

BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ PRO ELEKTRICKÉ VOZIDLO

Diplomová práce

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Konstrukce strojů a zařízení

Autor práce:

Bc. Martin Kaplík

Vedoucí práce:

Ing. Pavel Brabec, Ph.D.

Katedra vozidel a motorů





Zadání diplomové práce

BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ PRO ELEKTRICKÉ VOZIDLO

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Kaplík**
Osobní číslo: S16000336
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Konstrukce strojů a zařízení
Zadávací katedra: Katedra vozidel a motorů
Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

1. Popište obecnou problematiku baterií využívaných u hybridních a elektrických vozidel a vypracujte rešerši používaných konstrukčních provedení.
2. Pro zadané vozidlo vypracujte návrh uspořádání a konstrukce bateriového boxu.
3. Provedte rozbor namáhání a pevnostní analýzu pomocí MKP, zhodnoťte výsledky, navrhněte případné úpravy a proveďte optimalizaci.
4. Vytvořte zadanou výkresovou dokumentaci.
5. Cílem diplomové práce je využití výsledků na Katedře vozidel a motorů (TUL) a Laboratoři pohonných jednotek.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

Výkresová dokumentace, simulační model
cca 50 stran textu
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. Radlmayr Karl, Tuksa Andrea, Bartmann Michael, Funcke Michael a Nils Neumann. Agile Development of a Modular System for HV Battery Housings with Focus on Crash & Structure. 28th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2019, str. 655 – 664
2. Thaler Alexander a Daniel Watzenig. *Automotive Battery Technology*. Springer, 2014. ISBN 978-3-319-02522-3.
3. Müller Beate a Gereon Meyer. *Electric Vehicle Systems Architecture and Standardization Needs*. Springer, 2015. ISBN 978-3-319-13655-4.
4. Bodenbender Jonas. *HV-Battery Casing Concepts as Aluminium Hybrid Design – Implementation of High Functional and Safety Features*. 27th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2018, str. 305 – 314
5. Enžl Jakub. *Simulace bateriových článků a bateriových packů*. TechSim Engineering, prezentace ze dne 24.10.2019.
6. Trubelová Šárka. *TechSim Enginnering – CFD simulace při návrhu baterií*. TechSim Engineering, prezentace ze dne 24.10.2019.
7. LARMINIE James a John LOWRY. *Electric vehicle technology explained*. Second edition. Chichester: John Wiley, [2012]. ISBN 978-1-119-94273-3
8. EMADI, Ali, ed. *Advanced electric drive vehicles*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. Energy, power electronics, and machines. ISBN 978-1-138-07285-5.
9. Manuál softwaru Creo
10. Běžně dostupné materiály – odborné časopisy, databáze patentů, internet.

Vedoucí práce:

Ing. Pavel Brabec, Ph.D.
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání práce:

1. listopadu 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

1. února 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

11. června 2020

Bc. Martin Kaplík

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Pavlu Brabcovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytování cenných rad a věnovaný čas při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat také poděkovat panu Ing. Pavlu Jandurovi, Ph.D. a panu Ing. Lukáši Krčmářovi za odborné konzultace ohledně problematiky 3D tisku a elektronických součástek použitých v bateriovém úložišti. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě podporovala nejen při tvorbě této práce, ale také v průběhu celého studia.

Anotace

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem bateriového úložiště autonomního vozidla vyvíjeného na půdě Technické univerzity v Liberci. V teoretické části práce je provedena analýza využití baterií u hybridních a elektrických vozidel společně s rozбором konstrukčních provedení bateriových úložišť. Praktická část poté popisuje volbu uspořádání bateriových článků a návrh boxu sloužícího jako jejich úložiště.

Klíčová slova

bateriový box, bateriový článek, konstrukční návrh, modul, pevnostní analýza, vozidlo

Annotation

The diploma thesis deals with the design of battery storage for an autonomous vehicle developed on premises of the Technical University in Liberec. In the theoretical part an analysis of the use of batteries on hybrid and electric vehicles is performed together with an analysis of the battery boxes design. Practical part describes the choice of the battery cells arrangement and the box design serves as their storage.

Keywords

battery box, battery cell, battery box design, module, strength analysis, vehicle

Obsah

Seznam použitých obrázků.....	12
Seznam použitých tabulek.....	15
Seznam použitých symbolů.....	16
Seznam použitých zkratk.....	17
1 Úvod.....	19
2 Cíle práce.....	20
3 Rešeršní část.....	21
3.1 Typy elektrických vozidel	21
3.2 Bateriové články v hybridních a elektrických vozidlech.....	24
3.2.1 Olověné články	26
3.2.2 Nikl-kadmiové články (NiCd)	27
3.2.3 Nikl-metal hydridové články (NiMH)	28
3.2.4 Lithium-iontové články (Li-Ion).....	29
3.2.5 Základní tvary bateriových článků.....	31
3.3 Konstrukční provedení modulů	33
3.4 Konstrukční provedení bateriových úložišť	35
4 Výzkumná část.....	38
4.1 Návrh uspořádání článků.....	39
4.2 Příslušenství bateriového úložiště	42
4.2.1 Relé	42
4.2.2 BMS	43
4.2.3 Konektory	44
4.2.4 Odpojovač.....	45
4.2.5 Ventilační membrána	45
4.2.6 Zástavbový prostor.....	46
4.3 Návrh uspořádání modulů	47
4.4 Konstrukce krytu modulu	50
4.4.1 Spodní část krytu modulu	50
4.4.2 Vrechní část krytu modulu.....	53
4.4.3 Spojení spodní a vrechní části krytu modulu.....	55
4.4.4 Sestava modulu	57

4.5	Konstrukce bateriového úložiště	58
4.5.1	Volba materiálu hlavních komponentů úložiště	59
4.5.2	Základní rám úložiště	60
4.5.3	Boční zakrytování úložiště	62
4.5.4	Vrchní zakrytování	63
4.5.5	Sestava bateriového úložiště.....	65
5	Pevnostní ověření návrhu bateriového úložiště	69
5.1	Vlastnosti použitých materiálů.....	69
5.2	Zatížení bateriového úložiště	70
5.2.1	Jízdni stav č.1	70
5.2.2	Jízdni stav č.2	76
5.2.3	Jízdni stav č.3	80
5.3	Zhodnocení výsledků simulací.....	84
5.4	Návrhy na případnou optimalizaci	84
6	Závěr	86
	Seznam použité literatury	88
	Seznam příloh	93

Seznam použitých obrázků

1	Příklad vozidel BEV [1]	21
2	Příklad vozidla PHEV [2]	22
3	Příklad vozidla FCEV [3]	23
4	Grafické znázornění základních typů elektrických vozidel [4]	23
5	Znázornění toku elektronů při vybíjení a nabíjení elektrochemického článku [7]	24
6	Porovnání vlastností základních typů bateriových článků [9]	26
7	Obecný popis chemické reakce v olověném článku [6]	26
8	Obecný popis olověného článku [8]	27
9	Obecný popis chemické reakce v nikl-kadmiovém článku [6]	27
10	Obecný popis nikl-kadmiového článku [10]	28
11	Obecný popis chemické reakce v nikl-metal hydridovém článku [6]	28
12	Obecný popis nikl-metal hydridového článku [11]	29
13	Základní typy lithium-iontových článků [12]	29
14	Porovnání vlastností základních typů Li-Ion článku [14]	30
15	Ukázka válcových článků [15]	31
16	Ukázka prizmatických článků [16]	32
17	Ukázka pytlíkových článků [18]	32
18	Ukázka modulárních komponentů bateriového úložiště: bateriový článek (vlevo), modul (uprostřed) a bateriové úložiště (vpravo) [22]	33
19	Ukázka modulu bez implementace chlazení obsahujícím prizmatické články [23]	34
20	Ukázka modulu s implementací chlazení obsahujícím válcové články [24]	34
21	Ukázka bateriového úložiště vozidla BEV [25]	36
22	Ukázka bateriového úložiště vozidla PHEV [26]	36
23	Maximálně možný zástavbový prostor úložiště ve vozidle	38
24	Bateriový článek C2-NCM50S [28]	39
25	Uspořádání článků 14x1 – varianta 1	41
26	Uspořádání článků 14x1 – varianta 2	41
27	Uspořádání článků 7x2 – varianta 3	41
28	Relé LEV200A4NAF [31]	43
29	Orion BMS 2 [33]	43
30	Konektor typu AMP+ HVP800 2P [35]	44

31	Odpojovač MSDM3502 [37].....	45
32	Membrána SV-PN5EPV700-H30H [39].....	46
33	Potřebný prostor pro příslušenství bateriového úložiště v milimetrech	46
34	Rozměry variant uspořádání článků v modulu.....	47
35	Minimální potřebné vzdálenosti mezi moduly s články.....	48
36	Zvolený návrh uspořádání modulů v bateriovém úložišti	49
37	Spodní část krytu modulu.....	51
38	Spodní část krytu modulu s bateriovými články	51
39	Výplň dna spodní části krytu modulu.....	52
40	Výplň bočních stěn spodní části krytu modulu	52
41	Horní část krytu modulu.....	53
42	Podélný řez sestavy modulu	54
43	Příčný řez sestavy modulu.....	54
44	Výplň základny víka krytu modulu	55
45	Výplň olemování a podpěr víka krytu modulu.....	55
46	Pravidla aplikace závitových inzertů a kovových pouzder [40].....	56
47	Popis spojovacího materiálu krytu modulu	56
48	Kompletní sestava jednoho modulu	57
49	Výsledný návrh základního rámu úložiště	61
50	Výsledný návrh bočního zakrytování úložiště	63
51	Výsledný návrh vrchního zakrytování úložiště	64
52	Rozpad sestavy konečného návrhu bateriového úložiště	65
53	Porovnání rozměrů zástavby úložiště s maximální zástavbovým prostorem ve vozidle	66
54	Kompletní sestava bateriového úložiště s ukázkou propojení modulů	67
55	Kompletní sestava bateriového úložiště	67
56	Finální návrh bateriové úložiště	68
57	Podélný řez modulu umístěném v bateriovém úložišti	68
58	Jízdní stav č.1 – Silové zatížení podlahy úložiště	71
59	Dosedací plocha vnější konstrukce úložiště.....	72
60	Jízdní stav č.1 – Zavazbení a celkové silové zatížení	73
61	Vysíťování simulačního modelu	73
62	Jízdní stav č.1 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu shora.....	74

63	Jízdní stav č.1 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu zesponu	74
64	Jízdní stav č.1 – Posuny v horní oblasti úložistě	75
65	Jízdní stav č.1 – Posuny ve spodní oblasti úložistě	76
66	Jízdní stav č.2 – Zjednodušený model rozložení sil	76
67	Jízdní stav č.2 – Zavazbení a celkové silové zatížení.....	78
68	Jízdní stav č.2 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu shora	78
69	Jízdní stav č.2 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu zesponu	79
70	Jízdní stav č.2 – Posuny v horní oblasti úložistě	79
71	Jízdní stav č.2 – Posuny ve spodní oblasti úložistě	79
72	Jízdní stav č.3 – Zjednodušený model rozložení sil	80
73	Jízdní stav č.3 – Zavazbení a celkové silové zatížení.....	82
74	Jízdní stav č.3 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu shora	82
75	Jízdní stav č.3 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu zesponu	83
76	Jízdní stav č.3 – Posuny v horní oblasti úložistě	83
77	Jízdní stav č.3 – Posuny ve spodní oblasti úložistě	83

Seznam použitých tabulek

1	Základní vlastnosti bateriového článku C2-NCM50S [28]	39
2	Hodnoty nominálních napětí a celkových kapacit.....	40
3	Hmotnosti jednotlivých komponentů bateriového úložiště	58
4	Hmotnosti jednotlivých komponentů bateriového úložiště	66
5	Vlastnosti materiálu EN AW 6060 T66 [52].....	69
6	Vlastnosti materiálu EN AW 6082 T651 [53].....	70
7	Hmotnosti a silová zatížení působící na podlahu úložiště	72
8	Jízdní stav č.2 - Vypočtená silová zatížení	77
9	Jízdní stav č.2 - Složky gravitačního zrychlení	77
10	Jízdní stav č.3 – Hodnoty součinitelů adheze [54]	81
11	Jízdní stav č.3 - Vypočtená silová zatížení	81
12	Jízdní stav č.3 - Složky gravitačního zrychlení	81

Seznam použitých symbolů

a_u	[m/s ²]	zpomalení vozidla
B	[N]	brzdná síla
B_{ad}	[N]	brzdná síla na mezi adheze
B_p	[N]	brzdná síla na přední nápravě
B_{pad}	[N]	brzdná síla na mezi adheze u přední nápravy
B_z	[N]	brzdná síla na zadní nápravě
B_{zad}	[N]	brzdná síla na mezi adheze u zadní nápravy
E	[GPa]	Youngův modul (modul pružnosti v tahu)
g	[m/s ²]	gravitační zrychlení
G	[N]	tíha
G_x	[N]	složka zatížení v ose X
G_z	[N]	složka zatížení v ose Z
m	[kg]	hmotnost
R_m	[MPa]	pevnost v tahu
$R_{p0,2}$	[MPa]	mez kluzu
z	[-]	poměrné zpomalení
Z_p	[N]	radiální reakce na přední nápravě
Z_z	[N]	radiální reakce na zadní nápravě
α	[°]	úhel podélného sklonu vozovky
μ	[-]	Poissonovo číslo
ρ	[g/cm ³]	hustota
φ	[-]	součinitel adheze

Seznam použitých zkratk

3D	Three Dimensional (Trojrozměrné)
3D CAD	Three Dimensional Computer Aided Design (Trojrozměrné počítačem podporované návrhářství)
7P	Typ propojení bateriových článků, tedy 7 paralelně
7P2S	Typ propojení bateriových článků, tedy 7 paralelně a 2 sériově
14S	Typ propojení modulů, tedy 14 sériově
ABS	Anti-lock Brake System (Protiblokovací systém)
BEV	Battery Electric Vehicle (Bateriové elektrické vozidlo)
BMS	Battery Management System (Systém správy baterií)
BMW	Bayerische Motoren Werke (Německý výrobce motocyklů a osobních vozidel)
CAD	Computer Aided Design (Počítačem podporované návrhářství)
CD-ROM	Compact Disc Read-Only Memory (Nepřepisovatelné optické záznamové médium)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Německý ústav pro průmyslovou normalizaci)
EN AW	European aluminum standards - wrought product (Evropské standardy pro hliník - tepelně zpracovaný produkt)
FEM	Finite Element Method (Metoda konečných prvků)
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Elektrické vozidlo s palivovými články)
FM	Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
FS	Fakulta strojní
GM	General Motors (Americký výrobce osobních a užitkových vozidel)
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Hybridní elektrické vozidlo)
HIPS	High Impact Polystyrene (Houževnatý polystyrén)
HMH	Huber, von Mises, Hencky (Hypotéza stavu napjatosti)
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
KVM	Katedra vozidel a motorů
Li-Ion	Lithium-iontový článek
LiFePO4	Chemická sloučenina lithium železo fosfát
LiMn2O4	Chemická sloučenina oxidem lithným manganu

LiNiCoAlO ₂	Chemická sloučenina lithium nikl kobalt oxid hlinitý
LiNiMnCoO ₂	Chemická sloučenina lithium nikl mangan oxid kobaltu
LFP	Lithium železo fosfát (Typ lithium-iontového článku)
MKP	Metoda konečných prvků
NCA	Lithium nikl kobalt oxid hlinitý (Typ lithium-iontového článku)
NiCd	Nikl-kadmiový článek
NiMH	Nikl-metal hydridový článek
NMC	Lithium nikl mangan oxid kobaltu (Typ lithium-iontového článku)
NMC-LMO	Lithium nikl mangan oxid kobaltu v kombinaci s oxidem lithným manganu (Typ lithium-iontového článku)
PDF	Portable Document Format (Přenosný formát dokumentů)
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Hybridní elektrické vozidlo s možností externího nabíjení baterií)
PTC	Název společnosti poskytující software Creo Parametric a Creo Simulate
STEP	Formát CAD souboru podporovaný téměř všemi konstrukčními programy
TR OBD	Označení pro trubku obdélníkového průřezu
TUL	Technická univerzita v Liberci
U3D PDF	Formát souboru umožňující základní zobrazení 3D CAD bez nutnosti instalace speciálního softwaru
VW	Volkswagen (Německý výrobce osobních a užitkových vozidel)

1 Úvod

Nacházíme se v době, ve které se vývoj většiny vozidel stále více zaměřuje na oblast elektromobility. Díky tomu máme možnost potkávat vozidla s kombinací spalovacího motoru a elektromotoru či vozidla využívající pouze čistě elektrický pohon.

Tento trend se nevyhnul ani oblasti logistiky, kde můžeme spatřit velké množství speciálních vozidel majících čistě elektrický pohon. Patří mezi ně například vysokozdvížné vozíky, tahače a přepravní plošiny s různými nastavbami. Tato vozidla jsou zpravidla určena pouze pro provoz na soukromých komunikacích jako jsou výrobní závody, logistické sklady, letiště nebo přístavy. Díky oprostění od legislativních předpisů spojených s pravidly provozu na veřejných komunikacích se v této oblasti můžeme setkat s daleko vyšší implementací autonomních vozidel.

Na půdě Technické univerzity v Liberci (dále TUL) se pod vedením zástupců z Fakulty strojní (dále jen FS) a Fakulty mechatroniky, informatiky a mezioborových studií (dále jen FM) jedno takové vozidlo vyvíjí. Jedná se o autonomní plošinu určenou pro přepravu nákladu o hmotnosti až 1000 kilogramů, která bude disponovat čistě elektrickým pohonem. Jako zdroj pro zajištění dostatečného množství elektrické energie budou sloužit bateriové články umístěné v boxu, jehož konstrukčním návrhem se zabývá tato diplomová práce.

2 Cíle práce

Hlavním cílem práce je vytvoření konstrukčního návrhu bateriového úložiště autonomní plošiny TUL. Pro úspěšné splnění tohoto cíle je důležité dodržet několik kritérií vyplývajících z předem definovaných hodnot a informací ohledně vozidla, které můžeme nazvat rozšířeným zadáním diplomové práce.

Rozšířené zadání diplomové práce:

- provizorní verze bateriového úložiště pro první testování vozidla,
- 196 bateriových článků,
- 14 modulů se zapojením bateriových článků 7P2S,
- preferovaná výroba krytů modulů pomocí 3D tisku z materiálu HIPS,
- požadovaná minimální vzdálenost mezi jednotlivými moduly 20 mm,
- maximální výška bateriového úložiště 200 mm,
- bateriové úložiště servisně vyjímatelné ze spodní části vozidla,
- bateriového úložiště bez implementace chlazení,
- umístění bateriového úložiště ve středu vozidla s ohledem na těžiště,
- hmotnost bateriového úložiště maximálně 300 kg,
- vozidlo používané mimo veřejné komunikace,
- použití zadaného příslušenství (BMS a relé umístit dovnitř bateriového úložiště).

Na základě výše zmíněných bodů bude nejprve nutné zvolit maximální zástavbový prostor bateriového úložiště. Po vytyčení tohoto prostoru bude možné vyselektovat vhodné uspořádání článků a modulů pro dosažení co nejefektivnějšího zapojení. Dalším krokem bude návrh konstrukce modulu, coby krytu bateriových článků, po jehož dokončení bude následovat tvorba samotné konstrukce bateriového úložiště. Během všech kroků by měl být kladen důraz na praktičnost a jednoduchost celého návrhu. Pro ověření odolnosti konstrukce úložiště bude provedena pevnostní analýza pomocí MKP společně s vyhodnocením výsledků. Součástí diplomové práce bude také výrobní výkresová dokumentace samotného bateriového úložiště.

3 Rešeršní část

Před samotnou tvorbou konstrukčního návrhu bateriového úložiště autonomní plošiny se budu věnovat rešeršní části. Ta slouží nejen jako obecný přehled k hlavnímu tématu práce, ale zároveň jako částečná inspirace pro budoucí tvorbu návrhu jednotlivých komponentů mé diplomové práce.

V první části této kapitoly nejdříve popíši obecnou problematiku baterií používaných u hybridních a elektrických vozidel. Z důvodu omezeného rozsahu diplomové práce a velkého množství informací v daném oboru se budu zaměřovat pouze na osobní automobily. Následující část bude věnována obecnému přehledu používaných konstrukčních řešení modulů a bateriových úložišť. K tomu použiji doporučenou literaturu a aktuální odborné články dostupné na internetu.

3.1 Typy elektrických vozidel

Dříve než se budu věnovat problematice samotných bateriových článků, je dobré si ujasnit, co se skrývá pod pojmem elektrické vozidlo. Z názvu lze konstatovat, že se jedná pouze o jeden typ vozidla. Ve skutečnosti však existuje šest základních typů elektrických vozidel, které lze klasifikovat následovně. Prvním typem je vozidlo, které si většina z nás pod tímto pojmem představí. Jedná se o vozidlo známé pod označením BEV (Battery Electric Vehicle), k jehož pohonu slouží pouze elektromotory zásobené elektrickou energií z bateriových článků.



Obrázek 1: Příklad vozidel BEV [1]

Druhý typ vozidla nese označení HEV (Hybrid Electric Vehicle). Tento typ vozidla kombinuje použití elektromotoru společně se spalovacím motorem. V jeho útrokách tak lze najít jak bateriové články, tak i nádrž na pohonné hmoty. Vozidla HEV lze dále rozdělit na několik dalších typů. Vzhledem k zaměření této práce a rozsahovému omezení si však představíme pouze jednoho zástupce, se kterým se v dnešní době můžeme setkat nejčastěji. Je jím vozidlo s označením PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), u kterého lze bateriové články nabíjet nejen rekuperací brzdě energie, ale také přímo ze zásuvky či dobíjecí stanice.



Obrázek 2: Příklad vozidla PHEV [2]

Třetí typ vozidla je opět poháněn čistě elektrickou energií, kterou získává z vodíku během chemických reakcí v palivových článcích. V běžně dostupné literatuře se můžeme často setkat s názvem „vozidlo na vodík“. Odborné označení však nese anglickou zkratku FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle).

Dalším typem vozidel, v pořadí již čtvrtým, jsou ta, která ke svému pohonu využívají elektrickou energii získanou z přímého napojení na trakční vedení. Mezi tyto vozidla patří například trolejbusy.

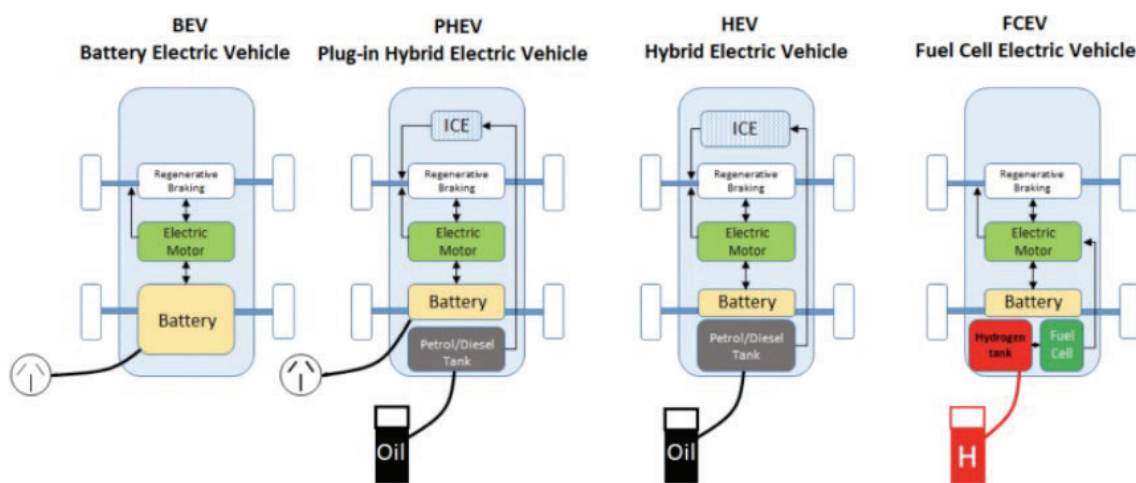
Pátý existující typ elektrických vozidel využívá energii ze slunečního záření. Tu následně přeměňuje pomocí fotovoltaických kolektorů na energii elektrickou sloužící k jeho pohonu. Tento typ vozidel není v dnešní době hojně využíván, a to především díky své nízké efektivitě a závislosti na počasí.

Šestým, a zároveň posledním typem elektrických vozidel jsou ta, která ukládají energii alternativními prostředky, jako jsou setrvačníky nebo tzv. superkapacitory. Pomocí energie nahromaděné v těchto prostředcích by ale vozidlo mělo jen velmi krátký dojezd. Proto jsou aplikovány pouze do hybridních vozidel využívající i jiný zdroj energie. [5] [6]



Obrázek 3: Příklad vozidla FCEV [3]

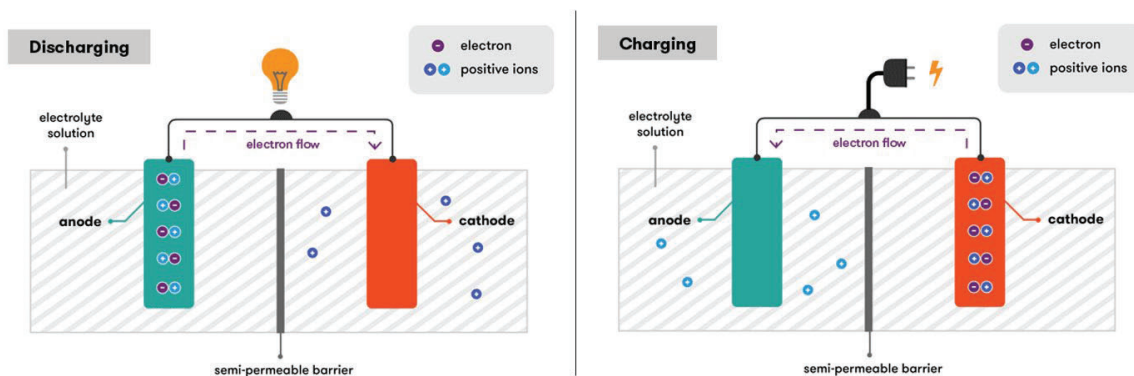
Jednoduché grafické schéma znázorňující pohonná ústrojí prvních čtyř typů vozidel najdeme na obrázku 4.



Obrázek 4: Grafické znázornění základních typů elektrických vozidel [4]

3.2 Bateriové články v hybridních a elektrických vozidlech

Bateriové články jsou tím nejmenším, ale zároveň nejdůležitějším komponentem v bateriovém úložišti. Jejich funkcí je přeměna chemické energie na energii elektrickou. Jedná se tedy o tzv. elektrochemické články složené z katody a anody mezi nimiž se nachází elektrolyt. V elektrochemickém článku existují dva různé směry toku elektrického proudu. Pokud je článek používán jako zdroj elektrické energie (vybízí se), je směr toku elektronů od kladné elektrody k záporné, tedy tzv. přirozeným směrem (obrázek 5 vlevo). V případě nabíjení článku je směr toku elektronů od záporné elektrody ke kladné (obrázek 5 vpravo).



Obrázek 5: Znárodnění toku elektronů při vybíjení a nabíjení elektrochemického článku [7]

Jelikož na trhu neexistuje ideální univerzální bateriový článek, můžeme se tak setkat s jejich různými typy vyhovujícími k odlišným použitím. Mezi hlavní typy sekundárních (dobíjecích) článků patří olovené články, nikel-kadmiové články (NiCd), nikel-metal hydridové články (NiMH) a lithium-iontové články (Li-Ion). Jednotlivé typy článků disponují odlišnými vlastnostmi, viz obrázek 6. Tyto vlastnosti jsou definovány pojmy, které lze často nalézt v literatuře či specifikacích dodávaných výrobcem bateriových článků. Základní přehled těchto pojmů je společně s jejich obecným vysvětlením uveden níže. [6] [9]

Nominální napětí článku:

- jedná se o napětí, jehož velikost se přibližně rovná průměrné hodnotě napětí při odebrání elektrické energie ze článku za standardních podmínek,
- nominální napětí článku uvádíme ve voltech s jednotkou V.

Nominální kapacita:

- definuje množství elektrického náboje, které je schopen daný článek uložit,
- nominální kapacitu článku uvádíme v ampérhodinách s jednotkou Ah.

Specifická hustota energie:

- udává množství uložené energie na jednotku hmotnosti,
- specifickou energii uvádíme ve watthodinách na kilogram s jednotkou Wh/kg.

Objemová hustota energie:

- udává množství uložené energie na jednotku objemu,
- specifickou energii uvádíme ve watthodinách na litr s jednotkou Wh/l.

Specifický výkon:

- představuje množství energie získané z určité hmotnosti (standardně 1 kilogram),
- specifický výkon uvádíme ve wattech na kilogram s jednotkou W/kg.

Objemový výkon:

- představuje množství energie získané z určitého objemu (standardně 1 litr),
- objemový výkon uvádíme ve wattech na kilogram s jednotkou W/l.

Míra samovybíjení:

- tento jev definuje ztrátu kapacity článku během období, kdy není využíván,
- samovybíjení je silně ovlivněno okolní teplotou a také samotným typem článku,
- míru samovybíjení uvádíme v procentech na jednotku času (obvykle měsíc).

Živostnost článku:

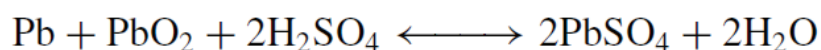
- je ovlivněna různými faktory, jako je účel použití, provozní podmínky či mírou hloubky vybíjení článků,
- většinou se uvádí počtem nabíjecích cyklů, někdy je tato hodnota doplněna i počtem let (obecně se životnost článků odhaduje kolem 8 let).

Battery type	Life span (cycle)	Nominal voltage (V)	Specific energy (Wh/kg)	Specific power (W/kg)	Charging efficiency	Self-discharge rate (%/month)	Safety
Li-ion	600-3,000	3.2-3.7	100-270	250-680	80-90	3-10	Safe
Lead acid	200-300	2.0	30-50	180	50-95	5	Risky (generate harmful gases)
NiCd	1000	1.2	50-80	150	70-90	20	Risky (highly toxic)
NiMH	300-600	1.2	60-120	250-1,000	65	30	Safe

Obrázek 6: Porovnání vlastností základních typů bateriových článků [9]

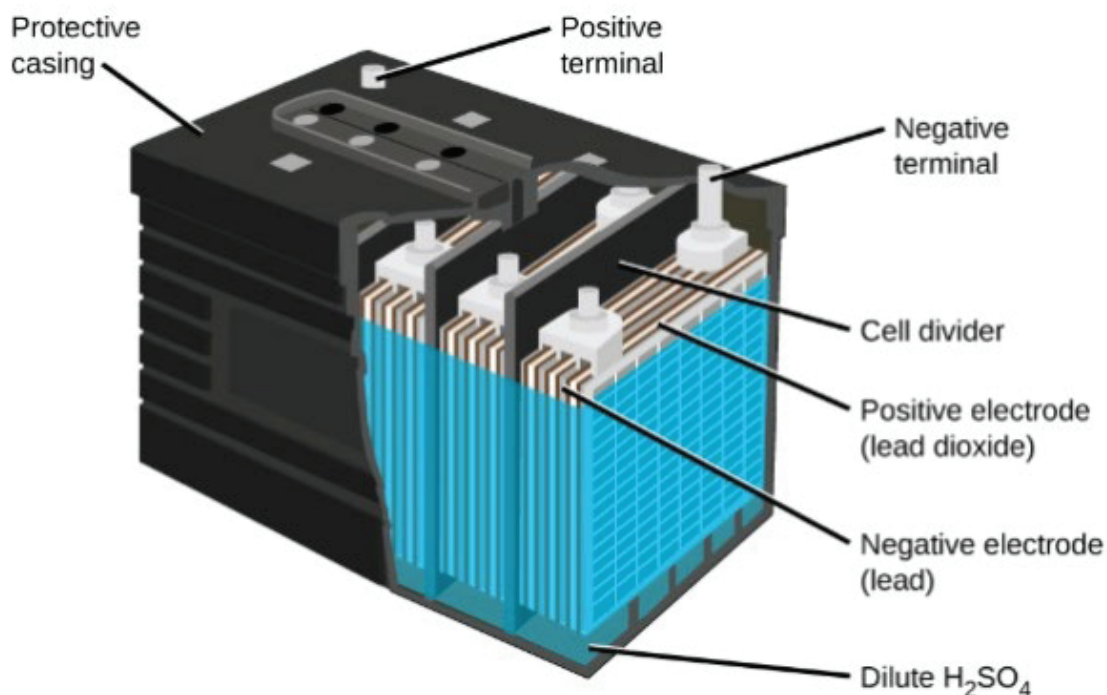
3.2.1 Olověné články

Technologie olověných článků je sice vyspělá a spolehlivá, nicméně je již považována za zastaralou. Olověné články se široce používají ve vozidlech se spalovacím motorem jako zdroj energie pro start motoru. Tento typ disponuje elektrolytem v podobě zředěné kyseliny sírové, která se slučuje s olovem a oxidem olovičitým za vzniku síranu olovnatého a vody, přičemž se během procesu uvolňuje elektrická energie, viz obrázek 7.



Obrázek 7: Obecný popis chemické reakce v olověném článku [7]

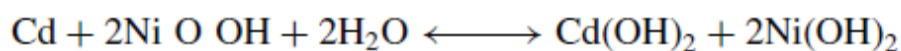
U elektrických vozidel se často namísto tekutého elektrolytu používá elektrolytem gelový, díky němuž jsou články schopny odolávat hlubšímu cyklování („deep cycling“). Výroba těchto baterií je však dražší. Nevýhodou článků s tekutým elektrolytem je nutnost kontroly jeho hladiny. Další nevýhodou obou typů článků je jejich krátká živostnost (kolem tří let) a poměrně vysoká hmotnost, díky čemuž mají nízkou hodnotu specifické hustoty energie pohybující se kolem 34 Wh/kg. Na základě těchto faktů může celková hmotnost olověných článků tvořit 25 až 50 % celkové váhy elektrického vozu. V neposlední řadě mají také negativní dopad na přírodní prostředí z důvodu generování nebezpečných plynů a obsahu kyseliny sírové. [6] [9]



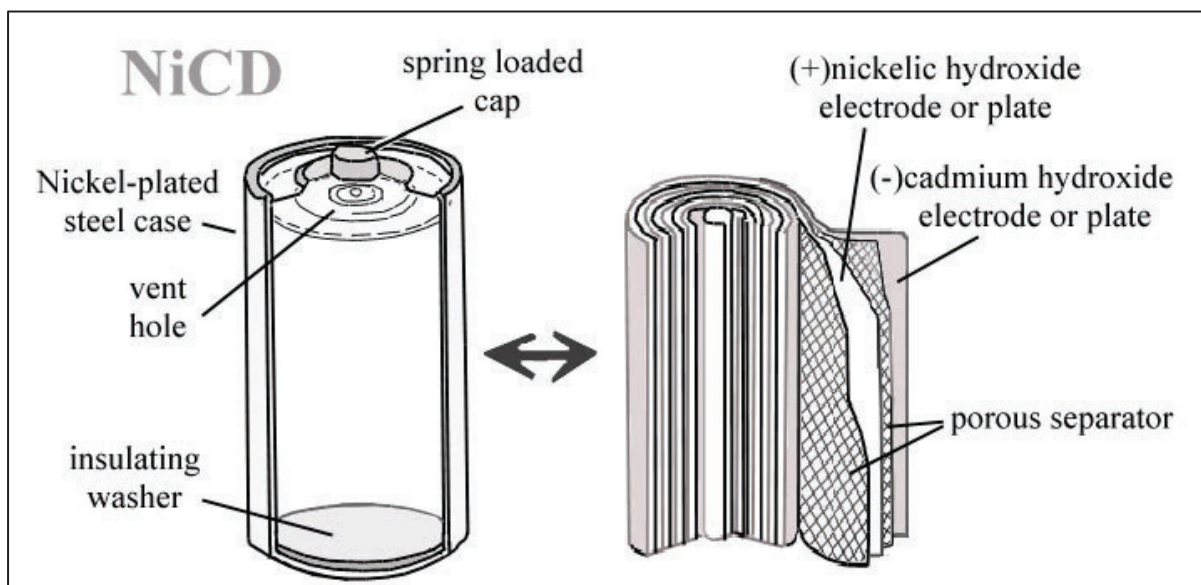
Obrázek 8: Obecný popis olověného článku [8]

3.2.2 Nikl-kadmiové články (NiCd)

Nikl-kadmiové články mají široké spektrum použití včetně aplikace do elektrických vozidel. Oproti olověným článkům mají téměř dvojnásobně vyšší specifickou hustotu energie. Jejich dalšími výhodami je robustnost, široký rozsah pracovních teplot (-40°C až 80°C) a nízké samovybíjení. K výhodám lze také zařadit možnost nabití během jedné hodiny, do kapacity 60 % poté během 20 minut. Články se vyrábí převážně v menších rozměrech s nominálním napětím 1,2 V, což s sebou přináší nutnost použití většího množství článků v případné aplikaci do elektrických vozidel. Nevýhodou těchto článků je jejich vyšší cena v porovnání s články olověnými. Na základě těchto faktů našli uplatnění především v přenosných elektrických zařízeních. Problematickým rysem tohoto typu článku je jedovatost kadmia (záporná elektroda), které je karcinogenní a škodlivé k životnímu prostředí. Chemická reakce probíhající uvnitř nikl-kadmiového článku je k vidění na obrázku 9. [6]



Obrázek 9: Obecný popis chemické reakce v nikl-kadmiovém článku [6]



Obrázek 10: Obecný popis nikel-kadmiového článku [10]

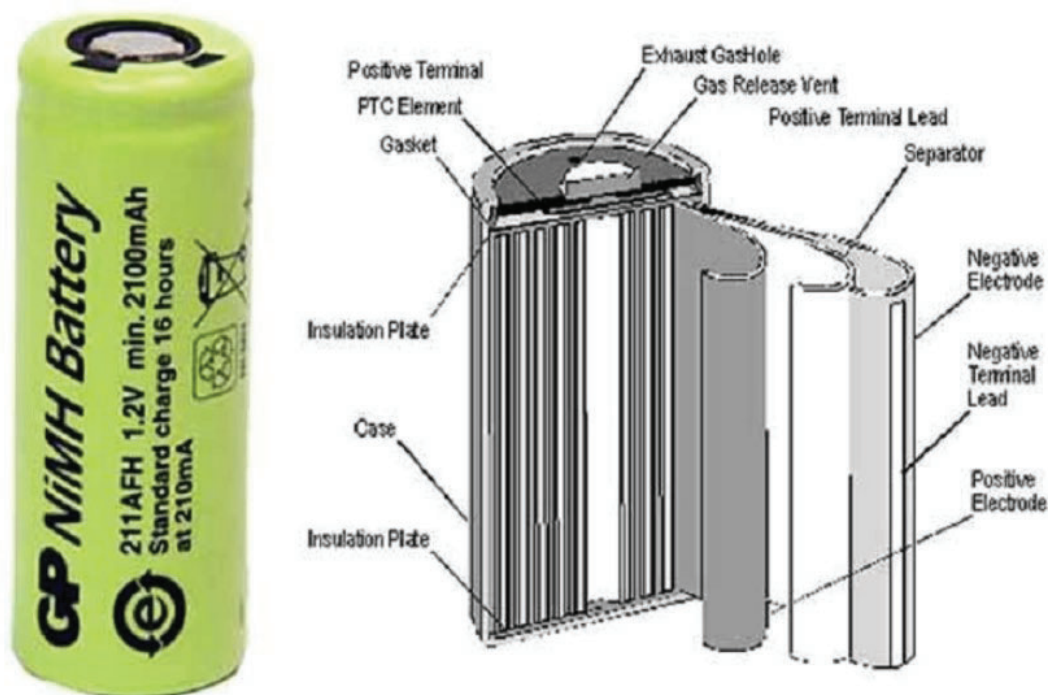
3.2.3 Nikl-metal hydridové články (NiMH)

Nikel-metal hydridové články patřily mezi jedny z nejčastěji používaných druhů článků v prvním desetiletí 21. století. Články se používaly u velkého množství vozidel HEV, nicméně díky neustálému vývoji v této oblasti se v současné době od tohoto typu článků upouští. V porovnání s článkem NiCd jsme se opět dostali na dvojnásobnou hodnotu specifické hustoty energie při zachování stejných rozměrů. Oproti článkům olověným jsme už téměř na čtyřnásobné hodnotě. Hlavní výhodou NiMH článků je jejich životnost, která již byla ověřena dlouhodobým používáním v reálných podmínkách. Další výhodou tohoto typu článku je nízký obsah toxického materiálu, což vede ke snadnější recyklaci. To je dáno absencí kadmia na záporné elektrodě, která je tvořena speciální kovovou slitinou, na níž se vytváří společně s vodíkem směs hydridů kovů (převážně nikel, kobalt, mangan). Chemická reakce probíhající uvnitř nikel-metal hydridového článku znázorněna v chemické rovnici na obrázku 11.



Obrázek 11: Obecný popis chemické reakce v nikel-metal hydridovém článku [6]

Při použití článků NiMH v elektrických vozidlech můžeme narazit na několik záporů. Mezi ty nejvýznamnější můžeme zařadit samovybíjení (až 12,5 % denně při pokojové teplotě) a nízkou účinnost nabíjení. [6] [9]



Obrázek 12: Obecný popis nikl-metal hydridového článku [11]

3.2.4 Lithium-iontové články (Li-Ion)

Lithium-iontové články jsou dnes nejčastěji používaným typem článků v elektrických vozidlech. Dle nejrůznějších odhadů by měl tento typ článků získat do roku 2025 až 90% podíl na trhu s články určenými pro elektrická vozidla. Existuje několik typů lithium-iontových článků v závislosti na jejich chemickém složení. Ty jsou často označovány zkratkami odkazující se na prvky, z nichž se skládá jejich katoda (obrázek 13). Anoda je obvykle vyrobena z grafitu nebo materiálu smíchaného s grafitem a křemíkem. [9]

Abbrev.	LCO	LNO	NCA	NMC	LMO	LFP	LTO
Name	Lithium cobalt oxide	Lithium nickel oxide	Lithium nickel cobalt aluminium oxide	Lithium nickel, manganese cobalt oxide	Lithium manganese spinel	Lithium iron phosphate	Lithium titanate
Positive electrode	LiCoO_2	LiNiO_2	$\text{Li}(\text{Ni}_{0,8}\text{Co}_{0,1}\text{Al}_{0,05})\text{O}_2$	$\text{Li}(\text{Ni}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33})\text{O}_2$	LiMn_2O_4	LiFePO_4	LMO, NCA, ...
Negative electrode	Graphite	Graphite	Graphite	Graphite	Graphite	Graphite	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

Obrázek 13: Základní typy lithium-iontových článků [12]

Pro bateriová úložiště vozů BEV a HEV jsou nejpoužívanější Li-Ion články s označením NMC (lithium nikl mangan oxid kobaltu - LiNiMnCoO_2), NMC-LMO (NMC katoda kombinovaná s oxidem lithným manganu – LiMn_2O_4), NCA (lithium nikl kobalt oxid hlinitý – LiNiCoAlO_2) a LFP (lithium železo fosfát – LiFePO_4). Články s chemickým složením NMC a NMC-LMO můžeme nejčastěji nalézt u vozů značky BMW, VW, GM, Toyota, Mitsubishi, Daimler, Renault a Nissan. Články s označením NCA jsou dnes používány v podstatě pouze ve vozech značky Tesla. Posledním typem článků je LFP, který v současné době používá několik čínských výrobců. [14]

Chemistry	Chemistry Abbreviation	Typical Voltage	Specific Energy (Capacity)	Cycle Life
Lithium Cobalt Oxide (LiCoO_2)	LCO	3.7 V	150-200 Wh/Kg	500-1,000
Lithium Manganese Oxide (LiMn_2O_4)	LMO	3.7 V	100-150 Wh/Kg	300-700
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO_2)	NMC	3.6 V	150-200 Wh/Kg	1,000-2,000
Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO_2)	NCA	3.6 V	155-260 Wh/Kg	500
Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4)	LFP	3.2 V	90-125 Wh/Kg	1,000-3,000

Obrázek 14: Porovnání vlastností základních typů Li-Ion článku [13]

Mezi výhody Li-ion článků můžeme zařadit vysokou specifickou hustotu energie, nízkou míru samovybíjení (kolem 5 % měsíčně), relativně nízkou hmotnost ve srovnání s články zmíněnými v předchozích kapitolách, rychlost nabíjení a téměř žádný paměťový efekt. Nevýhodou je ztráta celkové kapacity v čase, vyšší vnitřní odpor ve srovnání s články zmíněnými výše. Při nesprávném zacházení se mohou články snadno přehřát, prasknout nebo dokonce explodovat. Z tohoto důvodu jsou opatřeny bezpečnostní prvky (např. tlakové zálepky), které v konečném důsledku zvyšují cenu a složitost článků. Pokud dojde k aktivaci některého z těchto prvků, dochází tak ve většině případů k znehodnocení článku a je zapotřebí jeho výměny. [6] [9]

3.2.5 Základní tvary bateriových článků

Bateriové články používané ve vozidlech BEV a HEV se liší kromě rozdílného chemického složení, také jejich tvarem. V současné době se vyvíjejí a vyrábějí tři různé tvary bateriových článků. Za účelem poskytnutí konstrukčních pokynů byla vydána veřejně dostupná specifikace (nikoli plnohodnotný standard) ISO/IEC PAS 16898:2012 [21], která definuje pojmenování, rozměry, umístění terminálů a pozice bezpečnostních prvků u bateriových článků. Tento dokument však neobsahuje žádné specifikace pro vnitřní konstrukci článků či elektrické vlastnosti, zároveň nepopisuje vztah mezi rozměry a kapacitou článku. [17]

Prvním typem jsou články válcové, které můžeme vidět na obrázku 15. Tento typ článku je jedním z nejpoužívanějších způsobů balení primárních a sekundárních baterií. Výhodou je snadná výroba a dobrá mechanická stabilita. Díky jeho válcovitému tvaru dokáže dobře odolávat deformacím od vnitřního tlaku způsobeného chemickými reakcemi v článku. Pro válcové sekundární články se zavedlo označení skládající se z pěti číslic. Toto označení v sobě nese informace ohledně průměru článku (první dvě číslice) a jeho výšky (třetí a čtvrtá číslice). Pro lepší představu uvádím příklad článku s označením 21700. Jedná se o článek s průměrem 21 mm a výškou 70 mm. Tento typ článků je použit například u vozů Tesla model S či Tesla model 3. [19]



Obrázek 15: Ukázka válcových článků [15]

Druhým typem jsou články prizmatické (obrázek 16), které mají tvar kvádra. Jejich výroba spočívá ve vrstvení jednotlivých buněk článků na sebe, které jsou následně zavařeny jako celek do hliníkového pouzdra. Toto pouzdro zajišťuje dostatečnou kompresi článku bránící jeho tzv. „nafouknutí“ a zároveň umožňuje umístění bezpečnostních prvků článku. Prizmatické články sice zlepšují využitelnost zástavbového

prostoru, na druhou stranu jsou ale, v porovnání s články válcovými, dražší. K tomu přispívá především jejich náročnější výroba. U článků je také obtížnější regulovat jejich teplotu. I přes snahu unifikace rozměrů tohoto typu článků, se stále setkáváme s velkým množstvím odlišných rozměrů specifických pro daného výrobce. Tento typ článků je například používán ve vozech značek BMW a VW. [19]



Obrázek 16: Ukázka prizmatických článků [16]

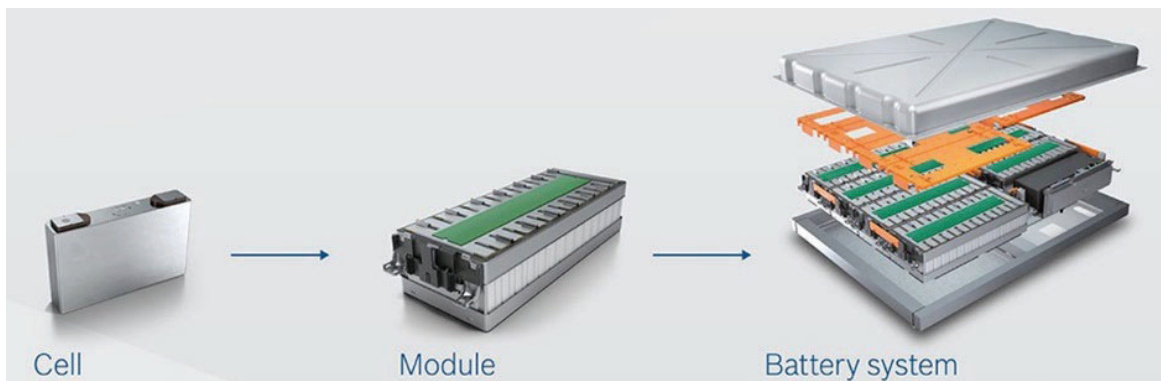
Třetím typem jsou články váčkové (anglicky „pouch“), někdy také nazývané jako tzv. „kávové sáčky“ (obrázek 17). Tento typ článku umožňuje co nejefektivnější využití prostoru. To je dáno absencí dodatečného pouzdra článku, která má za následek nejen vysokou flexibilitu článku, ale i snížení jeho hmotnosti. Díky této absenci však článek vyžaduje alternativní podporu při umístění do bateriového úložiště. Při vystavení článků vlhkosti a vysoké teplotě dochází ke snížení jejich živostnosti. Váčkové články nejsou nijak standardizovány. Většina výrobců tak vyrábí články vždy pro konkrétní aplikaci. Tento typ článků je použit například u vozu Jaguar I-Pace. [20]



Obrázek 17: Ukázka pytlíkových článků [18]

3.3 Konstrukční provedení modulů

Pro zajištění dostatečného výkonu a dojezdu vozidla (automobilu) musí být použito a následně vhodně propojeno adekvátní množství bateriových článků. Vzhledem k tomu, že se zde bavíme o desítkách až stovkách článků, nelze je v rámci dodržení bezpečnosti a dalších aspektů umístit do bateriového úložiště jen tak. Články by měly být v bateriovém úložišti pevně uchyceny. Nejen k tomuto účelu slouží prvek, nesoucí název modul.



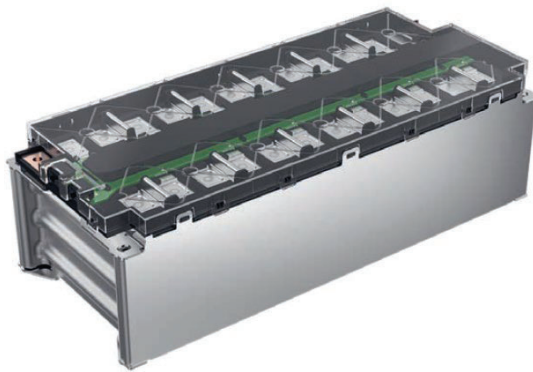
Obrázek 18: Ukázka modulárních komponentů bateriového úložiště: bateriový článek (vlevo), modul (uprostřed) a bateriové úložiště (vpravo) [22]

Relativně velký výběr aktuálně dostupných bateriových článků se odráží i do rozmanitosti rozměrů modulů jednotlivých výrobců. Můžeme tak s nadsázkou konstatovat, že co modul, to unikátní rozměry a s tím spojený i design. Vzhledem k rozsáhlosti tohoto tématu, uvedu pouze hlavní faktory, které mají vliv na podobu modulu, popíši hlavní komponenty a pomocí grafického znázornění představím ukázky některých konstrukčních řešení (obrázek 19 a 20).

To, jak bude modul navržen, ovlivňují faktory, mezi které patří počet a tvar zvolených článků, způsob jejich zapojení (paralelně, sériově), implementace chlazení, určení konečného použití (velkosériová či kusová výroba) a v neposlední řadě také rozměry zástavbového prostoru.

Každý typ modulu disponuje odlišným množstvím komponentů. Existuje však několik základních komponentů, které jsou součástí každého modulu neohledně na jeho rozměry. Mezi tyto součásti patří bezesporu bateriový článek, svorky, propojovací kabely a teplotní senzory. Zbylé komponenty jsou vždy odvislé od toho, k jakému účelu a v jakých podmínkách bude daný modul provozován. Jako první příklad uvádím modul

bez implementovaného systému chlazení ukrývající prizmatické články, který můžeme nalézt na obrázku 19. Z obrázku je zřejmé, že kryt modulu je tvořen dvěma hlavními částmi, spodní a vrchní. Spodní část krytu modulu tvoří sestava komponentů z hliníkové slitiny zajišťující dostatečnou pevnost při zachování nízké hmotnosti. Tato část je zpravidla zafixována pomocí šroubového spoje ke krytu bateriového úložiště a zneumožňuje tak pohyb článků v podélném a příčném směru. Vrchní část krytu neboli víko modulu je tvořena sestavou několika plastových dílů, jejichž funkcí je nejen zamezit pohybu článků ve svislém (vertikálním) směru, ale také zakrytování konektorů článků.



Obrázek 19: Ukázka modulu bez implementace chlazení obsahujícím prizmatické články [23]

Druhým příkladem je modul obsahující systém chlazení prezentován obrázkem 20. Už z prvního pohledu je patrné, že se jedná o zcela odlišnou konstrukci než v předchozím případě. To je dáno nejen odlišným množstvím a tvarem článků (válcové), ale také jejich propojením. Chlazení u tohoto konkrétního případu zajišťuje chladicí tvarovaná trubka proplétající se mezi bateriovými články. Největším rozdílem oproti předchozímu příkladu je absence krytu modulu, kterou v tomto případě supluje tzv. plato, do kteréhož jsou jednotlivé články vsazeny a tím zafixovány.



Obrázek 20: Ukázka modulu s implementací chlazení obsahujícím válcové články [24]

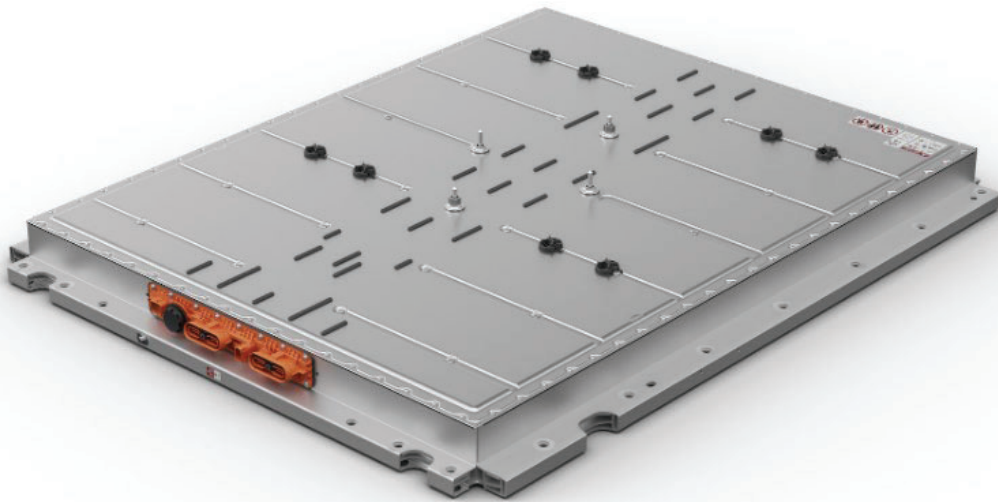
3.4 Konstrukční provedení bateriových úložišť

Bateriové úložiště skrývá všechny moduly včetně bateriových článků a příslušenství. Jedním z nejdůležitějších faktorů při návrhu bateriového úložiště je zástavbový prostor určený k jeho umístění. Tento prostor je volen na základě možností daného vozidla (automobilu). U vozidel typu HEV, která svou architekturou vychází z vozů používajících konvenční motory, je ne vždy zcela snadné nalézt dostatečný prostor pro bateriové úložiště. Velmi často se tak konstruktéři musí uchýlit ke kompromisním řešením například v podobě snížení objemu zavazadlového prostoru na úkor kapacity bateriového úložiště. Díky tomu má většina bateriových úložišť vozů HEV složitý design. To často vede k nutnosti použití dvou či více typů modulů v jednom vozidle.

Design bateriových úložišť vozidel typu BEV je ve většině případů jednodušší. Je to dáno tím, že tato vozidla jsou již od počátku svého vývoje navrhována jako čistě elektrická. Je zde tak počítáno s dostatečným prostorem pro umístění bateriových článků, respektive modulů. To vede k možnosti sjednocení rozměrů modulů do jedné varianty.

I pro bateriová úložiště platí pravidlo, že co vůz, to jiný design úložiště. V rámci omezeného rozsahu práce, není možné představit všechny typy bateriových úložišť. Z tohoto důvodu si představíme pouze některé z používaných konstrukčních řešení bateriových úložišť.

První z nich je zobrazeno na obrázku 21. Již na první pohled lze poznat, že se jedná o bateriové úložiště vozidla typu BEV. Napovídá tomu především jednoduchá konstrukce úložiště, ze které vyplývá, že zde bylo počítáno s prostorem pro úložiště již od počátku vývoje vozidla. Z obrázku můžeme dále vidět, že k výrobě úložiště byly opět použity materiály v podobě hliníkových slitin. Volba tohoto typu materiálu má stejné opodstatnění jako v případě krytů některých modulů, tedy žádoucí nižší hmotnost v kombinaci s dostatečnou pevností. Základ tohoto řešení tvoří rám složený ze svařených profilů, které úložišti poskytují dostatečnou tuhost. Na tento rám je následně přivařeno boční oplechování, ke kterému je pomocí šroubového spojení uchycen vrchní kryt neboli víko. Pro uchycení bateriového úložiště ke karoserii vozidla slouží otvory v rozšířených vnějších profilech rámu.



Obrázek 21: Ukázka bateriového úložiště vozidla BEV [25]

Druhým příkladem konstrukčního řešení úložiště je to, které je zobrazeno na obrázku 22. Jedná se o úložiště používané ve vozidle typu PHEV. Oproti předchozímu úložišti je tento typ značně odlišný. Je to dáno tím, že se zde musel design úložiště přizpůsobit zástavbovému prostoru vozidla. Výsledkem je poté komplikovanější tvar jak spodní, tak i horní části bateriového úložiště. Ve spodní části úložiště jsou použity profily složitějšího tvaru, které dále doplňují plechové výlisky tvořící podlahu úložiště. U horní části je na místo plechového výlisku použit kryt z uhlíkových vláken, který přispívá ke snížení celkové hmotnosti bateriového úložiště.

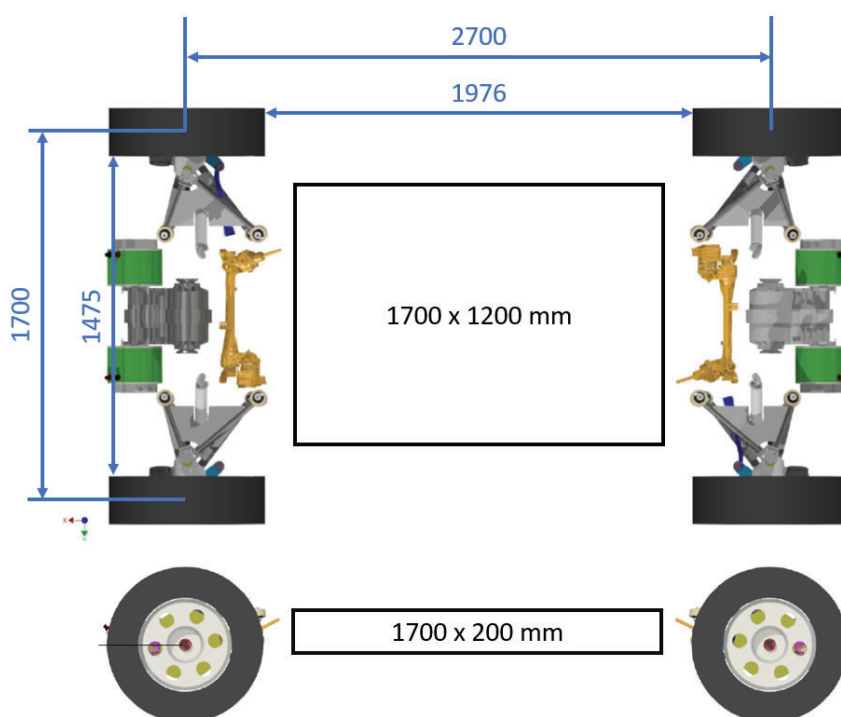


Obrázek 22: Ukázka bateriového úložiště vozidla PHEV [26]

I když je vnější design většiny dnes známých bateriových úložišť odlišný, tak i přesto můžeme konstatovat, že jsou svým způsobem stejná. Mají totiž ve většině případů identický základ. Tím je rám tvořený svařovanými profily různých tvarů, průřezů a délek, na který jsou následně přivařeny ostatní části úložiště. Dalším společným prvkem konstrukcí bateriových úložišť jsou požadavky na co nejnižší hmotnost, zajištění chlazení článků, odolnost vůči vnějším vlivům, redukci výrobních nákladů a vysokou pevnost.

4 Výzkumná část

Rozšířeným zadáním diplomové práce je definováno, že se budoucí bateriové úložiště musí nacházet ve středu vozidla a to tak, aby jej bylo možné bez větších obtíží vyjmout ze spodní části vozidla. Pro splnění těchto podmínek je nezbytné si v první řadě stanovit maximálně možný zástavbový prostor. Ten by měl být volen tak, aby bral ohled na funkční a zástavbové požadavky okolních komponentů úložiště. Neméně důležitým kritériem je také umožnění bezproblémové konstrukce rámu vozidla, jehož návrh bude teprve vznikat. Zvolený prostor je možné vidět na obrázku 23.



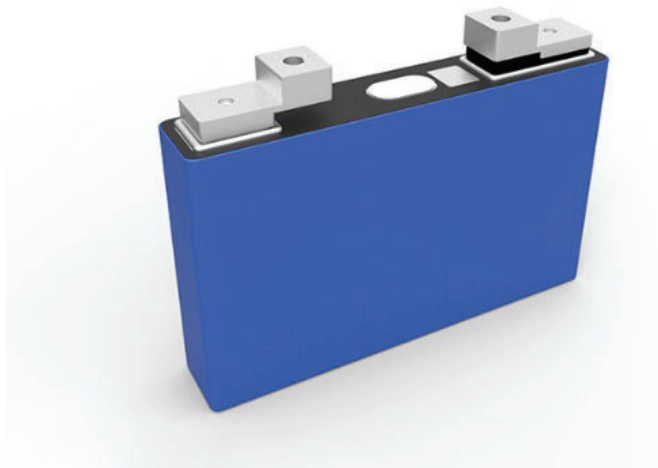
Obrázek 23: Maximálně možný zástavbový prostor úložiště ve vozidle

Při volbě tohoto prostoru jsem vycházel z předem známých hodnot rozvoru a rozchodu konceptu autonomní plošiny. Po odečtení šířky pneumatiky (v případě rozchodu) a průměru pneumatiky (v případě rozvoru) jsem dospěl k rozměrům prostoru, ve kterém je možné definovat maximální zástavbový prostor. S přihlédnutím na funkční a zástavbové požadavky komponentů nacházejících se v okolí úložiště, jsem zvolil rozměry pro maximální možnou zástavbu s hodnotami 1700 mm na 1200 mm. Po vytyčení tohoto prostoru bude jako další krok následovat volba vhodného uspořádání bateriových článků.

4.1 Návrh uspořádání článků

Komponentem ovlivňujícím z převážné části návrh úložiště je bateriový článek sloužící jako zdroj elektrické energie. V případě diplomové práce bude použit prizmatický článek od společnosti ECO POWER Group [27] s označením C2-NCM50S, který lze vidět na obrázku 24. Tento typ článku byl předem určen kolegy z FM, do jejichž zodpovědnosti spadají právě činnosti spojené s volbou vhodných článků, výpočtu celkové kapacity úložiště, propojení článků a modulů či volba a zajištění příslušenství pro bezproblémový provoz úložiště.

C2-NCM50S



Obrázek 24: Bateriový článek C2-NCM50S [28]

Z tabulky 1 můžeme vyčíst, že článek je svými rozměry kompatibilní se standardy asociace VDA, dle kterých spadá do skupiny PHEV 2 [29]. Na základě tohoto faktu tak může být v budoucnu zaměněn s jiným článkem disponujícím vyšší kapacitou při zachování identických rozměrů.

Tabulka 1: Základní vlastnosti bateriového článku C2-NCM50S [28]

Rozměry	26,85 x 149 x 111,75	[mm]
Hmotnost	910±180	[g]
Minimální kapacita	50	[Ah]
Minimální energie	186	[Wh]
Nominální napětí	3,72	[V]
Maximální pracovní teplota	55	[°C]

Pro volbu uspořádání článků v jednom modulu budeme vycházet z dalšího bodu rozšířeného zadání. Ten určuje použití zapojení s označením 7P2S, což v praxi znamená propojení 7 článků paralelně ve dvou oddělených sadách, tedy 7P a 7P. Tyto sady se následně spojí sériově a vytvoří tak sestavu 14 článků tvořící základ pro jeden modul bateriového úložiště. Z toho vyplývá, že celkové množství 196 kusů bateriových článků bude rozděleno po 14 kusech do 14 modulů.

Uplatnění sériového či paralelního zapojení článků sebou přináší změnu celkového napětí případně celkové kapacity dané sestavy. Při aplikování zapojení v sérii zůstává kapacita sestavy článků beze změny, avšak vzroste její celkové napětí, a to tak, že se sečte počet zapojených článků a vynásobí se hodnotou nominálního napětí jednoho článku. U paralelního zapojení je to přesně naopak. Celkové napětí zůstává neměnné, ale roste celková kapacita sestavy, jejíž hodnotu lze vypočítat analogicky, pouze je zapotřebí zaměnit hodnotu nominálního napětí za kapacitu jednoho článku. Jednotlivé hodnoty nominálních napětí a celkových kapacit použitých zapojení článků jsou zobrazeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Hodnoty nominálních napětí a celkových kapacit

Název komponentu / sestavy	Množství článků [ks]	Nominální napětí [V]	Celková kapacita [Ah]
Bateriový článek	1	3,72	50
Bateriové články 7P	7	3,72	350
Bateriové články 7P2S (jeden modul)	14	7,44	350
Moduly 14S (bateriové úložiště)	196	104,16	350

Na základě informací uvedených výše, již víme, že jeden modul bude obsahovat 14 článků. Tato informace je ale stále nedostačující, jelikož musíme určit jejich přesné uspořádání. Samotná podmínka zapojení 7P2S umožňuje použití tří variant uspořádání článků. První varianta se skládá ze sestavy 14 článků v jedné řadě se stejnou orientací, kterou můžeme vidět na obrázku 25. Druhá varianta, znázorněná na obrázku 26, kopíruje uspořádání té první s tím rozdílem, že druhá polovina článků je otočena o 180 stupňů. Třetí, a tím pádem i poslední možná varianta uspořádání, se nachází na obrázku 27. Toto uspořádání je tvořeno sedmi články ve dvou řadách, které mají stejnou orientaci.

Po shlednutí všech třech variant uspořádání můžeme hned na začátku konstatovat, že druhá varianta je pro návrh úložiště nevhodná. Důvodem jsou omezené možnosti v polohování propojovacích elementů, z čehož vyplývá fakt, že vstupní a výstupní konektory se budou vždy nacházet na stejné straně. To by bylo pro následné propojení více modulů zbytečně složité a nepraktické, jelikož by muselo být použito velké množství propojovacích elementů. Ty jsou tvořeny měděnými plochými tyčemi s tloušťkou 5 mm, které zajišťují dostatečnou odolnost proti elektrickému proudu pohybujícímu se v hodnotách přes 550 A.

U varianty jedna se dá problém pozic vstupního a výstupního konektoru eliminovat pomocí otočení propojovacích elementů, což by vedlo k redukci potřebného propojovacího materiálu. Díky této možnosti se tak jedná o použitelnou variantu pro budoucí návrh uspořádání modulů.

Třetí varianta je na první pohled zcela odlišná od dvou předchozích. Při jejím detailnějším zkoumání lze ale dojít k závěru, že i v tomto případě je možné bezproblémové propojení více modulů s použitím otočení propojovacích elementů. Dalším benefitem této varianty mohou být její rozměry, které se více blíží čtvercovému tvaru. Tento tvar je možné do voleného maximálního zástavbového prostoru umístit ve více řadách, než je tomu v případě první varianty. Na základě těchto skutečností je i tato varianta pro budoucí návrh uspořádání modulu vyhovující.

4.2 Příslušenství bateriového úložiště

Před samotnou volbou nejvhodnějšího návrhu rozložení modulů je důležité se detailněji podívat na příslušenství bateriového úložiště. Z rozšířeného zadání práce je stanoveno, že se hlavní příslušenství musí nacházet uvnitř úložiště. To s sebou přináší velmi důležitý fakt v podobě potřebného prostoru, se kterým se musí počítat při volbě rozložení modulů. Než ale začneme definovat potřebný prostor, představíme si nejprve jednotlivé komponenty příslušenství.

4.2.1 Relé

Prvním komponentem spadajícím do příslušenství je vysokonapěťové relé, které lze spatřit na obrázku 28. Do návrhu bateriového úložiště bylo zvoleno relé od dodavatele TE Connectivity [30] s typovým označením LEV200A4NAF. To je určeno přímo pro užití v elektrických vozidlech. Díky hermeticky uzavřenému obalu je vhodné i pro provoz v prašném prostředí. K dalším výhodám tohoto typu patří například to, že není citlivé na

polohu, ve které se momentálně nachází. Je možné ho tak namontovat v jakékoliv orientaci. [31]

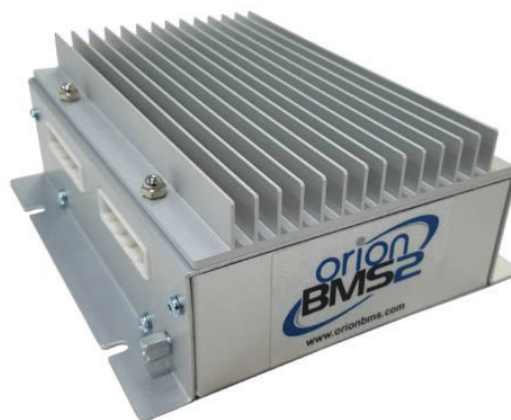


Obrázek 28: Relé LEV200A4NAF [31]

Hlavní funkcí relé je zajištění, aby se v klidovém stavu, tedy při tzv. vypnutí klíčku, nenacházelo žádné napětí na výstupních konektorech bateriového úložiště. V našem případě tuto funkci zajistí čtyři kusy relé určené pro silový výstup k elektromotorům a další čtyři kusy pokrývající vstupní konektor vyhrazený pro nabíjení. Celkový počet relé nacházejících se uvnitř bateriového úložiště je tedy osm.

4.2.2 BMS

Další a velmi důležitou součástí příslušenství je BMS neboli systém správy bateriových článků. Pro úložiště byl vybrán model Orion BMS 2 od výrobce Ewert Energy Systems [32] zobrazený na obrázku 29.



Obrázek 29: Orion BMS 2 [33]

Jednou z primárních funkcí BMS je ochrana článků před jejich tzv. přebitím (napětí článků je příliš vysoké) nebo před přílišným vybitím (napětí článků je příliš nízké), čímž se přirozeně prodlužuje životnost baterie. Děje se to tak, že BMS neustále monitoruje každý článek v úložišti a přesně vypočítává, kolik elektrického proudu může bezpečně vstoupit (nabíjení) či vyjít (vybíjení) z baterie, aniž by došlo k jejímu poškození. Vypočítané proudové limity jsou poté odeslány do nabíječky baterií a řídicí jednotky motoru, které jsou odpovědné za dodržování těchto limitů.

BMS také kontroluje stav nabití baterie pomocí sledování množství toku energie z a do baterie a monitorování napětí článků. Tuto hodnotu, prezentující zbývající množství energie v úložišti, lze považovat za tzv. „ukazatel stavu paliva“.

Dále BMS dohlíží na kondici a bezpečnost baterie. Dociluje toho neustálou kontrolou zkratů, uvolněných spojů, poruch izolací vodičů a slabých nebo vadných bateriových článků, které je třeba vyměnit.

Do sekundárních funkcí poté spadá schopnost vyvažování všech článků v úložišti inteligentním vypouštěním přebytečné energie z článků, které jsou nabíjeny více než ostatní. K těmto funkcím patří také sledování teploty bateriových článků a poskytování informací a hodnot v reálném čase jiným zařízením. [34]

4.2.3 Konektory

Do příslušenství patří také konektor, který můžeme vidět na obrázku 30. Jedná se o voděodolný konektor robustní konstrukce schopný přenášet vysoké napětí a proudy. V našem případě bude úložiště disponovat třemi stejnými konektory typu AMP+ HVP800 2P, které opět dodává společnost TE Connectivity [30]. První dva z těchto konektorů jsou určeny pro elektromotory přední a zadní nápravy vozidla. Třetí konektor je poté určen k nabíjení úložiště.



Obrázek 30: Konektor typu AMP+ HVP800 2P [35]

4.2.4 Odpojovač

Předposledním komponentem příslušenství je tzv. odpojovač. Ten byl vybrán z katalogu výrobce Amphenol Tuchel Industrial [36] a nese název MSDM3502. Z obrázku 31 je zřejmé, že se odpojovač skládá ze dvou částí, spodní a horní. Spodní část je pevně uchycena k bateriovému úložišti. Horní část poté dosedá do té spodní a je zajištěna výklopnou pákou. V případě potřeby provádění servisních úkonů na autonomní plošině, je v rámci bezpečnosti nejdříve nutné odpojit vrchní část odpojovače, čímž se zamezí možnost výskytu napětí na konektorech úložiště. Pro bezproblémové uvedení vozidla do servisního režimu je tedy nezbytné, aby byl odpojovač dobře přístupný a vyjímatelný. Tento důležitý fakt nesmíme opomenout při tvorbě samotného návrhu konstrukce bateriového úložiště.

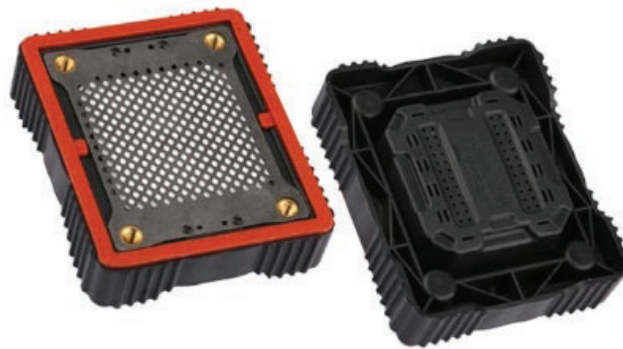


Obrázek 31: Odpojovač MSDM3502 [37]

4.2.5 Ventilační membrána

Na obrázku 32 se nachází poslední komponenta ze setu příslušenství. Tou je ventilační membrána s označením SV-PN5EPV700-H30H od společnosti SINRI [38], primárně sloužící k vyrovnávání tlakových rozdílů mezi bateriovým úložištěm a jeho okolím. Membrána je voděodolná. Dále je schopná odolávat provozním teplotám v rozmezí $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při výskytu náhlé poruchy uvnitř úložiště, a s tím spojeného

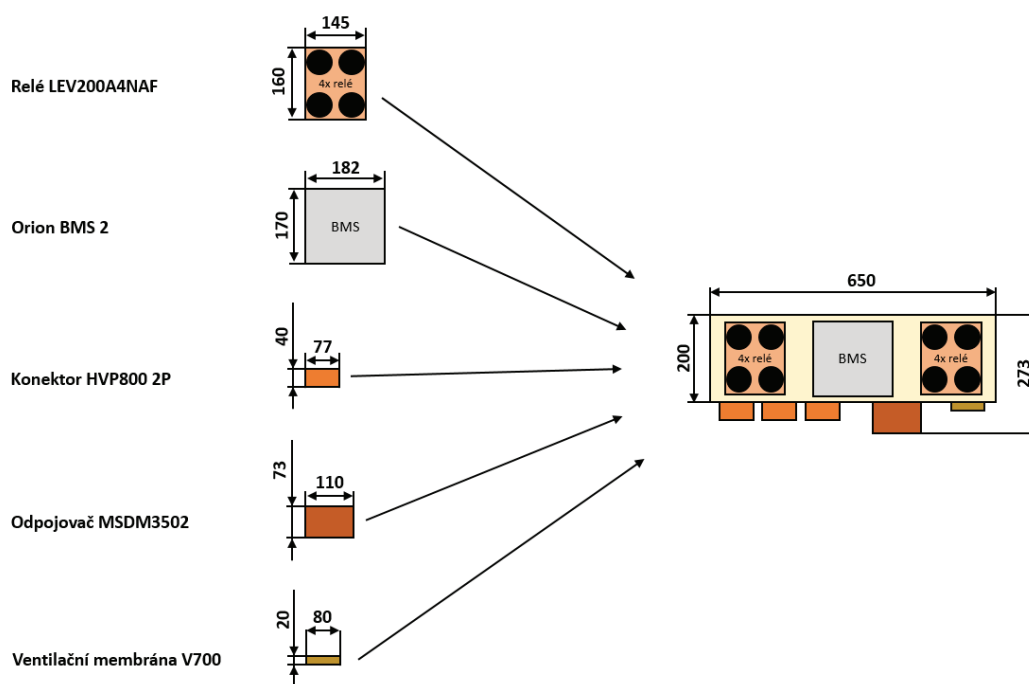
razantního nárůstu tlaku, dokáže tento přetlak propustit a zároveň tak eliminovat možnou explozi. [39]



Obrázek 32: Membrána SV-PN5EPV700-H30H [39]

4.2.6 Zástavbový prostor

Všechno příslušenství, zmíněné v předchozích kapitolách, bylo předem zvoleno kolegy z FM. Typy jednotlivých komponentů jsou tak společně s jejich rozměry pevně dány a nelze je nijak nahrazovat. Během konzultačních hodin s kolegy z FM bylo dále rozhodnuto, že pro zajištění celkové funkčnosti a bezpečnosti provozu vozidla bude probíhat finální rozmístění a montáž příslušenství pod záštitou FM. I přesto, je ale nezbytné určit potřebný zástavbový prostor, jelikož bude mít dopad na volbu finálního uspořádání modulů v bateriovém úložišti.



Obrázek 33: Potřebný prostor pro příslušenství bateriového úložiště v milimetrech

Z obrázku 33, prezentujícího rozměry jednotlivých komponentů, je zřejmé, že minimální rozměry, potřebné pro zástavbu příslušenství, činí 650 mm na délku a 200 mm na šířku. Tato plocha už zároveň obsahuje dodatečné rozšiřující rozměry, které v budoucnu umožní bezproblémové zapojení konektorů do jednotlivých komponentů příslušenství. Se znalostí potřebných rozměrů zástavbového prostoru se můžeme plynule přesunout k samotné volbě návrhu uspořádání modulů.

4.3 Návrh uspořádání modulů

Z kapitoly 4.1 již víme, že pro volbu uspořádání modulů vyhovují dvě varianty uspořádání článků. Každá z těchto variant obsahující 14 bateriových článků, poté tvoří sestavu určenou pro jeden modul. V bateriovém úložišti bude takovýto modulů celkem 14.

Při volbě nejvhodnějšího návrhu uspořádání nás budou ovlivňovat jak faktory již předem zvolené či vypočítané v předešlých kapitolách, tak také omezení plynoucí z rozšířeného zadání diplomové práce.

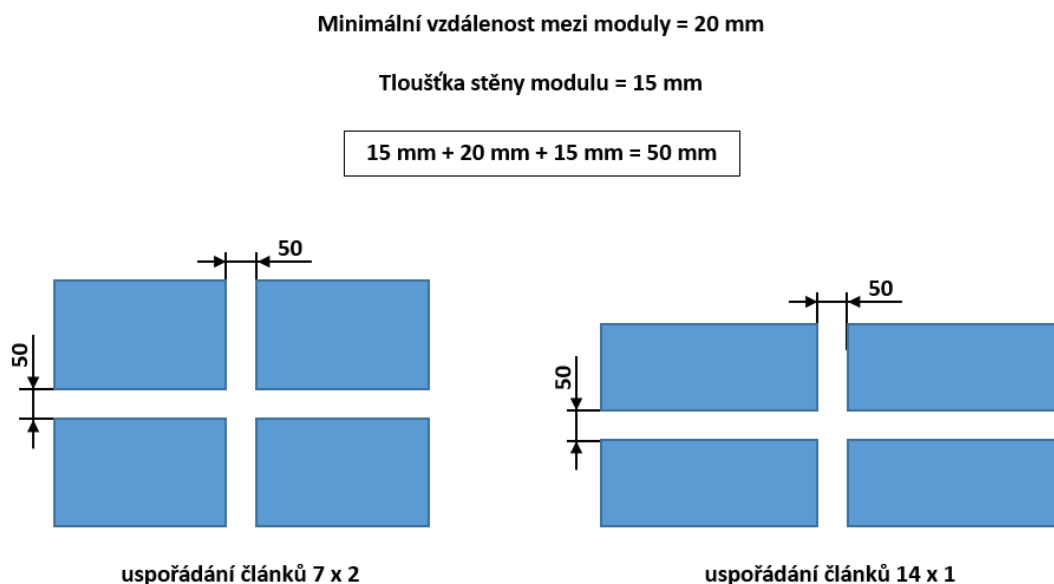
Prvním ovlivňujícím faktorem je maximální zástavbový prostor úložiště, jehož hranice nesmějí být návrhem překročeny. Vhodné však nebude ani přiblížení se k těmto hranicím, jelikož by zde mohla vzniknout potřeba optimalizovat (rozšířit) budoucí úložiště, což by nemuselo být proveditelné. Druhým faktorem, se kterým budeme muset počítat, je minimální zástavbový prostor příslušenství. U něho budeme muset počítat nejen s danými rozměry, ale také s orientací odpojovače, který bude muset být dobře přístupný a bez komplikací snadno odpojitelý. Třetím, a zároveň posledním faktorem, jsou poté rozměry sestav uspořádání článků, které jsou znázorněny na obrázku 34. Ty budou hrát hlavní roli při volbě samotného počtu variant uspořádání modulů.



Obrázek 34: Rozměry variant uspořádání článků v modulu

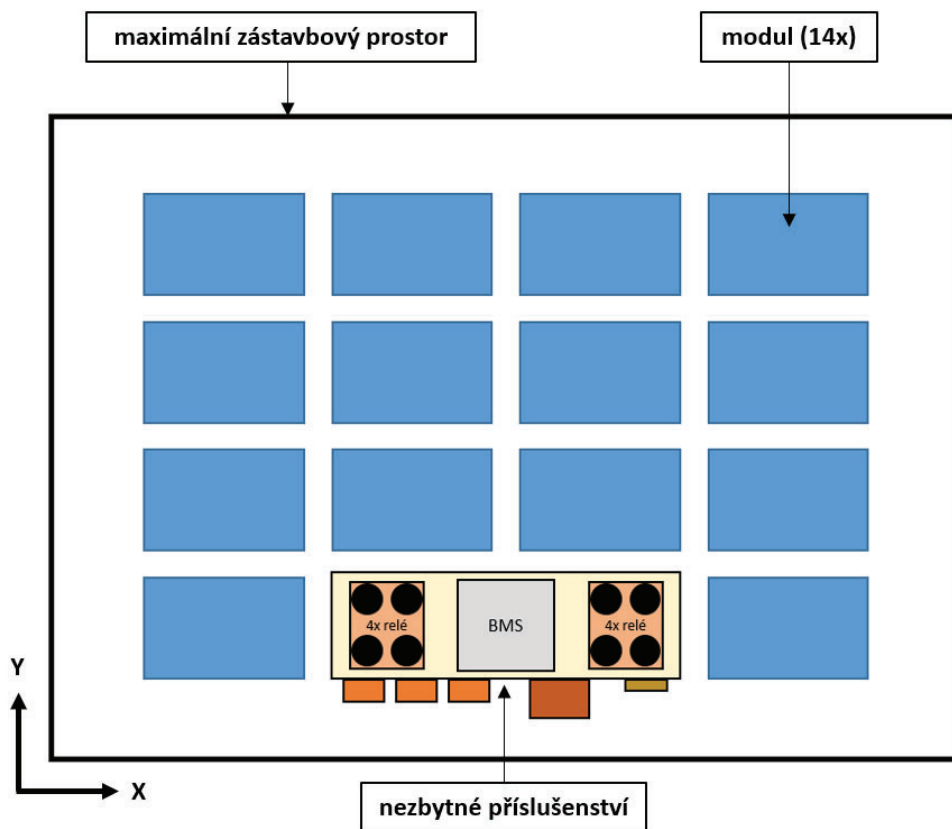
Jedním z omezení, plynoucího z rozšířeného zadání práce, je nutnost zachovat minimální vzdálenost mezi jednotlivými moduly alespoň 20 mm. Samotný modul ale není tvořen pouze sestavou 14 bateriových článků. Bateriové články je také nezbytné, v rámci zvýšení jejich ochrany, nějakým způsobem zakrytovat. K tomu bude sloužit kryt modulu, který bude vyroben, na základě rozšířeného zadání práce, pomocí užití 3D tisku z materiálu HIPS. Jelikož se jedná o plastový materiál, budu tak počítat, v rámci zachování pevnosti sestavy, s tloušťkou okolních stěn krytu modulu 15 mm. Tato hodnota tedy patří k dalším omezením majícím vliv na uspořádání modulů.

S přihlédnutím na výše zmíněné informace nám již nic nebrání tomu, abychom začali se samotnou volbou finálního uspořádání modulů v bateriovém úložišti. V prvním kroku musíme zjistit, jaké množství variant uspořádání je možné umístit do maximálního zástavbového prostoru. Veškerá grafická znázornění jednotlivých návrhů jsou k vidění v příloze 1, kde je zároveň i vysvětlení, z jakého důvodu je daná varianta vyhovující či nikoli. V jednotlivých variantách jsou rozměry uspořádání článků převzaty z obrázku 34. Vzdálenosti mezi těmito uspořádáními článků jsou poté převzaty ve stejném měřítku z obrázku 35.



Obrázek 35: Minimální potřebné vzdálenosti mezi moduly s články

Po porovnání a vyhodnocení všech variant uvedených v příloze 1, jsem dospěl k závěru, že nejvhodnějším návrhem uspořádání modulů v bateriovém úložišti je ten, který můžeme vidět na následujícím obrázku 36.



Obrázek 36: Zvolený návrh uspořádání modulů v bateriovém úložišti

Tento návrh, tvořený články uspořádanými ve dvou řadách po sedmi kusech (7x2) disponuje několika výhodami. První z nich je plně využitý prostor pro příslušenství. Druhou z výhod tohoto rozložení je orientace odpojovače, který se nachází na boku budoucího bateriového úložiště, což umožní daleko snazší přístup k jeho případnému vyjmutí. Mezi další výhody tohoto návrhu můžeme zařadit jeho možnost případného rozšíření do všech stran v rovině XY. Tento fakt nám také skýtá možnost bezproblémového uchycení úložiště na rám vozidla.

4.4 Konstrukce krytu modulu

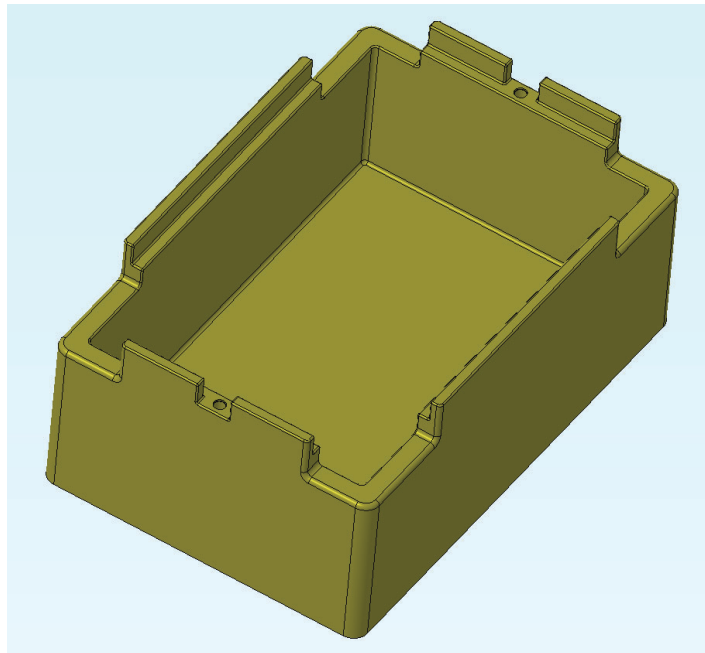
Volba finálního uspořádání modulů v úložišti s sebou přinesla také rozhodnutí o tom, která varianta uspořádání článků bude v samotném modulu použita. V návaznosti na tuto informaci se tak můžeme přesunout k dalšímu kroku diplomové práce, kterým je tvorba konstrukčního návrhu krytu modulu. Ten slouží k zamezení pohybu bateriových článků ve všech směrech, což následně vede ke zvýšení celkové bezpečnosti při provozu vozidla.

Ještě před tím, než začneme s vlastním návrhem krytu modulu, musíme zvážit veškerá možná omezení při budoucí tvorbě konstrukce. Prvním a zároveň nejdůležitějším je nutnost výroby krytu pomocí 3D tisku s použitím materiálu HIPS. Jelikož se jedná o plastový materiál, je dobré brát v potaz jeho nižší pevnost v porovnání s kovovými materiály. Z důvodu relativně vysoké hmotnosti bateriových článků, je tedy nutné tento fakt zohlednit při volbě tloušťky stěn krytu modulu. Z předchozí kapitoly víme, že mnou zvolená tloušťka stěny činí 15 mm. Tato hodnota byla zvolena nejen kvůli zajištění dostatečné pevnosti krytu, ale také na základě jedné z konzultací s kolegou z FM, během které byl vznešen požadavek na zohlednění možné budoucí implementace chlazení do stěn krytu (bočních i spodní). Druhým omezením je potřeba zachování jednoduchosti a praktičnosti návrhu. To by mělo vést k eliminaci celkového množství komponentů, ze kterých by se měl kryt skládat. Vzhledem k relativně jednoduchému tvaru sestavy uspořádání článků, jsem zvolil návrh krytu skládající se ze dvou částí, vrchní a spodní. Dále je nutné počítat s prostorem pro propojovací elementy nejen uvnitř modulu, ale také mezi jednotlivými moduly. Tomu by měly být uzpůsobeny obě části krytu tak, aby byly ve všech potřebných oblastech dodrženy dostatečné vzdálenosti, čímž dojde k zajištění potřebné bezpečnosti. Po zvážení všech výše uvedených kritérií jsem se uchýlil k tvorbě konstrukce jednotlivých částí krytu modulu.

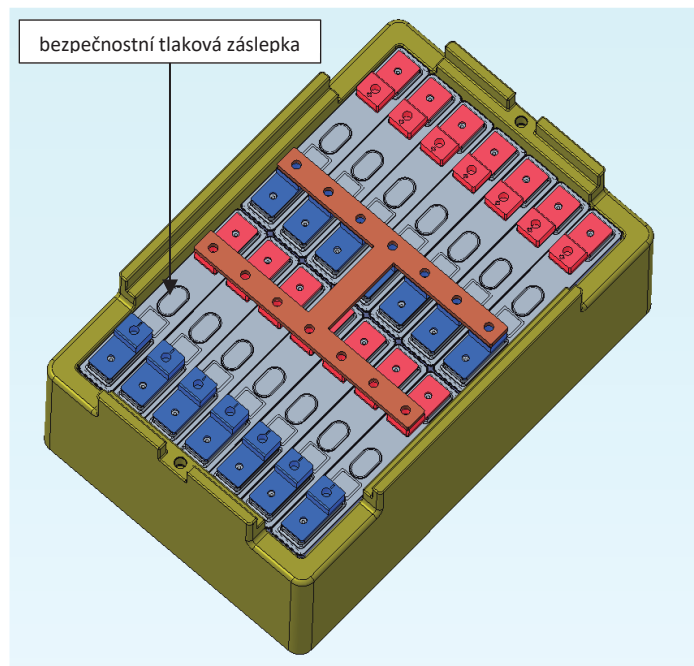
4.4.1 Spodní část krytu modulu

Nejprve jsem začal s návrhem spodní části krytu, která, jak je zmíněno v omezeních výše, bude více robustnější. Jelikož jsou boční a spodní stěny článků hladké, tak jsem pro spodní část krytu zvolil velmi jednoduché řešení návrhu v podobě tvaru tzv. „vany“, jejíž výška sahá až do úrovně konektorů bateriových článků, viz obrázek 38. Těm je tak zamezeno se pohybovat ve směru osy X a Y, tzn. vodorovně (horizontálně), čímž byl

společně s jejich zakrytím splněn hlavní úkol. Návrh spodní části krytu modulu je znázorněn na obrázku 37.



Obrázek 37: Spodní část krytu modulu

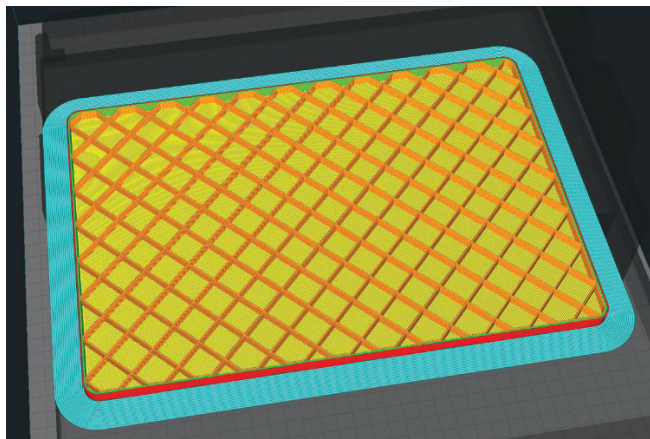


Obrázek 38: Spodní část krytu modulu s bateriovými články

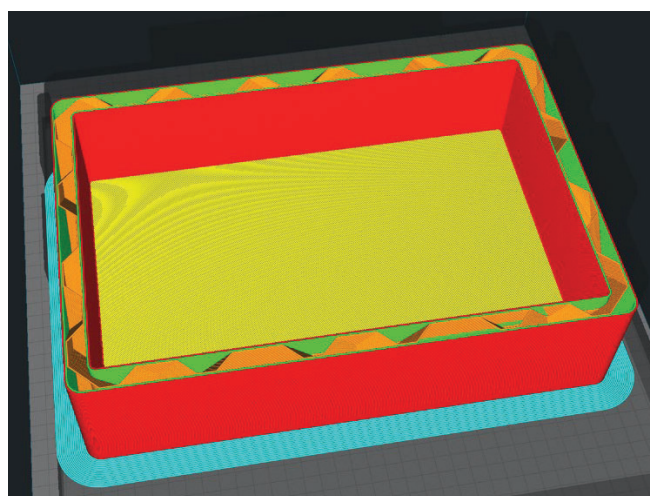
Z obrázku 37 můžeme vidět, že bylo myšleno i na prostor umožňující bezproblémové propojení modulů mezi sebou. Tyto oblasti se nachází v horních rozích modelu. V horní části modelu si dále můžeme všimnout umístění vyvýšených lemů,

jejichž funkcí je nejen poskytnout bezproblémovou montáž horní části krytu modulu (vycentrování), ale také přispět k podpoře zamezení pohybu této části ve směru osy X a Y.

Při detailnějším přezkoumání samotného modelu si můžeme všimnout, že návrh disponuje velmi jednoduchými tvary. To je dáno především technologií výroby pomocí 3D tisku, která má svá jasně daná pravidla, jimiž jsem se musel řídit. Jelikož bude 3D tisk probíhat pod záštitou kolegů z FM, konzultoval jsem tak veškerý design také s nimi. Na základě těchto konzultací se povedlo nejen navrhnout vyrobitelný model spodního krytu, ale také snížit jeho hmotnost z původních 2,8 kg na 1 kg, a to pomocí užití co nejefektivnější výplně, což je patrné z obrázků 39 a 40. Do oblastí s menší tloušťkou stěny je poté aplikována hustší výplň pro zvýšení pevnosti. Celková doba tisku spodní části krytu je odhadována na necelých 17 hodin.



Obrázek 39: Výplň dna spodní části krytu modulu



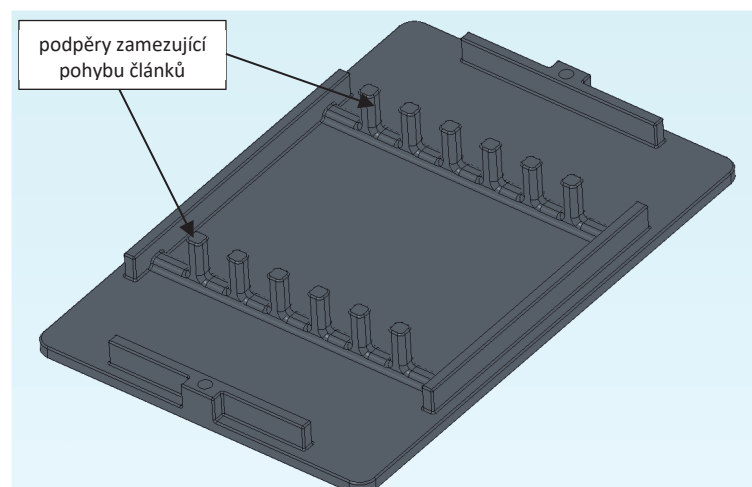
Obrázek 40: Výplň bočních stěn spodní části krytu modulu

4.4.2 Vrchní část krytu modulu

Návrh spodní části krytu modulu zamezuje pohybu bateriových článků v rovině XY. Články se tak mohou pohybovat už jen ve směru osy Z, přesněji řečeno pouze směrem nahoru. K zabránění tohoto pohybu je tedy nezbytné spodní část modulu nějakým způsobem zakrýt, a tím zajistit celkovou fixaci článků uvnitř krytu modulu. Tuto funkci bude plnit vrchní část krytu modulu neboli víko.

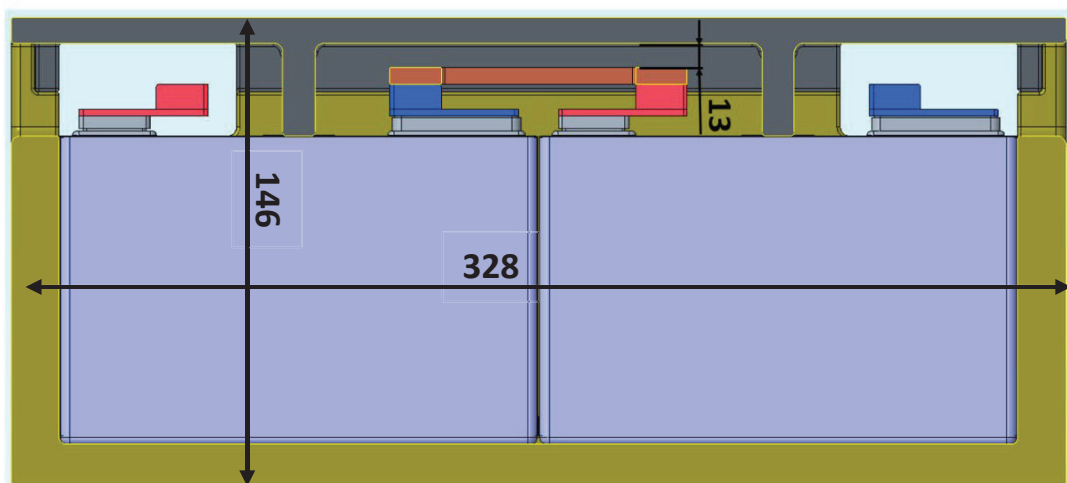
Vzhledem k členitosti horní části bateriových článků musíme při návrhu víka opět počítat s různými omezeními. Jedním z nich je zajištění dostatečné vzdálenosti mezi spodní částí víka a propojovacími elementy, které budou uchyceny pomocí šroubů do konektorů článků. Při zvážení výšky propojovacího elementu 5 mm a výšky hlavy šroubu 4,5 mm (šroub s nízkou válcovou hlavou M5x12 DIN 7984 společně s plochou podložkou velikosti 5 DIN 433) by minimální vzdálenost měla být, dle doporučení kolegů z FM, alespoň 12,5 mm.

Členitost horní části článků dále značně omezuje prostor využitelný pro zamezení pohybu článků. Z obrázku 38 můžeme vyčíst, že jediná oblast vhodná pro případné umístění elementů zamezujících pohybu článků se nachází vždy mezi kladným a záporným konektorem článku. V této oblasti se také nachází bezpečnostní tlaková záslepka, která by v rámci bezpečnosti neměla být ničím zakryta. Na základě těchto informací je možné umístit elementy zamezující pohybu článků do dvou oblastí. První možností je umístění mezi kladný konektor bateriového článku (červená barva u modelu) a bezpečnostní tlakovou záslepkou. U druhého řešení lze elementy umístit do prostoru mezi jednotlivé tlakové záslepky článků, tzn. jeden element zamezuje pohybu dvěma článkům zároveň.

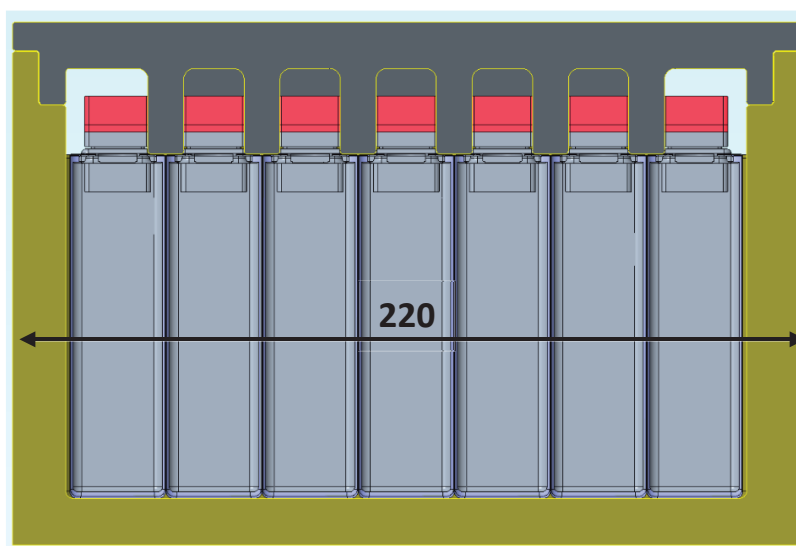


Obrázek 41: Horní část krytu modulu

Po zvážení všech omezení provázející tvorbu konstrukce víka krytu modulu jsem dospěl k návrhu zobrazeném na obrázku 41. Z obrázku je patrné, že základ víka tvoří deska kopírující rozměry spodní části krytu. Tloušťka desky je 8 mm. Na této základně jsou poté umístěny další elementy. Prvním z nich je vystupující olemování, které zrcadlově kopíruje to ze spodní části krytu. Funkce olemování je popsána v kapitole 4.4.1. Druhým vyčnívajícím elementem jsou podpěry zamezující pohybu článků ve směru osy Z. Pro návrh víka krytu jsem nakonec zvolil variantu podpěr překrývající dva články najednou, což vedlo ke snížení potřebného počtu podpěr ze 14 na 12. Použitím těchto podpěr jsem tak docílil celkového zamezení posuvů článků v modulu. Detailní pohledy v podobě podélného a příčného řezu modulu jsou k vidění na obrázcích 42 a 43, na kterých můžeme spatřit nejen přesné umístění podpěr, ale také olemování obou částí krytu modulu.

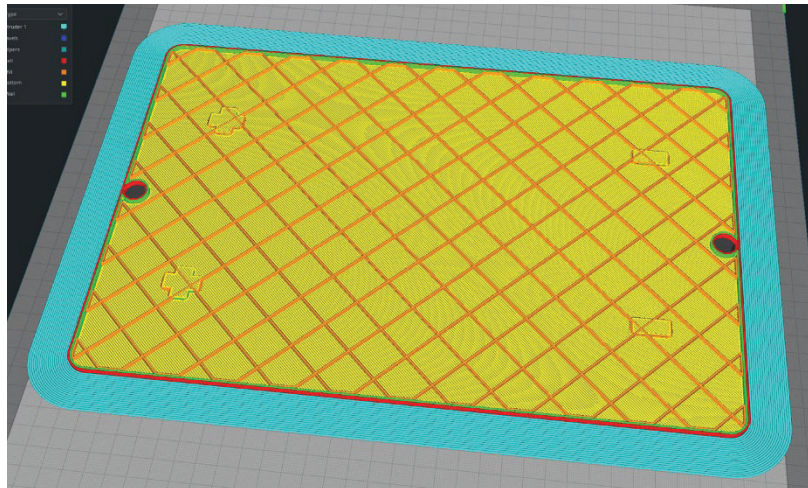


Obrázek 42: Podélný řez sestavy modulu

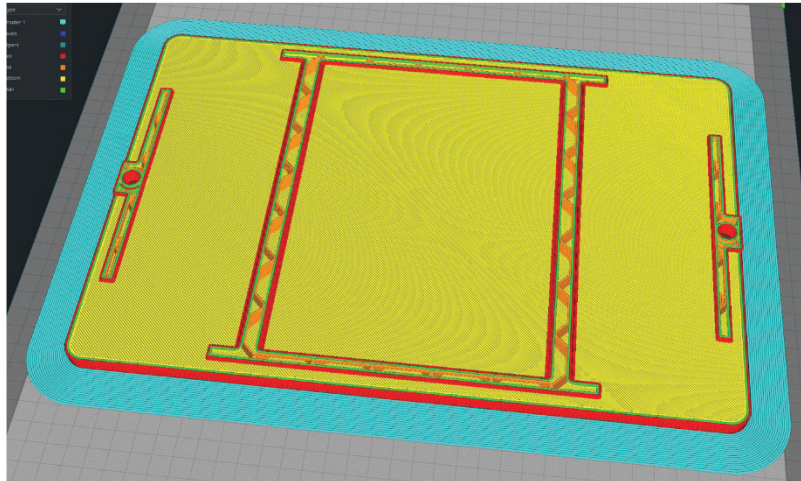


Obrázek 43: Příčný řez sestavy modulu

I v případě návrhu víka krytu byl model detailně konzultován s kolegy z FM. U finálního modelu splňujícího všechny podmínky vyrobiteľnosti se podařilo snížit hmotnost z počátečních 0,75 kg na konečných 0,5 kg. Přispěla k tomu opětovná snaha použít co nejeftivnější výplň daného modelu, jejíž hustota je patrná z obrázků 44 a 45. Celková doba tisku spodní části krytu je odhadována na 7,5 hodiny.



Obrázek 44: Výplň základny víka krytu modulu



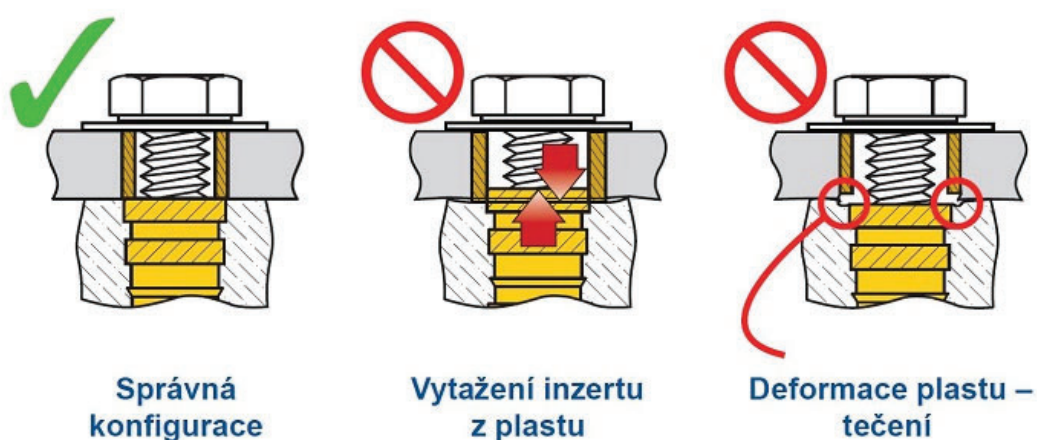
Obrázek 45: Výplň olemování a podpěr víka krytu modulu

4.4.3 Spojení spodní a vrchní části krytu modulu

Z přechozích kapitol 4.4.1 a 4.4.2 je známo, že pro zamezení pohybu víka modulu ve směru osy X a Y je použito tzv. olemování. To však slouží pouze jako podpora k zabránění pohybu této části. Pro úplnou fixaci proto doporučuji použít také šroubové spojení. To bude bránit jak pohybu víka v rovině XY, tak i pohybu v ose Z, což je v obou

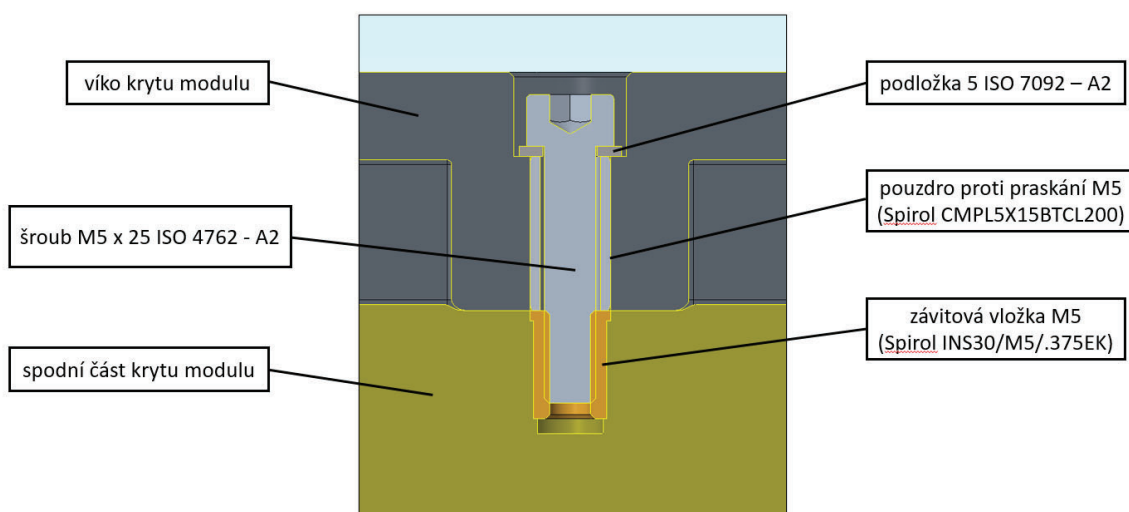
případech žádoucí. Dosáhneme tak potřebné zajištění jednotlivých komponentů sestavy modulu proti pohybům.

V oblasti 3D tisku plastových komponentů vyžaduje aplikace šroubových spojů použití speciálních dílů, určených právě k tomuto účelu. Tyto díly slouží k zamezení prasknutí jednoho ze spojovaných komponentů či k eliminaci stržení závitu a s tím spojené uvolnění šroubového spoje. Mezi speciální díly můžeme zařadit tzv. závitové inzerty a kovová pouzdra. Pro zajištění kvality šroubového spoje musí být vybrána správná kombinace těchto dílů, jelikož bez dodržení pravidel zobrazených na obrázku 46 postrádá aplikace těchto komponentů smysl.



Obrázek 46: Pravidla aplikace závitových insertů a kovových pouzder [40]

Mnou navržené řešení je zobrazeno na obrázku 47, na kterém lze vidět řez šroubového spojení horního krytu modulu se spodním.



Obrázek 47: Popis spojovacího materiálu krytu modulu

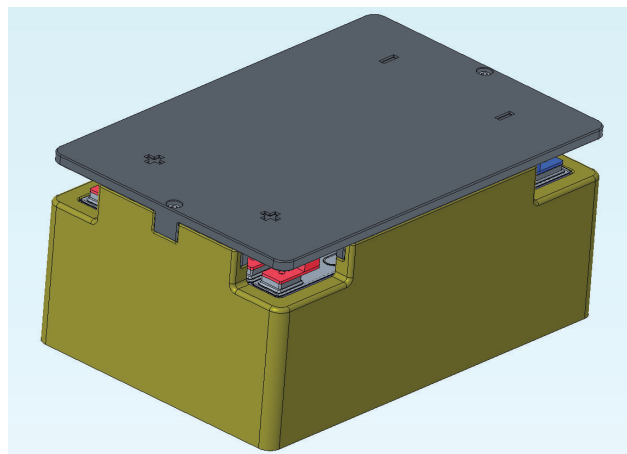
Po detailnějším přezkoumání obrázku si lze všimnout, že závitová vložka (inzert) s katalogovým označením INS30/M5/.375EK [41] a kovové pouzdro s katalogovým označením CMPL5X15BTCL200 [42] jsou vybrány od jednoho společného dodavatele. Tím je společnost SPIROL [43] specializující se právě na tyto druhy komponentů. Dále byly použity šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5 x 25 ISO 4762 – A2 [44] společně s plochými podložkami typu 5 ISO 7092 – A2 [45].

4.4.4 Sestava modulu

Nyní, když máme k dispozici všechny návrhy komponentů, můžeme je zkompletovat do jedné finální sestavy, kterou lze vidět na obrázku 48. Z obrázku je patrné, že se do výsledné podoby krytu modulu promítla omezení daná samotnou výrobou pomocí 3D tisku. Během návrhu jsem tak musel dbát především na to, aby byl model vždy co nejjednodušší. V opačném případě by to mohlo vést k potřebě vytvoření přídatných podepření či výztuh, které by se musely po dokončení tisku pracně odstraňovat.

U jednotlivých návrhů komponentů jsem také musel počítat s výrobními tolerancemi nejen samotné 3D tiskárny, ale také bateriových článků, jejichž rozměry se kvůli vnější izolaci u některých kusů odchylojí od rozměrů udávaných výrobcem. I přes započtení dodatečných tolerancí do finální podoby návrhů, doporučuji vytisknout před tzv. ostrým tiskem alespoň jeden prototypový vzorek, po jehož odzkoušení a proměření lze případně provést další potřebné modifikace modelu.

Dle předchozí domluvy s kolegy z FM, zastřešujících kompletní výrobu krytu modulu, je pro samotný 3D tisk dostačující sdílet pouze 3D data modelů. Díky tomu tak není požadována tvorba výkresové dokumentace.



Obrázek 48: Kompletní sestava jednoho modulu

4.5 Konstrukce bateriového úložiště

Posledním, a také nejdůležitějším úkolem výzkumné části diplomové práce je tvorba konstrukčního návrhu samotného bateriového úložiště. Název bateriové úložiště může být trochu zavádějící, jelikož tím může být myšlena celková sestava úložiště, včetně jeho vnitřních komponentů. V této kapitole je ale pod tímto názvem myšlen pouze kryt či box, sloužící pro uskladnění všech vnitřních komponentů celkové sestavy.

Do budoucího návrhu se nám opět promítnou některé body z rozšířeného zadání práce. To určuje maximální možnou výšku úložiště stanovenou na 200 mm. Dále jsme omezení maximální možnou váhou kompletního bateriového úložiště, která je stanovena na 300 kg. Do úložiště také není zapotřebí implementovat chlazení bateriových článků, jelikož se jedná pouze o provizorní úložiště (prototyp) určené k prvnímu testování vozidla. Poslední bod rozšířeného zadání stanovuje potřebu bezproblémové vyjimatelnosti úložiště ze spodní části vozidla během případných servisních úkonů na úložišti.

Z předchozích kapitol, zabývajících se návrhem krytu modulu, jsou známy jeho celkové rozměry (obrázky 42 a 43). Nejdůležitějším z nich je jeho výška 146 mm, která nám vymezuje zbývající možný prostor pro návrh úložiště. Ten nesmí přesáhnout hodnotu 54 mm. V předchozích kapitolách můžeme dále nalézt hmotnosti jednotlivých komponentů, které budou značnou měrou omezovat maximální možnou hmotnost návrhu úložiště. Jejich přehled je znázorněn v tabulce 3.

Tabulka 3: Hmotnosti jednotlivých komponentů bateriového úložiště

Název komponentu	Množství [ks]	Hmotnost [kg]	Celková hmotnost [kg]
Bateriové články*	196	213,64	251
Modul**	14	29,36	
Příslušenství**	-	8	

* zde je počítáno s horní váhovou tolerancí článků

** do hmotností jsou započteny i dodatečné hmotnosti propojovacích elementů

Po odečtení celkové hmotnosti komponentů, uvedené v tabulce výše, od maximální možné hmotnosti úložiště, dostáváme hodnotu 49 kg, což je hmotnostní limit pro samotný návrh bateriového úložiště. Tato hodnota je zároveň posledním chybějícím kritériem potřebným k bezproblémové konstrukci úložiště. Ostatní požadavky a omezení již byly

vypočítány, nebo jsou jasně definovány předchozími kapitolami práce či jejím rozšířeným zadáním.

Návrh konstrukce bateriového úložiště je rozdělen do jednotlivých montážních celků, které budou postupně představeny v následujících podkapitolách. Mezi tyto celky patří základní rám, boční zakrytování a vrchní zakrytování úložiště.

4.5.1 Volba materiálu hlavních komponentů úložiště

Vzhledem k relativně nízké maximální možné hmotnosti úložiště je zapotřebí zvolit konstrukční materiál, který je lehký a zároveň odolný vůči případnému zatížení. Tyto vlastnosti kombinuje většina hliníkových slitin. Díky tomu jsem se rozhodl použít tento materiál pro konstrukci všech komponentů bateriového úložiště. Tedy přesněji řečeno pouze jednotlivé zástupce ze skupiny těchto slitin. Mezi tyto zástupce patří hliníková slitina EN AW-6060 T66 (AlMgSi0,5), která se běžně používá pro výrobu hliníkových profilů a trubek. Právě hliníkové trubky obdélníkové průřezu budou tvořit první skupinu komponentů použitých v konstrukci úložiště. Druhým zástupcem je poté hliníková slitina EN AW-6082 T651 (AlMgSi1), ze které jsou vyrobeny plechy zastávající druhou skupinu komponentů zvolených pro konstrukci úložiště. Hliníkové trubky obdélníkového průřezu jsou společně s plechy vždy voleny z katalogu společnosti A + A Pardubice spol. s r.o. provozující internetový obchod ehlinik.cz [46]. Základní technické informace obou materiálů jsou uvedeny níže.

Základní technické informace materiálu EN AW-6060 T66 [47]:

- materiál je velmi dobře svařitelný,
- korozní odolnost materiálu je na velmi vysoké úrovni,
- materiál lze leštit,
- obrobitelnost materiálu lze definovat jako přijatelnou,
- materiál je velmi dobře eloxovatelný.

Základní technické informace materiálu EN AW-6082 T651 [47]:

- materiál je dobře svařitelný,
- korozní odolnost je i u tohoto materiálu na velmi vysoké úrovni,
- materiál lze leštit,
- obrobitelnost materiálu lze opět definovat jako přijatelnou,
- materiál je dobře eloxovatelný.

Po shlednutí základních vlastností daných slitin můžeme konstatovat, že oba typy materiálů jsou zcela vyhovující pro aplikaci do všech montážních celků bateriového úložiště. Mechanické vlastnosti těchto hliníkových slitin jsou poté k vidění v tabulkách 5 a 6 v kapitole 5.1.

4.5.2 Základní rám úložiště

Základní rám úložiště slouží primárně jako nosič modulů. Díky této funkci tak musí disponovat adekvátní tuhostí konstrukce rámu, po jehož obvodu bude uchycen k rámu autonomní plošiny (vozidla). Výsledná tuhost základní rámu se tak promítne i do celkové tuhosti rámu vozidla.

Jak už bylo nastíněno výše, návrh základního rámu úložiště bude tvořen dvěma druhy komponentů. Tím prvním jsou hliníkové trubky obdélníkového průřezu (dále jen TR OBD). Z finálního uspořádání modulů víme, že mezi jednotlivými moduly je požadováno mít vzdálenost alespoň 20 mm. Díky tomuto požadavku je tedy možné umístit mezi jednotlivé moduly TR OBD se šířkou 20 mm, a to jak v podélném, tak i příčném směru. Pomocí této koncepce v podobě tzv. zapuštění modulů, tak zajistíme úsporu ve výsledné výšce úložiště. Zároveň také dojde k zamezení pohybu modulů ve směru osy X a Y, což je dalším vítaným benefitem této koncepce. Vzhledem k tomu, že výška hliníkových trubek nemá dopad do výsledné výšky úložiště, volím v rámci zajištění dostatečné tuhosti základního rámu výšku TR OBD 40 mm. Zvolená výška nám zároveň poskytne dostačující oporu vůči stěnám modulů. Volená tloušťka stěny trubky 3 mm ještě zvýší tuhost základního rámu, a také přispěje k lepší proveditelnosti svarů. Výsledné označení podélných a příčných trubek vnitřního rámu poté nese odborný název TR OBD 40x20x3. Po obvodu rámu jsem dále zvolil trubku s identickou výškou a tloušťkou stěny, avšak kvůli umožnění bezproblémového uchycení rámu k rámu vozidla, volím šířku 60 mm. Označení vnějších trubek nese odborný název TR OBD 60x40x3.

Druhým komponentem je hliníkový plech umístěný ve spodní části základního rámu. Ten slouží jako tzv. podlaha bateriového úložiště, na níž jsou umístěny moduly a příslušenství. Plech tak musí být dostatečně robustní, aby odolal zatížením vyvolaných těmito komponenty. Z tohoto důvodu volím tloušťku stěny plechu 3 mm. Zároveň tím docílíme dostatečné ochrany proti proražení dna podlahy při provozu vozidla v terénu.

Při výrobě rámu je nejprve zapotřebí svařit všechny komponenty dohromady. Následuje obrobení v podobě vyvrtání děr do rámu, které slouží k uchycení rámu

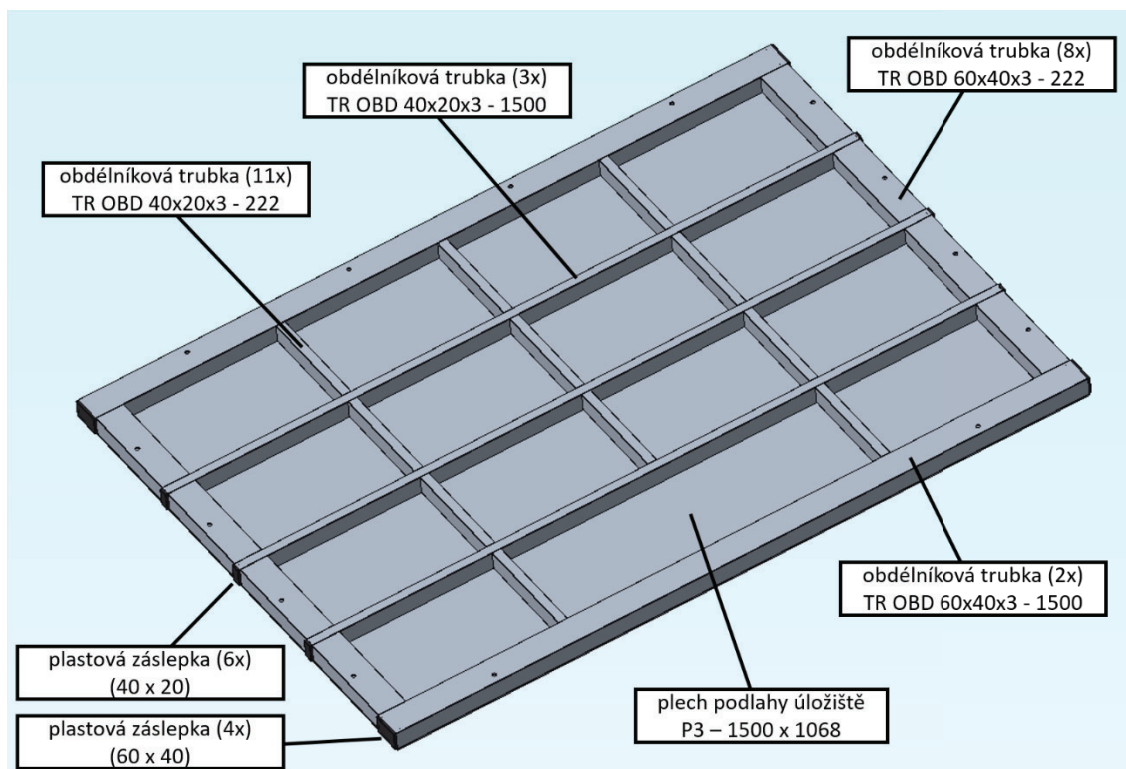
bateriového úložiště k rámu vozidla. Jelikož konstrukce rámu vozidla ještě není známa, bude v rámu vyvrtáno nadbytečné množství otvorů, ze kterých si pak bude možné zvolit finální podobu uchycení. K tomuto řešení jsem dospěl po vzájemné dohodě s kolegy na KVM. Výroba základního rámu by měla provedena dle přiložené technické dokumentace, po které by měl mít rám základní rozměry viz přehled níže.

Celkové rozměry základního rámu:

- délka: 1500 mm,
- šířka: 1068 mm,
- výška: 43 mm.

Při porovnání celkových rozměrů základního rámu s rozměry krytu modulu lze dojít k závěru, že udávané hodnoty spolu zcela nekorespondují. To je způsobeno přidáním montážní tolerance 2 mm do každého pole vnitřního rámu určeného pro umístění modulu.

Do takto vyrobeného rámu doporučuji použít, v rámci zvýšení ochrany proti vniknutí vody a nečistot, plastové krytky profilů s typovým označením 40x20 [48] a 60x40 [49]. Výsledný návrh základního rámu je znázorněn na obrázku 49, kde je možné vidět všechny výše popsané komponenty společně s jejich popisem.



Obrázek 49: Výsledný návrh základního rámu úložiště

4.5.3 Boční zakrytování úložiště

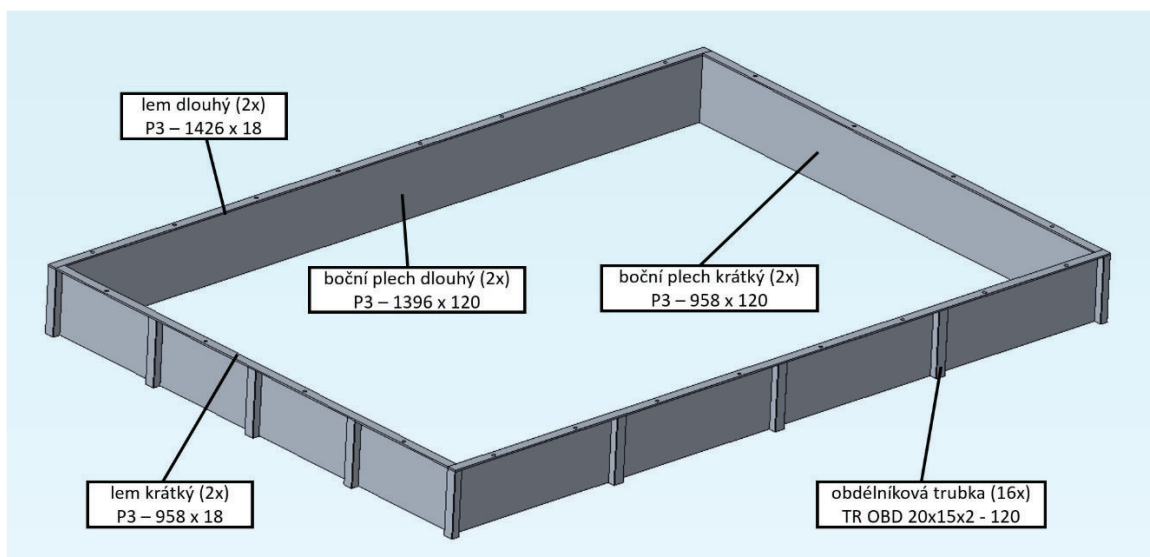
Návrh základního rámu nám pokryl umístění většiny komponentů v úložišti. Již ze samotného názvu této kapitoly vyplývá, že účelem dalšího celku konstrukce bude zajištění zakrytování bateriového úložiště po celém jeho obvodu. Pro tento účel jsou použity plechy o stejné tloušťce jako u podlahy rámu tvořící základ bočního zakrytování. Na jeho stěnách se bude také nacházet zbylé příslušenství úložiště (konektory, odpojovač, ventilační membrána). Samotná plechová konstrukce je však velmi nestabilní. S přihlédnutím na fakt, že bude muset nést ještě vrchní zakrytování úložiště, je tento návrh z pohledu stability nedostačující. Pro zlepšení tuhosti plechové konstrukce tak použijí hliníkové trubky s označením TR OBD 20x15x2, které nejen že vyztuží samotnou konstrukci, ale budou sloužit i jako tzv. dorazy chránící oplechování před případným poškozením při montáži úložiště do vozidla. Dále tyto trubky slouží jako podpěra plechového olemování potřebného k uchycení vrchního krytu úložiště.

Výroba bočního zakrytování úložiště bude opět začínat svařením všech komponentů do jednoho celku. Ten bude muset být následně přivařen ještě k základnímu rámu úložiště, čímž zajistíme dostatečnou těsnost mezi těmito celky, a zároveň tím přispějeme ke zvýšení celkové tuhosti úložiště. Zapomenout nesmíme ani na obráběcí část, ve které se vyvrtají otvory pro budoucí uchycení vrchního krytu úložiště šroubovými spoji. Výrobní postup by se měl opět řídit příloženou technickou dokumentací, při jejímž dodržení by mělo mít boční zakrytování rozměry zobrazené níže.

Celkové rozměry bočního zakrytování úložiště:

- vnitřní délka: 1500 mm,
- vnější délka: 1390 mm,
- vnitřní šířka: 958 mm,
- vnější šířka: 994 mm,
- výška: 43 mm.

Grafickou podobu návrhu bočního zakrytování úložiště se všemi výše popsanými komponenty je možné vidět na obrázku 50.



Obrázek 50: Výsledný návrh bočního zakrytování úložiště

4.5.4 Vrchní zakrytování

Nyní, když už máme navrženo i boční zakrytování, je zapotřebí bateriové úložiště nějakým způsobem zakrýt, a ochránit tak všechny komponenty nacházející se uvnitř před vniknutím prachu a vody. K tomuto účelu nám poslouží vrchní zakrytování úložiště. Ochrana před vnějšími vlivy však není jedinou funkcí, kterou má zakrytování plnit. Další, a velice důležitou funkcí je zamezení pohybu modulů v posledním možném směru. Ve směrech osy X a Y brání modulům v pohybu základní rám (viz kapitola 4.5.2). Jelikož jsou moduly umístěny na plechu podlahy úložiště, jediný jejich možný pohyb je směrem vzhůru, čemuž má zabránit právě vrchní zakrytování bateriového úložiště.

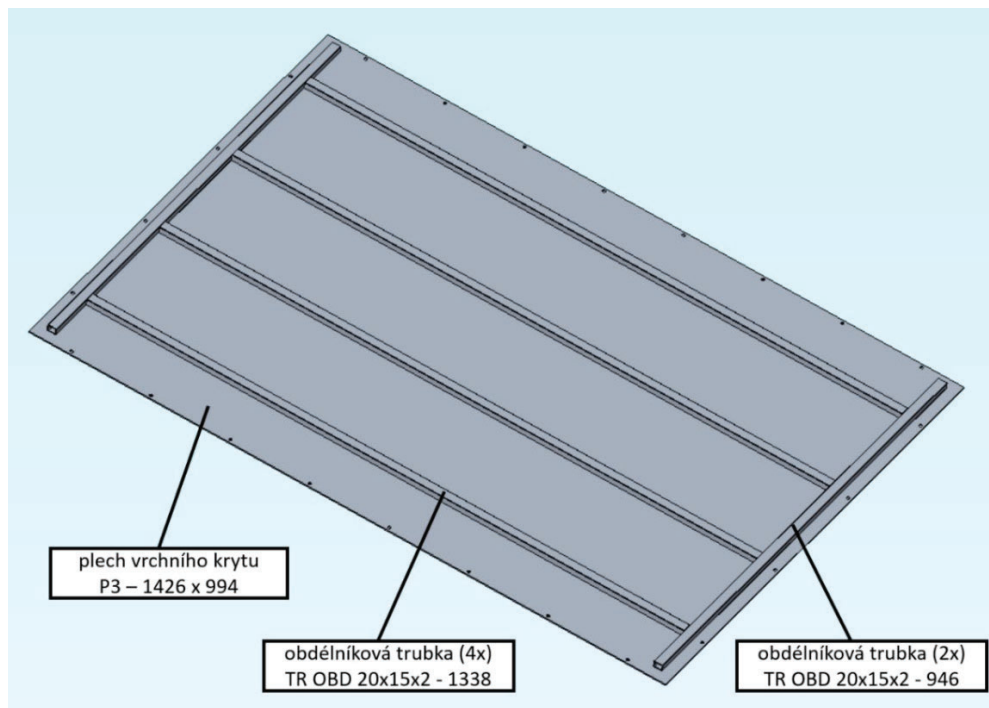
Pro návrh zakrytování jsem zvolil stejný typ plechu, který je použit jak na podlaze, tak i na bočních stěnách úložiště. Jedná se tedy o plech z hliníkové slitiny EN AW-6082 T651 o tloušťce 3 mm tvořící základ zakrytování. Díky jeho relativně velkým rozměrům, plech nedisponuje dostatečnou tuhostí, což by mohlo vést k nežádoucímu prohýbání při snaze udržet moduly na svém místě během provozu vozidla například v terénu. Pro zvýšení tuhosti, a s tím spojenou eliminaci průhybu plechu, použiji vyztužující rám tvořený stejným typem hliníkové trubky, která byla aplikována na boční zakrytování úložiště, tedy TR OBD 20x15x2. Tento rám bude po celé jeho spodní ploše dosedat na vrchní kryty modulů v úložišti. Vzhledem k možnému vzniku výrobních nepřesností se může v této oblasti vyskytnout výškový rozdíl mezi jednotlivými moduly. K eliminaci těchto rozdílů použiji na všechny spodní plochy rámu

vrchního zakrytování mikroporézní pryž T130 EP [50] od společnosti GUMEX, spol. s r.o. [51], která je díky svým vlastnostem, především pracovní teplotě, vhodná právě k tomuto účelu. Tento typ je dále z jedné strany opatřen samolepicí vrstvou, což přispěje k snadnější aplikaci na rám vrchního krytu. Vzdálenost mezi rámem vrchního krytu a vrchním krytem modulu čítá 2 mm. Díky částečné stlačitelnosti mikroporézní pryže proto volím její tloušťku 3 mm.

Postup výroby by měl znovu probíhat dle přiložené výkresové dokumentace. V prvním kroku musí dojít ke svaření rámu vrchního zakrytování, ten bude následně přivařen k základnímu plechu. Do zhotoveného svařence se poté vyvrtají otvory potřebné k uchycení vrchního zakrytování ke spodní části sestavy již navrhnutého úložiště. Mezi dosedací plochy vrchního zakrytování a olemování bočního zakrytování, doporučuji použít, v rámci zvýšení celkové těsnosti úložiště, některý z běžně dostupných trvale plastických těsnících tmelů. Před grafickým znázorněním návrhu vrchního zakrytování (obrázek 51), uvádím pro lepší představivost také jeho celkové rozměry.

Celkové rozměry vrchního zakrytování:

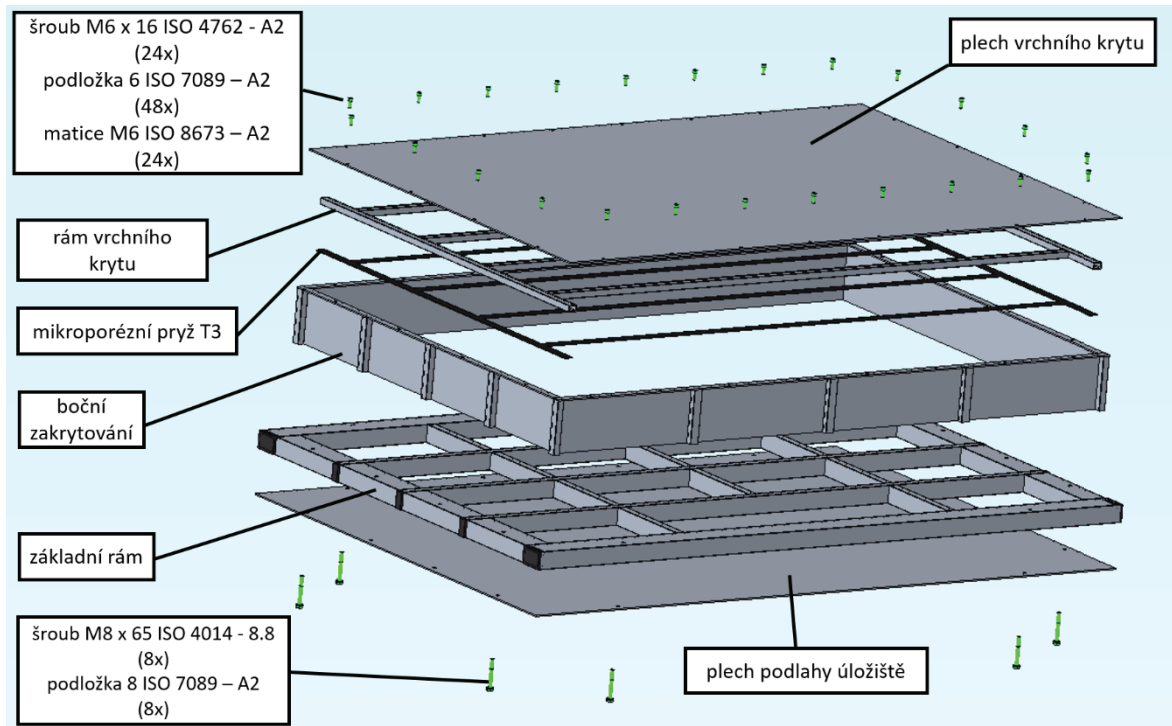
- délka: 1426 mm,
- šířka: 994 mm,
- výška: 18 mm.



Obrázek 51: Výsledný návrh vrchního zakrytování úložiště

4.5.5 Sestava bateriového úložiště

V předchozím kapitolách byly představeny jednotlivé celky návrhu bateriového úložiště. Tyto celky jsou zobrazeny v podobě rozpadu sestavy společně se spojovacím materiálem na obrázku 52.

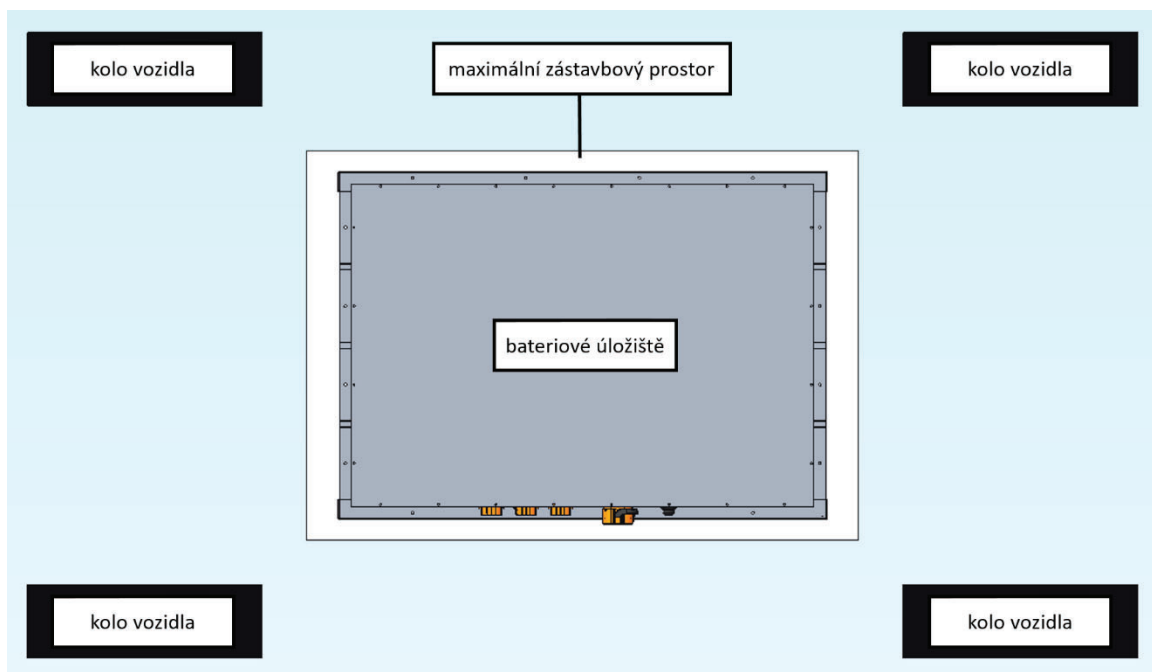


Obrázek 52: Rozpad sestavy konečného návrhu bateriového úložiště

Rozšířené zadání diplomové práce nám také definovalo maximální možnou výšku úložiště, která nesmí přesáhnout 200 mm. Celková délka a šířka dále nesmí přesáhnout hranici mnou zvoleného maximálně možného zástavbového prostoru s hodnotou 1700 x 1200 mm. Oba podmiňující body byly splněny, což můžeme vidět nejen v přehledu celkových rozměrů níže, ale také na obrázku 53. Ten porovnává rozměry úložiště s maximálním možným zástavbovým prostorem umístěným do prostoru vznikajícího vozidla.

Celkové maximální rozměry bateriového úložiště:

- délka: 1500 mm (se započtením plastových krytek trubek poté 1509 mm),
- šířka: 1068 mm (se započtením odpojovače poté 1086 mm),
- výška: 169 mm (se započtením výšky hlav šroubů poté 183,5 mm).



Obrázek 53: Porovnání rozměrů zástavby úložiště s maximální zástavbovým prostorem ve vozidle

Dalším omezením plynoucím z rozšířeného zadání je maximální hmotnost úložiště 300 kg. Z kapitoly 4.5 víme, že samotné úložiště může disponovat hmotností maximálně 49 kg. Tabulka 4 přináší porovnání hmotností jednotlivých celků úložiště společně s ukázkou konečné váhy úložiště.

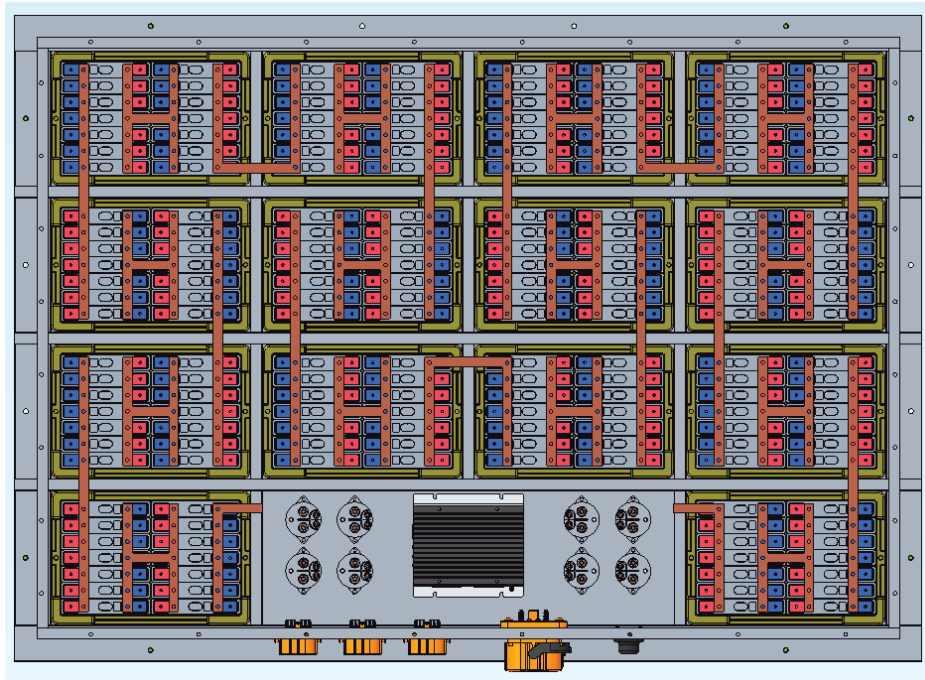
Tabulka 4: Hmotnosti jednotlivých komponentů bateriového úložiště

Název komponentu	Hmotnost [kg]	Celková hmotnost [kg]
Základní rám (bez podlahy)	13,34	45,85
Podlaha základního rámu	12,78	
Boční zakrytování (trubky)	0,64	
Boční zakrytování (plechy)	5,18	
Vrchní zakrytování (trubky)	2,42	
Vrchní zakrytování (plechy)	11,31	
Spojovací materiál a pryž	0,18	

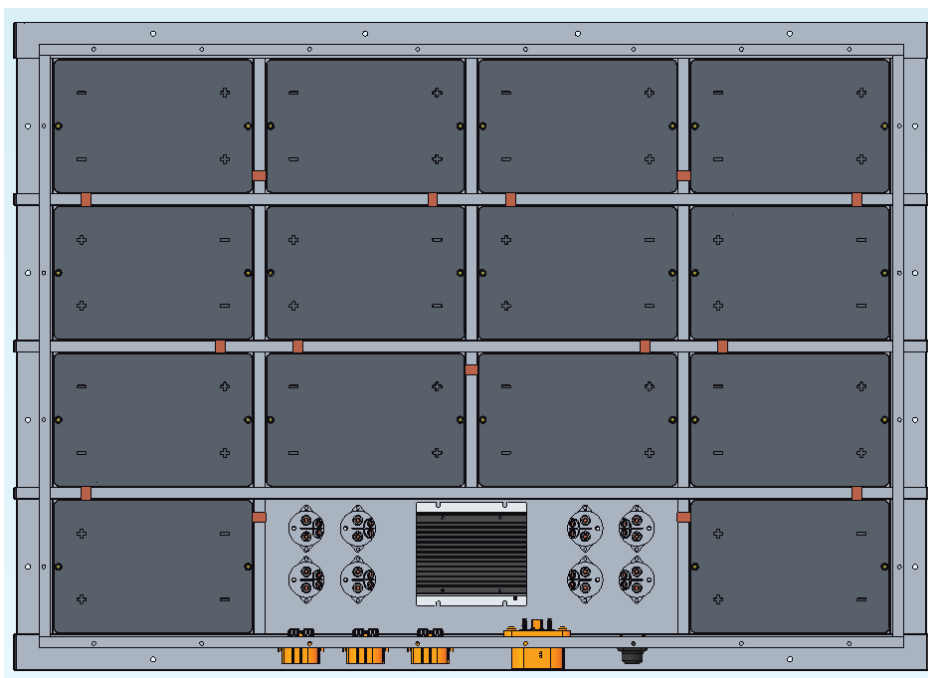
Z tabulky můžeme vidět, že maximální možná hmotnost nebyla překročena. Návrh bateriového úložiště tak splnil i tento požadavek. Nesmíme však zapomenout na fakt, že hodnota celkové hmotnosti úložiště neobsahuje dodatečné navýšení hmotnosti vzniklé během svařování. To samé ovšem platí i pro obrábění v podobě vrtání otvorů, kterým by

se naopak celková hmotnost nepatrně snížila. I přesto je zde vymezen prostor pro dodatečné navýšení hmotnosti v podobě 3,15 kg.

V kapitole 4.3 jsem zvolil finální uspořádání modulů, které tvořilo základ pro konstrukci samotného návrhu bateriové úložnice. Toto uspořádání, umístěné v bateriovém úložišti, lze vidět na obrázcích 54 a 55.



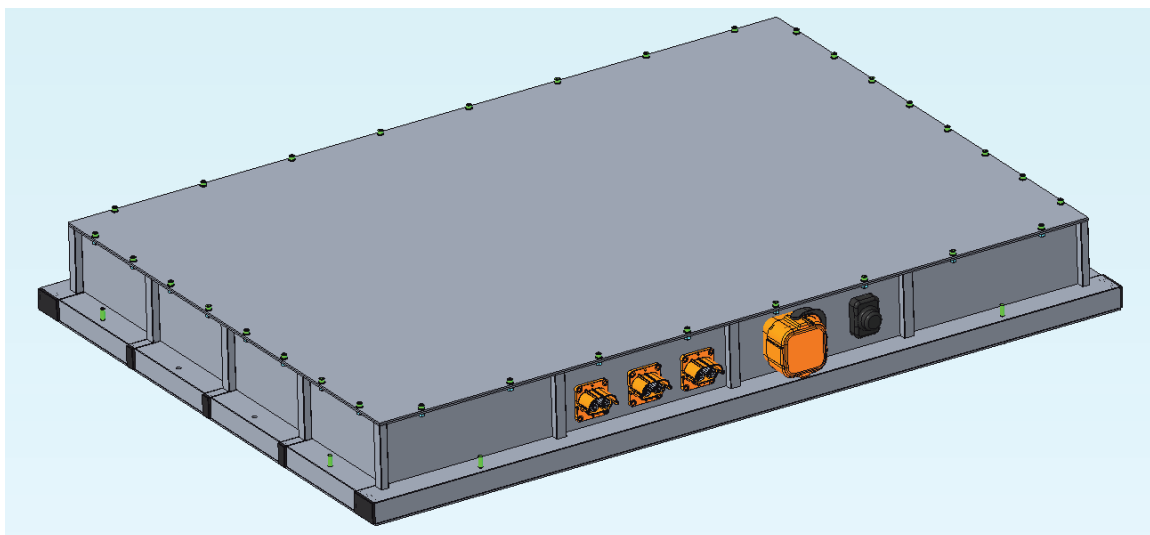
Obrázek 54: Kompletní sestava bateriového úložnice s ukázkou propojení modulů



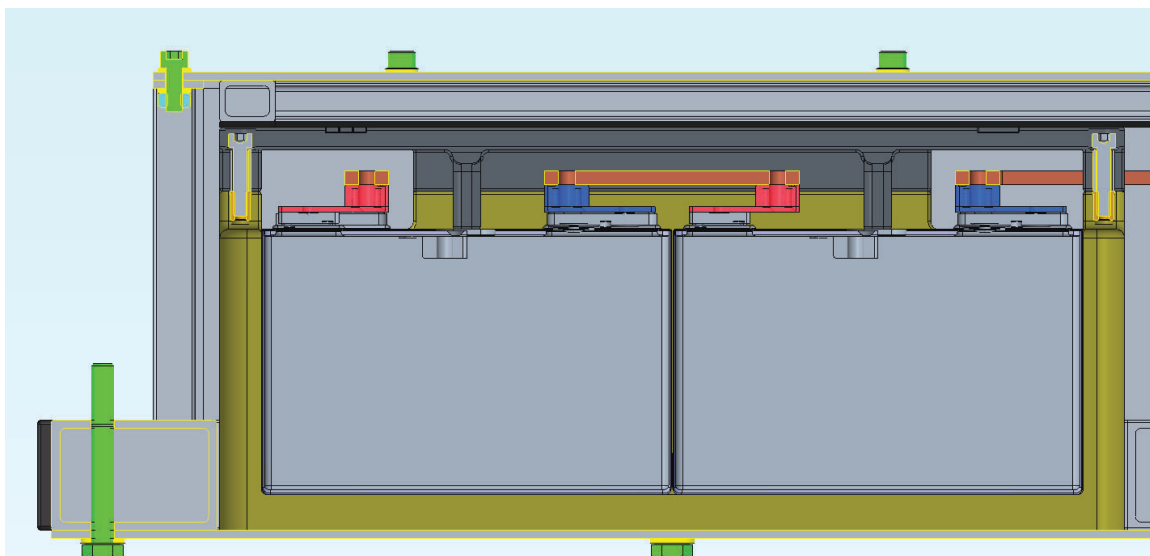
Obrázek 55: Kompletní sestava bateriového úložnice

Z obrázku 55 je dále zřejmé, že po vysunutí horní části odpojovače, lze bateriové úložiště bezproblémově vyjmout ze spodní části vozidla. Tím byl splněn další, a zároveň poslední bod rozšířeného zadání diplomové práce.

Finální návrh bateriového úložiště je graficky znázorněn na obrázku 56. Na tomto obrázku je také zobrazeno možné rozmístění příslušenství úložiště. Dále můžeme vidět, že pro uchycení úložiště k rámu vozidla bude sloužit 8 kusů šroubů, 2 kusy v každém rohu (viz obrázek 52). Jelikož ještě není známá podoba rámu vozidla, může být konečné umístění šroubů odlišné. Poslední obrázek 57 poté prezentuje podélný řez modulem umístěným v bateriovém úložišti, čímž umožňuje náhled na většinu použitých řešení mnou navržené konstrukce.



Obrázek 56: Finální návrh bateriové úložiště



Obrázek 57: Podélný řez modulem umístěným v bateriovém úložišti

5 Pevnostní ověření návrhu bateriového úložiště

Jedním z posledních bodů zadání diplomové práce je provedení pevnostní analýzy pomocí metody konečných prvků (MKP), ve světě známou pod anglickou zkratkou FEM (Finite Element Method). Tato metoda patří v současné době mezi nejrozšířenější analýzy sloužící k ověření správnosti návrhu dané součástky či sestavy komponentů, a to především v oblastech strukturálních analýz či přenosu tepla.

Metoda se vyznačuje tím, že prověřovaný díl rozdělí pomocí diskretizace na konečný počet menších prvků s jednodušším tvarem, které společně tvoří takzvanou síť. V těchto prvcích, respektive v uzlech sítě jsou pak vyšetřovány jednotlivé hledané parametry.

Pro pevnostní kontrolu návrhu bateriového úložiště byl zvolen software PTC Creo Simulate 4.0 ve verzi M060, který je součástí 3D CAD softwaru PTC Creo Parametric 4.0. Díky tomuto propojení a identickému pracovnímu prostředí tak nebylo nutné model nijak upravovat a exportovat do jiného simulačního programu konkurenčních softwarů.

5.1 Vlastnosti použitých materiálů

Jedním z prvních kroků při provádění simulace MKP je zjištění a přiřazení určitých materiálových vlastností jednotlivým komponentům sestavy. U bateriového úložiště se jedná o dva druhy komponentů, které jsou vyrobeny z odlišných materiálů. Prvním z nich jsou profily obdélníkového průřezu vyrobené z hliníkové slitiny EN AW 6060 T66. Mechanické vlastnosti této slitiny jsou vypsány v tabulce 5. Druhý typ komponentů tvoří plechy z hliníkové slitiny EN AW 6082 T651, jejíž mechanické vlastnosti jsou vypsány v tabulce 6.

Tabulka 5: Vlastnosti materiálu EN AW 6060 T66 [52]

Hustota	ρ	2.7	[g/cm ³]
Poissonovo číslo	μ	0,33	[-]
Youngův modul	E	68	[GPa]
Mez kluzu v tahu	R _{p0,2}	170	[MPa]
Pevnost v tahu	R _m	220	[MPa]

Tabulka 6: Vlastnosti materiálu EN AW 6082 T651 [53]

Hustota	ρ	2,7	[g/cm ³]
Poissonovo číslo	μ	0,33	[-]
Youngův modul	E	69	[GPa]
Mez kluzu v tahu	R _{p0,2}	270	[MPa]
Pevnost v tahu	R _m	320	[MPa]

5.2 Zatížení bateriového úložiště

Pro zjištění celkového zatížení bateriového úložiště je nutné si nejprve uvědomit, jaké síly zde vlastně působí a mají tak dopad na simulaci pevnostní analýzy. Ke správnému definování zatěžujících sil je nezbytné zvolit jízdní stav vozidla, na jehož základě bude možné určit a vypočítat jednotlivá zatížení. Jízdnicích stavů lze samozřejmě určit mnoho. Jelikož se ale vozidlo nachází stále v projekčním stádiu a většina jeho komponentů ještě nebyla navrhnutá, tak je jeho jedinou známou vlastností maximální stoupavost čítající 12 %. Vzhledem k tomuto omezení jsem prozatím zvolil tři zjednodušené základní jízdní stavy.

Volené jízdní stavy vozidla:

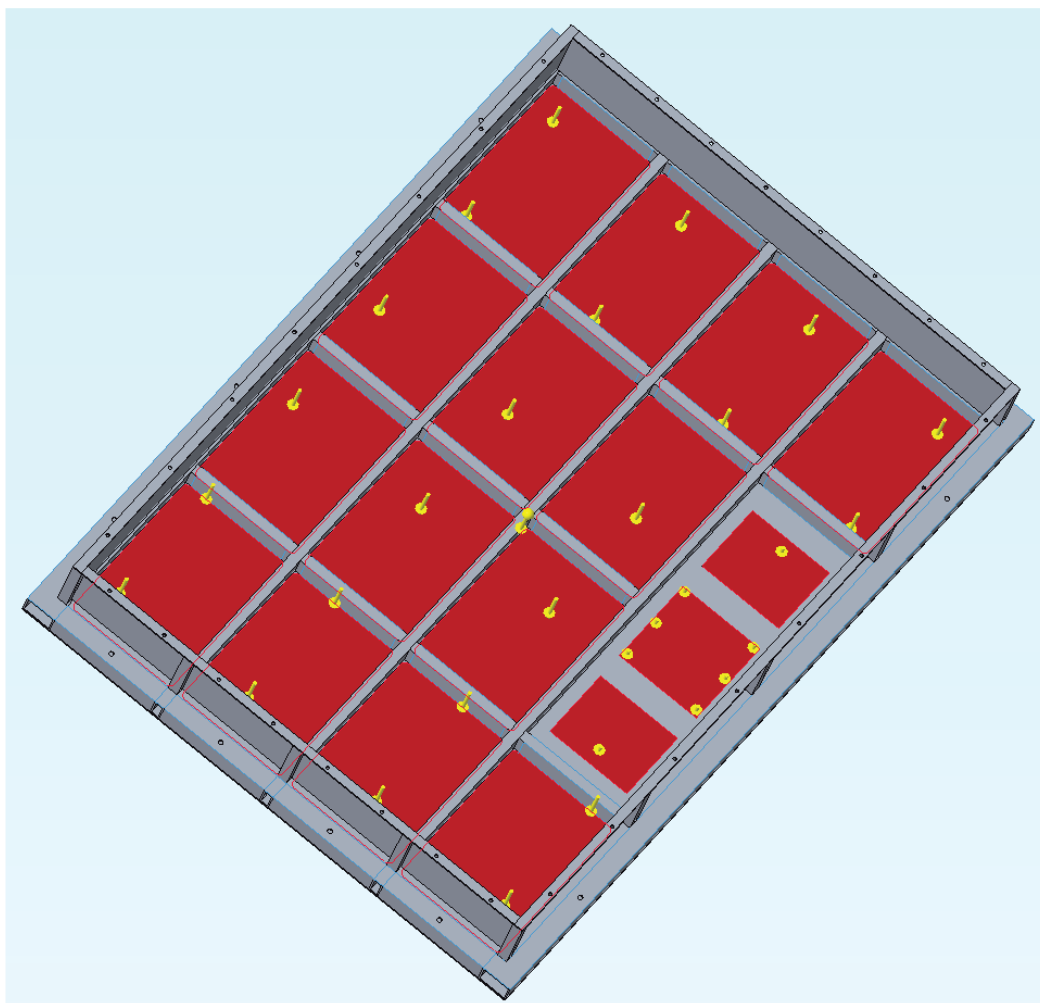
- stav č.1 = stání vozidla na vodorovné ploše
- stav č.2 = jízda vozidla konstantní rychlostí do kopce s maximálním stoupáním
- stav č.3 = brzdění vozidla na mezi adheze

5.2.1 Jízdní stav č.1

Tento stav definuje zatížení vozidla stojícího na vodorovné ploše. Z hlediska stanovení a výpočtu zatížení se jedná o nejjednodušší variantu, protože zde působí všechny zatěžující síly kolmo na vozovku, tedy ve směru osy Z. Na základě tohoto faktu bude následný výpočet jednotlivých sil identický s výpočtem tíhy G, zobrazeným ve vzorci (a).

$$G = m \times g \quad (a)$$

Ještě před započítáním samotných výpočtů zatížení je důležité si stanovit, které komponenty na bateriové úložiště v tomto jízdním stavu působí a jak ho ovlivňují. Největší mírou zatížení přispívají moduly ukrývající bateriové články. Ty působí svou dosedací plochou na plechovou podlahu úložiště. Další zatížení působící na podlahu úložiště vzniká jeho příslušenstvím. Z předchozích kapitol již víme, že se jedná o sestavu osmi relé rozdělených do dvou skupin po čtyřech, mezi kterými se nachází BMS. Jelikož se zbývající komponenty příslušenství nachází na boční stěně úložiště a jejich pozice není pevně dána, tak jsem jejich hmotnost rovnoměrně zahrnul do zatížení od relé a BMS. Tento princip jsem také aplikoval u zatížení od modulů, kde je nutné brát v potaz váhu propojovacích elementů v podobě kabelových svazků, konektorů, šroubů a obdélníkových měděných profilů propojujících jednotlivé články. Grafické znázornění výše popsaného zatížení podlahy úložiště je vidět na obrázku 58. Výsledné hodnoty těchto zatížení jsou poté uvedeny v tabulce 7.



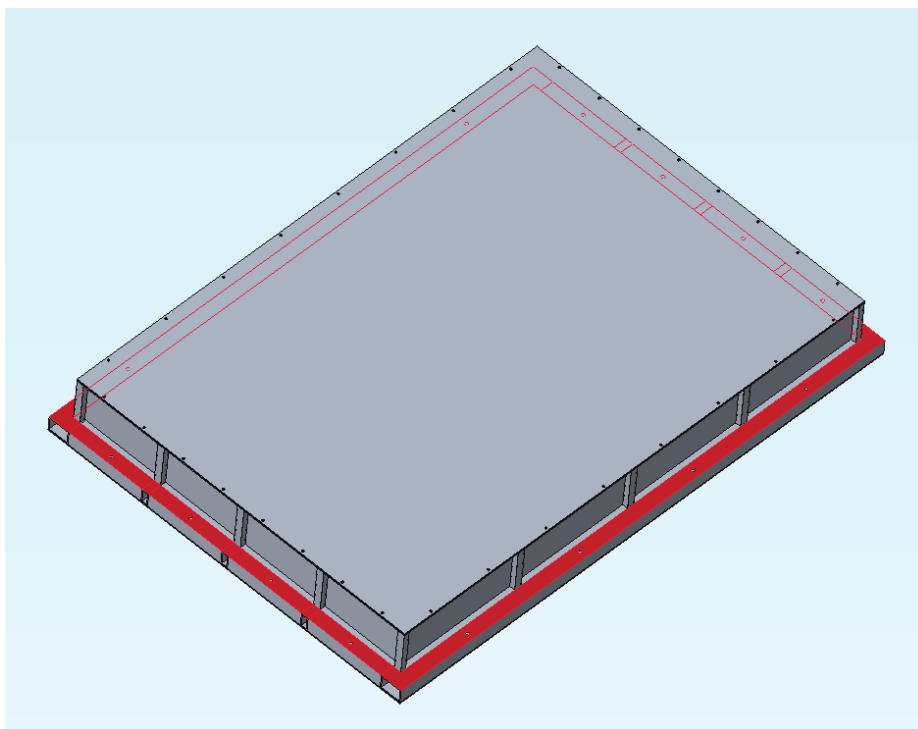
Obrázek 58: Jízdní stav č.1 – Silové zatížení podlahy úložiště

Tabulka 7: Hmotnosti a silová zatížení působící na podlahu úložiště

Název komponentu	Množství [ks]	Hmotnost [kg]	Přidaná hmotnost [kg]	Celková hmotnost [kg]	Zatížení [N]
Relé	8	4,8	1,2	6	58,86
BMS	1	1,14	0,86	2	19,62
Modul s články	14	234,64	8,36	243	2383,83

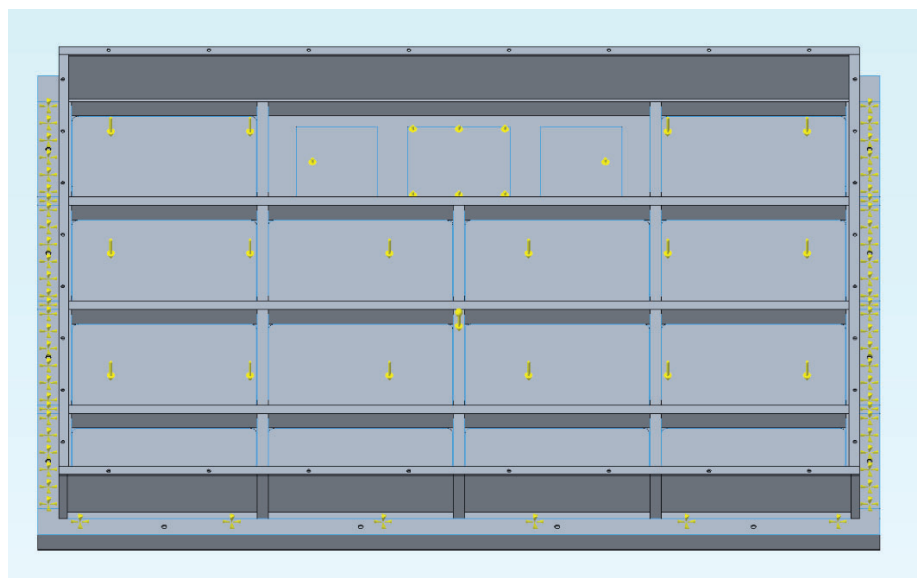
Předchozím výpočtem zatěžujících sil modulů a příslušenství došlo k pokrytí všech komponentů nacházejících se uvnitř úložiště. Daná zatížení je nyní možné zadat do počátečních kritérií simulace. Z důvodu relativně velkých rozměrů bateriového úložiště a snaze se výsledky přiblížit co nejblíže realitě, je důležité zahrnout do simulačního modelu také vlastní váhu úložiště, která bude mít poté dopad do výpočtu průhybů a napětí. K tomu nám poslouží funkce „Gravity“, která vyžaduje pouze zadání směru a velikosti gravitačního zrychlení o hodnotě $9,81 \text{ m/s}^2$.

Následujícím krokem simulace je stanovení okrajových podmínek. V našem případě se jedná o zamezení pohybu úložiště ve všech směrech. Jak je patrné z obrázku 59, bateriové úložiště bude zavazbeno tak, že červeně zvýrazněná plocha vnější konstrukce rámu bude po celém jeho obvodu dosedat na budoucí rám vozidla.



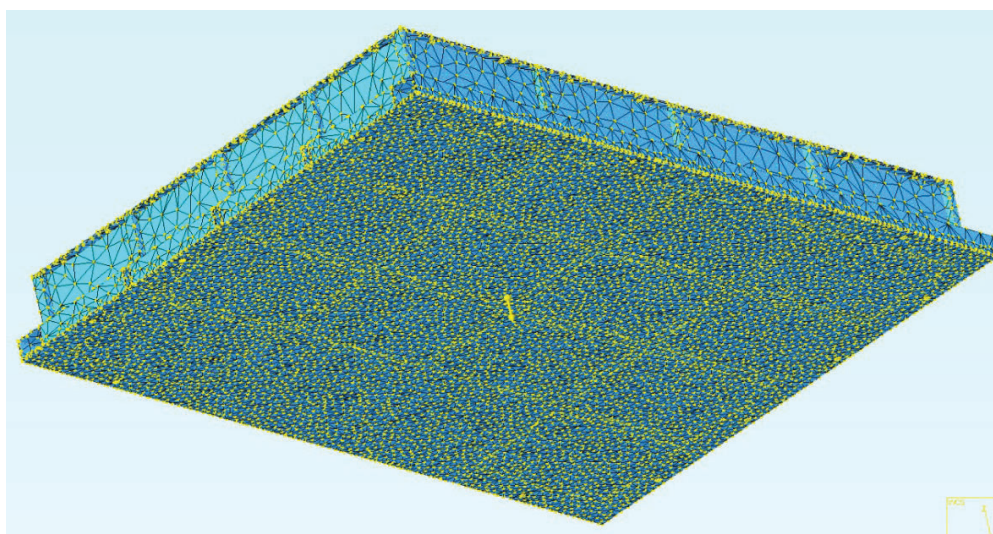
Obrázek 59: Dosedací plocha vnější konstrukce úložiště

Výsledný simulační model se zakomponováním veškerých zatížení a okrajových podmínek je znázorněn na obrázku 60.



Obrázek 60: Jízdní stav č.1 – Zavazbení a celkové silové zatížení

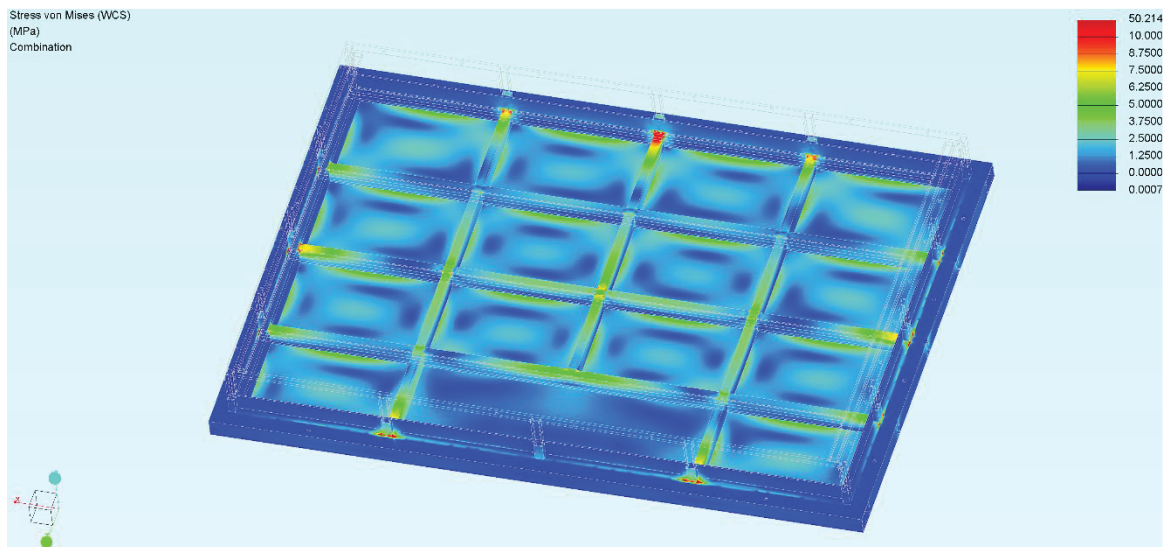
Posledním úkonem před spuštěním samotné simulace je tzv. vysítování modelu známé pod anglickým termínem „mesh“. Pro analýzu bylo úložiště rozděleno pomocí funkce automatického generování sítě na menší a jednodušší trojrozměrná tělesa, tetrahedrony, jak je patrné z obrázku 61. Na podlahu úložiště a profily vnitřního rámu vymežující prostor pro moduly bylo aplikováno dodatečné zjemnění sítě kvůli zvýšení přesnosti výpočtu. To se následně projevilo do celkového počtu elementů sítě, kterých se na simulačním modelu nachází více než 130 000.



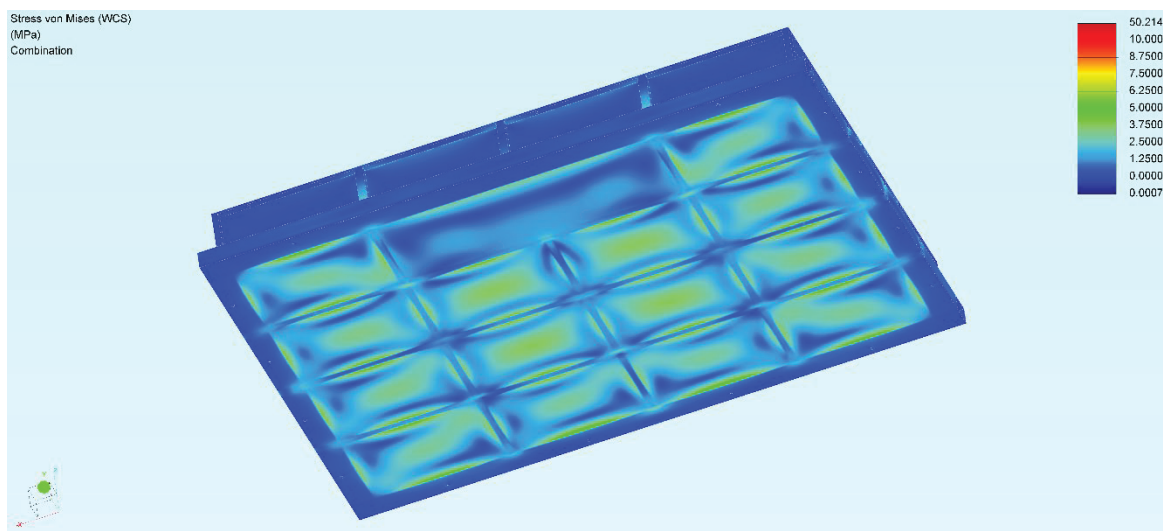
Obrázek 61: Vysítování simulačního modelu

Vzhledem k takto vysokému počtu elementů lze očekávat, že samotná simulace bude časově velmi náročná. Kvůli tomuto předpokladu jsem se uchýlil k možnosti použití výkonnějšího počítače umístěného na Katedře vozidel a morů. I přesto se ale výsledný čas simulace dostal na hodnotu přesahující 5 hodin.

Během simulace byly spočteny globální i lokální stavy napjatosti a deformace (posuvy) úložiště. K zobrazení výsledků stavů napjatosti, znázorněných na obrázcích 62 a 63, byla zvolena pevnostní hypotéza HMM, v simulačním softwaru známá pod označením „von Mises“.



Obrázek 62: Jízdni stav č.1 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu shora

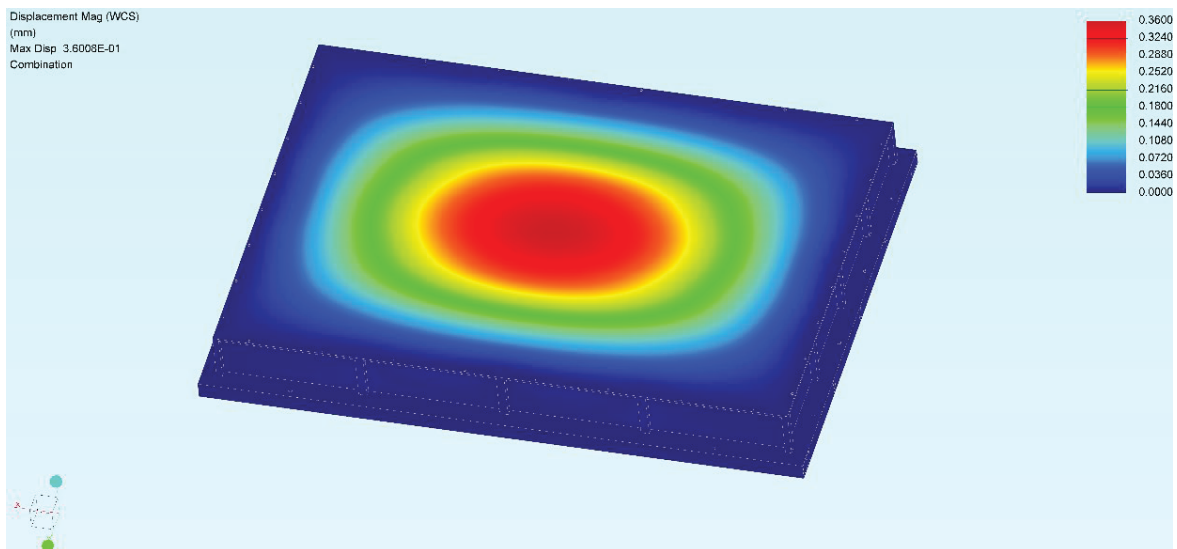


Obrázek 63: Jízdni stav č.1 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu zespodu

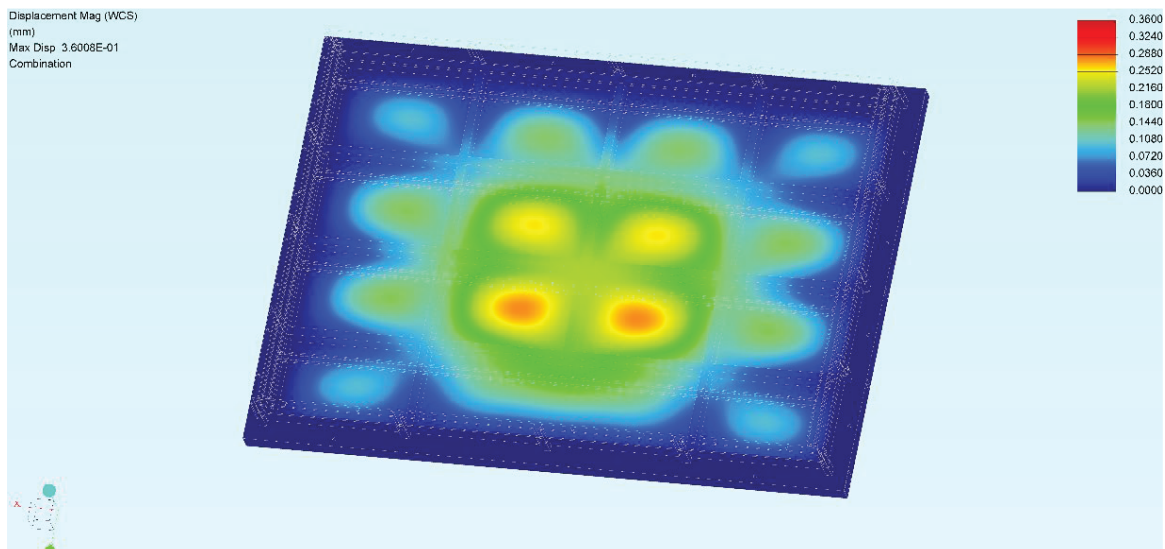
Na obrázcích můžeme vidět, že nejvyšší hodnota napětí dosahuje 50 MPa. Toto napětí se nachází v oblastech spojení podpůrných profilů bočního zakrytování s vnějšími profily základního rámu úložiště. Jelikož se jedná o oblast spojení dvou či více ostrých hran, tak zde došlo ke vzniku nežádoucího jevu, takzvané singularity. Díky tomuto faktu jsou hodnoty v těchto oblastech nereálné. U reálného modelu bude v těchto oblastech místo ostrých hran navařen materiál zajišťující pevné spojení obou komponentů.

Po zanedbání napětí v oblastech singularit je zřejmé, že se maximální napětí pohybuje v rozmezí od 6 MPa do 10 MPa. Dle výsledků simulace jsou tímto napětím nejvíce zasaženy vnitřní profily rámu společně s plechem podlahy úložiště. Avšak při porovnání těchto napětí s mezí kluzu použitých materiálů uvedených v tabulkách 5 a 6 dojdeme k závěru, že daný návrh disponuje stále velmi vysokou bezpečností.

Z obrázku 64 vyplývá, že je konstrukce bateriové úložiště i dostatečně tuhá. Nejvyšší deformace čítající 0,36 mm je způsobena průhybem vrchního krytu úložiště pod tíhou své vlastní váhy. Na reálném modelu tomu bude zamezeno tím, že bude kryt dosedat svými vyztužujícími profily přímo na kryty modulů. Druhá, nejvíce „zdeformovaná“ oblast, se poté nachází u čtyř středových polí plechové podlahy, což je patrné z obrázku 65.



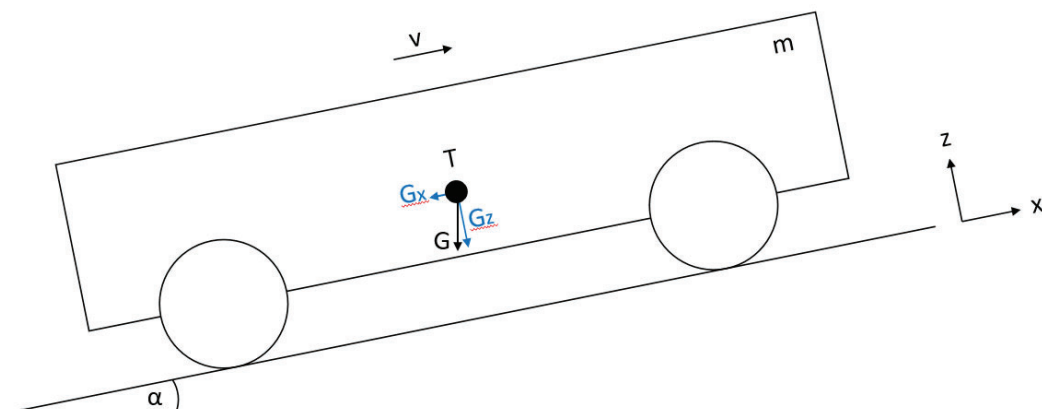
Obrázek 64: Jízdní stav č.1 – Posuvy v horní oblasti úložiště



Obrázek 65: Jízdní stav č.1 – Posuvy ve spodní oblasti úložišť

5.2.2 Jízdní stav č.2

Tento stav simuluje jízdu vozidla jedoucího konstantní rychlostí do kopce s maximálním stoupáním 12 %. Můžeme ale říci, že ty samé podmínky by byly platné i pro vozidlo jedoucí konstantní rychlostí z kopce se stejným stoupáním. Zjednodušený model tohoto stavu lze společně s obecným rozložením zatěžujících sil do dvou směrů vidět na obrázku 66.



Obrázek 66: Jízdní stav č.2 – Zjednodušený model rozložení sil

Oproti předchozímu jízdnímu stavu se vozidlo na vozovce nachází pod určitým sklonem, který je definován úhlem alfa. Po přepočtu, z již známé hodnoty stoupavosti vozidla, jsem dospěl k číslu $6,84^\circ$. Tuto hodnotu jsem pro následující výpočty zaokrouhlil na celé číslo, tedy 7° .

Jak již bylo nastíněno výše, zatěžující síly je nutné v tomto stavu rozložit do dvou směrů, jejichž výslednicí je nám již dobře známé zatížení G. Jelikož má úložiště stále stejné rozložení vnitřních komponentů, můžeme tak jednotlivé hodnoty zatížení G převzít z jízdního stavu č.1. K výpočtu jednotlivých sil budeme používat vzorce (b) a (c). Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8.

$$G_x = G \times \sin \alpha \quad (b)$$

$$G_z = G \times \cos \alpha \quad (c)$$

Tabulka 8: Jízdní stav č.2 - Vypočtená silová zatížení

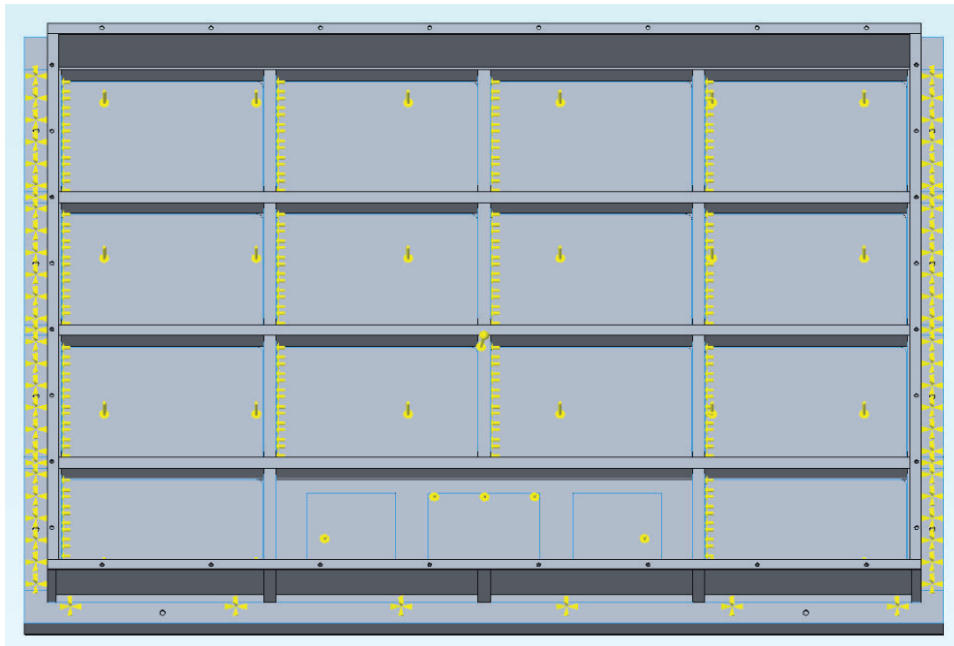
Název komponentu	Zatížení na rovině [N]	Složka zatížení v ose X [N]	Složka zatížení v ose Z [N]
Relé	58,86	7,17	58,42
BMS	19,62	2,39	19,47
Modul s články	2383,83	290,52	2366,06

Při implementaci vypočtených zatížení do simulačního modelu je dobré si uvědomit, že na plechovou podlahu úložiště působí zatěžující síly pouze v ose Z. Zatěžující síly v ose X poté působí na boční stěny profilů základního rámu. Dále nesmíme zapomenout na změnu hodnot gravitačního zrychlení ve funkci „Gravity“ dle tabulky 9. Tím opět přispějeme k zajištění reálnějších výsledků analýzy, které budou obsahovat i dopady vlastní váhy úložiště.

Tabulka 9: Jízdní stav č.2 - Složky gravitačního zrychlení

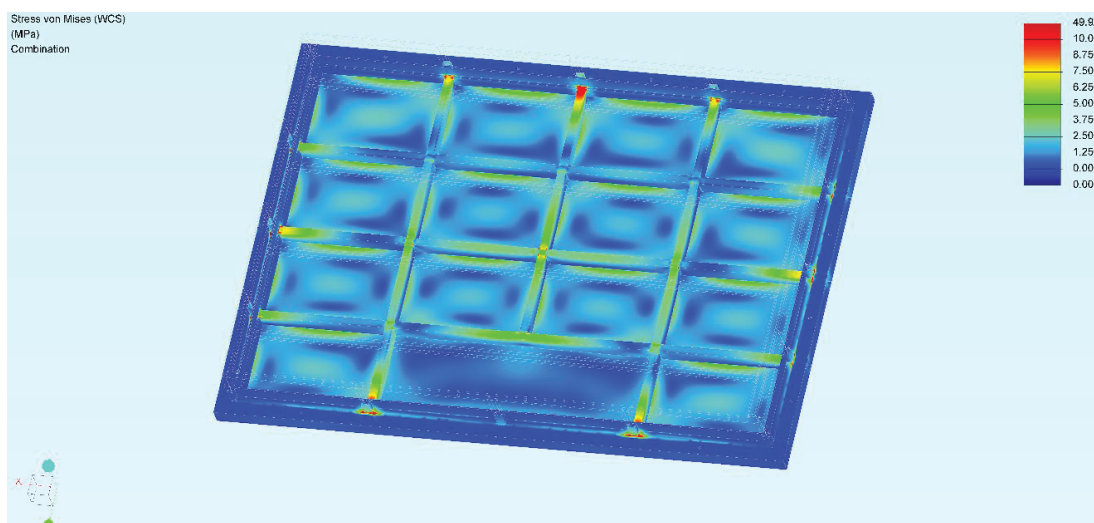
	Základní hodnota [m/s ²]	Složka v ose Z [m/s ²]	Složka v ose X [m/s ²]
Gravitační zrychlení	9,81	9,737	1,196

Do takto připraveného modelu, zobrazeného na obrázku 67, převezmeme okrajové podmínky z předchozího jízdního stavu a následně aplikujeme funkci „mesh“ s dodatečným zjemněním sítě nejen u podlahy a vnitřních profilů rámu, ale také u vnějších profilů rámu na straně odolávající působení zatížení od modulů.

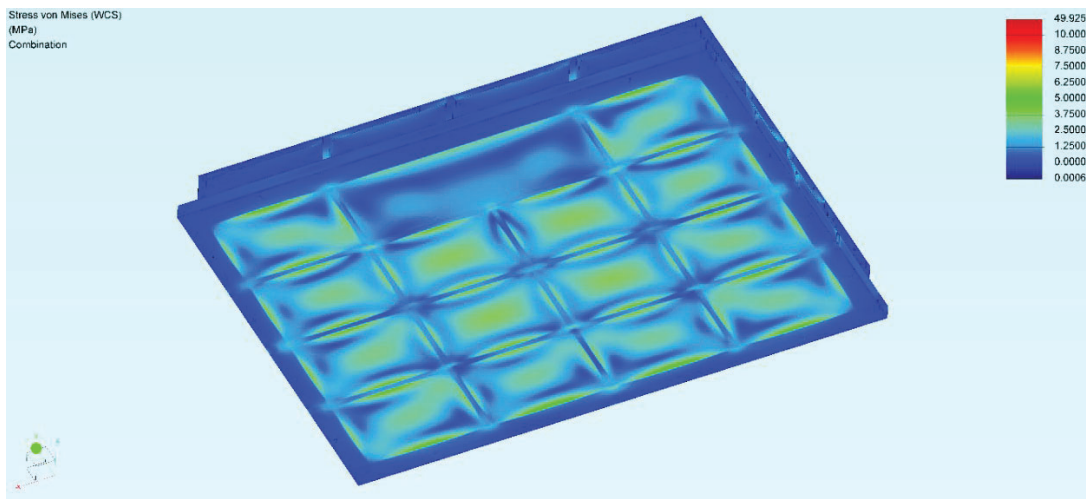


Obrázek 67: Jízdní stav č.2 – Zavazbení a celkové silové zatížení

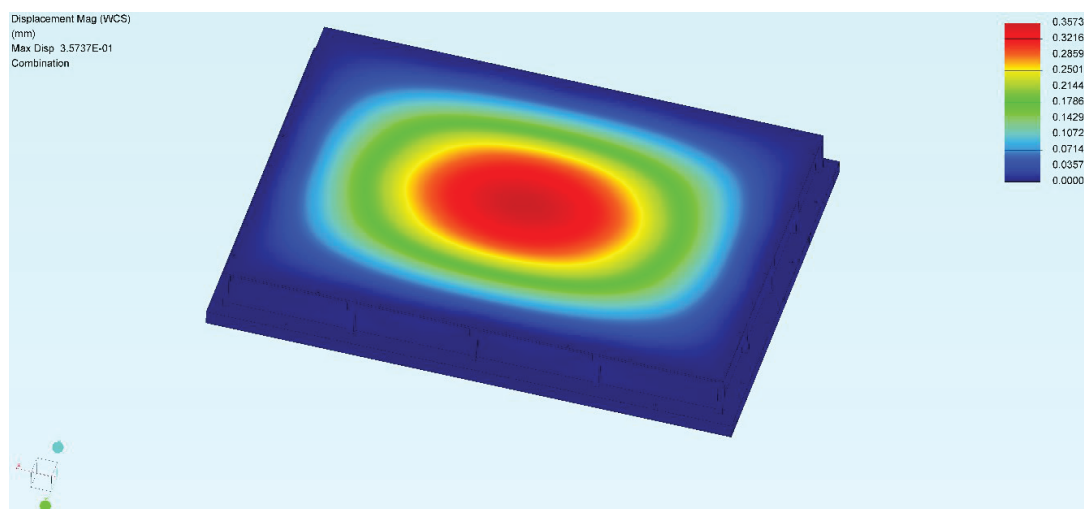
Vzhledem k tomu, že zatěžující síly G_z mají téměř stejnou hodnotu se zatěžujícími silami z jízdního stavu č.1, tak se nedá očekávat nějaký razantní dopad do výsledků simulace stavů napjatosti. To také potvrzují obrázky 68 a 69, kde můžeme vidět, po opětovném zanedbání identických oblastí singularit, hodnoty maximálního napětí cca do 10 MPa. V případě tuhosti lze z obrázků 70 a 71 vyčíst, že se velikost posuvů v modelu oproti předchozímu stavu nezměnila. S přihlédnutím na výše zmíněné informace lze opět konstatovat, že daný návrh disponuje i v tomto jízdním stavu stále velmi vysokou bezpečností.



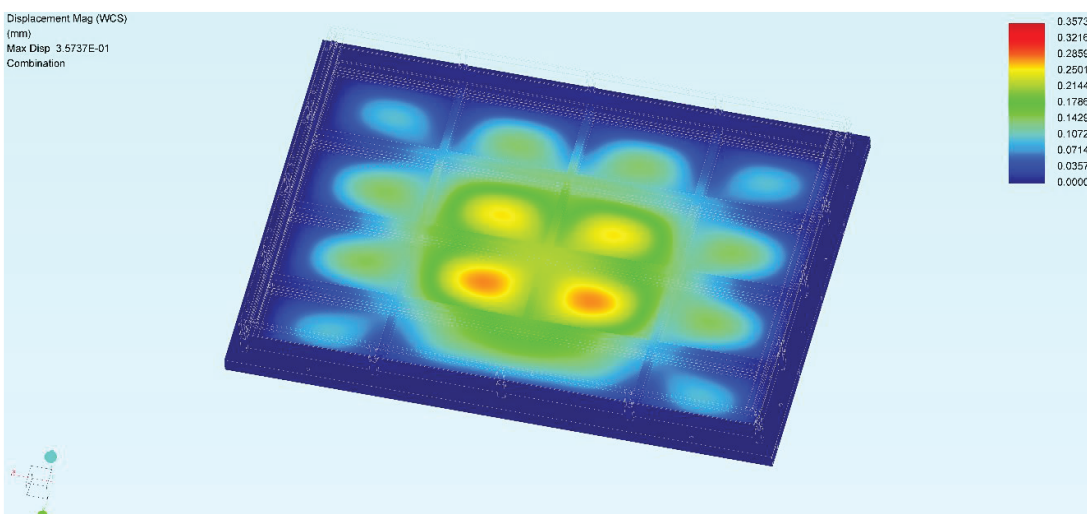
Obrázek 68: Jízdní stav č.2 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu shora



Obrázek 69: Jízdní stav č.2 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu zespodu



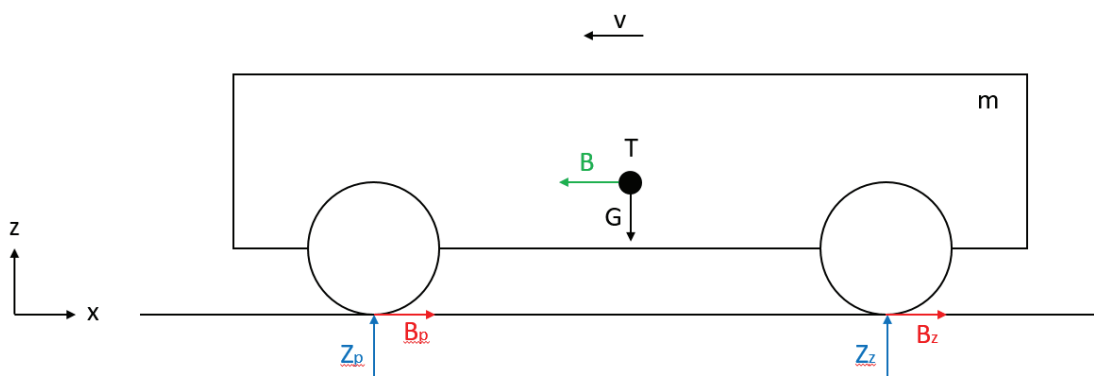
Obrázek 70: Jízdní stav č.2 – Posuvy v horní oblasti úložiště



Obrázek 71: Jízdní stav č.2 – Posuvy ve spodní oblasti úložiště

5.2.3 Jízdní stav č.3

Poslední simulační variantu určenou pro výpočet pevnostní analýzy zastává stav, který je z hlediska působení sil ze všech tří volených stavů tím nejnáročnějším. Jedná se o brzdění vozidla na mezi adheze. V reálných podmínkách bychom tohoto stavu docílili použitím ABS, jakožto jednoho ze systémů aktivní bezpečnosti. Ten brání zablokování kol při brzdění vozidla a zamezuje tak ztrátě adheze mezi kolem a vozovkou. Zjednodušený model jízdního stavu můžeme vidět společně s obecným znázorněním zatěžujících sil na obrázku 72.



Obrázek 72: Jízdní stav č.3 – Zjednodušený model rozložení sil

V tomto jízdním stavu se vozidlo nachází opět ve vodorovné poloze, avšak oproti jízdnímu stavu č.1 se pohybuje konstantní rychlostí. Z tohoto stavu začne vozidlo prudce brzdit na mezi adheze, což má za následek vznik brzdných sil, které se dále promítnou do výpočtů zatížení úložiště. Při zanedbání odlehčení náprav, a s tím spojené klonění vozidla, budou výsledné zatěžující síly působit pouze v ose X.

Obecné nastínění výpočtu brzdných sil nalezneme ve vzorcích (d) až (j) uvedených níže [55]. Pro výpočet zatížení ve vzorci (d) opět převezmeme hodnoty z jízdního stavu č.1. Z podmínky (i) je pak patrné, že při jejím dodržení zamezíme nežádoucímu stavu v podobě ztráty přilnavosti. V jízdním stavu č.3 budeme vycházet z podmínky (j), která definuje brzdění na mezi adheze. Pro výpočet zatěžujících sil vznikajících brzděním tak zbývá zvolit velikost součinitele adheze z tabulky 10. Jelikož chci na danou konstrukci v rámci jejího prověření vyvinout co nejvyšší zatížení, tak jako simulační povrch volím suchý beton s hodnotou adheze 0,9. Po dosazení do vzorce (e) jsem dospěl k hodnotám zatížení zobrazených v tabulce 11.

$$G = m \times g \quad (d)$$

$$B = m \times a_u = G \times \frac{a_u}{g} = G \times z \quad (e)$$

$$B = B_p + B_z = G \times z \quad (f)$$

$$B_{ad} = B_{pad} + B_{zad} = \varphi \times Z_p + \varphi \times Z_z \quad (g)$$

$$G \times z \leq \varphi \times (Z_p + Z_z) = \varphi \times G \quad (h)$$

$$z \leq \varphi \quad (i)$$

$$z = \varphi \quad (j)$$

Tabulka 10: Jízdní stav č.3 – Hodnoty součinitelů adheze [54]

Druh vozovky	Stav suchý [-]	Stav mokrý [-]
Asfalt	0,6-0,9	0,3-0,8
Beton	0,8-1	0,5-0,8
Dlažba	0,6-0,8	0,3-0,5
Polní cesta	0,4-0,6	0,3-0,4

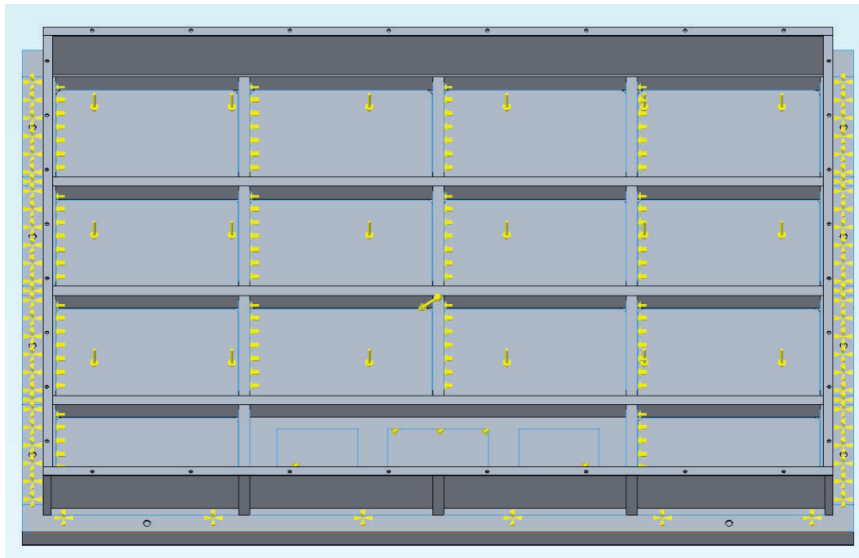
Tabulka 11: Jízdní stav č.3 - Vypočtená silová zatížení

Název komponentu	Složka zatížení v ose X [N]	Složka zatížení v ose Z [N]
Relé	52,97	58,86
BMS	17,66	19,62
Modul s články	2145,45	2383,83

Z výsledků je patrné, že i tento stav nezatěžuje pouze podlahu úložiště, ale díky zatížení způsobeným brzděním také daleko větší mírou namáhá profily základního rámu v ose X. Dále je nezbytné provést přepočítání hodnot gravitačního zrychlení, jehož hodnoty z tabulky 12 aplikujeme pomocí funkce „Gravity“ do simulačního modelu. U tohoto jízdního stavu implementujeme stejné okrajové podmínky jako u dvou předchozích. Vysítování modelu následně převezmeme z jízdního stavu č.2, jehož „mesh“ už obsahuje zjemnění sítě v oblastech s předpokládaným nejvyšším zatížením. Hotový simulační model můžeme vidět na obrázku 73.

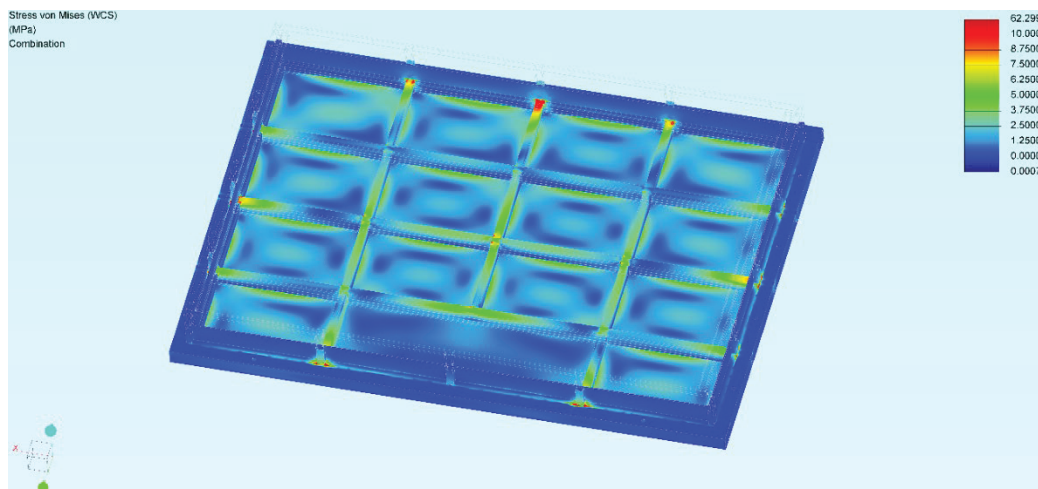
Tabulka 12: Jízdní stav č.3 - Složky gravitačního zrychlení

	Složka v ose Z [m/s ²]	Složka v ose X [m/s ²]
Gravitační zrychlení	9,81	8,83

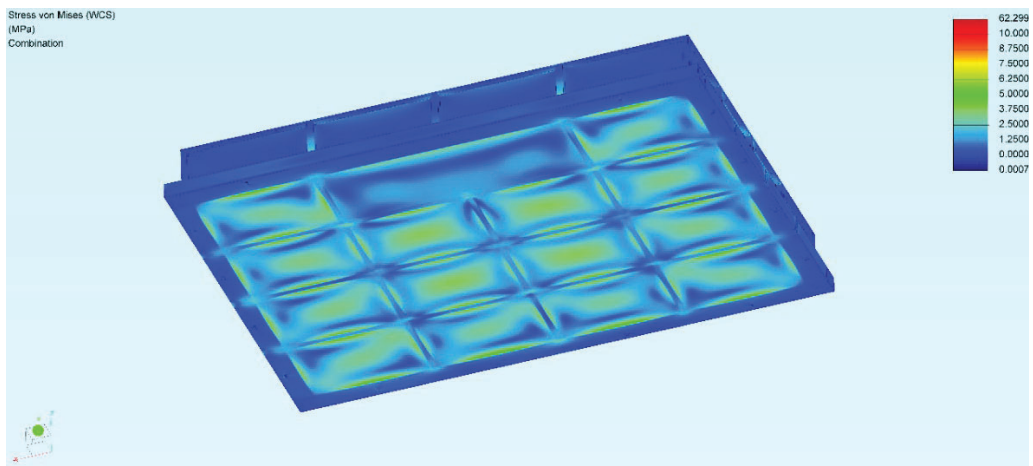


Obrázek 73: Jízdní stav č.3 – Zavazbení a celkové silové zatížení

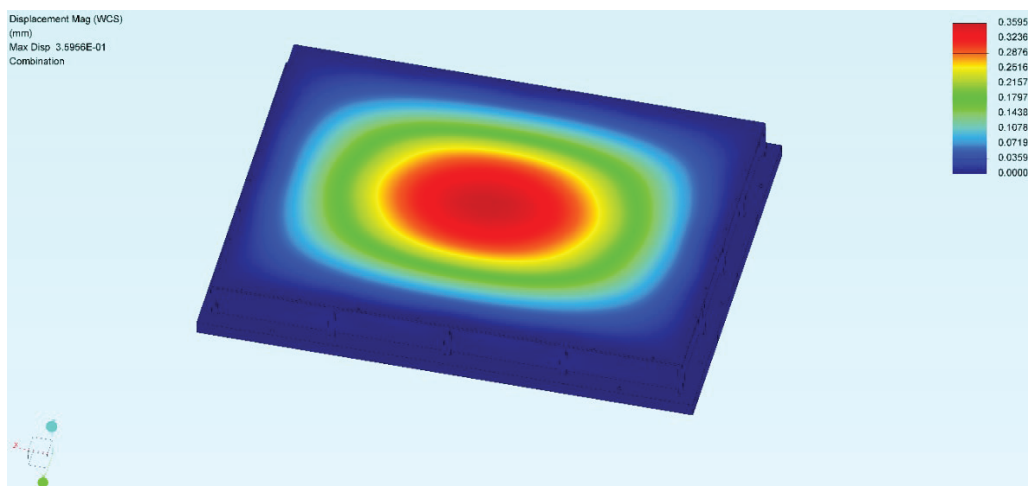
S přihlédnutím na fakt, že je jízdní stav č.3 silově nejvíce namáhán, lze logicky očekávat i vyšší hodnoty napětí v konstrukci úložiště. Po shlédnutí obrázků 74 a 75 je ale zřejmé, že se toto očekávání zcela nenaplnilo. Při zanedbání oblastí singularit jsou hodnoty napětí opět téměř identické s dvěma předchozími stavy. Za tímto jevem se skrývá samotné řešení návrhu základního rámu, který disponuje velmi vysokou tuhostí v podélném i příčném směru, a to i přesto, že je zatížení od modulů ve směru X několikrát vyšší. Tyto vlastnosti rámu se dále pozitivně promítly i do výsledků celkových deformací, jejichž hodnoty zůstaly stejné, pouze se posunuly jejich ohniska ve směru působení brzdných sil, což lze vidět na obrázcích 76 a 77. Celkové výsledky pevnostní analýzy dokládají, že ani v jízdní stavu č.3 se nijak nesnížila celková bezpečnost konstrukce bateriového úložiště.



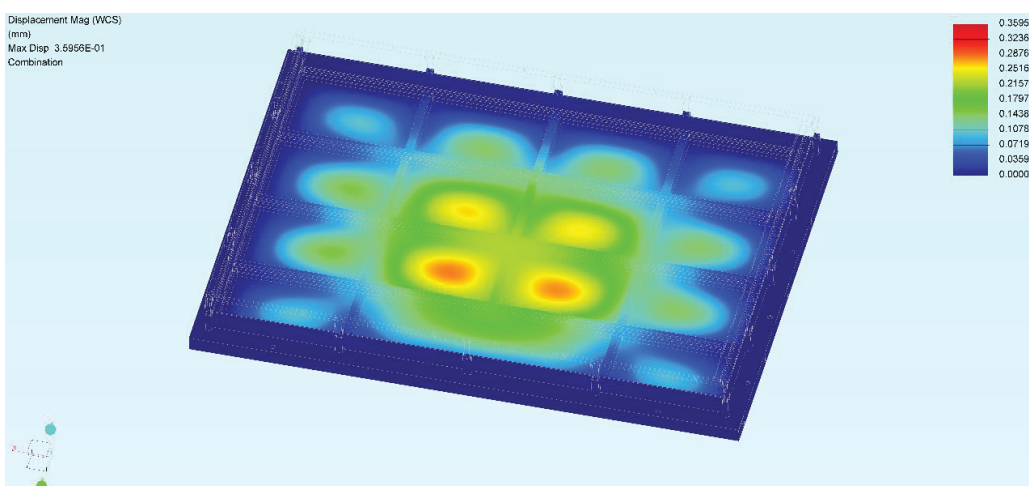
Obrázek 74: Jízdní stav č.3 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu shora



Obrázek 75: Jízdní stav č.3 – Redukované napětí dle hypotézy HMM v pohledu zespodu



Obrázek 76: Jízdní stav č.3 – Posuvy v horní oblasti úložiště



Obrázek 77: Jízdní stav č.3 – Posuvy ve spodní oblasti úložiště

5.3 Zhodnocení výsledků simulací

Po zhodnocení výsledků simulací jednotlivých jízdních stavů je zřejmé, že konstrukce bateriového úložiště je značně naddimenzovaná. Nesmíme ale zapomínat na skutečnost, že vypočtené hodnoty odpovídají stavu simulovaného modelu. Ten se od toho reálného liší především tím, že v něm nejsou zahrnuty tepelně ovlivněné oblasti mající dopad na snížení pevnosti konstrukce. V našem případě se jedná o svařované spoje, které jsou nezbytnou součástí výroby samotného úložiště. Jelikož je ale velmi obtížné tyto oblasti simulovat, nebyly tak v rámci zjednodušení výpočtu do simulace jízdních stavů implementovány.

Dalším kritériem ovlivňujícím výsledky simulace v podobě snížení pevnosti je fakt, že všechny kontaktní plochy mezi jednotlivými komponenty úložiště byly, v rámci opětovného zjednodušení výpočtu (softwarem automaticky nastaveno), brány jako pevně spojené po celé jejich ploše. U reálného modelu bude situace ale opět odlišná, jelikož pevně spojené plochy se budou nacházet vždy pouze v oblastech svarů.

S přihlédnutím na výše zmíněné informace ohledně snížení pevnosti, a také kvůli zachování bezpečnosti při provozu vozidla doporučuji aplikování případných optimalizací, zmíněných v následující kapitole 5.4, detailně konzultovat s výrobním technologem.

5.4 Návrhy na případnou optimalizaci

První oblastí nabízející se k optimalizaci s cílem snížit hmotnost je základní rám úložiště tvořený hliníkovými profily. Z předchozích kapitol již víme, že kromě hlavní nosné funkce slouží profily také k zabránění pohybu modulů v osách X a Y po dně úložiště. Pro zachování této funkce tedy není vhodné jejich počet redukovat. Optimalizovat však lze jejich tloušťku stěny, která má zvolenou hodnotu 3 mm. Pro oba typy profilů je v katalozích dodavatelů standardních hliníkových profilů dostupná také tloušťka stěny 2 mm. Tato volba by v praxi přinesla hmotnostní úsporu 4,2 kg. Jako další optimalizace profilů rámu se naskytuje možnost redukce jejich průřezových rozměrů, přesněji řečeno šířky a výšky. Zmenšení šíře vnitřních profilů není možné, jelikož musí být dodržen požadavek kolegů z FM na zachování minimální vzdálenosti 20 mm mezi jednotlivými moduly. V případě změny šíře vnějších profilů je důležité brát v potaz zachování dostatečného prostoru pro uchycení bateriového úložiště na zatím neznámou

konstrukci rámu vozidla. S redukcí výšky profilů je spojena nutnost kompenzace výšky bočního zakrytí úložiště kvůli zachování dostatečného prostoru pro moduly a příslušenství.

Druhou oblast, u které lze aplikovat optimalizaci, zastávají plechy, jejichž zvolená tloušťka činí 3 mm. Ta by se mohla případně redukovat na 2 mm, což by přineslo snížení hmotnosti. U plechu podlahy úložiště by se jednalo o hodnotu 4,3 kg. Redukce by však měla za následek snížení pevnosti spojené s ochranou proti proražení dna, které je pro celkovou bezpečnost provozu vozidla nežádoucí. U plechu horního krytu úložiště by došlo ke snížení hmotnosti o 3,8 kg a u bočního oplechování o 1,7 kg.

Všechna případná snížení rozměrů, která jsou uvedena výše, mají pozitivní dopad na redukcii hmotnosti. Ve výsledku je ale velmi důležité brát v potaz snížení celkové pevnosti konstrukce úložiště, a v neposlední řadě i proveditelnost svařitelnosti ovlivněné tloušťkou stěn svařovaných komponentů. Při aplikování jakékoliv navrhované optimalizace bude zapotřebí provést novou a detailnější pevnostní analýzu modifikovaného návrhu úložiště.

6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyhotovení konstrukčního návrhu bateriového úložiště určeného pro reálnou aplikaci do právě vznikajícího elektrického vozidla. Tímto vozidlem je autonomní plošina vyvíjená na půdě TUL ve spolupráci dvou fakult, FS a FM.

Vzhledem k tomu, že se vozidlo nachází stále ve fázi vývoje a spousta komponentů ještě není navržena, bylo mým prvním úkolem nashromáždit co nejvíce informací a požadavků o vozidle, na základě kterých jsem společně se zástupci FS a FM vytvořil rozšířené zadání práce.

Diplomová práce se skládá ze dvou hlavních částí. Tou první je část rešeršní, v jejímž úvodu jsem se věnoval rozdělení elektrických vozidel do šesti základních skupin. Následně jsem popsal základní druhy bateriových článků používaných ve vozidlech BEV a HEV. Závěr této části jsem věnoval obecnému rozboru konstrukčních provedení modulů a bateriových úložišť, z čehož jsem následně čerpal inspiraci pro druhou část diplomové práce.

Druhá, výzkumná část byla věnována samotnému konstrukčnímu návrhu bateriového úložiště a jeho pevnostnímu ověření. Ke splnění tohoto úkolu jsem si nejdříve zvolil maximální zástavbový prostor. Po vytyčení tohoto prostoru následovala volba možných variant uspořádání bateriových článků se zapojením 7P2S. Ze tří možných variant byly pro budoucí uspořádání modulů vhodné pouze dvě. S těmito variantami jsem následně vytvořil všechny možné návrhy uspořádání modulů, ze kterých byl po zvážení výhod a nedostatků vybrán finální návrh s uspořádáním modulů 4x4 podélně disponující uspořádáním článků 7x2. V dalším kroku jsem se uchýlil k návrhu konstrukce modulu, coby krytu bateriových článků. Ten splňuje všechna požadovaná kritéria nejen z hlediska funkčnosti, ale i vyrobiteľnosti za pomoci 3D tisku.

S dokončeným návrhem krytu modulu a zvoleným finální uspořádáním všech komponentů, jsem následně začal s tvorbou samotné konstrukce bateriového úložiště. Ta musela splňovat všechna omezení daná rozšířeným zadáním práce. Nejtěžším úkolem návrhu bylo dodržení maximální celkové hmotnosti, která nesměla přesáhnout 300 kg. Z toho důvodu jsem jako konstrukční materiál zvolil hliníkové slitiny disponující dostatečnou pevností a nízkou hmotností. Po návrhu spojeného s detailním popisem

jednotlivých částí úložiště jsem vyhodnotil konstrukci jako celek. Ta splňuje všechny požadavky a respektuje omezení daná rozšířeným zadáním práce.

Na závěr výzkumné části jsem provedl pevnostní ověření odolnosti konstrukce pomocí MKP společně s vyhodnocením výsledků. Pro toto ověření jsem zvolil tři jízdní stavy vozidla s odlišnými druhy zatížení působících na bateriového úložiště. Po zhodnocení výsledků jsem dospěl k závěru, že je návrh dostatečně pevný.

Vzhledem ke splnění všech požadovaných vlastností definovaných rozšířeným zadáním této práce, lze považovat návrh bateriového úložiště za zdařilý a způsobilý k výrobě. Jak již bylo avizováno v rozšířeném zadání práce, jedná se pouze o provizorní bateriové úložiště určené k prvnímu testování, jehož výroba a uvedení do praxe může přinést ještě řadu možných optimalizací.

Seznam použité literatury

- [1] SLASHGEAR. *Tesla Model S, Model X get free unlimited charging, only for new buyers* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.slashgear.com/tesla-model-s-model-x-get-free-unlimited-charging-only-for-new-buyers-04586186/>
- [2] HYBRID.CZ. *Škoda Auto představuje plug-in hybrid Superb iV, dojezd až 55 km na elektřinu* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/skoda-auto-predstavuje-plug-hybrid-superb-iv-dojezd-az-55-km-na-elektřinu>
- [3] THE GLOBE AND MAIL. *2019 Hyundai Nexo FCEV* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.theglobeandmail.com/globe-drive/reviews/new-cars/review-2019-hyundai-nexo-fcev-a-great-car-out-of-itselement/article38139160/>
- [4] THE DRIVEN. *The ICE age is over: Why battery cars will beat hybrids and fuel cells* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://thedriven.io/2018/11/14/the-ice-age-is-over-why-battery-cars-will-beat-hybrids-and-fuel-cells/>
- [5] ŠKODA STORYBOARD. *Druhy elektromobilů – znáte je všechny?* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/mobilita/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>
- [6] LARMINIE James a John LOWRY. *Electric vehicle technology explained. Second edition*. Chichester: John Wiley, [2012]. ISBN 978-1-119-94273-3.
- [7] AUSTRALIAN ACADEMY OF SCIENCE. *How a battery works* [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.science.org.au/curious/technology-future/batteries>,
- [8] BYJU'S. *Lead Acid Battery* [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://byjus.com/chemistry/lead-acid-battery/>
- [9] ENGINEERING.COM. *What You Need to Know About Batteries for Electric Vehicles* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://new.engineering.com/story/what-you-need-to-know-about-batteries-for-electric-vehicles?>
- [10] EASTAR. *Rechargeable 3.6v ni-cd sc battery pack for toys and meters etc* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/Rechargeable-3-6v-ni-cd-sc_60480778356.html
- [11] FIERCE ELECTRONICS. *NiMH Technology Extends Energy Storage Life* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.fierceelectronics.com/components/nimh-technology-extends-energy-storage-life>

- [12] WANG, Qian, Bin JIANG, Bo LI a Yuying YAN. A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2016, 64, 106-128 [cit. 2020-04-12]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.033>
- [13] DATA CENTER FRONTIER. *Additional Data Center Applications for Lithium-Ion Batteries* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://datacenterfrontier.com/data-center-lithium-ion-batteries/>
- [14] JRC TECHNICAL REPORTS. *Standards for the performance and durability assessment of electric vehicle batteries* [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC113420/kjna29371enn.pdf>
- [15] AUCOPO. *Lithium ion Cylindrical Cell* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <http://www.aucopo.com/index.php?m=content&c=index&a=lists&catid=22>
- [16] SAMSUNG SDI. *Innovation* [online]. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.samsung-sdi.com/automotive-battery/innovation.html>
- [17] MÜLLER Beate a Gereon MEYER. *Electric Vehicle Systems Architecture and Standardization Needs*. Springer, [2015]. ISBN 978-3-319-13655-4.
- [18] VICT. *Rechargeable NMC Pouch Cells Lithium Ion Battery 3000 Cycle Life CE Approved* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <http://www.lithiumsolar-batteries.com/sale-11855872-rechargeable-nmc-pouch-cells-lithium-ion-battery-3000-cycle-life-ce-approved.html>
- [19] BATTERY UNIVERSITY. *BU-301a: Types of Battery Cells* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells
- [20] EPEC ENGINEERED TECHNOLOGIES. *PRISMATIC & POUCH BATTERY PACKS* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.epectec.com/batteries/prismatic-pouch-packs.html>
- [21] ISO/PAS 16898:2012. *Electrically propelled road vehicles — Dimensions and designation of secondary lithium-ion cells* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/57871.html>
- [22] FIRST INTERNATIONAL COMPUTER. *Battery Management system* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: https://www.fic.com.tw/battery-management-system_p8.html
- [23] ERLING KLINGER. *Battery technology. Sustainable solutions fit for series production* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.elringklinger.de/en/products-technologies/electromobility>

- [24] ZERO-EV. *Tesla Model X Model S P100D Lithium Ion Battery Module 18650 6.3kw* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://zero-ev.co.uk/product/tesla-model-x-model-s-p100d-lithium-ion-battery-module-18650-6-3kw>
- [25] GREEN CAR REPORTS. *Here's battery pack behind VW's global electric-vehicle push* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: https://www.greencarreports.com/news/1118974_heres-the-battery-pack-behind-vws-global-electric-vehicle-push
- [26] VOLKSWAGEN-NEWSROOM. *Technology - Battery* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/battery-3634?fbclid=IwAR2unYC1rampS1HHIN>
- [27] ECO POWER GROUP. *Hlavní stránka společnosti* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.ecopowerpack.com/>
- [28] ECO POWER GROUP. *Battery cell C2-NCM50S* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.ecopowerpack.com/show.asp?id=96>
- [29] GWL/POWER GROUP. *Lithium & solar power LiFePO4* [online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://gwl-power.tumblr.com/post/134188905726/what-is-vda-size-cell-vda-stands-for-verband-der>
- [30] TE CONNECTIVITY. *Hlavní stránka společnosti* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.te.com/usa-en/home.html>
- [31] MOUSER ELECTRONICS. *TE Connectivity / Raychem LEV200A4NAF* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/ProductDetail/TE-Connectivity-Raychem/LEV200A4NAF>
- [32] EWERT ENERGY SYSTEMS. *Hlavní stránka společnosti* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <http://www.ewertenergy.com/>
- [33] LITHIUM SYSTEM. *Orion 2 BMS* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://lithiumsystem.ch/produkt/orion-2-bms-2/?lang=en>
- [34] ORION BMS. *How The BMS Works* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.orionbms.com/general/how-it-works/>
- [35] E-DRIVE SOLUTION. *TE Connectivity – Buchse-HVP800-2Pol* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.e-drive-solution.de/produkt/te-connectivity-buchse-hvp800-2pol/>
- [36] AMPHENOL TUCHEL INDUSTRIAL. *Hlavní stránka společnosti* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.amphenol-industrial.de/en>
- [37] AMPHENOL TUCHEL INDUSTRIAL. *MSD Connectors – MSDM3502* [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.amphenol-industrial.de/en/MSDM3502>
- [38] SINRI. *Hlavní stránka společnosti* [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://sinri.en.alibaba.com/?spm=a2700.details.cordpanyb.4.be5170aaxM7eFy>

- [39] SINRI. *Battery Pack Protection Vent V700 waterproof explosion proof ventilation valve* [online]. [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/Battery-Pack-Protection-Vent-V700-waterproof_60747549107
- [40] ONEINDUSTRY - AUTOMOTIVE. *Jak správně zkombinovat závitové inzerty a pouzdra proti praskání plastů* [online]. [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://automotive.oneindustry.one/spirol-jak-spravne-zkombinovat-zavitove-inzerty-a-pouzdra-proti-praskani-plastu/>
- [41] SPIROL. *Inserts for plastics* [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: https://www.spirol.com/library/main_catalogs/SPIROL-Inserts-for-Plastics-us.pdf
- [42] SPIROL. *Compression limiters* [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: https://www.spirol.com/library/main_catalogs/cmpl_us.pdf
- [43] SPIROL. *Hlavní stránka společnosti* [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.spirol.com/>
- [44] SPOJOVACÍ-MATERIÁL.NET. *Šroub válcová hlava - imbus DIN 912 M5x25 nerez A2* [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net/sp/srouby/valcova-a-zaoblana-hlava/valcova-imbus-din-912/nerezova-ocel/a2/sroub-valcova-hlava-inbus-din-912-m5x25-nerez-a2-12371.html>
- [45] SPOJOVACÍ-MATERIÁL.NET. *Podložka plochá pod válcovou hlavu DIN 433 M5 / 5,3 nerez A2* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net/sp/podlozky/ploche/din433-pod-valcovou-hl/nerezova-ocel/a2/podlozka-plocha-pod-valcovou-hlavu-din-433-m5-5-3-nerez-a2-15716.html>
- [46] EHLINIK.CZ. *Hlavní stránka společnosti* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/>
- [47] EHLINIK.CZ. *Základní technické informace* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf>
- [48] ZASLEPKY.CZ. *Záslepka obdélníková 40x20 černá erodované* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.zaslepky.cz/zaslepka-obdelnikova-40x20-cerna-erodovane>
- [49] ZASLEPKY.CZ. *Záslepka obdélníková 60x40 černá leštěná* [online]. [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.zaslepky.cz/zaslepka-obdelnikova-60x40-cerna-lestena>
- [50] GUMEX. *T130 EP - mikroporézni pryž se samolepkou S-4610 s mřížkou* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/h/t130-ep-mikroporezni-pryz-se-samolepkou-s-4610-s-mrizkou-06107?Filter=True>
- [51] GUMEX. *Hlavní stránka společnosti* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/>

- [52] MATERIAL PROPERTIES DATABASE. *6060-T66 Aluminum* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6060-T66-Aluminum>
- [53] MATERIAL PROPERTIES DATABASE. *6082-T651 Aluminum* [online]. [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6082-T651-Aluminum>
- [54] NĚMEČEK, Pavel. *Teorie vozidel - Jízdní odpory* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:2779>
- [55] SCHOLZ, Celestýn. *Základy teorie vozidel a vozidlových motorů* [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1998/ZVM-13pr.pdf>

Seznam příloh

Příloha 1: Návrhy uspořádání modulů

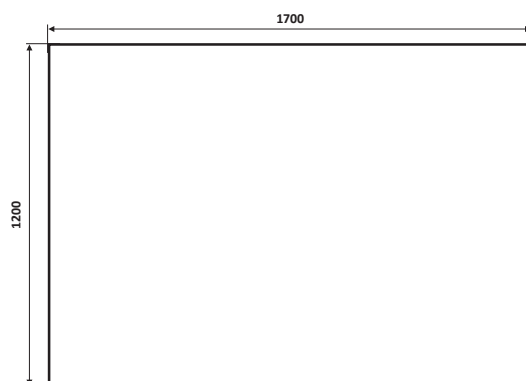
Příloha 2: Výkresová dokumentace

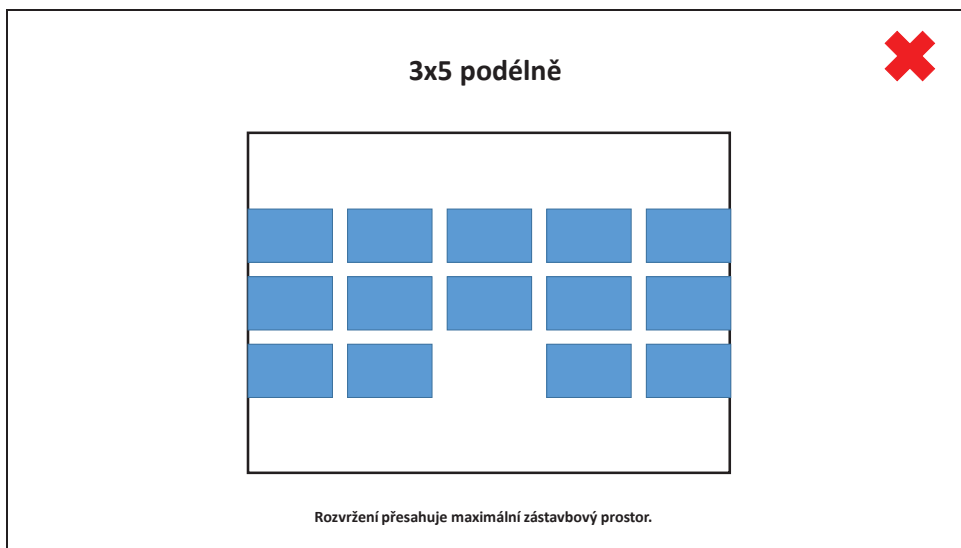
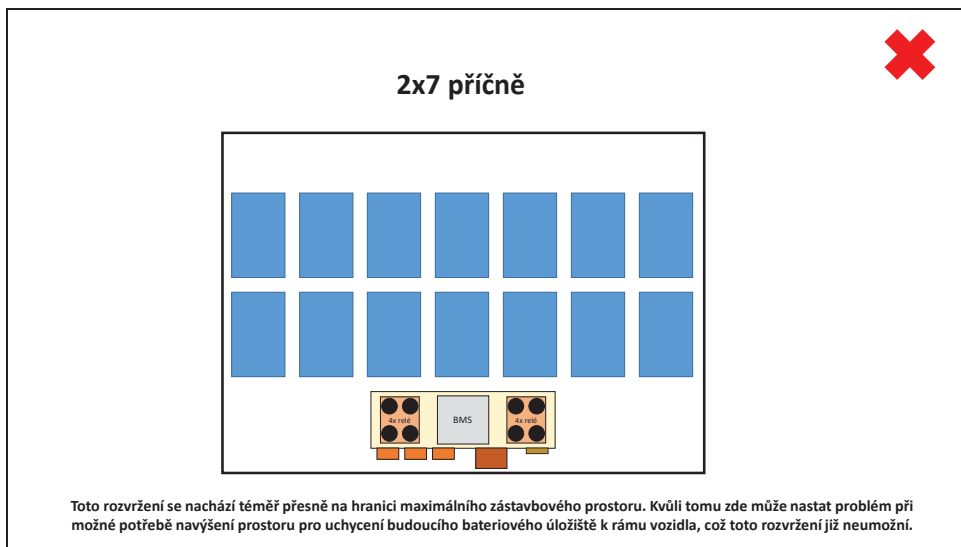
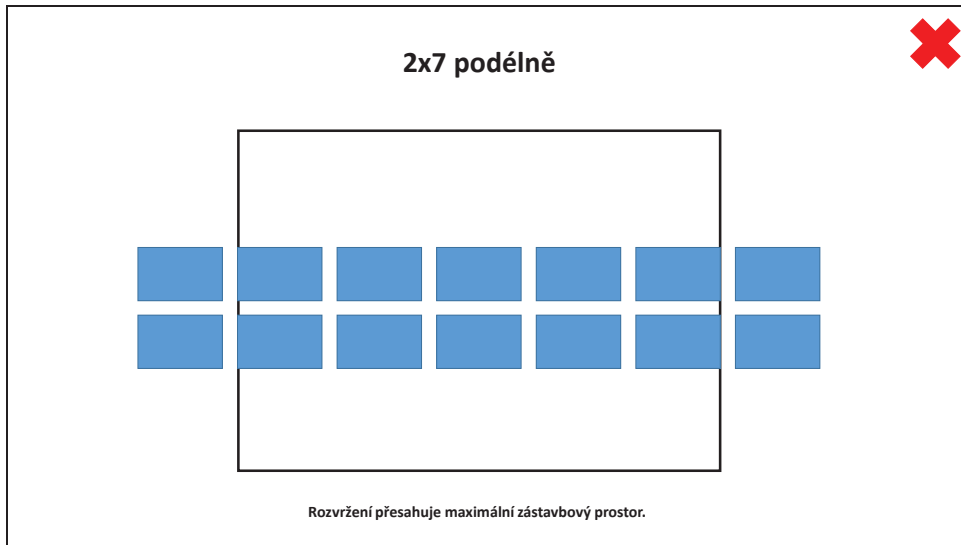
Příloha 3: CD-ROM

Příloha 1: Návrhy uspořádání modulů

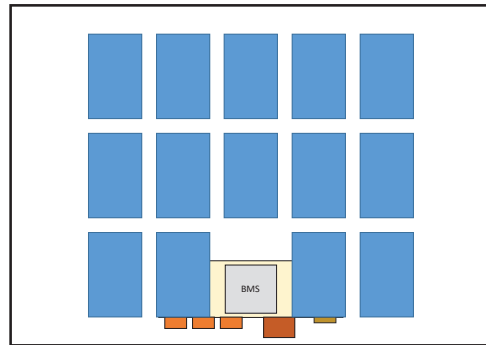
Návrh modulů s rozložením článků 7x2

Rozměry maximálního zástavbového prostoru



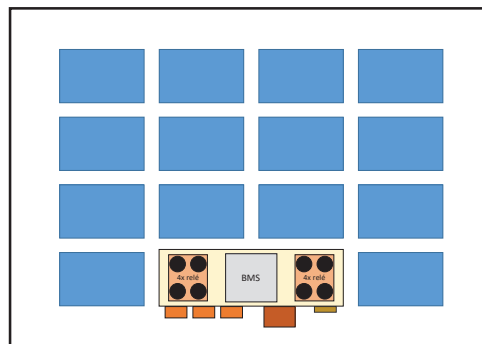


3x5 příčně



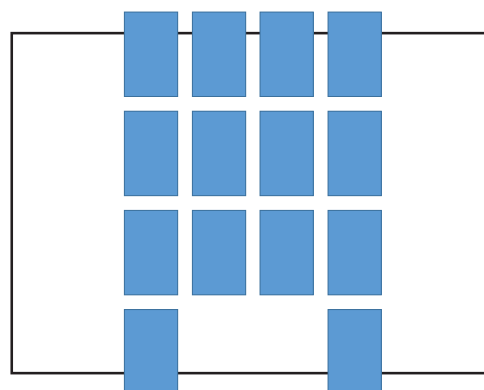
Rozvržení disponuje nedostatečným prostorem pro příslušenství.

4x4 podélně



Vyhovující rozvržení detailněji popsáno v kapitole 4.3.

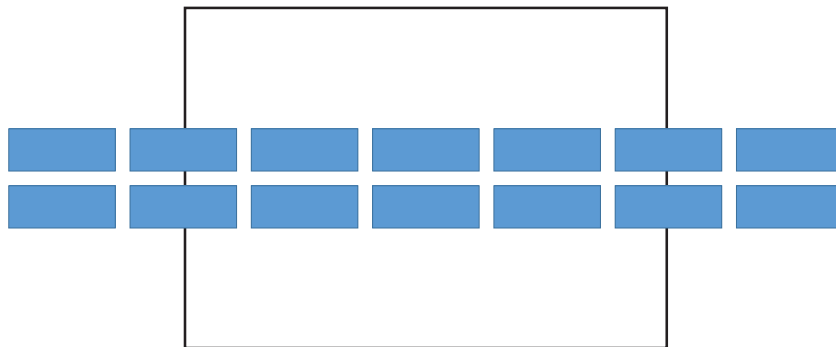
4x4 příčně



Rozvržení přesahuje maximální zástavbový prostor.

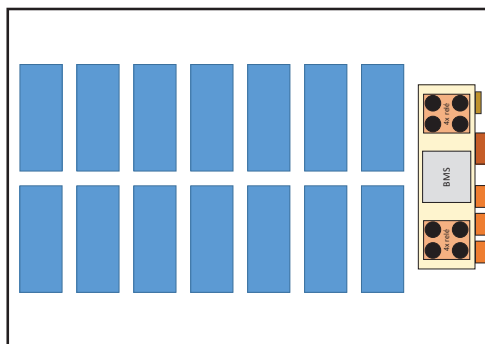
Návrh modulů s rozložením článků 14x1

2x7 podélně



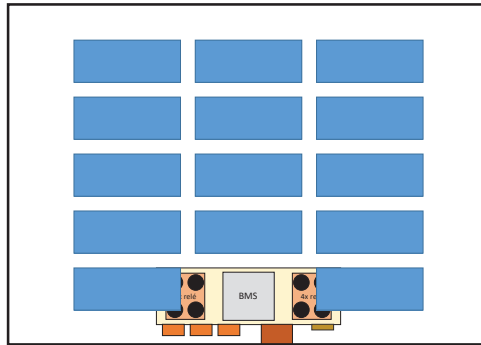
Rozvržení přesahuje maximální zástavbový prostor.

2x7 příčně



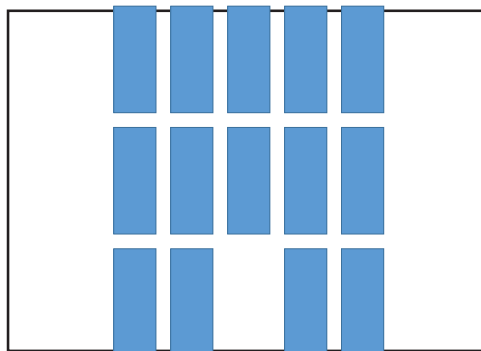
Místo určené pro zástavbový prostor příslušenství zde není efektivně využito. Z kapitoly 4.2.4 víme, že v případě potřeby uvedení vozidla do servisního režimu, je nezbytné odpojit vrchní část odpojovače. Ta musí být dobře přístupná, což toto rozvržení neumožňuje, jelikož by se odpojovač vysouval do prostoru elektromotoru jedné z náprav.

3x5 podélně



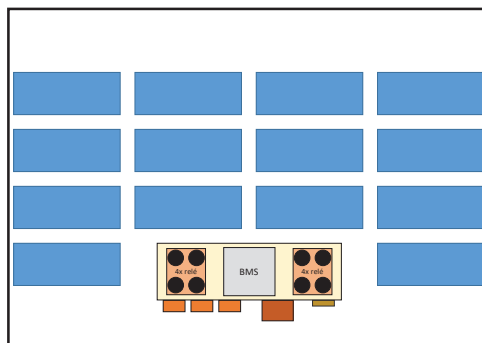
Rozvržení disponuje nedostatečným prostorem pro příslušenství.

3x5 příčně

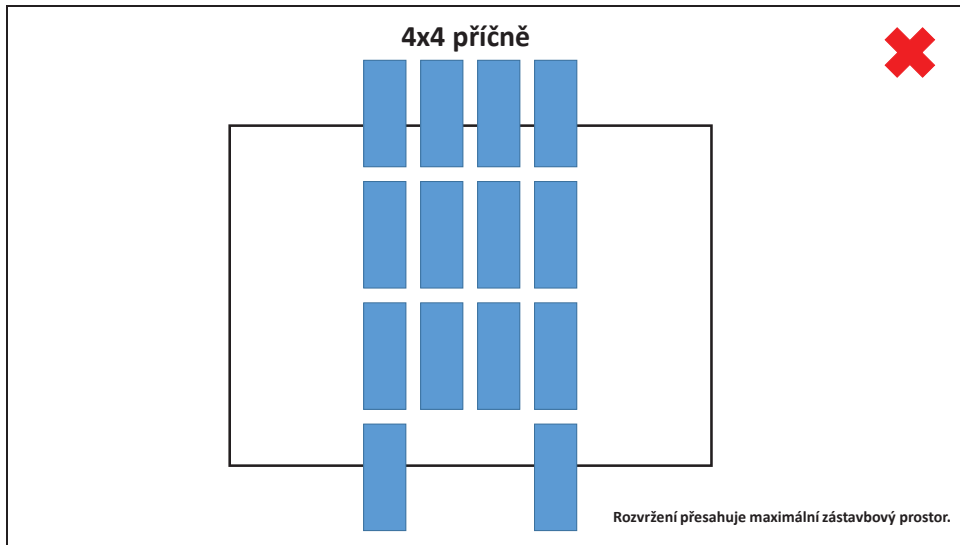


Rozvržení přesahuje maximální zástavbový prostor.

4x4 podélně



Toto rozvržení nemá dostatečný prostor pro konstrukci okolního rámu budoucího bateriového úložiště. Místo určené pro zástavbový prostor příslušenství zde není efektivně využito. Zástavbový prostor příslušenství zároveň vyčnívá z obdélníkového tvaru uspořádání modulů, což by mělo za následek složitou konstrukci budoucího bateriového úložiště.



Příloha 2: Výkresová dokumentace

Výkres:	Název:
DP-01-001	Základní rám - sestava
DP-01-002	Základní rám - svařování
DP-01-003	Základní rám - obrábění
DP-02-001	Boční zakrytování - sestava
DP-02-002	Boční zakrytování - svařování
DP-02-003	Boční zakrytování - obrábění
DP-03-001	Spodní část úložiště - sestava
DP-03-002	Spodní část úložiště - svařování
DP-04-001	Vrchní zakrytování - sestava
DP-04-002	Vrchní zakrytování - svařování
DP-04-003	Vrchní zakrytování - obrábění
DP-05-001	Bateriové úložiště - sestava

Příloha 3: CD-ROM

Obsah přiloženého CD-ROM:

- Diplomová práce v elektronické podobě ve formátu PDF
- 3D CAD model sestavy bateriového úložiště ve formátu PDF U3D a STEP
- Výkresová dokumentace ve formátu PDF