

Kurz celoživotního vzdělávání

Elektrotechnické systémy pro environmentálně příznivou dopravu

Předmět

Trakční soustavy elektrických vozidel a
infrastruktury, jejich zkoušení
a schvalování

Studijní materiál

**Testování trakčních Li-ion článků a packů
Drážní vozidla**

Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D.

Ing. Petr Sýkora



Přehled současně platné normalizace

- ČSN EN IEC 61133: Drážní zařízení – Drážní vozidla – Zkoušení drážních vozidel po dokončení a před uvedením do provozu
- ČSN EN IEC 62864-1: Drážní aplikace – Kolejová vozidla – Napájení s palubním systémem uchování energie – Část 1: Sériový hybridní systém
- ČSN EN IEC 61377: Drážní zařízení – Drážní vozidla – Sloučené zkoušky motorů a jejich řídicího systému
- ČSN EN IEC 61287-1: Drážní zařízení – Výkonové měniče instalované v drážních vozidlech – Část 1: Charakteristiky a zkušební metody
- ČSN EN IEC 60349: Elektrická trakce- Točivé elektrické stroje pro kolejová a silniční vozidla
- **ČSN EN IEC 62928 – Drážní zařízení – Zařízení drážních vozidel – Palubní lithium-ion trakční baterie**
- **ČSN EN IEC 62620:2014 – Akumulátorové články a baterie obsahující alkalické nebo jiné nekyselé elektrolyty – akumulátorové lithiové články a baterie pro použití v průmyslových aplikacích**



Druhy zkoušek Li-ion baterie

- Podmínky typové zkoušky musí být odsouhlaseny mezi výrobcem článku a výrobcem bateriového systému (zpravidla tito výrobci nejsou stejným subjektem) – cílem je ověřit vybrané parametry
- Výrobní kusové zkoušky se provádí za účelem zjištění kvality sesazení, elektrického zapojení a zda systém pracuje bezpečně.
- Je-li provedena výrobní kusová zkouška samotných článků či modulů (v některých případech výrobce dodává články již v předpřipravených modulech spojených do konkrétní kombinace), nemusí být opakována stejná zkouška na jiné úrovni



Označování článků

- Li-ion články by měly být značeny dle následujícího schématu:
- $A_1A_2A_3/N_2/N_3/N_4/A_4/T_LT_H/N_C$
- A1 – Materiál záporné elektrody (I – uhlík, T – titan, X - jiný)
- A2 – Materiál kladné elektrody (C – kobalt, F – železo, Fp – železo fosfát, N – nikl, M – mangan, Mp – mangan fosfát, V – vanad, X - jiný)
- A3 – Tvar pouzdra (R – cylindrický, P - prizmatický)
- A4 – Vybíjecí výkonnost (E – nízká – do 0,5C, M – střední – do 3,5C, H – vysoká – do a nad 7C)
- TL – výsledek zkoušky kapacity při nízké teplotě
- TH – výsledek zkoušky kapacity při vysoké teplotě, pouze pro necyklický provoz
- NC – procentuální velikost kapacity článku po 500 vyb. cyklech
- N2 – Průměr či tloušťka v mm (pro P i R)
- N3 – Šířka v mm (pouze pro P)
- N4 – Výška v mm (pro P i R)





??

Označování packů

- Li-ion packy by měly být značeny dle následujícího schématu:
- $A_1A_2A_3/N_2/N_3/N_4/A_4/T_L T_H/N_C$
- A1 – Materiál záporné elektrody (I – uhlík, T – titan, X - jiný)
- A2 – Materiál kladné elektrody (C – kobalt, F – železo, Fp – železo fosfát, N – nikl, M – mangan, Mp – mangan fosfát, V – vanad, X - jiný)
- A3 – Tvar pouzdra (R – cylindrický, P - prizmatický)
- A4 – Vybíjecí výkonnost (**S – velice nízká** – do 0,125 C, E – nízká – do 0,5C, M – střední – do 3,5C, H – vysoká – do a nad 7C)
- TL – výsledek zkoušky kapacity při nízké teplotě
- TH - výsledek zkoušky kapacity při vysoké teplotě, pouze pro necyklický provoz
- NC - procentuální velikost kapacity článku po 500 vyb. cyklech
- N2 – Průměr či tloušťka v mm (pro P i R)
- N3 – Šířka v mm (pouze pro P)
- N4 – Výška v mm (pro P i R)



Kategorie zkoušek článků a packů

- Elektrické
 - Mechanické zkoušky
 - Zkoušky bezpečnosti
 - Zkoušky funkční bezpečnosti
 - Zkouška vnějším zkratem
-
- Na základě dohody mezi integrátorem a výrobcem bateriového systému smí být místo vybraných zkoušek použity výsledky simulace založené na spolehlivém modelování (úspěšné ověření předchozím měřením)

Elektrické zkoušky článků a packů

- Kapacitní test při pokojové teplotě
- Kapacitní test při nízkých teplotách
- Maximální přípustný proud
- Uchování náboje a zotavení
- Vnitřní odpor AC
- Vnitřní odpor DC
- Odolnost v cyklech
- Dielektrická zkouška
- Zkouška samovybíjení
- Zkouška balancování

Kapacitní test při pokojové teplotě

- Test cílí na zjištění kapacity při teplotě 25°C
- Postup testu:
 1. Článek či pack je plně nabit tímto způsobem: Článek je vybit konstantním proudem obvyklým pro daný typ článku při teplotě $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ do nejnižšího napětí daného výrobcem. Článek je nabit konstantním proudem obvyklým pro daný typ článku opět při pokojové teplotě.
 2. Článek je teplotně stabilizován při pokojové teplotě po dobu 1 – 4 h
 3. Článek je vybíjen za podmínek, daných dále uvedenou tabulkou
 4. Změřená kapacita by neměla být nižší než je uvedeno v tabulce

Kapacitní test při pokojové teplotě – podmínky testu

Vybíjecí proud	Minimální kapacita pro konkrétní typ článku			
	S	E	M	H
(1/n) C	100 % C_n Ah			
0,2 C		100 % C_5 Ah	100 % C_5 Ah	100 % C_5 Ah
1 C			95 % C_5 Ah	95 % C_5 Ah
5 C				90 % C_5 Ah

- C_5 – kapacita odpovídající 5h vybíjecímu režimu, tedy $1/5 C = 0,2C$
- Tato kapacita by měla být dána výrobcem před zahájením testu

Kapacitní test při nízké teplotě

- Test cílí na zjištění takové teploty, při které dojde k poklesu kapacity na 70 % kapacity při pokojové teplotě
- Postup testu:
 1. Článek či pack je plně nabit tímto způsobem: Článek je vybit konstantním proudem obvyklým pro daný typ článku při teplotě $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ do nejnižšího napětí daného výrobcem. Článek je nabit konstantním proudem obvyklým pro daný typ článku opět při pokojové teplotě
 2. Teplotní stabilizace při požadované teplotě po dobu 16 – 24 h
 3. Vybíjení dle dále uvedené tabulky

Kapacitní test při nízké teplotě

Vybíjecí proud	Minimální kapacita pro konkrétní typ článku			
	S	E	M	H
(1/n) C	70 % C _n Ah			
0,2 C		70 % C ₅ Ah	70 % C ₅ Ah	70 % C ₅ Ah
1 C			70 % C ₅ Ah	70 % C ₅ Ah
5 C				70 % C ₅ Ah

- Článek či pack je zkoušen tak dlouho, dokud není známá teplota, při které je dosaženo 70% původní kapacity
- Deklarovaná teplota je v 10 °C intervalech (10, 0, -10, -20 °C)
- Výsledek se zaokrouhluje na vyšší teplotu (-27°C)
- V případě testu s více proudy – výsledná teplota se bere ta **nejvyšší**

Maximální přípustný proud

- Test je aplikován pouze na články H nebo M
- Ověření schopnosti odolat vysokému vybíjecímu proudu
- Postup testu:
 1. Článek či pack je plně nabit tímto způsobem: Článek je vybit konstantním proudem obvyklým pro daný typ článku při teplotě $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ do nejnižšího napětí daného výrobcem. Článek je nabit konstantním proudem obvyklým pro daný typ článku opět při pokojové teplotě.
 2. Článek či pack je teplotně stabilizován při pokojové teplotě po dobu 1 – 4 h
 3. Článek či pack je poté vybíjen 5 s při pokojové teplotě dle dále uvedené tabulky
 4. Měření kapacity článku proudem 0,2 C po vykonání testu

Maximální přípustný proud – podmínky testu

Typ článku	Velikost vybíjecího proudu
S	-
E	-
M	Minimálně 6C
H	Minimálně 20C

- Kritérium přijetí: Článek či pack během testu nevybaví žádný ochranný prvek, pouzdro nevykazuje deformace a nedochází k vytékání elektrolytu. Napětí na výstupu není během testu přerušeno a kapacita po testu by neměla být nižší než 95% původní.

Uchování náboje a zotavení

- Test cílí na zjištění samovybíjení a snížení kapacity **článku** v případě dlouhodobého skladování
- Postup testu:
 1. Článek či pack je plně nabit tímto způsobem: Článek je vybit konstantním proudem obvyklým pro daný typ článku při teplotě $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ do nejnižšího napětí daného výrobcem. Článek je nabit konstantním proudem obvyklým pro daný typ článku opět při pokojové teplotě.
 2. Článek či pack je uložen při pokojové teplotě na dobu 28 dní
 3. Článek či pack je vybit při pokojové teplotě konstantním proudem 0,2 C až do dosažení minimálního napětí článku
 4. Článek či pack je nabit nejdéle do 24 hodin od kroku 3
 5. Článek je teplotně stabilizován v časovém intervalu 1 – 4h
 6. Vybití článku proudem 0,2C

Kritéria přijetí: Kapacita v bodě 3 nesmí být nižší než 85% původní

Kapacita v bodě 6 nesmí být nižší než 90% původní

Vnitřní odpor AC

- Test cílí na zjištění AC vnitřního odporu – pouze pro články
- V případě posloupného testu měření AC a DC odporu je nutno provést mezi měřeními jeden nabíjecí cyklus
- Článek je nabit na **50% SOC** (Vybití článku obvyklým proudem, nabití obvyklým proudem, teplotní stabilizace na pokojovou teplotu, vybití na 50 % SOC)
- Článek je připojen na zdroj AC proudu o $f=1 \text{ kHz} \pm 0,1 \text{ kHz}$ po dobu 1 – 5s
- Oddělení DC složky pomocí C
- Zdrojem je nastaven takový proud, aby vyvolal na vnitřním odporu článku úbytek 20mV ve špičkové hodnotě
- Vnitřní odpor (impedance při 1kHz) je pak dán vztahem: $R_{AC} = U_A / I_A$ [Ω , V, A]
- Napětí a proud se dosazují v efektivních hodnotách RMS
- Kritérium přijetí: Změřený vnitřní odpor by neměl být větší než udaný výrobcem

Vnitřní odpor DC

- Test cílí na zjištění DC vnitřního odporu – test je vhodný jak pro články, tak celé packy
 - V případě posloupného testu měření AC a DC odporu je nutno provést mezi měřeními jeden nabíjecí cyklus
1. Článek či pack je nabit obvyklým způsobem na 100% SOC
 2. Článek či pack je vybíjen proudem dle dále uvedené tabulky po dobu 30s a je zaznamenáno napětí na konci 30s intervalu
 3. Vybíjecí proud je zvýšen dle tabulky na dobu 5s a je zaznamenáno napětí na konci časového intervalu
 4. Výsledný DC vnitřní odpor je pak vypočten jako:
$$R_{DC} = (U_1 - U_2) / (I_2 - I_1) \text{ [}\Omega, \text{ V, A]}$$
 5. Kde: U_1 je napětí článku při I_1 a U_2 je napětí při I_2

Vnitřní odpor DC – podmínky testu

Vybíjecí proud	Typ článku			
	S	E	M	H
I1	1/5n C či více	0,04 C	0,2 C	1 C
I2	1/n či více	0,2 C či více	1 C či více	5 C či více

- Měření všech napětí probíhá přímo na terminálech článku – v místě mimo silové kontakty (eliminace přechodového odporu na silovém kontaktu)

Odolnost v cyklech

- Test cílí na zjištění vlastností článku či packu pro aplikace s cyklickým provozem
- Test ověřuje kapacitu po 500 definovaných cyklech
- Postup testu:
 1. Článek či pack je vybit při pokojové teplotě na minimální napětí dané výrobcem
 2. Při pokojové teplotě je opět nabit obvyklým způsobem daným výrobcem
 3. Článek či pack je vybit konstantním proudem do stavu 0% SOC (0,5 C pro typ E, 1 C pro typ M a H)
 4. Kroky 2 a 3 jsou 500 x opakovány
 5. Po uskutečnění uvedeného počtu cyklů dojde ke změření kapacity dle metodiky „Kapacitní test při pokojové teplotě“
 6. Kritérium přijetí: Kapacita baterie by neměla být po 500 cyklech nižší než 60% z kapacity původní (ČSN EN 62620:2014)

Dielektrická zkouška

- Test cílí na zjištění takového napětí, při kterém dojde k elektrickému průrazu dielektrika
- Ke zkoušce se využívá DC napětí
- Detailní postup měření je uveden v normě IEC 60077-1 a IEC 62497-1

Zkouška samovybíjení

- Účelem této zkoušky je vyhodnotit samovybíjení bateriového systému (**packu**) v podmínkách skladování a přepravy a při instalaci systému na drážních vozidlech před uvedením do provozu
- Postup testu:
 1. Nabití packu či článků na SOC doporučené výrobcem pro skladování (nejčastěji se jedná o hodnotu 50%)
 2. Stabilizace na pokojovou teplotu

3. Nastavení režimu BMS: přeprava či odpojit externí napájení BMS
4. V předem určených intervalech musí být monitorováno SOC (SOC může být vyhodnoceno z SOC-V charakteristiky)
5. Zkouška pokračuje do stanoveného kritéria SOC či doby skladování
6. Kritéria přijetí:
 - SOC po stanoveném čase zkoušky je vyšší než stanovená hodnota výrobcem
 - Čas zkoušky je delší než čas poklesu SOC stanovený výrobcem
 - Míra samovybíjení definovaná následujícím vzorcem je menší než stanovená hodnota

$$r = (x-y)/(b-a)$$

Kde:

r – míra samovybíjení v procentech za den

x, y – změřené SOC v procentech

a, b – časy při SOC x a y ve dnech

Provozní zkouška balancování

- Funkce BMS:
 - Monitoruje napětí každého článku nebo každého bloku článků
 - Monitoruje proud každého bloku článků nebo každé bateriové větve
 - Monitoruje teplotu vybraných článků (zpravidla těch potenciálně nejhůře chlazených)
 - Jsou-li detekovány abnormální provozní parametry, odpojuje nebo odděluje bateriové sady
 - Provádí výpočet SOC
 - Zajišťuje přenos získaných dat mimo bateriový systém
 - Zajišťuje funkci balancování
 - Volitelně řídí podmínky okolního prostředí uvnitř bateriového systému (převážně teplota)
 - V některých případech může být funkcionalita BMS integrována do jiné komponenty (trakční měnič, řídicí systém vozidla, atd)

Provozní zkouška balancování

- Test zjišťuje schopnost balancování článku při provozních podmínkách po dobu nepoužívání (systém je v pohotovostním režimu, ale nedochází k odběru trakčního proudu)
- Zkoušku je možno nahradit simulační analýzou
- Postup testu:
 1. Počáteční SOC dohodnut mezi výrobcem a integrátorem
 2. Teplota okolí 25 °C
 3. Režim BMS – provozní
 4. Test trvá po dohodnutou dobu
 5. Po uplynutí doby zkoušky musí systém vykonat odsouhlasený vybíjecí profil
 6. Kritéria přijetí:
 - Rozbalancování článku musí být v přípustném rozsahu
 - Pokud se v packu nacházejí nevybalancované články, během vybíjecího profilu musí systém zajistit jejich balancování

Zkouška vnějším zkratem

- Test zjišťuje schopnost packu účinné ochrany proti zkratu pomocí stykače, pojistky či jističe. Tyto komponenty musí přerušit či omezit zkratový proud tak, aby nedošlo k poškození packu
- Postup testu:
 1. Teplota okolí 25 °C (na základě dohody mezi výrobcem a integrátorem může být teplota jiná)
 2. Pack musí být nabit na 100% SOC
 3. Všechna ochranná zařízení jsou v provozu
 4. Pack je zkratován spojením kladného a záporného pólu (odpor vodiče není definován – odpor je na dohodě mezi výrobcem a integrátorem) – za účelem testu reakce packu na tvrdý zkrat – reakce pojistek
 5. Nebo je pack zkratován očekávaným odporem např. při poruše trakčního měniče
 6. Kritérium přijetí: Zkouška je úspěšná, pokud ochranná funkce přeruší proud a rozpojí obvod

Souhrnný seznam elektrických zkoušek zkoušek

Typ testu	Předmět zkoušky	
	Typová zkouška	Výrobní kusová
Elektrické zkoušky		
Kapacitní test při pokojové teplotě	C a B	C nebo B
Kapacitní test při nízké teplotě	C	-
Maximální přípustný proud	C	-
Uchování náboje a zotavení	C	-
Vnitřní odpor AC	C	-
Vnitřní odpor DC	C a B	B
Odolnost v cyklech	C	-
Zkoušky systému řízení baterie	B	-
Zkouška výkonnosti	B	-
Odolnost v cyklech (vysoký výkon)	C	-
Dielektrická zkouška	B	B
Zkouška samovybíjení	B	-
Provozní zkouška balancování	B	-

- C – zkouška prováděna na článku
- B – zkouška prováděna na celém packu

Souhrnný seznam mechanických zkoušek

Typ testu	Předmět zkoušky	
	Typová zkouška	Výrobní kusová
Mechanické zkoušky		
Fyzické provedení	B	B
Měření hmotnosti	B	-
Zkouška rázy a vibracemi	B	-
Zkouška stupně ochrany krytem	B	-

Souhrnný seznam zkoušek bezpečnosti

Typ testu	Předmět zkoušky	
	Typová zkouška	Výrobní kusová
Zkoušky bezpečnosti		
Zkouška vnějším zkratem	C	-
Zkouška nárazem	C	-
Zkouška pádem	C a B	-
Zkouška tepelným namáháním	C	-
Zkouška přebíjením	C	-
Zkouška nuceným vybíjením	C	-
Zkouška vnitřního zkratu	C	-
Zkouška šíření poruchy vlivem vnitřního zkratu	B	-

Souhrnný seznam zkoušek funkční bezpečnosti

Typ testu	Předmět zkoušky	
	Typová zkouška	Výrobní kusová
Zkoušky funkční bezpečnosti		
Řízení napětí s ohledem na přebíjení	B	-
Řízení proudu s ohledem na přebíjení	B	-
Kontrola přehřátí	B	-

Souhrnný seznam ostatních zkoušek pro drážní vozidla

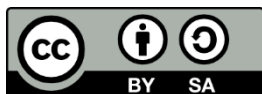
Typ testu	Předmět zkoušky	
	Typová zkouška	Výrobní kusová
Zvláštní zkoušky pro drážní vozidla		
Bezpečnostní značky	B	-
Kombinovaná zkouška – zkouška vnějším zkratem	B	-
Zkouška komponent	B nebo C	-
Systém odpojení	B	-
Protipožární ochrana	B	-
Zkouška EMC	B	-

Děkuji za pozornost !



Vytvořeno v rámci projektu **Green Deal UPCE**, reg. č. NPO_UPCE_MSMT-2142/2024-4.

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY-SA 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU

Kurz celoživotního vzdělávání
**Elektrotechnické systémy
pro environmentálně příznivou dopravu**

Předmět

Trakční soustavy elektrických vozidel a
infrastruktury, jejich zkoušení
a schvalování

Studijní materiál

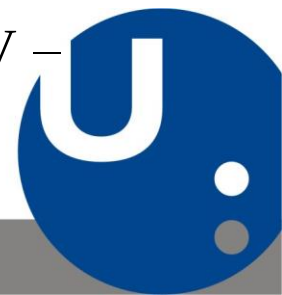
**Testování trakčních Li-ion článků a packů
Silniční vozidla**

Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D.



Přehled současně platné normalizace

- ČSN EN IEC 62660 – 1: Lithium-ion akumulátorové články pro pohon elektrických silničních vozidel – Zkoušky funkčních vlastností
- ČSN EN IEC 62660 – 2: Lithium-ion akumulátorové články pro pohon elektrických silničních vozidel – Zkoušky spolehlivosti a zkoušky při nesprávném použití
- ČSN EN IEC 62660 – 3: Lithium-ion akumulátorové články pro pohon elektrických silničních vozidel – Bezpečnostní požadavky
- ČSN EN IEC 63057: Akumulátorové články a baterie obsahující alkalické nebo jiné nekyselé elektrolyty – Bezpečnostní požadavky pro akumulátorové lithiové baterie pro použití v silničních vozidlech kromě pohonu
- ČSN EN 50604 – 1: Akumulátorové lithiové baterie pro lehká EV – Obecné bezpečnostní požadavky a metody zkoušek



Přehled současně platné normalizace

- ČSN EN 45545-2 Drážní aplikace - Protipožární ochrana drážních vozidel - Část 2: Požadavky na požární vlastnosti materiálů a součástí
- ČSN EN 61434: Akumulátorové články a baterie obsahující alkalické nebo jiné nekyselé elektrolyty – Pokyny pro značení proudu v normách pro alkalické akumulátorové články a baterie
- ČSN EN IEC 62928 - Drážní zařízení - Drážní vozidla - Palubní lithium-ion trakční baterie



Rozdělení zkoušek

- **Zkoušky Li-ion článků pro pohon silničních vozidel** (články pro výrobu packů o napětí větším než 60 V DC a menším než 1500 V DC, jedná se o packy pro **BEV(EV)**, HEV a PHEV)
- **Zkoušky Li-ion článků a baterií pro silniční vozidla nevyužívající se k pohonu** – jedná se o baterie o maximálním napětím 60 V DC (Baterie pro startování SM, osvětlení, pomocná zařízení a absorpce rekuperované energie – potenciální využití v systémech micro hybrid, mild hybrid)
- **Zkoušky Li-ion článků a baterií pro lehká EV** – systémy do 60 V DC, motocykly, skútry, elektrokola, a podobné.
- **Zkoušky trakčních Li-ion baterií pro kolejová vozidla**



Terminologie a zkratky

- **Napět'ová třída A** – klasifikace elektrické součásti nebo obvodu s maximálním pracovním napětím do 30 V AC (efektivní hodnota) nebo maximálním napětím 60 V DC
- **Napět'ová třída B** - klasifikace elektrické součásti nebo obvodu s pracovním napětím >30 V AC a ≤ 1000 V AC nebo >60 V DC a ≤ 1500 V DC
- **DUT** – zkoušené zařízení (device under test)
- **Izolační odpor** – odpor mezi živými částmi systému a kostrou vozidla
- **RESS** - bateriový systém (rechargeable energy storage system)
- **SOC** – stupeň nabití (state of charge)
- **DOD** – hloubka vybití (depth of discharge)



Terminologie a zkratky

- **Pokojová teplota** – teplota $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$
- **VCU** – jednotka napět'ového měniče (voltage converter unit)



Zkoušky Li-ion článků pro pohon silničních vozidel

- **Zkoušky funkčních vlastností – normalizované zkušební postupy a podmínky pro zkoušení základních funkčních charakteristik Li-ion článků. Slouží pro získání klíčových údajů o článcích vhodných pro návrh bateriových systémů.**
 - Mechanické parametry
 - Elektrické parametry
- **Zkoušky spolehlivosti a zkoušky při nesprávném použití – podmínky zkoušek v případě nestandardního použití**
 - Mechanické testy
 - Tepelné testy
 - Elektrické testy

Pozn: Články pro HEV, PHEV a EV mohou být zkoušeny dle stejných metodik. Zákazník může požadovat pro jednotlivé aplikace různý rozsah a typy zkoušek

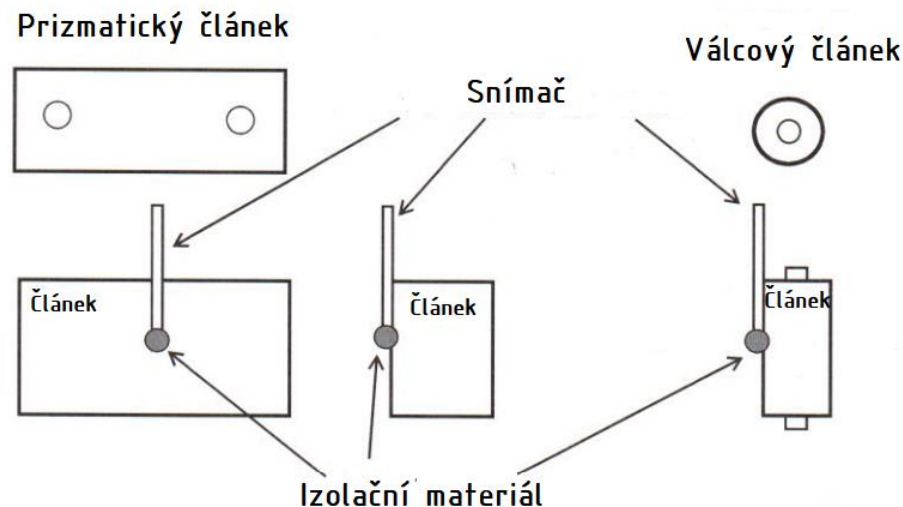


Zkoušky funkčních vlastností a zkoušky spolehlivosti – společné podmínky

- Měření napětí – vnitřní odpor voltmetru alespoň $1 \text{ M}\Omega/\text{V}$, není stanoven konkrétní typ měřicího přístroje
- Měření proudu – sestava ampérmetru a bočníku s třídou přesnosti alespoň 0,5 (Třída přesnosti – maximální relativní chyba měřicího přístroje v nejvyšší hodnotě měřicího rozsahu, $T = (\text{absolutní chyba} / \text{maximální rozsah}) \times 100$), není stanoven konkrétní typ měřicího přístroje
- Teplotní stabilizace – Před každou zkouškou musí být teplota ustálená na zkušební teplotu – minimální doba ustálení je 12h. Pokud nedojde ke změně teploty vyšší než 1 K za hodinu, považuje se stav za ustálený a dobu stabilizace je možno zkrátit
- Pokud není stanoveno jinak, testování článku probíhá při pokojové teplotě



- Měření teploty – není stanoven konkrétní typ čidla, umístění teplotního čidla musí odpovídat uvedenému nákresu



Tolerance měřených veličin obecně:

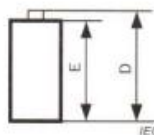
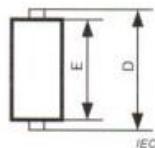
- Napětí $\pm 0,1 \%$
- Proud $\pm 1 \%$
- Teplota $\pm 2 \text{ K}$
- Čas $\pm 0,1 \%$
- Hmotnost $\pm 0,1 \%$
- Rozměry $\pm 0,1 \%$



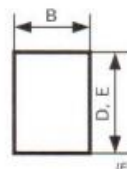
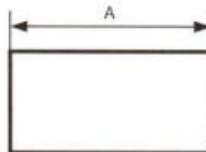
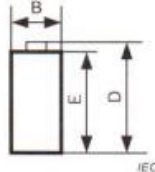
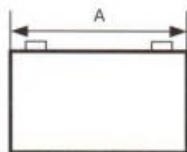
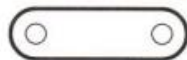
Zkoušky funkčních vlastností – mechanické parametry



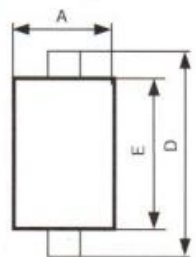
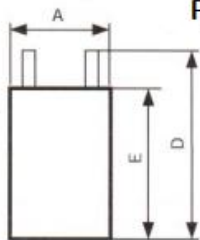
Válcový článek



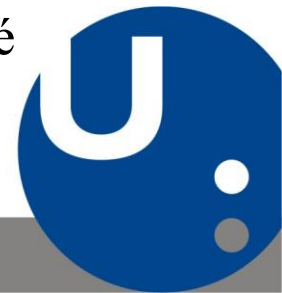
Prizmatický článek



Pytlíkový článek



- **Rozměry** – rozměry představuje celková výška, šířka, hloubka (se zohledněním připojovacích svorek). Měření probíhá při pokojové teplotě.
- **Hmotnost a objem** – objem článku je dán rozměry bez započítaných svorek. Měření hmotnosti probíhá při pokojové teplotě.



Zkoušky funkčních vlastností – elektrické parametry

- **Kapacita**

Měření kapacity probíhá v několika fázích.

1. Nejprve je článěk vybit při konkrétní teplotě ze základního stavu SOC konstantním proudem z níže uvedené tabulky na minimální provozní napětí:

Teplota článku	Vybíjecí proud	
	BEV	HEV
0 °C	1/3 C	1 C
25 °C		
45 °C		



2. Nabití článku dle specifik výrobce (nabíjecí napětí, nabíjecí proud) při předem dané teplotě
3. Následuje teplotní stabilizace dle již popsaných podmínek
4. Vybití článku dle **tabulky uvedené na předchozím snímku** – vzhledem k rozličným potřebám zákazníka je možno stanovit podmínky odlišné
5. Během testu se měří čas, po který dochází k vybíjení článku z maximálního napětí na minimální
6. Výsledná kapacita je pak dána vztahem:
7. $C = I_{vybíjecí} \cdot t_{vybíjení} [Ah; A; h]$



- **Výkon**

1. Měření rozměrů a hmotnosti dle již zmíněné metodiky
2. Stabilizace SOC

K měření výkonu dochází při různých stavech SOC. Pro potřeby měření je třeba stabilizovat SOC dle níže uvedené metodiky:

- Vybití článku na minimální napětí při stanovené teplotě proudem 1C pro HEV a 1/3C pro BEV
- Nabití článku způsobem jenž deklaruje výrobce, při stanovené teplotě
- Vybíjení proudem 1C pro HEV a 1/3C pro BEV po dobu:
 - $t_{vyb_BEV} = 3 \cdot (100 - SOC)/100$ [h;%]
 - $t_{vyb_HEV} = 1 \cdot (100 - SOC)/100$ [h;%]

3. Teplotní stabilizace



Podmínky teplotní a SOC stabilizace sumarizuje uvedená tabulka

SOC [%]	Teplota [°C]			
20	25			
50	-20	0	25	40
80	25			

4. Napěťově proudové charakteristiky

Následuje vybíjení pulzem o délce 10 s maximálním proudem, který dovoluje výrobce článku. Bezprostředně po testu se měří napětí článku.

Stejný postup se aplikuje pro případ zjištění nabíjecího výkonu. Článek se nabíjí maximálním proudem dovoleným výrobcem po dobu 10 s, měří se napětí článku bezprostředně po dokončení testu.



Na základě měření lze spočítat níže uvedené veličiny (**vybíjecí pulz**):

Maximální výkon:

$$P_d = U_d \cdot I_{dmax}$$

(Výkon [W], Napětí na konci pulzu [V], Maximální proud daný výrobcem [A])

Hmotnostní výkonová hustota:

$$\rho_{pd} = \frac{P_d}{m} \text{ (Výkonová hustota } \left[\frac{W}{kg} \right], \text{ Výkon [W], Hmotnost [kg])}$$

Objemová výkonová hustota:

$$\rho_{pvlm} = \frac{P_d}{V} \text{ (Výkonová hustota } \left[\frac{W}{l} \right], \text{ Výkon [W], Objem [l])}$$



Na základě měření lze spočítat níže uvedené veličiny (**nabíjecí pulz**):

Výsledky charakterizují články z pohledu schopnosti absorbovat rekuperovaný výkon. V nabíjecím režimu nejsou články zatěžovány tak vysokým pulzním proudem.

Špičkový nabíjecí výkon (regenerative power):

$$P_c = U_c \cdot I_{cmax}$$

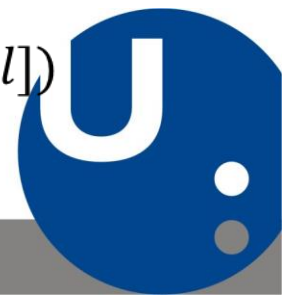
(Výkon [W], Napětí na konci pulzu [V], Maximální proud daný výrobcem [A])

Hmotnostní výkonová hustota:

$$\rho_{pc} = \frac{P_c}{m} \text{ (Výkonová hustota } \left[\frac{W}{kg} \right], \text{ Výkon [W], Hmotnost [kg])}$$

Objemová výkonová hustota:

$$\rho_{pvlmc} = \frac{P_c}{V} \text{ (Výkonová hustota } \left[\frac{W}{l} \right], \text{ Výkon [W], Objem [l])}$$



- **Energie a energetická hustota**

Měření energetické hustoty probíhá v několika fázích.

1. Nejprve jsou změřeny rozměry a hmotnost měřeného článku
2. Změření kapacity článku v Ah
3. Výpočet střední hodnoty napětí

K výpočtu se využívá uvedeného vztahu:

$$U_{avr} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n}$$

Kde: $U_{1..n}$ – napětí článku měřené v 5 s intervalech při konstantním vybíjecím proudu, za současného dodržení provozního napětového rozsahu článku



Energie článku:

$$W_{ed} = C_d \cdot U_{avr}$$

(Energie [Wh], Kapacita [Ah], Střední hodnota napětí [V])

Hmotnostní hustota energie:

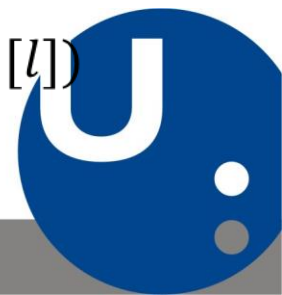
$$\rho_{ed} = \frac{W_{ed}}{m}$$

(Hmotnostní hustota energie $\left[\frac{Wh}{kg}\right]$, Energie článku [Wh], Hmotnost [kg])

Objemová hustota energie:

$$\rho_{evlmd} = \frac{W_{ed}}{V}$$

(Objemová hustota energie $\left[\frac{Wh}{l}\right]$, Energie článku [Wh], Objem [l])



- **Test uskladnění**

Výsledky testu definují vlastnosti článku z pohledu schopnosti uchování kapacity po delší dobu uskladnění či transportu. Test se skládá ze dvou částí – z testu samovybíjení a testu degradace vybraných parametrů.

Test samovybíjení:

Postup testu:

1. Článek je nabit na stupeň nabití SOC 50 % postupem stejným jako pro případ měření výkonu (stabilizace SOC, stabilizace teploty pouze 1 h)
2. Článek je vybit proudem 1/3 C pro BEV a 1C pro HEV do SOC 0 % - změří se kapacita (C_b)
3. Článek je nabit na SOC 50 % stejně jako v bodě 1
4. Článek je ponechán 28 dní při teplotě 45 °C
5. Následuje vybití článku stejným způsobem jako v bodě 2, změří se kapacita (C_r)
6. Míra samovybíjení se spočítá dle:

$$R = \frac{C_r}{C_b} \cdot 100$$

(Míra samovybíjení [%], Kapacita před a po uskladnění [Ah])



Test degradace vybraných parametrů článku

Postup testu:

1. Nejprve je nutno změřit parametry článku dle již popsaných metodik: Kapacita, výkonová hustota pro nabíjecí a vybíjecí proces
2. Dále je článek nabit na stupeň nabití SOC 100% pro BEV a 50% pro HEV dle již popsaného postupu (kapacita pro BEV je měřena při 100% SOC, pro HEV 50% SOC)
3. Článek je ponechán 42 dní při teplotě okolí 45 °C
4. Článek je vybíjen proudem 1/3 C pro BEV a 1 C pro HEV – zjištění kapacity
5. V dalších bezprostředních cyklech se měří výkonová hustota pro nabíjecí a vybíjecí proces
6. Body 2 – 5 se opakují 4 x
7. Výsledky se neprůměrují, reportují se jako souhrn dat ze všech měření



- **Test cyklováním**

Test cílí na zjištění degradace vybraných parametrů v závislosti na nabíjecích a vybíjecích cyklech, reprezentujících normální pracovní režim článků ve vozidle.

V případě testování se rozlišují cyklické testy pro BEV a HEV

- **Test cyklováním - BEV**

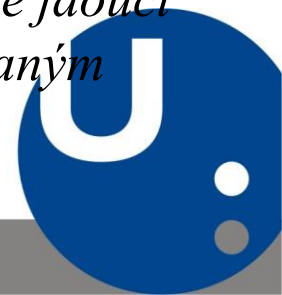
Před započnutím cyklického testování je třeba změřit kapacitu článku, výkon a dynamickou vybíjecí kapacitu.

Kapacita je měřena již uvedeným způsobem při teplotě 25 °C.

Výkon je měřen již uvedeným způsobem při teplotě 25 °C a 50 % SOC

Dynamická kapacita C_D je měřena při teplotě 25 °C a 45 °C

Dynamická kapacita je definována jako kapacita při nekonstantním vybíjecím proudu. Článek se periodicky vybíjí profilem, jenž reprezentuje po sobě jdoucí nabíjecí a vybíjecí intervaly. Vybíjení probíhá v napěťovém rozsahu daným výrobcem. Vybíjecí profil bude uveden na následujících snímcích.



Postup testu:

1. Článek je plně vybit proudem $1/3 C$
2. Článek je plně nabit doporučeným způsobem od výrobce. Nabíjecí čas nesmí být delší než 12 h
3. Článek je vybit pomocí dynamického vybíjecího profilu a následně změřeny parametry – detailní popis procedury v ČSN en 62660-1.
4. Každých 28 dní reporty parametrů
5. Celková délka měření je buď 6 měsíců či tak dlouho, dokud výkon, kapacita článku či dynamická kapacita neklesne pod 80% výchozí hodnoty. Dalším omezujícím parametrem je teplota – pokud dojde během měření ke zvýšení teploty nad mez stanovenou výrobcem, měření se ukončí.



Tabelizovaný dynamický
vybíjecí profil:

Krok	Délka [s]	Výkon [%]	Režim
1	16	0	-
2	28	12,5	vyb
3	12	25	vyb
4	8	-12,5	nab
5	16	0	-
6	24	12,5	vyb
7	12	25	vyb
8	8	-12,5	nab
9	16	0	-
10	24	12,5	vyb
11	12	25	vyb
12	8	-12,5	nab
13	16	0	-
14	36	12,5	vyb
15	8	100	vyb
16	24	62,5	vyb
17	8	-25	nab
18	32	25	vyb
19	8	-50	nab
20	44	0	

- **Test cyklováním - HEV**

Před započnutím cyklického testování je třeba změřit kapacitu článku a výkon – není potřeba dynamická kapacita.

Kapacita je měřena již uvedeným způsobem při teplotě 25 °C.

Výkon je měřen již uvedeným způsobem při teplotě 25 °C a 50 % SOC

Měření probíhá při teplotě okolí 45 °C a dobitím článku na 80% SOC dle specifických dynamických profilů.

Výkon je měřen každých 7 dní, kapacita každých 14 dní.

Celková délka měření je buď 6 měsíců či tak dlouho, dokud výkon či kapacita článku neklesne pod 80% výchozí hodnoty.



Zkoušky spolehlivosti a zkoušky při nesprávném použití

Podmínky zkoušek Li-ion článků a baterií pro pohon silničních vozidel (BEV, HEV). Normalizované postupy pro zjištění spolehlivosti článků a jejich chování při nesprávném použití.

- Mechanické testy
 - Vibrace
 - Mechanický šok
 - Stlačení
- Teplotní testy
 - Testy při vysoké teplotě
 - Testy cyklické
- Elektrické testy
 - Externí zkrat
 - Přebití
 - Hluboké vybití



Mechanické testy - vibrace

Test cílí na zjištění vlastností článku vystaveného vibracím – cílovou aplikaci (vozidlo) lze označit jako silný zdroj vibrací.

Postup testu:

1. Nabití článku na SOC 100% pro BEV, SOC 80 % pro HEV
2. Vystavení článku náhodným vibracím ve frekvenčním pásmu 10 Hz – 2 kHz po dobu 8 h. Velikost akcelerace vibrací $27,8 \text{ m/s}^2$.



Spektrum výkonové hustoty kmitů (PSD – power spectrum density) v tabulkové a grafické podobě:

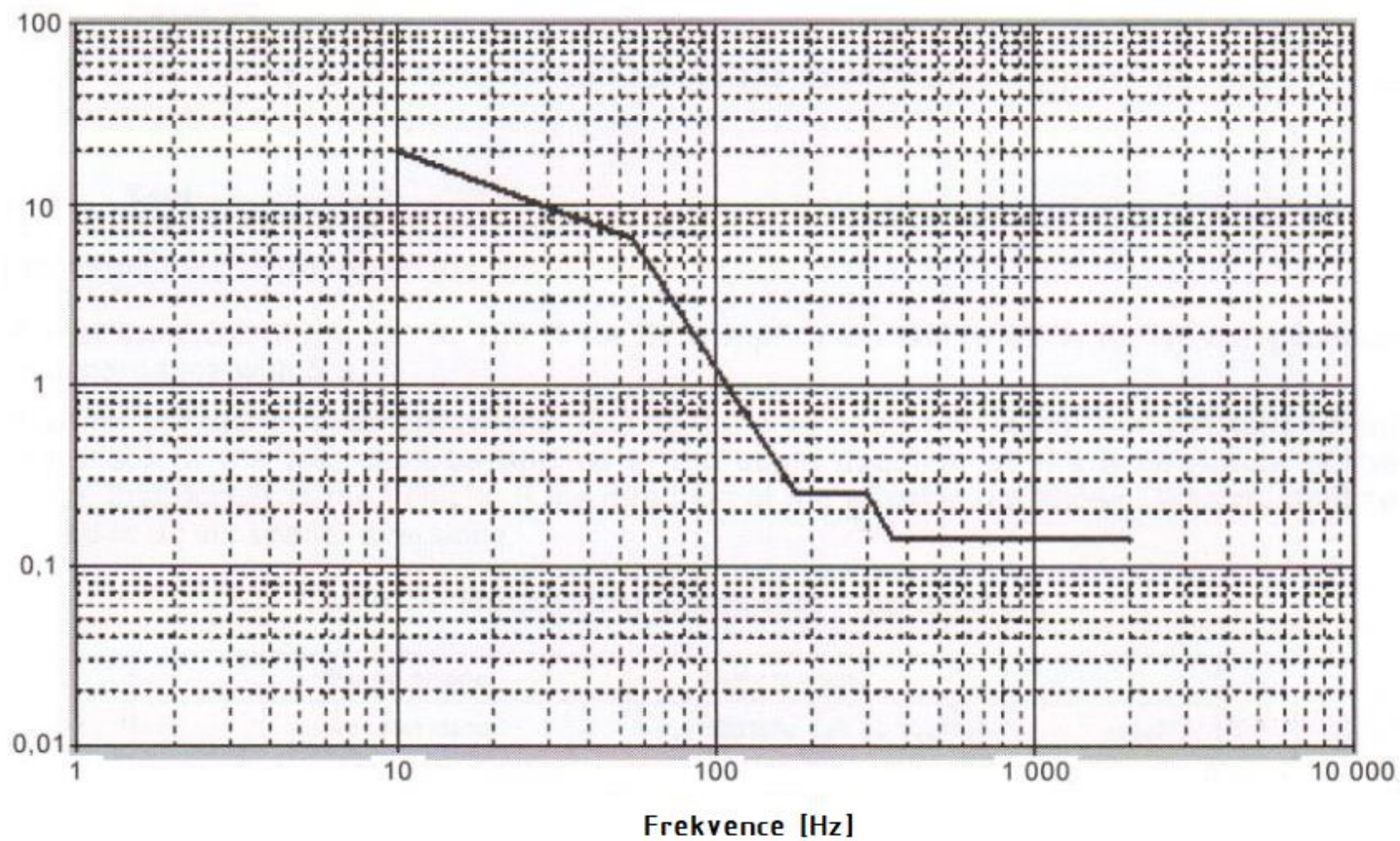
Frekvence [Hz]	PSD [(m/s ²) ² /Hz]
10	20
55	6,5
180	0,25
300	0,25
360	0,14
1000	0,14
2000	0,14

Výsledky testu: Vyhodnocuje se napětí a kapacita před a po testu.
Vyhodnocuje se stav dle dále uvedené tabulky.



Stav	Definice stavu
Bez projevu	Žádný projev změny vzhledu.
Uvolnění tlaku	Únik tekutého elektrolytu z ventilu za současného úniku viditelné mlhy.
Tečení	Viditelný únik tekutého elektrolytu z článku (mimo ventil) – z krytu, z těsnění terminálu.
Kouření	Uvolnění kouře s možnými sazemi
Prasknutí	Mechanické poškození kontejneru vyústující v odhalení aktivní hmoty, ne však k vymrštění
Oheň	Emise plamenů z článku po dobu delší než 1 s
Exploze	Poškození, projevující se okamžitým otevřením kontejneru článku za současné emise aktivní hmoty a kontejneru do okolí.

PSD $[(m/s^2)^2/Hz]$



Mechanické testy - šok

Test cílí na zjištění reakce článku na mechanický šok. Mechanický šok můžeme charakterizovat jako impulz o vysoké intenzitě.

Postup testu:

1. Nabití článku na SOC 100% pro BEV, SOC 80 % pro HEV
2. Vystavení článku mechanickému šoku ve směru, který připadá v aplikaci k úvahu. Pokud není tento směr dán, test probíhá v šesti směrech (levý, pravý, přední, zadní, horní, spodní). Velikost akcelerace 500 m/s^2 , délka impulzu 6 ms, 10 impulzů v jednom směru.
3. Výsledek testu: Kapacita a napětí před a po testu. Vyhodnocuje se stav dle tabulky z předchozího snímku.



Mechanické testy – stlačení, drcení

Test cílí na zjištění reakce článku na stlačení a následnou deformaci těla článku.

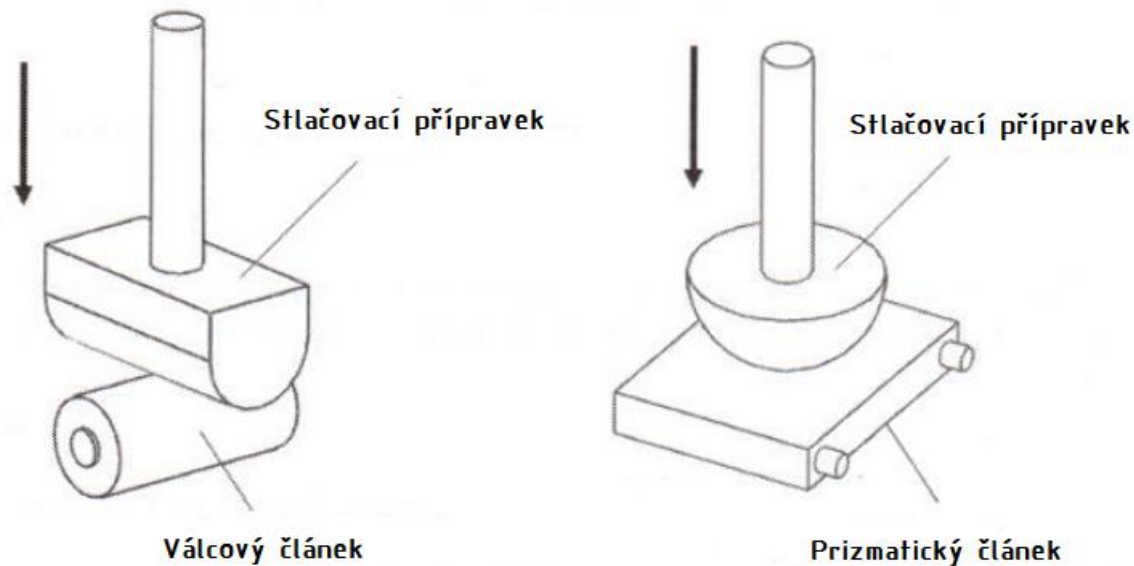
Postup testu:

1. Nabití článku na SOC 100% pro BEV, SOC 80 % pro HEV
2. Umístění článku na izolační podložku
3. Stlačování článku přípravkem s kulovitým ($d=150$ mm) či polokulovitým povrchem. Doporučuje se použít polokulovitý přípravek pro test válcových článků (např. 18650, Cylindrical cell) a kulovitý pro krabicové články (Prismatic cell)
4. Tlačná síla je aplikována kolmo na stranu s největším povrchem
5. Tlačná síla se zvyšuje do doby, kdy napětí článku poklesne o $1/3$ z výchozí hodnoty, dojde k deformaci o 15% či síla odpovídá účinku 1000 násobku hmotnosti článku.



6. Výsledky testu: Druh přípravku, rychlost stlačování, napětí během testu, teplota článku během testu, stav dle tabulky shodné pro všechny mechanické testy.

Příklad testu stlačením



Teplotní testy – test při vysoké teplotě

Test cílí na zjištění reakce článku na umístění v prostředí s vysokou teplotou.

Postup testu:

1. Nabití článku na SOC 100% pro BEV, SOC 80 % pro HEV
2. Článek je umístěn do pece se strmostí nárůstu teploty 5 K/min, přičemž limitní teplota činí 130 °C. Doba testu – 30 min.
3. Výsledky testu: Stav dle tabulky shodné pro všechny mechanické testy
4. Během testu se doporučuje měřit napětí článku



Teplotní testy – cyklické

Cílem testu je zjištění teplotní odolnosti článku, při cyklických změnách.

Postup testu:

1. Nabití článku na SOC 100% pro BEV, SOC 80 % pro HEV
2. Pracovní teplota článku se mění v rozmezí -40°C – 85°C (nebo je stanoveno výrobcem jinak) dle harmonogramu tepelného cyklování z tabulky na dalším snímku. Celkový počet cyklů je 30.
3. Výsledky testu: Měří se kapacita a napětí na začátku a konci testu. Napětí článku a teplota by měla být monitorována po celý běh testovacího procesu. Stav dle tabulky shodné pro všechny mechanické testy.



Tabelizovaný harmonogram teplotních testů:

Souhrnný čas [min]	Teplota [°C]
0	20
60	min
150	min
210	20
300	max
410	max
480	20



Elektrické testy - zkrat

Test cílí na zjištění vlastností článku v případě externího zkratu.

Postup testu:

1. Nabití článku na SOC 100% pro BEV i HEV
2. Teplota článku stabilizována na pokojovou teplotu
3. Článek je zkratován po dobu 10 min
4. Maximální odpor zkratovacího vodiče $5 \text{ m}\Omega$
5. Výsledek testu: napětí článku během testu, proud článku, teplota článku, hodnota odporu zkratovacího vodiče, stav dle tabulky shodné pro všechny mechanické testy



Elektrické testy - přebití

Test cílí na zjištění vlastností článku v případě přebíjení – neukončení nabíjecího procesu a překročení nabíjecího napětí (například 4,2V).

Postup testu:

1. Nabití článku na SOC 100% pro BEV i HEV
2. Teplota článku stabilizována na pokojovou teplotu
3. Článek je nabíjen obvyklým proudem (dle katalogového listu)
4. Test je ukončen, pokud napětí dosáhne hodnoty domluvené mezi výrobcem a zákazníkem či pokud se článek poškodí
5. Výsledek testu: napětí článku během testu, proud článku, teplota článku, stav dle tabulky shodné pro všechny mechanické testy



Elektrické testy – hluboké vybití

Test cílí na zjištění vlastností článku v případě vybití pod stanovenou mez určenou výrobcem (typicky 2,7 V)

Postup testu:

1. Nabití článku na SOC 0% pro BEV i HEV
2. Pokračuje vybíjení proudem 1C po dobu 90 minut při pokojové teplotě
3. Výsledek testu: napětí článku během testu, proud článku, teplota článku, stav dle tabulky shodné pro všechny mechanické testy

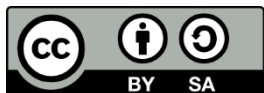


Děkuji za pozornost !



Vytvořeno v rámci projektu **Green Deal UPCE**, reg. č. NPO_UPCE_MSMT-2142/2024-4.

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY-SA 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU

Kurz celoživotního vzdělávání
**Elektrotechnické systémy
pro environmentálně příznivou dopravu**

Předmět

Trakční soustavy elektrických vozidel a
infrastruktury, jejich zkoušení
a schvalování

Studijní materiál

**Zkoušky trakčních vodičů, bezpečnost
elektrických vozidel**

Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D.



Manipulace s Li-ion články

- Lithiové baterie – nebezpečné materiály pro přepravu
- Přeprava za přísného dodržování mezinárodních a národních předpisů pro přepravu nebezpečných materiálů
- UN 3480 – lithium-ion battery, Class 9, VG II.
- Leteckou přepravu upravují předpisy ICAO (mezinárodní org. pro civilní letectví) a IATA DGR (Mezinárodní sdružení leteckých přepravců)

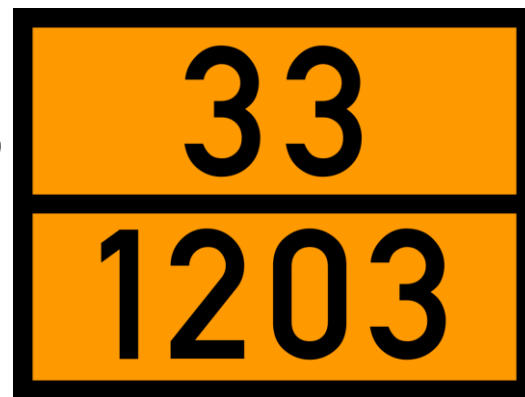


Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí - ADR

- Třídy materiálů – Kemlerův kód
- Jedná se o kód značící nebezpečnost nebezpečné látky pro potřeby přepravy dle dohody ADR
- Třídy:
 - 2 – Plynná látka
 - 3 – Hořlavá kapalina
 - 4 – Hořlavá pevná látka
 - 5 – Látka podporující hoření
 - 6 – Jedovatá látka
 - 7 – Radioaktivní látka
 - 8 – Žíravina
 - 9 – Látka způsobující samovolnou reakci (nebezpeční prudké reakce)
 - 0 – Bez významu

Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí - ADR

- Minimálně dvě číslice (doplnění nulou), zdvojení číslice = vyšší intenzita
- Výstražná tabulka
 - Kemlerův kód – číslo nebezpečnosti (třída 9)
 - UN kód – identifikační číslo látky



Hašení požáru

- Pro vznik ohně (požáru) musí být splněny tři podmínky – musí být co zapálit, musí být přítomen oxidační prostředek a iniciační zdroj. Chybí-li jedna z komponent, oheň nevznikne.
- Trojúhelník hoření:



- Li-ion články:
- Palivo – Li, C, plasty a jiné
- Zdroj tepla – poškození elektrod, přebíjení
- Po porušení obalu možnost vznícení
- Video

Jak hasit Li-ion články?

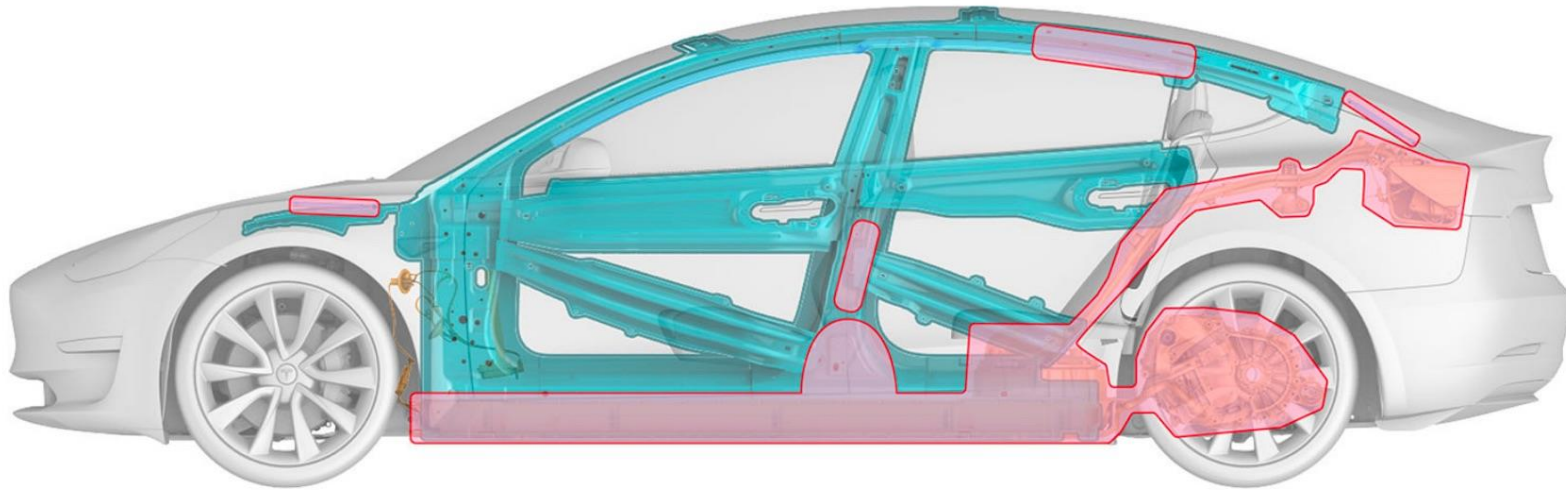
Použité médium	Chlazení požáru	Hašení	Výsledek akce	Manipulace s médiem	Dostupnost	Výhody	Nevýhody
VODA	Velmi dobré	Dobré	Hašení a chlazení	Dobrá	Velmi Dobrá	Prevence teplotní řetězové reakce – ochránění OK článků	
PRÁŠEK	Střední	Dobré	Možnost doutnání	Dobrá	Dobrá		Doutnání může kdykoli přejít v oheň
CO ₂	Špatné	Špatné	Špatný	Střední	Dobrá		CO ₂ unáší vítr, vhodné do uzavřených prostor

Postup hašení vozidla

- Odpojení baterie od zbytku vozidla – provádí hasiči (uvedení do beznapěťového stavu)
- Hašení vodou – chlazení packu
- Ve vodě mohou být přidány další látky
- Hašení konvenčního vozidla svépomocí? Omezeně ANO
- Hašení elektromobilu svépomocí? **NE**

NO-CUT ZONES

Model 3 has areas that are defined as "no-cut zones" due to the presence of high voltage, gas struts, SRS components, or other hazards. Never cut or crush in these areas. Doing so could result in serious injury or death. The "no-cut zones" are shown in pink.



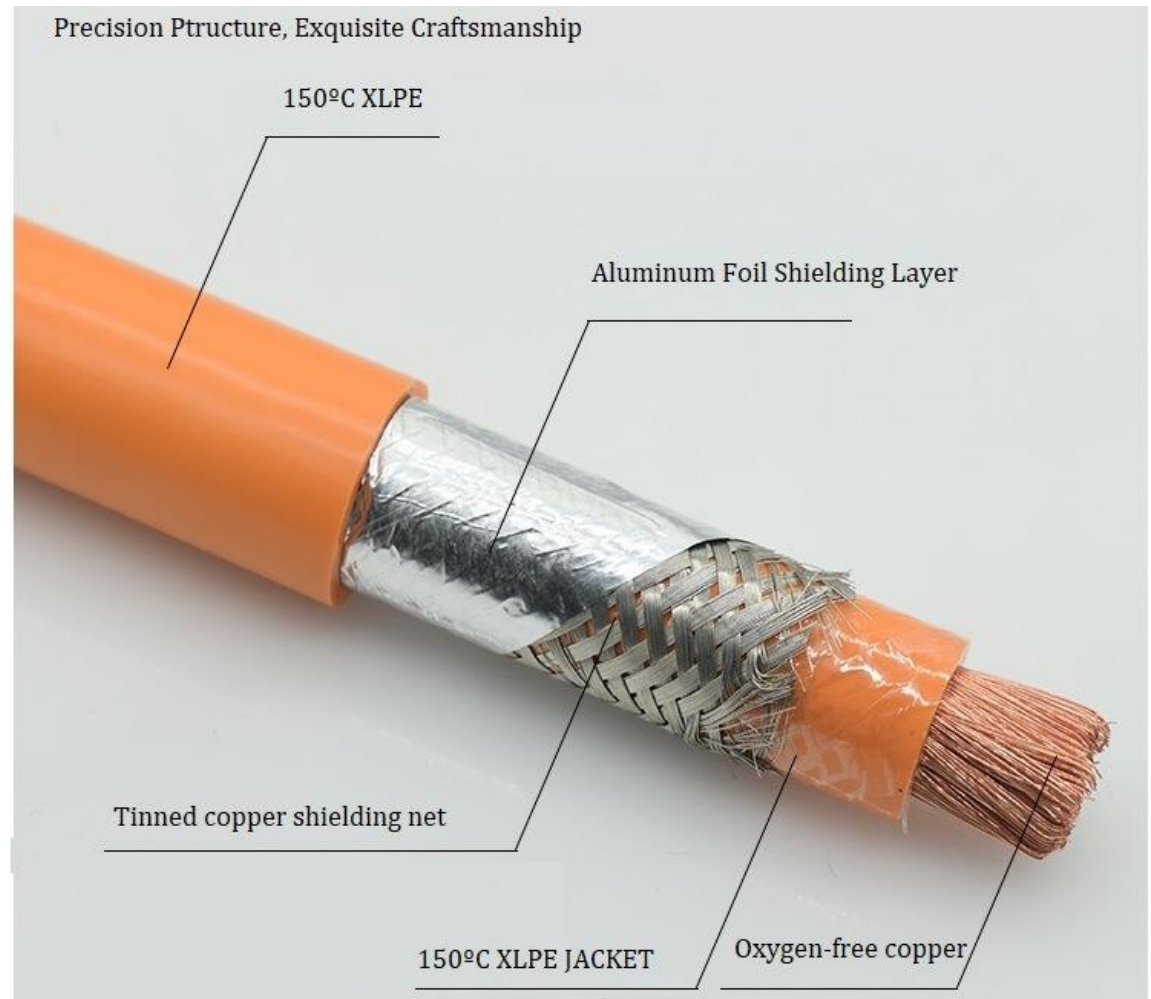
- ▲ **Warning:** Always use appropriate tools, such as a hydraulic cutter, and always wear appropriate PPE when cutting Model 3. Failure to follow these instructions can result in serious injury or death.
- ▲ **Warning:** Regardless of the disabling procedure you use, ALWAYS ASSUME THAT ALL HIGH VOLTAGE COMPONENTS ARE ENERGIZED! Cutting, crushing, or touching high voltage components can result in serious injury or death.

Vodiče

- HV kabely se zabývá norma ISO 6722 - Road vehicles — 60 V and 600 V single-core cables — Part 1: Dimensions, test methods and requirements for copper conductor cables
- Norma popisuje požadavky a testovací procedury vodičů používaných v EV
- Nejdůležitější uživatelská znalost – HV kabely – **oranžové značení**

Vrstvy HV vodiče

- Izolace XLPE -
zesíťený polyethylen
– krátkodobá
odolnost 150 °C
- XLFE -
fluoroelastomer
odolnost 200 °C



Testování trakčních kabelů

- Dle ISO 6722
- Chování za nízkých teplot
 - Ohýbání
 - Údery a rázy
- Odolnost proti otěru
 - Otěr brusným plátnem
 - Vzájemný otěr, mačkání vodičů mezi sebou
- Chování za zvýšených teplot
 - 240h, 3000h
 - Přetěžování proudem
 - Tepelné deformace
- Chemická odolnost
 - Olej, benzín, nafta, provozní kapaliny, ozon, vlhkost

Typické velikosti trakčních kabelů

- Vodič 50 mm²
 - Vnější průměr 12,9 mm
 - Vnitřní průměr 8 mm
- Vodič 70 mm²
 - Vnější průměr 14,9 mm
 - Vnitřní průměr 9,4 mm
- Vodič 100 mm²
 - Vnější průměr 17 mm
 - Vnitřní průměr 11,3 mm
- Vodič 170 mm²
 - Vnější průměr 21 mm
 - Vnitřní průměr 14,7 mm
- Přibližné ceny (Aliexpress 2022):
 - 50 mm² – 1000 Kč/m
 - 70 mm² – 1250 Kč/m

Izolační stav vozidla a jeho hlídání během provozu a nabíjení

- Izolovaná HV soustava vozidla
- Nutnost hlídání izolačního stavu mezi živými a neživými částmi – hlídač izolačního stavu – IMD (insulation monitoring device)
- Důvod: prevence zranění, škod a zvýšení spolehlivosti zařízení
- Hodnota izolačního odporu – indikátor stavu el. instalace
- Během provozu a nabíjení vozidla existují 3 režimy:
 1. Nabíjení AC
 2. Nabíjení DC
 3. Provoz vozidla na silnici či parkování

Nabíjení a provoz vozidla obecně

- HV systém je ve vozidle trvale monitorován palubním zařízením pro sledování hodnoty izolačního stavu (vyjma režimu DC nabíjení)
- Výskyt poruchy se signalizuje, např. hláškou „Porucha izolace“
- V případě porušení izolačního stavu (první porucha) nehrozí bezprostřední nebezpečí pro řidiče, ale závadu je nutno odstranit jakmile je to možné (tímto se minimalizuje riziko provozu vozidla v případě výskytu druhé poruchy, například na jiném vodiči)
- Ochranná opatření pro elektrické instalace popisuje norma ČSN EN 33 2000-4-41 Ed.2
- Ochranná opatření pro vozidla definuje norma ISO 6469-3:2011-05

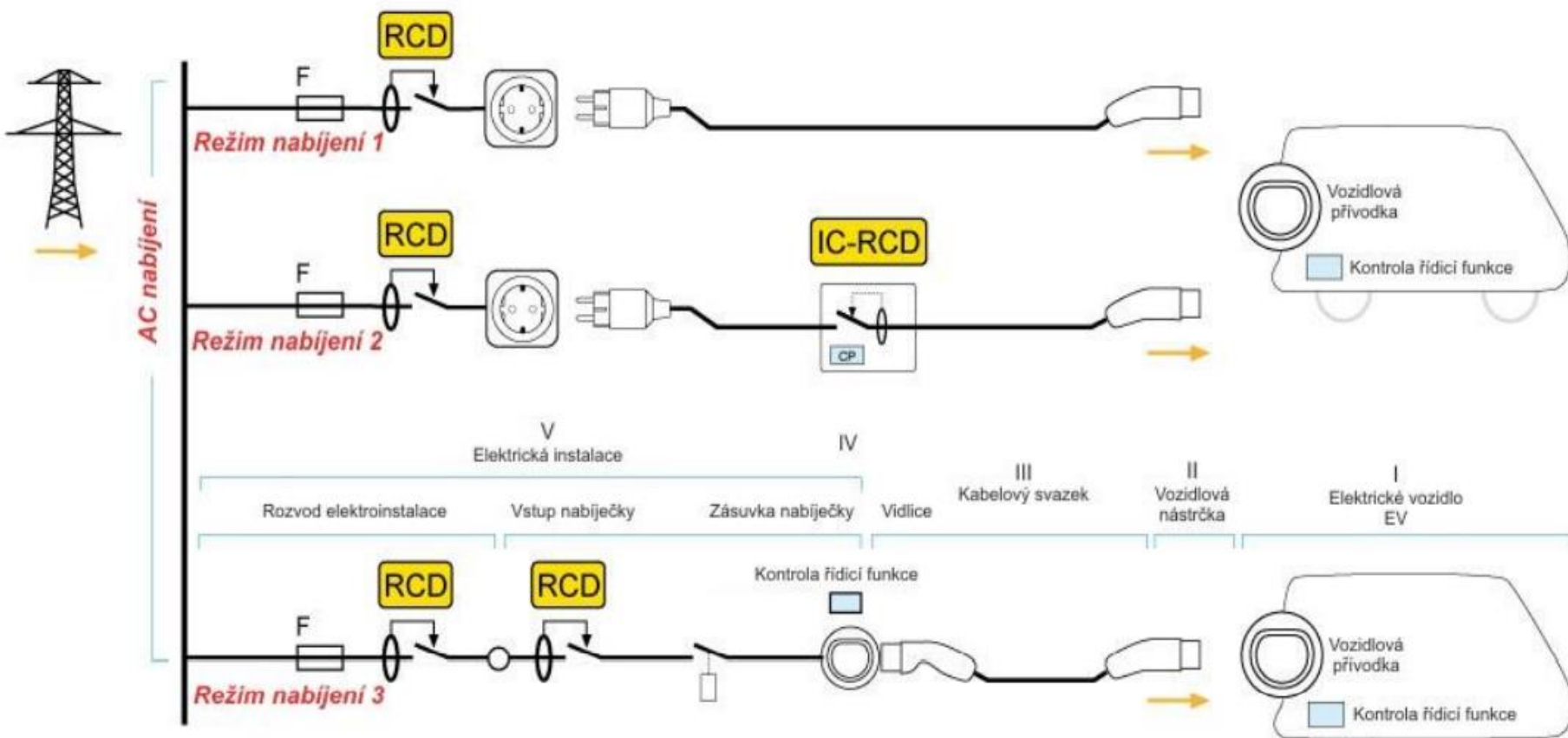
Nabíjení a provoz vozidla obecně

- Před zahájením nabíjení dojde k testu izolačního odporu HV instalace vozidla – v případě nevyhovujícího stavu NEdojde k potvrzení nabíjení wallboxu či nabíjecí stanici (nedojde ke snížení amplitudy PWM signálu na pinu CP na 6 V či 3 V)
- Limitní hodnoty izolačního odporu definuje norma ISO 6469-3:2011-05 v hodnotě 500 Ω/V pro AC systémy a 100 Ω/V pro DC systémy

Nabíjení AC

- V případě AC nabíjení je užívána uzemněná AC soustava TN – S
- Ve vozidle síťová část uzemněná (samočinné odpojení od zdroje a doplňková ochrana proudovým chráničem RCD – A, B, EV)
- HV systém je ve vozidle trvale monitorován palubním zařízením pro sledování hodnoty izolačního stavu
- Bezpečnost NN zajišťuje RCD v AC nabíjecí stanici, wallboxu či kabelu a instalaci
- Zjišťuje se kontinuita PE vodiče (hlavně pomocí CP signálu)

Typické zapojení pro režimy 1, 2, 3



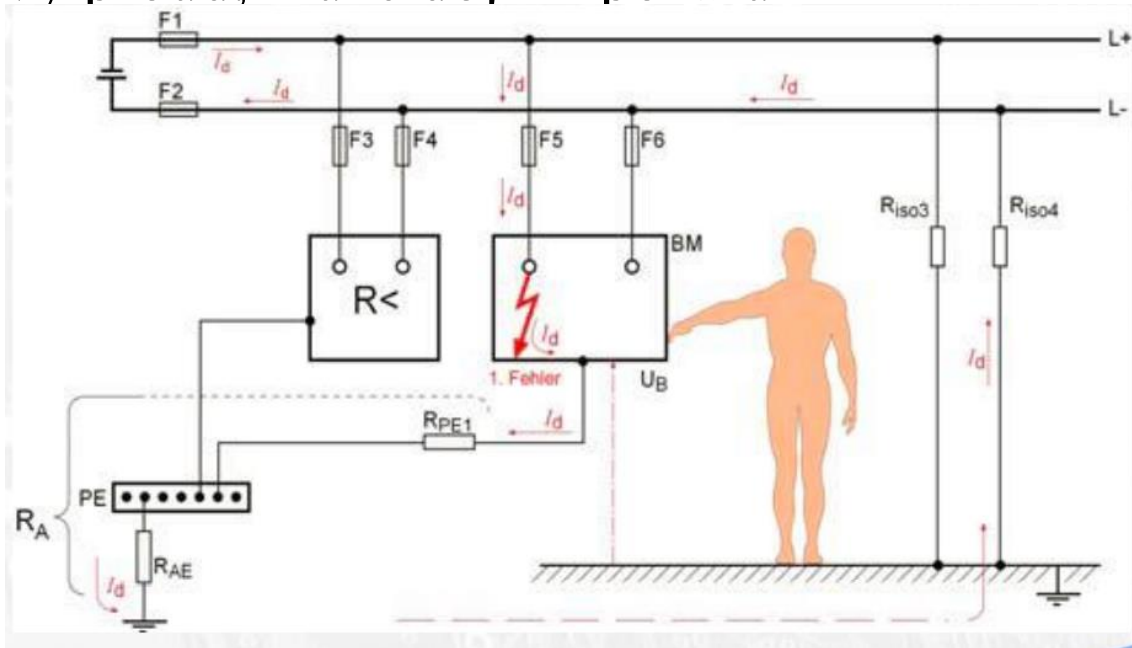
- Nutnost chrániče minimálně typu A pro okruh stanice, wallboxu či zásuvky pro režim 1
- Režim 2 a 3 – doplnění o chránič typu B či kombinací chrániče typu A a monitoringu DC reziduálního proudu
- Zdroj: http://www.odbornecasopisy.cz/data-ftp-user/konference/2016/Perspektivy_emobility_Amper_2016/07_Smekal_AMPER_2016.pdf

Nabíjení DC

- DC nabíjecí stanice ze dvou částí – síťové a izolované
- Galvanické oddělení pomocí oddělovacího transformátoru či pomocí izolované konstrukce nabíjecí elektroniky (izolované spínané zdroje – AC/DC – např. plný most)
- V souladu s ČSN EN 33 2000-4-41 musí být izolované sítě trvale sledovány pomocí hlídače izolačního stavu (IMD – insulation monitoring device) a pokud dojde ke zjištění izolačního odporu pod kritickou hodnotu, dojde k aktivaci výstrahy
- Výhody IT systému: První závada nevede k deaktivaci systému, ale pouze k upozornění – nabíjecí proces či jízda může pokračovat dál
- Dotykové napětí v případě první poruchy 0 V = bezpečnost systému

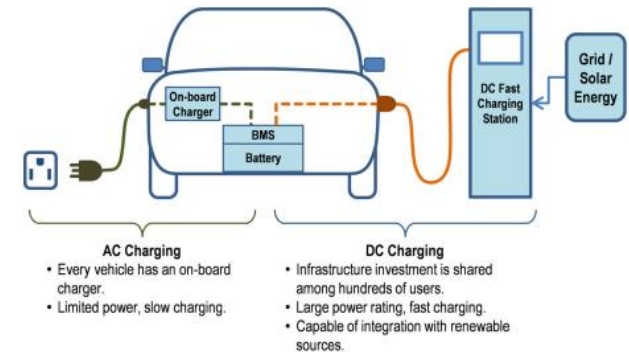
Nabíjení DC

- IMD musí splňovat požadavky normy ČSN EN 61557-8
- IMD musí reagovat na symetrické i asymetrické poruchy izolačního stavu
- Příklad symetrické poruchy – pozvolné stárnutí izolace, zvyšuje se svodový proud, může dojít k požáru

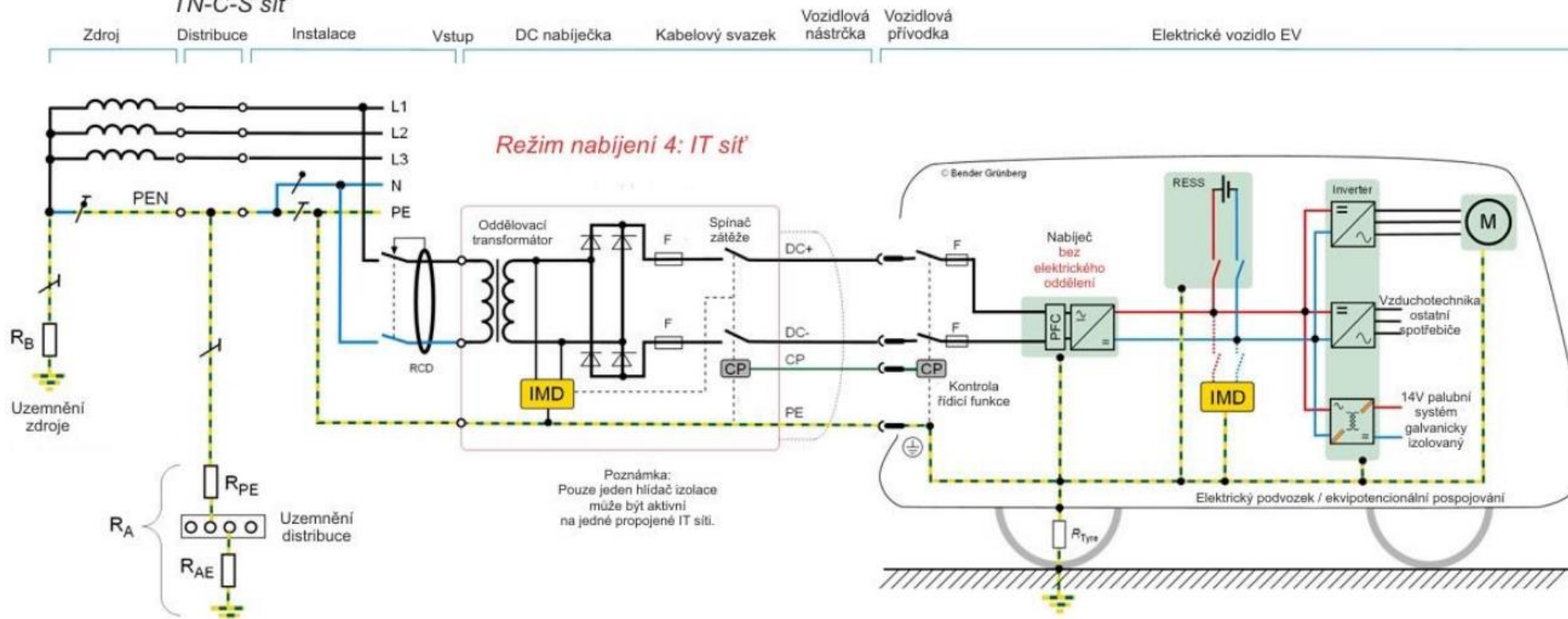


Nabíjení DC

- V případě DC nabíjení - hlídání izolačního stavu pouze DC stanicí
- Schéma níže využívá zjednodušené schéma nabíječe – běžně je nabíjecí měnič umístěn ve stojanu DC nabíječky



TN-C-S síť

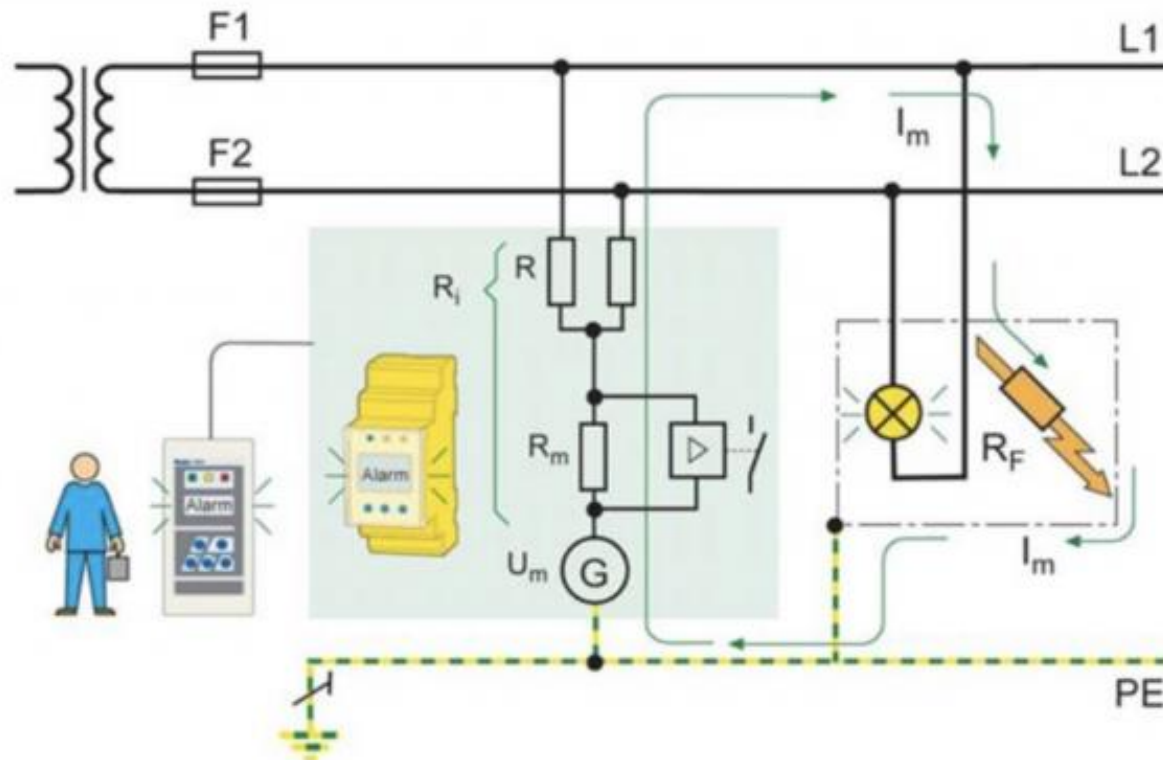


Provoz vozidla

- Během jízdy či odstavení vozidla lze systém charakterizovat jako mobilní IT síť
- Během nabíjení se vozidlo mění na uzemněnou TN síť s IT částí v případě AC nabíjení
- Během nabíjení se vozidlo mění na neuzemněnou IT síť v případě DC nabíjení

Princip hlídání izolačního stavu

- Nutnost hlídání symetrického i nesymetrického zhoršení izolačního stavu
- Generátor G superponuje měřicí napětí na IT síť – na každý vodič
- V případě poškození izolace vznikne poruchový proud, jehož průchod vytvoří na R_m úbytek napětí



Hlídač izolačního stavu

Bender ISOMETER IR155

- Hlídač izolačního stavu v systému DC i AC
- Pro vozidlovou část i nabíjecí stanici
- AC 0-660 V RMS, 1000 V RMS špička
- DC 0-1000 V
- Kontinuální měření
- U_{nap} 10 – 36 V
- Rozsah – 1 k Ω – 10 M Ω
- Odezva < 2 s na poruchu
- PWM výstup
- Rozsah prac. teplot -40 – 105 °C



Hlídač izolačního stavu

Bender ISOMETER ISO 165

- Hlídač izolačního stavu v systému DC i AC
- Pro vozidlovou část i nabíjecí stanici
- AC 0-600 V RMS
- DC 0-600 V
- Kontinuální měření
- U_{nap} 9 – 16 V
- Rozsah – 1 k Ω – 50 M Ω
- Rozhraní CAN
- Rozsah prac. teplot -40 – 85 °C



Klasifikace pracovníků pro práci na elektrických komponentách vozidel

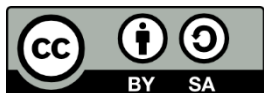
- Elektromobil a vozidla s hybridním pohonem lze považovat za elektrická zařízení, u nichž může dojít k ohrožení života, zdraví nebo majetku elektrickým proudem
- **Práce na elektromobilech a hybridech:**
- Pracovníci provádějící samostatně činnost na el. částech vozidla nízkého a vysokého napětí bez možnosti přímého styku s U větším než bezpečným (25 V AC, 60 V DC) – nutnost §4 (Osoba poučená) NV 194/2022
- Pracovníci přicházející do styku s nebezpečným napětím - §5 (Osoba znalá) NV 194/2022 – práce pod dohledem, §6 (Osoba znalá) NV 194/2022 – samostatná práce
- Organizace musí mít vypracovány místní pracovní a technologické postupy – pracovním musí být seznámen a proškolen
- V rámci organizace možnost kvalifikačních úrovní a odpovědností – například eMobility seznámená osoba, eMobility technik, eMobility expert

Děkuji za pozornost !



Vytvořeno v rámci projektu **Green Deal UPCE**, reg. č. NPO_UPCE_MSMT-2142/2024-4.

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY-SA 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU