilnog popunjavanja podataka. Iz navedenih razloga u budućnosti se očekuje bolji prijenos podataka. [28]

6.1.3. Učinkovitost recikliranja

Izračun učinkovitosti recikliranja temeljen je na omjeru stvarne količine dobivene recikliranjem i početne količine otpadnih baterija i akumulatora koji ulaze u proces recikliranja. Proračuni su rađeni za tri vrste prijenosnih otpadnih baterija (olovne, nikal-kadmijeve te ostale otpadne baterije i akumulatori), a za konačni izračun učinkovitosti recikliranja korišteni su podaci svih obrađivača za pojedini tip baterije.

MINGOR-ove brojke o učinkovitosti recikliranja temelje se na podacima tvrtki s dozvolama za gospodarenje otpadom (uključujući otpadne baterije i akumulatore) i podacima o oporabiteljima izvan Republike Hrvatske (u 2020.godini Njemačka, Francuska, Austrija i Slovenija) preuzimaju dio ili cijelu bateriju za daljnju uporabu. [28]

Tablica 6: Učinkovitost recikliranja otpadnih baterija u RH u periodu u osnovu na propisani cilj u periodu 2016.-2020. godine [28]

Vrsta otpadne baterije	Propisani cilj	Dostignuta učinkovitost recikliranja				
		2016.	2017.	2018.	2019.	2020.
Olovne otpadne baterije i akumulatori	65 %	82 %	82 %	80 %	79 %	81 %
Nikal-kadmijske baterije i akumulatori	75 %	70 %	55 %	51 %	51 %	51 %
Ostale otpadne baterije i akumulatori	50 %	81 %	92 %	94 %	61 %	62 %

Kada se promatra samo 2020. godina, može se zaključiti da su ispunjeni ciljevi učinkovitosti recikliranja za olovne otpadne baterije i akumulatori (81 %) i ostale otpadne baterije i akumulatori (62 %) , dok ciljevi za nikal-kadmijeve baterije i akumulatori nije ispunjeni (51%).

7. ENERGETSKA KRIZA

Da bi se razumjelo zašto se ovo istraživanje provodi, bitno je razumjeti problematiku energije. S naglim oporavkom potražnje za energijom, praznim skladištima plina, golemom geopolitičkom nestabilnošću i rastućim narativom o dekarbonizaciji te spekulativnim tržištima koja su zarobila EU u padu cijena energije, pitanje osnovne sigurnosti opskrbe postalo je sve važnije. Era niskih cijena energije sigurno je završila.[29]

Kriza na energetske tržištima 2021., dodatno pogoršana izbijanjem rata u Ukrajini i sankcijama protiv Rusije. Ravnoteža energetske trileme, uključujući sigurnost, pristupačnost i održivost, potpuno je poremećena: cijene plina i električne energije u EU rekordno su visoke, što ugrožava krhki gospodarski oporavak od nedovršene pandemije korona virusa. Cijene električne energije prije ukrajinskog rata bile su 7,5 puta veće od prosjeka za razdoblje 2010.-2020. Od 2019. do rujna 2021. prosječne veleprodajne cijene plina i električne energije porasle su za 429%, tj. 230% prema analizi Europske komisije. Cijena električne energije isporučene dan prije, koja je krajem prosinca prošle godine dosegla 400 EUR/MWh, početkom godine se vratila na oko 200 EUR/MWh, što je još uvijek vrlo visoko. Poskupljenje emisijskih dozvola (ETS dozvola) djelomično je pridonijelo rastu cijena energije, jer je cijena tone ugljičnog dioksida u godinu dana porasla na više od 90 EUR/t, što je povećanje od više od 150%. Visoke cijene energije pokretači su cijena roba u energetski intenzivnim industrijama pa su, na primjer, cijene aluminijske trenutno na najvišoj razini u 13 godina. [29]

8. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio sastoji se od mjerenja zaostale električne energije koja je ostala u baterijama. Mjerenja će se obaviti na realnim uzorcima otpadnih baterija na način da se utvrdi vrsta baterije, masa i spomenuta električna energija koja je zaostala u baterijama. Rezultati mjerenja će biti analizirani i obrađeni, te će se dobiveni rezultati koristiti kako bi se utvrdio potencijal na razini Republike Hrvatske odnosno koliko zarobljene energije ima u otpadnim baterijama.

8.1. Razvrstavanje otpadnih baterija

Za početak, potrebno je bilo razvrstati otpadne baterije AA po proizvođaču, vrsti i oznaci te odvojiti dobre od oksidiranih (rezultati u tablici 7.)

Tablica 7. Prikaz baterija razvrstanih po proizvođaču, vrsti i oznaci te broj dobrih i oksidiranih baterija

Proizvođač	Vrsta baterije	Oznaka	Ukupan broj baterija	Dobre	Oksidirajuće
VARTA	Cink- karbonska	R6	73	57	16
VARTA	Cink- karbonska	R6P	13	6	7
VARTA	Alkalne	LR6	73	66	7
GRUNDING	Cink	R6	22	13	9

S-BUDGET	Alkalne	LR6	27	27	0
DURACELL	Alkalne	LR6	105	72	33
AERPCELL	Alkalne	LR6	27	25	2
PANASONIC	Alkalne	LR6	22	22	0
PHILIPS	Alkalne	LR6	10	10	0
PHILIPS	Cink	R6	11	10	1
			383,0	308,	75,0
			100%	80,4%	19,96%

Prvo se odvajaju dobre baterije od oksidirajućih baterija, te se dobre baterije razvrstavaju prema proizvođaču, vrsti baterija i oznaci. Ista stvar se radi s oksidirajućim baterijama. Oksidirajuće baterije lako je prepoznati jer se na njima nalazi bijeli prah ili hrđa, uglavnom zato što dolazi do korozije metalnog cilindra te elektrolit slobodno protječe kroz rupe u bateriji (slika 7). Oznake na baterijama (R6, R6P, LR6) utvrđuju veličinu baterije, oblik te napon baterije.



Slika 5. Oksidirajuće baterije

8.2. Vaganje otpadnih baterija

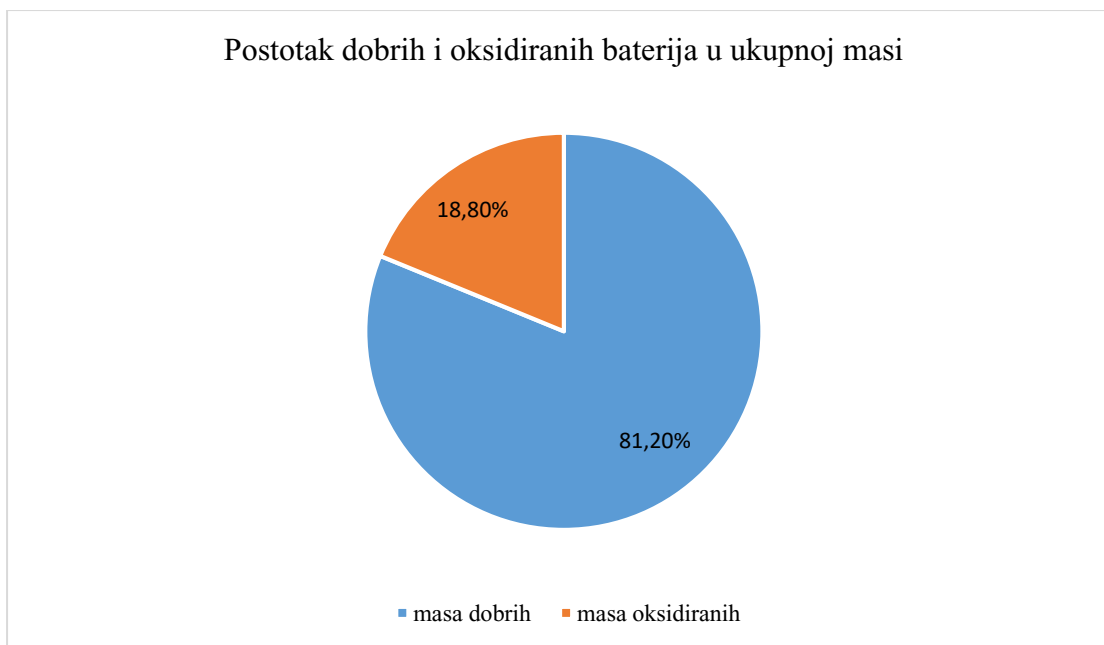
Nakon razvrstavanja svih baterija, baterije se važu prema proizvođaču, vrsti te jesu li dobre ili oksidirajuće (slika 8) . Prosječna masa jedne cink-karbonske baterije, koja je ujedno i najlakša vrsta AA baterije, iznosi 19 g, dok su alkalne baterije srednje težine te prosječno iznose 24 g. Na kraju vaganja, računa se srednja te ukupna masa svih baterija. (tablica 8.)



Slika 6. Vaganje otpadnih baterija

Tablica 8. Ukupne i srednje mase baterija

Ukupna masa [g]	Masa dobrih [g]	Masa oksidiranih [g]	Srednja masa baterije [g]	Srednja masa dobrih [g]	Srednja masa oksidirajućih [g]
7.743,6	6.287,2	1.456,4	19,22	19,29	18,35
100%	81,2%	18,8%			



Graf 3. Postotak dobrih i oksidiranih baterija u ukupnoj masi

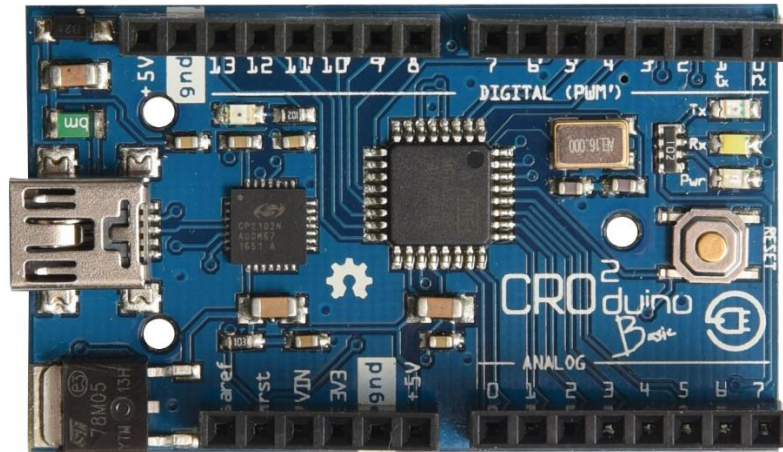
Kada su sve otpadne baterije razvrstane i izvagane, potrebno je odvojiti par baterija kako bi se utvrdilo ima li u njima još energije.

8.3. Mjerenje baterija

Uređaj koji se koristi za mjerenje naziva se *Croduino Basic 2* (slika 9). Inače, kako bi se najbolje razumjelo što je *Croduino* i što on sve može, bitno je poznavanje Arduina. *Arduino* je elektronična prototipna platforma koja služi za izradu elektroničkih projekata. Sastoji se od hardverskog dijela koji je fizički elektronički programibilni strujni krug (također se naziva i mikrokontroler) i softverskog dijela koji se naziva IDE (Integrated Development Environment) koji se može pokrenuti na računalu te iz njega možemo programirati i upravljati samom pločom. [30]

Croduino je prva hrvatska Arduino kompatibilna pločica tj. razvojna mikrokontrolerska ploča koja je temeljena na Arduinu. Dizajnirana je na način da je početak rada s elektronikom što lakši. Mozak ploče je 8-bitni mikrokontroler na koji se novi kod učitava putem USB

komunikacije. Ima velik broj pinova za jednostavno spajanje vanjskih komponenti i modula. Ugrađeno je nekoliko indikatorskih LE dioda, zaštita od kratkog spoja i odgovarajući strujni krug. Ploča Croduino Basic 2 može se napajati od 1,8 V do 24,0 V. [30]



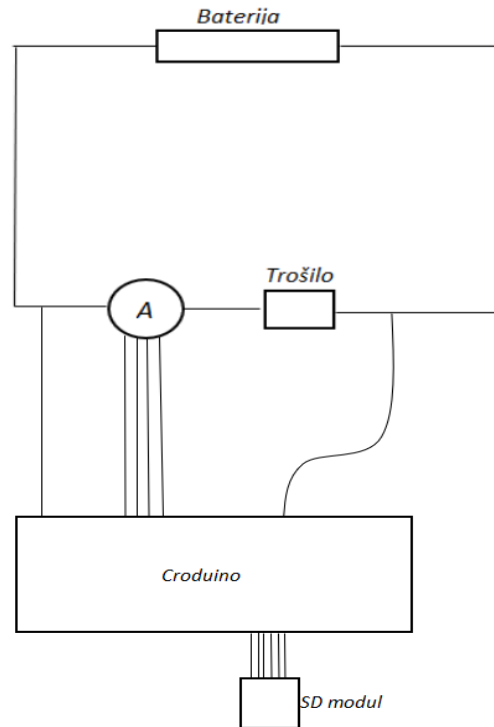
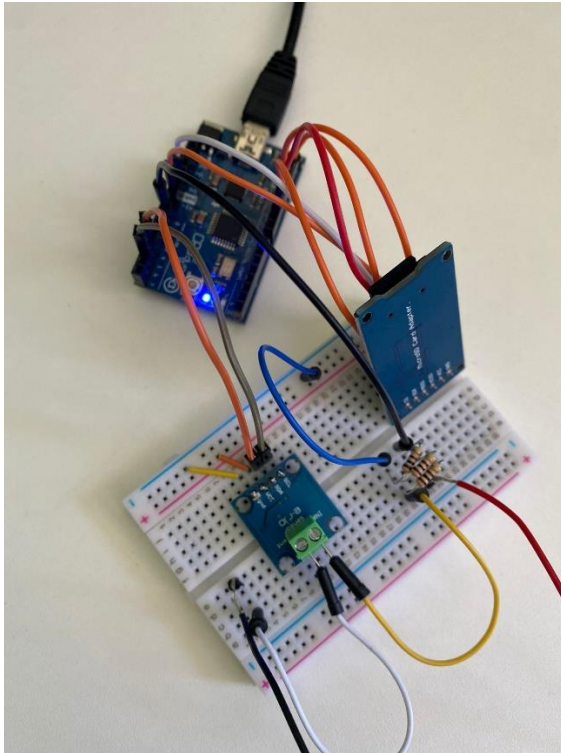
Slika 7. Croduino Basic 2 [31]

Modul za SD karticu se spojio na Croduino pločicu tako da su se povezali pinovi s modula na pinove Croduina koji služe za SPI komunikaciju. Kada se povežu Croduino i SD modul, Croduino se može programirati da sprema podatke na SD karticu ili čita podatke sa SD kartice. [32]

Za mjerenje napona se koristio *Croduino voltmetar*. Za spajanje su bila potrebna dva kablčića gnd (-) i (+). Gnd se spaja na gnd, a (+) koji mjerimo na analogni pin 0 Croduina. [33]

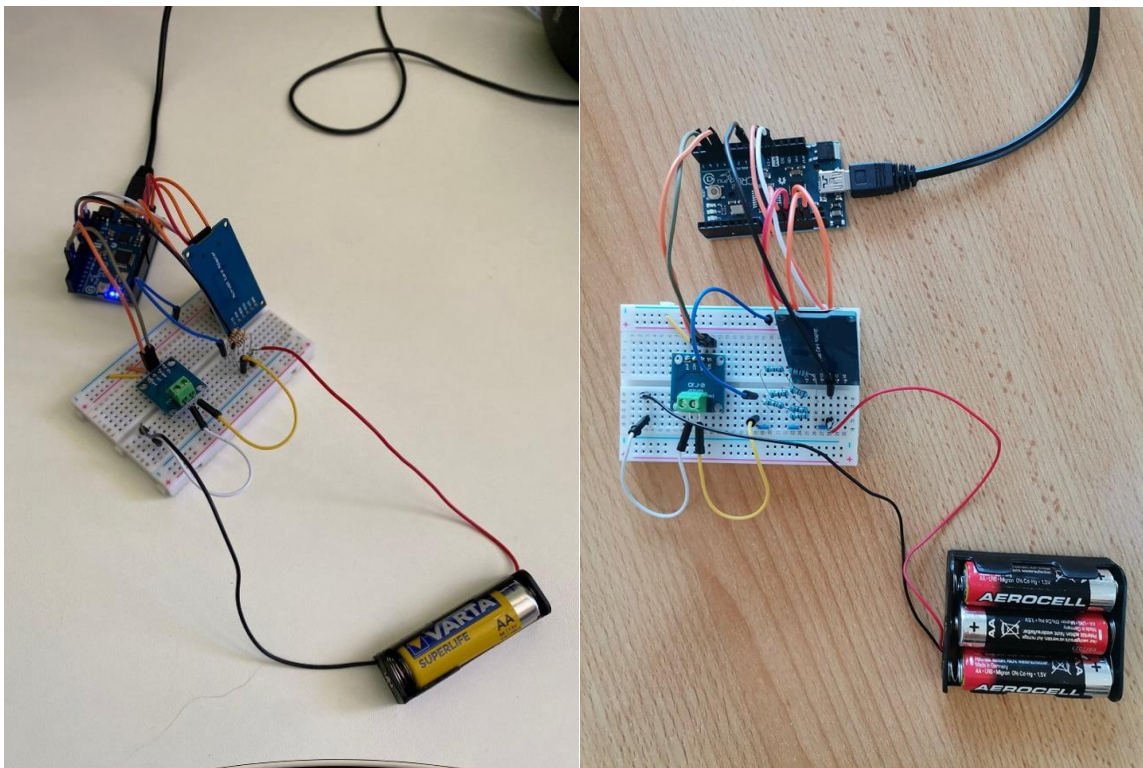
Za mjerenje struje se koristio *EASYC INA219* tj. digitalni ampermetar+voltmetar. To je digitalni uređaj koji može mjeriti struju, napon i snagu. Potrebno je samo spojiti jednu žicu za serijski prolaz kroz ovaj uređaj kako bi on funkcionirao. [34]

Kada je sve spojeno na Croduino pločicu, uređaj je spreman za mjerenje (slika 10).



Slika 8. Uređaj za mjerenje preostale energije u otpadnim baterijama i shema uređaja

Postavljanjem baterije na uređaj, uređaj je krenuo s mjerenjem (slika 11). Na SD karticu je bilježio vrijeme, napon te jakost struje. Prve dvije baterije su se mjerile zasebno, odnosno jedna po jedna. Međutim, jednoj bateriji je bilo potrebno 16 sati, te kako bi se taj proces ubrzao, stavljene su tri baterije odjednom na mjerenje. Kada su se baterije ispraznile, imali smo sve potrebne podatke kako bi se izračunala preostala energija. Podaci mjerenja su obrađeni u sljedećem poglavlju.



Slika 9. Mjerenje otpadne baterije

8.4. Rezultati mjerenja

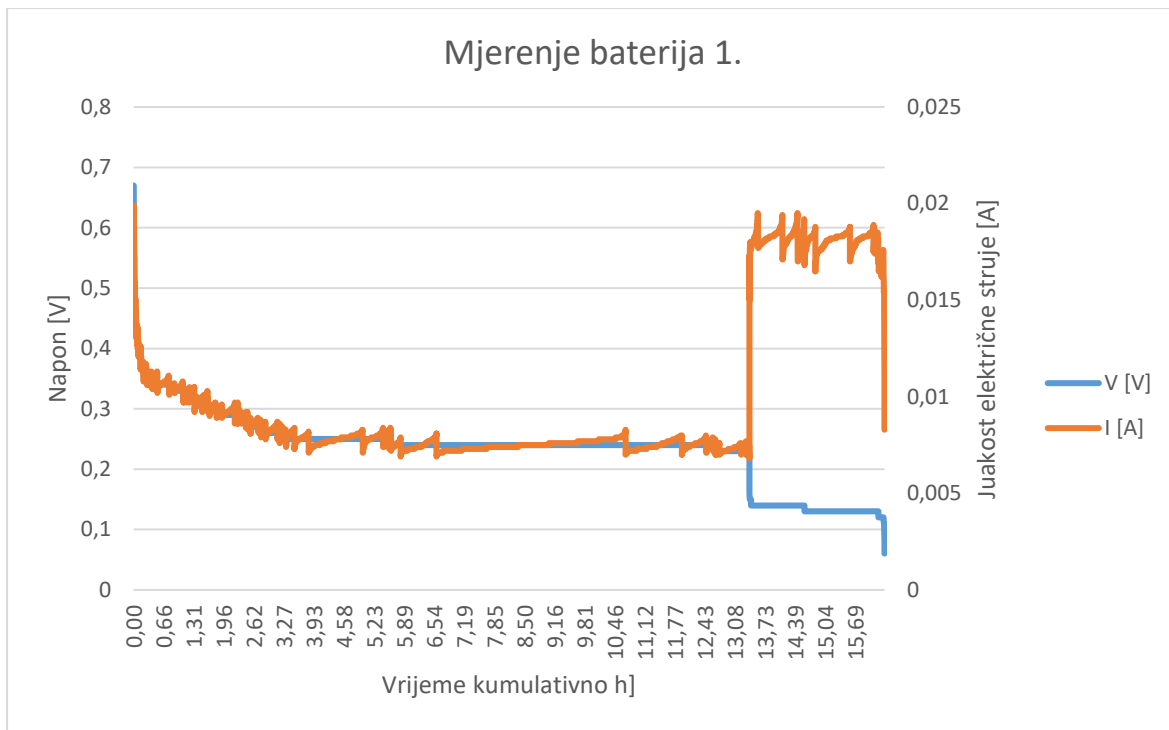
Mjerni instrument je na SD karticu bilježio vrijeme u milisekundama, napon u voltima i jakost struje u miliamperima. Vrijeme je bilo potrebno preračunati u sekunde, a jakost struje u ampere. Zatim sam pomoću formule $E = I \cdot V \cdot t$, izračunala energiju u džulima (J), te sam džule (J) pretvorila u kWh tako što sam podijelila sa 3.600.00. Na kraju je izračunat prosjek energije po bateriji i ukupni prosjek u vatima po satu (Wh). Rezultati mjerenja su prikazani u tablici 9.

- E prenesena energija u džulima (J),
- I je struja u amperima (A),
- V je napon u voltima (V),
- t vrijeme u sekundama (s).

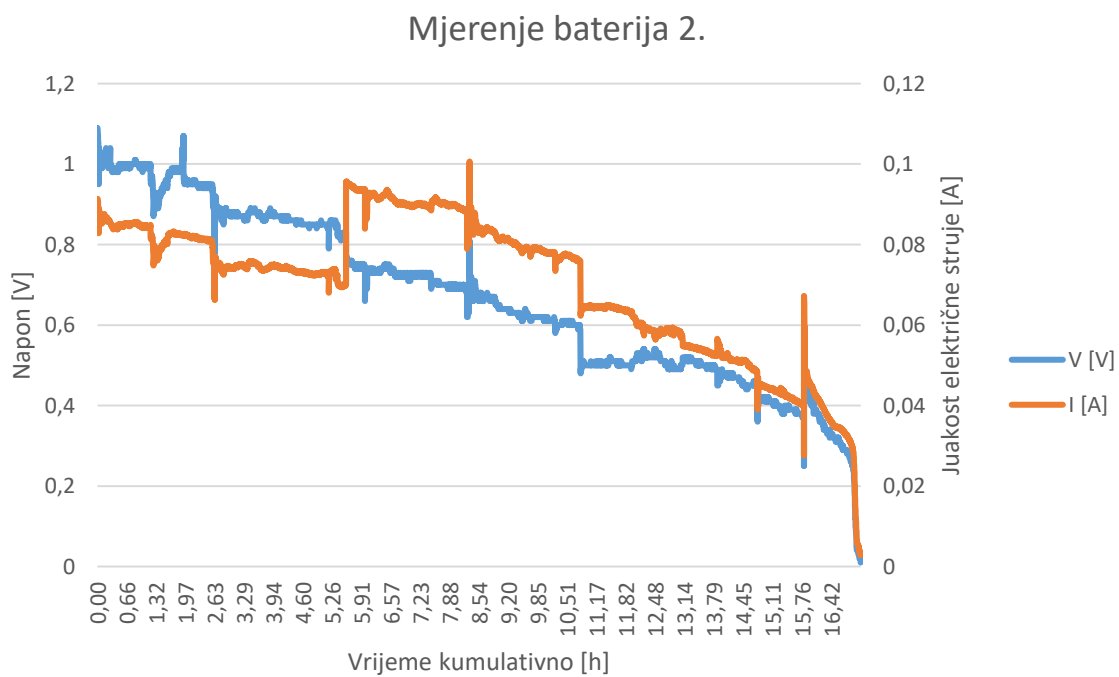
Tablica 9. Prikaz rezultata

Baterija	Proizvođač	Vrsta baterije	Broj baterija	Energija [kWh]	Energija [Wh]	Prosjek po bateriji [Wh]
Baterija 1.	VARTA	Alkalna LR6	1	0,00003568	0,03568232	0,0357
Baterija 2.	VARTA	Alkalna LR6	1	0,00085159	0,85159377	0,8516
Baterije 3.4.5.	VARTA	Alkalna LR6	3	0,00162799	1,62799459	0,5427
Baterije 6.7.8.	DURACELL	Alkalna LR6	3	0,00225986	2,25986022	0,7533
Baterije 9.10.11.	AEROCCELL	Alkalna LR6	3	0,00226397	2,26396770	0,7547
						0,6399

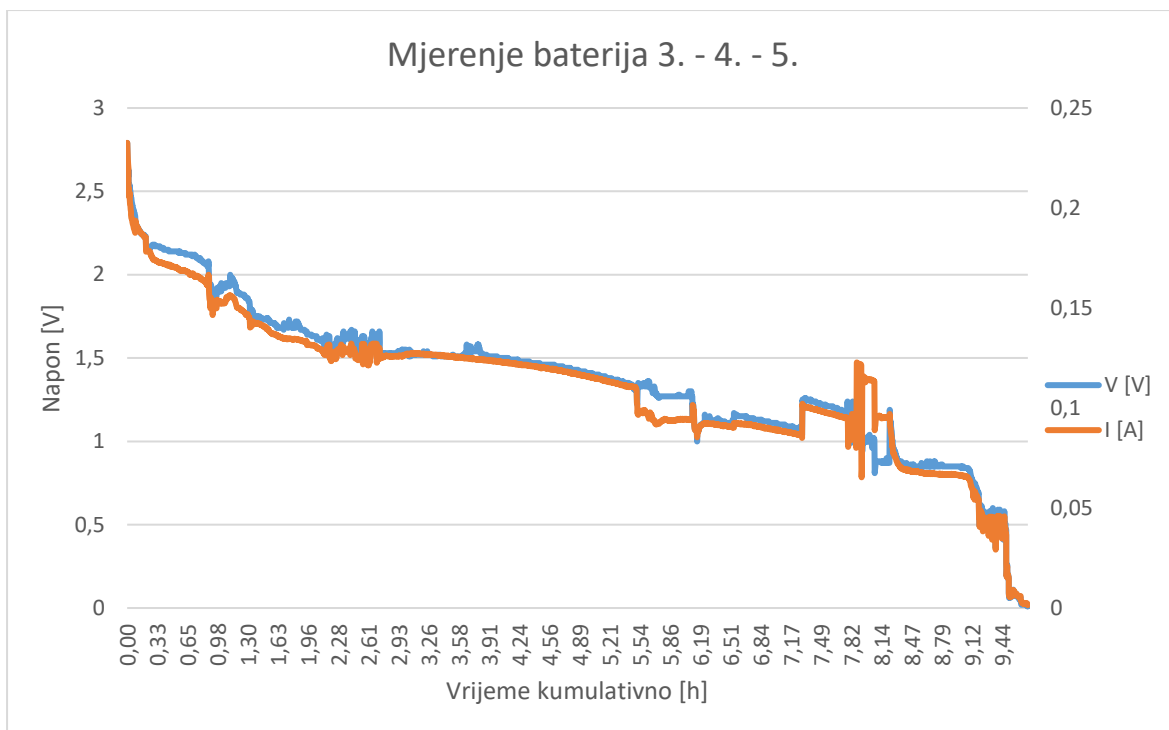
Na sljedećih grafovima je prikazano kako je teklo mjerenje otpadnih baterija, te koliko sati im je trebalo kako bi se ispraznile. Radi lakšeg prikaza sekunde su pretvorene u sate.



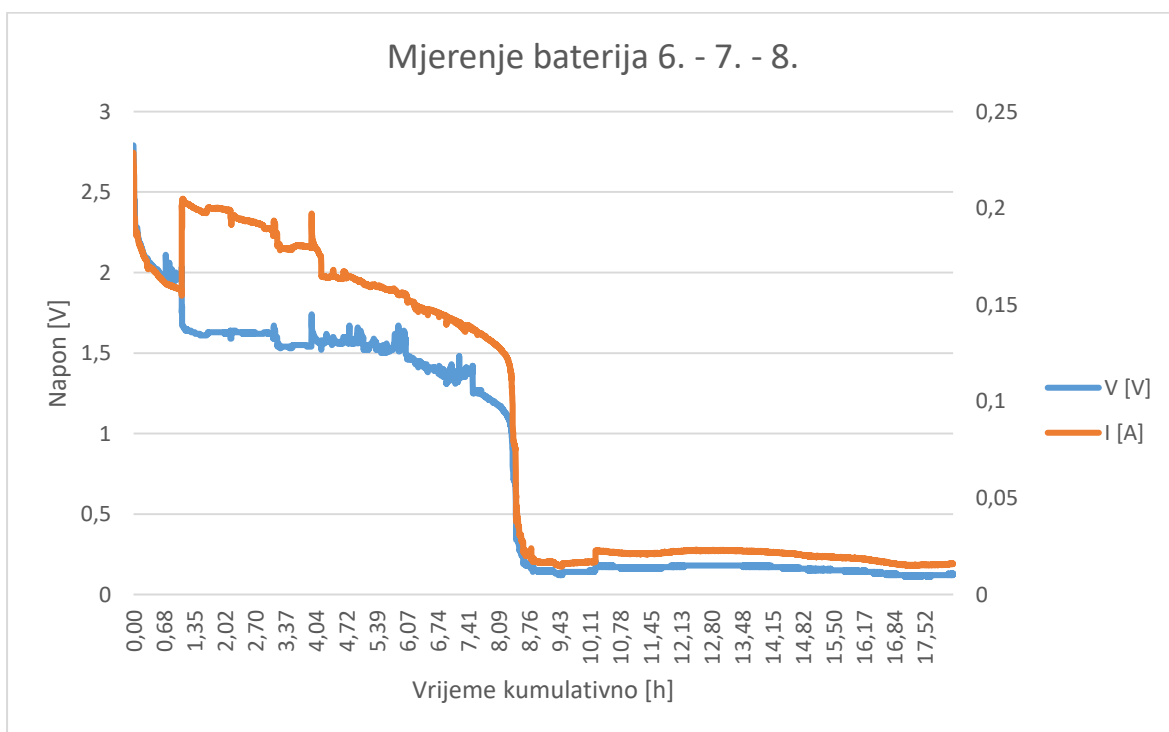
Graf 4. Mjerenje baterije 1



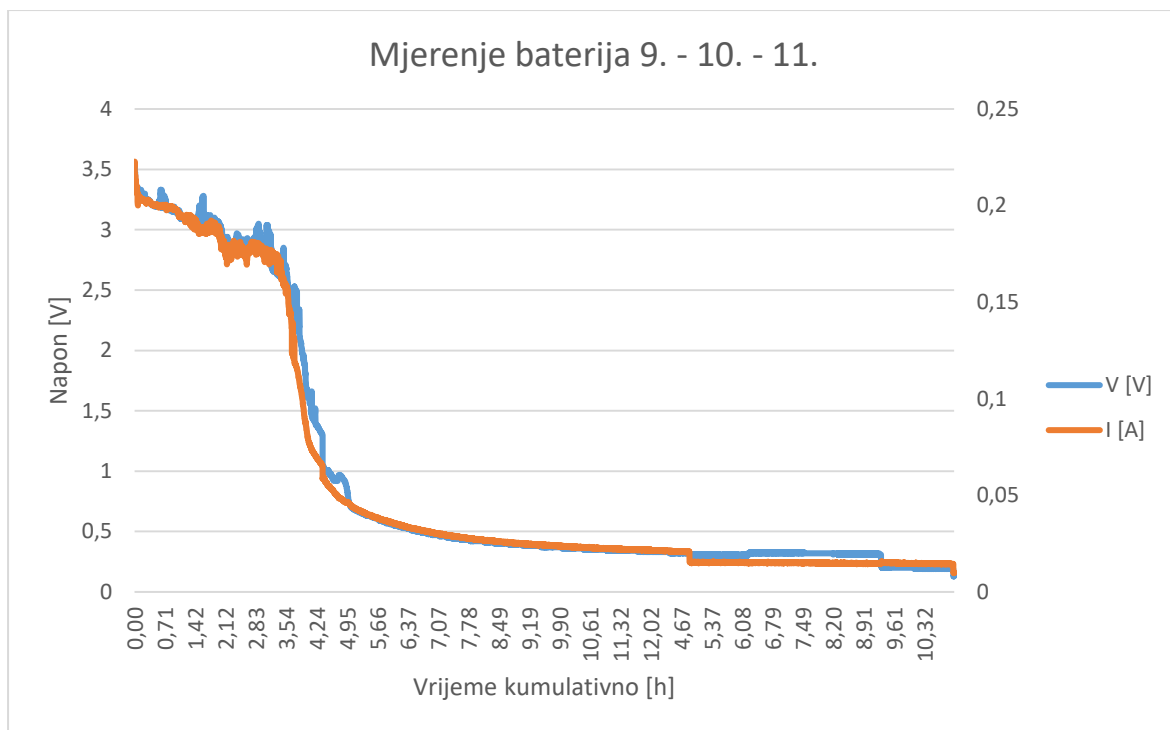
Graf 5. Mjerenje baterije 2



Graf 6. Prikaz mjerenja za baterije 3.4.5.



Graf 7. Prikaz mjerenja za baterije 6.7.8.



Graf 8. Prikaz mjerenja za baterije 9.10.11.

Baterije 12.13.14. proizvođača Varta i cink-karbonske vrste se nisu mogle izmjeriti. Postavljanjem cink-karbonskih baterija u kružni tok instrumenta, napon baterija se izgubio te iznosio 0 V. Uz pomoć digitalnog multimetra utvrdilo se da baterije sadrži određeni napon, ali on se prilikom postavljanja u mjerni instrument nije prikazao.

8.5. Masa baterija

AA baterije teže između 19 i 29 grama, ovisno u vrsti. Iako je većina AA baterija iste veličine, cink-karbonske baterije mnogo su lakše od nikal-kadmijevih baterija.

Najlakša AA baterija je cink-karbonska, teška je samo 19 grama. Za usporedbu, alkalna baterija iste veličine teži 24 grama, a nikal kadmijeve teže 29 grama. Također, Litij-ionska baterija teži 24 grama, jednako kao i alkalna.

8.5.1. Postaje li baterija lakša kada se isprazni?

Uzete su dvije nove AAA alkalne baterije i označene kao baterija 1 i baterija 2. Za početak, stavljeni su na vagu kako bi im se utvrdila masa (rezultati u tablici 10.).

Tablica 10. Prikaz masa baterija

Baterija	Masa (g)
Baterija 1	10,913
Baterija 2	10,863

Nakon što su se baterije izvagale, stavljene su na strujni krug gdje su spojena dva ventilatora i dvije žaruljice sa žarnom niti kako bi se baterije ispraznile što je brže moguće. Nakon što su lampice prestale svijetliti i ventilatori prestali raditi, zaključujemo da su baterije ispražnjene. Ponovno se stavljaju na vagu i određuje im se masa (rezultati u tablici 11).

Tablica 11. Prikaz masa baterija nakon mjerenja

Baterija	Masa (g)
Baterija 1	10,911
Baterija 2	10,863

Zaključujemo, baterija 1 se pokazala lakšom za 2 mg, što pripisujemo pogrešci ili ako je baterija još vruća, oko nje će strujati zrak, što bi također moglo malo promijeniti masu. Baterija 2 nije promijenila masu.

Dakle, masa baterije ostaje ista bez obzira je li baterija puna ili prazna, čak i ako baterija ima više energije nego kada je prazna. Razlog zašto se masa ne mijenja je taj jer je to zatvoren sustav masa. U ovom slučaju, radi se o alkalnim baterijama stoga reakcija je ta da se cink pretvara u cinkov oksid te prenosi elektrone s jedne elektrode na drugu elektrodu, ali nema gubitka mase.

Možemo spomenuti formulu $E=mc^2$, odnosno ekvivalenciju mase i energije ili Einstenovu relaciju koja govori ako neko fizikalno tijelo izgubi energiju, taj se gubitak odmah odražava u gubitku mase. [34] Obrnuto, ako objekt prima energiju izvana, njegova se masa povećava te isto tako elektron koji se kreće ima veću masu od elektrona koji se ne kreće. Dakle, gledajući to, iz formule možemo utvrditi da je puna baterija doista 0,0015 mikrograma teža od prazne baterije, ali u našem slučaju to je zanemarivo jer se radi o minimalnoj razlici.

8.6. Potencijal na razini RH

U prvom dijelu rada navedeno je kako je u 2020.godini na području Republike Hrvatske prikupljeno 596 t otpadnih baterija, od čega su najveći dio olovne baterije (467 t ili 78%), a ostatak alkalne baterije (131 t ili 22%). Eksperimentalni dio je proveden radi utvrđivanja prosječne vrijednosti preostale energije u prikupljenim otpadnim AA alkalnim baterijama kako bi se dobiveni rezultati mogli koristiti pri izračunu preostale energije u otpadnim baterijama na razini Republike Hrvatske.

Na temelju poznatih podataka o ukupnoj masi prikupljenih otpadnih alkalnih baterija u Hrvatskoj i na temelju postotnog udjela, izračunata je masa dobrih i masa oksidirajućih otpadnih baterija na području Republike Hrvatske.

Koristeći se prosječnom masom jedne baterije, izračunata je količina dobrih i oksidirajućih otpadnih baterija u ukupnoj masi. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 12.

Tablica 12. Prikaz rezultata

	Masa [t]	Količina [kom]
Dobre	106,36	5.513.081,00
Oksidirajuće	24,64	1.345.471,00

Prema dobivenim rezultatima mjerenja otpadnih baterija, prosječna vrijednost preostale energije po bateriji je iznosila 0,0006399 kWh, odnosno 0,6399 Wh. Stoga, uzimajući u obzir brojku 5.513.081,00, možemo reći kako na razini Republike Hrvatske u otpadnim baterijama ima još 3527,82 kWh tj. 3527821,14 Wh zarobljene energije.

9. ZAKLJUČAK

Kružno gospodarstvo je pojam koji u srži sadrži koncept održive potrošnje, s ciljem pretvaranja otpada u proizvode koji se mogu reciklirati i koristiti više puta. Pokretačka snaga koncepta kružnog gospodarstva nije samo zabrinutost za okoliš, već i sve veća nestašica sirova i naglo povećanje cijena.

Baterije i akumulatori su nezamjenjivi izvori energije u ljudskom svakodnevnom životu, stoga ih je potrebno pravilno zbrinuti na kraju svog vijeka trajanja. Većina otpadnih baterija i akumulatora smatra se opasnim otpadom jer njihovi dijelovi sadrže teške metale koji su štetni za okoliš. Kako bi se spriječilo da otpadne baterije i akumulatori negativno utječu na okoliš, bitno je osigurati odvojeno prikupljanje i obradu/recikliranje.

S obzirom na trenutnu situaciju u Svijetu, izbijanje rata u Ukrajini i sankcije protiv Rusije, dodatno je pogoršalo energetska tržište koje se nije oporavilo još od korona virusa.

U sklopu ovog rada obrađen je praktični dio, gdje su se otpadne baterije prikupljale, razvrstavale te mjerile. Potrebno je bilo izmjeriti određen broj baterija kako bi se utvrdilo koliko se zapravo zarobljene energije nalazi u otpadnim baterijama te na temelju tih podataka utvrditi potencijal na razini Republike Hrvatske. Zaključeno je kako na razini Republike Hrvatske u otpadnim baterijama ima još 3527,82 kWh tj. 3527821,14 Wh zarobljene energije. Za usporedbu, jedna suvremena niskoenergetska kuća godišnje potroši oko 35 kWh/m², pod pretpostavkom da kuća ima 100 m², to je ista brojka našoj zarobljenoj energiji u otpadnim baterijama.

U daljnjem istraživanju potrebno je utvrditi na koji način bi se zaostala energija u otpadnim baterijama mogla „izvući“ van, odnosno iskoristiti, prije negoli se sama baterija reciklira.

10.LITERATURA

1. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost; <https://www.fzoeu.hr/hr/kruzno-gospodarstvo/7659> (31.5.2022.)
2. Europski parlament; <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/economy/20151201STO05603/kruzno-gospodarstvo-definicija-vrijednosti-i-korist> (1.6.2022.)
3. <https://www.dssmith.com/hr/odrzivost/predvodnici-kruznog-gospodarstva/saznajte-vise-o-kruznom-gospodarstvu/sto-je-to-kruzno-gospodarstvo> (2.6.2022.)
4. Lehman C., Cruz Jesus F., Oliveira T, Damasio B.: Leveraging the circular economy: Investment and innovation as drivers; Journal of cleaner production Volume 360, 2022
5. Europski parlament; <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/economy/20151201STO05603/kruzno-gospodarstvo-definicija-vrijednosti-i-korist>
6. M. Kljajin, M. Opalić, A. Pintarić : Recikliranje električnih i elektroničkih proizvoda, Slavonski Brod – Zagreb – Osijek, studeni 2006
7. McDonough, W. i Braungart, M. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. New York: North Point Press, 2002
8. Brkić Ela, Tranzicija s lineranog na cirkularno gospodarstvo.Prikaz održivog gospodarenja na primjeru kompanije H&M group, 2022
9. Zagrebačka čistoća, podružnica; <https://www.cistoca.hr/gospodarenje-otpadom-8/edukacija-1513/pojmovnik-1534/1534> (7.6.2022.)
10. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost; <https://www.fzoeu.hr/hr/posebne-kategorije-otpada/7583> (6.6.2022.)
11. Zagrebačka čistoća, podružnica: URL:<https://www.cistoca.hr/gospodarenje-otpadom-8/edukacija-1513/pojmovnik-1534/1534> (7.6.2022.)
12. Pravilnik o baterijama i akumulatorima i otpadnim baterijama i akumulatorima. Narodne novine. 2015. Broj 111. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_10_111_2147.html (5.6.2022.)
13. Live science, URL: <https://www.livescience.com/50657-how-batteries-work.html> (3.6.2022.)

14. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=6252> (6. 6. 2022)
15. <http://www.fris.hr/cesta-pitanja/19-akumulator-ili-baterija.html> (6.6.2022.)
16. <https://www.oldtimeri.hr/definicija/oldtimer-tehnika/akumulator>
17. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost: <https://www.fzoeu.hr/hr/otpadne-baterije-i-akumulatori/7755> (6.6.2022.)
18. PC CHIP; URL: <https://pcchip.hr/ostalo/tech/baterije-vrste-tehnologija-izrade-i-nacina-rada/> (7.6.2022.)
19. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_10_111_2147.html (5.6.2022.)
20. <https://hr.sawakinome.com/articles/technology/difference-between-aa-battery-and-aaa-battery-2.html> (8.6.2022.)
21. izrada autorice prema podacima dostupno na URL: <https://www.duracell.com/en-us/techlibrary/technical-bulletins/>
22. Fisher, K; Wallén, E; Laenen, P. P.; Collins, M. (2006.). Završno izvješće o procjeni životnog ciklusa gospodarenja otpadom iz baterija. Upravljanje resursima okoliša, DEFRA.
https://web.archive.org/web/20131008081530/http://www.epbaeurope.net/090607_2006_Oct.pdf (8.6.2022.)
23. UPS Battery Center.com; <https://www.upsbatterycenter.com/blog/chemicals-used-batteries/> (7.6.2022.)
24. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Pregled podataka o gospodarenju otpadnim baterijama i akumulatorima za 2020.godinu, Izvješće, Zagreb. prosinac 2021;
https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/OTP_Pregled%20gospodarenja%20otpadnim%20baterijama%20i%20otpadnim%20akumulatorima%20za%202020_web.pdf (7.6.2022.)
25. IBM RECYCLE; <https://www.ibm.com/ibm/recycle/hr-hr/battery/index.shtml> (7.6.2022.)
26. Makwarimba C.P.; Tang M; Peng Y; Shengyong L; Zheng L; Zhao Z.; Zhen A.; (2022.)
Assesment of recycling methods and processes for lithium- ion batteries, iScience, Volume 25. (9.6.2022.)

27. Cirba Solutions; How to Recycle Batteries; <https://www.cirbasolutions.com/how-to-recycle/> , (9.6.2022.)
28. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Pregled podataka o gospodarenju otpadnim baterijama i akumulatorima za 2019.godinu. Izvješće. Zagreb. travanj 2021, (9.6.2022.)
29. Energetika-net, Kako je došlo do energetske krize; <http://www.energetika-net.com/u-fokusu/res-publica/kako-je-doslo-do-energetske-krize-2021-2022-34537> (1.9.2022.)
30. E- radionica; <https://e-radionica.com/hr/blog/2015/10/08/sto-je-arduino-i-croduino/> (1.9.2022.)
31. E- radionica; <https://e-radionica.com/hr/blog/2018/04/22/programiranje-croduino-basic2-iz-arduino-ide/> (1.9.2022.)
32. E- radionica; <https://e-radionica.com/hr/blog/2018/12/01/kkm-modul-za-sd-karticu/> , (1.9.2022.)
33. E- radionica; <https://e-radionica.com/hr/blog/2016/01/11/croduino-voltmetar/> 1. 9.2022.)
34. E- radionica; <https://e-radionica.com/hr/easyc-ina219-digitalni-ampermetar-voltmetar.html> (1.9.2022.)
35. Wikipedia, Ekvivalencija mase i energije; https://hr.wikipedia.org/wiki/Ekvivalencija_mase_i_energije , (1.9.2022.)

POPIS SLIKA

1. Kružno gospodarstvo
2. Linearni model gospodarstva
3. Građa i dijelovi baterije
4. Građa i dijelovi akumulatora
5. Oksidirajuće baterije
6. Vaganje otpadnih baterija
7. Croduino Basic 2
8. Uređaj za mjerenje preostale energije u otpadnim baterijama i shema uređaja
9. Mjerenje otpadne baterije

POPIS TABLICA

1. Kemijski sastav alkalnih baterija
2. Prikaz otpadnih baterija i akumulatora te ključnih brojeva iz Kataloga otpada
3. Prikaz količine baterija i akumulatora stavljenih na tržište RH, po vrstama u 2020.godini
4. Prikaz količine baterija i akumulatora stavljenih na tržište RH, po vrstama u razdoblju od 2015.-2020.godine
5. Prikaz sakupljenih količina otpadnih baterija po županijama
6. Učinkovitost recikliranja otpadnih baterija u RH u periodu u osnovu na propisani cilj u periodu 2016.-2020. godine
7. Prikaz baterija razvrstanih po proizvođaču, vrsti i oznaci te broj dobrih i oksidiranih baterija
8. Ukupne i srednje mase baterija
9. Prikaz rezultata
10. Prikaz masa baterija
11. Prikaz masa baterija nakon mjerenja
12. Prikaz rezultata

POPIS GRAFIKONA

1. Prikaz količine prijenosnih baterija i akumulatora stavljenih na tržište i sakupljeno, 2015.- 2020. godine
2. Prikaz stopa prikupljanja otpadnih prijenosnih baterija i akumulatora te usporedba s ciljevima prikupljanja, između 2015.-2020.godine
3. Postotak dobrih i oksidiranih baterija u ukupnoj masi
4. Mjerenje baterije 1
5. Mjerenje baterije 2
6. Mjerenje baterije 3.4.5
7. Mjerenje baterije 6.7.8
8. Mjerenje baterije 9.10.11.