

Electric Mobility Teaching Manual in local languages



Electric Mobility - Electric Mobility Teaching Manual in Local Languages 2024.

Edited by Balázs Mikó, György Czifra
Óbuda University – OE, Budapest, Hungary

*Partnership for Promotion and Popularization of Electrical Mobility through Transformation
and Modernization of WB HEIs Study Programs/PELMOB*

Call: ERASMUS-EDU-2022-CBHE-STRAND-2

Project Number: 101082860

Authors

- 1 Sistemet e ruajtjes së energjisë dhe teknologjia e re e baterive për automjetet elektrike
Klodjan Xhexhi; Blerim Nika
Polis University – UPOLIS, Tirana, Albania
- 2 Sigurnost električnih vozila
Osman Lindov; Adnan Omerhodžić; Ajdin Džananović
University of Sarajevo - UNSA, Bosnia & Herzegovina
- 3 Pogonski i mehatronički sistemi u električnim vozilima
Edin Šemić
Dzemal Bijedic University of Mostar - UDBM, Bosnia & Herzegovina
- 4 Sistemi automatskog upravljanja u električnim vozilima
Nataša Popović; Mirjana Maksimović
University of East Sarajevo - UES, Bosnia & Herzegovina
- 5 Internet inteligentih uređaja (IoT) za električna vozila
Oliver Popović; Nataša Gospić
Adriatic University Bar – AUB, Budva, Montenegro
- 6 Drejtuesit e motorëve dhe konvertuesit e fuqisë për automjetet elektrike
Alma Golgota; Erion Mali; Eduart Ndokaj;
Aleksandër Moisiu University - UAMD, Durrës, Albania
- 7 Električne mašine velike gustine snage za električna vozila
Saša Štatkić; Nebojša Arsić; Aleksandra Petrović
University of Mitrovica - UPKM, Kosovska Mitrovica, Kosovo*
- 8 Električna mobilnost u planiranju održive urbane mobilnosti
Predrag Stanojević; Jelena Rajović; Nenad Stanojević
Academy of Applied Studies of Kosovo and Metohija – AASKM, Kosovo*
- 9 Environmental Impacts of Electric Vehicles
Jelisaveta Marjanovic; Mihone Kerolli; Jelena Djokic
International Business College Mitrovica – IBCM, Mitrovica, Kosovo*
- 10 EU regulativa električne mobilnosti
Milanko Damjanović, Boško Matović, Radoje Vujadinović, Sreten Simović, Boško
Matović, Vladimir Ilić, Borjanka Dragović
University of Montenegro – UOM, Podgorica, Montenegro



Funded by
the European Union

D 3.5

IAL-të e BB-së do të krijojnë materiale mësimore në përputhje me katalogun e kurseve të EM. Materiali mësimor – manual për nxënësit do të përgatitet në formë elektronike dhe në letër dhe do të rishikohet nga partnerët e BE-së. (deri në 100 faqe, B5).

Manuali i Lëvizjes Elektrike për studentët

Polis University, Tirana, Albania

Autorët: Klodjan Xhexhi, Blerim Nika

Kapitulli 1. Sistemet e ruajtjes së energjisë dhe teknologjia e re e baterive për automjetet elektrike.

1.1 Sistemi i ruajtjes së energjisë për automjetet elektrike

Sistemet e ruajtjes së energjisë (ESS) po përdoren gjithnjë e më shumë në aplikimet që lidhen me energjinë e rinovueshme, mikrorrjetet dhe automjetet elektrike (EV). Gjatë disa dekadave të fundit, automjetet elektrike (EV) kanë fituar popullaritet dhe janë parë të jenë një zëvendësim i mirë për motorët me djegie të brendshme (ICE). Një e treta e karburantit fosil përdoret nga makinat ICE, trenat, mallrat dhe aeroplanët. 94% e automjeteve në industrinë e transportit operonin me naftë, 2% punonin me biokarburant, 3% punonin me gaz natyror dhe 1% punonin me energji elektrike. Është demonstruar se fabrikat dhe ICE-te janë kontribuesit kryesorë të oksideve të azotit (NO), dioksidit të squfurit (SO₂), monoksidit të karbonit (CO) dhe dioksidit të karbonit (CO₂). Këto gaze janë shkaku i efektit serë dhe kanë kontaminuar ekosistemin. ESS në sistemin EV merr energjinë elektrike të nevojshme për të funksionuar motorin dhe komponentët e tjerë [1], [2].

Mbi 5 milionë automjete elektrike janë regjistruar globalisht (revolucion i energjetik). Në vitin 2019, më shumë se 50% e shitjeve të reja të automjeteve elektrike ndodhën në Norvegji. Shitjet e automjeteve elektrike arritën në 2% në SHBA, 3% në Portugali, 5% në Kinë, 7% në Irlandë dhe 8% në Holandë. Kishte 450,000 automjete elektrike të pasagjerëve (EV) në 2015. Megjithatë, ndërsa kërkesa për EV u rrit, numri i EV u zgjerua shpejt, duke arritur në 2.1 milion në 2019 [3], [4].

Kina dhe Evropa po përjetojnë rritje të përditshme të kërkesës për automjete elektrike. Përveç kësaj, duke përdorur më shumë EV për të zëvendësuar automjetet me motor me djegie të brendshme, njerëzit në mbarë botën po përballen me sfidën e reduktimit të emetimeve të gazeve serrë dhe ngrohjes globale. Shumë kombe dhe shtete miratojnë ligje që inkurajojnë qytetarët e tyre të përqafojnë automjetet elektrike. Këto strategji janë duke u bërë më gjerësisht të përdorura dhe të parashikuara, gjë që ndihmon në avancimin e adoptimit dhe zgjerimit të EV-ve. Këto ditë, EV-të mendohet të jenë një sistem potencial i ruajtjes së energjisë së shpërndarë (ESS) në rrjet ose sistemin e mikro-rrjetit përmes përpjekjeve të koordinuara të karikimit që do të ndihmojnë në balancimin e luhatjeve në energjinë e ndërprerë diellore dhe të erës. EV-të ofrojnë një furnizim të mundshëm me energji elektrike gjatë fazës së ngarkesës së marrjes për kontrollin nga ana e kërkesës. Kjo krijon një rrugë të shkëlqyer për instalimin e sistemeve të energjisë së rinovueshme të lidhura me rrjetin dhe sistemeve nga automjeti në rrjet dhe nga rrjeti në automjet [5].

Disa forma të pajisjeve të ruajtjes së energjisë (ESD), të tilla si bateritë, superkondensatorët (SC) ose qelizat e karburantit, përdoren në ESS për aplikimet e automjeteve elektrike. Bateria prodhon energji elektrike duke ruajtur energjinë elektrokimike. Ndërsa qeliza e karburantit përdor kryesisht hidrogjen (H₂), SC ruan energjinë si një ngarkesë elektrike statike. Qelizat ESD janë të lidhura në seri dhe paralele brenda paketës ESD për të arritur tensionin e nevojshëm për kërkesën EV, ku secila qelizë ka një tension midis 1,5 dhe 5,5 V. Gjatë periudhave të karikimit dhe shkarkimit, në rezervuarin elektrokimik zhvillohet një reaksion kimik i njohur si ESD. Për më tepër, reaksioni kimik ndikon në performancën dhe gjatë rrjedhës së një cikli, degradimi kimik zvogëlon kapacitetin ESD.

Sidoqoftë, qeliza në paketën ESD nuk është e përputhshme me tjetrën për shkak të defekteve të prodhimit, mbingarkesës dhe shkarkimit të tepërt, shkallës së vetëshkarkimit, rezistencës së brendshme dhe ndryshimit të temperaturës. Ndryshimet në tension brenda paketës ESD mund të

çojnë në një reduktim të kapacitetit dhe jetëgjatësisë. Për më tepër, shpërthimet mund të ndodhin gjatë procesit të karikimit dhe shkarkimit [6].

Motori, sistemi i ndriçimit, sistemet e tjera të drejtimit dhe aksesorët e një sistemi EV fuqizohen të gjitha nga energjia e ruajtur [7]. Në automjetet elektrike (EV), përdoret ESD elektrokimike e ringarkueshme, si litium-jon, plumb-acid, Ni-Cd, Ni-MH, ZEBRA, Zn/Air, Na/S dhe super-kondensatorë. Meqenëse teknologjia ESD ka avancuar, ka pasur një rritje të mprehtë të nevojës për ESD në komponentët elektrikë portativë, veçanërisht për aplikimet EV. Bateritë litium-jon kanë treguar premtime në industrinë e EV, pavarësisht se bateritë me acid plumb tani kanë një treg të madh global në fushën e sistemeve të ruajtjes së energjisë së rinovueshme. Duke përdorur një ESD, disa parametra merren parasysh për aplikacionin EV, duke përdorur në mënyrë efektive sistemet e plota EV [8], [9].

Kompanitë dhe studiuesit duhet të marrin parasysh mbingarkimin, mbinxehjen dhe rrymën e qarkut të shkurtër, të cilat duhet të reduktohen dhe menaxhohen gjatë aplikimit të sistemeve të ruajtjes së energjisë elektrike EV. Tensioni i qelizës ESD ose çekuilibri i ngarkesës ndodh si rezultat i profileve nën, mbi dhe temperaturës [10]. Jetëgjatësia e tensionit të qelizës ESD do të zgjatet për të pakësuar ndikimet e çekuilibrit dhe mbinxehjes.

Një komponent që i nevojitet çdo EV është sistemi i menaxhimit të baterisë (BMS). BMS garanton që ESD do të mbrohet nga dëmtimet e inspektuara, mbështetësit e besueshëm, jetëgjatësia e zgjatur dhe furnizimi i vazhdueshëm me energji elektrike gjatë ngasjes me EV [11].

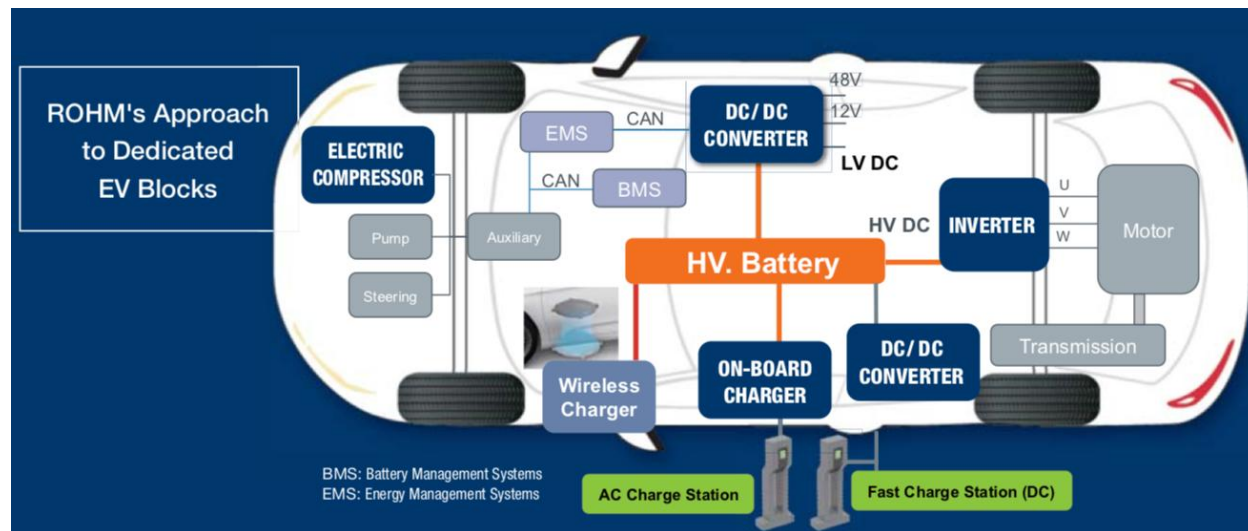


Figura 1. Brenda një makine elektrike me bateri. Burimi: Rohm

1.2. Roli i Sistemit të Menaxhimit të Baterive (BMS)

EV-të, ose automjetet elektrike, janë bërë një zëvendësues popullor i makinave me karburant. Ekzistojnë lloje të ndryshme të baterive sipas karakteristikave të performancës së disa llojeve të baterive, duke përfshirë ultrakondensatorë, hidride nikel-metal (NiMH), litium-jon (Li-Ion) dhe fosfat hekuri litium (LiFePO₄).

Sistemet e menaxhimit të baterisë së automjeteve elektrike (EV) (BMS), janë thelbësore për ruajtjen e funksionimit të sigurt dhe efektiv të baterisë gjatë gjithë jetës së EV. BMS, i cili është truri pas sistemit të ruajtjes së energjisë të EV, është thelbësor për të mbajtur nën vëzhgim, menaxhuar dhe mbrojtur baterinë. BMS maksimizon performancën e baterisë duke shmangur

mbingarkimin, shkarkimin e tepërt dhe problemet termike që përndryshe mund të shkurtojnë jetëgjatësinë dhe efikasitetin e baterisë [12].

Në EV, siguria është e një rëndësie të madhe. BMS redukton rreziqet e mundshme duke zbatuar masa sigurie për t'u mbrojtur nga qarqet e shkurtra, rrymat e tepërta dhe temperatura e tepërt. Sigurimi që bateria të funksionojë brenda kufijve të saj të sigurt të punës, zvogëlon mundësinë e humbjes termike ose zjarrit, duke mbrojtur mjedisin dhe pasagjerët e automjetit [13].

Një nga veçoritë më të rëndësishme të BMS është zgjatja e jetëgjatësisë totale të baterisë. BMS zgjat shumë jetëgjatësinë e baterisë duke kontrolluar me kujdes ciklet e ngarkimit dhe shkarkimit dhe duke e mbajtur atë brenda kufijve të sigurtë [14].

Bilanci i qelizave individuale është një tjetër funksion i rëndësishëm i BMS. Ndryshimet në vetitë e vetë qelizave mund të shkaktojnë çekuilibër dhe të dëmtojnë performancën e përgjithshme të baterisë. Për të maksimizuar kapacitetin dhe efikasitetin e paketës së baterisë dhe për të promovuar performancën e qëndrueshme të qelizave, BMS balancon në mënyrë aktive tensionet e qelizave gjatë karikimit dhe shkarkimit [15].

BMS mbledh dhe ruan informacione për shëndetin e baterisë, tendencat e përdorimit dhe performancën, duke e bërë atë një mjet të paçmuar për zgjidhjen e problemeve. Përdorimi i këtyre të dhënave për të kryer mirëmbajtjen parandaluese dhe diagnostikimin mundëson përdorimin e teknikave parashikuese të mirëmbajtjes dhe ul frekuencën e dështimeve të paplanifikuara të baterisë [15].

Koordinimi dhe efikasiteti i përgjithshëm i automjetit garantohen nga lidhja e BMS me sistemet e tjera të automjeteve, duke përfshirë kontrolluesin e motorit dhe elektronikën e energjisë. Rrjedha e fuqisë, shpërndarja e çiftit rrotullues dhe frenimi rigjenerues janë të gjitha të optimizuara nga ky integrim, i cili përmirëson ekonominë e energjisë dhe u jep drejtuesve të automjeteve elektrike një ndjesi më të mirë të drejtimit [16].

Sistemet e menaxhimit të baterive janë pjesë thelbësore e makinave elektrike. Për të garantuar funksionimin e sigurt dhe efektiv të EV-ve, funksioni i tyre në monitorimin, mbrojtjen dhe përmirësimin e performancës së baterisë është thelbësor. BMS përmirëson rrezen e drejtimit dhe ekonominë e përgjithshme të automjetit, përveç zgjatjes së jetëgjatësisë së baterive. Besueshmëria, siguria dhe qëndrueshmëria e transportit elektrik do të rritet vetëm në të ardhmen falë përparimeve të vazhdueshme në teknologjinë e baterive dhe aftësitë BMS [17].

Funksioni kryesor i BMS është të kontrollojë, menaxhojë dhe mbrojë baterinë për të garantuar performancën e saj të sigurt dhe efektive [18].

Për të maksimizuar performancën e baterisë dhe për të rritur ekonominë e përgjithshme të automjetit, BMS komunikon me baterinë, ngarkuesin, rregullatorin e tensionit, sensorin e rrymës

dhe sensorin e temperaturës, midis pjesëve të tjera të automjetit elektrik [19].

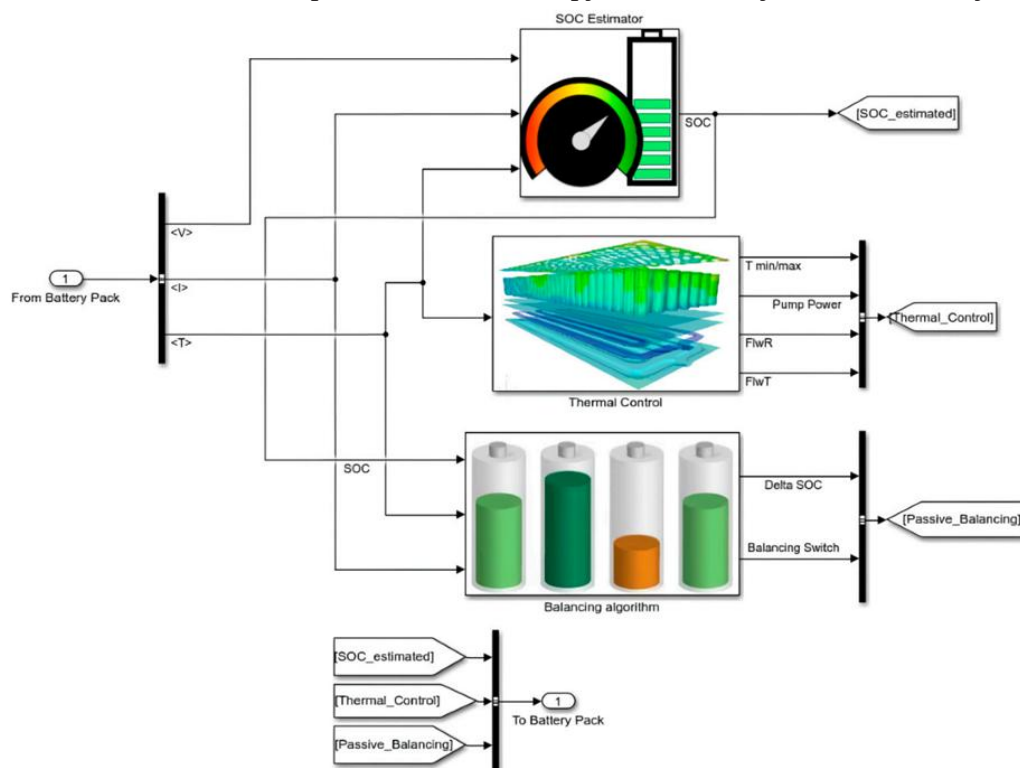


Figura 2. Skema e Sistemit të Menaxhimit të Baterisë [20].

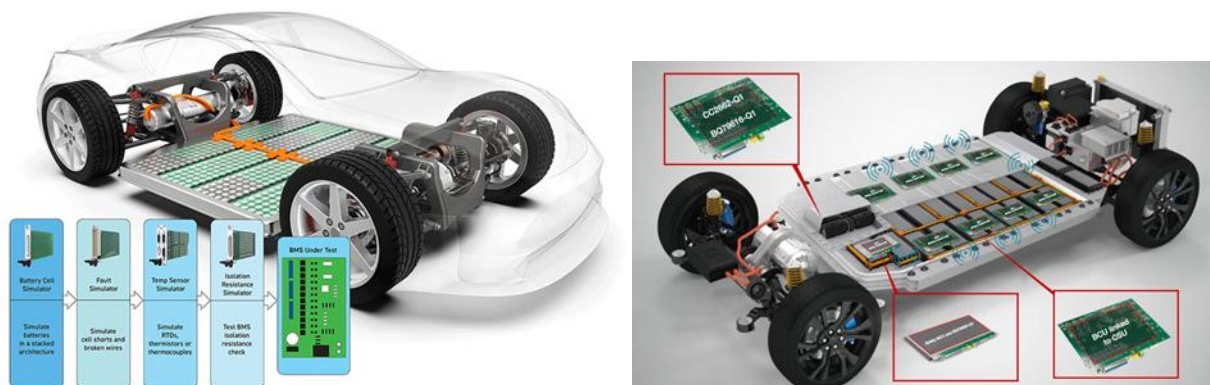


Figura 3. A. Sistemi i menaxhimit të baterive (BMS) [21]; B. Sistemi i menaxhimit të baterive me vale (wireless) [22].

1.3. Modelimi i paketës së baterisë

Ekziston një presion në rritje mbi industrinë e transportit për të dekarbonizuar operacionet e saj për të ulur emetimet e gazeve serrë. Makinat elektrike janë një kunderveprim i njohur që ka dalë në sipërfaqe (EV-të). Bateritë litium-jon (LiB) janë opsioni më i mirë për ruajtjen e energjisë në makinat elektrike për shkak të zgjerimit të tyre të shpejtë në industri. Është thelbësore të mbahet mend se temperatura dhe voltazhi i lartë mund të kenë një ndikim në teknologjinë e baterive litium-jon [20].

Është thelbësore të hartohet një model i saktë i baterisë dhe një vlerësues i besueshëm i gjendjes së karikimit (SOC) për të parandaluar mbingarkimin e baterisë. Modelimi dhe vlerësimi SOC i qelizave të baterive litium-jon ka qenë objekt i disa studimeve. Në mënyrë tipike, një paketë baterie përbëhet nga shumë qeliza të lidhura në seri ose paralele për të siguruar tensionin dhe kapacitetin e nevojshëm për makinat elektrike [20].

Qasja e integrit në orë amper, metoda e bazuar në model dhe metoda e drejtuar nga të dhënat janë tre kategoritë kryesore të teknikave të vlerësimit të SOC që janë zhvilluar në dhjetë vitet e fundit. Integrimi i qasjes së amper-orës (Ah) integron rrymat në të gjithë kohëzgjatjen e funksionimit për të ofruar vlerësime në një mënyrë të lehtë për t'u kuptuar [23].

Megjithatë, për të garantuar funksionimin e sigurt dhe të besueshëm të baterisë, duhet të vendoset një Sistem i sofistikuar i Menaxhimit të Baterisë (BMS), sepse bateritë litium-jon janë të ndjeshme ndaj tensionit dhe temperaturës së lartë [20].

Te dhënat kritike duke përfshirë gjendjen e ngarkesës (SOC), gjendjen e shëndetit (SOH), gjendjen e energjisë (SOE), gjendjen e fuqisë (SOP), gjendjen e temperaturës (SOT) dhe gjendjen e sigurisë (SOS) janë vlerësuar të gjitha dhe monitoruar në kohë reale nga BMS [24].

Ruajtja e energjisë është komponenti themelor i EV-ve moderne, dhe bateritë litium-jon janë bërë lider në industri për shkak të cilësive të tyre të jashtëzakonshme, të cilat përfshijnë vetëshkarkimin e ulët dhe densitetin e lartë të energjisë [25].

Modelet e baterive litium-jon ndahen në tre kategori kryesore: modeli i qarkut ekuivalent elektrik (EECM), modeli i drejtuar nga të dhënat dhe modeli elektrokimik. EECM përshkruan vetitë dinamike të baterisë duke përdorur disa komponentë elektrikë, të tillë si rezistorët, kondensatorët dhe burimet e tensionit. Ka pika të forta për sa i përket aplikimit dhe vizualizimit relativisht të lehtë. Prandaj preferohet një BMS origjinale. Në figurën e mëposhtme, janë paraqitur një sërë EECM me struktura të ndryshme.

Sipas një studimi tjetër, vetitë dinamike të një baterie, të tilla si rezistenca e saj e brendshme, voltazhi i qarkut të hapur (OCV) dhe një ose më shumë palë rrjete të kapacitetit të rezistencës (RC), simulohen nga një EECM duke përdorur komponentë elektrikë. Saktësia do të rritet në lidhje me numrin e rrjeteve RC, por në përputhje me rendin dhe kompleksitetin. Rrjedhimisht, modeli Thevenin i rendit të dytë është zgjedhur për këtë punë duke marrë parasysh këto aspekte [20]. Modeli vizual është paraqitur në Figurën 4.

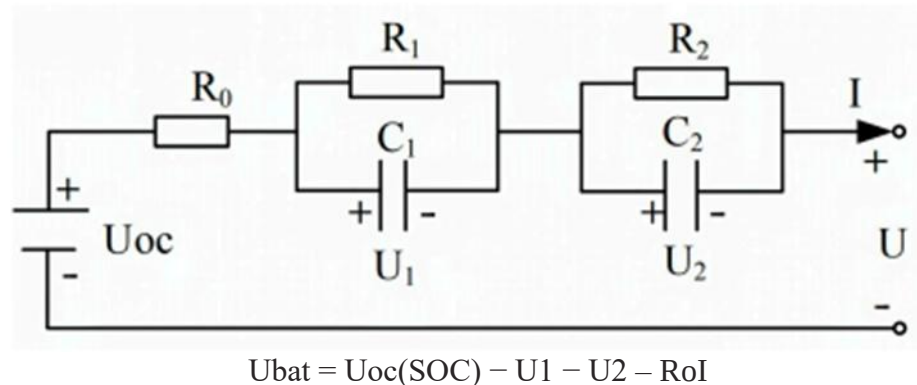


Figura 4. Rendi i dytë, Thevenin EECM [20]

U tregon tensionin që është matur, dhe U1 dhe U2 tregojnë përkatësisht tensionet në çiftet R2-C2 dhe R1-C1. Bateria OCV është UOC. Rezistenca e brendshme, ose R0, mat në thelb rënien e

tensionit që ndodh në çast kur një ngarkesë lidhet me sistemin e baterisë. Përgjigja jolineare e polarizimit të baterisë përfaqësohet nga rrjetet paralele RC. Kapacitetet e polarizimit janë C1 dhe C2, dhe rezistencat e polarizimit janë R1 dhe R2. Kapaciteti i ngarkimit të baterisë, i shprehur në Amper-sekonda, është Parametri Q [20].

Komponenti më i vogël i sistemit të baterisë që fuqizon automjetin elektrik është qeliza e baterisë. Performanca totale e një automjeti elektrik mund të ndikohet shumë nga vetitë e një baterie. Prandaj, faza e parë në ndërtimin e paketës së baterisë është zgjedhja e një lloji të përshtatshëm të baterisë. Përveç gamës së larmishme të kimisë së qelizave, ekziston një grup po aq i madh morfologjish qelizore. Qelizat e baterive litium-jon shpesh kanë format e mëposhtme: qese, cilindrike dhe prizmatike [20].

Modulët e baterisë janë akumulime të qelizave të lidhura paralelisht ose në seri. Një tension total më i madh i baterisë fitohet kur qelizat lidhen në seri, ndërsa një kapacitet më i lartë i tërë baterisë fitohet kur qelizat lidhen paralelisht. Qëllimet e përgjithshme të projektimit të sistemit të baterisë plotësohen më pas duke lidhur shumë module baterish në seri dhe paralele. Duke përfshirë sensorë, kontrollues dhe Sistemin e Menaxhimit të Baterisë, modulet mbahen në një kornizë që mbron qelizat nga nxehtësia dhe goditjet nga bota e jashtme. Konfigurimi përfundimtar i sistemit të baterisë brenda automjetit elektrik quhet paketa e baterisë [20].

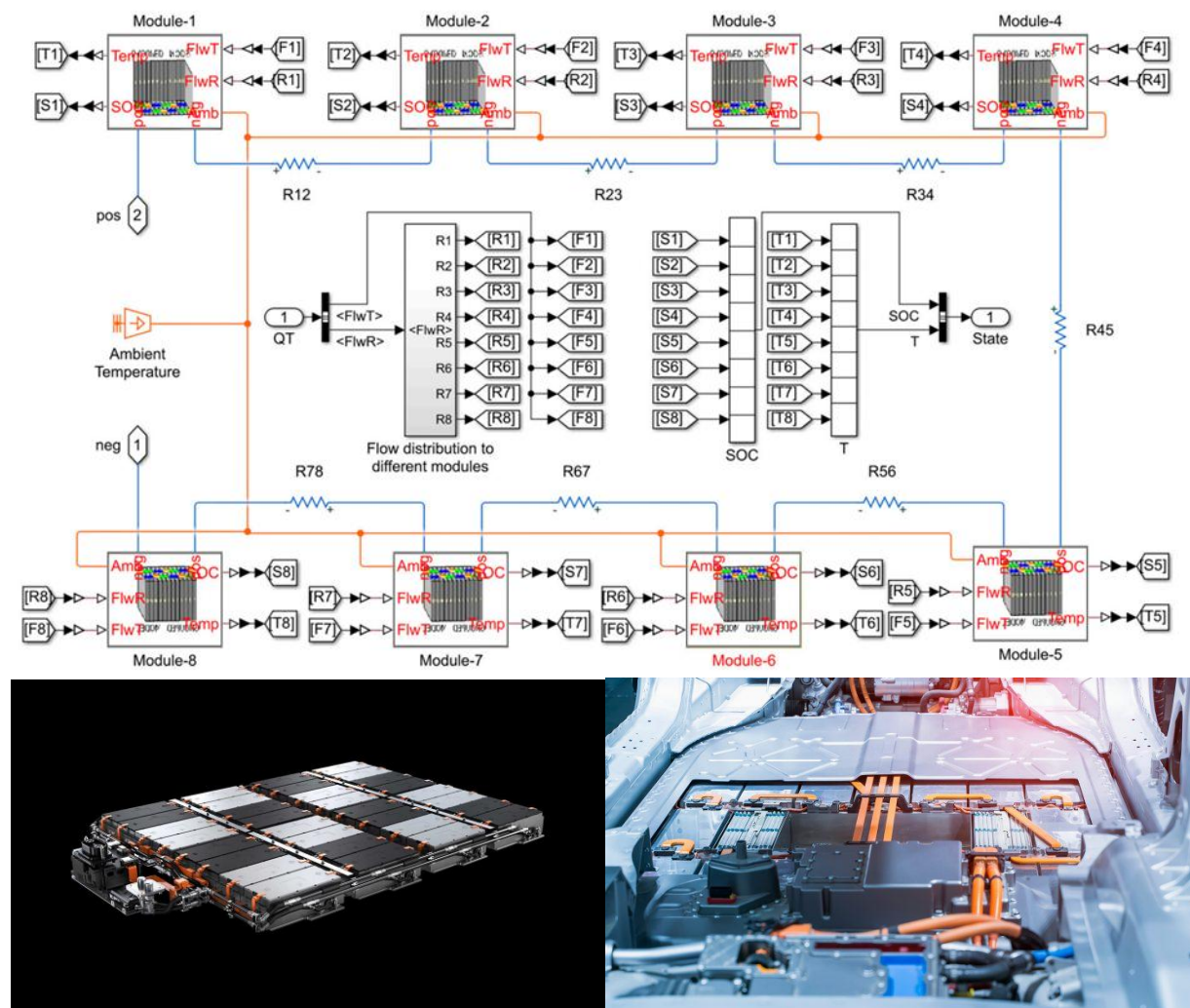


Figure 5. A. Paketa e baterise [20]; B.C Forma përfundimtare e paketës së baterisë [26]; [27]

Terminali pozitiv i çdo baterie është i lidhur me terminalin negativ të baterisë pasuese në një lidhje seri. Tensionet e baterisë të shtuara nga ky konfigurim do të rrisin tensionin e sistemit. Megjithatë, kapaciteti i baterisë nuk ndryshon. Të gjitha terminalet negative dhe pozitive të baterisë duhet të lidhen për të krijuar një strukturë paralele. Kapacitetet e qelizave do të rriten nëse ato lidhen paralelisht, duke zgjatur kohën e përdorimit të EV-ve, por voltazhi mbetet i njëjtë [20].

Një komponent thelbësor i sistemit të baterisë EV është qeliza e baterisë. Karakteristikat e saj ndikojnë në performancën e një EV. Hapi i parë është zgjidhja e llojit të duhur të baterisë. Tensioni dhe kapaciteti i një baterie të vetme janë relativisht të ulëta, duke e bërë të pamundur fuqizimin e një makine elektrike. Për të përmbushur kërkesat e përgjithshme të kapacitetit dhe tensionit të EV, duhet të ndërtohet një sistem baterie duke përdorur qeliza të shumta. Qeliza e baterisë, moduli dhe paketa e baterisë janë pjesët e para të sistemit të baterisë EV. Siç shihet në Figurën 5A, paketa e baterisë e sugjeruar përbëhet nga tetë module të lidhura në seri [20].

Nëpërmjet përdorimit të shufrave që janë modeluar si rezistorë të grumbulluar (R12, R23, R34, R45, R56 dhe R78), modulet e ndryshme në paketën e baterive lidhen. Janë 144 qeliza baterie të përdorura, gjë që redukton kompleksitetin. Tetëmbëdhjetë qeliza, tre qeliza paralele për seri prej gjashtë vargjesh, përbëjnë secilin modul. Qelizat janë të rregulluara në një konfigurim 3p6s. Tensioni dhe kapaciteti i përgjithshëm i paketës janë rreth 172.8 V dhe 9 Ah, me çdo unazë të vlerësuar në 3.6 V dhe 3 Ah/celulë [20].

1.4 Teknologji e re e baterive për automjetet elektrike. Materialet e mbylljes së baterive.

Në tregun e sotëm, sistemet e baterive litium-jon, të cilat funizojnë gjithçka, nga automjetet elektrike (EV-të) deri tek pajisjet elektronike portative, po bëhen gjithnjë e më të nevojshme për sigurinë dhe efikasitetin. Zakonisht, i gjithë bazamenti i një automjeti elektrik mundësohet nga bateritë e tij. Mbulesa e mbylljes së makinës është thelbësore pasi ajo duhet ta mbajë baterinë të sigurt nga moti dhe përplasjet, ndërkohë që siguron çdo kërcënim për pasagjerët dhe vetë makinën.

Për më tepër, prodhuesit po përdorin gjithnjë e më shumë plastikë dhe përbërës në vend të materialeve më të rënda për mbylljet e baterive pasi industria e makinave kërkon të zvogëlojë peshën e disa komponentëve. Për ta bërë këtë, mbyllja duhet të jetë jashtëzakonisht e fortë, rezistente ndaj nxehtësisë dhe presionit dhe e lehtë. Prandaj, zgjedhja e materialit të duhur të mbylljes përpara ndërtimit të një prototipi të kushtueshëm është thelbësor për reduktimin e rreziqeve të sigurisë dhe problemeve të tjera të shtrenjta.

Prodhuesit më të mirë të automjeteve dhe furnitorët e tyre zgjedhin materialet më të mira të mbylljes së baterive EV duke përdorur testin e kontrollit të materialit të mbylljes së baterisë (BEMS). Ato ofrojnë testin Torch and Grit (TaG) dhe vlerësimin e Baterisë Enclosure Termal Runaway (BETR), të cilat të dyja mbulohen nën Metodën e Testimit për Performancën Termike dhe Mekanike të Materialeve të Mbështjellësit të Baterisë [28].

Një nga kompanitë e regjistruara në këtë vizion është “UL Solutions”. Për të maksimizuar kohën tuaj në treg, kompania ofron shërbime që ju ndihmojnë në shumë pika në zhvillimin e produktit dhe zinxhirin e furnizimit të automobilave, nga planifikimi dhe projektimi deri te përzgjedhja e materialit dhe procedura e miratimit të komponentit përfundimtar të prodhimit (PPAP) [28].

Teknologjia e baterive litium-jon është akumuluesi i preferuar i energjisë për pajisjet elektronike të dorës, si dhe pajisjet pa tela. Për më tepër, ato janë motori që funizon sektorin e automobilave elektrike (EV). Bateritë e forta litium-jon përdoren në shumicën e EV-ve, megjithatë, ka

probleme sigurie me këto bateri, kështu që mbyllja e baterisë brenda makinës është thelbësore. Mbyllja duhet të marrë parasysh kërcënimet që bateria mund t'i sjellë makinës dhe pasagjerëve të saj, përveçse ta mbrojë atë nga mjedisi dhe aksidentet. Zgjedhja e materialit më të mirë të mbylljes së baterive EV është thelbësore për prodhuesit e pajisjeve origjinale të makinave (OEM) dhe furnitorët e tyre për të reduktuar rreziqet e mundshme, ku kryesorja është ikja termike [29].

Një nga rreziqet kryesore që lidhen me bateritë litium-jon është largimi termik, i cili ndodh kur një qelizë përjeton një gjendje të pakontrolluar, vetë-nxehëse. Një humbje termike ndodh kur rreziqet përfshijnë nxehtësinë intensive, flakët, tymin dhe ajrimin e qelizave shpërthyesë, të cilat lëshojnë gaz, copëza ose grimca të tjera [29].

Mbyllja e baterisë së një makine elektrike duhet të jetë në gjendje të mbrojë makinën dhe pasagjerët e saj nga këto rreziqe të mundshme. Që kjo të funksionojë, mbyllja duhet të jetë tepër e fuqishme, elastike ndaj presionit dhe nxehtësisë, dhe relativisht e lehtë në peshë [29].

Një kompani tjetër e quajtur Costellium zhvilloi disa kriteret e projektimit të mbylljes së baterive në lidhje me Sigurinë, përplasjen, rezistencën ndaj goditjes dhe zjarrit, menaxhimin termik, vulosjen, mbrojtjen dhe qëndrueshmërinë, dhe integrimin e automjeteve, optimizimin e hapësirës dhe peshës [30].

Pjesët kryesore të aluminit janë:

- Mbulesa e sipërme mbrojtëse e cila mbyll mbylljen dhe mbron ndarjen e pasagjerëve nga nxehtësia/zjarri dhe një fletë alumini e stampuar me formueshmëri të lartë.

- Korniza strukturore dhe elementët kryq mbrojnë qelizat nga ndërhyrja në përplasje. Më së shpeshti është në profilet e ekstruduara dhe kërkon lidhje me rezistencë shumë të lartë të kombinuara me duktilitet të lartë.

- Pllakë ftohëse / sistem menaxhimi termik i cili siguron temperaturë të qëndrueshme funksionimi për qelizat. Mund të jetë ose një fletë e ngjitur ose profile të ekstruduara dhe gjithashtu mund të integrohet në kapakun e poshtëm.

- Pllaka e poshtme / mbulesa mbrojtëse e poshtme e cila mbron qelizat nga ndikimi i shasisë, mbeturinat e rrugës, etj. Metoda e saldimit dhe zgjidhjes së fletës së duhur janë të dyja të përdorura. Fleta mund të jetë e sheshtë ose e stampuar për të vepruar gjithashtu si tabaka dhe kërkon lidhje me forcë të lartë / duktilitet të lartë [31].

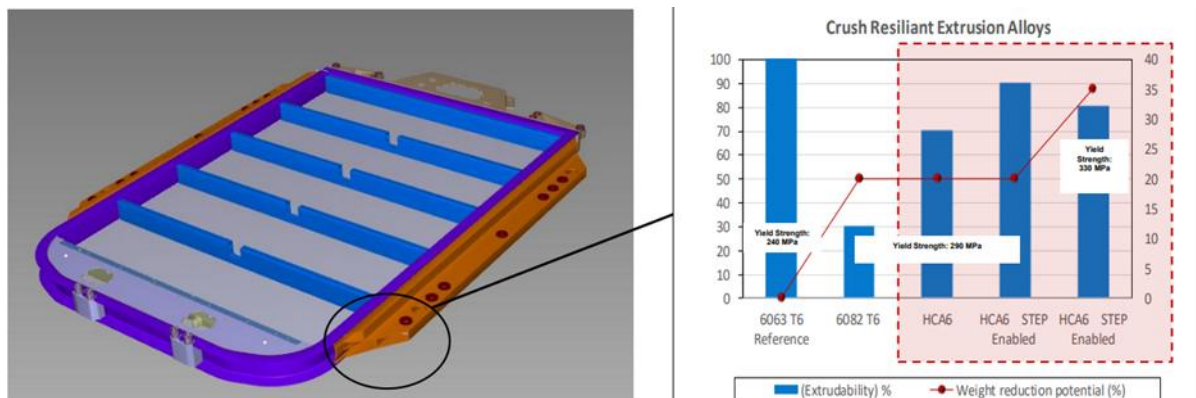


Figura 6. A. Shembull i mbylljes së baterisë; B. Aliazh dhe dizajn i avancuar i nxjerrjes për të ofruar zgjidhje me peshë të lehtë me kosto efektive [31].

Në përgjithësi, mbylljet e baterive prej alumini dhe komponentët e tjerë të platformës ofrojnë një reduktim të peshës prej 40% në krahasim me një dizajn të krahasueshëm prej çeliku. Performanca e përgjithshme e përmirësuar, duke përfshirë diapazonin, përsheptimin, ngarkesën, konsumin e energjisë dhe/ose reduktimin e kostove në performancë nga bateria, motori dhe tkurrja strukturore. Alumini mund të riciklohet pafundësisht pa humbur asnjë nga cilësitë e tij. 96% e përmbajtjes së aluminit të një automobili riciklohet në fund të jetës së tij. Në Amerikën e Veriut, alumini i përdorur në automobila përbëhet nga metali kryesor dhe i ricikluar që prodhohet kryesisht duke përdorur energjinë hidroelektrike, një burim i qëndrueshëm. Riciklimi i aluminit përdor vetëm 5% të energjisë së nevojshme për prodhimin fillestar [31].

Referenca:

- [1] Frost, D.F., Howey, D.A.: Completely decentralized active balancing battery management system. *IEEE Trans. Power Electron.* 33(1), 729–738 (2018)
- [2] Habib, A.A., et al.: A single LC tank based active voltage balancing circuit for battery management system. *IIUM Eng. J.* 19(1), 158–167 (2018)
- [3] Kittner, N., et al.: Electric vehicles. In: M. Junginger, A. Louwen (eds.) *Technological Learning in the Transition to a Low-Carbon Energy System*, pp. 145–163. Academic Press, Cambridge (2020)
- [4] Electric Vehicle Outlook 2020, Bloomberg NEF. Retrieved 30 November 2020 from <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- [5] A. K. M. Ahasan Habib, Mohammad Kamrul Hasan, Md Mahmud, S. M. A. Motakabber, Muhammad I. Ibrahimya, Shayla Islam, A review: Energy storage system and balancing circuits for electric vehicle application. Published by John Wiley & Sons Ltd on behalf of The Institution of Engineering and Technology, (2020) Doi: 10.1049/pel2.12013
- [6] Yildirim, B., et al.: Evaluation and comparison of battery cell balancing methods. In: 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe), 2019, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2019.8905588>
- [7] März, M., et al.: Power electronics system integration for electric and hybrid vehicles. In 2010 6th International Conference on Integrated Power Electronics Systems, pp. 1–10. IEEE, 2010.
- [8] Tie, S.F., Tan, C.W.: A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 20, 82–102 (2013)
- [9] Lukic, S.M., et al.: Energy storage systems for automotive applications. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 55(6), 2258–2267 (2008)
- [10] Lu, L., et al.: A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *J. Power Sources* 226, 272–288 (2013)
- [11] Kouchachvili, L., et al.: Hybrid battery/supercapacitor energy storage system for the electric vehicles. *J. Power Sources* 374, 237–248 (2018)
- [12] Min, H., Changlu, L., Yu, Y., Zhu, T., & Zhang, C. Comparison Study of Two Semi-Active Hybrid Energy Storage Systems for Hybrid Electric Vehicle Applications and Their Experimental Validation. *Energies*, 10, 1-20 (2017). <https://doi.org/10.3390/EN10030279>.
- [13] Hu, J., Liu, D., Du, C., Yan, F., & Lv, C. Intelligent energy management strategy of hybrid energy storage system for electric vehicle based on driving pattern recognition. *Energy*, 198, 117298 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117298>.

- [14] Liu, J., Cao, S., Chen, X., Yang, H., & Peng, J. Energy planning of renewable applications in high-rise residential buildings integrating battery and hydrogen vehicle storage. *Applied Energy*, 281, 11603 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116038>.
- [15] El-Batawy, S., & Morsi, W. Optimal Design of Community Battery Energy Storage Systems With Prosumers Owning Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14, 1920-1931 (2018). <https://doi.org/10.1109/TII.2017.2752464>.
- [16] Li, X., Liang, J., Hou, Z., Zhang, W., Wang, Y., Zhu, Y., & Qian, Y. The design of a high-energy Li-ion battery using germanium-based anode and LiCoO₂ cathode. *Journal of Power Sources*, 293, 868-875 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.06.031>.
- [17] Heena Mishra, Abhishek Kumar Tripathi, Ayush Kumar Sharma & G. Sree Laxshmi. Evaluating Energy Storage Technologies for Electric Vehicles: A Comparative Analysis and Battery Management System Overview. *E3S Web of Conferences* 472, 01020 (2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447201020> ICREGCSD 2023
- [18] Chae, C., Noh, H., Lee, J., Scrosati, B., & Sun, Y. A High-Energy Li-Ion Battery Using a Silicon-Based Anode and a Nano-Structured Layered Composite Cathode. *Advanced Functional Materials*, 24 (2014). <https://doi.org/10.1002/adfm.201303766>.
- [19] Wali, S., Hannan, M., Reza, M., Ker, P., Begum, R., Rahman, M., & Mansor, M. Battery storage systems integrated renewable energy sources: A bibliometric analysis towards future directions. *Journal of energy storage*, 35, 102296 (2021). <https://doi.org/10.1016/J.EST.2021.102296>.
- [20] Mawuntu NN, Mu B-Q, Doukhi O, Lee D-J. Modeling of the Battery Pack and Battery Management System towards an Integrated Electric Vehicle Application. *Energies*. 2023; 16(20):7165. <https://doi.org/10.3390/en16207165>
- [21] <https://chargedevs.com/apr-2022-session/advantages-of-modularity-when-testing-a-battery-management-system/>
- [22] <https://www.assemblymag.com/articles/96086-ti-unveils-wireless-battery-management-system>
- [23] Chaoui, H.; Gualous, H. Online parameter and state estimation of lithium-ion batteries under temperature effects. *Electr. Power Syst. Res.* 2017, 145, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.12.029>
- [24] Aris, A.; Shabani, B. An experimental study of a lithium-ion cell operation at low temperature conditions. *Energy Procedia* 2017, 110, 128–135, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.117>
- [25] Seaman, A.; Dao, T.S.; McPhee, J. A survey of the mathematics-based equivalent circuit and electrochemical battery models for hybrid and electric vehicle simulation. *Power Sources* 2014, 256, 410–423. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.01.057>
- [26] <https://www.myev.com/research/ev-101/electric-vehicle-battery-basics>
- [27] <https://www.innovationnewsnetwork.com/electric-car-battery-life-extended-by-a-revolutionary-polymer-coating/30801/>
- [28] https://www.ul.com/services/battery-enclosure-material-screening-bems-services?utm_mktocampaign=engmaterials_autotic&utm_mktoadid=655788854566&campaignid=14262464768&adgroupid=148319330796&matchtype=b&device=c&creative=655788854566&keyword=ev%20battery%20technology&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAn-2tBhDVARIsAGmStVk6O53ohSGPr6zKW_Smfon0EgABVCJneqkbilJqefl7tM1DPiIen2caAqs_eEALw_wcB

- [29] Battery Enclosure Material Screening (BEMS) offerings. UL- Solutions, https://collateral-library-production.s3.amazonaws.com/uploads/asset_file/attachment/44817/BEMS_Sell_Sheet_Final.pdf
- [30] Andreas Afseth, Aluminum Battery Enclosure Design, CONSTELLIUM; <https://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2021/02/Aluminum-Battery-Enclosures-Constellium-February-2021-FINAL.pdf>
- [31] Azad, F.S., et al.: Active cell balancing of Li-ion batteries using single capacitor & single LC series resonant circuit. Bull. Electr. Eng. Inf. 9, 4 (2020)



Funded by
the European Union

Osman Lindov
Adnan Omerhodžić
Ajdin Džananović
University of Sarajevo- Faculty of Traffic and communications

Deliverable 3.5

Visokoškolske ustanove u Bosni i Hercegovini će kreirati nastavni materijal u skladu s EM katalogom kurseva. Nastavni materijal, odnosno priručnik za studente, će biti pripremljen u elektronskom i papirnom obliku te pregledan od strane partnera iz Europske unije (do 100 stranica, B5).

Studentski priručnik za električnu mobilnost

Poglavlje II. Sigurnost električnih vozila
UNSA BIH

2. POGLAVLJE 2: SIGURNOST ELEKTRIČNIH VOZILA

Ozbiljno ograničenje široke primjene električnih vozila je ograničena sposobnost pohrane električne energije u trenutne generacije baterija i kondenzatora. Nadalje, postoji snažan trend dizajniranja znatno lakših vozila koja trebaju trošiti znatno manje energije, te uvođenja novih arhitektura vozila zbog zahtjeva električnih vozila (motori u čvorištu, relativno veliki prostor potreban za baterije itd.). Bez novih sigurnosnih tehnologija postoji veliki rizik da novi dizajni vozila postanu manje sigurni u pogledu električne i požarne sigurnosti (visokonaponski i potencijalno eksplozivni sistemi za pohranu energije) i sigurnosti u slučaju nezgoda. S druge strane, nove komponente u električnim vozilima mogle bi se otvoriti za bolja sigurnija rješenja nego danas, ako se sigurnost uzme u obzir u zahtjevima već u početnoj (konceptnoj) fazi procesa dizajna vozila.

Aktivna sigurnost [1] (prevencija nezgoda) imati će puno veću ulogu u budućnosti, ali biti će nužan i daljnji napredak u pasivnoj sigurnosti (prevencija ozljeda) ako se želi postići cilj znatno sigurnijeg saobraćaja. Konvencionalne granice između pasivne i aktivne sigurnosti brzo nestaju što dovodi do novog i sveobuhvatnijeg pristupa sigurnosti.

Također, je važno razmotriti kako se postojeća funkcionalnost sistema koji ostvaruju dinamičnost vozila (npr. ABS, TCS, ESC) može migrirati na siguran način i poboljšati za električna vozila. Što se tiče pasivne sigurnosti, mnoge nove i poboljšane mogućnosti zaštite postat će dostupne zahvaljujući poboljšanim senzorima prije sudara. Potrebno je uzeti u obzir učinak dodane mase baterije (zbog predaje veće kinetičke energije) na opterećenje putnika u automobilu pri frontalnim i bočnim udarima. Kompatibilnost između vozila za različite uslove sudara (sprijeda, bočno, straga) i za udare između vozila različitih veličina (kamion, SUV, mali automobil) vrlo je važna i mora se poboljšati.

2.1 . Osnovni elementi sigurnosti kod električnih vozila

Kao i kod konvencionalnih vozila, tako i kod električnih vozila neophodno je obratiti naročitu pažnju na sigurnosni aspekt. Mnogo je problema u ovoj oblasti, za sve vidove prevoza i za sve tipove pogona, ali pri analiziranju sigurnosti električnih vozila potrebno je dotaći se sljedećih sigurnosnih elemenata:

- **Sigurnost baterije:** Baterije su srce električnih vozila, a sigurnost baterija je od suštinske važnosti [3]. Postoje protokoli zaštite od prenapona, pregrijavanja i drugih problema koji mogu utjecati na sigurnost baterija;
- **Prevenција požara:** Iako je rijedak, požar u baterijama električnih vozila može biti ozbiljan. Različite mjere prevencije, poput automatskih sistema za gašenje požara i specifičnih konstrukcijskih elemenata, primjenjuju se kako bi se smanjila vjerovatnost požara i osigurala sigurnost;
- **Električni sistemi:** Električni sistemi, uključujući sisteme za upravljanje električnim motorima i kontrolu vožnje, moraju biti sigurni i pouzdani. To uključuje zaštitu od preopterećenja, kratkog spoja i drugih električnih problema;
- **Standardi za električna vozila:** Postoje međunarodni standardi i propisi koji reguliraju sigurnost električnih vozila. Ovi standardi uključuju testiranje vozila, baterija i drugih ključnih komponenti kako bi se osigurala usklađenost sa sigurnosnim normama;
- **Električna infrastruktura:** Sigurnost punionica i drugih dijelova električne infrastrukture također je važna. Oprema za punjenje mora biti sigurna za upotrebu, a punionice su opremljene raznim zaštitama kako bi se spriječili problemi poput preopterećenja i kratkih spojeva;
- **Obuka korisnika:** Korisnici električnih vozila trebaju biti educirani o pravilnom rukovanju vozilom, punjenju baterija i postupcima u slučaju nužde kako bi se minimizirali rizici i
- **Zaštita pješaka:** Električna vozila, posebno ona opremljena tihim električnim motorima, trebaju imati odgovarajuće sisteme upozorenja kako bi zaštitila pješake od nezgoda.

2.2 . Međunarodni standardi i regulativa za električna vozila

Standardi za sigurnost električnih vozila obuhvaćaju niz specifikacija i smjernica kako bi se osiguralo da električna vozila budu sigurna za upotrebu, kako za vozače i putnike, tako i za druge učesnike u saobraćaju. Standardi igraju ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti i performansi električnih vozila. Izuzetno je bitno pratiti ažuriranja standarda i normi i prilagođavati nacionalnu regulativu prema tome. Cjelokupna svjetska industrija u oblasti električnih vozila je zasnovana na standardima i drugoj regulativi koja određuje ovu oblast.

Ova činjenica nameće neophodnost poznavanja cjelokupne regulative, kako bi se uspjeli postići potpuni rezultati primjene električnih vozila u široj upotrebi. *Tabela 1* prikazuje bitne dokumente iz oblasti sigurnosti električnih vozila.

Tabela 1. Prikaz najznačajnijih dokumenata iz oblasti sigurnosti električnih vozila

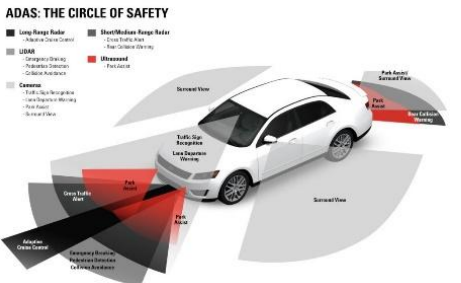
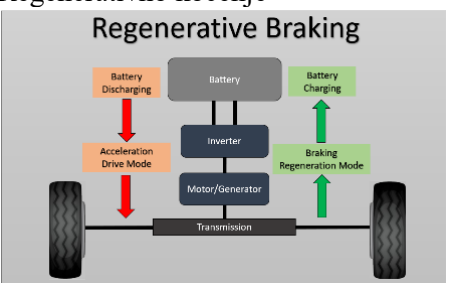
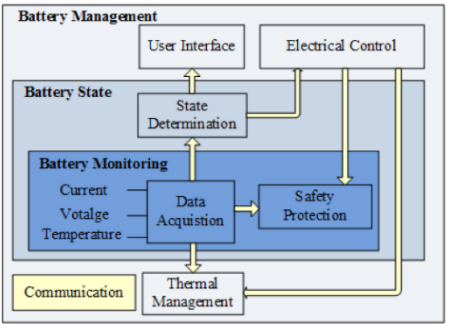
NAZIV STANDARDA	KRATKI OPIS
ISO 26262 - Funkcionalna sigurnost za vozila	Ovaj međunarodni standard definiše zahtjeve i smjernice za funkcijsku sigurnost u električnim i elektronskim sistemima u vozilima. Cilj mu je identifikacija, analiza i kontrola rizika vezanih za električne sisteme
ISO 6469 - Sigurnost električnih vozila	Ovaj standard postavlja zahtjeve za sigurnost električnih vozila tokom svih faza njihovog životnog ciklusa, uključujući proizvodnju, upotrebu i recikliranje
ISO 21498 - Analiza opasnosti i procjena rizika za vozila	Ovaj standard usmjeren je na identifikaciju potencijalnih opasnosti i procjenu rizika u vezi sa vozilima, uključujući i električna vozila
ISO 15118 - Komunikacija između vozila i infrastrukture za punjenje	Ovaj standard definiše protokole komunikacije između električnih vozila i infrastrukture za punjenje kako bi se osigurala sigurna i efikasna komunikacija
UN-ECE R100 - Električna energija za vozila	Ovaj niz regulativa reguliše aspekte električne energije za vozila, uključujući zahtjeve za sigurnost i performanse
IEC 62196 - Punjenje električnih vozila	Ovaj standard definiše utikače, utičnice, konektore i kablove za punjenje električnih vozila. On se odnosi na sigurnost i performanse sistema za punjenje
SAE J1772 - Električni konektor za vozila	Ovaj standard definiše karakteristike električnih konektora i punjenja za električna vozila, uključujući sigurnost
UL 2580 - Standard za sigurnost električnih vozila	Ovaj standard, razvijen od strane američkog Udruženja za laboratorije (UL), definiše zahtjeve za sigurnost električnih vozila, uključujući baterije, električne sisteme i druge komponente

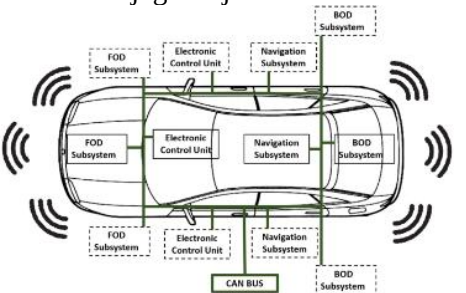
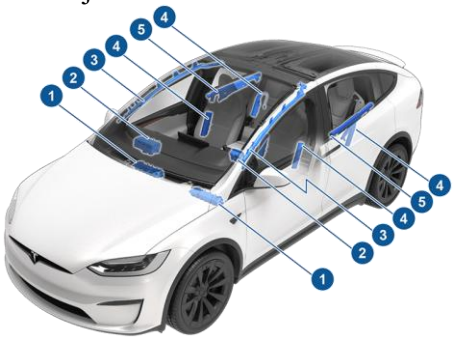
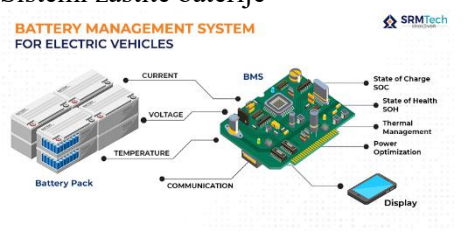
2.3. Sigurnosni sistemi koji se primjenjuju kod električnih vozila

Električni automobili su također podvrgnuti istim testovima sudara kao i automobili na benzinski pogon. Nacionalna uprava za sigurnost saobraćaja na autocestama (NHTSA) je utvrdila da električni automobili pružaju bolje rezultate u ukupnim testovima sudara od automobila na benzinski pogon. Zapravo, NHTSA je ocijenila Tesla Model S kao vozilo s najmanjom vjerojatnošću povreda u sudaru u usporedbi sa svim ostalim vozilima koja su testirana u istoj kategoriji. Ova činjenica je rezultat primjene velikog broja razvijenih sigurnosnih sistema u električnim vozilima. *Tabela 2* prikazuje

najčešće sigurnosne sisteme koji se primjenjuju kod električnih vozila. Bitno je napomenuti da postoje i mnogi drugi sigurnosni sistemi, ali ovdje su izdvojeni određeni koji imaju izuzetan uticaj na sigurnost saobraćaja.

Tabela 2. Najčešći sigurnosni sistemi koji se primjenjuju kod električnih vozila

NAZIV SISTEMA	OPIS SISTEMA
Sistemi napredne pomoći vozaču 	Sistemi napredne pomoći vozaču (ADAS) postaju sve uobičajeniji u električnim vozilima, pružajući vozačima dodatne sigurnosne karakteristike i poboljšano iskustvo vožnje. ADAS tehnologija uključuje karakteristike poput adaptivne kontrole brzine, upozorenja na napuštanje trake i automatskog kočenja u nuždi, što pomaže u sprječavanju nezgoda i smanjenju rizika od ozljeda
Regenerativno kočenje 	Regenerativno kočenje je jedinstveno rješenje u električnim vozilima koje koristi električni motor za usporavanje vozila i usmjeravanje napona natrag u bateriju automobila. To smanjuje potrebu za mehaničkim kočenjem i poboljšava sigurnost smanjenjem trošenja kočnica, pružajući bolju kontrolu i stabilnost tokom naglih zaustavljanja ili hitnog kočenja. Regenerativno kočenje također pomaže poboljšanju energetske učinkovitosti i produženju dometa vozila
Sistem upravljanja baterijom 	Sistemi upravljanja baterijom električnih vozila (BMS) dizajnirani su za praćenje i upravljanje performansama baterije, osiguravajući da radi sigurno i učinkovito. BMS tehnologija uključuje senzore koji prate stanje napunjenosti, temperaturu i napon baterije, te vrše prilagodbe radi optimizacije performansi. Također pomažu u sprječavanju prekomjernog punjenja, pregrijavanja i drugih problema koji mogu utjecati na performanse baterije i predstavljati rizike za sigurnost [9]
Praćenje mrtvog ugla	S poboljšanom vidljivošću, sistem za praćenje mrtvog ugla upozorava vozača kada je vozilo u njihovom "slijepom uglu" kako bi se spriječile kolizije prilikom promjene traka na autocestama, ali također podržava vožnju u svim drugim okruženjima

NAZIV SISTEMA	OPIS SISTEMA
	
Sistemi izbjegavanja sudara 	Iako sličan funkciji detekcije mrtvog ugla, sistem izbjegavanja sudara (CAS) prati brzinu okolnih vozila i vlastitu brzinu kako bi pružio obavijesti ili upozorenja vozaču prije nego što intervenira kako bi smanjio brzinu ili ozbiljnost incidenta
Kamera za vožnju unatrag 	Kamera za vožnju unatrag uvedena je u moderna vozila umjesto retrovizora kako bi se poboljšala vidljivost pješaka i vozila iza. Kod električnih automobila, OEM-i su poboljšali funkcionalnost uključivanjem panoramskog pregleda od 360 stepeni, što se također koristi za mogućnosti autonomne vožnje
Zračni jastuci 	Iako zračni jastuk izgleda kao vrlo jednostavno rješenje sigurnosti, različiti dizajni električnih vozila omogućavaju proizvođačima da ih premještaju na najprikladnija mjesta. Neki električni automobili opremljeni su zračnim jastucima u podu, poput Volvo XC40 Recharge, što je ključno za zaštitu vozača i putnika u slučaju bočnog sudara
Sistemi zaštite baterije BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES 	Baterijski sistem je ključni dio električnih vozila, pa se primjenjuju različite mjere zaštite. To uključuje sisteme za ravnomjerno punjenje i pražnjenje ćelija baterije, upravljanje temperaturom baterije radi sprječavanja pregrijavanja, kao i sisteme zaštite od preopterećenja ili kratkog spoja [6-7]

Problem sudara sa pješacima kod električnih vozila je izraženiji u odnosu na konvencionalna vozila s obzirom na jako tih rad motora. Iz tog razloga sistemi upozorenja kod električnih vozila dizajnirani su kako bi povećali sigurnost pješaka i ostalih sudionika u saobraćaju. Za potrebe povećanja sigurnosti kod električnih vozila, a uzimajući u obzir osnovne performanse električnih vozila, poželjno je da vozila budu opremljena sa sljedećim dodatnim funkcijama:

- **Upozorenje o približavanju vozila:** Senzori i kamere na električnim vozilima mogu otkriti prisutnost pješaka u blizini vozila. Kada sistem prepozna pješaka, može generirati zvučno ili vizualno upozorenje kako bi obavijestio vozača;
- **Zvukovi upozorenja na niskim brzinama:** Električna vozila, posebno ona s tihim električnim motorima, često su opremljena zvučnim signalima koji se aktiviraju pri niskim brzinama kako bi pješaci čuli dolazak vozila;
- **Sistem prepoznavanja pješaka:** Napredni sistemi prepoznavanja pješaka koriste se za identifikaciju pješaka u blizini vozila. Ako postoji opasnost od sudara, sistem može automatski generirati upozorenja ili pokrenuti kočenje kako bi izbjegao sudar;
- **Upozorenje o kretanju unatrag:** Sistemi upozorenja kretanja unatrag mogu obavijestiti vozača kada se vozilo kreće unatrag a pješaci su u blizini;
- **Upozorenje o unakrsnim prolascima:** Kada električno vozilo nailazi na pješački prijelaz ili područje gdje se očekuju pješački tokovi, sistemi upozorenja mogu aktivirati signale kako bi povećali opreznost vozača i
- **Upozorenje o mrtvom uglu:** Sistemi pomažu vozačima da primijete pješake koji se nalaze izvan njihovog vidnog polja, posebno tokom manevra skretanja, preplitanja ili parkiranja.

2.4. Osobine električnih vozila važne za sigurnost

Električna vozila su bez fosilnih goriva - električna vozila pokreće električni motor koji radi na električnu energiju pohranjenu u baterijskom paketu, što se razlikuje od tradicionalnih automobila koji se oslanjaju na motor s unutarnjim sagorjevanjem koji radi na benzin ili dizelsko gorivo. Ova razlika ima nekoliko sigurnosnih prednosti. Prvo, električna vozila ne proizvode ispušne plinove, što znači da ne emitiraju štetne zagađivače u zrak. Drugo, električna vozila nemaju sistem goriva, što znači da ne predstavljaju rizik od požara kao tradicionalni automobili. Treće, električna su vozila tiša od tradicionalnih automobila, što može poboljšati sigurnost smanjenjem zagađenja bukom i olakšavanjem

vozačima da čuju druge zvukove na cesti, poput sirena za hitne slučajeve ili pješaka.

Niže težište vozila - Niži težište u električnim vozilima posljedica je smještaja baterije koja se obično nalazi na dnu automobila. To automobilu daje veću stabilnost i smanjuje rizik od prevrtanja. Niže težište takođe poboljšava upravljivost vozila [2].

Velika vrijednost obrtnog momenta pri kretanju - jedan je od ključnih prednosti električnih vozila, a odnosi se na sposobnost elektromotora da pruži maksimalan obrtni moment iz stanja mirovanja u većem rasponu broja obrtaja. To znači da električna vozila mogu ubrzati mnogo brže od tradicionalnih automobila, što može biti posebno korisno u opasnim situacijama u vožnji.

Regenerativno kočenje - tehnologija koja električnim vozilima omogućuje pohranjivanje energije koja se inače gubi tokom kočenja. Kada vozač pritisne kočnice, električni motor radi unatrag, pretvarajući kinetičku energiju automobila u električnu energiju koja se pohranjuje u bateriju. Regenerativno kočenje može spriječiti nezgode uzrokovane kvarom ili neispravnošću kočnice. Budući da se električni motor koristi za usporavanje automobila, on smanjuje habanje kočionog sistema, što može produžiti životni vijek kočnica i spriječiti njihovo pregrijavanje ili kvar.

Zapaljivost električnih vozila - električna vozila koriste litij-ionske baterije koje su zapaljive. Postoji mogućnost izgaranja ako se duže vrijeme izlaže pogrešnim uvjetima ili ako su energetske ćelije oštećene i dođe do kratkog spoja. Ali vjerovatnoća da se tako nešto desi je minimalna. Kako bi se povećala prevencija od požara, baterije su obavijene zaštitnim rashladnim slojem.

2.5 . Pojava požara kod električnih vozila

Jedna od kritičnih sigurnosnih stavki kod električnih vozila jeste mogućnost pojave požara zbog posjedovanja baterija za pohranu energije. Vezano za ovaj dio, potrebno je poznavati sljedeće karakteristike električnih vozila [8]:

- Važno je napomenuti da je vjerovatnost požara s električnim vozilima tokom normalne upotrebe vrlo niska. Moderni električni automobili prolaze kroz rigorozna ispitivanja i sigurnosne standarde kako bi se osigurala njihova sigurnost;

- Električna vozila često su opremljena sistemima koji automatski reagiraju na požar. To može uključivati sistem za gašenje požara i druge sigurnosne mjere kako bi se spriječilo širenje požara;
- Baterije koje se koriste u električnim vozilima često su litij-ionske baterije. Iako su ove baterije relativno sigurne, postoji rizik od požara ako dođe do kvara, pregrijavanja ili oštećenja baterije. Litij-ionske baterije su poznate po tome da mogu izgorjeti ako dođe do oštećenja stanične strukture, pregrijavanja ili preopterećenja. Kada izgore, mogu stvarati visoke temperature i otpuštati plinove i
- Proizvođači električnih vozila implementiraju niz sigurnosnih mjera kako bi spriječili probleme s baterijama. To uključuje sisteme za praćenje stanja baterije, upravljanje temperaturom i sisteme za otkrivanje propusta.

Iako su incidenti požara s električnim vozilima rijetki, nekoliko poznatih slučajeva iz prošlosti istraženo je zbog medijske pozornosti i uticaja na percepciju sigurnosti električnih vozila. Važno je napomenuti da su ovi incidenti izuzetci i da je sigurnost električnih vozila visoko prioritizirana. U nastavku je predstavljeno nekoliko primjera požara sa električnim vozilima:

- Nissan Leaf u Arizoni: 2012. godine, Nissan Leaf je bio predmet incidenta u Arizoni gdje je vozilo izgorjelo nakon što se zapalilo dok je bilo parkirano. Istraga je pokazala da je požar bio uzrokovan električnim komponentama, ali detalji nisu bili potpuno jasni;
- Tesla Model S u Kini: U aprilu 2019. godine, videozapisi su prikazali Tesla Model S kako gori na parkiralištu u Šangaju, Kina. Istraga je pokazala da je požar bio povezan sa oštećenjem baterijskih modula nakon sudara, što je dovelo do curenja tekućine i paljenja vozila;
- Chevrolet Bolt EV: Tokom 2020. godine, Chevrolet je povukao određeni broj Bolt EV vozila zbog rizika od požara povezanih s baterijama. Proizvođač je otkrio da postoji mogućnost curenja elektrolita i paljenja vozila;
- Električni autobusi u Kini: 2021. godine iz Kine su se pojavile snimke koje prikazuju trenutak kada se električni autobus zapalio, izazvavši požar koji se proširio na četiri druga autobusa koja su bila parkirana pored njega (*Slika 1*).
- Električni autobusi u Londonu: 2022. u Londonu je došlo do zapaljenja jednog električnog autobusa. Nakon toga požar se je jako brzo proširio na sve autobuse koji su bili parkirani do njega (*Slika 1*).

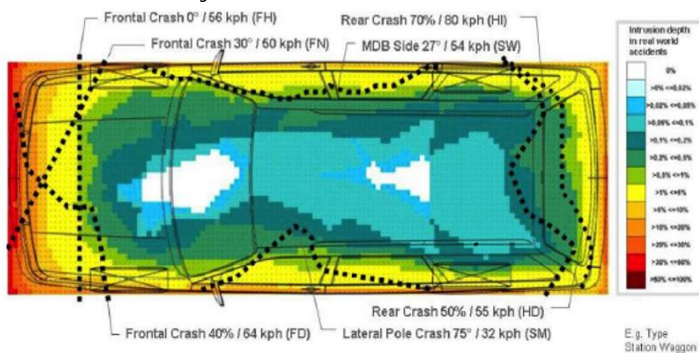


Slika 1. Električni autobusi u Kini i Londonu koji su bili izloženi požaru

2.6. Zone zaštite od sudara za visokonaponske komponente

Iznimno važno za sigurnosne performanse baterijskih električnih i hibridnih vozila u bilo kakvim nezgodama je dobro zaštićeno postavljanje svih komponenti važnih za sigurnost. To posebno vrijedi za visokonaponsku bateriju koja se ne smije oštetiti čak ni u vrlo teškim nezgodama koje rezultiraju bilo kakvim ključnim oštećenjima ćelija ili gubitkom zaštite od kontakta. Kako bi se definirale zaštitne zone za što bolju integraciju skladišta energije, provedena je posebna studija analizom oštećenja od cca. 9000 vozila koja su sudjelovala u teškim nezgodama, koristeći bazu podataka njemačke dubinske studije o nezgodama (GIDAS) [4-5].

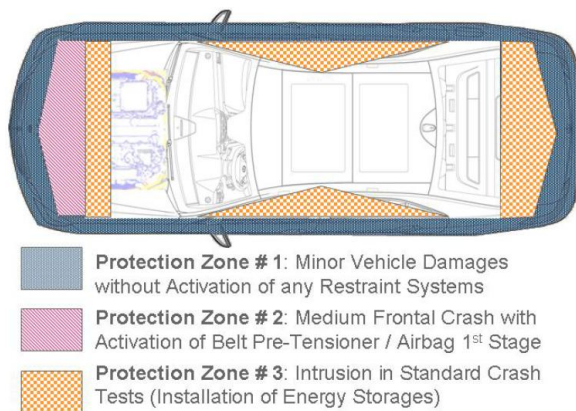
Za svako vozilo, deformacije u donjoj razini vozila (poda) ucrtane su u standardiziranu 2-D mrežu. Konsolidiranjem dobivene matrice deformacija s učestalošću i ozbiljnošću nezgoda, vjerovatnoća deformacije svake ćelije vozila u bilo kojoj vrsti sudara može se procijeniti u skladu sa tim. Slika 2 uspoređuje dobivenu matricu deformacija vozila u standardnim testovima sudara [10].



Slika 2. Deformacije konvencionalnih vozila u stvarnim nesrećama

Na temelju ove matrice vjerovatnoće deformacije, određene su tri deformacijske zone za sigurnu lokaciju visokonaponskih komponenti (Slika 3):

- **Zaštitna zona 1:** Vanjsko područje deformacije koje je već oštećeno u manjim sudarima bez ikakvog aktiviranja sigurnosnog sistema je zona zabrane za sve HV-komponente. Ako je (iz bilo kojeg razloga) mjesto visokonaponske komponente u ovom području bilo neizbježno, ona mora biti dobro zaštićena od bilo kakvih oštećenja u manjim ili ozbiljnim nezgodama, a visokonaponsko ožičenje mora biti dodatno premazano;
- **Zaštitna zona 2:** Područja deformacije u srednje jakim frontalnim sudarima karakterizirana aktiviranjem zatezača pojasa ili prvog stepena zračnog jastuka zahtijevaju poboljšanu zaštitu od kontakta prema klasi IPXXB sa ispitnim prstom prečnika 12 mm i
- **Zaštitna zona 3:** Preferirane zone za smještaj visokonaponskih sistema nisu oštećene u standardnim testovima sudara, a samo s vjerovatnoćom manjom od 2 % u stvarnim nezgodama. Treba izbjegavati područja deformirana u standardnim testovima sudara.



Slika 3. Visokonaponska sigurnosna zaštitna zona

Reference

- [1]O. Lindov, Road Safety, Faculty of traffic and communications University of Sarajevo, 2008.
- [2]Lutz, E, Leichtbau bei Elektrofahrzeugen, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, Germany, 11/2010.
- [3]Arnold, L., Justen Rainer,J. Daimler AG; Safety Aspects on Li-Ion Batteries for Future Mobility Concepts; 12. UECT 2010, Ulm, 17.6.2010.
- [4]Rainer,J .Rodolfo S.,Unfallsicherheit von Hybrid- und Elektrofahrzeugen, VDA-Technischer Kongress 2011, Ludwigsburg, 24.3.2011.
- [5]GIDAS Project, “German In-Depth Accident Study”, 2010.
- [6]Wisch, M., Thomson, R., Leost, Y., Boljen, M., Abert, M., “Crash Compatibility and Battery Safety”, EVERS SAFE Deliverable 3.1, 2014.

- [7]Justen, R., Schöneburg, R., “Crash Safety Of Hybrid- And Battery Electric Vehicles”, 22 ESV Conference, Paper No 11-0096, 2011
- [8]P. Van den Bossche, Safety considerations for electric vehicles, Citelec, Brussels Belgium
- [9]Q. Yu et al., “Evaluation of the safety standards system of power batteries for electric vehicles in China,” Applied Energy, p. 121674, Nov. 2023.
- [10] A. B. Navale, S. P. Chippa, D. A. Chougule & P. M. Raut (2021) Crashworthiness aspects of electric vehicle design, International Journal of Crashworthiness, 26:4, 368-387, DOI: [10.1080/13588265.2020.1718462](https://doi.org/10.1080/13588265.2020.1718462)



Funded by
the European Union

Deliverable 3.5

Visokoškolske ustanove u Bosni i Hercegovini će kreirati nastavni materijal u skladu s EM katalogom kurseva. Nastavni materijal, odnosno priručnik za studente, će biti pripremljen u elektronskom i papirnom obliku te pregledan od strane partnera iz Europske unije (do 100 stranica, B5).

Studentski priručnik za električnu mobilnost

Dzemat Bijedic University of Mostar, B&H
Author: Edin Šemić

Chapter III. POGONSKI I MEHATRONIČKI SISTEMI U ELEKTRIČNIM VOZILIMA

3. POGONSKI I MEHATRONIČKI SISTEMI U ELEKTRIČNOM VOZILU

Svjedoci smo značajnom porastu upotrebe i popularnosti električnih vozila, jednim dijelom zbog toga što su ekološki prihvatljivija od tradicionalnih vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem. Međutim, ključna stvar u popularnosti je konstantno usavršavanje ove tehnologije, što ih čini pouzdanijim, učinkovitijim i u konačnici isplativijim.

Ključni faktor koji doprinosi tom napretku je pogonski sklop i pogonski sistem električnih vozila, to jeste komponente koje od mnogih često ostaju neistražene.

Međutim, pogonski sklop i mehatronički sistemi u električnim vozilima doživjeli su značajan napredak posljednjih nekoliko godina.

U pogonske sisteme su integrisani zupčanci, kvačilo i druge mehaničke komponente s pogonskim motorima kao i kontrolorima motora koje utiču na performanse električnih vozila.

Inovacije u dizajnu motora i materijalima, napredne strategije upravljanja i algoritmi, te integracija s obnovljivim izvorima energije pomažu u napretku električnih vozila. Međutim, još uvijek postoje mnogi izazovi, poput smanjenja troškova proizvodnje električnih vozila, povećanja dometa vožnje te optimizacija infrastrukture za punjenje. Kako se ova područja budu razvijala, električna će vozila imat sve važniju ulogu u prometu.

3.1. *Pogonski sistemi*

Pogonski sklop električnog vozila obuhvata sve komponente uključene u pretvaranje energije u kretanje, uključujući bateriju, elektro motor i pogonski sklop za generisanje snage potrebne za pokretanje vozila i njegovu isporuku na kotače. To uključuje prenos, osovine i pogonska vratila [1].

Glavne komponente pogonskog sklopa uključuju [2]:

Bateriju (baterijski sklop)

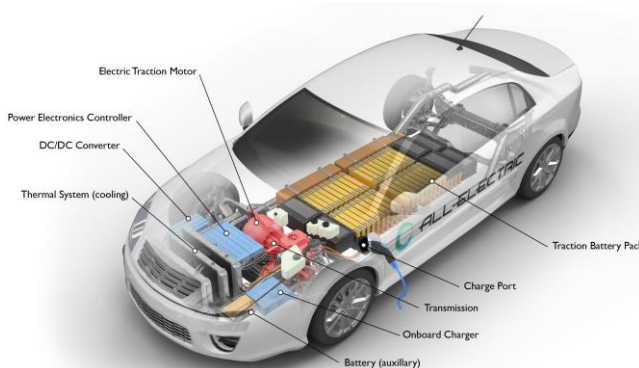
DC-AC konverter (pretvarač- inverter)

Elektromotor

Ugrađeni punjač

Uz ove osnovne komponente, postoje i drugi dijelovi hardvera i softvera u pogonskom sklopu, kao što su:

- **Battery Management System/Sistem upravljanja baterijom** stalno prati stanje baterije i poduzima potrebne mjere u slučaju kvara.
- **DC-AC Converter-Inverter** igra ključnu ulogu u upravljanju tokom električne energije, budući da baterija daje fiksni napon, a zahtjevi različitih dijelova automobila su različiti. Inverter pomaže u distribuciji energije različitim sistemima pretvaranjem izlazne energije i njenom distribucijom preko kablenskog sistema [3].
- **Upravljanje toplotom** u električnim vozilima kritičan je aspekt koji osigurava optimalne performanse, sigurnost i učinkovitost. Baterije najbolje rade unutar određenog temperaturnog opsega. Pravilno hlađenje sprječava pregrijavanje tokom punjenja ili pražnjenja, a također produžuje trajanje baterije i poboljšava njene performanse. Također, učinkovito hlađenje sprječava oštećenje komponenti motora i osigurava pouzdan rad [4].
- **Body Control Module (BCM)/ Auto kompjuter**, također poznat kao "body computer", služi kao mozak koji se nalazi iza automobilske elektronike. To je elektronička upravljačka jedinica (ECU) odgovorna za nadzor i upravljanje različitim elektroničkim komponentama unutar vozila [5].



Slika 1. Komponente pogonskog sklopa [2]

3.1.1. Battery Pack/Baterijski sklop

Električna baterija je uređaj koji pohranjuje hemijsku energiju koja se pretvara u električnu, što nam je omogućilo da pokrećemo većinu modernog svijeta naprednim uređajima poput prenosnih računala, pametnih telefona, satelita, pa čak i električnih automobila.

Baterije koje napajaju današnja električna vozila su napravljene da traju duže od samog vozila [6]. Električna vozila koriste litij-ionske baterije zbog toga što imaju visoku gustinu energije, a mnoge poznate kompanije za proizvodnju električnih automobila imaju vlastitu proizvodnju litij-ionskih baterija.

Tabela 1 prikazuje neke karakteristike baterija koje se koriste u električnim vozilima od 2013., i uspoređuje Li-ionske baterije s drugim vrstama baterija.

Tip baterije	Gustina energije (Wh/kg)	Gustina snage (W/kg)	Životni vijek (punjenje/pražnjenje)
Olovni akumulator	30 – 40	120 - 200	200 - 300
NiMH	50 – 80	250 – 1000	300 – 500
Litij-Ionske	100-150	1000 – 1500	500 - 1000

Tabela 1: Karakteristike baterija korištenih u električnim vozilima [6]

Baterije u električnim automobilima s vremenom će polako početi gubiti količinu energije koju mogu pohraniti. Degradacija baterije uzrokuje smanjeni energetska kapacitet, domet, snagu i ukupnu učinkovitost. Okolinski faktori, poput stalne izloženosti ekstremnim temperaturama, će uticati na performanse baterije i mogu dovesti do njene degradacije. Baterije se ne ponašaju dobro kada je jako hladno i kada se energija iz njih koristi za grijanje automobila. U tom slučaju domet vozila može privremeno pasti za čak 40%.

3.1.2. DC-AC Izmjenjivač

Napajanje iz baterijskog paketa pretvara se u izmjeničnu struju (AC) i zatim se isporučuje elektromotoru. Sofisticirani sistem kontrole motora (poznat i kao elektronička kontrolna jedinica pogonskog sklopa) upravlja ovim prenosom snage. On kontroliše frekvenciju i veličinu napona isporučenog elektromotoru, osiguravajući glatko kretanje i ubrzanje na temelju upravljanja vozača putem gasa i kočnica [7].

DC motori imaju odlične karakteristike, obzirom da možete preopteretiti motor u kratkom vremenu (do omjera 10:1), što je idealno za kratkotrajno ubrzanje. Jedino ograničenje je to što se motor pregrijava. Sa previše opterećenja motor se toliko zagrije da može doći do otkaza. AC motori i kontrole obično imaju regenerativnu funkciju za punjenje baterije.

3.1.2.1. AC punjenje

AC-DC pretvarač je ugrađen u automobil. Iako se naziva „punjačem za automobil“, ustvari je zapravo pretvarač. Pretvara naizmjeničnu struju u istosmjernu struju, koja potom napaja bateriju automobila. Danas, metoda punjenja električnih vozila i većina punjača koristi AC napajanje.

3.1.2.2. DC punjenje

Glavno napajanje uvijek je izmjenična struja (AC), tako da je razlika između AC i DC izvora punjenja lokacija ispravljača izvora napajanja AC strujom. Lokacija ovog ispravljača može biti unutar ili izvan vozila. Za razliku od AC punjača, DC punjač ima pretvarač u punjaču, pa se baterija automobila može direktno napajati i nema potrebe za ugrađenim punjačem. DC punjenje koristi se na javnim punionicama kao metoda brzog punjenja. Odnedavno, DC punjači se koriste i u varijantama punjenja vozila kod kuće.

3.1.3. *Elektromotor*

Elektromotor pretvara električnu energiju u mehaničku energiju. Ova mehanička energija zatim se prenosi na točkove putem prenosa s jednim prenosnim omjerom. Brz razvoj u području energetske elektronike i tehnologije kontrole pomogao je razvoju različitih vrsta električnih motora koji se koriste u električnim vozilima.

Električna vozila koriste različite vrste električnih motora, a najčešće korišteni su [8]:

DC motor sa serijskom uzбудom

DC motor bez četkica

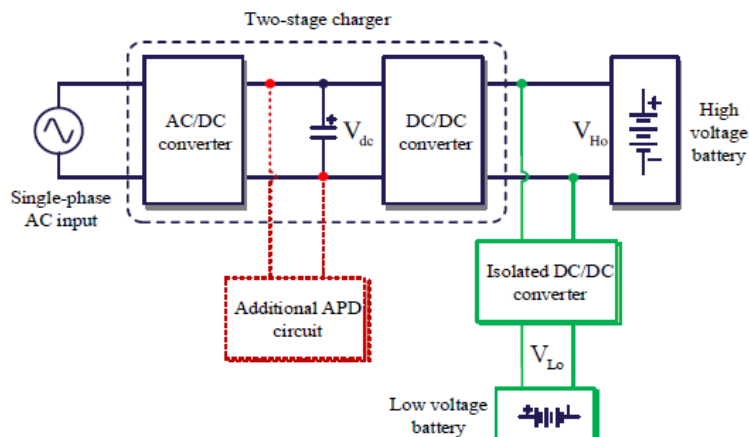
Sinhroni motor s permanetnim magnetom (PMSM)

Trofazni AC indukcijski motori (IM)

Motori s reluktantnim prekidačem (SRM)

3.1.4. *Punjač u vozilu*

Punjač u vozilu pretvara naizmjeničnu struju (AC) iz izvora punjenja u istosmjernu struju (DC). Također reguliše količinu struje koja teče u baterijski paket radi efikasnog punjenja. Postoje dva seta baterija u električnim vozilima [9]. Jedan je visokonaponska (HV) baterija za pogon motora, dok je druga niskonaponska (LV) baterija za napajanje pomoćnih uređaja kao što su osvjjetljenje, signalizacija, multimedija, automatska sjedišta i drugi elektronički uređaji. LV baterija se puni iz HV baterije pomoću pomoćnog punjača jer se alternatori ne koriste, za razliku od konvencionalnih vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorjevanjem.



Slika 2. Dvostepeni punjač u vozilu sa dodatnim prekidačem aktivne snage [10]

3.2. Mehatronički sistem

Mehatronički sistemi u električnim vozilima su kombinacija mehaničkih komponenti, elektroničkih komponenti i jedinice za obradu informacija. Ovi sistemi uključuju senzore koji mjere fizikalne veličine i pretvaraju ih u električne signale za obradu u elektroničkim kontrolnim jedinicama (ECU) i porede ih sa specificiranim referentnim vrijednostima [11]. Mehatronička rješenja su unaprijedila automobil sa različitim podsistemima sa pametnim šasijama i uređajima za pogon. Ovaj trend je dobio značajan zamah zbog elektrifikacije pogonskog sklopa, što je omogućilo uključivanje više električnih komponenti [12].

Sa razvojem mehatroničke tehnologije, njena primjeni u automobilskom sektoru postaju sve obimnija, kao što su kontrola ponašanja automobila, sistemi protiv blokiranja kočnica (ABS), Elektronički program stabilnosti (ESP), optimizacija automobila opremljenog poluaktivnim ovjesom, sistemi upravljanja, sistemi ubrizgavanja, automatski mijenjač, sistemi start-stop, elektroničke kontrolne jedinice motora (ECU), itd.

Broj vozila raste iz godine u godinu, a konstrukcija automobila postaje sve složenija. Tradicionalno proizvedena električna vozila imaju nisku evikasnost i kvalitet, te nisu u mogućnosti efikasno kontrolisati mnoge komponente u vozilima. Nivo saradnje pojedinih elemenata unutar vozila je nedovoljna da bi se mogla ocijeniti dobrom [13]. Mehatronička tehnologija može pružiti osnovnu grupu podataka o vožnji vozila, pravovremeno regulisanje vozila i efikasnu kontrolu sistema [14].

Evo nekih ključnih područja gdje se primjenjuje mehatronika u električnim vozilima:

Sistemi sigurnosti vozila:

Sistem protiv blokiranja kočnica (ABS),

Elektronički programi stabilnosti (ESP),

Sistem kontrole trakcije (TCS),

Izbjegavanje sudara (CA),

Održavanje kretanja u traci,

Ovjes,

Sistemi upravljanja,

Sistem upravljanja baterijom.

3.2.1. Sigurnosni sistemi vozila

Sigurnosni sistemi vozila mogu se široko klasificirati na pasivne i aktivne sigurnosne sisteme [15].

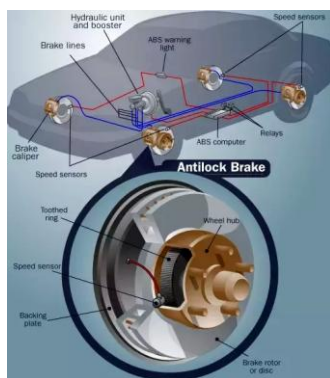
Pasivni sigurnosni sistemi uključuju sigurnosne pojaseve, vazdušne jastuke i dodatne strukturne elemente. Cilj pasivne sigurnosti je smanjenje ozljeda za vozača i putnike u vozilu tokom i nakon nesreće.

Aktivni sigurnosni sistemi rade prije nesreće i imaju za cilj spriječiti da se nesreća dogodi. Kao takve ih ima smisla nazvati i preventivnim sistemima.

3.1.1.1. Sistem protiv blokade kočnica (ABS)

ABS je sistem koji automatski kontroliše kočionu silu prilikom kočenja automobila, tako da točak ne dolazi u stanje blokade, kako bi se obezbijedilo prijanjanje točka i podloge u maksimalnoj mjeri. ABS kočioni sistem ima široku primjenu u automobilima, kao suštinski dio većine vozila.

Inteligentni kočioni sistemi (IBS) su predstavljeni radi optimizacije performansi, koji su očito bolji od tradicionalnog ABS-a, a mogu raditi s raznim kočnicama, senzorima i aktuatorima, kao i raznim vrstama algoritama upravljanja [16].

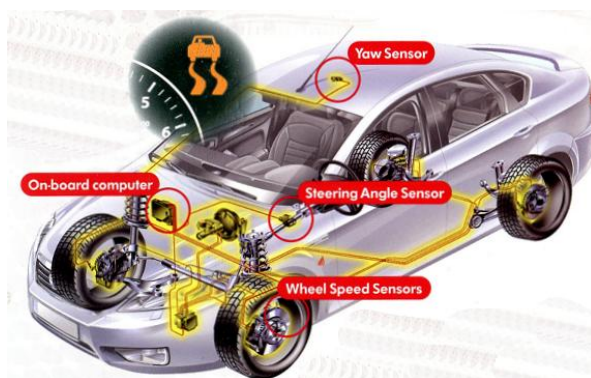


Slika 3. *Sistem protiv blokiranja kočnica (ABS)*

3.2.1.2. Elektronski program stabilnosti (ESP)

ESP poboljšava stabilnost vozila otkrivanjem i smanjenjem gubitka prijanjanja. Čest uzrok saobraćajnih nesreća je proklizavanje. Za te situacije, ESP uspoređuje očekivani smjer vozača prilikom upravljanja i kočenja s odgovorom vozila kroz bočno ubrzanje, rotaciju (zakretanje) i pojedinačne brzine točkova [17].

Dvije primarne metode aktiviranja ESP sistema koji generiraju korektivni moment upravljanja su kompenzacija korištenjem komandi za upravljanje ili korištenje individualnog kočenja točkova jer se to lakše postiže preko postojećeg ABS hardvera.

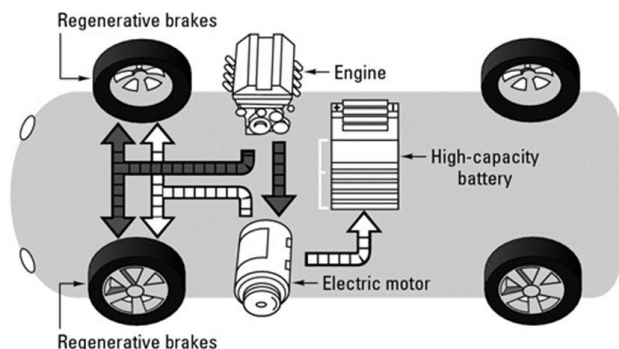


Slika 4. *Elektronski program stabilnosti (ESP)*

3.2.1.3. Sistem kontrole proklizavanja (TCS)

Sistem kontrole proklizavanja predstavljaju uzdužni kontrolori klizanja poput ABS-a, koji rade nakon što dođe do velike količine uzdužnog klizanja zbog okretanja točkova bez vuče na površini puta. U takvim slučajevima, TCS interveniše tako što vrši kočenje točka koji se okreće dok se ne postigne potrebna vuča. Rezultat je

blizu optimalne vučne sile na sva četiri točka. TCS također postaje standardna komponenta na inovativnim vozilima [18].

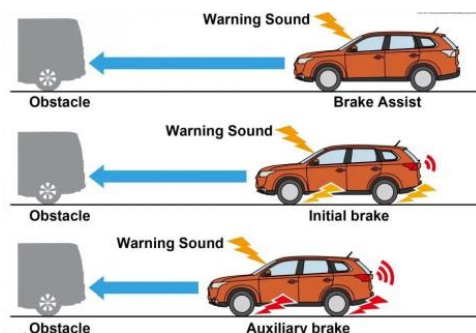


Slika 5. Vučni motor u električnim vozilima

3.2.1.4. Izbjegavanje sudara (CA)

Autonomna vožnja zahtijeva sposobnost određivanja i izbjegavanja prepreka na putu vozila. Rad na ugrađivanju tehnologije izbjegavanja sudara u aktivnu kontrolu sigurnosti vozila je relativno inovativan, te ima koristi od dobro uspostavljenih teorijskih i praktičnih rezultata o metodama izbjegavanja prepreka za mobilne robote. Automobilska vozila su mnogo brža od mobilnih robota koji se mogu zaustaviti i čekati da preduzmu potrebnu akciju izbjegavanja, ako je potrebno. U oba slučaja teže je izbjeći pokretne prepreke [19].

Izbjegavanje sudara se može podijeliti u dvije kategorije. Prva je određivanje puta bez sudara između prepreka čije su lokacije određene. Drugi slučaj je iznenadno i neočekivano otkrivanje prepreke uz neizbježni sudar. Algoritam za izbjegavanje sudara treba odmah izvesti manevre izbjegavanja u ovom slučaju. Ovaj scenario je mnogo teže riješiti, jer manevar izbjegavanja treba da izbjegne druge moguće sudare i gubitak stabilnosti vozila.



Slika 6. Izbjegavanje sudara u električnim vozilima

3.2.1.5. Asistencija kretanja u voznoj traci

Asistencija kretanja u voznoj traci prati oznake u traci kojom vozite kao i okolno područje radi prisutnosti vozila ili drugih objekata. Asistencija kretanja može pružiti intervencije pri upravljanju ako vozilo skrene u suprotnu traku u kojoj je detektiran objekt, poput vozila. U ovim situacijama, Asistencija kretanja automatski usmjerava na sigurniji položaj u voznoj traci. Kada se primijeni intervencija upravljanja, prikazuje poruka na ekranu se nakratko upozorenja.



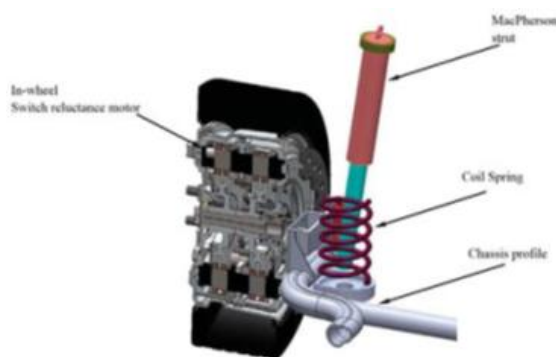
Slika 7. Asistencija kretanja u voznoj traci kod električnih vozila

3.2.1.6. Ovjes

Električna vozila imaju ovjes baš kao i motori sa unutrašnjim sagorijevanjem. Tipične varijante ovjesa su fiksni i nezavisni ovjes. U fiksnim ovjesima, desni i lijevi točkovi su povezani jedan s drugim preko osovine. U nezavisnim ovjesima, svi točkovi na vozilu se kreću neovisno jedan o drugome. Slobodni ovjesni sistem ima sve točkove nezavisne jedne o drugima.

Kontrola ponašanja automobila u električnim vozilima uključuje upravljanje orijentacijom i stabilnošću vozila tokom kretanja, na primjer, putem mehatroničkog ovjesa. Ovo je ključna komponenta u modernim električnim vozilima. Uključuje upotrebu elektronike i tehnologije mikroprocesora za kontrolu sistema ovjesa vozila.

Aktivni/električni ovjes održava udobnost vožnje na najvišoj razini, što utiče na mnoge aspekte, od kočenja do upravljanja, kontrole brzine vozila do drugih sistema vožnje, te pomaže pretvoriti kinetičku energiju u električnu energiju. To sprječava da vanjski točak naginje prema unutrašnjem točku tokom skretanja. Najveća razlika ovjesa električnog vozila u usporedbi s drugim tipovima je u prednostima koje donosi u sistemu kočenja. Aktivni ovjes također omogućuje kočenje u znatno kraćem vremenskom roku u usporedbi s drugim tipovima.



Slika 8. Dizajn ovjesa kod električnih vozila sa SRM motorom unutar točka

3.2.1.7. Steering Control Systems – sistemi upravljanja

Električni automobili su dizajnirani s električnim upravljanjem. Tehnologija je već napredovala do tačke u kojoj se automobilom može upravljati putem steer-by-wire sistema. Nema potrebe za mehanizmom sa zupčastom letvom, niti za bilo kojom izravnom mehaničkom vezom s točkovima. Automobil s upravljanjem na sva četiri točka uz novu tehnologiju više ne zahtijeva složeni mehanički i električni hibridni sistem, već samo električni, i to bez velikih kvarova imali u prošlosti. kao što su neki automobili

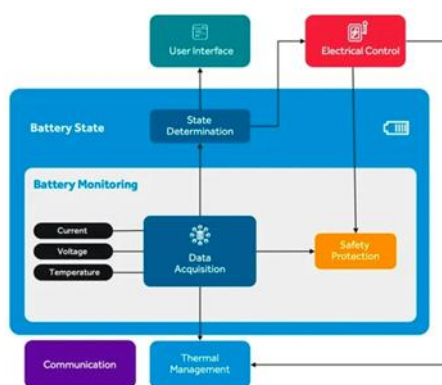


Slika 9. Sistemi upravljanja:

- a) upravljanje u suprotnom smjeru, pri malim brzinama
- b) upravljanje u istom smjeru, pri srednjim i velikim brzinama

3.2.1.8. Battery Management System – sistem upravljanja baterijom

Sistem upravljanja baterijom upravlja elektronikom punjive baterije i postaje ključni faktor u osiguravanju sigurnosti električnih vozila. BMS nadzire zdravlje baterije, prikuplja podatke, kontrolira okolinske faktore koji utiču na ćeliju te ih balansira kako bi osigurao isti napon. Baterija sa sistemom upravljanja povezanim na eksterni sistem komunikacije podataka ili sabirnicu podataka služi za pružanje informacija o statusu napajanja baterije i drugih važnih informacija. Ove informacije mogu pomoći uređaju da inteligentno štedi energiju.



Slika 10. Klasični sistem upravljanja baterijom

Pitanja:

1. Koje su glavne komponente pogonskog sklopa u električnom vozilu i koje su njihove funkcije?
2. Kako sistem upravljanja baterijom doprinosi sigurnosti i efikasnosti električnog vozila?
3. Možete li objasniti ulogu kontrolnog modula karoserije u upravljanju elektronskim komponentama unutar vozila?
4. Koje su razlike između punjenja naizmjeničnom strujom i punjenja istosmjernom strujom u električnim vozilima i kako one utiču na brzinu i efikasnost punjenja?
5. Koja su neka ključna područja u kojima se mehatronika primjenjuje u električnim vozilima?
6. Kako inteligentni kočioni sistemi i elektronski program stabilnosti poboljšavaju sigurnost i performanse vozila?
7. Koje su dvije kategorije izbjegavanja sudara u autonomnoj vožnji?
8. Koje su prednosti novog sistema upravljanja u odnosu na tradicionalni mehanički i električni hibridni sistem?

REFERENCE

- [1] Di J.: Electric Vehicle Powertrain Components. Stanford University 2020 <http://large.stanford.edu/courses/2020/ph240/di2/>
- [2] EV Powertrain Components – Basics. EVreporter 28.10.2019. <https://evreporter.com/ev-powertrain-components/>
- [3] Al Sakka M., Van Mierlo J., Gualous H.: DC/DC Converters for Electric Vehicles. Seylou S. (ed.) Electric Vehicles – Modelling and Simulations. pp.309-332 ISBN 978-953-307-477-1 2011.
- [4] Thermal Management for Hybrid Systems and Electric Drives. Bosch <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/thermal-management/thermal-management-for-hybrid-systems-and-electric-drives/>
- [5] How Body Control Module (BCM) Works in an Automobile. Embitel. <https://www.embitel.com/automotive-insights/understanding-body-control-module-the-brain-of-body-electronics-in-automotive/>
- [6] K. Rajashekara: Present Status and Future Trends in Electric Vehicle Propulsion Technologies. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 1(1):3-10, 2013, <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2013.2259614>
- [7] Electric cars use AC or DC? What's the Difference? EV-carsinfo. 29.09.2022 <https://ev-carsinfo.com/features/electric-cars-use-ac-dc/>
- [8] Edmunds D.: EV Motors Explained. Car and Drivers 05.04.2022. <https://www.caranddriver.com/features/a39493798/ev-motors-explained/>
- [9] Ngyen H.V., To D-D., Lee D-C.: Onboard Battery Chargers for Plug-in Electric Vehicles With Dual Functional Circuit for Low-Voltage Battery Charging and Active Power Decoupling, *IEEE Access*, 6:70212-70222, 2018, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2876645>
- [10] Hou R., Emadi A.: Integrated active power filter auxiliary power modules for electrified vehicle applications with single-phase on-board chargers. *2015 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Dearborn, MI, USA, 2015, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/ITEC.2015.7165826>
- [11] Julio-Rodríguez J.C. et al.: Environment Classification Using Machine Learning Methods for Eco-Driving Strategies. *Applied Sciences* 12(11):5578 2022 <https://doi.org/10.3390/app12115578>
- [12] Hilgers M., Achenbach W.: *Electrical Systems and Mechatronics*, Springer, 2021. ISBN 978-3-662-60838-8 <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60838-8>
- [13] Eliasson U. et al.: Agile model-driven engineering in mechatronic systems-an industrial case study. *Model-Driven Engineering Languages and Systems. MODELS 2014. Lecture Notes in Computer Science*, vol 8767. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11653-2_27
- [14] Ruoyu Ma: An analysis of the application of mechatronics in the modern automotive field, *Proceedings of the 2023 International Conference on Mechatronics and Smart Systems*. 12:233-237 <https://doi.org/10.54254/2755-2721/12/20230352>
- [15] Arana C., Evangelou S.A., Dini D.: Car attitude control by series mechatronic suspension. *IFAC Proceedings Volumes* 47(3):10688-10693 2014 <https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.00318>

- [16] Gissinger G. L., Menard C., Constans A.: A mechatronic conception of a new intelligent braking system, *Control Engineering Practice* 11(2):163-170 2003, [https://doi.org/10.1016/S0967-0661\(02\)00041-2](https://doi.org/10.1016/S0967-0661(02)00041-2)
- [17] Chavan, D. K., Tasgaonkar G. S., Deulgaonkar V. R.: Mechatronics-A boon for technological development. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. 1(2):66-75 2011.
- [18] Hori Y., Toyoda Y., Tsuruoka Y.: Traction control of electric vehicle: basic experimental results using the test EV "UOT electric march". *IEEE Transactions on Industry Applications*, 34(5):1131-1138, 1998, <https://doi.org/10.1109/28.720454>
- [19] Ijeh I.C.: A collision-avoidance system for an electric vehicle: a drive-by-wire technology initiative, *SN Applied Science*. 2:744 2020. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2383-2>
- [20] Bartels A., Meinecke M-M., Steinmeyer S.: Lane Change Assistance, in *Handbook of Driver Assistance Systems*, Springer 2015, pp 1235-1257 https://doi.org/10.1007/978-3-319-12352-3_50
- [21] Kulkarni A., Ranjha S.A., Kapoor A.: A quarter-car suspension model for dynamic evaluations of an in-wheel electric vehicle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 232(9):1139-1148 2018 <https://doi.org/10.1177/0954407017727165>
- [22] Qi Z. et al.: 4-Wheel Independent in-wheel-motor Drive and Independent Steering Electric Vehicle safety analysis method based on mass re-distribution experiment, *6th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, Queenstown, 2015, pp. 22-27, <https://doi.org/10.1109/ICARA.2015.7081120>
- [23] Keerthi S.K.: Battery Management System in Electric Vehicles. *Cyient*. 29.03.2022. <https://www.cyient.com/blog/battery-management-system-in-electric-vehicles>



Funded by
the European Union

Deliverable 3.5

WB HEIs will create teaching material in line with EM catalogue of courses. Teaching material – manual for students will be prepared in electronic and paper forms and reviewed by EU partners. (up to 100 pages, B5).

Electric Mobility Manual for students

Poglavlje IV. SISTEMI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA U ELEKTRIČNIM VOZILIMA

Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Bosna i Hercegovina

Autori: Nataša Popović Mirjana Maksimović

4. POGLAVLJE 4: SISTEMI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA U ELEKTRIČNIM VOZILIMA

Put ka održivoj budućnosti donosi pozitivne promjene u različitim sektorima, uključujući i oblast transporta. S porastom svijesti o klimatskim promjenama i iscrpljenosti fosilnih goriva, raste potražnja za ekološki prihvatljivim opcijama prevoza. Električna vozila (EV) predstavljaju ključnog aktera u ovom pozitivnom zaokretu, koristeći električnu energiju umjesto tradicionalnih goriva. Sa nultom emisijom štetnih gasova, električna vozila predstavljaju „čistiju“ alternativu u odnosu na konvencionalna vozila. Postoje četiri vrste električnih vozila:

- Vozilo na baterije (engl. Battery Electric Vehicle - BEV): Isključivo koristi električnu energiju, pružajući veću efikasnost u poređenju s hibridnim i priključno-hibridnim modelima.
- Hibridno električno vozilo (engl. Hybrid Electric Vehicle - HEV): Kombinuje motor sa unutrašnjim sagorijevanjem (obično na benzin) sa elektromotorom. Benzinski motor se koristi za vožnju i punjenje kada je baterija prazna. HEV je manje efikasan od potpuno električnih ili priključno-hibridnih vozila.
- Priključno-hibridno električno vozilo (engl. Plug-in Hybrid Electric Vehicle - PHEV): Integriše motor sa unutrašnjim sagorijevanjem sa baterijom koja se puni spolja putem priključka. Ovo omogućava punjenje baterije električnom energijom, čineći PHEV efikasnijim od HEV-a, ali manje efikasnim od BEV-a.
- Vozilo na gorive ćelije (engl. Fuel Cell Electric Vehicle - FCEV): Koristi čisto proizvedenu električnu energiju iz nefosilnih goriva, kao što je vodonik, uz upotrebu tehnologije gorivih ćelija.

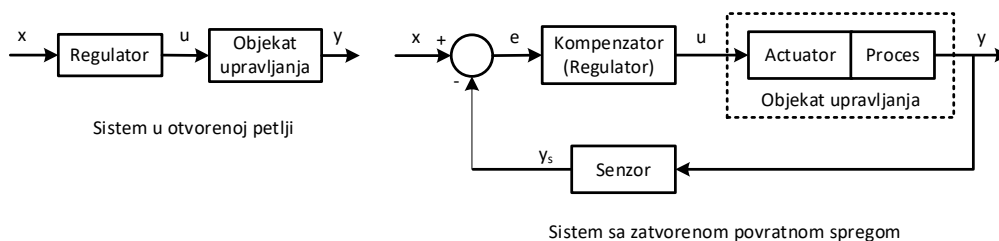
Sistemi upravljanja su od suštinskog značaja za unapređenje efikasnosti i performansi električnih vozila. Moderna istraživanja i razvoj električnih vozila zasnovana su na savremenim tehnologijama upravljanja, uključujući automobilsku, tehnologiju pogona motora, energetske elektronike i tehnologiju skladištenja energije. Tri ključna izazova u procesu dizajna električnih vozila su: tehnologija vozila, tehnologija električnog pogona i sistemi za upravljanje energijom. Drugim riječima, sistemi automatskog upravljanja u električnim vozilima obuhvataju raznovrstan skup funkcija, u rasponu od optimizacije vuče i nadgledanja regenerativnog kočenja do upravljanja performansama baterije, kontrole ambijentalnih uslova i dijagnostike. Efikasan izbor tehnika upravljanja zavisi od preciznih mjerenja i ocjene uslova rada električnog vozila.

4.1 Osnove sistema automatskog upravljanja

Automatsko upravljanje je bazirano na upravljanju u povratnoj sprezi i analizi linearnih i nelinearnih sistema uz integraciju teorije mreža i komunikacija. Tu se

razmatra dinamičko ponašanje karakterističnih fenomena, procesa i sistema i na osnovu toga projektuju se strukture koje obavljaju njihovu regulaciju ili upravljanje. Pod upravljanjem se podrazumijeva skup radnji kojima se obezbjeđuje određeni tok procesa u uslovima poremećaja, dok regulacija predstavlja održavanje određene fizičke veličine na željenoj vrijednosti.

Sistem je skup idejno organizovanih jedinica međusobno funkcionalno povezanih u jedinstvenu cjelinu radi postizanja određenog cilja. Sistem automatskog upravljanja je skup međusobno povezanih komponenti koje treba da na zadatu pobudu obezbijede željeni odziv. Osnovna analiza sistema bazira se na teoriji linearnih sistema koja podrazumijeva postojanje uzročno-posljedičnih veza između komponenti sistema. Kod upravljačkih sistema ova veza je ostvarena u obliku para ulaznih i izlaznih promjenljivih, gdje su ulazne promjenljive uzrok a izlazne promjenljive posljedica obrade ulaznih na način koji omogućava da se dobiju željeni izlazi. Vezu ove vrste je moguće ostvariti projektovanjem sistema u otvorenoj petlji i projektovanjem sistema u zatvorenoj petlji, slika 1. Kod sistema u otvorenoj petlji, za postizanje željenog odziva se koristi regulator ili aktuator. U sistemima u zatvorenoj petlji, za poređenje stvarnog i željenog odziva uvodi se, u vidu povratnog signala, izmjerena vrijednost stvarnog izlaza zbog čega se ovakvi sistemi nazivaju i sistemi sa zatvorenim povratnom spregom.



Slika 1. Sistemi u otvorenoj i zatvorenoj petlji

Osnovne komponente sistema sa zatvorenim povratnom spregom su: objekat upravljanja, senzori, aktuatori i regulatori. Sistemi automatskog upravljanja regulišu izlaz objekta upravljanja (y) sa ciljem da on bude jednak ulazu sistema (x) koji se naziva i referentni ulaz. Za postizanje željenog upravljanja sistemom koristi se regulator na čiji ulaz se dovodi signal greške (e) koji predstavlja razliku referentnog ulaza i trenutne vrijednosti stvarnog izlaza (y_s). Trenutna vrijednost stvarnog izlaza se dobija pomoću senzora u povratnoj grani upravljačkog sistema. Sve dok je signal greške različit od nule, regulator generiše upravljačku promjenljivu (u) koja nastoji da eliminiše grešku. Upravljačka promjenljiva se na objekat upravljanja dovodi preko

aktuatora. Sistem sa zatvorenom povratnom spregom mora biti stabilan u smislu da ograničeni ulaz sistema daje ograničen izlaz.

Postoje tri konvencionalna tipa regulatora: proporcionalni (P), proporcionalno-integralni (PI) i proporcionalno-integralno-diferencijalni (PID). Uopšteno, regulator transformiše signal greške da bi se zadovoljili određeni kriterijumi kao što su karakteristike odziva u prelaznom procesu, greška u stacionarnom stanju, potiskivanje poremećaja, osjetljivost na promjenu parametara objekta upravljanja i slično. Inteligentne metode upravljanja se koriste za projektovanje naprednih (pametnih) regulatora koji su bazirani na upotrebi fazi logike, neuronskih mreža, mašinskog učenja i vještačke inteligencije. U savremenim sistemima upravljanja vozilima regulator je implementiran u mikroprocesoru ili mikrokontroleru a operacije su mu determinisane softverom.

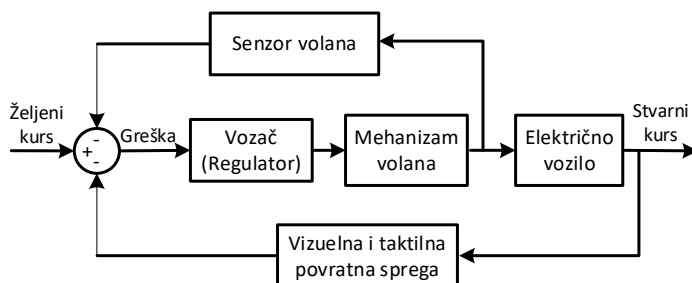
Ukoliko se osnovne komponente sistema upravljanja međusobno povežu žičanom ili bežičnom komunikacionom mrežom dobija se umreženi sistem upravljanja. Ovakvi sistemi su veoma zastupljeni u automobilskej idustriji gdje se koriste za komunikaciju različitih elektronskih upravljačkih modula sa glavnim kontrolerom vozila u cilju postizanja željenog ponašanja i stanja vozila.

4.2 Tipovi sistema automatskog upravljanja u električnim vozilima

Brojne su primjene sistema sa zatvorenom povratnom spregom u električnim vozilima koji su projektovani za upravljanje različitim funkcijama i operacijama električnih vozila. Neki od njih su kratko opisani u nastavku.

4.2.1 Kontrola upravljanja volanom (Steering Control)

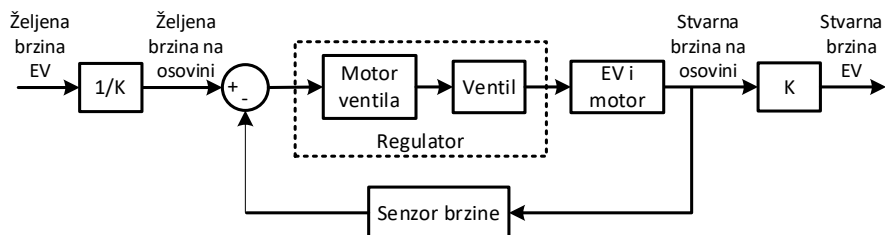
Upravljanje volanom je jedna od kritičnih funkcija električnog vozila. Sistem za upravljanje volanom daje stabilnost vozilu i omogućava sigurnu vožnju. Sastoji se od komponenti koje su odgovorne za promjenu pravca kretanja vozila i održavanje pravca vožnje prema želji vozača. Na slici 2 prikazan je osnovni blok dijagram kontrole upravljanja volanom.



Slika 2. Kontrola upravljanja volanom kod električnog vozila

4.2.2 Tempomat (Cruise Control)

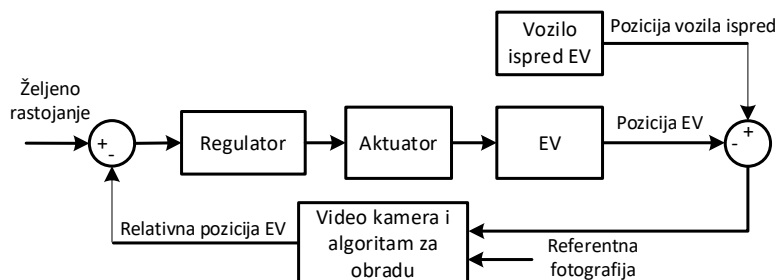
Tempomat omogućava vozaču da podesi željenu brzinu vozila. Kada je aktiviran, brzina vozila se automatski održava na željenoj vrijednosti bez dodirivanja pedale gasa. Na ovaj način, vozač može da vozi ograničenom ili ekonomičnom brzinom. Blok dijagram sistema tempomata je prikazan na slici 3.



Slika 3. Tempomat kod električnog vozila

4.2.3 Adaptivni tempomat (Adaptive Cruise Control - ACC)

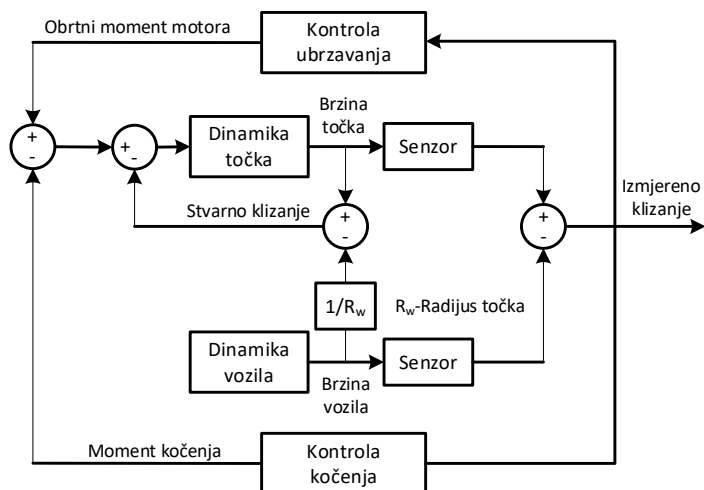
Adaptivni tempomat je sistem koji automatski prilagođava brzinu kretanja vozila u odnosu na vozilo koje se nalazi ispred njega u cilju održavanja zadatog bezbjednog odstojanja. Sistem upravljanja koristi senzorske informacije, najčešće od radara ili kamera, kako bi detektovao vozila i druge objekte ispred sebe. Tempomat obično ima dva načina rada; jedan u kome se kontroliše brzina i drugi u kome se kontroliše odstojanje. Prvi način rada se koristi kada ispred električnog vozila nema drugih vozila, u suprotnom se koristi drugi način rada. Blok dijagram rada sa kontrolom odstojanja je dat na slici 4.



Slika 4. Adaptivni tempomat kod električnog vozila

4.2.4 Kontrola vuče (Traction Control)

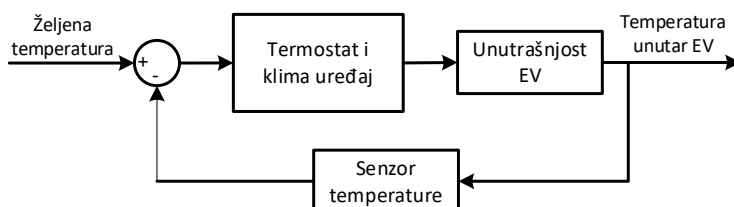
Kontrola vuče vozila poboljšava performanse i upravljivost vozila. Cilj ove kontrole je da se maksimizuje prijanjanja pneumatika za kolovoz sprečavanjem blokade kočnica i proklizavanja tokom ubrzanja. Pojednostavljeni blok dijagram sistema kontrole vuče je dat na slici 5. Uključuje kontrolu kočenja da ne dođe do klizanja i kontrolu ubrzanja da ne dođe do proklizavanja. Razlika između brzine vozila i brzine točka (proklizavanje) je izabrana kao upravljačka promjenljiva jer snažno utiče na stvaranje sile između pneumatika i kolovoza.



Slika 5. Kontrola vuče kod električnog vozila

4.2.5 Regulacija temperature

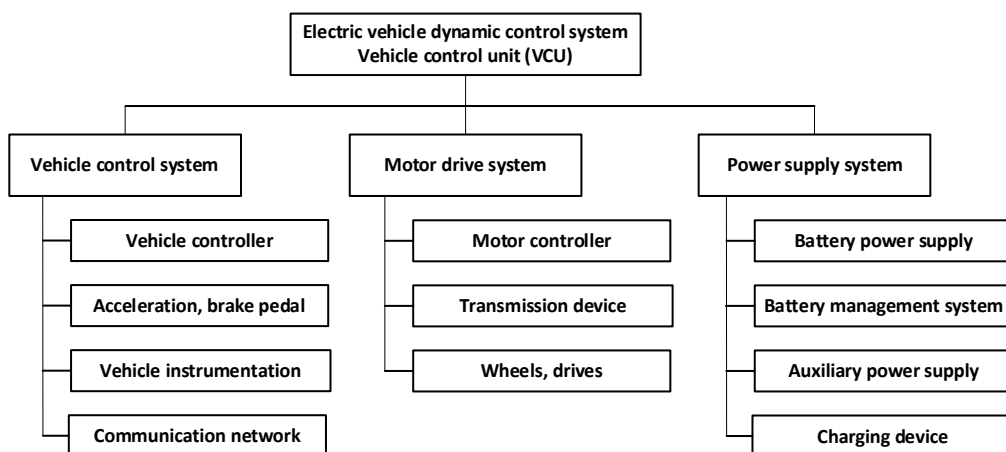
Savremena vozila imaju sistem za regulaciju ambijentalnih uslova unutar vozila što doprinosi komforu putnika. Na slici 6 prikazan je blok dijagram sistema za klimatizaciju vozila u kome vozač zadaje željenu temperaturu a upravljački sistem je održava.



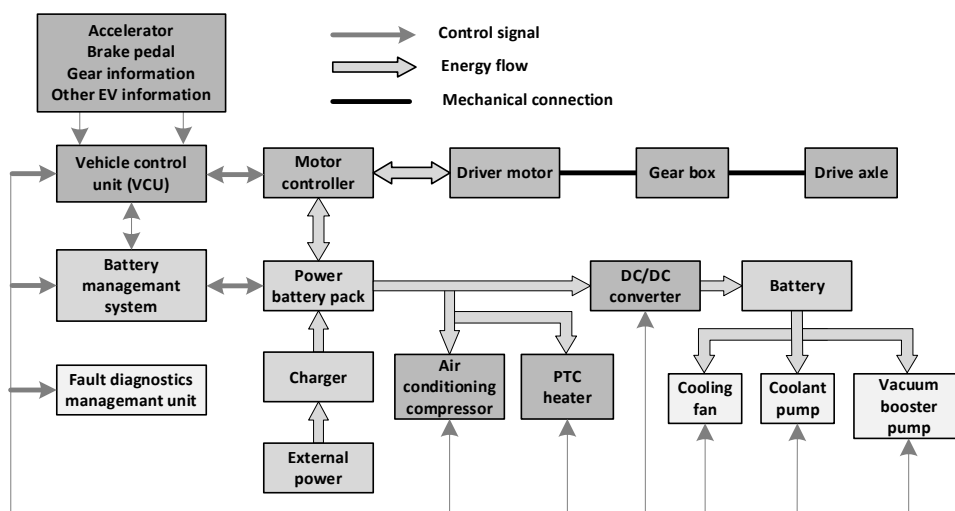
Slika 6. Regulacija temperature kod električnog vozila

4.3 Integracija upravljačkih operacija u električnim vozilima

Dinamički sistem upravljanja električnim vozilima integriše električne, elektronske, mehaničke, hemijske i ostale sisteme u koje spadaju i sistemi iz poglavlja 4.2. Obuhvata motore, konvertore, baterije, zupčanike i ostalu upravljačku opremu. Sve to čini strukturu sistema upravljanja električnim vozilom veoma složenom, a projektovanje komplikovanim. Cjelokupni dinamički sistem upravljanja električnim vozilima ima hijerarhijsku strukturu i može se popdijeliti na tri dijela: upravljanje vozilom, upravljanje motorom i upravljanje sistemom napajanja, slika 7. Na najvišem nivou nalazi se glavni kontroler vozila ili elektronska upravljačka jedinica vozila (VCU) koji predstavlja najvažniju komponentu sistema upravljanja. Na nivou ispod nalaze se sekundarni kontroleri za upravljanje vozilom, motorom i baterijom.



Slika 7. Hijerarhijska struktura dinamičkog sistema upravljanja električnim vozilima



Slika 8. Funkcionalna šema elektronskog sistema upravljanja u električnim vozilima

Na slici 8 je prikazana funkcionalna šema elektronskog sistema upravljanja električnim vozilima. Sastoji se od modula od kojih su osnovni VCU, kontroler motora, baterija, sistem za upravljanje baterijom (BMS), jedinica za upravljanje dijagnostikom, zupčanik, pomoćni sistem, itd.

Pomoćni sistem uključuje motor za upravljanje volanom i njegov kontroler, motor klima uređaja i njegov kontroler, kočioni sistem, DC-DC konvertore i sl. Napajanje vozila i sve elektronske opreme se vrši pomoću baterije. Da bi koordinisao operacije i status svakog modula, kontroler vozila je povezan sa ostalim upravljačkim jedinicama preko CAN (engl. Controller Area Network) magistrale.

Upravljanje različitim aspektima električnog vozila vozač ostvaruje preko sistema automatskog upravljanja. Vozač upravljačkoj jedinici vozila daje informacije o radu vozila (npr. koliko je pritisnuta pedala gasa ili kočnice) na osnovu kojih VCU predviđa dalje radnje koje će preduzeti vozač u vožnji i shodno tome izdaje instrukcije da bi se te radnje realizovale. Zavisno od upravljačke strategije, VCU šalje upravljačke komande kontroleru motora i sistemu za upravljanje baterijom. Takođe, izračunavaju se potrebni obrtni moment motora i drugi parametri da bi se koordinisala i obezbijedila adekvatna vožnja.

Osnovne funkcije VCU su:

- Kontrola obrtnog momenta: Na osnovu različitih položaja pedale gasa, kontroler vozila izračunava ukupnu brzinu vozila ili potrebni obrtni moment.
- Kontrola optimizacije energije kočenja: Električni motor može da radi u režimu motora ili generatora, zavisno od smjera u kojem se okreće. Kada se pedala kočnice koristi za usporavanje vozila, motor se ponaša kao generator. Na osnovu signala sa pedale gasa i kočnice, trenutne brzine vozila i napunjenosti baterije, kontroler vozila određuje da li je u određenom trenutku moguće regenerativno kočenje. Ako jeste, kontroler vozila daje odgovarajuća uputstva kontroleru motora da pretvori razvijenu kinetičku energiju u električnu energiju i da je uskladišti u bateriji. Ovaj proces regenerativnog kočenja električnim vozilima obezbjeđuje veći dometa vožnje.
- Upravljanje energijom: Da bi se povećao domet vožnje električnog vozila, kontroler vozila optimizuje potrošnju energije. Kada je snaga baterije slaba, kontroler vozila šalje pomoćnom sistemu instrukcije za optimalno korišćenja energije. VCU komunicira sa BMS koji donosi određene odluke u zavisnosti od informacija koje ima, a ove odluke utiču na performanse i vijek trajanja baterije. Sistem za upravljanje baterijom prati i proračunava tri važna parametra baterije: stanje napunjenosti, ispravnost baterije i preostali kapacitet.
- Dijagnostika i obrada kvarova: Kontroler vozila kontinuirano vrši nadzor u realnom vremenu statusa rada i radnih uslova vozila. Ako se otkrije kvar elektronske kontrolne jedinice, aktivira se alarm i preduzimaju se sigurnosne mjere. Kada se dijagnostikuje kvar na vozilu, VCU skladišti i šalje kod greške, daje osnovne upute za njegovo otklanjanje, klasifikuje greške i određuje koje su kritične za dalje kretanje vozila.
- Praćenje stanja vozila: Ugrađena instrumentacija uz pomoć VCU prikazuje informacije o stanju vozila u realnom vremenu kako bi vozači znali u kakvim uslovima vozilo radi. Intuitivni displej skraćuje vrijeme interakcije između vozača i vozila jer vozač u svakom trenutku može da očita aktuelne podatke o stanju i uslovima rada vozila, te može blagovremeno reagovati na

nepravilnosti. Tehnologija praćenja stanja vozila zasnovana je na CAN komunikaciji.

- Održavanje i upravljanje mrežom: Kontroler vozila, kao glavni čvor komunikacione mreže, upravlja komunikacijom između svih elektronskih modula. Mreža ima mnogo gospodar-sluga (engl. master-slave) čvorova koji regulišu stanje mreže vozila u realnom vremenu i vrše dinamičku alokaciju prioriteta informacija. Elektronska kontrolna jedinica kontrolera vozila koristi prvenstveno CAN magistralu za slanje/primanje upravljačkih instrukcija. Brza CAN magistrala koja podržava brzine prenosa podatka do 500 kb/s se koristi za komponente sistema napajanja sistema sa visokim zahtjevima rada u realnom vremenu (kontroler motora, BMS, sistem za dijagnostiku). Spora CAN magistrala koja podržava brzine prenosa podatka do 100 kb/s se koristi za akviziciju povratnih upravljačkih signala komponenti sa niskim zahtjevima rada u realnom vremenu (klima uređaj, instrument table, vakuum pumpa kočionog sistema).

4.4 Izazovi, inovacije i trendovi razvoja sistema automatskog upravljanja u električnim vozilima

Električna vozila predstavljaju revoluciju u oblasti transporta, posebno u vrijeme kada se sve veći naglasak stavlja na očuvanje životne sredine i kada se teži ka ekološki održivoj budućnosti. Donose mnogobrojne prednosti, kao što su poboljšanje kvaliteta vazduha i smanjenje emisije štetnih gasova. S druge strane, problemi u pogledu dometa ovih vozila i zahtjev za snažnom infrastrukturom za punjenje predstavljaju poteškoće. Glavni izazovi sa kojima se suočavaju sistemi automatskog upravljanja u električnim vozilima su:

- Inteligentno integrisanje: Potrebna je sofisticirana koordinacija da bi se postigla nesmetana integracija sistema upravljanja različitih komponenta električnih vozila, kao što su energetska elektronika, regulacija temperature i regenerativno kočenje.
- Složenost upravljanja energijom: Optimalna efikasnost proističe iz potrebe da se balansira distribucija energije između više komponenta, uključujući bateriju, motor i pomoćne sisteme.
- Povećanje dužine pređenog puta vozila: Razvoj inovativnih upravljačkih rješenja za prevazilaženje ograničenja dužine pređenog puta, uzimajući u obzir regenerativno kočenje, ubrzanje i potrošnju energije.
- Standardizacija i interoperabilnost: Kreiranje upravljačkih protokola za poboljšanje interoperabilnosti između različitih modela i komponenti električnih vozila.

Neke od novina u domenu sistema automatskog upravljanja u električnim vozilima su:

- Proces integracije algoritama mašinskog učenja radi poboljšanja energetske efikasnosti, prediktivnog upravljanja i poboljšanja ukupnih performansi vozila korišćenjem istorijskih podataka i trenutnih radnih uslova.
- Korišćenje naprednih tehnika optimizacije kako bi se istovremeno ostvarivali različiti ciljevi, poput energetske efikasnosti, performansi i udobnosti korisnika, uz optimizaciju strategija upravljanja za različite scenarije vožnje.
- Proaktivno održavanje može biti olakšano, a neplanirani zastoji mogu biti smanjeni korišćenjem algoritama za predikciju održavanja koji koriste senzorske i analitičke podatke za predviđanje potencijalnih problema.
- Istraživanje mogućnosti upotrebe decentralizovanih struktura upravljanja, u kojima su upravljački zadaci raspodijeljeni na više podsistema vozila kako bi se poboljšala tolerancija na greške i ukupna pouzdanost sistema.
- Upotreba vještačke inteligencije za razvoj naprednih sistema za pomoć vozaču, poput prilagodljivog tempomata, zadržavanja unutar trake i prediktivnog kočenja, kako bi vožnja postala bezbjednija i inteligentnija.
- Očekuje se da će autonomna električna vozila značajno uticati na budućnost saobraćaja. Integracija tehnologije autonomne vožnje sa električnom mobilnošću ima potencijal da stvori bezbjednije, efikasnije i dijeljene sisteme prevoza. Ova vozila mogu optimizovati rute, smanjiti gužve u saobraćaju i poboljšati ukupnu energetske efikasnost.
- Korišćenje tehnologija obrade podataka na ivici mreže u realnom vremenu može smanjiti kašnjenje i povećati odziv upravljačkih sistema za ključne zadatke poput autonomne vožnje.
- Poboljšana bezbjednost i upravljanje saobraćajem omogućeni su povezanošću vozila sa svim (engl. vehicle-to-everything - V2X), koja integriše V2X komunikaciju i omogućava vozilima da komuniciraju sa drugim vozilima, infrastrukturom, pješacima i cjelokupnim saobraćajnim ekosistemom.
- Spajanje najsavremenijih koncepata interfejsa između čovjeka i mašine (engl. Human Machine Interface - HMI), poput ekrana proširene stvarnosti i obrade prirodnog jezika, kako bi se poboljšala komunikacija između vozača i sistema upravljanja električnim vozilom.
- Primjena snažnih kontrolnih mjera za upravljanje problemima sa sajber-bezbjednošću povezanih električnih vozila.
- Inovativni upravljački sistemi za pametno punjenje koji optimizuju intervale punjenja i interakciju sa mrežom poznati su kao rješenja za pametno punjenje. Razvoji u dvosmjernoj kontroli punjenja omogućili su električnim vozilima da

energiju vraćaju u mrežu, pored punjenja iz iste, omogućavajući time funkcionalnost od vozila ka mreži (engl. vehicle-to-grid - V2G).

- Implementacija strategija upravljanja kako bi se maksimizovalo prikupljanje energije iz izvora kao što su regenerativni amortizeri i solarni paneli.
- Kreiranje upravljačkih sistema koji čine bežične tehnologije punjenja praktičnijim i efikasnijim.
- Optimizacija kontrole temperature unutar baterija i drugih ključnih komponenata upotrebom inteligentnih algoritama poznata je kao napredno upravljanje toplotom. Na ovaj način se poboljšavaju sistemi za upravljanje toplotom, što doprinosi povećanoj efikasnosti i produženju životnog vijeka baterije.

4.5 Zaključak

S obzirom na značajan doprinos sektora transporta globalnoj emisiji štetnih gasova, električna vozila postaju sve popularnija kao održiva alternativa. U poređenju sa tradicionalnim vozilima sa motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem, električna vozila su energetske efikasnija, koriste manje energije, te su čistija i ekološki prihvatljivija opcija zbog izuzetne sposobnosti da značajno smanje emisije štetnih gasova. Kontinualan razvoj električnih vozila u velikoj mjeri zavisi od napretka postignutog u sistemima automatskog upravljanja. Da bi poboljšala ukupnu efikasnost, riješila operativne probleme i maksimizovala performanse, automobilska industrija aktivno unapređuje sisteme upravljanja električnim vozilima. Napredni upravljački algoritmi su ključni za poboljšanje užitka u vožnji, garantovanje bezbjednosti i omogućavanje funkcija poput prediktivnog upravljanja energijom i regenerativnog kočenja. Napredak u tehnologiji upravljanja maksimizuje održivi potencijal električnih vozila omogućavajući njihovu nesmetanu integraciju sa obnovljivim izvorima energije. Automobilska industrija ima za cilj kontinualno unapređenje upravljačkih sistema električnih vozila kako bi se suočila sa izazovima, prihvatila inovacije i anticipirala buduće trendove, otvarajući time put ka održivoj i efikasnoj budućnosti transporta.

4.6 Pitanja

1. Koji tipovi električnih vozila postoje?
2. Definirati sisteme automatskog upravljanja u kontekstu električnih vozila.
3. Koji su osnovni dijelovi dinamičkog sistema upravljanja kod električnih vozila?
4. Kako se mogu integrisati različiti sistemi automatskog upravljanja kod električnih vozila u jednu cjelinu?
5. Koje su osnovne funkcije upravljačke jedinice vozila?

6. Identifikovati i razraditi izazove u vezi sa implementacijom sistema automatskog upravljanja u električnim vozilima.

7. Objasniti ulogu sistema za upravljanje baterijom u sistemu automatskog upravljanja električnim vozilom.

8. Istražiti nove tehnologije i trendove u sistemima automatskog upravljanja električnim vozilima.

Literatura

- [1] F. Alanazi, Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation, Applied Sciences 13, no. 10: 6016, 2023. <https://doi.org/10.3390/app13106016>
- [2] R.C. Dorf, R.H. Bishop, Modern Control Systems, 13th Edition, Pearson Prentice Hall, 2017
- [3] Y. Zhao, J. Hou, C. Wang, L. Chen and Q. Sun, Design of vehicle control research and development platform for a pure electric vehicle, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 11(2) 1–17, 2019. DOI: 10.1177/1687814019826427
- [4] H. Wang, T.Sun, X. Zhou and Q. Fan, Research on the Electric Vehicle Control System, International Journal of u- and e- Service, Science and Technology, Vol.8, No. 8, 2015, pp.103-110, <http://dx.doi.org/10.14257/ijunesst.2015.8.8.11>



Funded by
the European Union

Deliverable 3.5

Visokoškolske ustanove u Crnoj Gori će kreirati nastavni materijal u skladu s EM katalogom kurseva. Nastavni materijal, odnosno priručnik za studente, će biti pripremljen u elektronskom i papirnom obliku te pregledan od strane partnera iz Europske unije (do 100 stranica, B5).

Priručnik za električnu mobilnost

Poglavlje V – Internet inteligentih uređaja (IoT) za električna vozila

AUB Crna Gora

**Pripremili:
dr Oliver Popović
dr Nataša Gospić**

5. INTERNET INTELIGENTNIH UREĐAJA ZA ELEKTRIČNA VOZILA

5.1. Pojam Internet inteligentnih uređaja

Pojam Internet inteligentni uređaji (eng. *Internet of Things*, veoma često se koristi skraćenica IoT) se odnosi na mrežu fizičkih uređaja u koje su ugrađeni senzori, softver i mrežna veza koja im omogućava da prikupljaju i dele podatke. Navedeni uređaji se takođe mogu sresti i pod nazivom "pametni objekti". U pametne objekte spadaju jednostavni uređaji u *smarthome* rešenjima (utičnice, termostati), zatim prenosni uređaji poput pametnih satova, kao i složene industrijske mašine i transportni sistemi. Pored pametnih objekata, danas je veoma popularan termin "pametni gradovi" (eng. *smart cities*). Pametni gradovi su zasnovani na IoT tehnologijama.¹ IoT uređaji omogućavaju pametnim objektima da komuniciraju međusobno u lokalnoj mreži, kao i sa drugim uređajima kada postoji pristup Internetu, stvarajući ogromnu mrežu međusobno povezanih uređaja. Svi oni zajedno mogu da razmenjuju podatke i samostalno obavljaju različite zadatke. Ovo može uključiti upravljanje optimalnim rutama u saobraćaju pomoću pametnih automobila, a posebno je primenjivo kod električnih vozila. IoT teži da u sprezi sa električnim vozilima potpuno promeni auto industriju.

Ne postoji precizno definisana arhitektura IoT sistema, već se može reći da ona zavisi od namene konkretnog IoT-a.

Sledeća predložena arhitektura (slika 1) je prilagođena konceptu primene IoT-a u saobraćaju. Arhitektura se može prikazati kroz 4 sloja:

1. Sloj senzora (fizički sloj),
2. Sloj mrežnih uređaja (mrežni sloj),
3. Sloj obrade podataka (AI sloj)
4. Aplikacioni sloj (sloj interfejsa).

¹ "What is Internet of Things?" Hyperlink: <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>



Slika 1. Arhitektura IoT u saobraćaju

1. Sloj senzora

Sloj senzora predstavlja prvi sloj IoT arhitekture. Sastoji se od fizičkih senzora različitih namena koji prikupljaju podatke iz svoje okoline. Iz tog razloga sloj senzora se može nazvati i fizičkim slojem ove arhitekture. Prikupljeni podaci mogu biti o nivou napunjenosti baterija u vozilima, temperaturi, vlažnosti, svetlosti, zvuku, položaju drugih objekata u okolini, brzini kretanja i drugim fizičkim parametrima. Ovi uređaji su povezani sa mrežnim slojem preko žičanih ili bežičnih komunikacionih linija.

2. Sloj mrežnih uređaja

Sloj mrežnih uređaja ili mrežni sloj IoT arhitekture je odgovoran za obezbeđivanje komunikacije i povezivanja između uređaja u IoT sistemu na horizontalnom nivou, kao i povezivanje uređaja i komunikaciju sa centralnim serverom u svrhu dalje obrade podataka na vertikalnom nivou. Primeri mrežnih tehnologija koje se obično koriste u IoT-u uključuju WiFi, Bluetooth, kao i mobilne standarde kao što su 4G i 5G. Pored toga, mrežni sloj može uključivati i rutere koji deluju kao posrednici između IoT sistema i šireg Interneta. U ovaj sloj spadaju i komunikacioni protokoli. Neki od najvažnijih komunikacionih protokola koji se koriste u saobraćaju, a detaljnije su opisani u tački 5.3 su:

- **Open Charge Point Protocol (OCPP)** – namenjen za komunikaciju između centralnog upravljačkog sistema i stanica za punjenje.
- **Standard ISO 15118** – namenjen za komunikaciju između električnih vozila i infrastrukture za punjenje.

3. Sloj za obradu podataka

Sloj obrade podataka (AI sloj) IoT arhitekture odnosi se na softverske i hardverske komponente koje su odgovorne za prikupljanje, analizu i tumačenje podataka sa IoT uređaja. Ovaj sloj je odgovoran za primanje sirovih podataka sa uređaja, njihovu obradu i stavljanje na raspolaganje za dalju analizu ili radnju. Sloj za obradu podataka uključuje niz tehnologija i alata, kao što su sistemi za upravljanje podacima, platforme za analizu i algoritmi za mašinsko učenje. Ovi alati se koriste za izdvajanje važnih od nevažnih iz podataka i donošenje odluka na osnovu tih podataka uz pomoć veštačke inteligencije.

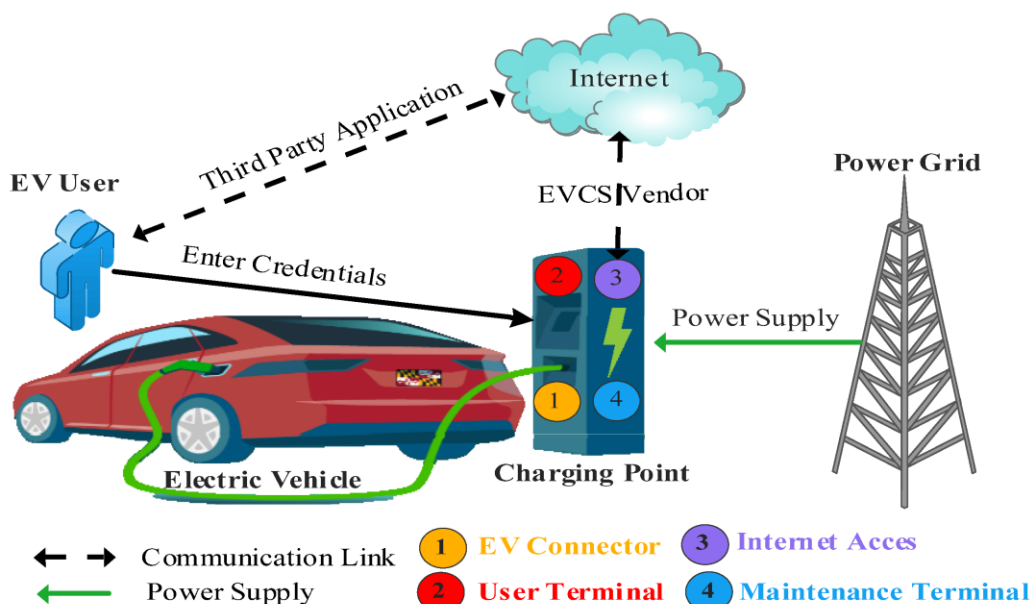
4. Sloj interfejsa

Sloj interfejsa (Aplikacioni sloj) IoT arhitekture je najviši sloj koji je u direktnoj interakciji sa krajnjim korisnikom. Odgovoran je za pružanje korisničkih interfejsa i funkcionalnosti koje omogućavaju korisnicima da pristupe i kontrolišu IoT uređaje. Ovaj sloj uključuje različite softvere i aplikacije kao što su mobilne aplikacije, veb portali i drugi korisnički interfejsi koji su dizajnirani za interakciju sa osnovnom IoT infrastrukturom. Ovo može uključivati alate za vizuelizaciju podataka i druge analitičke mogućnosti.

5.2. Integracija IoT i električne mobilnosti

U eri električne mobilnosti, primena savremenih tehnologija dovela je do integracije IoT u ovu oblast. Ključni aspekt ove integracije predstavlja koncept međusobne povezanosti svih vozila. Kako električna vozila (EV) postaju sve više rasprostranjena, komunikacija koju omogućava IoT pojavila se kao oslonac za efikasnost, pouzdanost i održivost čitavog ekosistema električne mobilnosti. Integracija IoT-a u električna vozila otvara nove mogućnosti inteligentnog transporta. Razmena podataka u realnom vremenu između električnih vozila i okolne infrastrukture osnažuje zainteresovane strane da donose informisane odluke koje optimizuju performanse saobraćaja.

Jedna od primarnih prednosti povezivanja vozila je i dinamička interakcija između električnih vozila i stanica za punjenje. Putem komunikacije omogućene za IoT, električna vozila mogu neprimetno da se povezuju sa infrastrukturom za punjenje, obezbeđujući ažuriranja u realnom vremenu o statusu baterije, napretku punjenja i predviđenim vremenima završetka (Slika 1). Ovo ne samo da nudi korisnicima veću pogodnost u upravljanju njihovim potrebama za punjenjem, već i omogućava stanicama za punjenje da dinamički prilagođavaju svoje operacije na osnovu potrošnje električne energije na mreži.



Slika 1. Međusobna povezanost punjenja električnog vozila i internet servisa²

IoT senzori ugrađeni u električna vozila imaju važnu ulogu u prikupljanju podataka u vezi sa stanjem baterije i obrascima korišćenja. Svi prikupljeni podaci služe kao osnova za strategije prediktivnog održavanja, obezbeđujući da se potencijalni problemi identifikuju i proaktivno rešavaju. Koristeći dobijene rezultate, proizvođači električnih vozila mogu produžiti životni vek baterija, smanjiti troškove održavanja i poboljšati ukupnu pouzdanost električnih vozila. Koncept povezanosti vozila takođe se proteže na širi ekosistem pametnih gradova i inteligentnih transportnih sistema. Sa IoT-om, električna vozila postaju sastavne komponente dinamičke mreže, doprinoseći optimizaciji toka saobraćaja, smanjenju zagušenja i poboljšanju kvaliteta vazduha. Ova međusobna povezanost nije ograničena na sama vozila, već se proteže na infrastrukturu, stvarajući odnos koji podstiče održivost i efikasnost.

Električna energija iz mreže se prenosi na EV koristeći punjač za električna vozila (eng. Electric Vehicle Charging Station - EVCS). EVCS je samostalna infrastruktura sa IoT komponentama koja radi na svom softveru. Javni EVCS je direktno povezan sa *cloud* serverom koji omogućava da korisnicima bude prikazan dostupan punjač u realnom vremenu, upravlja naplatom i prati statistiku potrošnje. Korisnici javnih punjača komuniciraju sa sistemom za upravljanje naplatom putem Interneta. Korisnici obično zakazuju sesije punjenja, postavljaju brzinu punjenja, započinju i završavaju punjenje i

² Hamdare S, Kaiwartya O, Aljaidi M, Jugran M, Cao Y, Kumar S, Mahmud M, Brown D, Lloret J. Cybersecurity Risk Analysis of Electric Vehicles Charging Stations. *Sensors*. 2023; 23(15):6716. <https://doi.org/10.3390/s23156716>

proveravaju status svojih električnih vozila koristeći ove usluge. Energetska infrastruktura mora biti ispravna i spremna za proces punjenja električnih vozila.[2]

Pošto je javni punjač za EV povezan na električnu mrežu i uzima potrebnu snagu iz nje, on predstavlja značajnu pretnju po pouzdanost i bezbednost napajanja. Svi podaci koji se razmenjuju između korisničke aplikacije, EV i EVCS moraju biti obezbeđeni kako bi se garantovala bezbednost i pouzdanost ekosistema. Proizvođači opreme, vlade država i EVCS operatori imaju svoje implementirane protokole u svrhu očuvanja sajber bezbednosti. Nedoslednosti izazvane nedostatkom standardizacije protokola mogu dovesti do ozbiljnih problema u sajber bezbednosti.³

Jedna od primarnih prednosti infrastrukture za pametno punjenje leži u njenoj sposobnosti da se daljinski nadgleda i kontroliše. Ovi podaci u realnom vremenu čine osnovu za sofisticirani sistem upravljanja energijom, omogućujući korisnicima i pružiocima usluga da donose odluke o tome kako se energija koristi tokom životnog ciklusa električnog vozila. Jedna od ključnih prednosti upravljanja energijom kroz IoT je implementacija strategija prediktivnog održavanja. Korišćenjem uvida dobijenih od IoT senzora, problemi sa ispravnosću baterije ili drugim komponentama mogu se predvideti pre nego što prerastu u kritične probleme. Ovaj proaktivni pristup ne samo da umanjuje rizik od neočekivanih kvarova, već i produžava životni vek baterija, smanjujući ukupni negativni uticaj električnih vozila na životnu sredinu. Upravljanje energijom zajedno sa IoT obuhvata širu infrastrukturu za punjenje. Stanice za punjenje opremljene IoT senzorima mogu dinamički da prilagođavaju svoje operacije na osnovu podataka u realnom vremenu, optimizujući rasporede punjenja tako da odgovaraju uslovima mreže i dostupnosti energije. Ovo ne samo da poboljšava ukupnu efikasnost procesa punjenja, već i doprinosi stabilnosti mreže izbegavanjem scenarija prevelike potražnje. Dalje, IoT olakšava razvoj pametnih algoritama i modela mašinskog učenja koji mogu analizirati ogromne skupove podataka kako bi identifikovali obrasce i trendove.⁴ Ovi uvidi se mogu iskoristiti za optimizaciju potrošnje energije, predviđanje kada i kako će se električno vozilo koristiti i prilagođavanje strategije upravljanja energijom u skladu s tim. Ovaj nivo inteligencije doprinosi stvaranju ekosistema električne mobilnosti koji bolje reaguje i prilagođava se.

³ Sayed, M.A.; Atallah, R.; Assi, C.; Debbabi, M. Electric vehicle attack impact on power grid operation. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2022, 137, 107784.

⁴ Deb S. Machine Learning for Solving Charging Infrastructure Planning Problems: A Comprehensive Review. *Energies.* 2021; 14(23):7833. <https://doi.org/10.3390/en14237833>

5.3. Integracija IoT uređaja

Postoje različiti vidovi integracije IoT uređaja sa saobraćajnom infrastrukturom. Svi oni su opisani kao komunikacija između vozila sa drugim entitetima i sreće se pod nazivom V2X - Vehicle-to-Everything (V2X). V2X je komunikacija između vozila i bilo kog entiteta koji može uticati na vozilo. To je sistem komunikacije vozila koji uključuje druge specifičnije vrste komunikacije. Za potrebe električne mobilnosti, najznačajnija je komunikacija tipa *Vehicle-to-Grid* (V2G) i *Vehicle-to-Vehicle* (V2V).

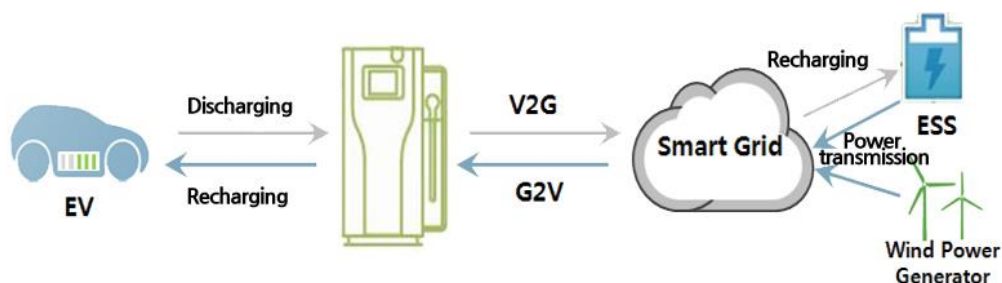
5.3.1. Vehicle-to-Grid (V2G) integracija

Jedan od najnovijih principa kod upravljanja energijom u električnoj mobilnosti izražen je integracijom tipa vozilo-električna mreža (eng. *Vehicle-to-Grid* - V2G), koju pokreće IoT. Ovaj inovativni koncept predstavlja promenu paradigme, transformišući električna vozila od pukih potrošača energije u aktivne učesnike u dinamičkom i dvosmernom sistemu razmene energije.

V2G integracija, koju omogućava IoT, uspostavlja komunikacioni most između električnih vozila i električne mreže. Ovaj dvosmerni tok energije otključava mnoštvo mogućnosti, pri čemu EV ne samo da crpe energiju iz mreže za punjenje, već imaju i mogućnost da povrate višak energije nazad u mrežu tokom perioda najveće potražnje u električnoj mreži.

U suštini V2G integracije nalazi se koncept fleksibilnosti mreže. Električna vozila, kada se ne koriste, mogu poslužiti kao mobilne jedinice za skladištenje energije. IoT senzori u električnim vozilima prate stanje njihovih baterija i stanje električne mreže, omogućavajući inteligentno donošenje odluka o tome kada da se pune, isprazne ili ostanu u režimu pripravnosti. Ova fleksibilnost omogućava električnoj mreži da dinamički balansira potražnju i snabdevanje električnom energijom, poboljšavajući ukupnu stabilnost i otpornost električne mreže.

V2G integracija (Slika 2), kroz IoT, takođe uvodi koncept odgovora na potražnju. Tokom perioda najveće potražnje, električna vozila mogu da otpuste uskladištenu energiju nazad u mrežu, delujući kao distribuirani energetske resursi. Ovo ne samo da ublažava pritisak na električnu mrežu, već i otvara puteve za operatore mreže da podstaknu vlasnike električnih vozila da učestvuju u programima odgovora na potražnju, stvarajući scenario na koji će svi biti na dobitku, potrošači i dobavljači energije.



Slika 2. Prikaz povezanih sistema u svrhu primene V2G integracije⁵

V2G integracija doprinosi efikasnom korišćenju obnovljivih izvora energije. Omogućavajući električnim vozilima da skladište višak energije proizvedene iz obnovljivih izvora tokom vremena niske potražnje, kao što je sunčano vreme ili kada duva vetar, mreža može da koristi ovu uskladištenu energiju tokom perioda najveće potražnje, smanjujući oslanjanje na neobnovljive resurse i promovisanje održivije energetske efikasnosti.

V2G IoT sistemi se oslanjaju na standardizovane komunikacione protokole kako bi omogućili interakciju između električnih vozila i mreže. Neki od protokola su **Open Charge Point Protocol (OCPP)** za komunikaciju sa stanicama za punjenje i standard **ISO 15118** za bezbednu komunikaciju između električnih vozila i infrastrukture za punjenje.

Open Charge Point Protocol (OCPP) je široko prihvaćen komunikacioni protokol koji olakšava interakciju između stanica za punjenje električnih vozila i centralnog sistema upravljanja. OCPP definiše standardni skup poruka i procedura, obezbeđujući interoperabilnost između različitih proizvođača stanica za punjenje i dobavljača softvera za centralno upravljanje.

OCPP koristi klijent-server arhitekturu, gde stanica za punjenje (Charge Point) deluje kao klijent, a centralni sistem upravljanja (CMS) služi kao server. Komunikaciju obično pokreće stanica za punjenje.

OCPP poruke se razmenjuju preko protokola veb usluga, obično preko HTTP-a ili WebSocket-a. Ovo osigurava da je komunikacija nezavisna od platforme i da se može implementirati pomoću standardnih veb tehnologija.

Centralni sistem upravljanja je odgovoran za upravljanje višestrukim stanicama za punjenje, rukovanje autentifikacijom korisnika, praćenje sesija naplate i prikupljanje podataka za potrebe izveštavanja i naplate.

⁵ Porteous, J. Are we ready for Vehicle-to-Grid (V2G) technology?, <https://www.evexperience.co.nz/are-we-ready-for-vehicle-to-grid-v2g-technology/>

ISO 15118 je međunarodni standard koji specificira komunikacioni protokol za sigurnu, dvosmernu komunikaciju između električnih vozila i infrastrukture za punjenje. Ovaj standard igra ključnu ulogu u omogućavanju bezbedne i standardizovane komunikacije tokom procesa punjenja.

ISO 15118 pokriva ceo proces komunikacije između EV i infrastrukture za punjenje, uključujući pokretanje punjenja, autentifikaciju, autorizaciju i upravljanje transakcijama.

Standard funkcioniše u sloju aplikacije OSI modela, definišući komunikacione protokole za žičane (npr. PLC – Power Line Communication) i bežične (npr. WLAN – bežična lokalna mreža ili mobilna mreža) veze.

ISO 15118 naglašava bezbednost tokom celog procesa komunikacije. Uključuje kriptografske tehnike kako bi se osigurala poverljivost i integritet podataka koji se razmenjuju između EV i infrastrukture za punjenje.

Jedna od ključnih karakteristika ISO 15118 je koncept *Plug and Charge*, koji omogućava automatsku i bezbednu komunikaciju između električnog vozila i stanice za punjenje. Sa *Plug and Charge*, EV mogu da se autentifikuju i autorizuju bez potrebe za dodatnim korisničkim unosom.

ISO 15118 se oslanja na upotrebu digitalnih sertifikata za uspostavljanje poverenja između EV i infrastrukture za punjenje. Digitalni sertifikati se razmenjuju tokom procesa komunikacije kako bi se proverila autentičnost obe strane.

Standard definiše mehanizme za autentifikaciju i autorizaciju EV-a da koristi infrastrukturu za punjenje. Ovo uključuje razmenu digitalnih potpisa i sertifikata kako bi se osiguralo da i EV i stanica za punjenje mogu biti entiteti od poverenja.

5.3.2. *Vehicle-to-Vehicle (V2V) integracija*

Komunikacija vozilo-vozilo (Vehicle-to-Vehicle V2V) se direktno oslanja na sistem IoT senzorskih uređaja koji su ugrađeni u vozilima. Sposobnost direktne komunikacije između vozila u saobraćaju predstavlja osnovnu karakteristiku ove tehnologije. V2V vid komunikacije se koristi za bežičnu razmenu podataka o brzini i položaju okolnih vozila.

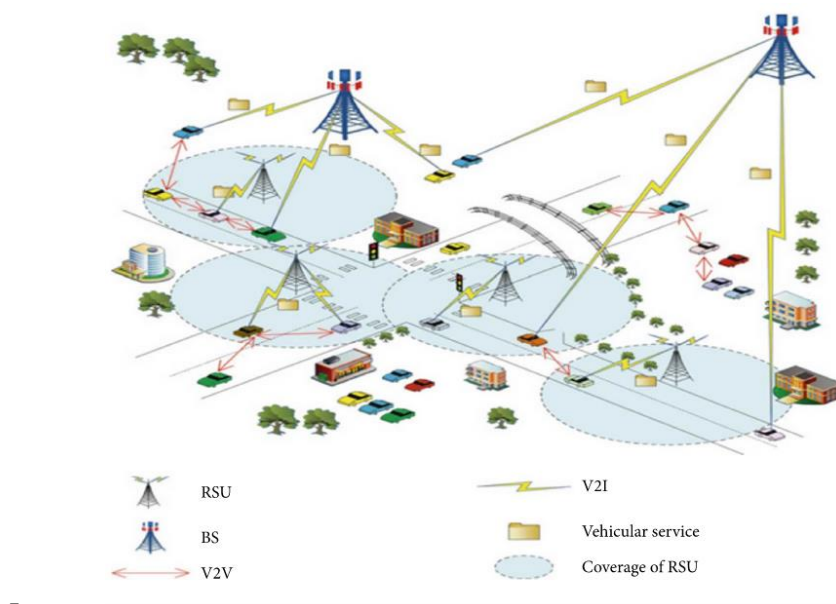
Direktna komunikacija između vozila (V2V) koja koriste Ad Hoc mreže se naziva Vehicular Ad-hoc NETwork (VANET).⁶ VANET mreže su konceptijski i terminološki direktno povezane sa V2V komunikacijom. Vozila mogu da komuniciraju sa infrastrukturom raspoređenom pored puteva koristeći komunikaciju tipa vozila-

⁶ F. B. Günay, E. Öztürk, T. Çavdar, Y. S. Hanay, and A. U. R. Khan, "Vehicular ad hoc network (VANET) localization techniques: a survey," Archives of Computational Methods in Engineering, 2020.

infrastruktura (V2I). Svako vozilo ima svoju *onboard* jedinicu (OBU) - računar vozila sa dodatnim funkcijama koje omogućavaju ovakav vid usluga. Infrastruktura je sačinjena od mreže komunikacionih jedinica (RSU) koje su postavljene pored puta.⁷ Slika 4 prikazuje arhitekturu VANET-a.

Neke od najsavremenijih bežičnih tehnologija koje omogućavaju autonomnim V2V vozilima da ostanu povezana su:

- **Sistem globalnog pozicioniranja (GPS)** - Integriše lokaciju objekta i vremenske reference za tačno i dosledno praćenje položaja vozila. Obično se ova tehnologija koristi da pomogne ljudima da se kreću između unapred određenih lokacija.
- **Inercijalni navigacioni sistem (INS)** - Sa ugrađenim IoT senzorima, ova tehnologija prati i procenjuje položaj, pravac i brzinu vozila.
- **Uređaji za lasersku detekciju** (eng. Laser Illuminated Detection And Ranging - **LIDAR**) - Uređaji za lasersku detekciju u vozilu će pomoći vozilu da prepozna svoju okolinu i konfiguraciju terena. Da bi se uspostavila prihvatljiva brzina i relativna orijentacija prema okolini, precizna merenja udaljenosti do objekata oslanjaju se na pouzdane podatke. Senzori ugrađeni u tradicionalnu saobraćajnu opremu na putu mogu komunicirati sa ugrađenim laserskim sistemima.



Slika 4. Prikaz upotrebe VANET mreže podržane IoT tehnologijom⁸

⁷ Elsaygher Mohamed, S. A., & AlShalfan, K. A. (2021). Intelligent traffic management system based on the internet of vehicles (IoV). Journal of advanced transportation, 2021, 1-23.

⁸ H. Fussler, S. Schnauffer, M. Transier, and W. Effelsberg, "Vehicular ad-hoc networks: from vision to reality and back," in Proceedings of the 2007 Fourth Annual Conference on Wireless on Demand Network Systems and Services, Obergurgl, Austria, January 2007.

Nova tehnologija komunikacije V2V preko VANET mreža vozila će poboljšati bezbednost na putevima omogućavajući vozilima da autonomno upozoravaju jedno drugo na opasnosti na putu.⁹ Istraživanja su pokazala da u nekim slučajevima informisanje samo jednog dela vozača o stanju na putu može imati negativan efekat i dovesti do povećanja zagušenja u saobraćaju.¹⁰

Prednosti upotrebe V2V tehnologije:

- Poboljšanje upravljanja saobraćajem,
- Asistencija u vožnji,
- Poboljšana efikasnost potrošnje goriva,
- Optimizacija rute,
- Prevencija sudara.

5.4. Zaključno razmatranje

Na osnovu napred iznetog mogu se sumirati osnovne prednosti kao i nedostaci implementacije IoT-a u električna vozila.

IoT uređaji donose poboljšanje efikasnosti u transportnom sektoru, omogućavajući praćenje u realnom vremenu i optimizaciju ruta. Ovo rezultira smanjenjem potrošnje goriva i emisije štetnih gasova, poboljšava operativnu efikasnost transportnih kompanija i dovodi do uštede troškova.

Sigurnost u transportu se unapređuje zahvaljujući IoT senzorima koji prikupljaju podatke o performansama vozila, ponašanju vozača i stanju puteva. Analizom ovih podataka identifikuju se potencijalni rizici, omogućavajući preduzimanje preventivnih mera i poboljšanje sigurnosti putnika i robe.

Sa porastom povezanosti IoT uređaja, transportni sektor postaje podložan sajber pretnjama. Potrebni su snažni sistemi sajber bezbednosti kako bi se sprečilo neovlašćeno pristupanje kritičnim sistemima.

Ipak, implementacija IoT uređaja u sektor transporta zahteva značajna ulaganja u infrastrukturu, uključujući senzore, komunikacione mreže i sisteme za skladištenje podataka. Ovo može predstavljati izazov, posebno u zemljama u razvoju kao što su zemlje Zapadnog Balkana.

⁹ Gould, Brendan T., and Philip N. Brown. "Information design for Vehicle-to-Vehicle communication." *Transportation research part C: emerging technologies* 150 (2023): 104084.

¹⁰ P. N. Brown, "When Altruism is Worse than Anarchy in Nonatomic Congestion Games," in 2021 American Control Conference (ACC), pp. 4503–4508, IEEE, May 2021.

PITANJA ZA PROVERU ZNANJA

1. Šta je Internet inteligentnih uređaja /IoT?
2. Iz kojih slojeva se sastoji arhitektura Internet inteligentnih uređaja -IoT?
3. Opisati sloj senzora.
4. Opisati sloj mrežnih uređaja.
5. Opisati način rada javnog punjača za električna vozila – EVCS.
6. Šta predstavlja integraciju Vehicle-to-Grid (V2G)? Objasniti.
7. Objasniti Open Charge Point Protocol (OCPP).
8. Objasniti standard ISO 15118.
9. Opisati integraciju tipa Vehicle-to-Vehicle (V2V).
10. Koje su prednosti upotrebe V2V tehnologije?

Reference

- [1] „What is Internet of Things?“ Hyperlink: <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>
- [2] Hamdare S, Kaiwartya O, Aljaidi M, Jugran M, Cao Y, Kumar S, Mahmud M, Brown D, Lloret J. Cybersecurity Risk Analysis of Electric Vehicles Charging Stations. *Sensors*. 2023; 23(15):6716. <https://doi.org/10.3390/s23156716>
- [3] Sayed, M.A.; Atallah, R.; Assi, C.; Debbabi, M. Electric vehicle attack impact on power grid operation. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2022, 137, 107784.
- [4] Deb S. Machine Learning for Solving Charging Infrastructure Planning Problems: A Comprehensive Review. *Energies*. 2021; 14(23):7833. <https://doi.org/10.3390/en14237833>
- [5] Porteous, J. Are we ready for Vehicle-to-Grid (V2G) technology?, <https://www.evexperience.co.nz/are-we-ready-for-vehicle-to-grid-v2g-technology/>
- [6] F. B. Günay, E. Öztürk, T. Çavdar, Y. S. Hanay, and A. U. R. Khan, “Vehicular ad hoc network (VANET) localization techniques: a survey,” *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2020
- [7] Elsagheer Mohamed, S. A., & AlShalfan, K. A. (2021). Intelligent traffic management system based on the internet of vehicles (IoV). *Journal of advanced transportation*, 2021, 1-23
- [8] H. Fussler, S. Schnauffer, M. Transier, and W. Effelsberg, “Vehicular ad-hoc networks: from vision to reality and back,” in *Proceedings of the 2007 Fourth Annual Conference on Wireless on Demand Network Systems and Services*, Obergurgl, Austria, January 2007
- [9] Gould, Brendan T., and Philip N. Brown. "Information design for Vehicle-to-Vehicle communication." *Transportation research part C: emerging technologies* 150 (2023): 104084
- [10] P. N. Brown, “When Altruism is Worse than Anarchy in Nonatomic Congestion Games,” in *2021 American Control Conference (ACC)*, pp. 4503–4508, IEEE, May 2021.



Funded by
the European Union

Dorëzimi 3.5

IAL-të e BB-së do të krijojnë materiale mësimore në përputhje me katalogun e kurseve të EM. Materiali mësimor – manual për nxënësit do të përgatitet në formë elektronike dhe në letër dhe do të rishikohet nga partnerët e BE-së. (deri në 100 faqe, B5).

Manuali i Lëvizshmërisë Elektrike për studentët

Universiteti “Aleksandër Moisiu”, Durrës, Shqipëri- UAMD

Autor : Alma Golgota, Erion Mali, Eduart Ndokaj,

Kapitulli 6. Drejtuesit e motorëve dhe konvertuesit e fuqisë për automjetet elektrike.

6. Drejtuesit e motorëve dhe konvertuesit e fuqisë për automjetet elektrike.

6.1 Motori elektrik DC 'i krehur'

6.1.1 Funksionimi i motorit bazë DC

Automjetet elektrike përdorin atë që mund të duket një gamë befasuese e llojeve të ndryshme të motorëve elektrikë. Sidoqoftë, forma më e thjeshtë e motorit elektrik, të paktën për t'u kuptuar, është motori DC i 'krehur'. Ky lloj motori përdoret shumë gjerësisht në aplikime të tilla si veglat portative, lodrat, dritaret me operim elektrik në makina dhe pajisje të vogla shtëpiake si tharëse flokësh, edhe nëse janë me energji elektrike AC. Megjithatë, ai përdoret ende si një motor tërheqës, megjithëse llojet e tjera të motorëve të konsideruar më vonë në këtë kapitull po bëhen më të zakonshme për këtë aplikim. Motori DC i krehur është një pikënisje e mirë sepse, përveçse përdoret gjerësisht, shumica e çështjeve të rëndësishme në kontrollin e motorit elektrik mund të shpjegohen më lehtë duke iu referuar këtij lloji motori.

Motori elektrik klasik DC është paraqitur në Figurën 6.1. Është një motor DC, i pajisur me magnet të përhershëm dhe furça.

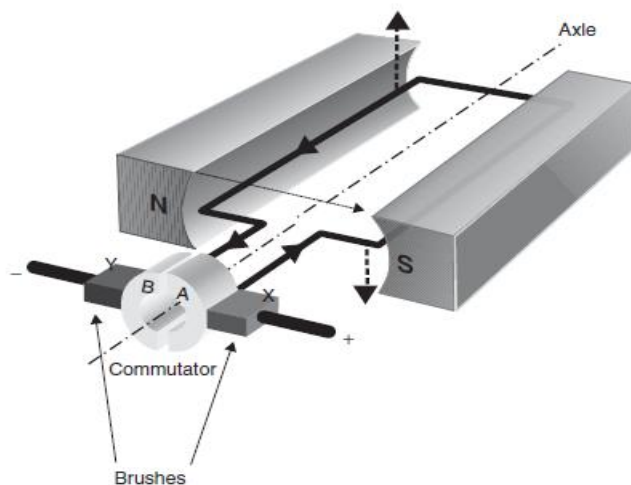


Figura 6.1 Diagrami për të shpjeguar funksionimin e motorit të thjeshtë të magnetit të përhershëm DC

Ky motor i thjeshtuar ka një spirale, dhe rryma që kalon nëpër tela pranë magnetit shkakton që një forcë të gjenerohet në spirale. Rryma rrjedh përmes furçës X, gjysmë unazës së komutatorit A, rreth spirales dhe del përmes gjysmë unazës së komutatorit tjetër B dhe furçës Y (XABY). Në njërin anë (siç tregohet në diagram) forca është lart, dhe nga ana tjetër është poshtë, sepse rryma po rrjedh prapa drejt furçave dhe komutatorit. Dy forcat bëjnë që spiralja të kthehet. Spiralja rrotullohet me komutatorin dhe sapo telat të jenë të lira nga magneti, momenti e mbart atë derisa gjysmë unazat e komutatorit të lidhen përsëri me furçat. Kur kjo ndodh, rryma rrjedh në të njëjtin drejtim në lidhje me magnetët, dhe për këtë arsye forcat janë në të njëjtin drejtim, duke vazhduar të rrotullojnë motorin si më parë.

Megjithatë, rryma tani do të rrjedhë përmes furçës X, gjysmë unazës B, rrethon spiralen në A dhe jashtë përmes Y, kështu që rryma do të rrjedhë në drejtim të kundërt përmes spirales (XBAY).

Veprimi i komutatorit siguron që rryma në spirale të vazhdojë të ndryshojë drejtimin, në mënyrë që forca të jetë në të njëjtin drejtim, edhe pse spiralja ka lëvizur.

Më të rëndësishmet prej tyre janë si më poshtë:

- Spiralja rrotulluese e telit, e quajtur shpesh armaturë, është e mbështjellë rreth një cope hekuri, në mënyrë që fusha magnetike e magnetëve të mos kalojë një hendek të madh ajri, i cili do të dobësonte fushën magnetike.
- Do të përdoret më shumë se një spirale, në mënyrë që një tel me rrymë të jetë pranë magnetëve për një pjesë më të madhe të kohës. Kjo do të thotë që komutatori nuk përbëhet nga dy gjysmë unaza (si në figurën 6.1) por nga disa segmente, dy segmente për secilën spirale.
- Çdo spirale do të përbëhet nga disa tela, në mënyrë që çift rrotullimi të rritet (më shumë tela, më shumë forcë).
- Mund të përdoren më shumë se një palë magnetë për të rritur më tej forcën e rrotullimit.

6.1.2 Çift rrotullues Karakteristikat e shpejtësisë

Nëse një tel në një motor elektrik ka një gjatësi l metra, mbart një rrymë I amper dhe është në një fushë magnetike me forcë B webers për metër katror, atëherë forca në tela është

$$F = BIl \quad (6.1)$$

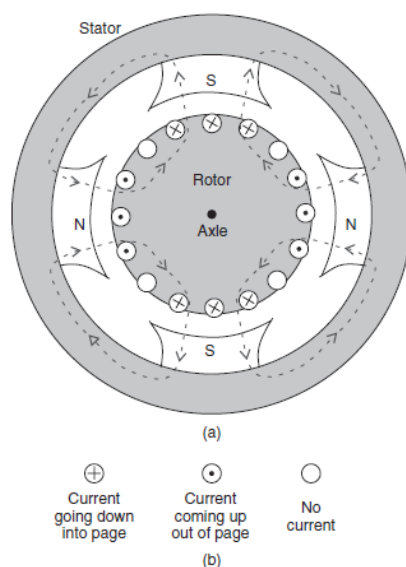


Figura 6.2(a) Prerje tërthore përmes një motori DC me katër pole. Vijat e ndërprera tregojnë fluksin magnetik. Çift rrotullimi i motorit është në drejtim të akrepave të orës. **(b)** Tregon konventën e përdorur për të treguar drejtimin e rrjedhës së rrymës në telat e tërhequr në prerje tërthore.

Nëse rrezja e spirales është r dhe armatura përbëhet nga n rrotullime, atëherë çift rrotullimi i motorit Tjepet nga ekuacioni

$$T = 2nrBIl \quad (6.2)$$

Termi $2Blr = B \times \text{zonë}$ mund të zëvendësohet me Φ , fluksi total që kalon nëpër spiralen. Kjo jep

$$T = n\Phi I \quad (6.3)$$

Megjithatë, ky është çift rrotullimi maksimal, kur spiralja është plotësisht në fluks, e cila është krejtësisht radiale. Në praktikë kjo nuk do të jetë gjithmonë kështu. Gjithashtu, nuk merret parasysh fakti që mund të ketë më shumë se një palë polesh magnetike, si në figurën 6.2. Pra, ne përdorim një K_m konstante, të njohur si konstanta e motorit, për të lidhur çift rrotullues mesatar me rrymën dhe fluksin magnetik. Vlera e K_m varet qartë nga numri i rrotullimeve në secilën spirale, por edhe nga numri i çifteve të shtyllave dhe aspekte të tjera të dizajnit të motorit. Kështu kemi

$$T = K_m \Phi I \quad (6.4)$$

nepra shikoni se rrotullimi i motorit është drejtpërdrejt proporcional me rrymën I rotorit (i quajtur edhe armaturë). Megjithatë, çfarë e kontrollon këtë rrymë? Është e qartë se varet nga voltazhi i furnizimit me motorin, E_s . Do të varet gjithashtu nga rezistenca elektrike e spirales së armaturës R_a . Por kjo nuk është e gjitha. Ndërsa motori rrotullohet, armatura do të lëvizë në një fushë magnetike. Kjo do të thotë se do të funksionojë si gjenerator ose dinamo. Nëse marrim parasysh makinën bazë të figurës 6.1 dhe marrim parasysh njërin anë të spirales, voltazhi i gjeneruar shprehet me ekuacionin bazë

$$E_b = Blv \quad (6.5)$$

Por meqë ka n kthesa, kemi

$$E_b = 2nrBl\omega \quad (6.6)$$

Ky ekuacion duhet të krahasohet me Ekuacionin (6.2). Me arsyetim të ngjashëm ne e thjeshtojmë atë në një ekuacion si Ekuacioni (6.4). Meqenëse është i njëjti motor, konstantja K_m mund të përdoret përsëri, dhe padyshim ka të njëjtën vlerë. Ekuacioni jep tensionin ose 'EMF-në e pasme' të krijuar nga efekti dinamo i motorit ndërsa rrotullohet:

$$E_b = K_m \Phi \omega \quad (6.7)$$

$$T = \frac{K_m \Phi E_s}{R_a} - \frac{(K_m \Phi)^2}{R_a} \omega \quad (6.8)$$

Ky ekuacion i rëndësishëm tregon se çift rrotullimi nga ky lloj motori ka një vlerë maksimale në shpejtësinë zero, kur ngec, dhe më pas bie në mënyrë të qëndrueshme me rritjen e shpejtësisë. Në këtë analizë ne kemi injoruar humbjet në formën e çift rrotullues të nevojshëm për të

kapërcyer fërkimin në kushineta, në komutator dhe humbjet e erës. Ky çift rrotullues përgjithësisht supozohet të jetë konstant, që do të thotë se forma e përgjithshme e ekuacionit (6.8) është ende e vërtetë dhe jep grafikun karakteristik të Figurës 6.3.

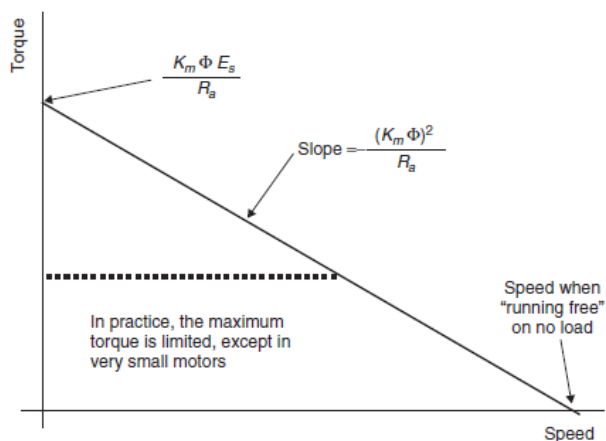


Figura 6.3 Grafik i rrotullimit/shpejtësisë për një motor DC të krehur

6.1.3 Kontrollimi i motorit DC të krehur

Figura 6.5 dhe ekuacioni (6.7) na tregojnë se motori DC i krehur mund të kontrollohet shumë lehtë. Nëse tensioni i furnizimit E_s zvogëlohet, atëherë çift rrotullimi maksimal bie në proporcion dhe pjerrësia e grafikut të çift rrotullimit/shpejtësisë është e pandryshuar. Me fjalë të tjera, çdo çift rrotullues dhe shpejtësi mund të arrihet nën vlerat maksimale. Ne do të shohim në seksionin 6.2 se tensioni i furnizimit mund të kontrollohet thjesht dhe me efikasitet, kështu që kjo është një mënyrë e mirë për të kontrolluar këtë lloj motori.

Megjithatë, ulja e tensionit të furnizimit nuk është mënyra e vetme për të kontrolluar këtë lloj motori. Në disa raste mund të arrijmë kontroll edhe duke ndryshuar fluksin magnetik Φ . Kjo është e mundur nëse mbështjelljet dhe jo magnetet e përhershëm sigurojnë fushën magnetike. Nëse fluksi magnetik zvogëlohet, atëherë çift rrotullimi maksimal bie, por pjerrësia e grafikut të çift rrotullimit/shpejtësisë bëhet më e sheshtë. Figura 6.5 e ilustron këtë.

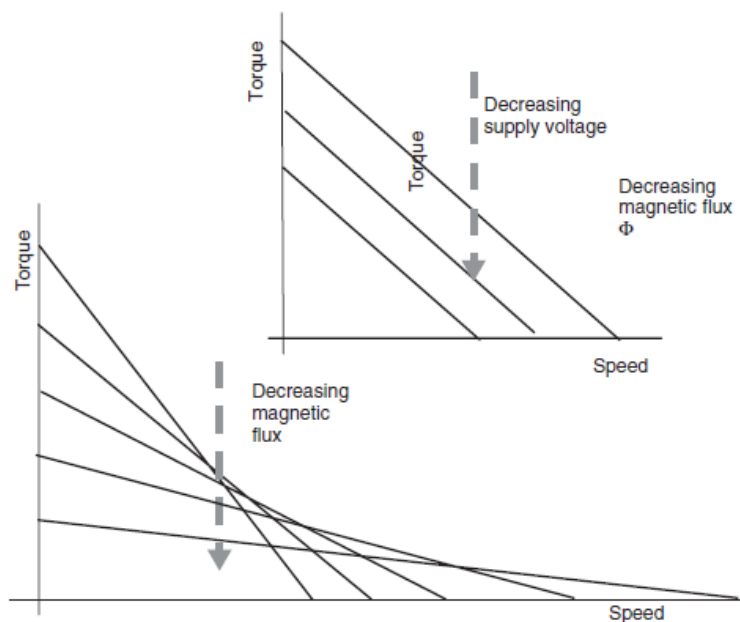


Figura 6.5 Si ndikon ndryshimi i tensionit të furnizimit dhe fuqisë së fushës magnetike karakteristikat e çift rrotullimit/shpejtësisë së motorit DC.

Kështu, motori mund të funksionojnë në një gamë të gjerë çift rrotullues dhe shpejtësie. Kjo metodë ndonjëherë është më e mirë sesa thjesht përdorimi i kontrollit të tensionit, veçanërisht në funksionimin me shpejtësi të lartë/me çift rrotullues të ulët, gjë që është mjaft e zakonshme në automjetet elektrike që lundrojnë afër shpejtësisë së tyre maksimale. Arsyeja për këtë është se humbjet e hekurit që do të diskutohen në seksionin 6.1.5 më poshtë, dhe që lidhen me shpejtësi të lartë dhe fusha të forta magnetike, mund të reduktohen ndjeshëm.

Pra, motori DC i krehur është shumë fleksibël për sa i përket metodës së kontrollit, veçanërisht nëse fluksi magnetik Φ mund të ndryshojë. Kjo na çon në seksionin tjetër, ku përshkruhet sigurimi i fluksit magnetik.

6.1.4 Sigurimi i fushës magnetike për motorët DC

Në figurat 6.1 dhe 6.2, fusha magnetike e nevojshme për të bërë rrotullimin e motorit sigurohet nga magnet të përherëshëm. Megjithatë, kjo nuk është mënyra e vetme që mund të bëhet. Është e mundur të përdoren mbështjellje, nëpër të cilat kalon një rrymë, për të prodhuar fushën magnetike. Këto mbështjellje të fushës vendosen në statorin e motorit elektrik.

Një avantazh i përdorimit të elektromagnetëve për të siguruar fushën magnetike është se forca e fushës magnetike Φ mund të ndryshohet duke ndryshuar rrymën. Një avantazh tjetër është se është një mënyrë më e lirë për të prodhuar një fushë magnetike të fortë – megjithëse kjo po bëhet gjithnjë e më pak një faktor me përmirësimin e prodhimit të magnetëve të përherëshëm. Disavantazhi kryesor është se mbështjelljet e fushës konsumojnë rrymë elektrike dhe gjenerojnë nxehtësi - kështu që duket se motori është pothuajse i detyruar të jetë më pak efikas. Në praktikë, kontrolli shtesë i fushës magnetike shpesh mund të rezultojë në funksionim më efikas të motorit, pasi humbjet e hekurit që do të diskutohen në seksionin vijues mund të reduktohen. Rezultati është se motorët DC të krehur me mbështjellje në terren ende përdoren shpesh në automjetet elektrike.

Ekzistojnë tre lloje klasike të motorëve DC të krehur me mbështjellje në terren, siç tregohet në

figurën 6.6. Megjithatë, këtu na shqetëson vetëm një nevojë. Sjellja e motorëve 'seri' dhe 'shunt' merret parasysh në librat mbi inxhinierinë bazë elektrike. Megjithatë, ato lejojnë kontrollin e shpejtësisë dhe çift rrotullues që kërkohet në një automjet elektrik; i vetmi pretendent serioz është motori 'i ngacmuar veçmas', si në figurën 6.6c.

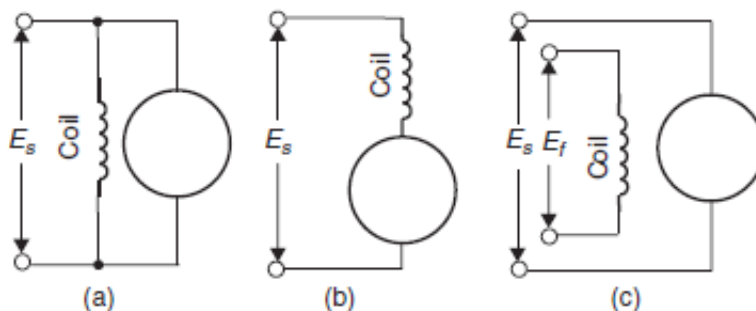


Figura 6.6(a-c) Tre metoda standarde të furnizimit me rrymë në një spirale që siguron fushën magnetike për motorët DC me furçë.

6.1.5 Efikasiteti i motorit DC

Burimet kryesore të humbjes në motorin elektrik DC të krehur janë të njëjta si për të gjitha llojet e motorëve elektrikë dhe mund të ndahen në katër lloje kryesore.

Së pari, janë humbjet e bakrit. Këto shkaktohen nga rezistenca elektrike e telave (dhe furçave) të motorit. Kjo shkaktën ngrohjen dhe një pjesë e energjisë elektrike të furnizuar kthehet në energji termike dhe jo në punë elektrike. Efekti ngrohës i një rryme elektrike është proporcional me katrorin e rrymës:

$$P = I^2 R$$

Megjithatë, ne e dimë nga ekuacionet (6.3) dhe (6.4) se rryma është proporcionale me çift rrotullues T të dhënë nga motori, kështu që mund të themi se

$$P_c = k_c T^2 \quad (6.10)$$

ku P_c -Humbjet e bakrit, k_c janë një konstante në varësi të rezistencës së furçave dhe spirales, si dhe fluksit magnetik Φ . Këto humbje të bakrit janë ndoshta më të thjeshtat për t'u kuptuar dhe, veçanërisht në motorët më të vegjël, ato janë shkaku më i madh i joefikasitetit.

Burimi i dytë kryesor i humbjeve janë humbjet e hekurit, sepse ato shkaktohen nga efektet magnetike në hekurin e motorit, veçanërisht në rotor. Ka dy shkaqe kryesore të këtyre humbjeve të hekurit, por për të kuptuar të dyja, duhet kuptuar se fusha magnetike në rotor ndryshon vazhdimisht.

Kategoria e tretë e humbjeve është ajo për shkak të fërkimit dhe erës. Sigurisht që do të ketë një çift rrotullues fërkimi në kushinetat dhe furçat e motorit. Rotori do të ketë gjithashtu një rezistencë ndaj erës, e cila mund të jetë mjaft e madhe nëse një tifoz është i vendosur në rotor për ftohje. Forca e fërkimit normalisht do të jetë pak a shumë konstante. Megjithatë, forca e

rezistencës së erës do të rritet me katrorin e shpejtësisë. Për të arritur fuqinë e lidhur me këto forca, ne duhet të shumëzojmë me shpejtësinë, si

$$\text{Fuqia} = \text{çift rrotullues} \times \text{shpejtësi këndore}$$

Fuqia e përfshirë në këto forca do të jetë atëherë

$$P_f = T_f \cdot \omega \text{ dhe } P_\omega = k_\omega \cdot \omega^3 \quad (6.12)$$

ku P_f – fuqia e fërkimit, T_f – çift rrotullimi i fërkimit dhe P_ω – fuqia e erës, k_ω është një konstante në varësi kryesisht nga madhësia dhe forma e rotorit, dhe nëse është vendosur apo jo një tifoz ftohës.

$$\text{Totalhumbje} = k_c T^2 + k_i \omega + k_\omega \omega^3 + C \quad (7.13)$$

6.1.6 Motorët elektrikë si frena

Fakti që një motor elektrik mund të përdoret për të kthyer energjinë kinetike në energji elektrike është një tipar i rëndësishëm i automjeteve elektrike. Mënyra se si funksionon kjo është më e lehtë për t'u kuptuar në rastin e motorit klasik DC me furça, por parimet e gjera vlejnë për të gjitha llojet e motorëve.

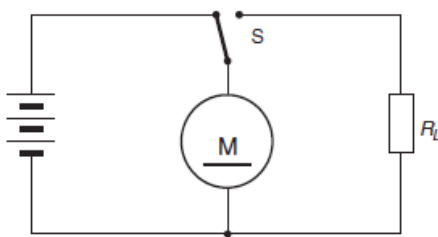


Figura 6.8 Qarku i motorit me rezistencë që përdoret për frenim dinamik

Merrni parasysh figurën 6.8. Një motor DC është i lidhur me një bateri me rezistencë të papërfillshme të brendshme dhe tension E_s . Ai arrin një gjendje të qëndrueshme, duke siguruar një çift rrotullues T me një shpejtësi ω . Këto variabla do të lidhen me ekuacionin (6.7). Supozoni se çelësi S tani është zhvendosur djathtas. Motori do të vazhdojë të lëvizë me të njëjtën shpejtësi këndore. Kjo do të shkaktojë që të gjenerohet një tension, siç është dhënë nga ekuacioni (6.6). Ky tension do të aplikohet në rezistencën R_L , si në figurën 6.8, me rrymë të kufizuar më tej nga rezistenca e bobinës së rotorit (armatura).

Rezultati është se rryma do të jepet nga formula

$$I = \frac{K_m \Phi \omega}{R_a + R_L} \quad (6.15)$$

Kjo rrymë do të rrjedhë nga motori dhe do të rezultojë në një çift rrotullues negativ. Vlera e këtij çift rrotullues do të jepet ende nga ekuacioni i çift rrotullues i prodhuar më herët si Ekuacioni (6.4). Pra, çift rrotullimi negativ, i cili do të ngadalësojë motorin, do të jepet nga ekuacioni

$$T = -\frac{(K_m \Phi)^2 \omega}{R_a + R_L} \quad (6.16)$$

nepra kanë një çift rrotullues negativ, vlera e të cilit mund të kontrollohet duke ndryshuar rezistencën RL. Vlera e këtij çift rrotullues bie ndërsa shpejtësia ω zvogëlohet. Pra, nëse RL është konstante, ne mund të presim që shpejtësia të bjerë në një mënyrë eksponenciale në zero.

Kjo mënyrë e ngadalësimit të një motori elektrik, duke përdorur një rezistencë, njihet si 'frenim dinamik'. Vini re se e gjithë energjia kinetike e motorit (dhe automjetit të lidhur me të) në fund të fundit shndërrohet në nxehtësi, ashtu si frenat normale të fërkimit. Megjithatë, ne kemi kontroll se ku prodhohet nxehtësia, gjë që mund të jetë e dobishme. Ne gjithashtu kemi potencialin e një metode elegante të kontrollit të çift rrotullues të frenimit. Sidoqoftë, përparimi ndaj frenave normale të fërkimit nuk është shumë i madh dhe do të ishte shumë më mirë nëse energjia elektrike e prodhuar nga motori mund të ruhet në një bateri ose kondensator.

Nëse rezistenca e figurës 6.8 do të zëvendësohej nga një bateri, atëherë do të kishim një sistem të njohur si 'frenim rigjenerues'. Megjithatë, lidhja e thjeshtë e një baterie me motorin nuk është praktike. Supozoni se voltazhi i baterisë është V_b , dhe motori po rrotullohet me shpejtësi ω ; atëherë rryma që do të rrjedhë nga motori do të jepet nga ekuacioni

$$I = \frac{V}{R} = \frac{K_m \Phi \omega - V_b}{R_a}$$

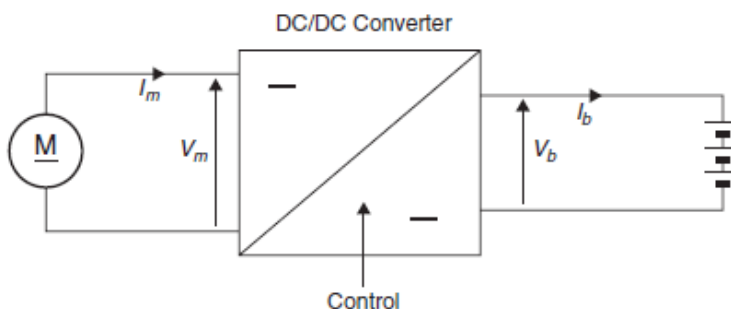


Figura 6.9 Frenimi rigjenerues i një motori DC.

Çift rrotullimi i ngadalësimit do të jetë proporcional me këtë rrymë. Sapo vlera e ω të arrijë vlerën ku voltazhi i gjeneruar i motorit ($=K_m \Phi \omega$) arrin tensionin e baterisë, atëherë nuk do të ketë më efekt frenimi. Nëse voltazhi i baterisë nuk është shumë i ulët, atëherë kjo do të ndodhë shumë shpejt. Nëse voltazhi i baterisë është i ulët, atëherë do të jetë e vështirë të përdoret energjia e ruajtur në të dhe efekti i frenimit mund të jetë shumë i fortë me shpejtësi të lartë, me rrymën e dhënë nga ekuacioni (6.16) të jetë praktikisht e madhe.

Një zgjidhje qëndron në një qark konvertues të tensionit si në figurën 6.9. Njësia e konvertuesit, e njohur si 'konvertues DC/DC', tërheq një rrymë nga motori I_m , e cila do të ndodhë në një tension V_m . Ky tension V_m do të ndryshojë me shpejtësinë e motorit (dhe rrjedhimisht të automjetit). Rryma I_m do të ndryshojë me çift rrotulluesin e dëshiruar të frenimit. Konvertuesi DC/DC do ta marrë këtë fuqi elektrike ($=V_m \times I_m$) dhe do ta nxjerrë jashtë me një tension të rritur (dhe rrymë të reduktuar) në mënyrë që të përputhet me baterinë ose kondensatorin e rikarikueshëm që ruan energjinë. Bateria mund të jetë fare mirë e njëjta bateri që siguroi

energjinë elektrike për ta bërë motorin të funksionojë në radhë të parë. Pika kryesore është se voltazhi i motorit mund të jetë dukshëm më i ulët se tensioni i baterisë, por gjithsesi mund të ngarkojë baterinë.

6.2 Rregullimi DC dhe Konvertimi i Tensionit

6.2.1 Pajisjet komutuese

Tensioni nga të gjitha burimet e energjisë elektrike ndryshon me kohën, temperaturën dhe shumë faktorë të tjerë, veçanërisht rrymën. Qelizat e karburantit, për shembull, janë veçanërisht të rregulluara keq dhe do të jetë gjithmonë e nevojshme të kontrollohet tensioni i daljes në mënyrë që të ndryshojë vetëm midis kufijve të caktuar. Tensioni i baterisë është në fakt i rregulluar mjaft mirë, por shpesh ne do të duam të ndryshojmë tensionin, në një vlerë më të ulët ose më të lartë, zakonisht për të kontrolluar shpejtësinë e një motori. Ne pamë në pjesën e mëparshme se nëse një motor elektrik do të përdoret në frenimin rigjenerues, ne duhet të jemi në gjendje të rrisim tensionin (dhe të zvogëlojmë rrymën) në një mënyrë të ndryshueshme vazhdimisht.

Shumica e pajisjeve elektronike dhe elektrike kërkojnë një tension mjaft konstant. Kjo mund të arrihet duke ulur tensionin në një vlerë fikse nën diapazonin e funksionimit të qelizës së karburantit ose baterisë, ose duke e rritur atë deri në një vlerë fikse. Në raste të tjera ne duam të prodhojmë një tension të ndryshueshëm (p.sh. për një motor) nga tensioni pak a shumë i fiksuar i një baterie. Çfarëdo ndryshimi që kërkohet, ai bëhet duke përdorur qarqet 'ndërprerëse' ose 'prerëse', të cilat përshkruhen më poshtë. Këto qarqe, si dhe invertorët dhe kontrollorët e motorit që do të përshkruhen në seksionet e mëvonshme, përdorin çelësa elektronikë.

Transistori i efektit të fushës gjysmëpërçuese të oksidit metalik (MOSFET) ndizet duke aplikuar një tension, zakonisht midis 5 dhe 10 V, në portë. Kur "ndizet", rezistenca midis kullimit (d) dhe burimit (s) është shumë e ulët. Fuqia e nevojshme për të siguruar një rezistencë shumë të ulët është e vogël, pasi rryma në portë është e ulët. Sidoqoftë, porta ka një kapacitet të konsiderueshëm, kështu që zakonisht përdoren qarqe speciale të drejtimit. Rruga aktuale sillet si një rezistencë, vlera e të cilit ON është $R_{DS(on)}$. Vlera e $R_{DS(on)}$ për një MOSFET të përdorur në qarqet e rregullimit të tensionit mund të jetë deri në rreth 0.01Ω . Megjithatë, vlera të tilla të ulëta janë të mundshme vetëm me pajisjet që mund të kalojnë tensione të ulëta, në rajonin prej 50 V.

Transistori bipolar i portës së izoluar (IGBT) është në thelb një qark i integruar që kombinon

një transistor bipolar konvencional dhe një MOSFET, dhe ka avantazhet e të dyjave. IGBT kërkon një tension mjaft të ulët, me rrymë të papërfillshme në portë për t'u ndezur. Rrjedha kryesore e rrymës është nga kolektori në emetues dhe kjo rrugë ka karakteristikat e kryqëzimit ap-n. Kjo do të thotë që voltazhi nuk rritet shumë mbi 0.6V në të gjitha rrymat brenda vlerësimit të pajisjes. Kjo e bën atë zgjedhjen e preferuar për sistemet ku rryma është më e madhe se rreth 50 A. IGBT-të mund të bëhen gjithashtu për të përballuar tensione më të larta.

Tiristori ka qenë çelësi elektronik më i përdorur në elektronikën e energjisë. Ndryshe nga MOSFET dhe IGBT, tiristori mund të përdoret vetëm si ndërprerës elektronik - ai nuk ka aplikime të tjera. Kalimi nga gjendja e bllokimit në gjendjen përcjellëse shkaktohet nga një impuls i rrymës në portë. Pajisja më pas mbetet në gjendje përcjellëse derisa rryma që rrjedh

nëpër të të bjerë në zero. Kjo veçori e bën atë veçanërisht të dobishëm në qarqet për korrigjimin e AC, ku përdoret ende gjerësisht. Megjithatë, variante të ndryshme të tiristorit, veçanërisht tiristori i mbylljes së portës (GTO), mund të fiken, edhe kur rrjedh një rrymë, duke aplikuar një impuls të rrymës negative në portë.

6.2.2 Rregullatorët e ngritjes ose "Buck".

Rregullatori (ose chopper) i komutimit 'shkallë-poshtë' ose 'buck' është paraqitur në figurën 6.12. Komponentët thelbësorë janë një çelës elektronik me një qark lëvizës të lidhur, një diodë dhe një induktor. Në figurën 6.12a çelësi është i ndezur dhe rryma rrjedh nëpër induktor dhe ngarkesë. Induktori prodhon një EMF të pasmë, duke e bërë rrymën gradualisht të rritet. Ndërprerësi më pas fiket. Energjia e ruajtur në induktor mban rrymën të rrjedhë përmes ngarkesës, duke përdorur diodën, si në figurën 6.12b. Tensioni në të gjithë ngarkesën mund të zbutet më tej duke përdorur kondensatorë nëse është e nevojshme.

Nëse V_1 është tensioni i furnizimit, dhe koha e 'ndezjes' dhe 'fikjes' për çelësin elektronik janë t_{AKTIV} dhe t_{OFF} , atëherë mund të tregohet se tensioni i daljes V_2 jepet nga

$$V_2 = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} V_1$$

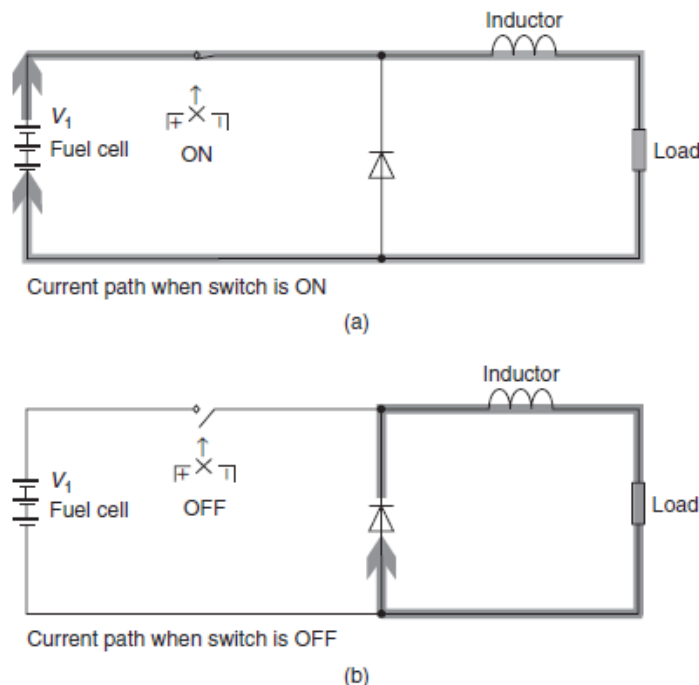


Figura 6.12 Diagrami i qarkut që tregon funksionimin e një rregullatori të uljes së modalitetit të kalimit

6.2.3 Rregullatori i ndërrimit Step-Up ose 'Boost'

Shpesh është e dëshirueshme të rritet ose të rritet një tension DC, frenimi rigjenerues është vetëm një shembull. Kjo gjithashtu mund të bëhet mjaft thjesht dhe me efikasitet duke përdorur qarqet komutuese. Qarqet e rritjes së tensionit nevojiten gjithashtu për frenimin rigjenerues. Qarku i figurës 6.15 është baza që përdoret zakonisht. Ne e fillojmë shpjegimin tonë duke supozuar se një ngarkesë është në kondensator. Në figurën 6.15a çelësi është i ndezur dhe një rrymë elektrike po krijohet në induktor. Ngarkesa furnizohet nga shkarkimi i kondensatorit. Dioda parandalon kthimin e ngarkesës nga kondensatori përmes çelësit. Në figurën 6.15b çelësi është i fikur. Tensioni i induktorit rritet ndjeshëm, sepse rryma po bie. Sapo voltazhi të rritet mbi atë të kondensatorit (plus rreth 0,6 V për diodën), rryma do të rrjedhë nëpër diodë dhe do të ngarkojë kondensatorin dhe do të rrjedhë përmes ngarkesës. Kjo do të vazhdojë për sa kohë që ka ende energji në induktor. Ndërprerësi mbyllet përsëri, si në figurën 6.15a, dhe induktori ri-energizohet ndërkohë që kondensatori furnizon ngarkesën. Tensionet më të larta arrihen duke fikur ndërprerësin për një kohë të shkurtër. Mund të tregohet se për një konvertues ideal pa humbje

$$V_2 = \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{t_{OFF}} V_1$$

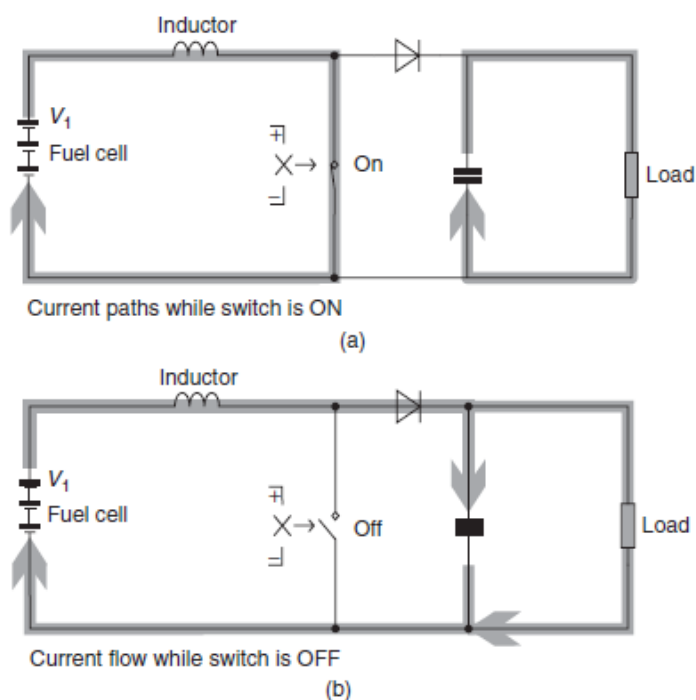


Figura 6.15 Diagrami i qarkut për të treguar funksionimin e një rregullatori të rritjes së modalitetit të ndërprerësit.

Këta qarqe ndërruesish ose helikopterësh të rritjes dhe uljes quhen konvertues DC/DC.

6.2.4 Invertorët njëfazor

Qarqet e dy seksioneve të mëparshme janë baza e kontrollit të motorit klasik DC. Megjithatë, motorët që do të shqyrtohen në seksionin vijues kërkojnë rrymë alternative. Qarku që prodhon AC nga burimet DC si bateritë dhe qelizat e karburantit njihet si një inverter. Do të fillojmë me inverterin njëfazor.

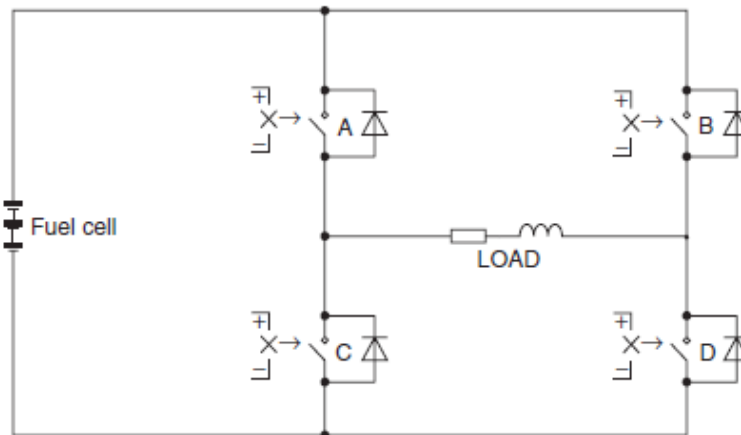


Figura 6.17 Qarku i inverterit të urës H për prodhimin e rrymës alternative njëfazore

Funksionimi bazë i inverterit është mjaft i thjeshtë. Çelësat e parë A dhe D janë ndezur dhe një rrymë rrjedh në të djathtë përmes ngarkesës. Këta dy ndërprerës më pas fiken - në këtë pikë ne shohim nevojën për dioda. Ngarkesa ndoshta do të ketë njëfarë induktiviteti, dhe kështu rryma nuk do të jetë në gjendje të ndalojë menjëherë, por do të vazhdojë të rrjedhë në të njëjtin drejtim, përmes diodave nëpër çelësat B dhe C, përsëri në furnizim. Ndërprerësit B dhe C ndizen më pas dhe një rrymë rrjedh në drejtim të kundërt, në të majtë. Kur këta ndërprerës fiken, rryma kalon 'rrota të lira' nëpër dioda paralelisht me çelësat A dhe D.

Dallimi midis një vale të pastër sinus dhe çdo formë valore tjetër shprehet duke përdorur idenë e 'harmonikës'. Këto janë lëkundje sinusoidale të tensionit ose rrymës, frekuenca e të cilave, f_v , është një shumëfish i plotë i frekuencës themelore të lëkundjes. Mund të tregohet se çdo formë vale periodike e çdo forme mund të përfaqësohet nga shtimi i harmonikëve në një valë sinusale themelore. Procesi i gjetjes së këtyre harmonikave njihet si analiza Fourier. Për shembull, mund të tregohet se një valë katrore me frekuencë f mund të shprehet me ekuacion

$$v = \sin(\omega t) - \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) - \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \frac{1}{9} \sin(9\omega t) \dots$$

Pra, ndryshimi midis një forme vale të tensionit ose rrymës dhe një vale të pastër sinus mund të shprehet në terma të harmonikëve të frekuencës më të lartë të vendosura në frekuencën themelore.

6.2.5 Trefazore

Shumica e motorëve të mëdhenj, të llojit të përdorur në automjetet elektrike, kanë tre grupe mbështjelljesh dhe jo vetëm një. Për këto sisteme – si dhe për sistemet e rregullta të rrjetit – nevojitet një furnizim me AC "trefazor".

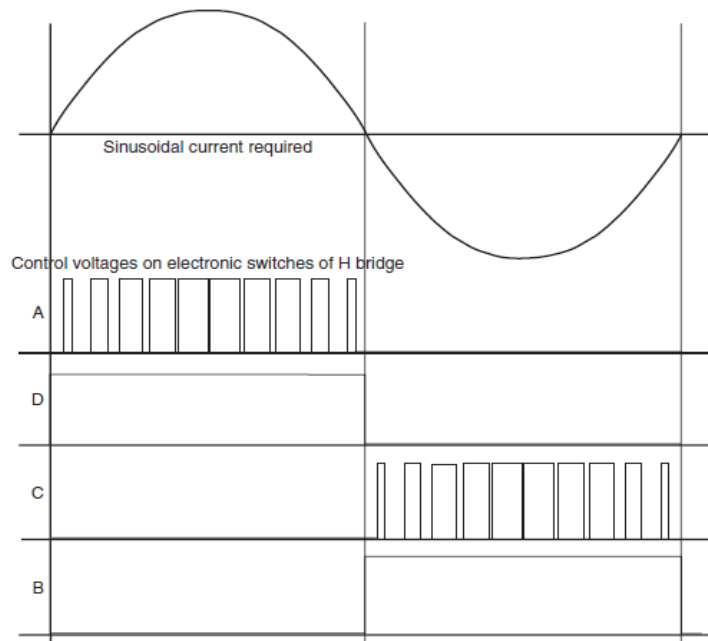


Figura 6.19 Sekuenca e ndërrimit të modulimit të gjerësisë së pulsit për të prodhuar një përafërsisht sinusoidale rrymë alternative nga qarku i figurës 6.17

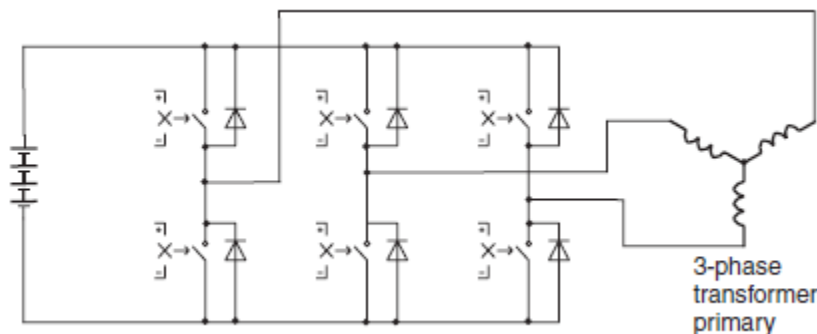


Figura 6.21 Qarku i inverterit trefazor

Një furnizim i tillë është vetëm pak më i komplikuar se njëfazor. Qarku bazë është paraqitur në figurën 6.21. Gjashtë çelësa, me dioda me rrota të lirë, janë të lidhur me transformatorin trefazor në të djathtë. Mënyra në të cilën këta ndërprerës përdoren për të gjeneruar tre tensione të ngjashme por jashtëfazore është paraqitur në figurën 6.22. Çdo cikël mund të ndahet në gjashtë hapa. Në praktikë sekuenca shumë e thjeshtë e komutimit të figurës 6.22 modifikohet duke përdorur modulimin e gjerësisë së pulsit.

6.3 Motorë elektrikë pa furçë

6.3.1 Hyrje

Në seksionin 6.1 kemi përshkruar motorin elektrik klasik DC. Furçat e këtij motori janë një problem i dukshëm - do të ketë fërkime midis furçave dhe komutatorit dhe të dyja gradualisht do të konsumohen. Megjithatë, një problem më serioz me këtë lloj motori u ngrit në seksionin 6.1.5. Kjo është se nxehtësia e lidhur me humbjet gjenerohet në mes të motorit, në rotor. Nëse motori do të mund të rregullohej në mënyrë që nxehtësia të gjenerohej në statorin e jashtëm, kjo do të lejonte që nxehtësia të hiqej shumë më lehtë dhe do të lejonte motorë më të vegjël. Nëse furçat mund të hidhen gjithashtu, atëherë kjo do të ishte një bonus. Në këtë seksion ne përshkruajmë tre lloje të motorëve që përdoren si motorë tërheqës në automjetet që plotësojnë këto kërkesa.

6.3.2 Motori DC pa furçë

Motori DC (BLDC) pa furça është me të vërtetë një motor AC! Rryma përmes saj alternon, siç do ta shohim. Quhet një "motor DC pa furça" sepse rryma alternative duhet të jetë me frekuencë të ndryshueshme dhe rrjedhimisht nga një furnizim DC, dhe sepse karakteristikat e tij të shpejtësisë / çift rrotullues janë shumë të ngjashme me motorin e zakonshëm "me furça" DC. Si rezultat i faktit se 'BLDC' nuk është një emër plotësisht i kënaqshëm, ai njihet gjithashtu si 'motor AC vetë-sinkron', 'motor sinkron me frekuencë të ndryshueshme', 'motor sinkron me magnet të përhershëm' dhe 'motor me komutim elektronik' (ECM).

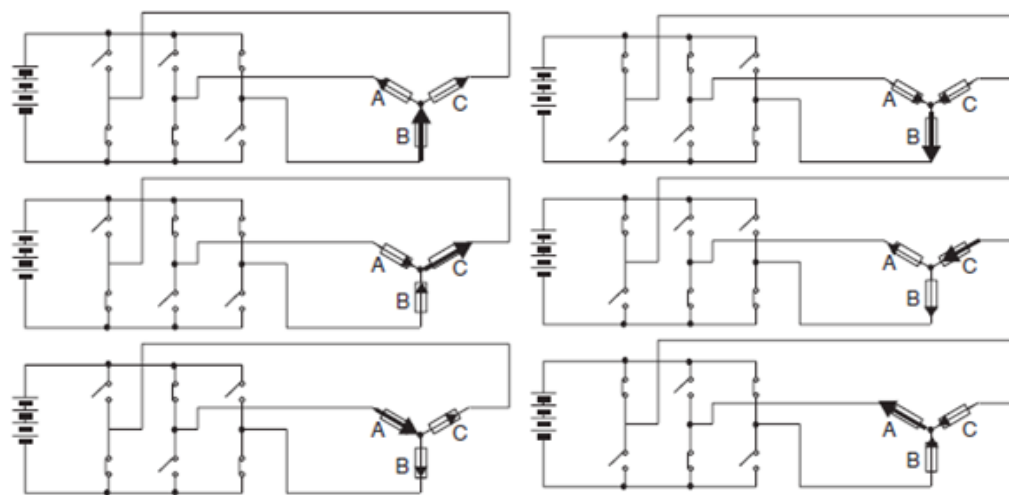


Figura 6.22 Modeli i ndërrimit për të gjeneruar rrymë alternative trefazore

Baza e funksionimit të motorit BLDC është paraqitur në figurën 6.24. Rotori përbëhet nga një magnet i përhershëm. Në figurën 6.24a rryma rrjedh në drejtimin që magnetizon statorin në mënyrë që rotorin të kthehet në drejtim të akrepave të orës, siç tregohet. Në figurën 6.24b rotorin kalon ndërmjet poleve të statorit dhe rryma e statorit fiket. Momenti e mban rotorin dhe në figurën 6.24c spirala e statorit ri-energizohet, por rryma dhe si rrjedhim fusha magnetike janë të kundërta. Pra, rotorin tërhiqet rrotull në drejtim të akrepave të orës. Procesi vazhdon, me rrymën në spiralen e statorit alternuar.

Natyrisht, kalimi i rrymës duhet të sinkronizohet me pozicionin e rotorit. Kjo bëhet duke përdorur sensorë. Këta janë shpesh sensorë të efektit Hall që përdorin magnetizmin e rotorit për të ndjerë pozicionin e tij, por përdoren gjithashtu sensorë optikë.

Një tipar i këtyre motorëve BLDC është se çift rrotullimi do të zvogëlohet me rritjen e shpejtësisë. Magneti rrotullues do të gjenerojë një EMF të pasme në spiralen të cilës i afrohet. Ky EMF i pasmë do të jetë proporcional me shpejtësinë e rrotullimit dhe do të zvogëlojë rrymën që rrjedh në spirale. Rryma e reduktuar do të zvogëlojë forcën e fushës magnetike, dhe rrjedhimisht çift rrotullues. Përfundimisht, madhësia e EMF-së së pasme të induktuar do të jetë e barabartë me tensionin e furnizimit, dhe në këtë pikë është arritur shpejtësia maksimale. Kjo sjellje është saktësisht e njëjtë si me motorin DC të krehur të seksionit 6.1. Duhet të vërejmë gjithashtu se ky lloj motori mund të përdoret shumë thjesht si gjenerues i energjisë elektrike, dhe për frenim rigjenerues ose dinamik.

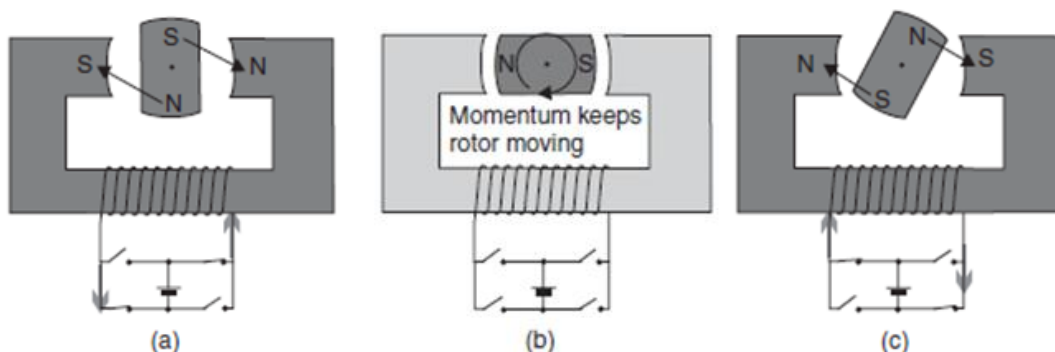


Figura 6.24(a-c) Diagrami që tregojn bazën e funksionimit të motorit DC pa furça

6.4 Referencat:

- [1] J. Larminie, J. Lowry: Shpjegohet teknologjia e automjeteve elektrike. botimi i 2-të. Wiley & Sons 2012 ISBN: 978-1-119-94273-3
- [2] A. Emadi: Manual i elektronikës së fuqisë së automobilave dhe disqeve motorike. Taylor dhe Francis 2005 ISBN 978-0-8247-2361-3
- [3] CC Chan, KT Chau: Teknologji moderne e automjeteve elektrike. Oxford University Press, Nju Jork, 2001 ISBN 978-0-1985-0416-0
- [4] KT Chau, Z. Wang: Përmbledhje e disqeve elektronike të fuqisë për automjetet elektrike. HAIT Journal of Science and Engineering B, 2(5-6):737-761 2005
- [5] M. Pandey: Automjete të vogla elektrike. Arcler Press 2022 ISBN: 978-1-77469-402-2

6.5 Pyetje:

1. Përshkruanifunksionimi i një motori DC.
2. Si mund ta kontrollojmë shpejtësinë e një motori DC të krehur?
3. Cilat janë burimet kryesore të humbjes në një motor DC të krehur?
4. Përshkruani punën operative tëMotorët elektrikë si frena.
5. Përshkruani 3 komponentë elektronikë që përdoren më së shumti sindërrimi i pajisjeve në konvertuesit e fuqisë.
6. Përshkruani punën kryesore të 'Rregullatorët Buck'and 'Boost'.
- 7.Përshkruani punën kryesore tëInvertere njëfazore.



Funded by
the European Union

Deliverable 3.5

WB HEIs will create teaching material in line with EM catalogue of courses. Teaching material – manual for students will be prepared in electronic and paper forms and reviewed by EU partners. (up to 100 pages, B5).

Electric Mobility Manual for students

University of Pristina, Kosovska Mitrovica

UNIVERSITY OF MITROVICA – UPKM,

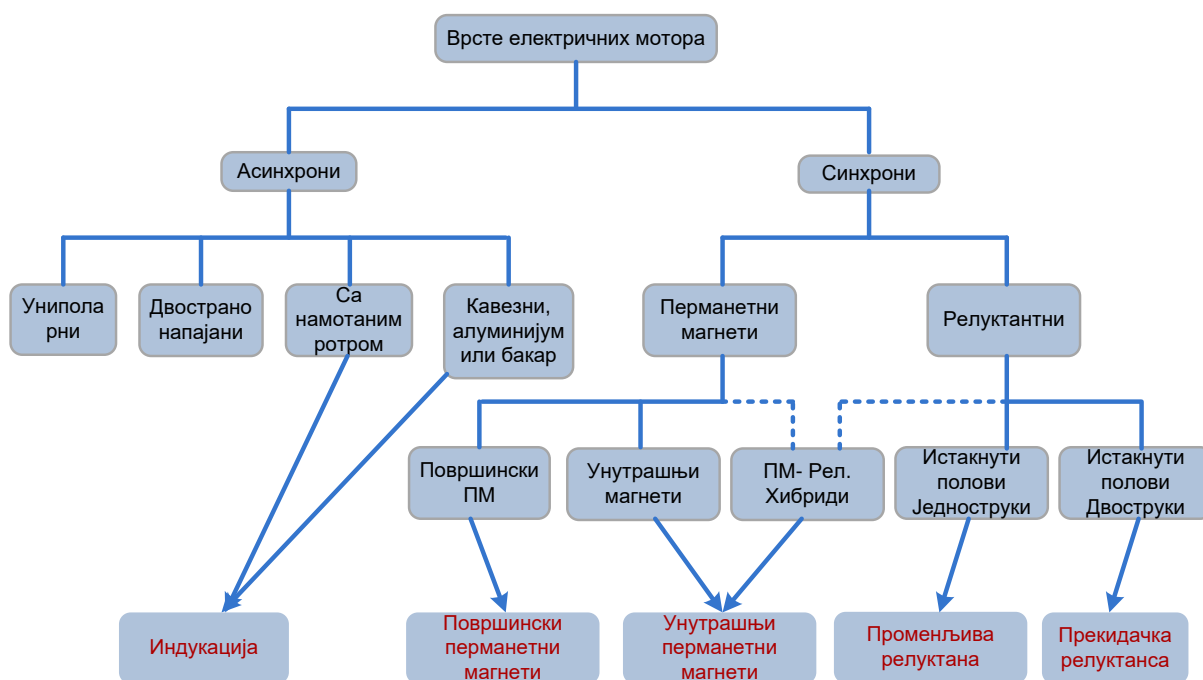
Author : Saša Štatkić, Nebojša Arsić, Aleksandra Petrović

Поглавље 7: Електричне машине велике густине снаге за електрична возила

7.1 Електричне машине за електрична возила

Електричне машине високе густине снаге за електрична возила могу се категорисати у неколико типова на основу њиховог дизајна. Сваки од ових типова електричних машина има своје јединствене карактеристике и дизајнерска решења, а избор одређеног типа зависи од фактора као што су захтеви перформанси, циљеви енергетске ефикасности, ограничења простора за монтажу и узимање у обзир трошкова у контексту примене за електрична возила.

Ефикасност и перформансе електричних машина значајно утичу на потрошњу енергије, убрзање, перформансе при високим брзинама и удобност вожње електромоторних погонских система. Електрични вучни мотори имају строге радне захтеве у вези са карактеристикама обртног момента и брзине. Кључно је да имају способност да раде у одређеним радним тачкама које условљава апликација.



Слика 1 – Блок дијаграм поделе електричних мотора, [1, 2, 3]

За ефикасан рад електричних возила неопходна је употреба електричних машина одговарајућих перформанси. Постоји неколико врста електричних машина које се користе у електромоторним погонским системима електричних возила, а то зависи од спецификација, перформанси и примене електричних возила.

7.2 Синхрони мотори са перманентним магнетима (СМПМ)

Синхрони мотори са перманентним магнетима је врста електричног мотора који на ротору има перманентне магнете за стварање магнетног поља у мотору.

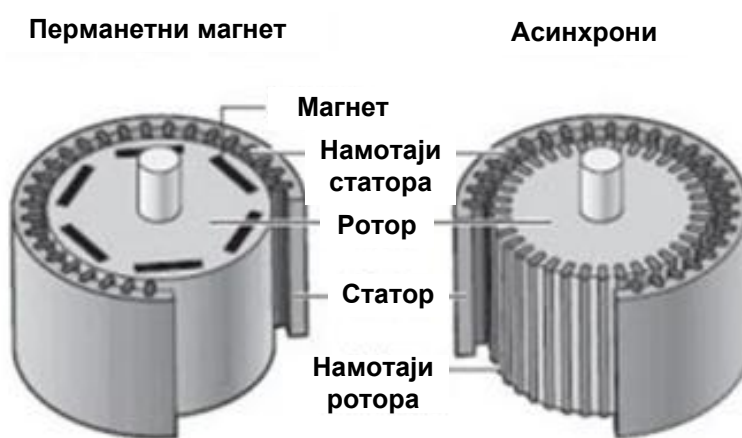
Ови мотори се широко примењују у различитим апликацијама, као што су индустрија, електрична возила и обновљиви извори енергије.

Они нуде високу ефикасност, високу густину снаге, и прецизну контролу брзине у момента. СМПМ се обично користе у електричним возилима захваљујући њиховој компактној величини и изузетним перформансама. Остварују високу густину момента и степен искоришћења, што их чини погодним електричном машином за примену у електричним возилима, [4, 5, 6].

СМППМ су релативно лаки за контролу и показују одличне перформансе, у смислу контроле максималног обртног момента по амперу и рада при оптималном проширеном опсегу брзине. Постоје различити типови СМППМ. У зависности од положаја перманентних магнета на ротору могу се класификовати као синхрони мотори са магнетима за површинску (по обиму ротора) или унутрашњу монтажу (унутар ротора).

СМППМ-и имају предности у погледу ефикасности у односу на конвенционалне асинхроне моторе због њихове велике густине снаге добијене од магнетног флукса између статора и ротора. То значи да им је потребна мања струја статора у односу на одговарајуће асинхроне моторе да би постигли исти излазни момент или брзину.

Дизајн ротора код СМППМ такође има предности када је у питању контрола обртног момента, јер се момент синхроних мотора са перманентним (сталним) магнетима може лако подешавати помоћу фреквентних претварача.



Слика 2 – Асинхрони мотор и Синхрони мотор са перманентним магнетима – Иста конструкција статора (магнетно коло и трофазни намотај) и другачији дизајн ротора, [7]

СМППМ су познати по свом високом степењу искоришћења, што значи да могу да претворе висок проценат улазне електричне снаге у механичку излазну снагу. Ово доприноси уштеди енергије и смањеним оперативним трошковима.

СМППМ имају велику густину снаге (kW/kg), што значи да могу да испоруче релативно велику снагу у свом компактном дизајну са мањом тежином. То их чини погодним за апликације где су важна ограничења простора и тежине, као што су електрична возила.

СМППМ нуде прецизну контролу брзине и обртног момента, што их чини погодним за апликације које захтевају прецизне и брзе перформансе мотора.

Одсуство четкица код СМППМ смањује потребу за одржавањем у поређењу са моторима са четкицама, доприносећи нижим оперативним трошковима и повећању поузданости.

СМППМ се могу користити у регенеративним кочионим системима, омогућавајући им да поврате енергију током кочења и побољшају укупну ефикасност система.

Синхрони мотори са перманентним магнетима су употребљиви због своје високе ефикасности, компактнoг дизајна, могућности прецизног управљања и погодности примене у широк спектру различитих индустрија.

Синхрони мотори са површинским перманентним магнетом (СМППМ) су тип електромотора који се обично користи у различитим апликацијама, укључујући електрична

возила, индустријске машине и апликације. Ови мотори користе перманентне магнете на површини ротора да генеришу магнетно поље неопходно за стварање момента мотора и потребне брзине обртања. СПМ мотори се користе у широком спектру примена, укључујући електрична и хибридна возила, лифтови, кућни апарати, HVAC системи и индустријске машине [8].

СМПМ имају ротор са уграђеним перманентним магнетима на обиму (површини) ротора, који у интеракцији са обртним електромагнетним пољем статора производе обртни момент и кретање ротора. Овај дизајн елиминише потребу за посебним намотајем за стварање побудног поља на ротору, поједностављујући конструкцију мотора. СМПМ мотори су познати по својој високој ефикасности, јер употреба перманентних магнета омогућава снажно магнетно поље без губитака снаге повезаних са традиционалним намотајима ротора. Ово доводи до побољшане укупне ефикасности мотора и смањене потрошње енергије. Употреба трајних магнета у СПМ моторима омогућава високу густину снаге, што значи да ови мотори могу испоручити већи износ механичке снаге унутар своје компактне структуре, мале тежине и величине. То их чини погодним за апликације где су важна ограничења простора и тежине.



Слика 3 - Синхрони мотором са површинским перманентним магнетом (СМПМ) на хибридном аутомобилу Audi Q5 хибрид кватро, [9]

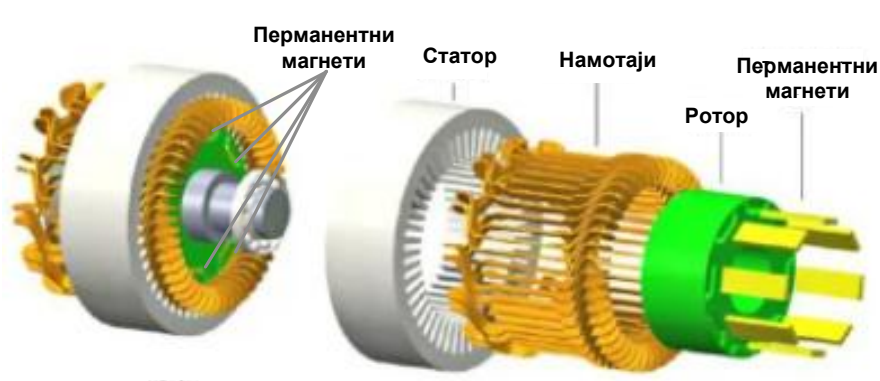
СМПМ мотори могу бити дизајнирани за променљиву контролу брзине, што их чини идеалним за апликације које захтевају прецизну регулацију брзине и обртног момента. Ова флексибилност у контроли брзине доприноси њиховој широкој употреби у електричним возилима и системима индустријске аутоматизације. СМПМ мотори се често користе у системима за регенеративно кочење, где мотор ради као генератор током кочења, претварајући стечену кинетичку енергију кретања возила у електричну енергију за складиштење у батерије или за непосредну поновну употребу (напајање других потрошача на возилу).

Правилно управљање топлотом је важно за СМПМ моторе, јер прекомерно загревање може да погорша перформансе перманентних магнета. За одржавање оптималних радних температура користе се ефикасне методе хлађења. Избор материјала трајног магнета, као што је неодимијум или ферит, утиче на карактеристике перформанси мотора, цену и утицај на животну средину. СМПМ мотори нуде неколико предности, укључујући високу ефикасност, компактан дизајн и могућности прецизног управљања, што их чини популарним избором за бројне електромеханичке системе. Њихова примена у електричним возилима, посебно, доприноси побољшању енергетске ефикасности и перформанси у сектору транспорта.

Синхрони мотори са унутрашњим перманентним магнетима (СМУПМ) су подтип СМПМ-а где се перманентни магнети налазе унутар језгра ротора. Ова конфигурација омогућава

побољшану густину обртног момента и ефикасност, чинећи СМУПМ моторе погодним за погонске системе електричних возила са ограниченим простором, [10].

Синхрони мотори са унутрашњим перманентним магнетима (СМУПМ) су тип електромотора у коме ротор садржи перманентне магнете који су уграђени у структуру ротора. Ови магнети стварају јако магнетно поље ротора, које у интеракцији са обртним пољем статора које потиче од намотаја статора производи механичко кретање. СМУПМ се широко користе у различитим индустријама и апликацијама због своје високе ефикасности, густине снаге и особина прецизног управљања.



Слика 4 – Структура синхроног мотора са унутрашњим перманентним магнетима (СМУПМ)

СМУПМ -ови су познати по својој високој енергетској ефикасности, што значи да могу да претворе висок проценат електричне улазне снаге у механичку излазну снагу. Висока енергетска ефикасност помаже у смањењу потрошње енергије и оперативних трошкова.

СМУПМ машине имају велику густину снаге, што им омогућава да испоруче значајну излазну снагу у компактном дизајну, при малој величини и малој тежини. То их чини погодним за апликације где су простор и тежина важни.

СМУПМ -ови омогућују прецизно управљање брзином и обртним моментом, што их чини погодним за апликације које захтевају прецизне и брзе перформансе мотора.

Слично другим типовима електромотора, СМУПМ-ови се могу користити код електричних возила у системима регенеративног кочења, омогућавајући им да поврате енергију током кочења и побољшају укупну ефикасност система.

Одсуство четкица у СМУПМ -овима смањује потребу за одржавањем у поређењу са моторима са четкицама, доприносећи нижим оперативним трошковима и повећању поузданости.

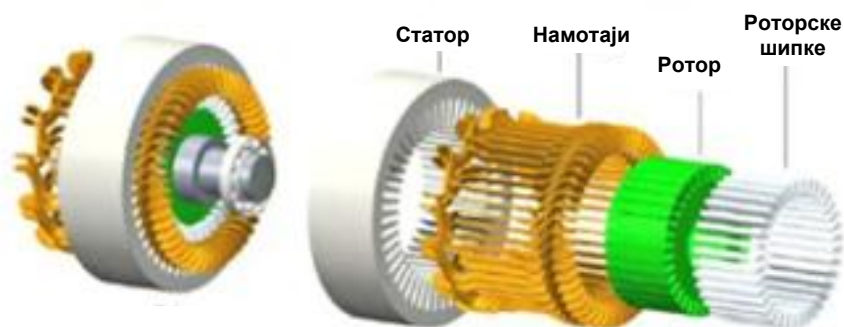
СМУПМ се користе у различитим индустријама као што су аутомобилска индустрија, ваздухопловство, индустријска машиноградња као и код обновљивих извора енергије.

Синхрони мотори са унутрашњим перманентним магнетима (СМУПМ) имају предност због своје високе енергетске ефикасности, високе густине снаге, прецизног управљања и погодности за различите примене, што их чини пожељним избором у многим индустријским и комерцијалним гранама.

7.3 Асинхроне машине

Асинхроне машине, познате и као асинхрони мотори, користе се у широком спектру апликација, укључујући електрична возила (ЕВ). Такође, приближно су без одржавања, [11]. Асинхрони мотор се карактерише као једноставна и јака структура, ниске цене, високе поузданости, уз

мало таласање обртног момента, ниске буке и без одржавања. АМ се лако могу покренути великом брзином од преко 15.000 о/мин са широким опсегом константне снаге, [12].



Слика 5 – Асинхрони мотор – уобичајена електрична машина која се примењује у **вучним** апликацијама

Асинхроне машине се могу користити у регенеративним кочионим системима електричних возила, омогућавајући им да поврате енергију током кочења и побољшају укупну ефикасност возила. Асинхроне машине које се напајају претварачима снаге могу да испоруче велики обртни момент при малим брзинама, што је корисно за убрзавање тешких возила као што су ЕВ из стања мировања и обезбеђивање добрих возних перформанси. У поређењу са неким другим типовима мотора, асинхроне машине могу понудити исплативо решење за произвођаче електричних возила, доприносећи приступачности електричних возила. Са напретком у технологији управљања мотором, асинхроне машине могу постићи високе нивое ефикасности и перформанси, што их чини конкурентним избором за ЕВ погон.

У електричним возилима, асинхрони мотори имају много добрих страна. Једноставни су за употребу и издржљиви, а могу да раде у широком распону брзина и оптерећења. Такође имају велику густину снаге и добро раде, што их чини добрим за широк спектар употреба ЕВ. Али, асинхрони мотори у електричним возилима такође имају одређене недостатке. При малим брзинама и са малим оптерећењима, имају тенденцију да буду мање ефикасни и могу да направе много електромагнетне буке, што може бити проблем у одређеним ситуацијама. Док асинхроне машине имају многе предности, оне такође имају недостатке у вези са сложености система управљања, корекцијом фактора снаге и регулацијом брзине при великим брзинама.

Решење асинхроног мотора са технологијом бакарног ротора једно је од најбољих решења за погонски мотор за електрична возила. Најуспешнија електрична возила тренутно на свету, усвојила су бакарне роторе за свој погонски систем. Мотор са бакарним ротором има већу ефикасност, развијен систем управљања, већу поузданост, нижу цену у поређењу са другим решењима, [13, 14].



Слика 6 – Ротор Теслин-ог електричног мотора у јуну 2007.године, [15]

7.4 Прекидачки резултантни мотор (ПРМ)

Прекидачки резултантни мотор (ПРМ) ради на принципу промене у релуктансе (магнетног отпора) због промена у положају ротора и статора да би генерисао обртни момент. Познати су по једноставној конструкцији, толеранцији на грешке и потенцијалу за високу ефикасност и могућности обртног момента, што их чини погодним за погонске системе електричних возила велике снаге, [16,17].



Слика 7 - прекидачки резултантни мотор (ПРМ)

Познато је да прекидачки резултантни мотор (ПРМ) има најједноставнију, најробуснију и најнижу цену конструкције у поређењу са синхроним моторима са унутрашњим перманентним магнетима (СМУПМ) и асинхроним моторима (АМ). Прекидачки резултантни мотор (ПРМ) има статор и ротор са истакнутим половима израђен од ламинираног силиконског челика. У овом случају, производња обртног момента се заснива на промени магнетне релуктансе. Кључни недостатак конвенционалног прекидачког резултантног мотора (ПРМ) је његова значајна таласност обртног момента и нижа густина снаге.

Прекидачки резултантни мотор (ПРМ) имају једноставан дизајн и не захтевају перманентне магнете на ротору. Раде на принципу релуктантног момента који се ствара у мотору када се ротор поравна са магнетним пољем статора. Прекидачки резултантни мотори (ПРМ) могу постићи високу густину снаге захваљујући својој јединственој конструкцији.

Прекидачки резултантни мотори (ПРМ) имају релативно једноставну конструкцију у поређењу са другим типовима електромотора, јер на конструкцији ротора нема бакарних намотаја нити перманентних магнета. Оваква конструкција ротора их може учинити исплативијим и лакшим за производњу. Прекидачки резултантни мотори (ПРМ) су познати по својој високој густини обртног момента, што значи да могу на ротору стварати велику вредност обртног момента у односу на своју величину и тежину. То их чини погодним за апликације где су простор и тежина важни.

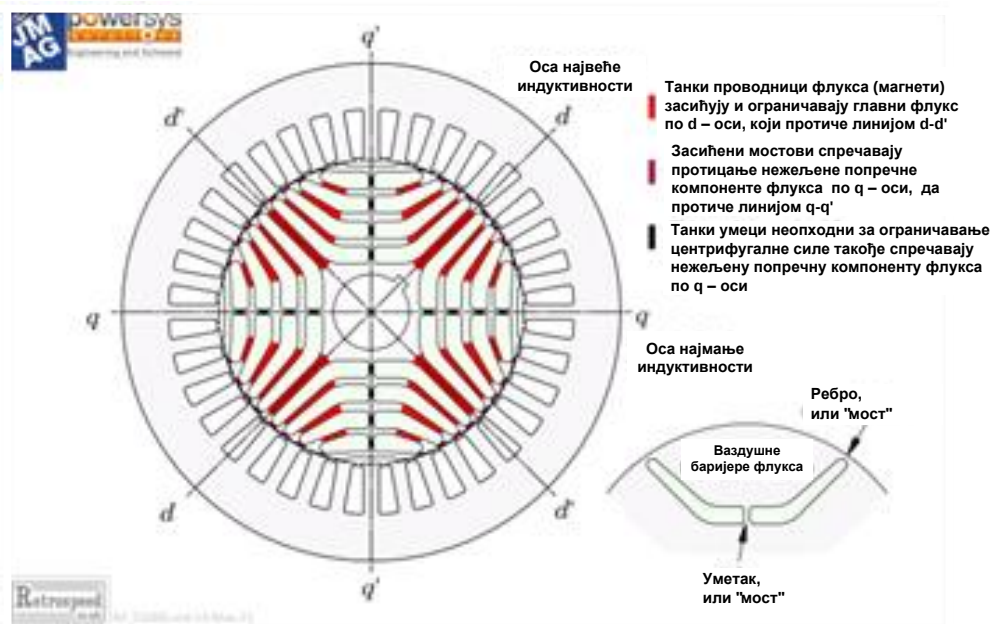
Због своје једноставне конструкције и недостатка намотаја ротора или магнета, прекидачки резултантни мотори (ПРМ) су природно робусни и отпорни на одређене начине кварова, што их чини погодним за рад у тешким радним условима. ПРМ-ови могу да раде у широком опсегу брзина, што их чини погодним за апликације где је потребна променљива контрола брзине.

Упркос својим предностима, прекидачки резултантни мотори (ПРМ) такође имају недостатке у погледу сложености управљања и потребом за софистицираним контролним алгоритмима који оптимизују њихове перформансе, побољшавају степен искоришћења и смањују буку.

Прекидачки резултантни мотори (ПРМ) нуде јединствен скуп предности као што су једноставност, велика густина обртног момента, робусност и рад са променљивом брзином, што их чини погодним за различите индустријске примене, укључујући аутомобилску, ваздухопловну и друге индустрије где су њихове специфичне карактеристике корисне.

7.5 Синхронни релуктантни мотор – (SynRM)

Синхронни релуктантни мотор (СРМ) је врста електромотора који ради на принципу релуктантног момента. За разлику од традиционалних асинхронних мотора, синхронни релуктантни мотори користе специјализовани дизајн ротора за генерисање обртног момента без потребе за клизним прстеновима или перманентним магнетима. Имају ротор са аксијално сложеним лимовима по уздужној оси чиме се постиже велика магнетска анизотропија осе (ефекат истакнутих полова у цилиндричном ротору) и статор са трофазним намотајима који производе обртно магнетно поље, [18].



Слика 8 - Синхронни релуктантни мотор (СРМ) , [19].

Синхронни релуктантни мотор (СРМ) последњих година постаје веома интересантан и представља валидну алтернативу за електрична и хибридна возила због своје једноставне и робусне конструкције. Главна предност СРМ-а се ослања на одсуство губитака у кавезу ротора или губитака перманентних магнета, омогућавајући континуирани обртни момент већи од обртног момента асинхронног мотора (АМ) исте величине.

Упркос овим недостацима, могуће је добити моторе велике густине обртног момента и високе ефикасности кроз оптимизовану конструкцију ротора.

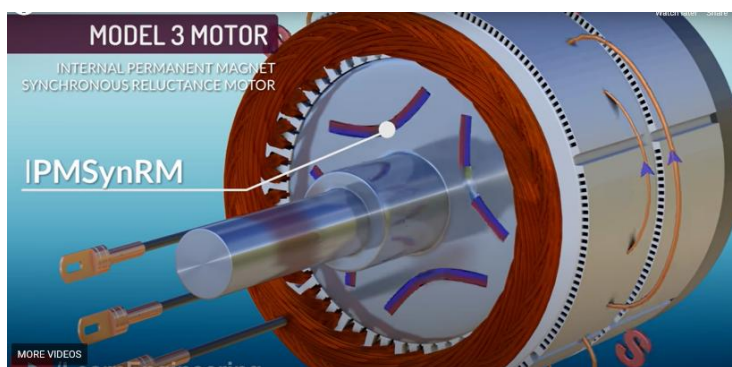
Специфична снага синхронног релуктантног мотора (СРМ) је побољшана повећањем радне брзине ротора у области слабљења поља. Ипак, оптимална геометрија за перформансе мотора треба да буде побољшана да би се обезбедила механичка исправност ротора при великој брзини. Цилиндрични ротор синхронног релуктантног мотора има својства ротора са истакнутим половима, при чему су полови обликовани тако да оптимизују магнетну релуктансу. Овај дизајн има за циљ стварање релуктантног момента који покреће ротор да прати обртно магнетно поље које производи статор. Постављање осе магнетног поља ротора према магнетном пољу статора да се успостави најмањи магнетни отпор – релуктанса).

Синхронни релуктантни мотори су познати по својој високој енергетској ефикасности, посебно у апликацијама са променљивом брзином. Одсуство намотаја ротора и сталних магнета смањује губитке и доприноси побољшању ефикасности. Синхронни релуктантни мотори могу се

ефикасно контролисати помоћу фреквентних претварача (ФП) да би се постигла прецизна контрола брзине и обртног момента. Ово их чини погодним за апликације где су потребне управљање променљивом брзином или обртним моментом.

Упркос својим предностима, синхрони релуктантни мотори имају нижи фактор снаге и захтевају софистицираније стратегије управљања за оптимизацију перформанси у одређеним радним режимима.

Синхрони релуктантни мотори (СРМ) нуде убедљиву комбинацију високе ефикасности, прецизне контроле и разноврсне примене због свог јединственог дизајна ротора и могућности контроле са фреквентним претварачима. Ово их чини повољном опцијом за различите индустрије које траже енергетски ефикасна и поуздана решења за моторе.

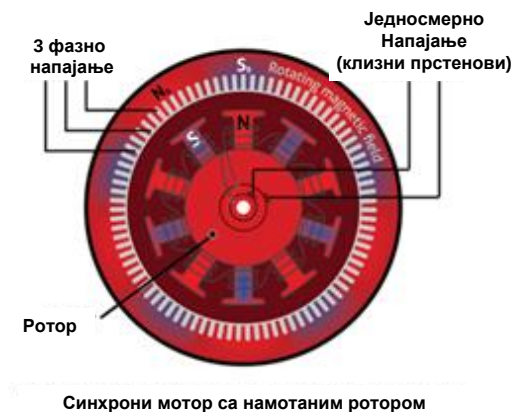


Слика 9 - Синхрони релуктантни мотор са унутрашњим перманентним магнетима (СРМУПМ) – Tesla 3 EV model, [20]

У моделу 3, компанија Тесла је користила синхрони релуктантни мотор са унутрашњим перманентним магнетима (СРМУПМ - IPM-SynRM Internal Permanent Magnet - Synchronous Reluctance Motor), познат и као синхрони релуктантни мотор са помоћним перманентним магнетима. Уопштено, то је врста мотора која представља комбинацију синхроног мотора са унутрашњим перманентним магнетима (СМУПМ) и синхроног релуктантног мотора (СРМ) да би се постигле тражене карактеристике у примени код електричних возила – а то су висока енергетска ефикасност при малим и великим брзинама.

7.6 Синхрони мотор са намотаним ротором – (СМНР)

Синхрони мотор са намотаним ротором (СМНР) ради при константној синхроној брзини због поравнања обртних магнетних полова ротора и статора, при чему се побудно коло ротора напаја једносмерном струјом преко клизних прстенова. Једносмерни напон за напајање побудиног кола ротора добија се исправљањем трофазног наизменичног напона којим се напаја намотај статора, така да иако су за рад синхроног мотора са намотаним ротором потребна два различита извора напајања, користи се само главно, мрежно напајање за трофазни намотај статора [21,22].



Слика 10 – Синхрони мотор са намотаним ротором – Изглед ротора са побудним намотајима повезаним са клизним прстеновима, [21].

Температурна ограничења магнета израђених од метала ретке земље, као што је неодијумски тип магнета који се налази у синхроним моторима са перманентним магнетима (СМПМ), могу имати значајне недостатке на перформансе мотора. Отпор на демагнетизацију таквих магнета почиње да се смањује на ниским температурама, чак и до 80°C за неодијумске магнете, што може ограничити могућност мотора да континуирано ради са одређеном снагом. Ово ограничење може да омета способност мотора да одржи велики обртни момент и брзину, утичући на његове укупне перформансе и ефикасност.

Синхрони мотор са намотаним ротором представља оптерећење са јединичним фактором у односу на фреквентни претварач из кога се напаја јер има могућност независног управљања побуде поља и усклађивања са обртним моментом којег захтева оптерећење. На овај начин елиминисана је реактивна струја која би иначе осциловала између индуктивности намотаја мотора и капацитивности једносмерног међукола фреквентног претварача, не обављајући при томе никакав користан рад у процесу претварања енергије, већ би само загревала полупроводничке прекидаче моста и антипаралелне диоде.

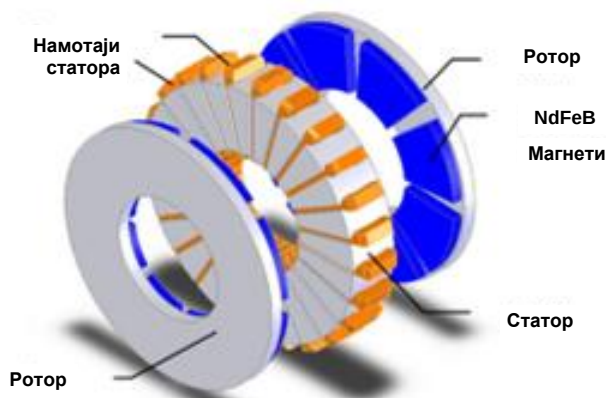
Још једна потенцијална предност синхроног мотора са намотаним ротором СМНР-а у односу на синхрони мотор са перманентним магнетима (СМПМ) је да електромагнети могу постићи већи интензитет флуksа магнетног поља од чак и најјачих реткоземних перманентних магнета који би заправо могли смањити величину мотора за дату излазну снагу. Електромагнети у синхроним моторима са намотаним ротором (СМНР) нуде побољшану контролу обртног момента и брзине у поређењу са моторима са сталним магнетима. За разлику од синхроних мотора са перманентним магнетима (СМПМ), синхрони мотори са намотаним ротором (СМНР) за стварање побудног поља користе навојке електромагнета на ротору, елиминишући зависност од перманентних магнета направљених од метала ретке земље и њихова повезана ограничења.

Побољшана контрола обртног момента и брзине постигнута са електромагнетима код синхроног мотора са намотаним ротором (СМНР) позитивно утиче на ефикасност и рад мотора. Коришћењем електромагнета уместо магнета ретких земаља, СМНР могу да раде на вишим температурама и имуни су на демагнетизацију, повећавајући њихову издржљивост и поузданост. Додатно, контролисање обртног момента и брзине у СМНР -има доприноси побољшаној укупној ефикасности мотора омогућавањем оптимизованих перформанси заснованих на радним условима. Способност избегавања неконтролисаних генераторских режима рада са јединичним фактором снаге додатно побољшава енергетску ефикасност и стабилност СМНР -а.

7.7 Мотори са аксијалним флуksom и мотори у точку као нове опције

Поред традиционалних мотора са радијалним флуksom уграђених у електричним возилима, постоје две нове алтернативе које су изазвале велико интересовање, али су у раној фази усвајања на тржишту, а то су мотори са аксијалним флуksom и мотори уграђени у точкове, [23]. Мотори са аксијалним флуksom и мотори у точковима се заиста појављују као иновативне опције за погон електричних возила, од којих сваки нуди јасне предности и јединствене карактеристике које имају потенцијал да допринесу напретку технологије електричних возила.

Мотори са аксијалним флуksom или аксијални мотори одликују се својим компактним дизајном, великом густином снаге и ефикасним генерисањем обртног момента. Њихова аксијална конфигурација омогућава ефикасно хлађење и управљање топлотом, што их чини веома погодним за апликације електричних возила. Могућност регенеративног кочења аксијалних мотора може допринети повећању енергетске ефикасности мотора и домета возње, што је у складу са циљевима одрживог транспорта. Како се истраживачки и развојни напори настављају, мотори са аксијалним флуksom спремни су да играју значајну улогу у еволуцији погонских система електричних возила.



Слика 11- Осмо-полни 24-жлебни аксијални мотор са перманентним магнетима, [24]

Мотор са аксијалним флуksom, који се понекад назива и „плъснати мотор“, врста је електромотора код којих је магнетно поље поравнато дуж осе ротације, отуда и његово име. Ова структура је у супротности са традиционалним моторима радијалног флуksa, где магнетно поље прати путању дуж радијуса мотора, [24].

Мотор са аксијалним флуksom је тип електромотора који има карактеристичан дизајн где магнетни флуks тече паралелно са осом ротације, а не радијално као код конвенционалних мотора. Кључне компоненте мотора са аксијалним протоком укључују ротор, статор и намотаје. Ротор садржи сталне магнете, док статор, постављен паралелно са ротором, има намотаје који стварају магнетно поље када се напаја. Интеракција између ових магнетних поља ствара обртни момент, што доводи до ротације.

Магнетно поље које стварају ротор и статор поравнавају се у истом правцу (аксијално), што је кључна карактеристика мотора са аксијалним флуksom. Ова конфигурација омогућава ефикасније коришћење магнетног флуksa и смањује губитке снаге, побољшавајући укупну енергетску ефикасност мотора. Мотори са аксијалним флуksom користе мање материјала и стога су суштински јефтинији ако се могу решити проблеми производње који се односе на пренос топлоте и запремину мотора. Аксијални мотори могу да остваре густину снаге од 10 kW/kg, што је четири пута више од густине снаге мотора са радијалним флуksom за електрично возило.

Мотори са аксијалним флуksom се састоје од вишеструких дискова статора и ротора наслаганих заједно, са статорским намотајима и сталним магнетима распоређеним наизменично. Ова конфигурација омогућава компактнији и лакши дизајн мотора у поређењу са традиционалним моторима радијалног флуksа.

Електрични мотори у точковима, такође познати као мотори са главчином, нуде јединствене предности као што су индивидуална контрола точкова, поједностављен распоред возила и потенцијална побољшања у вучи, стабилности и руковању. Директна интеграција мотора у точкове омогућава иновативну динамику возила и отвара могућности за нове дизајне возила. Иако постоје изазови везани за тежину и паковање трапа (вешања возила), текући напредак у науци о материјалима, инжењерингу и интеграцији возила покрећу напредак у развоју технологије мотора у точковима.

Мотори на точковима су електрични мотори интегрисани директно у точкове возила, обезбеђујући погон и погонску снагу, [25].



Слика 12 - Дијаграм који приказује компоненте електричног мотора у точку. ПД18 укључује енергетску електронику и диск кочницу за замену OEM (Original Equipment Manufacturers) кочнице, чинећи паковање много једноставнијим, [26]

Мотори у точковима су дизајнирани да буду интегрисани у точкове возила, било на предњим, задњим или на сва четири точка. Ова интеграција елиминише потребу за традиционалним погоном, укључујући компоненте као што су осовине, диференцијали и мењачи, поједностављујући укупни изглед возила. Мотори у точковима нуде неколико предности. Они обезбеђују директан обртни момент точковима, што може резултирати побољшаном контролом вуче и карактеристикама динамичког управљања. Поред тога, ослобађају простор у возилу, омогућавајући већу флексибилност дизајна и потенцијалну уштеду на тежини.

Са моторима у точковима, сваки точак се може контролисати независно, омогућавајући напредне системе контроле динамике и стабилности возила. Ова индивидуална контрола точкова може побољшати вучу, стабилност и управљивост, посебно у изазовним условима на путу.

Питања

1. Које су кључне карактеристике дизајна које синхроне машине са перманентним магнетима (СМПМ) чине погодним за примену на електричним возилима?
2. Како одсуство четкица код синхроне машине са перманентним магнетима (СМПМ) доприноси нижим оперативним трошковима и повећању поузданости?
3. Са којим изазовима се суочавају асинхроне машине (АМ) у електричним возилима, посебно у погледу ефикасности и стварања електромагнетних сметњи?
4. Које предности технологија бакарног кавезног ротора доноси асинхроним моторима за електрична возила и како ова технологија утиче на перформансе и цену?
5. На који се начин прекидачке релуктантне машине разликују од синхроних мотора са унутрашњим перманентним магнетима (СМУПМ) и асинхроних машина (АМ) у смислу производње обртног момента, конструкције и подобности за апликације велике снаге?
6. На који начин дизајн синхроних релуктантних мотора (СРМ) омогућава већу густину обртног момента и енергетску ефикасност, посебно у апликацијама погона са променљивом брзином?
7. Коју предност нуди усклађивање побуде поља са захтевом обртног момента у синхроним моторима са намотаним ротором (СМНР)?
8. Како мотори са аксијалним флуksom доприносе повећању енергетске ефикасности у електричним возилима? Које су кључне предности мотора у точковима у поређењу са традиционалним погонским системима?

Литература

- [1] Trout, Charles. "Essentials of Electric Motors and Controls". United States: Jones & Bartlett Learning, 2010.
- [2] Hughes, Austin. "Electric Motors and Drives: Fundamentals", Types and Applications. United Kingdom: Elsevier Science, 2013.
- [3] Chau, K. "Electric Vehicle Machines and Drives": Design, Analysis and Application. Singapore: Wiley, 2015.
- [4] "Permanent Magnet Synchronous Machines". Switzerland: Mdpi AG, 2019.
- [5] <https://about-motors.com/motorcontrol/pmsm/>
- [6] <https://eepower.com/technical-articles/electrical-machines-in-electrified-transportation/#>
- [7] <https://empoweringpumps.com/ac-induction-motors-versus-permanent-magnet-synchronous-motors-fuji/>
- [8] Gieras, Jacek F. "Permanent Magnet Motor Technology: Design and Applications", Third Edition. United States: CRC Press, 2009.
- [9] <https://newatlas.com/audi-q5-hybrid-quattro/16908/>
- [10] Gieras, Jacek F., Shen, Jian-Xin. "Modern Permanent Magnet Electric Machines: Theory and Control". United States: CRC Press, 2022.
- [11] Chau, K. T.. "Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Application". Singapore: Wiley, 2015.
- [12] Uglielmi, P.: "Comparison of induction and PM synchronous motor drives for EV application including design examples". IEEE Trans. Ind. Appl. 6(48), 2322–2332 (2012)
- [13] Nam, Kwang Hee. "AC Motor Control and Electrical Vehicle Applications". United States: CRC Press, 2010.
- [14] Energy Efficiency in Motor Systems: Proceedings of the 11th International Conference EEMODS'19. Switzerland: Springer International Publishing, 2021.
- [15] <https://chargedevs.com/features/qa-with-teslas-lead-motor-engineer-full-interview/>
- [16] Switched Reluctance Motor: Concept, Control and Applications. Croatia: IntechOpen, 2017.
- [17] <https://www.emworks.com/blog/emworks2d/switched-reluctance-motor-srm-is-the-future-of-electric-vehicles>
- [18] Bianchi, Nicola., Babetto, Cristian., Bacco, Giacomo. "Synchronous Reluctance Machines: Analysis, Optimization and Applications". United Kingdom: Institution of Engineering and Technology, 2021.
- [19] https://www.jmag-international.com/engineers_diary/034/
- [20] <https://uk.motor1.com/news/462107/video-tesla-model-3-electric-motor-explained/>
- [21] Jeffrey Jenkins, "A closer look at brushed AC motors in EVs", EV Engineering News, August 7, 2022.

- [22] Bachinski Pinhal, Daniel. "An Assessment of Wound-rotor Synchronous Machines with Hairpin Windings for Automotive Traction Drives". Germany: Shaker Verlag, 2022.
- [23] Gieras, Jacek F., Wang, Rong-Jie., Kamper, Maarten J.. "Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines". Germany: Kluwer, 2004.
- [24] Aydin, Metin. "Axial Flux Surface Mounted Permanent Magnet Disc Motors for Smooth Torque Traction Drive Applications". N.p.: University of Wisconsin--Madison, 2004.
- [25] Yang, Sichao. "In-wheel Motors for Electric Vehicles". United Kingdom: Newcastle University, 2017.
- [26] <https://spectrum.ieee.org/protean-electrics-inwheel-motors-could-make-evs-more-efficient>

8. ELEKTRIČNA MOBILNOST U PLANIRANJU ODRŽIVE URBANE MOBILNOSTI

8.1 Koncept planiranja održive urbane mobilnosti

Plan održive urbane mobilnosti se bazira na sveobuhvatne vizije za unapređenje transporta i mobilnosti unutar funkcionalnog urbanog područja. Ovaj plan obuhvata sve vrste prevoza, uključujući javni i privatni, putnički i teretni, motorizovani i nemotorizovani, kao i pokretni i stacionarni. Pored toga, bavi se infrastrukturom i uslugama. Plan održive urbane mobilnosti navodi kratkoročne strategije za postizanje ciljeva kroz specifične mere. Takođe uključuje vremenski raspored za implementaciju, razmatranje budžeta, raspodelu odgovornosti i identifikaciju neophodnih resursa. Planiranje održive urbane mobilnosti ima za cilj da odgovori na potrebe mobilnosti pojedinaca koji borave ili posećuju urbano područje, uključujući institucije i kompanije. Ovaj pristup naglašava transparentnost i aktivno učešće uključivanjem građana i zainteresovanih strana u razvoj i izvršenje plana. Promovisanjem participativnog planiranja, veća je verovatnoća da će ljudi preuzeti vlasništvo nad planom održive urbane mobilnosti i njegovim politikama, što će dovesti do većeg prihvatanja i podrške javnosti i minimiziranja potencijalnih političkih izazova tokom implementacije.

Plan održive urbane mobilnosti razvija se kroz detaljnu procenu sadašnje i buduće funkcionalnosti transportnog sistema unutar urbanog područja. To uključuje temeljno ispitivanje trenutnog scenarija kako bi se postavila merila za merenje napretka. Proces planiranja uspostavlja ostvarive ciljeve i ciljeve koji su u skladu sa opštom vizijom, zajedno sa definisanjem indikatora učinka za svaki cilj ponaosob. Ovi indikatori su ključni za procenu sadašnjih i budućih uslova. Pored toga, analiza uključuje procenu postojećih resursa, kapaciteta i institucionalnog okvira za planiranje i implementaciju.

Za razliku od tradicionalnih pristupa planiranju, planiranje održive urbane mobilnosti stavlja snažan naglasak na uključivanje građana i zainteresovanih strana, koordinaciju politika u različitim sektorima (uključujući transport, korišćenje zemljišta, životnu sredinu, ekonomski razvoj, socijalnu politiku, zdravlje, bezbednost i energiju) i široku saradnju između različitih nivoa vlasti i privatnih subjekata. Ovaj pristup takođe naglašava važnost integrisanja svih aspekata mobilnosti (i ljudi i robe), načina prevoza i usluga na holistički način, uzimajući u obzir celokupno „funkcionalno urbano područje“, a ne samo jednu

opštinu unutar njenih administrativnih granica. Poslednjih godina došlo je do značajne promene u pristupu planiranju transporta kako u naučnoj tako i u planerskoj praksi. Na Slici 1 prikazan je sažet pregled glavnih razlika između tradicionalnih pristupa i planiranja održive urbane mobilnosti.

Tradicionalno planiranje transporta		Planiranje održive urbane mobilnosti
Fokusiranost na saobraćaj	→	Fokusiranost na ljude
Primarni ciljevi: Kapacitet protoka saobraćaja i brzina	→	Pristupačnost i kvalitet života, kao i održivost, ekonomska održivost, socijalna jednakost, zdravlje i kvalitet životne sredine
Fokusiranost na model	→	Integrirani razvoj svih vidova transporta i promena na održivu mobilnosti
Infrastruktura kao glavna tema	→	Kombinacija infrastrukture, tržišta, regulative, informacija i promocija
Sektorski document planiranja	→	Dokument planiranja u skladu sa relevantnim oblastima politike
Kratkoročni i srednjoročni plan isporuke	→	Kratkoročni i srednjoročni plan isporuke ugrađen u dugoročnu viziju i strategiju
Obuhvatanje administrativne oblasti	→	Obuhvatanje funkcionalne urbane oblasti na osnovu protoka saobraćaja kuća-posao
Domen inženjera saobraćaja	→	Interdisciplinarni timovi za planiranje
Planiranje od strane stručnjaka	→	Planiranje koje uključuje građane i zainteresovane strane koristeći se transparentnim i participativnim pristupom
Ograničena procena uticaja	→	Sistematska evaluacija uticaja radi lakšeg učenja i poboljšanja

Slika 1. Glavne razlike između tradicionalnih pristupa i planiranja održive urbane mobilnosti

Planiranje urbane mobilnosti trebalo bi da se fokusira na poboljšanje pristupačnosti i pružanje visokokvalitetnih, održivih transportnih usluga u celom funkcionalnom urbanom području. Održivi sistem transporta:

- Osigurava pristupačnost i ispunjava osnovne potrebe mobilnosti svih korisnika;
- Rešava različite zahteve stanovnika, preduzeća i industrije u pogledu mobilnosti i uslugama prevoza;

- Promoviše sveobuhvatan razvoj i poboljšanu integraciju različitih vidova transporta;
- Ispunjava zahteve održivosti balansirajući ekonomsku održivost, socijalnu jednakost, zdravlje i kvalitet životne sredine;
- Povećava efikasnost i isplativost;
- Efikasno koristi urbani prostor i postojeću transportnu infrastrukturu i usluge;
- Poboljšava atraktivnost urbane sredine, kvalitet života i javno zdravlje;
- Povećava bezbednost i sigurnost na putevima;
- Smanjuje zagađenje vazduha i buke, emisije gasova staklene bašte i potrošnju energije;
- Doprinosi ukupnom učinku transevropske transportne mreže i evropskog transportnog sistema u celini.

Razvoj i implementacija Plana održive urbane mobilnosti treba da se zasniva na visokom nivou saradnje, koordinacije i konsultacija na različitim nivoima vlasti i između institucija (i njihovih službi) u oblasti planiranja.

Planiranje održive urbane mobilnosti treba da se zasniva na:

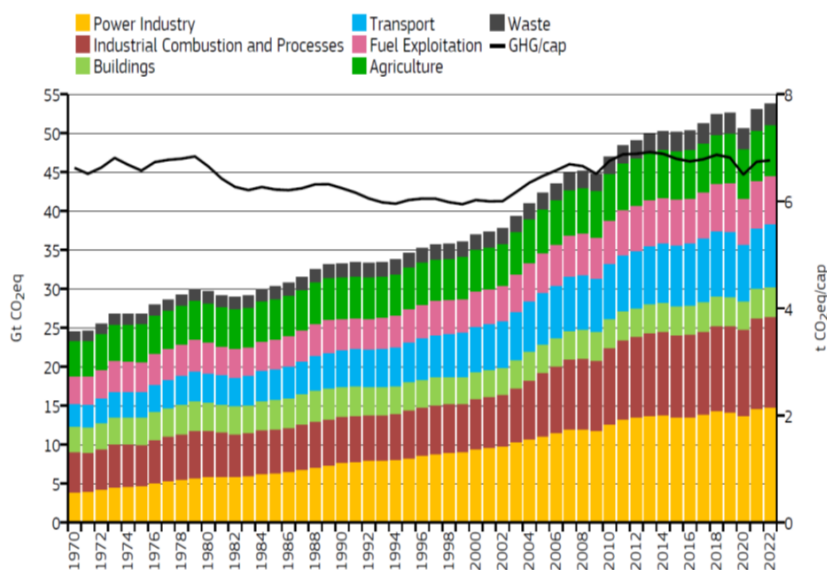
- Saradnji kako bi se osigurala konzistentnost i komplementarnost plana održive urbane mobilnosti sa politikama i planovima u sektorima koji se odnose na transport (npr. korišćenje zemljišta i prostorno planiranje, socijalne usluge, zdravstvo, energija, obrazovanje, sprovođenje i policija).
- Razmeni informacija sa relevantnim vlastima na drugim nivoima vlasti (npr. okrug, opština, region i država).
- Koordinaciji sa prevoznicima iz javnog i privatnog sektora.

8.2 Značaj e-mobilnosti za održivo planiranje urbane mobilnosti i obrnuto

Planiranje održive urbane mobilnosti uzima u obzir društvene i ekološke faktore transporta, naglašavajući važnost održivih načina kao što su pešačenje, biciklizam i javni prevoz u odnosu na tradicionalne metode prevoza. Ova promena fokusa promoviše uravnotežen pristup transportu koji poboljšava dostupnost, zdravlje i dobrobit životne sredine. Planiranje održive urbane mobilnosti igra ključnu ulogu u evropskoj saobraćajnoj politici. Evropska komisija je u svom Akcionom planu o

urbanoj mobilnosti iznela predlog da se ubrza usvajanje planova održive urbane mobilnosti širom Evrope.

Planiranje održive urbane mobilnosti: e-mobilnost doprinosi smanjenju zagađenja. Mnogi evropski gradovi pate od lošeg kvaliteta vazduha. Električna vozila, s druge strane, ne emituju nikakve zagađujuće materije sagorevanjem goriva. Shodno tome, elektrifikacija saobraćaja će igrati ključnu ulogu u poboljšanju kvaliteta vazduha u urbanim područjima. Štaviše, u kombinaciji sa korišćenjem obnovljivih izvora energije, možemo efikasno smanjiti uticaj ugljen-dioksida. Industrijski sektor i domaćinstva su uspešno smanjili emisije gasova staklene bašte, dok sektor transporta značajno zaostaje u doprinosu naporima za zaštitu klime. Uprkos široko rasprostranjenom priznanju potrebe za smanjenjem emisija gasova staklene bašte, evropska transportna industrija nastavlja da ispušta više izduvnih gasova u poređenju sa nivoima iz 1970. Slika 2 ilustruje evoluciju globalnih emisija gasova staklene bašte u periodu od 1970. do 2022. godine [1].



Slika 2. Globalne emisije gasova staklene baste po industrijskim sektorima i po glavi stanovnika, 1970-2022 [1]

Slika 2 pokazuje trendove emisija opasnih gasova za ključne sektore kao što su elektroprivreda, industrijsko sagorevanje i procesi, transport, zgrade, poljoprivreda, otpad i eksploatacija goriva. Pandemija COVID-19 imala je značajan uticaj na globalne emisije štetnih gasova,

što je rezultiralo smanjenjem od 3,7% u 2020. u odnosu na nivoe iz 2019. godine. Ovaj događaj prekinuo je višedecenijski trend rasta.

Nakon pandemije, globalne emisije gasova staklene bašte su ponovo počele da rastu, dostižući 53,8 Gt CO₂eq u 2022. Ovaj nivo je za 2,3% viši od onog iz 2019. i za 1,4% veći od onog iz 2021. U 2020. godini, sektor transporta je doživeo najveći pad emisija štetnih gasova, uz smanjenje od 14,1% u odnosu na godinu pre pandemije. Međutim, 2022. godine, ovaj sektor je zabeležio najveći rast i to za 4,7%. Građevinski sektor je, s druge strane, zabeležio samo marginalno smanjenje emisija gasova staklene bašte od 0,4% u 2022. u odnosu na 2021. godinu. U prethodnoj godini ove emisije su porasle za 4,6%. Pored toga, globalne emisije po glavi stanovnika porasle su za 0,4% u 2022. godini, dostižući 6,76 t CO₂eq/ po glavi stanovnika. Međutim, ova vrednost je i dalje za 0,8% niža od nivoa iz 2019. godine.

8.3 Faktori koje treba uzeti u obzir za električnu mobilnost i razvoj strategija održive urbane mobilnosti

8.3.1 Izvori energije

Značajan potencijal električne mobilnosti u smanjenju emisije gasova staklene bašte u velikoj meri zavisi od izvora energije koji koristi. Da bi se istinski ostvario ovaj potencijal, imperativ je da se većina punjenja vrši korišćenjem obnovljivih izvora energije. Da bi se postigao maksimalni uticaj na zaštitu klime, ova tranzicija mora biti praćena širim pomakom u energetsom sektoru ka obnovljivim izvorima i poboljšanim upravljanjem električnom energijom. Međutim, važno je napomenuti da baterija nije jedini aspekt automobila koji troši resurse. Ključno je razmotriti promišljenu konstrukciju, upotrebu i recikliranje svih komponenti vozila. Imajući na umu ovaj holistički pristup, električna mobilnost treba da obuhvati više od tehnologije pogona. Predlog REpowerE [2] uključuje sugestiju da se poveća cilj EU za učešće obnovljivih izvora u finalnoj potrošnji energije na 45% do 2030. godine, u odnosu na sadašnji cilj od 40%. Takođe savetuje da se pojednostavi proces izdavanja dozvola za velike projekte obnovljivih izvora. Štaviše, plan preporučuje podizanje obavezujućeg cilja smanjenja potrošnje energije za 2030. na 13%, što je značajno povećanje u odnosu na cilj od 9% postavljen za 2020. godinu.

8.3.2 Prostor

Evropski gradovi se suočavaju sa važnim problemom velikog broja vozila. Ključni faktor koji uzrokuje ovaj problem je i dostupnost parking prostora. U proseku, privatna vozila se u Evropi koriste samo jedan sat dnevno. Shodno tome, preostala 23 sata, kada su vozila parkirana, način na koji se vozila kreću je nebitan. Naime, električni automobil zauzima isti prostor kao i obično auto. Prema tome, ako se porodice odluče da za kratka putovanja koriste električne automobile to bi moglo dovesti do pogoršanja postojećih problema parkiranja. Atraktivnost ličnih lakih električnih vozila može dovesti do promene postojećeg stanja, tako što bi se koristila manja vozila i opcija deljenja električnih vozila.

8.3.3 Zagušenje saobraćaja

Električna vozila ne samo da pomažu u smanjenju potrošnje energije korišćenjem efikasnih električnih motora i smanjuju emisiju gasova staklene bašte, već se i bore protiv globalnog zagrevanja i klimatskih promena. Oni takođe povećavaju energetska sigurnost, smanjuju troškove javnog zdravlja smanjenjem zagađenja vazduha, posebno u gusto naseljenim urbanim oblastima. Štaviše, električna mobilnost nudi tiši rad u poređenju sa konvencionalnim vozilima. Sva vozila zauzimaju sličnu količinu prostora. Prelazak sa tradicionalnih na električna vozila može dovesti do manje zakrčenih puteva. Planiranje održive urbane mobilnosti ima za cilj stvaranje sveobuhvatnih strategija za ublažavanje zagušenja. Rangiranje zagušenja evropskih gradova jasno ukazuje da gradovi sa biciklističkom kulturom doživljavaju znatno niže nivoe zagušenja.

8.3.4 Bezbednost

Postoje evropski, nacionalni i lokalni ciljevi za poboljšanje bezbednosti na putevima, posebno u vezi sa pravičnim tretmanom ugroženih učesnika u saobraćaju. Ovo zahteva više od same elektrifikacije automobila.

8.4 Električna mobilnost i održivo planiranje urbane mobilnosti

U cilju promovisanja održivog transporta, plan održive urbane mobilnosti fokusira se na postizanje uravnoteženog i integrisanog razvoja svih relevantnih vidova transporta. Ovaj plan daje prioritet implementaciji rešenja za održivu mobilnost i predstavlja sveobuhvatan skup mera za poboljšanje ukupnog kvaliteta, bezbednosti, bezbednosti, pristupačnosti i isplativosti sistema mobilnosti. Obuhvata različite

elemente kao što su razvoj infrastrukture, tehnološki napredak, regulatorne okvire, promotivne aktivnosti i finansijske strategije. Plan se takođe bavi različitim aspektima mobilnosti, uključujući kolektivni prevoz (tradicionalne i usluge zasnovane na deljenju), aktivnu mobilnost (pešačenje i biciklizam), intermodalnost, mobilnost od vrata do vrata, bezbednost na putevima, vozila u pokretu i u mirovanju, teret i pružanje usluga, logistiku, upravljanje mobilnošću i inteligentne transportne sisteme (ITS).

Električna mobilnost ima potencijal da u velikoj meri unapredi planiranje održive urbane mobilnosti, sve dok je integrisana u sveobuhvatnu strategiju. Uzimajući holistički pristup, očigledno je da se u brojnim slučajevima, niskotehnološke opcije, kao što su hodaње i biciklizam, pokazuju efikasnijim za urbanu mobilnost nego oslanjanje isključivo na tehnološka dostignuća.

Različite strategije se primenjuju u planiranju održive urbane mobilnosti kako bi se rešilo pitanje prostora koji prevoz zauzima u gradovima, počevši od smanjenja saobraćajnih gužvi kroz prostorno planiranje i organizacione modifikacije (npr. rad na daljinu ili upravljanje korporativnom mobilnošću). Poboljšanje upravljanja mobilnošću na radnom mestu uključuje uključivanje planiranja putovanja, programa fokusiranih na ponašanje i zajedničkog korišćenja automobila, zajedno sa obezbeđivanjem stanica za punjenje i privlačnih parking mesta za električna vozila. Prelazak na pešačenje, vožnju biciklom i javni prevoz je takođe ključan za održivo planiranje urbane mobilnosti, jer zahteva bezbednu, pogodnu i atraktivnu infrastrukturu za pešake, bicikliste i usluge javnog prevoza.

Planiranje održive urbane mobilnosti obuhvata 4 okvira sa ukupno 12 koraka [3]. Početni cilj je donošenje odluke da se pripremi Plan održive urbane mobilnosti.

Prvi okvir je **Priprema i analiza** i obuhvata sledeće korake:

1. Postaviti radne strukture
 - 1.1 Proceniti kapacitete i resurse
 - 1.2 Formirati timove po sektorima
 - 1.3 Osigurati političko i institucionalno vlasništvo
 - 1.4 Planiranje uključivanja zainteresovanih strana i građana
2. Odrediti okvir planiranja
 - 2.1 Proceniti potrebe planiranja i definisati geografski opseg („funkcionalna urbana oblast“)

2.2 Povezivanje sa ostalim procesima planiranja

2.3 Uskladiti vremenski i plan rada

2.4 Razmotriti angažovanje eksterne pomoći

3. Analizirati situaciju mobilnosti

3.1 Identifikovati izvore informacija i sarađivati sa onima koji poseduju odgovarajuće podatke

3.2 Analizirati probleme i mogućnosti (sve modele)

Cilj ovog prvo okvira i skupa koraka je Analiza problema i određivanje mogućnosti.

Drugi okvir je **Razvoj strategije** sa sledećim koracima:

4. Izgraditi i zajednički proceniti moguće situacije

4.1 Razviti scenario o potencijalnim budućim situacijama

4.2 Razmatrati scenarije sa građanima i zainteresovanim stranama

5. Razviti viziju i ciljeve sa zainteresovanim stranama

5.1 Odrediti zajedničku viziju mobilnosti i šire

5.2 Zajedno sa zainteresovanim stranama kreirati ciljeve za sve

6. Postaviti ciljeve i indikatore

6.1 Identifikovati indikatore za sve ciljeve

6.2 Dogovorite merljive ciljeve

Krajnji cilj ovog okvira i skupa koraka je uspostavljanje Strategije mobilnosti.

Treći okvir je **Mere planiranja**:

7. Odabrati paket mera sa zainteresovanim stranama

7.1 Kreirati i proceniti listu mera zajedno sa zainteresovanim stranama

7.2 Definisati integrisane pakete mera

7.3 Planirati evaluaciju i monitoring mera

8. Dogovor oko radnji i odgovornosti

8.1 Opisati sve radnje

8.2 Proceniti troškove i identifikovati izvore finansiranja

8.3 Odrediti prioritete, odgovornosti i vremensku liniju

8.4 Osigurati široku političku i javnu podršku

9. Pripreme za usvajanje i finansiranje

9.1 Finalizirati i obezbediti kvalitetan dokument „Plan održive urbane mobilnosti“

9.2 Razraditi finansijske planove i ugovoriti deljenje troškova

Krajnji cilj ovog okvira je usvajanje Plana održivosti urbane mobilnosti.

Poslednji okvir je **Implementacija i monitoring** sa sledećim koracima:

10. Upravljanje implementacijom
 - 10.1 Koordiniranje sprovođenje akcija
 - 10.2 Nabavke robe i usluga
11. Nadgledanje, adaptacija i komunikacija
 - 11.1 Nadgledati napredak i prilagođavati
 - 11.2 Informisati i uključiti građane i zainteresovane strane
12. Pregledati i naučiti
 - 12.1 Analizirati uspehe i neuspehe
 - 12.1 Deliti rezultate i naučene lekcije
 - 12.3 Uzeti u obzir nove izazove i rešenja

Cilj poslednjeg okvira i seta koraka je Procena mera implementacije.

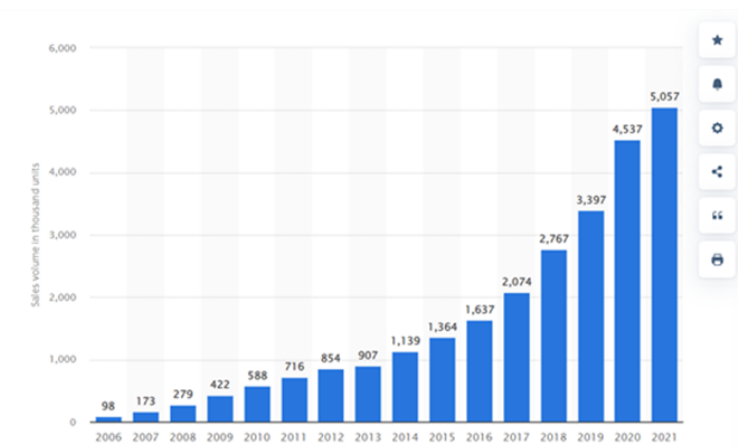
8.5 Elektrifikacija kao podrška prelasku na održive načine mobilnosti

Bez sumnje, evropski gradovi moraju sa upotrebe automobila da pređu na pešačenje, vožnju bicikla, deljenje prevoza i kolektivni prevoz. Primena različitih elemenata električne mobilnosti u okviru strategija planiranja održive urbane mobilnosti može igrati ključnu ulogu u olakšavanju ove tranzicije. Neki od ovih elemenata uključuju:

a) Električnu podršku biciklistima

Biciklizam je neverovatno efikasan način prevoza kada je u pitanju korišćenje prostora. Zahteva minimalan prostor za parkiranje i putovanje. U poređenju sa gradovima prilagođenim automobilima, biciklistički gradovi imaju znatno niže nivoe zagušenja saobraćaja. Sama pomisao kako svi biciklisti u gradovima sede sami u automobilima naglašava ogromnu vrednost ušteđenog prostora u biciklističkim gradovima. Pored toga, uključivanje električne podrške biciklizmu čini ga manje fizički zahtevnim i proširuje domet za prelaženje većih udaljenosti. Uvođenje električne podrške predstavlja ogromnu priliku za porast biciklizma u evropskim gradovima, što je od koristi i pojedincima i logistici. Električni bicikli, kao i svaki drugi bicikl, zahtevaju dobro dizajniranu i privlačnu infrastrukturu. Kako broj električnih bicikala nastavlja da raste u urbanim sredinama (pored sveukupnog povećanja

upotrebe bicikala), postoji potreba da se modifikuje postojeća infrastruktura kako bi se prilagodila većim varijacijama brzine, povećanim preticanjima, širim i dužim biciklima i biciklima sa prikolicom. Takođe, u porastu je potražnja za električnim biciklima. Slika 3 prikazuje broj električnih bicikala prodanih u Evropskoj uniji (EU-28) u periodu od 2006. do 2021. (u 1.000 jedinica).



Slika 3. Broj električnih bicikala prodanih u Evropskoj uniji (EU-28) u periodu od 2006. do 2021. (u 1.000 jedinica)[4].

Električni bicikli su idealni za redovna putovanja jer im nije potrebna infrastruktura za punjenje na putu. Asortiman e-bicikala je više nego dovoljan za svakodnevna putovanja, a baterije se mogu praktično odvojiti od bicikla i puniti kod kuće ili na radnom mestu. Međutim, za razonodu i turističke svrhe koje mogu uključivati duža putovanja, mogućnost dopune na putu može biti veoma korisna.

b) Elektrifikacija autobusa

Javni prevoz je takođe ključni element planova održivog prevoza. Omogućava kretanje velikog broja putnika postavljenim rutama koje se pridržavaju rasporeda. Autobusi igraju značajnu ulogu u sistemima javnog prevoza mnogih gradova i mesta. U Evropi, većina autobusa ima dizel motore, što čini skoro 90% voznog parka. Prema izveštaju ZeEUS-a[5], 2013. godine električni autobusi su činili samo 1,2% evropskih autobusa. Vredi napomenuti da vozila javnog prevoza, kao što su autobusi, rade mnogo duže, obično od 12 do 16 sati, u poređenju sa privatnim automobilima koji se koriste manje od sat vremena dnevno. S obzirom na veličinu motora autobusa, uticaj elektrifikacije gradskih autobusa je približno 100 puta veći od uticaja privatnih automobila. Ovo

se posebno odnosi na gradove koji premašuju nivoe koncentracije NO₂ koje je propisala EU, prvenstveno uzrokovane emisijama dizel goriva. Ovi gradovi su zainteresovani za prelazak sa dizel na električne autobuse, iako je dalji napredak pouzdanosti i performansama baterijsko-električnih autobusa i dalje neophodan. Takođe, došlo je i do poboljšanja infrastrukture trolejbusa i sada se mogu koristiti sa baterijama čime se omogućava njihov produženi rad bez potrebe za nadzemnim električnim žicama. Evropski propisi nalažu nabavku određenog procenta ekološki prihvatljivih autobusa počevši od 2025. godine.

c) Kao deo novih mobilnih usluga (npr. usluge „po pozivu“ mini autobusa)

Mobilnost kao usluga revolucionizuje način na koji se kolektivni transport odvija. Opsežna digitalizacija javnog prevoza obezbeđuje besprekorno i lako korisničko iskustvo, čime se privlači veći broj putnika. Mobilnost kao usluga zadovoljava individualne preference nudeći personalizovane opcije prevoza, ažuriranja putovanja u realnom vremenu, efikasno planiranje putovanja i pogodne metode plaćanja.

d) Kao deo novog koncepta deljenja

Rešenja za zajedničku mobilnost imaju potencijal da dovedu do transformativnih promena poboljšanjem kvaliteta života u urbanim sredinama. Ova rešenja promovišu inkluzivnu mobilnost za sve građane, što rezultira značajnim prednostima za ličnu i prostornu dostupnost. Dok rešenja za e-mobilnost mogu biti važni u podsticanju zajedničkog transporta, pitanje punjenja vozila postavlja određene poteškoće. Međutim, pojava lakih e-vozila u okviru koncepta deljenja nudi uzbudljiv novi pristup koji efikasno rešava nedostatke u potražnji za mobilnošću.

e) Kao deo novih logističkih koncepata (mikro stanice za isporuku radi prelaska na manja električna vozila kao što su teretni bicikli)

Teretni bicikli mogu značajno poboljšati isporuku robe u gradovima pružajući efikasniju i ekološki prihvatljiviju alternativu tradicionalnim kombijima. Prisustvo stanica za isporuku je od suštinskog značaja za olakšanje utovara teretnih bicikala za završnu fazu procesa isporuke.

8.6 Prilagođavanje održivog planiranja urbane mobilnosti lokalnom kontekstu

Plan održive urbane mobilnosti igra ključnu ulogu u rastu i napretku urbanog područja. Neophodno je imati efikasne mehanizme

kako bi se osiguralo da plan ispunjava profesionalne standarde i da je u skladu sa zahtevima koncepta plana održive urbane mobilnosti. Važno je posvetiti posebnu pažnju osiguranju kvaliteta podataka i upravljanju rizikom tokom faze implementacije. Ove odgovornosti mogu biti poverene spoljnim recizentima kvaliteta ili drugim vladinim institucijama na regionalnom ili nacionalnom nivou. Pored toga, korišćenje alata kao što je alat za samoprocenu plana održive urbane mobilnosti može u velikoj meri olakšati proces.

Izazov pripreme i implementacije planiranja održive urbane mobilnosti jeste prilagođavanje planiranja održive urbane mobilnosti datom lokalnom kontekstu bez ugrožavanja glavnih principa koji stoje iza planiranja održive urbane mobilnosti:

- Proces planiranja se može prilagoditi specifičnim karakteristikama datog grada, uzimajući u obzir faktore kao što su njegova veličina (bilo da se radi o malom urbanom području ili mitropolitanskom regionu), njegov odnos sa okolnim predgrađima i njegova geografska lokacija (kao što je priobalje ili unutrašnjost). U slučaju sekundarnih gradova, često se susreću sa okolnostima koje prevazilaze mogućnosti i nadležnost lokalnih vlasti. Na primer, funkcionalna oblast grada može da se proteže izvan trenutnih administrativnih podela, a odgovornosti mogu biti podeljene između različitih institucija i nivoa. U takvim situacijama, Plan održive urbane mobilnosti treba da uspostavi strategiju koja će uključiti sve relevantne zainteresovane strane, čime se postavljaju temelji za potencijalne institucionalne reforme.
- Fokus politike može varirati u zavisnosti od situacije mobilnosti, dominantnih pitanja i izazova i lokalnih političkih ili javnih prioriteta. Shodno tome, raspodela resursa za svaku situaciju treba da bude prilagodljiva, a radnje treba da budu prilagođene tako da zadovolje zahteve. Iako plan održive urbane mobilnosti treba da teži sveobuhvatnosti, može se zameniti ciljanim poboljšanjima i prioritetnim oblastima.
- Lokalne faktore kao što su geografske karakteristike, vremenske prilike, društveno-ekonomski uslovi i preferencije korisnika treba uzeti u obzir tokom planiranja transportnih inicijativa. Iako ideje i koncepti iz drugih gradova mogu pružiti dragocene informacije, potrebno ih je prilagoditi tako da odgovaraju specifičnom lokalnom kontekstu. Ovo se može postići kroz zajednički i

inkluzivnu pristup koji uključuje učešće različitih zainteresovanih strana

Konačno, važno je naglasiti da je u cilju promovisanja održive gradske mobilnosti sa električnim vozilima ključno implementirati politike na različitim nivoima vlasti koje podržavaju njihovu upotrebu. Ove politike mogu uključivati podsticaje kao što su subvencije za kupovinu električnih vozila, uspostavljanje programa deljenja električnih vozila, postavljanje stanica za punjenje i za privatna i javna vozila, i razvoj pametnih mreža i tehnologije interneta stvari. Pored toga, neophodno je da električna energija koja se koristi za pogon ovih vozila dolazi iz obnovljivih izvora kako bi se smanjio negativan uticaj transporta na životnu sredinu u ovoj oblasti.

REFERENCE

- [1] https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022
- [2] https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en
- [3] Arndt, W. H., Drews, F., Hertel, M., Langer, V., & Wiedenhöft, E. (2019). Integration of shared mobility approaches in Sustainable Urban Mobility Planning. *European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans. Report. Available online: https://difu.de/publikationen/2019/integration-of-shared-mobility-approaches-in-sustainable-urban-mobility-planning* (pristupljeno 15.02.2024).
- [4] <https://www.statista.com/statistics/397765/electric-bicycle-sales-in-the-european-union-eu/>
- [5] <https://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>

Pitanja:

1. Koji je cilj planiranja održive urbane mobilnosti?
2. Koje su prednosti održive urbane mobilnosti u odnosu na tradicionalno planiranje transporta?
3. Koji su glavni faktori koje treba uzeti u obzir za električnu mobilnost i razvoj strategija održive urbane mobilnosti?
4. Koji su koraci u planiranju održive urbane mobilnosti?
5. Elektrifikacija kojih elemenata električne mobilnosti igra važnu ulogu u tranziciji ka održivoj urbanoj mobilnosti?



Deliverable 3.5

WB HEIs will create teaching material in line with EM catalogue of courses. Teaching material – manual for students will be prepared in electronic and paper forms and reviewed by EU partners. (up to 100 pages, B5).

Electric Mobility Manual for students

International Business College Mitrovica

Authors: Jelisaveta Marjanovic, Mihone Kerolli Mustafa, Damir Gashi,

Chapter 9. Environmental Impacts of Electric Vehicles

1.1. Introduction

Worldwide vehicle production growth over the past decades has caused strong emissions increments which have affected both population and industrial sectors globally. EU-28's CO₂ emissions correspond to 10.8% of global CO₂ emissions [1].

Global warming and urban pollution focused a great interest on hybrid electric vehicles (HEVs) and battery electric vehicles (BEVs) as cleaner alternatives to traditional internal combustion engine vehicles (ICEVs). The environmental impact related to the use of both ICEV and HEV mainly depends on the fossil fuel used by the thermal engines, while, in the case of the BEV, depends on the energy sources employed to produce electricity. Moreover, the production phase of each vehicle may also have a relevant environmental impact, due to the manufacturing processes and the materials employed. [2]

Whether combustion or battery-powered, the production, use and disposal of every vehicle has an impact on the environment. While in the case of internal combustion engines, the main environmental impact is caused not only by production but also by use, battery production accounts for a significant proportion of the environmental impact of battery-powered vehicles. [3]

1.2. Life cycle assessment

Life cycle assessment (LCA) is a means of assessing the environmental impact associated with all stages of a product's life. The stages relevant to BEVs have been used to structure this report . LCA is recognized as being the best framework for assessing the environmental impacts of products [4]. Increased understanding of upstream and downstream environmental impacts of products helps avoid shifting the burden from one stage to another in a product's life cycle, and it reduces the potential for this burden to move from one country to another. [5]

This is why the LCA of the HEV and BEV must include different stages (Figure 1)

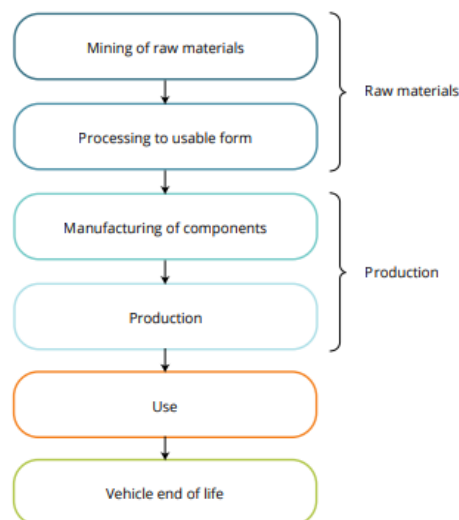


Figure 1: Scope of the analysis for the Life Cycle Assessment of HEVs and BEVs [6]

In terms of coverage of impacts, LCAs typically include up to 16 categories [7, 5] including climate change, ozone depletion, ecotoxicity and resource depletion.

Environmental impacts are grouped under the following themes:

- climate change;
- health impacts, particularly focused on:
 - 'human toxicity';
 - air quality impacts on health with a focus on nitrogen oxides (NOx) and
 - particulate matter (PM), e.g. in relation to;
- ecosystem impacts,
 - including: – freshwater ecotoxicity.

These themes reflect the key topics covered in the LCA literature on electric vehicles.

1.2.1. Production phase and mining raw material

Production of BEVs requires a range of raw materials. Compared with an ICEV, the main differences in the materials required arise from the battery, power electronics and electric motor in a BEV.

Currently, for the BEV body and auxiliary systems, in many cases the same materials and similar quantities are used as for ICEVs for BEV models adapted directly from an ICEV model. However, because of the importance of maximising vehicle range for BEVs, in some cases BEV bodies are specifically designed using more lightweight materials such as aluminium, carbon fibre and plastic composites. Known as 'lightweighting', this process may become increasingly important in the future.

The key metals and other raw materials required for those BEV components that are used in greater quantities than in ICEVs are illustrated in Figure 2.

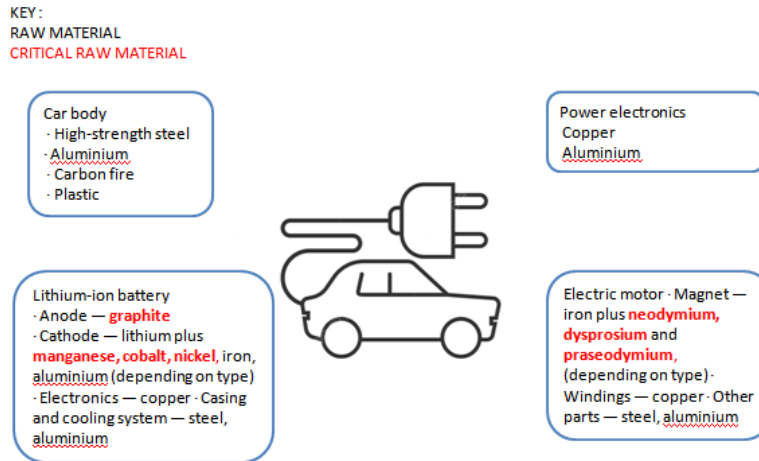


Figure 2: Critical raw materials [8]

There are a number of environmental impacts that are exacerbated by the use of raw materials in larger quantities or exclusively in BEVs. These include:

- greenhouse gas (GHG) and air pollutant emissions from energy-intensive mining and refining processes;
- health and ecosystem impacts of:
 - air pollution from metallurgical processes;
 - water and soil contamination from mining activities;
- ecosystem impacts of land use for mining;
- depletion of critical raw materials (CRM) and rare earth elements (REE).

Although the issue depletion of CRMs and REEs is not considered an environmental impact in itself, extraction of those materials can cause a great impact. This is mainly due to the locations of findings of those materials. The tendency of companies to mine and process materials in countries where safeguards for human health and environmental protection are weak pose a great concern. Although lithium is not officially classed as a CRM, its use in lithium ion (Li-ion) batteries and the rapid increase in demand from rising electric vehicle uptake could place pressures on the supply of this material.

Expected growth in the electric vehicle market will be accompanied by increasing demand for CRMs, including cobalt and REEs contained in Li-ion batteries [9]. For example, under a scenario of limiting average global temperature rise to 2 °C, global lithium demand will rise to 160 000 tonnes in 2030 and 500 000 tonnes in 2050. Electric cars will account for 82 % of the road transport-related demand in 2030 and 83 % in 2050. This assumes that in 2030 electric car annual sales (BEVs, PHEVs and FCEVs) will be around 26 million and in 2050 will be around 97 million [10]. Figure 3 and Figure 4 show demand for CRMs and REEs in the EU to 2030.

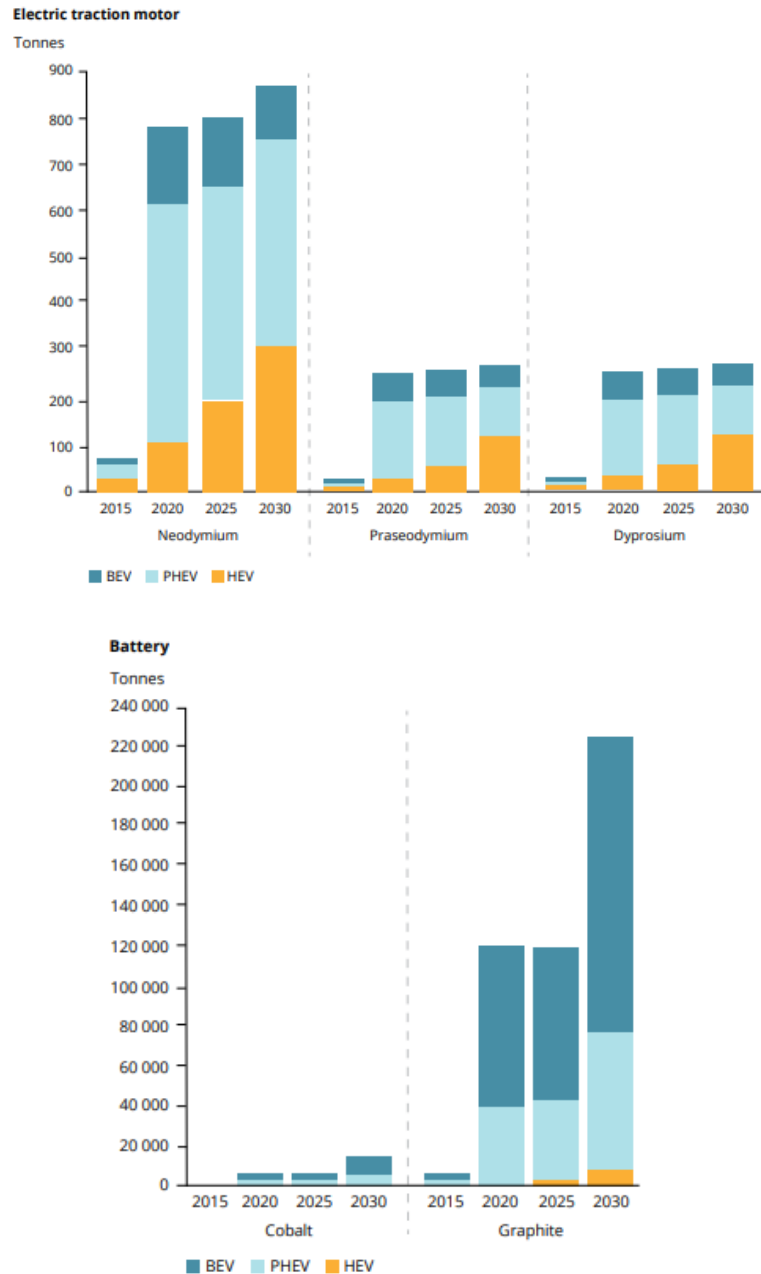


Figure 3 and Figure 4 Expected increase of demand for CRM and REE [11]

1.2.2. Climate Change

The processes involved in raw material sourcing, which include extraction, separation and refining, are resource intensive. Large volumes of water, energy and other substances such as ammonia are consumed. This contributes to making material extraction and processing into a useable form a significant contributor to energy use and correspondingly GHG emissions [9] [12] [13]

Estimates of the GHG emissions from raw material extraction and processing for Li-ion batteries vary widely, but recent LCAs suggest that it is responsible for around 20 % of the total GHG emissions from battery production [14] [15]

The energy used in raw material extraction and processing may be in the form of electricity, heat or fossil fuels used in vehicles and machinery. Compared with BEV manufacture and use, in which electricity is the dominant energy source, a larger proportion of the energy demand for raw material extraction and processing comes from fuel combustion in vehicles and to provide heat. For the portion of energy provided by electricity, the climate change impact depends on the carbon intensity of electricity generation types feeding into the grid at the time and location of use. This varies considerably by country: those with the highest carbon intensity are those where coal-fired power stations dominate.

As well as GHG emissions from energy use, another key source of GHGs is direct emissions of CO₂ and perfluorocarbons arising from aluminium production. Depending on the vehicle model, this could be a more important source for BEVs than for ICEVs because of the greater quantity of aluminium used for lightweighting of vehicle components in BEVs

The resource intensity of raw material supply can be reduced through recycling, as this reduces the need to source virgin raw materials. For example, producing primary aluminium requires around 20 times as much energy as recycling scrap aluminium [16] [17]). Moreover, other research suggests that using recycled materials for the entire battery could result in reductions in GHG emissions of up to 50 % across the battery production process [13].

1.2.3. Environmental impact on ecosystems

Mining processes, the release of toxic emissions and leakages of toxic substances can have harmful impacts on human and ecosystem health. For ecosystems this can include:

- eutrophication;
- acidification of water bodies and wetlands;
- soil contamination with heavy metals and soil erosion;
- biodiversity loss, including of land vegetation and aquatic species, especially fish [8] [13] [18]

Energy use results in emissions of air pollutants from fuel combustion, including NO_x and sulphur oxides (SO_x), which contribute to eutrophication and acidification. In addition to emissions from energy use, producing the metals used results in direct emissions of acidifying gases:

- Sulphur dioxide (SO₂) is released during primary production of copper and nickel from sulphide ores for batteries, electronics and electric motors [19]
- Hydrogen chloride and hydrogen fluoride (which also have local health impacts) are released during aluminium production [19]

Information on the ecosystem impacts of REEs (dysprosium, neodymium and praseodymium) is currently limited; however, studies to investigate the environmental impacts of REE mining are becoming more numerous [20] [21]. Traditionally, REEs were thought to be low risk to ecosystems, as they are largely immobile and insoluble. Recent laboratory studies have, however, revealed the potential for bioaccumulation and toxicity of REEs among aquatic species. For example, REEs have been shown to inhibit the growth of plants and of certain species of marine algae as well as causing decreased chlorophyll production [20] [21].

1.3. Production phase and the question of battery manufacturing

From a life cycle perspective, GHG and air pollutant emissions from BEV production are generally higher than those from ICEV production. This is largely due to the energy-intensive process of battery manufacture. [6]

This higher energy use has associated broader health and ecosystem impacts. The impacts vary according to the battery chemistry and size and the energy mix used in the production processes.

From a circular economy perspective, the negative environmental impacts of vehicle production can be minimised by:

- increased use of renewable electricity to provide energy for BEV production,
- recycling — increasing the use of recycled rather than virgin materials,
- changes in consumption patterns by encouraging consumers to choose the smallest possible vehicle category — this can be facilitated through shared mobility services
- reducing waste generation — by taking advantage of economies of scale and new techniques in battery and vehicle production
- choosing battery types with the lowest impact per unit of energy provided.

Deploying BEVs is one of the main initiatives to decarbonise and reduce emissions from the transport sector, as they have no tailpipe emissions and can significantly reduce impacts on climate when charged with electricity from renewable energy sources (RESs) [22] [23]. However, the environmental impact of their manufacturing is higher than that of internal combustion engine vehicles due to battery production, shifting the environmental burden from the use stage to production [24]. The demand for larger battery sizes to tolerate longer driving ranges has exacerbated the problem. As a result, extending the life of used BEV lithium-ion batteries for secondary application has been proposed to reduce the environmental impact of battery manufacturing on the BEV life cycle [25]. Additionally, refurbishing EV batteries aligns with the EU's Circular Economy Action Plan to reduce or eliminate waste and pollution and transform products and materials to remain in supply chains for as long as possible.

Most LCAs of BEVs find that battery production is responsible for the largest proportion of energy use (and GHG emissions) in the production phase [26], with estimates ranging between 10 and 75 % of manufacturing energy and 10 and 70 % of manufacturing GHG emissions [27]. A recent review found that all stages of battery production account for 33-44 % of total BEV production emissions [15]. Of this total, LCAs report that cell manufacturing and battery assembly accounts for anything between 3 and 80 % of total battery production emissions depending on the approach taken, with the rest arising from raw material extraction and processing [14] [15]

1.4. Dependence on the electricity grid

Considering an individual vehicle, the total environmental impact arising from the use stage of a BEV depends on both the impact per kilometre and the distance driven over a particular period, i.e.: Total impact = impact per kilometre × kilometres driven. In the available research literature on the in-use environmental impacts of BEVs and comparisons with ICEVs, most studies focus on impacts per kilometre driven.

There are many factors that affect this, including:

- electricity generation sources;
- characteristics of vehicles;
- driving style and location;
- charging patterns.

BEVs emit no GHGs locally (TTW stage); however, they are emitted during electricity production (WTT stage).

The majority of LCAs suggest that the WTW GHG emissions per kilometre driven of BEVs in Europe are lower than those of ICEVs and hybrid vehicles. Based on the carbon intensity of the EU electricity mix in 2015, the WTW emissions of a mid-sized BEV were between 60 and 76 gCO₂e/km. This is between 47 % and 58 % lower than the emissions of an average mid-sized passenger ICEV in 2015, at 143 gCO₂e/km [26].

Extended-range and plug-in hybrid electric vehicles (REEVs and PHEVs) also have lower in-use WTW GHG emissions than ICEVs, allowing emissions savings of up to 48 % and 36 %, respectively.

The key factors affecting BEV GHG emissions are:

- BEV driving energy consumption;
- GHG emissions per unit of electricity required. BEVs have a superior in-use energy efficiency relative to ICEVs; BEVs can convert 70-90 % of the energy stored in the battery into movement [28], whereas the theoretical peak efficiency of ICEVs is only 40 %.

Despite this, replacing the approximately 246 million combustion-powered passenger cars in Europe [29] with electric cars would be completely misguided. For example, newly registered electric cars in Europe currently emit an average of 75 grams (g) CO₂ e/km over their entire life cycle, which is around 69% less greenhouse gases than comparable petrol-driven vehicles. [30]. If green electricity is used during production and operation, CO₂ emissions are reduced even further. The resource consumption of the two drives can be classified as high in each case. The battery drive requires a large proportion of abiotic resources (minerals and metals) in its production phase. The combustion engine consumes a great amount of biotic resources, such as gasoline and diesel, during the use phase, which cannot be recycled after a single use.

1.5. End of life

The end-of-life stage, considered in isolation, has the smallest impact in terms of total life cycle emissions. However, encouraging sustainable practices during this stage could result in benefits across all life cycle stages.

These include:

- a reduced need for virgin materials and hence a reduction in the impacts of mining and production;

- a reduced or delayed need for disposal and hence a reduction in impacts from landfilling;
- a move towards a more circular economy through the reuse and remanufacture of batteries or their components and from recycling or recovery of materials.

Further research and development is needed to make end-of-life processes more efficient and sustainable.

Therefore, there is a need to:

- consider standardisation to encourage large-scale recycling and reuse processes;
- real-life testing of battery second-use applications and other end-of-life options;
- develop systems for REEs contained in magnets;

Although the recycling process does require additional energy inputs at the end of a vehicle's life, the benefit in terms of resources saved by not producing new products usually outweighs this. For example, recycling electric vehicle batteries through pyrometallurgy can reduce primary energy demand by 6-56 % through material recovery [31]. However, the extent to which such resource savings can be achieved through recycling depends, in part, upon the economic attractiveness of different end-of-life options.

Currently, the literature on LCAs of BEVs and comparisons with ICEVs is dominated by climate change impacts [32]. The comparative life cycle GHG emissions of BEVs and ICEVs depend on a number of factors, including the size of vehicle considered, the lifetime mileage, assumptions about the electricity generation mix and whether the ICEV is a petrol or diesel vehicle.

1.6 Footprint of EV

The majority of LCAs show that BEVs have lower life cycle GHG emissions than ICEVs. In general, GHG emissions associated with the raw materials and production stage of BEVs are 1.3-2 times higher than for ICEVs [15] [14], but this can be more than offset by lower per kilometre use stage emissions, depending on the electricity generation source reported life cycle GHG emissions from BEVs charged using the average European electricity mix 17-21 % and 26-30 % lower than similar diesel and petrol vehicles, respectively. This is broadly in line with more recent assessments based on the average European electricity mix [15]

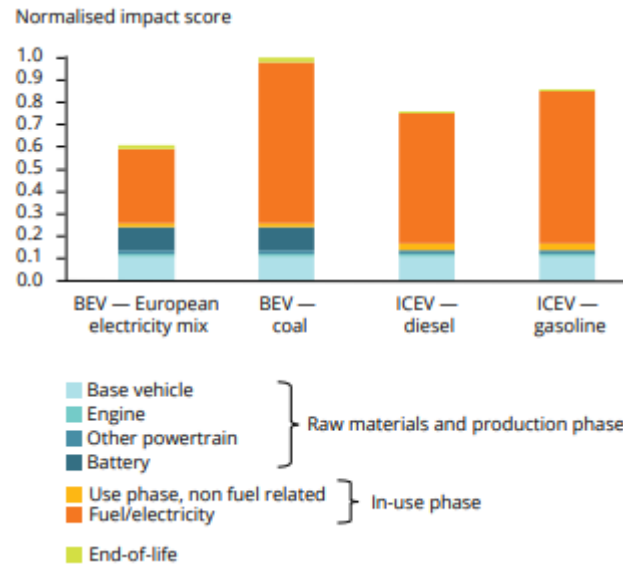


Figure 5: Climate Change Impact – comparison between BEVs and ICEVs Source [8]

LCA show that the battery drive has a significantly lower CO₂ footprint over the entire life cycle (production, use and disposal) than the combustion drive. [6] With the current EU electricity mix - i.e. a 44.6 % share of renewable energies - the CO₂ emissions of an electric car are 66 - 69 % lower than those of a comparable car with a combustion engine. [33] Whereas a diesel vehicle under normal driving conditions in Europe emits up to 250 g CO₂ e/km^{14,33} taking into account the entire life cycle, an electric vehicle with a battery capacity of 53 kilowatt hours (kWh) emits only 75 g CO₂ e/km^{14, 33} Thus, an average medium-sized diesel car of the “Golf class” produces about three times as much CO₂ e/km as a comparable electric car. [34]

Bibliography

- [1] European Commission, Directorate-General for Energy,, "European Union," [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/197947>. [Accessed 20 02 2023].
- [2] Emiliano Pipitone et al, "A Life Cycle Environmental Impact Comparison between Traditional, Hybrid, and Electric Vehicles in the European Context," *Sustainability*, pp. 13(19), 10992; <https://doi.org/10.3390/su131910992>, 2021.
- [3] Environmental Action Germany, "Info sheet | What is the environmental impact of electric cars?," Deutsche Umwelthilfe e.V., 2023.
- [4] EC, '*Integrated Product Policy — building on environmental life cycle thinking*', European Commission, 2003.

- [5] S. C. E. S. M. a. P. R. Sala, Global normalisation factors for the Environmental Footprint and Life Cycle Assessment, Publications Office of the European Union, 2017.
- [6] European Environment Agency, "Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives - TERM 2018:," Transport and Environment Reporting, 2018.
- [7] US EPA, "Application of life-cycle assessment to nanoscale technology: lithium-ion batteries for electric vehicles," United States Environmental Protection Agency , Washington, DC, 2013.
- [8] T. e. a. Hawkins, "Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles," *Journal of Industrial Ecology* 17, pp. pp. 53-64., 2013.
- [9] S. a. R. M. Massari, "'Rare earth elements as critical raw materials: focus on international markets and future strategies," *Resources Policy* 38, pp. pp. 36-43, 2013.
- [10] Öko-Institut, " Ensuring a sustainable supply of raw materials for electric vehicles: a synthesis paper on raw material needs for batteries and fuel cells," Öko-Institut, Berlin , 2018.
- [11] Mathieux, F., et al, "Critical raw materials and the circular economy," European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italy, 2017.
- [12] D. a. T. J.-M. Larcher, "Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage," *Nature Chemistry* 7, pp. pp. 19-29, 2014.
- [13] Dunn, J., et al., "'The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction," *Energy and Environmental Science* 8, pp. pp. 158-168, 2015.
- [14] Kim, H. C., et al, "Cradle-to-gate emissions from a commercial electric vehicle Li-ion battery: a comparative analysis," *Environmental Science and Technology* 50(14), pp. pp. 7715-7722, 2016.
- [15] Ellingsen, L. and Hung, C, "Research for TRAN committee — resources, energy, and lifecycle greenhouse gas emission aspects of electric vehicles," Policy Department for Structural and Cohesion Policies, European Parliament, Brussels, 2018.
- [16] IEA, " Greenhouse gas emissions from major industrial sources — III iron and steel production," Report No PH3/30 International Energy Agency, Paris, 2000b.
- [17] IEA, "Greenhouse gas emissions from major industrial sources — IV the aluminium industry," Report No PH3/23, International Energy Agency, Paris, 2000a.
- [18] Majeau-Bettez, G., et al., "Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles," *Environmental Science and*

Technology 45, pp. pp. 4548-4554, 2011.

- [19] EMEP/EEA, "2.C Metal production," in *EMEP EEA Airpollutant emission inventory guidebook*, European Environment Agency, 2016 .
- [20] K. Rim, " Effects of rare Earth elements on the environment and human health: a literature review," *Toxicology and Environmental Health Sciences* 8, pp. pp. 189-200, 2016.
- [21] MacMillan, G. A., et al, ""Rare earth elements (REE) in freshwater, marine, and terrestrial ecosystems in the eastern Canadian Arctic," *Environmental Science Processes and Impacts* 10, pp. pp. 1336-1345, 2017.
- [22] Cox B., Mutel C.L., Bauer C., Mendoza Beltran A., Van Vuuren D.P., "Uncertain environmental footprint of current and future battery electric vehicles," *Environ. Sci. Technol* 52, p. 4989–4995, 2018.
- [23] Koroma M.S., Brown N., Cardellini G., Messagie M, "Prospective environmental impacts of passenger cars under different energy and steel production scenarios," *Energies*, p. 13, 2020.
- [24] Peters J.F., Baumann M., Zimmermann B., Braun J., Weil M., "The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – a review," *Renew. Sust. Energ. Rev* 67, p. 419–506, 2017.
- [25] Casals L.C., Amante García B., Canal C., "Second life batteries lifespan: rest of useful life and environmental analysis," *J. Environ. Management* 232, p. 354–363, 2019 .
- [26] Nordelöf, A., et al., ""Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles — what can we learn from life cycle assessment?," *International Journal of Life Cycle Assessment* 19, pp. pp. 1866-1890, 2014.
- [27] R. a. H. T. Nealer, "Review of recent lifecycle assessments of energy and greenhouse gas emissions for electric vehicles," *Current Sustainable/ Renewable Energy Reports* 2, pp. pp. 66-73, 2015.
- [28] T. a. J. A. Gustafsson, "Comparison between battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles fueled by electrofuels — from an energy efficiency and cost perspective," Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2015.
- [29] European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) , "Vehicles in use Europe," 2022.
- [30] The International Council on clean Transportation , "A Global Comparison of the Life-Cycle Greenhous Gas Emissions of Combustion Engine and Electric," 2021 .
- [31] Hendrickson, T., et al., "Life-cycle implications and supply chain logistics of electric vehicle battery

recycling in California," *Environmental Research Letters* 10, pp. pp. 1-10, 2015 .

- [32] E. a. W. M. Helmers, "Advances and critical aspects in the life-cycle assessment of battery electric cars," *Energy and Emission Control Technologies* 5, pp. pp. 1-8, 2017.
- [33] The International Council on clean Transportation, *A Global Comparison of the Life-Cycle Greenhous Gas Emissions of Combustion Engine and Electric*, 2021.
- [34] Transport & Environment, "UPDATE - T&E's analysis of electric car," https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/05/Final-TE_LCA_Update.pdf, 2022.
- [35] Hossain E., Member S., Murtaugh D., Mody J., Mansur H., Faruque R., Sunny S.H, " A comprehensive review on second-life batteries: current state, manufacturing considerations, applications, impacts, barriers & potential solutions, business strategies, and policies," *IEEE Access* 7, p. 73215–73252, 2019.
- [36] H. e. a. Hao, "GHG emissions from the production of lithium-ion batteries for electric vehicles in China," *Sustainability*, 9(4), p. p. 504, 2017.
- [37] S. e. a. Rangaraju, "Impacts of electricity mix charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: a Belgian case study," *Applied Energy*, pp. pp. 496-505, 2015.

10. EU regulativa električne mobilnosti

Današnji nivo razvoja nauke i tehnologije je na putu da omogući razvoj motornih vozila koje bi zadovoljilo savladavanje svih otpora pri kretanju, uštedu energije, zaštitu životne sredine i ostvarivanje potreba savremenog društva uz punu autonomnost u svim uslovima korišćenja.

Može se reći, da se danas događa najveća ekspanzija automobilske industrije od nastanka motornih vozila. Proizvođači motornih vozila se zakonskim aktima obavezuju da prihvate odgovornost za sve faze životnog vijeka motornih vozila (od razvoja do odumiranja proizvoda na tržištu) sa stanovišta zaštite životne sredine i koncepta održivog razvoja.

U konačnom, da bi danas i u budućnosti izbegli energetske i ekološke probleme, nove tehnologije proizvodnje motornih vozila su usmjerene na proizvodnju vozila sa električnim motorom i autonomnom vožnjom.

Primjena električnih vozila (EV) je potencijalni način za dekarbonizaciju putnih mreža, a istovremeno može ponuditi šire koristi za životnu sredinu, kao što je smanjenje zagađenja vazduha i buke u urbanim sredinama. Tehnološki razvoj EV, povećanje fokusa na obnovljive izvore energije, potencijalno smanjenje uticaja transporta na klimatske promjene i druga važna pitanja zaštite životne sredine, učinila su, da danas širom svijeta postoji kontinuirani rast prodaje EVs na svim glavnim tržištima. Najveće ubrzanje prodaje EV se dešava u Evropi, a Norveška je najveće tržište prodaje EV u Evropi.

Evropska unija (EU) intezivno radi na uspostavljanju pravnog i regulatornog okvira za intezivniji razvoj i primjenu električne mobilnosti. Prelazak konvencijalnih vozila sa fosilnim gorivima na električni pogon i korišćenje energije iz obnovljivih izvora može pomoći u procesu dekarbonizacije na globalnom nivou. Takođe, EU iskazuje svoju ambiciju da postane klimatski neutralan kontinet.

10.1. Nedostaci i prednosti postojećeg zakonodavstva električne mobilnosti za Zapadni Balkan

Brz tehnološki razvoj električnih vozila doveo je do zaostajanja zakonske regulative koja uređuje njihovo korišćenje na putu. Mada, osnovni preduslov da EV učinimo bezbjednim i efikasnijim je uspostavljanje harmonije između njihovog tehničkog rešenja i propisa za njihovo korišćenje.

Bez obzira na ekonomski razvoj pojedinih država Zapadnog Balkana (WB), već potreba postoji da imaju na nacionalnom nivou donešenu zakonsku regulativu koja sadrži propise za korišćenje električnih, pa i autonomnih vozila Level 5, tj. potpuno autonomnih vozila (AV). Posebno, ako se zna, da je Evropska komisija (EC) nakon prve saobraćajne negode u Arizoni (mart 2018) sa smrtnim slučajem u kojem je učestvovalo autonomno vozilo, poslala dopis relevantnim institucijama EU pod nazivom "Na putnu ka autonomnoj vožnji – strategija EU za mobilnost budućnosti".

Ključni razlog kašnjenja u donošenju zakonske regulative na nacionalnom nivou za korišćenje električnih vozila, posebno u dijelu mikromobilnosti, u državama WB je uslovljeno njihovom dostupnošću tržištu i kupcima.

Takođe, EC je u dokumentu Bijela knjiga (2011) usvojila plan za jedinstveno transportno tržište sa konkurentnim transportnim sistemima uz efikasno iskorišćenje resursa. U dokumentu je konstatovano, da će nove tehnologije za vozila i upravljanje saobraćajem biti ključne za smanjenje emisije iz transporta u EU i ostatku svijeta. Jedan od definisanih ciljeva u dokumentu je, prepoloviti upotrebu konvencijalnih vozila sa fosilnim gorivima u gradskim sredinama do 2030. godine, a do 2050. godine potpuno zabraniti njihovu upotrebu u gradskim sredinama. U Bjeloj knjizi EC navodi brojne mjere, od kojih se neke odnose se na električnu mobilnost, njenu promociju i implementaciju.

Ovo ukazuje, zemlje WB treba intezivno da rade u donošenju zakonske regulative koja će impemetirati preporuke EC, date kroz sadržaj Bijele knjige ili direktive EU.

Pravnu regulativu u oblasti električne mobilnosti EU treba da implementiraju zemlje WB (neke od direktiva: 2009/28, 2009/33, 2012/27, 2013/1316, 2014/94, 2018/674, 2018/844, 2018/858, 2018/2001, 2018/2089(INI), 2019/631, 2019/944, 2019/1161, 2019/1745, 2019/2144, 2023/1804 (ukida direktivu 2014/94), itd.), kako bi što prije došlo do dekarbonizacije transporta, uz pravazližanje prepreka vezanih za infrastrukturu punionica i informisanosti građana o značaju upotrebe EV.

Primjenom Uredbe (EU) 2019/2144, prvi put od 2019. godine, definicija autonomnog vozila u dijelu usklađenosti sa propisima o homologaciji vozila pojavljuje se i u zemljama WB.

Afirmativno je, što zakonodavni okvir država WB ne sadrži barijere za uvoz EV. Takođe, može se konstatovati da u državama WB kroz Nacionalne strategije održivog razvoja, saobraćaja ili energetike se prepoznaje značaj, ali malim koracima ulazi u uspostavljanje sistema električne mobilnosti.

10.2. Regulatorni okvir električne mobilnosti u EU

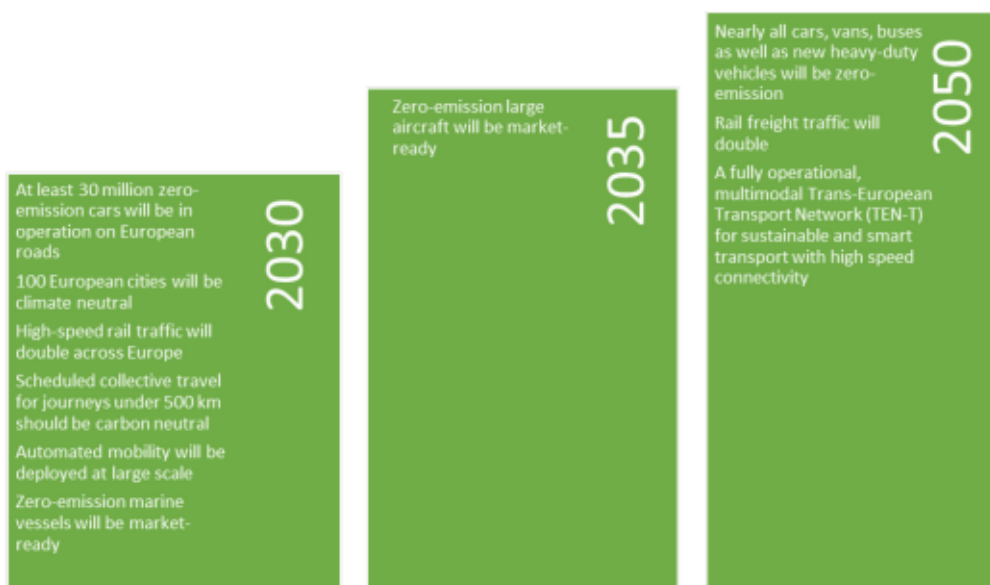
Transformacija transportnog sektora je veliki izazov u smislu smanjenja domaće potražnje za fosilnim gorivima (a samim tim i uvoza), povećanja energetske sigurnosti, suzbijanja lokalnog zagađenja vazduha i smanjenja emisije staklene bašte u skladu sa ciljevima održivog razvoja.

Transportni sektor je odgovoran za oko 28% globalne potražnje za energijom, 65% globalne potražnje za naftom i 24% globalnih emisija ugljendioksida (CO₂) povezanih sa energijom, od čega drumski (uglavnom putnički) transport emituje 77%. Sektor drumskog saobraćaja, sektor sa najmanjom diverzifikacijom krajnje upotrebe energije, skoro je u potpunosti zavisao od fosilnih goriva (>95% u 2018.).

EC u svojim saopštenjima postavlja politički okvir za smanjenje gasova staklene bašte, a električna mobilnost je jedna od neophodnih mjera da bi se postigao zahtijevani nivo. Prema Pariskom sporazumu, zemlje EU su se obavezale da će EU učiniti klimatski neutralnom do 2050-te godine. Pariski sporazum je pravno obavezujući međunarodni ugovor o klimatskim

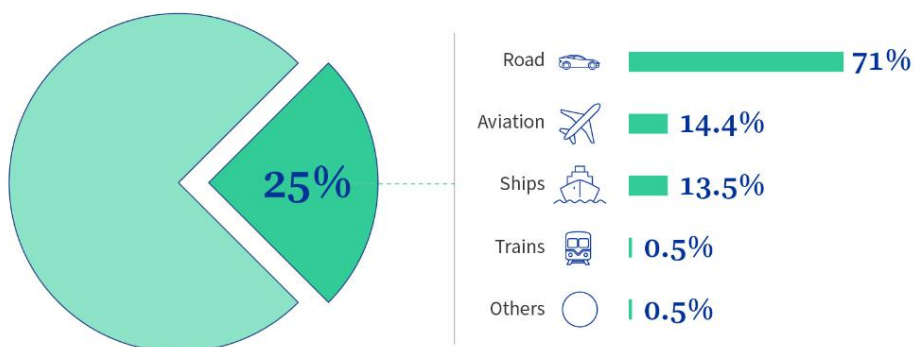
promjenama. Usvojilo ga je 196 država na Konferenciji UN o klimatskim promjenama (COP21) u Parizu, 12. decembra 2015. godine, a stupio je na snagu 4. novembra 2016. godine.

Pitanje održivosti transporta takođe ima odjeka u Evropskom zelenom dogovoru, koji ima za cilj da smanji emisije gasova staklene bašte iz transporta za 90% do 2050. Komisija namjerava da usvoji sveobuhvatnu strategiju za postizanje ovog cilja i da obezbjedi da transportni sektor EU bude kompatibilan sa čistom, digitalnom i modernom ekonomijom. Prekretnice strategije održive i pametne mobilnosti prikazane su na slici 1.



Slika 1. Prekretnice strategije održive i pametne mobilnosti, [3]

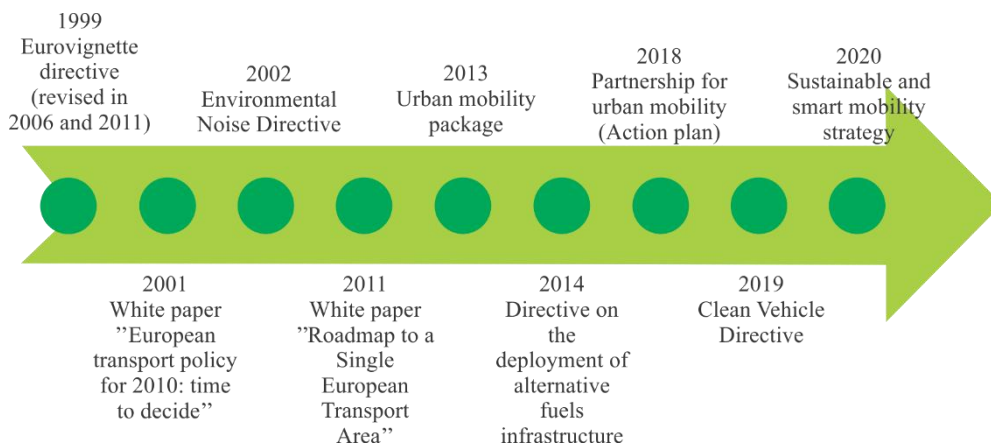
Kada je u pitanju EU, transportni sektor čini jednu četvrtinu emisije gasova staklene bašte, slika 2.



Slika 2. Udio transportnog sektora u EU u emisiji gasova staklene bašte
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/clean-and-sustainable-mobility/>

Glavni cilj EU je održiv, konkurentan, bezbjedan i dekarbonizovan transportni sektor, uz smanjenje potrošnje energije iz fosilnih goriva, tako da rast električne mobilnosti u Evropi može se postići kroz koordinaciju zakonodavnog okvira, institucionalnih i finansijskih aspekata.

Vremenska linija najvažnije prekretnice u razvoju transportnog zakonodavstva i strateških dokumenata EU prikazani su na slici 3, a na slici 4 regulatorni okvir za električnu mobilnost u EU.



Slika 3. Vremenski okvir razvoja transportnog zakonodavstva i strategija EU, [3]



Slika 4. Regulatorni okvir za električnu mobilnost
<https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/09/Regulatory-landscape-for-electric-mobility.pdf>

10.2.1. Legistativa koja se odnosi na čistija i energetska efikasnija vozila

Direktiva 2009/33/EC koju je Evropski parlament i Savjet EU usvojio 23. aprila 2009. godine, a odnosi se na promociju čistih i energetska efikasnih drumskih vozila, bavi se potrebom pružanja podrške za države članice EU za omogućavanje i strukturiranje razmjena znanja i najbolje prakse u promovisanju kupovine čistih i energetska efikasnih vozila, tj. ubrzane upotrebe električnih vozila. Ova direktiva preporučuje, da pri kupovini vozila za drumski saobraćaj treba uzeti u obzir, slika 5:

- potrošnju energije,
- emisiju ugljendioksida (CO_2),
- emisiju oksida azota (NO_x),
- emisiju nemetan ugljovodonika (NMHC) i
- čestica (PM).



Slika 5. Štetna materija u izduvnoj emisiji motornih vozila

<https://bestsupportunderground.com/non-road-engine-emissionstandards>

Zbog određenih nedostataka, a posebno u dijelu ubrzanja procesa dekarbonizacije transportnog sektora i nabavke ekološki čistijih vozila, Direktiva 2009/33/EC je izmjenjena i dopunjena 20. juna 2019. godine Direktivom EU 2019/1161.

Direktivom EU 2019/1161 uvodi drugi paket predloga, koji će doprinijeti težnji EU ka mobilnosti sa niskim emisijama. Ovaj paket predloga, koji je predstavljen u Saopštenju EC od 8. novembra 2017. pod naslovom „Delivering on low-emission mobility — A European Union that protects the planet, empowers its consumers, and defends its industry and workers” uključuje kombinaciju mjera orijentisanih na ponudu i potražnju za pozicioniranje EU na put ka mobilnosti sa niskom emisijom i istovremeno

jačanje konkurentnosti ekosistema mobilnosti EU. Promocija čistih vozila treba da se odvija paralelno sa daljim razvojem javnog prevoza, kao način da se smanji zagađenje puteva, a samim tim i da se smanji emisija i poboljša kvalitet vazduh, slika 6.



Slika 6. Promocija čistih i energetske efikasne vozila za drumski transport

© Evropska Unija

<https://www.europarl.europa.eu/committees/it/clean-vehicles-directive-/product-details/20180508CDT02241>

Uvođenjem novih tehnologija doprinosi se smanjenju emisije ugljendioksida (CO_2) kod vozila i smanjenju zagađenja vazduha i buke, dok se pomaže dekarbonizacija transportnog sektora. Povećanom upotrebom drumskih vozila sa niskom i nultom emisijom smanjiće se emisija ugljendioksida (CO_2) i određene emisije zagađujućih materija (čestica, oksida azota i nemetanskih ugljovodonika) i na taj način poboljšati kvalitet vazduha u gradovima i drugim zagađenim područjima, istovremeno doprinoseći konkurentnost i rast industrije EU.

10.2.2. Legistativa koja se odnosi na infrastrukturu

Budućnost električnih vozila je svijetla, jer troškovi za proizvodnju i upotrebu baterije brzo opadaju. Takođe, sve se više proizvode i pristupačni električni automobili velikog dometa koji rade u potpunosti na struju i koji su sposobni da putuju znatno iznad do sada prikazanog dometa.

Jedan od nedostataka jeste nedostatak dovoljnog broja stanice za punjenje. Ovaj problem se može prevazići kako se broj električnih vozila bude povećavao. Naročito kada govorimo o zemljama u razvoju, treba poseban akcenat staviti da je neophodan srazmjerna izgradnja stanica za punjenje električnih vozila sa brojem samih električnih vozila. Dakle, izgradnja stanica za punjenje električnih vozila mora biti u fokusu svake države.

Direktiva EU 2014/94 od 22. oktobra 2014. godine usvojena je, kako bi se uspostavila izgradnja infrastrukture za alternativna goriva, slika 7.

Do donošenja i usvajanja Direktive EU 2014/94, uočeno je, da nedostatak usklađene infrastrukture za alternativna goriva širom EU i otežano uvođenje vozila na alternativna goriva na tržište, odgađa koristi koje bi ta vozila imala za okolinu. U svojoj komunikaciji od 8. novembra 2012. godine pod naslovom „CARS 2020: Action Plan for a competitive and sustainable automotive industry in Europe” EC je preuzela glavne preporuke iz izvještaja the CARS 21 High Level Group of 6 June 2012 te je predstavila akcioni plan koji se na njima zasniva. Ova Direktiva sadrži ključne preporuke u pogledu infrastrukture za alternativna goriva koja je najavila EC.

Na osnovu Direktive EU 2014/94 pokrenula su se ulaganja u održivu mobilnost i postavljanje infrastrukture za alternativna goriva u EU, a EC i države članice EU će usvojiti okvir nacionalne politike za razvoj tržišta alternativnih goriva u sektoru transporta i postavljanje infrastrukture namenjene vozilima koja koriste alternativna goriva.

Kroz Direktivu (EU) 2018/674 od 17. novembra 2017. godine dopunjena je i izmjenjena Direktiva EU 2014/94 u pogledu mjesta za punjenje motornih vozila kategorije L, snabdevanje električnom energijom sa obale za unutrašnjost plovnih puteva, snabdevanje vodonikom za drumski transport i snabdijevanje prirodnim gasom za drumski i vodni transport.

Kroz Direktivu (EU) 2019/1745 od 13. avgusta 2019. godine dopunjena je i izmjenjena Direktiva EU 2014/94, a stavljena je van snage Direktiva (EU) 2018/674.

Direktiva EU 2023/1804 koju je Evropski parlament i Savjet EU usvojio 13. septembra 2023. godine o postavljanju infrastrukture za alternativna goriva stavlja van snage Direktivu EU 2014/94, a primjenjivaće se od aprila 2024. godine.

Jedan od glavnih ciljeva Direktive EU 2023/1804 je postavljanje javno dostupne infrastrukture za punjenje drumskih vozila alternativnim gorivima. Uz to, cilj Direktive je da se riješi neravnomerna distribucija javno dostupne infrastrukture za punjenje električnih vozila širom EU, jer Evropski parlament i Savjet smatraju da je ugroženo korišćenje lakih električnih vozila i na taj način ograničena povezanost širom EU.

Literatura:

[1] Delgado, A.: Coches eléctricos y también ruidosos: Tráfico y Seguridad Vial, 2019.

[2] European Parliament: EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 – Recommendations on next steps towards "Vision Zero": Technical Report, 2021/2014(INI), 2021.

[3] Jana C., Maria P., Emilia H.: Decoupling transport-related greenhouse gas emissions and economic growth in the European Union countries, Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Volume 11, Issue 1, 2022.

[4] Wenbo, L. Ruyin, L. Hong, C.: Consumers' evaluation of national new energy vehicle policy in China: An analysis based on a four paradigm model. Energy Policy, 99, 33–41, 2016.

[5] Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council, Official Journal of the European Union, **2019**.

<https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/09/Regulatory-landscape-for-electric-mobility.pdf>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32009L0033>

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0211_EN.html

<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj>

<https://bestsupportunderground.com/non-road-engine-emissionstandards>

<https://valtioneuvosto.fi/en/-/1410829/preparation-of-legislation-on-public-vehicle-procurement-proceeds-low-emission-vehicles-and-services-to-finland-1033711>

<https://www.europarl.europa.eu/committees/it/clean-vehicles-directive-/product-details/20180508CDT02241>

<https://www.iea.org/tcep/transport/> - IEA, 2018. Transport.