

# Ispitivanje novorazvijene CHAdeMO utičnice

---

**Goleš, Domagoj**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:156872>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

# **ZAVRŠNI RAD**

**Domagoj Goleš**

U Zagrebu, veljača 2023.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

## **Ispitivanje novorazvijene CHAdeMO utičnice**

Mentor:  
prof. dr. sc. Zoran Lulić

Domagoj Goleš  
0035222667

U Zagrebu, veljača 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Zoranu Luliću na svim stručnim savjetima prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se cijelom odjelu testinga tvrtke Yazaki Europe Limited na pruženoj pomoći i savjetima, a posebno veliko hvala Mariu Markovu, dipl. ing. strojarstva na strpljenju, vremenu te znanju uloženom i pruženom tijekom izrade ovog rada.

Na kraju bih se htio zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima na podršci tijekom studiranja i izrade ovog rada.

Domagoj Goleš



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodostrojarški

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Domagoj Goleš** JMBAG: **0035222667**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ispitivanje novorazvijene CHAdeMO utičnice**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Testing of the newly developed CHAdeMO socket**

Opis zadatka:

Sa sve većim brojem novih modela električnih vozila raste i potreba za izradu novih sklopova za njihovo punjenje električnom energijom. U poslovnicu tvrtke Yazaki Europe, smještenoj u Zagrebu za novu modelsku liniju električnog vozila konstruiran je novi sklop za prihvatanje standardne utičnice punjača velikih snaga CHAdeMO.

Kako bi se realizirala i dokazala pouzdana ugradnja standardizirane CHAdeMO utičnice u odabrani model vozila bilo je potrebno razviti sklop koji ostvaruje pouzdanu električnu vezu između CHAdeMO utičnice i električne instalacije vozila. Novorazvijeni sklop je kao prototip proizveden u manjoj seriji za potrebe testiranja kako bi se dokazala pouzdanost novog proizvoda u budućoj eksploataciji.

U okviru završnog rada treba:

- izraditi pregled standardiziranih načina priključivanja električnih vozila na uređaje za punjenje;
- proučiti i navesti primjerljive međunarodne norme za priključke za električne punjače;
- sukladno normama, projektnim zahtjevima te eventualnim dodatnim zahtjevima naručitelja s ciljem dokazivanja mehaničko-električnih karakteristika novorazvijenog proizvoda osmisлити prijedlog programa ispitivanja;
- za svaku od faza ispitivanja dati obrazloženje i opis postupka;
- prema utvrđenom programu ispitivanja provesti probna mjerenja nakon kojih treba obraditi izmjerene rezultate te ih ocijeniti sukladno kriterijima definiranim u programu ispitivanja;
- izraditi procjenu vremenskih i financijskih resursa potrebnih za provedbu programa ispitivanja;
- zaključiti o opravdanosti programa ispitivanja.

Pri izradi se treba pridržavati uobičajenih pravila za izradu završnog rada. U radu treba navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenoga 2022.

Datum predaje rada:

**1. rok:** 20. 2. 2023.  
**2. rok (izvanredni):** 10. 7. 2023.  
**3. rok:** 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

**1. rok:** 27. 2. – 3. 3. 2023.  
**2. rok (izvanredni):** 14. 7. 2023.  
**3. rok:** 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA.....	III
POPIS TABLICA .....	IV
POJMOVNIK .....	V
SAŽETAK .....	VI
1. UVOD .....	1
1.1 Punjenje električnog vozila.....	1
1.2 Punionice .....	1
1.2.1 Izmjeničnom strujom .....	1
1.2.2 Istosmjernom strujom .....	1
1.3 Punjači.....	2
1.3.1 Model 1 .....	2
1.3.2 Model 2 .....	2
1.3.3 Model 3 .....	3
1.3.4 Model 4 .....	3
1.4 Priključci .....	4
1.4.1 Standardizirani modeli priključaka .....	4
1.4.2 Međunarodne norme za priključke za električne punjače .....	4
2. CHAdeMO.....	5
2.1 Zahtjevi novorazvijenog proizvoda .....	7
2.2 Ispitivanja .....	9
2.2.1 Starenje naglom promjenom temperature (Test K-01).....	14
2.2.2 Slobodni pad (Test M-01).....	15
2.2.3 Životni vijek – mehaničko/hidraulički test izdržljivosti (Test L-01) .....	16
2.2.4 Životni vijek – otpornost na visoke temperature (Test L-02).....	17
2.2.5 Životni vijek – temperaturni ciklusi (Test L-03).....	18
2.2.6 Starenje naglom promjenom temperature, samo kontakti (Test K-16).....	19
2.2.7 Starenje naglom promjenom temperature, sklop (Test K-05).....	20
2.2.8 Mehanički udari (Test M-05) .....	21
2.2.9 Utjecaja vibracija (Test M-04) .....	22
2.2.10 Tretman slanom maglom, vanjski dijelovi (Test K-06) .....	23
2.2.11 Rad pri niskim temperaturama (Test K-03) .....	24
2.2.12 Otpornost na prašinu, krute čestice IP6X (Test M-03).....	25

---

2.2.13 Starenje vlažnim zrakom, cikličko (Test K-09) .....	26
2.2.14 Zaštita od vode IPX5, IPX7 i IPX9K (Test K-10).....	26
2.2.15 Starenje vlažnim zrakom, konstantno (Test K-14).....	28
2.3 Pregled rezultata .....	30
ZAKLJUČAK .....	31
POPIS LITERATURE.....	32

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Razlika između AC i DC punionice po načinu izvođenja punjenja .....	2
Slika 2. Modeli punjača .....	3
Slika 3. CHAdeMO standardizirana utičnica .....	6
Slika 4. Funkcije pojedinih kontaktnih utora u utičnici .....	6
Slika 5. Slijed razvoja novonastalog proizvoda .....	7
Slika 6. Adapter .....	7
Slika 7. Nazivne mjere sklopa CHAdeMO utičnice i proizvedenog adaptera [1] .....	8
Slika 8. Shematskim prostorni prikaz [1] .....	8
Slika 9. Dijagram aktivnosti provođenja ispitivanja (Flow chart) .....	9
Slika 10. Vremenski plan .....	11
Slika 11. Burster 2316 [ <a href="https://www.burster.com/en/measure-test-devices/microohm-and-milliohmmeter/p/detail/resistomatr-2316">https://www.burster.com/en/measure-test-devices/microohm-and-milliohmmeter/p/detail/resistomatr-2316</a> ] .....	12
Slika 12. Četverožična metoda .....	12
Slika 13. Guardian 6000 Plus Electrical Safety Analyzer [ <a href="http://www.quadtech.com/guardian-6000-plus.php">http://www.quadtech.com/guardian-6000-plus.php</a> ] .....	13
Slika 14. XFORCE P 10kN .....	13
Slika 15. Temperaturni ciklus .....	14
Slika 16. Ispitni predmeti položeni unutar šok komore .....	14
Slika 17. Prikaz značajnih uglova .....	15
Slika 18. Prikaz značajnih uglova .....	16
Slika 19. Uzorci nakon uranjanja u smjesu .....	17
Slika 20. Temperaturni profil .....	18
Slika 21. Prikaz temperaturnog profila 4 ciklusa od 300 .....	19
Slika 22. Ispitni primjerci (kontakti sa žicom) za K-16 .....	20
Slika 23. Graf pobude i odaziva ispitnog primjerka. ....	21
Slika 24. Frekvencijski profil .....	22
Slika 25. Ispitni primjerak na vibracijskom stolu .....	23
Slika 26. 48 satni ciklus strujnog opterećenja i rasterećenja .....	24
Slika 27. Ispitni primjerak onečišćen kontaminantima .....	25
Slika 28. Ispitni uzorak i uređaj za simuliranje kiše .....	27
Slika 29. Uronjena komponenta .....	27
Slika 30. Unutarnji dio komponente bez vidljivih oštećenja .....	28
Slika 31. Ciklus strujnog opterećenja za test K-14 .....	29



**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Podjela priključaka po regijama .....	4
Tablica 2. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-01.....	15
Tablica 3. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja M-01 .....	16
Tablica 4. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja L-01 .....	17
Tablica 5. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja L-02.....	18
Tablica 6. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja L-03.....	19
Tablica 7. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-16.....	20
Tablica 8. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-05.....	21
Tablica 9. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja M-05 i M-04 .....	23
Tablica 10. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-06.....	24
Tablica 11. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-03 i M-03 .....	25
Tablica 12. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-09.....	26
Tablica 13. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-10.....	28
Tablica 14. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-14.....	29
Tablica 15. Sažetak izmjerenih vrijednosti .....	30

## **POJMOVNIK**

priključak – komponenta na glavi punjača koja služi za ostvarivanje veze sa utičnicom u vozilu

protokol – dogovoreni postupak koji treba slijediti

konektor – spojnik električnog ožičenja u vozilu

kriterij prihvatljivosti – vrijednosti ili parametri za ocjenu sukladnosti

validacija – postupak utvrđivanja sukladnosti proizvoda sa specifikacijom

specifikacija – postupci pomoću kojih se može odrediti jesu li ispunjeni dani zahtjevi (Hrvatski zavod za norme - Tehnička specifikacija (hzn.hr))

kontakt – metalni element za ostvarivanje električnog spoja ožičenja

kućište – dio sklopa u koji se smještaju dijelovi kako bi se mogli pričvrstiti u nekome položaju, zaštititi od udaraca, oštećenja, vlage ili prašine

kidalica - mjerni instrument za silu ili uređaj za tlačno/vlačno ispitivanje čvrstoće materijala

## **SAŽETAK**

U svijetu sve većeg broja električnih vozila te njihovog razvoja raste i potreba za poboljšavanjem i izradom novih sklopova za punjenje električnom energijom. Novim tehnologijama pokušava se povećati učinkovitost punjenja vozila te skratiti vrijeme potrebno za samo punjenje. U poslovnici tvrtke Yazaki Europe Limited, smještenoj u Zagrebu, konstruiran je novi sklop za prihvat standardne utičnice punjača velikih snaga CHAdeMO. Sama utičnica je namijenjena za novu modelsku liniju električnog vozila koja bi bila sposobna prihvatiti veću snagu punjenja. Kako bi ugradnja standardizirane CHAdeMo utičnice u odabrani model vozila bila moguća, bilo je potrebno razviti sklop koji na pouzdan i siguran način omogućava električnu vezu između CHAdeMO utičnice i električne instalacije vozila. Novorazvijeni sklop kao prototip je proizveden u manjoj seriji samo za potrebe testiranja kako bi se dokazala njegova pouzdanost i sigurnost pri budućoj eksploataciji.

# 1. UVOD

## 1.1 Punjenje električnog vozila

Razvojem svake nove tehnologije proizvođači pokušavaju svojim idejama i rješenjima unaprijediti i poboljšati proizvod. U svijetu sve popularnijeg „zelenog“ transporta postoje različite korporacije koje na svoj način rješavaju pojedine probleme. Jedna od glavnih stvari vezanih za električna vozila je njihovo punjenje. Naime, standardno punjenje spremnika goriva od praznog stanja do punog traje otprilike minutu. Kod punjenja električnih vozila proces je drugačiji. Zbog različitih utjecajnih faktora na sam postupak punjenja te količinu energije koju punjač može isporučiti, punjenje električnog vozila je proces koji traje puno duže nego utakanje goriva u vozilo. Brzina punjenja ovisi o mnogo faktora, a neki od njih su: snaga koju stanica za punjenje može isporučiti, odnosno snaga koju vozilo može prihvatiti, vremenski uvjeti u trenutku punjenja (baterija vozila je manje učinkovita pri hladnijim temperaturama), kapacitet baterije te razina njene napunjenosti. Na pojedine čimbenike se može utjecati njihovim razvojem i poboljšavanjem, a na druge pak ne jer su uvjetovani prirodnim procesima. Dijelovi sustava koji omogućavaju prijenos električne energije iz stanice za punjenje u električno vozilo su komponente koje se razvijaju i usavršavaju već niz godina. Mogu se podijeliti u tri glavne skupine kao što su stanica za punjenje, kabel za punjenje te priključak. Nadalje, punionice se mogu podijeliti prema vrsti struje koju isporučuju. Svaka električna mreža prenosi izmjeničnu struju, a za većinu trošila (kao i za punjenje električnih vozila) struja mora biti konvertirana u istosmjernu. Pretvorba se može izvesti u samoj punionici ili u ispravljaču koji se nalazi u vozilu.

## 1.2 Punionice

### 1.2.1 Izmjeničnom strujom

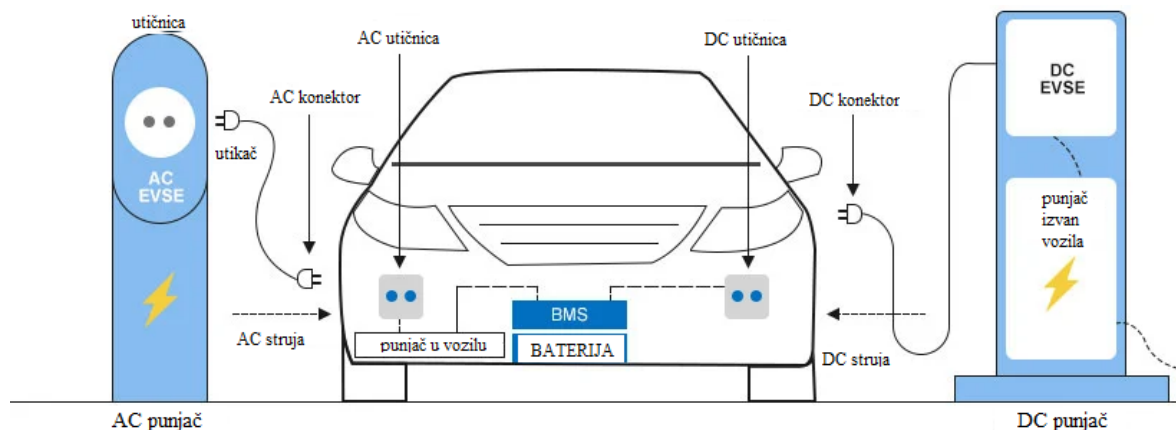
Glavna zadaća AC punionice je, uz samo punjenje, da posreduje komunikaciju sa kontrolnim sustavom vozila o trenutnoj maksimalnoj jačini struje koju može povući u tom trenutku iz mreže u ovisnosti o mrežnom opterećenju. Na taj način punionica regulira trenutne mogućnosti brzine punjenja kako ne bi preopteretila elektro-distribucijsku mrežu. Glavna prednost AC punionice leži u tome da je jeftinija od DC punionica te jednostavnija za postaviti i održavati. Uz to, AC punionice su manjih dimenzija pa su povoljne za ugradnju kao kućne punionice ili za mjesta gdje infrastruktura ne dozvoljava glomazniju ugradnju. Mana AC punionica je što su manjih snaga, stoga punjenje traje dulje. S druge strane, brzina punjenja AC strujom ovisi o mogućnostima punjača u vozilu. Ako punjač u vozilu ne može prihvatiti snagu koju punionica izdaje, onda se gubi na učinkovitosti punjenja, jer se ne iskorištava puni potencijal punionice.

### 1.2.2 Istosmjernom strujom

Kod istosmjernog punjenja, tzv. brzog punjenja, pretvorba iz izmjenične u istosmjernu struju se odvija u punionici, te se ta istosmjerna struja preko kabela prenosi do vozila. Time se zaobilazi pretvarač u vozilu i omogućuje prijenos većih snaga punjenja. Sama struja izravno prolazi kroz *Battery Management System* (BMS) koji je vezan na kontrolni sustav vozila. Već spomenuto ranije, DC punionice su puno kompleksnije te zahtijevaju veći kapacitet mreže od

AC punionica, stoga nisu toliko učestale. Još jedna mana takvih punionica je to što moraju biti direktno povezane sa sustavom priključenog automobila (kod AC punionica direktna veza se ostvaruje preko punjača u vozilu), što komplicira samu izvedbu. Uz sve te kompliciranije zahtjeve postiže se smanjeno vrijeme punjenja, što i je krajnji cilj i faktor koji ima veliku ulogu u razvoju električnih vozila.

Na slici 1. nalazi se shema vozila i punjača koja prikazuje osnovnu razliku između AC i DC punionice.



Slika 1. Razlika između AC i DC punionice po načinu izvođenja punjenja

## 1.3 Punjači

Zadatak punjača je na siguran način prenijeti električnu energiju iz punionice u električno vozilo. Zbog već spomenute raznolikosti komponenata na tržištu, ne postoji univerzalni punjač. Generalno, punjači se mogu kategorizirati u četiri veće skupine. Premda skupine nisu povezane s brzinom punjenja već s uređajima, odnosno vozilima na koje se povezuju, dijelimo ih na Model 1, Model 2, Model 3 i Model 4.

### 1.3.1 Model 1

Najjednostavnija izvedba punjača koja ne zahtijeva dodatne adaptere već se električno vozilo direktno povezuje na kućnu utičnicu preko kabela. Zbog jednostavne izvedbe nema komunikacije vozilo-punionica koja je potrebna za dodatne sigurnosne značajke. Ovaj tip punjača je prikladan za punjenje manjih vozila kao što su skuteri i romobili, ali nije preporučljiv za punjenje električnih automobila.

### 1.3.2 Model 2

Ovaj tip punjača je najrasprostranjeniji za kućna punjenja jer se kao Model 1 može priključiti na kućnu utičnicu. Prednost ovog punjača je što ima integrirani *In-Cable Control and Protection Device* (IC-CPD) koji je odgovoran za kontrolu i komunikaciju zidne utičnice i električnog vozila.

### 1.3.3 Model 3

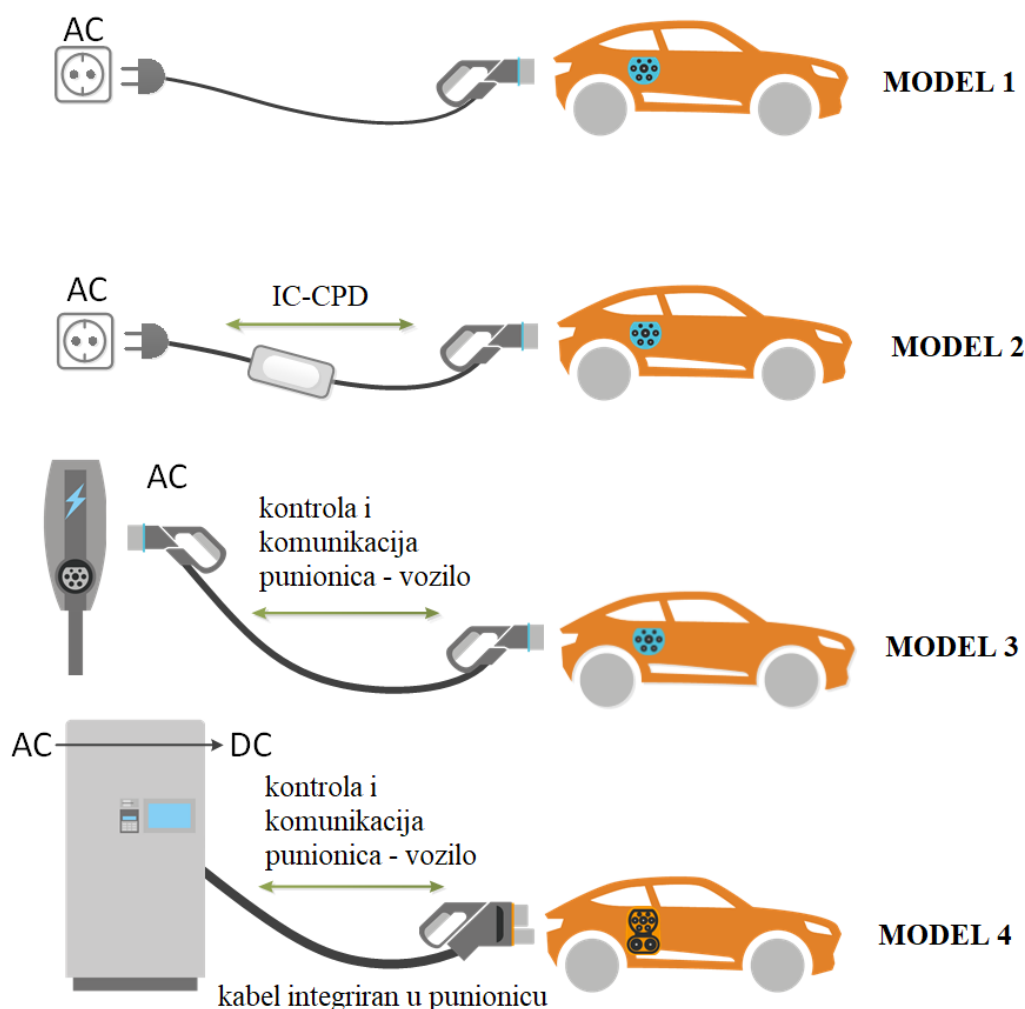
Model 3 punjači su trenutno najzastupljenija vrsta punjača na globalnoj razini. Namijenjen je za priključivanje vozila na ranije spomenutu AC punionicu. Zbog svoje pouzdanosti i mogućnosti manipuliranja punjenjem, odnosno kontrolom punjenja, komunikacijom punionica-vozilo i zaštitom prilikom punjenja ispunjava sve potrebne uvijete za sigurnosnu uporabu. Posljedično se koristi za priključivanje vozila na ranije spomenute AC punionice.

Prva tri opisana modela punjača su većinom spojni kabeli koji dolaze u kompletu sa električnim vozilom (Model 3 može doći s vozilom, ali je češće integriran u samu punionicu).

### 1.3.4 Model 4

Model 4 se razlikuje od ostalih modela jer se koristi za punjenje na DC punionicama te mora biti integriran u njih. Zbog veće snage koju punjač prenosi direktno do baterije mora osiguravati dobro hlađenje i ispunjavati visoke sigurnosne parametre zbog opasnosti od samozapaljenja. Noviji sistemi su opremljeni rashladnim medijem koji pospješuje odvođenje topline.

Slika 2. prikazuje osnovne razlike modela punjača.



Slika 2. Modeli punjača









## 1.4 Priključci

### 1.4.1 Standardizirani modeli priključaka

Zbog ranije spomenutog tehnološkog razvoja električnih vozila, ne može se napraviti pregled svih priključaka koji su danas u optjecaju. Ipak, postoje norme nametnute od strane vlada država koje propisuju koje priključke su proizvođači dužni koristiti na svojim punionicama ili u vozilima. Priključke možemo podijeliti u dvije glavne skupine (kao i punionice), a to su priključci za punjenje vozila izmjeničnom strujom i priključci za punjenje vozila istosmjernom strujom. Daljnja raspodjela temelji se na područjima u kojima su priključci propisani normama za korištenje. Već spomenuto, utjecaj politike uvelike znači hoće li konektor biti korišten kao standardni ili će proizvođači morati pružati opciju s dvije ili više utičnica u vozilu kako bi ono moglo biti punjeno u različitim dijelovima svijeta.

Tablica 1. prikazuje pojednostavljeni raspored podjele normiranih priključaka po nekim regijama. Kao što je već spomenuto, to nisu svi priključci koji su na tržištu i koji su u uporabi već samo oni koji su kao standard većinom prisutni u tim dijelovima svijeta.

Tablica 1. Podjela priključaka po regijama

VRSTA STRUJE	REGIJA			
	Japan	Kina	Amerika	Europa
AC				
IME PRIKLJUČKA	Type 1 - J1772	GB/T	Type 1 - J1772	Type 2
DC				
IME PRIKLJUČKA	CHAdeMO	GB/T	CCS - Type 1	CCS - Type 2

### 1.4.2 Međunarodne norme za priključke za električne punjače

IEC 62196 *Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles* je skup međunarodnih normi koji definiraju zahtjeve koje moraju zadovoljiti utikači, utičnice i konektori električnih vozila. Norme su definirane od strane Međunarodnog Elektrotehničkog Odbora (*International Electrotechnical Commission*). Način

ugrađivanja standardiziranih konektora, utičnica i utikača definiran je normama poput ISO 17409 i ISO 18246, a njihova proizvodnja i opskrba normama kao što su IEC 61851 i IEC 62752. Većina punjača uz ove norme ispunjava i dodatne specifične sigurnosne zahtjeve koji su značajni za električno punjenje. Neki od tih zahtjeva postavljeni su kao standard u Europskoj Uniji pod normom EN 62196.

#### 1.4.2.1 Norma IEC 62196

IEC-a 62196 se može kategorizirati u 3 podskupine koje su trenutno prihvaćene u Republici Hrvatskoj, a odnose se na europske i međunarodne norme kao što su HRN EN IEC 62196-1:2022, HRN EN IEC 62196-2:2022 i HRN EN IEC 62196-3:2022.

HRN EN IEC 62196-1:2022 – Utikači, utičnice, spojevi i spojnice na vozilima -- Kontaktno punjenje električnih vozila -- 1. dio: Opći zahtjevi

HRN EN IEC 62196-2:2022 - Utikači, utičnice, spojevi i spojnice na vozilima -- Kontaktno punjenje električnih vozila -- 2. dio: Zahtjevi za usklađenost dimenzija za pribor sa šiljcima i kontaktnim cjevčicama za izmjeničnu struju

HRN EN IEC 62196-3:2022 – Utikači, utičnice i spojnice za vozila -- Kontaktno punjenje električnih vozila -- 3. dio: Zahtjevi za usklađenost dimenzija spojnica za vozila sa šiljcima i kontaktnim cjevčicama namijenjenih za istosmjernu i kombinirano istosmjernu i izmjeničnu struju

## 2. CHAdeMO

CHAdeMO je proizašao iz modela priključka osmišljenog i konstruiranog u tvrtki *Tokyo Electric Power Company* (TEPCO) u suradnji sa nekoliko velikih japanskih proizvođača vozila. Ime potječe iz skraćenice „Charge de Move“ koja je izvedenica japanskog izraza „*CHA deMO ikaga desuka*“. Taj japanski izraz se prevodi kao „Jesi li za šalicu čaja“ koji implicira na vrijeme potrebno za punjenje električnog vozila.

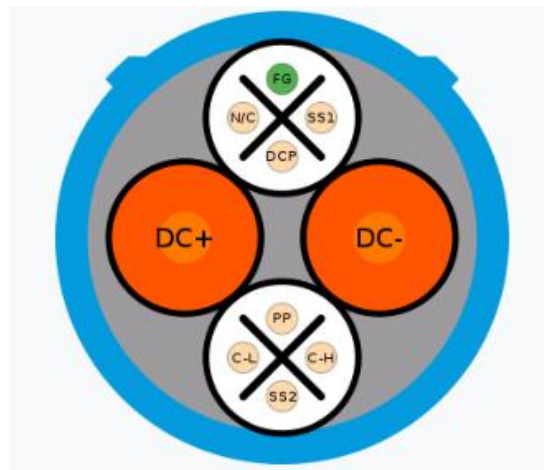
Tijekom dugogodišnjeg razvoja CHAdeMO-a protokol se razvijao i usavršavao kako bi poboljšao korisničko iskustvo i omogućio proizvođačima proizvodnju kvalitetnijih proizvoda. Razvoj se može podijeliti na verzije protokola 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 2.0 i 3.0. Svaka verzija je omogućila nove funkcije i povećanje same snage punjenja. Posljednji protokol CHAdeMO 3.0 omogućava snagu punjenja od 900 kW ( $600\text{A} \cdot 1,5\text{ kV}$ ).

Slike 3. i 4. prikazuju standardiziranu CHAdeMO utičnicu koja se ugrađuje u električna vozila i funkcije pojedinih kontaktnih utora.





Slika 3. CHAdeMO standardizirana utičnica



Slika 4. Funkcije pojedinih kontaktnih utora u utičnici

Gdje su:

FG – kontakt za uzemljenje

SS1 / SS2 – signalni kontakti početka/završetka punjenja

N/C – „not connected“ – signalni kontakt punionici o povezanosti/nepovezanosti sa vozilom

DCP – signalni kontakt za omogućavanje punjenja, kontroliranje snage punjenja

DC+ / DC- – kontakti za napajanje

PP – signalni kontakt za blokadu pogona vozila dok je vozilo povezano na punionicu

C-H / C-L - signalni kontakti komunikacije vozilo - punionica

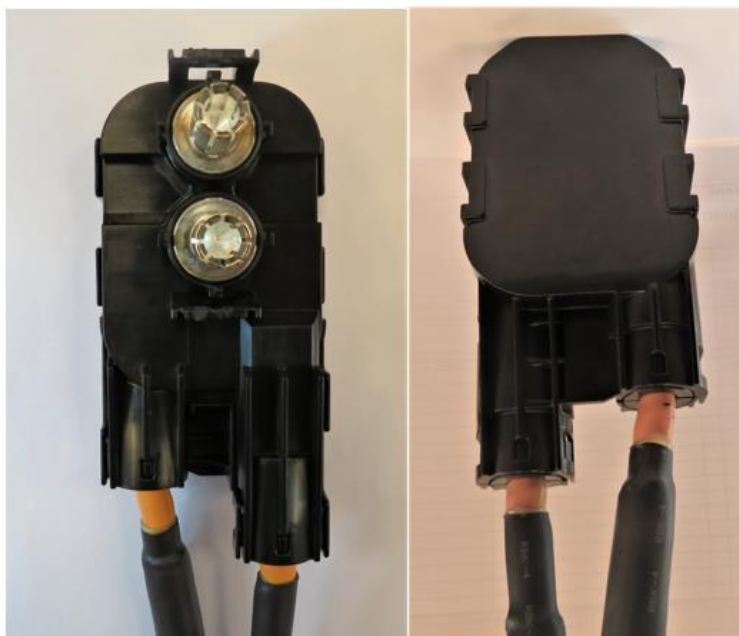
## 2.1 Zahtjevi novorazvijenog proizvoda

Kako bi se omogućilo ugrađivanje CHAdeMO 3.0 [1] utičnice u novu modelsku liniju vozila, potrebno je bilo razviti sklop (konektor) koji će osigurati pouzdanu električnu vezu između CHAdeMO utičnice i električne instalacije vozila. Kako je Chademo utičnica standardizirana, ono što se razlikuje od vozila do vozila je sami spoj (konektor) električne instalacije vozila i utičnice. Konektor je ono što je novo i što se u ovom radu ispituje. Konektor je razvijen u odjelu konstrukcije tvrtke Yazaki Europe Limited u Zagrebu. Tim konstruktora je predložio idejno rješenje, te nakon što je ono prihvaćeno od strane naručitelja pristupilo se detaljnoj konstrukciji spomenutog sklopa, zadovoljavajući sve konstrukcijske zahtjeve koje on mora ispuniti (materijali za izradu, pozicioniranje u karoseriji vozila, ergonomiji, ostvarivanje pouzdane električne veze sa ožičenjem u vozilu, i sl.). Nakon konstruiranja proizvedena su 42 prototipna primjerka na kojima je testiranjem potrebno utvrditi pouzdanost proizvoda. Ovaj rad obuhvaća samo dio razvoja novonastalog proizvoda, a to su ispitivanje i evaluacija rezultata u svrhu dokazivanja pouzdanosti komponente. Slikom 5. prikazan je generalizirani slijed razvoja novonastalog proizvoda (svaka od ovih stavki može imati još neodređeni broj podstavki)



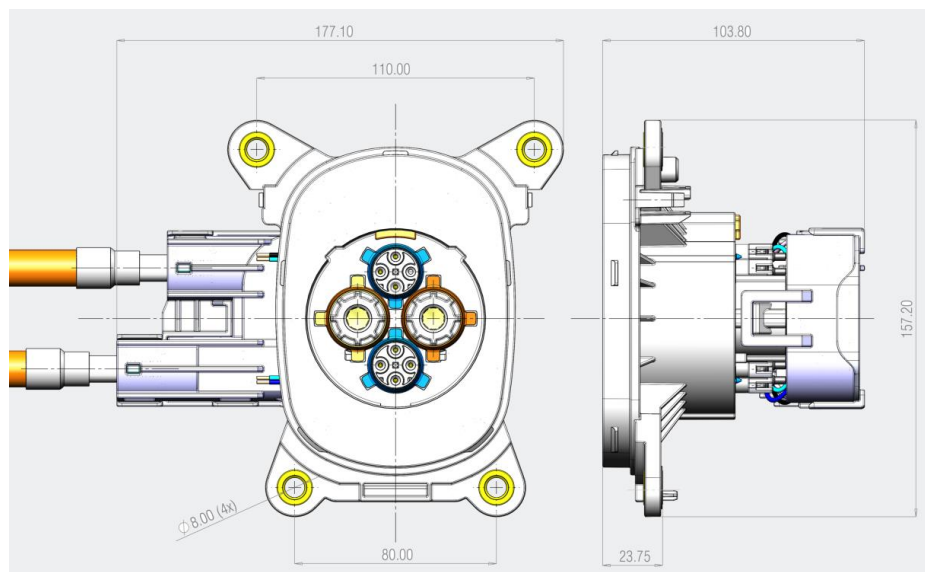
Slika 5. Slijed razvoja novonastalog proizvoda

Na slici 6. prikazan je novorazvijeni konektor (adapter) potreban za ostvarivanje tražene veze CHAdeMO utičnice i električne instalacije vozila.



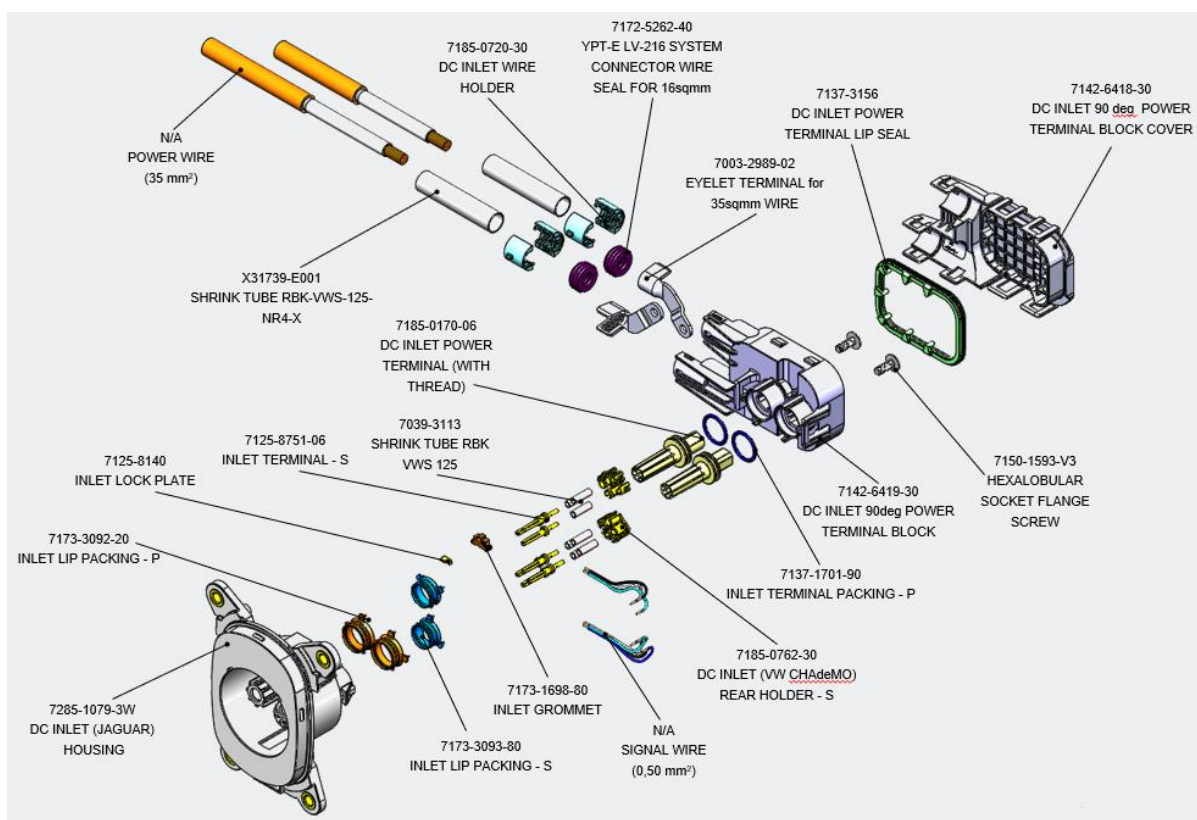
Slika 6. Adapter

Slika 7. prikazuje nazivne mjere sklopa CHAdeMO utičnice i proizvedenog adaptera.



Slika 7. Nazivne mjere sklopa CHAdeMO utičnice i proizvedenog adaptera [1]

Shematskim prostornim prikazom na slici 8. prezentirani su svi dijelovi sklopa CHAdeMO utičnice i novorazvijenog konektora, te sami način spajanja konektora sa utičnicom.



Slika 8. Shematskim prostorni prikaz [1]

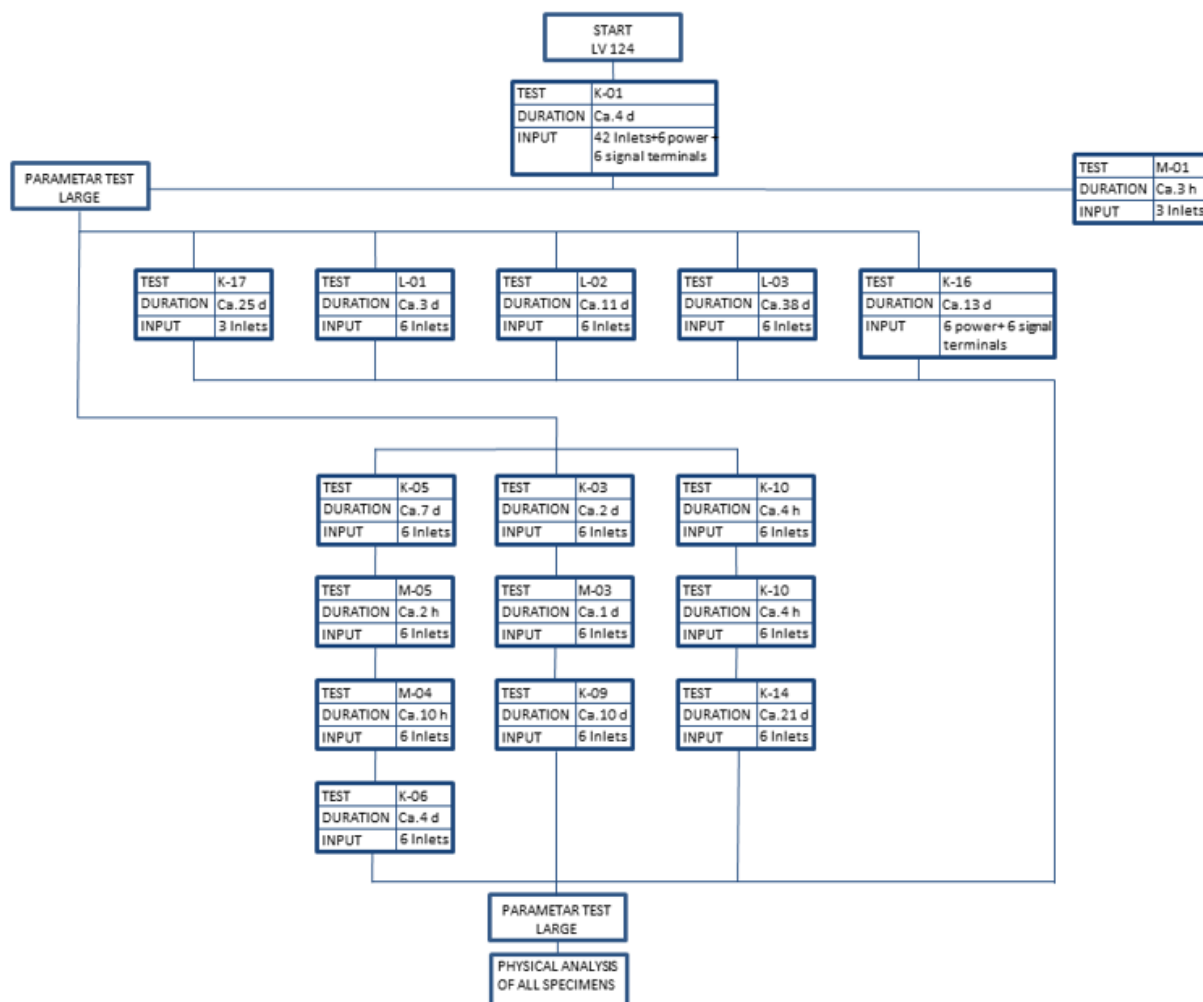
Spomenuti sklop razvijen je za poznatog njemačkog proizvođača automobila koji je odredio potrebne parametre i definirao kriterije prihvatljivosti koje sklop mora zadovoljiti. Plan i slijed ispitivanja predložio je proizvođač komponenti, a isti je odobren od strane naručitelja. Tijek provođenja validacije sklopa prikazan je na slici 9. Sva ispitivanja su u dogovoru sa naručiteljem prilagođena predmetnom proizvodu u skladu sa specifikacijom njemačkih

proizvođača vozila LV 124 Edition 2013-03 Electric and Electronic Components in Motor Vehicles up to 3,5t – General Requirements, Test Conditions and Tests.

Nakon postignutog dogovora s naručiteljem ispitivanja izradio se tzv. „*Design verification plan*“ (DVP) gdje su detaljno opisani planirani testovi, koji su obrađeni u nastavku ovog rada.

## 2.2 Ispitivanja

Na slici 9. prikazan je dijagram aktivnosti provođenja ispitivanja. U dijagramu su navedeni nazivi testova, vrijeme trajanja testova i količina uzoraka sa kojom se ulazi u pojedini test. Važno je naglasiti da je cilj opisanog ispitivanja simulirati stanje ispitivane komponente nakon 15 godina eksploatacije ili 300.000 prijeđenih kilometara. Mjerenjem električnog i izolacijskog otpora, dielektrične čvrstoće, vizualnim pregledom i mjerenjima sila spajanja i odspajanja nakon pojedinih niže opisanih testova, želi se provjeriti ponašanje komponente kroz vrijeme i potencijalna degradacija navedenih parametara u usporedbi s kriterijima prihvatljivosti.

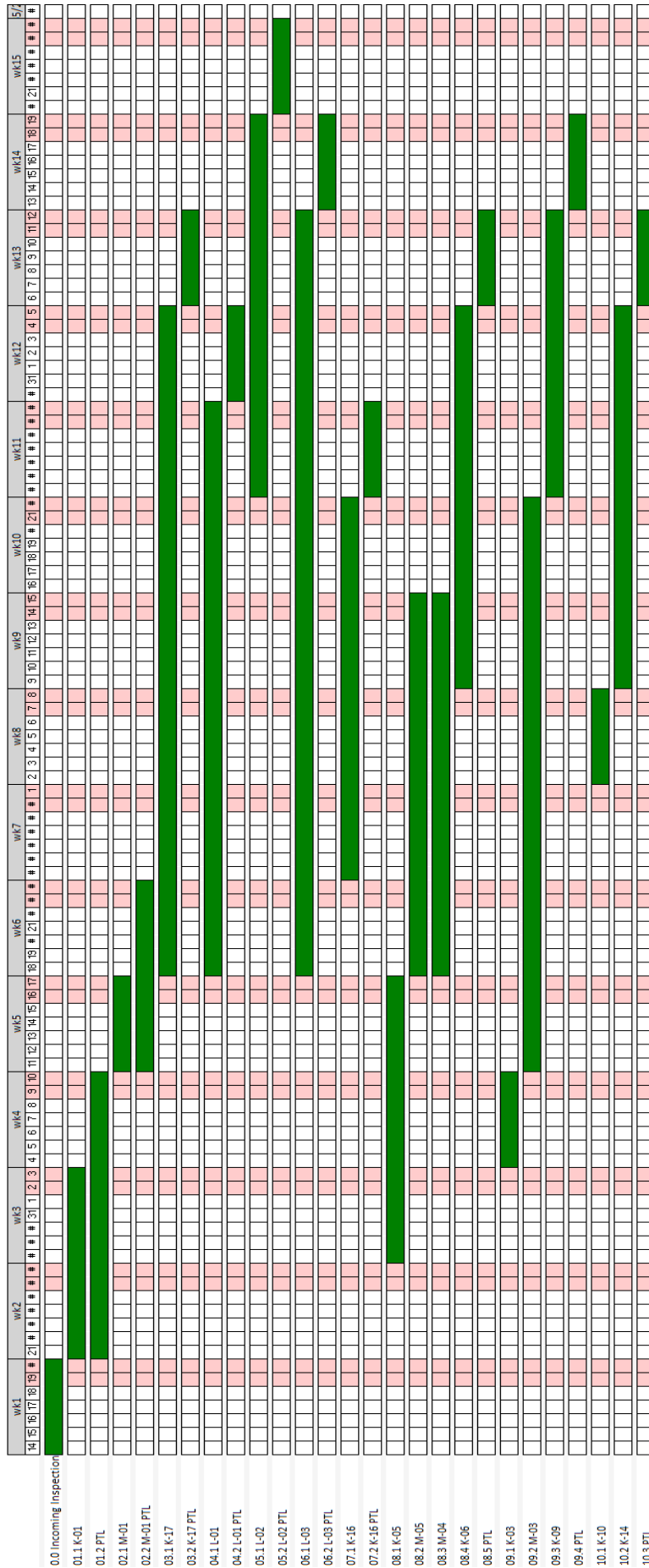


Slika 9. Dijagram aktivnosti provođenja ispitivanja (Flow chart)

Prema [2] u ispitivanje se krenulo sa 42 uzorka konektora, 6 kontakata za napajanje i 6 signalnih kontakata. Na slici 9. prikazano je kojim redoslijedom i na kojoj količini ispitnih primjeraka je proveden pojedini test.

Nakon određivanja parametara izvođenja ispitivanja izrađen je vremenski plan provođenja pojedinih testova. Vremenski plan izrađen je temeljem zahtijevanih testova, potrebne ispitne opreme te raspoloživosti osoblja laboratorija i opreme u traženom periodu. Jednom prihvaćen, plan se mora ispoštovati i nisu dozvoljena odstupanja od plana. U slučaju da planirano osoblje nije u mogućnosti raditi prema planu ili da dođe do kvara na ispitnoj opremi, laboratorij je osigurao zamjensko osoblje i dovoljan broj zamjenske opreme kako bi se u svakom trenutku moglo nastaviti sa započetim ispitivanjem i ispoštovao vremenski plan. Sve potrebne aktivnosti planirane su sa 20% vremenske rezerve koja je dovoljna da pokrije moguće nepredvidive situacije (odsustvo zaposlenika, kvar na opremi, ispad električne ili vodovodne mreže, itd.).

Na slici 10. prikazan je vremenski plan provođenja ispitivanja.



Slika 10. Vremenski plan

Proizvođač je odredio parametre koje komponenta mora zadovoljiti, a vrijednosti izmjerenih kriterija prihvatljivosti su prikazane tablicama 2. do 14. Mjerenja su se provodila nakon svakog ispitivanja na isti način. U nastavku je obrađen način mjerenja i oprema za mjerenje pojedinog parametra prihvatljivosti.

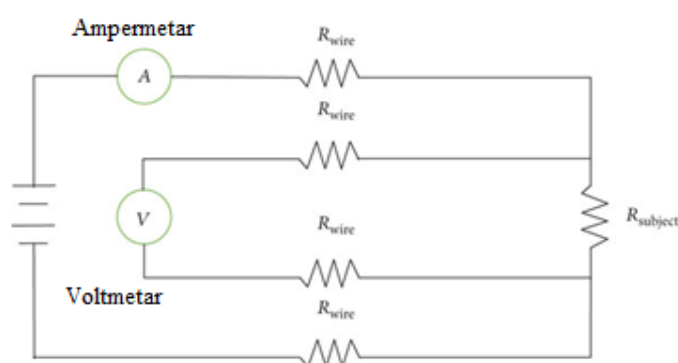
Vizualni pregled vršio se golim okom, a služi za pregled vidljivih oštećenja.

Mjerenje električnog otpora kontakata za napajanje i signalnih kontakata provodilo se mjernim uređajem Burster 2316 prikazanim na slici 11. tzv. četverožičnom metodom. Buster 2316 namijenjen je za brza i precizna mjerenja vrlo niskih vrijednosti otpora ( $m\Omega$ ). Četverožična metoda je standardna metoda mjerenja otpora, odnosno pada napona pri niskim strujama, kojom se kompenzira promjena napona uslijed temperaturnih povećanja. Promjenu temperature mjeri eksterni senzor ili uređaj za infracrvena mjerenja.

Na slici 12. prikazana je shema korištene četverožične metode mjerenja električnog otpora.



Slika 11. Burster 2316 [<https://www.burster.com/en/measure-test-devices/microohm-and-milliohmmeter/p/detail/resistomatr-2316>]



Slika 12. Četverožična metoda

Mjerenje izolacijskog otpora provedeno je mjernim uređajem Agilent High Resistance Meter 4339B. Namijenjen je za mjerenja velikih vrijednosti otpora (do  $1,6 \cdot 10^{15} \Omega$ ). Ispitni slijed programa omogućava brzo mjerenje otpora (nabijanje – mjerenje – pražnjenje).

Za mjerenje dielektrične čvrstoće koristio se uređaj Guardian 6000 Plus Electrical Safety Analyzer prikazan na slici 13. Mjerenjem dielektrične čvrstoće provjerava se izdržljivost

dielektrika (izolacije) na povećanje jakosti električnog polja. Kada jakost električnog polja naraste do određene vrijednosti, zbog zagrijavanja dolazi do električnog proboja.



Slika 13. Guardian 6000 Plus Electrical Safety Analyzer  
[<http://www.quadtech.com/guardian-6000-plus.php>]

Sile spajanja i odspajanja mjerene su na kidalici Zwick/Roell Z010 prikazanoj na slici 14. Mjerna doza na spomenutoj kidalici je XFORCE P 10kN koji ima sposobnost mjerenja sila do 10 kN s vrlo niskom rezolucijom od 0,001 N.

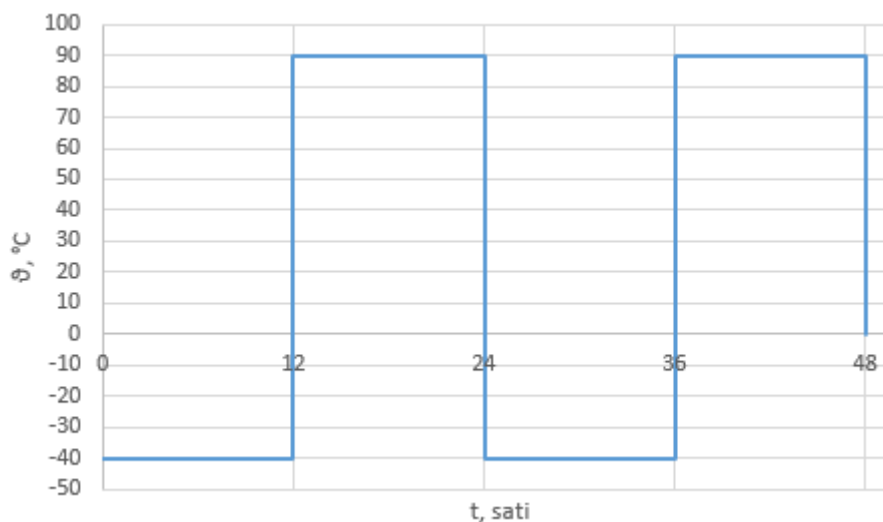


Slika 14. XFORCE P 10kN  
[Arhiva Yazaki Europe Ltd., Zagreb]



### 2.2.1 Starenje naglom promjenom temperature (Test K-01)

Ovaj test simulira starenje pri nagloj promjeni temperature izazvanoj prilikom transporta i skladištenja. Test se provodi kroz dva 24-satna ciklusa u temperaturnoj šok komori naglim promjenama temperature s  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  / 12 h na  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$  / 12 h bez strujnog opterećenja. Temperaturni ciklus prema kojem je provedeno ispitivanje prikazan je grafički na slici 15.



Slika 15. Temperaturni ciklus

Slika 16. prikazuje ispitne predmete postavljene u šok komori.



Slika 16. Ispitni predmeti položeni unutar šok komore

Nakon 48-satnog provedenog tretmana u temperaturnoj šok komori, na uzorcima je potrebno izvršiti niz mjerenja i provjeriti sukladnost s definiranim kriterijima prihvatljivosti, navedenim u Tablici 2.

Tablica 2. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-01

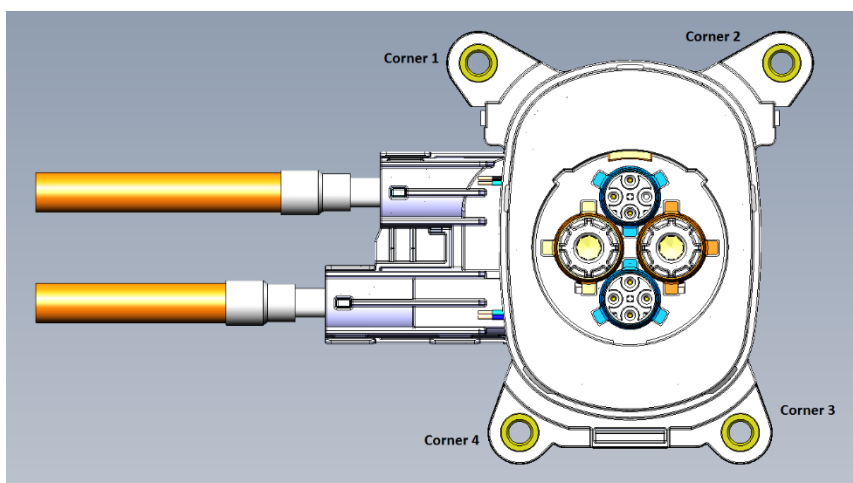
K-01		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualni pregled	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0.42 mΩ	0,077 mΩ	0,214 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	0,28 mΩ	14,78 mΩ	DA
Izolacijski otpor	$R_{iso} > 200 \text{ M}\Omega @ 500 \text{ V} / 60 \text{ s}$	> 200 MΩ	> 200 MΩ	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	67 N	94 N	DA

## 2.2.2 Slobodni pad (Test M-01)

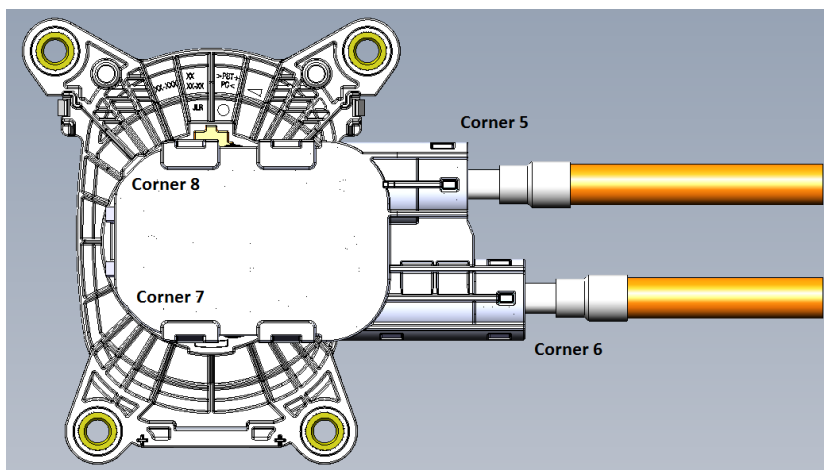
Test je proveden na 3 ispitna uzorka konektora nakon što su prošli tretman K-01.

Ispitivanje simulira potencijalno padanje ili udaranje komponentom tijekom rukovanja ožičenjem u procesu montaže u vozilo, a provodi se u laboratoriju slobodnim padom komponente na betonsku podlogu s visine 1 m. Uzorci su bačeni na svaku stranu osi orijentacije (X, Y, Z) i na značajne uglove gdje su uprešane navojne čahure za prihvat sa karoserijom vozila.

Na slikama 17. i 18. prikazan je 3D model sklopa s označenim značajnim uglovima.



Slika 17. Prikaz značajnih uglova



Slika 18. Prikaz značajnih uglova

Nakon provedenog ispitivanja potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 3. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenog ispitivanja.

Tablica 3. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja M-01

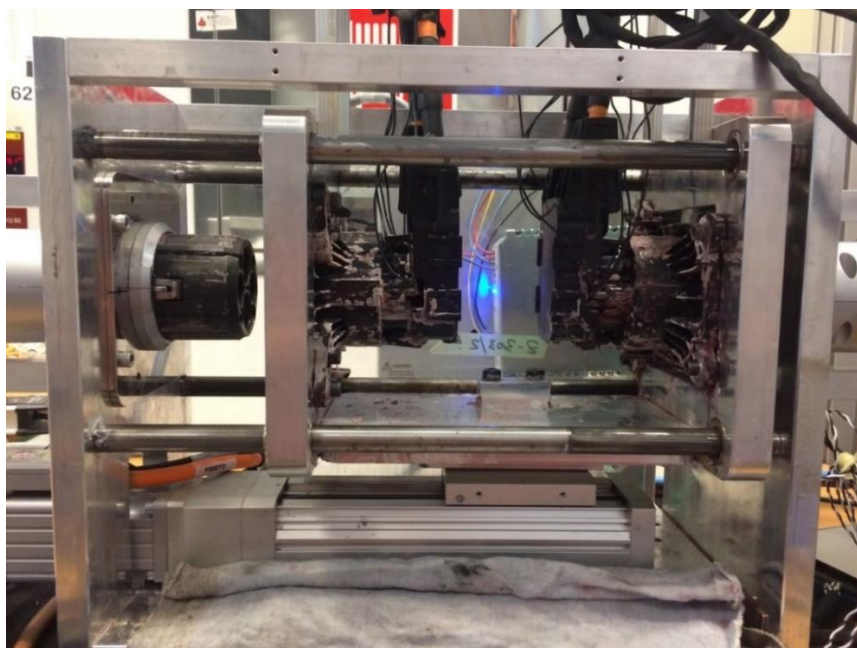
M-01		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0.42 mΩ	0,104 mΩ	0,122 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	3,73 mΩ	14,29 mΩ	DA
Izolacijski otpor	R <sub>iso</sub> > 200 MΩ @500 V / 60 s	> 200 MΩ	> 200 MΩ	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	64 N	97 N	DA

### 2.2.3 Životni vijek – mehaničko/hidraulički test izdržljivosti (Test L-01)

Test je proveden na 3 ispitna uzorka konektora nakon što su prošli tretman K-01.

Test je simulacija ekstremnih uvjeta upotrebe. Za provedbu ovog testa u laboratoriju je razvijena posebna ispitna naprava s linearnim servo motorom za istovremeni prihvat dva uzorka i naizmjenično uštekavanje/ištekanje uzoraka konektora u prihvat. Test se sastoji od 10000 ciklusa uštekavanja/ištekanja, gdje se svakih 1000 ciklusa test zaustavlja i provjerava električni otpor, nakon čega se uzorak uranja u smjesu Arizona pijeska i destilirane vode (simulacija blata). Mjerenje sile spajanja/odspajanja provodi se svakih 2500 ciklusa.

Na slici 19. prikazani su uzorci nakon uranjanja u smjesu Arizona pijeska i destilirane vode.



Slika 19. Uzorci nakon uranjanja u smjesu

Nakon provedenog testiranja potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. Konačni rezultati sila spajanja/odspajanja i otpori električne struje mjereni su nakon 10000 ciklusa te su prikazani u tablici 4. s ostalim rezultatima izmjerenim nakon provedenog ispitivanja.

Tablica 4. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja L-01

L-01		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0,42 mΩ	0,089 mΩ	0,107 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	1,38 mΩ	14,81 mΩ	DA
Izolacijski otpor	$R_{iso} > 200 \text{ M}\Omega @ 500 \text{ V} / 60 \text{ s}$	> 200 MΩ	> 200 MΩ	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @ 2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	79 N	99 N	DA

## 2.2.4 Životni vijek – otpornost na visoke temperature (Test L-02)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretman K-01.

Test simulira starenje izazvano vremenskim periodom bez korištenja. Uzorci se smještaju u temperaturnu komoru na +90 °C / 518 h. Vrijeme trajanja izlaganja visokoj temperaturi definirao je naručitelj.

Nakon provedenog ispitivanja potrebno je utvrditi vjerodostojnost ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 5. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenog ispitivanja.

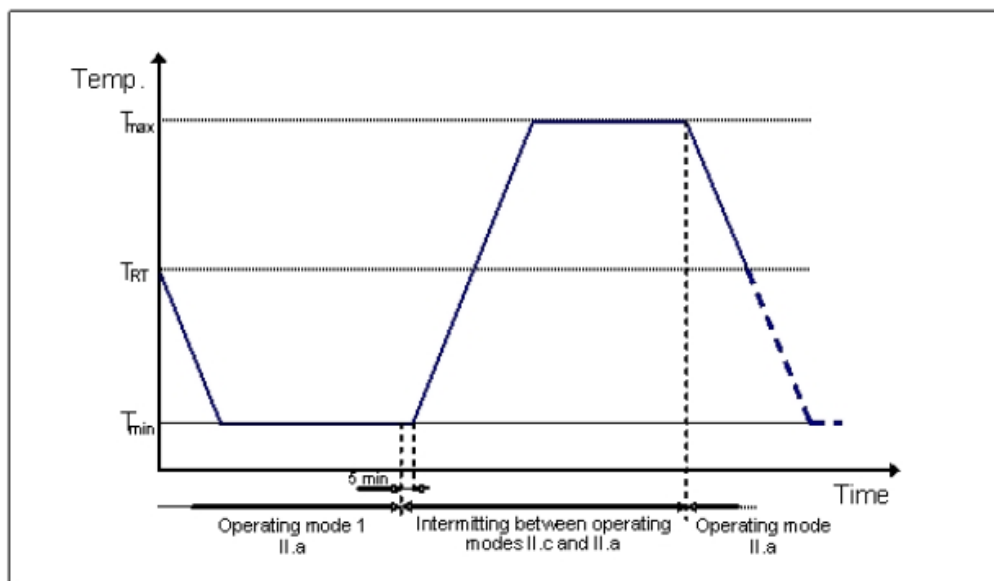
Tablica 5. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja L-02

L-02		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0.42 mΩ	0,076 mΩ	0,108 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	2,22 mΩ	9,65 mΩ	DA
Izolacijski otpor	$R_{iso} > 200 \text{ M}\Omega @ 500 \text{ V} / 60 \text{ s}$	> 200 MΩ	> 200 MΩ	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @ 2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	80 N	96 N	DA

### 2.2.5 Životni vijek – temperaturni ciklusi (Test L-03)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretman K-01.

Test simulira starenje izazvano vremenskim periodom korištenja proizvoda. Ispitivanje se provodi u temperaturnoj komori prema temperaturnom profilu prikazanom na slici 20., uz isprekidano strujno opterećenje.  $T_{min} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{max} = +90 \text{ }^\circ\text{C}$ . Strujno rasterećenje ima oznaku IIa, dok opterećenje ima oznaku IIc i provodi se s maksimalnom strujom u iznosu od 125 A koju je definirao naručitelj.



Slika 20. Temperaturni profil

Nakon provedenog ispitivanja potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 6. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenog ispitivanja.

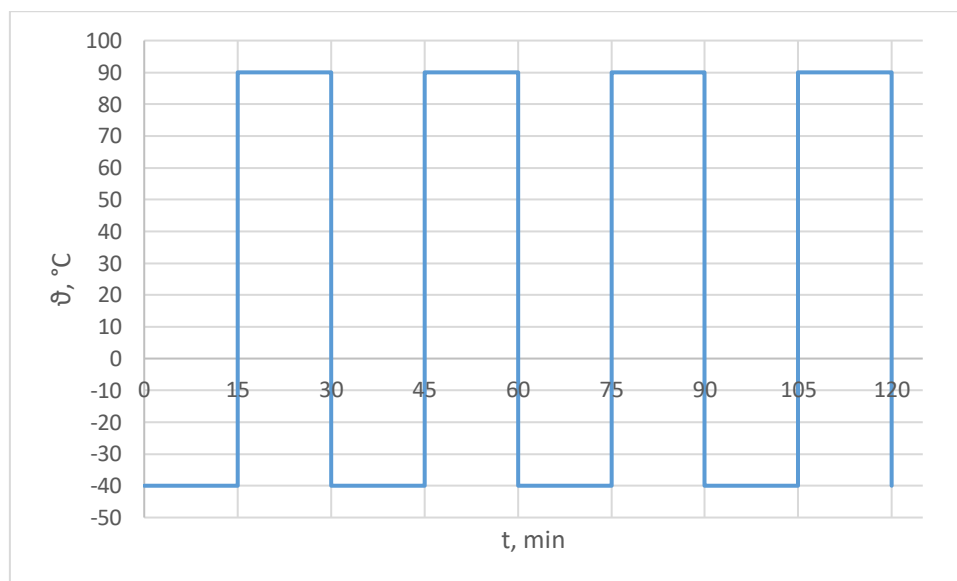
Tablica 6. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja L-03

L-03		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0.42 mΩ	0,079 mΩ	0,124 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	2,68 mΩ	13,26 mΩ	DA
Izolacijski otpor	R <sub>iso</sub> > 200 MΩ @500 V / 60 s	> 200 MΩ	> 200 MΩ	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	78 N	98 N	DA

## 2.2.6 Starenje naglom promjenom temperature, samo kontakti (Test K-16)

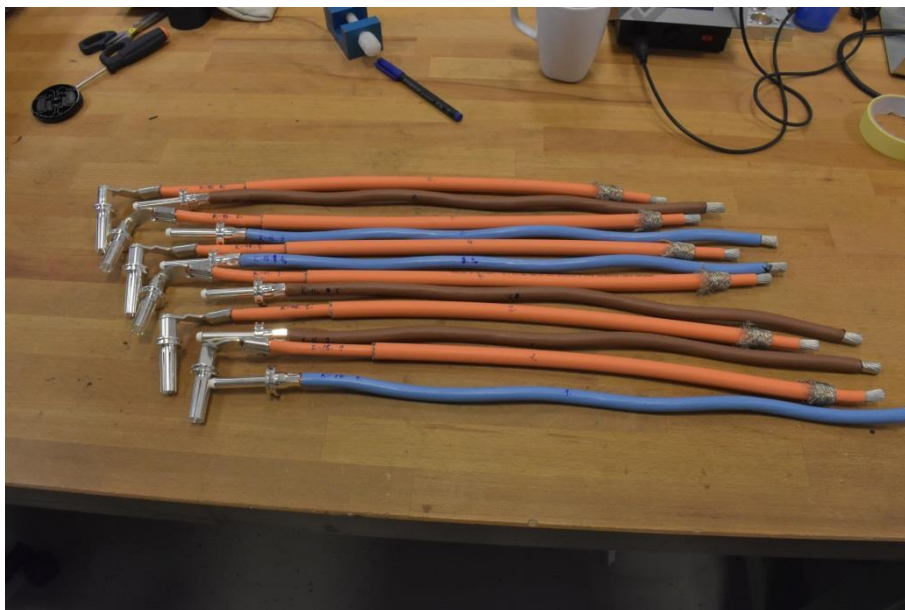
Test je proveden na 6 kontakata za napajanje i 6 signalnih kontakata nakon što su prošli tretman K-01.

Svrha ispitivanja je ubrzati oksidaciju površinske zaštite kontakata od srebra, kao i relaksaciju napetosti kontaktnih opruga ženskih kontakata i smanjenje kontaktne sile. Oba fenomena mogu imati značajan utjecaj na razinu kontaktnog otpora. Uzorci su izloženi 300 ciklusa sa  $T_{\min} = -40\text{ °C} / 15\text{min}$  i  $T_{\max} = +90\text{ °C} / 15\text{min}$ . Na slici 21. nalazi se grafički prikaz 4 ciklusa temperaturne promjene po kojemu se provodilo ispitivanje.



Slika 21. Prikaz temperaturnog profila 4 ciklusa od 300

Na slici 22. prikazani su ispitni primjerci.



Slika 22. Ispitni primjerci (kontakti sa žicom) za K-16

Nakon provedenog ispitivanja potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 7. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenog ispitivanja.

Tablica 7. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-16

<b>K-16</b>		<b>Vrijednosti rezultata</b>		
<b>Kriteriji prihvatljivosti</b>	<b>Vrijednosti kriterija prihvatljivosti</b>	<b>minimalna vrijednost:</b>	<b>maximalna vrijednost:</b>	<b>sukladno:</b>
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0,42 mΩ	0,087 mΩ	0,142 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	4,54 mΩ	14,36 mΩ	DA
Izolacijski otpor	$R_{iso} > 200 \text{ M}\Omega @ 500 \text{ V} / 60 \text{ s}$	Provjera kriterija prihvatljivosti ovih parametara nije bila potrebna za ispitivanje K-16		
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @ 2700 VDC / 60 s			
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	78 N	98 N	DA

Sljedeća ispitivanja podijeljena su u tri podskupine, jer se isti ispitni primjerci koriste u različitim testovima. Slijed ispitivanja pojedinih skupina komponenti može se vidjeti na dijagramu aktivnosti (slika 9.). 1. skupina K-05 → M-05 → M-04 → K-06; 2. skupina K-03 → M-03 → K-09; 3. skupina K-10 → K-14

### 2.2.7 Starenje naglom promjenom temperature, sklop (Test K-05)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretman K-01.

Test je namijenjen za provjeru otpornosti na puknuće ili lom kućišta, spojeva, brtvi, relaksaciju uprešanih komponenti i sl. uslijed toplinskog opterećenja. Uzorci su izloženi 100 ciklusa sa

$T_{\min} = -40\text{ °C} / 15\text{ min}$  i  $T_{\max} = +90\text{ °C} / 15\text{ min}$ . Temperaturni profil prikazan je na slici 21., jer je provedeno ispitivanje identično kao i K-16, samo je razlika u ispitnim primjercima.

Nakon provedenog ispitivanja potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 8. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenog ispitivanja.

Tablica 8. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-05

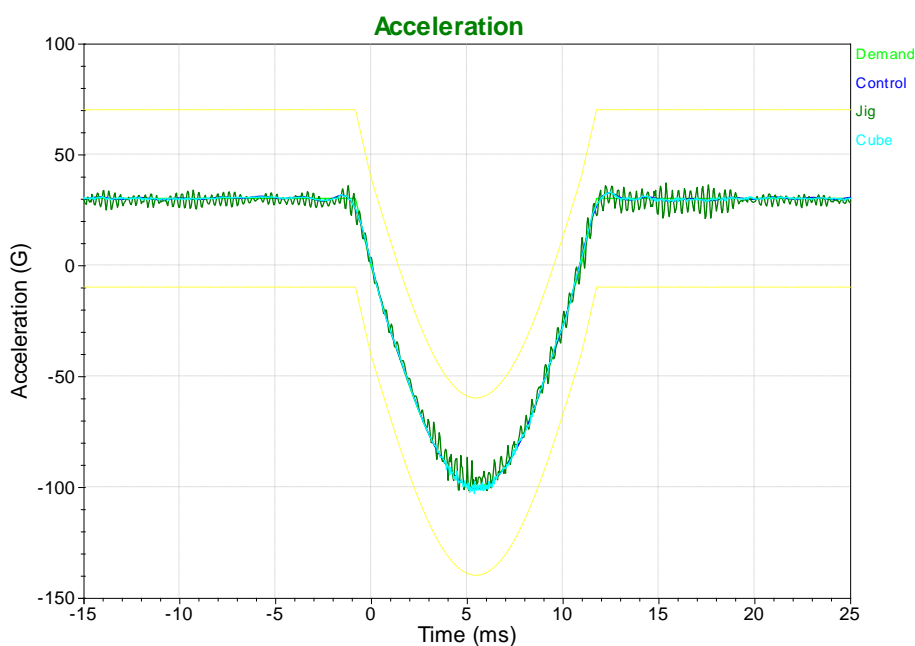
K-05		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0.42 mΩ	Provjera kriterija prihvatljivosti ovih parametara nije bila potrebna za ispitivanje K-05		
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ			
Izolacijski otpor	$R_{iso} > 200\text{ M}\Omega @ 500\text{ V} / 60\text{ s}$			
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @ 2700 VDC / 60 s			
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N			

## 2.2.8 Mehanički udari (Test M-05)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretmane K-01 i K-05.

Test je simulacija događaja koji može nastati u eksploataciji kod bilo kakve nagle promjene stanja (sudar, pad kod transporta samog vozila, pad s dizalice, pad s ruba pločnika i sl.). Ispitivanje se provodi sa 10 udara na vibracijskom stolu po profilu polu-sinusoide u trajanju 6 ms i ubrzanjem od  $500\text{ m/s}^2$ .

Na slici 23. prikazan je graf pobude i odaziva ispitnog primjerka.



Slika 23. Graf pobude i odaziva ispitnog primjerka.

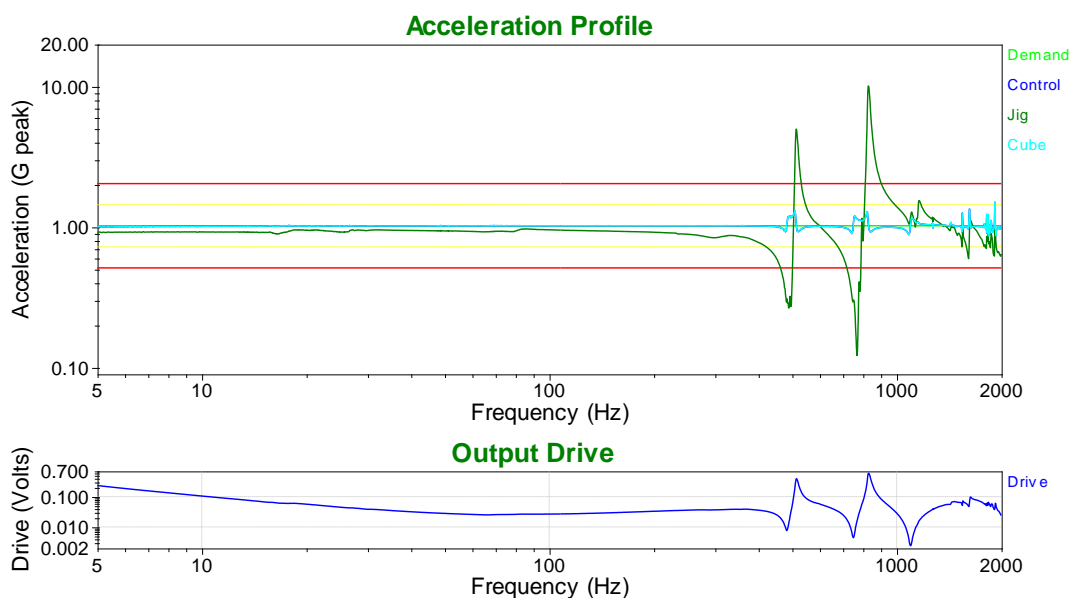


Test je obavljen kao dio niza sa ispitivanjem M-04, stoga se mjerenja provode nakon idućeg ispitivanja.

### 2.2.9 Utjecaja vibracija (Test M-04)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretmane K-01, K-05 i M-05.

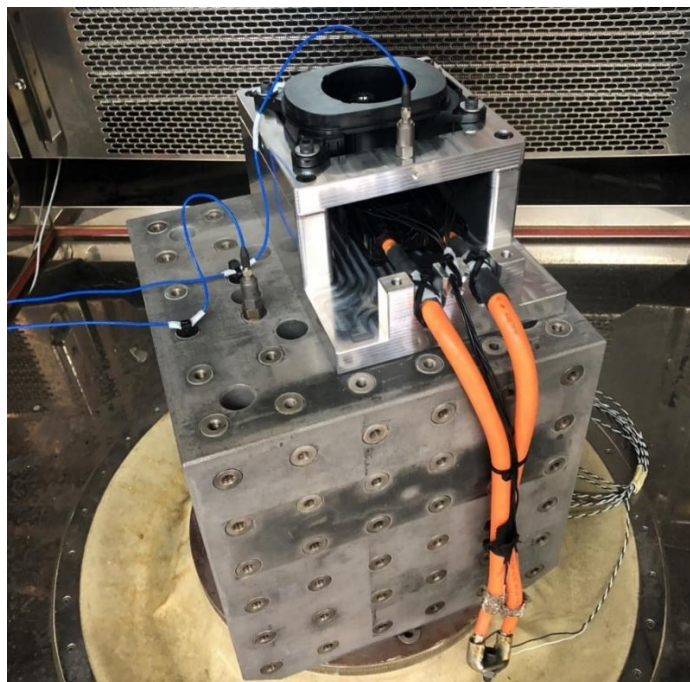
Testom se simulira utjecaj vibracija tijekom vožnje. Vibracijskim testom želi se provjeriti hoće li doći do loma komponente ili prekida električnog kontakta. Prekid električnog kontakta definiran je kao povećanje električnog otpora iznad  $7 \Omega$  u trajanju dužem od  $1 \mu\text{s}$ . Dakle, tijekom cijelog testa potrebno je monitorirati električni otpor svih kontaktnih spojeva kako bi se utvrdilo dolazi li do prekida. Ovo monitoriranje provodi se mjernim uređajem za mjerenje električnog otpora i brzinom uzorkovanja od 40 MHz. Na slici 24. prikazan je frekvencijski profil ispitivanja.



Slika 24. Frekvencijski profil

Tijekom vibracijskog testa nije zabilježen niti jedan prekid električnog kontakta.

Slika 25. prikazuje ispitni primjerak postavljen i učvršćen na prihvatnu napravu za spoj sa vibracijskim stolom.



Slika 25. Ispitni primjerak na vibracijskom stolu

Nakon provedenih ispitivanja M-05 i M-04 potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 9. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenih ispitivanja.

Tablica 9. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja M-05 i M-04

M-05 + M-04		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0,42 mΩ	0,092 mΩ	0,219 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	0,1 mΩ	12,66 mΩ	DA
Izolacijski otpor	R <sub>iso</sub> > 200 MΩ @500 V / 60 s	> 200 MΩ	> 200 MΩ	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	37 N	94 N	DA

### 2.2.10 Tretman slanom maglom, vanjski dijelovi (Test K-06)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretmane K-01, K-05, M-05 i M-04.

Cestovne konstrukcije korozijski su najopterećenije konstrukcije i zato ih je potrebno ispitati na utjecaj NaCl.

Ovaj test simulira opterećenje komponente uzrokovano zrakom i vodom koja sadrži sol, a provodi se u specijalnoj komori s otopinom destilirane vode i 5% NaCl. Ispitivanje služi za provjeru otpornosti komponente na koroziju, koja može značajno utjecati na razinu kontaktnog otpora te ponekad izazvati kratki spoj strujnih krugova.

Nakon provedenog ispitivanja potrebno je utvrditi vjerodostojnost ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 10. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenog ispitivanja.

Tablica 10. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-06

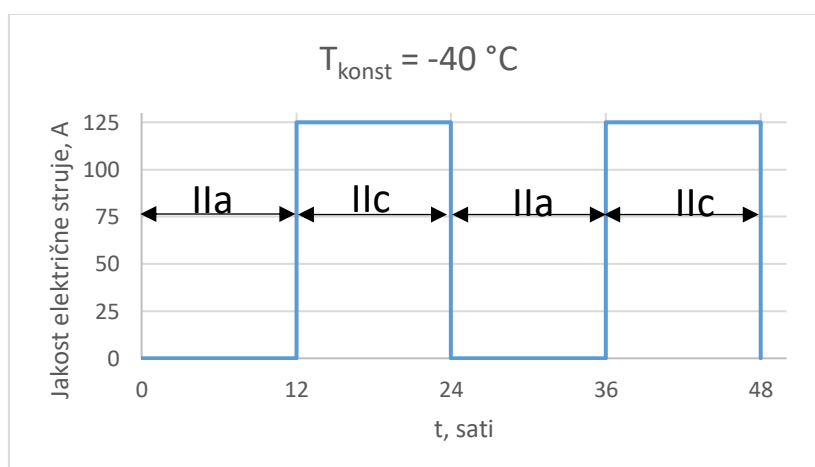
K-06		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0.42 mΩ	0,099 mΩ	0,295 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	2,28 mΩ	13,24 mΩ	DA
Izolacijski otpor	$R_{iso} > 200 \text{ M}\Omega @ 500 \text{ V} / 60 \text{ s}$	> 200 MΩ	> 200 MΩ	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	39 N	95 N	DA

### 2.2.11 Rad pri niskim temperaturama (Test K-03)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretman K-01.

Ovaj test simulira upotrebu komponente na niskim temperaturama. 48-satno ispitivanje se provodi u temperaturnoj komori pri  $T_{konst} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Uzorci su izloženi strujnom rasterećenju (IIa) / 12 h i strujnom opterećenju (IIc) / 12 h koje se provodi s maksimalnom strujom u iznosu od 125 A koju je definirao naručitelj. Grafički prikaz 48-satnog ciklusa strujnim opterećenjem i rasterećenjem pri konstantnoj temperaturi prikazan je na slici 26. Test se koristi za provjeru ispravnog rada komponente nakon dugog vremena mirovanja ili vožnje na izrazito niskim temperaturama.

Slika 26. prikazuje 48-satni ciklus strujnog opterećenja i rasterećenja pri konstantnoj temperaturi.



Slika 26. 48 satni ciklus strujnog opterećenja i rasterećenja

Test je obavljen kao dio niza s ispitivanjem M-03, stoga se mjerenja provode nakon idućeg ispitivanja.

## 2.2.12 Otpornost na prašinu, krute čestice IP6X (Test M-03)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretmane K-01 i K-03.

Ispitivanje je provedeno sukladno normi ISO 12103-1, *Road vehicles — Test dust for filter evaluation — Part 1: Arizona test dust* [3]

Ovaj test simulira onečišćenje komponente prašinom tijekom eksploatacije vozila. Ispitivanje služi za provjeru otpornosti komponente na prodor prašine. Test se provodi upotrebom Arizona dust-a ili Portland cement-a u specijalnoj ispitnoj komori. Prema zahtjevu naručitelja test je proveden upotrebom Arizona dust-a.

Na slici 27. prikazani su ispitni primjerci nakon kontaminacije nečistoćama.



Slika 27. Ispitni primjerak onečišćen kontaminantima

Nakon provedenih ispitivanja K-03 i M-03 potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 11. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenih ispitivanja.

Tablica 11. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-03 i M-03

K-03 + M-03		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0.42 mΩ	0,228 mΩ	0,247 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	12,49 mΩ	14,78 mΩ	DA
Izolacijski otpor	R <sub>iso</sub> > 200 MΩ @500 V / 60 s	> 200 MΩ	> 200 MΩ	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	89 N	97 N	DA

### 2.2.13 Starenje vlažnim zrakom, cikličko (Test K-09)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretmane K-01, K-03 i M-03.

Test simulira uvijete eksploatacije vozila u atmosferskim uvjetima s izrazito visokom relativnom vlažnosti zraka. Pri nižim temperaturama ispitivanja dolazi i do smrzavanja vlage.

Ispitivanje se provodi u temperaturnoj komori prema temperaturnom profilu prikazanom na slici 20., uz isprekidano strujno opterećenje.  $T_{\min} = -40\text{ °C}$ ,  $T_{\max} = +90\text{ °C}$ . Uzorci su izloženi 10 ciklusa strujnog rasterećenja (IIa) / 40 min i strujnog opterećenja (IIc) / 10 min koje se provodi s maksimalnom strujom u iznosu od 125 A koju je definirao naručitelj.

Nakon provedenog ispitivanja potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 12. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenih ispitivanja.

Tablica 12. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-09

K-09		Vrijednosti rezultata		
Kriteriji prihvatljivosti	Vrijednosti kriterija prihvatljivosti	minimalna vrijednost:	maximalna vrijednost:	sukladno:
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0,42 mΩ	0,075 mΩ	0,1 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	3,17 mΩ	9,94 mΩ	DA
Izolacijski otpor	$R_{iso} > 200\text{ M}\Omega @ 500\text{ V} / 60\text{ s}$	Mjerenje izolacijskog otpora nije bilo potrebno za ispitivanje K-09		
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @ 2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N	Mjerenje sila spajanja i odspajanja nije bilo potrebno za ispitivanje K-09		

### 2.2.14 Zaštita od vode IPX5, IPX7 i IPX9K (Test K-10)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretman K-01.

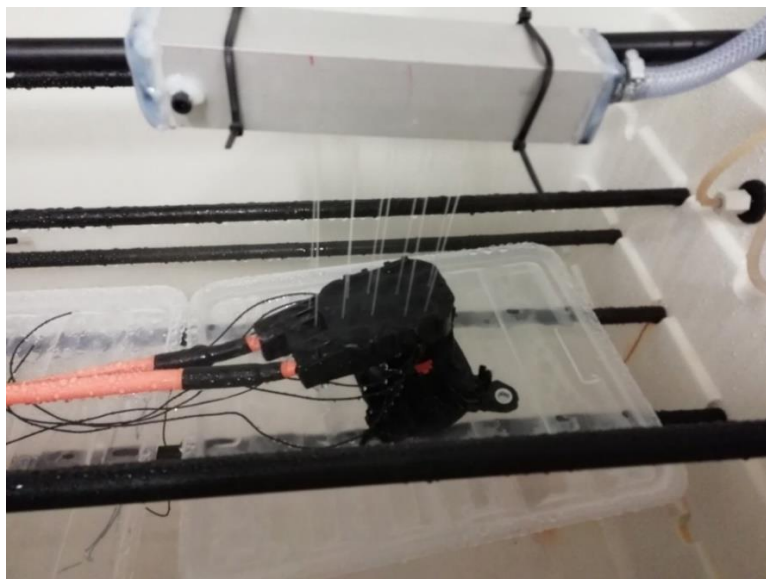
Ispitivanje je provedeno u skladu sa ISO 20653:2006 – First edition - *Road vehicles — Degrees of protection (IP-Code) — Protection of electrical equipment against foreign objects, water and access.* [3]

Ispitivanjem se simuliraju uvjeti rada u prisustvu vode. Test služi za provjeru ispravnog funkcioniranja komponente prilikom izlaganja kondenziranoj vodi, kiši, prskanju vode u praonicama itd. Ispitivanje se provelo u 4 koraka s različitim uvjetima izlaganju vodi.

#### 1. Simuliranje kiše - IPX5

Test je izveden pomoću mlaznice koja ima normom definiran raspored i veličinu rupa promjera 0,2 mm kroz koje kapa voda. Također je normom određena visina na kojoj je postavljen uređaj, brzina i tlak strujanja, te temperatura vode.

Na slici 28. prikazan je uređaj koji simulira kišu



Slika 28. Ispitni uzorak i uređaj za simuliranje kiše

## 2. Uranjanje komponente u vodu - IPX7 :

Komponenta se uranja u posudu u kojoj se nalazi voda visine 150 mm. Komponenta je uronjena 30 min nakon čega je izvađena, osušena te pregledana kako bi se ustanovilo je li došlo do ulaska vode u komponentu.

Na slici 29. prikazana je komponenta uronjena u vodu.



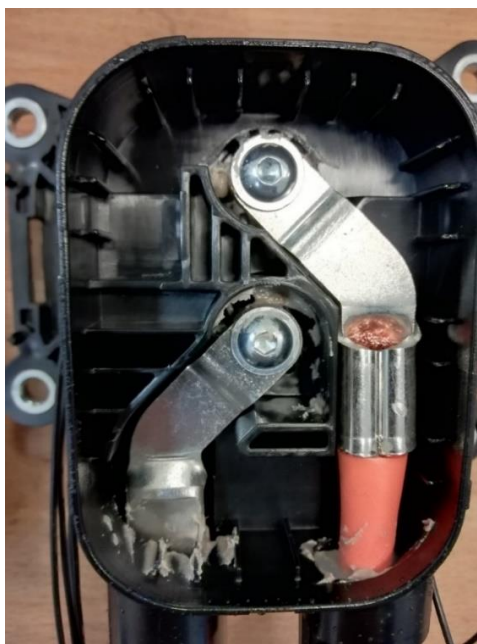
Slika 29. Uronjena komponenta

## 3. Simuliranje špricanja u autopraonici - IPX9K

Test se provodi u specijalnoj komori špricanjem komponente mlazom vode temperature 80 °C pri tlaku od 80 bara.

Nakon provedenog ispitivanja potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 13. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenih ispitivanja.

Na slici 30. prikazana je rastavljena komponenta nakon ispitivanja. Vizualnim pregledavanjem nije uočen proboj vode.



Slika 30. Unutarnji dio komponente bez vidljivih oštećenja

Tablica 13. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-10

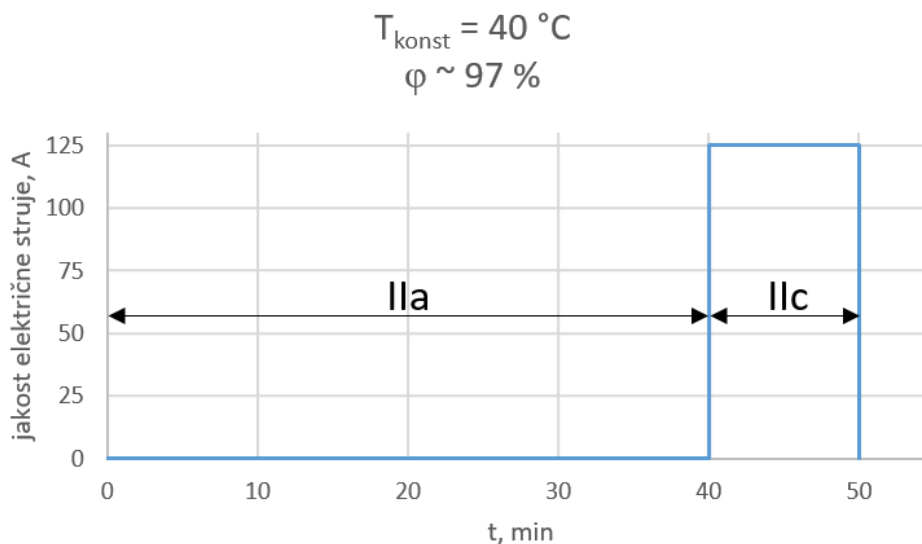
<b>K-10</b>		<b>Vrijednosti rezultata</b>		
<b>Kriteriji prihvatljivosti</b>	<b>Vrijednosti kriterija prihvatljivosti</b>	<b>minimalna vrijednost:</b>	<b>maximalna vrijednost:</b>	<b>sukladno:</b>
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	< 0,42 mΩ	0,083 mΩ	0,104 mΩ	DA
Električni otpor signalnih kontakata	< 15 mΩ	3,34 mΩ	14,97 mΩ	DA
Izolacijski otpor	$R_{iso} > 200 \text{ M}\Omega @ 500 \text{ V} / 60 \text{ s}$	> 200 MΩ	> 200 MΩ	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @ 2700 VDC / 60 s	Provjera kriterija prihvatljivosti ovih parametara nije bila potrebna za ispitivanje K-10		
Sile spajanja i odspajanja	< 100 N			

### 2.2.15 Starenje vlažnim zrakom, konstantno (Test K-14)

Test je proveden na 6 ispitnih uzoraka konektora nakon što su prošli tretmane K-01 i K-10.

Test simulira uvijete eksploatacije vozila u atmosferskim uvjetima s izrazito visokom relativnom vlažnosti zraka. Test je gotovo identičan testu K-09 osim što je ovo ispitivanje provedeno pri konstantnoj temperaturi, te ne dolazi do smrzavanja vlage prilikom cikličkih promjena temperature.

Ispitivanje se provodi u temperaturnoj komori pri  $T_{konst} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  i relativnoj vlažnosti  $\phi = 97 \pm 1 \%$  uz isprekidano strujno opterećenje. Uzorci su izloženi 605 ciklusa (21 dan) strujnog rasterećenja (IIa) / 40 min i strujnog opterećenja (IIc) / 10 min koje se provodi s maksimalnom strujom u iznosu od 125 A koju je definirao naručitelj. Jedan strujni ciklus prikazan je na slici 31.



Slika 31. Ciklus strujnog opterećenja za test K-14

Nakon provedenog ispitivanja potrebno je utvrditi stanje ispitnih komada provjerom kriterija prihvatljivosti koje zahtijeva naručitelj. U tablici 14. prikazani su zahtjevi i rezultati izmjereni nakon provedenih ispitivanja.

Tablica 14. Izmjereni rezultati nakon provedenog ispitivanja K-14

<b>K-14</b>		<b>Vrijednosti rezultata</b>		
<b>Kriteriji prihvatljivosti</b>	<b>Vrijednosti kriterija prihvatljivosti</b>	<b>minimalna vrijednost:</b>	<b>maximalna vrijednost:</b>	<b>sukladno:</b>
Vizualno pregledavanje	/	nema vidljivih oštećenja		DA
Električni otpor kontakata za napajanje	$< 0.42 \text{ m}\Omega$	0,095 m $\Omega$	0,114 m $\Omega$	DA
Električni otpor signalnih kontakata	$< 15 \text{ m}\Omega$	5,12 m $\Omega$	14,98 m $\Omega$	DA
Izolacijski otpor	$R_{\text{iso}} > 200 \text{ M}\Omega @ 500 \text{ V} / 60 \text{ s}$	$> 200 \text{ M}\Omega$	$> 200 \text{ M}\Omega$	DA
Dielektrična čvrstoća	bez proboja @ 2700 VDC / 60 s	bez proboja	bez proboja	DA
Sile spajanja i odspajanja	$< 100 \text{ N}$	78 N	98 N	DA



## 2.3 Pregled rezultata

Svrha mjerenja traženih kriterija na kraju svakog ispitivanja bila je provjera utjecaja određenih radnih uvjeta na komponentu, te provjera promjena komponentnih svojstava prilikom rada u tim uvjetima.

Nakon provedenih ispitivanja svi izmjereni rezultati zadovoljili su kriterije prihvatljivosti. Pregledom izmjerenih vrijednosti može se uočiti uniformnost rezultata, te minimalno odstupanje od testa do testa. Za nijansu značajnije promjene izmjerenih vrijednosti mogu se uočiti nakon ispitivanja u kojima je sklop bio kontaminiran česticama ili vodom. Minimalne razlike mjerenih rezultata od testa do testa možemo pripisati neuniformnosti i nehomogenosti tvari od kojih su izrađene komponente (standardna devijacija).

Obrađeni rezultati dokumentirani su u izvještaju o ispitivanju [4].

U tablici 15. prikazan je sažetak koji pokazuje najmanju i najvišu izmjerenu vrijednost veličine koja se nakon svakog testa kontrolirala mjerenjem i vizualnim pregledom.

Tablica 15. Sažetak izmjerenih vrijednosti

KRITERIJ PRIHVATLJIVOSTI	MINIMALNA IZMJERENA VRIJEDNOST	NAKON _ ISPITIVANJA	MAXIMALNA IZMJERENA VRIJEDNOST	NAKON _ ISPITIVANJA	SUKLADNO
Vizualno pregledavanje	na komponentama nisu nađena vidljiva oštećenja				DA
Električni otpor kontakata za napajanje < 0,42 mΩ	0,075 mΩ	K-09	0,295 mΩ	K-06	DA
Električni otpor signalnih kontakata < 15 mΩ	0,1 mΩ	M-05 + M-04	14,98 mΩ	K-14	DA
Izolacijski otpor > 200 MΩ	izolacijski optor svih komponenata iznosi preko 200 MΩ				DA
Dielektrična čvrstoća, bez proboja	niti kod jedne komponente nije došlo do proboja				DA
Sile spajanja i odspajanja < 100 N	37 N	M-05 + M-04	99 N	L-01	DA

## ZAKLJUČAK

Obrađenim pregledom komponenti potrebnih za izvođenje punjenja električnih vozila na početku rada, vidljivo je da je to kompliciran i tehnološki zahtjevan postupak. Sami razvoj elektrifikacije vozila već je dugi niz godina aktivan, te konstantno otvara vrata za poboljšanje i unapređenje postojećih značajki ili stvaranje novih. Također zbog visokopolitičkog utjecaja na dekarbonizaciju voznog parka, većina autoindustrije ulaže u sami razvitak električnih instalacija kako u vozilu tako i izvan njega (punionice, kabeli, priključci, itd.). U radu su pregledane generalne podjele i podpodjele glavnih komponenti vezanih za električno punjenje vozila kojima se prikazala slojevitost pojedinih struktura. Zbog opsežnosti samih podjela može se zaključiti da se komponente naizgled činile jednostavnima, a zapravo skrivaju godine istraživanja i inženjerskog rada. Nadalje opisan je jedan od načina na koji se ispituju komponente električnog ožičenja u cestovnim vozilima. Ovim radom opisano je ispitivanje tzv. HV (visoko naponske) komponente električnog ožičenja. Ispitivanja koja se provode na tzv. LV (nisko naponska) komponentama neznatno se razlikuju od ispitivanja HV komponentata. Ispitivanja se razlikuju u vrijednostima traženih parametara prihvatljivosti koje moraju zadovoljiti, stoga se obije vrste ispitivanja mogu provoditi u identičnim ispitnim komorama i pri identičnim uvjetima. Sva ispitivanja provedena su prema planu i na način koji je dogovoren između naručitelja i razvojnog tima sačinjenog od konstruktora i inženjerskog osoblja ispitnog laboratorija. Dogovorena ispitivanja provedena su kako bi provjerili stanje komponente nakon simuliranih uvjeta eksploatacije i starenja tijekom 300.000 prijeđenih kilometara ili 15 godina starosti. Ispitivanja ovakvih komponenti, kao i predloženi testovi i dijagrami aktivnosti, mogu se neznatno razlikovati zavisno o naručitelju ispitivanja, odnosno proizvođaču cestovnih vozila. Također do razlike može doći zbog uloge koju komponenta ima tijekom eksploatacije (nisu sve komponente izložene jednakim uvjetima tijekom korištenja). Dobiveni rezultati tijekom opisanog ispitivanja zadovoljili su dogovorene kriterije prihvatljivosti čime se smatra da je na ovaj način proizvedena komponenta spremna za masovnu proizvodnju i ugradnju u vozila. Može se zaključiti da je razvijanje nove komponente dugotrajan postupak koji zahtijeva veliku količinu vremena, znanja i opreme. Primjerom ovog rada, gdje je provedeno ispitivanje i validacija rezultata vezanih za jednu komponentu, može se samo pretpostaviti obujam rada potreban za prihvaćanje i ugrađivanje svih komponenti u vozilo.

## **POPIS LITERATURE**

[1] 16-047 X590 CHAdeMO Inlet

[2] DVP\_general DPZ16-047-16-067, rev1

[3] ISO 20653 E Road vehicles - Degrees of protection - Protection of electrical equipment against foreign objects, water and access 15.08.2006

[4] TRZ18-16-047-475 Rev.1