

Standardy pro WPCS v elektromobilitě – výťah norem SAE

Pracoviště: FEL/RICE
Číslo dokumentu: 22190-011-2022
Typ zprávy: Výzkumná zpráva
Řešitelé: M. Zavřel
Vedoucí projektu: Z. Peroutka
Počet stran: 36
Datum vydání: 12. 4. 2022
Oborové zařazení: 2.2 Electrical engineering, Electronic engineering, Information engineering - Electrical and electronic engineering

Zadavatel / zákazník:
Interní výzkum

Zpracovatel / dodavatel:
Západočeská univerzita v Plzni
Research and Innovation Centre
for Electrical Engineering
Univerzitní 8
306 14 Plzeň
Kontaktní osoba:
Ing. Martin Zavřel
zavrelm@fel.zcu.cz

Tento příspěvek vznikl s podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci projektu OP VVV Elektrotechnické technologie s vysokým podílem vestavěné inteligence, číslo CZ.02.1.01/0.0/0.0/18_069/0009855 a za podpory projektu SGS-2021-021 Výzkum a vývoj perspektivních technologií v elektrických pohonech a strojích IV.

Anotace

Tato výzkumná zpráva se zabývá výtahem a překladem z norem SAE TIR J2954 a SAE TIR J2847/6. Tyto normy se zabývají normalizací bezdrátových dobíjecích stanic pro elektro mobilitu po stránce HW (J2954) a SW (J2847/6).

Klíčová slova

Bezdrátová nabíjecí stanice, Bezdrátový přenos elektrické energie, normalizace, výtah

Název zprávy v anglickém jazyce / Report title

WPCS standards in electro mobility – SAE standards excerpt.

Anotace v anglickém jazyce / Abstract

This research report deals with SAE TIR J2954 and SAE TIR J2847/6 standard excerpt and translate. These standards deals with HW (J2954) and SW (J2847/6) standardization in electro mobility wireless chargers applications.

Klíčová slova v anglickém jazyce / Keywords

Wireless power charging station, Wireless power transfer, normalization, excerpt

Seznam symbolů a zkratek

WPT	wireless power charging
WPCS	wireless charging station

Obsah

ÚVOD	4
1 SAE TIR J2954 (REV. 2020-10) – VÝTAH.....	7
1.1 VÝKONNOSTNÍ TŘÍDY	7
1.2 PŘENOSOVÁ VZDÁLENOST.....	7
1.2.1 Uložení elementů.....	8
1.3 FUNKCE A PROVOZ	8
1.3.1 Přenos výkonu	8
1.3.2 Komunikace	9
1.3.3 Bezpečnostní funkce	9
1.4 POPIS FUNKCE WPCS.....	9
1.4.1 Frekvence přenosu energie.....	10
1.4.2 Ustavování elementů.....	10
1.4.3 Fyzické rozměry a parametry	10
1.5 VÝKON, KOMPATIBILNOST A BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY	11
1.5.1 Základní ustanovení	11
1.6 POŽADAVKY NA PŘENOS VÝKONU	12
1.6.1 Pozivování elementů – zarovnání.....	12
1.6.2 Výstupní napětí a výkon	12
1.6.3 Power factor.....	12
1.6.4 Účinnost WPCS.....	12
1.6.5 Kompatibilitnost napříč výkonnostními třídami	13
1.6.6 Příspěvek pohyblivá reaktance.....	13
1.6.7 Bezpečnostní požadavky	14
1.6.7.1 Bezpečný provoz / žádný provoz	14
1.6.7.2 Zahřívání cizích objektů	14
1.6.7.3 Vliv elektromagnetického pole	14
1.6.7.4 Ochrana živých objektů (LOD)	14
1.7 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA.....	15
1.7.1 EMC stanice WPCS (component testing).....	15
1.7.1.1 Vyzařované rušení	15
1.7.1.2 Emise šířené po vedení.....	15
1.7.1.3 Ostatní rušení	15
1.7.1.4 EMC testy – on-board vozidlové elektronické systémy	15
1.8 TESTOVÁNÍ S VOZIDLEM (VEHICLE TESTING).....	16
1.8.1.1 Emise vyzařováním při přenosu výkonu	16
1.8.1.2 Emise rušení šířené po vedení.....	16
1.8.1.3 Odolnost WPCS instalovaného na vozidla	16
1.9 EMF VE VZTAHU K LIDEM A ELEKTRONICKÝM IMPLANTÁTŮM	17
1.10 DOTYKOVÝ PROUD	18
1.11 KOMUNIKACE A USTAVOVÁNÍ	19
1.11.1 Vyhledávání WPCS.....	20
1.11.2 Průvodce	20
1.11.3 Přesné přiblížení.....	20
1.11.3.1 Hrubý proces finálního přiblížení:.....	20
1.11.3.2 Přirozený offset mezi kruhovou a DD topologií vazebných cívek	21
1.11.3.3 Párování a kontrola přesného přiblížení.....	21
1.12 STABILITA ŘÍZENÍ A DIAGNOSTIKA (MONITORING).....	22
1.12.1 Základní stavy a cyklické kontroly	22

1.12.2	Regulace	22
1.13	PARKOVACÍ STÁNÍ	23
1.14	VÝKONOVÉ TESTY	23
1.14.1	SAE J2954 WPCS testovací stanice.....	24
1.14.2	Testy WPCS jako komponentu	25
1.14.3	Vozidlové testy WPCS	25
1.14.4	Souřadnicový systém	26
1.14.5	Testovací prostředí	26
1.14.6	Testování účinnosti WPCS.....	26
1.15	OVĚŘENÍ BEZPEČNOSTI	28
1.15.1	Ověření bezpečnosti před zahájením přenosu	28
1.15.2	Ověření bezpečnosti během přenosu.....	28
1.15.3	Ověření bezpečnosti ve vztahu k cizím kovovým předmětům.....	28
1.15.4	Testování WPCS bez FOD	28
1.15.5	Testování WPCS s FOD.....	29
1.15.5.1	Vložení objektu před spuštěním přenosu	29
1.15.5.2	Vložení objektu po spuštění přenosu	29
1.15.6	Testování systému detekce živých předmětů (LOD).....	30
1.16	ŽIVOTNOST	30
2	SAE TIR J2847/6 (REV. 2020-09) – ARCHITEKTURA KOMUNIKACE	31
2.1	APLIKACE PROXY.....	31
2.2	TECHNICKÉ POŽADAVKY	33
2.2.1	Fyzická vrstva	33
2.2.2	Spojovací vrstva.....	33
2.2.2.1	Wi-Fi WLAN zabezpečení	34
2.2.3	Síťová vrstva	34
2.2.4	Přenosová vrstva	34
2.2.5	Relační vrstva	35
2.2.6	Prezentační vrstva	35
2.2.7	Aplikační vrstva	35
3	ZÁVĚR	36

Úvod

Bezdrátový přenos elektrické energie velkých výkonů je hlavní součástí bezdrátových nabíjecích stanic elektromobilů (WPCS). WPCS je tak složitým systémem, který je třeba normalizovat z pohledu bezpečnosti, kompatibility i vlivu na okolní prostředí či zařízení [1-4].

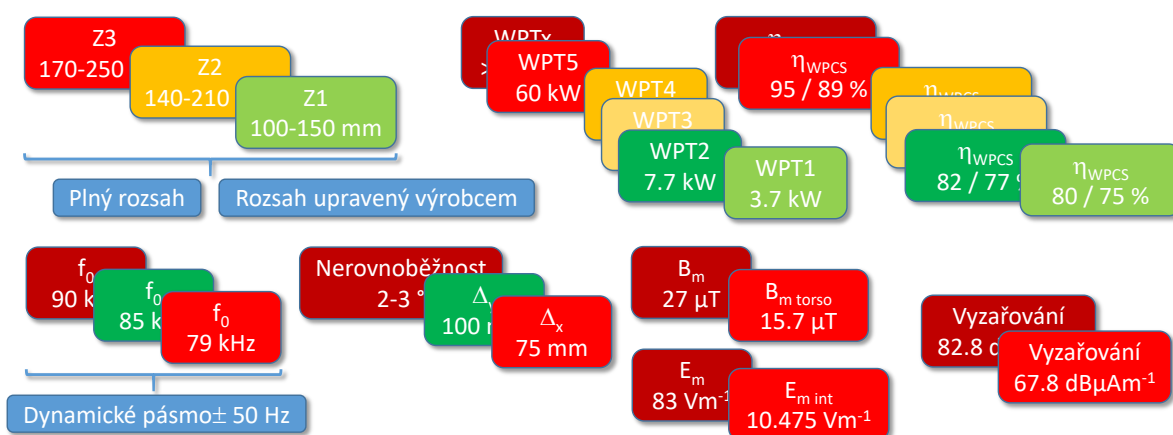
V současné době je elektro mobilita značně se rozvíjejícím technickým odvětvím s masovým nasazením do užívání. WPCS jsou v tomto odvětví nastupující technologií coby náhrada kabelových dobíjecích stanic s uplatněním v hromadní i osobní elektro mobilitě.

Bezdrátové dobíjení v elektro mobilitě je značně specifické přenášeným výkonem, přenosovou vzdáleností, pozicí vazebných elementů, spolupráci s battery managementem elektromobilů apod. Úvodem lze z tohoto pohledu psát:

Bezdrátové nabíjecí stanice pro elektro-mobilitu nutně spadají pod vysokovýkonné systémy bezdrátového přenosu energie. Jako takové se neřídí standardy [QI](#) a [AFA](#), ale normou SAE J2954 - „Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-in/Electric Vehicles and Alignment methodology“.

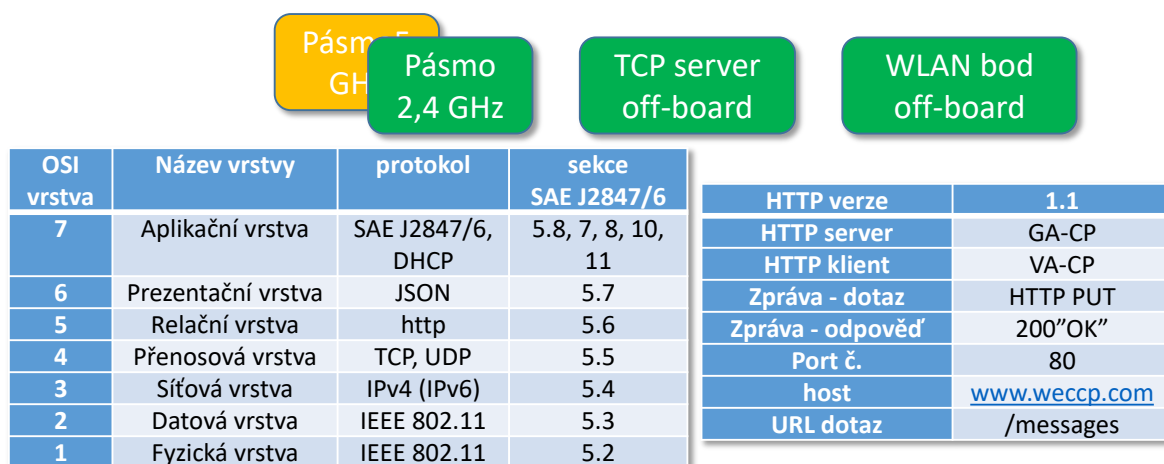
SAE J2954 [1] je hlavní norma zastřešující WPCS pro elektro-mobilitu. Mezi hlavní podružnou patří SAE J2847/6 [2], která se zabývá komunikací mezi on-board a off-board stranou systému; mezi hlavní odkazovanou pak patří ICNIRP GUIDELINES [3] zabývající se vlivem EM pole na člověka (resp. živé organismy) (Obr. 3).

Základní požadavky na WPCS shrnuje Obr. 1. Popis jednotlivých částí zprostředkovává, jakožto výtah normy SAE J2954. Současně je třeba systém vybavit systémy FOD („foreign object detection“) a LOD („live object detection“) zajišťující bezpečnost provozu WPCS.



Obr. 1 Základní přehled o normalizaci dle SAE J2954

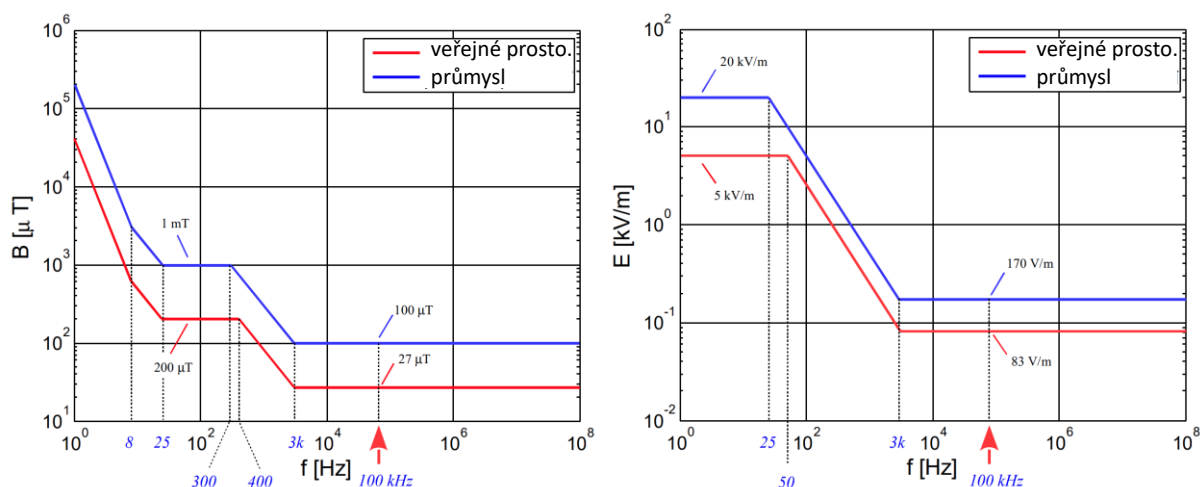
Z hlediska komunikace je normou stanovena WLAN (Obr. 2) a norma SAE J2847/6 [3].



Obr. 2 Základní přehled nastavení komunikace dle SAE J2847/6

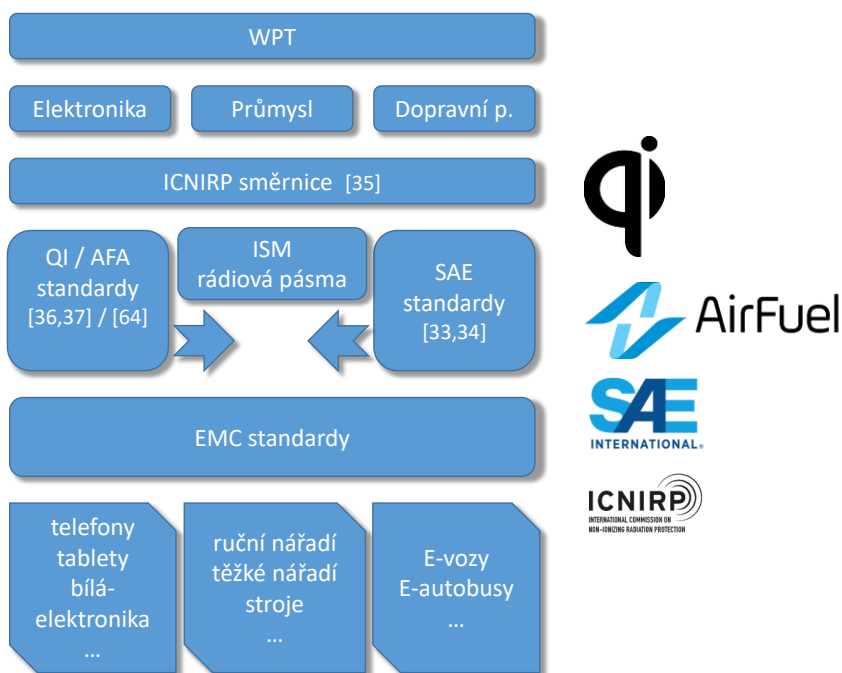
WPCS se dále řídí normou „ICNIRP GUIDELINES for Limiting Exposure to Time-Varying electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz)“, která definuje vliv neionizujícího záření

na člověka a jeho hygienické limity, které WPT nesmí překročit. Jejich grafické znázornění; poskytuje Obr. 3. Zpracování této normy ve vztahu k WPCS pro elektro-mobilitu je přehledně zapracované do SAE J2954.



Obr. 3 Limity magnetické indukce a intenzity elektrického pole (1 Hz – 100 kHz)

Vzniklý normalizační mix a odvětví bezdrátového přenosu energie, nabíjení a nabíjecích stanic vyobrazuje Obr. 4. Pro potřeby této disertační práce, tedy pro potřeby WPCS v elektro-mobilitě postačuje jeho pravý sloupec. Zbývající dva sloupce spadají pod nízko-výkonné systémy WPT (WPCS) [4].



Obr. 4 Normalizace ve WPT

1 SAE TIR J2954 (rev. 2020-10) – výtah

1.1 Výkonnostní třídy

Výkonové třídy WPCS jsou definovány na základě vstupního (odebíraného výkonu) do pěti kategorií uvedených v Tab_P. I. SAE J2954 dělení WPT1-3 chápe jako omezení místopisnými poměry distribuční soustavy, kdy pro Evropské poměry platí WPT3. Dodatečné třídy WPT4-5 jsou normou uváděné jako připravované, jinými slovy, nejsou komerčně běžně dostupné

Tab_P. I: WPCS výkonnostní třídy – ZDROJ [33]

	WPT1	WPT2	WPT3	WPT4	WPT5
P _{grid}	0 to 3,7 kVA	0 to 7,7 kVA	0 to 11,1 kVA	22 kVA	60 kVA

1.2 Přenosová vzdálenost

Přenosová vzdálenost WPCS respektive WPT je normou poněkud obskurně uchopena. Takzvané Z-třídy definují přenosovou vzdálenost mezi povrchem parkovacího stání a spodní hranou on-board vazebného elementu, kde je systém schopen dodávat požadovaný výkon. První dva sloupce Tab_P. II definují základní Z-třídy odvislé od různých výšek podvozku různých automobilů při jejich různých zatíženích. Druhé dva sloupce pak uvádí tzv. GA Z-třídy, které mají spojitost s univerzálností systému. Norma definuje tzv. operační třídy I-GA a II-GA. Operační třída I-GA označuje systém schopný dodávat požadovaný výkon v celém rozsahu GA Z-třídy, zatímco operační třída II-GA povoluje rozsah GA Z-třídy zmenšit pro specifické aplikace, domácí nabíjení, či daný typ vozu. Operační třídy je tedy možné shrnout takto: operační třída I-GA zahrnuje veřejné a průmyslové nabíjecí stanice ; operační třída II-GA zahrnuje domácí nabíjecí stanice a specifické aplikace.

Tab_P. II: Třídy přenosových vzdáleností – ZDROJ [33]

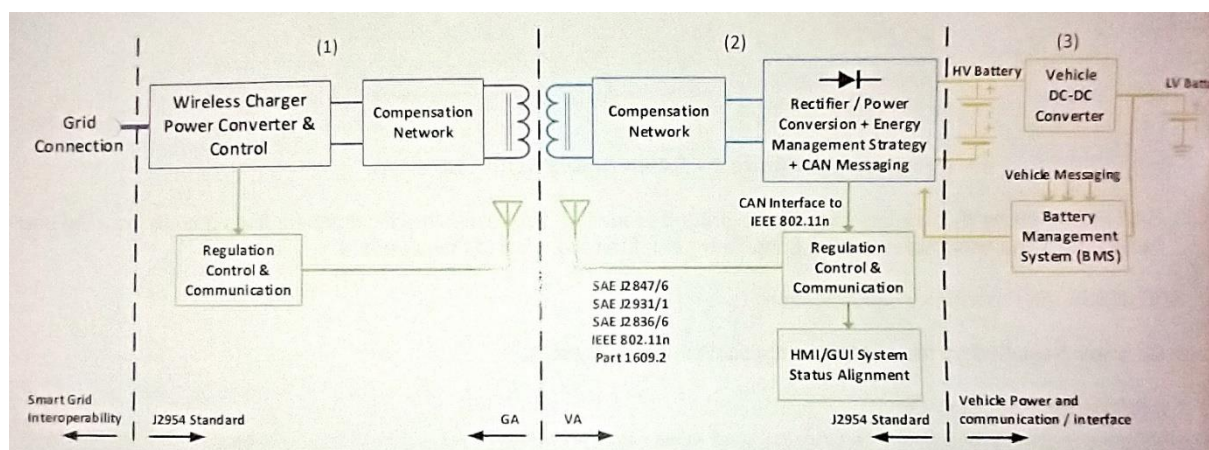
Z-třída	VA element přenosová vzdálenost (mm)	GA Z-třída	VA element přenosová vzdálenost (mm)	
Z1	100 to 150	GA Z1	100 to 150	
Z2	140 to 210	GA Z2	100 to 210	
Z3	170 to 250	GA Z3	100 to 250	
		GA operační třída	Třída I-GA*	Třída II-GA**
* Úplný GA Zx rozsah pro univerzální aplikaci				
** Zkrácený GA Zx rozsah pro specifickou aplikaci				

1.2.1 Uložení elementů

V souvislosti s Z-třídami je třeba objasnit povolené uložení off-board vazebného elementu jako: povrchové uložení (element ležící na povrchu stání) ; zapuštěné uložení (element v mělké kapse stání) a vestavěné uložení (element zalitý ve stání).

1.3 Funkce a provoz

Norma SAE J2954 definuje tři základní funkční bloky WPCS zajišťující: funkci přenosu výkonu ; funkci komunikační a funkci ochranou a bezpečností.



Obr_P. 1: Typické funkční bloky WPCS – ZDROJ [33]

1.3.1 Přenos výkonu

Technologie WPCS sestává ze tří hlavních částí: (1) měnič připojení k síti spolupracující s vysokofrekvenčním usměrňovačem a off-board vazebným elementem zajišťujícím výkonový přenos – GA část WPCS ; (2) On-board vazebný element s vysokofrekvenčním usměrňovačem, filtrací kompenzací a regulačními obvody spolu s nezbytnou výkonovou elektronikou pro nabíjení, komunikaci s GA apod ; (3) sekundární systém uložení energie, battery management a související moduly pro vozidlovou komunikaci (CAN, LIN) komunikující SOC apod. Vše zachycuje Obr. 10.

Měnič připojení k síti by měl být situovaný v prostoru parkovacího místa. Funkcí tohoto měniče je zprostředkovat z energie distribuční sítě energii o potřebných parametrech pro zajištění přenosu výkonu požadované velikosti skrze proud induktivní rezonanční vazby o nominální frekvenci 85 kHz. Tento měnič musí zahrnovat aktivní způsob řízení zkreslení odebíraného výkonu (power factor correction). Síťový měnič může být připojen k jedné či několika GA vazebným elementům umístěným v jednotném prostoru – skupina nabíjecích stanic, parkovací dům apod.

Na straně vozidla systém obsahuje vazebný element pracující na magnetické rezonanci GA vazebného elementu. Dále je přijatá energie upravena pomocí výkonových bloků na parametry potřebné pro nabíjení baterie.

Součástí jsou mechanismy umožňující odstavení systému v případě poruchy či chyby a komunikační rozhraní pro GA-LA-vehicle komunikaci.

Na základě popisu výkonového řetězce z normy SAE J2954 lze odvodit uvažovanou strategii řízení a to řízení U_{DC1} na nominální, konstantní hodnotu napětí spolupracující s výstupním DCDC měničem v režimu CC-CV nabíjení baterie. Pozitivní je, že norma je omezena jen na základní popis výkonového řetězce, což umožňuje aplikaci bloků zlepšujících účinnost apod. Toho je využito v topologii řízení a výkonového řetězce této disertační práce.

1.3.2 Komunikace

Komunikační systém přenáší informace mezi VA a GA částmi za účelem zajištění regulace přenášeného výkonu. Komunikace také zprostředkovává přenos povelových signálů o stavu nabíjení do a z vozidla.

Komunikace je nezbytná také z pohledu bezpečnosti výkonového přenosu a přenosu informací o provozních podmínkách GA a VA strany.

Komunikace je sestavena pomocí protokolu blíže diskutovaného v SAE J2847/6 a v Příloze 2.

1.3.3 Bezpečnostní funkce

Prioritním úkolem před a při přenosu energie je detekce jakýchkoliv objektů, které mohou být zahřívány na nebezpečnou teplotu vlivem pracovního EM pole přenosu. Pro bližší informace přejděte ke kapitole 1.15.

Během přenosu výkonu je důležité ochránit lidi před vznikajícím EM polem. Tato problematika je řešena dvojím přístupem, podle způsobu ohrožení. Zatímco osoby v okolí vozidla a v něm jsou chráněny polohou a přísnými hygienickými limity EM okolního pole (kapitola 1.15), tak osoby vstupující do aktivní oblasti přenosu – například lehnutím si pod automobil – musejí být chráněné aktivně pomocí systému detekce živých objektů (FOD), který je blíže popsán v kapitole 1.15.

Vozidlové komponenty WPCS musí splňovat přísná normativní příkázání dle ISO 26262 vztahující se k nebezpečí úrazu elektrickým proudem vlivem disfunkce, poruchy apod. Návrh WPCS se musí vyvarovat nedetekovatelné nebezpečné poruše v jakékoliv své části a současně jím pasivně i aktivně předcházet.

1.4 Popis funkce WPCS

Při parkování na místě vybaveném SAE J2954 kompatibilním GA systémem se řidič řídí příslušnými pokyny. GA a VA části zahájí výměnu informací pomocí komunikačního kanálu a ověří svoji kompatibilitu. V případě své kompatibilitosti proběhne pozivování elementů. Po dosažení vzájemné pozice elementů v požadované toleranci může započít nabíjecí proces.

Při jakékoliv neshodě výše uvedeného nesmí dojít k povolení nabíjecího procesu.

Nabíjení probíhá na základě požadavků vozidlového energetického uložistiště. Komunikace mezi vozidlem, GA a VA částí systému může být přímá, nebo zprostředkovaná skrze VA část.

GA a VA část systému musejí zajistit svoji vlastní bezpečnost provozu ve vztahu k teplotě, proudům a napětím. V případě nebezpečí musí být systém odstaven.

1.4.1 Frekvence přenosu energie

SAE TIR J2954 stanovuje pro své kompatibilní zařízení frekvenci přenosu, tedy hlavní rezonanční kmitočet kompenzovaných vazebných elementů v rozsahu 79 až 90 kHz. Tato frekvence je přitom řízena GA částí.

Nominální frekvence přenosu přitom činí 85 kHz. Za účelem optimalizování přenosové účinnosti může být pracovní frekvence nastavena v rozsahu stanoveném výše. Určení této frekvence by mělo být provedeno během startu systému a ustáleno do dosažení 25% výkonu přenosu. Během nabíjení by stanovená frekvence měla zůstat konstantní, maximálně mírně se měnící v rozsahu ± 50 Hz.

Tab_P. III: Pracovní frekvence přenosu - ZDROJ [33]

	min	nom	max
f_0 [kHz]	79	85	90
Dynamická změna [Hz]	-50	f_0	+50

1.4.2 Ustavování elementů

Za účelem zajištění kompatibilitosti a zajištění přenosu požadovaného výkonu je nutné definovat pozicování elementů.

SAE J2954 připouští rozdílné rozměry GA a VA vazebného elementu, proto je vzájemná neutrální pozice definována jako pozice, kdy pracovní střed VA elementu zaujímá pozici přímo nad pracovním středem GA elementu. Vychýlení od této vzájemné pozice je nazýváno tolerance zarovnání.

V případě stejných GA a VA elementů je pracovní střed totožný s jejich geometrickými středy, avšak pro různé elementu může být geometrický střed od pracovního rozdílný, čímž vzniká neutrální offset tolerance zarovnání.

Více informací o neutrálním zarovnání je obsaženo v 1.11.

1.4.3 Fyzické rozměry a parametry

SAE J2954 definuje orientaci XY takto: směr osy X je totožný se směrem pohybu vozidla.

SAE J2954 definuje výšku GA elementu jako vzdálenost od povrchu parkovacího stání po horní hranu GA vazebného elementu. Maximální doporučená výška GA elementu je 70 mm. Tento rozměr může být upraven na základě lokálních požadavků – může být větší či menší podle lokálních doporučení.

Poloha GA elementu v prostoru parkovacího stání by měla být volena tak, aby při dokonalém pozicování vazebných elementů nedocházelo k přesahování obrysů nabíjeného vozidla přes obrysy parkovacího stání. To SAE J2954 ilustruje v kapitole 14.D na str.110.

Z pohledu VA elementu je normalizace spíše nulová. Parametry jako rozměry elementu instalační výška ve smyslu narušení výšky podvozku a pozice instalace elementu je ponechána jako OEM. Je pouze pamatováno na parkování popředu a pozadu, kdy je element umístěn

v přední či zadní části parkovacího stání, přičemž VA element je vždy umístěn v přední části vozidla.

1.5 Výkon, kompatibilitnost a bezpečnostní požadavky

1.5.1 Základní ustanovení

Požadavky, testovací konfigurace a testy popsané v SAE J2954 zajišťují, že systémy jsou kompatibilní, splňují výkonnostní požadavky a jsou v normálním provozu bezpečné.

Systém musí splňovat:

- Kompatibilní komunikaci na úrovni: metoda/protokol/zpráva
- Nezbytný nabíjecí výkon musí být zajištěn během celého nabíjení při dodržení pracovní teploty a bezpečnou reakcí na jakékoliv narušení pracovní zóny přenosu (FOD/LOD detekce)
- Shodu s požadavky EMC
- Shodu s požadavky EMF
- Dále pro případ operační třídy I-GA
 - Měla by být použita kruhová topologie cívky splňující předpis normované GA cívky v příloze B normy SAE J2954 na str. 105.
 - Měla by mít shodnou funkcionalitu jako GA v příloze B normy SAE J2954 na str. 105 a splňovat všechny požadavky na limity EMC z SAE J2954.
 - Měla by se řídit komunikačními a řídícími protokoly z kapitol 12 (str. 53) a 13 (str. 59) normy SAE J2954.
 - Měla by být schopna pracovat s testovací stanicí VAs z normy SAE J2954.
 - Měla by být certifikována národní testovací stanicí ve smyslu shody s normou SAE J2954 a UL2750.
 - Měla by mít certifikát o shodě s lokálními předpisy pro běžný prodej a nasazení.
- Dále pro případ třídy II-GA
 - Měla by splňovat výkonové, bezpečnostní a EMC požadavky ve spojení se všemi produkty určenými pro společný provoz při daných přenosových vzdálenostech. Testování je doporučeno pomocí SAE J2954 testovací stanice VAs.
 - Měla by se řídit komunikačními a řídícími protokoly z kapitol 12 (str. 53) a 13 (str. 59) normy SAE J2954.
 - Měla by být certifikována národní testovací stanicí ve smyslu shody s normou UL2750.
 - Měla by mít certifikát o shodě s lokálními předpisy pro běžný prodej a nasazení.

1.6 Požadavky na přenos výkonu

1.6.1 Pozivování elementů – zarovnání

SAE J2954 systém v libovolné operační třídě by měl být schopný pracovat v celém rozsahu X, Y, Z povoleného vyosení za účelem pokrytí běžné nepřesnosti při parkování. Nejhorší případ v rovině X,Y nastává, když je vyosení v obou směrech na maximálních povolených hodnotách, které jsou uvedeny v Tab_P. IV. Nepřesnost v osy Z je dána operační třídou a jejími limity, které jsou také uvedeny v Tab_P. IV.

Součástí možných vyosení je také odchylka od rovnoběžnosti GA a VA elementu související s náklonem vozidla. Uvažované maximální hodnoty Tab_P. IV také zachycuje.

Tab_P. IV: Limity možných vyosení - ZDROJ [33]

Směr vyosení		GAs	VAs
ΔX [mm]		± 75	± 75
ΔY [mm]		± 100	± 100
Z rozsah	Třída I-GA	Všechny Z-třídy	Všechny Z-třídy
	Třída II-GA	Specifikace výrobce	
Rotace X [°]		2	2
Rotace Y [°]		2	2
Rotace Z [°]		3	3

1.6.2 Výstupní napětí a výkon

Některé dnešní elektro-mobily pracují s napětím HV baterie až 900 V, nicméně běžné normalizované napětí HV baterie dle SAE J2954 dosahuje 280 až 400 V.

Ve vztahu k výkonnostním třídám WPCS pro třídu I-GA platí nutnost řiditelnosti výkonu v celém rozsahu dané výkonové třídy. Pro případ třídy II-GA toto neplatí, interval může být zkrácen.

Norma SAE J2954 v kapitole 8.2.6 na str. 24 upravuje spodní hranici všech výkonových tříd na 1 KVA.

1.6.3 Power factor

Účinník je důležitý parametr vypovídající o bezpečné a efektivní činnosti WPCS z pohledu napájecí sítě. Z nadřazených norem obecně vychází účinník 0,99 pro běžný provoz zařízení a 0,95 pro jakýkoliv provozní stav. Pochopitelně, uvedené hodnoty podléhají místní regulativě, která je dále upravuje.

1.6.4 Účinnost WPCS

Účinnost WPCS je definována jako účinnost celého systému WPCS od svorek připojení k distribuční síti po vysokonapěťové svorky baterie (viz. Obr_P. 1).

Pro každý testovaný WPCS systém nesmí celková účinnost při maximálním výkonu poklesnout pod 85 % při nulovém vyosení a přenosové vzdálenosti uprostřed zvolené Z-třídy. Pro ostatní případy nesmí celková účinnost poklesnout pod 80 %.

Tab_P. V: Minimální účinnost WPCS - ZDROJ [33]

GA-VA stejné výkonové třídy	WPT třídy	V optimální poloze	Při vyosení (v dané toleranci)
	WPT1	80 %	75 %
	WPT2	82 %	77 %
	WPT3	85 %	80 %
	WPT4	88 %*	83 %*
	WPT5	91 %*	86 %*
	* Nespecifikováno v SAE J2954		
Nestejně GA-VA	Stejná výkonová třída		80 %
	Odlišnost jedné výkonové třídy		77%
	Odlišnost dvou výkonových tříd		75 %

1.6.5 Kompatibilitnost napříč výkonnostními třídami

WPCS v třídě I-GA navržené pro výkonnostní třídu WPT3 by měla být schopna kooperovat s výkonnostními třídami WPT1 a WPT2 do jejich maximálního výkonu.

WPCS v třídě II-GA by měla být schopna kooperovat s WPCS od minimálního výkonu WPT1 do výkonu stanoveném výrobcem.

Zařízení ve třídě I-GA by mělo být schopné pracovat se zařízením libovolné Z-třídy v oblasti průniku Z-tříd obou zařízení.

Zařízení v třídě II-GA navržené pro specifickou přenosovou vzdálenost nemusí být kompatibilní s jiným zařízením a výkonový přenos tedy nemusí být inicializován.

1.6.6 Příspěvek pohyblivá reaktance

GA reaktance (impedance WPT vztažená ke svorkám zdroje: Z_c) je závislá na změnách přenosové vzdálenosti či na parametrech elektroniky. Systém by měl být schopný pracovat s těmito změnami, či je kompenzovat. Kompenzace může snížit namáhání GA a VA elektronických součástí a snížit ztráty WPCS.

Více detailů zachycuje příloha J normy SAE J2954 na str. 134.

1.6.7 Bezpečnostní požadavky

1.6.7.1 Bezpečný provoz / žádný provoz

Dojde-li při výměně informací mezi GA a VA částí WPCS k nepotvrzení kompatibility, pak nesmí být výkonový přenos spuštěn.

Není-li vozidlo zaparkováno v toleranci vyosení GA a VA elementu, musí být zaručeno splnění požadavků EMF, v opačném případě nesmí být výkonový přenos spuštěn.

Byl-li výkonový přenos spuštěn a dojde k pohybu vozidla mimo devinované vyosení GA a VA elementu, pak musí platit předchozí tvrzení.

1.6.7.2 Zahřívání cizích objektů

Provozní magnetické pole WPT může způsobit zahřívání kovových předmětů. V důsledku může dojít k nebezpečí vzplanutím hořlavých materiálů či poškození GA vazebného elementu.

Kapitola 16 normy SAE J2954 na str. 69specifikuje testy pro minimální požadavky v souvislosti s tímto nebezpečím.

1.6.7.3 Vliv elektromagnetického pole

Vysoké úrovně časově proměnného EM pole mohou být člověku nebezpečné. ICNIRP v souvislosti s tím vydala normativní průvodce v roce 1998, 2010 a 2020 specifikující doporučené maximální limity magnetického a elektrického pole o specifických frekvencích.

Normativní doporučení bylo také vydáno pro osoby používající elektronické medicínské implantáty, jako jsou například Cardiac Implantable Electronic Devices (CIED).

1.6.7.4 Ochrana živých objektů (LOD)

Pro zajištění ochrany živých objektů ve specifických oblastech elektromobilu a jeho okolí nesmí produkované EM pole v daném prostoru překročit ICNIRP limity. Měření je specifikováno v kapitole 10 normy SAE J2954 na str. 40.

Systém WPCS a především pak aktivní zóna WPT musejí být navrženy tak, aby splňovali ICNIRP limity v prostorách, kde se běžně vyskytují lidé. Pokud se však člověk dostane do prostoru aktivní zóny (pod auto) během výkonového přenosu, musí toto být detekováno a musí dojít k neprodlenému odstavení WPCS. Blížeji se tímto zabývá kapitola 16.2.2 normy SAE J2954 na str. 73.

1.7 Elektromagnetická kompatibilita

Problematika týkající se elektromagnetické kompatibility (EMC), elektromagnetické bezpečnosti (EMF) je věnována kapitola 10 normy SAE J2954 na str. 40.

Tato kapitola (kapitola 9 z normy SAE J2954 na str. 27) je informativní. Obsahuje procesní návrhy, ale normativní doporučení se mohou lišit podle místních normativních předpisů. Systémy by měly být testovány na EMC s využitím referenčních zařízení dle přílohy A (str. 75) a přílohy B (str. 105) normy SAE J2954.

Testování EMC je rozděleno do dvou částí – „component testing“ (testování WPCS) a „vehicle testing“ (testování s vozidlem).

1.7.1 EMC stanice WPCS (component testing)

Testování WPCS jakožto „component testing“ je prováděné před montáží a zapojením na vozidle a stojí na úrovni typové zkoušky. Tabulka 10 „Table 10 - component-level EMC - off-board components“ zachycuje všechny prováděné zkoušky, příslušné IEC normy a testovací podmínky. Tabulka 10 je uvedena v normě SA J2954 na str. 28.

Elektromagnetická imunita (EMI) je testována dle IEC 61000-4-3 od 80 do 2000 MHz s úrovní testů 30 V/m (zařízení) a dle IEC 61000-4-6 s úrovní 30Vrms (po vedení).

Uspořádání testu popisují Obr. 6,7,8 z normy SAE J2954 na str. 29,30,31.

1.7.1.1 Vyzařované rušení

WPCS by mělo být testováno na vyzařované emise do okolí. Měření je prováděné pomocí antény ve vzdálenosti 3 až 10 m (10 m doporučeno) dle ANSI V63.30. Doporučený limit je pro pásmo 79 až 90 kHz 82,8 dBμA/m, přičemž při instalaci WPCS ve vzdálenosti minimálně 10 m od ostatních citlivých zařízení může být limit ponížen o 15 dB na 67,8 dBμA/m.

Uspořádání měřicího stanoviště popisují Obr. 9A-C z normy SAE J2954 na str. 32-34.

1.7.1.2 Emise šířené po vedení

Norma SAE J2954 tento případ přímo neřeší, pouze se odvolává na místní předpisy vztahující se k přípojnému bodu distribuční sítě a na požadavky dané výrobcem vozidla.

1.7.1.3 Ostatní rušení

Elektrostatické výboje (ESD) dle IEC 61000-4-2.

Odolnost před harmonickým zkreslením dle IEC 60204-1

Rychlé přechodné děje

Dle IEC 61000-6-2

Poklesy napětí, výpadky a různé napájecí hladiny dle IEC 61000-4-11

Odolnost před magnetickým polem dle IEC 61000-4-8

1.7.1.4 EMC testy – on-board vozidlové elektronické systémy

Vozidlová elektronika by měla být testována podle požadavků výrobce vozidla jako originální vybavení výrobce (OEM).

Následující normalizační předpisy by měly být splněny pro zajištění bezproblémové spoluekistence on-board elektroniky WPT a vozidlové elektroniky: CISPR 25 – kapitola 6.2 a 6.4 ; ISO 11452-2 ; ISO 11452-4 ; ISO 7637-2 ; ISO 7637-3 ; ISO 10605.

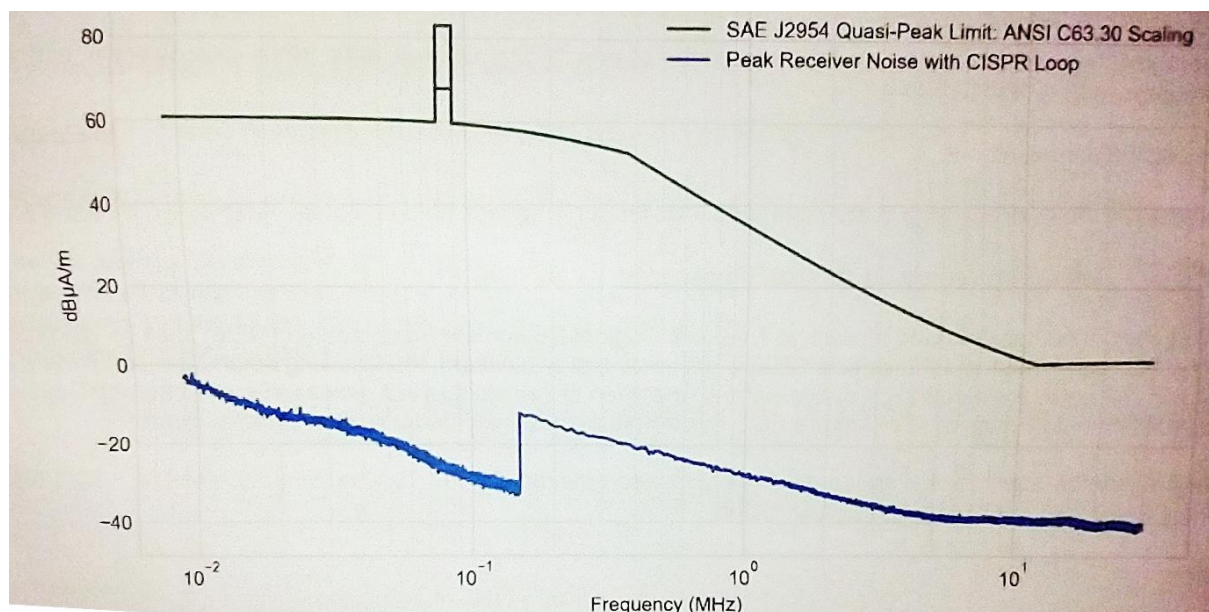
1.8 Testování s vozidlem (vehicle testing)

1.8.1.1 Emise vyzařováním při přenosu výkonu

Procedura testování s vozidlem je v normě SAE J2954 jako vyvíjená ve shodě s CISPR 11, CISPR 12 a ANSI C63.30.

Limity vyzařovaného rušení se shodují s testováním samotného WPCS bez vozidla a jsou graficky vyobrazeny na Obr_P. 2 a na Obr. 10 normy SAE J2954 na str. 36.

Emise WPCS jsou klasifikovány jako průmyslové, výzkumné a medicínské.



Obr_P. 2 Limity vyzařovaného rušení - ZDROJ [33]

Norma SAE J2954 dále upravuje měřící pracoviště na str. 37-39 pomocí obrázků a poznámek.

1.8.1.2 Emise rušení šířené po vedení

Emise šířené po vedení – viz kapitola 1.7.1.2 a 1.7.1.4

1.8.1.3 Odolnost WPCS instalovaného na vozidla

Odolnost před vyzařovaným rušením – v závislosti na výrobci vozidla, tedy OEM

Odolnost před rušením šířením po vedení – OEM vozidla

Elektrostatické výboje – OEM vozidla

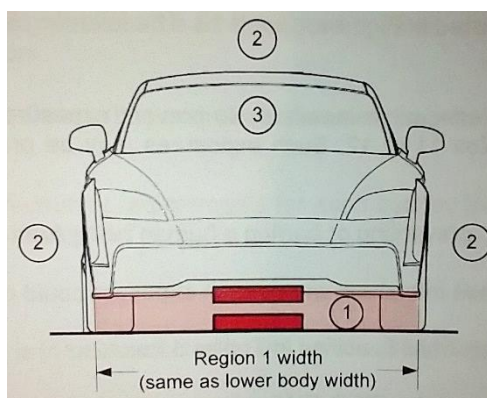
1.9 EMF ve vztahu k lidem a elektronickým implantátům

EMF WPCS ve vztahu k lidem a elektronickým implantátům se řídí normativním doporučením ICNIRP 2020. za účelem korespondování SAE J2954 a ICNIRP 2020 jsou definovány základní prostory WPCS a nabíjeného vozidla – viz Obr_P. 3-4 z normy SAE J2954 (Figure 12-13) str. 41-42.

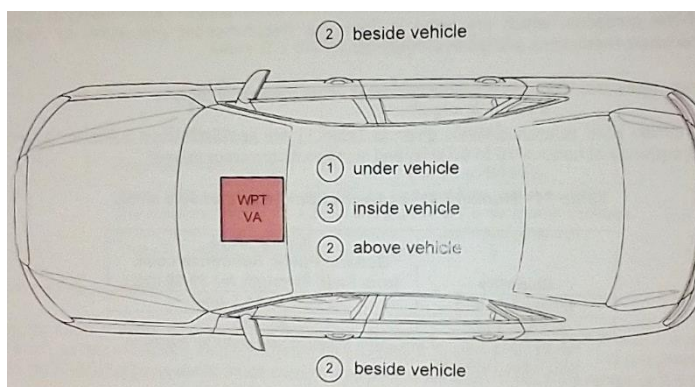
Detailně se měřením, podmínkami, limity a měřicím stanovištěm ve vztahu k EMF a implantátům věnuje SAE J2954 v kapitole 10 na str. 40 až 53.

Prostory jsou popsány jako:

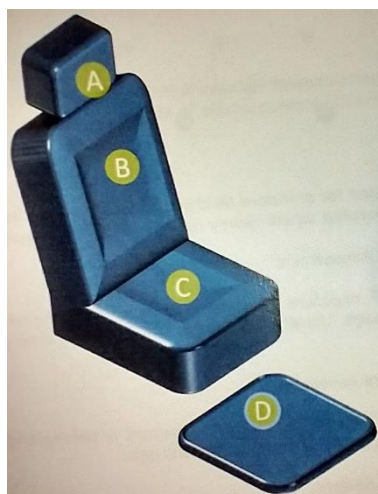
- Prostor 1 je prostor pod vozidlem zahrnující vazební elementy WPT a nesmí přesáhnout vnější obrys spodní stavby karoserie.
- Prostor 2 je okolní prostor vozidla. Nezakrývá-li vozidlo GA část WPT, pak je prostor 2 bezprostředně v okolí GA vazebného elementu a nad i pod ním.
- Prostor 3 je vnitřní prostor kabiny vozidla blžeji rozčleněn na Obr_P. 5.



Obr_P. 3 EMF prostory – přední pohled - ZDROJ [33]



Obr_P. 4 EMF prostory – horní pohled - ZDROJ [33]



Obr_P. 5 Členění prostoru 3 – pozice cestujícího

Region 1 musí být vybaven měřením/detekcí živých objektů, čímž je zajištěna ochrana před nebezpečnými úrovněmi EM pole. Zároveň je však možné toto zabezpečit třemi způsoby:

- Aktivní či pasivní ochrana spočívající například v optických závorách či mechanických zábranách
- Detekce živých objektů s odstavením přenosu výkonu
- Zajištěním pracovního EM pole s úrovněmi nižšími než povolení limity.

Všechna místa v regionu 2 a 3 nesmějí přesáhnout úroveň EM pole danou Tab_P. VI - zelená a zároveň pro místa s možností běžného výskytu těla (trupu) člověka úroveň EM pole dle Tab_P. VI - červená.

Tab_P. VI Dovolené limity EM pole v oblastech 2 a 3 – ZDROJ [33]

	Celá oblast 2 a 3	Torzo člověka oblast 2 a 3
Magnetické pole	27 μT / 21.5 $\text{Am}^{-1}_{\text{rms}}$ *1)	15.7 μT / 11.9 $\text{Am}^{-1}_{\text{rms}}$ *2)
Elektrické pole	83 $\text{Vm}^{-1}_{\text{rms}}$	83 $\text{Vm}^{-1}_{\text{rms}}$
Vnitřní elektrické pole	10,475 Vm^{-1} při 85 kHz	
*1) použít 3-osou 100 cm^2 sondu magnetického pole, pásmo 79-90 kHz		
*2) 100 cm^2 sonda, 2*2 cm měřící síť, 4-násobné opakování, pásmo 79-90 kHz		

1.10 Dotykový proud

Dotykový proud je definován jako proud, který může nastat, pokud se osoba současně dotkne dvou vodivých částí vozidla, nabíjecího systému, okolí vozidla či země. Amplituda takového dotykového proudu pak závisí na impedanci vzniklé vybičovací smyčky.

Limity dovoleného dotykového proudu jsou dány Tab_P. VII stanovené ve shodě s ICNIRP limity pro běžná veřejná prostranství v pásmu dotykového proudu 2,5 až 100 kHz. Výchozí normou je IEC 60990, která řeší dotykové napětí u automobilů.

Tab_P. VII Limity dotykového napětí a proudu

	IEC 60990	ICNIRP
Limit dotykového proudu	75 mV_{rms}	0.2*f(kHz) mA_{rms}

Norma IEC 60990 rovněž předepisuje hlavní měřicí body dotykových napětí, které SAE J 2954 přejímá. Tyto jsou uvedeny v tab_B. VIII.

Tab_P. VIII Základní měřicí body dotykového napětí a proudu

Měření	Testovací terminál A	Testovací terminál B
1	Karosérie vozu (např. západka dveří)	Zemní plocha přímo pod Terminálem A
2	Kovový kryt nabíjecího systému (ovládání/display)	Zemní plocha přímo pod Terminálem A
3	Karosérie vozu	Kovový kryt nabíjecího systému (ovládání/display)
4	Dodatečné kovové komponenty nabíjecího systému	Dodatečné kovové komponenty nabíjecího systému

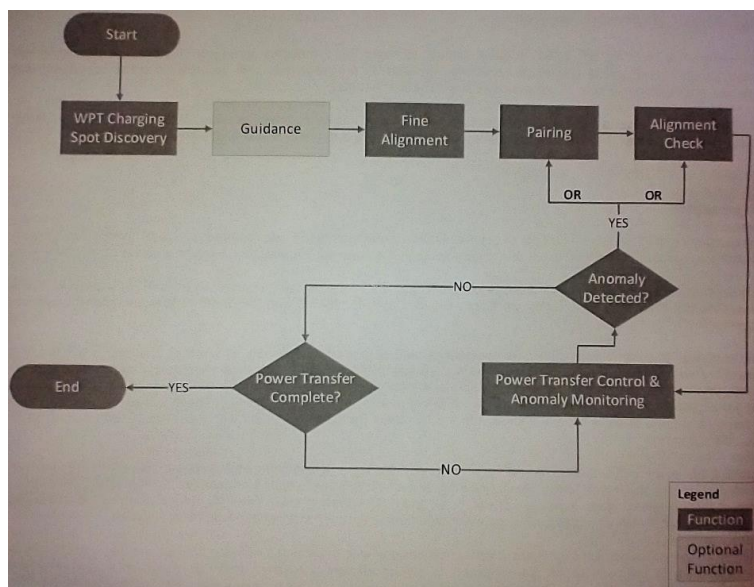
1.11 Komunikace a ustavování

Činnost WPCS vyžaduje komunikování velkého množství dat mezi GA a VA stranou tak, aby byla zajištěna funkčnost a bezpečnost výkonového přenosu a nabíjení baterie elektrovozidla. Komunikaci zprostředkovává fyzická vrstva bezdrátové komunikace, respektive její moduly.

SAE J2954 GA a VA části se pro zabezpečení komunikace opírají o SAE J2836/6 ; SAE J2847/6 a SAE J2931/6.

WPCS je pohodlná pro svou bezdrátovou podstatu. Jeden z výhod spočívá ve flexibilitě mezi nabíjecí stanicí a vozidlem. Zatímco jsou povoleny relativně velké tolerance vyosení GA a VA elementů, tak na straně vozidla je vyžadována alespoň základní přesnost parkování (přiblížení), čímž je zajišťována základní podmínka bezpečného a účinného nabíjení. To je úkol pro řidiče, asistenty řidiče a parkovací automatické systémy vozidla.

SAE J2954 tým nabádá výrobce vozidel a výrobce WPCS ke stanovení základní metody pro přiblížení VA elementu k GA elementu ve formě standardizování – přesné přiblížení, párování a kontrola přiblížení. Seznam potenciálně vhodných metod pro přesné přiblížení a párování je uveden v příloze M, N, O a P normy SAE J2954 na str. 166, 171, 176 a 192.



Obr_P. 6 Základní proces komunikace a chodu WPCS – ZDROJ [33]

1.11.1 Vyhledávání WPCS

Vyhledávání WPCS je rozšiřující nezávislý systém, který může být připojený k internetu. Jde o asistenční systém umožňující řidiči snadno nalézt WPCS nabíjecí stanici.

1.11.2 Průvodce

Jinými slovy podpůrné funkce využívající GA-VA komunikaci s cílem zprostředkovat manuální či plně automatické pozivování VA na GA. Toto není popisováno s SAE J2954, ale v SAE J2847/6.

Základní doporučení jsou:

- Průvodce by měl fungovat na vzdálenost nejméně 6 m.
- Průvodce by měl zajistit přiblížení vozidla do požadované přesnosti přiblížení na první pokus.

1.11.3 Přesné přiblížení

Jde o základní asistent nadřazený průvodci, který zprostředkovává přesné přiblížení VA na GA. Systém by měl pracovat na vzdálenost 1,5 m. Povolené tolerance přiblížení jsou uvedené v Tab_P. IV a v normě SAE J2954 v kapitole 8.2.2 na str. 22.

Zcela minimálními požadavky jsou:

- Pro třídu I-GA musí být použita stejná metoda finálního přiblížení.
- Proces finálního přiblížení musí započít kdekoli mezi 0,5 – 1,5 m od přesného přiblížení, nebo pokud dojde k inicializaci komunikace mezi GA a VA.
- Proces finálního přiblížení je zakončen kontrolou správného přiblížení v povolených tolerancích.

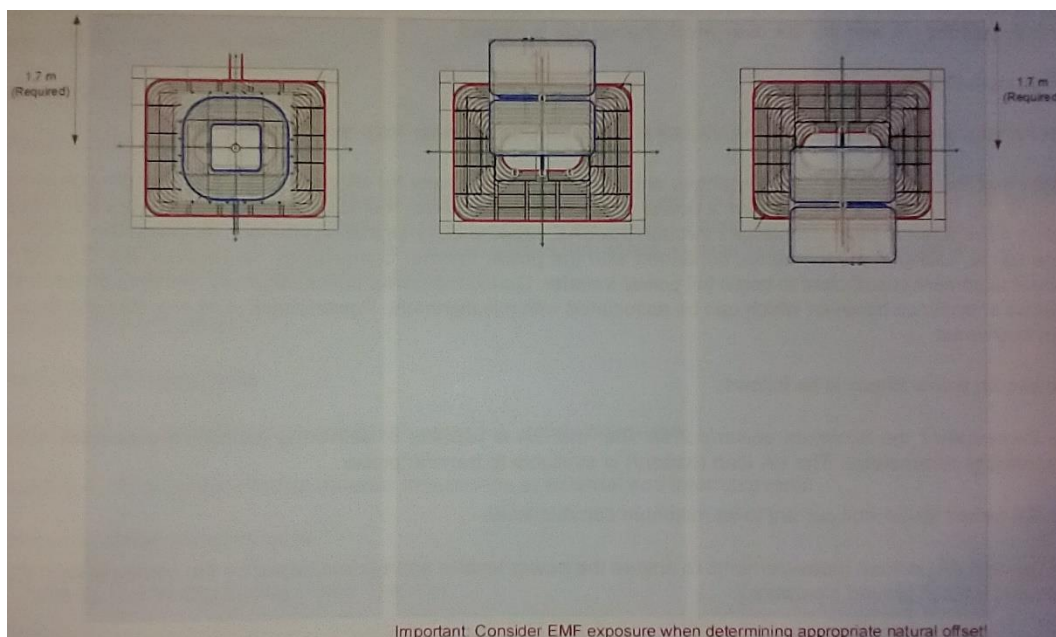
1.11.3.1 Hrubý proces finálního přiblížení:

- VA číst požádá o metodu pro finální přiblížení
- Řidič (nebo automatický parkovací systém vozidla) navede vozidlo na vyžadovanou polohu, zatímco VA monitoruje přesnost přiblížení.
- Pokud pozicování nevedlo k dosažení požadované přesnosti parkování, pak je řidič upozorněn na nutnost opakování procesu.

1.11.3.2 Přirozený offset mezi kruhovou a DD topologií vazebných cívek

Norma SAE J2954 počítá se dvěma topologiemi vazebných cívek a to kruhovou topologií a DD (double D, topologie dvojitého D) topologií. Z jejich geometrie a tvaru EM pole v jejich okolí vychází přirozený offset nulové polohy od jejich geometrických středů. Toto zachycuje Obr_P. 7 a kapitola 12.4.2 normy SAE J2954 na str. 56-57.

Jinými slovy, měla by být zajištěna kompatibilita GA v kruhové topologii s VA v DD topologii a naopak.



Obr_P. 7 Přirozený offset mezi kruhovou a DD topologií vazebných cívek.

1.11.3.3 Párování a kontrola přesného přiblížení

Proces párování ne jakýmsi bezpečnostním testem, zdali se dané VA nachází nad příslušným GA, s nímž komunikuje GA-VA komunikačním kanálem.

Kontrola přesného přiblížení je prováděna pro zaručení, že VA je připravena přijímat energii z GA. Spočívá v komunikaci kompatibilita a kontroly přenosu výkonu.

Proces kontroly přenosu výkonu spočívá v:

- VA požádá o minimální výkon, který GA umožňuje.
- GA po rampě nastaví požadovaný výkon
- GA a VA provedou měření ověřující shodu vysílaného a přijímaného výkonu. Současně dojde k inicializaci přenosové vzdálenosti a dalších potřebných parametrů pro regulaci.
- Jsou-li inicializační měření v nastavených tolerancích, pak může VA započít s požadavky na přenos nabíjecího výkonu.
- Pokud v libovolném bodu nárůstu výkonu dojde k výchylce od normálních hodnot, poté je kontrola přiblížení vyhodnocena jako chyba.

Plné znění párování a kontroly přesného přiblížení je uvedeno v kapitole 12.5-6 normy SAE J2954 na str. 58-59.

1.12 Stabilita řízení a diagnostika (monitoring)

1.12.1 Základní stavy a cyklické kontroly

Základní stavy

- Před inicializací
- Zapínání a kontrola přenosu výkonu
- Vypínání
- Přenos výkonu a optimalizace
- Chybový stav

Cyklická kontrola přenosu výkonu

- Kontrola kompatibilitnosti
- Inicializace nabíjecího cyklu
- Kontrola parametrů GA a jejich spárování s možnými požadavky VA
- Modifikace procesu přenosu výkonu podle vnějších a vnitřních podmínek
- Ukončení nabíjecího cyklu.

1.12.2 Regulace

Pro zajištění sparného nabíjení při dodržení nastavených limitů by WPCS měla být vybavena množstvím senzorů obvodových i neobvodových veličin za účelem detekování chybových událostí. SAE 2847/6 definují komunikační zprávy pro přenos vyhodnocení těchto událostí.

GA by měla být vybavena ochranou před přenosem výkonu v případech selhání řídicího programu. Za tímto účelem je třeba implementace „watchdog“ časovače či funkcionálně větveného SW a nadřazené kontroly.

Pro zajištění stability během inicializace párování by GA a VA měli pracovat s komunikačním protokolem dle SAE J5847/6.

VA komunikuje limity parametry nabíjení do GA, které se jim snaží vyhovět. Základní limity jsou:

- Implementace výkonová rampy a její možné strmosti – 0,25 až 2 kW^s⁻¹.
- GA musí aktualizovat regulační data spolu s daty zasílanými z VA minimálně s rychlostí 500 Hz. Tak aby byla zajištěna rychlá odezva na změny v nabíjecím obvodu a WPCS.
- Pokud je na straně VA provedena regulace výkonu či jiných parametru WPCS, pak je minimální rychlost regulační smyčky VA 50 Hz.
- Změny v regulaci výkonu by neměli způsobovat regulační překmity vyšší nežli 10 % požadované hodnoty. To platí především pro proudy.
- Regulační změny GA i VA by neměli způsobit překmit nabíjecího výkonu větší nežli 10 % z požadavku.
- Při vypínání systému platí předepsaná strmost změn výkonu 0,25 až 2 kW^s⁻¹ s výjimkou požadavku na 0 kW.

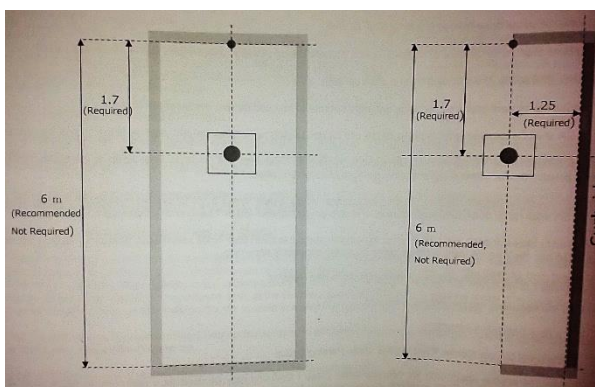
Při vzniku chybového stavu musí být splněny tyto požadavky:

- VA část systému musí být schopna ochránit sama sebe před zničením a nemusí se přitom řídit předchozími provozními podmínkami.
- GA musí být schopna rychle snížit a vypnout proud GA cívkou.
- Pro případ ztráty komunikace od VA musí být GA schopno zahájit snižování výkonu a vypnutí výkonového přenosu do 4 s od ztráty komunikace.
- Nouzové či krizové vypnutí musí GA provést sestupnou rampou výkonu a vypnutím přenosu výkonu do 1s od detekování chybového stavu.

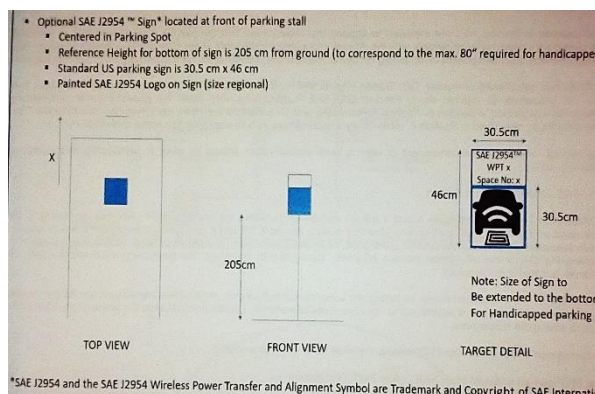
Během přenosu výkonu je možné upravovat pracovní kmitočet bezdrátového přenosu energie dle kap. 1.4.1 tohoto výtahu či kap. 6.4.2 normy SAE J2954 na str. 20

1.13 Parkovací stání

SAE J2954 definuje minimální požadavky na parkovací stání vybavené systémem WPCS na základě normalizovaných parkovacích stání (příloha D normy SAE J2954 na str. 110) a požadavků WPCS dle Obr_P. 8-9. Detailněji se tímto zabývá norma SAE J2954 v kapitole 14 na str. 61-63.



Obr. P. 8 Parkovací stání WPCS - výkres - ZDROJ [33]



Obr. P. 9 Parkovací stání WPCS - označení - ZDROJ [33]

1.14 Výkonové testy

Testy systému WPCS jsou začleněny do kapitol normy SAE J2954:

- EMC testy – kapitola 9 na str. 27 (kapitola 1.7 tohoto výťahu)
- EMF testy – kapitola 10 na str. 40 (kapitola 1.8 tohoto výťahu)
- Testy přenosu výkonu 15.1. na str. 64 (kapitola 1.14.x tohoto výťahu)
- Testy vztažené k bezpečnosti – kapitola 16 na str. 69 (kapitola 1.15 tohoto výťahu)

SAE J2954 definuje normalizovanou testovací stanici VA výkonových tříd WPT1-3 (Příloha A normy SAE J2954 na str. 75) a GA (Příloha B normy SAE J2954 na str. 105). Všechny GA a VA produkty musejí být testovány výkonnostní a bezpečnostní podmínky definované v kapitole 8 SAE J2954 a to i pro případ testování GA a VA jednoho výrobce.

Během testů komponent i systému na vozidle je nutné dodržet elektromagnetickou bezpečnost definovanou v kapitole 10 SAE J2954.

1.14.1 SAE J2954 WPCS testovací stanice

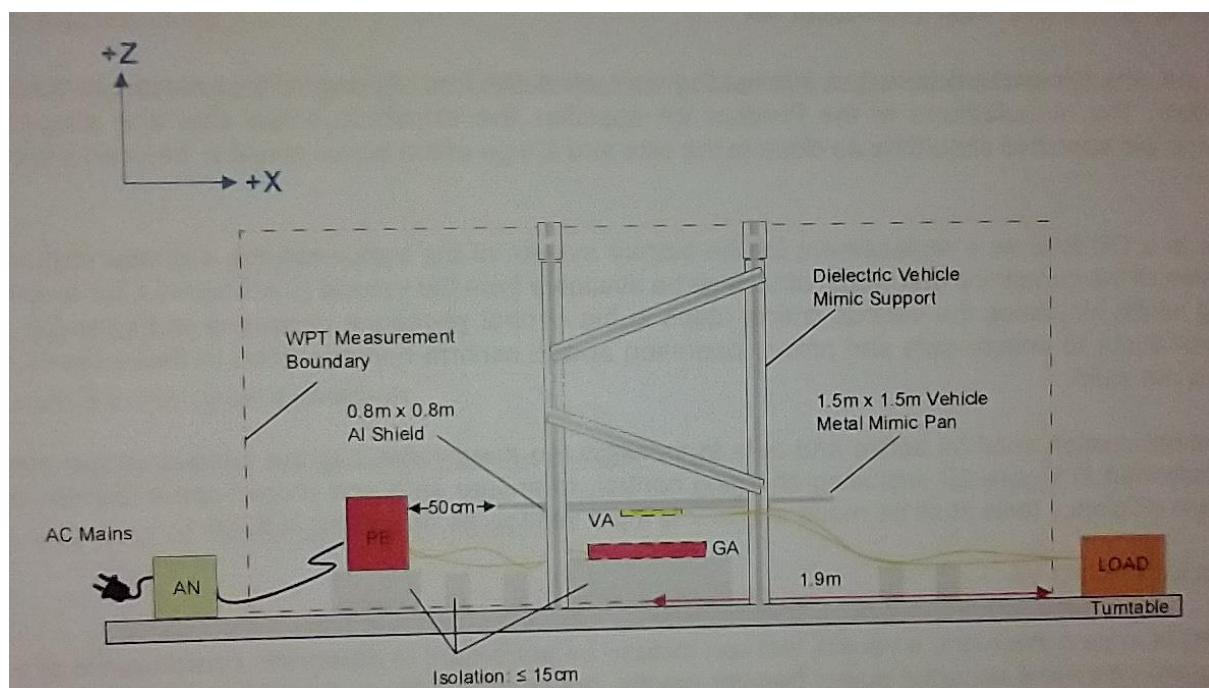
SAE J2954 testovací stanice umožňuje úpravu vzájemné polohy GA a VA vazebného elementu v osách X, Y, Z a rovnoběžnosti vrcholových úhlů os X, Y, Z. Požadovaná přesnost nastavování je 1 mm. Vzniklý ustavovací systém může být automatizován, ale to není podmínkou.

Materiál pro rám testovací stanice včetně všech jeho ustavovacích a spojovacích komponent nesmí být kovový, kovové materiály jsou přípustné v prostorech pod Al stíněním GA elementu a nad Al stíněním VA elementu.

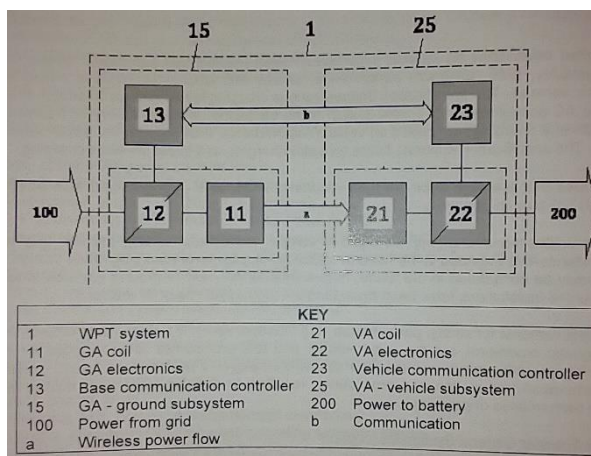
Pokud je rám testovací stanice využíván k EMC testům, měl by umožňovat také otáčení celého WPCS.

Podobu SAE J2954 WPCS testovací stanice zachycuje Obr_P.10 a Obr_P. 12:

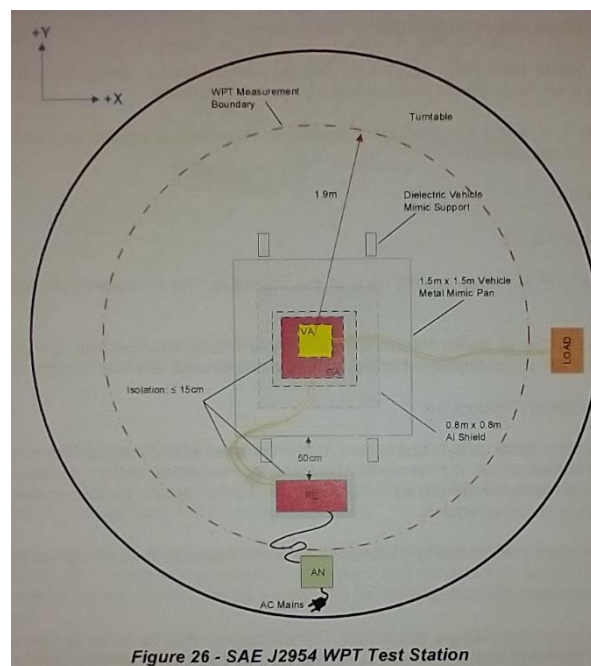
- GA elektronika a vazebný element jsou reprezentovány jako funkce přenosu výkonu v blocích 12 a 11 Obr_P. 11. GA komunikační moduly jsou reprezentovány coby komunikační funkce bloky 12 a 13.
- VA elektronika a vazebný element reprezentují bloky 21 a 22. VA komunikační moduly pak bloky 22 a 23.
- Při testech různých typů GA a VA je třeba zohlednit velikost a tvar Al stínění, které má zabránit proniknutí EM pole do okolních kovových materiálů. Jelikož stínění VA nemusí být optimalizované na dané GA a naopak, tak může dojít k zahřívání samotného stínění i okolních předmětů, které je při testech třeba monitorovat.



Obr_P. 10 SAE J2954 testovací stanice WPT (boční pohled) – ZDROJ [33]



Obr_P. 11 SAE J2954 WPT diagram (ISO 19363) - ZDROJ [33]



Obr_P. 12 SAE J2954 testovací stanice WPT, horní pohled - ZDROJ [33]

1.14.2 Testy WPCS jako komponentu

Není-li plátové Al stínění součástí návrhu vazebného elementu, ale je počítáno jako součást vozidla, pak toto musí být respektováno při testování adekvátní náhradou Al stínění.

Výstup VA bloku WPCS je připojen k DC zátěži coby náhradě baterie. Komunikace WPCS a vozidla by měla být aktivní a vozidlová strana nahrazena simulátorem. Testování by mělo projít všechny kritické body vyplývající z diagramu na Obr_P. 6.

GA strana WPCS by měla být v běžném provozu.

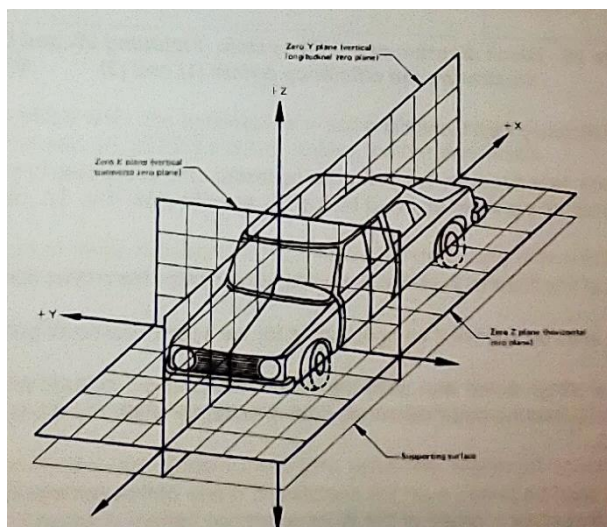
1.14.3 Vozidlové testy WPCS

Zatímco testy WPCS coby komponentu jsou velmi komfortní, tak vozidlové testy přináší časovou i systémovou náročnost spojenou s nabíjením skutečné baterie s pomalu se měnícím SOC. Testování specifických bodů při vozidlových WPCS testech je tedy obtížné, avšak zprostředkovává relevantnější výsledky.

Dodatečné stínění či jeho adekvátní náhrada z komponentních testů není povoleno. Současně s vozidlovými testy WPCS je třeba kontrolovat teplotu podvozku a podlahy automobilu.

Ustavování vazebných elementů může být zajištěno kolečkovými podložkami pod koly vozidla či GA částí WPCS.

1.14.4 Souřadnicový systém



Obr_P. 13 SAE J2954 souřadnicový systém- ZDROJ [33]

- X - kladná ve směru couvání vozidla
- Y - kladná ve směru zatáčení doprava
- X,Y = 0,0 - je definována středem GA vazebné cívky
- Z - 0 je definována povrchem parkovacího stání, kladná směrem vzhůru

1.14.5 Testovací prostředí

Prostředí pro testování WPCS jako komponentu i pro vozidlové testy by mělo mít teplotu okolí $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proudění vzduchu v okolí WPCS by nemělo přesáhnout $0,5\text{ m s}^{-1}$ a žádné dodatečné chlazení či ventilátory by neměly být používány, pokud nejsou definovány výrobcem či pro zajištění bezpečnosti.

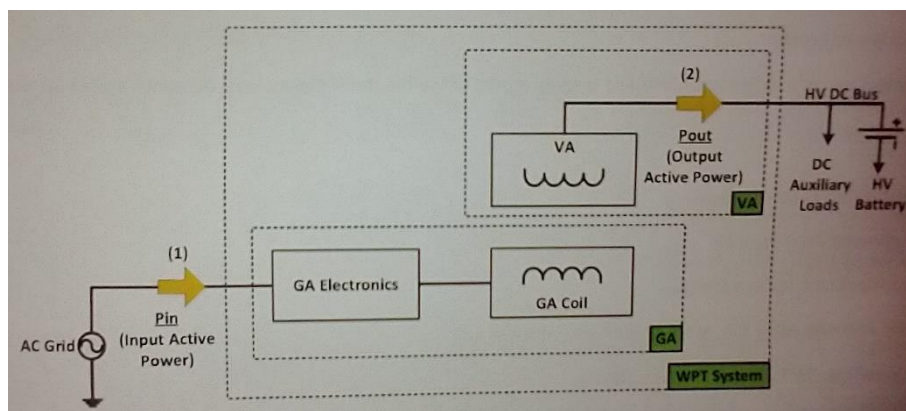
Měřicí a ostatní vybavení by mělo být zemněno za účelem zamezení úrazu RF proudem či popálení vlivem RF potenciálů.

Pokud je kovová část WPT izolována, pak musí být splněna podmínka dotykového proudu.

RF proudy by měli být ve shodě s UL 2594.

1.14.6 Testování účinnosti WPCS

Účinnost systému WPCS by měla být objasněna měřením výkonu odebíraného z AC sítě a výkonu dodávaného z VA části WPCS, který napájí baterii a pomocná zařízení. Účinnost WPCS je pak poměr výstupního výkonu ke vstupnímu vyjádřená v procentuální míře.



Obr_P. 14 Blokový diagram WPCS ilustrující měření účinnosti – ZDROJ [33]

Vstupní výkon by měl být měřen na vstupních svorkách GA části WPCS s použitím patřičného vybavení – popisuje IEC 61000-3-7.

Výstupní výkon by měl být měřen podle dané konfigurace a třídy:

- WPCS třídy I-GA by měli být testovány napříč všemi VA částmi z přílohy A normy SAE J2954 na str. 75 napříč plného rozsahu přenosové vzdálenosti a při třech referenčních napětích baterie (280, 350 a 420 V) při ekvivalentním sériovém odporu 0,15 Ω .
- WPCS třídy II-GA by měl být testován napříč plným rozsahem přenosových vzdáleností při třech referenčních napětích baterie (280, 350 a 420 V) při ekvivalentním sériovém odporu 0,15 Ω .

Při testování WPCS s výrobcem definovaným výstupním napětím a rozsahem přenosových vzdáleností je měření účinnosti prováděno takto:

- Měření se provádí při minimální, maximální a prostřední přenosové vzdálenosti definované výrobcem
- Měření se provádí ve všech vyoseních ve směrech X,Y, definovaných výrobcem, s inkrementy menšími nežli 50 % maximálního vyosení v daném směru.
- Mělo by být testováno pro různé úhly nerovnoběžnosti GA a VA ve všech vrcholových úhlech X, Y, Z.

Měření účinnosti se provádí na zahřátém systému minimálně 5 minut po dosažení maximálního výkonu a po ustálení teploty. Teplota WPCS může být měřena na povrchu GA vazebného elementu kontaktní metodou či pomocí kalibrovaného IR měřidla na daný povrch.

SAE J2954 definuje podobu měřicí tabulky na str. 69.

1.15 Ověření bezpečnosti

Měření výkonu a testování účinnosti ověřuje, jak dobře zařízení pracuje. Bezpečnostní testy ověřují, je-li zařízení schopno bezpečně pracovat a to jak ve vztahu k okolním zařízením, tak ve vztahu k uživatelům apod.

1.15.1 Ověření bezpečnosti před zahájením přenosu

Předpokladem je inicializovaná a ověřená komunikace dle SAE J2847/6. Komunikací předané informace mezi GA a VA a naopak ověří kompatibilitu obou částí WPCS. Pokud jsou části nekompatibilní, další proces nesmí být povolen.

Jsou-li části kompatibilní, pak může být provedena kontrola finálního přiblížení, kontrola vyosení a kontrola přenosu výkonu.

1.15.2 Ověření bezpečnosti během přenosu

V případě jakéhokoliv přerušení procesu nabíjení nesmí systém automaticky obnovit svoji činnost, pokud není manuálně restartován, nebo pokud nadřazený systém neověří, že je bezpečné systém WPCS restartovat.

1.15.3 Ověření bezpečnosti ve vztahu k cizím kovovým předmětům

Potenciální nebezpečí při vniknutí kovového předmětu do aktivní zóny přenosu vychází z jeho zahřátí na nebezpečnou teplotu pro sebe či pro své okolí (dotyk, tavení, hoření, výbuch).

Jedna z možností je monitorovat charakteristiku EM pole GA elementu, druhá je využití nezávislého systému FOD na přenosu.

Testovací objekty jsou definovány normou SAE J2954 na papírový svazek se sponou, fólie s papírovým podkladem, mince, hřebík, alabal, ocelová tyč. Sledované parametry a bližší specifikace testovacích předmětů je uvedena v Tab. 23 normy SAE J2954 na str. 71.

1.15.4 Testování WPCS bez FOD

Výrobce může definovat a označit body a orientace maximální magnetické indukce na povrchu GA vazebného elementu. Je-li těchto bodů více, pak musejí být označeny všechny. GA a VA jsou usazeny do polohy s maximální magnetickou indukcí.

První test spočívá v umístění testovacího předmětu na bod největší magnetické indukce a WPCS se spustí na plný výkon po dobu 10-ti minut. Test se opakuje pro různá natočení testovacího předmětu. Pokud nedojde ke vznícení či tavení, test je úspěšný.

Druhý test spočívá ve vložení testovacího předmětu do aktivní zóny WPT přenášející plný výkon. Předmět se vkládá do míst maximální magnetické indukce a měří se jeho povrchová teplota. Je-li tato teplota nižší než 80 °C, pak je test úspěšný. Překročí-li 80°C, pak se vyjme z EM pole a měří se jeho teplota po 30 s a 60 s. Poklesne-li teplota povrchu po 60 s pod 80 °C, pak je test také úspěšný.

1.15.5 Testování WPCS s FOD

Oproti předchozímu musí výrobce označit také body s největší pravděpodobností nedetekovatelnosti cizího předmětu systémem FOD.

1.15.5.1 Vložení objektu před spuštěním přenosu

První test spočívá ve vložení předmětu na bod maximální magnetické indukce a spuštění přenosu. Pokud nedojde ke spuštění přenosu a pokud je předmět detekován, pak je test úspěšný.

Druhý test předpokládá umístění předmětu na bod s nejméně pravděpodobnou detekovatelností. Systém se zapne a zvyšuje se jeho výkon:

- Pokud nedojde ke spuštění přenosu a předmět je detekován, pak je test úspěšný.
- Pokud se přenos spustí, ale s narůstajícím výkonem dojde k detekování cizího předmětu, pak je test také úspěšný.
- Pokud ani po dosažení maximálního výkonu nedojde do 5–ti minut k detekování cizího předmětu, pak rozhoduje o úspěšnosti testu dosažená povrchová teplota, podobně jako v 1.15.4.

1.15.5.2 Vložení objektu po spuštění přenosu

Testování FOD v tomto režimu je efektivnější, pokud je pro první testy zapnuta pouze signalizace detekování cizího předmětu. Testy se zapnutým automatickým vypnutím výkonového přenosu je prováděn až po ověření funkční detekce.

Vyhodnocovací kritérium pro FOD vychází opět z teploty 80 °C a 5-ti minutového pravidla (jejího dosažení, rychlosti chladnutí) a ze stavu detekování cizího předmětu systémem FOD. Tedy jako v předchozích případech. Testování je prováděno pro čtyři případy:

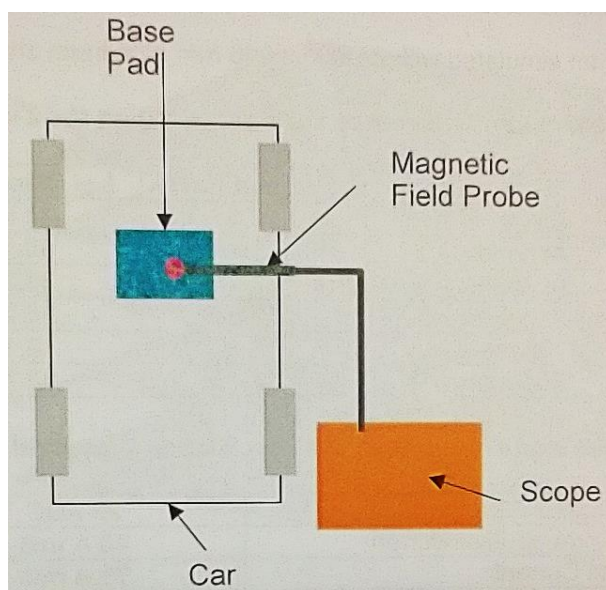
1. Po dosažení a ustálení plného výkonu dojde ke vložení cizího předmětu na bod maximální magnetické indukce
2. Po dosažení a ustálení maximálního výkonu je cizí předmět náhodně vložen do aktivní zóny přenosu
3. Po dosažení a ustálení maximálního výkonu je cizí předmět vložen na bod s nejméně pravděpodobnou detekovatelností
Po dosažení a ustálení maximálního výkonu je cizí předmět vložen na druhý bod s nejméně pravděpodobnou detekovatelností.

1.15.6 Testování systému detekce živých předmětů (LOD)

V prvním kroku testování LOD je třeba vyznačit hranici překročení magnetické indukce $27\ \mu\text{T}$ pro nejnepříznivější přenosovou vzdálenost a vyosení.

Živý objekt je předpokládán jako pohybující se rychlostí 1000mms^{-1} a proto je hranice, kde musí dojít k detekci FOD, před hranicí limitní magnetické indukce. Stanovení této bezpečnostní hranice je provedeno na základě normované rychlosti FOD a změřené rychlosti poklesu magnetické indukce po vybavení FOD. Živý objekt tedy nesmí být za žádných okolností a ani na okamžik vystaven nadlimitní magnetické indukci.

Měřením dle Obr_P.15 je měřen čas od inicializace FOD (ručně spuštěné) po čas poklesu magnetické indukce pod $27\mu\text{T}$.



Obr_P. 15: Měření rychlosti poklesu magnetické indukce - ZDROJ [33]

Po stanovení bezpečnostní linie je proveden test FOD ve smyčce pomocí testovacího předmětu. Dojde-li k vybavení FOD před vyznačenou bezpečnostní linií, pak je test úspěšný.

Pro testování se z důvodu bezpečnosti nepožívá živá lidská ruka, ale její adekvátní náhrada v podobě 5cm koule naplněné vodou.

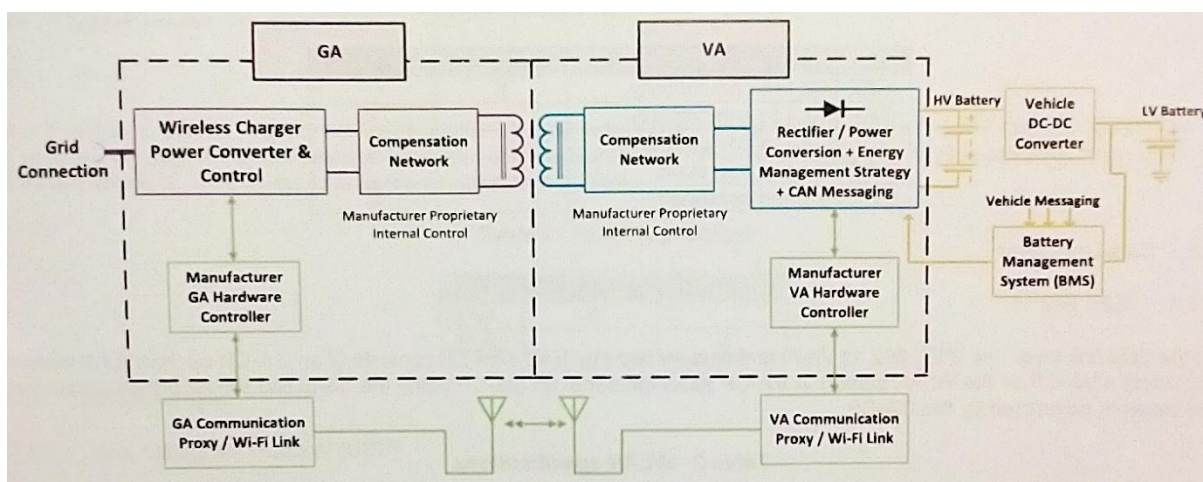
1.16 Životnost

Odolnost a životnost systému WPCS spadá pod tyto normy: UL 2750, SAE J1211.

2 SAE TIR J2847/6 (rev. 2020-09) – Architektura komunikace

Předmětem tohoto výtahu normy SAE J2841/6 je omezen pouze na definování architektury komunikačního systému jakožto potřebného údaj pro návrh HW WPCS.

Jsou-li GA a VA části WPCS vyrobeny týměž výrobce, pak je doporučena integrace WI-FI WLAN komunikačního rozhraní do hlavní regulační smyčky WPCS, jak zachycuje Obr_P. 16. Komunikace důležitých regulačních a stavových dat pak probíhá skrze standartní WI-FI komunikační interface.



Obr_P. 16 Blokové schéma WPCS – WI-FI komunikace – ZDROJ [34]

2.1 Aplikace Proxy

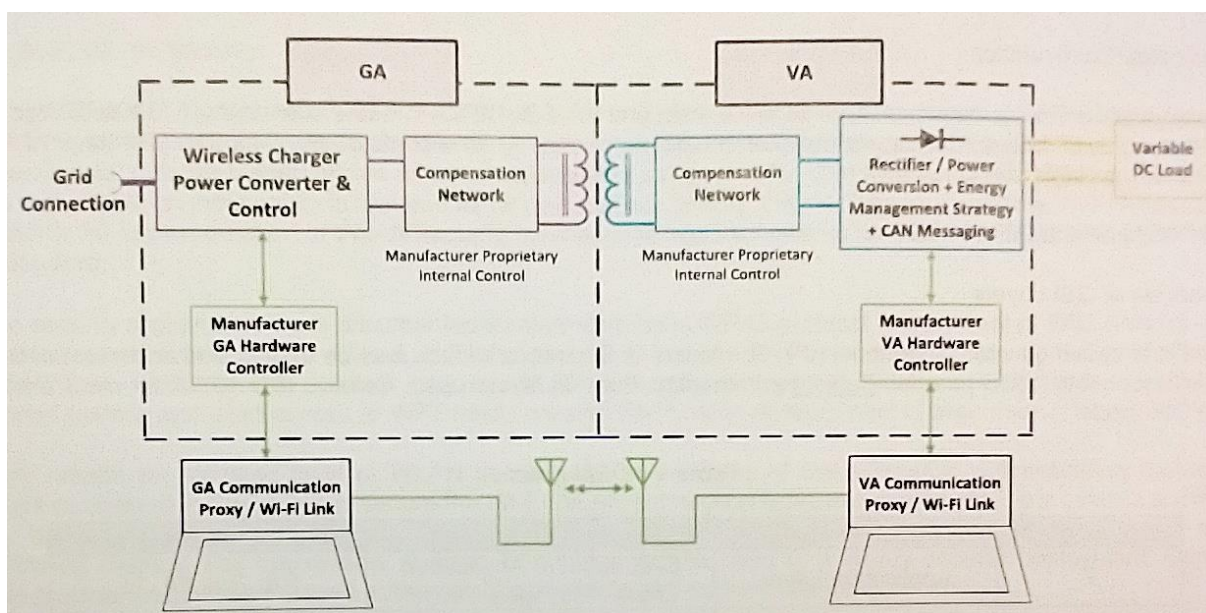
SAE J2847/6 definuje protokol pro komunikaci dat nezbytných pro regulaci přenosu výkonu mezi GA a VA částí WPCS. Použitý protokol (sestavení zpráv) pro tuto komunikaci je na bázi JSON. Rozhraní a zprávy jsou označovány jako VA-CP pro vozidlovou část a GA-CP pro nevozidlovou část WPCS.

Minimální implementační požadavky jsou:

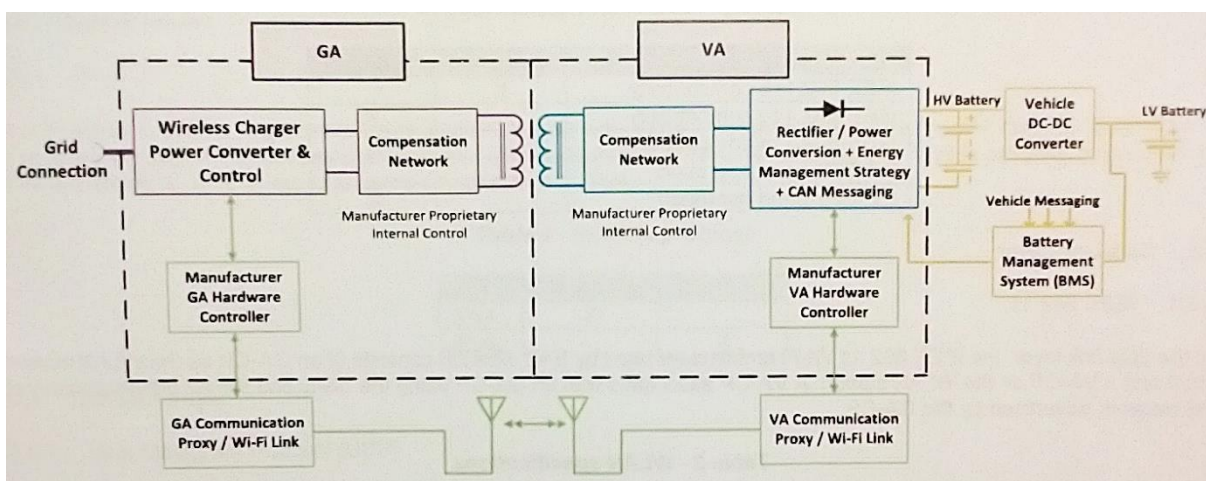
- Komunikační rozhraní a kontroléry kompatibilní mezi GA a VA
- Překládání WPCS datových zpráv do SAE J2847/6 JSON formátu a naopak
- Interface s IEEE 802.11n WIFI čip setem nebo kompatibilní
- VA – klient ; GA – připojovací bod
- Pro testování WPCS v laboratorních podmínkách je povolené použití PC v komunikačním řetězci (programování, ladění, testy, ...), jak ilustruje Obr_P. 17.

Aplikace Proxy pro řízení WPCS musí být oddělená od ostatních komunikací, jako je například autorizace, placení, chytré nabíjení, „vehicle to grid“ servis apod. Tyto nadřazené komunikace jsou označovány jako „high level communications“ a vyžadují mnohem složitější struktury a vybavení (RCUs, datové uložště, kryptování, ...)

Základní funkce VA-CP a GA-CP je překládat a přenášet omezené množství informací (čísla) potřebných pro inicializaci, řízení, vypínání a nabíjení ve standardizovaných JSON zprávách. Obr_P. 18 ilustruje SAE J2847/4 komunikační PROXY jako samostatný systém pro vozidlové testy WPCS, nicméně vzhledem k omezené paměti a procesovým nárokům je doporučena integrace VA-CP a GA-CP v existujícím WI-FI systému výrobce WPCS, OEM WI-FI modulu či jiném dostupném bezdrátovém systému.



Obr_P. 17 GA a VA část WPCS s komunikací SAE J2847/6 – testovací stanoviště pro komponentní testy – ZDROJ [34]



Obr_P. 18 GA a VA část WPCS s komunikací SAE J2847/6 – testovací stanoviště pro vozidlové testy – ZDROJ [34]

2.2 Technické požadavky

SAE J2847/6 je založena internetovém protokolu (IP). Vrstvy síťové struktury jsou ztotožnitelné se systémem „Open System Interconnection“ (OSI) dle ISO 10731. Základ pak zachycuje Tab_P. IX

Tab_P. IX OSI vrstvy

OSI vrstva	Název vrstvy	Síťový protokol	Sekce normy SAE J2847/6
7	Aplikační vrstva	SAE J2847/6, DHCP	5.8, 7, 8, 10, 11
6	Prezentační vrstva	JSON	5.7
5	Relační vrstva	http	5.6
4	Přenosová vrstva	TCP, UDP	5.5
3	Síťová vrstva	IPv4	5.4
2	Datové spojení	IEEE 802.11	5.3
1	Fyzická vrstva	IEEE 802.11	5.2

2.2.1 Fyzická vrstva

IEEE 802.11, známá jako Wi-Fi je komunikační standard specifikující fyzickou a spojovací vrstvu pro SAE J2847/6. Verze aplikovaná pro SAE J2847/6 (rev. 2020/9) je IEEE Std 802.11n-2009. Doporučené a základní vlastnosti pro SAE J2847/6 uvádí Tab_P. X.

Tab_P. X IEEE 802.11 specifikace pro SAE J2847/6

	Základní	Doporučené
IEEE 802.11b kompatibilita	X	
IEEE 802.11g kompatibilita		X
IEEE 802.11n kompatibilita		X
2,4 GHz pásmo	X	
5,0 GHz pásmo		X

2.2.2 Spojovací vrstva

Tab_P. XI WLAN specifikace pro SAE J2847/6

WLAN připojovací bod	GA-CA
WLAN stanice	VA-CP
zabezpečení	WPA2

2.2.2.1 Wi-Fi WLAN zabezpečení

SAE J2847/6 vyžaduje použití WPA2 pro zabezpečení WI-FI WLAN ve smyslu IEEE 802.11i-2004.

Jelikož bezpečnostní vývojáři mají zdokumentované bezpečnostní chyby WPA2 protokolu, tak je pro SAE J2847/6 doporučena dodatečná ochrana zpráv, která v normě není řešena. Souhrnně řečeno, SAE J2847/6 je doporučena pro známé WLAN prostředí v domácím sektoru, testovacích centrech či laboratořích.

Jako rozšiřující zabezpečení pro požití v neznámém prostředí je doporučen „extensible authentication protocol“ (EAP) definovaný v RFC 5247. EAP tvoří druhou vrstvu autentizačního protokolu, která může být aplikována na libovolnou drátovou i bezdrátovou síť.

EAP přenosová vrstva (EAP-TLS) je podporována všemi současnými výrobci WLAN HW a SW. EAP-TLS zprostředkovává vzájemnou autentizaci v síti za pomoci klientských a serverových certifikátů.

Varianta „tunneled transport layer security“ - EAP-TTLS vyžaduje primárně pouze certifikát serverové strany, avšak pro potřebu oboustranné autentifikace je vyžadován také certifikát klientský.

Certifikáty tedy musejí být součástí EAP-TLS a EAP-TTLS zabezpečení a to jak na straně serverové, tak na straně klientské.

2.2.3 Síťová vrstva

Internetový protokol (IP) je nezbytný pro spojení datových paketů se sítí. Základním kritériem pro SAE J2847/6 je IPv4. Podpora IPv6 je doporučena. Hlavním důvodem tohoto dělení je zpětná nekompatibilita IPv6 k IPv4.

Tab_P. XII Internetový protokol

	Základní	Doporučený
IPv4	X	
IPv6		X

2.2.4 Přenosová vrstva

Skládá se z UDP – „user datagram protocol“ a TCP – „Transmission Control protocol“.

UDP je protokol s kratší odezvou nežli TCP a je používán pouze při přiřazování IP adresy. Detailně se tímto zabývá RFC 768 a SAE J2847/6 v kapitole 5.8.1 na str. 15.

TCP je protokol pro přenos dat s vestavěnými ochranami, jako je například kontrola datového toku či přetížení. Základní dělení rolí mezi GA a VA zachycuje Tab_P. XIII.

Tab_P. XIII Specifikace TCP

TCP server	GA-CP
TCP klient	VA-CP

2.2.5 Relační vrstva

Součástí relační vrstvy je „Hypertext Transfer Protocol“ (HTTP) s parametry dle Tab. XIV.

Tab_P. XIV specifikace HTTP

HTTP verze	1.1
HTTP server	GA-CP
HTTP klient	VA-CP
Požadavek na zprávu	HTTP PUT
Odpověď na zprávu	200"OK"
Číslo portu	80
Host	www.weccp.com
URL požadavku	/messages

„Domain name system“ (DNS) není u WPCS použita, neboť jde o komunikaci mezi dvěma IP adresami v režimu jeden-na-jednoho mezi VA-CP a GA-CP. Spárování tedy probíhá pouze na základě IP adres během DHCP inicializace – viz kapitola 5.8.1 normy SAE J2847/6 na str. 15.

Ukázky HTTP zpráv jsou uvedeny na str. 14 normy SAE J2847/6.

2.2.6 Prezentační vrstva

Člověkem čitelná formát použitá pro prezentační vrstvu je „Java Script object notation“ (JSON) definující zprávy v páru název-hodnota. Blíže je aplikace podle SAE J2847/6 uvedena v kapitole 12 normy na str. 63 v podobě matice zpráv.

2.2.7 Aplikační vrstva

Je využíván „dynamic host configuration protocol“ (DHCP).

SAE J2847/6 aplikační vrstva pracuje se správami v párech požadavek-odpověď na synchronním HTTP protokolu. Rozvrh zpráv tvoří komunikaci synchronní z principu – VA-CP vždy vysílá požadavek a čeká na adekvátní odpověď z GA-CP před odesláním datové zprávy.

3 Závěr

Tato výzkumná zpráva zprostředkovává výtah z norem SAE J2954 a J2847/6 pro potřeby vývoje, návrhu a implementace bezdrátového přenosu elektrické energie velkých výkonů a jeho aplikace v bezdrátových nabíjecích stanicích pro elektro mobilitu.

Plný text norem v původním znění je součástí zakoupených publikací skrze univerzitní knihovnu ZČU v Plzni.

Literatura

- [1] SAE International. *Standards.sae* [online]. USA: SAE J 2954 „Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-in/Electric Vehicles and Alignment methodology“, publikováno: 26.5.2016, revidováno: 20.10.2020 [cit. 24.09.2021]. Dostupné z: https://www.sae.org/standards/content/j2954_202010/
- [2] SAE International. *Standards.sae* [online]. USA: SAE J2847/6 „Communication for Wireless Power Transfer Between Light-Duty Plug-in Electric vehicles and wireless EV charging stations“, publikováno: 5.8.2015, revidováno: 29.09.2020 [cit. 24.09.2021]. Dostupné z: https://www.sae.org/standards/content/j2847/6_202009/
- [3] ICNIRP, ICIRP GUIDELINES for Limiting Exposure to Time-Varying electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz), Dostupné online: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf>, Health Physics, 99(6): 218-836, 2010, cit. 1.10.2021
- [4] M. Zavřel, Bezdrátový přenos elektrické energie velkých výkonů – disertační práce, ZČU/FEL, ZČU v Plzni 2022.

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum	Jméno
0	Všechny	Publikování dokumentu	12.4.2022	M. Zavřel