

Marti Tamm

KÕRGEPINGE ISOLATSIOONI KONTROLLI JA OHUTUSRINGI ÕPPESTEND

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Õpperühm: KAE 2021

Juhendaja: lektor Kaido Hiieleek

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Marti Tamm annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edasipidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Kõrgepinge isolatsiooni kontrolli ja ohutusringi õppevend

1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;

2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Marti Tamm

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt. Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Kaido Hiieleek, külalislektor

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

SISUKORD

LÜHENDID JA MÕISTED.....	4
SISSEJUHATUS	5
1. ELEKTRIAUTO OLEMUS JA EHITUS	7
1.1. Komponendid	10
1.1.1. Kõrgepinge aku	11
1.1.2. Laadimine	12
1.1.3. Elektrimootor	13
2. OHUTUSLIIN	14
3. ISOLATSIOON JA SELLE MÕÕTMINE	16
3.1. Isolatsiooni mõõtmine	17
4. POTENTIAALI LIIN	19
5. STENDI EHITUS JA TÖÖPÕHIMÕTE	20
5.1. Tööpõhimõte.....	20
5.2. Koost	21
5.3. Puudujäägid.....	23
5.4. Majanduslik aruanne	24
6. ÕPPEMETOODIKA VÄLJATÖÖTAMINE	25
6.1. Metoodika.....	25
KOKKUVÕTE	28
SUMMARY	30
VIIDATUD ALLIKAD.....	32
LISADE LOETELU	35
Lisa 1. Stendi ohutusliini elektriskeem	36
Lisa 2. Stendi üldine elektriskeem	37
Lisa 3. Stendi juhend	38
Lisa 4. Kordamisküsimused tudengitele	41

LÜHENDID JA MÕISTED

AC (*Alternating current*) - Vahelduvvool

BCM (Battery Control Module) – Aku juhtmoodul

BEV (Battery Electric Vehicle) – Täiselektriline auto

DC (Direct Current) - Alalisvool

ESD (Electrostatic Discharge) – Elektrostaatiline laeng

EV (Electric Vehicle) – Elektriauto

MHEV (Mild hybrid electric vehicle) – Kerghübiid, mittelaetav

IMD (Isolation Monitoring Device) – Isolatsiooni monitor

IP – (*Ingress Protection*) – Standard komponentide või seadmete kaitseastmele

IT (*Isolé-terré*) – Isoleeritud, eraldatud

KP - Kõrgepinge

PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) – Pistikhübiid, laetav

PPE (Personal Protective Equipment) - Isikukaitsevahendid

VWAG - Volkswagen Audi Group

SISSEJUHATUS

Elektriautode osakaal on aastatega kasvanud. Selle tulemusel on kõrgepinge tehnikute vajadus suurenenud. Autotehnika kursusel on hetkeseisul Tallinna Tehnikakõrgkoolis elektriautode õppe maht väike. Antud lõputöö eesmärgiks on luua kaasaegne õppestend tudengitele, mille abil on võimalik tutvustada paremini elektriautodel esinevaid süsteeme.

EV sõiduki remont võib algselt tunduda keeruline. Tehaste poolt on nõutud eri tasemel koolitused, vastavalt sooritatavale tööle. Volkswagen AG näitel on kõrgepinge sõidukite remondil 3 taset: koolitatud isik, kõrgepingetehnik ja ekspert. Koolitatud persoon võib teostada lihtsamaid remonttöid mis ei puuduta kõrgepingesüsteemi. Tehnikul on lubatud teostada KP lülitusi ja käsitleda kõrgepingekomponente, välja arvatud akut. Eksperti tasemega tehnik võib teostada aku remonte ning töötada pinge all oleva sõidukiga.

Sellest tulenevalt pelgavad paljud tehnikud kõrgepinge sertifikaadi omandamist ning nende sõidukite remontimist. Elektriautode remondi kohta on informatsiooni vähe, mille tõttu see on paljudele nn tundmatu maa. Õppestendi abil on soov tudengitele tutvustada elektriautode ehitust ning selgitada lahti antud lahenduste põhjused, meetodika ja ohutusmeetmed. Selle tulemusel on võimalik noortel õpihimulistel tugenditel varakult tutvuda kõrgepinge sõidukitega ohutus keskkonnas.

Laboritöö käigus läbib õpilane mitmeid etappe, alustades teooriast ja lõpetades praktiliste ülesannetega. Iga etapi juurde kuuluvad ka kordamisküsimused, mis omakorda teadmisi kinnitavad. Esimeses etapis tutvutakse kõrgepinge autol asetsevate süsteemidega, ohutusnõuetega ning töötaja klassifikatsiooniga. Sellele järgnevad 3 praktilist ülesannet. Esimesena õpitakse ohutusringi kohta, mida haldab aku juhtplokk. Tegemist on esmase ohutuse tasemega mis on lihtsasti tutvustatud releemähiste ja indikaatoritega. Siin kohal saab ka kokku puutuda reaalseste kõrgepinge komponentidega nagu hoolduspistik, kõrgepinge kaabel kui ka Audi E-tron GT pealt pärineva soojusvahetiga. Teine etapp on potentsiaali ahel. Siin tutvub tudeng selle süsteemi tähtsusega ning teostab ka vastavaid mõõtmisi mis on kooskõlas tehase nõuetega. Kolmandaks teostatakse ühte meetodikat kõrgepinge süsteemi diagnoosimiseks. Nimelt on tegemist isolatsiooni takistusega, täpsemalt selle mõõtmisega. Antud testiga on võimalik kindlaks teha süsteemis isolatsiooni vigade ehk lühiste olemasolu kas kõrgepinge komponendis või kaablis.

Elektriautode puhul on veel palju õppida, kuid see õppestend aitab anda parema esmase ülevaate ning on alustala keerukamatele süsteemidele ja remontidele.

Lõputöö autor töötab isiklikult Audi Tallinnas diagnostikuna ning on omandanud kõrgepinge eksperti sertifikaadi.

Stendi disainis on rakendatud mitmeid aspekte mis sarnanevad päris sõiduki peal töö teostamisele. Töövõtted ja juhendid mis edastatakse tudengile pärinevad Volkswagen AG kontserni poolsetest juhenditest, mille tõttu antud laboritöö juhendusel töötavad tudengid samal tasemel nagu tehase poolt on nõutud.

1. ELEKTRIAUTO OLEMUS JA EHTUS

Elektri- ja hübriidsõidukite populaarsus on kasvamas. EV, PHEV ja MHEV sõidukeid Eesti registris statistikaameti andmetel on 1. jaanuar 2025 seisuga 62 573. Nendest 13,4% on täiselektrilised autod ehk BEV (*Battery Electric Vehicle*). [1] Euroopa piirides on elektriautode ostmise eksponentsiaalselt suurenenud. Ligikaudu 2.4 miljonit sõidukit on registreeritud 2023 aasta seisuga, eelneval aastal oli selleks arvuks 2 miljonit. [2]

Selle põhjal võib väita, et kõrgepinge all töötavate sõidukite remondi hulk on suurenenud. Tavapärase sõidukite puhul ei ole nõutud remonttööde teostamiseks eri kvalifikatsioone. Tehase vaatepunktist hõlmab aga elektriautode kallal töötamine mitmeid eri koolitusi ja sertifikaate, sest sellega kaasnevad lisa ohud tehnikule, läheduses olevatele isikutele kui ka keskkonnale. Teised autoremondi ettevõtted väldivad elektri- ja hübriidautode parandamist, sest teadmised on väiksed, informatsioon on raskesti kättesaadav ning vajalikud eritööriistad ja varustus on kallis. Näiteks Hazet-i poolt pakutud tööriistakohver 150/52 (Sele 1) elektrisõidukite jaoks maksab 2025 aasta seisuga üle 1000 € [3].



Sele 1. Hazet tööriistakompelt 150/43 [4]

Elektri- ja hübriidsõidukite kõrgepinge komponendid on potentsiaalselt ohtlikud ning seetõttu vastavalt märgistatud. Süsteemis on kasutusel mitmed kaitsemeetmed ohutuse tagamiseks, kuid need ei taga täieliku ohutust. Üheks ohutuse meetodiks on potentsiaali ühtlustuse liin, mis suunab komponentide vahelise lühise kere. Selle liini katkestuse puhul lülitatakse kõrgepinge süsteem välja, mille tulemusel kõrgepinge akust pinget ei välju. Teisalt suhtlevad kõik kõrgepinge komponendid aku juhtmooduliga, mis juhib ohutusliini. See süsteem kontrollib, kas kõik kaablid on korrektselt ühendatud ning katkestuse korral lülitatakse süsteem samamoodi välja. Väljalülitus toimub läbi kontaktorite, mida haldab samuti aku juhtmoodul. Kontaktorite väljalülituses ei välju enam akust pinget, kuid akumoodulitest ei ole võimalik pinget välja lülitada, mistõttu kõrgepinge aku on alati ohtlik ja sellega toimingud on lubatud ainult vastava kvalifikatsiooniga isikul. Aku kontaktoritel on ka sisse ehitatud püro element, mis rakendub avarii korral tänu turvapadja mooduli käsule.

Kõrgepinge kaablid ja ühendused on enamjaolt sõidukitel oranži värvi, mis viitavad, et tegemist on ohtliku osaga sõidukil. See värvus on nõutud transpordiameti poolt, universaalselt märgistamiseks, et tegemist on ohtliku komponendiga. [5] Ühendused ehk pistikud on mitme astmelise turvalisusega, vältimaks võimalust seda lihtsalt või kogemata avada. Tihtilugu on tarvis ka lisa tööriista, et pistikut eemaldada, näiteks kruvikeeraja või konks. Euroopa liidu seadusmäärastiku poolt on nõutud, et iga kõrgepinge pistiku avamiseks on kas tarvis tööriista või lukusti on mitme astmeline. [6]

Selle põhjuseks on kõrgepinge süsteemi põhimõte. Kõrgepingeks loetakse sõiduki puhul alalisvooluga $>60\text{ V}$ ja vahelduvvooluga $>30\text{ V}$. [7] Elektriauto komponentides on esil suur pinge (400-800V) ning kogematul isikul on suur tervise oht ebapädevate töövõtete puhul. Sellepärast on märgistus oluline ohutuse tagamiseks. Töökodades on ka nõutud, et sõiduk millel teostatakse kõrgepingega seotud toiminguid, on märgistatud alljärgneva sildistusega (Sele 1). Aku remondi protsessi ajal peab olema sõiduki ümber ala piiratud ohutuslintidega.



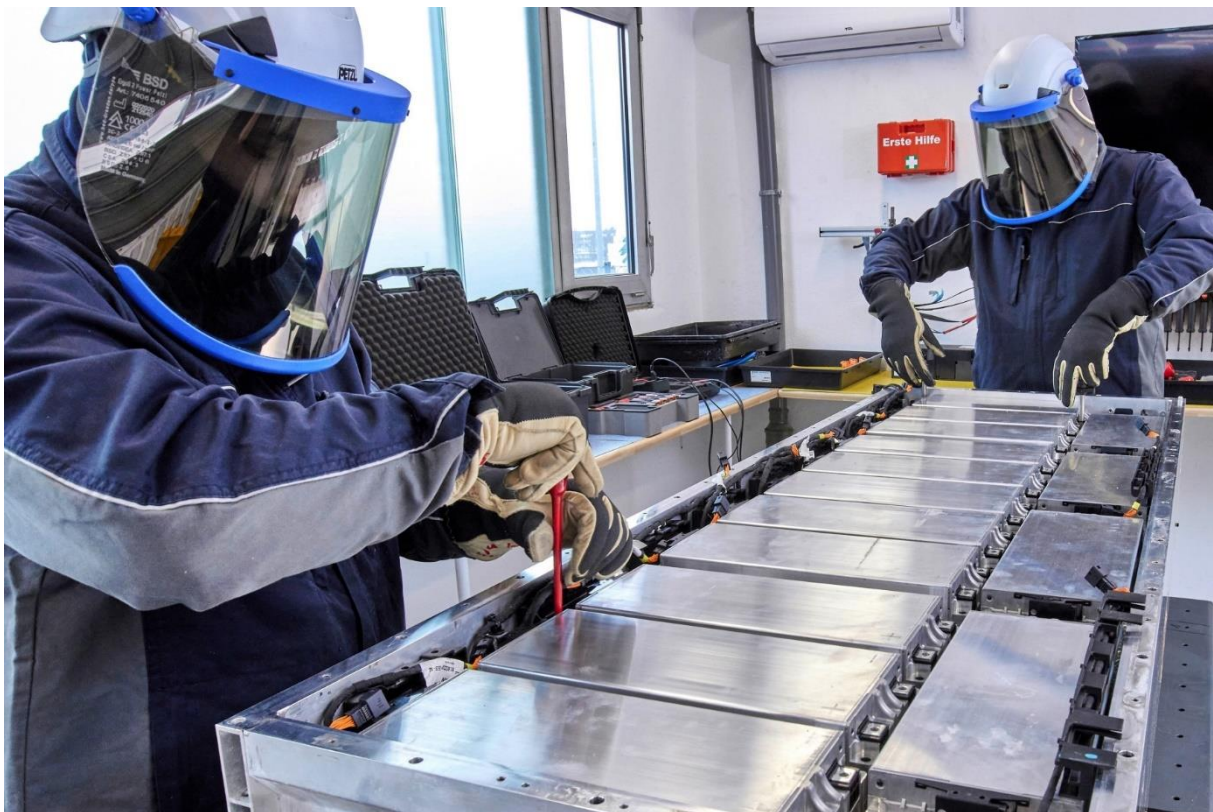
Sele 2. Hoiatussilt kõrgepinge sõidukitele. [8]

Sisepõlemismootoriga sõidukitel esinevad samamoodi tervist ohustavad tegurid, kuid kõrgepinge all olevatel masinatel on tegemist rohkemate eluohtlike faktoritega. Peamisteks riskideks elektriautode käitlemise puhul on järgnevad [9]:

- aku põleng – ohtlikud gaasid, põletus- ja plahvatusoht
- kaarleek – põletus
- elektrišokk – südamerütmi häired, lihaskrambid, põletusoht
- nahasöövitus – gaasid ja kemikaalid akust

Nende faktorite põhjal on teatud astmest nõutud ka vastav kaitsevarustus. Kõrgepingetehnikule peavad olema väljastatud vastav kaitsevarustus, tuntud ka kui PPE (*Personal Protective Equipment*). Kaitsevarustusel on kindel klass millele see peab vastama, põhinedes ohu tasemele. Elektriauto puhul on kaitsevarustuse peamine eesmärk kaitsta kaarleegi ja pritsmete eest. VWAG kontserni näitel on nõutud varustus järgnev:

- Jakk, püksid või kombid – minimaalselt kaitseklass 2 kuni 318 kJ
- Kittel – minimaalne kaitsefaktor 630 kJ
- Kiiver visiiriga, peakate, kaitsefaktor 630 kJ
- Turvakingad ESD (*Electrostatic Discharge*) tähisega
- Kindad ESD tähisega, minimaalselt 500V isolatsiooni ja 630 kJ kaitsefaktoriga



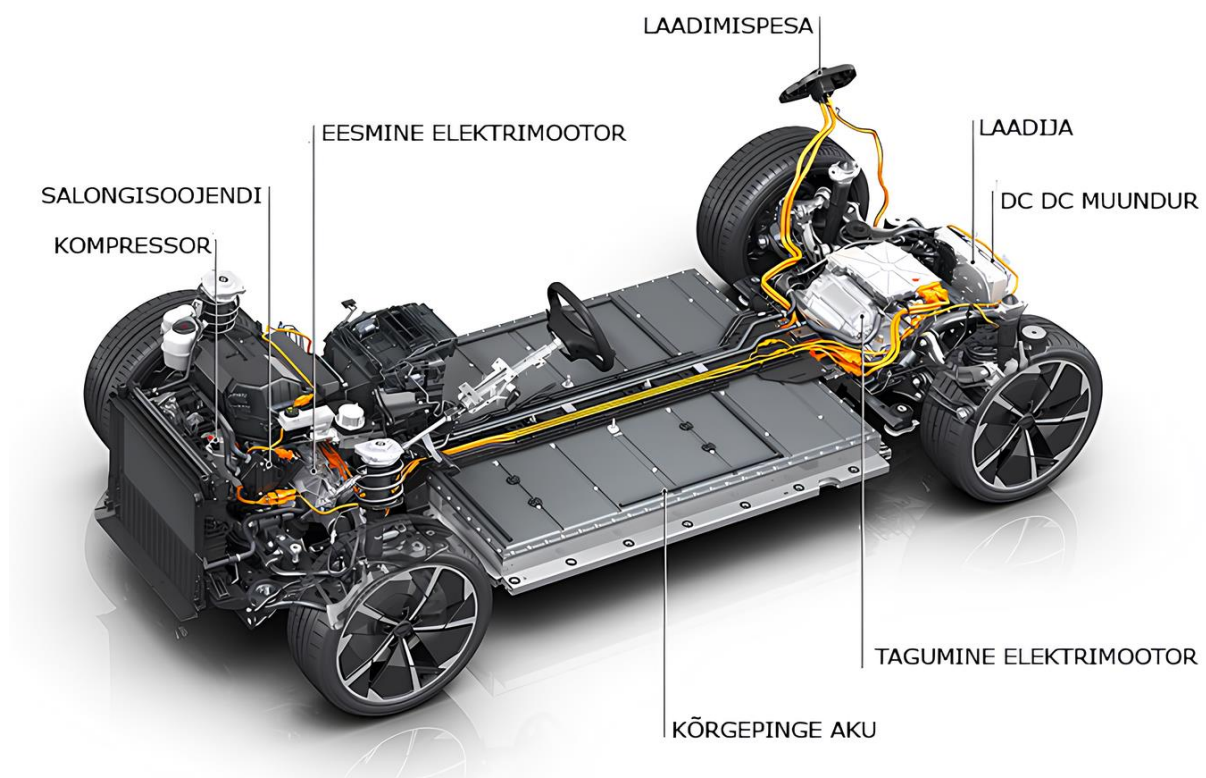
Sele 3. Kaitsevarustus akuremondi tööprotsessi ajal [10]

1.1. Komponentid

Komponentide arv ja ehitus erineb sõltuvalt automargist, kuid tööpõhimõtte säilib. Euroopa liidu määrustiku poolt on ette nähtud, et kõik kõrgepinge komponendid on selgelt tähistatud, omavad IP (*Ingress Protection*) sertifikaati ning on turvaliselt kinnitatud.[6]

Kõrgepinge all olevad komponendid hõlmavad akut, laadijat, muundurit, elektriajamit ja salongi soojendust ning jahutust. Elektriautodel esineb lisaks kõrgepingele ka tavapärane 12 V aku. See süsteem haldab ülejäänud elektroonikasüsteemi: tuled, KP komponentide juhtimine, multimeedia, ohutussüsteemid kui ka mugavusvarustus. Kõrgepinge osa on autost eraldatud, mis tähendab, et süsteem ei oma ühist massi kerega, see on kasutusel ainult potentsiaali ühtlustamise ahelas.

Madala pingeline ahel töötab samamoodi nagu tavapärastel sõidukitel, kuid selle laadimist haldab alalisvoolumuundur mitte generaator. Selle eesmärgiks on muuta kõrgepinge madalpingeks, mille abil laetakse 12V süsteemi akut. Soojendi ja kompressor töötavad samal põhimõttel nagu tava sõidukitel, kuid rihmaajami asemel saavad need seadmed toite kõrgepinge akust.



Sele 4. Kõrgepinge sõiduki komponendid Audi Q4 näitel [11]

1.1.1. Kõrgepinge aku

Kõrgepinge aku monitooringu ja kontrolliga tegeleb aku juhtplokk (BCU – *Battery Control Unit*). See plokk jälgib akumoodulite pinget ja temperatuuri ning haldab kõrgepinge lülitust kui ka moodulite pinget ühtlustamist. Akumoodulite informatsioon saadetakse eraldi moodulite juhtplokkide poolt. Antud süsteem töötab pardavõrgu ehk 12 V aku pealt.

Kõrgepinge aku koosneb akumoodulitest, kontrollieritist ja lülituskastist. Moodulite ühendusviise on kahte tüüpi: jadaühendus ja kombineeritud (jada- ning rööpühendus). Antud näites (Sele 5) on märgistatud 2 tsooni: roheline ja sinine. Tegemist on Audi Q6 lahendus kahe eraldiseisva 400 V aku sektsiooniga. Lülituskasti kaudu toimub kahe jadaühenduse liitmine ehk rööpühendus, mille tulemusel on kõrgepinge aku väljundiks 800V.

Akumoodulite all asub jahutusvedelikuga täidetud veesärk, mis haldab moodulite ühtlast temperatuuri ja jahutust. Sellel on oluline roll, sest lisaks aku pingetele monitooritakse ka temperatuure. Elementide või moodulite temperatuuri liigne erinevus viitab rikkele, mis võib muutuda ohtlikuks. Ületades 60 °C loetakse akut kriitiliseks. Juhul kui töökojas leitakse, et sõiduki aku on ohtlikus või kriitilises seisus peab sõiduki toimetama võimalusel karantiini, selle ohutuks jälgimiseks. Tähelepanu peab pöörama järgnevatele faktoritele:

- Füüsilised vigastused – Mõlgid, augud, kriimud
- Visuaalsed nähtused – Suits, lekked, leegid
- Temperatuur – Sõiduki ja väliskeskkonna kaardistamine
- Muud ohud – Ebamääraseid helid, lõhnad

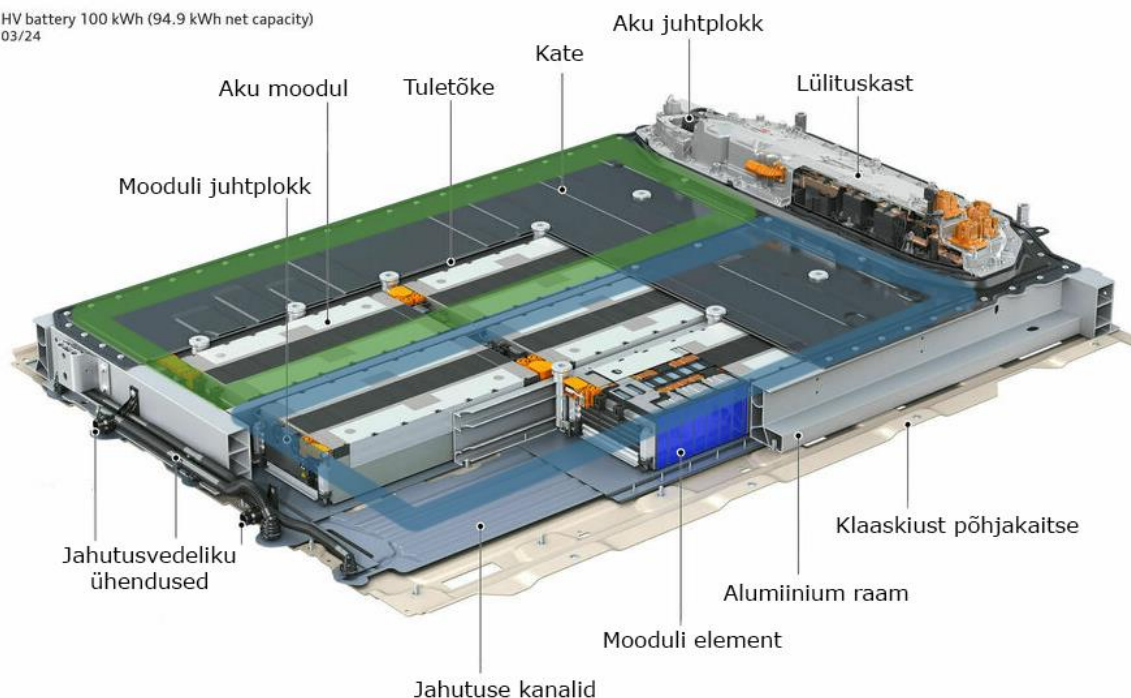
Karantiinipunktiks loetakse kohaks, kus 5 meetri raadiuses ei ole auto juures ühtegi eset ega konstruktsiooni, pinnas peab olema mitteraadiiv, eemal otsese päikesevalguse eest ning ideaalselt ühtlase temperatuuriga asukohas. Kui kriitiline seis tekib sõiduki kasutajal, tuleks esimesel võimalusel peatuda, eemalduda sõidukist ning kutsuda päästeamet.

Kõrgepinge aku põlengu kustutamine on pikk ja ohtlik protsess, sest liitiumakud ei vaja põlemiseks hapniku. See tähendab, et põlengut pole võimalik peatada, ainult ohjeldada. Selle tõttu on ehitatud aku korpus õhukindlaks, tagamaks kontrollitud keskkonda aku komponentidele. See omakorda tähendab, et kõrgepinge akule teostatakse lekketest enne ja pärast remonti. Esmane test kinnitab aku seisundi enne remondi teostamist ning järelmõõtmine kinnitab, et töö on korrektselt teostatud.



Audi Q6 e-tron quattro

HV battery 100 kWh (94.9 kWh net capacity)
03/24



Sele 5. Kõrgepinge aku ehitus Audi Q6 näitel [12]

1.1.2. Laadimine

Laadija on aku ja laadimispesa vaheline moodul, mis kontrollib laadimise pinget, kiirust ja pinget ühtlustust. Laadimispesa sisse on lisatud kontrollahel ehk pilootliin. Selle kaudu suhtleb laadija sõidukiga. Laadimisjaamast või kaasaskantavast laadijast tulev vahelduvvool muudetakse aku laadimiseks alalisvooluks. Osad sõidukid pakuvad lisaks AC/DC laadimisele ka DC/DC võimekust, mis võimaldab kiiremat laadimist suurema pinget abil. Laadimispesad ja pistikud varieeruvad autotootja asukoha põhjal. Alljärgnev joonis (Sele 6) demonstreerib regioonide erinevust, mis tulenevad kohaliku võrgu pingest kui ka nõutud standarditest.

	N. America	Japan	EU and the rest of markets	China	All Markets except EU
AC	 J1772 (Type 1)	 J1772 (Type 1)	 Mennekes (Type 2)	 GB/T	 Tesla
DC	 CCS1	 CHAdeMO	 CCS2	 GB/T	

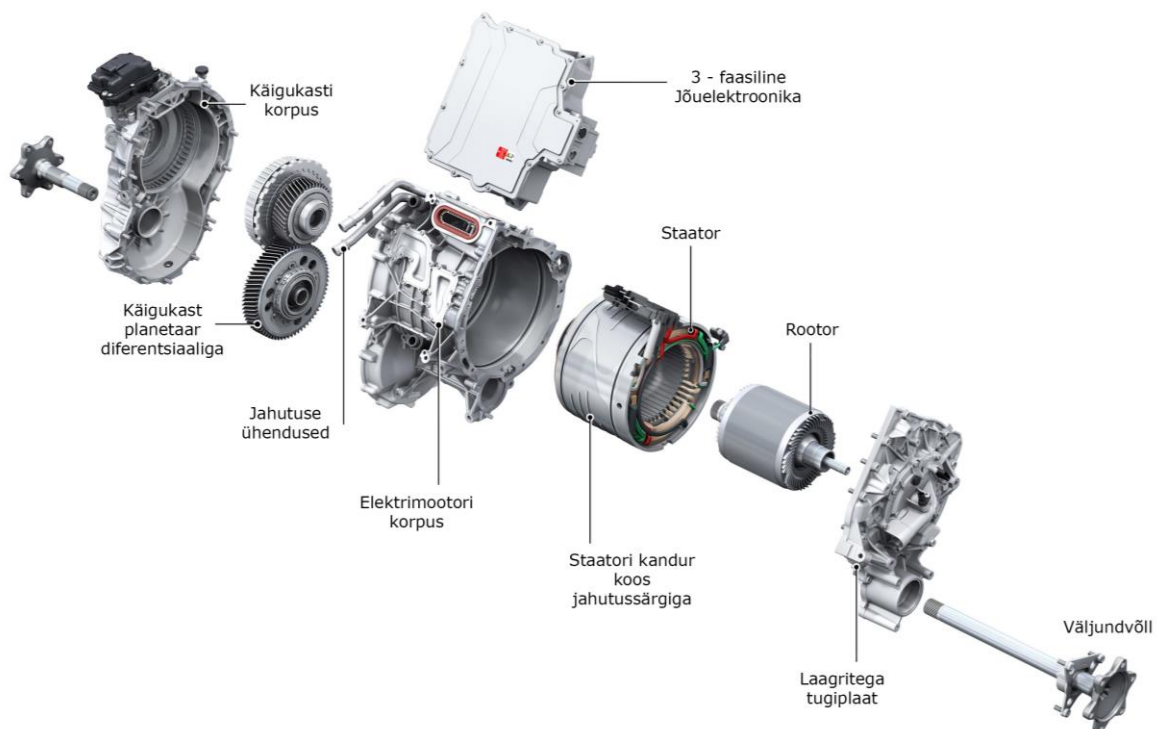
Sele 6. Laadimispesad regiooni põhiselt [13]

1.1.3. Elektrimootor

Kõrgepinge akust väljuv elektrienergia muudetakse tänu elektrimootorile mehhaaniliseks energiaks. Võrreldes sisepõlemismootoritega on elektriajam efektiivsem. Tavapärase diisli- või ottomootori tõhususeks loetakse 11-37%. Ülejäänud energia muutub läbi friktsiooni ja põlemise soojusenergiaks. Elektriajamil hinnatakse tõhusust 50-80% vahemiku. Peamine kadu tekib ülekandest ja veermikust. [14]

Elektriajam ise koosneb elektrimootorist, jõuelektronikast ning ülekandest. Mootori pöörete vahemik võib ulatuda nullist 20 000 pöördeni (olenevalt mudelist), sellest tulenevalt ei ole vajadust lisada süsteemi tavapärast käigukasti. Mootorite külge on lisatud reduktor, mis vähendab väljundvõllide kiirust. Suuremate mootoritega variantidel võib kohata ka mitmekäigulist versiooni, tagamaks ökonoomsust ning vajadusel võimekamat kiirendust.

Jõuelektronika puhul on tegemist 3 faasilise muunduriga. Staatorile saadetakse kindla sagedusega peale elektrilaeng, mis omakorda liigutab rootorit. See süsteem on suuteline ka vastupidiselt töötama. Seda tuntakse elektriautol regenereeriva pidurduse all. Sõidu ajal gaasipedaali vabastades lülitatakse elektrimootor ümber, muutes selle generaatoriks. See omakorda aeglustab sõidukit ning laeb samaaegselt kõrgepinge akut. Antud funktsioon töövõime sõltub aku laetusastmest, kiirusest kui ka kliendi poolt määratud sõiduki seadistusest.



Sele 7. Elektrimootori ehitus Audi Q8 E-tron näitel [15]

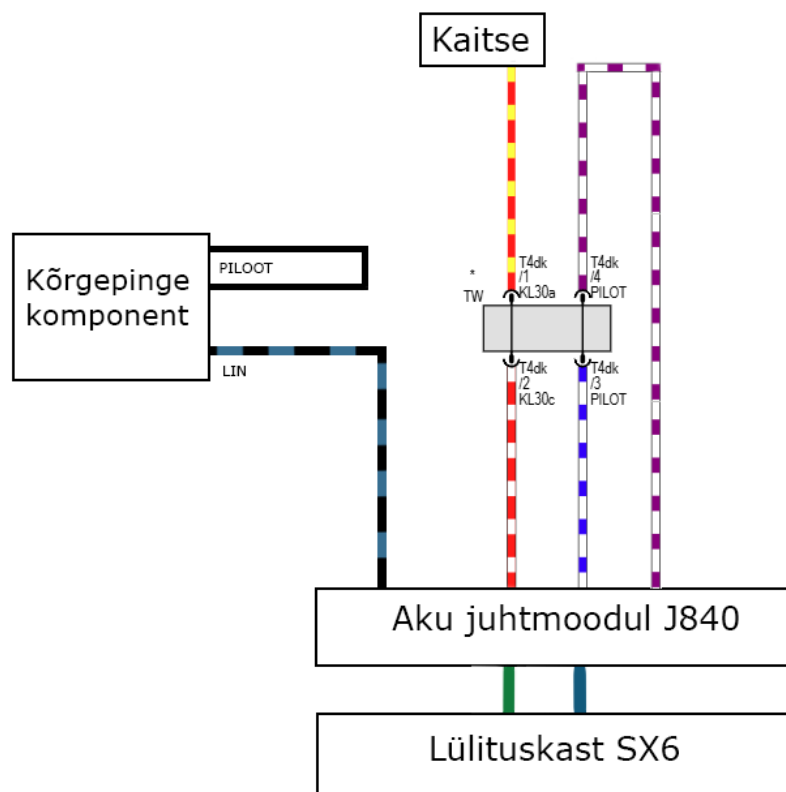
2. OHUTUSLIIN

Kõrgepinge haldamiseks on igal sõidukil aku juhtmoodul, mis nagu eelnevalt mainitud omab ülevaadet aku moodulite seisundist ja haldab kontaktoreid. Lisaks on selle eesmärgiks ka kontrollida ohutusliini. Tegemist on 12 V kontrollahelaga, mis ühendub iga kõrgepinge komponendi külge. Sinna hulka kuulub ka hoolduspistik (Sele 5).



Sele 8. Elektriauto hoolduspistik [16]

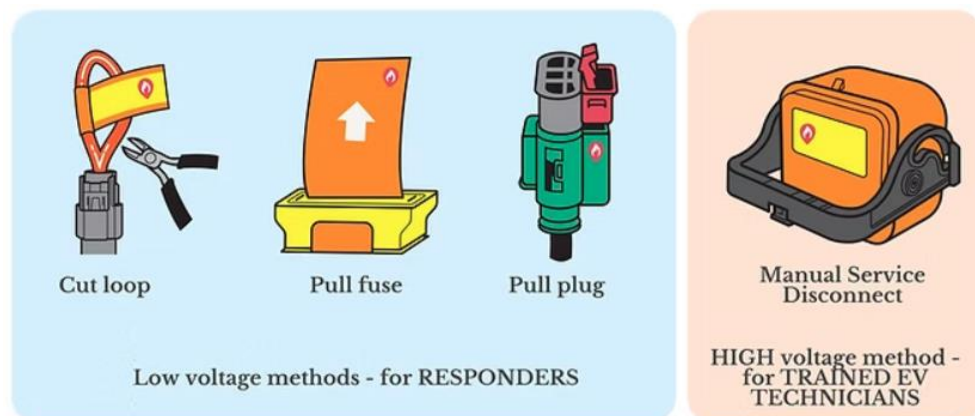
Kõrgepinge komponentides kui ka hoolduspistikus on jadaühenduses ahel, mis katkestub, kui pistik on avatud asendis. Seda olekut tuvastab BCM ning kõrgepinge lülitatakse välja. Pinge sisse lülitamine pole võimalik enne, kui ahel on koos. Selline meetod välistab, et mitte tervik sõiduk oleks liikumisvõimeline. Lahtine või pooleldi ühenduses olev komponent võib tekitada lühiseid.



Sele 9. Ohutusliini elektriskeem

Diagnostikalise kõrgepinge lülitamise korral on nõutud, et hoolduspistik avatakse või suletakse kindlas etapis. Kuigi kõrgepinget saab lülitada ilma selleta, on tegemist lisa ohutusmeetmega mida tuleb täita. Lisa meetmena peab olema avatud asendis hoolduspistik lukustatud tabalukuga. See vähendab võimalusi tahtmatult pistik kinni panna.

Mehhaaniline kõrgepinge väljalülitus teostatakse kas ohu või rikke korral. Ohu all on silmas peetud avariid, mille puhul võib sõiduki elektrisüsteemi seisund olla teadmata. Lisaks hoolduspistikule on sõidukitele paigaldatud ka kiirühendused, mille eemalduses KP lülitatakse välja (Sele 6).



Sele 10. Kõrgepinge manuaalse väljalülitus meetodid [17]

Need lahendused erinevad autotootjate vahel, kuid juhendid on kättesaadavad sõiduki kasutusjuhendist, lisaks on see informatsioon olemas päästetöötajatel.

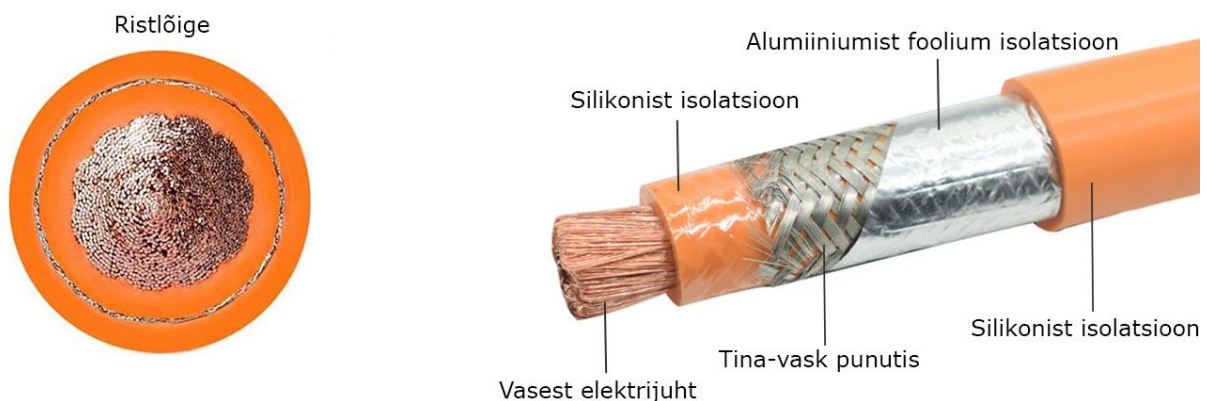
Rikke puhul manuaalse väljalülitamise vajadus võib esineda mitmel põhjusel:

- Puudub ühendus aku juhtmooduliga
- Peale välja lülitust esineb süsteemis ikka kõrgepinge
- Juhtmoodulil puudub ülevaade süsteemi pingetest
- Kontaktorite või hoolduspistiku staatus ei muutu reaajas

Teostades manuaalset kp väljalülitust ei ole võimalik veenduda, kas süsteem on ohutu (eeldusel, et diagnostikaline väljalülitus ei õnnestunud). Selle tulemusel on nõutud, et süsteemi pinget mõõdetakse manuaalselt üle, mis võib olla ohtlik, eriti pistiku eemaldamise hetkel. Selles etapis on nõutud, et tehnik kasutab täieliku kaitsevarustust ehk PPE-d, mis hõlmab üleriideid, kindaid, jalanõusid, peakaitset kui ka visiiri.

3. ISOLATSIOON JA SELLE MÕÕTMINE

Õppestendil teostab tudeng ka ühte diagnoosimise meetodit, milleks on isolatsiooni takistuse mõõtmine. Selle abil on võimalik tuvastada vigu kõrgepinge komponentides kui ka kaablites. Isolatsioon näitab ära ühe komponendi eraldust teistest seadetest või väliskeskkonnast. Elektriauto puhul mõõdetakse isolatsiooni takistust aku potentsiaalide ja kere vahel. Ameerika Ühendriikide FMVSS (*Federal Motor Vehicle Safety Standards*) määruse kohalt on nõutud, et vahelduvvoolu süsteemis on minimaalne isolatsiooni takistus 500 oomi ühe voldi kohta. Sama number kandub edasi ka alalisvoolu süsteemi, kui sellel puudub isolatsiooni monitoorimise võimalus. IMD (*Isolation Monitoring Device*) olemasolul on nõutud minimaalselt 100 oomi voldi kohta. Selle põhjal saab järeldada, et 400V kõrgepinge süsteemi puhul on minimaalne takistus 40kOhm, monitoorimiseseadme puudumisel on selleks 200kOhm. Väiksem number tähendab isolatsiooni viga ning võib põhjustada komponendis lühist, muutes selle ohtlikuks.[5]

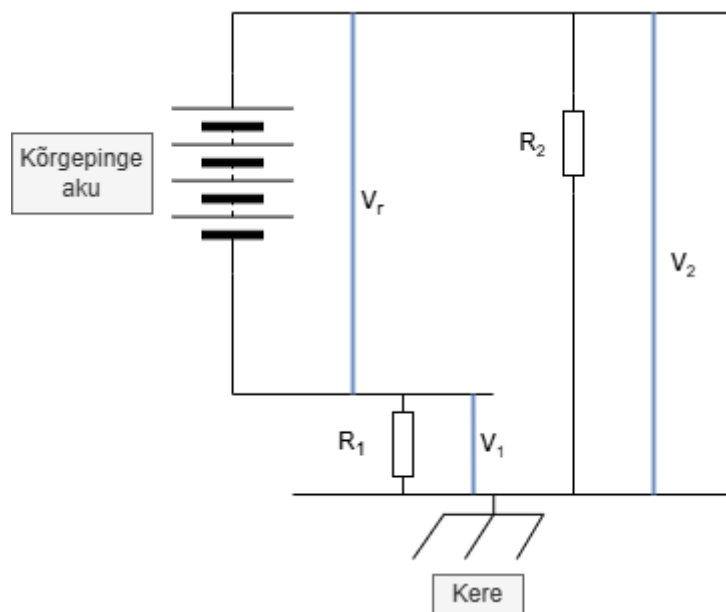


Sele 11. Kõrgepinge kaabli komponendid ja ristlõige [18]

Isolatsiooni viga on kahte sorti: sümmeetriline ja asümmeetriline. Sümmeetrilise puhul on tegemist terve süsteemi veaga, ehk kõik komponendid omavad sarnase väärtusega isolatsiooni viga. Seda tüüpi riket on kõige raskem tuvastada. Teine veatüüp on asümmeetriline, kus viga on ühes või mitmes komponendis.

Isolatsiooni monitoorimiseks on mitmeid viise, kuid kõige populaarsem on elektrilise silla lülitus meetod tänu oma madalale kulule ja lihtsale rakendusviisile. Neid lahendusi kutsutakse passiivseks monitoorimiseks, sest süsteemi ei rakendata lisa pinget. Silla lülituste puhul on omakorda kasutusel 2 meetodikat: balansseeritud ja mitte balansseeritud. Esimese meetodi miinuseks on töörežiim, selle abil ei ole võimalik samaaegselt jälgida positiivset ja negatiivset terminali. Mitte balansseeritud meetodiga on võimalik jälgida mõlemat potentsiaali, kuid on kergesti mõjutatav väliskeskkonnast.[19] Lisaks passiivsele meetodile kasutatakse ka aktiivset.

Selle käigus tutvustatakse süsteemi lisa pinget, kuid see võib häirida kõrgepinge süsteemi. Järelduseks saab tuua, et hetkel kasutusel olevad süsteemid ei ole töökindlad, kuid uued lahendused on väljatöötamisel.



Sele 12. Passiivne isolatsiooni monitoorimine [20]

Isolatsiooni vigade põhjustajateks on mitmeid tegureid, enim levinumad neist on:

- Hõõrdumine – vibratsioonist ja mustusest tingitud
- Välised lekked – õli, jahutusvedelik
- Ekstreemsed keskkonna tingimused – niiskus, sool, temperatuur, kondensatsioon

3.1. Isolatsiooni mõõtmine

Autotööstuses on isolatsiooni mõõtmiseks vastavad tööriistad. Seda ei ole võimalik teostada tavapärase multimeetriga. Margiesindused kasutavad tehaste poolt ette nähtud eritööriistu. VWAG näitel on selleks VAS6558A. Antud seadme hind on ligikaudu 3 500 € ning vajab töötamiseks lisaks tehase diagnostikaprogrammi kui ka eri liidest arvutiga ühendamiseks. Olemas on ka taskukohasemad seadmed. Tallinna Tehnikakõrgkoolis on kasutusel UNI-T UT505A (Sele 7) mida hakkavad ka tudengid käesoleva labori katsete ajal kasutama. Selle seadme maksumus jääb alla 300 € ning on suuteline teostama vastavaid mõõtmisi.

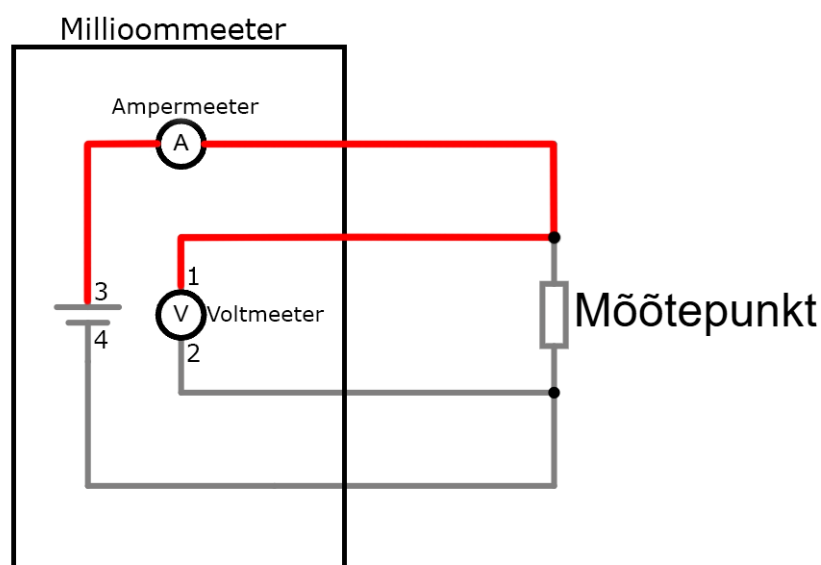


Sele 13. UNI-T UT505A isolatsiooni tester [21]

Isolatsiooni tester saadab mõõtmise ajal potentsiaalidele peale suure pinge ning mõõdetakse potentsiaalide vahelist takistust. Kõrgepinge kaableid testitakse 500 V pingega, kõrgepinge komponente vastavalt süsteemi pingele, vältimaks ülekoormuse tekitamist. Sellise mõõtmise teostamine on ohtlik. Mõõteotsade katkestuse puhul võib mõõdetava punkti ja mõõteseadme vahel tekkida laeng. Selle vältimiseks tuleb mõõtmise lõpus jälgida pinget, ning lasta sellel kukkuda nulli ligidale enne kui mõõteotsad eemaldada.

4. POTENTIAALI LIIN

Elektriauto puhul on tegemist IT (*Isolé-terré ehk isoleeritud*) süsteemiga, mis tähendab, et kõrgepinge süsteem ei ole ühenduses massi punktiga ehk sõiduki kerega. Selle asemel on kasutusel potentsiaali ühtlustuse liin, mis omab tähtsat rolli sõiduki turvalisuses. Kõrgepinge akust tuleb komponentidele pluss ja miinus elektriline potentsiaal. Süsteemi rikke ehk lühise korral võib tekkida oht komponenti puudutades, sest selle abil luuakse terviklik ahel. Selle vältimiseks on igale komponendile paigaldatud lisa kaabel, mis ühendub auto kere külge ja suunab laengu kere. Seda ahelat kutsutakse potentsiaali ühtlustamise kaabliks. Autotootja näeb ette, et komponendi paigaldusel tuleb esmalt ühendada antud kaabel ja teostada kontroll mõõtmine. Eesmärgiks on tuvastada, kas komponendi ja kere vaheline ühendus on olemas ja selle ahela takistus minimaalne. Antud väärtust ei ole võimalik tavalise oommeetriga mõõta, sest mõõteseadme väljund on liiga väike ning mõõteseadme kaablid lisavad takistust mis segavad mõõtetulemusi. Korrektse tulemuse saavutamiseks tuleb kasutada millioom meetrit. Need seadmed kasutavad mõõtmiseks nelja juhtme meetodikat, teisisõnu tuntud kui kelvini meetod. Antud mõõtmisega rakendatakse oomi seadust $R=U/I$. Mõõteseadmel on kokku 4 kaablit mis ühinevad kahte mõõteotsa. Ühe paari kaabli kaudu saadetakse peale kontrollitud vool ning teine paar mõõdab pingelangust. Mõõtmist teostava ahela peale ei lange lisa pinget, mille tulemusel mõõdetakse seal ainult komponendi vahelist pingelangu. Selle meetodiga suudavad seadmed mõõta millioom täpsusega, mis on potentsiaali ahelas tähtis, sest ühendus peab olema ohutuse tagamiseks veatu.



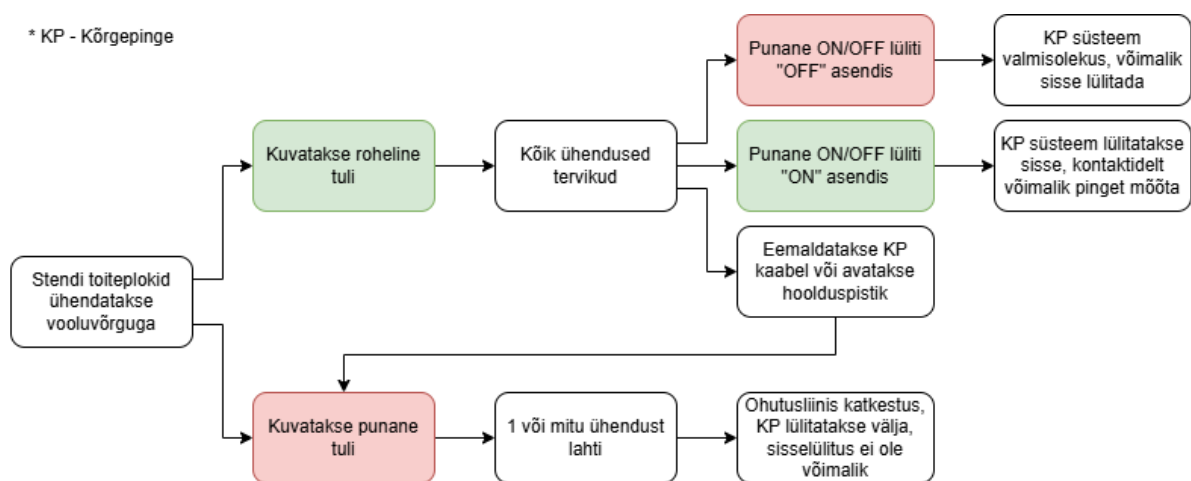
Sele 14. Millioommeetri tööpõhimõte

5. STENDI EHITUS JA TÖÖPÕHIMÕTE

Õppestendi eesmärgiks on tudengitele demonstreerida kõrgepinge süsteemi. Stendis on võimalik teostada manuaalselt kõrgepinge lülitust, isolatsioonitakistuse mõõtmist ning näha potentsiaaliühtlustus ahela põhimõtet ja kontrollahela rakendumist. Praktikumiläbides on üliõpilasel parem arusaam kõrgepinge komponentidest, kontrollahelate põhimõttest ja süsteemi ohutusest kui ka selle testimisest.

5.1. Tööpõhimõte

Stendile on paigaldatud kõrgepingekomponent ja kujutletav kõrgepinge aku. Antud komponendid on omavahel ühendatud kõrgepinge kaabliga. Süsteemile lisandub ka ohutusliin ning standardiseeritud teeninduse väljalülituse pistik. Stendi küljes on kaks indikaatorit: punane ja roheline diod. Roheline tuli tähistab, et süsteem on aktiivne ja kõrgepinget on võimalik sisse lülitada. Selle eelduseks on toimiv süsteem, kus kõik komponendid on korrektselt ühendatud. Punane valgus tähistab, et süsteemis on rike. Stendi mõistes on rikke puhul tegemist kas lahtise kõrgepinge kaabliga või teeninduse pistikuga. Siin on tudengitel võimalus tutvuda kõrgepinge kontrollahelaga, kõrgepinge lülitus protsessiga ja erinevate pistikute ühendamisega.



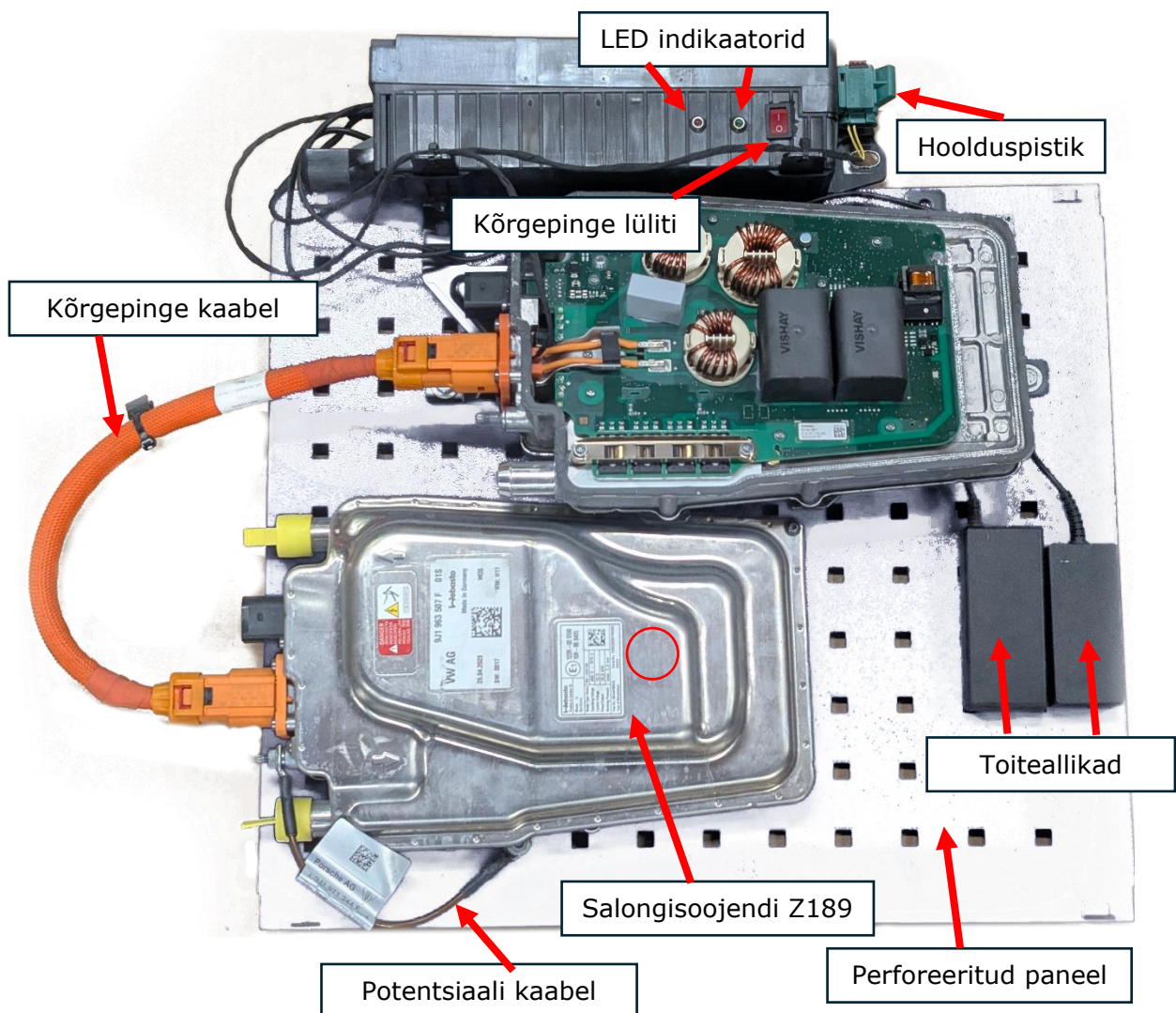
Sele 15. Voodiagramm stendi töörežiimidest

Praktikumi teine etapp on potentsiaalide ühtlustamise kohta. Stend on ehitatud perfopaneeli peale, mis simuleerib sõiduki kere ehk ühist massi punkti. Kõrgepinge komponendi korpuse ja stendi vahele on ühendatud kaabel. Tudengid esmalt tutvuvad süsteemi põhimõttega ning seejärel teostavad vastavalt tehase juhendile potentsiaalide erinevuse mõõtmise millioommeetriga. Sama mõõtmine tehakse ka tavapärase multimeetriga, näitamaks täpsusklassi erinevust.

Kolmandaks etapiks on isolatsiooni mõõtmine. Tudeng teeb kõrgepinge süsteemi ohutuks ning eemaldab mõlema komponendi küljest kõrgepinge kaabli. Seejärel teostatakse kaablile vastava seadmega isolatsiooni kontroll, mille käigus tester annab kaablile peale 500V ja kontrollitakse takistust erinevatest mõõtepunktidest. Kokku on isolatsiooni takistuse mõõtmisi 3: HV+/HV-, HV+/GND ning HV-/GND.

5.2. Koost

Õppestend on ehitatud peforeeritud paneeli peale, suurusega 500 x 430 mm. Paneeli eesmärk on ka simuleerida sõiduki kere ehk ühist massi punkti mis mängib rolli laboriülesannete täitmisel. Elektriskeem on välja toodud lisades. Kasutusel on 2 toiteallikat: 12 V, mis toidab juhtimise osa ning 19 V, mis töötab näilise kõrgepingena.



Sele 16. Õppestendi ehitus

Eesmärk oli luua kompaktne stend modulaarsele platvormile, tagamaks võimalust hilisemalt süsteemi täiendada. Teiseks tähtsaks osaks oli luua stend, mis sarnaneb võimalikult hästi sõiduki peal leitudvaga. Kasutusele võetud Audi E-tron GT mudelist pärinevad salongisoojendid on tehase tagasikutsumise käigus üle jäänud komponendid. Aktsioon nõuab komponendi Z189 kuupäeva kontrollimist ning vajadusel vahetamist, sest on tuvastatud, juhtimisahelas on produktsiooni vead. Selle tulemusel võib salongisoojendi lõpetada töötamise. Arvestades kõrgepinge komponentide hindu oli see hea võimalus ära kasutada seadmeid, mis vastasel juhul lähevad jäätmekäitlusesse. Komponent ise on ohutu ning võimaldab tudengitele demonstreerida selle ehitust. Lisaks saab ära kasutada küljes olevat kõrgepinge pistikut kui ka potentsiaali ühendust.

Mudeli põhiselt on paigaldatud ka korrektne kõrgepinge kaabel. Sellel on rakendatud 3 astmeline kinnitus ning vajab lisa tööriista avamiseks. Stendil asetseb ülemises nurgas rohelist värvi pistik. Tegemist on hoolduspistikuga, mida käitletakse iga kõrgepinge lülituse käigus. Sarnaselt kõrgepinge kaablile on antud pistikul ka konkreetne avamise ja sulgemise meetoodika ning avatud asendis lukustatakse see pistik tabalukuga, vältimaks selle ahela tahtmatut sulgemist.

Z189 peal teostatakse potentsiaali ühtlustuse mõõtmist. Pildil (Sele 10) kuvatud potentsiaali kaabel ühendab komponendi auto kerega. Vastavalt tehase juhendile on sellel komponendil ette määratud 1 mõõtmine: Kere (GND) ja korpuse paneel (märgistatud punase ringiga).

Ülemine komponent on monteeritud sõidukilt pärineva raami külge ning selle pealmine kate on eemaldatud, demonstreerimaks soojendi sisemist ehitust. Selle kohal asub ka originaalne kaitsmekarp ja hoolduspistik. Kaitsmekarbi sees on kogu stendi juhtmestiku ühendused. Karbi külge kinnituvad indikaatorid ja kõrgepinge lüliti. Stendi ehituse kohta elektriskeemid asuvad lisades 1 ja 2.

5.3. Puudujäägid

Esmane eesmärk oli luua toimib õppestend. Stendi ehitamise käigus esinesid puudujäägid mis olid tingitud tarneaegadest, varuosa saadavustest kui ka stendi eripärast. Enne kui stendi rakendatakse õppevahendina tuleb sinna lisada järgnevad elemendid:

- Raam – MiniTec profiiliga alumiiniumraam
- Võimsam toiteallikas – kahe väljundiga (12 V ja 24 V)
- Adapter isolatsiooni mõõtmiste teostamiseks
- Voltmeeter HV klemmidele

Raami ehitamine võimaldaks stendi kasutada püstises asendis. Selle abil on mugavam praktilisi ülesandeid teostada. Ühine toiteallikas vähendaks kaablite hulka, lihtustaks süsteemi ning tagaks jätkusuutlikust võimaldades lisada elemente.

Adapteri abil on ohutum ja realistlikum teostada mõõtmisi. Tehase poolt on nõutud kasutada mõõteboksi mis ühendub kõrgepinge kaabli vahele. Selle külge on võimalik otse kinnitada mõõteotsad mis lihtsustab takistuse mõõtmist. Antud hetkel on siiski võimalik mõõta ohutult, kuid eelistatult tehakse seda kahe isikuga, vältimaks eksimusi.

Visuaalselt hea meetod demonstreerimaks kõrgepinge edukat lülitust on läbi voltmeetri. Kõrgepinge kontaktide vahele lisandub LED displei, mis kuvab süsteemi pinget.

5.4. Majanduslik aruanne

Õppestendile oli instituudi poolt ette määratud eelarve. Sellest tulenevalt ei olnud võimalik ehitada suurt ja keerulist süsteemi. Mõõteseadmed on koolil olemas. Kõrgepinge komponendid on saadud ilma rahata, tänu millele stendi summaks oli alla 300 €. Kõik varuosad on saadaval ja neid on võimalik tellida ka eraisikul. Välditud olid tehase poolt nõutud eritööriistad, sest nende hankimine pole eraisikule võimalik ning summad ületavad eelarvet.

Tabel 1. Varuosad koos hindadega

Toote kirjeldus	Varuosa kood	Kogus	Hind KM-ta
Hoolduspistik	4J0973704	1	7,46
Kõrgepinge kaabel	9J1971059A	1	63,40
Hoolduspistiku kaablid	000979034E	1	9,76
Potentsiaali kaabel	9J1971244F	1	24,39
Salongisoojendi raam	9J1963285C	1	30,66
Perfosein 500x430mm	-	1	20,00
Autokaitse hark 3A violetne	AMF 3A/HQ	2	0,78
Indikaatorlamp LED ümar roheline	IND8-12G-A	1	1,01
Indikaatorlamp LED ümar punane	IND8-12R-A	1	1,17
Klahvlüliti ON-OFF 6A 250V	MRS101-AC3R	1	0,78
Autokaitsme pesa 1.5mm ² punane	OBS-150-R	1	1,56
Autokaitsme pesa 1.5mm ²	OBS-150-Y	1	1,56
Autorelee 24V 40A RSV-1C-M-24H	PRE0012/24	1	3,11
Auto relee pesa juhtmega	RS-D03	1	1,17
Klemmid	ST-ASS-150	1	11,68
Korpuse põhi	9J1907583	1	22,13
Korpuse kaas	9J1907613	1	22,13
Korpuse kruvid	N10625802	3	0,33
12V laadija	355358	1	18,99
Kõrgepinge salongisoojendi	9J1 963 507 E	2	0,00
Hind kokku KM-ta:	242,07	Hind kokku KM-ga:	295,33

6. ÕPPEMETOODIKA VÄLJATÖÖTAMINE

Tudengid hakkavad laboritöö käigus tutvuma kõrgepinge sõidukitel asetsevate süsteemidega ja teostama ka praktilisi ülesandeid. Eduka õppeväljundi saavutamiseks on oluline täpselt kirjeldada ülesandeid, nende eesmärgi, vastavaid ohutusmeetmeid ja võimalusel neid seostada reaalse sõiduki peal toimingutega.

Esmalt tutvustatakse kõrgepinge sõiduki ehitust ja vastavate komponentide tööd. Suur roll on pandud ka ohutusnõuetele, sest elektri- ja hübriidsõidukite remonttööde puhul on tegemist väga ohtliku tehnoloogiaga kui seda ebapädevalt käsitleda. Järgnevalt kirjeldatakse õppestendil asuvaid komponente, nende olemust ja funktsiooni sõiduki küljes. Lisandub ka õppestendi üldine kasutusjuhend millega tutvustatakse kuidas sellega tööd alustada kui ka lõpetada. Tähtis on see, et stendiga alustatakse iga kord tööd samast etapist ja lõpetatakse samas punktis. Sellega tagatakse ohutus ja süsteemi pikaajalisem kestvus. Kõik tööetapid on selgelt kirjeldatud ning tudengid analüüsivad jooksvalt teostatud ülesandeid. Ülesannete täitmise käigus pidev analüüs tagab parema arusaama süsteemist ning võimaldab vajadusel õppejõul ka nõustada tudengeid arusaamatuse puhul. Eesmärk on vältida rutiinset juhendi jälgimist ning panna õpilased iga etapi tähtsust mõistma ühtselt.

6.1. Metoodika

Ohutusjuhendid ja süsteemi ehituse informatsioon pärineb otse Volkswagen AG kontsernist kasutatavast juhendi programmist nimetusega ElsaPro. Antud programm on kasutatav ainult tehase ja esinduste tasemel, kuid kõik sealsed juhendid on ka eraisikule kättesaadavad läbi erWin-i portaali. Laborijuhend on välja printitud ning kilekaante vahel. Metoodika muudatused ja lõplik kinnitus teostatakse õppejõu poolt. Lisa 3 all on kirjeldatud lõputöö autori poolt koostatud õppejuhend ning lisa 4 hõlmab kordamisküsimusi, mis on seostatud elektriauto teemadega või stendil teostavate töödega.

Laboritöö on jaotatud mitmeks peatükiks. Iga peatüki lõpus peavad tudengid vastama kordamisküsimustele. Kogu materjal küsimuste jaoks on käepärast laborijuhendis. Kokku on peatükke 6:

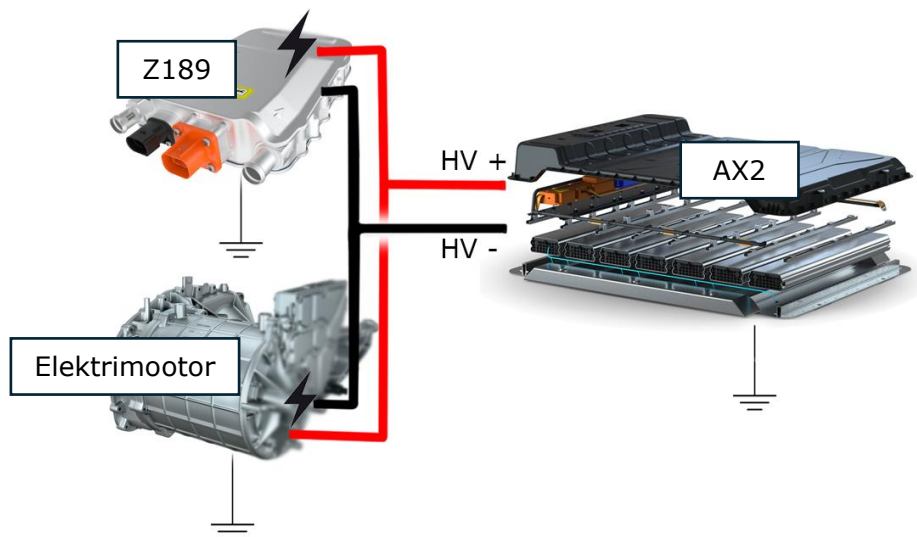
1. Sissejuhatus – Elektriauto ja selle komponendid
2. Ohutusnõuded – Erivarustus ja klassifikatsioonid
3. Stendi koost – Komponendid ja nende eesmärgid
4. Ohutusliin – Tööpõhimõtte ja käitlemine
5. Potentsiaali liin – Eesmärk ning kontrollmõõtmine
6. Isolatsiooni takistus – Mõõtmine ja eesmärk

Sissejuhatuses tutvustatakse üldist elektriauto koostu, sarnaselt nagu peatükis 1.

Teises laboritöö peatükis tutvustatakse ohutusjuhendeid kõrgepinge sõidukitega seotud tööde puhul. Tutvustatakse isikukaitsevahendeid kui ka eritööriistu. Lisandub ka tehniku kvalifikatsiooninõuded VWAG vaatest. Sellele järgneb stendi ülevaade, kus tudeng tutvub komponentidega, stendi ehitusega kui ka tööpõhimõttega. Õppestendi ja sõiduki vahelised erinevused on siin etapis ka välja toodud.

Järgnevad kolm etappi on seotud praktiliste töödega. Esmalt viidakse ennast kurssi ohutusliiniga. Selle funktsiooni on võimalik füüsiliselt testida. Kõik ühendused ja komponendid on identsed sõidukil olevaga, mille puhul on siin tegemist Audi E-tron GT mudeliga. Tudengid saavad ohutult katsetada erinevate turvapistikute eemaldamist ja paigaldamist ning visuaalset tagasisidet teostatud tööetappidele läbi stendil asetsevate valgusdiodide. Süsteemi põhimõtte on tutvustatud voogdiagrammis (Sele 9). Selles ülesandes erinevus päris sõidukiga on ohutusahela juhtimises. Liigsete kulude vältimiseks ja põhimõtte lihtsaks demonstreerimiseks on stendil ahela juhtimine üles ehitatud releemähiste peale.

Teisalt teostatakse potentsiaali ühtlustuse ahela mõõtmine. See etapp on nõutud iga kord, kui kõrgepinge komponent vahetatakse välja või eemaldatakse. Sõidukil puudub viis seda ahelat kontrollida, mistõttu on nõutud mõõtmiste teostamine ja väljatrükk. Tänu sellele eksisteerib tõestus, et ühendused on korrektsed. Mõõtmise teostamiseks on vajalik millioommeeter. Tudengid teostavad 2 mõõtmist, algselt multimeetriga ja seejärel nõutud seadmega, demonstreerimaks mõõtetäpsuse erinevust ja olulisust. Kooli poolt on selleks PeakTech 2705 seade. Tegemist on olulise ohutusliiniga. Tavasõidukil ühendamata kaabel annab veakoodi ning ei tööta. Sellest ei teki tervisele ohtliku viga. Potentsiaali ahel lahtises olekus ei kuva viga, kuid süsteemi lühise korral on oht saada elektrilöök puudutades kahte eri potentsiaali.



Sele 17. Kõrgepinge komponentide ühendus

Lühise korral on sõiduk ohutu teatud etapini. Kõrgepinge komponendid on eraldatud auto kerest. Joonisel (Sele 11) on kujutatud lihtsustatud skeem kõrgepinge ühendustega. Kui komponendil Z189 esineb lühis HV+ ahelas ja Elektrimootoril HV- ahelas ühendatakse vooluring neid kahte komponenti samaaegselt puudutades. Potentsiaali ühtlustus liin suunab selle lühise sõiduki kerele, tagamaks ohutuse. Sellegipoolest on süsteem ohtlik ning sõidukiga tuleb tegeleda ainult vastava kaitsevarustuse olemasolul.

Tehase poolt on nõutud, et potentsiaali ahela mõõtmisel jääb tulemus alla 20 millioomi. Selle saavutamiseks peab veenduma, et ühendused on korrektse jõuga kinni ja mõõdetavad pinnad on puhtad.

Kolmas ülesanne on isolatsiooni takistuse mõõtmine. Siin etapis teeb tudeng esmalt süsteemi ohutuks, eemaldab kõrgepinge kaabli ja seejärel teostab mõõtmise. Mõõtmise jaoks on isolatsioonitester, mille abil saadetakse mõõtepunktidele peale 500 V pinget. Nõutud minimaalne takistus selles etapis on 200 kOhm, kuid korrektse kaabli puhul saab tulemuseks 5,50 GOhm. Mõõtmisi teostatakse siin 3: pluss ja miinus kontakt, pluss ja kere ning miinus ja kere vahel.

KOKKUVÕTE

Tallinna Tehnikakõrgkoolis autotehnika erialal on 2024 aasta seisuga elektri- ja hübriidsõidukite õpe piiratud. Võttes arvesse tänapäeval elektriautode arvu eksponentsiaalset kasvu on selle lõputöö eesmärk seda seisukorda parandada. Sihiks oli luua õppeasutusele kaasaegne õppestend, läbi mille tudengid saavad tutvuda BEV, PHEV ja MHEV tüüpi sõidukite ehituse ja tööpõhimõttega. Laboritöö kaudu on õpilastel võimalik ohutus keskkonnas tutvuda kõrgepinge süsteemi lülitusega ning praktiseerida potentsiaali ahela kui ka isolatsiooni takistuse mõõtmiseid. Õppestend annab hea esmase ülevaate kõrgepinge all töötavate sõidukite ohutussüsteemidest kui ka diagnostika teostamisest.

Tehnikakõrgkooli poolt oli sätestatud peamiselt 2 tingimust: eelarve ning saadavus. Õppestendi maksimaalset kulu silmas pidades, sai ehitatud stend mis sarnaneks reaalsele sõidukile, kuid oleks taskukohane. Siinkohal ei olnud võimalik rakendada kõiki autotootjate tehaste poolt sätestatud nõudeid, mis on määratud kõrgepinge sõidukitega töötamisel. Suurim erinevus esineb eritööriistade vaatest. Tehase poolt heaks kiidetud mõõteseadmed ja adapterid vajavad töötamiseks lisaks orginaalset diagnostika tarkvara ja riistvara. Sellisel juhul küündib summa mitme tuhande euroni. Nende seadmetega esineb ka teine probleem – saadavus. Paljud tehase tasemel tööriistad ei ole kättesaadavad eraisikule, ainult ametlikule esindusele või koostööpartnerile. Sellised kriteeriumid ei piiranud aga õppestendi koostamist. Järelturu mõõteseadmed, mis on saadaval ka jaekaubanduses, on võimalised teostama samasuguseid mõõtmiseid ning vajalikud seadmed on õppeasutusel juba olemas. Selle tulemusel oli vajalik ehitada ainult stendi osa, mis koosneks reaalistest kõrgepinge komponentidest ja demonstreeriks kõrgepinge lülitust.

Laboritöö koosneb teoreetilisest ja praktilisest osast. Lisaks vastavad tudengid iga etapi lõpus kordamisküsimustele, mis aitab omakorda teadmisi kinnitada. Küsimustega garanteeritakse, et tudengitel on ühine arusaam komponentidest, funktsioonidest, stendi kasutamisest ning ohutuse nõuetest. Õpilane peab mõistma, et laboris teostatavad mõõtmised ja katsed sarnanevad päris sõidukile ning seal puudub juba eksimusruum. Kõrgepinge komponendid on ohtlikud, mistõttu ebapädev käitlemine tekitab eluohtlike olukordi.

Teoreetilises osas tutvustatakse elektriauto komponente, funktsioone ning ohutuse nõudeid. Sellele järgnevad 3 praktilist ülesannet koos eelneva teooriaga: ohutusliin, potentsiaali ahela kontroll ning isolatsiooni takistuse mõõtmine. Ohutusliin on demonstreeritud valgusdiodide ja releemähiste abil. See süsteem on osa kõrgepinge lülitamisest ja esmane ohutuse tagamiseks mõeldud süsteem. Sellele järgneb potentsiaali ahel, mis on passiivse süsteem, mille kaudu kõrgepinge komponentide lühised suunatakse sõiduki kerele,

säilitades puutekaitse. Viimaseks etapiks teostab tudeng esmase diagnostika kõrgepinge kaablile läbi isolatsiooni takistuse mõõtmise.

Õpestandi ehitus põhines Audi E-tron GT peal asetseva salongisoojendi ümber. Vastavalt sellele sai valitud kõrgepinge kaabel, stendi suurus kui ka väljanägemus. Ülemisel komponendil on eemaldatud pealmine kate, demonstreerimaks sisemist ehitust. Selle kohale on paigaldatud originaal kaitsmekarp, mille külge kinnitub ka hoolduspistik. Kaitsmekarbi sisse on mahutatud juhtmestik stendi ohutusliini ja kõrgepinge lülitamise demonstreerimiseks. Karbi esiküljel asuvad indikaatorid, mis kuvavad stendi staatust. Kõrval asetsev lüliti võimaldab näilist kõrgepinget lülitada.

Stend sai diplomitöö perioodil valmis ehitatud ning töötab, kuid vajab täiendamist enne üle andmist õppeasutusele. Stendile lisandub raam ning mõõtmiste ohutumaks teostamiseks ka vaheadapter.

SUMMARY

The goal of this thesis was to create a new and modern training stand to the TTK University of Applied Sciences. This stand will be used by the students of automotive engineering to give an entry level overview to electric or hybrid vehicles. Since the number of BEV, MHEV and PHEV vehicles are growing exponentially, future automotive engineers should be more familiar with high voltage automotive systems.

This training module will consist of 2 parts: theory and practical assignments. The theory section will cover the basics of EV-s: components, subsystems, classifications and safety requirements. The practical parts are divided into 3 sections: interlock loop, potential equalisation and isolation checking.

The interlock loop or pilot line is a safety measure implemented in EV-s. It's a system connected to the BCM (*Battery Control Module*) that monitors connectors and detects if a plug is opened. To ensure the systems safety, high voltage is disabled and cannot be turned back on unless this loop is closed. Interlock is based on a simple bridge connection where the status of the bridge is being monitored. The training stand demonstrates this by displaying two types of LED-s: green and red. The green diode indicates, that the system is closed and can be turned on, while the red is displayed when a fault occurs i.e open circuit. Students can physically operate the status of these LED-s by opening and closing either the high voltage cable or the maintenance plug. There is also a possibility to activate high voltage in the system via switch. This switch will only have an effect when the system is in ready mode (green LED).

Second part of the assignment is based upon the potential equalisation. This is a vital part in passive EV safety. This system ensures, that in case of a short, the current will be directed into the chassis of the vehicle. On paper it's a simple cable connected to the HV component and chassis. Since the potential equalisation line is a passive component, the vehicle has no way of monitoring this connection. Because of that it is necessary to perform a measurement every time a HV component is removed or replaced. It is not possible to accurately measure this resistance with a multimeter. Instead a milliohm-meter is used. This device uses a 4 wire method, also known as the Kelvin method and offers a higher accuracy. In general the required resistance according to factory standards is ≤ 0.02 Ohms. On the training stand the students will perform two measurements, one with a multimeter and the second one with the 4 wire method. This ensures, that they understand the principle of the system and the reasoning for the special tool usage.

The third and final practical assignment is part of the diagnostic process of a high voltage system. The students will learn about the isolation and will perform required measurements

to detect insulation faults in the high voltage system. This measurement is also performed on vehicles equipped with an IMD (*Isolation Measurement Device*). Isolation is also a vital part of the car and faults related to it can cause the system to malfunction or shut down. This is also the only part of the training where danger is involved. Isolation measurement requires a big amount of voltage. The students will perform these measurements in between 3 measuring points with 500 V. Thus, students will carry out these measurements with PPE (*Personal Protection Equipment*) and learn about safety measures beforehand.

The stand is based upon the high voltage heater Z189, found on the Audi E-tron GT. These units were part of a recall and would otherwise be put into electronic waste management. These components had defective parts that would affect the communication part, so they are safe to use on the stand. The idea was to create a stand with components from actual vehicles, like the HV heater, cable and maintenance connector. This way, students are more likely to learn and understand this training module.

The training stand was completed within the making of this thesis, but requires some additions before using it for training. All the tests can be carried out, but to make the stand more comfortable to use a frame will be added. In addition, an extension will be added in order to perform the isolation measurement in a safe and more controlled manner.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] "Sõidukite statistika | Transpordiamet." Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.transpordiamet.ee/soidukite-statistika>
- [2] "New registrations of electric vehicles in Europe." Accessed: Nov. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/new-registrations-of-electric-vehicles>
- [3] "HAZET Tool set 150/52 4000896247578." Accessed: Jan. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.toolteam.com/en-GB/hazet-tool-set-150-52-t-1102011-4000896247578>
- [4] "150/43 - HAZET – Das Werkzeug." Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.hazet.de/en/products/specialty-tools/electrical-system-battery-service/electrical-check-vde-tool-with-protective-insulation/product/ean-4000896173204>
- [5] "Federal Motor Vehicle Safety Standards; Electric-Powered Vehicles: Electrolyte Spillage and Electrical Shock Protection," Federal Register. Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.federalregister.gov/documents/2017/09/27/2017-20350/federal-motor-vehicle-safety-standards-electric-powered-vehicles-electrolyte-spillage-and-electrical>
- [6] "R136am1e.pdf." Accessed: Dec. 18, 2024. [Online]. Available: <https://unece.org/sites/default/files/2023-12/R136am1e.pdf>
- [7] "Isolation Monitoring in EVs: Comprehensive Insights - EV Charging Explained." Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://evchargingexplained.com/isolation-monitoring-in-evs-comprehensive-insights/>
- [8] "VAS6649, Warning Sign - High Voltage - VW Authorized Tools and Equipment." Accessed: Jan. 04, 2025. [Online]. Available: <https://vw.snapon.com/SpecialToolsDetail.aspx?itemid=36600198>
- [9] "Electric and hybrid vehicles." Accessed: Nov. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.hse.gov.uk/mvr/topics/electric-hybrid.htm>
- [10] "MAN rolls out battery repair centres in Europe," MAN rolls out battery repair centres in Europe. Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://press.mantruckandbus.com/corporate/man-rolls-out-battery-repair-centres-in-europe/>

- [11] "Audi Q4 e-tron Drivetrain and Motors :: electrichasgoneaudi.net." Accessed: Nov. 21, 2024. [Online]. Available: <https://electrichasgoneaudi.net/models/q4-e-tron/drivetrain/>
- [12] "High-performance, compact, and intelligent: the high-voltage battery for the Premium Platform Electric," Audi MediaCenter. Accessed: Jan. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.audi-mediacyenter.com/en/press-releases/high-performance-compact-and-intelligent-the-high-voltage-battery-for-the-premium-platform-electric-15926>
- [13] codeand, "Different types of EV Charging Connectors," Bestchargers. Accessed: Jan. 07, 2025. [Online]. Available: <https://bestchargers.eu/blog/different-types-of-ev-charging-connectors/>
- [14] A. Albatayneh, M. N. Assaf, D. Alterman, and M. Jaradat, "Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles," *Environ. Clim. Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 669–680, Jan. 2020, doi: 10.2478/rtuect-2020-0041.
- [15] "Audi e-tron electric motors & setup :: electrichasgoneaudi.net." Accessed: Jan. 07, 2025. [Online]. Available: <https://electrichasgoneaudi.net/models/e-tron/drivetrain/motor/>
- [16] "Service security plug high voltage connector VW AUDI SEAT SKODA," VAG247.com - Genuine Original Parts VW AUDI SEAT SKODA. Accessed: Jan. 04, 2025. [Online]. Available: https://www.vag247.com/en_US/p/Service-security-plug-high-voltage-connector-VW-AUDI-SEAT-SKODA/5949
- [17] "04.9 EV HV isolation," EV Fire Safe. Accessed: Jan. 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.evfiresafe.com/04-9-hv-isolation>
- [18] 19195666830, "China High Voltage Shielded EV Cable Manufacturer and Supplier | Zhongwei Cable," <https://www.zhongweicables.com/>. Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.zhongweicables.com/high-voltage-shielded-ev-cable-product/>
- [19] J. Du, T. Q. Zheng, Y. Yan, H. Zhao, Y. Zeng, and H. Li, "Insulation Monitoring Method for DC Systems with Ground Capacitance in Electric Vehicles," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 13, Art. no. 13, Jan. 2019, doi: 10.3390/app9132607.
- [20] Nigel, "Isolation Resistance of a Pack," Battery Design. Accessed: Jan. 07, 2025. [Online]. Available: <https://www.batterydesign.net/isolation-resistance-of-a-pack/>

[21] "UNI-T UT505A Insulation tester." Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://eleshop.eu/uni-t-ut505a-insulation-tester.html>

LISADE LOETELU

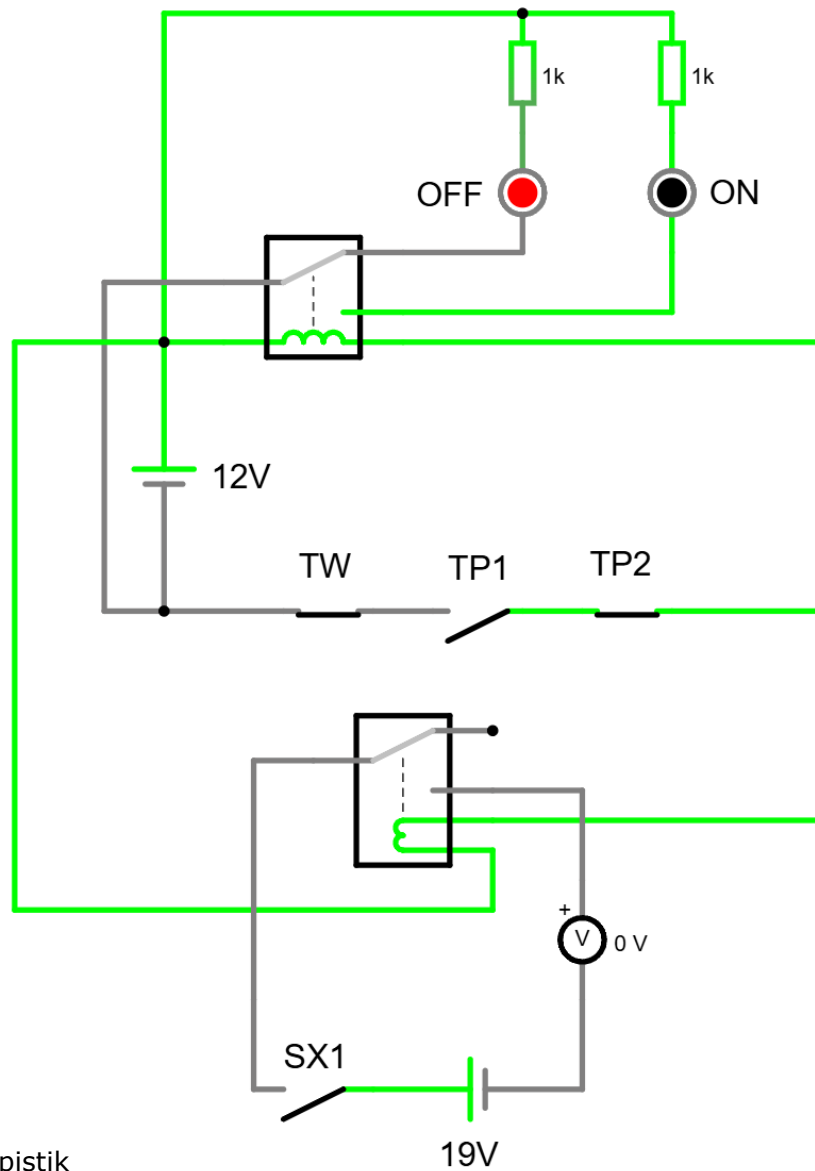
Lisa 1. Stendi ohutusliini elektriskeem

Lisa 2. Stendi üldine elektriskeem

Lisa 3. Stendi juhend

Lisa 4. Kordamisküsimused tudengitele

Lisa 1. Stendi ohutusliini elektriskeem

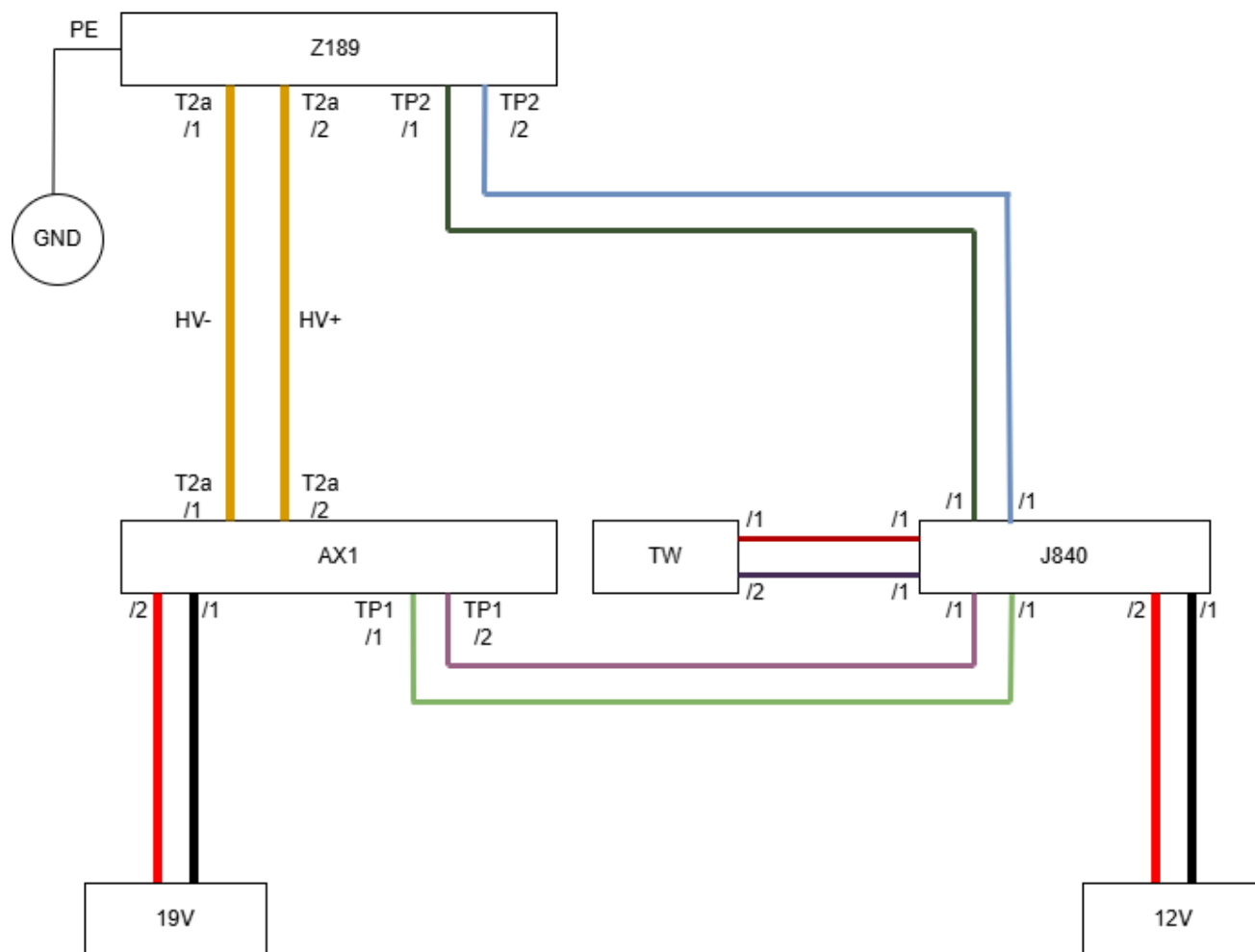


TW – Hoolduspistik

TP – Piloot/Ohutusahel

SX1 – ON/OFF lüliti kõrgepinge lülituseks

Lisa 2. Stendi üldine elektriskeem



Elektriskeem

- Z189 - Salongi soojendi
- AX1 - Kõrgepingeaku
- TW - Hoolduspistik
- J840 - Aku juhtplokk
- TP1 - Ohutusliini pistik
- TP2 - Ohutusliini pistik 2
- 19V - Kõrgepinge allikas 19V
- 12V - 12V pingeallikas
- PE - Potentsiaaliühtlustus liin
- T2a - Kõrgepinge kaabel oranž
- GND - Massipunkt stendil

Lisa 3. Stendi juhend

Enne kui stend on ühendatud vooluvõrku veendu:

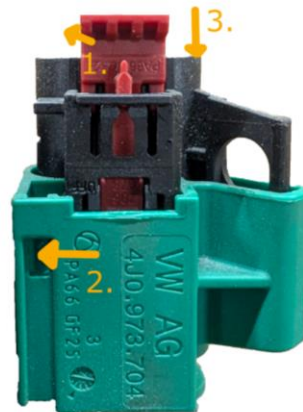
- Punane ON/OFF Lüliti on OFF asendis
- Hoolduspistik (Roheline) on lahtises olekus

Pistiku avamine



1. Tõmba punane lukusti üles
2. Lükka punane lukusti taha
3. Samal ajal tõmba ülesse must osa

Pistiku sulgemine

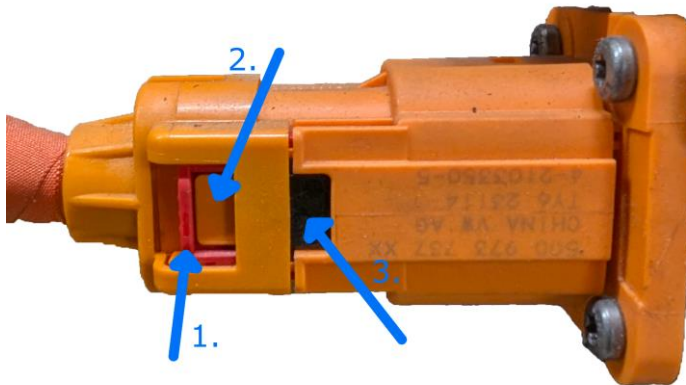


1. Lükka punane lukusti taha
2. Lükka lukusti kruvikeerajaga eemale
3. Samaaegselt lükka must osa alla

Joonis 1. Hoolduspistiku käitlemine

Kõrgepinge pistiku avamine

1. Tõmba punane lukusti vasakule välja
2. Suru alla oranž osa ning tõmba pistikut lahti
3. Suru tööriistaga must osa alla ning vabasta pistik



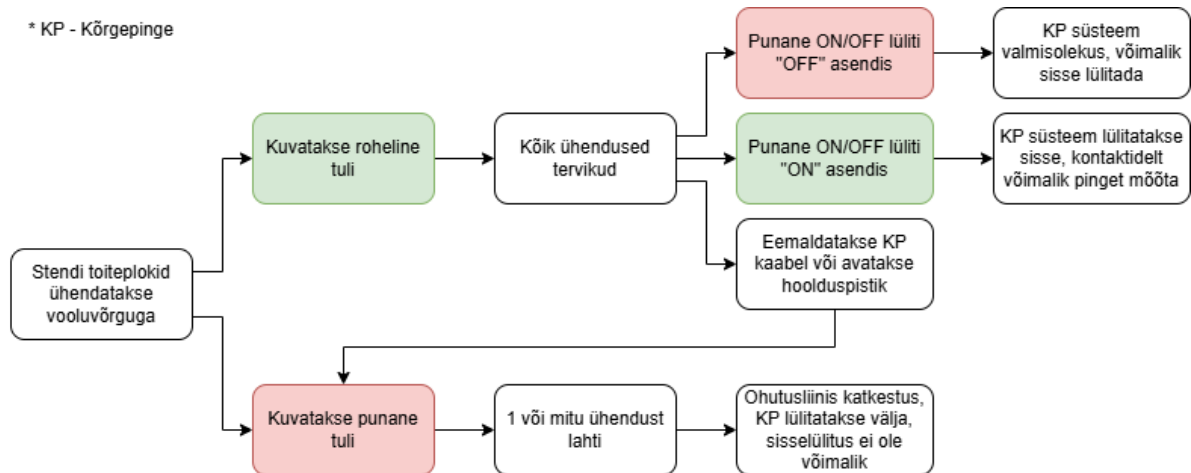
Kõrgepinge pistiku sulgemine

- Lükka pistik nii kinni kui võimalik
- Suru alla oranž lukusti ning lükka pistik lõpuni kinni
- Lükka punane lukusti kinni

Joonis 2. Kõrgepinge pistiku käitlemine

OHUTUSLIIN

Tööpõhimõtte selgitus



1. Kui põleb punane LED – Proovi kõrgepinget lülitist sisse panna – Mis muutub?

(KP ei lülitu)

2. Pane lüliti tagasi OFF asendisse
3. Veendu, et kõrgepinge kaabel on lõpuni ühendatud, seejärel sulge hoolduspistik. Jälgi muutust.

(Süttib roheline)

4. Proovi uuesti kõrgepinget lülitada, mis muutus?

(Voltmeeter kuvab HV kontaktidel pinget)

5. Ühenda nüüd lahti kas kõrgepinge kaabel või hoolduspistik, mis juhtub?

(Süttib punane LED, HV kontaktidel pinget katkeb, kõrgepinge ei ole lülitatav)

POTENTSIAALI AHEL

Potentsiaali ühenduse kontroll toimub terviku ehk stendil alumise soojendi peal.

Esmalt teha kõrgepinge süsteem ohutuks, seejärel eemalda kõrgepinge kaabel komponendist (võib mõjuda mõõtmistulemusi).

Mõõtepunktid on stendil märgitud – GND ja komponendi korpusel punane ring.

Nõutud tulemus on $\leq 0,020 \Omega$

Esimene mõõtmine teostatakse tavapärase multimeetriga. Mõõda ahela takistust ja märgi tulemus üles.

Seejärel teosta mõõtmine millioommeetriga (PeakTech 2705). Märgi tulemus ülesse. Võrdle erinevust eelneva mõõtmisega.

ISOLATSIOONI TAKISTUSE MÕÕTMINE

Veendu, et kõrgepinge on välja lülitatud.

Eemalda kõrgepinge kaabel komponentide küljest.

Ühenda mõõteotsad vastavate punktidega. Seadista isolatsiooni tester 500 V peale. Veendudes, et ühendused on stabiilsed, teosta mõõtmine – Hoia all TEST nuppu või mõõteotsa küljes olevat nuppu. Seade saadab peale mõõtepinge ning kuvatakse mõõtetulemus oomides. Piisab 5-10 sekundilise mõõtmisega. Kui oled valmis lõpetama, **lase esmalt lahti nupp ning oota kuni pinge langeb alla**, seejärel on ohutu mõõteotsi eemaldada.

Mõõtmine	Mõõteots (punane)	Mõõteots (must)	Tulemus
1.	HV +	HV –	Ω
2.	HV +	GND	Ω
3.	HV -	GND	Ω

Lisa 4. Kordamisküsimused tudengitele

1. Sissejuhatus – Elektriauto ja selle komponendid
 - Miks on kõrgepinge juhtmed oranži värvusega?
 - Milliseid pingeid loetakse sõiduki puhul kõrgepinge alla?
 - Nimeta peamised ohud elektriautoga töötamise juures.
2. Ohutusnõuded – Erivarustus ja klassifikatsioonid
 - Millised on kvalifikatsiooni tasemed elektriautode puhul?
 - Nimeta nõutud isikukaitsevahendid EV remondis
 - Mis eesmärk on kõrgepinge tööriistadel
3. Komponendid ja nende eesmärgid
 - Miks on kõrgepingega seotud pistikud mitmeastmelise turvalisusega?
 - Mida haldab aku juhtplokk (BCM)?
4. Ohutusliin – Tööpõhimõtte ja käitlemine
 - Miks on tarvis hoolduspistikut tabalukuga lukustada?
 - Mis eesmärk on ohutusliinil?
 - Kirjelda informatsiooni liikumist manuaalse kõrgepinge väljalülituse hetkel
5. Potentsiaali liin – Eesmärk ning kontrollmõõtmine
 - Miks pole võimalik seda ahelat tavapärase multimeetriga testida?
 - Mis on nõutud takistuse piirmäär mõõtetulemustel?
 - Millist ohtu omab selle ahela lahtine olek sõitval autol?
6. Isolatsiooni takistus – Mõõtmine ja eesmärk
 - Mis võib põhjustada isolatsiooni vigu
 - Kas mõõtmiste teostamisel on tarvis kasutada isikukaitsevahendeid? Kui jah, siis milliseid?
 - Arvuta minimaalne nõutud takistus, kui süsteemi pinge on 800 V ja sõidukil puudub isolatsiooni monitoorimise võimekus.