

MOGUĆI PREVENCIJSKI PROPUSTI NAČINA NASTANKA I UZROKA POŽARA LITIJ-IONSКИH BATERIJA - KOREKTIVNE MJERE I POVEĆANJE SIGURNOSTI

Štajcer, Dora

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:088602>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-10**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite

Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Dora Štajcer

**MOGUĆI PREVENCIJEKI PROPUSTI
NAČINA NASTANKA I UZROKA
POŽARA LITIJ-IONSKIH BATERIJA –
KOREKTIVNE MJERE I POVEĆANJE
SIGURNOSTI**

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Dora Štajcer

**POSSIBLE PREVENTABLE FAILURES
OF THE MANNER AND CAUSE OF FIRE
IN THE LITHIUM-ION BATTERY -
CORRECTIVE MEASURES AND
INCREASING SAFETY**

Master thesis

Karlovac, 2024

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite

Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Dora Štajcer

**MOGUĆI PREVENCIJEKI PROPUSTI
NAČINA NASTANKA I UZROKA
POŽARA LITIJ-IONSKIH BATERIJA –
KOREKTIVNE MJERE I POVEĆANJE
SIGURNOSTI**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Jakšić Lidija, mag.ing.cheming., pred.

Karlovac, 2024.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni prijediplomski/ specijalistički diplomski studij: Sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, Rujan 2024.

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Student: Dora Štajcer

Matični broj: 0422422020

Naslov: MOGUĆI PREVENCIJEKI PROPUSTI NAČINA NASTANKA I UZROKA POŽARA LITIJ-IONIŠKIH BATERIJA – KOREKTIVNE MJERE I POVEĆANJE SIGURNOSTI

Opis zadatka:

U radu će biti prikazana primjene mjere zaštite na radu i zaštite od požara u testnom centru te tijekom pojave požara kao i preventivne mjere. Na temelju konkretnih događaja požara u testnom centru baterija bit će prikazan zaključak kako provesti pravilnu zaštitu pogona, osmisliti plan požarnih jedinica te spriječiti daljnje širenje požara.

Zadatak zadan:
Travanj 2024.

Rok predaje rada:
Rujan 2024.

Predviđeni datum obrane:
Rujan 2024.

Mentor:
Jakšić Lidija, mag.ing.cheming., pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:
dr. sc. Zvonimir Matusinović, v. pred.

PREDGOVOR

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu.

Ovom prilikom bih se htjela zahvaliti svojim prijateljima, obitelji, te najviše dečku i roditeljima na neizmjernoj podršci tokom svih godina studija, a najviše u ovoj zadnjoj godini.

Posebno bih se htjela zahvaliti svojoj mentorici na Veleučilištu Lidiji Jakšić, mag. ing. cheming, pred., na stručnim savjetima, strpljenju i cjelokupnoj pomoći prilikom pisanja diplomskog rada, te jednako veliko hvala šaljem Matiji Cindriću specijalistu zaštite od požara, mentoru u firmi koji mi je pomogao doći do svih potrebnih informacija, izvora i materijala za pisanje ovog rada, kao i na približavanju struke u praktičnom dijelu. Hvala svim kolegama, nastavnicima i asistentima Veleučilišta u Karlovcu, Odjela sigurnosti i zaštite na svim lijepim trenucima te pomoći kao i prenesenom znanju tijekom studiranja.

Dora Štajcer

SAŽETAK

U ovom radu cilj je prikazati mjere zaštite na radu i opasnosti od požara u radu s litij-ionskim baterijama, kako osmisliti plan požarnih jedinica, spriječiti daljnje širenje, osigurati ljude i ostale prostorije. Na temelju stvarnih događaja, požara u testnom centru baterija doneseni su zaključci kako provesti pravilnu zaštitu od požara. Baterije su danas jedan od najkompleksnijih sustava u modernoj tehnologiji. Iste su omogućile izradu mnogih modernih elektroničkih proizvoda (električni romobili, električne automobile, itd.). Nedostatak istraživanja o opasnosti od požara i mjerama zaštite od požara na testiranju baterija (litij-ionskih baterija) koje se brzo razvijaju proteklih godina, bit će prikazani u ovome radu.

Ključne riječi: litij-ionske baterije, testni centar, požar, baterije

SUMMARY

The aim of this thesis is to show the safety measures at work and the risk of fire in lithium-ion batteries, how to design a plan for fire units, prevent further spread and secure people and other premises. Based on real events, fires in the battery test center, conclusions were drawn on how to implement proper fire protection. Today, batteries are one of the most complex systems in modern technology. Recently, batteries have made production of modern electronic systems possible (electric scooters, electric cars, etc.). The lack of research on the risk of fire and fire protection measures in the testing of batteries (lithium-ion batteries), which have developed rapidly in recent years, will be presented in this paper.

Keywords: lithium-ion batteries, test center, fire, batteries

SADRŽAJ

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA	I
PREDGOVOR	II
SAŽETAK	III
SUMMARY	III
SADRŽAJ	IV
1. UVOD.....	1
1.1. Predmet i cilj ovog rada	2
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja	2
2. SLUČAJ POŽARA NA BATERIJAMA.....	3
2.1. Litij metal vs litij-ionske baterije	3
2.2. Opasnost od požara baterija na bazi litija.....	4
3. LITIJ-IONSKA BATERIJA.....	6
3.1. Procesi testiranja baterija	7
3.2. Rad sa litij-ionskim baterijama.....	8
4. STANJE PROIZVODNOG OBJEKTA I MJERE PREVENCIJE POŽARA.....	11
4.1. Protupožarna zaštita instalacija cijevi i kanala	11
4.2. Vatrodjava	11
4.3. Djelovanje sustava za dojavu požara na druge sustave – instalacije.....	13
4.4. Sprinkler sustav.....	13
4.4.1. Mokri sprinkler sustav	13
4.4.2. Deluge ventilski sustav.....	14
4.5. Priključak na vatrogasno vozilo	14
4.5.1. Nakon gašenja	15
4.5.2. Sustav za gašenje požara plinom NOVEC 1230.....	15
5. POSTOJEĆE DEŽURSTVO GRAĐEVINE I RADNO VRIJEME	18
5.1. Upoznatost javne vatrogasne postrojbe (JVP) s građevinom.....	18
5.2. Vatrogasni pristup.....	19
6. KORIDORI ZA EKSTRAKCIJU BATERIJA I EVAKUACIJU LJUDI.....	20
7. OBUČENOST OSOBLJA ZA ZOP	21
8. PROCEDURA I POSTUPCI U SLUČAJU POŽARA/INCIDENTA NA BATERIJI.....	22
8.1. Upute za incidente s baterijama	22
8.2. Osobna zaštitna i druga oprema u slučaju incidenta.....	23
8.3. Upute u slučaju intervencije	23
8.4. Uputa u slučaju toplinskog bijega	24
8.5. Objava alarma	25

8.5.1.	Evakuacija i spašavanje	26
8.5.2.	Gašenje požara / smanjenje utjecaja toplinskog bijega.....	26
9.	UPISNIK O POŽARU	28
10.	DEŽURSTVO VATROGASACA I OPERATIVNI POSTUPCI.....	29
11.	ZAKLJUČAK	30
12.	LITERATURA.....	32
13.	PRILOZI.....	34
13.1.	Popis simbola	34
13.2.	Popis slika.....	34

1. UVOD

Električna vozila (EV) završila su svoj put od centara za istraživanje i razvoj (R&D) do radionica za prototipove početkom 1990-ih. Prije desetak godina, 2013., električna vozila su stavljena na proizvodnu traku za masovnu proizvodnju. Danas hibridna električna vozila (HEA) i EV čine većinu proizvodnje vozila. Korisnici više preferiraju HEA-e zbog svojih inovativnih značajki kao i zbog opreme u konvencionalnim vozilima [1]. To je zbog činjenice da HEA mogu imati slične ili veće udaljenosti od konvencionalnih vozila bez ponovnog punjenja. Kako bi se povećala udaljenost dometa, stalno se povećavaju naponi da se smanji težina baterije i poveća kapacitet. Ovisno o tehnološkom razvoju u tehnologiji baterija, očekuje se da će električna vozila u nadolazećim godinama imati mnogo veći domet od konvencionalnih vozila. Danas je proizvodnja električnih vozila u velikom porastu [2]. Dok je ukupan broj električnih vozila u svijetu bio manji od 20 000 u 2010. godini, ta se vrijednost povećala otprilike 55 puta na 11 milijuna u posljednjih 10 godina s porastom masovne proizvodnje. Uvođenje električnih vozila na ceste donijelo je i velike promjene u automobilskoj industriji. Prvi sustav baterija razvijen prije 100 godina, sada koristimo baterije gotovo svaki dan i u svakoj situaciji [3]. Razvojem novih tehnologija i industrija, dolazi do suvremene proizvodnje, njene dinamike i složenosti. Takva ubrzanost u razvoju procesa dovodi do opasnosti po zdravlje čovjeka i njegov tjelesni integritet. Svrha zaštite od požara je otkrivati i otklanjati opasnosti koje ugrožavaju život i zdravlje osoba na radu radi očuvanja radne sposobnosti zaposlenika i očuvanja imovine. Svrha baterija je da skladište energiju (električnu energiju), a takav sustav mora biti stabilan, fleksibilan i pouzdan. Litij-ionske baterije, postaju sve češći uzrok požara zbog svojih zapaljivih svojstava [4]. Najčešće dolazi do požara zbog pregrijavanja, električnih kvarova ili probijanja, što može dovesti do "toplinskog bijega" - lančane reakcije koja može uzrokovati požar ili eksploziju. Stručnjaci preporučuju redovno održavanje baterija i pravilno punjenje kako bi se smanjio rizik od požara.

1.1. Predmet i cilj ovog rada

Cilj ovog rada je određivanje mjera za sprječavanje nastanka i širenja požara. Rad se temelji na dostupnim literaturama analiza pojava požara i eksplozija litij-ionskih baterija, primjena mjera zaštite od požara u takvim situacijama te na temelju dobivenih podataka nakon procjene ugroženosti.

1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja

U ovom radu korištene su internetske stranice kao i stručna literatura za analizu primjera slučajeva požara baterija te zaključci doneseni na temelju vlastitih saznanja te sakupljenih pisanih i elektroničkih izvora.

2. SLUČAJ POŽARA NA BATERIJAMA

Fatalni požar u tvornici u Južnoj Koreji naglašava potrebu za boljom reakcijom u slučaju zapaljenja baterija.

Požar u tvornici za proizvodnju baterija u Južnoj Koreji koji je usmrtio 23 osobe u ponedjeljak, 24. lipnja, naglašava sve veću potrebu za više obrazovanja i propisa kada je u pitanju proizvodnja, skladištenje, uporaba i odlaganje baterija. Također nudi priliku za raspravu o razlikama između litij metalnih baterija i litij-ionskih baterija i jedinstvenim opasnostima za sigurnost od požara koje predstavljaju [5].

2.1. Litij metal vs litij-ionske baterije

Iako su neki izvori koristili izraze "litijeve baterije" i "litij-ionske baterije" naizmjenično u izvješćivanju o nedavnom požaru u Južnoj Koreji, važno je napomenuti da postoje različite vrste baterija na bazi litija, a litij-metalna baterija nije isto što i litij-ionska baterija. Litij-tionil kloridne baterije vrsta su litij metalnih baterija, što sugerira da su požar zahvatili litij-metalne baterije, a ne litij-ionske baterije.

Sve baterije sastoje se od dvije elektrode (anode i katode) i elektrolita. Anoda je negativna elektroda koja otpušta elektrone, a katoda je pozitivna elektroda koja prima elektrone. Elektrolit je materijal između dviju elektroda kroz koji teku elektroni. Protok elektrona je ono što stvara elektricitet.

U litijevim metalnim baterijama, metalni litij služi kao anoda. Međutim, u litij-ionskim baterijama nema metalnog litija. To može biti zbunjujuće jer kemijske reakcije koje se odvijaju unutar metalnih i litij-ionskih baterija uključuju pozitivno nabijene ione litija. U praktičnom smislu, ključna razlika između primarne litij-metalne baterije i sekundarne litij-ionske baterije je njezina sposobnost ponovnog punjenja. Litij-ionske baterije mogu se ponovno puniti i trenutno su najčešća baterija koja se koristi u svakodnevnim uređajima koje možete puniti, poput mobitela ili prijenosnog računala.

Većina litij metalnih baterija, s druge strane, ne može se ponovno puniti. Slično alkalnim baterijama koje možete pronaći u daljinskom upravljaču za TV, ali mnogo dugotrajnije,

litij metalne baterije imaju očekivani životni vijek. Mogu se koristiti u uređajima kao što su srčani stimulatori ili ručni satovi.

2.2. Opasnost od požara baterija na bazi litija

I litij-metalne baterije i litij-ionske baterije predstavljaju jedinstvene izazove za sigurnost od požara. U litij-ionskim baterijama može doći do kemijske reakcije poznate kao „toplinski bijeg“. Prilikom toplinske reakcije ćelije baterije počinju se nekontrolirano zagrijavati, a ta se reakcija može širiti od ćelije baterije do ćelije baterije i dovesti do požara ili eksplozije [6].

Budući da se litij-ionske baterije mogu ponovno puniti, neodgovarajuće prakse punjenja i upotreba opreme za punjenje niske kvalitete predstavljaju rizik od „toplinskog bijega“. Posljednjih godina primijećeni su mnogi primjeri toplinske reakcije koja dovodi do požara koji uključuju litij-ionske baterije. Požari u kojima su zahvaćene litij-ionske baterije koje se koriste za napajanje električnih vozila izazvali su vatrogasne službe diljem svijeta, općenito zahtijevajući više vremena i više vode za gašenje od požara koji uključuju motore s unutarnjim izgaranjem. Samo u New Yorku izbilo je na stotine požara koji su uključivali električne bicikle i električne skutere na litij-ionske baterije, koji se obično nazivaju e-bicikli i e-skuteri, što je natjeralo dužnosnike da hitno traže rješenja.

Opasnosti koje su prisutne u požaru litijske metalne baterije uključuju stvaranje otrovnih plinova, prisutnost zapaljivih metala i mogućnost eksplozije. Dok je prisutnost otrovnog i zapaljivog plina uobičajena i za požare litij-metalnih i litij-ionskih baterija, uključenost zapaljivih metala može otežati gašenje požara koji uključuju litij-metalne baterije. Ovisno o količini zapaljivog metala, za vatru bi mogle biti potrebne znatne količine sredstava za suzbijanje požara klase D.

Opasnosti litij-tionil-kloridnih baterija, konkretno, dobro su dokumentirane tijekom godina. I metalni litij i tionil klorid vrlo su reaktivni s vodom. “Sigurnosne opasnosti varirale su od blagog ispuštanja toksičnih materijala do nasilnih eksplozija i požara”, stoji u NASA-inom izvješću objavljenom o litij-tionil-kloridnim baterijama 1986. godine.

Ostaje nejasno što je točno izazvalo požar u tvornici Aricell u Južnoj Koreji, iako video objavljen u danima nakon incidenta pokazuje kako kontejneri ispunjeni nečim što izgleda kao baterije počinju iznenada izbacivati bijeli dim prije nego što izbiju u intenzivan plamen [7]. Požari u industrijskim ili proizvodnim objektima česta su pojava bez obzira na robu koja se proizvodi. Između 2017. i 2021. vatrogasne službe u Sjedinjenim Državama reagirale su na godišnji prosjek od 36.784 požara u industrijskim ili proizvodnim objektima, prema podacima NFPA. To je više od 100 takvih požara svaki dan [7].

Među žrtvama požara u tvornici bilo je 18 migranata iz Kine i jedan iz Laosa, kao i dvoje Južnokorejaca. "Pronađeni su mrtvi na drugom katu tvornice od 12.500 četvornih metara", izvijestio je Times. "Kat je imao dva otključana izlazna stubišta koja su vodila van, ali činilo se da su radnici bili svladani plamenom i otrovnim dimom prije nego što su došli do njih." [8].

Trenutno se kodeksi i standardi raznih organizacija za razvoj standarda bave određenim aspektima sigurnosti baterija. Objavljen 2019., NFPA 855, standard za ugradnju stacionarnih sustava za pohranu energije, primjenjuje se na baterije kada se koriste u sustavima za pohranu energije (ESS). Od 2016. UL je objavio UL 2272, standard za certifikaciju električnih sustava koji se nalaze u osobnim električnim uređajima za mikromobilnost, a 2020. UL je objavio standard specifičan za e-bicikle, UL 2849. Ali ne postoji jedinstveni, sveobuhvatni standard koji pruža cijeli spektar sigurnosnih zahtjeva za baterije. To bi se moglo promijeniti u bliskoj budućnosti. Prošlog mjeseca NFPA je objavila da razmatra razvoj NFPA 800, Sigurnosnog kodeksa baterija, kako bi pružila jedinstvene minimalne zahtjeve za rješavanje požara, električnih i životnih sigurnosnih opasnosti koje stvaraju baterije u svim oblicima i kroz cijeli životni ciklus baterije, od proizvodnje do zbrinjavanja.

"Namjera je referencirati postojeće srodne standarde NFPA-e i drugih organizacija koje razvijaju standarde, gdje je to primjenjivo, te se usredotočiti na razvoj zahtjeva tamo gdje postoje nedostaci", stoji u priopćenju za javnost o NFPA 800. "Očekuje se da će zahtjevi uključivati požar, eksploziju i druge opasne uvjete.

3. LITIJ-IONSKA BATERIJA

Litij-ionske baterije (LIB) su vrsta punjivih baterija koje se široko koriste u prijenosnim elektroničkim uređajima, električnim vozilima i obnovljivim energetske sustavima zbog svoje visoke energetske gustoće, dugog životnog vijeka i niskog samopražnjenja. Iako su primarne baterije bile dominantne do 1970-ih godina, sekundarne baterije (olovo-kiselina i nikal-kadmij) s vremenom su zauzeli njihovo mjesto. Nikal-kadmij, tipična sekundarna baterija male veličine, no međutim ima nekoliko nedostataka kao što su izvor napajanja, niska gustoća energije i ekološki problemi. Litij-ionske baterije imaju najveću gustoću energije među praktičnim sekundarnim baterijama i naširoko se koriste u elektronici, električnim vozilima, pa čak i u stacionarnim sustavima za pohranu energije [9]. Zajedno sa širenjem njihove potražnje i primjene, raste zabrinutost za resurse litija i kobalta. Ekonomski stručnjaci predviđaju da će se veličina globalnog tržišta Litij-ionskih baterija više nego udvostručiti sa 44,2 milijarde USD u 2020. godine na 94,4 milijarde USD do 2025. godine. Rad iznad navedenih baterija je tako što se litijevi ioni kreću kroz elektrolit između pozitivne (katoda) i negativne (anoda) elektrode. Kada se baterija puni, struja se šalje od punjača do baterije što uzrokuje kretanje litijevih iona od katode do anode kroz elektrolit [8]. Ovaj proces je obrnut kada se baterija prazni, a litijevi ioni pohranjeni unutar anode zatim se kreću kroz elektrolit do katode. Iako zbog vrlo inovativnog dizajna, ove baterije nisu bez sigurnosnih problema. Poznato je da se ova vrsta baterije pregrije, topi, zapali i eksplodira pod određenim uvjetima. Litij-ionske baterije će i dalje igrati ključnu ulogu u tehnološkom napretku, ali je važno uzeti u obzir sigurnosne mjere i potencijalne rizike povezane s njihovom upotrebom. Na slici 1. je prikazan skup LIB ćelija i modula.



Slika 1. Litij-ionske baterije i ćelije [1]

3.1. Procesi testiranja baterija

Pretesting - Tokom pretestinga komponente se testiraju na funkcionalne testove, svaka komponenta se stavlja u odgovarajuću napravu i zatim se pokreću testovi preko računala, tokom testiranja komponente su u jednoj prostoriji dok je operater za računalom u drugoj prostoriji gdje upravlja testovima [1].

Burn in - test gdje se ispituje funkcionalnost PCB pločica tako što se pločice zagrijavaju na određenu temperaturu u komponenti i prolaze određena testiranja, pri tom testu također komponenta je u sigurnosnoj napravi i spojena je na rashladni sustav kako bi se zadana temperatura stalno održavala, upravlja se isto iz druge prostorije [1].

After testing - tokom after testinga se rade finalni testovi za funkcionalnost, high voltage itd, gotovo je identičan postupak kao i za pretesting [1].

3.2. Rad sa litij-ionskim baterijama

Rad s litij-ionskim baterijama zahtijeva pažnju i pridržavanje sigurnosnih mjera kako bi se osigurao njihov dug životni vijek i spriječile potencijalno opasne situacije. Iako se ne može pokriti svaki propisani dio upravljanja rizikom, cilj je u što većoj mjeri smanjiti negativan utjecaj, mjerama prevencije ili ga spriječiti, stoga je bitno podizanje svijesti o rizicima u radu s Litij-ionskim baterijama, a neke od mjera su:

- koristiti odgovarajuće punjače: uvijek koristiti punjače koji su preporučeni od strane proizvođača baterije ili uređaja,
- izbjegavati prepunjavanje: litij-ionske baterije ne bi trebale biti prepunjavane jer to može uzrokovati pregrijavanje i smanjiti vijek trajanja baterije,
- punjenje u hladnom i suhom mjestu: optimalno okruženje za punjenje baterija je hladno i suho mjesto kako bi se spriječilo pregrijavanje i vlaga.

Upotreba:

- izbjegavati ekstremne temperature: ekstremno visoke ili niske temperature mogu negativno utjecati na performanse i životni vijek baterije,
- redovita upotreba: ako se baterija ne koristi duže vrijeme, povremeno je treba napuniti do 50% kapaciteta kako bi se održala njena funkcionalnost,
- provjera oštećenja: redovito provjeravati baterije na znakove oštećenja, poput pukotina, izbočenja ili curenja elektrolita.

Sigurnosne mjere:

- sprječavanje kratkog spoja: izbjegavati kontakt između metalnih predmeta i baterijskih terminala kako bi se spriječili kratki spojevi,
- skladištenje: baterije treba skladištiti na hladnom i suhom mjestu, daleko od zapaljivih materijala,
- postupanje u slučaju požara: u slučaju da baterija počne dimiti ili se zapali, potrebno je evakuirati područje i kontaktirati hitne službe. ne pokušavati sami gasiti požar običnim vatrogasnim aparatima jer litij-ionski požari zahtijevaju specijalizirane metode gašenja.

Odlaganje i recikliranje:

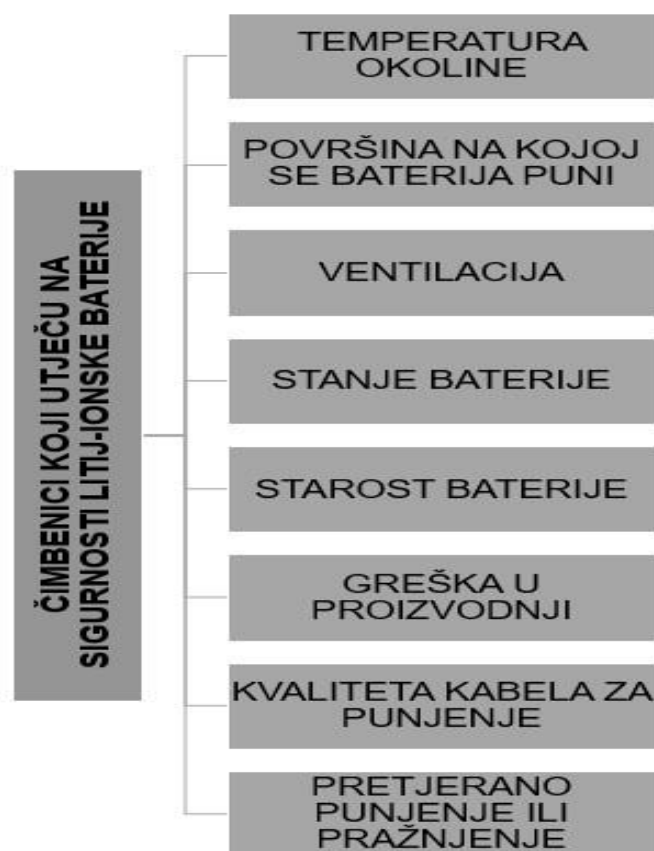
- ne bacati u obični otpad: litij-ionske baterije ne bi se trebale bacati u obični kućni otpad jer mogu uzrokovati zagađenje okoliša i predstavljati opasnost (KB 16 06 05 – Ostale baterije i akumulatori),
- recikliranje: baterije je potrebno predati ovlaštenim centrima za reciklažu koji su opremljeni za sigurno zbrinjavanje litij-ionskih baterija (npr. C.I.A.K.) [10].

Dodani preventivni zahtjevi:

- unaprijed definirati plan hitnog odgovora za rješavanje problema s oštećenim ili pregrijanim LIB te o tome kako bi trebalo obučiti ključne zaposlenike prije nego što se baterije puste u skladište ili u upotrebu;
- slaganje LIB-a na pod trebalo bi biti strogo kontrolirano u određenim područjima s ograničenom visinom, otiscima stopala i udaljenosti jednih od drugih;
- unaprijed definirati plan kontrole opasnosti za upravljanje prijemom, skladištenjem, otpremom i nadzorom zapakiranih LIB-a, te o tome kako bi trebalo obučiti ključne zaposlenike prije nego što se baterije puste u skladište ili u upotrebu;
- skladištenje LIB-a u regalima ne bi trebalo biti dopušteno osim ako zgrada i regali nisu potpuno posuti čvrstim metalnim okomitim ili vodoravnim barijerama između svakog skladišnog prostora;
- infracrvene termografske preglede pomoću ručnog IC pištolja potrebno je obaviti na svakom paketu LIB-a po dolasku i prije otpreme;
- kao mjeru predostrožnosti, čeličnu kantu (safety box) djelomično napunjenu vodom treba držati na otvorenom najmanje 3 m dalje od zgrade, spremnu za umetanje zapakiranih LIB-a s povišenom temperaturom pomoću viličara.

Litij-ionske baterije su osjetljive na pretjeranu toplinu, pa ih treba koristiti, skladištiti i puniti u rasponu temperatura koje preporučuje proizvođač baterija. Nikada se ne smiju puniti na zapaljivoj ili mekanoj površini. Stanje baterije je jako bitno. Na slici 2. prikazani su čimbenici koji utječu na stanje baterije, odnosno je li baterija oštećena ili natečena.

Ako se primijeti takva oštećenja potrebno ih je sigurno zbrinuti. Kvaliteta kabela za punjenje je isto bitna i potrebno je puniti samo s originalnim kabelom ili kabelom izrađenim u skladu s nacionalnim sigurnosnim propisima. Sigurnost litij-ionskih baterija ovisi o kvaliteti materijala, dizajnu baterije, načinu upotrebe, mehaničkim oštećenjima, kemijskoj stabilnosti, te starenju i degradaciji. Pravilno rukovanje i održavanje ključni su za minimiziranje rizika i produljenje životnog vijeka baterija.



Slika 2. Čimbenici koji utječu na sigurnost litij-ionske baterije [4]

4. STANJE PROIZVODNOG OBJEKTA I MJERE PREVENCIJE POŽARA

4.1. Protupožarna zaštita instalacija cijevi i kanala

Na kanalima bi trebale biti ugrađene atestirane protupožarne zaklopke na prolazima između dvaju požarnih sektora, a dijelovi kanala između zaklopki i graničnih zidova požarne zone obloženi protupožarnom izolacijom. Protupožarne zaklopke moraju biti opremljene temperaturnim detektorima (reakcija kod temperature veće od 70°C), te uređajima za automatsko zatvaranje u trenutku otkrivanja požara, a u isto vrijeme se ventilatori ventilacijskog sustava moraju se automatski isključivati iz rada. U građevini bi trebao postojati sustav za automatsko otkrivanje i dojavu o požaru ("požarna centrala"), koji aktivira zatvaranje klapni, kao isključivanje svih ventilatora u trenutku pojave požara. Svi kanali sustava klimatizacije izolirani izolacijom karakteristika negorivosti u skladu s važećim propisima. Prodori cijevi ogrjevnice i rashladne instalacije, na prolazu kroz različite požarne sektore zabrtvljeni s protupožarnim mortom ili protupožarnim kitom. Na prijelazu plastičnih cijevi kroz različite požarne sektore cijevi moraju biti izolirane mineralnom vunom, a rupe zapunjene cementom i ugrađene protupožarne manžete [11].

4.2. Vatrodojava

U objektu bi trebao biti izveden analogno adresabilni sustav za dojavu požara koji pored požarne signalizacije, omogućuje:

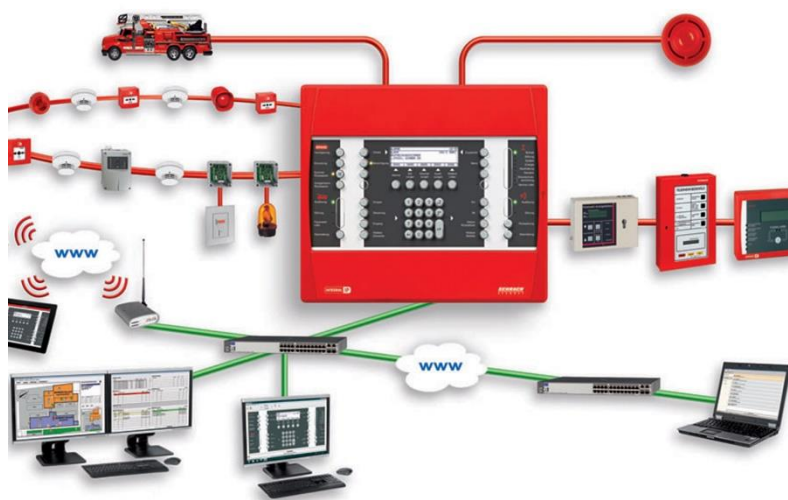
- upravljanje alarmnim uređajima (sirenama i bljeskalicama),
- dojava sa sprinklera,
- signali na odimljavanje stubišta,

Područje nadzora je cijela građevina, bilo da su prostori javni, radni ili tehnološki. Prostori koji nisu uključeni u područje nadzora su svi sanitarni čvorovi. Na predmetnoj građevini predviđene su dvije centrale za dojavu požara za prizemlje i za kat. Centrale su međusobno povezane – umrežene i sustav funkcionira kao jedinstven.

Sustav se sastoji od analogno adresabilnih centrala za dojavu požara, analogno adresabilnih optičkih, termičkih, optičko termičkih, ručnih javljača, vanjskih sirena sa zvučnom i svjetlosnom signalizacijom, unutarnjih sirena sa zvučnom signalizacijom, nadzornih modula, ulazno izlaznih modula, paralelnih indikatora i električne instalacije. Centrale su smještene u ventiliranom vatrootpornom ormaru vatrootpornosti 60min, u posebnom prostorima na svakom katu mora postojati ELEKTRO SOBA kao posebni požarni sektori. Sustav bi trebao raditi u dva režima i po danu i po noći [11].

Bilo bi idealno kada bi prostori bili štice uglavnom automatskim optičkim analognoadresabilnim javljačima. U objektu izvedeni optički i optičko-termički analogno-adresabilni javljači, a na stubištima i na evakuacijskim putevima dodatno smješteni ručni javljači. Za alarmiranje u slučaju požara izvedene su sirene razmještene po objektu.

U slučaju pojave požara dolazi do aktiviranja automatskih javljača ili prisutna osoba aktivira ručni javljač požara. Na slici 3. prikazan sustav vatrodojave.



Slika 3. Sustav vatrodojave [2]

4.3. Djelovanje sustava za dojavu požara na druge sustave – instalacije

- Za otvaranje otvora za odimljavanje u slučaju prorade sustava za dojavu požara predviđen je jedan ulazno/izlazni upravljački modul pored centrale za odimljavanje. Modul se aktivira u slučaju prorade sustava i preko njega se šalje signal na centralu.
- Za upravljanje dizalima u slučaju prorade sustava za dojavu požara, kako bi se moglo izvršiti prebacivanje dizala, u požarni rad je predviđen po jedan ulazno/izlazni upravljački modul za svako dizalo. Modul se aktivira u slučaju prorade sustava i preko njega se šalje signal na upravljačku automatiku dizala koja dizalo šalje u požarni režim.
- Za isklon ventilacijskih komora i zatvaranje protupožarnih zaklopki predviđen je jedan ulazno/izlazni upravljački modul koji se aktivira u slučaju prorade sustava i preko njega se šalje signal na upravljačku automatiku komora te ju gasi i zatvara protupožarne zaklopke.
- Za upravljanje protupožarnim vratima koja se nalaze na granicama protupožarnih sektora u objektu, predviđen je po jedan ulazno/izlazni upravljački modul koji djeluje na automatiku vrata te ih automatski zatvara kako bi se odvojili požarni sektori.
- Za upravljanje vratima koja se nalaze na putu evakuacije, predviđen je po jedan ulazno/izlazni upravljački modul koji djeluje na automatiku vrata te ih automatski otvara.
- Za deblokadu sustava kontrole pristupa na pojedinim vratima predviđen je po jedan ulazno/izlazni upravljački modul koji djeluje na centralu kontrole pristupa te automatski deblokira vrata.

4.4. Sprinkler sustav

4.4.1. Mokri sprinkler sustav

U pripremnom stanju sprinkler mreža mokrog sprinkler sustava nalazi se pod tlakom vode koji osigurava jockey pumpa. Kada se aktivira sprinkler mlaznica dolazi do pada tlaka u cjevnoj mreži i otvara se sprinkler ventil uslijed neravnoteže tlakova iznad i ispod klapne sprinkler ventila.

Otvaranjem sprinkler ventila dolazi do izljevanja vode u alarmni cjevovod sprinkler ventila. Navedeni protok i porast tlaka u alarmnom cjevovodu signalizira preko tlačne sklopke (prosljeđivanje signala na glavnu vatrodojavnu centralu) signal požara.

Održavanje tlaka vode u kolektoru u pogonskom stanju vrši se pomoću jockey pumpe. Na pad tlaka u kolektoru na signal tlačne sklopke aktivira se sprinkler pumpa koja daje potrebnu količinu vode i tlak za gašenje požara za aktiviranu zonu [11].

4.4.2. Deluge ventilski sustav

U pogonskom stanju cjevovod gašenja sustav je prazan. Mlaznice su otvorenog tipa. Voda se nalazi u deluge ventilskoj stanici do klapne koja onemogućava prolaz vode. Detekcija požara je postavljena preko vatrodojavnog sustava cijele građevine. U šticienim prostorijama automatski detektori požara moraju biti podešeni po principu dvozone zaštite, što znači da trebaju biti ožičeni na način da se prostor detekcije pokriva sa dvije detekcijske zone [12]. Signal požara na centralu gašenja se treba prosljeđivati tek nakon prorade detektora u obje zone. Prilikom detekcije požara vatrodojavnog sustava signal požar se prosljeđuje na centralu gašenja koja aktivira elektromagnetski ventil u sklopu deluge ventilske stanice. Uslijed otvaranja elektromagnetskog ventila dolazi do istjecanja vode, te posljedično dolazi do neravnoteže tlakova unutar deluge ventila. Uslijed navedene neravnoteže dolazi do otvaranja klapne deluge ventila i propuštanja vode u cjevovod gašenja. Deluge ventilska stanica signalizira preko tlačne sklopke (prosljeđivanje signala na glavnu vatrodojavnu centralu) signal požara i daje zvučni alarm požar na hidrauličkom alarmnom zvonu. Padom tlaka u kolektorskom cjevovodu sustava dolazi do aktiviranja tlačne sklopke koja uključuje protupožarnu pumpu.

4.5. Priključak na vatrogasno vozilo

Ukoliko nije došlo do starta niti sprinkler pumpe iz nekog nepredviđenog razloga postoji mogućnost napajanja sprinkler sustava preko priključka na vatrogasno vozilo.

U slučaju potrebe vatrogasno vozilo se priključuje sa jedne strane na vanjske hidrante, a sa druge strane na priključak sprinkler sustava na vatrogasno vozilo. Vatrogasno vozilo sa svojim pumpnim postrojenjem povisuje tlak iz gradskog vodovoda i dobavlja ga za potrebe sprinkler sustava.

4.5.1. Nakon gašenja

Nakon završenog gašenja sprinkler pumpa se gasi ručno na upravljačkom ormaru, zatvara se glavni zasun na sprinkler stanici, a instalacija se ponovno stavlja u pripremno stanje.

4.5.2. Sustav za gašenje požara plinom NOVEC 1230

Detekcija požara bila bi realizirana pomoću termičkih ili optičkih javljača požara postavljenih u dvozonskoj ovisnosti [18]. Gašenje se aktivira pri proradi obje zone detekcije. Istovremeno se aktivira i svjetlosno zvučna signalizacija ispred ulaza u štićeni prostor (s vanjske strane). Sustav se može aktivirati i pomoću ručnog tipkala za aktiviranje gašenja, montiranog ispred ulaznih vrata u štićeni prostor. Na centrali gašenja se može prebacivati u režim „ručnog“, odnosno „automatskog“ rada. Na slici 4. prikazan sustav NOVEC.



Slika 4. Sustav gašenja plinom NOVEC [1]

Uvjeti koji su osigurani kod ispućavanja Novac 1230 za ispravan rad sustava:

- potrebno je isključiti ventilaciju,
- potrebno je zatvoriti protupožarne zaklopke na granici požarnog sektora.

Aktiviranje sustava treba se podudarati sa početkom zatvaranja protupožarnih zaklopki.

- potrebno je zatvoriti zaklopke na otvorima prema vanjskim prostorima,
- na svim ulaznim vratima u kritični sektor trebaju biti ugrađeni automatski zatvarači vrata,
- svi otvori koji vode prema drugim prostorima (izvan štice) trebaju biti automatski zatvoreni po proradi sustava,
- nije dozvoljeno postojanje većih propuštanja štice prostora.

Sustav se poluautomatski aktivira preko ručnog javljača požara koji je smješten na ulazu u štice prostor. Nakon aktiviranja sustava potrebno je resetirati centralu za gašene i obavijestiti servis koji je zadužen za održavanje sustava i koji će napraviti sljedeće:

- bocu poslati na punjenje,
- provjeriti funkcionalnost ostalih elemenata te sustav dovesti u ispravno stanje.

Aktiviranjem oba dvije zone detekcije u štice prostoru započinje proces gašenja uz vremensko kašnjenje od 20 s, dok svjetlosno-zvučna signalizacija starta odmah i upozorava ljude u štice prostoru da napuste prostor.

Plin u projektiranim koncentracijama ne postiže koncentraciju NOAEL i nema nikavog utjecaja na čovjeka. Sustavi se mogu aktivirati i ručno (mehanički) na samom spremniku. Sustav se može aktivirati i ručno (mehanički) na samom spremniku. Pritisak u boci ovisi o temperaturi u prostoru i treba se redovno kontrolirati. Za kontrolu pritiska koristi se dijagram koji daje krivulju ovisnosti temperature i tlaka.

Kod 20°C tlak u boci iznosi 50,0 bara. Pritisak u spremniku se može kontrolirati preko manometra na ventilu. Kako bi se postigla efikasnost gašenja potrebno je u štíćenom prostoru zadržati koncentraciju plina za gašenje u vremenu od 10 minuta. Kako bi se to postiglo obavezno se mora izvesti „door-fan“ test.

5. POSTOJEĆE DEŽURSTVO GRAĐEVINE I RADNO VRIJEME

Ovisno o tvrtkama i količini zaposlenih u istima bi trebalo biti organizirano vatrogasno dežurstvo. U nekim tvrtkama imaju Security Guard koji prati požare, jedan zaštitar zaprima signal na vatrodojavnoj centrali, dok drugi ide u izvid požara. Security koji ide u izvid požara poduzima daljnje procedure po pitanju evakuacije, dočekivanje Javne vatrogasne postrojbe (JVP) itd. Ovisno o potrebi i stadiju incidenta koji se potencijalno događa, zaštitar zatvara ili otvara sprinkler ventile, isključiva struju, organizira pozive relevantnih osoba, otvara klizna vrata kolnih ulaza kako bi JVP mogla proći do mjesta požara, evakuira ljude, itd. U nekim tvrtkama, koje imaju više od 700 zaposlenih ljudi u ovakvom području rada, bilo bi poželjno imati i vlastite vatrogasce po smjenama koji štite ljude i građevinu od požara dok ne stigne JVP.

5.1. Upoznatost javne vatrogasne postrojbe (JVP) s građevinom

Tvrtke imaju jako dobru suradnju i komunikaciju s javnim vatrogasnim postrojbama. JVP prije tog kada se uhodava objekt, bude jednom ili 2x na objektu radi upoznavanja s mikrolokacijama koje su kritičnog statusa.

Upoznavanje s prostorom prolaze sve četiri smjene JVP. Oni rade 0-24 i sve 4 smjene prolaze edukaciju u pogonu, kako bi u slučaju požara znali se pripremiti i organizirati. Dolaze spremni na intervenciju i znaju od prilike što bi ih moglo čekati, itd.

Edukacije i vježbe su neophodne za efikasnu intervenciju. Jednom do dva puta godišnje vatrogasci u suradnji s tvrtkama trebaju prolaziti edukacije koje organizira kompanija s kojom imaju potpisan ugovor, te se edukacije znaju proširiti i na par dana uzastopno. S područja baterija ih educiraju voditelji te im ukazuju na nove i bitne stvari koje nisu čuli na prethodnim edukacijama.

5.2. Vatrogasni pristup

Pristupi parceli bi trebali biti organizirani na minimalno 2 načina sa različitih strana firme. Najpoželjnije bi bilo da se nalaze što bliže proizvodnom pogonu i kritičnim točkama radi lakšeg pristupa vatrogasaca. Kolno-pješački pristupi moraju biti dovoljno široki kako bi nesmetano mogao proći Vatrogasni kamion (širine 8 m, 9,5 m i 12,5 m) [13].

Vatrogasni pristupi su velikoj mjeri mogući sa svih strana građevine.

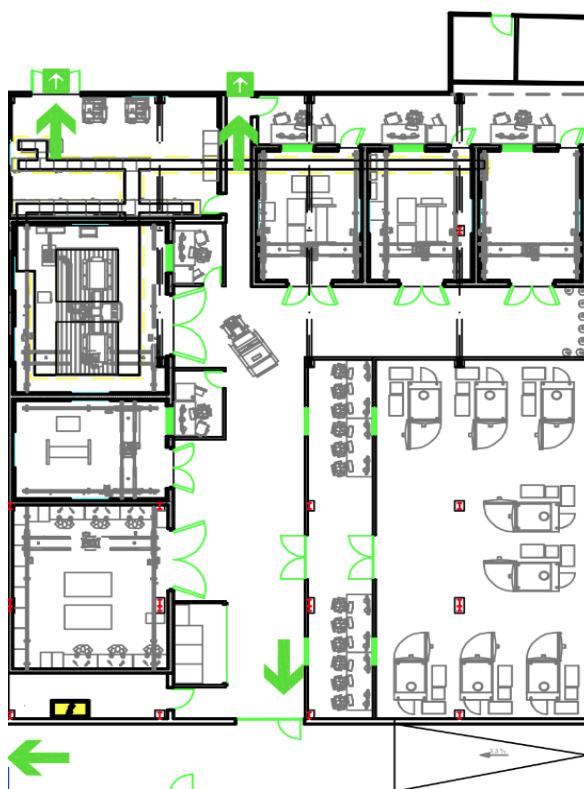
Površine za rad vatrogasnih vozila moraju imati potrebnu osovinsku nosivost od 100 kN/osovini. Sve površine za rad vatrogasnih vozila projektirane su u jednoj ravnini.

Vatrogasni pristupi koji su paralelni s fasadom nalaze se na udaljenosti od fasade maksimalno 12 m, a vatrogasni pristupi okomiti na fasadu na udaljenosti od fasade maksimalno 1 m. Radijusi horizontalnih prometnih površina usklađeni su s Pravilnikom o uvjetima za vatrogasne pristupe.

Dimenzije operativnih površina su širine 5,5 m i duljine minimalno 11 m. Vatrogasni prilazi imaju nagib max 12%, a površine za operativni rad vatrogasnih vozila su u jednoj ravnini s max. nagibom 10%[14].

6. KORIDORI ZA EKSTRAKCIJU BATERIJA I EVAKUACIJU LJUDI

Koridori za evakuaciju ljudi su planirani i izvedeni s propisima i sa strane zakonske obaveze i propisa sve je pokriveno, dok za ekstrakciju gorivih baterija procesi veće razine rizika smješteni su uz samu fasadu građevine te je ekstrakcija gašenje zapaljenih baterija olakšana. U testingu su problem uska vrata kroz koja se ne može izaći direktno van s kolicima pa se mora ići kroz skladište, ako se vozi nešto zapaljivo kroz skladište, to je isto problem jer se u skladištu nalazi mnogo otpada i zapaljivog materijala. Kao primjer prikazan je tlocrt postojećeg stanja Testinga i evakuacijskih puteva. U prilogu priložena slika 5. koja prikazuje tlocrt testinga u kojem se odvijaju testiranja na baterijama i evakuacijskih izlaza.



Slika 5. Prikaz tlocrta Testinga i evakuacijskih izlaza [1]

7. OBUČENOST OSOBLJA ZA ZOP

Svi radnici kod zapošljavanja prolaze edukaciju od 3 do 5 dana gdje nakon predavanja pišu ispit, osnove upoznatosti mjerama zaštite od požara (po zakonu moraju svi proći).

Osposobljavanje se vrši prema: Pravilniku o programu i načinu osposobljavanja pučanstva za provedbu preventivnih mjera zaštite od požara, gašenje požara i spašavanje ljudi i imovine ugroženih požarom (NN 61/1994).

Što se tiče praktičnog djela (gašenje požara), provodi se sa zaposlenicima 2x godišnje vježba kojoj se priključuju svi oni ljudi koji to nisu prošli.




Vodi se evidencija. Što se tiče posebnih ispitivanja, ljudi koji rade u posebno požarno ugroženim odjelima npr. Testing, potrebno je napraviti posebno osposobljavanje, npr. Radnici s litij-ionskim baterijama trebaju proći spomenutu proceduru [14].

8. PROCEDURA I POSTUPCI U SLUČAJU POŽARA/INCIDENTA NA BATERIJI

8.1. Upute za incidente s baterijama

Ovaj dokument pokriva postupak u slučaju EUCAR razine opasnosti od 0 do 4. Incident s baterijom je manji kvar na bateriji, sporo zagrijavanje baterije ili kratki spoj koji ne uzrokuje veću reakciju, ali uz kontinuiranu reakciju može dovesti do toplinskog odlaska. Svaka intervencija u slučaju incidenta (EUCAR razina opasnosti od 0 do 4) dopuštena je samo ako su ispunjeni svih 5 uvjeta koji su također prikazani i na slici 6.:

1. Baterija se sporije zagrijava, sigurno mjesto (vani) je blizu, a pored vas je još jedan djelatnik
2. Osoba ima svu potrebnu osobnu zaštitnu opremu i drugu propisanu protupožarnu opremu (osobna zaštitna oprema nalazi se u vašem odjelu ili u najbližem 'kabinetu s opremom za rukovanje incidentima')
3. Osoba je osposobljena za rješavanje manjih incidenata (HV obuka, gašenje početnih požara)
4. Osoba koja intervenira ima iskustvo rada na akumulatorima
5. Osoba procjenjuje da može ukloniti bateriju na sigurno mjesto bez rizika od ozljede ili veće nezgode

BATTERY INCIDENTS INSTRUCTION		
This document covers procedure in case of EUCAR hazard level 0 to 4		
Battery Cell, Battery Module or Battery Pack, later in text referred only with "Battery"		
	Battery incident is a minor failure on the battery, slow battery heating or a short circuit which does not cause a major reaction but with continued reaction can lead to thermal runaway.	 
1. CONDITION FOR INTERVENTION		
Any intervention in the event of an incident (EUCAR hazard level 0 to 4) is permitted only if all (5) conditions are met:		
1. It is a slower heating of the battery, a safe place (outside) is near, and another employee is next to you		
2. The person has all the necessary personal protective equipment and other prescribed fire gear (PPE is in your department or in nearest 'Incident handling equipment cabinet')		
3. The person is qualified to deal with minor incidents (HV training, Fire extinguishing initial fires)		
4. The person who intervenes has experience working on batteries		
5. The person judges that he/she can remove the battery to a safe place without risk of injury or bigger accident		

Slika 6. Prikaz upute za incident s baterijama [1]

8.2. Osobna zaštitna i druga oprema u slučaju incidenta

Štitnik za lice, visokonaponske zaštitne rukavice, sigurnosni prsluk, protupožarne deke, posuda napunjena vodom, aparat za gašenje požara CO₂, beskontaktni termometar i ormar s opremom za rukovanje incidentima su neizbježna oprema u ovakvim situacijama. Niti jedna osoba ne pristupa požaru nego bateriji koja je u riziku od Thermal Runaway-a, a još nije u istom. Na slici 7. se prikazuje potrebna zaštitna odjeća, obuća i oprema u slučaju thermal runaway-a.






Slika 7. Prikaz osobne zaštitne opreme potrebne u intervenciji [1]

8.3. Upute u slučaju intervencije

Upute u slučaju intervencije trebale bi biti zalijepljene po cijelom proizvodnom pogonu na vidljivim mjestima zaposlenicima. Upute za intervenciju u slučaju od 0-4 iz ove tablice koja je prikazana na slici 8. Ostalo je postupanje po proceduri Thermal Runaway:

1. Prije intervencije provjeriti je li u blizini sigurno mjesto, otvoriti evakuacijski izlaz i obavijestite nadređenog.
2. Daljinskim termometrom provjeriti brzinu porasta temperature.
3. Koristiti svu propisanu osobnu zaštitnu opremu i drugu opremu za intervencije.
4. Aparat za gašenje požara treba držati u blizini u slučaju požara materijala koji okružuju bateriju zbog zagrijavanja baterije.






5. Koristiti kolica za transport baterije na sigurno mjesto ako je moguće bez dodatnog oštećenja uslijed pada baterije s kolica.
6. Ako postoji vidljivo zagrijavanje baterije, staviti bateriju u posudu s vodom (slika 5.). U slučaju da nema vidljivog zagrijavanja, staviti bateriju u sigurnosnu posudu i prekriti je vrećicama od vermikulita ili PyroBubbles.
7. Ako je baterija prevelika ili preteška da bi se mogla sigurno staviti u bilo koji od dva spremnika, ostaviti je na sigurnom mjestu dalje od drugih okolnih struktura, zaštititi to područje sigurnosnim barijerama kao što su trake za upozorenje.

3. INSTRUCTIONS IN CASE OF INTERVENTION	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Before intervention, make sure that a safe place is nearby, open the evacuation exit and inform your superior. 2. With remote thermometer check the rate of temperature increase. 3. Use all prescribed personal protective equipment and other intervention gear. 4. Fire extinguisher should be kept close in case there is a fire of battery surrounding materials due to heating of the battery. 5. Use a trolley to transport the battery to a safe place if it is possible without additional damage due to Battery falling off the trolley 6. If there is evident heating of the battery put the Battery in container with water (Picture 5) In case that there is no evident heating put the battery in a safety container and cover it with vermiculite or PyroBubble bags. If the battery is too large or too heavy to be safely put in any of the two containers, leave it in safe place away from other surrounding structures, protect that area with safety barriers such as retractable fences. 7. If thermal runaway occurs (EUCAR level 5 - 7) while the Battery is still inside the building, refer to the procedure from document PROCEDURE IN CASE OF THERMAL RUNAWAY (RT-OHS-FP-P-001) 	  

Slika 8. Prikaz upute za slučaj intervencije [1]

8.4. Uputa u slučaju toplinskog bijega

Toplinski bijeg (jake egzotermne reakcije koje se ubrzavaju porastom temperature na litij-ionskim baterijama) oslobađa vrlo opasne produkte izgaranja (ugljični monoksid, fluorovodična kiselina, vodik itd.). Udisanje male količine tih para može uzrokovati ozbiljne ozljede i smrt. Mogu pristupiti samo vatrogasci s potpuno izoliranom opremom za zaštitu dišnog sustava. Upute se prilažu i prikazane su na slici 9.

INSTRUCTION IN CASE OF THERMAL RUNAWAY	
Thermal runaway (strongly exothermic reactions that are accelerated by temperature rise on lithium-ion batteries) releases very dangerous combustion products (carbon monoxide, hydrofluoric acid, hydrogen etc.). Inhalation of small amount of that fumes can cause serious injury and death. Only firefighters with fully isolated respiratory protective equipment can approach.	
1. ALARM ANNUNCIATION	
1.1. ALL EMPLOYEES: immediately start a safe evacuation to the fire assembly point outside the building (avoid inhaling the smoke) and follow these instructions:	
1.2. ON THE WAY OUT OF THE BUILDING PUSH THE NEAREST FIRE ALARM BUTTON! This will instruct all people to evacuate	
1.3. From the safe place, CALL THE FIREFIGHTERS (phone number: 193 or 112)	
1.4. Communicate details to firefighters: 1. EXACT LOCATION; 2. WHAT IS BURNING; 3. ARE THERE ANY CASUALTIES?	
1.5. Notify security at the gate entrance, in person or by phone about the emergency	Phone number: +385 91 3337 358
2. EVACUATION AND RESCUE	
2.1. In case of the fire/thermal runaway of the battery cell, module, or pack, EVACUATE IMMEDIATELY	
2.2. Evacuation leaders will instruct all people from the building by the evacuation plan, and report if anybody is missing after evacuation to fire brigade	
2.3. IN CASE OF A LARGE AMOUNT OF SMOKE in the production hall, stay low, put a cloth over your mouth and nose (clean sleeve) to filter the fumes and find your nearest exit	
3. FIRE EXTINGUISHING / REDUCING THE IMPACT OF THERMAL RUNAWAY	
3.1. IN CASE OF SMOKE FROM THE BATTERY , persons without the full firefighting protective equipment and respiratory protection must immediately evacuate from the building and leave handling of the situation to firefighters.	
3.2. RESPONSIBLE PERSON (HEAD OF A PRODUCTION, COORDINATOR OR TEAM LEAD) who is familiar with process gives necessary information for firefighters from the safe place	
3.3. For FIREFIGHTERS IN FULL PROTECTIVE EQUIPMENT , if it is possible to do so without harm to health and further damage to the material goods, it is advisable to take the battery which is on thermal runaway, out of the building to a safe area where there are no sources of ignition, fuel and/or other dangerous substances, and flammable materials	
3.4. IN WELDING MACHINE PROCESSES , in case of thermal runaway, battery module will be submerged in the water tank, safety box or other solution (whatever is prepared in specific scenario), which is positioned on the trolley and depending on the situation, with or without additional equipment, module can be transported outside to the safe area by the firefighters	
3.5. Operator which is familiar with all technical processes and equipment, if situation allows it without putting his health and himself in risk, should do a fast equipment setup on safe mode to avoid secondary hazards, and evacuate immediately according to step 2. of this instruction	
3.6. IN THE EVENT OF FIRE WHICH IS NOT RELATED TO BATTERY OR THERMAL RUNAWAY , like fire on other materials and spreading of fire, proceed with "General fire extinguishing instructions"	

Slika 9. Prikaz uputa u slučaju toplinskog bijega [1]

8.5. Objava alarma

Svi zaposlenici, odmah započiju sigurnu evakuaciju do žarišta požara izvan zgrade (izbjegavati udisanje dima) i moraju se pridržavati ovih uputa:

- na izlasku iz zgrade pritišću najbliži gumb za dojavu požara! Ovo će uputiti sve ljude da se evakuiraju,
- sa sigurnog mjesta pozvati vatrogasce (broj telefona: 193 ili 112),
- priopćiti detalje vatrogascima: 1. Točno mjesto; 2. Što gori; 3. Ima li stradalih?;
- obavijestiti osiguranje na ulazu, osobno ili telefonom o hitnom slučaju,
- voditelji evakuacije uputit će sve ljude iz zgrade na zborna mjesta, te prijaviti ako je netko nestali nakon evakuacije vatrogascima.

8.5.1. Evakuacija i spašavanje

U slučaju požara/toplinskog odlaska baterije, modula ili paketa, odmah nastupa evakuacija.

U slučaju velike količine dima u proizvodnoj hali, bitno je ostati prizemljen, stavite krpu preko usta i nosa (čisti rukav) da filtrirate pare i pronađete najbliži izlaz [14].

8.5.2. Gašenje požara / smanjenje utjecaja toplinskog bijega

U slučaju dima iz baterije bez kompletne protupožarne zaštitne opreme i zaštite za disanje moraju se odmah evakuirati iz objekta i prepustiti rješavanje situacije vatrogascima. Odgovorna osoba (šef proizvodnje, koordinator ili rukovoditelj) koja je upoznata s procesom daje potrebne informacije vatrogascima sa sigurnog mjesta za vatrogasce u punoj zaštitnoj opremi, ako je to moguće učiniti bez štete po zdravlje i daljnje štete za materijalna dobra, preporučljivo je bateriju koja je na Thermal runawayu iznijeti iz objekta na sigurno mjesto bez izvora paljenja, goriva i/ili drugih opasnih tvari i zapaljivih materijala.

U procesima strojeva za zavarivanje, u slučaju Thermal runaway, baterijski modul će biti potopljen u spremnik za vodu – prikazano na slici 10., sigurnosnu kutiju ili drugo rješenje (što god je pripremljeno u određenom scenariju), koji se nalazi na kolicima i ovisno o situaciji, modul se može transportirati vani sigurno područje od strane vatrogasaca [15]. Operater koji je upoznat sa svim tehničkim procesima i opremom, ako situacija to dopušta bez izlaganja vlastitog zdravlja i sebe riziku, treba izvršiti brzo postavljanje opreme na siguran način rada kako bi se izbjegle sekundarne opasnosti, te se odmah evakuirati.



Slika 10. Sigurnosni box za skladištenje baterija u slučaju požara [5]

9. UPISNIK O POŽARU

Svaki požar koji se desi u ovakvom krugu opasnosti mora imati upisnik o požaru koji piše Specijalist zaštite od požara nakon završetka intervencije [16].

A on mora sadržati sljedeće podatke:

- vrsta štetnog događaja,
- mjesto nastanka štetnog događaja,
- vrijeme nastanka štetnog događaja (datum, sat i minuta),
- tijek događaja i načini na koje je izvršeno uočavanje, otkrivanje i dojava štetnog događaja,
- uzrok nastanka štetnog događaja,
- imena i prezimena (odnosno samo pozicije) sudionika u štetnom događaju,
- rabljeni uređaji, sredstva i oprema za gašenje požara / sanaciju štetnog događaja (vrste, interne oznake),
- količina utrošenih sredstava za gašenje požara,
- vrijeme stavljanja štetnog događaja pod kontrolu,
- vrsta oštećenja i visina materijalne štete nastale štetnom događaju,
- podaci o osobama koje su nastradale u štetnom događaju.

10. DEŽURSTVO VATROGASACA I OPERATIVNI POSTUPCI

Profesionalni vatrogasci raspoređeni su na rad u smjenama 12 sati rada/24 sata slobodno te opet 12 sati rada /48 sati slobodno. Raspoređeni su na rad tako da 24/7 – neprekidno odvija vatrogasno dežurstvo s jednim profesionalnim vatrogascem u smjeni i tri dobrovoljna vatrogasca za vrijeme radnog vremena od 06-18 h, te s dva profesionalna vatrogasca izvan radnog vremena. Za vatrogasne dežurstvo uzeti će se vanjska postrojba od strane DVD-a s područja djelovanja [4], zbog potreba za nadopune u slučaju izbivanja vlastitih vatrogasnih snaga. Vatrogasno dežurstvo trebalo bi biti smješteno uz samu proizvodnju gdje su mogući incidenti. Blizu sobe dežurstva nalazi se vatrodojavna centrala u prizemlju preko koje je moguće upravljanje vatrodojavom, a zaprimanje vatrodojavnih signala vrši se na računalnoj aplikaciji na zaslonu računala. U slučaju alarma, 24/7 dežurstvo zaštitara u suradnji s vatrogascem pomaže pri upravljanju VDC-om i navigiranju lokacije alarma. Po dolasku alarma vatrogasac postupa u skladu s uputama projekta vatrodojave, i izviđa o alarmu te vrši početno gašenje požara ako je moguće prema izrađenim standardnim operativnim procedurama. Dobrovoljni vatrogasci s lokacije koji unutar svojih uobičajenih poslova, u slučaju alarma i potrebe, priključuju se na vatrogasne intervencije u skladu sa svojom razinom obuke i opremljenosti. Komunikacija s dobrovoljnim vatrogascima vrši se preko aplikacije Teams, profesionalni vatrogasci imaju svoj službeni mobitel. Prilikom pokretanja alarmnog stanja voditelji evakuacije su zaduženi evakuirati osoblje iz građevine, te ako situacija dozvoljava, provjeriti je li tko u građevini ostao. Na 4 postojeća zborna mjesta određeni su i koordinatori zbornih mjesta kako bi upravljali grupom. Po dolasku alarma dežurno osoblje porte, dužno je ručno otvoriti sve klizne ograde na vatrogasnim prilazima i dočekati vatrogasce.

11. ZAKLJUČAK

Iz dana u dan proizvodnja litij-ionskih baterija sve brže raste, kao i njihova potrošnja u industriji i svakodnevnom životu. Ove baterije nalaze svoju primjenu uglavnom u svim uređajima s koji su danas na dnevnoj bazi u upotrebi (mobiteli, laptopi, kamere...) zbog svojih velikih prednosti, što radi velikog raspona radnih temperatura, povelike gustoće energije, dugog životnog ciklusa i osjetljive otpornosti na pražnjenje. Požari i eksplozije u proizvodnim pogonima u kojima se radi s ovim baterijama mogu dovesti do velikih katastrofa i tragedija što se tiče života zaposlenika i ljudi koji su se slučajno našli u blizini. Smanjenje rizika od zapaljenja litij-ionskih baterija zahtijeva pristup s više aspekata, uključujući dizajn, proizvodnju, upotrebu i održavanje. U nastavku su prikazane konkretnije mjere koje mogu pomoći u smanjenju rizika.

Prvo i možda najbitnije su kvalitetni materijali i proizvodni procesi što podrazumijeva upotrebu visokokvalitetnih materijala. Bitno je koristiti materijale koji imaju bolju otpornost na toplinu i mehaničke udarce te osigurati rigorozne kontrole tijekom proizvodnje kako bi se otkrili i eliminirali defektni proizvodi. Kao sljedeće može se navesti pravilno punjenje i pražnjenje - Integrirati zaštitne krugove koji sprječavaju prekomjerno punjenje i prekomjerno pražnjenje kao i koristiti samo punjače koji su kompatibilni s određenim baterijama kako bi se izbjeglo nepravilno punjenje. Sustavi za hlađenje su također jedna od bitnijih stavki implementirani sustavima za hlađenje koji održavaju optimalnu radnu temperaturu baterija. Fizikalna zaštita u koju se ubrajaju zaštitni strojevi (dizajnirati baterijske pakete s dodatnim zaštitnim slojevima kako bi se spriječila mehanička oštećenja) te izbjegavanje udaraca (osigurati da se baterije ne izlažu udarcima, probijanju ili lomljenju).

Sigurnosni senzori i deaktivacija, koji se dijele na senzore za pregrijavanje koji mogu detektirati pregrijavanje, povećani pritisak ili curenje elektrolita i deaktivaciju za automatsko isključivanje, jedan od odličnih načina zaštite je ugraditi mehanizme za automatsko isključivanje baterije u slučaju abnormalnih uvjeta.

Pravilno skladištenje, edukacija korisnika te standardi i regulative, nisu ništa manje bitne od iznad navedenih stavki. Skladištenje baterija bi se trebalo vršiti jedino u hladnim, suhim i vatrootpornim mjestima, te svako njihovo premještanje i transport bi se trebalo radi svačije sigurnosti vršiti u kontejnerima za transport koji su otporni na udarce i toplinu. Educirati korisnike o pravilnom rukovanju i održavanju baterija kao i informirati korisnike o rizicima nepravilne upotrebe i potrebnim mjerama opreza je jedna od nezaobilaznih stavki koja se ne bi smjela zaboraviti za sigurnost pri radu s litij-ionskim baterijama.

Rad s LIB treba svaka osoba kao i kompanija koja ima doticaja u radu s njima, ozbiljno shvatiti. Najsitniji trenutak nepažnje može dovesti do katastrofalnih posljedica te primjena ovih mjera može značajno smanjiti rizik od zapaljenja litij-ionskih baterija i poboljšati sigurnost njihove upotrebe.

Stay Safe!

12. LITERATURA

- [1] Mehmet S., Muciz Ö., Yasin E.: „A review on the lithium-ion battery problems used in electric vehicles”, 3 (2024.), 100036. doi: 10.1016/j.nxsust.2024.100036. pristupljeno 09.07.2024.
- [2] Lithium-ion battery risks in Warehousing and Distribution, <https://blog.storemasta.com.au/fire-suppression-lithium-ion-batteries>, pristupljeno 14.06.2024.
- [3] Yang Y., Wang R., Shen Z., Yu Q., Xiong R., Shen W.: „Towards a safer lithium-ion batteries: A critical review on cause, characteristics, warning and disposal strategy for thermal runaway”, *Advances in Applied Energy*, 11 (2023.), 100146, ISSN 2666-7924
- [4] IT and Consulting Consulting Firm BIS Of Sealed Secondary Cells/Batteries, <https://www.indiamart.com/proddetail/bis-of-sealed-secondary-cells-batteries22012462191.html>, pristupljeno: 01.06.2024.
- [5] Osobni izvor
- [6] Engineers Garage, Introduction to batteries and their types, <https://www.engineersgarage.com/introduction-batteries-their-types/>, pristupljeno: 01.06.2024.
- [7] Povijest baterija: Kako su nastale?, https://www.marketingodjel.com/povijest_baterija, pristupljeno: 01.06.2024.
- [8] Xie, J., Li, J., Wang, J., i Jiang., J.: „Fire protection design of a lithium-ion battery warehouse based on numerical simulation results“, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 80 (2022).
- [9] Baird, A., Archibald, E., Marr, K., Ezekoye, O.: „Explosion hazards from lithium-ion battery vent gas“, *Journal of Power Sources*, 446 (2020.), 227257, ISSN 0378-7753

- [10] Meshram, P., Mishra, A., Abhilash, i Sahu, R., „Environmental impact of spent lithium ION batteries and green recycling perspectives by organic acids – A review“, *Chemosphere*, 242 (2019), 125291.
- [11] Clean Agent Novec-1230 FK-5112 Total Flooding Fire System With High Pressure GasCylinder, <https://www.chinafiresafety.com/novec-1230-total-flood-system/cleanagent-novec-1230-fk-5112-total-flooding.html>, pristupljeno 01.07.2024.
- [12] Sustav vatrodojave, <https://sustavizastite.hr/vatrodojava/>, pristupljeno 09.07.2024.
- [13] "Narodne novine" br. 114/22, Zakon o zaštiti od požara, <https://www.zakon.hr/z/349/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-po%C5%BEara>, pristupljeno 01.06.2024.
- [14] Vodič za procjenu rizika u malim i srednjim poduzećima, 7 Opasnosti od eksplozija, Identifikacija i procjena rizika; Provođenje mjera, 2010., <http://www.hzzzs.hr/wp-content/uploads/2016/11/Opasnost-od-eksplozija.pdf>, pristupljeno 01.06.2024.
- [15] Jaycon Systems, BATTERIES 101: SIZES TYPES, POWER, AND HAZARDS, <https://jayconsystems.com/blog/batteries-101-sizes-types-power-hazards>, pristupljeno 01.06.2024.
- [16] "Narodne novine", br. 58/93. Zakon o programu i načinu osposobljavanja pučanstva za provedbu preventivnih mjera zaštite od požara, gašenje požara i spašavanje ljudi i imovine ugroženih požarom, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1994_08_61_1103.html, pristupljeno 01.07.2024.
- [17] Preventa Centar za integralnu sigurnost, Pojam zaštite na radu, <https://preventa.hr/zastita-na-radu-upit/zastita-na-radu-pri-pekarskim-poslovimapojam-zastite-na-radu>, pristupljeno 01.06.2024.
- [18] Owens, B. B., Reale, P., i Scrosati, B.: „PRIMARY BATTERIES - NONAQUEOUS SYSTEMS | Solid-State: Silver–Iodine.“, *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, (2009), 22–27.
- [19] Nishi, Y.: „Past, Present and Future of Lithium-Ion Batteries“, *Lithium-Ion Batteries*, Elsevier, Amsterdam (2014), 21–39, ISBN 9780444595133

13. PRILOZI

13.1. Popis simbola

LIB – Litij-ionske baterije

BESS – engl. Battery Energy Storage System

NN – Narodne novine

NFPA – The National Fire Protection Association

UL – UL Solutions (Safety Science company)

13.2. Popis slika

<u>Slika 1. Litij-ionske baterije i ćelije [1]</u>	7
<u>Slika 2. Čimbenici koji utječu na sigurnost litij-ionske baterije [4]</u>	10
<u>Slika 3. Sustav vatrodojave [2]</u>	12
<u>Slika 4. Sustav gašenja plinom NOVEC [1]</u>	16
<u>Slika 5. Prikaz tlocrta Testinga i evakuacijskih izlaza [1]</u>	19
<u>Slika 6. Prikaz upute za incident s baterijama [1]</u>	21
<u>Slika 7. Prikaz osobne zaštitne opreme potrebne u intervenciji [1]</u>	22
<u>Slika 8. Prikaz upute za slučaj intervencije [1]</u>	23
<u>Slika 9. Prikaz uputa u slučaju toplinskog bijega [1]</u>	24
<u>Slika 10. Sigurnosni box za skladištenje baterija u slučaju požara [5]</u>	26