

Lítium-iónové batérie poháňajú náš život; Bezpečnosť predstavujú inteligentné riešenia, ktoré vás ochránia pred požiarom z batérií

Simona KALINOVSKÁ, Dominika ŠTUBEROVÁ

Anotácia

S pribúdajúcim počtom elektromobilov sa zvyšuje riziko vzniku požiaru a tým sa kladie väčší dôraz na ochranu pred požiarom lítium-iónových batérií. Hoci požiarovosť elektromobilov sa celosvetovo pohybuje v nízkych číslach, je dôležité prichádzať s riešeniami, ktoré zabránia vzniku požiaru alebo pomôžu k jeho uhaseniu. Nové moderné metódy a technický pokrok je kľúčovým prvkom v problematike hasenia týchto batérií. Cieľom článku je predstaviť inteligentné riešenia, ktoré vás ochránia pred požiarom elektromobilov.

Kľúčové slová: elektromobil, lítium-iónové batérie, požiar ochrana, požiar elektromobilu

Úvod do elektromobility

V súčasnosti je elektromobilita jeden z najvýraznejšie sa vyvíjajúcich odvetví. Jedným z dôvodov je snaha o globálne zníženie uhlíkovej stopy a s tým súvisiace emisie v doprave. Najvyšší nárast vo výrobe elektromobilov bol zaznamenaný počas energetickej krízy v rokoch 1970 a 1980, avšak nárast predaných vozidiel začal v 21. storočí [1]. Za najväčšieho priekopníka vo vývoji nových technológií je v súčasnosti označovaný výrobca Tesla. Odvetvový výhľad vozového parku elektromobilov v globálnej mierke ukazuje, že v roku 2030 dosiahne až 116 miliónov.

Elektromobily

Pod pojmom elektromobil možno chápať vozidlo, ktoré je poháňané elektrickou energiou pomocou batérie a/alebo palivových článkov či solárnych panelov. Vo všeobecnosti možno elektromobily rozdeliť do dvoch základných skupín a to:

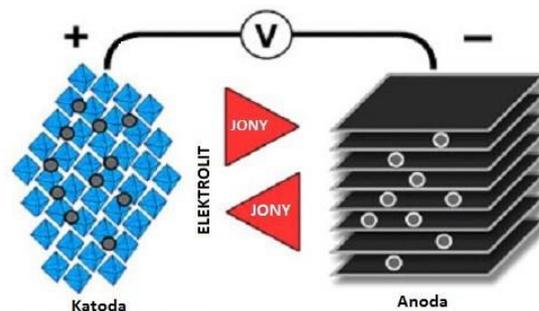
1. plnohodnotný elektromobil - BEV
2. hybridný elektromobil (plný hybrid - HEV , plug-in hybrid - PHEV)

Plný elektromobil využíva iba jeden zdroj energie – batériu, ktorá poháňa elektromotor a funguje ako palivová nádrž. Kým je batéria nabitá, elektromobil je schopný jazdy. Plnohodnotný hybridný elektromobil je poháňaný dvoma alebo viacerými typmi pohonu, pričom je vždy aspoň jeden z nich elektrický. Batéria hybridného elektromobilu na rozdiel od plne elektrického vozidla sa dá dobíjať rekuperáciou brzdnéj energie alebo využitím spaľovacieho motora. Plug-in hybrid kombinuje schopnosti oboch elektromobilov BEV a HEV. [2] [3] Elektromotor funguje ako pohon a zároveň ako generátor, ktorý premieňa elektrickú energiu na mechanickú prácu. Účinnosť elektromotora má v porovnaní so spaľovacím motorom oveľa vyššiu účinnosť (elektromotor cca 90%, benzínový motor cca 25%, dieselový motor cca 40%). [4]

Lítium-iónové batérie

Hlavným komponentom v elektromobile je batéria, ktorá však predstavuje aj najväčšie riziko z hľadiska požiarnej bezpečnosti a fungovania vozidla. Najpoužívanejším typom je lítium-iónová batéria, ktorá má vysokú energetickú hustotu a účinnosť. Medzi ďalšie parametre patrí napr. kapacita, stav nabitia, vnútorný odpor a životnosť. [5/13] Hlavnými zložkami v lítium-iónovej batérii sú: elektrolyt, katóda, anóda a separátor. Princíp činnosti lítium-iónovej batérie spočíva v elektrochemickej reakcii v článkoch medzi anódou a katódou (viď obr. 1). Chemická reakcia prebieha v elektromobile počas jeho nabíjania, kedy dochádza k elektrolýze a premieňa sa na elektrickú energiu počas vybijania, keď sa uvoľňujú elektróny z anódy a putujú smerom ku katóde. Nebezpečenstvo vzniku požiaru súvisí najmä s vyššie spomínanou kapacitou batérie (jednotka = Wh/watthodiny), pričom najväčšiu kapacitu majú práve vozidlá BEV. V dôsledku vnútorného odporu sa batéria pri nabíjaní a vybijaní zahrieva, preto je potrebné aby sa batéria chladila vzduchom alebo kvapalinou. [3] Existujú tri kategórie lítium-iónových batérií:

1. malé batérie, ktoré sa nachádzajú v elektronických zariadeniach a ručnom náradí
2. väčšie batérie, ktoré sa používajú v mobilných zariadeniach, ako sú vysokozdvížne vozíky a elektrických vozidlách
3. rozsiahle systémy na uskladnenie energie, zvyčajne používané pre zdroj neprerušiteľného napájania alebo v spojení so zariadeniami na výrobu obnoviteľnej energie



Obr. 1 Schéma činnosti lítium-iónovej batérie – prevzaté z [16]

Nabíjanie

Elektromobily možno nabíjať pomocou nabíjacej technológie (nabíjacie stanice) alebo z konvenčnej elektrickej zásuvky (domáce nabíjanie). V súčasnej dobe existujú 3 spôsoby/režimy nabíjania elektromobilov: udržiavacie nabíjanie, nabíjanie striedavým prúdom a nabíjanie jednosmerným prúdom.

Udržiavacie nabíjanie je najpomalší spôsob nabíjania využívaný v domácnosti za použitia štandardnej zásuvky 220V. Rýchlosť nabíjania s dojazdom cca 200 km predstavuje 14 hodín. Rizikom domáceho nabíjania je prehrievanie kábla, pričom nie je zaistená komunikácia medzi vozidlom a nabíjacím miestom. Jedným z opatrení je využitie prúdového chrániča. (viď obr. 2) [5] [6]

Nabíjanie striedavým prúdom možno využiť ak má užívateľ namontovanú nástennú nabíjačku (pri domácom nabíjaní) alebo pomocou verejnej nabíjacej stanice. Toto nabíjanie je oproti udržiavaciemu režimu 3-4 krát rýchlejšie. (viď obrázok 3) [5] [6]

Nabíjanie jednosmerným prúdom je možné len u rýchlonabíjacích staníc a teda predstavuje najrýchlejší spôsob nabíjania elektromobilu. Jednosmerný prúd dodáva energiu priamo do akumulátora, preto sa dokáže nabiť z 20 na 80% jeho kapacity. Z dôvodu vysokého prúdu sú zvýšené požiadavky na bezpečnosť t.j. nabíjací kábel musí byť pevne spojený s nabíjacou stanicou a zásuvné spojenie je len na strane elektromobilu. (viď obr. 4) [5] [6]



Obr. 2 Udržiavacie nabíjanie – prevzaté z [6]



Obr. 3 Nabíjanie striedavým prúdom – prevzaté z [6]



Obr. 4 Nabíjanie jednosmerným prúdom – prevzaté z [6]

Priebeh požiaru lítium-iónových batérií

Lítium-iónové batérie majú v sebe nazhromažďovanú energiu v malom priestore, ktorá však nepredstavuje riziko, pokiaľ majú stabilné prevádzkové podmienky. V prípade, že sa tieto podmienky narušia (napr. vystavenie extrémnej teplote, mechanické poškodenie, poškodenie el. prúdom), môže dôjsť k zahoreniu a vzniku požiaru. (viď obr. 5) [8]

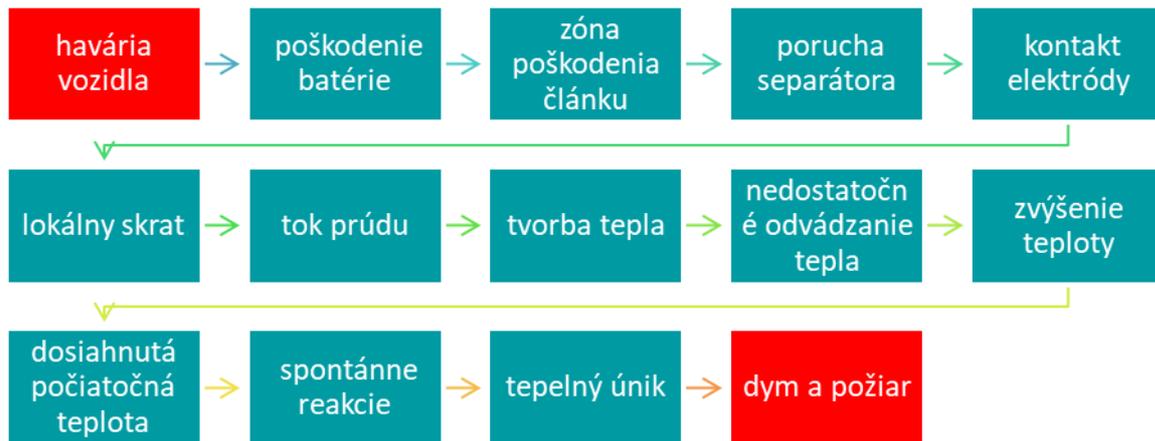
Požiarne riziko

Požiarne riziko vzniká vo vnútri článkov batérie chemickou reakciou, z ktorých sa začnú uvoľňovať horľavé plyny a môže dôjsť k požiaru resp. k výbuchu. Existujú tri hlavné riziká:[7]

- tepelné poškodenie – napr. prekročenie napätia článku, vystavenie vysokým teplotám;
- elektrické poškodenie – napr. rýchle nabíjanie a vybíjanie, externý skrat v elektroinštalácií;
- mechanické poškodenie – napr. dopravná nehoda.

Šírenie požiaru

Šírenie požiaru možno chápať ako šírenie tepelného úniku z jednotlivých článkov batérie medzi susedné články v batérovom module alebo v poškodených elektronických súčiastkach a obvodoch. Pri požiaru nastáva v lítium-iónovej batérii chemická reakcia, počas ktorej sa uvoľňujú toxické a horľavé plyny (oxid uhličitý, oxid uhoľnatý, vodík, metán, etán, atď.) reagujúce so vzduchom. Vznetením sa zmesi vzduchu a plynov dochádza k plamennému horeniu. Ďalším vplyvom na správanie sa batérie počas požiaru má jej stav nabitia. To znamená, že s vyšším stavom nabitia klesá tepelná stabilita batérie. [9]



Obr. 5 Proces porúch v batériovej súprave pri mechanickom poškodení - haváriou vozidla [10]

Hasenie požiaru elektromobilov

Jedným z najúčinnějších spôsobov hasenia elektromobilu je voda, ktorá má schopnosť chladenia a môže uhasiť plamene a taktiež spomaliť tepelný únik. Existujú však viaceré riziká, ktoré samotné hasenie sprevádzajú ako sú napr. úraz elektrickým prúdom, samovznietenie batérie, vyššia spotreba dýchacej techniky, preto je dôležité správne si zvoliť spôsob a postup hasenia. Medzi najefektívnejšie metódy ochladzovania elektromobilu patrí: vodný prúd, systém vodnej hmly, ponorenie do vodného kúpeľa, využitie systému COBRA, použitie CO₂.

Ochladzovanie vodným prúdom a/alebo vodnou hmlou

Táto metóda nehasí priamo požiar článkov batérie ale jej úlohou je ochladiť batériu na teplotu okolia. Patrí sem ochladzovanie prúdom vody „C“, vodnou clonou a systém vodnej hmly. Pri použití vodného prúdu (kombinovanej prúdnice) sa elektromobil ochladzuje cca 10 min., potom sa sleduje po dobu 5 min. správanie batérie. Ak nastane samovoľné rozhorenie batérie opakuje sa tento postup. Ochladená batéria sa potom monitoruje cca 45 min. Systém vodnej hmly sa využíva na hasenie elektromobilov v objektoch a funguje na princípe SHZ. [13]

Ochladzovanie vo vodnom kúpeli

Ponorenie horiaceho elektromobilu do kontajnera určeného pre ochladenie vodným kúpeľom sa využíva v prípadoch, ak rozsah poškodení vozidla už nebude možné opraviť. Pri tomto druhu chladenia dochádza k vzniku výbušných jedovatých plynov a je preto dôležité vytvoriť podmienky pre ich únik – utesnenie kontajnera. Vozidlo ponorené vo vode by malo zotrvať v kontajneri 48 až 72 hodín. Ďalšou nevýhodou je nákladná likvidácia kontaminovanej vody, ktorú nie je možné vypustiť do bežnej kanalizácie. [13]

Systém COBRA

CCS Cobra systém (Cold Cut Systém) je špeciálne zariadenie, ktoré predstavuje techniku rezania pomocou vodného lúča a zároveň vytvára vodnú hmlu. Toto zariadenie dokáže prerezať kryt batérie (rovnako ako aj steny alebo strechy budov) a preto sa využíva na priame hasenie článkov batérie. Hasenie systémom COBRA je možné aplikovať iba v tom prípade, že ho odporúča samotný výrobca elektromobilu s presným uvedením miesta rezu na batérii. [13]

Hasenie CO₂

Hasiace médium sa bežne používa pri hasení na zamedzenie prístupu kyslíka. Nakoľko má CO₂ zriedňujúci účinok je potrebné použiť veľké množstvo na ochladenie automobilu. Tento spôsob hasenia je preto neefektívny. [13]

FIRETEST 2024

Ako už bolo vyššie uvedené, je potrebné aby bol pri hasení elektromobilu zvolený správny postup, spôsob hasenia a technického vybavenia, preto v spolupráci s Hasičským a záchranným zborom SR (ďalej len HaZZ) prebehlo vo výcvikovom priestore Lešť cvičenie zamerané na hasenie elektromobilu v podzemnej garáži.

Priebeh simulácie bol rozdelený na jednotlivé kroky:

1. **krok** – zapálenie elektromobilu pomocou plynového horáka, ktorý vložili pod vozidlo a nechali ho asi 8 minút pôsobiť na veľkokapacitnú trakčnú batériu. Nasledoval voľný rozvoj požiaru
2. **krok** – inštalácia elektronickej požiarnej signalizácie (EPS) na princípe automatického nasávacieho systému do plechovej garáže. EPS ohlásila stav „poplach“, pričom sa nechal požiar rozvinúť do 3-tej fázy šírenia požiaru (t.j. plne rozvinutý požiar, ktorý postupne prechádza do 4-tej fázy dohorievania)
3. **krok** – manuálne spustenie stabilného hasiaceho zariadenia (SHZ) na báze vodnej hmly. Vodné trysky museli odolať teplote okolo 670°C a postupne ochladiť vozidlo a priestor garáže. Súčasne boli aktivované zariadenia na odvod tepla a splodín horenia (ZOTaSH), aby sa do priestoru vtlačil vzduch a vytlačil dym smerom von
4. **krok** – vytiahnutie auta pomocou robota First Mover - 3500 a následné hasenie lítium-iónových batériových článkov vodou a špeciálnym penidlom, ktoré vykonali príslušníci HaZZ prostredníctvom ručného systému COBRA
5. **krok** – presunutie elektromobilu do kontajnera, ktorý slúži ako vodný kúpeľ a dohasenie priestoru garáže vodnou lafetou 3000l/min.



Obr. 6 FIRETEST 2024, výcvikové stredisko Lešť

Cieľom testu bolo predstaviť dostupné riešenia pre efektívne hasenie požiaru a získať údaje z meraní, ktoré prebiehali počas celého cvičenia ako podklad pre tvorbu legislatívy, technických noriem a interných predpisov.

Požiaro-bezpečnostné riešenia 3MON

Vodná hmla pre parkovacie domy

Jedná sa o technológiu, ktorú vyvinul Dánsky inštitút požiarnych a bezpečnostných technológií (DBI) spolu s dánskou firmou VID Firekill. Táto technológia je ideálnym riešením pre parkovacie domy a podzemné garáže, nakoľko využíva statický systém špeciálnych trysiek. Tie majú vysoko spoľahlivú schopnosť detekcie požiaru a v jednom momente rozptýlia na vznietený elektromobil a samozrejme na okolité vozidlá vodnú hmlu. Práve tieto mikročastice vody majú schopnosť absorbovať veľké množstvo tepla premeneného na paru. Len jeden liter vody sa rozptýli až na 1,64 m³. Spotrebuje sa tak o polovicu menej vody, ako pri klasických sprinkleroch. Keďže pri hasení elektromobilov je zásadné znížiť ich teplotu, vodná hmla sa ukázala ako mimoriadne efektívna. Technológia vodnej hmly má vysokú schopnosť znížiť teplotu a zároveň vziať z okolia kyslík a tým zobrať ohňu prvotné momentum a celkový potenciál. [11]

Hlavné výhody vodnej hmly [11]:

- o 60-90% nižšia spotreba vody a o 20-70% menšia spotreba energie,
- zelenšie riešenie, ktoré ponúka až o 71% menej CO₂ emisií,
- schválené hlavnými poisťovňami a miestnymi štandardmi,
- úspora celkových nákladov,
- rýchlejšie uhasenie požiaru a minimálne poškodenie budovy,
- minimalizuje prestoje firmy,
- malé rozmery potrubia (vonkajší priemer 1"),
- jednoduchá inštalácia a údržba.



• Obr. 7 Systém hasenia nízkotlakovou vodnou hmlou

Protipožiarna deka FIRE ISOLATOR

Jedným z ďalších účinných riešení ako dostať požiar elektromobilu pod kontrolu je použitie protipožiarienej deky FIRE ISOLATOR, ktorá je určená aj pre autá s bežnými spaľovacími motormi. Protipožiarnu deku možno použiť až 6 až 8 krát a je odolná oči vysokým teplotám (do 1600 °C, testované podľa ISO EN 13501-1). Faktom je, že samotná deka však neuhasí oheň v batérii iba ho ňou dostane pod kontrolu.

Protipožiariene deky sa tiež môžu použiť v priemyselných prostrediach, ako sú napr. továrne a dielne, kde sú prítomné horľavé kvapaliny, plyny alebo iné materiály, aby pomohli obmedziť vzniknutý požiar a zabrániť jeho šíreniu. [12]



Obr. 8 Protipožiarna deka FIRE ISOLATOR

Hasiace prístroje na lítiové batérie SYSTÉM F-500, Neuruppin

Na prvotný zásah pri požiaroch lítiových batérií je možné použiť hasiaci prístroj. Systém F-500 od výrobcu Neuruppin predstavuje stálotlaké hasiace prístroje, kde je hnacím plynom dusík a náplň pozostáva z 98 % z vody a z 2 % z prísady F-500 Encapsulator Agent. Vlastnosti prísady F-500 Encapsulator Agent sa vyznačujú najmä: znižovaním povrchového napätia, zvyšovaním povrchovej aktivity, silnejším chladiacim účinkom a obmedzením horiacej látky a toxických plynov. Hasivo v systéme F-500 je bez fluóru a bolo schválené podľa UL, EN a Seeschiffahrt. [14]

Ochranná maska LFIM

Celotvárová ochranná maska LFIM je určená na ochranu dýchacích ciest a zásah pri požiaroch lítium-iónových batérií. Masku je vybavená filtrami poskytujúcimi ochranu pred toxickými plynmi, ktoré sa pri požiaroch uvoľňujú z článkov po dobu 15 minút. Je certifikovaná v súlade s príslušnými európskymi a medzinárodnými normami. Sektory, v ktorých možno LFIM používať [15]:

- doplnok k hasiacim systémom F-500,
- hasiace zásahy pri lítium-iónových batériách,
- parkovacie garáže a nabíjacie miesta pre EV,

- spoločnosti pre recykláciu a správu odpadov,
- služby zdvíhania a ťahania,
- opravárenské dielne,
- stanice na nabíjanie nástrojov pre stavebníctvo a úpravu krajiny,
- nabíjacie stanice pre batérie,
- skladovanie batérií,
- nákladné autá, osobné autá, autobusy a vlaky,
- elektrobicykle a elektromobilita vo všeobecnosti.

Použitá literatúra:

- [1] Høyer, Karl Georg. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*. 2008, 16(2), 63–71. ISSN 0957-1787. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jup.2007.11.001>
- [2] Boehmer, H., Klassen M. a Olenick S. Modern Vehicle Hazards in Parking Structures and Vehicle Carriers. 2022. Dostupné z: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/RFModernVehicleHazards-in-ParkingGarages.pdf>
- [3] Berg, Helena. Batteries for electric vehicles: materials and electrochemistry. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. Book, Whole. ISBN 1316090973. Dostupné z: <https://go.exlibris.link/MSsfvlg1>
- [4] Potančoková, Andrea. Elektromotory - ich princíp a prednosti. AT&P. Dostupné z: <https://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp-2004-02-38.pdf>
- [5] Aké rôzne spôsoby nabíjania elektromobilu existujú? Dostupné z: <https://www.kia.com/sk/predajca/motorcar-zlatepiesky/predaj/electrification/charging-methods-for-electric-cars/>. [citované 2024-05-02].
- [6] PHOENIX CONTACT. Základy technológie nabíjání pro elektromobilitu. [online]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/cs-cz/prumyslova-odvetvi/elektromobilita/zaklady-technologie-nabijeni-elektromobility#ex-d1ka6>. [citované 2024-05-02].
- [7] DORSZ, Adam a Mirosław LEWANDOWSKI. Analysis of Fire Hazards Associated with the Operation of Electric Vehicles in Enclosed Structures. *Energies (Basel)*, 2021, 15(1), 11. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en15010011
- [8] 3MON. Lítium-iónové batérie poháňajú náš život. [online]. Dostupné z: <https://3mon.sk/litium-ionove-baterie-pohanaju-nas-zivot/>. [citované 2024-05-03].
- [9] CUI, Y., Liu J., Han, X., Sun, S. a Cong, B. Full-scale experimental study on suppressing lithium-ion battery pack fires from electric vehicles. *Fire Safety Journal*, 2022, 129, 103562. ISSN 0379-7112. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103562>
- [10] Foad H. Gandoman Jaguemont, J., Goutam, S., Gopalakrishnan, R., Firouz, Y., Kalogiannis, T., Noshin O., Van Mierlo, J. Concept of reliability and safety assessment of lithium-ion batteries in electric vehicles: Basics, progress, and challenges, *Applied Energy*, Volume 251, 2019, 113343, ISSN 0306-2619, Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113343>.
- [11] 3MON. Vodná hmla pre parkovacie domy. Dostupné z: <https://3mon.sk/stabilne-hasiace-zariadenie-vodna-hmla/vodna-hmla-pre-parkovacie-domy/>. [citované 2024-04-29].

- [12] 3MON. Protipožiarna deka. [online]. Dostupné z: <https://3mon.sk/portfolio/item/protipoziarna-deka-fire-isolator/>. [citované 2024-04-29].
- [13] MALKOVSKÝ, Z., Karl, J., Suchý, O. a Thin P. Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR. [online]. B.m.: GŘ HZS ČR. říjen 2020. Dostupné z: https://www.hasici-vzdelavani.cz/sites/default/files/download/soubory/201007%20Komentovan%C3%BD%20v%C3%BDklad%20k%20MU%20s%20EV-H_0_0.pdf
- [14] 3MON. Systém F-500. [online]. Dostupné z: <https://hasenie.sk/produkt/stalotlaky-hasiaci-pristroj-na-lithiove-baterie-neuruppin-wd9-f-500-9l/> [citované 2024-04-29].
- [15] 3MON. Hasičská maska pre zásah pri požiaroch lítiových batérií. [online]. Dostupné z: <https://hasenie.sk/produkt/hasicska-mask-a-pre-zasah-pri-poziaroch-lithiovych-baterii/>[citované 2024-05-02].
- [16] Battery University. [online]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com>

Autori:

Ing. Simona Kalinovská Lhotová
Owner and Fire Protection Specialist
3MON, s.r.o.
Kopčianska 94/B, 851 01 Bratislava
Tel.: +421 918 641 394 E-mail: kalinovska@3mon.sk

Ing. Dominika Štuberová
Firesafety Consultant
3MON, s.r.o.
Kopčianska 94/B, 851 01 Bratislava
Tel.: +421 948 914 591 E-mail: info@3mon.sk