

Problematika hašení elektromobilů a připravenost jednotek požární ochrany

Tomáš Hřib

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Tomáš Hřib
Osobní číslo:	L21587
Studijní program:	B1032A020002 Ochrana obyvatelstva
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Problematika hašení elektromobilů a připravenost jednotek požární ochrany

Zásady pro vypracování

1. Na základě dostupné literatury zpracujte rešerši zabývající se problematikou elektromobility a sní spojenými problémy.
2. Zpracujte souhrn využívaných metod hašení elektromobilů v České republice i ve světě.
3. Na základě vypracované analýzy způsobů hašení elektromobilů navrhnete ideální způsob hašení.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. BISSCHOP, Roeland, Ola WILLSTRAND, Francine AMON a Max ROSENGREN. *Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles*. RISE: Research Institutes of Sweden, 2019. ISBN 978-91-88907-78-3.
2. LESIAK, Piotr, Dariusz PIETRZELA a Piotr MORTKA. *Methods Used to Extinguish Fires in Electric Vehicles*. *Safety & Fire Technology* [online], 2021. 58(2), 38-57. ISSN 2657-8808. Dostupné z: doi:10.12845/sft.58.2.2021.3.
3. MALKOVSKÝ, Zdeněk, Jan KARL, Ondřej SUCHÝ a Pavel THIN. *Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR*. Praha: GŘ HZS ČR – Technický ústav požární ochrany, 2020.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Snopek, Ph.D.

Ústav environmentální bezpečnosti

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. května 2024**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.

děkanka

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.

ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 4. prosince 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 3. 5. 2024

Jméno a příjmení studenta: Tomáš Hřib

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce si vzala za cíl kultivovat, informovat a vytvořit adekvátní způsob hašení elektromobilů v českých podmínkách. Metody použité v této práci zahrnují rešerši v teoretické části, praktická část využila metody návrhu, komparace a diagramu. Praktická část bakalářské práce přinesla návrh adekvátního způsobu hašení elektromobilu a zároveň taky analýzu vybavenosti jednotek požární ochrany prostředky určené na problematiku spojenou s požáry bateriových elektrických vozidel.

Tato práce přispívá k rozrůstajícím zkušenostem Hasičského záchranného sboru České republiky a krotí přehnané předsudky společnosti o problematice elektromobilů a jejich požární bezpečnosti.

Klíčová slova: bateriové elektrické vozidlo, baterie, elektromobil, hašení, požár

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was to cultivate, inform, and create an adequate method for extinguishing electric vehicles in Czech conditions. The methods used in this thesis include literature review in the theoretical part, while the practical part employed design, comparison, and diagram methods. The practical part of the bachelor thesis proposed an adequate method for extinguishing electric vehicles and also conducted an analysis of the equipment of fire units with resources designated for issues related to fires of battery electric vehicles.

This thesis contributes to the growing experience of the Fire Rescue Service of the Czech Republic and dispels exaggerated societal prejudices regarding the issues of electric vehicles and their fire safety.

Keywords: battery electric vehicle, battery, electric vehicle, extinguishing, fire

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce za možnost vypracovat tak zajímavé téma, a také za cenné rady a vedení. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi dávali inspiraci a věnovali mi jejich volný čas.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ELEKTROMOBILITA.....	12
1.1 ELEKTROMOBIL	14
1.1.1 Bateriové elektrické vozidlo	14
1.1.2 Plug-in hybridní elektrické vozidlo.....	15
1.1.3 Hybridní elektrické vozidlo.....	16
1.2 ČASOVÁ OSA ELEKTROMOBILŮ	17
1.2.1 Historie elektromobilů	17
1.2.2 Současnost elektromobilů	18
1.2.3 Budoucnost elektromobility	19
2 BATERIE	20
2.1 BATERIE DLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ	21
2.1.1 LFP baterie – Lithium-železo fosfátové baterie.....	22
2.1.2 NMC a NCA baterie.....	23
2.1.3 Solid-state baterie.....	24
2.2 BATERIE DLE TVARU	25
2.3 LOKALIZACE AKUMULÁTORU V BATERIOVÝCH ELEKTRICKÝCH VOZIDLECH	27
3 BEZPEČNOST ELEKTROMOBILŮ.....	29
3.1 ČETNOST POŽÁRŮ BATERIOVÝCH ELEKTRICKÝCH VOZIDEL STATISTICKY	29
3.1.1 Studie počtu požárů elektromobilů ve Finsku v letech 2015-2023.....	29
3.1.2 Studie požárů elektromobilů ve Švédsku v letech 2018-2022	31
3.1.3 Studie srovnávající počty požárů hybridních vozidel, elektromobilů a LPG vozidel ve Spojených státech amerických	32
3.2 VÝSLEDKY CRASH TESTŮ – STUDIE SPOLEČNOSTI DEKRA.....	33
3.3 BEZPEČNOST ZASAHUJÍCÍCH HASIČŮ	35
3.3.1 Kontaminace zásahových oděvů při požárech baterií v elektromobilech.....	35
3.3.2 Rizika spojená s kontaminovanou vodou po uhašení bateriových elektrických vozidel	36
3.3.3 Rizika spojená s požáry lithium-iontových baterií.....	38
4 ZPŮSOBY HAŠENÍ ELEKTROMOBILŮ	39
4.1 OCHLAZOVÁNÍ AKUMULÁTORŮ VODNÍM PROUDEM.....	40
4.2 OCHLAZOVÁNÍ PONOŘENÍM DO VODNÍ LÁZNĚ	41
4.3 PROTIPOŽÁRNÍ PLACHTA PRO HAŠENÍ POŽÁRŮ ELEKTROMOBILŮ A LITHIOVÝCH BATERIÍ	43
4.4 DALŠÍ ZPŮSOBY HAŠENÍ ELEKTROMOBILŮ.....	44
4.4.1 Hasicí kopí MURER	44

4.4.2	Bateriový hasící systém BEST (Rosenbauer)	45
4.4.3	Pancake nozzle – vodní tryska	46
4.4.4	Cold Cut System Cobra	47
II	PRAKTICKÁ ČÁST	48
5	ANALÝZA AKTUÁLNÍHO STAVU PROBLEMATIKY	49
5.1	ANALÝZA VYBAVENOSTI HZS KRAJŮ SPECIÁLNÍM VYBAVENÍM PRO ZVLÁDÁNÍ POŽÁRŮ ELEKTROMOBILŮ	49
5.1.1	Vybavenost HZS krajů speciálními kontejnery pro elektromobily	50
5.1.2	Vybavenost HZS krajů hasícím zařízením Cobra	54
5.2	UPLYNULÉ POŽÁRY ELEKTROMOBILŮ V ČESKÉ REPUBLICE A VE SVĚTĚ	55
5.2.1	Požáry elektromobilů v České republice	55
5.2.2	Požáry elektromobilů v Evropě a ve Světě	59
5.3	ANALÝZA SIL A PROSTŘEDKŮ HZS ZLÍNSKÉHO KRAJE NA CENTRÁLNÍ STANICI VE ZLÍNĚ PRO ZÁSAHY SPOJENÉ S PROBLEMATIKOU ELEKTROMOBILITY	62
5.3.1	Hasící zařízení Cobra	62
5.3.2	Hydraulické vyprošťovací zařízení	63
5.3.3	Termokamera	64
6	NÁVRH ADEKVÁTNÍHO ZPŮSOBU ZDOLÁVÁNÍ POŽÁRU BATERIOVÉHO ELEKTRICKÉHO VOZIDLA ZA IDEÁLNÍCH PODMÍNEK	65
6.1	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	66
6.1.1	Chlazení akumulátoru vodním proudem	66
6.1.2	Zaplavování akumulátoru pomocí hasícího zařízení Cobra	67
6.1.3	Protipožární plachta na elektromobily	67
6.1.4	Ponoření bateriového elektrického vozidla do vodní lázně	68
6.2	NÁVRH ČINNOSTI – KOMBINACE CHLAZENÍ VODNÍM PROUDEM A ZAPLAVOVÁNÍ POMOCÍ HASÍCÍHO ZAŘÍZENÍ COBRA	69
6.3	POPIS METODIKY	70
6.4	OČEKÁVANÉ VÝSLEDKY	73
6.5	SWOT ANALÝZA	73
	ZÁVĚR	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	77
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	83
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84
	SEZNAM TABULEK	87

ÚVOD

Elektromobilita je pojem. Takový pojem, že se stává jedním z hlavních témat voleb do Evropského parlamentu v roce 2024 v České republice. Elektromobily má drtivá většina české společnosti spojeny většinou s negativismem, jedním z nich je také požární bezpečnost těchto vozidel.

Téma požární bezpečnosti elektromobilů je v dnešní době stále aktuálnější a důležitější. S rostoucí popularitou těchto vozidel a jejich širším nasazením veřejností a podniky se zvyšuje i potřeba porozumění a správného řešení možných bezpečnostních rizik, která s sebou elektrická vozidla přinášejí.

Požáry elektromobilů, a zejména bateriových elektrických vozidel, které mají obrovské trakční baterie, představují pro zasahující hasiče specifická rizika a výzvy. Aktuálně největší výzvou pro jednotky požární ochrany je příprava a vzdělávání se v této problematice, kdy každý požár může přinést nové poznatky a zkušenosti.

Výzva to není však jen pro hasiče, ale také pro automobilky a vývojáře akumulátorů. Právě vývoj baterií a celkově vývoj elektromobility je stěžejní pro její budoucnost a bezpečnost. Již dnes existují bezpečné baterie, které jsou odolnější vůči požárům. Další vývoj slibuje ještě bezpečnější, levnější a lehčí baterie.

Bakalářská práce se dělí dvou částí. Teoretická část vysvětluje problematiku elektromobility, do které spadá současnost část věnovaná elektromobilitě a její časové ose, jednou z částí je také kapitola věnující se bateriím a způsobům hašení elektromobilů. Teoretická část se věnuje také bezpečnosti elektromobilů, kdy v jednotlivých studiích popisuje počty požárů v daných letech v konkrétních státech.

Praktická část se zaměřuje na analýzu současného stavu problematiky hašení elektromobilů. V jednotlivých podkapitolách jsou analyzovány technické prostředky jak na úrovni Hasičského záchranného sboru České republiky, tak na úrovni Centrální stanice HZS Zlínského kraje ve Zlíně. Nejstěžejnější část praktické části se věnuje vytvoření návrhu adekvátního způsobu zdolávání požáru bateriového elektrického vozidla.

CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

Bakalářská práce si vzala za cíl analyzovat vybavenost Hasičského záchranného sboru České republiky technikou usnadňující řešení problematiky spojenou s požáry těchto vozidel a vytvoření návrhu adekvátního způsobu zdolávání požáru bateriového elektrického vozidla.

Dalšími cíli bakalářskou je rešerše technologických pomůcek usnadňujících zdolávání požárů elektromobilů napříč světem, analýza bezpečnosti těchto vozidel v podmínkách, co se elektromobility týče, vyspělejších států, anebo analýzu vybavenosti Centrální stanice Hasičského záchranného sboru Zlínského kraje ve Zlíně.

Teoretická část

Pro dosažení jednoho z cílů bakalářské práce byla provedena podrobná rešerše především zahraniční dostupné literatury, odborných elektronických článků týkajících se požární bezpečnosti elektromobilů a elektromobility. Tato rešerše zahrnovala studium odborných článků a studií v oblasti požární bezpečnosti elektromobilů a baterií využívaných v těchto vozidlech.

Praktická část

Pro dosažení hlavního cíle bakalářské práce bylo využito metody analýzy, která byla využita k vyhodnocení akceschopnosti Hasičského záchranného sboru ČR v kontextu vybavenosti speciálními prostředky určenými k hašení elektromobilů, a také k vyhodnocení vybavenosti Centrální stanice HZS Zlínského kraje ve Zlíně prostředky usnadňující zdolávání požárů elektromobilů.

Metoda návrhu, též stěžejní pro dosažení hlavního cíle bakalářské práce, vycházející z rešerše způsobů hašení se věnuje navržení adekvátního způsobu zdolávání požáru bateriového elektrického vozidla. V rámci tohoto návrhu bylo využito také metod komparace v případě vybrání adekvátního způsobu a metody diagramu, která znázorňuje navržený postup a strategie hašení. Konečné slovo si vzala metoda SWOT analýzy, která návrh činnosti zanalyzovala.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELEKTROMOBILITA

Elektromobilitu lze definovat jako koncepci silniční dopravy, kterou formují vozidla elektrického pohonu, ale také infrastruktura určená elektromobilům, informační technologie nebo legislativa. (Madleňáková a Madleňák, 2021)

Elektromobilitou se v České republice zabývá Ministerstvo životního prostředí (dále MŽP), které k této problematice vydalo několik stěžejních dokumentů. Za nejvíce stěžejní dokument lze považovat Národní akční plán české mobility z roku 2019.

Lze v tomto dokument nalézt kapitolu zabývající se očekávaným vývojem elektromobility v České republice, tedy očekávané prodeje těchto vozidel, tento údaj lze brát jako klíčový ukazatel rozvoje elektromobility u nás. Dokument hovoří o použité projekci, která v několika scénářích předpovídá rozvoj počtu elektromobilů v ČR do roku 2030. Scénáře se pohybují v rozsahu 74 000 (nízký scénář) až 800 000 vozidel (vysoký scénář). (Ministerstvo životního prostředí, 2019)

Rok	Počet vozidel za rok el.	Počet vozidel celkem el.	Poznámka
2013	70	70	
2014	230	300	
2015	350	650	
2016	350	1 000	
2017	400	1 400	
2018	700	2 100	cca 0,035% vozového parku, cca 0,25 % přírůstku ročních registrací
2019	1 100	3 200	
2020	2 000	5 200	
2021	4 000	9 200	
2022	8 000	17 200	
2023	13 000	30 200	
2024	17 000	47 200	
2025	21 000	68 200	cca 1,1 % vozového parku, do 10 % přírůstku ročních registrací
2026	24 000	92 200	
2027	27 000	119 200	
2028	30 000	149 200	
2029	33 000	182 200	
2030	35 000	217 200	cca 3 % vozového parku, do 15 % přírůstku ročních registrací

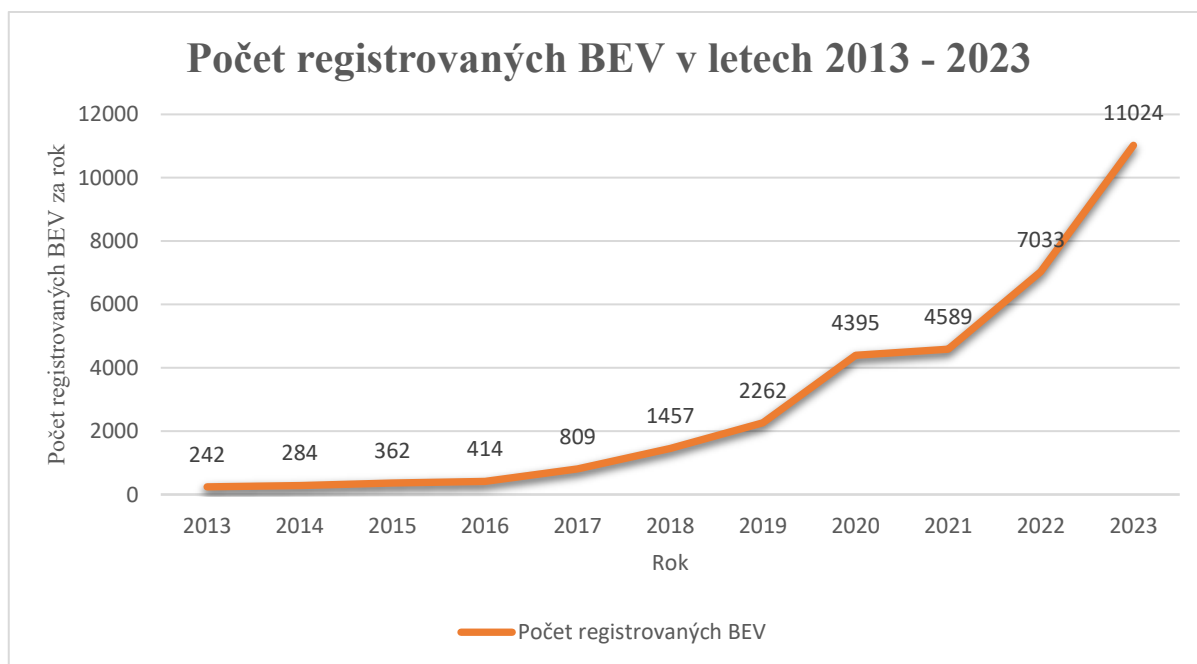
Obrázek 1 Predikce vývoje BEV dle SDA (Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility, 2019)

Počet registrovaných bateriových elektrických vozidel v letech 2010 až 2023

Tabulka 1 Počet jednotlivých registrací BEV v letech 2013-2023 (Zdroj dat: Čistá doprava, 2024)

Počet jednotlivých registrací BEV v letech 2013–2023		
Rok	Počet registrovaných BEV	Nárůst v %
2013	242	x
2014	284	117,36
2015	362	127,46
2016	414	114,36
2017	809	195,41
2018	1457	180,10
2019	2262	155,25
2020	4395	194,30
2021	4589	104,41
2022	7033	153,26
2023	11024	156,75

Na tabulce výše lze pozorovat vývoj počtu nově registrovaných bateriových elektrických vozidel (BEV) v letech 2013 až 2024. Lze pozorovat jasně daný trend, kdy se postupně jednotlivé počty zvyšují. V obrázku níže lze trend pozorovat v grafickém znázornění.



Obrázek 2 Vývoj nově registrovaných bateriových elektrických vozidel v České republice v letech 2013 až 2023 (Zdroj dat: Čistá doprava, 2024)

1.1 Elektromobil

Elektromobil je v podstatě vozidlo poháněné elektromotorem, vždy se jedná o plně automatická auta bez žádného převodového stupně. Po sešlápnutí plynového pedálu, se energie přenáší z baterie do elektromotoru, který následně otáčí hnací hřídele kol. Při brždění, tedy v momentu, kdy začne elektromobil zpomalovat se motor stává alternátorem, který vyrábí elektrickou energii – rekuperace. Tato energie se následně vrací zpět do baterie. (ČEZ, c2024)

Stejně jako všechna elektrická zařízení, tak i elektromobil je závislý na nabíjení. Ve chvíli, kdy je elektromobil připojen k nabíječce, začne proces ukládání energie do baterií. (ČEZ, c2024)

Elektromobily mohou být atraktivní především tichým provozem, nižšími provozními náklady a ochranou životního prostředí, kdy jejich provoz je bezemisní. Elektromobil taktéž nedisponuje výfukovými systémy, převodovkou, spojkou nebo zapalovacími svíčkami. Díky malému rozměru elektromotoru a bateriím v podlaze, může být elektromobil také mnohem prostornějším než konvenční vozidla. Běžně lze v elektromobilech využívat dva zavazadlové prostory, tedy krom běžného kufru v zadní části vozidla také prostor pod kapotou v prostoru elektromotoru. (ČEZ, c2024)

1.1.1 Bateriové elektrické vozidlo

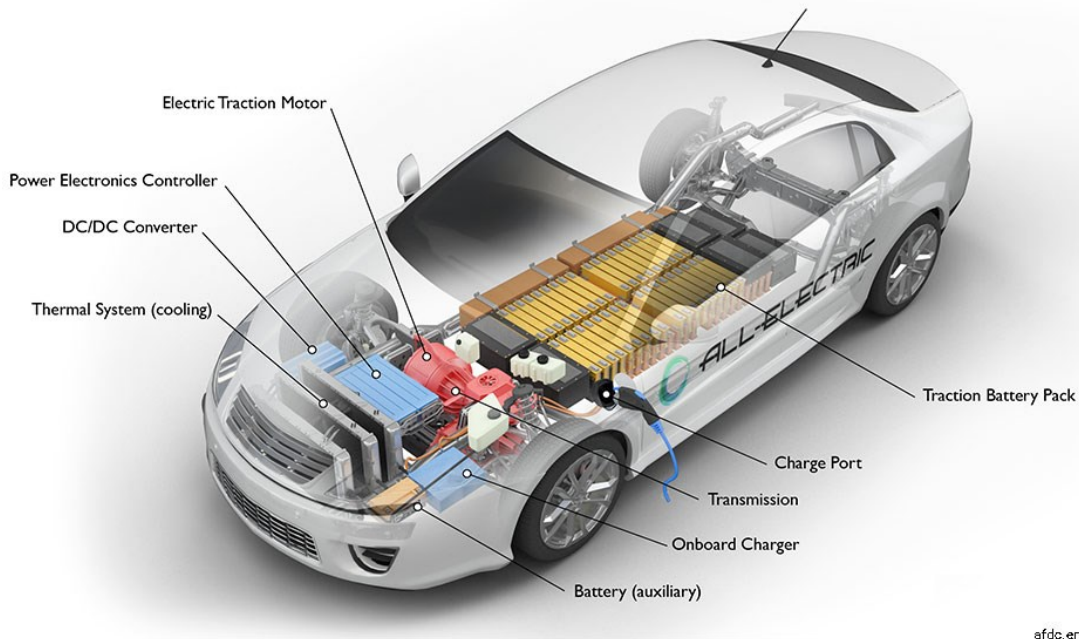
Bateriová elektrická vozidla (BEV) jsou poháněna výhradně elektřinou uloženou v bateriích vozidla a nevypouštějí žádné výfukové emise. Tento typ vozidel má namísto benzinových či naftových motorů elektromotor, případně více elektromotorů, které získávají energii z dobíjecích baterií. Většina BEV používá lithium-iontové baterie, protože nabízejí nejlepší poměr mezi hustotou energie, hmotností a bezpečností. BEV jsou považována za vozidla s nulovými emisemi. (OCTOPUS ELECTRIC VEHICLES, 2023)

Mezi výhody BEV lze zařadit nulové emise a nižší provozní náklady oproti konvenčním vozidlům a jiným typům elektromobilů. Mezi další výhody lze zařadit také velice tichý provoz a případné státní dotace a daňové úlevy. (OCTOPUS ELECTRIC VEHICLES, 2023)

Nevýhodami BEV je kupní cena, která se stále pohybuje poměrně vysoko, nebo dlouhé nabíjení na pomalejších nabíječkách. (OCTOPUS ELECTRIC VEHICLES, 2023)

Typickým modelem BEV je americká Tesla, která je čistě výrobcem právě BEV. Dalšími značkami vyrábějícími BEV jsou Hyundai, Renault, Nissan, ale také BMW či mnoho značek z čínského trhu. Modely BEV se může pyšnit také Škoda Auto.

All-Electric Vehicle



efdc.energy.gov

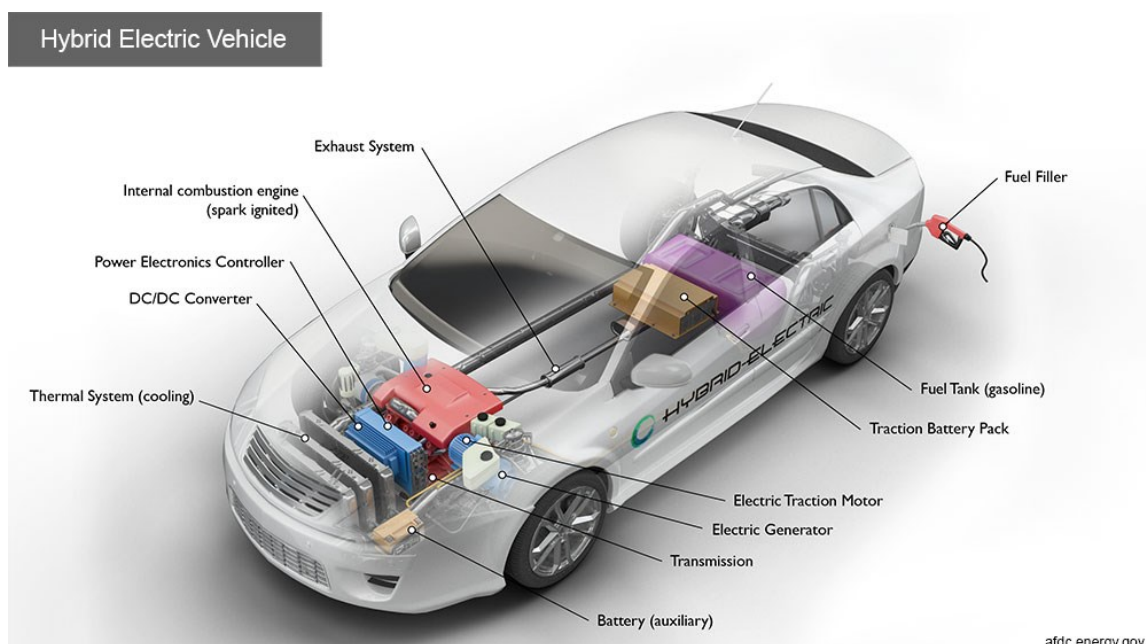
Obrázek 3 Průřez bateriovým elektrickým vozidlem (U. S. Department of Energy's Vehicle Technologies Office, c2023)

1.1.2 Plug-in hybridní elektrické vozidlo

Plug-in hybridní elektromobily (PHEV) se podobají bateriovým elektromobilům (BEV), ale pro delší dojezd využívají benzínový nebo naftový motor. To znamená, že když se baterie vybije, může tento druh vozidla přepnout na klasický konvenční motor. Hlavní rozdíl mezi plug-in hybridem a hybridem spočívá v tom, že PHEV lze nabíjet připojením k elektrické síti, hybridy nikoliv. PHEV nabízí možnost absolvovat kratší cesty v elektrickém režimu a na delší cesty použít konvenční motor. (OCTOPUS ELECTRIC VEHICLES, 2023)

1.1.3 Hybridní elektrické vozidlo

Hybridní elektrické vozidla (HEV) jsou poháněna benzinovým nebo naftovým motorem a elektromotorem. Elektromotor v tomto druhu vozidla slouží jako pomocník motoru a dodává mu výkon při zrychlování, předjíždění nebo při stoupání do kopce. To znamená, že HEV spotřebovávají méně paliva než běžné benzinové nebo naftové vozy. V testovacích cyklech WLTP vypouštějí HEV méně emisí CO₂. (OCTOPUS ELECTRIC VEHICLES, 2023)



Obrázek 4 Hybridní elektrické vozidlo (U. S. Department of Energy's Vehicle Technologies Office, c2023)

1.2 Časová osa elektromobilů

První elektromobily vznikaly již před více než 100 lety, přesto vše jejich popularita zažívá narůst až v posledních několika letech. Důvodů proč popularita elektromobilů stoupá je hned několik (Fayziyev et al., 2022). Jedním ze zásadních důvodů vyšších prodejů v některých státech se jednoznačně stala výhoda příspěvku ke koupi díky státní dotaci. Dalšími důvody ke koupi elektromobilu mohou být ekologičnost provozu těchto vozidel, nebo touha po technologickém pokroku.

1.2.1 Historie elektromobilů

Nelze přesně určit jednoho vynálezce nebo zemi, která se zasloužila o elektromobil. Spíše se jednalo o sérii průlomů – od baterie po samotný elektromotor, kdy tyto průlomy vedly na začátku 19. století k vůbec prvnímu elektrickému vozidlu na silnicích. Na počátku 19. století si začali inovátoři v Maďarsku, Nizozemsku a USA, společně s kovářem z Vermontu, pohrávat s konceptem vozidla na baterie a vytvořili jedny z prvních malých elektromobilů. V druhé polovině 19. století sestrojil britský vynálezce, Robert Anderson, první elektrický kočár, zatímco francouzští a angličtí vynálezci postavili jedny z prvních praktických elektromobilů. V roce 1838 vyvinul skot Robert Davidson elektrickou lokomotivu, která dosahovala rychlosti 6 km/h. (Fayziyev et al., 2022)

V roce 1900 bylo 28 procent automobilů vyrobených ve Spojených státech amerických poháněno elektromotory. Od roku 1912 s příchodem nového spalovacího motoru Henryho Forda klesla poptávka po elektromobilech. V roce 1913 stál vůz se spalovacím motorem 650 dolarů, zatímco elektromobil stál 1 750 dolarů. (Fayziyev et al., 2022)

Zájem o elektromobily se znovu objevil na počátku 70. let 20. století, kdy společnost Sebring-Vanguard začala vyrábět minivany Citicar, jejichž maximální rychlost byla 60 km/h a na jedno nabití ujel vzdálenost 65 kilometrů. (Fayziyev et al., 2022)

Nová vlna zájmu o elektromobily začala v devadesátých letech minulého století, kdy se emise skleníkových plynů začaly zvyšovat a dále zvyšují. V roce 1997 byla v Japonsku představena hybridní Toyota Prius, stojící kolem 18 000 amerických dolarů. V roce 2008 se stala společnost Tesla první automobilkou v 21. století, která začala hromadně vyrábět elektromobily. V roce 2009 přijala čínská vláda plán přeměnit svou zemi na největšího výrobce elektromobilů na světě do roku 2020. Německo obrátilo pozornost na

elektromobily až v roce 2010, kdy se mělo do roku 2020 na německých silnicích objevit jeden milion elektromobilů. (Fayziyev et al., 2022)

1.2.2 Současnost elektromobilů

Největšími problémy elektromobilů v současnosti je nedostatek nabíjecích míst a cena baterií, které k elektromobilům neodmyslitelně patří. Náklady na baterie jsou samozřejmě dočasné, protože v důsledku sériové výroby bude klesat cena a zvyšovat se kvalita. Například ještě nedávno stála baterie, která dokázala dodat jeden kilowatt energie za hodinu kolem 1 000 dolarů. V současnosti vychází stejná baterie na 100 dolarů. (Fayziyev et al., 2022)

Pro vytvoření ideálních podmínek pro elektromobily je však odváděna značná práce. Například čínská bateriová společnost CATL představila první baterii pro automobily s životností milion mil (1,6 milionu kilometrů), to znamená, že auto, které denně ujede 300 kilometrů, bude mít životnost baterie zhruba 14,5 roku. (Fayziyev et al., 2022)

Jedním z hlavních průkopníků moderního pojetí elektromobility lze určit Elona Muska, který založil, a je stávajícím majitelem, automobilku Tesla. Prvním větším impulzem pro Teslu byl Model S, který se stal prvním velkosériovým elektromobilem. Časem se Tesla rozrůstala a přidaly se další modely, v omlazené podobě se Model S vyrábí dodnes. Mimo osobních automobilů se Tesla začíná zaměřovat také na plně elektrické tahače, v případě Tesly se jedná o Teslu Semi. Nejedná se však pouze o automobilku Tesla, za posledních 15 let přispívají svými modely také ostatní mainstreamové automobilky. Za průkopníky na evropském kontinentu lze považovat automobilky Nissan a Renault, přičemž Nissan Leaf se za nedlouho stal nejoblíbenějším elektromobilem na světě, především díky své přijatelné ceně a slušnému dojezdu. (Poláček a Matoušek, 2022)

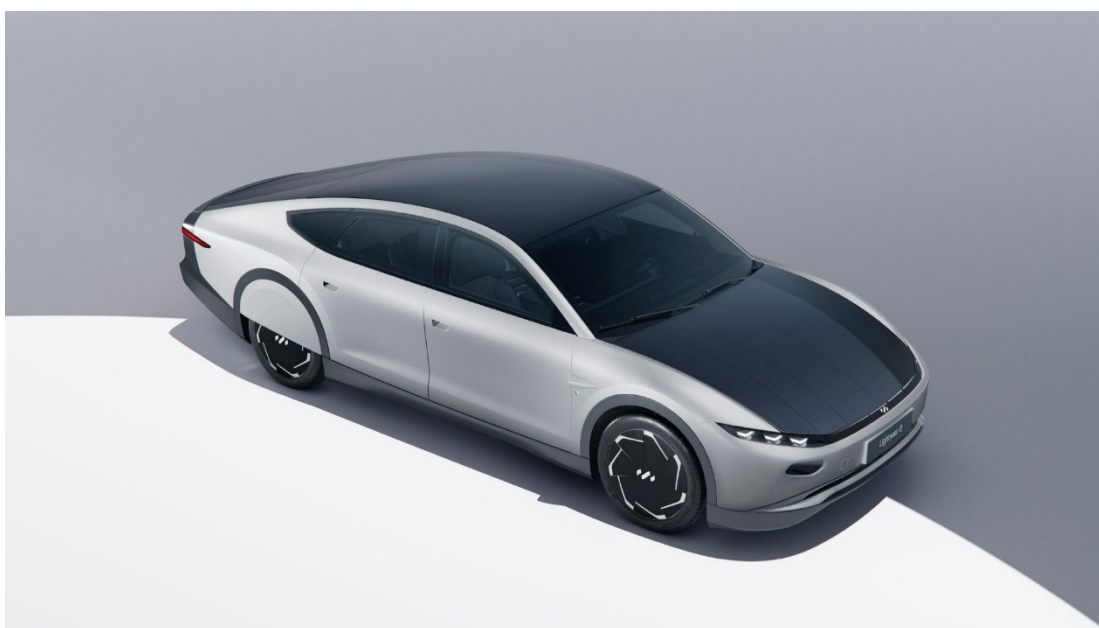
1.2.3 Budoucnost elektromobility

Elektromobilita zelenou dostává nejen v Evropě, samotné automobilky postupně plánují vyrábět buďto pouze elektromobily nebo významnou část své produkce zaměří na elektromobily. Například automobilka Jaguar plánuje od roku 2025 prodávat pouze elektromobily. V roce 2028 se přidá Lotus a o dva roky později také švédské Volvo. Nejedná se však pouze o luxusní značky, například Ford od roku 2030 bude v Evropě prodávat pouze elektromobily a Volkswagen tvrdí, že od stejného roku jako Ford bude tvořit jeho výroba 70 procent pouze vozy s elektrickým pohonem. (Fayziyev et al., 2022)

Evropský parlament dále schválil dohodu s členskými státy EU o nové normě o nulových emisích, který omezuje prodej nových osobních automobilů a dodávek pouze na auta s nulovými emisemi. (Krkoška, 2023)

S rostoucí produkcí, vývojem a kupní silou se postupně bude snižovat cena nových elektromobilů. S rostoucím počtem elektromobilů v dopravě bude také stoupat množství nabíjecích stanic a další infrastruktury pro provoz elektromobilů. S postupným vývojem bude s pořizovací cenou, také stoupat dojezd a efektivnost baterií.

Lightyear 0 – jedna z možných budoucností elektrické mobility z Nizozemska. Zajímavostí tohoto elektromobilu je, že kapotu i střechu pokrývají solární panely, které dle informací automobilky mohou dodávat i několik desítek kilometrů dojezdu. (Poláček a Matoušek, 2022)

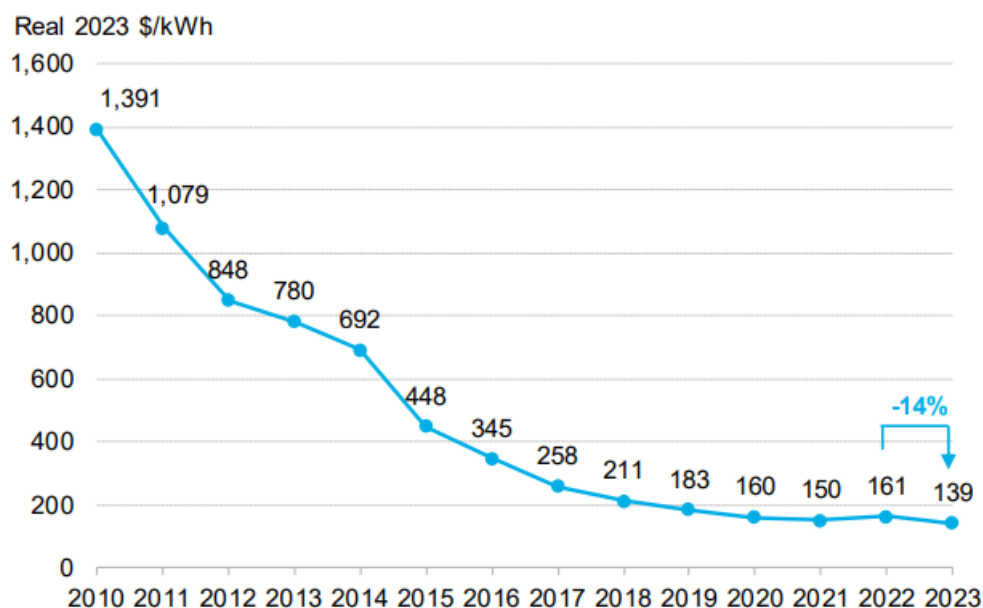


Obrázek 5 Elektromobil Lightyear se solárními panely na kapotě a střeše
(Aktuálně.cz, c2023)

2 BATERIE

Baterie je pravděpodobně vůbec nejdůležitější součástí bateriového elektrického vozidla (BEV), a také velmi důležitou součástí hybridních a plug-in hybridních vozidel. Díky zvýšeným nárokům na zlepšení dojezdu a snížení nákladů elektromobilů zaznamenala technologie baterií od 90. let 20. století významný pokrok. Velká pozornost byla věnována zlepšení kapacity a bezpečnosti baterií při minimalizaci nárůstu hmotnosti a snížení nákladů. (Jääskeläinen, 2022)

Volume-weighted average lithium-ion battery pack price



Source: BloombergNEF. Note: Historical figures have been adjusted to real 2023 dollars.

Obrázek 6 Vývoj průměrné ceny li-ionových baterií v letech 2010-2023 (Zero-Emission Vehicles Factbook, 2023)

Li-ion baterie jsou dominantním typem baterií pro použití v elektromobilech. V závislosti na zvolených materiálech elektrod a elektrolytu je možné použít mnoho variant li-ionových baterií (Jääskeläinen, 2022). Mezi nejpoužívanější patří lithium-železo-fosfátové baterie (LFP baterie), baterie typu NCA (lithium, nikl, kobalt, aluminium) a baterie typu NMC (lithium, nikl, mangan, kobalt) (BloombergNEF, 2023).

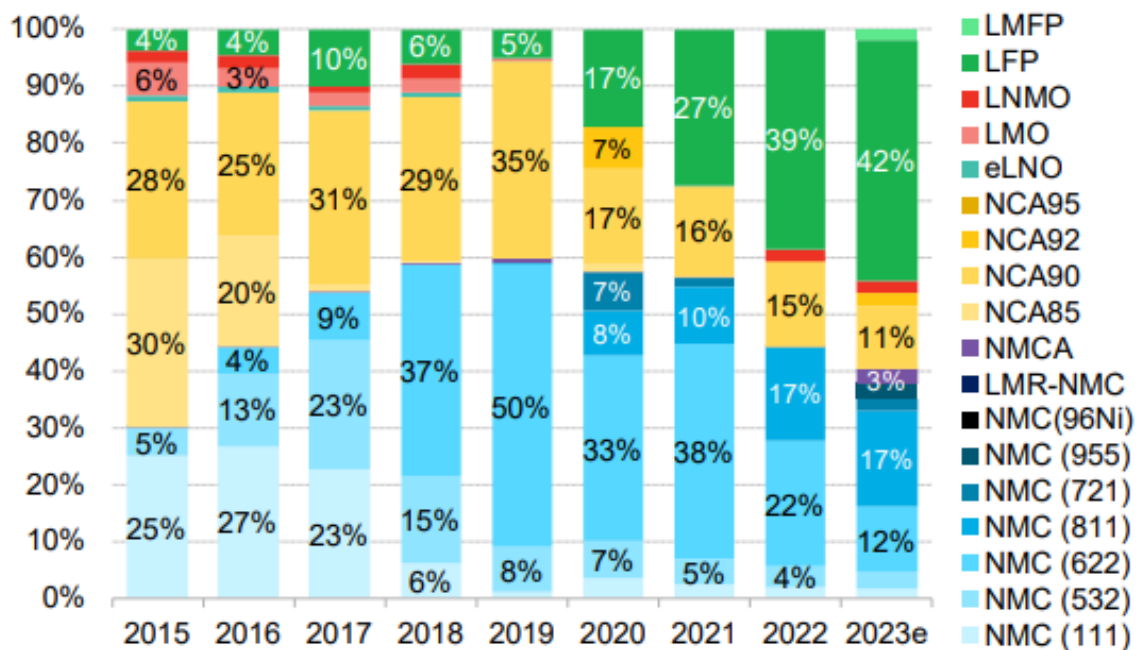
V blízké budoucnosti však přijde nová éra v oblasti baterií jak v elektromobilech, tak i ve všemožné elektronice. Tradiční lithium-iontové baterie, které již desítky let používáme mohou být nahrazeny solid-state bateriemi – tedy bateriemi na bázi pevných materiálů namísto tekutých elektrolytů. Tato technologie slibuje vyšší hustotu energie, delší životnost, a především vyšší bezpečnost. (Petro Online, 2023)

2.1 Baterie dle chemického složení

Výrobci elektromobilů pokračují ve změnách chemického složení baterií z důvodu snížení závislosti na kovech, které jsou spojeny s vyššími náklady. Lithium-železo-fosfátové (LFP) baterie, které nepoužívají kobalt nebo nikl – jedná se o drahé materiály v oblasti výroby baterií. Lithium je jediným drahým materiálem v bateriích LFP. V roce 2023 bylo více než 40 % baterií používaných v osobních elektromobilech bateriemi LFP, přičemž v roce 2020 to bylo pouze 17 %. (BloombergNEF, 2023)

Sodík-iontové baterie jsou životaschopnou a levnou budoucí alternativou k takzvaným lithium-iontovým bateriím. (BloombergNEF, 2023)

Evolution of cathode chemistry across all passenger electric vehicle segments



Obrázek 7 Vývoj chemického složení katod u osobních elektromobilů v letech 2015-2023 (Zero-Emission Vehicles Factbook, 2023)

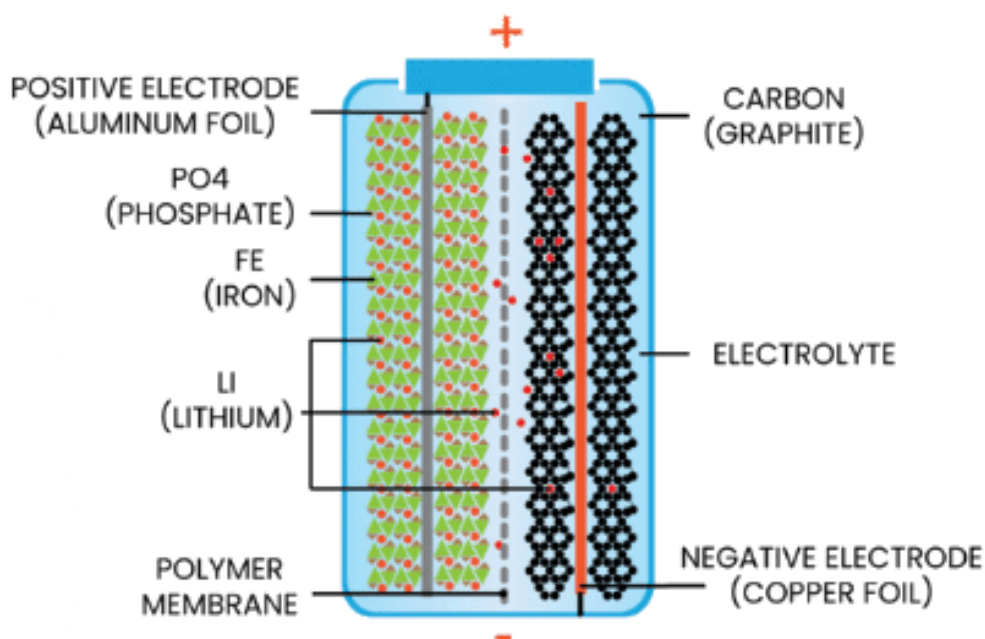
2.1.1 LFP baterie – Lithium-železo fosfátové baterie

Lithium-železo-fosfátové (LFP) baterie se stávají stále populárnější volbou pro elektromobily standardní řady, přičemž hlavní výrobci automobilů jako Tesla a Ford zavádějí na trh vozidla s pohonem LFP (Di Grandi, 2023). Baterie LFP, také lze dle chemického vzorce LiFePO_4 , nabízí nižší měrnou hustotu energie a také velmi vysoký měrný výkon. Stabilita baterií LFP je excelentní, kdy tepelný rozklad nastává až při teplotách $270\text{ }^\circ\text{C}$ (Špina, 2021).

LFP baterie patří mezi nebezpečnější typy lithium-iontových baterií s nízkým rizikem přehřátí a vznícení. Baterie jsou méně náchylné k tepelnému úniku a neuvolňují kyslík v případě vznícení. To je důvod proč jsou bezpečnější než jiné lithium-iontové baterie. (Di Grandi, 2023)

LFP baterie mají také delší životnost než jiné typy lithium-iontových baterií díky nízké rychlosti degradace. To znamená, že je lze nabíjet rychle a zároveň bez výrazného poškození baterie, což logicky vede k delší životnosti baterie. Baterie LFP také vydrží větší počet cyklů nabití a vybití. (Di Grandi, 2023)

Mezi další výhody lze uvést ekologickou udržitelnost a nízkonákladovost, kdy materiály použité k výrobě LFP baterií jsou nejen relativně levné, ale také netoxické. Baterie LFP nejsou nejen vhodné pro elektromobily, ale také například pro skladování energie. (Di Grandi, 2023)



Obrázek 8 Struktura LFP baterie (First Phosphate, c2024)

2.1.2 NMC a NCA baterie

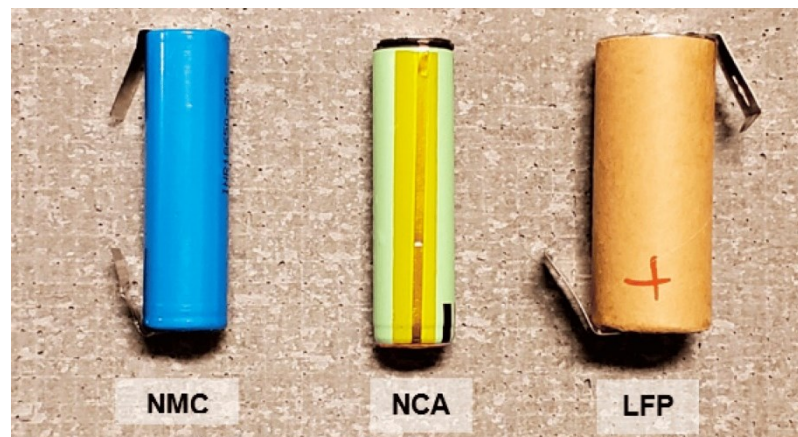
NMC i NCA baterie jsou stejně jako LFP baterie lithium-iontové baterie. Dříve velmi využívané v průmyslu elektromobility, avšak s postupným zaváděním LFP baterií, se tyto dva druhy baterií méně a méně využívají.

NMC baterie – Lithium, nikl, mangan, kobalt

NMC baterie je jednou z nejúspěšnějších typů lithium-iontových baterií. NMC baterie je lithium-iontovou baterií s jiným typem katody. Na rozdíl od LFP baterií, které mají dobrou kapacitu a stabilitu, NMC baterie vykazují zlepšenou životnost cyklu, tepelnou stabilitu a hustotu energie. Proces vybíjení NMC je podobná jako u LFP (jedná se v obou případech o Li-ion baterie). V roce 2019 tvořily NMC baterie téměř 60 % všech baterií v elektromobilech, v roce 2023 však již jen přibližně 30 %. Použití v dnešní době nacházejí spíše v elektrokolech. (BloombergNEF, 2023; Špina, 2021; Tran et al., 2021)

NCA baterie – Lithium, nikl, kobalt, aluminium

Již v roce 1999 se NCA baterie objevily na trhu, avšak původně pro speciální použití. NCA baterie nabízí mnoho podobností s NMC bateriemi, avšak nahrazují mangan hliníkem, NCA baterie také nabízí vyšší měrnou energetickou hustotu, ale také nižší bezpečnost. Baterie NCA mají dlouhou životnost, ale hlavní nevýhodou je bezpečnost, která je ve srovnání s jinými typy baterií nižší. Tento typ baterie proto vyžaduje speciální bezpečnostní monitorovací opatření pro použití v elektromobilech. Ještě v roce 2015 tvořily baterie NCA většinu v prodejkách elektromobilů, ale pravděpodobně kvůli vyšším nákladům a nízké bezpečnosti, se v roce 2023 prodalo s bateriemi NCA pouze zhruba 12 % elektromobilu. (BloombergNEF, 2023; Špina, 2021; Tran et al., 2021)

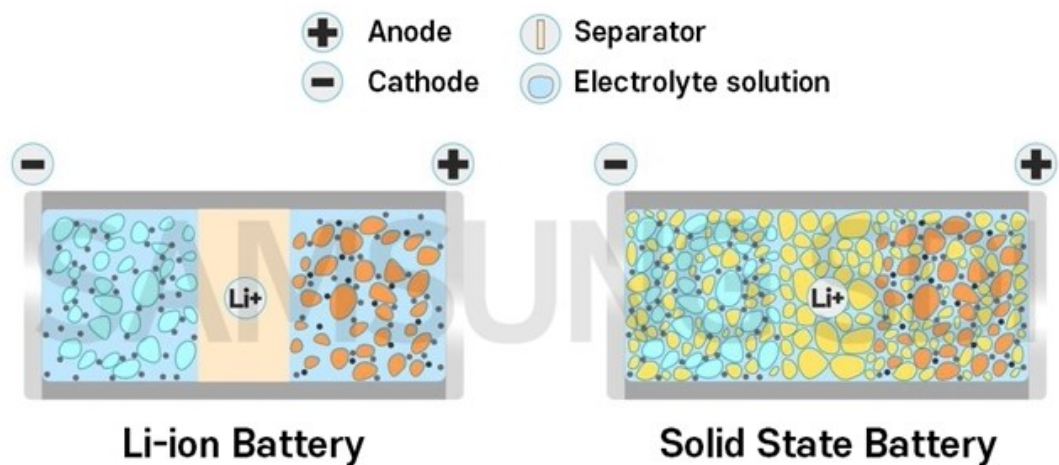


Obrázek 9 Lithium-iontové bateriové články s různou chemií NMC, NCA a LFP (Tran et al., 2021)

2.1.3 Solid-state baterie

Solid-state baterie, tedy baterie s pevným elektrolytem, fungují skoro jako běžné lithium-iontové baterie, kterými proudí ionty lithia. Solid-state baterie mohou být opravdu revoluční. Jsou mnohem bezpečnější, lehčí, výkonnější a odolnější než nyní používané baterie. Solid-state baterie jsou však stále ve vývoji, než se dostanou na trh budou muset překonat ještě několik překážek. Aktuálně největší překážkou je cena, kdy jsou stále dražší na výrobu než obyčejné lithium-iontové baterie. (CTIF, 2023; Pardo, 2023)

V okamžik, kdy se stanou solid-state baterie komerčně životaschopné, stanou se pravděpodobně silným konkurentem lithium-iontových baterií. Solid-state baterie mají mnohem vyšší hustotu energie než lithium-iontové baterie, což znamená, že dokážou uchovat více energie na stejném prostoru nebo stejné množství energie na menším prostoru. V oblasti elektromobility by se to mělo projevit delším dojezdem a menšími, lehčími bateriemi. Zároveň NASA vyvíjí solid-state baterie určené pro letectví. (CTIF, 2023)



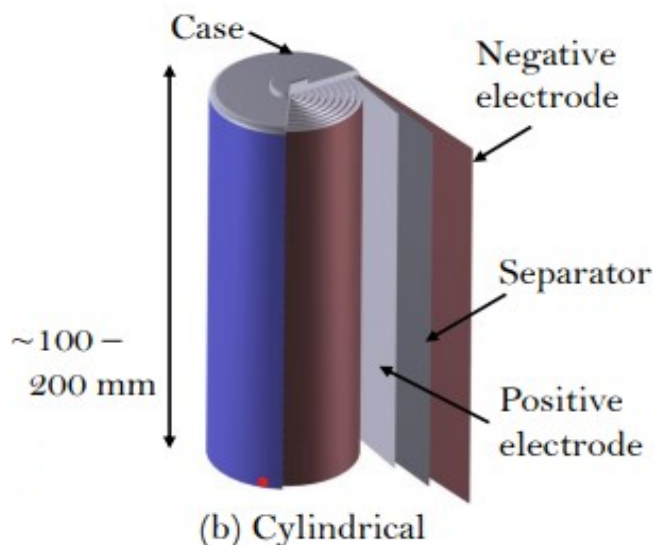
Obrázek 10 Rozdíl ve struktuře Li-ion baterie a Solid-state baterie (SAMSUNG SDI, c2024)

2.2 Baterie dle tvaru

Na trhu s bateriemi lze pozorovat tři základní typy lithium-iontových baterií určených pro elektromobily. Jedná se o cylindrické (cylindrical), prizmatické (prismatic) a pouzdřové bateriové články (pouch). (Lidebeck, Syed, 2017)

Cylindrické články

Cylindrické články jsou obvykle vyrobeny z dlouhých pásů elektrod, které jsou navinuty do tvaru válce (lze vidět na obrázku č. 10). Mimo jiné jsou zapouzdřeny v pevných pouzdrech a často jsou utěsněny těsněním, což zlepšuje mechanickou stabilitu článku. Navinutí zabraňuje oddělování elektrod při nárůstu tlaku, díky tomu je bobtnání méně znatelné. Cylindrické články byly poprvé využity v laptotech, které obsahovaly tři až devět těchto článků. Svou popularitu získaly ve chvíli, kdy je Tesla začala používat ve svých prvních elektromobilech (Tesla Roadster a Model S), které obsahovaly 6 000 až 9 000 těchto článků. (Lidebeck, Syed, 2017; Melançon, 2022)

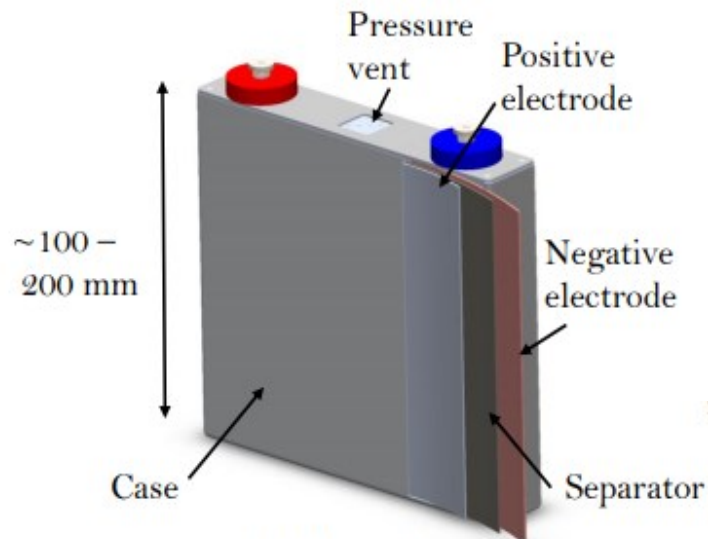


Obrázek 11 Cylindrický článek (Lidebeck, Syed, 2017)

Prizmatické články

Prizmatický článek je článek, jehož chemické složení je uzavřeno v tuhém obalu. Tento tuhý kovový kryt zvyšuje stabilitu článku, ale také jeho hmotnost. Obdélníkový tvar prizmatických článků umožňuje efektivní stohování více jednotek v bateriovém modulu. Tyto články mohou bobtnat v důsledku poruch nebo z důvodu špatného zacházení.

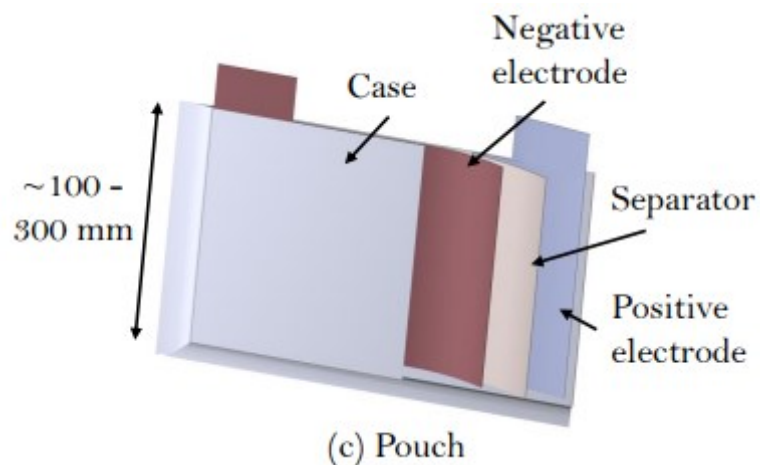
Prizmatické články se používají především v systémech skladování energie a elektromobilech. Z důvodu větší velikosti nejsou využívány v menších zařízeních, jako jsou například elektrokola nebo mobilní telefony. (Lidebeck, Syed, 2017; Melançon, 2022)



Obrázek 12 Prizmatický článek (Lidebeck, Syed, 2017)

Pouzdrové bateriové články

Na rozdíl od cylindrických a prizmatických článků, které jsou obvykle uzavřeny v kovových krytech, jsou pouzdrové články uzavřeny ve fóliových sáčcích s tepelně zatavenými švy. Díky této vlastnosti jsou lehké, ale jejich mechanická stabilita je nízká. Tenkost článku přináší výhodu mnoha možností stohování, tedy efektivního využití prostoru. Hrozí však bobtnání článků, což snižuje jejich využití v komerčních zařízeních v různých výrobcích. Z důvodu chybějící vlastní mechanické stability je nutné zajistit stabilitu okolním materiálem. (Lidebeck, Syed, 2017; Melançon, 2022)



(c) Pouch

Obrázek 13 Pouzdrový bateriový článek (Lidebeck, Syed, 2017)

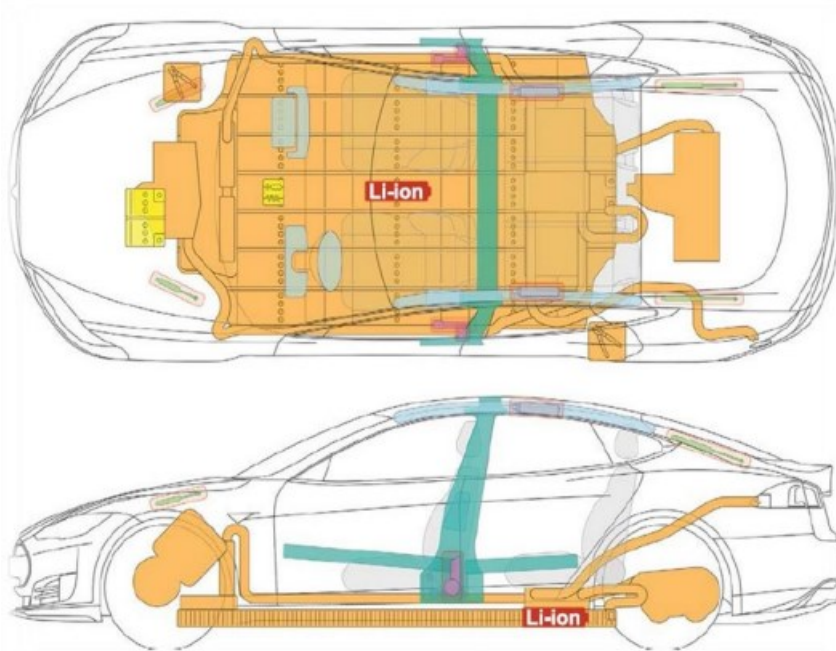
2.3 Lokalizace akumulátoru v bateriových elektrických vozidlech

Při zásazích spojených s elektromobily, v tomto případě s bateriovými elektrickými vozidly, je vždy nezbytně nutné zjistit polohu trakční baterie a zkontrolovat její stav. Při zásahu je nutné vést jej tak, aby nedocházelo k dalšímu poškození baterie a vyloučilo se tak její mechanické namáhání. (Malkovský et al., 2020)

Především při zásazích spojených s požárem nebo teplem se vyskytuje možnost, že bude třeba trakční baterii vozidla chladit. Proto je potřeba počítat s variantou, že se bude s vozidlem různě manipulovat, nejlépe mít přístup aspoň z jedné strany vozidla k podlaze daného vozidla. (Malkovský et al., 2020)

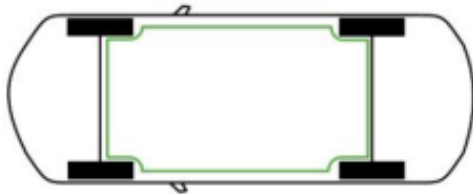
V případě, že nemá velitel zásahu, popřípadě KOPIS k dispozici informace o konkrétním vozidlu a umístění jeho trakční baterie je možné se řídit jednoduchými pravidly. Elektromobily, ať už bateriová elektrická vozidla, nebo další druhy elektromobilů, mají zpravidla baterie buďto v podlaze vozidla, anebo v centrálním tunelu vozidla (viz obrázky níže). (Malkovský et al., 2020)

V případě hybridních vozidel se mohou trakční baterie vyskytovat také v jiných částech vozidel, především z důvodu, že jsou v těchto vozidlech baterie menší, a také fakt, že se v těchto vozidlech vyskytují dvě hnací jednotky.

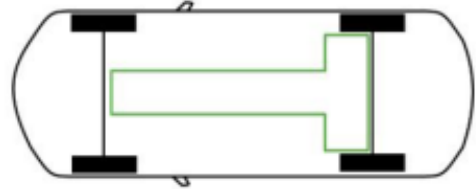


Obrázek 14 Umístění trakčních baterií v BEV Tesla model X
(Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR, 2020)

V konkrétnějším pohledu na rozmístění trakčních baterií v bateriových elektrických vozidlech se dá vzít v potaz, že jsou tři základní rozmístění. U osobních vozidel existují tři hlavní konfigurace. Nejběžnější je konfigurace „podlaha“ (Obrázek č. 15) a konfigurace „T“ (Obrázek 16). (Bisschop et al., 2019)



Obrázek 16 Konfigurace „Podlaha“
(Research Institutes of Sweden, 2019)



Obrázek 15 Konfigurace „T“
(Research Institutes of Sweden, 2019)

Třetí možností je uložení trakční baterie v zadní části vozu (zavazadlový prostor dnešních vozidel). Tato možnost je však nejméně častá. (Bisschop et al., 2019)



Obrázek 17 Konfigurace trakční baterie
v zadní části vozidla (Research Institutes
of Sweden, 2019)

3 BEZPEČNOST ELEKTROMOBILŮ

Bezpečnost elektromobilů je součástí mnoha diskusí, většinou však při těchto diskusích panuje celá řada protichůdných informací a emocí. Na jedné straně se setkáváme s tvrzeními, že elektromobilita je velkým problémem pro hašení v případě požáru, na druhé straně se setkáváme s tvrzeními, že elektromobily jsou naopak bezpečnější než vozidla na běžné pohony (nafta, benzín, plyn). (Malkovský et al., 2020)

3.1 Četnost požárů bateriových elektrických vozidel statisticky

Poměrně časté téma diskuzí o elektromobilitě a o její bezpečnosti je, zda elektromobily hoří častěji než vozidla s konvenčními pohony. V České republice dosud hořely dvě BEV, z toho se závěry dělat nedají. Jsou však státy v Evropské unii a ve světě, kde mají s elektromobilitou mnohonásobně větší zkušenosti, a počty samotných vozidel na elektrický pohon tvoří značnější část vozových parků těchto států. Zde již statistiky smysl mají, proto je dobré se podívat na výsledky jednotlivých studií.

3.1.1 Studie počtu požárů elektromobilů ve Finsku v letech 2015-2023

V studii byla provedena metoda, kdy byly z databáze národního záchranného registru Pronto vyhledány požáry vozidel a dopravní nehody s účastí elektrifikovaných osobních nebo těžkých vozidel (součástí studie nebyla lehká vozidla jako skútry nebo elektrokola). Vzhledem k tomu, že zdroj pohonu nebyl v databázi jasně zaznamenán bylo nutné provést rozsáhlé vyhledávání podle klíčových slov, včetně slov spojenými s elektromobilitou (elektrický, hybridní, baterie, vysokonapětový). Následně byly z výsledků vyhledávání vyřazeny neshody. (Linja-Aho, 2023)

Z databáze bylo zjištěno celkem 46 případů zahrnujících hybridní nebo elektrická vozidla v průběhu let 2015-2023. V jednom případě však nebyl prokázáno žádné plamenné hoření ani kouř a ve druhém případě se jednalo o incident týkající se lodi, na které byly instalovány použité baterie elektromobilů. Studie se však zaměřuje na silniční vozidla, proto byl tento případ vyřazen a celkový počet případů se snížil na číslo 44. (Linja-Aho, 2023)

Požáry BEV

Z celkem 9 případů požárů osobních bateriových elektrických vozidel (BEV) zaznamenaných v letech 2015-2023, došlo ve třech případech k požáru vozidla, které bylo zrovna zapojeno v síti, tedy při nabíjení. Ke třem požárům došlo během jízdy a jeden požár vznikl po autonehodě s jiným účastníkem provozu. Navíc došlo také ke dvěma požárům BEV následkem požáru budovy (z toho jeden byl identifikován jako žhárství). Ke skutečnému požáru BEV během jízdy však došlo pouze jednou, a to v březnu roku 2023, ostatní dva případy byly identifikovány jako únik kouře z tepelného čerpadla vozidel Tesla Model 3. Z těchto devíti případů požárů BEV se však pouze čtyři případy týkaly požáru vysokonapěťové baterie. (Linja-Aho, 2023)

Tabulka 2 Počty požárů BEV ve Finsku v letech 2015-2023 (Zdroj dat: Linja-Aho, 2023)

Rok	Počet požárů BEV	Počet požárů BEV na 10 000 BEV	Počet BEV	Podíl požárů na celkový počet BEV v % za rok
2015	0	0	614	0
2016	0	0	844	0
2017	0	0	1 449	0
2018	1	5,2	2 404	0,04
2019	1	2,8	4 661	0,02
2020	0	0	9 697	0
2021	1	0,6	22 921	0,004
2022	0	0	44 889	0
2023	6	0,9	83 765	0,007

Na základě tabulky lze vidět, že i přes zvyšující se počty elektromobilů neroste nijak významně podíl jejich požárů, snad až na rok 2023, kdy jich hořelo celkem šest. Je nutné však připomenout, že ne všechny uvedené požáry vznikly z podstaty elektromobilu, viz výše zmíněné žhárství a úniky dýmu z tepelného čerpadla vozidel Tesla Model 3.

3.1.2 Studie požárů elektromobilů ve Švédsku v letech 2018-2022

Studie využila dat z databáze MSB (Swedish Civil Contingencies Agency), která obsahuje data z hlášených událostí, které ji poskytují jednotlivé záchranné složky po každé mimořádné události nebo události. MSB si provedla vlastní analýzu a kategorizaci každé události. V některých případech byla data doplněna také informacemi z médií. Studie využila dat o událostech v časovém horizontu leden 2018 až prosinec 2022, které se týkaly požárů vozidel nebo elektromobilů. Požáry vyhodnocené jako žhářství nejsou zahrnuty. (MSB, 2023)

V rozmezí let 2018-2022 došlo celkem k 371 požárům nebo událostem, které se týkaly buďto BEV nebo různých hybridních vozidel. Ne všechny požáry se však týkaly baterií jednotlivých dopravních prostředků. Z 371 požárů, však pouze 81 připadá na osobní automobily (BEV, PHEV, HEV), 6 požárů bylo přiřazeno nákladním automobilům a 3 autobusům. Zbytek, tedy značnou část celku, tvořily požáry skútrů, jízdních kol a dalších podobných prostředků. (MSB, 2023)

Z důvodu toho, že studie nerozděluje “elektromobily“ na jednotlivé druhy (BEV, PHEV, HEV), ale lze z popisu jednotlivých události vytáhnout počet požárů BEV, využijí dat za rok 2022 z důvodu nejvyššího počtu elektromobilů pro co největší věrohodnost dat.

V roce 2022 došlo ve Švédsku k celkem 23 požárům elektrických vozidel. Jednalo se o 6 případů v případě jízdy, o 4 v případě nabíjení a zbytek, tedy 13 případů, nebylo objasněno. Pro vypracování statistiky požárů BEV využijí i dat s neobjasněnou příčinou. (MSB, 2023)

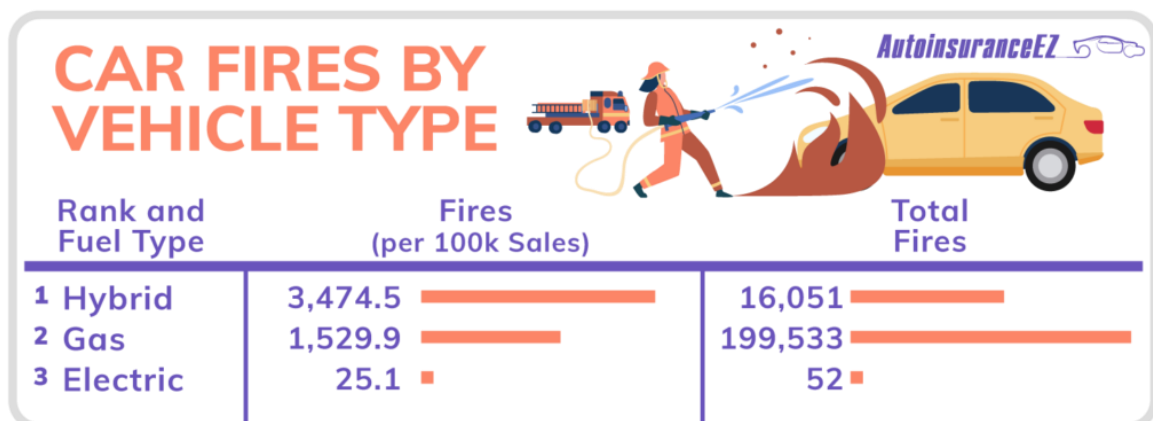
Tabulka 3 Počet požárů BEV ve Švédsku v roce 2022 (Zdroj dat: MSB, 2023)

Rok	Počet požárů BEV	Počet BEV	Podíl požárů na celkový počet BEV v % za rok
2022	9	197 709	0,0045

Dle studie MSB za rok 2022 shořelo ve Švédsku celkem devět bateriových elektrických vozidel (BEV). Přičemž je nutné uvést, že ne všechny požáry byly iniciovány trakční baterií. V statistice jsou zaneseny i případy, kdy shořely na parkovišti 4 elektromobily vedle sebe. Z celkového počtu 197 709 elektromobilů ve Švédsku v roce 2022 to tvořilo podíl 0,0045 % shořelých elektromobilů za rok vůči celkovému počtu elektromobilu v zemi. Ve Švédsku ročně vzplane více než 3 400 osobních vozidel, což tvoří zhruba 370 případů hořících osobních automobilů na jedno shořelé bateriové elektrické vozidlo.

3.1.3 Studie srovnávající počty požárů hybridních vozidel, elektromobilů a LPG vozidel ve Spojených státech amerických

Studie využila nejnovějších dat o požárech automobilů z NTSB (National Transport Safety Board) a následně vypočetla četnost požárů z údajů o prodeji z BTS. Na základě těchto dat bylo zjištěno, že nejvíce požárů na 100 tisíc prodejů mají hybridní vozidla (PHEV, HEV). Vozidla využívající plyn se umístila na druhém místě a vůbec nejméně požárů na 100 tisíc prodaných vozidel přísluší elektromobilům (BEV). (Wright, 2023)



Obrázek 18 Počty požárů vozidel na základě pohonu (AutoinsuranceEZ.com, 2023)

Například v roce 2018 bylo ve Spojených státech hlášeno celkem 212 500 požárů automobilů. (Lindner, 2023)

3.2 Výsledky crash testů – studie společnosti DEKRA

V rámci bezpečnostní studie společnosti DEKRA byly elektromobily Renault Zoe a tři vozy Nissan Leaf podrobeny nárazovým testům v Crash Test Center DEKRA. Tyto testy proběhly v rámci společného výzkumného projektu společnosti DEKRA Accident Research a výzkumníky dopravních nehod z Lékařské fakulty v Göttingenu. (DEKRA, 2019)

Testy zahrnovaly úmyslné narážení vozů do sloupu. Navrženy byly tak, aby simulovaly reálné nárazy do stromů. Testy byly provedeny v rychlostech mnohem vyšších, než jaké se běžně používají při standardních nárazových testech. (DEKRA, 2019)

Ve třech ze čtyř scénářů havárie odborníci iniciovali boční srážku se sloupem – Renault Zoe při rychlosti 60 km/h a Nissan Leaf při 60 a 75 km/h. Ve čtvrtém scénáři utrpěl Nissan Leaf čelní náraz v rychlosti 84 km/h. Pro příklad nárazové zkoušky dle Euro NCAP probíhají v rychlostech 50 km/h. (DEKRA, 2019)

Dle slov jednoho z výzkumníků je poškození těchto elektromobilů srovnatelné s běžnými automobily. Důležitým aspektem bylo, že při nárazu se automaticky odpojil vysokonapěťový systém. I když byla baterie silně zdeformována, tak nedošlo k žádnému požáru. (DEKRA, 2019)



Obrázek 19 Crash test společnosti DEKRA (DEKRA, 2019)

Společnost DEKRA zároveň poskytla doporučení pro hasiče, jak postupovat v případě nehody elektroauta:

- odpojení sítě lze rozpoznat na základě vystřelených airbagů nebo indikátorů na palubní desce vozidla,
- postupovat při zásahu s osobními ochrannými prostředky (včetně dýchacích přístrojů),
- v průběhu zásahu je doporučeno kontrolovat teplotu za pomoci termokamery. (Malkovský et al., 2020)



Obrázek 20 Silně zdeformovaná baterie Nissanu Leaf (DEKRA, 2019)

3.3 Bezpečnost zasahujících hasičů

Vůbec nejdůležitější částí zvládnání problematiky hašení elektromobilů je bezpečnost zasahujících hasičů. Během požáru lithium-iontových baterií se uvolňuje mnoho nebezpečných plynů, které mohou být vysoce nebezpečné.

3.3.1 Kontaminace zásahových oděvů při požárech baterií v elektromobilech

Selhání nebo poškození baterie v elektromobilu vede k uvolňování nebezpečných plynů jako je oxid uhelnatý (CO), fluorovodík (HF), kyanovodík (HCN), oxyfluorid fosforečný (POF₃), které mohou představovat vážnou hrozbu pro zúčastněné osoby a zasahující hasiče. Dále také vodík (H₂) nebo metan (CH₄), které zvyšují rozvoj požáru a mohou vytvářet silné plamenné hoření nebo dokonce výbuch. (Szmytke et al., 2022)

Experiment prováděn s cílem zjistit kontaminaci hasičských zásahových oděvů, které budou vystaveny hořící baterii za ideálních podmínek. Experiment byl proveden s baterií umístěnou na ocelové konstrukci, která byla uzavřena v ocelové konstrukci. Při testu byl hasičský oděv Ballyclare umístěn 0,5 metru od hořící baterie. (Szmytke et al., 2022)

Vzorky odebrané pro experiment pocházely z kontaminovaných hasičských oděvů. Po těchto požárních testech byly vzorky shromážděny, izolovány a odeslány do laboratoře. Z hlediska obsahu kovů byly vzorky testovány na kobalt a lithium, testy prokázaly, že při požáru baterie byly zaznamenány jak kobalt, tak lithium. Lithium v množství 35 mg/kg a kobalt v množství 24 mg/kg. (Szmytke et al., 2022)

Kontaminované vzorky byly také testovány na nalezení organických sloučeniny kyseliny fosforečné. Při testu v uzavřeném prostoru bylo zaznamenáno 130 mg/kg kyseliny fosforečné. (Szmytke et al., 2022)

3.3.2 Rizika spojená s kontaminovanou vodou po uhašení bateriových elektrických vozidel

Rizika spojená s kontaminací hasební vody při požárech bateriových elektrických vozidel testovala studie, která se zaměřila na srovnání kontaminace po uhašení. Celkem byly provedeny čtyři testy, testováno bylo jedno konvenční vozidlo, bateriové elektrické vozidlo, bateriové elektrické vozidlo s vyjmutou baterií a také test pouze s vyjmutou baterií. (Quant et al., 2023)

Všechna testovaná vozidla byla vyrobena v roce 2021. Z bezpečnostních důvodů byly nutné některé úpravy vozidel – propíchnutí vozidel, deaktivace tlumičů a odpružení. V testovaných vozidlech také nebyly airbagy. Všechna vozidla byla podpálena pomocí propanového hořáku, v případě BEV byl umístěn přímo pod kryt akumulátoru, tím došlo k tepelnému poškození baterie a následnému požáru. (Quant et al., 2023)

Výsledky testů

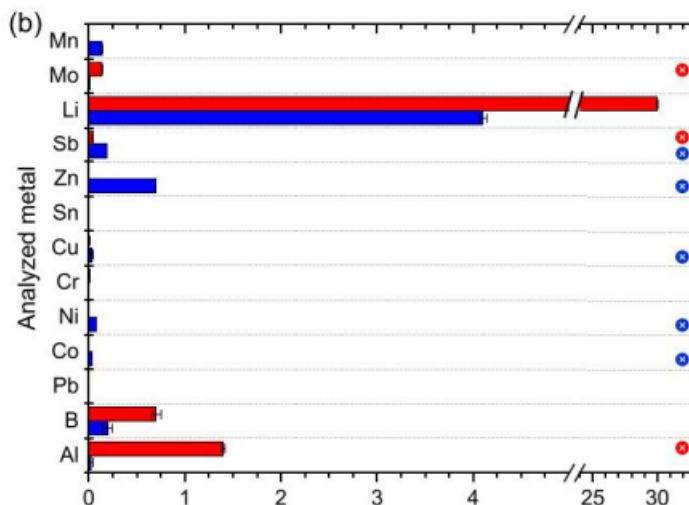
V první části se testovala hodnota pH, slanost a elektrická vodivost.

	ICEV	BEV	Battery
pH	2.6 – 2.8	7.3 – 7.7	9.1
Salinity (ppt)	0.5	0.3	0.3
Conductivity (mS cm ⁻¹)	2.6	7.5	9.1

Obrázek 21 Hodnoty pH, slanosti a elektrické vodivosti po testech hasební vody (Quant et al., 2023)

Zajímavostí je, že pH vzorků vody z testů BEV a baterie se výrazně liší od pH vody z testu konvenčního vozidla (ICEV). Pro test BEV měla voda pH 7,3 až 7,7, což je blízké neutrálnímu pH 7,0. (Quant et al., 2023)

V dalším testu se analyzovala četnost kovů a iontů v hasební vodě.

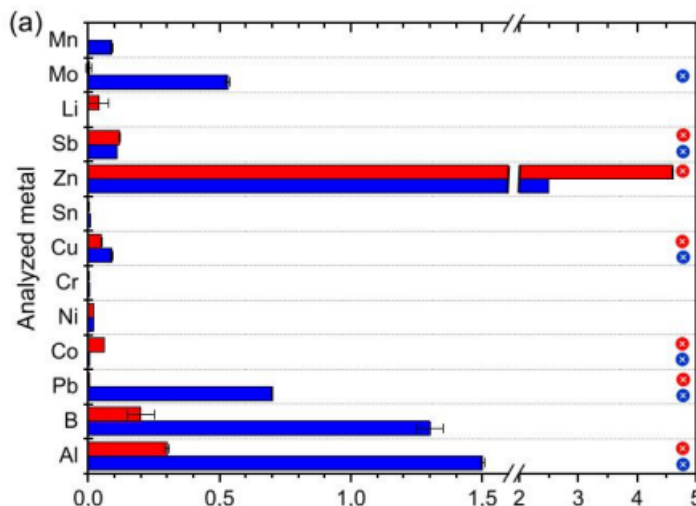


Obrázek 22 Analýza četnosti kovů a iontů v hasební vodě použité při hašení BEV (Quant et al., 2023)

Rtuť olovo, kadmium a měď jsou často označovány jako závažnější látky znečišťující životní prostředí, především z důvodu, že mají vysokou toxicitu pro vodní organismy. Rtuť, kadmium a arsen nebyly nalezeny v žádném ze vzorků vody analyzovaných v této studii, tedy ani v hasební vodě BEV. Olovo bylo nalezeno pouze ve vzorcích ICEV. Měď byla nalezena ve vzorcích ICEV i BEV, avšak v případě ICEV se jednalo o desetinásobek. V případě BEV se jednalo o množství, které se blížilo směrné hodnotě. (Quant et al., 2023)

Kovy specifické pro baterie, jako je mangan, nikl, kobalt a lithium, byly nalezeny ve vyšších koncentracích v testech BEV a baterií ve srovnání s testem ICEV. (Quant et al., 2023)

Pro srovnání analýza četnosti kovů a iontů v hasební vodě použité při hašení konvenčního vozidla níže.



Obrázek 23 Analýza četnosti kovů a iontů v hasební vodě použité při hašení ICEV (Quant et al., 2023)

3.3.3 Rizika spojená s požáry lithium-iontových baterií

Vzhledem k rostoucím počtům elektromobilů nejen v Evropě, ale také po celém světě, se zvyšuje pravděpodobnost jejich účasti na dopravních nehodách. Stejně jako u dnes nejčastěji používaných konvenčně poháněných vozidel existuje šance, že energie uložená v automobilech může přinést určité nebezpečí a rizika spojená s požáry. (Bisschop et al., 2019)

Teplený únik

Primární bezpečnostní rizika u BEV pochází z jednotlivých bateriových článků, které tvoří baterii. Bateriový článek může při nesprávném používání uvolňovat plyn, který se může vznítit nebo způsobit výbuch. Ve chvíli, kdy jsou překročeny limity napětí nebo teploty baterie, mohou se uvnitř baterie spustit určité chemické reakce. To může vést k vnitřnímu zkratu nebo zvýšení vnitřní teploty jinými mechanismy. Bateriový článek může následně selhat vypouštěním hořlavého plynu, shořet nebo explodovat. Tepelný únik je spouštěn řetězcem chemických reakcí uvnitř baterie, které mají za následek zrychlené zvýšení vnitřní teploty. (Bisschop et al., 2019)

Vnitřní zkrat bateriového článku

Nejnebezpečnější příčinou selhání baterie je vnitřní zkrat článku. Tato katastrofická událost může nastat velmi náhle a bez předchozího varování. Vnitřní zkrat může být výsledkem výrobních vad nebo fyzického poškození. Ve chvíli, kdy dojde k vnitřnímu zkratu, výsledné poškození je často vážné. Článek vybije svou energii zkratem a když elektrický proud prochází vodivým materiálem, produkuje teplo. To může způsobit rychlý ohřev a ten spustit "samozahřívání" a tepelný únik. (Bisschop et al., 2019)

Nebezpečí a rizika

Když baterie selže, může to mít několik různých důsledků, například požár nebo dokonce výbuch. Tato různá nebezpečí byla klasifikována Evropskou radou pro automobilový výzkum a vývoj. Jako nejzávažnější klasifikovala výbuch. (Bisschop et al., 2019)

4 ZPŮSOBY HAŠENÍ ELEKTROMOBILŮ

Způsobů, jak uhasit elektromobil, respektive především trakční baterii, máme hned několik. Vůbec nejčastějšími způsoby hašení jsou ochlazování anebo ponoření elektromobilu do kontejneru na elektromobily. V případě ochlazování se jedná o postup, kdy se nejdříve uhasí požár jako takový, a následně se ještě ochlazuje baterie přímým vodním proudem. V případě ponořování vozidla do kontejneru je způsob podobný, nejdříve se uhasí požár, a následně, se buďto hned ponoří a vůbec se neochlazuje vodním proudem, anebo se nedaří ochladit baterii proudem, a proto jde elektromobil pro jistotu do kontejneru. V případě ponoření do kontejneru však dochází k totálnímu zničení vozidla. (Malkovský et al., 2020)

Jedním ze způsobů, jak uhasit elektromobil, ne však ochladit baterii, je využití protipožární plachty, kterou se hořící elektromobil přikryje. Tento způsob uhašení se využívá především k ochraně okolí, kdy se tímto způsobem uduší plamenné hoření, a následně jsou dochlazovány baterie vodním proudem, případně ponořením vozidla do kontejneru. (Lesiak et al., 2021)

Požár elektromobilu se hasí především vodou, a to přímým nebo obranným ochlazování baterie. K tomuto lze využít několik technických vychytávek, které jsou určeny k lepšímu přístupu k hašení baterií z pod vozu, anebo je s nimi možné probodnout baterii a tu následně chladit zevnitř. Mezi tyto vychytávky patří hasící kopí, různá propichovací zařízení anebo vodní clony. (Malkovský et al., 2020)

Důležitou částí, jak správně hasit elektromobil jsou také hasiva, protože v případě požáru je dobré využít těch vůbec neúčinnějších. Mezi nejpoužívanější hasivo na hašení elektromobilu se využívá voda, která má dobrý potenciál ochlazovat své okolí. K uhašení elektromobilu lze také využít vodu se speciálními smáčedly na hašení elektromobilů nebo pěnu. Pěna však nemá tak dobrý chladicí potenciál jako voda, a tak je vhodné ji využívat spíše jako jednu s možností společně s vodou. (Lesiak et al., 2021)

4.1 Ochlazování akumulátorů vodním proudem

Cílem ochlazování vodním proudem je ochladit baterii na okolní teplotu. Doporučuje se čistá voda bez příměsí aplikovaná na kryt baterie jedním proudem "C" po dobu zhruba deseti minut, poté se pět minut sleduje stav baterie. Jestliže baterie samovolně zvyšuje svou teplotu, nebo vydává kouř, opakuje se chlazení po dobu dalších deseti minut. Tento proces se opakuje stále dokola do doby, kdy baterie přestane zvyšovat svou teplotu (tento proces vyžaduje na základě reálných zkoušek spotřebu vody 1–30 m³). (Malkovský et al., 2020)

Při ochlazování je dobré vozidlo vhodně polohovat pro získání lepšího přístupu k baterii vozidla. Baterie se většinou nachází v podlaze vozidla, tím pádem je ideální vozidlo mírně nahnout na bok, a tím získat lepší přístup (viz obrázek níže).



Obrázek 24 Polohování vozidla při chlazení baterie (Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR, 2020)

Jak již bylo zmíněno, ochlazování je velmi důležité sledovat teplotu baterie, k snímání teploty krytu baterie je vhodné využít termokameru. Termokamera pomůže přesně lokalizovat místo pro chlazení baterie. Díky tomu může přesně cílit proud vody a zefektivnit proces ochlazování. (Malkovský et al., 2020)

Po zdárném ochlazení baterie je doporučeno monitorovat její stav minimálně dalších 45 minut. Jestliže i do této doby nedojde k žádnému samozáhvěvu baterie, nebo k vývinu kouře, je možno místo zásahu předat se stanovením opatření po požáru. „*Pokud máme k dispozici informace od výrobce, který stanoví dobu delší, je vhodné se těmito doporučeními řídit (například Tesla doporučuje 60 minut), v ostatních případech postačí obecný postup. Tímto způsobem je možné požár EV i HV zdolat i uchránit část vozidla nezasáženou požárem*“ (Malkovský et al., 2020).

4.2 Ochlazování ponořením do vodní lázně

Metoda spočívající v ponoření elektromobilu či hybridního vozidla do vodní lázně (zpravidla se jedná o umístění vozidla do kontejneru, který se následně napustí vodou) způsobí na vozidle totální škodu a zkázu. Využívání této metody je opodstatněno nemožností efektivního chlazení baterií jiným způsobem, nebo v případě, že vozidlo je již poškozeno požárem či vinou následku dopravní nehody. (Malkovský et al., 2020)

Při procesu ponořování vozidla do vodní lázně mohou vznikat výbušné plyny při elektrolýze. *„Elektrolýza je způsobena průchodem stejnosměrného elektrického proudu kapalinou mezi elektrodami elektrické instalace vozidel. Elektrody mohou v tomto případě tvořit odkryté svorky kontaktů např. „HV“ baterie, případně „živé“ odizolované části „HV“ vodičů apod. Při této reakci dochází k charakteristickému šumění a bublání (microbubbling) pozorovatelným v blízkém okolí a nad ponořeným vozidlem“* (Malkovský et al., 2020).



Obrázek 25 Elektromobil ponořený ve vodní lázni (Firehouse.com, 2021)

Elektrolýza rozkládá molekuly vody na vodík a kyslík. Tyto plyny se mohou nahromadit v uzavřených částech vozidla a vytvořit tak výbušnou koncentraci. Jestliže není vysokonapěťové vedení vozidla zásadně poškozeno a je zachována celistvost bateriového pouzdra, tak probíhá tato reakce vně těchto krytů baterií a konektorů. Samotný microbubbling není známkou probíjení vysokonapěťové části do okolní vody. (Malkovský et al., 2020)

V rámci tohoto jevu dochází k vybíjení baterií a po jejich vybití se microbubbling zastaví. (Malkovský et al., 2020)

Z důvodu možných rizik je tedy nutné před ponořením vozidla vytvořit nezbytné podmínky pro únik plynů z uzavřených částí vozidla a tím předejít hrozbám spojených s výbuchem. Nutné je také počítat se správným umístěním kontejneru. Pro potřeby utopení vozidla je možné využít jakýkoliv kontejner, který je možné utěsnit. Doporučované jsou však speciální kontejnery určené pro tuto práci. Vozidlo není třeba utopit celé, bohatě postačí, když budou pod vodou trakční baterie vozidla. K utěsnění kontejneru lze využít například nízko-expanzní pěnu, nebo velkou plachtu. (Malkovský et al., 2020)

Vozidlo by mělo být ponořeno ve vodní lázni minimálně 48 hodin. Po vyjmutí z kontejneru je možné místo zásahu předat se stanovením opatření po požáru. (Malkovský et al., 2020)

Nutno počítat s faktem, že ponořením vozidla vznikne kontaminovaná voda, kterou bude potřeba náležitě zlikvidovat. Tuto kontaminovanou vodu nelze vypustit do běžné kanalizace před provedením jejího rozboru. K likvidaci kontaminované vody se nejčastěji využívají odborné firmy. Cena za likvidaci se pohybuje kolem 2 000 Kč/m³. To znamená počítat s náklady za likvidaci kontaminované vody v částkách kolem 20 až 30 tisíc Kč, záleží na výšce zaplnění kontejneru. (Malkovský et al., 2020)

4.3 Protipožární plachta pro hašení požárů elektromobilů a lithiových baterií

Jedním z řešení, jak uhasit elektromobil je použití speciální tkaniny pro hašení elektromobilů. V podstatě se jedná o plachtu, která se překryje přes elektromobil, a následně je elektromobil do ní zabalen, čímž se zabrání přístupu kyslíku. Částečně tuto techniku používají němečtí hasiči, plachtu však využívají spíše jako obranný prvek, který chrání okolní objekty nebo vozidla. (Lesiak et al., 2021)

Nejvhodnější použití protipožární plachty je však v případě, že nehoří baterie. V tu chvíli je možné použít tuto plachtu a uhasit plamenné hoření a zabránit tak vzplanutí baterie. I tak je nutné počítat s tím, že v případě přikrytí plachtou se pod ní bude zvyšovat teplota (lze si to představit jako papiňák), a tím v baterii nastartovat reakce, které mohou způsobit její vzplanutí. Tento proces se nazývá "Thermal Runaway." V závislosti na materiálu, ze kterého jsou baterie vyrobeny, mohou jejich kyseliny uvolňovat hořlavé plyny, které se vracejí zpět do plamenů, a zároveň teplo z plamenů napájí chemickou reakci kyselin. Tato řetězová reakce znamená, že použití pouze protipožární plachty nestačí k uhašení požáru elektromobilu. (Texfire, c2024)

Z toho důvodu, když v baterii elektromobilu dojde k reakci typu "Thermal Runaway," jsou protipožární příkrývky užitečné nikoli pro uhašení požárů, ale pro kontrolu plamenů, minimalizaci šíření tepla a toxických výparů, zabránění postupu a šíření požáru, šíření plamenů, zamezení poškození jiných vozidel nebo prvků v okolí, a především umožnění bezpečnější práce záchranným složkám. (Texfire, c2024)



Obrázek 26 Hašení elektromobilu pomocí protipožární plachty (Lesiak et al., 2021)

4.4 Další způsoby hašení elektromobilů

Jedná se především o technické vymoženosti, které pomáhají efektivněji chladit baterii vodním proudem ať už vnitřně nebo zevnějšku.

4.4.1 Hasící kopí MURER

Hasící kopí MURER lze požáry lithium-iontových baterií v elektromobilech uhasit rychle, efektivně a se zvládnutelným množstvím hasiva. Hasící kopí MURER je vyrobeno z nerezové oceli, je speciálně vyztuženo a izolováno až do 1 000 V. Díky ostrému hrotu lze po správném umístění hasícího kopí k baterii po několika silných úderech kladivem zatlouct hrot dovnitř baterie a následně zaplňovat vnitřek baterie vodou. Díky tomuto způsobu hašení bojuje hasící směs přímo s články baterie. (MURER-Feuerschutz GmbH, c2024)



Obrázek 27 Hasící kopí MURER (MURER-Feuerschutz GmbH, C2024)

Na základě testu hasícího kopí MURER ve spolupráci se společností DEKRA bylo využito elektromobilu Volkswagen ID.3, který byl nejdříve zapálen a následně při rozhoření uhašen pomocí právě hasícího kopí MURER. Nejdříve však došlo ke klasickému hašení, kdy bylo eliminováno plamenné hoření. Následně po rozbití skla bylo kopí zastrčeno do vozidla ostrou částí směrem k podlaze. Několika údery došlo k proražení krytu baterie a následnému přímému hašení hasivem uvnitř baterie. K uhašení požáru elektromobilu bylo využito pouze 2 000 litrů vody a zásah trval 17 minut od začátku hašení do konečného uhašení. (MURER Feuerschutz, 2022)



Obrázek 28 Hasící kopí MURER v akci (MURER-Feuerschutz GmbH, C2024)

4.4.2 Bateriový hasicí systém BEST (Rosenbauer)

Bateriový hasicí systém BEST funguje podobně jako hasicí kopí s tím rozdílem, že BEST je zcela automatizovaný v propichování baterie. Systém je to rychlý, efektivní, a především bezpečný pro zasahující hasiče. Prakticky se jedná o dvoudílný systém využívající kopí k propíchnutí pouzdra baterie a zaplavení vodou. Jedná se dálkově ovládaný hasicí systém pro lithium-iontové baterie, který pumpuje vodu přímo do pouzdra baterie. (Rosenbauer, 2022)



Obrázek 29 Bateriový hasicí systém BEST (Rosenbauer, c2024)

Jednotka BEST od společnosti Rosenbauer se dodává ve dvou kusech – hasicí a provozní jednotka. Tyto dvě jednotky jsou propojeny hadicemi. Úkolem hasičů je dostat hasicí jednotku mezi baterii a vozovku, tedy pod podvozek vozidla tak, aby byla přímo pod baterií. Následně mohou hasiči ovládat hasicí jednotku ze vzdálenosti téměř osmi metrů. Na povel hasiče na provozní jednotce hasicí jednotka vrazí trn s prorážecím kopím do baterie silou několika tun. Následně se skrz kopí pošle voda, aby zaplavila vnitřek baterie. Rosenbauer systém BEST testoval u profesionálních i dobrovolných hasičských sborů v Evropě a na různých konstrukcích baterií. (Ramsey, 2021)



Obrázek 30 BEST v akci (Speciality Vehicles, c2024)

4.4.3 Pancake nozzle – vodní tryska

Tento druh trysek jsou speciálně navrženy tak, aby se zasunuly pod vozidlo a rozstříkávaly studenou vodu na dno pouzdra baterie. Voda je určena k ochlazení bateriového boxu, v ideálním případě k zastavení tepelného úniku. Nevýhodou této metody ochlazování baterie je, že hašení vysokonapěťové baterie vyžaduje velké a trvalé množství vody. Avšak je to stále efektivnější a bezpečnější způsob ochlazování než v případě chlazení pouze proudem vody z ruk hasiče skrz hadici. (Durham, 2022)

Výhodou této metody je snadnost a bezpečnost umístění trysky, kdy stačí pouze zasunout pod vůz a čekat, případně ochlazovat dalšími možnostmi zároveň.



Obrázek 31 Vodní tryska Pancake nozzle (Rescue, c2024)

4.4.4 Cold Cut System Cobra

Cold Cut System Cobra má široké pole uplatnění při záchranných operacích a hašení požárů, mimo jiné také při hašení elektromobilů. Cobra je efektivním nástrojem pro prorážení a řezání všech typů materiálů. Řezání probíhá pomocí vodního paprsku, který rozprašuje vodu a vytváří tak velmi jemnou vodní mlhu. Tato vodní mlha má schopnost hasit oheň a ochlazovat prostor požáru. Systém Cobra je možné ovládat na dálku z vysílače na proudnici nebo také z vhodné pracovní základny. (POŽÁRY.cz, 2012)

Cobra se skládá z následujících hlavních součástí:

- Hydraulicky ovládaná proudnice pro řezání a hašení
- Vysokotlaké vodní čerpadlo
- Nádrž na abrazivo
- Panel pro ovládání průtoku (POŽÁRY.cz, 2012)

Společnost Cold Cut Systems (výrobce zařízení Cobra) ve spolupráci s několika dalšími společnostmi a organizacemi zkoumala, zda lze Cobru použít na požáry lithium-iontových baterií. Výsledky testů byly velmi pozitivní a ukázaly, že zastavení šíření požáru lithium-iontových baterií pomocí Cobry je možné. (Cold Cut Systems Svenska AB, c2024)

V rámci projektu testování bylo provedeno několik řízených zkoušek hašení požárů lithium-iontových baterií. Celkově projekt ukázal, že je možné efektivně zastavit šíření v bateriovém bloku pomocí vnitřního chlazení vodou. Ultra-vysokotlaková vodní mlha a schopnost prorazit jakýkoli známý konstrukční materiál dělá z Cobry velmi vhodný nástroj pro hašení lithium-iontových baterií, respektive elektromobilů. (Cold Cut Systems Svenska AB, c2024)



Obrázek 32 Cold Cut Systém COBRA v akci (Cold Cut Systems Svenska AB, c2024)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 ANALÝZA AKTUÁLNÍHO STAVU PROBLEMATIKY

Analýza aktuálního stavu problematiky hašení elektromobilů se věnuje vybavenosti Hasičských záchranných sborů krajů prostředky využívanými k hašení elektromobilů v podmínkách České republiky – analýza vybavenosti speciálními kontejnery pro elektromobily a analýza vybavenosti hasicím zařízením Cobra.

Analýza se taky věnuje uplynulým požárům elektromobilů jak v České republice, tak ve světě. V České republice se jedná o dva požáry, kdy především ten v Praze v roce 2023 byl náročný svými podmínkami. Požáry elektromobilů ve světě jsou zaměřeny specificky na ojedinělé případy. Jedná se o opětovné vznícení elektromobilu Tesla v americké Arizoně, nebo případ žhárství na Slovensku.

Poslední část analýzy se věnuje analýze vybavenosti Hasičského záchranného sboru Zlínského kraje na Centrální stanici ve Zlíně prostředky určenými na problematiku hašení elektromobilů. HZS Zlínského kraje však nedisponuje speciálním kontejnerem pro elektromobily, proto se analýza zaměřila spíše na prostředky, které původně nebyly určeny k zásahům s elektromobily, ale mohou být využity díky své povaze usnadnit daný zásah.

Analýza aktuálního stavu se tedy skládá ze tří částí, dvě se věnují vybavenosti a jedna uplynulým zásahům spojených s touto problematikou.

5.1 Analýza vybavenosti HZS krajů speciálním vybavením pro zvládnutí požárů elektromobilů

Cílem této analýzy je prověřit připravenost státu na nové výzvy v oblasti požární ochrany, v tomto případě se jedná o připravenost hasičských záchranných sborů krajů (dále HZS krajů) na problematiku hašení elektromobilů. Elektromobilů v České republice sice přibývá pomaleji než v okolních zemích, je však nutné být připraveni na blízký nárůst těchto specifických vozidel na českých komunikacích. V této analýze se bakalářská práce zaměřuje na dva prostředky využívané k hašení elektromobilů, respektive jejich baterií. Jedná se o speciální kontejnery pro elektromobily a hasicí zařízení Cobra.

K určení těchto počtů jednotlivých prostředků jsem využil zákona č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, kdy jsem kontaktoval Ministerstvo vnitra, které mi následně poskytlo jednotlivá čísla těchto zařízení v kontextu jednotlivých HZS krajů.

5.1.1 Vybavenost HZS krajů speciálními kontejnery pro elektromobily

MV-GŘ HZS ČR uvádí, že v současné době je pořízených 15 kusů speciálních kontejnerů na hašení elektromobilů. Přičemž šest krajů nemá žádný kontejner, jmenovitě kraje Liberecký, Pardubický, Jihomoravský, Olomoucký, Zlínský a Vysočina (Záchranný útvar HZS ČR v Jihlavě vlastní jeden kontejner). Pro všechny tyto kraje jsou však kontejnery buďto již objednány, nebo se počítá se zakoupením v roce 2024. (Slabý, 2023)

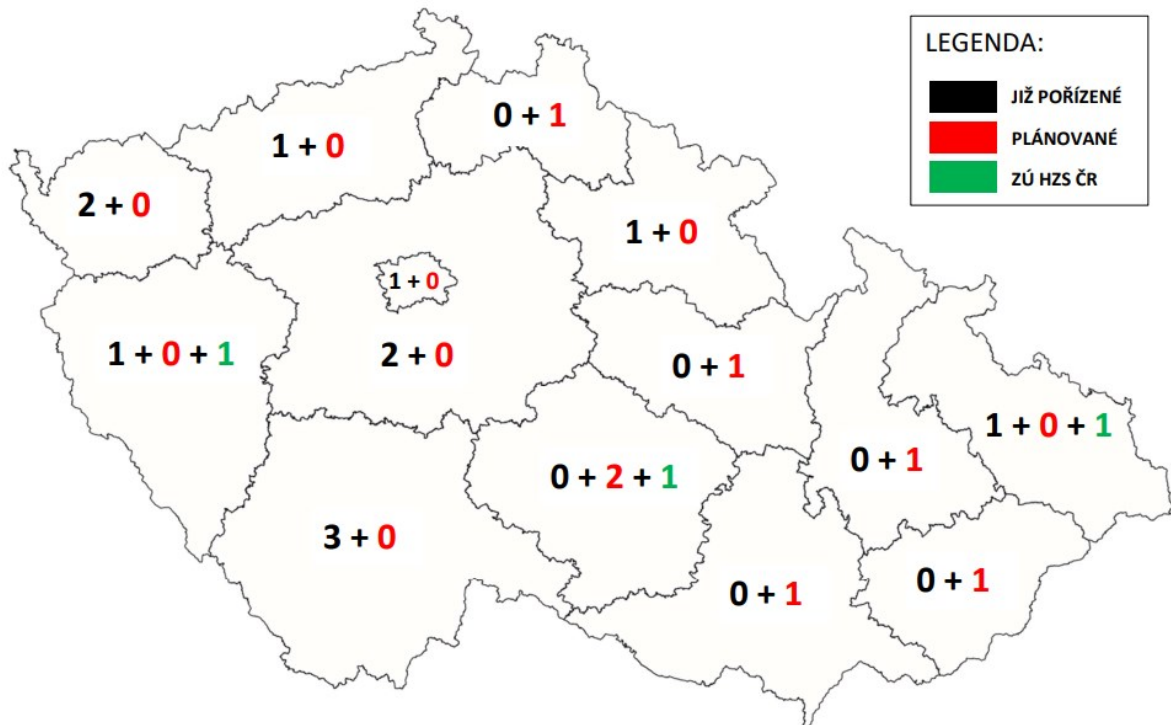


Obrázek 33 Speciální kontejner pro hašení elektromobilů v Záchranném útvaru HZS ČR v Jihlavě (Vlastní, 2023)

Nejvíce speciálními kontejnery na elektromobily disponuje HZS Jihočeského kraje, který vlastní hned tři kontejnery. Po dvou kontejnerech má Karlovarský a Středočeský kraj. Jeden kontejner vlastní hlavní město Praha, Ústecký kraj, Liberecký kraj, Královehradecký kraj, Moravskoslezský kraj a Plzeňský kraj. Mimo HZS krajů vlastní jeden kontejner všechny tři Záchranné útvary HZS ČR v Hlučíně, Jihlavě a Zbirohu. (Slabý, 2023)

Cílem GŘ-HZS ČR je doplnit kontejnery tak, aby každý HZS kraje disponoval minimálně jedním kontejnerem. Tento cíl by měl naplněn v roce 2024, kdy GŘ-HZS ČR plánuje pořídit sedm kontejnerů pro zbývající HZS krajů a jeden pro potřeby MV-GŘ HZS ČR. (Slabý, 2023)

Mapa znázorňující vybavenost HZS krajů a Záchranných útvarů HZS ČR speciálními kontejnery pro elektromobily:



Obrázek 34 Mapa zobrazující aktuální počty kontejnerů na hašení elektromobilů a počty plánovaných kontejnerů k roku 2023 (Zdroj dat: GŘ-HZS ČR, 2023)

Speciální kontejner pro elektromobily a jeho vymoženosti

Po uhašení elektromobilu se doporučuje elektromobil vložit do vodní lázně v kontejneru. Pro tyto potřeby jsou distribuovány do HZS krajů speciální kontejnery pro to užití. Tyto kontejnery mají hned několik usnadňujících vymožeností:

1. Otvor určený pro navíjení

Otvor lze využít k snadnějšímu nakládání vozidel do kontejneru, společně s ocelovými nájezdy níže, se jedná o nejjednodušší způsob, jak vozidlo do kontejneru dostat. K navíjení lze využít navijáky na cisternových automobilech, nebo na speciální vyprošťovacích vozidlech.



Obrázek 35 Přední část s otvorem na navíjení (Vlastní, 2023)

2. Ocelové nájezdy do kontejneru

Ocelové nájezdy umožňují snadnější přístup vozidla do kontejneru.



Obrázek 36 Ocelové nájezdy pro lepší přístupnost (Vlastní, 2023)

3. Výpusť kontaminované vody

Fotografie byly pořízeny v Záchraném útvaru HZS ČR v Jihlavě v rámci exkurze v roce 2023. Kontejnery umístěné na HZS krajů se mohou lišit napříč Českou republikou, nemusí být tedy totožné.



Obrázek 37 Výpusť kontaminované vody (Vlastní, 2023)

5.1.2 Vybavenost HZS krajů hasicím zařízením Cobra

Na základě podané žádosti o poskytnutí informací dle zákona číslo 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, uvedlo Ministerstvo vnitra, respektive MV-GŘ HZS ČR, tabulku, v níž jsou uvedeny celkové počty zařízení Cobra u jednotlivých hasičských záchranných sborů krajů a u MV-GŘ HZS ČR. Zařízení MV-GŘ HZS ČR jsou dislokována u Školního a výcvikového zařízení HZS ČR v Brně. (Slabý, 2024)

Tabulka 4 Aktuální počty hasicích zařízení Cobra v jednotlivých HZS krajů a MV-GŘ HZS ČR (Zdroj dat: GŘ-HZS ČR, 2024)

HZS KRAJE	Celkem
HZS hlavního města Prahy	5
HZS Středočeského kraje	16
HZS Jihočeského kraje	2
HZS Plzeňského kraje	3
HZS Karlovarského kraje	4
HZS Ústeckého kraje	1
HZS Libereckého kraje	6
HZS Královehradeckého kraje	2
HZS Pardubického kraje	1
HZS Kraje Vysočina	1
HZS Jihomoravského kraje	4
HZS Olomouckého kraje	1
HZS Zlínského kraje	2
HZS Moravskoslezského kraje	1
MV-GŘ HZS ČR	2

Celkem má GŘ-HZS ČR k dispozici 51 hasicích zařízení Cobra, přičemž nejvíce zařízeními disponuje HZS Středočeského kraje s šestnácti zařízeními (Slabý, 2024). Z pohledu autora bakalářské práce se jedná o nedostatečná čísla hasicích zařízení Cobra, především v krajích s celkovým počtem jednoho zařízení. Nad dostatečnými počty zařízení lze uvažovat u HZS krajů Středočeského, Karlovarského, Libereckého a hlavního města Prahy. Ve zbylých krajích, především u velkých krajů jako Moravskoslezský či kraj Vysočina, lze uvést, že jsou počty nedostatečné.

5.2 Uplynulé požáry elektromobilů v české republice a ve světě

Požáry elektromobilů v České republice nejsou častou záležitostí, jde především o fakt, že v České republice není registrováno tolik elektromobilů jako v jiných, v této oblasti vyspělejších, státech. V České republice evidujeme přesně dva požáry bateriových elektrických vozidel. Naopak například ve Skandinávii, nebo ve státech západně od České republiky jsou tyto počty nižší, avšak k celkovému počtu elektromobilů se stále jedná spíše o výjimečné záležitosti. Co se týče celosvětového pojetí požárů elektromobilů, tak se jedná také o Spojené státy americké a Čínu, kde jsou počty elektromobilů, co se kvantitativně týče, vůbec nejvyšší.

5.2.1 Požáry elektromobilů v České republice

Požárů elektromobilů, tedy čistě bateriových elektrických vozidel, neevidujeme v České republice mnoho, přesně evidujeme dva případy zahoření elektromobilů. Historicky prvním požárem BEV na území České republiky se stal požár elektromobilu Peugeot e-208 v Jihočeském kraji v červnu roku 2022. Druhým, a zatím posledním, požárem elektromobilu byl požár elektromobilu Jaguar I-Pace v podzemních garážích v Praze, který se udál v květnu 2023.

I přes to vše však lze najít ve statistických ročenkách HZS ČR mnohem více údajných požárů elektromobilů, jedná se však ve smyslu o požáry buďto hybridních vozidel nebo obyčejných elektrokoloběžek. HZS ČR neuvádí ve statistikách samostatně bateriová elektrická vozidla, minimálně ne do roku 2023.

Požár elektromobilu Jaguar I-Pace v podzemní garáži v Praze

Tabulka 5 Základní informace o požáru elektromobilu Jaguar I-Pace v Praze (Zdroj dat: Hasičský záchranný sbor hlavního města Prahy, 2023)

Typ vozidla:	Jaguar I-Pace (90 kWh akumulátor)
Datum:	04.05.2023 (23:56)
Požářiště:	Podzemní garáže (Praha)
Žhářství:	Vyloučeno
Příčina požáru:	Technická závada v oblasti baterie
Škoda:	1 000 000 Kč (vozidlo) + 300 000 Kč (budova)
Využitá technika:	Hasící zařízení Cobra, vozíky, kontejner

Průběh zásahu

Ve 23:56 ohlášení události, 00:01 příjezd první jednotky na místo zásahu, v 00:08 exploze v podvozkové části EV a okamžitý nárůst vývinu kouře a plamenného hoření, v 00:09 žádost o posilové jednotky, v 00:13 vyhlášen 2. stupeň požárního poplachu, v 01:13 uhašeno plamenné hoření, v 02:32 naložení elektromobilu pomocí hydraulické ruky do kontejneru. (Prudil, 2023)



Obrázek 38 Místo události (Hasičský záchranný sbor hlavního města Prahy, 2023)

Jednalo se vůbec o první požár bateriového elektrického vozidla na území České republiky, které vzplálo samo od sebe bez žádného jiného zapříčinění. Jednalo se o požár vozidla Jaguar I-Pace, který byl zaparkován v podzemních garážích v Praze. Celý objekt je vybaven EPS s připojením na PCO, který požár také ohlásil. (Prudil, 2023)

Požár vypukl v 1.PP (jediné patro, kde mohly parkovat elektromobily), přístup pouze výtahem, což značně zkomplikovalo zásah. Pro následné vytažení vozidla byly využity vozíky s natáčecími koly a aretací, avšak problémem byla nedostatečná nosnost vozíků a rozleptání koleček na pomocných podvozcích. Následně naloženo vozidlo do kontejneru pomocí navijáku. (Prudil, 2023)



Obrázek 39 Vytahování vozidla z kontejneru (Hasičský záchranný sbor hlavního města Prahy, 2023)

Závěrem lze podotknout, že se jednalo o výjimečně náročný zásah. Požáry jakýchkoliv vozidel s jakýmkoliv druhem pohonu v podzemních garážích jsou vždy náročné. V případě elektromobilu se jednalo o ztížený průběh, avšak štěstí stálo na straně zasahujících.

Požár elektromobilu Peugeot e-208 v Jihočeském kraji

Požár elektromobilu Peugeot e-208 zaparkovaného v garáži rodinného domu v obci Dynín se zapsal do historie českého požárníctví jako první požár čistě bateriového elektromobilu v České republice. (HZS Jihočeského kraje, 2022)

V brzkých ranních hodinách byl na tísňovou linku Operačního a informačního střediska HZS Jihočeského kraje nahlášen požár garáže rodinného domu v obci Dynín. Požár byl ohlášen jako požár garáže, kde se nachází automobil a motorka. Další podstatnou informací bylo, že se jedná o elektromobil zapojený do napájení. (HZS Jihočeského kraje, 2022)

Na místo zásahu se sjelo několik jednotek JSDHO a profesionální jednotka ze stanice Soběslav. Po příjezdu velitele zásahu na místo požářiště, velitel potvrdil informaci, že se jedná o hořící elektromobil. V době příjezdu prvních jednotek požární ochrany majitel odpojil celý dům od přívodu elektřiny a také se ujistil, že elektromobil již není připojen. (HZS Jihočeského kraje, 2022)

K hašení nasadily jednotky vodní proudy, kterými také požár uhasily a lokalizovaly. Po uhašení byl elektromobil vytáhnut z garáže ven na volné prostranství, kde hasiči pokračovali v ochlazování baterie se souběžnou kontrolou teploty baterie skrz termokameru. (HZS Jihočeského kraje, 2022)

Chlazení baterií bylo směřováno především k podvozku daného vozidla, kde jsou uloženy bateriové články. K lepšímu přístupu k podvozku si nechal vedoucí zásahu povolat automobilový jeřáb. Na místo zásahu si nechal povolat také speciální kontejner na hašení elektromobilů, ten však nebyl využit. (HZS Jihočeského kraje, 2022)



Obrázek 40 Uhašený elektromobil Peugeot e-208 (HZS Jihočeského kraje, 2022)

5.2.2 Požáry elektromobilů v Evropě a ve Světě

S ohledem na vyšší počty elektromobilů v západní části Evropy a v některých státech Světa (Čína, USA) než v České republice, jsou vyšší také počty požárů těchto vozidel. S vyššími počty požárů, pak narůstají zkušenosti a také specifické situace (opětovné samovznícení).

Požár BEV Tesla v Arizoně – příklad opětovného samovznícení

Arizonští hasiči museli v únoru 2023 dvakrát hasit stejný vůz. Poprvé jako následek nárazu elektromobilu Tesla do budovy, podruhé když elektromobil odtahovali. Elektromobil se po nárazu do zdi budovy převrátil na střechu a začal hořet v prostoru pneumatik, v tu chvíli se ještě v elektromobilu nacházeli lidé, ty však svědci nehody dostali včas do bezpečí. (FOX 10, 2023)

Elektromobil se podařilo uhasit, ale již druhý den ráno byli hasiči znovu povoláni k požáru stejného vozidla. Tentokrát však vzplanulo samo při odtahu. (FOX 10, 2023)



Obrázek 41 Shořelá Tesla v Arizoně (FOX10, 2023)

Požár elektromobilu Tesla v Rakousku – problematika kontaminace

Po nehodě, kdy automobil značky Tesla narazil čelně do stromu, začalo vozidlo hořet. Tento požár dohromady likvidovalo padesát hasičů. Nehoda se stala na začátku října v roce 2019. Požár elektromobilu byl uhašen chvíli po příjezdu záchranných složek, následně však muselo být vozidlo umístěno do vodní lázně na 72 hodin, aby se předešlo opětovnému požáru. (iDNES.cz, 2019)

Vodu využitou pro vodní lázeň bylo nutné následně odborně zlikvidovat – takováto likvidace se pohybuje zhruba okolo 6 500 Kč za metr krychlový kontaminované vody. Mimo to musela být odborně zlikvidována také kontaminovaná zemina. (iDNES.cz, 2019)



Obrázek 42 Shořelá Tesla nakládána do kontejneru (iDnes.cz, 2019)

Požár elektromobilu Volkswagen ID.3 na Slovensku – případ žhářství

Incident požáru elektromobilu značky Volkswagen ID.3 způsobil rozsáhlý požár, který se velice rychle šířil na okolní prostředí – oheň poškodil také dům a vedle zaparkovaný jiný automobil. Přivolané jednotky požární ochrany požár lokalizovali a postupovali dle instrukcí. Nakonec ohořelý vrak vložili do speciálního kontejneru s vodou, aby vyloučili další potenciální rizika. (Čermáková, 2024)

Jednalo se o vůbec první požár elektromobilu na Slovensku, ovšem jednalo se o žhářství. Brzy po požáru bylo vyloučeno, že by příčinou požáru byl proces nabíjení nebo zkrat baterie. (Čermáková, 2024)

Hořela pouze přední část elektromobilu, velká trakční baterie v oblasti podlahy byla téměř nepoškozena. Navzdory tomu, že během požáru působila na akumulátor vysoká teplota, baterie byla naprosto v pořádku. (Čermáková, 2024)

Několik dní po požáru bylo potvrzeno, že se jednalo o žhářství. Bezpečnostní kamera na blízkém domě v sousedství zachytila pachatele snažícího se podpálit zaparkovaný elektromobil. (Grežďo, 2024)



Obrázek 43 Požár elektromobilu na Slovensku (Hasičský a záchranný zbor, 2024)

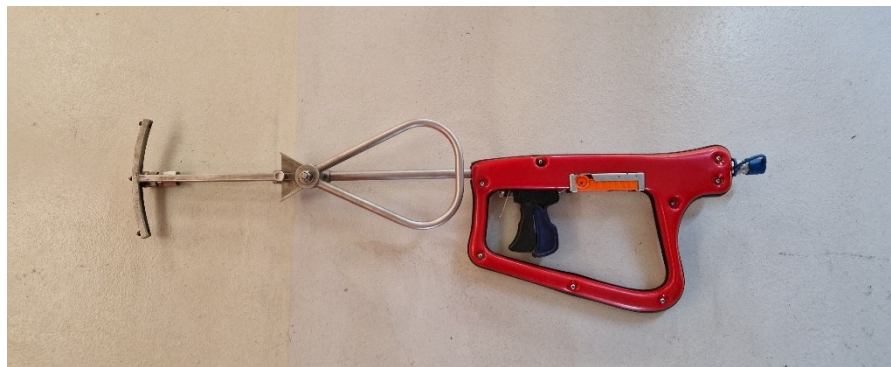
5.3 Analýza sil a prostředků HZS Zlínského kraje na centrální stanici ve Zlíně pro zásahy spojené s problematikou elektromobility

V rámci vykonávání odborných bakalářských prací na HZS Zlínského kraje na centrální stanici ve Zlíně, jsem měl možnost analyzovat vybavenost této stanice na problematiku hašení elektromobilů. Analýza bude prezentována jako souhrn jednotlivých prostředků. Prostředky to nejsou primárně určeny k hašení elektromobilů, avšak lze je i tak využít buďto k usnadnění k přístupu k bateriím anebo k usnadnění hašení.

V první řadě je nutno sdělit, že HZS Zlínského kraje nedisponuje žádnými prostředky, které jsou přímo určeny k hašení elektromobilů, tedy žádnými speciálními kontejnery. Ten by měl být pořízen, dle sdělení Ministerstva vnitra, v průběhu roku 2024 (viz kapitola 5.1.1).

5.3.1 Hasící zařízení Cobra

Centrální stanice ve Zlíně disponuje jedním hasícím zařízením Cobra, přičemž se nachází na "prvovýjezdovém" autě číslo 101. Tento prostředek nebyl vyroben za účelem hašení lithiových baterií, avšak výrobce tuto možnost doporučuje k tomuto použití. Více o hasícím zařízením Cobra v kapitole 4.4.4.



Obrázek 44 Hasící zařízení Cobra ve vlastnictví HZS Zlínského kraje (Vlastní, 2024)

5.3.2 Hydraulické vyprošťovací zařízení

Hydraulická vyprošťovací zařízení patří do skupiny speciálních technických prostředků pro vyprošťování. Tato zařízení jsou určena k vyprošťování osob z havarovaných silničních a kolejových vozidel, letadel, a dalších různých zborcených konstrukcí a budov. Tato zařízení jsou ve stálém vybavení “prvovýjezdových“ vozidel HZS krajů a také součástí speciálních vozidel určených k vyprošťování anebo ve speciálních kontejnerech. (Felcman, Nezval, c2024)

Pro potřeby použití při zásazích spojených s požáry elektromobilů lze využít **hydraulický kombinovaný nástroj** nebo **hydraulický roztahovač**, který lze použít jako rozpínák i jako nůžky. (Felcman, Nezval, c2024) Právě funkci roztažnosti daných nůžek lze využít k lepšímu přístupu k bateriím vozidla, ty bývají zpravidla umístěny v podlaze. Po uhašení vozidla, se pomocí toho nástroje nadzvedne jedna část vozidla, a tím se zasahujícím hasičům usnadní přístup k bateriím, které je nutné chladit.



Obrázek 45 Hydraulický roztahovač ve vlastnictví HZS Zlínského kraje (Vlastní, 2024)

5.3.3 Termokamera

Termokamery mají u Hasičského záchranného sboru a jednotek požární ochrany široké spektrum využití. Slouží především k rychlé lokalizaci skrytých ohnisek požáru, případně k vyhledávání osob při požárech nebo v terénu. (HZS Kraje Vysočina, 2015)

V rámci problematiky hašení elektromobilů mají termokamery využití především v případě kontroly teploty krytu baterie po dohašení požáru, případně během požáru k efektivnějšímu chlazení. Centrální stanice Zlín HZS Zlínského kraje disponuje termokamerami Dräger.



Obrázek 46 Termokamera Dräger (Vlastní, 2024)

6 NÁVRH ADEKVÁTNÍHO ZPŮSOBU ZDOLÁVÁNÍ POŽÁRU BATERIOVÉHO ELEKTRICKÉHO VOZIDLA ZA IDEÁLNÍCH PODMÍNEK

Kapitola týkající se adekvátního způsobu hašení elektromobilů je stěžejní kapitolou praktické části bakalářské práce. Jedná se o hašení bateriových elektrických vozidel (dále „BEV“), především z důvodu, že se v tomto druhu vozidel nenachází žádný další potenciální iniciátor požáru, například spalovací motor. Návrh je řešen také za ideálních podmínek. Ideálními podmínkami, z pohledu autora, je myšleno BEV nepřipojeno k nabíjecímu zařízení, stojící samostatně, na rovném podkladu, a především takové vozidlo, které vzplanulo samostatně.

Definice cíle

Cílem navrhnutí ideální způsobu hašení BEV je navrhnout takový způsob hašení, který bude co nejrychlejší, nejefektivnější a nejbezpečnější pro zasahující jednotky požární ochrany.

Použité metody

Pro vypracování analýzy současné situace, tedy porovnání aktuálně využívaných způsobů hašení (chlazení akumulátoru) elektromobilů, autor práce využil porovnání silných a slabých stránek jednotlivých způsobů hašení. Následně, na základě vlastního uvážení a zkušeností, vybral ideální způsob.

K návrhu činnosti autor práce využil metodu diagramu. Pomocí diagramu byl vytvořen postup dané činnosti, v této části byly vyjmenovány také prostředky, které by měly být využity. Následně byla celá navrhovaná činnost analyzována v rámci SWOT analýzy.

6.1 Analýza současného stavu

V současné době se využívá hned několik způsobů hašení BEV. Všechny tyto způsoby mají za cíl, po uhašení plamenného hoření, ochladit akumulátor (baterii) tak, aby nedošlo k dalšímu rozvoji hoření a chemickým reakcím uvnitř akumulátoru.

Aktuálně využívané způsoby hašení:

1. Chlazení akumulátoru vodním proudem
2. Zaplavování akumulátoru pomocí hasícího zařízení Cobra
3. Protipožární plachta na elektromobily
4. Ponoření BEV do vodní lázně

6.1.1 Chlazení akumulátoru vodním proudem

Nejjednodušší a technicky nejméně náročný způsob chlazení akumulátoru bateriového elektrického vozidla.

ANALÝZA – CHLAZENÍ AKUMULÁTORU VODNÍM PROUDEM

SILNÉ STRÁNKY	SLABÉ STRÁNKY
<ul style="list-style-type: none">• Bezpečnost zasahujících hasičů• Nenáročnost na vybavenost JPO• Mnoho prostředků usnadňujících efektivní chlazení na trhu• Jednoduchost zásahu	<ul style="list-style-type: none">• Vysoká spotřeba vody• Časově náročné• Nevybavenost JPO speciálními prostředky usnadňující chlazení• Omezené zkušenosti českých hasičů

Obrázek 47 Analýza silných a slabých stránek – Chlazení akumulátoru vodním proudem (Vlastní, 2024)

6.1.2 Zaplavování akumulátoru pomocí hasícího zařízení Cobra

Nejefektivnější způsob chlazení akumulátoru spočívající v zaplavení vnitřku akumulátoru vodou pomocí hasícího zařízení Cobra, které je schopné se prorežat do vnitřku akumulátoru. Technicky náročnější způsob, zato však s nízkou spotřebou hasební vody.

ANALÝZA – ZAPLAVOVÁNÍ AKUMULÁTORU POMOCI HASÍCÍHO ZAŘÍZENÍ COBRA

SILNÉ STRÁNKY	SLABÉ STRÁNKY
<ul style="list-style-type: none"> • Efektivní hašení • Nízká spotřeba hasební vody • Doporučení od výrobce • Již otestovaný způsob v rámci požáru BEV v Praze 	<ul style="list-style-type: none"> • Nákladnost zařízení • Nedostatečná vybavenost napříč ČR • Potenciální ohrožení zasahujících JPO • Potřebné zaškolení JPO

Obrázek 48 Analýza silných a slabých stránek – Zaplavování akumulátoru pomocí hasícího zařízení Cobra (Vlastní, 2024)

6.1.3 Protipožární plachta na elektromobily

Protipožární plachta na elektromobily má své místo v problematice hašení bateriových elektrických vozidel spíše v případech, kdy je nutné uchránit okolí před teplem a plamenným hořením, nebo v případech kdy není zasažena baterie požárem.

ANALÝZA – PROTIPOŽÁRNÍ PLACHTA NA ELEKTROMOBILY

SILNÉ STRÁNKY	SLABÉ STRÁNKY
<ul style="list-style-type: none"> • Nenáročnost zásahu • Bezpečnost zasahujících JPO • Efektivní uhašení plamenného hoření • Zkušenosti ze zahraničí – Německo 	<ul style="list-style-type: none"> • Neřeší chlazení akumulátoru, naopak spíše naopak • Využití pouze kombinovaně s jinými metodami • Nejvhodnější v případě, že není požárem zasažena baterie

Obrázek 49 Analýza silných a slabých stránek – Protipožární plachta na elektromobily (Vlastní, 2024)

6.1.4 Ponoření bateriového elektrického vozidla do vodní lázně

Jedná se o vysoce efektivní metodu chlazení akumulátoru spočívající v několikahodinovém ponoření vozidla do vodní lázně (zpravidla do speciálního kontejneru). Tato metoda by se měla využívat spíše u již neřešitelných případů, nebo v případech, kdy je vozidla naprosto zničeno požárem (ponoření vozidla způsobuje trvalé zničení). Následkem je také řešení kontaminované vody, která se musí odborně zpracovat.

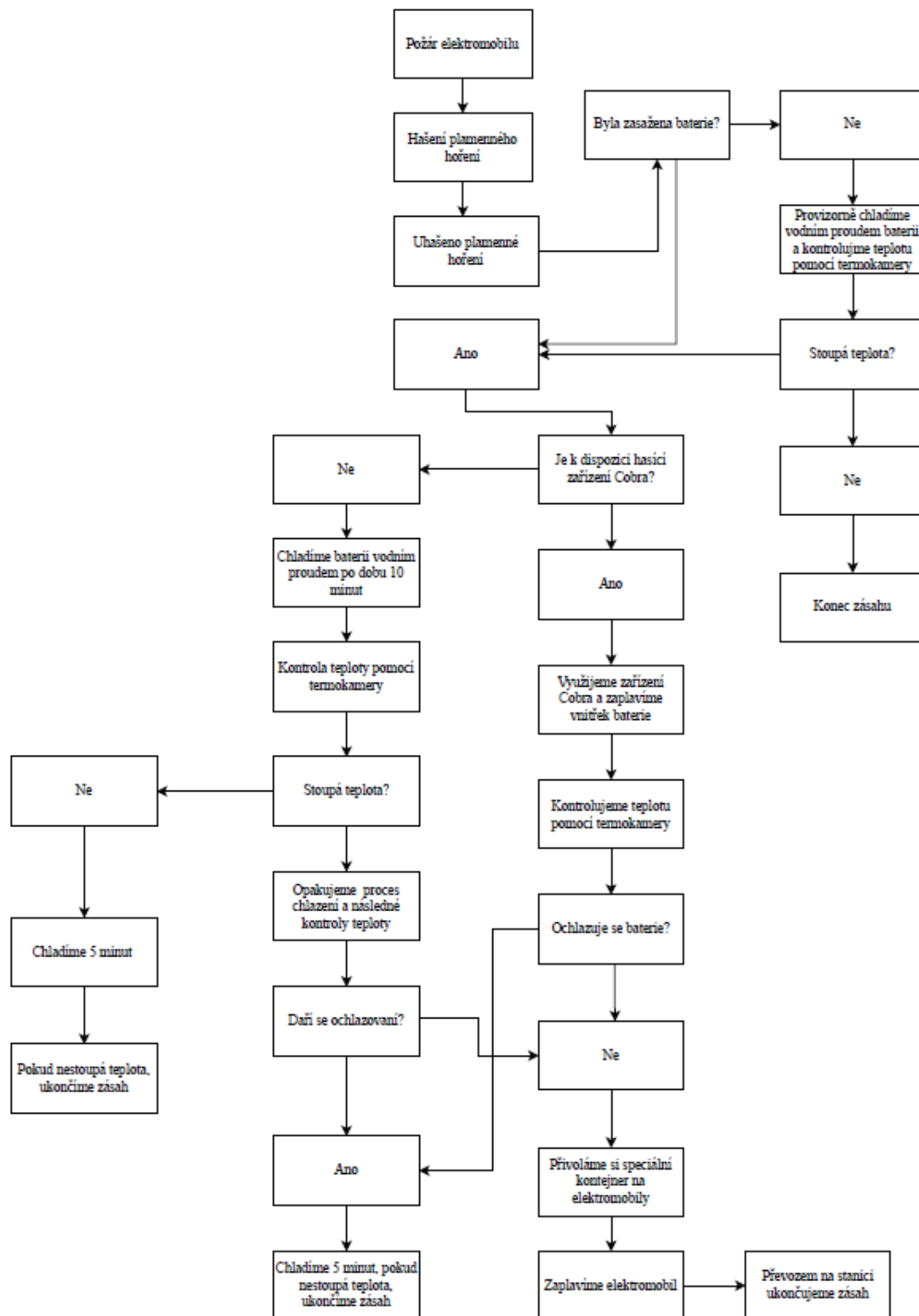
ANALÝZA – PONOŘENÍ BEV DO VODNÍ LÁZNĚ

SILNÉ STRÁNKY	SLABÉ STRÁNKY
<ul style="list-style-type: none">• Nenáročnost zásahu• Efektivnost• Jistota uhašení požáru a zastavení chemických reakcí v akumulátoru• Vybavenost speciálními kontejnery se zlepšuje	<ul style="list-style-type: none">• Technicky náročné• Ne všechny HZS krajů disponují kontejnery• Úplné zničení vozidla• Kontaminovaná voda• Vysoká spotřeba vody

Obrázek 50 Analýza silných a slabých stránek – Ponoření BEV do vodní lázně (Vlastní, 2024)

6.2 Návrh činnosti – kombinace chlazení vodním proudem a zaplavování pomocí hasícího zařízení Cobra

Návrh činnosti se odráží ve vypracovaném diagramu, který reflektuje všechny možné situace.



Obrázek 51 Diagram postupu hašení elektromobilu (drawio,2024)

6.3 Popis metodiky

Kombinovaný způsob hašení spočívající v kombinaci dvou způsobů hašení, respektive chlazení akumulátoru, spojuje postup chlazení akumulátoru vodním proudem směřující na kryt baterie (zpravidla umístěn v části podlahy vozidla) a zaplavování vodou vnitřek baterie pomocí hasícího zařízení Cobra.

Metoda byla vybrána z důvodu již dobré vybavenosti HZS krajů zařízeními Cobra a značnou jednoduchostí a bezpečností způsobu chlazení vodním proudem. Tyto dva způsoby se dají kombinovat, v praxi však spíše bude probíhat nejdříve chlazení, a až poté, v případě, že se nedaří zchladit akumulátor, využít zaplavení baterie zařízením Cobra. Součástí metodiky je také fakt, že v případě neúspěšného chlazení, lze využít speciální kontejner na hašení elektromobilů.

K důkladnějšímu oddělení jednotlivých postupů byly vytvořeny tři scénáře. Scénáře se odvíjejí především z pohledu, zda byla nebo nebyla zasažena požárem baterie, tedy buďto byla samotná baterie iniciátorem požáru, anebo vznikl požár v jiné části vozidla. Dále se scénáře dělí s ohledem na poškození vozidla, to znamená, co lze ještě zachránit na daném vozidle. Silně poškozené vozidlo je nejjednodušší po uhašení plamenného hoření rovnou vložit do kontejneru a zaplavit vodou.

1. Požár BEV bez zasažení akumulátoru požárem

Jedná se o nejideálnější případ požáru bateriového elektrického vozidla. Průběh hašení probíhá podobně jako u požárů konvenčních vozidel s rozdílem možného nebezpečí úrazu elektrických proudem. K hašení se doporučuje jako hasivo voda.

Po uhašení plamenného hoření je nutné se zaměřit na akumulátor a na jeho teplotu. Pomocí termokamery sledovat teplotu krytu akumulátoru a případně provizorně chladit vodním proudem.

V případě zvyšování teploty krytu akumulátoru je nutno pokračovat v chlazení, případně využít hasícího zařízení Cobra a zaplavit vnitřek akumulátoru vodou, tento způsob zdá se být velice účinným.

2. Požár BEV se zasažením akumulátoru požárem

Jedná se o nejběžnější požár bateriových elektrických vozidel. Požár způsobený akumulátorem vozidla. Po uhašení plamenného hoření, nutnost chlazení a sledování teploty, případně, dovoluje-li to situace, využít hasícího zařízení Cobra k zaplavení akumulátoru vodou. K hašení využíváme hasební vodu. V případě nevyužití zařízení Cobra nutnost počítat s vyšší spotřebou vody.

Proces chlazení a kontroly teploty vysvětluje kapitola 4.1.

V případě, že se nepodařilo zchladit akumulátor a hrozí opětovné zahoření, doporučuje se využít speciálního kontejneru na hašení elektromobilů, který se následně napustí vodou do úrovně akumulátoru a nechá se několik hodin chladit.

3. Požár BEV se zasažením akumulátoru požárem (silně poškozené po nehodě, nebo následky požáru)

V případě silného poškození vozidla po nárazu, nebo následky požáru, je nejjednodušší po uhašení plamenného hoření vložit vozidlo do kontejneru na hašení elektromobilů a zaplavit jej.

Zaplavení vozidla v kontejneru má devastační charakter, a právě proto je doporučováno až jako poslední možnost. V případě silného poškození vozidla však není co zachraňovat, a tak ponoření je doporučováno.

Především v případě těžkých dopravních nehod, kdy je vozidlo těžce deformováno, je bezpečnější vozidlo, i když nedošlo k požáru, ponořit do kontejneru.

Použité prostředky a vybavení

Pro úspěšné zdolávání požáru bateriového elektrického vozidla, kde nebyla zasažena baterie, byly nezbytné následující specifické prostředky a vybavení:

1. **Automobilová cisternová stříkačka:** K hašení požárů elektromobilu je zpravidla potřeba více vody než u hašení konvenčních vozidel. I když nebyla zasažena trakční baterie požárem, je i tak nutné počítat, že se může zahřát a bude nutné efektivní chlazení. V případě požárů BEV je logické využít JSDHO, které by dodávaly potřebnou hasební vodu.
2. **Ochranné pomůcky zasahujících hasičů:** V případě požáru elektromobilů je nutností využít jak zásahový oděv, tak dýchacích přístrojů.
3. **Výtlačné příslušenství pro vedení vody:** Pro rychlejší zdolání požáru a zamezení ohřívání trakční baterie, je nutné co nejrychlejší uhašení hoření. Ideální využití k chlazení krytu trakční baterie vodním proudem.
4. **Hydraulická vyprošťovací zařízení:** Hydraulická vyprošťovací zařízení nemusí sloužit pouze k vyprošťování. Lze využít hydraulické nůžky nebo rozpínáky jako zvedací zařízení, které dokáže přizvednout jednu část vozidla, a tím usnadnit přístup zasahujícím hasičům k podlaze vozidla, kde je umístěna baterie.
5. **Hasící zařízení Cobra:** V případě, že je k dispozici hasící zařízení Cobra, je vhodné zaplavit trakční baterii vodou. Cobra se dokáže prořezat přes kryt baterie.
6. **Speciální kontejner pro elektromobily:** V případě, že se nedaří ochladit baterii, a tím zabránit chemickým reakcím, nebo v případě, že je vozidlo natolik zničeno, že se nevyplatí využití prostředků a sil k chlazení, je možné vozidlo ponořit do vodní lázně. Vozidlo se natáhne do kontejneru a následně je do výšky akumulátorů zaplaveno vodou.
7. **Stabilizační prostředky:** Při zásahu, nebo následném chlazení, je potřeba mít vozidlo stabilizované proti pohybům. Některé z těchto prostředků lze využít také k zvednutí části vozidla, což zajistí lepší přístup k trakční baterii.

6.4 Očekávané výsledky

Návrh adekvátního způsobu zdolávání požáru bateriového elektrického vozidla kombinující chlazení vodním proudem a zaplavování baterie pomocí hasícího zařízení Cobra přináší několik klíčových očekávaných výsledků:

- **Zlepšená bezpečnost:** Návrh očekává zvýšení bezpečnosti pro záchranáře a okolní prostředí především díky jasně nastavenému postupu.
- **Efektivnější hašení:** V porovnání se stávajícími postupy se očekává rychlejší a účinnější hašení z pohledu využití sil a prostředků, především z důvodu jasně stanovených postupů v různých situacích. Neodpadá sice schopnost improvizace, ale minimálně to ukazuje směr.
- **Možnost zapojení JSDHO:** Proces chlazení trakčních baterií vodním proudem se mohou zúčastňovat také JSHDO, po příjezdů profesionálních jednotek mohou dodávat potřebnou hasební vodu.
- **Prostor pro zlepšení:** Návrh adekvátního způsobu dává prostor pro zlepšení, především pomocí různých cvičení.

6.5 SWOT analýza

SWOT analýza navrhovaného kombinovaného způsobu hašení elektromobilů.

Silné stránky	Slabé stránky
STRENGTHS	WEAKNESSES
1 Efektivní kombinace dvou metod hašení	1 Nedostatek hasících zařízení Cobra v některých krajích
2 Možnost zapojení JSDHO	2 Nedostatek speciálních kontejnerů pro elektromobily
3 Efektivní využití dostupných sil a prostředků	3 Nedostatek zkušeností a praxe
4 Jasně stanovený postup	4 Vyšší spotřeba vody
5 Využitelnost v praxi	5 Finanční náklady na dovybavení JPO
6	6
7	7
Příležitosti	Hrozby
OPPORTUNITIES	THREATS
1 Zájem o požární bezpečnost elektromobilů	1 Technologické změny
2 Potřeba nových metod hašení	2 Konkurence = lepší postupy hašení elektromobilů
3 Implementace návrhu do cvičení JPO	3 Nedostatek financí na dovybavenost JPO
4 Možnost využití nových technologií a inovací	4 Zvýšená budoucí požární bezpečnost elektromobilů = žádné požáry
5 Podpora vládních a nevládních organizací	5 Nedostatečná dostupnost školení pro
6	6
7	7

Obrázek 52 SWOT analýza adekvátního způsobu hašení elektromobilů (Vlastní, 2024)

Hodnocení a váha SWOT analýzy

Tabulka 6 SWOT analýza adekvátního způsobu zdolávání požárů bateriových elektrických vozidel (Vlastní, 2024)

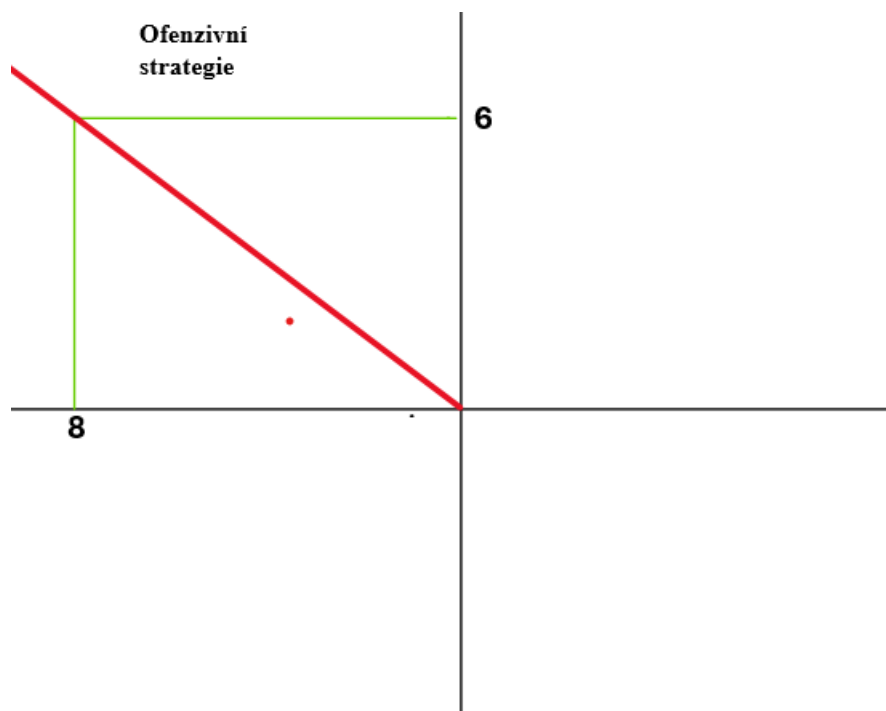
SILNÉ STRÁNKY	VÁHA	HODNOCENÍ	VÝSLEDEK
Efektivní kombinace dvou metod hašení	0,2	4	4,2
Možnost zapojení JSDHO	0,15	5	5,15
Efektivní využití dostupných sil a prostředků	0,2	4	4,2
Jasně stanovený postup	0,2	4	4,2
Využitelnost v praxi	0,25	4	4,25
Součet	1		22
SLABÉ STRÁNKY			
Nedostatek hasících zařízení Cobra v některých krajích	0,15	-3	-2,85
Nedostatek speciálních kontejnerů na elektromobily	0,25	-2	-1,75
Nedostatek zkušeností a praxe	0,2	-3	-2,8
Vyšší spotřeba vody	0,3	-5	-4,7
Finanční náklady na dovybavení JPO	0,1	-2	-1,9
Součet	1		-14
PŘÍLŽITOSTI			
Zájem o požární bezpečnost elektromobilů	0,3	4	4,3
Potřeba nových metod hašení	0,2	5	5,2
Implementace návrhu do cvičení JPO	0,15	3	3,15
Možnost využití nových technologií a inovací	0,2	5	5,2
Podpora vládních a nevládních organizací	0,15	3	3,15
Součet	1		21
HROZBY			
Technologické změny	0,2	-4	-3,8
Konkurence = lepší postupy hašení elektromobilů	0,3	-5	-4,7
Nedostatek financí na dovybavenost JPO	0,2	-3	-2,8
Zvýšena budoucí požární bezpečnost elektromobilů	0,2	-1	-0,8
Nedostatečná dostupnost školení pro JPO	0,1	-3	-2,9
Součet	1		-15

Výsledky interní a externí části SWOT analýzy

Interní	22 + (-14) = 8
Externí	21 + (-15) = 6

Obrázek 53 Výsledky interní a externí části SWOT analýzy (Vlastní, 2024)

Výsledek SWOT analýzy



Obrázek 54 Grafické znázornění SWOT analýzy (Vlastní, 2024)

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala problematikou hašení elektromobilů a vybavenosti jednotek požární ochrany. Cílem bylo zanalyzovat vybavenost Hasičského záchranného sboru ČR prostředky usnadňující zdolávání požárů elektromobilů a mapování sil a prostředků Centrální stanice HZS Zlínského kraje ve Zlíně, které mohou být využity při zásazích spojených s elektromobily. Cílem této bakalářské práce taky bylo vytvořit literární rešerši aktuálně využívaných způsobů hašení a na základě těchto způsobů vytvořit návrh adekvátního způsobu zdolávání požáru bateriového elektrického vozidla v českých podmínkách.

Na základě rešerše bylo zjištěno, že problematika četnosti požárů elektromobilů se odvíjí především od druhu baterie daného bateriového elektrického vozidla. Některé druhy baterií mají větší tendenci vytvořit požár než jiné, a právě ty bezpečnější, na základě zjištění z rešerše, jsou čím dál tím více využívány ve výrobě nových elektromobilů. Na základě analýzy současného stavu vybavenosti bylo zjištěno, že některé Hasičské záchranné sbory krajů jsou nedostatečně vybaveny speciálními kontejnery pro elektromobily, a také hasicím zařízením Cobra, které umožňuje efektivní hašení bateriových elektrických vozidel.

Hlavním výsledkem bakalářské práce je návrh adekvátního způsobu zdolávání požáru bateriového elektrického vozidla. Na základě autorova uvážení a zkušeností z rešerše, byl navrhnout kombinovaný způsob spočívající v kombinaci chlazení baterií vodním proudem s možností využití hasicího zařízení Cobra, které dokáže prořezat kryt baterie a zaplavit ji hasební vodou. Nejedná se zcela o ideální způsob, avšak v českých podmínkách pravděpodobně nejefektivnější.

K dosažení cílů, které si bakalářská práce stanovila, vedlo několik kroků a metod. První krokem bylo provedení důkladné rešerše literatury v oblasti elektromobility, baterií využívaných v elektromobilech a způsoby hašení využívané v České republice a ve světě. Dalším krokem byla analýza současného stavu připravenosti Hasičského záchranného sboru České republiky na výzvy spojené s problematikou hašení elektromobilů, ta zahrnovala analýzu vybavenosti prostředky usnadňující hašení a mapování sil a prostředků Centrální stanice HZS Zlínského kraje ve Zlíně.

Na základě důkladné rešerše a analýz byl následně navrhnout adekvátní způsob hašení bateriového elektrického vozidla. Celkově lze sdělit, že bakalářská práce splnila dosažení cílů, které si stanovila.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BISSCHOP, Roeland; WILLSTRAND, Ola; AMON, Francine a ROSENGREN, Max, 2019. *Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles*. Borås: RISE Research Institutes of Sweden. ISBN 978-91-88907-78-3.

BLOOMBERGNEF, 2023. *Zero-Emission Vehicles Factbook* [online]. [cit. 2024-02-07].

Dostupné z: <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2023-COP28-ZEV-Factbook.pdf>

COLD CUT SYSTEMS SVENSKA AB, c2024. *HANDLING OF LITHIUM-ION FIRES*.

Online. Cold Cut Systems. Dostupné z: [https://www.coldcutsystems.com/handling-of-lithium-ion-](https://www.coldcutsystems.com/handling-of-lithium-ion-fires/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA0PuuBhBsEiwAS7fsNdj4lwDe2anXyLkA3aXnBSZr3WxR7A9Q0AEmfnZPsG6UpVNIwKiQqxoCcpQQA_vD_BwE)

[fires/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA0PuuBhBsEiwAS7fsNdj4lwDe2anXyLkA3aXnBSZr3WxR7A9Q0AEmfnZPsG6UpVNIwKiQqxoCcpQQA_vD_BwE](https://www.coldcutsystems.com/handling-of-lithium-ion-fires/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA0PuuBhBsEiwAS7fsNdj4lwDe2anXyLkA3aXnBSZr3WxR7A9Q0AEmfnZPsG6UpVNIwKiQqxoCcpQQA_vD_BwE). [cit. 2024-02-28].

CTIF, 2023. *Solid state batteries and new NASA technology: Are the days of flammable Lithium-Ion soon over?* Online. CTIF. Dostupné z: <https://www.ctif.org/news/solid-state-batteries-and-new-nasa-technology-are-days-flammable-lithium-ion-soon-over>. [cit. 2024-02-09].

ČERMÁKOVÁ, Kristýna, 2024. *Žhář zapálil elektromobil. Vůz shořel celý, baterie ale jako jediná přežila*. Online. Obnovitelně.cz. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/3068/zhar-zapalil-elektromobil-vuz-shorel-cely-baterie-ale-jako-jedina-prezila>. [cit. 2024-04-14].

ČEZ, c2024. *Jak funguje elektromobil a jaké jsou jeho výhody?* Online. SKUPINA ČEZ. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/clanky/jak-funguje-elektromobil-a-jake-jsou-jeho-vyhody-148953>. [cit. 2024-04-18].

DEKRA, 2019. *High Safety Level of Series-Produced Electric Cars Confirmed in DEKRA Crash Tests*. DEKRA [online]. Německo [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.dekra.com/en/high-safety-level-of-series-produced-electric-cars-confirmed-in-dekra-crash-tests/>

DI GRANDI, Tessa, 2023. *4 Benefits of LFP Batteries for EVs*. Visual Capitalist [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.visualcapitalist.com/sp/4-benefits-of-lfp-batteries/>

DURHAM, Patrick, 2022. *Electric vehicle fires: Where the waiting game wins*. Online. LEXIPOL. FireRescue1. Dostupné z: <https://www.firerescue1.com/electric-vehicles/articles/electric-vehicle-fires-where-the-waiting-game-wins-f934UedqIpVqc1k2/>. [cit. 2024-02-27].

FAYZIYEV, P.R.; IKROMOV, I.A.; ABDURAXIMOV, A.A. a DEHQONOV, Q.M., 2022. *Timeline: History of the Electric Car, Trends and the Future Developments*. Eurasian Research Bulletin. ISSN 2795-7365.

FELCMAN, Milan a NEZVAL, Vojtěch, c2024. *Dopravní nehody: Speciální technické prostředky pro vyprošťování*. MV-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 80-86640-76-0.

FOX 10, 2023. *Tesla crashes into Scottsdale building and catches fire - twice*. FOX 10 [online]. USA: FOX 10 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.fox10phoenix.com/news/tesla-catches-fire-after-crashing-into-scottsdale-building>

GREŽŤO, Michael, 2024. *VIDEO: Podpálit' elektromobil mal človek. TV JOJ má k dispozícii videozáznam*. Online. JOJ.SK. Dostupné z: <https://www.noviny.sk/krimi/897821-video-podpalit-elektromobil-mal-clovek-tv-joj-ma-k-dispozicii-videozaznam>. [cit. 2024-04-14].

HZS JIHOČESKÉHO KRAJE, 2022. *První požár elektromobilu v Jihočeském kraji*. HZS Jihočeského kraje [online]. České Budějovice: HZS Jihočeského kraje [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/prvni-pozar-elektromobilu-v-jihoceskem-kraji.aspx>

HZS KRAJE VYSOČINA, 2015. *Termokamery mají u hasičů široké spektrum využití*. Online. Hasičský záchranný sbor Kraje Vysočina. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/termokamery-maji-u-hasicu-siroke-spektrum-vyuziti.aspx>. [cit. 2024-04-12].

IDNES.CZ, 2019. *Padesátka rakouských hasičů hasila Teslu, vůz byl poté tři dny v lázni*. Zdroj: https://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/tesla-pozar-rakousko-hasici-elektromobil.A191107_104746_zahranicni_knn.IDNES.cz [online]. Česká republika: MAFRA [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/tesla-pozar-rakousko-hasici-elektromobil.A191107_104746_zahranicni_knn

JÄÄSKELÄINEN, Hannu, 2022. *Batteries*. ECOPOINT INC. DieselNet [online]. [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: Jääskeläinen

KRKOŠKA, David, 2023. *Evropský parlament schválil nulové emise pro nová auta od roku 2035*. ČT24 [online]. Praha: Česká televize [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/ekonomika/3565059-evropsky-parlament-schvalil-nulove-emise-pro-nova-auta-od-roku-2035>

LESLIAK, Piotr; PIETRZELA, Dariusz a MORTKA, Piotr, 2021. *Methods Used to Extinguish Fires in Electric Vehicles*. Online. Safety & Fire Technology. Roč. 58, č. 2, s. 38-57. Licence: CC BY-SA 4.0. ISSN 2657-8808. Dostupné z: <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.3>. [cit. 2024-02-26].

LIDEBECK, Anton a SYED, Kazim Raza, 2017. *Experimental Characterization of Li-ion Battery cells for Thermal Management in Heavy Duty Hybrid Applications*. Online, Diplomová práce. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology. Dostupné také z: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/252994/252994.pdf>.

LINDNER, Jannik, 2023. *The Most Surprising Car Fire Statistics in 2024*. Online. GITNUX: A GLOBAL COMMERCE MEDIA LLC COMPANY. Gitnux. Dostupné z: <https://gitnux.org/car-fire-statistics/>. [cit. 2024-02-26].

LINJA-AHO, Vesa, 2023. *Perceived and Actual Fire Safety – Case of Hybrid and Electric Vehicle Fires in Finland 2015–2023*. Online. WSEAS TRANSACTIONS ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Roč. 19, s. 1313-1328. ISSN 2224-3496. Dostupné z: <https://doi.org/10.37394/232015.2023.19.119>. [cit. 2024-02-22].

MADLEŇÁKOVÁ, Lucia a Radovan MADLEŇÁK, 2021. *Elektromobilita a perspektívy jej rozvoja. Pošta, Telekomunikácie a Elektronický obchod* [online]. 16(2), 70-78 [cit. 2023-10-19]. ISSN 13368281. Dostupné z: doi:10.26552/pte.C.2021.2.11

MALKOVSKÝ, Zdeněk; KARL, Jan; SUCHÝ, Ondřej a THIN, Pavel, 2020. *Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR*. Praha: GŘ HZS ČR - Technický ústav požární ochrany.

MELANÇON, Stéphane, 2022. *PRISMATIC CELLS VS. CYLINDRICAL CELLS: WHAT IS THE DIFFERENCE?* Online. Laserax. Dostupné z: <https://www.laserax.com/blog/prismatic-vs-cylindrical-cells>. [cit. 2024-02-23].

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2019. *Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility* (NAP CM) [online]. [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/\\$FILE/OPZPUP-Aktualizace_NAP_CM-20200609.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/OPZPUP-Aktualizace_NAP_CM-20200609.pdf)

MURER FEUERSCHUTZ, 2022. *The MURER E-Loeschlanze – extinguishing a Volkswagen ID.3*. Online. 2022. Dostupné z: YouTube, https://www.youtube.com/watch?v=24jzA5zrRgU&ab_channel=MURERFeuerschutz. [cit. 2024-02-27].

MURER-FEUERSCHUTZ GMBH, c2024. *The E-Löschlanze® by MURER Feuerschutz*. Online. MURER-Feuerschutz. Dostupné z: https://www.murer-feuerschutz.de/e-loeschlanze/index_en.php. [cit. 2024-02-27].

OCTOPUS ELECTRIC VEHICLES, 2023. *A guide to the different types of electric vehicles*. Online. Octopus Electric Vehicles. Dostupné z: <https://octopusev.com/ev-hub/types-of-electric-vehicles-explained>. [cit. 2023-11-15].

PARDO, Esteban, 2023. *What you need to know about solid-state batteries*. Online. Deutsche Welle. Dostupné z: <https://www.dw.com/en/what-you-need-to-know-about-solid-state-batteries/a-66695582>. [cit. 2024-02-09].

PETRO ONLINE, 2023. *Why solid-state batteries are the future of battery technology*. PETRO ONLINE. Petrochemical & energy [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.petro-online.com/news/fuel-for-thought/13/international-environmental-technology/why-solid-state-batteries-are-the-future-of-battery-technology/61521>

POLÁČEK, Dan a Jan MATOUŠEK, 2022. *Pravěk elektromobility i její moderní budoucnost. Elektrická auta existují už 140 let*. Aktuálně.cz [online]. Praha: Economia [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/elektromobilita/foto-tak-vypadal-pravek-elektromobility/r~ab9c4b9e2f5511ed9ae20cc47ab5f122/v~sl:698e4a1da02126c72cab4a7ed54a942d/>

POŽÁRY.CZ, 2012. *Cold Cut System Cobra je užitečným pomocníkem hasičů, možnosti využití se stále rozšiřují*. Online. POŽÁRY.cz. Dostupné z: <https://www.pozary.cz/clanek/61049-cold-cut-system-cobra-je-uzitecnym-pomocnikem-hasicu-moznosti-vyuziti-se-stale-rozsiruji/>. [cit. 2024-02-28].

PRUDIL, Luděk, 2023. *Požár elektromobilu v podzemních garážích*. PowerPoint. Hasičský záchranný sbor hlavního města Prahy.

QUANT, Maria; WILLSTRAND, Ola; MALLIN, Tove a HYNYNEN, Jonna, 2023. *Ecotoxicity Evaluation of Fire-Extinguishing Water from Large-Scale Battery and Battery Electric Vehicle Fire Tests*. Online. *Environmental Science and Technology*. 2023-03-28, roč. 57, č. 12, s. 4821-4830. Licence: CC BY 4.0. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08581>. [cit. 2024-04-16].

RAMSEY, Jonathon, 2021. *Rosenbauer develops a dedicated EV fire extinguishing system*. Online. Autoblog. Dostupné z: <https://www.autoblog.com/2021/11/21/rosenbauer-ev-battery-fire-extinguisher-system/>. [cit. 2024-02-27].

ROSENBAUER, 2022. *Rosenbauer Introduces the Battery Extinguishing System Technology (BEST)*. Online. Rosenbauer America. Dostupné z: <https://rosenbaueramerica.com/rosenbauer-battery-extinguishing-system-technology/>. [cit. 2024-02-27].

SLABÝ, Antotnín, 2023. Sdělení k žádosti o informace doručené dne 15. 11. 2023. MV-GŘ HZS ČR.

SLABÝ, Antotnín, 2024. Sdělení k žádosti o informace doručené dne 21. 2. 2024. MV-GŘ HZS ČR.

SZMYTKA, Ewelina; BRZEZIŃSKA, Dorota; MACHNOWSKI, Waldemar a KOKOT, Szymon, 2022. *Firefighters' Clothing Contamination in Fires of Electric Vehicle Batteries and Photovoltaic Modules—Literature Review and Pilot Tests Results*. Online. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Roč. 19, č. 19. Licence: CC BY 4.0. ISSN 1660-4601. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph191912442>. [cit. 2024-02-29].

TEXFIRE, c2024. *Types of car fire blankets*. Online. Texfire. Dostupné z: https://texfire.net/en/blog/108_types-of-car-fire-blankets.html. [cit. 2024-02-26].

TRAN, Manh-Kien; DACOSTA, Andre; MEVAWALLA, Anosh; PANCHAL, Satyam a FOWLER, Michael, 2021. *Comparative Study of Equivalent Circuit Models Performance in Four Common Lithium-Ion Batteries: LFP, NMC, LMO, NCA*. Online. *Batteries*. Roč. 7, č. 3. ISSN 2313-0105. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/batteries7030051>. [cit. 2024-02-08].

WRIGHT, Justin, 2023. *Gas vs. Electric Car Fires* [2024 Findings]. Online. AutoinsuranceEZ. Dostupné z: <https://www.autoinsuranceez.com/gas-vs-electric-car-fires/>. [cit. 2024-02-26].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

„HV“	Vysoké napětí
BEV	Bateriové elektrické vozidlo
EPS	Elektrická požární signalizace
EV	Elektrické vozidlo
GŘ HZS ČR	Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky
HEV	Hybridní elektrické vozidlo
HV	Hybridní vozidlo
HZS	Hasičský záchranný sbor
ICEV	Konvenční vozidlo
JSDHO	Jednotka sboru dobrovolných hasičů obce
KOPIS	Krajské operační a informační středisko
MV	Ministerstvo vnitra
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
PCO	Pult centralizované ochrany
PHEV	Plug-in hybridní
PP	Podzemní podlaží

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Predikce vývoje BEV dle SDA (Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility, 2019).....	12
Obrázek 2 Vývoj nově registrovaných bateriových elektrických vozidel v České republice v letech 2013 až 2023 (Zdroj dat: Čistá doprava, 2024).....	13
Obrázek 3 Průřez bateriovým elektrickým vozidlem (U. S. Department of Energy's Vehicle Technologies Office, c2023)	15
Obrázek 4 Hybridní elektrické vozidlo (U. S. Department of Energy's Vehicle Technologies Office, c2023).....	16
Obrázek 5 Elektromobil Lightyear se solárními panely na kapotě a střeše (Aktuálně.cz, c2023)	19
Obrázek 6 Vývoj průměrné ceny li-ionových baterií v letech 2010-2023 (Zero-Emission Vehicles Factbook, 2023)	20
Obrázek 7 Vývoj chemického složení katod u osobních elektromobilů v letech 2015-2023 (Zero-Emission Vehicles Factbook, 2023)	21
Obrázek 8 Struktura LFP baterie (First Phosphate, c2024)	22
Obrázek 9 Lithium-iontové bateriové články s různou chemií NMC, NCA a LFP (Tran et al., 2021)	23
Obrázek 10 Rozdíl ve struktuře Li-ion baterie a Solid-state baterie (SAMSUNG SDI, c2024)	24
Obrázek 11 Cylindrický článek (Lidebeck, Syed, 2017).....	25
Obrázek 12 Prizmatický článek (Lidebeck, Syed, 2017).....	26
Obrázek 13 Pouzdrový bateriový článek (Lidebeck, Syed, 2017)	26
Obrázek 14 Umístění trakčních baterií v BEV Tesla model X (Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR, 2020)	27
Obrázek 15 Konfigurace „T“ (Research Institutes of Sweden, 2019).....	28
Obrázek 16 Konfigurace „Podlaha“ (Research Institutes of Sweden, 2019)	28
Obrázek 17 Konfigurace trakční baterie v zadní části vozidla (Research Institutes of Sweden, 2019)	28
Obrázek 18 Počty požárů vozidel na základě pohonu (AutoinsuranceEZ.com, 2023)	32
Obrázek 19 Crash test společnosti DEKRA (DEKRA, 2019).....	33
Obrázek 20 Silně zdeformovaná baterie Nissanu Leaf (DEKRA, 2019)	34
Obrázek 21 Hodnoty pH, slanosti a elektrické vodivosti po testech hasební vody (Quant et al., 2023)	36
Obrázek 22 Analýza četnosti kovů a iontů v hasební vodě použité při hašení BEV (Quant et al., 2023)	37
Obrázek 23 Analýza četnosti kovů a iontů v hasební vodě použité při hašení ICEV (Quant et al., 2023)	37

Obrázek 24 Polohování vozidla při chlazení baterie (Aktuální poznatky z elektromobility pro potřeby HZS ČR, 2020).....	40
Obrázek 25 Elektromobil ponořený ve vodní lázni (Firehouse.com, 2021).....	41
Obrázek 26 Hašení elektromobilu pomocí protipožární plachty (Lesiak et al., 2021).....	43
Obrázek 27 Hasicí kopí MURER (MURER-Feuerschutz GmbH, C2024)	44
Obrázek 28 Hasicí kopí MURER v akci (MURER-Feuerschutz GmbH, C2024).....	44
Obrázek 29 Bateriový hasicí systém BEST (Rosenbauer, c2024).....	45
Obrázek 30 BEST v akci (Speciality Vehicles, c2024).....	45
Obrázek 31 Vodní tryska Pancake nozzle (Rescue, c2024)	46
Obrázek 32 Cold Cut Systém COBRA v akci (Cold Cut Systems Svenska AB, c2024)....	47
Obrázek 33 Speciální kontejner pro hašení elektromobilů v Záchranném útvaru HZS ČR v Jihlavě (Vlastní, 2023).....	50
Obrázek 34 Mapa zobrazující aktuální počty kontejnerů na hašení elektromobilů a počty plánovaných kontejnerů k roku 2023 (Zdroj dat: GR-HZS ČR, 2023)	51
Obrázek 35 Přední část s otvorem na navíjení (Vlastní, 2023)	52
Obrázek 36 Ocelové nájezdy pro lepší přístupnost (Vlastní, 2023)	53
Obrázek 37 Výpust' kontaminované vody (Vlastní, 2023).....	53
Obrázek 38 Místo události (Hasičský záchranný sbor hlavního města Prahy, 2023).....	56
Obrázek 39 Vytahování vozidla z kontejneru (Hasičský záchranný sbor hlavního města Prahy, 2023).....	57
Obrázek 40 Uhašený elektromobil Peugeot e-208 (HZS Jihočeského kraje, 2022).....	58
Obrázek 41 Shořelá Tesla v Arizoně (FOX10, 2023)	59
Obrázek 42 Shořelá Tesla nakládána do kontejneru (iDnes.cz, 2019)	60
Obrázek 43 Požár elektromobilu na Slovensku (Hasičský a záchranný zbor, 2024)	61
Obrázek 44 Hasicí zařízení Cobra ve vlastnictví HZS Zlínského kraje (Vlastní, 2024)	62
Obrázek 45 Hydraulický roztahovač ve vlastnictví HZS Zlínského kraje (Vlastní, 2024) .	63
Obrázek 46 Termokamera Dräger (Vlastní, 2024)	64
Obrázek 47 Analýza silných a slabých stránek – Chlazení akumulátoru vodním proudem (Vlastní, 2024)	66
Obrázek 48 Analýza silných a slabých stránek – Zaplavování akumulátoru pomocí hasicího zařízení Cobra (Vlastní, 2024)	67
Obrázek 49 Analýza silných a slabých stránek – Protipožární plachta na elektromobily (Vlastní, 2024)	67
Obrázek 50 Analýza silných a slabých stránek – Ponoření BEV do vodní lázně (Vlastní, 2024)	68
Obrázek 51 Diagram postupu hašení elektromobilu (drawio,2024).....	69
Obrázek 52 SWOT analýza adekvátního způsobu hašení elektromobilů (Vlastní, 2024)...	73
Obrázek 53 Výsledky interní a externí části SWOT analýzy (Vlastní, 2024).....	74

Obrázek 54 Grafické znázornění SWOT analýzy (Vlastní, 2024) 75

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Počet jednotlivých registrací BEV v letech 2013-2023 (Zdroj dat: Čistá doprava, 2024)	13
Tabulka 2 Počty požárů BEV ve Finsku v letech 2015-2023 (Zdroj dat: Linja-Aho, 2023)	30
Tabulka 3 Počet požárů BEV ve Švédsku v roce 2022 (Zdroj dat: MSB, 2023)	31
Tabulka 4 Aktuální počty hasících zařízení Cobra v jednotlivých HZS krajů a MV-GŘ HZS ČR (Zdroj dat: GŘ-HZS ČR, 2024)	54
Tabulka 5 Základní informace o požáru elektromobilu Jaguar I-Pace v Praze (Zdroj dat: Hasičský záchranný sbor hlavního města Prahy, 2023)	56
Tabulka 6 SWOT analýza adekvátního způsobu zdolávání požárů bateriových elektrických vozidel (Vlastní, 2024)	74

