



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

DESIGN AUTONOMNÍHO ROBOTA NA ČIŠTĚNÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ

DESIGN OF AUTONOMOUS ROBOT FOR CLEANING SOLAR PANELS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Kuchárik

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav konstruování |
| Student: | Bc. Martin Kuchárik |
| Studijní program: | Aplikované vědy v inženýrství |
| Studijní obor: | Průmyslový design ve strojírenství |
| Vedoucí práce: | doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. |
| Akademický rok: | 2022/23 |

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Design autonomního robota na čištění solárních panelů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Mezi současné trendy výroby elektrické energie patří mimo jiné i forma výroby z obnovitelných zdrojů, a to za pomoci fotovoltaických elektráren. V posledních letech zaznamenáváme signifikantní růst v dané oblasti, který za předpokladu dosažení dekarbonizace bude růst i nadále. Pro maximální efektivnost a nejvyšší možný výkon dosažený fotovoltaikou slouží k údržbě elektráren robotické čističe, které se starají o údržbu povrchu solárních panelů. Design současné produkce těchto zařízení má velmi proměnlivou úroveň daný většinou funkčním a konstrukčním řešením jednotlivých prvků přístroje. Tento stav otevírá nové možnosti pro návrh moderního a specifického designu.

Typ práce: vývojová – designérská

Výstup práce: aplikovaný výsledek (Fužit, Fprum, Gprot, Gfunk, R)

Projekt: specifický vysokoškolský výzkum

Cíle diplomové práce:

Cílem projektu je návrh designu robotického čističe solárních panelů, který bude inovativní, nadčasový a bude splňovat estetické, ergonomické a technologické předpoklady. Robot je určen pro sériovou výrobu.

Díličí cíle diplomové práce:

- analyzovat současný stav a identifikovat vhodné směry pro návrh designu,
- navrhnout design robota, který bude respektovat důsledně zaměření, funkci a ergonomii obsluhy,
- realizovat prezentační model robota v měřítku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster, technický poster, ergonomický poster, designérský poster, fotografie modelu, fyzický model.

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/magisterske--studium--ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120.

FIELL, Charlotte a Peter FIELL (eds.). Designing the 21st century: design des 21. Jahrhunderts Le design du 21 siècle. Köln: Taschen, c2001. ISBN 3-8228-5883-8.

LIDWELL, William. a Gerry. MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 1592533450.

NORMAN, Donald A. Emotional design: why we love (or hate) everyday things. New York: Basic Books, 2005. ISBN 0-465-05136-7.

PELCL, Jiří. Design: od myšlenky k realizaci = from idea to realization. V Praze: Vysoká škola uměleckoprůmyslová v Praze, c2012. ISBN 978-80-86863-45-0.

THOMPSON, Rob. a Young Yun. KIM. Product and furniture design. New York: Thames & Hudson, 2011. Manufacturing guides. ISBN 0500289190.

KULA, Daniel, Elodie TERNAUX a Quentin HIRSINGER. c2012. Materiology: průvodce světem materiálů a technologií pro architekty a designéry. Praha: Happy Materials. ISBN 978-80-260-0538-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Témou diplomovej práce je návrh konceptu autonómneho robota určeného na čistenie fotovoltaických panelov v solárnych parkoch. Návrh má byť reakciou na aktuálne dianie na trhu, ktoré hovorí o exponenciálnom raste výstavby fotovoltaiky vo svete, čo je zapríčinené prechodom na obnoviteľné zdroje výroby elektrickej energie. Solárne panely si vyžadujú pravidelnú údržbu, na čo slúžia čistiace roboty, ktoré však majú v súčasnosti premenlivú podobu. Práca si dáva za cieľ vytvoriť koncept inovatívneho univerzálneho čistiaceho vozidla s autonómnym pohonom využívajúcim zelené zdroje energie. Diplomová práca predkladá návrh s dôrazom na ekológiu, estetiku, účelovosť a intuíciu používania.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

solárny panel, kontaminácia, čistenie, fotovoltaická elektrárň, autonómny robot

ABSTRACT

The main objective of the diploma thesis is the design of the concept of an autonomous robot intended for the cleaning of photovoltaic panels in solar parks. The proposal aims to respond to current market events, which demonstrate that the global shift to renewable sources of energy goes in line with the exponential growth of photovoltaic construction. Solar panels require regular maintenance, and that is what cleaning robots are used for, yet they currently have a variable form. The diploma thesis focuses on creating a concept of an innovative versatile self-driving cleaning vehicle powered by sustainable energy sources. The proposal introduced within this diploma thesis takes ecological aspects into consideration with the emphasis on aesthetics, purposefulness and intuitive usage.

KEYWORDS

solar panel, contamination, cleaning, photovoltaic power plant, autonomous robot

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KUCHÁRIK, Martin. *Design autonomního robota na čištění solárních panelů* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149829>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som sa rád poďakoval doc. akad. soch. Ladislavovi Křenkovi, ArtD., za odborné vedenie práce a za cenné rady a pripomienky. Za odbornú pomoc by som sa rovnako rád poďakoval Ing. Danielovi Zuthovi, Ph.D. Poďakovanie za podporu popri štúdiu patrí mojej rodine, blízkym priateľom a bytu na Grohovej ulici v Brne.

PREHLÁSENIE AUTORA O PÔVODNOSTI PRÁCE

Prehlasujem, že diplomovú prácu som vypracoval samostatne, pod odborným vedením doc. akad. soch. Ladislava Křenka, ArtD. Súčasne prehlasujem, že všetky zdroje obrazových a textových informácií, z ktorých som čerpal, sú riadne citované v zozname použitých zdrojov.

.....

Podpis autora

OBSAH

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 13 |
| 2 | PREHLAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA | 14 |
| 2.1 | Rešeršné metódy | 14 |
| 2.2 | Výskum | 15 |
| 2.3 | Rešerš | 18 |
| 2.3.1 | Motivačná analýza | 18 |
| 2.3.2 | Designérska analýza | 22 |
| 2.3.3 | Technická analýza | 31 |
| 2.4 | Zhrnutie hlavných zistení | 39 |
| 2.5 | Identifikácia novosti a príležitostí | 40 |
| 3 | CIELE PRÁCE | 41 |
| 3.1 | Vymedzenie problému | 41 |
| 3.1.1 | Názov produktu a jeho klasifikácia | 41 |
| 3.1.2 | Špecifikácia zákazníka a spotrebiteľa | 41 |
| 3.1.3 | Možný trh, cena a použité výrobné technológie | 42 |
| 3.1.4 | Vymedzenie atribútov a cieľov produktu | 42 |
| 3.2 | Ciele vývoja | 44 |
| 4 | KONCEPČNÝ NÁVRH | 45 |
| 4.1 | Analýza cieľov a špecifikácia obmedzení | 45 |
| 4.2 | Technická funkčná analýza | 46 |
| 4.3 | Návrh alternatívnych riešení | 49 |
| 4.3.1 | Varianta I | 50 |
| 4.3.2 | Varianta II | 52 |
| 4.3.3 | Varianta III | 54 |
| 4.4 | Analýza alternatívnych riešení a výber najlepšieho | 56 |
| 5 | PREDBEŽNÝ NÁVRH | 57 |
| 5.1 | Určenie tvarov, rozmerov a materiálov | 57 |
| 5.1.1 | Zvolené predbežné rozmery | 57 |
| 5.1.2 | Zvolené materiály a spôsoby výroby | 57 |
| 5.2 | Odhad výrobných nákladov | 58 |
| 5.2.1 | Odhad ceny jednotlivých komponentov a celkovej ceny | 58 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 5.2.2 | Predpokladaný objem výroby | 58 |
| 5.2.3 | Matematický model | 59 |
| 6 | DETAILNÝ NÁVRH | 61 |
| 6.1 | Tvarové riešenie | 61 |
| 6.1.1 | Design, proporcie a kompozícia | 61 |
| 6.2 | Konštrukčne technologické riešenie | 65 |
| 6.2.1 | Rozmerové riešenie | 65 |
| 6.2.2 | Vnútorne usporiadanie a deliace roviny | 65 |
| 6.2.3 | Pohyb, osvetlenie a senzory | 66 |
| 6.2.4 | Ovládacie prvky a nabíjanie | 69 |
| 6.2.5 | Robotické rameno a čistiaca hlavica | 72 |
| 6.2.6 | Proces čistenia | 76 |
| 6.3 | Ergonomické riešenie, bezpečnosť a hygiena | 79 |
| 6.4 | Farebné a grafické riešenie | 83 |
| 6.4.1 | Farebné riešenie produktu | 83 |
| 6.4.2 | Grafické riešenia loga | 85 |
| 6.4.3 | Grafické riešenie aplikácie | 86 |
| 6.5 | Udržateľnosť produktu | 88 |
| 6.6 | Hodnotenie kľúčových parametrov | 89 |
| 7 | ZÁVER | 90 |
| 8 | VÝSLEDOK VÝSKUMU PODEĽA RIV | 91 |
| 9 | ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV | 92 |
| 10 | ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN | 95 |
| 11 | ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV | 96 |
| 12 | ZOZNAM TABULIEK | 99 |
| 13 | ZOZNAM PRÍLOH | 100 |

1 ÚVOD

Vzhľadom na to, že zmena klímy a globálne otepľovanie predstavujú hrozbu pre budúcnosť našej planéty, je stále naliehavejšie hľadať udržateľné metódy, ako uspokojiť naše energetické potreby. Medzi najefektívnejšie spôsoby prechodu na obnoviteľné a neznečisťujúce zdroje energie patrí využitie slnečnej energie na výrobu elektriny pomocou solárnych panelov. Rastúci záujem v obnoviteľných zdrojoch energie viedlo k tomu, aby fotovoltaický priemysel expandoval a očakáva sa, že bude v tomto trende aj naďalej pokračovať.

Solárne panely predstavujú výhodné riešenie vzhľadom na ich účinnosť a nízke nároky na údržbu, keďže nemajú žiadne pohyblivé časti. Napriek tomu môže ich účinnosť klesnúť v prípade hromadenia prachu, špiny a iných nečistôt, a teda pri neudržiavanom povrchu. Husté nánosy nečistôt bránia slnečnému žiareniu dopadať na povrch panelov a znižujú tak celkový výkon. V extrémnych prípadoch boli zaznamenané poklesy v efektívnosti solárnych panelov až do výšky 40 %, v bežných prípadoch sa jedná o poklesy o zhruba 10 až 20 %. Pre zachovanie maximálnej účinnosti pri výrobe energie je preto potrebné fotovoltaické moduly pravidelne čistiť. Manuálne čistenie je však časovo náročné, menej efektívne a môže byť nebezpečné.

V súčasnosti sa na údržbu fotovoltaických panelov často využívajú roboty, ktoré jazdia po povrchu solárnych panelov, prípadne po zemi, na ktorej sú panely namontované, a vykonávajú údržbu čistiacou hlavicom za pomoci rotujúcich kief. Design týchto robotov je určený a podriadený konštrukčnými časťami a estetická stránka produktu býva častokrát potláčaná. Navyše sa nezohľadňuje potenciálna možnosť proces zautomatizovať a v konečnom výsledku zefektívniť výkon práce.

Vývoj v oblasti autonómnych vozidiel priniesol novú éru vo vykonávaní niektorých pracovných úkonov. V špecializácii robotických čističov nastali v posledných rokoch posuny a vývoj je na začiatku svojho rastu. Pokus o uchopenie tejto príležitosti a spojenie s novým pohľadom na riešenie danej problematiky bolo stavebným kameňom tejto diplomovej práce.

Hlavným cieľom tejto práce je navrhnúť práve inovatívne vozidlo jazdiace medzi solárnymi modulmi v riadkoch a stĺpcoch autonómne bez nutnosti zásahu operátora. Úlohou tohto stroja bude čistenie fotovoltaických panelov za pomoci vody a skladacieho ramena, na ktorom konci sú uložené rotujúce kefy vykonávanie prečistenie zaneseného povrchu.

Finálny produkt rešpektuje životné prostredie, podporuje alternatívne zdroje elektrickej energie a dbá na bezpečnosť vo svojom okolí. V závere práce je naznačený smer ďalšieho možného vývoja produktu v blízkej budúcnosti.

2 PREHL'AD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

2.1 Rešeršné metódy

Cieľom na začiatku práce bolo zhromaždiť informačné zdroje, ktoré poskytnú dostatočne rozsiahly prehľad potrebný pre celkové aj podrobnejšie porozumenie riešenej problematiky.

Započiatu vyhľadávania relevantných zdrojov pre túto prácu predchádzala formulácia rešeršného požiadavku, čo viedlo k vytvoreniu zoznamu nasledovných kľúčových slov: „photovoltaic panel/ fotovoltaický panel“, „solar power plant/ solárna elektrárňa“, „contamination/ kontaminácia“, „cleaning/ čistenie“, „autonomous robot/ autonómny robot“.

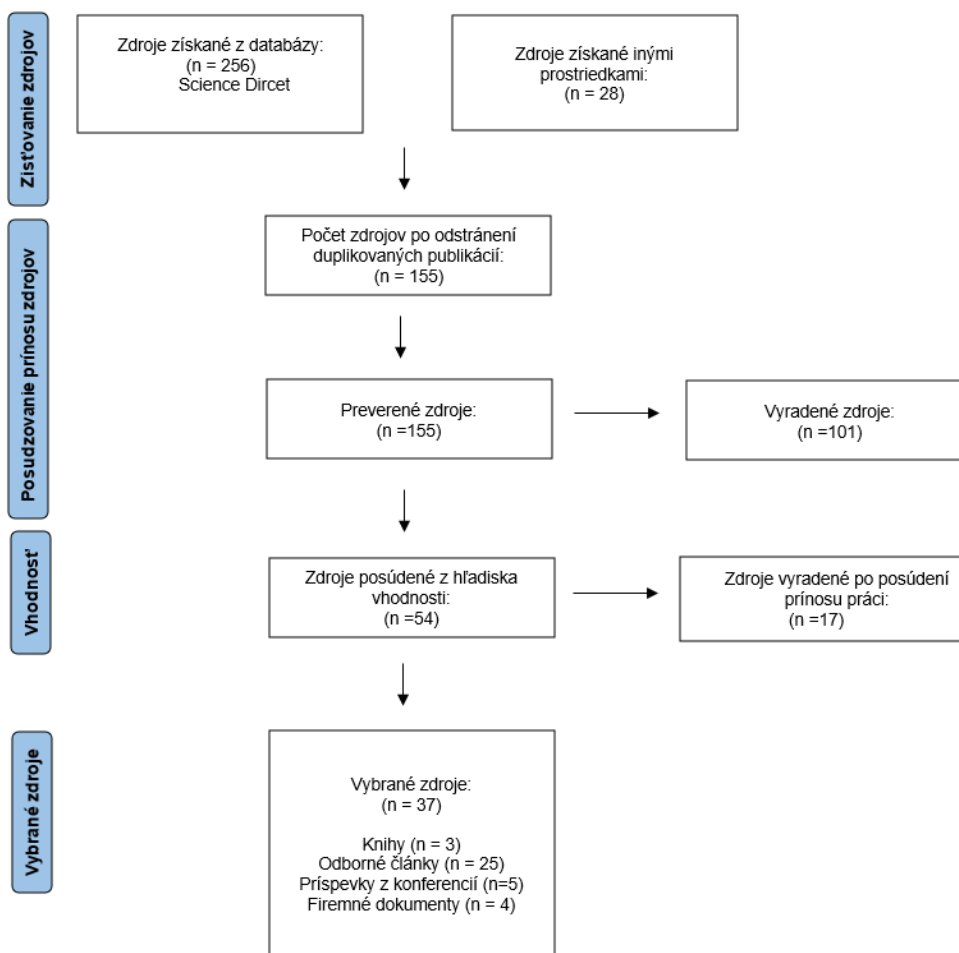
Uskutočnené boli vyhľadávania v niekoľkých kľúčových akademických databázach pomocou kľúčových slov súvisiacich s „fotovoltaickým panelom“ a „čistením“ za pomoci „autonómneho robota“. Následným krokom bolo výber informačného zdroja. Použité boli vyhľadávacie platformy ako Science Direct, Elsevier, Scopus, IEEEExplore alebo Google Scholar.

Ako primárne a sekundárne zdroje boli vybraté druhy zdrojov ako odborné články, knihy, patenty, webové stránky existujúcich výrobcov. Dôležitým kritériom pri posudzovaní relevantnosti zdrojov bol rok vydania. pri posudzovaní relevantnosti firiem existujúcich produktov hrala rolu aktuálnosť pôsobenia. Stanovený bol limit roku vydania od roku 2005, napriek tomu sa relevantné zdroje začali vyskytovať až od roku vydania 2010.

Pre kombináciu a voľbu logiky selekčných termínov boli použité rešeršné stratégie rastúcej perly a stavebných kameňov. Pre dosiahnutie širokého spektra výsledkov a zdrojov prebiehalo vyhľadávanie v anglickom jazyku.

Vybranými stratégiami bolo následne nájdených 284 publikácií a súvisiacich zdrojov. Po odstránení duplicitných zdrojov ostalo v databáze 155 zdrojov, ktoré potom prešli kontrolou a podrobným rozborom, kde sa posudzovala nevhodnosť a taktiež, či spĺňajú požiadavky rešerše a môžu byť zahrnuté do výsledkov vyhľadávania. Pri výbere zdrojov sa posudzovala aj kvalita zdrojov, odbornosť a taktiež aj citovanie.

Pre spracovanie dát, roztriedenie a lepší prehľad bol použitý citačný manažér Mendeley. Výsledky boli roztriedené do kategórií a skupín podľa krajiny pôvodu, druhu zdroja a roku vydania.



obr. 2-1 Vývojový diagram Prisma

2.2 Výskum

Pozorovanie fotovoltaickej elektrárne FVE Brno-Tuřany

V rámci výskumu prebehla návšteva a pozorovanie 4. najväčšej fotovoltaickej elektrárne v Českej republike. Konkrétne sa jedná o elektrárň Brno-Tuřany, ktorá patrí pod investičnú skupinu Jufa – s hlavnou činnosťou okolo energetiky – a ktorá disponuje celkovým výkonom cca 21,6 MW. [1] Z pozorovania vzišli zistenia, ako napríklad: panely sú na pevnom rovinnom povrchu, ktorý je prejazdný aj väčším vozidlom; medzi panelovými riadkami je rozstup 6 m a medzi stĺpcami 5 m; fotovoltaické moduly sa nachádzajú na pevnej konštrukcii v dvoch, prípadne troch riadkoch; výmer jedného solárneho modulu je 1,5 m na výšku a 0,9 m na šírku; na paneloch sa nachádzali bežné usadeniny ako napríklad prach, mach, exkrementy a iné nečistoty.



obr. 2-2 Rozostupy medzi stĺpcami – FVE Brno-Tuřany



obr. 2-3 Dva solárne moduly na hliníkovej konštrukcii – FVE Brno-Tuřany

Rozhovory

V rámci výskumu boli prevedené rozhovory s rôznymi spoločnosťami a ich zástupcami, ktorí sa pohybujú v sektore fotovoltaiky. Kľúčové zistenia a informácie boli zhrnuté do textu.

Prvou spoločnosťou bola Eisner Nanosun pôsobiaca v Českej republike, no fotovoltaické panely čistí najmä po Európe. Z rozhovoru vyplynulo niekoľko zistení, ako napríklad: nie je pravda, že solárne panely sú samo-umývacie, k údržbe musí dochádzať pravidelne; výkon elektrárni dokazuje pri znečistenom povrchu panelov straty 10 % až 20 %; v ojedinelých prípadoch sa jednalo až o 40% straty; pred čistením sa o solárnej elektrárni zisťuje rok postavenia, kedy bola naposledy čistená, aký majú solárne moduly sklon, či je v elektrárni prípojka elektrického prúdu a zdroj vody; pri chýbajúcom zdroji vody sa voda kupuje od vodárne; voda používaná na čistenie prechádza filtračným procesom, tzv. demineralizáciou, kvôli zbaveniu sa vodného kameňa a nečistôt; na filtrovanie sa používa živica, ktorá vodu zmäkčuje; na čistenie sa nepoužíva žiadny saponát ani chemický prípravok; čistenie je dvojaké, a to buď ručné rotačnými kefami a tlakovou hadicou, alebo robotmi ovládanými pracovníkmi; 100 000m² plochy je pri pravidelnom čistení raz za rok čistených zhruba 14 dní; po celej Európe vykonáva firma čistenie za pomoci vody, suché čistenie prebieha vo vyprahnutých oblastiach ako Spojené Arabské Emiráty a podobne.

Druhá oslovená firma nesie názov Hravag s.r.o. Je to spoločnosť zaoberajúca sa aj údržbou fotovoltaických modulov pôsobiaca najmä v Českej republike, no rozširuje svoje pôsobenie aj do zahraničia. Z rozhovoru vyplynulo niekoľko nových zistení: nanotechnológie sú finančne nevýhodné používať na čistenie modulov, v niektorých prípadoch vychádza takéto čistenie 3-krát drahšie ako čistenie vodou; za deň sa dokáže vyčistiť maximálne 1 MW; panely sú rôzne inštalované, vo väčšine prípadoch nepresahujú na výšku 4 m; panel je možno položiť aj horizontálne a umiestniť tak nad seba viacero kusov; za deň sa spotreba vody počíta do 3m³; zhruba dvakrát do roka by mala prebiehať revízia solárnej elektrárne.

Z ďalších dvoch rozhovorov nevzišli nové zistenia, až na potvrdenie informácie o prebiehajúcom rozvoji autonómity v oblasti údržby solárnych parkov, ktorá však z dôvodu mlčanlivosti nemohla byť bližšie špecifikovaná, a teda tieto rozhovory nebudú pre účely výskumu v práci použité.

Následne prebehlo s marketingovým zástupcom firmy Krannich Solar s.r.o. osobné stretnutie. Firma má celosvetový dosah a zameriava sa na globálnu distribúciu fotovoltaiky. V súčasnosti má na starosti približne tretinu svetovej distribúcie trhu v oblasti fotovoltaiky. Z rozhovoru bol vyhotovený prehľad o bežných objednávkach solárnych panelov rôznymi spoločnosťami; o lokáciách a rozložení súčasných stavaných solárnych elektrární; o aktuálnej ponuke produktov týkajúcich sa solárnej energie na trhu a podobne.

2.3 Rešerš

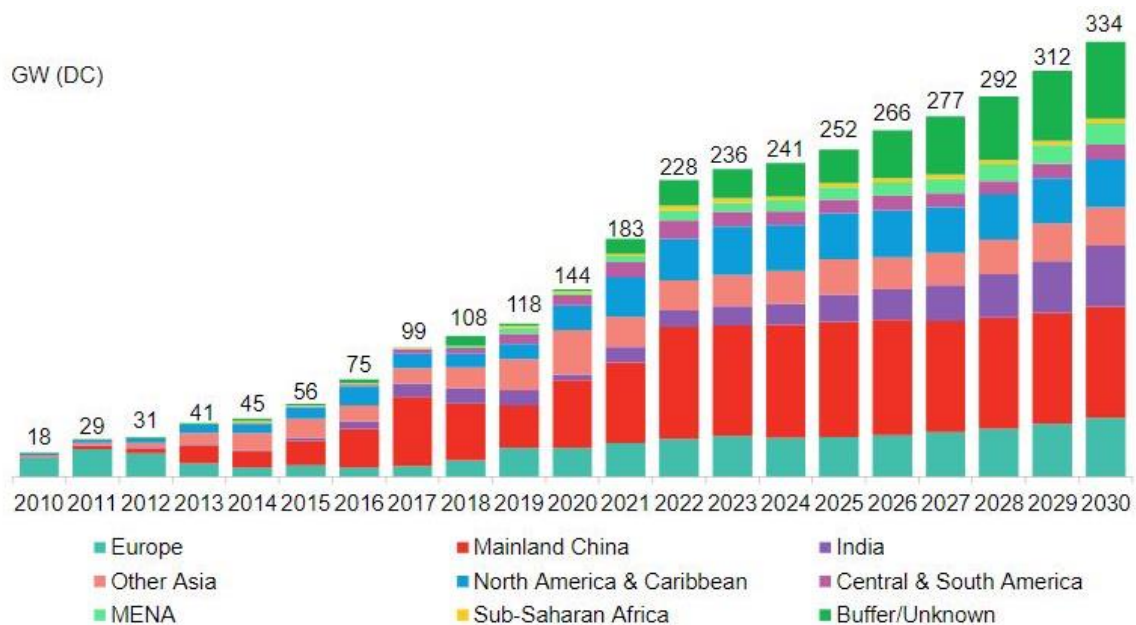
Táto prehľadová kapitola si kladie za cieľ systematicky rozobrať zdroje a publikácie súvisiace s fotovoltaickými parkami a ich údržbou. Rovnako sa bude zaoberať poklesom efektivity pri znečistených povrchoch solárnych článkov a naopak o náraste pri udržiavanom povrchu panelov. Predmetom budú aj publikácie o robotických čističoch a o spôsobe čistenia.

Celková analýza súčasného stavu poznania bola kategorizovaná do troch oblastí. Prvá kategória zahrňovala zdroje zamerané na motiváciu, ktoré poskytovali informácie a argumenty pre potrebu produktu, ktorý je v tejto práci vyvíjaný. Druhá kategória sa týka designárskej analýzy súčasného stavu na trhu, zatiaľ čo tretia kategória bola venovaná technickej analýze. V niektorých prípadoch sa informácie zo získaných zdrojov prekrývajú z pohľadu jednotlivých kategórií a súvisia s viacerými naraz.

2.3.1 Motivačná analýza

K súčasným trendom v energetike a v energetickom priemysle u jednotlivých štátoch patrí prechod k obnoviteľným a zeleným zdrojom výroby elektrickej energie. Európska únia má do rokov 2030 a 2050 ciele, v ktorých sa hovorí o pretransformovaní a dekarbonizovaní energetického systému. [2] Najmä z dôvodu vysokého tlaku na kompetentných predstaviteľov v oblasti ochrany životného prostredia sa dá predpokladať o pokračovaní v tomto rastúcom trende aj v budúcnosti. V jednotlivých sekciách formy výroby energie z obnoviteľných zdrojov sa očakáva prudký nárast pre splnenie práve stanovených cieľov.

Solárna energia zo slnka získavaná prostredníctvom solárnych panelov je jednou z foriem energie spomínaných v tejto práci. Posledné roky zaznamenávame exponenciálny rast v tomto sektore a výhľady hovoria len o ďalšom prehľbovaní tohto charakteru. [3] Preto možno predpokladať, že trh, pre ktorý je produkt v tejto práci vyvíjaný, sa bude v najbližších rokoch rozrastať a dopyt po produkte sa môže len zvyšovať.



obr. 2-4 Globálny rast a predpovede výstavby PV k januáru 2022 [3]

Vo svete rastie výstavba solárnych parkov a fotovoltaických elektrární. Sú to parky o väčších rozmeroch, v ktorých sú vedľa seba nainštalované veľké panely s fotovoltaickými článkami. Panely sú v priestore rozmiestnené v radoch a stĺpoch najčastejšie s pravidelnými rozstupmi. Priestory a ich okolie, do ktorých sa solárne parky inštalujú, musia byť slnečným lúčom priepustné, aby nekryli solárne panely a netienili ich. Tu však vzniká problém, pre ktorý parky strácajú na svojej efektívite. Na povrchu solárnych panelov sa usádzajú nečistoty, prach, listy a iné časti rastlín, no taktiež aj exkrementy. Práve pre otvorenosť priestorov, do ktorých sú parky usádzané, nie sú v okolí objekty, ktoré by zachytávali spomenuté nečistoty.

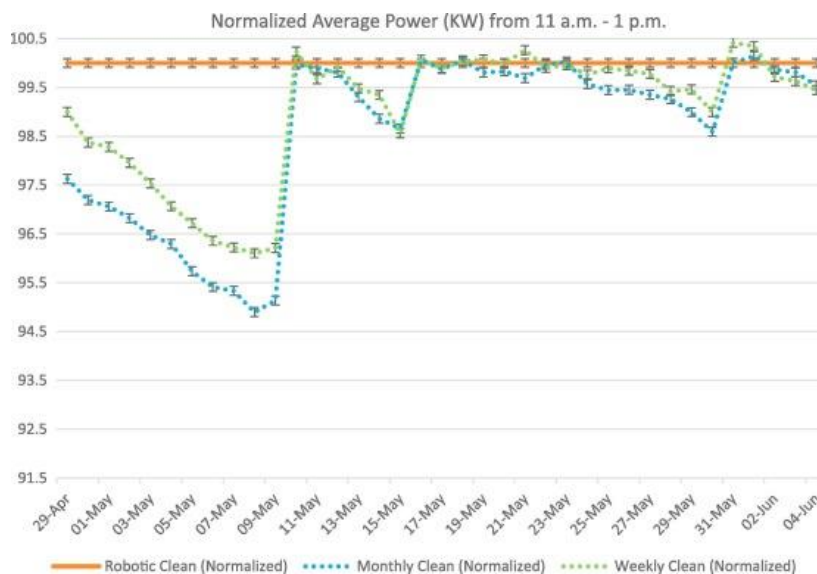
Článok „Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules“ z roku 2011, ktorý má 239 citácií, sa zaoberal štúdiou, ktorá prebehla v Číne. Hovorí o tom, ako znečistenie vplýva na zníženie efektivity solárnych panelov. Konkrétne hovorí o tom, ako prachové znečistenie s veľkou hustotou od 0 do 22 g/m² je zodpovedné za redukciu efektivity výkonu fotovoltaických článkov od 0 do 26 %. Taktiež tvrdí, že medzi redukciou efektivity a hustotou znečistenia je lineárna závislosť. [4]

tab. 2-1 Ročná strata finančných nákladov na efektívite v dôsledku znečistenia [5]

| Veľkosť solárneho parku (MW) | Ročná strata finančných nákladov na efektívite v dôsledku znečistenia | | | |
|---------------------------------|---|--------------|--------------|--------------|
| | 5% | 10% | 15% | 20% |
| 0,1 | 735 € | 1 470 € | 2 205 € | 2 940 € |
| 0,5 | 3 675 € | 7 350 € | 11 025 € | 14 700 € |
| 1 | 7 350 € | 14 700 € | 22 050 € | 29 400 € |
| 5 | 36 750 € | 73 500 € | 110 250 € | 147 000 € |
| 10 | 73 500 € | 147 000 € | 220 500 € | 294 000 € |
| 100 | 735 000 € | 1 470 000 € | 2 205 000 € | 2 940 000 € |
| 500 | 3 750 000 € | 7 350 000 € | 11 025 000 € | 14 700 000 € |
| 1000 | 73 500 000 € | 14 700 000 € | 22 050 000 € | 29 400 000 € |

„Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment“ je článok z roku 2016 a má 157 citácií. Mimo iného hovorí aj o tom, ako usádzanie prachu na povrchu fotovoltaiických solárnych moduloch znižuje výstupný výkon v porovnaní s rovnakými parametrami čistého modulu. Zistilo sa, že priemerná miera degradácie účinnosti solárnych modulov vystavených prachom je 6,24% pre dobu expozície jedného dňa, 11,8% pre dobu expozície jedného týždňa a 18,74% pre dobu expozície jedného mesiaca. [6]

Článok „Automated, robotic dry-cleaning of solar panels in Thuwal, Saudi Arabia using a silicone rubber brush“ z roku 2018 pojednáva o zlepšení výkonnosti panelov o zhruba 0,25% za deň pri pravidelnom čistení a suchý systém silikónových štetiniek, ktorým boli panely čistené, nijakým spôsobom nepoškodili povrch. [7]



obr. 2-5 Nárast efektivity pri pravidelnom čistení [7]

„Development of Mobile Robot System for Monitoring and Cleaning of Solar Panels“ je článok z roku 2022, v ktorom bol vyvinutý systém na čistenie panelov, ktorého výsledkom bol rozdiel medzi vyčisteným povrchom a povrchom zaneseným po dobu 30 dní zhruba 8,8 % vo výkone. [8]

V magazíne HIDRAULICA bol v roku 2014 rozobratý hydraulický systém namontovaný na vozidle, ktorým sa čistili fotovoltaické panely. Roztáčané boli kefy polohované paralelne s panelom, ktoré nonstop podliehali vyvažovaniu polohy kvôli nepresnostiam rozmiestnených panelov a terénnym nepravidelnostiam. Na hlavici sú umiestnené trysky, ktoré v kombinácii s kefami zabezpečujú umývanie PV vodným prúdom. [9]

Trh s robotickými čističmi je určitý druh sub-špecializácie vo fotovoltaickom sektore a pomaly sa rozrastá, avšak chýba v ňom istá ucelenosť a univerzálnosť. Len zriedka sú existujúce roboty navrhnuté tak, že sú aplikovateľné pre viac typov parkov. Oblasť čistiacich robotov, ktorá zahrňuje aj autonómne robotické vozidlá, je však stále málo preskúmaná a aplikovaná v súčasnosti. Predmetom tejto práce bude práve zameraný na tento druh výskumu.

V súčasnosti sa vykonáva údržba najčastejšie dvomi spôsobmi. Prvý spôsob je čistenie panelov za pomoci tlakovej umývačky, ktorú obsluhuje pracovník. Z hľadiska efektivity je druhý spôsob čistenia výhodnejší. Jedná sa o čistenie panelov za pomoci robotických čističov, ktoré sa buď priamo pohybujú na paneloch, alebo nepriamo prechádzajú pomedzi panely a ramenom vykonávajú údržbu. Roboty používajú rotujúce štetinky, ktoré buď na sucho alebo za pomoci čistiacej tekutiny udržiavajú povrch, v závislosti od prostredia a klímy, v ktorom sa fotovoltaická elektrárň nachádza.

2.3.2 Designérska analýza

Nasledujúca podkapitola sa zaoberá produktami, ktoré sa aktuálne vyskytujú na trhu, prípadne konceptami, ktoré boli v posledných rokoch predstavené. V niektorých prípadoch sa jedná o firmu, ktorá ponúka viacero riešení a v analýze je vybrané jedno zariadenie ako príklad.

Ecoppia E4-E4+

Ecoppia je svetová firma, v súčasnosti svetový líder v oblasti riešení robotického čistenia fotovoltiky.

Konkrétny model je autonómny bezvodný systém čistenia solárnych panelov využívajúci mäkké výkonné mikrovlnáka a riadený systém prúdenia vzduchu, ktorý posúva prachové častice smerom nadol preč z panelov.

Robotický čistič si vyžaduje vopred vybudovanú dráhu – konštrukciu – po ktorej jazdí v dvoch osiach. V jednej osi vykonáva robot horizontálny pohyb a v druhej vertikálny pod uhlom. Čistenie teda prebieha na výšku panelov. Konštrukcia musí byť súčasťou panelov, čo sa môže javiť z praktického hľadiska pre niektoré prípady solárnych parkov a ich údržbu ako neefektívny spôsob.

Prístroj pri čistení nezaťažuje panelový povrch a je teda dostatočne bezpečný z hľadiska opotrebovania krycieho skla. [10]



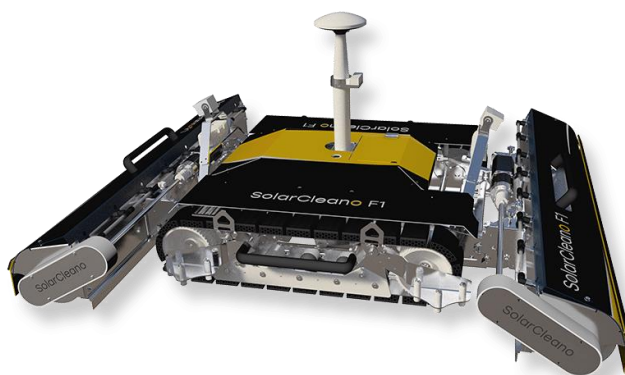
obr. 2-6 Ecoppia E4-E4+ [10]

SolarCleano F1A

SolarCleano je spoločnosť so sídlom v Luxembursku zaoberajúca sa inovatívnou robotikou pre priemysel čistenia solárnych parkov.

Prístroj vykonáva pohyb po povrchu panelov prostredníctvom posuvných pásov. Mnoho konštrukčných prvkov nie je krytých a sú exponované, čím časti robota môžu pôsobiť príliš odkryto a vzdušne. Model robota F1A sa ťažšie hodnotí z designového hľadiska, keďže sa jedná skôr o funkčný a konštrukčný počín. Vzhľad pôsobí celkom robustne a ťažkopádnym dojmom.

Robot sa premiestňuje medzi panelovými blokmi prostredníctvom transportéra, taktiež autonómne fungujúci robot, ktorý sa nastaví s plošinou vedľa solárneho modulu a robotický čistič na neho nabehne. Transportér ho odnesie na ďalší blok solárnych panelov a čistič pokračuje svoju činnosť na novom mieste. Ak treba predísť obsluhovaní čističov pracovníkmi, transportér sa javí ako dobré riešenie. Je to však mierne nepraktické, nakoľko robot vyžaduje pre prácu ďalšie externé zariadenie, na ktorom je závislý. [11]



obr. 2-7 SolarCleano F1A [11]

SolarCleano B1A

Prístroj opäť od luxemburskej spoločnosti SolarCleano, typovo odlišný od predchádzajúceho modelu. Tento stroj je v súčasnosti zatiaľ najväčší, najrýchlejší a najchytřejší robot, čo táto firma vyvinula.

Robot je navrhnutý tak, aby sa pohyboval na kolesách po povrchu, na ktorom sú uložené solárne panely, a s nastaviteľným ramenom, ktoré môže dosiahnuť solárne panely v rôznych uhloch, vykonáva čistenie. Základ robota je tvorený nohami na kolesách, ktoré umožňujú vykonávať autonómny pohyb v priestore. Na podstavu je napojené celé telo, ktoré tvorí len rámová konštrukcia, na bokoch zakrytovaná. Celý stroj tak pôsobí funkčným dojmom a nedisponuje prvkami, ktoré by niesli estetickú podobu. Hlavica ramena, ktorá vykonáva čistenie, je upnutá na dvoch posuvníkoch, ktoré dokážu regulovať náklon a výšku hlavice a prispôsobovať sa výške a sklonu solárnych modulov.

Hlavica s čistiacimi kefami je konfigurovateľná až na dĺžku do 6 metrov. [12]



obr. 2-8 SolarCleano B1A [12]

GEVA-BOT

Riešenie od spoločnosti, ktorá svoje produkty poskytuje po celom svete. Modelov majú niekoľko typov, v analýze je rozobraný GEVA-BOT full patroller system. Jedná sa o príves, na ktorom je uložená v objeme 3000 l veľká nádrž na vodu. Na prívese je priestor pre uloženie štyroch čistiacich robotov, do každého rohu prívesu jeden.

Od pracovníka čistenie nie je odbremenené, obsluha musí vždy z prívesu robotický čistič zobrať a položiť ho na solárne moduly. Robot sa následne po povrchu modulov pohybuje sám, no po skončení čistenia určeného úseku ho musí obsluha opäť premiestniť na ďalšie nové dedikované miesto čistenia.

Firma poskytuje dva rôzne typy modelov, a to suchý čistič a čistič za pomoci vody. V prípade mokrého čistenia je filtrovaná a očistená od vodného kameňa. Z prívesu sa z vodnej nádrže napojí na robotický čistiť hadica do otvoru určeného pre ňu, ktorá je následne za robotom vedená pozdĺž celého bloku fotovoltaických modulov. Veľkostných konfigurácií ponúka firma takisto viacero, od jedného metra po šesť metrové dĺžky.

Celá sada prívesu aj s robotickými modulmi pôsobí celkom archaicky a navodzuje ťažkopádny dojem. [13]



obr. 2-9 GEVA-BOT [13]

Solabot

Čistiaci robot Solabot umožňuje pracovníkom ovládať ho automaticky alebo manuálne. Obsluha môže vzdialene naprogramovať robota a navrhnúť vlastný plán čistenia podľa svojich potrieb. Manuálne ovládanie umožňuje operátorovi vyčistiť panely podľa potreby, kedykoľvek. Na druhej strane, automatizácia umožňuje vytvoriť konzistentný plán čistenia každý deň v určenom čase. Po nastavení programu je robot plne nezávislý a nepotrebuje zásah človeka.

Pri zapnutí zariadenia sa použije ultramäkká kefa na vyčistenie zaprášeného povrchu solárneho panela navrhnutá tak, aby účinne odstránila aj najjemnejšie nečistoty a prach. Robot sa pohybuje rovnomerným tempom po všetkých paneloch a dôkladne odstraňuje prach bez toho, aby poškodil antireflexnú vrstvu na skle modulu a dosiahol aj ťažko dostupné miesta na hliníkovom ráme.

Polyuretánové kolesá zabezpečujú hladký a efektívny pohyb robota po hliníkovom ráme solárneho panelu, čo umožňuje plynulý presun medzi tisícmi solárnymi modulmi vo veľkej fotovoltaickej elektrárni. Tieto kolesá sú určené len pre pohyb na kovových rámoch FV modulov a sú riadené automatizačným programom.

Roboty využívajú vlastné solárne panely na nabíjanie batérií, takže nie je nutné ich pripojiť k napájaniu ani meniť batérie po ich vybití. Čistiace stroje majú odolnú konštrukciu s vlastným pohonom, ktorá umožňuje efektívne fungovanie počas celého životného cyklu zariadenia. [14]



obr. 2-10 Solabot [14]

Solar Cleaner F3500 C-AP

Produkt od spoločnosti CEV Canada, ktorý je vyrobený v Taliansku. Stroj je prispôsobiteľný v zmysle charakteristík a rozmerov na základe konfigurácie solárneho parku, v ktorom bude stroj slúžiť. Celková výmera sa udáva na 3,25 m * 1,8 m * 3 m.

Stroj disponuje kabínou pre pracovníka, ktorý ho z nej obsluhuje. Je taktiež vybavený teleskopickou rukou, ktorá je schopná pokryť až 4,3 metra, a systémom postreku vodou. Kefy sú konfigurovateľné aj na suchý spôsob, tieto typy sú však určené do suchých pásiem ako púšť a iné. V prípade čistenia s vodou sú štetinky na kefe z karlitu, v opačnom prípade sú z nylonu.

Vodný tank má objem 1800 litrov a čerpadlo z neho čerpá vodu s frekvenciou 40 litrov za minútu.

Stroj je rovnako vybavený senzormi uloženými na tele kefy, ktoré v aktuálnom čase snímajú povrch panelov a na základe toho vyhodnocujú polohu ramena a pohybujú ním tak, aby nedošlo ku kolízii a poškodeniu.

Kabína je vybavená video systémom, ktorý dáva aktuálny obraz operátorovi. V kabíne sa nachádza aj klimatizácia a predná a zadná časť stroja je vybavená osvetlením, čo umožňuje stroju prácu aj v noci.

Design stroja sa nesie v plochých krytoch, ktoré majú archaický podtón a celá kapotáž aj s kabínou pôsobí veľmi ťažkopádne. Estetika v tomto prípade nehrá veľkú rolu, jedná sa skôr o funkčné a praktické riešenie. Riešenie s kefami je možno až príliš objemné a strháva na seba pozornosť. [15] [16]



obr. 2-11 Solar Cleaner F3500 C-AP [15] [16]

Ecilimp Termosolar

Tento stroj od španielskej spoločnosti Ecilimp nie je priamo určený do elektrární s fotovoltaickými panelmi, no využíva sa v termosolárnej elektrárni na čistenie zrkadiel, ktoré sústreďujú slnečné lúče do jedného bodu a zohrievajú vodu, ktorá sa následne mení na vodnú paru a poháňa turbínu na výrobu elektriny. Týmto elektrárňam sa hovorí aj Concentrated solar power (CSP) alebo Koncentrovaná solárna energia.

Toto vozidlo bolo vybrané ako inšpirácia pre účely vytvorenia konceptového návrhu. Vozidlo má vyzraz menšej cisterny, ktorá ma na sebe upnuté mohutné rameno s kefami. V objemnej nádrži sa nachádza voda určená na postrek zrkadiel, ktorá v kombinácii s rotujúcimi kefami vykonáva údržbu povrchu. [17]



obr. 2-12 Ecilimp Termosolar [17]

IFBOT X3

Design navrhnutý spoločnosťou SuperDesign získal v roku 2022 ocenenie Red Dot Award. Jedná sa o autonómny prístroj, ktorý je ľahký a inteligentný, vhodný pre viaceré typy panelov. Využíva materiály z leteckého inžinierstva pre dosiahnutie odľahčenej konštrukcie. Pomáha to k jednoduchšiemu transportu a manévrovaniu s robotom. Robot sa automaticky presúva po paneloch a otáčaním sa okolo stredovej osi zachytáva prach a nečistoty. Potrebuje len malé množstvo energie z batérie. Režim čistenia sa ľahko aktivuje dotykom a jeho pohyblivá prísavka bezpečne umiestni robota pred čistením do potrebnej polohy. Senzory robota zisťujú stav a nastavujú optimálne uhly čistenia a hľadajú najefektívnejšiu trasu pre čistenie. Rovnako však umožňujú rozpoznať prekážky a pomáhajú tak vyhnúť sa kolíziám.

Robot pôsobí kompaktné a skladne, jeho odľahčené telo nemá ťažkopádny výraz. Podporené je to aj vďaka rámovej konštrukcii, po ktorej sa čistiace moduly pohybujú. Úchop, za ktorý sa prístroj chytá a preváža, je dynamický a ergonomicky tvarovaný. Modulárny design robota umožňuje jednoduchú výmenu dielov podľa potreby, čo zvyšuje jeho životnosť a znižuje odpad.

Jeho tenký profil umožňuje, aby sa zmestil do stiesnených priestorov, vďaka čomu je vhodný na použitie v rôznych prostrediach. Zariadenie je vybavené sériou kief, ktoré účinne odstraňujú nečistoty a zároveň minimalizujú riziko poškodenia samotných panelov.

Zariadenie pre svoju veľkosť má však odpovedajúcu kratšiu výdrž batérie a je potrebné ho často meniť, prípadne dobíjať. Rovnako sa v zariadení nachádza pomerne malý priestor na odsatý prach, a to len 270ml. [18]



obr. 2-13 IFBOT X3 [18]

Cortec

Toto konceptové riešenie od designéra Lennarta Blatta dostalo v roku 2021 ocenenie Red Dot Award. Ide o multifunkčné vozidlo pohybujúce sa v riadkoch medzi solárnymi panelmi. Primárnou úlohou je suché čistenie povrchu panelov za pomoci štetiniek upevnených na hlavici na robotickom ramene. Toto rameno je výškovo nastaviteľné podľa potrieb panelového radu. Navyše je hlavica schopná vysúvania a spätného zasúvania do seba v prípade, ak je nutné čistiť plochu položenú vyššie.

Design pôsobí nadčasovo, čisto, plochy na vozidle sú úhľadné a celkovo sa nesie vo futuristickom duchu. Karoséria vozidla sa vyznačuje elegantným a aerodynamickým tvarovaním s hladkými krivkami a predĺženou siluetou. Výber farieb potvrdzuje nadčasovosť – čistá biela ako hlavný prvok podložený matnou šedou, ktorá nesie karosériu na podvozku. Celkovo je vozidlo Cortec navrhnuté so silným zameraním na funkčnosť a udržateľnosť, s pútavým, moderným a účelovým designom.

Na druhej strane pôsobí stroj labilne, konkrétne hlavica nevytvára dojem stabilného komponentu. [19]



obr. 2-14 Cortec [19]

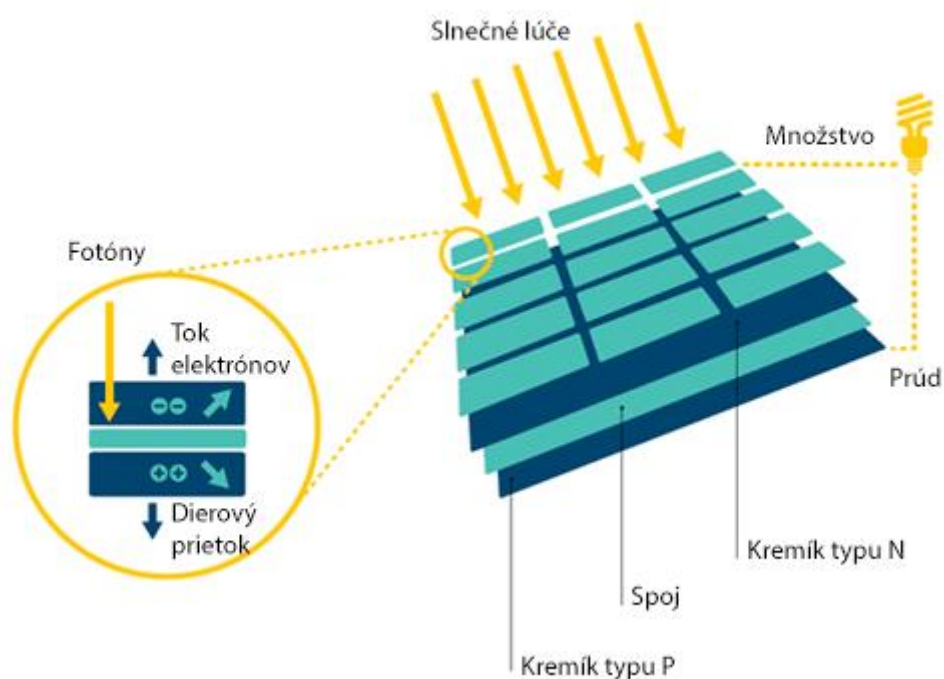
2.3.3 Technická analýza

Táto kapitola sa podrobnejšie venuje charakteristike solárneho panelu, popisu základných funkčných elementov a komponentov stroja, konštrukcii a materiálom.

Solárny panel

Množstvo slnečného svetla, ktoré za hodinu a pol dopadne na zemský povrch, postačí na to, aby pokrylo celosvetovú spotrebu energie na jeden rok. Solárna technológia využíva túto energiu pomocou fotovoltaických (PV) panelov alebo zrkadiel, ktoré koncentrujú slnečné žiarenie na výrobu elektrickej energie. Táto energia môže byť uložená v batériách alebo tepelnom zásobníku, alebo použitá na výrobu elektriny. [20]

Fotovoltaické zariadenie, známe aj ako článok, premieňa slnečnú energiu na elektrickú energiu. Jeden článok typicky produkuje približne 1 alebo 2 watty energie a je vložený medzi vrstvy polovodičových materiálov, ako je napríklad kremík. Každá vrstva má iné elektronické vlastnosti, ktoré sa pri dopade fotónov zo slnečného svetla energizujú a vytvárajú elektrické pole. Toto je známe ako fotoelektrický efekt – a to vytvára prúd potrebný na výrobu elektriny. Na ochranu pred vonkajšími vplyvmi sú články vložené medzi ochranné materiály, ako je sklo a/alebo plasty. Na zvýšenie výkonu sú články spojené do reťazcov, aby vytvorili väčšie jednotky nazývané moduly alebo panely, ktoré možno použiť jednotlivo alebo pospájať do polí podľa potrieb požadovaného množstva výroby elektrickej energie. [20][21]



obr. 2-15 Schéma fungovania solárneho článku [20]

Okrem modulov a usporiadaní obsahuje kompletný PV systém aj montážne konštrukcie, ktoré usmerňujú panely smerom k slnku, a komponenty, ktoré premieňajú elektrinu jednosmerného prúdu (DC) na elektrinu striedavého prúdu (AC), ktorá napája napríklad aj domáce spotrebiče. [21]

Robotické čističe

V súčasnosti sú často využívané aj postrekové systémy, tie sú však aplikovateľné v suchých pásmach a nahrádzajú činnosť dažďa za pomerne lacných výdavkov na údržbu. Aj keď ide o relatívne dobre fungujúci systém, má niekoľko nevýhod. Tvrdosť vody sa musí často testovať a prípadne je odporúčaná úprava vody pre miesta, kde sa tvrdá voda vyskytuje. Tento systém je vhodný pre veľmi suché piesočnaté oblasti, kde sa piesok hromadí veľmi rýchlo, ale nevyčistí sa dôkladne tak, ako kefovým systémom. [22]

Talianska spoločnosť s názvom „Wash Panel“ vyrába roboty čistiace FV panely za pomoci pohybu vertikálnej kefy pohybujúcej sa horizontálne po paneloch. Robot má modulárne nastaviteľnú dĺžku kefy a integrovanú batériu pre potreby autonómneho pohybu po priestore. Na robot je napojená hadica s prívodom vody, ktorá zvlhčuje povrch panelov počas čistenia. Tento systém poskytuje rovnomerné čistenie, je modulárny a má možnosť dohľadu a správy zo vzdialeného miesta. Nevyžaduje žiadnu ďalšiu podperu ani rám a iný navádzač. Tento systém je možné inštalovať na pozemné parky, budovy a mierne naklonené strechy. [23]



obr. 2-16 Wash Panel [23]

Robot GEKKO Solar od švajčiarskej spoločnosti je designovaný na čistenie solárnych parkov a ťažko dostupných striech pokrytých panelmi so sklonom do 45°. Robot má maximálnu kapacitu vyčistiť 1040 m² za hodinu, avšak priemerná efektívnosť sa počíta na 670 m² za hodinu. Robot na údržbu využíva rotujúce kefy a demineralizovanú vodu. Často je využívaný s mobilnou pracovnou platformou, za pomoci ktorej je operátor schopný zdvihnúť čistič na požadovanú úroveň. Pre prísun vody a energie je k dispozícii hadica s približne 100 metrovou dĺžkou. Tento robot je vhodný aj pre menšie solárne farmy, kde presun zabezpečuje pomocný vozeň zásobujúci vodu a elektrickú energiu. [24]



obr. 2-17 GEKKO Solar [24]

Batéria

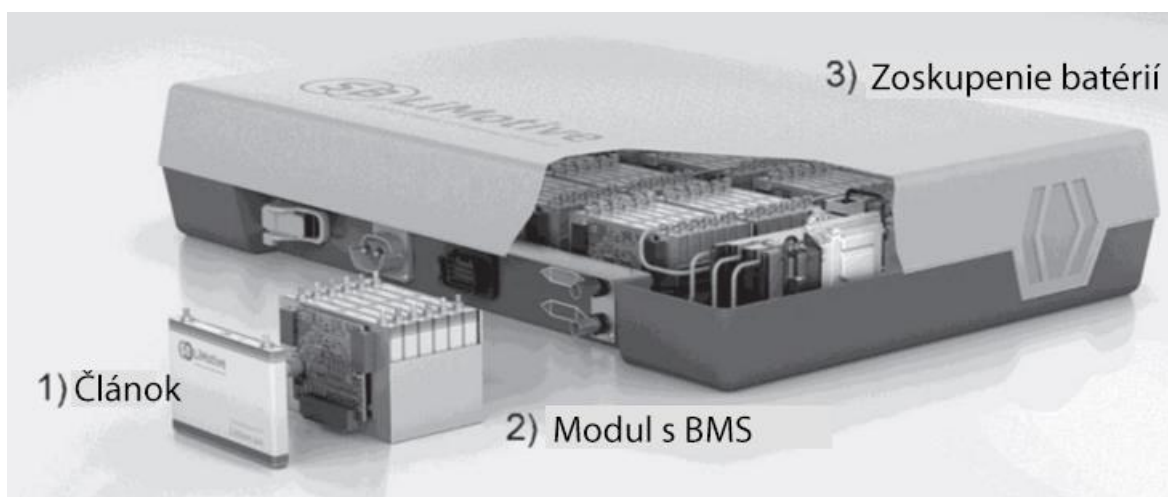
Vývoj autonómnych vozidiel priniesol novú éru dopravy s potenciálom zmeniť spôsob, akým presúvame ľudí a tovar. Aby sa však táto vízia stala skutočnosťou, potrebujeme vysokovýkonné batérie, ktoré dokážu poháňať tieto vozidlá. Účelom tejto podkapitoly je preskúmať dôležitosť technológie batérií v kontexte autonómnych vozidiel a poskytnúť prehľad o ich súčasnom stave.

Batérie sú kritickou súčasťou autonómnych vozidiel, pretože poskytujú energiu potrebnú na napájanie elektromotora vozidla. Najbežnejšími typmi batérií používaných v autonómnych vozidlách sú lítium-iónové batérie, ktoré sú známe svojou vysokou hustotou energie a dlhou životnosťou. Tieto batérie pozostávajú z anódy, katódy a elektrolytu, ktoré umožňujú tok iónov medzi dvoma elektródami. [25]

Výkon batérií používaných v autonómnych vozidlách môže ovplyvniť efektívnosť a účinnosť vozidla. Napríklad vysokovýkonná batéria môže umožniť dlhší dojazd, rýchlejšie nabíjanie a vylepšené bezpečnostné funkcie. Na druhej strane, slabo fungujúca batéria môže obmedziť schopnosti vozidla a znížiť jeho celkovú účinnosť.

Oblasť technológie batérií sa neustále vyvíja a neustále sa objavujú nové pokroky a výzvy. Niektoré nedávne pokroky v technológiách batérií zahŕňajú použitie polovodičových batérií, ktoré majú potenciál poskytnúť vyššiu hustotu energie a vylepšené bezpečnostné prvky. Existujú však aj výzvy, ktoré treba prekonať, ako napríklad obmedzená dostupnosť surovín a potreba zlepšiť recykláciu batérií. [26]

Technológia balenia zahŕňa viacero úrovní. Na základnej úrovni je elektrochemický článok, ktorý obsahuje katódu a anódu ponorenú do elektrolytu na uľahčenie pohybu iónov. Aby sa zabránilo skratom, medzi katódu a anódu je umiestnený izolačný separátor. Pre malé batérie používané v zariadeniach, ako sú baterky a diaľkové ovládače, je potrebný iba jeden elektrochemický článok, čo znamená, že obal jedného článku určuje jeho vonkajší vzhľad. Pre vyššie napätia alebo kapacity je možné zapojiť viacero jednotiek elektrochemických článkov paralelne alebo sériovo alebo oboje. Napriek tomu, že sa skladajú z lítium-iónových katódy-separujúcich anódových zväzkov, sú tieto zostavenia článkov stále označované ako "články". Moduly, ktoré zahŕňajú monitorovanie jednotlivých článkov a reguláciu teploty, spájajú viacero článkov dohromady a vytvárajú tak batériu. [27]



obr. 2-18 1) prizmatické puzdro Li-Ion batérií 2) modul zostavený so systémom riadenia batérie (BMS) 3) moduly zostavené s tepelným riadením a elektronickými komponentmi do sady batérií [27]

Elektromotory

Elektromotory sú neoddeliteľnou súčasťou autonómnych vozidiel, pretože premieňajú elektrickú energiu na mechanickú, ktorá poháňa vozidlo. Účelom tejto podkapitoly je preskúmať význam technológie elektromotorov v kontexte autonómnych vozidiel a poskytnúť prehľad o súčasnom stave technológie elektromotorov.

Elektromotory sa skladajú zo statora a rotora, pričom stator zabezpečuje magnetické pole a rotor pôsobí ako elektromagnet. Keď elektrická energia prechádza statorom, vytvára magnetické pole, ktoré interaguje s rotorom, čo spôsobuje jeho otáčanie a generovanie mechanickej energie. Existujú rôzne typy elektromotorov, ktoré sa bežne používajú v autonómnych vozidlách, vrátane striedavých motorov, jednosmerných motorov a bezkomutátorových jednosmerných motorov.

Výkon elektromotorov používaných v autonómnych vozidlách môže ovplyvniť účinnosť a efektívnosť vozidla. Napríklad vysokovýkonný elektromotor umožňuje rýchlejšie zrýchlenie, vyššie maximálne rýchlosti a dlhší dojazd. Na druhej strane slabo fungujúci elektromotor môže obmedziť schopnosti vozidla a znížiť jeho celkovú účinnosť.

Integrácia elektromotorov s inými komponentmi vozidla, ako sú regeneračné brzdomové systémy, môže zlepšiť celkovú účinnosť vozidla. [28]

Riadiaca jednotka

Elektronická riadiaca jednotka, alebo ECU (angl. Electronic control unit), je drobné zariadenie nachádzajúce sa v tele vozidla. Tento prístroj riadi jeden alebo viacero elektrických úkonov, ktoré ovplyvňujú chod vozidla. Jadro tejto jednotky je mikrokontrolér, ktorý je riadený vstavaným softvérom.

Elektronická riadiaca jednotka získava vstupy z rôznych komponentov vozidla a na základe týchto informácií podniká potrebné kroky. Akčné členy v prípade potreby konvertujú elektrický signál na požadovanú fyzickú odozvu. Vo vozidle môže byť obsiahnutých niekoľko riadiacich jednotiek, napríklad aj vyše 100. Sú schopné každá ovládať inú potrebnú súčasť vozidla, napríklad riadenie motora, ovládanie, bezpečnostné funkcie a iné. [29]

Senzory a GPS

Významnou prekážkou bol vývoj spoľahlivých vizuálnych schopností pre autonómne vozidlá. Napriek tomu vývojári prekonali túto výzvu tým, že skombinovali celý rad senzorov a vytvorili detekčný systém, ktorý vo vnímaní okolia vozidla prekonáva ľudský zrak. Kritickými prvkami tohto systému je jeho rozmanitosť, ktorá zahŕňa rôzne typy snímačov, a redundancia zahŕňajúca prekrývajúce sa snímače, ktoré potvrdzujú presnosť detekcie vozidla. [30]

Autonómne vozidlá sa primárne spoliehajú na tri typy senzorov: kameru, radar a lidar. Spoločne tieto senzory poskytujú autu komplexný pohľad o jeho okolí, čo mu umožňuje zistiť rýchlosť a vzdialenosť blízkych objektov, ako aj ich trojrozmerný tvar.

Kamery sú najpresnejším nástrojom na vytváranie vizuálneho zobrazenia sveta, najmä v prípade autonómnych vozidiel, od fotografií až po videá. Autonómne vozidlá využívajú kamery namontované na každej strane, vrátane prednej, zadnej, ľavej a pravej, na vytvorenie 360-stupňového pohľadu na svoje okolie. Niektoré kamery majú širšie zorné pole, až 120 stupňov, ale kratší dosah, zatiaľ čo iné majú užší zorný uhol pre obraz na veľké vzdialenosti. Niektoré autá navyše integrujú kamery typu rybie oko so super-širokohlými šošovkami, ktoré ponúkajú panoramatický výhľad a poskytujú úplný obraz toho, čo je za vozidlom na účely parkovania. Napriek svojej presnosti pri snímaní vizuálov majú kamery obmedzenia. Dokážu síce rozlíšiť detaily prostredia, no na určenie presnej polohy je potrebné merať vzdialenosti objektov. Senzory založené na kamere majú navyše problémy s detekciou objektov v situáciách s nízkou viditeľnosťou, ako je hmla, dážď alebo noc. [31]

V situáciách s nízkou viditeľnosťou, ako je jazda v noci, môžu radarové senzory zlepšiť detekčné schopnosti autonómnych vozidiel doplnením kamerového videnia. Radar sa tradične používal na detekciu lodí, lietadiel a meteorologických útvarov vysielaním rádiových vln v impulzoch, ktoré sa odrážajú od objektov, aby poskytli údaje o ich polohe a rýchlosti. Rovnako ako kamery vo vozidlách, aj radarové senzory sú zvyčajne umiestnené okolo auta na detekciu objektov zo všetkých uhlov, ale nedokážu rozlíšiť medzi rôznymi typmi vozidiel. Hoci údaje zozbierané z priestorového radaru a kamier postačujú pre nižšiu úroveň autonómie, nepokrývajú všetky scenáre bez ľudského vodiča. Tu sa technológia lidar stáva kľúčovou. [31] [32]

Väčšina moderných automobilov využíva kamerové a radarové senzory pre pokročilú asistenciu vodiča a parkovací asistent, ktorý môže fungovať aj na nižších úrovniach autonómie s ľudským dohľadom. Napriek tomu sa ukázalo, že senzory lidar sú veľmi cenné na dosiahnutie úplnej schopnosti bez vodiča. Lidar využíva laserové impulzy na meranie vzdialeností, čím poskytuje autonómnym vozidlám komplexnú 3D perspektívu okolia. Tento senzor umožňuje vizualizáciu tvaru a hĺbky objektov, ako sú chodci, okolité autá a geografia ciest. Okrem toho funguje rovnako dobre v prostredí so slabým osvetlením, podobne ako radar. Senzory Lidar využívajú neuveriteľne rýchle lasery na vysielanie signálov, ktoré sa okamžite odrážajú a vytvárajú detailný 3D obraz alebo „oblaky bodov“, ktoré rozširujú situačné povedomie vozidla a rozmanitosť údajov senzorov, čím zvyšujú bezpečnosť. Aby bolo vozidlo efektívne, vyžaduje senzory lidar len na niekoľkých kľúčových miestach. Náklady na implementáciu lidara sú však podstatne vyššie, približne desaťkrát vyššie ako náklady na kameru a radar, a k tomu má obmedzenejší dosah. [32] [33] [34]

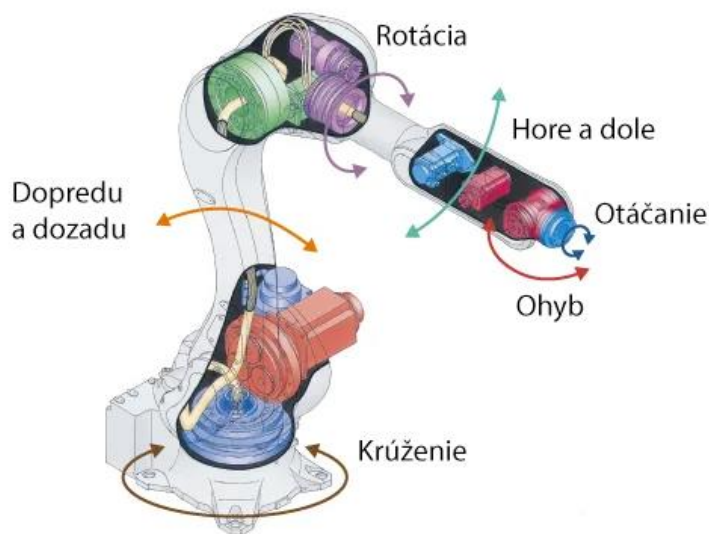
Autonómne vozidlá sa spoliehajú na sadu senzorov vrátane kamier, radarov a lidarov, ktoré zbierajú rozsiahle údaje o svojom prostredí. Rovnako ako ľudský mozog, ktorý spracováva vizuálne informácie z očí, aj autá s vlastným pohonom musia tieto údaje pochopiť pomocou procesu nazývaného fúzia senzorov. Zahŕňa to privádzanie vstupov zo senzorov do centralizovaného AI počítača, ktorý kombinuje relevantné informácie na prijímanie rozhodnutí o riadení, pričom zabezpečuje spoľahlivosť a redundanciu. Platforma spracovania nepretržite vykonáva tento proces, keď je vozidlo v pohybe, čím poskytuje úplný a aktualizovaný obraz okolia. Na rozdiel od ľudských vodičov teda autonómne vozidlá nemajú žiadne slepé uhly a udržiavajú si neustále povedomie o dynamickom prostredí okolo seba. [34]

Robotické rameno

V súčasnosti sú robotické ramená bežným doplnkom v priemysle; pomáhajú automatizovať procesy a nahradiť človekom vykonávanú manuálnu časť práce. Fungovanie týchto strojov je porovnateľné s fungovaním ľudskej ruky. Rovnako disponujú väzbami – kosti u ľudskej ruky a kĺbmi. Princíp pohybu kĺbov a prenos sily cez väzby je obdobné ako u ľudskej ruky.

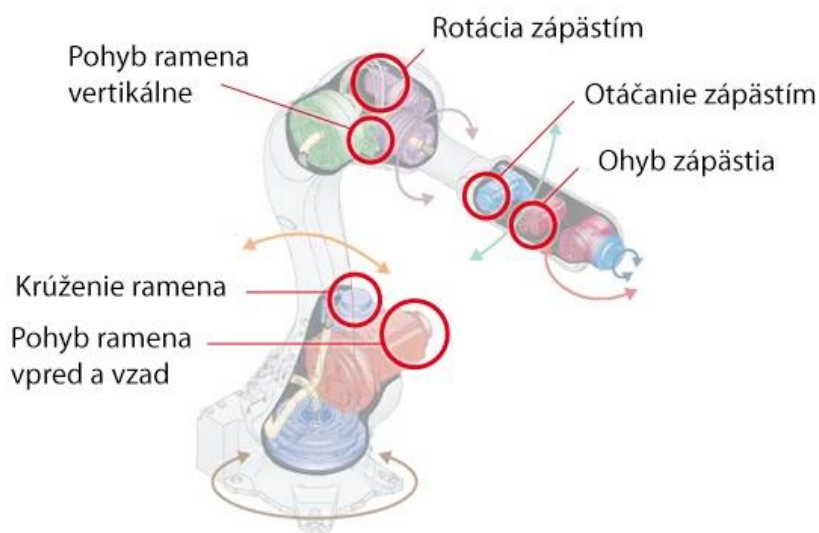
Nakoľko kabeláž a iné zväzky je možné zabudovať do vnútra ramena, je možné vyhnúť sa kontaktu s perifériou robota a robot tak môže pracovať na malom priestore. Agilnosť robota zabezpečuje jeho rýchla prevádzka.

Najdôležitejšie časti robotického ramena sú akčný člen, resp. aktuátor, redukčný prevod, kódovač a prevodovka. [35]



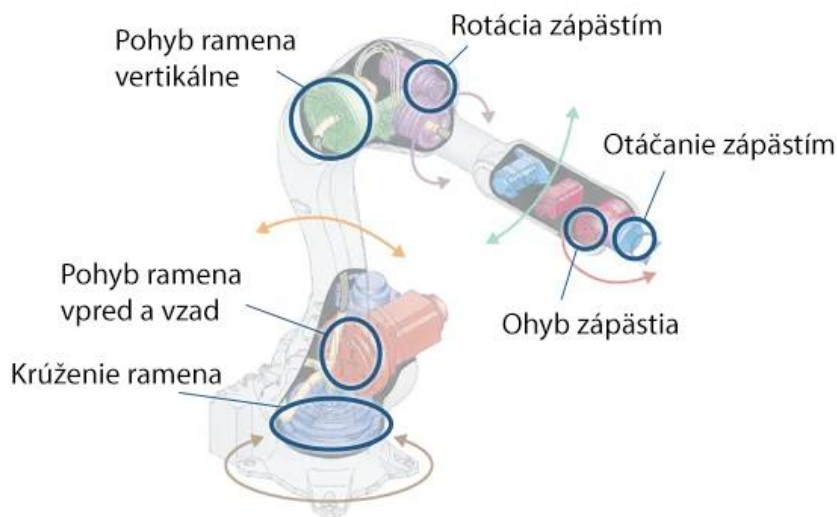
obr. 2-19 Translácie častí robotickej ruky [35]

Aktuátor funguje ako kĺb robota. Táto časť umožňuje robotovi pohybovať ramenom do strán, smerom hore a dole, otáčať sa alebo premieňať energiu na mechanické pohyby. Pod aktuátormi sa dajú predstaviť motory ako akčné členy, konkrétne sa využívajú vysoko funkčné servo motory, ktoré sú schopné kontrolovať pozíciu a rýchlosť. Najčastejšie je využívaný elektrický pohon pre chod aktuátorov. [35]



obr. 2-20 Umiestnenie kĺbov v robotickej ruke [35]

Redukčný prevod je komponent zvyšujúci silu motora, ktorý je sám o sebe silovo limitovaný, avšak za pomoci redukčného prevodu sa dá dosiahnuť generovanie väčšej sily v kombinácii s aktuátormi. [35]



obr. 2-21 Umiestnenie prevodov v robotickej ruke [35]

Kódovač je zariadenie, ktoré má na starosti indikovanie polohy, resp. uhla rotačného hriadeľa motora. Ukazuje nám, koľko a akým smerom sa robot pohybuje. Dokážu získať informácie z disku, ktorý je pripojený k otočnému hriadeľu motora. Tento disk má v pravidelných intervaloch štrbiny, cez ktoré prechádza svetlo. Disk má na oboch stranách LED svietidlá a prijímače svetla fotodiódy, ktoré rozlišujú medzi intenzitou svetla. Keď motor vykonáva rotáciu, svetlo buď prechádza cez štrbiny, alebo je blokované. Informácia o rotácii je posúvaná servo motorom, ktorým to poskytuje precízny obraz a umožňuje tak kontrolovať pozíciu a rýchlosť.

Nakoniec, prevodovka slúži na prenášanie sily generovanej akčnými členmi a redukčným prevodom. Je taktiež schopná zmeny smeru a veľkosti výkonu. Podstatnou faktom ostáva, že motor používaný v robotoch je zvyčajne umiestnený v blízkosti kĺbov, je možné ho však umiestniť aj mimo kĺbov a pomocou prevodových mechanizmov pohybovať časti robotického ramena. [35]

2.4 Zhrnutie hlavných zistení

Po zhodnotení troch oblastí analýzy, podľa ktorých prebehla rešerš súčasného stavu poznania, sa k riešenému problému vznieslo niekoľko tvrdení a poznatkov. Medzi kľúčové patrí fakt, ktorý podporuje dôležitosť a aktuálnosť riešenia danej problematiky, a to je rozvíjajúci sa a rastúci trh s fotovoltaikou.

Trendom v oblasti údržby solárnych panelov sa postupne stáva automatizácia procesu, čo odzrkadľuje aj súčasnú dobu. S nedávnym pokrokom v technológiách vzrástol záujem o vytváranie autonómnych systémov v rôznych sférach. Autonómne systémy sú navrhnuté tak, aby fungovali bez ľudského zásahu, pričom na rozhodovanie a vykonávanie úloh využívajú senzory, algoritmy a umelú inteligenciu. Trend smerom k autonómii je poháňaný rôznymi faktormi, vrátane túžby po väčšej účinnosti, bezpečnosti a pohodlia. Automatizácia prináša zvýšenú produktivitu a znižuje náklady. Celkovo možno konštatovať, že trend smerom k autonómii bude pravdepodobne pokračovať, keďže technologický pokrok neustále napreduje.

Čistenie solárnych modulov môže byť nebezpečné, najmä ak sú umiestnené na ťažko dostupných miestach. Používaním robotov na čistenie panelov sa môžu ľudskí pracovníci vyhnúť rizikám. V priebehu času sa môžu zvýšiť náklady na platenie pracovníkov za čistenie solárnych modulov, preto používanie robotov môže byť nákladovo efektívnejším riešením, pretože môžu pracovať nepretržite bez prestávok alebo voľna.

Aktuálny stav robotických čističov v solárnych elektrárnach má vo väčšine prípadoch funkčný výraz a design je potláčaný. Prehĺbenie estetiky a vnesenie vkusu do tejto subšpecializácie je vhodným lákadlom. Ako technológia napreduje, designéri budú mať prístup k novým nástrojom a materiálom na vytvorenie ešte lepších robotov.

Z rozhovorov aj analýzy vyplýva, že demineralizovaná voda je vhodným a taktiež častým použitým nástrojom bez použitia saponátov a iných chemikálií.

Z designárskej a technickej analýzy vyplýva, že v prípade robotického čistenia solárnych panelov disponujú roboty vždy podobnými, no nie kompletnými a všetkými schopnosťami a vybavením na plnú automatizáciu procesu. Buď sú viazané na dĺžku operovania, alebo sú viazané na transport medzi jednotlivými modulmi, alebo sú viazane na častý, prípadne konštantný zásah operátora.

Dôležitým hľadiskom bude aj UX s robotmi. Roboty by sa mali dať ľahko ovládať a udržiavať a mali by byť navrhnuté s ohľadom na bezpečnosť. Dobrý design môže pomôcť zabezpečiť, aby boli roboty akceptované a prijaté priemyslom. Design robotov na čistenie solárnych modulov môže mať tiež pozitívny vplyv na udržateľnosť. Návrhom robotov, ktoré využívajú riešenia šetrné k životnému prostrediu a spotrebujú menej energie, môže byť prispievané k udržateľnejšej budúcnosti.

2.5 Identifikácia novosti a príležitostí

Trhová príležitosť bola viackrát zmienená, je teda takmer isté, že v blízkej budúcnosti sa bude zväčšovať dopyt po službách týkajúcich sa údržby fotovoltaických modulov. Dá sa preto očakávať, že dopyt po nástrojoch, ktoré čistenie panelov vykonávajú, bude rásť. V súčasnosti sa však jedná výhradne o modely s funkčným vzhlľadom, preto je na mieste konštatovať potenciálnu potrebu rozvoja estetickej formy čistiacich robotov.

Naskytá sa tu veľká príležitosť agregovať viaceré schopnosti jednotlivých robotov do jedného uceleného riešenia. Je praktické vyžiť autonómny pohon vozidla bez nutnosti presunov operátorom a viazania sa naň. Voľba kombinácie rotujúcich kief a postreku je v súčasnosti často využívané, preto bude v práci ďalej rozpracovaný produkt s týmto systémom.

3 CIELE PRÁCE

3.1 Vymedzenie problému

Za hlavný problém súčasného stavu na trhu je považovaná absencia produktu na trhu. Aktuálne sa na trhu nachádzajú rôzne spôsoby, akými sa solárne moduly čistia. Avšak z praktického hľadiska sú neuniverzálne a nezjednotené v jeden produkt. Potenciál sa nachádza práve v možnosti využitia tejto príležitosti sklúčiť viac produktov v jeden stroj. Najmä z dôvodu využitia práve len jedného typu stroja pre viacero druhov fotovoltaických parkov. Ako čiastkový problém aktuálneho stavu je absencia autonómnosti procesu čistenia, ktorú v súčasnom trende automatizácie je podstatné riešiť.

3.1.1 Názov produktu a jeho klasifikácia

Produktom je autonómny robot na čistenie fotovoltaických panelov určený do fotovoltaických elektrární, konkrétne pre veľko-rozmerové ploché solárne parky, prípadne pre parky s mierne naklonenou rovinou do 10°. Produkt spadá do kategórie priemyselných výrobkov medzi stroje. Predpokladaná životnosť stroja je 15 až 20 rokov.

3.1.2 Špecifikácia zákazníka a spotrebiteľa

Zákazníkom je firma vyrábajúca autonómne roboty určené na čistenie solárnych modulov, prípadne firma so všeobecným zameraním na výrobu autonómnych strojov a vozidiel.

Typickým spotrebiteľom je spoločnosť poskytujúca služby týkajúce sa údržby povrchov solárnych panelov v solárnych parkoch, prípadne je to vlastník alebo prevádzkovateľ fotovoltaickej elektrárne. Elektrárňou je umiestnená v prašnom alebo znečistenom prostredí, ktoré často spôsobuje zanášanie povrchu solárnych modulov. V záujme vlastníka alebo prevádzkovateľa je udržať tento povrch čistý, čo sa odzrkadlí na celkovom výkone solárnej elektrárne, a tak prinesie spoločnosti v konečnom dôsledku väčší zisk a viac elektrickej energie do obehu. Rovnako pri automatizácii procesov vykonávaných pracovníkom je výhodné použiť automatické zariadenie, ktoré prácu odvedie potenciálne efektívnejšie a aj rýchlejšie.

3.1.3 Možný trh, cena a použité výrobné technológie

Predpokladá sa trh najmä európsky, ale cieľ môže takisto zasiahnuť aj časť svetového trhu. Z dôvodu absencie podobného produktu na trhu je odhadovaná cena v širšej mierke a ťažšie sa určuje. Cena by sa mohla pohybovať v rozmedzí od 10 000 € do 20 000 €. Predpokladaný objem výroby sa pohybuje v menších rozsahoch, predpokladá sa teda malosériová výroba.

Konštrukcia robota, najmä rám podvozku a kostra vozidla bude tvorená hliníkovými zliatinami, prípadne uhlíkovou oceľou. Na upevnenie niektorých vnútorných častí môže byť použitá pásovina. Pre krytie vozidla bude použitý ABS plast vo forme vákuovo-lisovaných plôch.

3.1.4 Vymedzenie atribútov a cieľov produktu

Nasledujúce tabuľky predstavujú ciele, obmedzenia, funkcie a prostriedky týkajúce sa návrhu produktu. Všetky atribúty a ciele sú rozdelené do troch kategórií, a to ergonomické, technické a estetické požiadavky.

tab. 3-1 Ergonomické požiadavky

| <i>Ergonomické požiadavky</i> | <i>Ciele</i> | <i>Obmedzenia</i> | <i>Funkcie</i> | <i>Prostriedky</i> |
|---|--------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Rešpektovať ergonómiu z hľadiska človek-stroj | ✓ | ✓ | | |
| Rešpektovať ergonómiu z hľadisku stroj-prostredie | ✓ | ✓ | | |
| Stabilizovať rameno | ✓ | | | |
| Umiestnenie ťažiska ramena | ✓ | | | |
| Skladanie ramena do stroja | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Zvuková a svetelná signalizácia | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Priestor na vodu | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Aplikácia na ovládanie stroja | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Ovládacie prvky pre obsluhu | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

tab. 3-2 Technické požiadavky

| <i>Technické požiadavky</i> | <i>Ciele</i> | <i>Obmedzenia</i> | <i>Funkcie</i> | <i>Prostriedky</i> |
|--|--------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Plne automatizovať proces | ✓ | | | ✓ |
| Vhodne zvoliť typ elektromotora | | ✓ | | ✓ |
| Vhodne zvoliť typ batérie - výdrž | | ✓ | | ✓ |
| Dobíjanie batérie | | ✓ | ✓ | |
| Zabezpečenie prílevu kvapaliny | | ✓ | | |
| Vhodný typ štetiniek | | ✓ | | ✓ |
| Zabezpečiť rotáciu štetiniek | | ✓ | | ✓ |
| Senzory nakláňania panelov | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Senzory rozmiestnenia FVP | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Senzory nerovnomerného povrchu - vyváženie | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Možnosť spätného chodu | | ✓ | ✓ | ✓ |

tab. 3-3 Estetické požiadavky

| <i>Estetické požiadavky</i> | <i>Ciele</i> | <i>Obmedzenia</i> | <i>Funkcie</i> | <i>Prostriedky</i> |
|---|--------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Design rešpektujúci vnútornú stavbu komponentov | ✓ | ✓ | | |
| Vhodný výber pohybových komponentov | ✓ | ✓ | | |
| Zakomponovať všetky funkcie do jedného stroja | ✓ | | | |
| Vytvoriť inovatívne univerzálne vozidlo | ✓ | | | |

3.2 Ciele vývoja

Hlavným cieľom diplomovej práce je navrhnuť koncept autonómneho robota na čistenie solárnych panelov, ktorý bude novinkou na trhu, a ktorý bude vnímaný ako alternatíva pre čistenie fotovoltaických modulov ručne, prípadne pre robotov, ktoré jazdia po povrchu solárnych modulov a sú ovládané pracovníkmi. Stroj bude svojou jedinečnosťou a atraktívnym designom lákadlom na trhu. Toto vozidlo bude fungovať na princípe postupného pohybu medzi fotovoltaickými modulmi a bude prispôsobené na pohyb po terénnejšom povrchu. Čistenie bude vykonávané za pomoci rotačných štetiniek umiestnených na pohyblivom ramene. Dôraz by mal byť kladený najmä na splnenie funkčných a estetických požiadaviek. Finálny produkt z ekologického hľadiska bude prispievať k zlepšeniu životného prostredia aj vďaka podporovaniu zelených zdrojov elektrickej energie.

Čiastkové ciele budú tvoriť posilnenie bezpečnosti v okolí stroja ako pre ľudí, tak pre panely, aby ani v jednom z prípadov nedošlo k ohrozeniu alebo poškodeniu. Bezpečnostné osvetlenie bude slúžiť na indikovanie smeru jazdy stroja a výstražné zvuky v prípade nebezpečenstva poskytnú okoliu informácie o probléme. Je kľúčové zabezpečiť stabilitu stroja z dôvodu jemného kontaktu medzi povrchom skla a štetinkami, manévrovania schopnosti v stiesnenom a zúženom priestore medzi jednotlivými panelmi a obratnosť najmä z dôvodu nutného otáčania a prechodu medzi riadkami a stĺpcami medzi panelmi. Z dôvodu občasného nerovnomerného povrchu pôdy fotovoltaických parkov je nutné zaistiť vyvažovanie celého stroja. Medzi čiastkové ciele spadá aj zaručiť univerzálnosť sústredenú do jedného stroja medzi rôznorodými typmi fotovoltaických elektrární. Súčasťou finálneho produktu bude aj možnosť synchronizácie ovládania a prehľadu o chode stroja s tabletom pre maximálny komfort užívateľa.

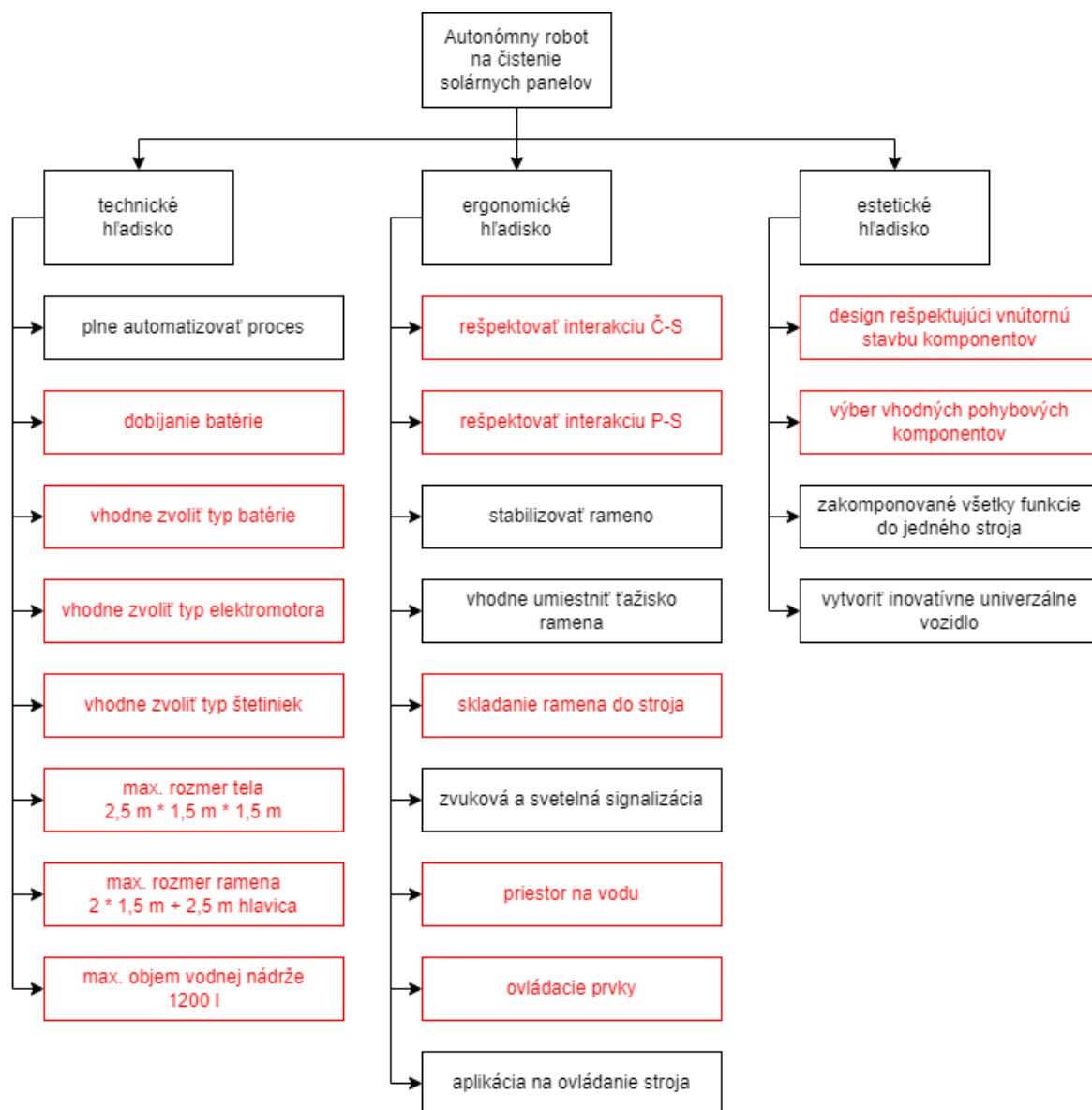
4 KONCEPČNÝ NÁVRH

4.1 Analýza cieľov a špecifikácia obmedzení

Medzi základné ciele v predchádzajúcej kapitole patrilo vytvorenie inovatívneho univerzálneho vozidla v podobe, akej sa na trhu aktuálne ešte nevyskytuje. Jednotlivé ciele boli z praktickej realizácie zhodnotené a pre koncepčný návrh vzišli obmedzenia, podmienky, ktoré je nutné dodržať pri navrhovaní designu, komponenty potrebné pre použitie a inovatívne prvky zahrnuté do koncepčného návrhu. Keďže navrhované vozidlo nemá z konkurenčného hľadiska tvarové variácie, ale len funkčné, v riešení sa napriek tomu zohľadňovalo ergonomické hľadisko ako z pohľadu užívateľ – stroj, tak z hľadiska stroj – prostredie. Do úvahy sa brali prvky stroja, ktoré prichádzajú do kontaktu s užívateľom ako nálievka na vodu a ovládacie prvky; a aj ktorými stroj prichádza do kontaktu s prostredím, ako pohybové komponenty a pohyblivé rameno.

Ciele boli zvažované a zohľadňované aj na základe konzultácie s firmami Eisner Nanosun a Hravag s.r.o., ktoré sa dlhodobo zameriavajú na čistenie solárnych modulov po celej Európe. Takisto boli do úvahy brané poznatky z pozorovania Brnenskej solárnej elektrárne v Tuřanoch (spoločnosť Jufa). Spracované poznatky sa následne odzrkadlili na hierarchii cieľov.

Ciele dané v tabuľkách v predchádzajúcej kapitole prebehli hlbšou analýzou a boli roztriedené podľa hierarchie a obmedzení. Ciele vyznačené červenou farbou predstavujú obmedzenia.

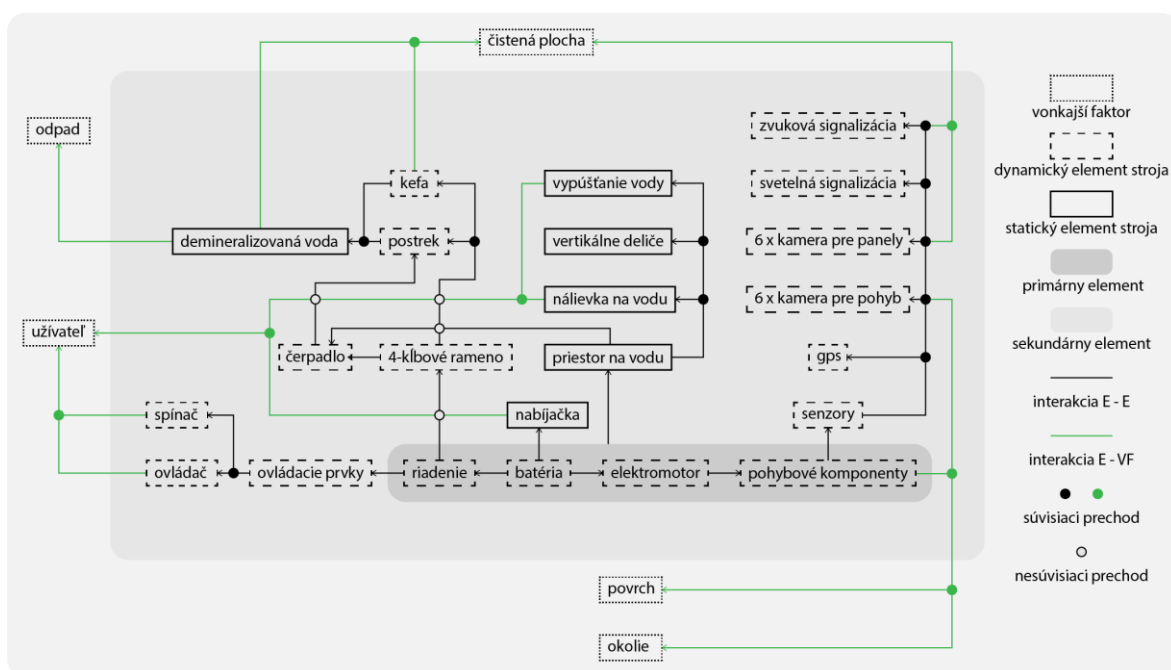


obr. 4-1 Strom cieľov a obmedzení

4.2 Technická funkčná analýza

Primárnou funkciou vyvíjaného stroja je pohyb v riadkoch medzi solárnymi modulmi a ich následné čistenie demineralizovanou vodou a štetinkami umiestnenými na hlavici na ramene. Jednotlivé komponenty sú vyznačené v zjednodušenej schéme znázornenej v bočnom pohľade na stroj. Rozmiestnenie komponentov a ich veľkosť čiastočne odpovedá reálnemu stavu, ktorý má byť dosiahnutý.

Stroj je napájaný z batérie. Každý pohybový element má vlastný elektromotor a je tým umožnené meniť rýchlosť otáčania pohybových elementov jednotlivo, čo v konečnom výsledku ponúka jednoduché otáčanie stroja v priestore. Užívateľ nalieva cez nálievku demineralizovanú vodu do nádoby, ktorá je vertikálne rozdelená na segmenty. Podobný princíp delenia sa vyskytuje v cisternách, aby prúdenie vody pri pohybe stroja neovplyvňovalo chod stroja a stabilitu. Z nádoby sa pumpou dostáva voda cez rameno na jeho koniec, kde je postrekom distribuovaná na povrch solárnych modelov. Štetinky vykonávajú sekundárne čistenie a proces nasleduje priamo po postreku. Senzor pre pohyb v priestore (6 snímacích kamier) ponúka stroju autonómiu v riadení a senzor pre panely (6 snímacích kamier) zabezpečuje vyvažovanie ramena a celkovo orientáciu a polohovanie hlavice ramena nad panelmi.



obr. 4-3 Glassbox komponentov stroja

Pohon:

- Batéria Li-Ion
- Elektromotor (4x) 5kW 48V

Senzory a osvetlenie:

- Osvetlenie (2x) modré a červené svetlo
- Zvuková signalizácia zapnutie/vypnutie/uvadenie do chodu/núdzový režim
- Kamera pre panely (6x) hlavica ramena
- Kamera pre pohyb (6x) telo stroja
- GPS, Lidar

4.3 Návrh alternatívnych riešení



obr. 4-4 Inšpiračná koláž

Na základe vyššie zmienených a vyjasnených cieľov boli vypracované koncepty usporiadania vnútorných komponentov a následne tvarové varianty, z ktorých boli vybrané tri návrhy a boli detailnejšie rozpracované.

Varianty sa líšia najmä tvarovaním základného krytovania a riešením časti s ramenom. Usporiadanie jednotlivých komponentov vnútri stroja sú takmer rovnaké a nemenné.



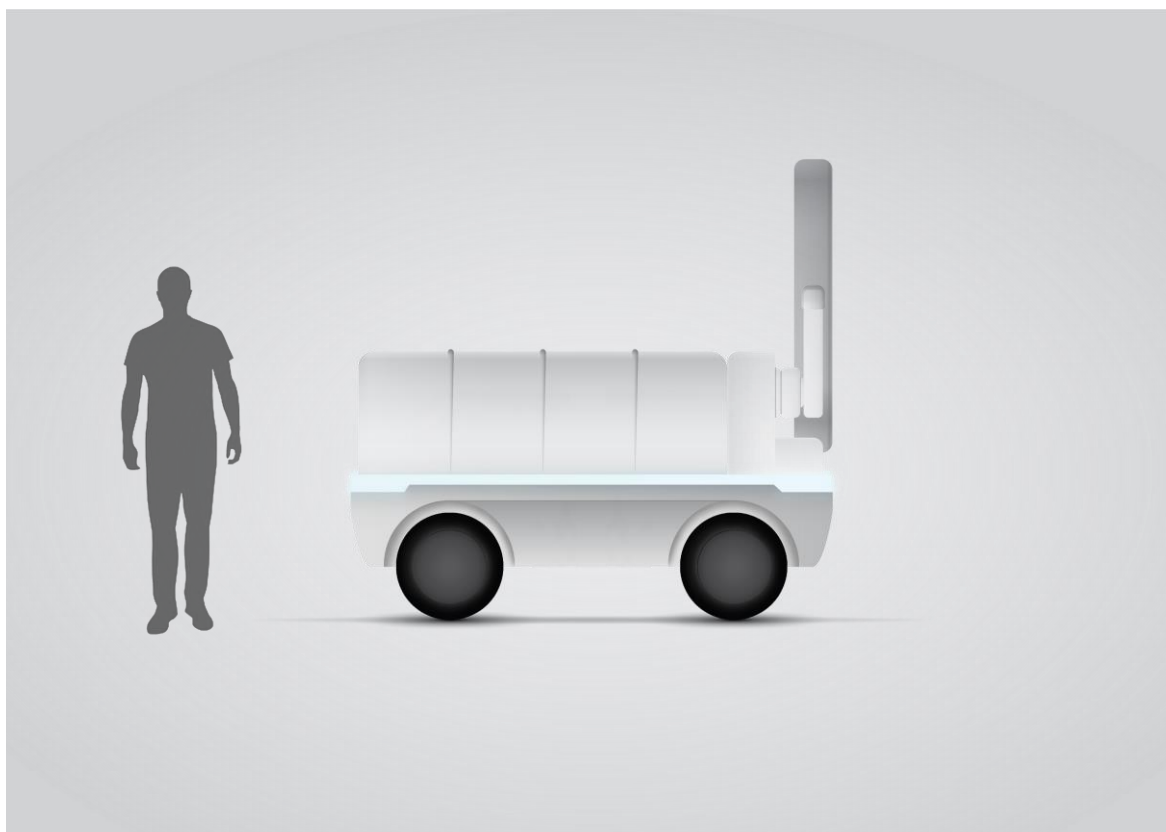
obr. 4-5 Ukážka skíc z prvej iterácie

4.3.1 Varianta I

Prvá varianta pracuje s návrhom logického rozdelenia primárnych a sekundárnych komponentov. Primárne komponenty (batéria, riadiaca jednotka, pohybové komponenty a elektromotory) potrebné na samotný pohyb stroja sú uložené v spodnej časti v pomyselnom „podvozku“. Oddelené sú tvarovo, farebne a teda aj opticky od zvyšku stroja. Táto časť tvorí pomyselné technické zázemie a slúži ako pevný základ vozidla s veľkou váhou. Pohybové komponenty sú symetricky napojené na podvozok, ktorý je celý zrkadlovo symetrický.

Nad hornou linkou podvozku začína krytovanie zvyšku stroja. Linka je zvýraznená podsvietením, ktoré sa tiahne po obvode celého stroja a je v prednej a zadnej časti rozšírené. V hornej časti pod krytovaním sú uložené sekundárne komponenty vrátane výraznej nádoby na vodu.

Rameno je umiestnené v zadnej časti stroja. Navrhnuté je tak, že dve ruky ramena sa skladajú do úrovne nádrže s vodou a hlavica, ktorá je napojená na druhú ruku, sa sklápa nad nádrž s vodou pre vhodnejšiu a lepšiu skladnosť. Prvý a druhý kĺb otáča prvú a druhú ruku v jednej osi a tretí kĺb otáča hlavicu v dvoch osiach.



obr. 4-6 Varianta I - skica



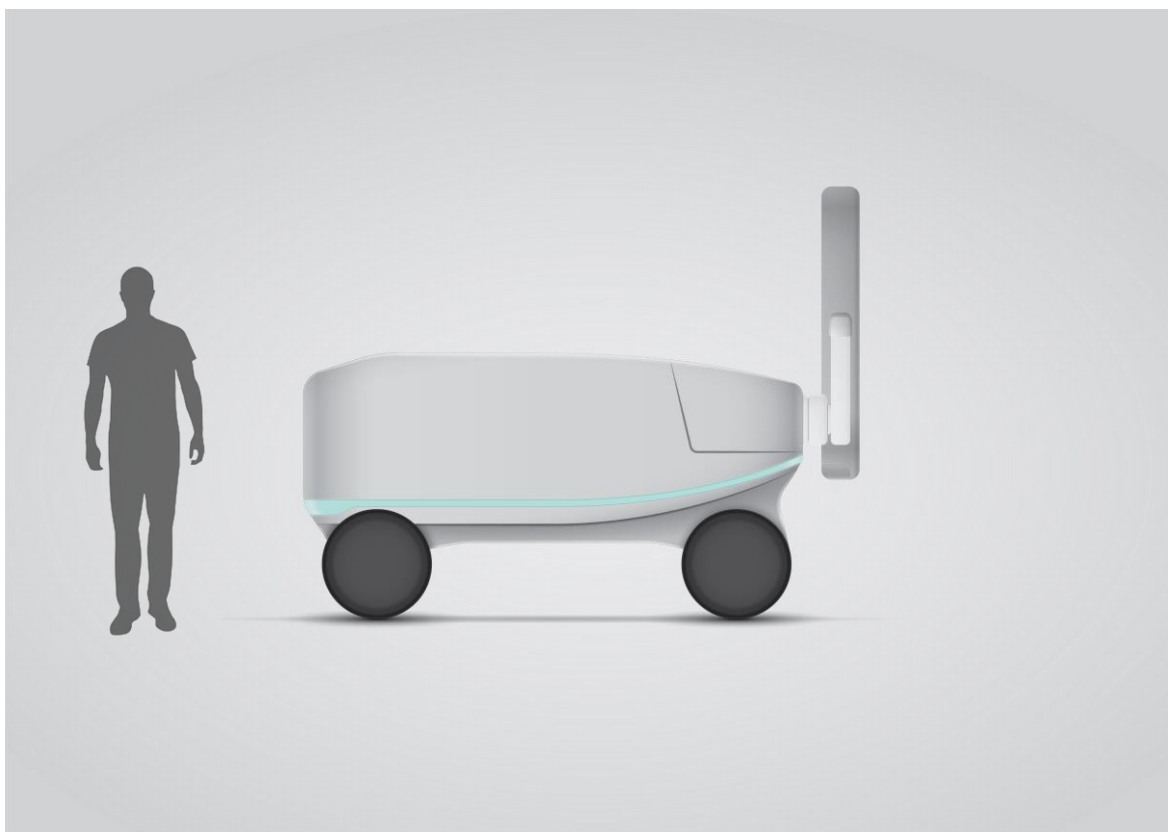
obr. 4-7 Varianta I – 3d vizualizácia

4.3.2 Varianta II

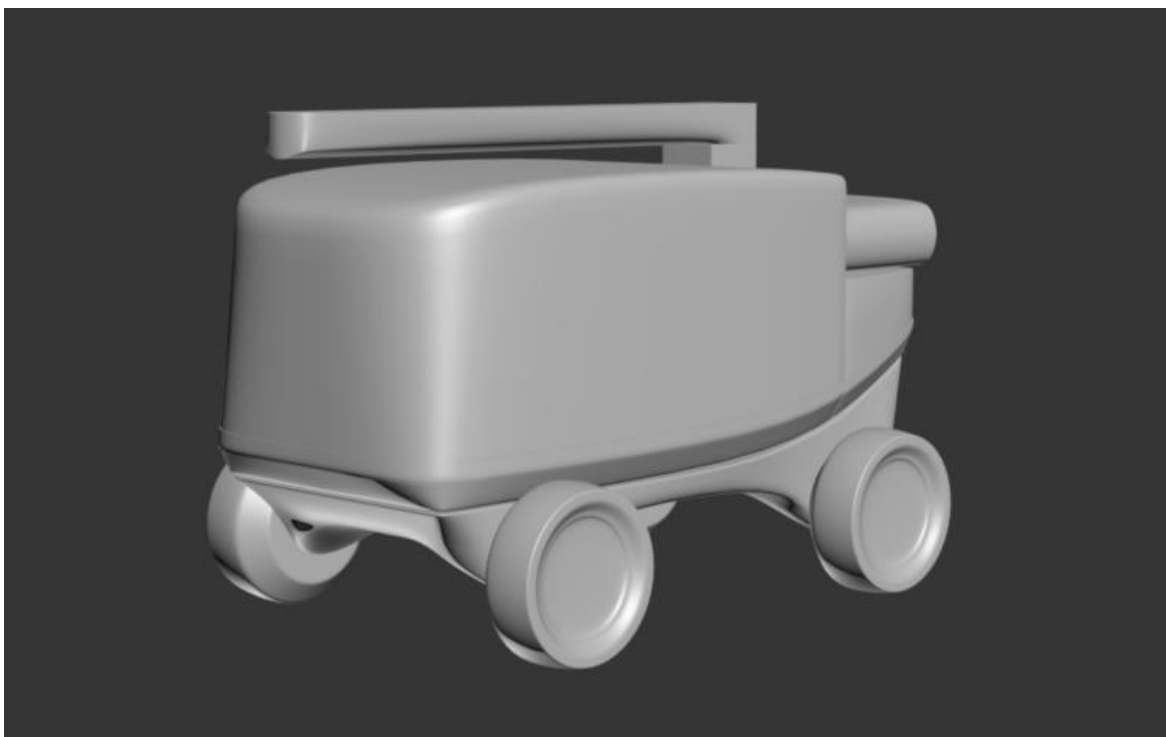
Varianta č. 2 viac integruje spodné krytovanie okolo batérie a prepája tak aj vrchnú časť stroja so spodnou. Primárne komponenty sa rovnako ako u prvej varianty, tak aj v tomto prípade nachádzajú v spodnej časti a tvoria pevnú podporu celého stroja. Pohybové komponenty sa na podvozok napájajú mierne z boku a rozširujú tak stabilitu vozidla do strán.

V jednej krivke nad pohybovými komponentami je umiestnené predné a zadné osvetlenie, ktoré sa v prednej časti uzatvára do tenšej linky a pokračuje smerom vzad, kde má stopa osvetlenia od polovice stúpajúci charakter. Nad osvetlením sú umiestnené snímacie kamery na pohyb stroja určené na orientáciu v priestore.

Celá vrchná časť vozidla je zakrytovaná, až na rameno, ktoré vystupuje zo zadnej časti. Tvarovanie krytovania je vedené v decentných plochách a krivkách a statická povaha vozidla, ktorá prevažuje tú dynamickú, je v tvarovaní odzrkadlená. V porovnaní so zvyšnými variantami sa však v tomto prípade jedná o najviac dynamický design.



obr. 4-8 Varianta II - skica



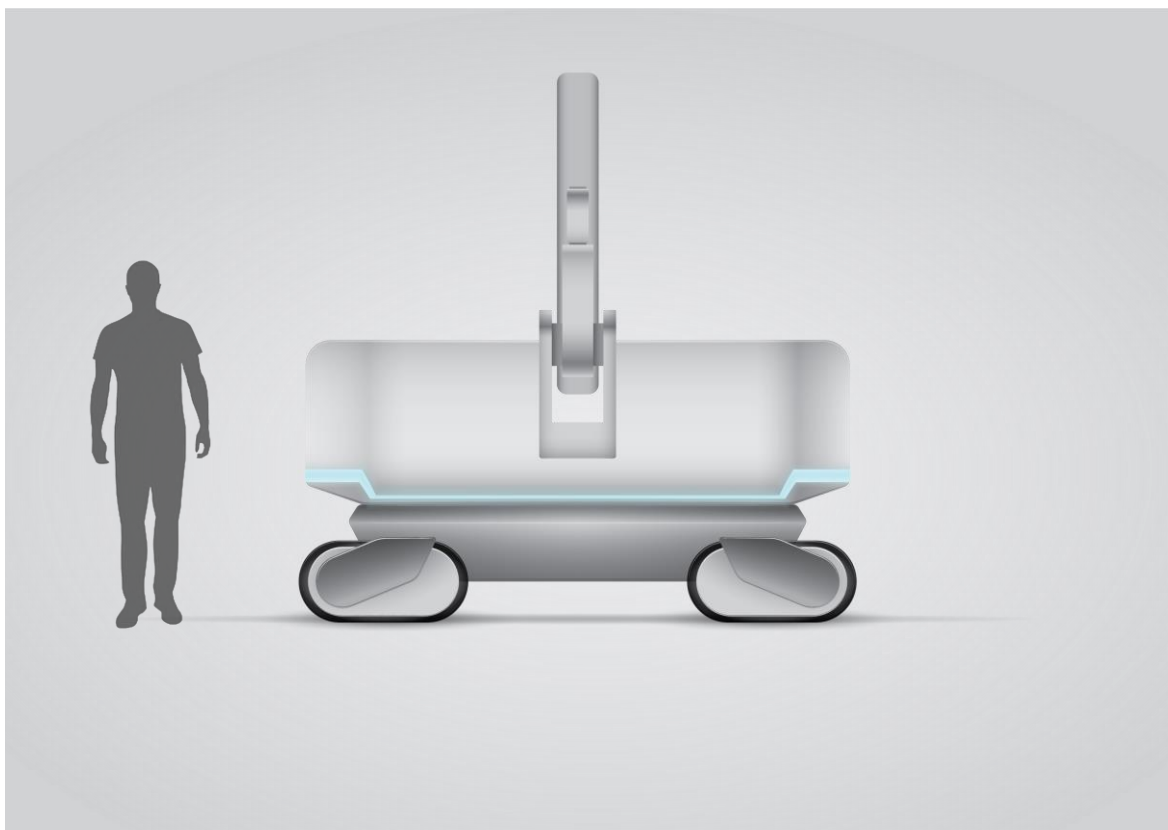
obr. 4-9 Varianta II – 3d vizualizácia

4.3.3 Varianta III

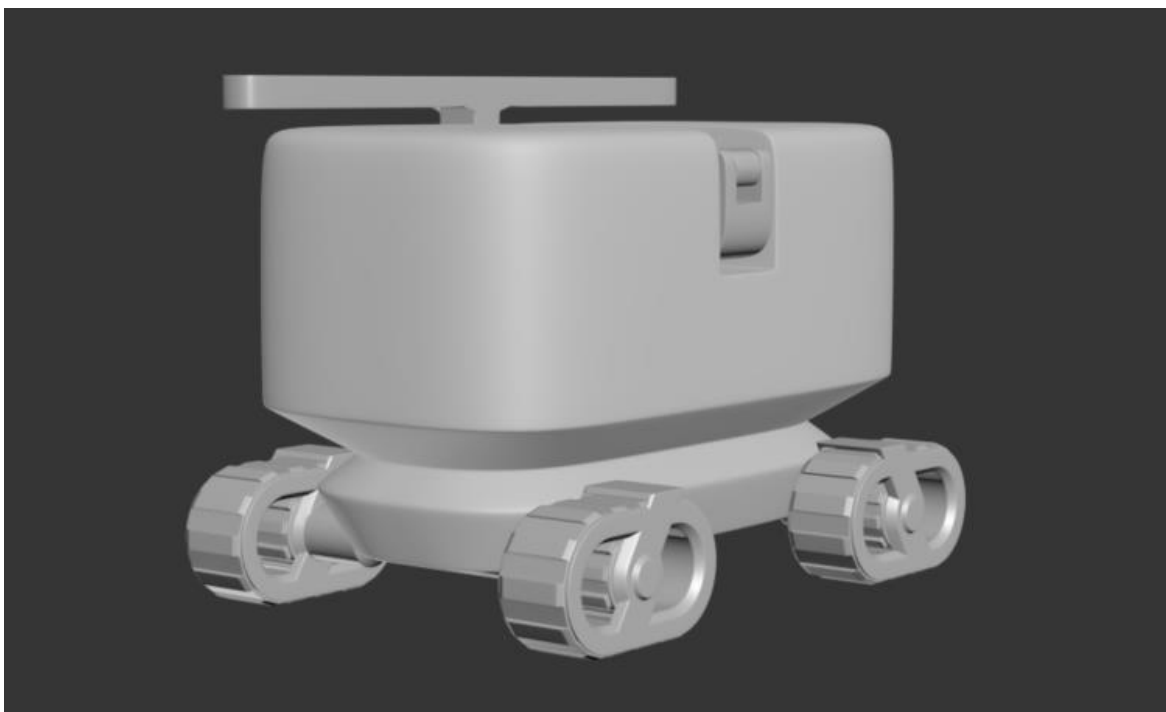
Posledná varianta pracuje so symetrickým designom a to takým spôsobom, že nie je priamo určená predná a zadná časť stroja. Pri pohybe tak nedochádza k situácií, kedy by bol stroj nevyvážený napríklad pri spätnom chode.

Opäť, na pomyselnom podvozku je naviazané telo. V spodnej časti sú usporiadané batérie s riadiacou jednotkou a pohybovými komponentami, ktorý každý z nich má jednotlivo elektromotor na pohon. Tentokrát je z dôvodu väčšej stability volený pásový pohon. Dosažené tak môžu byť jemnosť pohybu a dôraz na detail, lepší pohyb po terénom povrchu a väčší záber.

Rameno je umiestnené v strede stroja vo výreze určenom preň. Tentokrát je ukotvené dvomi upínačmi z oboch strán a skladanie ramena je vždy do výrezu. Zaistená je tak základná stabilita ramena. Kĺby sú vždy následne otáčané len v jednej osi, až na hlavicu, ktorá je otočná v dvoch osiach, pre dosiahnutie pokrytia celej plochy modulu pri čistení. Hlavica je prispôbena na zloženie nad stroj.

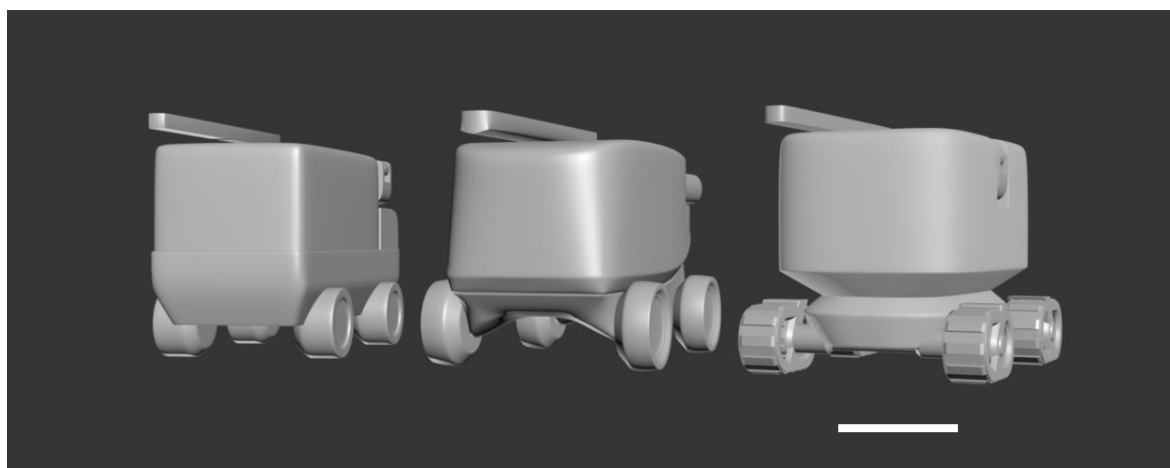


obr. 4-10 Varianta III - skica



obr. 4-11 Varianta III – 3d vizualizácia

4.4 Analýza alternatívnych riešení a výber najlepšieho



obr. 4-12 Porovnanie všetkých variant

Následne boli varianty porovnané na základe stanovených požiadaviek pre hodnotenie. Každéj variante boli pridelené body od 1 do 10, pričom 1 je najhoršie a 10 najlepšie hodnotenie. Z hodnotenia možno vyčítať jednak to, ktoré samostatné riešenia sú najvhodnejšie, a jednak to, ktorá varianta je z celkového hľadiska najviac použiteľná.

S najlepším hodnotením vyšla varianta 3, ktorá však nebola vo všetkých hodnotených aspektoch položená najvyššie.

tab. 4-1 Porovnanie variant

| | Varianta I | Varianta II | Varianta III |
|------------------------------------|------------|-------------|--------------|
| Celkové tvarovanie | 6 | 8 | <u>10</u> |
| Naviazanie podvozku | 6 | <u>8</u> | 7 |
| Ergonomický prístup | 7 | 8 | 8 |
| Stabilita | 7 | 8 | <u>10</u> |
| Osvetlenie | 8 | 8 | <u>9</u> |
| Optické zjednotenie | 6 | <u>9</u> | 8 |
| Praktickosť ramena | 7 | 7 | <u>10</u> |
| Skladnosť | 7 | 7 | <u>9</u> |
| Praktickosť pohybových komponentov | 7 | 7 | <u>10</u> |
| Celkom | 61 | 70 | <u>81</u> |

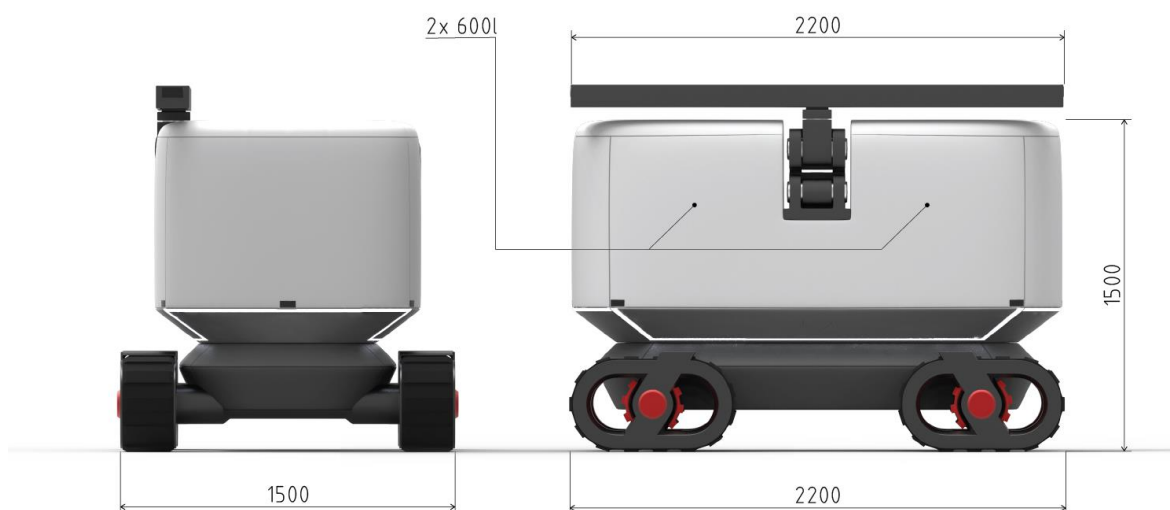
5 PREDBEŽNÝ NÁVRH

5.1 Určenie tvarov, rozmerov a materiálov

Ako zvolená varianta bola vybraná varianta č.3 a výsledok bol upravený do podoby, ktorá bola ďalej rozpracovaná a doplnená o detaily. Podvozok bol z praktického hľadiska ponechaný ako hlavná podstava stroja, ktorá tvorí celkový pevnostný základ a slúži ako ťažisko. Čo sa týka rozmerov, do úvahy mimo iného sa bral z hľadiska presunov stroju priemerný rozmer vozíkov na prenos áut a šírka s dĺžkou navrhovaného stroja boli tomu prispôsobené.

5.1.1 Zvolené predbežné rozmery

Na obrázku nižšie sa nachádzajú zvolené základné rozmery predbežného návrhu.



obr. 5-1 Základné rozmery predbežného návrhu

5.1.2 Zvolené materiály a spôsoby výroby

Krytovanie bude vyrábané pomocou vákuového lisovania z ABS plastu. Vnútorňa konštrukcia bude tvorená hliníkovými rámami z extrudovaných profilov spájanými skrutkovými spojmi. Nádoby pre vodu budú vyrábané rotačným odlievaním z polyetylénu. Robotické rameno bude tvorené zliatinou hliníka.

5.2 Odhad výrobných nákladov

5.2.1 Odhad ceny jednotlivých komponentov a celkovej ceny

Z dôvodu dosiaľ neexistencie tohto produktu na trhu je cenový odhad ťažšie určovaný a nie je jednoduché ho prirovnať, a teda je čisto teoretický a vypočítaný na základe priemerných cien potrebných komponentov k zostrojeniu výrobku. Finančne náročná bude výroba stroja, najmä z dôvodu menšieho objemu výroby. V tabuľke nižšie sú rozpísané jednotlivé komponenty s počtom kusov pre každý samostatne a s priemernou cenou v českých korunách. Po pričítaní výrobnéj sumy ku všetkým potrebným komponentom a zvoleným materiálom sa stroj posieľa na cenovú úroveň 650 000 Kč.

tab. 5-1 Odhad výrobných nákladov (Kč)

| | | | |
|-------------------------|---------------------------|---|---------|
| Nakupované diely | Batéria | 1 | 250 000 |
| | Elektromotor | 4 | 10 000 |
| | Snímacia kamera pre pohyb | 6 | 1 000 |
| | Snímacia kamera pre panel | 6 | 1 000 |
| | GPS | 1 | 500 |
| Vyrábané diely | Krytovanie | 1 | 15 000 |
| | Hliníková konštrukcia | 1 | 20 000 |
| | Obvodové svetlá | 2 | 1 000 |
| | Rameno | 1 | 200 000 |
| Celkovo | | | 540 000 |

5.2.2 Predpokladaný objem výroby

Predpokladaný objem výroby sa pohybuje v menších číslach, počíta sa s malosériovou výrobou v objeme 30 kusov na rok – najmä z dôvodu zaradenia produktu do exkluzívnej kategórie výrobkov – v časovom horizonte 4 až 5 rokov. Predpokladané je cieľenie najmä na európsky trh.

5.2.3 Matematický model

Predpokladaná váha vozidla bude približne 2 až 2,5 t s plnými nádobami na vodu. Predpokladaná maximálna rýchlosť bude 10 km/h.

Maximálna rozloha čistenej plochy na jeden deň je približne 10 000 m². Je to plocha o rozmeroch napríklad 250 m na dĺžku a 40 m na šírku.

$$v_{\max} = 10 \text{ km/h}$$

$$s_{\text{dĺžka}} = 250 \text{ m} = 0,25 \text{ km}$$

$$s_{\text{šírka}} = 40 \text{ m} = 0,04 \text{ km}$$

$$s_{\text{hlavica}} = 2,3 \text{ m}$$

$$t_{\text{dĺžka}} = s_{\text{dĺžka}} / v_{\max}$$

$$t_{\text{dĺžka}} = 0,25 / 10$$

$$t_{\text{dĺžka}} = 0,025 \text{ h} = 1,5 \text{ min}$$

Stroj prejde priemernou rýchlosťou 8 km / h jeden pruh s dĺžkou 250 m za 1,5 min. Rameno s čistiacou hlavicom zaberie na jeden krát šírku 2,3 m. Šírka sa teda dá rozdeliť na n-počet pruhov.

$$n = s_{\text{šírka}} / s_{\text{hlavica}}$$

$$n = 40 / 2,3 = 17,4 \doteq 18$$

Stanovenú šírku musí stroj prejsť 18 krát.

$$t_{\text{celkový}} = t_{\text{dĺžka}} * n$$

$$t_{\text{celkový}} = 1,5 * 18$$

$$t_{\text{celkový}} = 27 \text{ min} = 0,45 \text{ h}$$

Celkový čas, za ktorý by stroj prešiel stanovenú maximálnu plochu bol odhadnutý na 27 min. Výpočet však predpokladá s maximálnou rýchlosťou bez zastavenia stroja. Reálne bude stroj danú plochu prechádzať s ďaleko vyšším časom. Odhad je predpokladaný na zhruba 5 h.

Elektromotor určený k pohybu pásov bol stanovený s 5 kW výkonom a s 48 V napätím. Vozidlo disponuje 4 pohybovými modulmi, preto celkový výkon pohybových modulov sa počíta na 20 kW. Rameno disponuje 6 motormi s celkovým odhadovaným výkonom 10 kW. Celkový výkon všetkých motorov bol teda stanovený na $P_{\text{celkový}} = 30 \text{ kW}$.

[<https://stealthv.com/product/tesla-module/>]

Pre príklad bol vybraný batériový modul s nasledujúcimi parametrami.

$$Q = 230 \text{ Ah}$$

$$U_{\text{nominálne}} = 22,8 \text{ V}$$

Sériovo je potreba napojiť dva moduly, aby sa vyrovnali napätiu elektromotorov. Kapacita batérovej sady pri maximálnom výkone je stanovená nasledovne.

$$Q_{\text{max}} = (P_{\text{celkový}} * t_{8 \text{ h}}) / U$$

$$Q_{\text{max}} = (30000 * 8) / 48$$

$$Q_{\text{max}} = 5000 \text{ Ah}$$

Stroj však nepôjde na plný výkon po celú dobu. Preto bola k príkladu rozpočítaná 1 h na percentuálny podiel výkonu pohybových modulov a ramena a z toho bol vypočítaný vážený priemer.

$$10 \text{ kW na } 25\% = 2500 \text{ W}$$

$$20 \text{ kW na } 60\% = 12\,000 \text{ W}$$

Vážený priemer za hodinu bol vypočítaný na $P_{\text{vážený}} \doteq 14\,500 \text{ W}$.

Následne bola stanovená potrebná kapacita batérovej sady potrebnej na prevádzku stroja po dobu 1 h. Výsledná kapacita bola zvýšená a zaokrúhľená pre potreby zvyšných komponentov stroja.

$$Q_{1 \text{ h}} = (P_{\text{vážený}} * t_{1 \text{ h}}) / U$$

$$Q_{1 \text{ h}} = (14\,500 * 1) / 48$$

$$Q_{1 \text{ h}} \doteq 302 \text{ Ah} \Rightarrow 320 \text{ Ah}$$

Následne sa vypočíta požadované množstvo batérových modulov, ktoré sa zapoja paralelne a stanovia požadovanú kapacitu batérovej sady na prevádzku stroja po dobu 8 h.

$$Q_{\text{celková}} = Q_{1 \text{ h}} * t_{\text{prevádzky}}$$

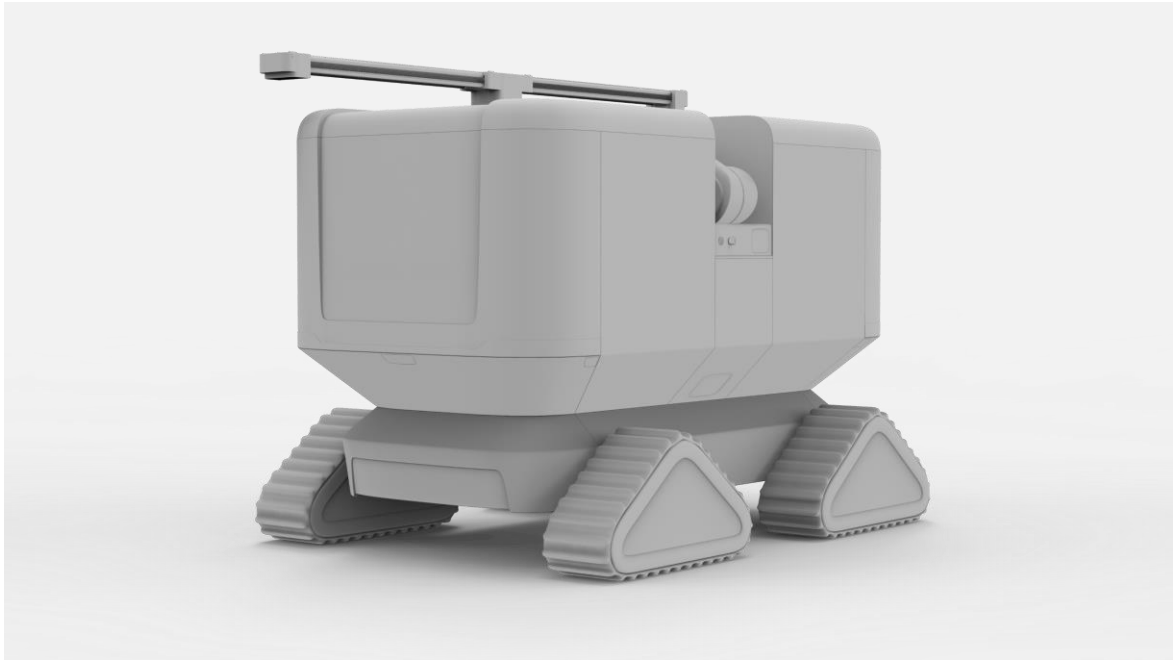
$$Q_{\text{celková}} = 320 \text{ Ah} * 8 \text{ h}$$

$$Q_{\text{celková}} = 2560 \text{ Ah}$$

Pre čas prevádzky po dobu 8 hodín je potreba použiť cca 22 batérových modulov. Stanovený počet batérových modulov sa vojde do objemu s rozmermi 1500 * 1000 * 300 mm.

6 DETAILNÝ NÁVRH

6.1 Tvarové riešenie



obr. 6-1 Tvarová štúdia

6.1.1 Design, proporcie a kompozícia

Ako bolo naznačené v predchádzajúcej kapitole, vybraná bola varianta 3, ktorá prešla úpravami a bola pretvorená do finálnej podoby. Design stroja sa nesie v minimalistickom a futuristickom duchu a snaží sa zapadnúť do atmosféry pracovného prostredia, ktoré je v istom zmysle veľmi neobyčajné a atypické.



obr. 6-2 Detailný návrh – perspektívny pohľad

Základný design stroja okrem robotického ramena je zrkadlovo symetrický v dvoch stredových rovinách, a to vo zvislej rovine vedenej čelom a zvislej rovine vedenej bokom stroja.



obr. 6-3 Detailný návrh – roviny symetrie

Rozmiestnenie častí stroja a komponentov bolo zachované z variantnej štúdie, a teda podvozok tvorí modul s uloženou trakčnou batériou, zabezpečujúci pevný základ a nesie veľkú časť ťažiska stroja. Plochy definujúce jeho tvar smerujú v časti v spodnej polovici do zeme pod miernym skosením. Na túto základňu sú napojené štyri pohybové jednotky, ktorých tvar je vo všetkých prípadoch rovnaký. Ich tvar vychádza z vnútornej konštrukcie funkčných prvkov. Pohybové ústrojenstvo je usporiadané do pomyselného rovnoramenného trojuholníka so zaoblenými vrcholmi. Po obvode ich obaluje pás určený pre pohyb. Ďalej sa na základňu z vrchu napája dominantná časť stroja, ktorou je krytovanie vodných nádrží a zvyšných častí stroja. Susedné plochy základne a horného krytovania sú na seba napojené pod 90° uhlom. Tvarovanie mierne kopíruje základňu a celý objem vrchnej časti je možné vnímať ako prevrátenú spodnú časť o 180°.

Výrazným prvkom hornej časti krytovania je prelis plynúci cez čelné a vrchné plochy. V čelných plochách smeruje prelis s miernym skosením smerom k zemi a dodáva stroju dynamický nádych. Prelis, v pohľade z bočnej strany do tvaru písmena „L“, plynie zhora z vrchnej plochy do čelnej plochy a končí mierne nad svetelným pásom. Rohy prelisu sú zaoblené decentným rádiusom.



obr. 6-4 Detailný návrh - prelis

Svetelný pás je vedený v čelnej ploche a preniká mierne do bokov, aby bol viditeľný nielen z čelného pohľadu na stroj. Z bokov plynie svetelný pás zo širšej do užšej výšky a rovnako je pridané zaoblenie rádiusmi vo výškových prechodoch.

Druhým výrazným prvkom je farebné odlišenie bočnej plochy, konkrétne pomyselný pás plynúci pod robotickým ramenom smerom nadol. Prepája tak spodnú časť a obaluje robotické rameno po celom obvode a tým zjednocuje výraz stroja z bočnej časti. Vozidlo sa tak rozdeľuje na pomyselné obrátené písmeno T a dva boxy napojené do jeho rohov.



obr. 6-5 Detailný návrh – perspektívny bočný pohľad

Napriek tomu, že design vychádza z usporiadania vnútorných konštrukčných a funkčných prvkov a vchádza do estetickej podoby, dimenzovanie rozstupov piatich základných línií bolo možné usporiadať do proporcií zlatého rezu a jeho pomerov. Stroj so spomenutými pomermi môže vďaka tomu pôsobiť príjemnejšie pre oko a prirodzene z hľadiska estetiky. Pre lepšiu názornosť sú na obrázku nižšie znázornené pomerové vzťahy spomínaných línií.

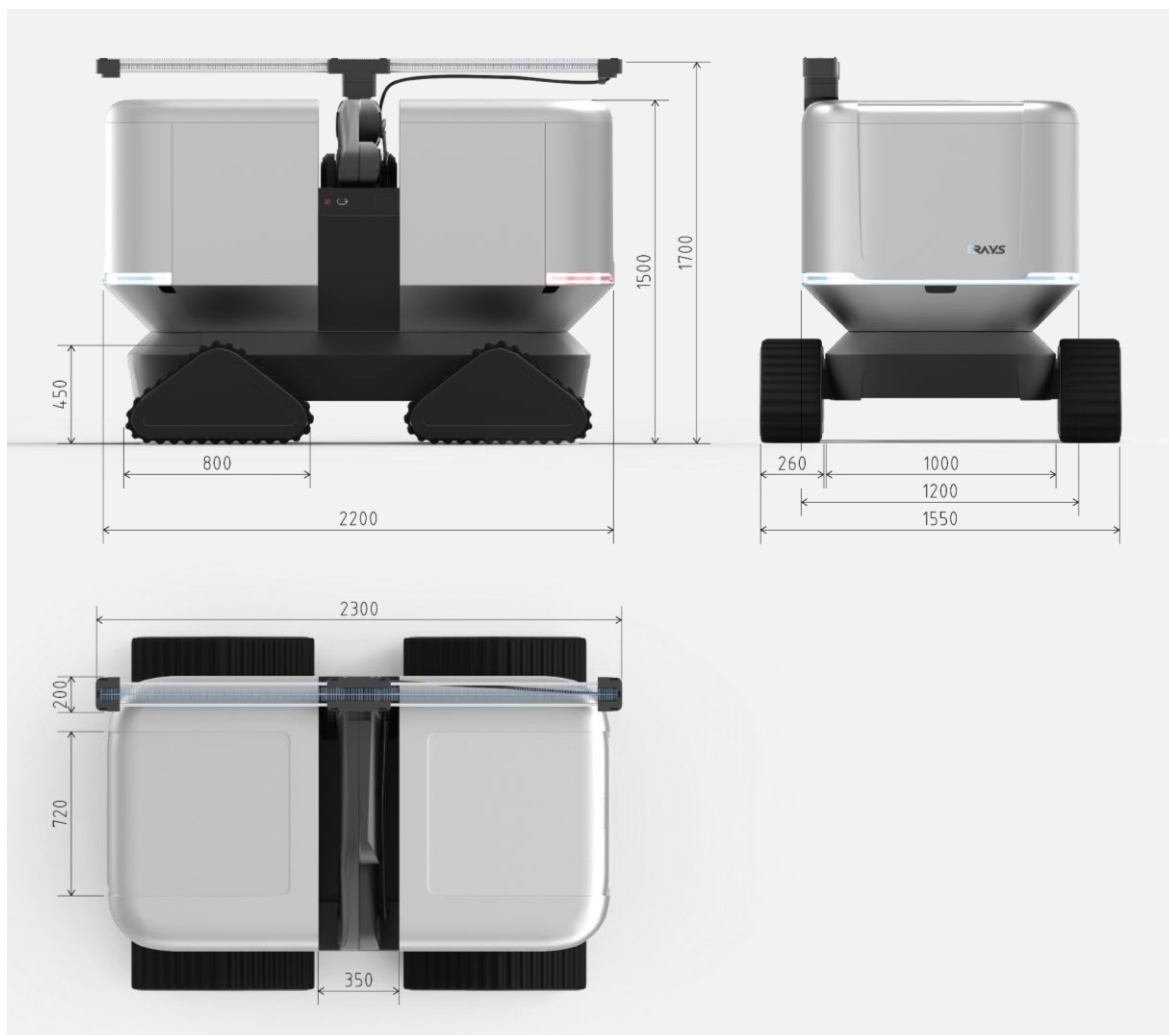


obr. 6-6 Detailný návrh - proporcie

6.2 Konštrukčne technologické riešenie

6.2.1 Rozmerové riešenie

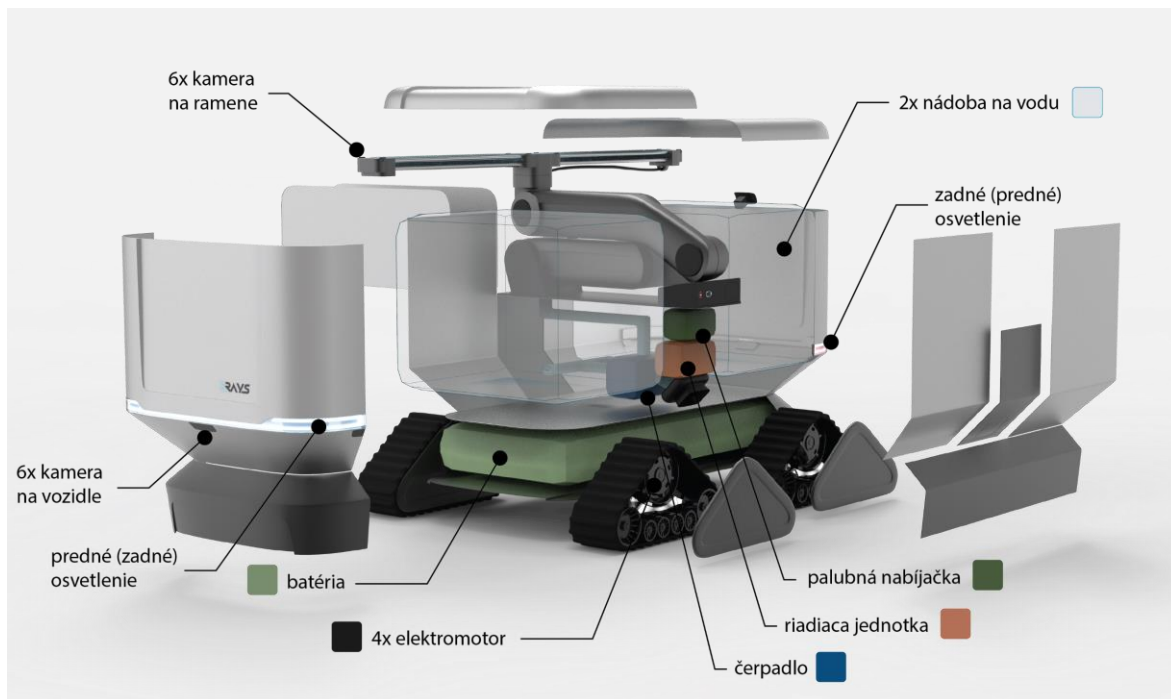
Stroj má celkové rozmery (2300 x 1550 x 1700) mm. Bez pásových modulov a ramena je hlavné telo o niečo menšie, a to (2200 x 1200 x 1300) mm. Stroj má od zeme po vrch tela bez ramena rozmer 1500 mm na výšku.



obr. 6-7 Detailný návrh – rozmerové riešenie

6.2.2 Vnútorne usporiadanie a deliace roviny

Batéria bola z dôvodu rozloženia váhy umiestnená do spodnej časti stroja. Najťažší komponent tak rozkladá váhu v podstave a zaťažuje stroj smerom k zemi. Rozloženie zvyšných komponentov bolo volené do priestoru medzi dve vodné nádrže. Takto volené rozmiestnenie modulov poskytuje vyváženosť stroja a zabezpečuje stabilitu.



obr. 6-8 Vnútny rozpad komponentov

Tvar plôch krytovania je vďaka symetrickému designu zrkadlovo rovnaký, a teda je k zostaveniu celého stroja potrebné menšie množstvo tvarových prvkov. Základňa sa po obvode skladá zo 4 plôch a 1 zospodu. Horné krytovanie sa skladá po obvode z 10 plôch, 2 zvrchu a 2 plôch zo strán okolo ramena.

6.2.3 Pohyb, osvetlenie a senzory

Stroj vykonáva pohyb v smere, ktorý naznačujú svetelné pásy. Nakoľko je design stroja bisymetrickým počínom, pohyb v oboch smeroch je úplne totožný, strana natočená k panelom je vždy rovnaká a stabilita vozidla sa nemení. Prakticky to znamená, že určená čelná strana, ktorá konštantne čelnou ostane, neexistuje. Stroj sa teda nemusí často otáčať v priestore, ktorý je aj tak celkom stiesnený. Pri dosiahnutí maxima v riadku v jednom smere obráti stroj otáčanie pohybových jednotiek a smeruje opačne. Vyváženosť stroja ostáva zachovaná. Smer pohybu naznačuje svetelná signalizácia, ktorá v prípade, že sa jedná o aktuálnu čelnú stranu, svieti do modra, a v prípade, že sa jedná o aktuálnu zadnú časť stroja svieti na červeno. V prípade obrátenia pohybu sa rovnako obráti sfarbenie svetelných pásov. Zvuková signalizácia zároveň poisťuje bezpečnosť okolia stroja a pri zmene smeru dochádza k upozorneniu okolia nielen svetelnou signalizáciou, ale i tou zvukovou. Zvukové oznamovače sa nachádzajú pod servisným krytom uprostred stroja a sú rozložené po oboch stranách.



obr. 6-9 Detail čelných svetiel a kamier



obr. 6-10 Detail zadných svetiel a kamier

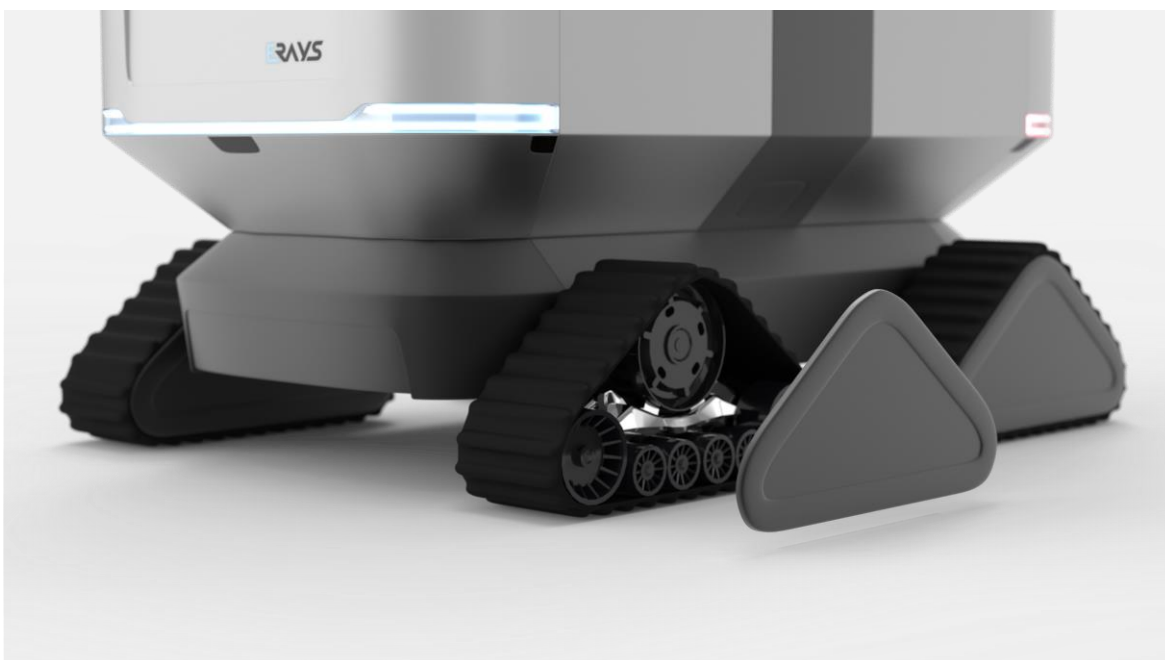


obr. 6-11 Vizualizácia svetelných prvkov v tme

Pre pohyb v priestore v okolí solárnych panelov je na vozidle usporiadaných 6 kamier, po 1 kamere v čele v oboch smeroch, 2 kamery na ľavom boku a 2 kamery na pravom boku. Kamery zachytávajú najpodstatnejšie časti okolia potrebné pre pohyb vozidla. Tými podstatnými časťami sú snímanie povrchu, podľa ktorého následne dochádza k vyvažovaniu ramena, aby nedošlo k poškodeniu solárnych modulov. Ďalej sú senzory využívané na snímanie potenciálneho nebezpečného objektu, ktorý by mohol znemožniť či znefunkčniť chod stroja. Pri takom kontakte dôjde k pozastaveniu stroja a výstraha sa premietne na zariadení operátora, napríklad na tablete.

Rovnako ako kamery, potrebuje stroj GPS zariadenie, ktoré presne definuje jeho polohu. GPS neurčuje presnú polohu samostatne, je zosynchronizované s ostatnými senzormi, ktoré dokopy vytvárajú veľmi presný obraz o lokácii stroja. Zároveň je poloha stroja vyobrazená na kontrolnom zariadení a operátor môže v aktuálnom čase stroj sledovať.

Z dôvodu stability a plynulejšieho rozbehu boli pre účely pohybu stroja zvolené gumené pásy. Svojim väčším rozmerom ako bežné kolesá poskytujú stroju väčšiu dotykovú plochu so zemou a tým zvyšujú celkovú vyváženosť stroja na prechádzanom povrchu a dosiahnutý je tak väčší záber. Pohonná jednotka pozostáva z mechanizmu, ktorý ukotvuje všetky tri rohy rovnoramenného trojuholníka valcami. Hnací valec je umiestnený na vrchole nad zvyšnými menšími valcami. Je v ňom umiestnený motor, ktorý je vo všetkých štyroch pohonných zostavách. Každý motor má schopnosť otáčať sa nezávisle veľkou rýchlosťou od ostatných, a teda pri zmene rýchlosti jednej strany motorov dochádza k natočeniu osi pohybu stroja. Celý mechanizmus je z bezpečnostného, hygienického, ale aj estetického dôvodu zakrytovaný plochou s prelisom, ktorý kopíruje linkou približné stredy valcov.



obr. 6-12 Detail vnútra pásového modulu

6.2.4 Ovládacie prvky a nabíjanie

Stroj disponuje len dvomi ovládacími prvkami, a tým je hlavný spínač, ktorým operátor zapína a vypína stroj, a bezpečnostný spínač, ktorým v prípade potreby je možné manuálne okamžite pozastaviť činnosť robota. Hlavný spínač je preklápací a bezpečnostný spínač je stlačací. To, že dôjde k takejto situácii, je málo pravdepodobné, no z bezpečnostného dôvodu je nutné s takou situáciou počítať a stroj teda daným tlačidlom musí disponovať.



obr. 6-13 Detail ovládacích prvkov

Stroj sa radí do kategórie medzi elektrické vozidlá a na nabíjanie je využívaná prípojka typu 2. Pod krytom, ktorý sa otvára stlačením, sa nachádza prípojka pre nabíjačku. Prípojka má po svojom obvode LED pásik, ktorý signalizuje stav nabíjania. Na dvierkach krytu nabíjania sa nachádza sériové číslo stroja a základné údaje o konkrétnom modeli.



obr. 6-14 Elektro nabíjačka typ 2



obr. 6-15 Detail otvoreného krytu na nabíjanie



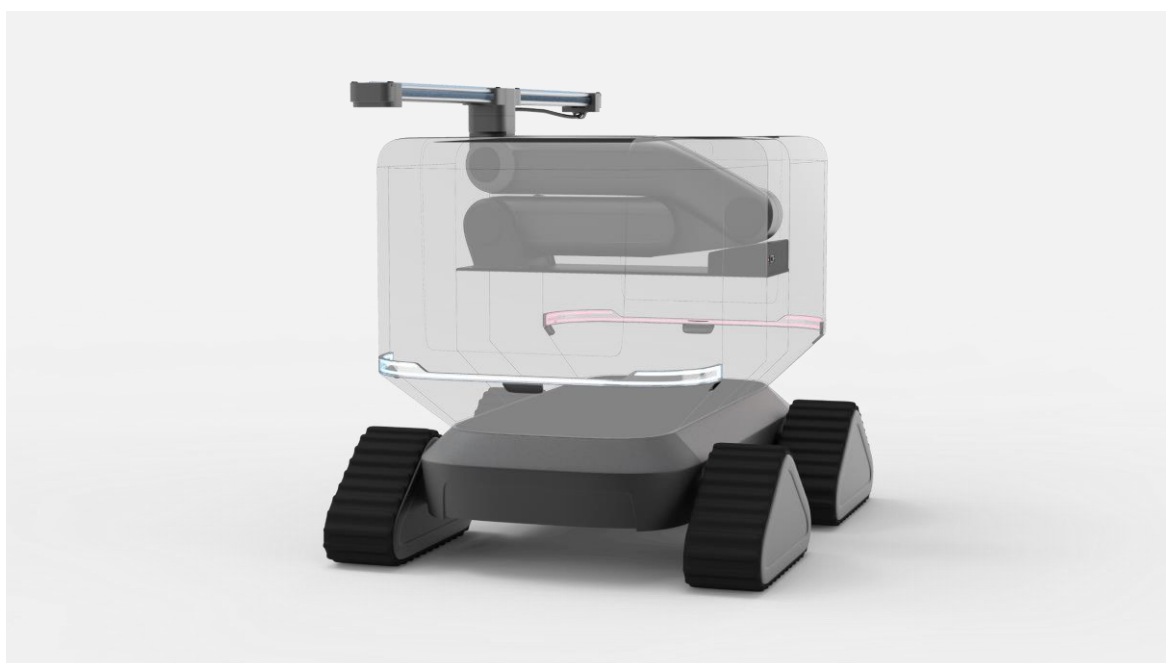
obr. 6-16 Detail nabjania s rozsvieteným LED pásikom signalizujúcim nabjanie



obr. 6-17 Vizualizácia nabjania

6.2.5 Robotické rameno a čistiaca hlavica

Výrez v tele stroja je určený pre robotické rameno a jeho skladanie do tohto priestoru. Z praktického hľadiska sa rameno zloží a nevyčnieva do okolia stroja, okrem čistiacej hlavice. Rameno sa skladá na plochu, ktorá je mierne naklonená smerom k hlavnému kĺbu ramena z dôvodu odtekania vody, ktorá sa na tejto ploche môže zdržiavať. Zároveň sa rameno v mieste druhého kĺbu pokladá na plochu vrchnej časti boxu s ovládacími prvkami a nabíjačkou. Rovnako je aj táto plocha naklonená, kopíruje smerovanie časti položeného ramena a poskytuje odtok vody smerom na to určeným.



obr. 6-18 Princíp skladania ramena do výrezu v tele

Rameno dosiahne svojou dĺžkou na panely dlhé 4,5 m. Je to rozmer odpovedajúci 3 nad sebou postavených modulov na výšku alebo 5 modulov postavených nad sebou na šírku. Usporiadanie modulov býva rôzne a pre dosiahnutie univerzálnosti bolo rameno dimenzované do aktuálnej podoby. Minimálna vzdialenosť, ktorú čistiaca hlavica dosiahne, je prakticky najbližšia možná vzdialenosť ku stroju.



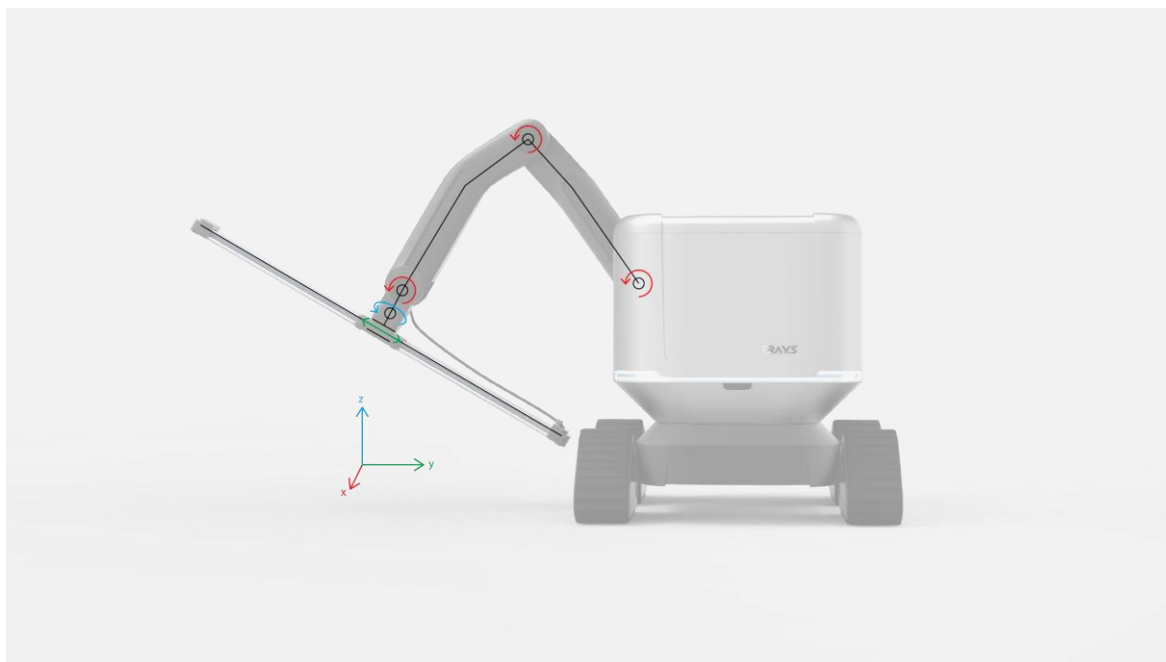
obr. 6-19 Rameno v maximálnej polohe



obr. 6-20 Rameno v minimálnej polohe

Kinematika robotického ramena je nasledovná:

- na tele stroja sa nachádza hlavný kĺb, ktorý otáča rameno okolo osi smeru pohybu stroja o max 180° vyznačený **červenou farbou**
- druhý kĺb otáča rameno okolo osi pohybu stroja o max 180° vyznačený **červenou farbou**
- tretí kĺb otáča rameno okolo osi pohybu stroja o max 180° vyznačený **červenou farbou**
- štvrtý kĺb rotuje hlavicu okolo lokálnej zvislej osi o 90° vyznačený **modrou farbou**
- piata translácia je lineárny posun v ploche kolmej na solárne moduly vyznačená **zelenou farbou**



obr. 6-21 Schéma kinematiky otáčania ramena

Robotická hlavica je vysúvateľná v prípade potreby, kedy nedosahuje na maximum solárneho modulu. Transláciu zabezpečujú dva motory, ktoré posúvajú tyče lineárne jedným smerom. Do hlavice je vedená voda hadicou, ktorá prechádza vždy navádzačmi pripnutými na robotickú ruku, aby nedošlo k poškodeniu hadice a zamotaniu do ramena. Hadica je navinutá v minimálnej polohe ramena a postupne odvíjaná pri translácii hlavice do maximálnej polohy, aby bola vždy v napnutej polohe. Voda je následne distribuovaná do zvyšných dvoch tyčí a rozstrekovaná na povrch panelov. Na koncoch hlavice sa nachádzajú upínače, v ktorých sú zároveň motory určené na rotáciu rotačnej kefy, na každom konci jeden. Kefa sa skladá zo štetiniek pozostávajúcich zo syntetických mäkkých vlákien ako napríklad karlit, nylon alebo polyester. Zabezpečí sa tak jemný kontakt, ktorý nepoškriabe povrch panelov. Na hlavici sa nachádza 8 polyuretánových koliesok, ktorými hlavica jazdí po povrchu modulov. Pre orientáciu v priestore je zároveň na hlavici umiestnených 6 kamier ako senzory prostredia. Kamery sú po 3 rozmiestnené na koncoch, 2 kamery z každého boku a 1 kamera z vrchu upínača.



obr. 6-22 Detail čistiacej hlavice



obr. 6-23 Detail vedenia hadice pozdĺž ramena

6.2.6 Proces čistenia

Čistiace vozidlo je prinášané na miesto čistenia solárnej elektrárne, ktorá si vyžaduje údržbu solárnych modulov vodou, a teda nie spôsobom čistenia na sucho len s použitím kefy. Alternatívnou možnosťou je stála prítomnosť stroja v danej solárnej elektrárni na mieste určenom pre tento stroj. Prípadne sa jedná o väčší počet vozidiel pre dosiahnutie väčšej efektivity a vykonanie údržby v kratšom časovom horizonte.

Pred čistením sa stanoví čistená plocha na daný deň, napríklad pomocou GPS a satelitných záznamov danej solárnej elektrárne, a optimalizuje sa trasa prechádzania stroja v riadkoch a stĺpcoch jednotlivých solárnych modulov, napríklad optimalizáciou trasy pomocou algoritmov problému obchodného cestujúceho. Ďalej sa určí intenzita čistenia a potrebný počet prejdenia rovnakého riadku. Takisto sa nastaví optimálna rýchlosť stroja. Vo výpočte sa zvažuje celkový počet dostupných robotických čističov a výsledok je prepočítaný na dni potrebné na údržbu danej solárnej elektrárne.

Stroj je vyložený v solárnom parku, na začiatku uvedenia do prevádzky je v nabitom stave a do nádrže s vodou sa napustí demineralizovaná voda v požadovanom objeme. Daná solárna elektráreň disponuje prípojkou na vodu a tá prechádza filtračným procesom pre zbavenie vody minerálov. Odfiltrovaná voda sa následne napustí do nádob uložených v stroji. V opačnom prípade, ak takáto prípojka nie je k dispozícii, sa do danej elektrárne voda privádza a prechádza rovnakým procesom, ako v prvom prípade. Do vody sa nepridávajú žiadne vedľajšie chemikálie ani substancie z dôvodu ochrany pôdy, do ktorej voda po čistení nasakuje. Voda sa vo filtračnom procese demineralizuje napríklad za pomoci použitia živice. Vyfiltrovaná voda sa vlieva do stroja v jednej z čelných častí. Po stlačení krytky sa otvorí poklop, ktorý ostane statický v otvorenej polohe. Z otvoru sa vytiahne krytka, ktorá visí na lanku pre zrušenie potreby pokladať krytku mimo vozidlo. Hladina vody je sledovaná na zariadení.



obr. 6-24 Detail otvoreného krytu pre dolievanie vody



obr. 6-25 Detail dolievania vody

Keď je stroj pripravený na zapnutie a disponuje všetkými potrebnými dátami na čistenie, je uvedený do prevádzky. Stav stroja je sledovaný na tablete v aplikácii, ktorá udáva aktuálny prehľad stavu stroja.

Stroj s plnými nádržami na vodu začína najvrchnejším radom. Rameno je v tomto prípade v maximálnej polohe a ťažisko stroja je posunuté viac do stredu stroja, nakoľko plnšie nádoby zväčšujú celkovú váhu stroja. Preto je vhodné s naplnenou nádržou udržať stabilitu stroja a v najvzdialenejšej polohe ramena od stroja vybalansovať ťažisko vodou, a teda začať vrchnou radou. Je to zároveň vhodné kvôli stekaniu vody smerom nadol, a teda použitá voda steká po ešte neudržiavaných paneloch.

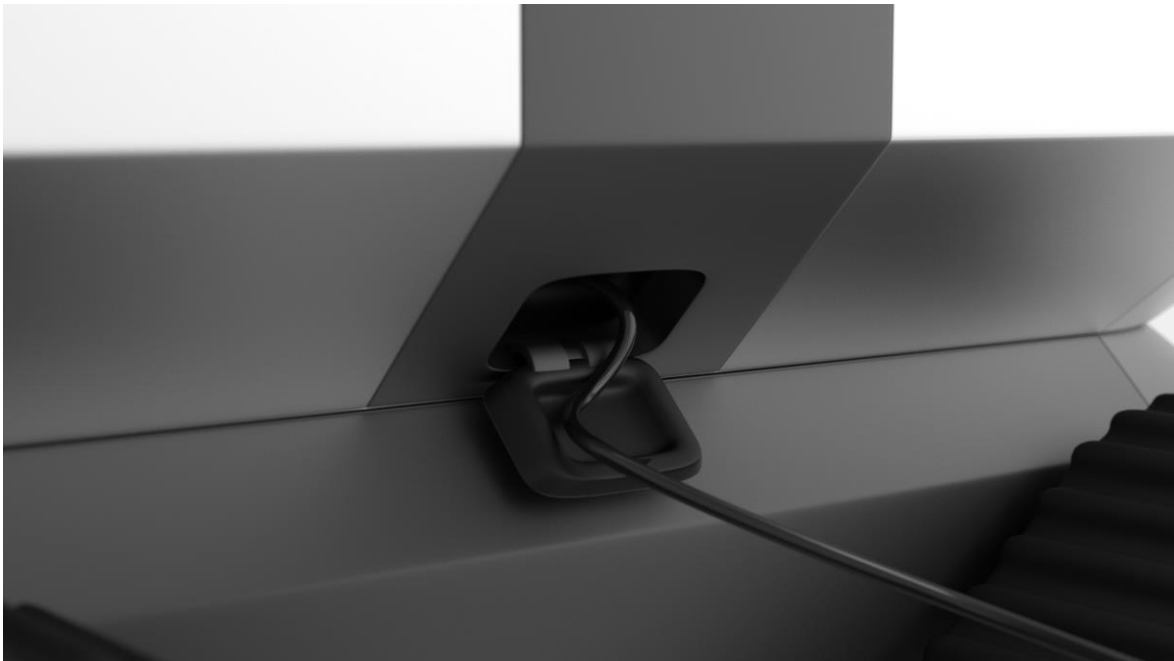
Pre zaistenie väčšej stability stroja sú nádoby na vodu vybavené vertikálnymi výstupkami, ktoré lámu prúd a zmierňujú nárazy vody na steny nádoby, a znemožňujú tak vlnám rozkývať stroj do nekontrolovateľného stavu. Podobný princíp využívajú nákladné autá prevážajúce tankery na vodu alebo iné kvapaliny.

V prípade, že stroj vyčerpá celý objem vody, sa do nádoby doplní ďalšia várka demineralizovanej vody a v procese čistenia sa pokračuje.

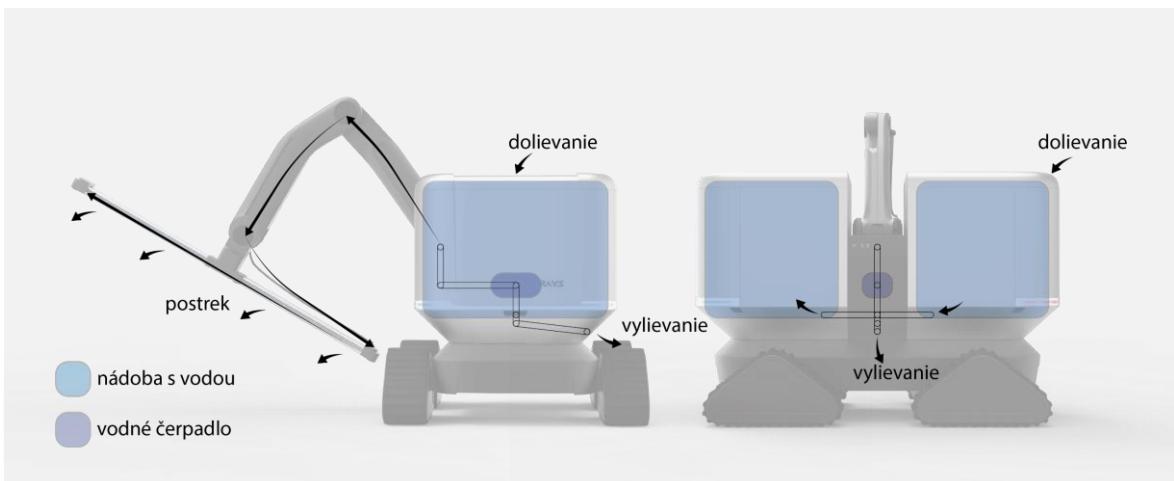
V prípade, že dôjde k ukončeniu procesu čistenia a v stroji ostane nepoužitá voda, je stroj vybavený systémom vypúšťania prebytočnej vody. Z medzipriestoru nad batériou a pod panelom na ovládanie a nabíjanie sa stlačením krytky otvorí poklop, pod ktorým je uložená hadica. Tá je navinutá a napojená na výstup vody, ktorý je možné otvoriť ventilom schovaným v tomto priestore. Hadica sa z tohto miesta vyberie a následne sa ňou vyleje prebytočná voda na požadované miesto. Predpokladá sa však, že optimalizáciou a výpočtom potrebnej vody na údržbu k takýmto prípadom bude dochádzať málokedy.



obr. 6-26 Detail otvoreného krytu pre vylievanie vody



obr. 6-27 Detail vylievania vody



obr. 6-28 Schéma toku vody

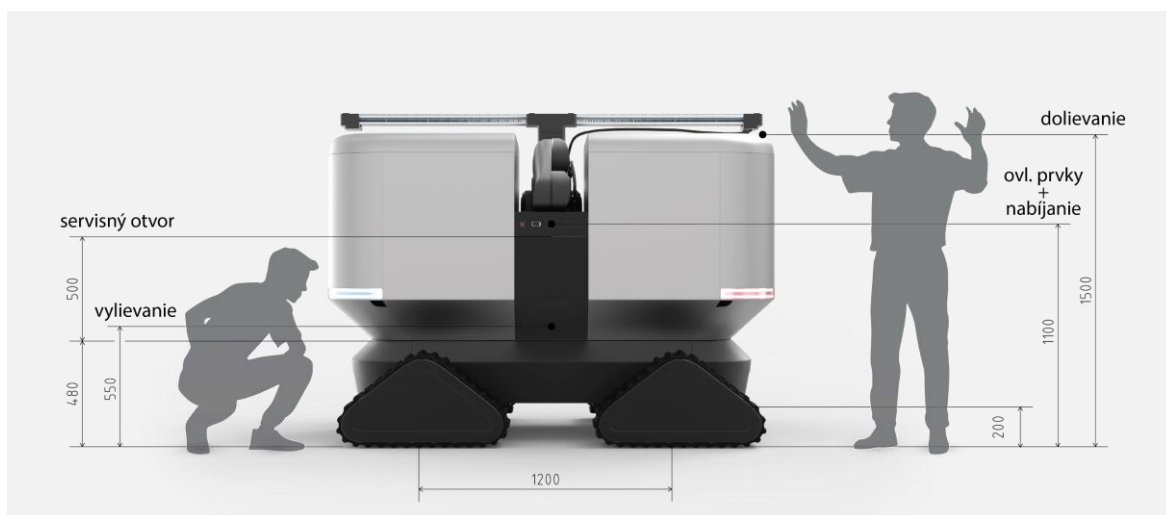
6.3 Ergonomické riešenie, bezpečnosť a hygiena

Stroj prichádza v niektorých prípadoch do kontaktu s človekom, je preto potrebné zaradiť produkt do nasledovnej ergonomickej kategórie:

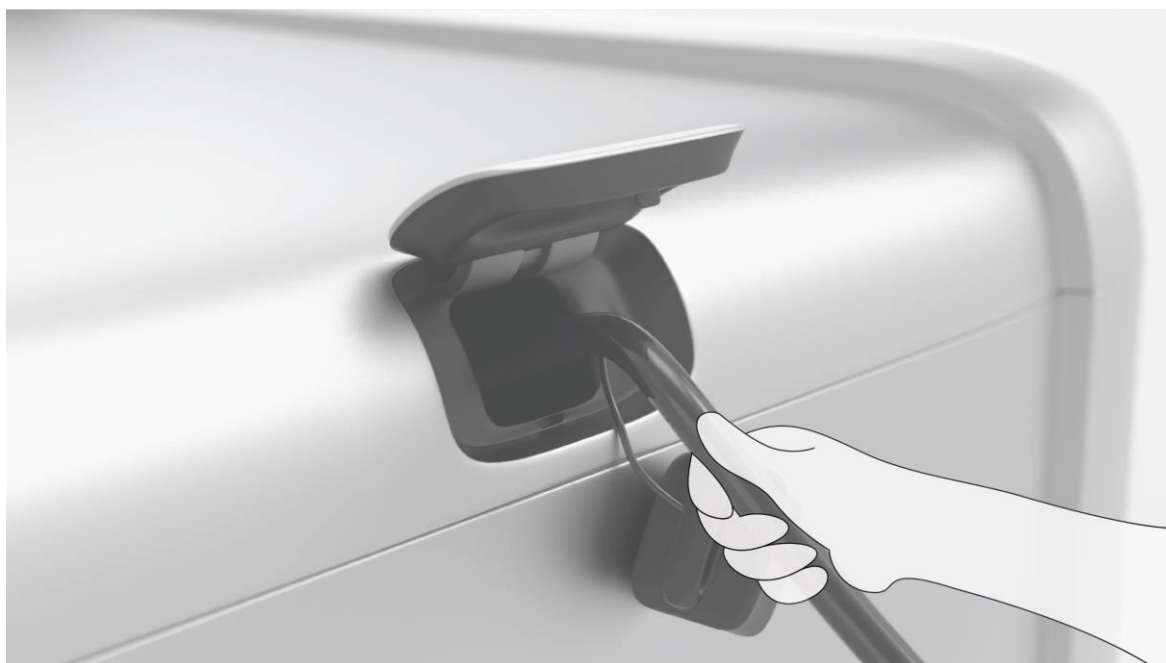
- Pracovný kontakt
- Kontakt pomocou ovládačov a oznamovačov
- Nevýrobná činnosť
- Kontakt rukou

Design stroja rešpektuje rozmery 50-percentilného, 1-percentilného aj 99-percentilného človeka pre základné úkony so strojom, ako je ovládanie pomocou dvoch ovládacích prvkov, nabíjanie batérie, dolievanie vody a vylievanie vody. Pri činnosti vylievania vody je potrebné sa v každom prípade zohnúť kvôli nižšiemu umiestneniu otvoru v spodnej časti vozidla.

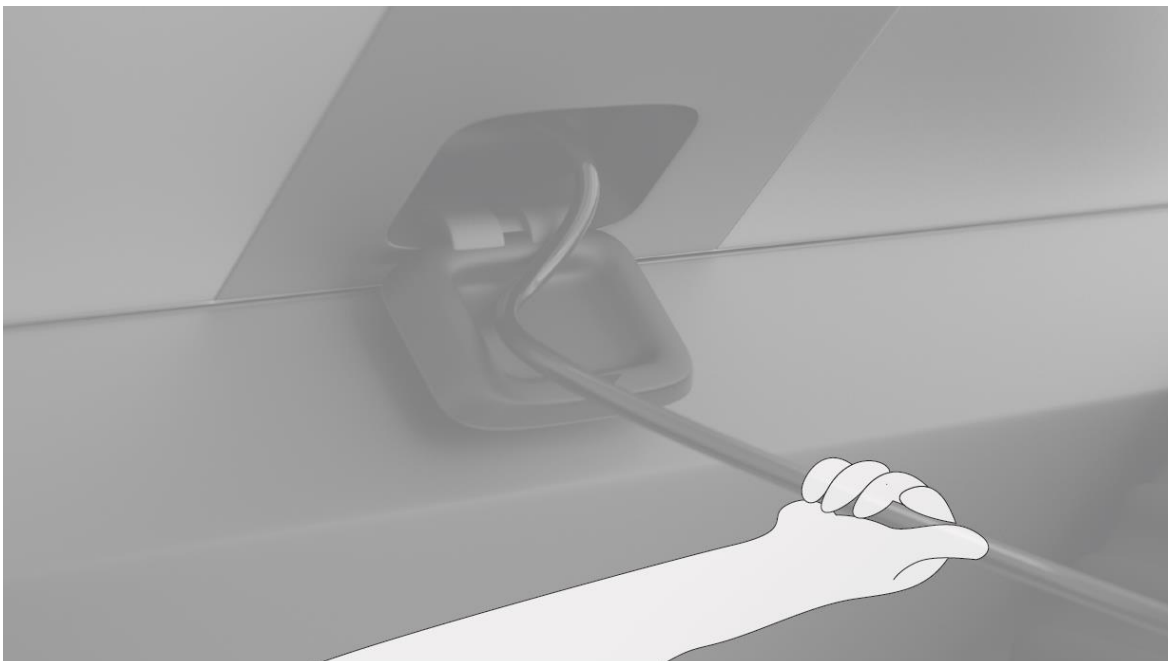
Vylievanie vody sa nachádza vo výške 550 mm od zeme, ovládacie prvky a dobíjanie batérie vo výške 1100 mm od zeme a dolievanie vody sa nachádza vo výške 1500 mm od zeme. 50-percentilný muž má výšku 1750 mm.



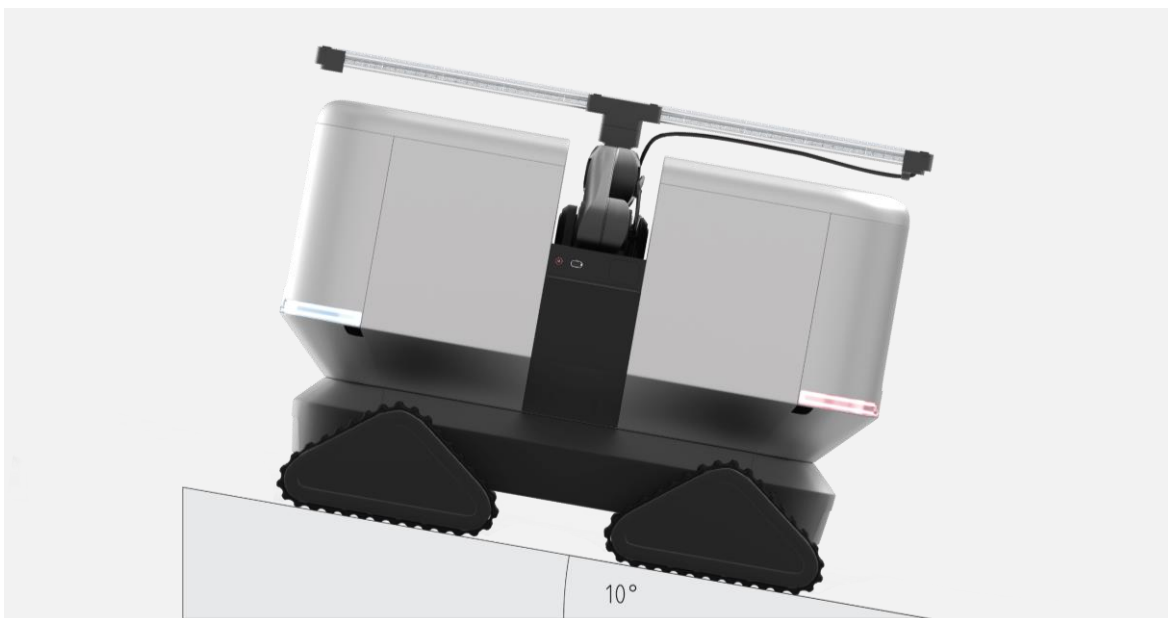
obr. 6-29 Ergonomické pozície v porovnaní s 50-percentilným mužom



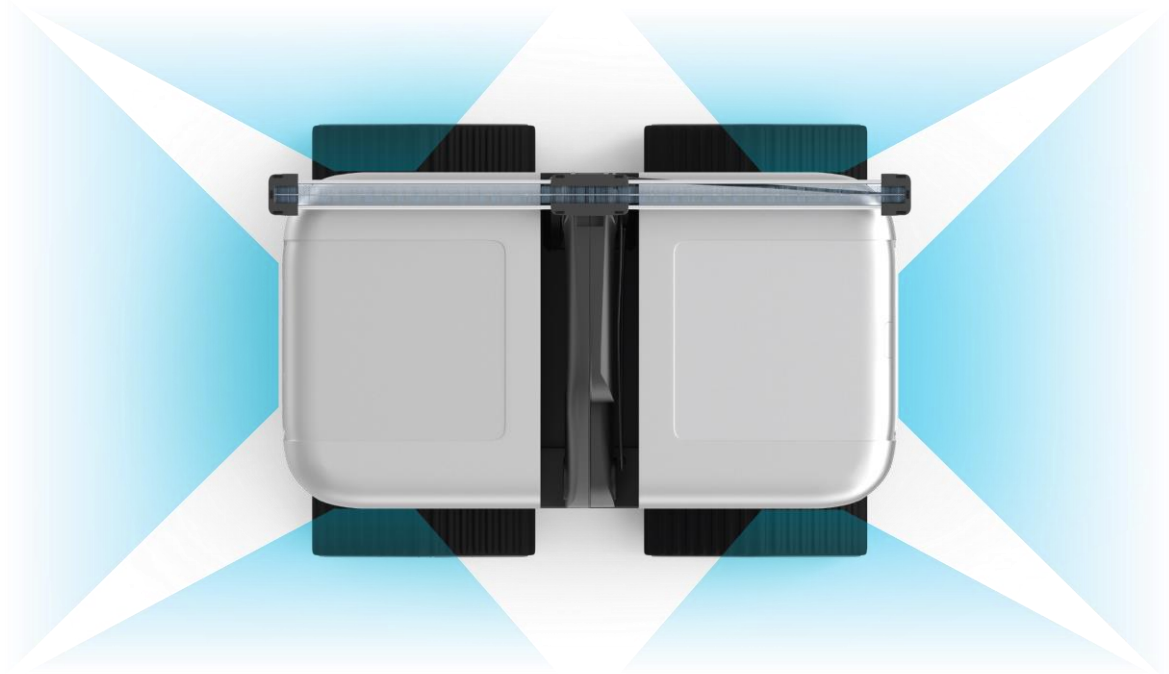
obr. 6-30 Ergonómia napúšťania vody



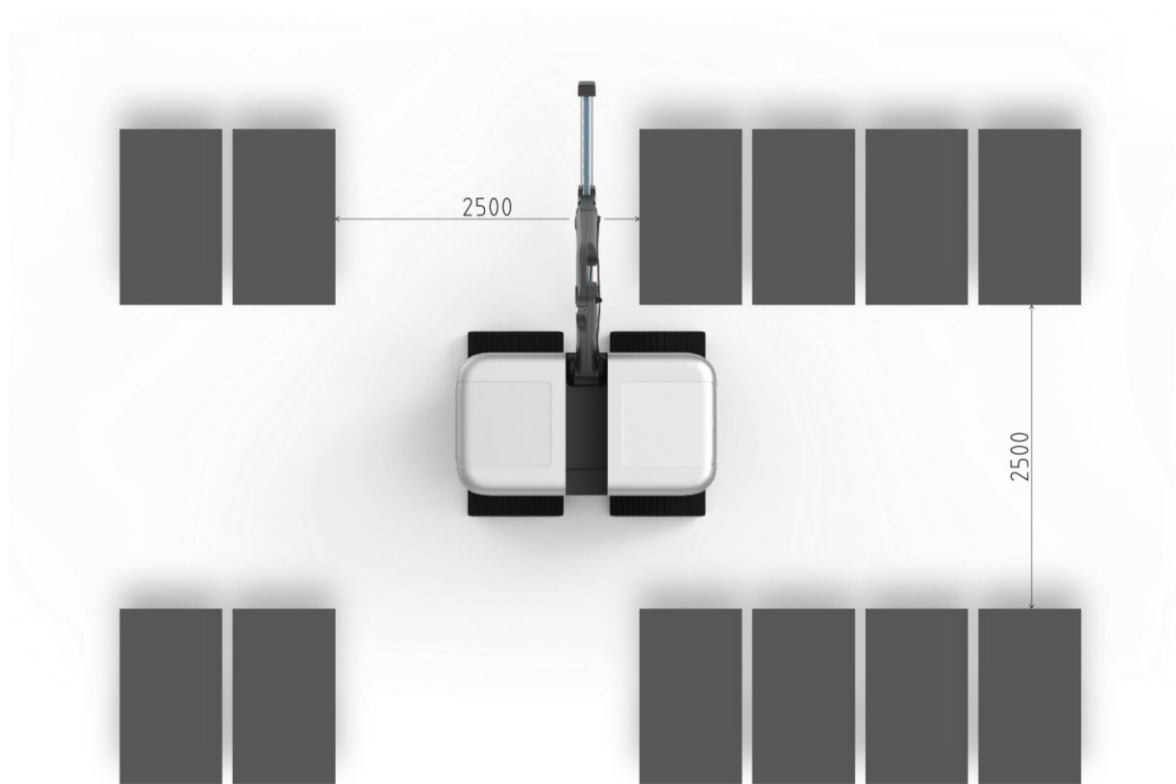
obr. 6-31 Ergonómia vylievania vody



obr. 6-32 Stroj na maximálne naklonenej rovine



obr. 6-33 Výhľady senzorov a kamier na pohyb



obr. 6-34 Minimálne rozmerové požiadavky rozmiestnenia solárnych panelov

Z hľadiska bezpečnosti by sa v blízkom okolí stroja počas prevádzky prirodzene nemal nikto zdržiavať. Stroj, nakoľko je autonómny, by mal byť schopný vďaka senzorum odhadnúť nebezpečnú situáciu a v prípade kontaktu pozastaviť svoju činnosť. Stroj dáva zvukovými a svetelnými senzormi znamenie zmeny pohybu a aj zmenu polohy ramena.

Vozidlo je v prevádzke vystavené bežným poveternostným podmienkam vyskytujúcim sa vo vonkajšom prostredí. Zároveň dochádza k bežnému zanášaniam častí stroja a k znečisteniu, napríklad špinavou vodou, blatom a podobne. Vďaka plošnému tvarovaniu nedisponuje stroj miestami, kam by bolo komplikované zájsť a vykonať údržbu. Miesto pod ramenom, ako už bolo spomenuté, je navrhnuté pre možný odtok vody hromadiacou sa pod ramenom. Zvyšok stroja vrátane pásových modulov je možné jednoducho a bezpečne udržiavať. Výška stroja dovoľuje človeku vykonať údržbu aj vrchných plôch.

Plocha pod ovládacím panelom je odnímateľná a slúži na servisné udržiavanie vozidla. Otvoriť ju je možné z polohy otvoreného krytu na vylievanie vody.

6.4 Farebné a grafické riešenie

6.4.1 Farebné riešenie produktu

Zvolenými farbami boli opticky odlišené hlavné komponenty stroja a tým zoskupujú jednotlivé časti do logických celkov. Sivá farba bola volená ako odtieň RAL 7035 a tmavá farba podstavy bola volená ako odtieň RAL 9004. Vo farebnej variante č. 2 je opticky oddelený v časti hlavného krytovania prelis, ktorý má odtieň základne. Rovnako je vo variantách č. 2 a č. 3 zvýraznený prelis na krytovaní pohybových modulov. V prípade varianty č. 3 došlo k úprave farby hĺbky prelisu a použitý bol modrastý akcent zhodujúci sa s odtieňom kefy a písmena E v logu. Odtieň farby je v tomto prípade RAL 5014.



obr. 6-35 Farebná varianta č. 1



obr. 6-36 Farebná varianta č. 2



obr. 6-37 Farebná varianta č. 3

6.4.2 Grafické riešenia loga

Pre vyvíjaný produkt bol zvolený názov ERAYS. Názov vychádza z angličtiny a má viacero významov. Prvé dva významy sú už zrejmé z farebného odlišenia, písmeno E odkazuje na elektrický pohon vozidla a slovo RAYS znamená v preklade lúče, v zmysle slnečné, odkazujúce na fotovoltaiku. Ďalší význam má pomenovanie pri prečítaní názvu v celku, pri vyslovovaní sa názov podobá na anglické slovo „erase“, čo v preklade znamená vymazať, vygumovať, s preneseným významom v zmysle vymazať špinu a vyčistiť povrch panelu. Význam vizuálny má logo v písmenách A a Y, kde bola použitá symetria, ktorá jednak odkazuje na symetrickosť celého stroja, a jednak na obojstrannosť pohybu, ktorú naznačujú šípky skryté v týchto písmenách smerujúce hore a dolu. Logo sa skladá z písmen jedinečného fontu a nesie sa v čistých líniah, niektoré línie majú ostré črty odkazujúce na ostré črty designovaných prvkov stroja.



obr. 6-38 Grafické riešenie loga

Umiestnenie loga zámerne narúša celú symetriu stroja, umiestnené bolo do rohu prelisu. Logo sa nachádza z oboch strán stroja a je umiestnené na rovnakom mieste.



obr. 6-39 Detail umiestnenia loga

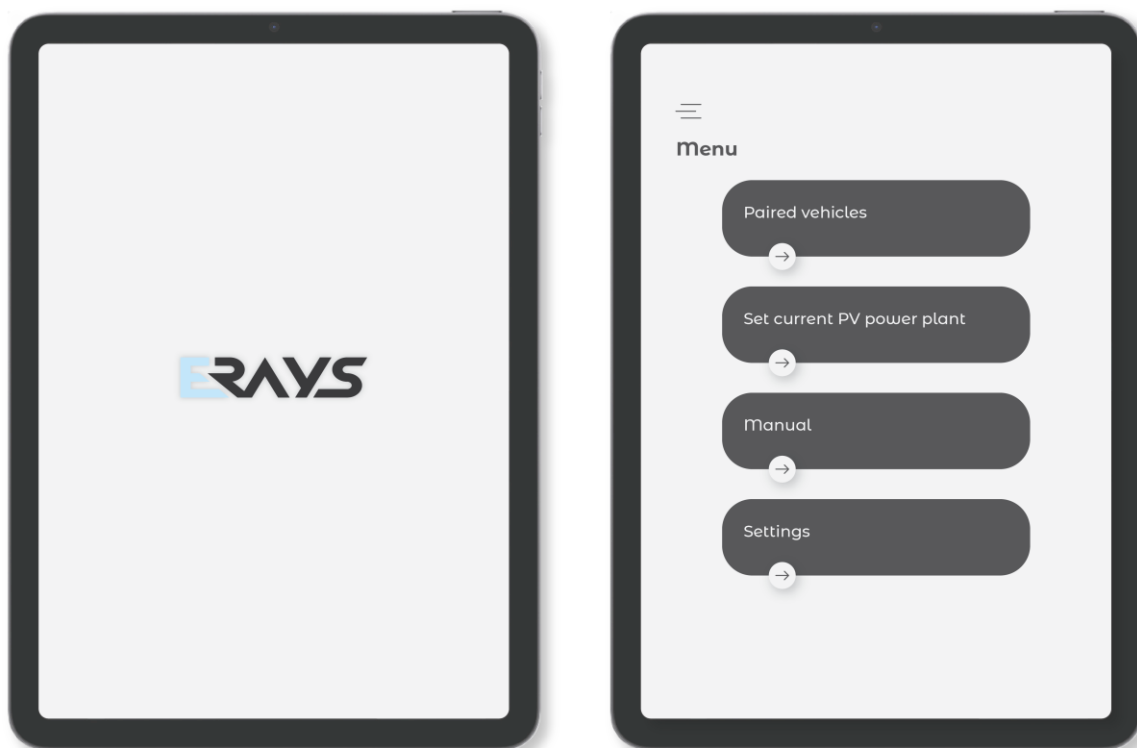
6.4.3 Grafické riešenie aplikácie

V rámci designu samotného stroja bola navrhnutá aj aplikácia určená pre prehľad stavu stroja. Dôraz bol kladený na čistotu, jednoduchosť a intuitívnosť. V aplikácii sa nachádzajú všetky informácie o aktuálnom stave daného stroja. Nakoľko stroj je dedikovaný stráviť väčšinu času mimo prítomnosti operátora, všetky ovládania funkcií sú integrované do jedného miesta. Všetko, čo je potrebné s vozidlom vykonať, je zapnutie tlačidlom na to určeným, spárovanie s ovládacím zariadením, a potom je už na funkciách aplikácie zvoliť ďalšie kroky so strojom.

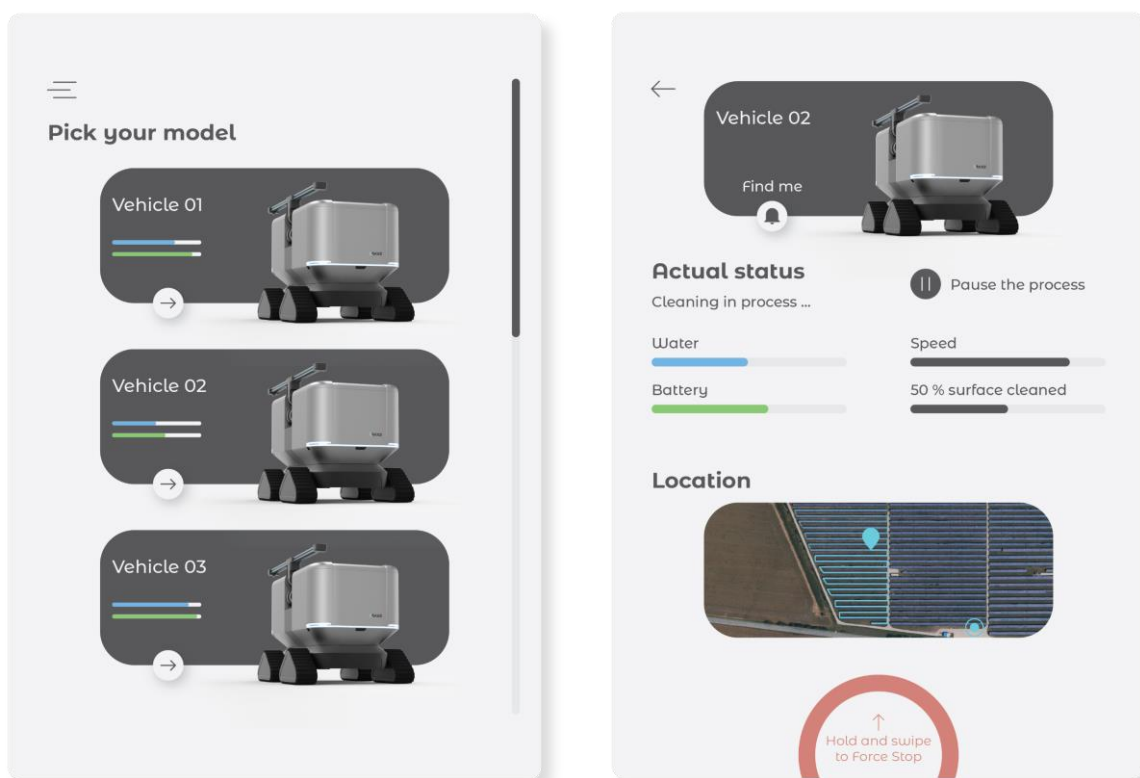
Pre ovládanie sa predpokladá použitie tabletu z dôvodu väčšej obrazovky a lepšieho prehľadu, no v prípade potreby je možné zosynchronizovať stroj aj so smartfónom.

V menu aplikácie je zoznam už dopredu zosynchronizovaných strojov so zariadením. Z nich je možný konkrétny výber jedného stroja pre poskytnutie detailných informácií. Funkcie aplikácie sú napríklad:

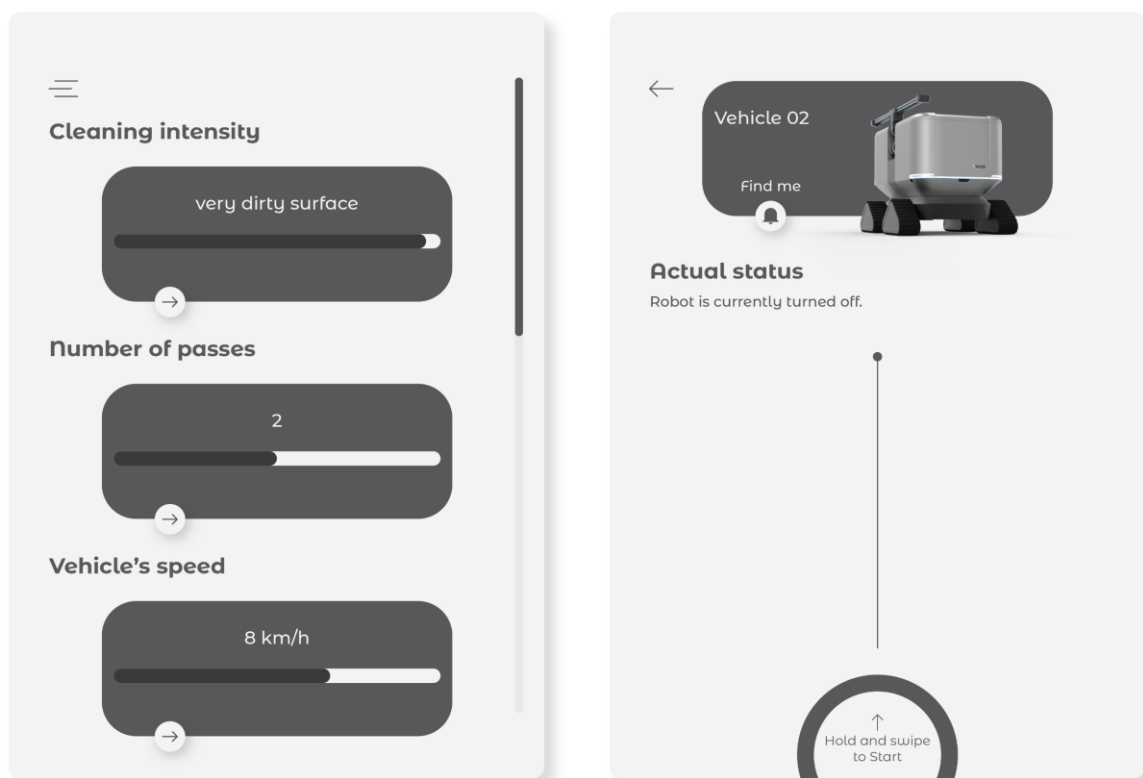
- Uvedenie stroja do prevádzky, pozastavenie prevádzky a instantné vypnutie prevádzky.
- Násť konkrétne vozidlo. Hodí sa najmä, keď je v danej elektrárni viacero strojov a operátor si chce overiť konkrétny výber stroja. Stroj sa následne identifikuje zablikaním svetelnými pásmi a zvukovým signálom.
- Prehľad hladiny vody a výdrž batérie.



obr. 6-40 Grafické riešenie aplikácie – úvodná obrazovka a menu



obr. 6-41 Grafické riešenie aplikácie – výber daného modelu a aktuálny prehľad daného vozidla



obr. 6-42 Grafické riešenie aplikácie – nastavenia čistiaceho procesu a uvedenie stroja do prevádzky

6.5 Udržateľnosť produktu

Udržateľnosť vyvíjaného produktu spočíva najmä vo využívaní elektrického pohonu pohybovej jednotky. Elektromotory pri prevádzke neprodukujú žiadne emisie, čo z nich robí čistejšiu alternatívu spaľovacích motorov a pomáhajú znižovať emisie skleníkových plynov. Navyše sú elektromotory v porovnaní so spaľovacími motormi vysoko účinné. Dokážu premeniť až 90 % energie uloženej v batériách na pohyb, zatiaľ čo tradičné motory premienia na pohyb len zhruba 20-30 % energie uloženej v palive. Čo sa týka hluku, elektromotory sú tichšie ako spaľovacie motory, vďaka čomu sú ideálne aplikovateľné do priestorov, kde je problémom znečistenie hlukom, napríklad v obytných oblastiach alebo v mestskom prostredí.

Dá sa takisto predpokladať s ohľadom na súčasný stav vývoja technológií, že do budúcnosti nastanú značné pokroky v technologickom sektore a udržateľnosť tohto stroja na elektrický pohon bude na vyššej úrovni.

Ako sekundárnym vplyvným faktorom môže byť taktiež samotné určenie stroja do prostredia výroby elektrickej energie zo zelených zdrojov. Čistením povrchov solárnych elektrární sa zvyšuje efektívnosť elektrárne a zvyšuje sa množstvo zelenej elektriny v obehu.

6.6 Hodnotenie kľúčových parametrov

Parametre pre dosiahnutie cieľu vytýčené v kapitole 4 boli dodržané a ciele boli splnené. Po vizuálnej stránke bol vytvorený produkt, ktorý má jedinečný design a nie úplne tradičné určenie. Napriek tomu bol navrhnutý koncept vozidla s novým riešením danej problematiky. Navrhnuté autonómne vozidlo má schopnosť prechádzať medzi solárnymi modulmi a vykonávať ich údržbu samostatne, čo patrilo medzi hlavné body stanovených cieľov tejto práce. Výsledný produkt taktiež spadá pod cieľnú kategóriu produktov, a to určenie do veľkých solárnych parkov, ktoré sú zanášané nečistotami a vyžadujú si údržbu za pomoci vody.

Výsledný design reflektuje stavbu vnútorných komponentov a obklopuje ich estetickým obalom. Do stroja pôsobiacom v celkom nekonvenčnom prostredí bol vnesený vzhľad orientovaný na budúcnosť, a teda nekopíruje aktuálne riešenia problematiky, ktoré sa najčastejšie nesú vo funkčnom a nevkusnom duchu. Naopak, v práci bol kladený dôraz na čistý a jednoduchý design, prepojený čistými líniami a plochami, a použitie intuitívnych ovládacích prvkov a častí prichádzajúcich do interakcie s človekom.

Cielenie výsledku bolo smerované aj do univerzálnosti stroja, ktorá daným riešením bola dosiahnutá a vozidlo je použiteľné v solárnych elektrárňach s bežným rozmiestnením fotovoltaických modulov.

Operatér je síce nútený obslúžiť vozidlo v pár úkonoch, je to však malé percento činnosti potrebnej vykonať na obsluhu celého chodu stroja. Ďalším z cieľov bola možnosť zosynchronizovať vozidlo s aplikáciou, čo sa rovnako podarilo, a operatér je teda informovaný v aktuálnom čase o procese.

Návrh splňuje predpoklady udržateľného produktu a využíva alternatívne zdroje elektrickej energie, ktoré navyše svojou klasifikáciou podporuje, keďže sa jedná o zvyšovanie zelenej energie v obeh.

7 ZÁVER

Záver diplomovej práce sa zameriava na zhodnotenie návrhu autonómneho robota s robotickou čistiacou hlavicou, ktorý slúži na čistenie solárnych panelov. V práci boli analyzované existujúce riešenia na trhu a navrhnutý nový pohľad riešenia problému za predpokladu použitia súčasných technológií, ktoré umožňujú efektívne, bezpečné a pohodlné čistenie fotovoltaických modulov.

Navrhnutý robot dokáže čistiť solárne panely bez potreby ľudskej intervencie a s vysokou účinnosťou. Jeho autonómny systém riadenia umožňuje voľný samostatný pohyb v priestore solárnej elektrárne a poskytuje stroju prispôsobenie sa rôznym podmienkam a situáciám. Vzhľadom na rastúci počet inštalovaných solárnych panelov v súčasnosti, návrh robota s robotickou čistiacou hlavicou predstavuje významný prínos pre oblasť obnoviteľných zdrojov energie. Jeho použitie zvyšuje výkon solárnych panelov a znižuje náklady na údržbu, čím prispieva k udržateľnému rozvoju a ochrane životného prostredia.

V tejto práci bol navrhnutý produkt, ktorý sa tvarovo výrazne odlišuje od súčasných riešení na trhu, ktorý prináša nový koncept údržby povrchov solárnych panelov.

Na záver práce je vhodné zhodnotiť, že hlavný stanovený cieľ a k nemu prislúchajúce čiastkové ciele boli splnené. Dá sa rovnako zväžiť, ako by sa k produktu ako konceptu dalo nahliadať a pristupovať v budúcnosti. Kľúčovým predpokladom pre inováciu do budúcnosti je výrazný pokrok v oblasti technológií, ktoré vozidlo aktuálne využíva. S prichádzajúcim pokrokom je na mieste konštatovať možnú progresívnosť navrhnutého stroja. Rôzna konfigurácia ramena s väčšou, prípadne menšou dĺžkou hlavice je viac-menej otázkou súčasnosti. V prípadne záujmu je možné danému zákazníkovi poskytnúť úpravu v dĺžke hlavice a viac tak prispôbiť vozidlo požiadavkám konkrétnej solárnej elektrárne. Je rovnako možné zvažovať absolútnu automatizáciu prevádzky navrhnutého vozidla, a to spôsobom dokovej stanice na nabíjanie a samoobslužným mechanizmom dopúšťania vody. Splnenie týchto cieľov si však vyžaduje externé systémy, ktorých návrh nebol predmetom tejto diplomovej práce. Do budúcnosti by sa dalo pracovať s myšlienkou odbremeniť vozidlo od aktuálnych pohonných jednotiek a uvažovať nad vrtuľovým pohonom, teda orientovať stroj do podoby dronu.

8 VÝSLEDOK VÝSKUMU PODĽA RIV

| | |
|--------------------------|---|
| Druh výsledku | Funkčný vzor |
| Názov výsledku | Autonómny robot na čistenie solárnych panelov |
| Autor | Martin Kuchárik |
| Pôvodca | - |
| Miesto uloženia výsledku | VUT Brno |

9 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] FVE Brno-Tuřany, c2017-2023. *Jufa* [online]. Jufa [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.jufa.cz/fve-brno>
- [2] Energetika a Zelená dohoda. *Evropská komise – oficiální internetové stránky* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_cs#hlavn-tmata
- [3] BloombergNEF says global solar will cross 200 GW mark for first time this year, expects lower panel prices, c2023. *Pv magazine* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.pv-magazine.com/2022/02/01/bloombergnef-says-global-solar-will-cross-200-gw-mark-for-first-time-this-year-expects-lower-panel-prices/>
- [4] JIANG, Hai, Lin LU a Ke SUN, 2011. Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules. *Atmospheric Environment* [online]. **45**(25), 4299-4304 [cit. 2022-05-12]. ISSN 13522310. Dostupné z: doi:10.1016/j.atmosenv.2011.04.084
- [5] FARROKHI DERAKHSHANDEH, Javad, Rand ALLUQMAN, Shahad MOHAMMAD, Haya ALHUSSAIN, Ghanima ALHENDI, Dalal ALEID a Zainab AHMAD, 2021. A comprehensive review of automatic cleaning systems of solar panels. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. **47**. ISSN 22131388. Dostupné z: doi:10.1016/j.seta.2021.101518
- [6] SAIDAN, Motasem, Abdul Ghani ALBAALI, Emil ALASIS a John K. KALDELLIS, 2016. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. *Renewable Energy* [online]. **92**, 499-505 [cit. 2022-05-12]. ISSN 09601481. Dostupné z: doi:10.1016/j.renene.2016.02.031
- [7] PARROTT, Brian, Pablo CARRASCO ZANINI, Ali SHEHRI, Konstantinos KOTSOVOS a Issam GEREIGE, 2018. Automated, robotic dry-cleaning of solar panels in Thuwal, Saudi Arabia using a silicone rubber brush. *Solar Energy* [online]. **171**, 526-533 [cit. 2022-05-12]. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2018.06.104
- [8] Development of Mobile Robot System for Monitoring and Cleaning of Solar Panels, 2022. *GMSARN International Journal*. **16**(3), 302-306.
- [9] The structure of the cleaning machine for photovoltaic panels, 2014. *HIDRAULICA*. (4), 22-23. ISSN 1453-7303.
- [10] Ecoppia E4-E4+. *Ecoppia* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.ecoppia.com/solutions>
- [11] F1A | SolarCleanso, c2022. *SolarCleanso* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://solarcleanso.com/en/products/autonomous-waterless-solar-panel-cleaning-robot-f1a>

- [12] B1A | SolarCleanso, c2022. *SolarCleanso* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://solarcleanso.com/en/products/solarbridge-autonomous-solar-panel-cleaning-robot-b1a>
- [13] GEVA-BOT WET PATROLLER 3000, c2020. *GEVA-BOT* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.geva-bot.com/robots-1/%D7%93%D7%92%D7%9D-3000>
- [14] AUTOMATIC SOLAR PANEL CLEANING SYSTEM, c2023. *SOLABOT* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://solabot.com/automatic-solar-panel-cleaning-system/>
- [15] Solar Panel Cleaning, c2019. *CEV CANADA* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://cevcanada.ca/solar-panel-cleaning>
- [16] SOLAR CLEANER F3500 Telescopic, c2019. *BP Metalmeccanica* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://eng.bpmetalmeccanica.com/macchine-pulizia-pannelli-solari/solar-cleaner-f3500-telescopic.html>
- [17] *Ecilimp S.L.* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.ecilimp.com/en/home/>
- [18] Solar Panel Cleaning Robot IFBOT X3, c2023. *Red Dot* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.red-dot.org/project/ifbot-x3-55570>
- [19] Cortec - Maximizing Solar Park Efficiency, c2023. *Red Dot* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.red-dot.org/project/cortec-maximizing-solar-park-efficiency-54323>
- [20] How do solar panels generate electricity? | Good Energy, c2018-2023. *Good Energy* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.goodenergy.co.uk/how-do-solar-panels-work/>
- [21] Solar Photovoltaic Technology Basics. *ENERGY.GOV* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics>
- [22] Solar Panel Cleaning Services, c2009-2023. *HELIOTEX* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.solarpanelcleaningsystems.com/solar-panel-cleaning-services.html>
- [23] Technical data documents. *Washpanel* [online]. Vicolo G. Verdi, 67/A - 31020 Villorba TV Italy [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <http://www.washpanel.com/en/documenti.php>
- [24] GEKKO Solar Hightec Robot, c2009-2023. *Serbot* [online]. Galgenried 22 - 6370 Stans - Switzerland: Serbot [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.serbot.ch/en/solar-panels-cleaning/gekko-solar-robot#:~:text=The%20robot%20GEKKO%20Solar%20is,service%20to%20PV%20plant%20owners>
- [25] How Lithium-ion Batteries Work. *ENERGY.GOV* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/energysaver/articles/how-does-lithium-ion-battery-work>

- [26] Battery Materials Synthesis. *National Renewable Energy Laboratory* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/transportation/battery-materials-synthesis.html>
- [27] MAISER, Eric, 2014. Battery packaging - Technology review. *AIP Conference Proceedings* [online]. 2014, **1597**(1), 204-218 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: doi:10.1063/1.4878489
- [28] BHATT, Pooja, Hemant MEHAR a Manish SAHAJWANI. Electrical Motors for Electric Vehicle – A Comparative Study. *SSRN Electronic Journal* [online]. [cit. 2023-05-12]. ISSN 1556-5068. Dostupné z: doi:10.2139/ssrn.3364887
- [29] VIJAY, E Vargil, Ch V Rama RAO, E Vargil KUMAR a G N SWAMY, 2010. Electronic control unit for an adaptive cruise control system. *INTERACT-2010* [online]. IEEE, 2010, 143-146 [cit. 2023-05-12]. ISBN 978-1-4244-9004-2. Dostupné z: doi:10.1109/INTERACT.2010.5706213
- [30] KOCIC, Jelena, Nenad JOVICIC a Vujo DRNDAREVIC, 2018. Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles. *2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR)* [online]. IEEE, 2018, 420-425 [cit. 2023-05-12]. ISBN 978-1-5386-7171-9. Dostupné z: doi:10.1109/TELFOR.2018.8612054
- [31] YEONG, De Jong, Gustavo VELASCO-HERNANDEZ, John BARRY a Joseph WALSH, 2021. Sensor and Sensor Fusion Technology in Autonomous Vehicles: A Review. *Sensors* [online]. **21**(6) [cit. 2023-05-12]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s21062140
- [32] ZEIN, Yassine, Mohamad DARWICHE a Ossama MOKHIAMAR, 2018. GPS tracking system for autonomous vehicles. *Alexandria Engineering Journal* [online]. **57**(4), 3127-3137 [cit. 2023-05-12]. ISSN 11100168. Dostupné z: doi:10.1016/j.aej.2017.12.002
- [33] CAMPBELL, Sean, Niall O'MAHONY, Lenka KRPALCOVA, Daniel RIORDAN, Joseph WALSH, Aidan MURPHY a Conor RYAN, 2018. Sensor Technology in Autonomous Vehicles: A review. *2018 29th Irish Signals and Systems Conference (ISSC)* [online]. IEEE, 2018, 1-4 [cit. 2023-05-12]. ISBN 978-1-5386-6046-1. Dostupné z: doi:10.1109/ISSC.2018.8585340
- [34] VARGAS, Jorge, Suleiman ALSWEISS, Onur TOKER, Rahul RAZDAN a Joshua SANTOS, 2021. An Overview of Autonomous Vehicles Sensors and Their Vulnerability to Weather Conditions. *Sensors* [online]. **21**(16) [cit. 2023-05-12]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s21165397
- [35] The Ins & Outs of Industrial Robot Arms. *Kawasaki Robotics* [online]. 28140 Lakeview Dr. Wixom, MI 48393, USA: Kawasaki Heavy Industries [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://kawasakirobotics.com/blog/the-ins-outs-of-industrial-robot-arms/>

10 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN

| | |
|-------------------|--|
| PV | Photovoltaic (fotovoltaický) |
| Li-Ion | Lithium ionový |
| FVE | Fotovoltaická elektrárň |
| AC | Alternate current (striedavý prúd) |
| DC | Direct current (jednosmerný prúd) |
| AI | Artificial intelligent (umelá inteligencia) |
| LED | Light-emitting diode (dióda vyžarujúca svetlo) |
| ABS | Acrylonitrile butadiene styrene |
| UX | user experience |
| s.r.o. | spoločnosť s ručením obmedzeným |
| l | liter |
| ml | mililiter |
| m | meter |
| mm | milimeter |
| km | kilometer |
| m ² | meter štvorcový |
| g/m ⁻² | gram na meter štvorcový |
| V | Volt |
| W | watt |
| kW | kilowatt |
| MW | megawatt |
| kg | kilogram |
| Q | kapacita |
| € | euro |
| Kč | Koruna česká |
| ° | stupeň |
| % | percento |

11 ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

| | | |
|------------------|---|----|
| obr. 2-1 | Vývojový diagram Prisma..... | 15 |
| obr. 2-2 | Rozostupy medzi stĺpcami – FVE Brno-Tuřany..... | 16 |
| obr. 2-3 | Dva solárne moduly na hliníkovej konštrukcii – FVE Brno-Tuřany..... | 16 |
| obr. 2-4 | Globálny rast a predpovede výstavby PV k januáru 2022 [3]..... | 19 |
| obr. 2-5 | Nárast efektivity pri pravidelnom čistení [7]..... | 21 |
| obr. 2-6 | Ecoppia E4-E4+ [10]..... | 22 |
| obr. 2-7 | SolarCleano F1A [11]..... | 23 |
| obr. 2-8 | SolarCleano B1A [12]..... | 24 |
| obr. 2-9 | GEVA-BOT [13]..... | 25 |
| obr. 2-10 | Solabot [14]..... | 26 |
| obr. 2-11 | Solar Cleaner F3500 C-AP [15] [16]..... | 27 |
| obr. 2-12 | Ecilimp Termosolar [17]..... | 28 |
| obr. 2-13 | IFBOT X3 [18]..... | 29 |
| obr. 2-14 | Cortec [19]..... | 30 |
| obr. 2-15 | Schéma fungovania solárneho článku [20]..... | 31 |
| obr. 2-16 | Wash Panel [23]..... | 32 |
| obr. 2-17 | GEKKO Solar [24]..... | 33 |
| obr. 2-18 | 1) prizmatické puzdro Li-Ion batérii 2) modul zostavený so systémom riadenia (BMS) 3) moduly zostavené s tepelným riadením a elektronickými komponentmi do sady batérií [27]..... | 34 |
| obr. 2-19 | Translácie častí robotickej ruky [35]..... | 37 |
| obr. 2-20 | Umiestnenie kĺbov v robotickej ruke [35]..... | 37 |
| obr. 2-21 | Umiestnenie prevodov v robotickej ruke [35]..... | 38 |
| obr. 4-1 | Strom cieľov a obmedzení..... | 46 |
| obr. 4-2 | Zjednodušená schéma stroja..... | 47 |
| obr. 4-3 | Glassbox komponentov stroja..... | 48 |
| obr. 4-4 | Inšpiračná koláž..... | 49 |
| obr. 4-5 | Ukážka skíc z prvej iterácie..... | 49 |
| obr. 4-6 | Varianta I - skica..... | 50 |

| | | |
|------------------|--|----|
| obr. 4-7 | Varianta I – 3d vizualizácia | 51 |
| obr. 4-8 | Varianta II - skica | 52 |
| obr. 4-9 | Varianta II – 3d vizualizácia | 53 |
| obr. 4-10 | Varianta III - skica | 54 |
| obr. 4-11 | Varianta III – 3d vizualizácia..... | 55 |
| obr. 4-12 | Porovnanie všetkých variant..... | 56 |
| obr. 5-1 | Základné rozmery predbežného návrhu..... | 57 |
| obr. 6-1 | Tvarová štúdia | 61 |
| obr. 6-2 | Detailný návrh – perspektívny pohľad | 62 |
| obr. 6-3 | Detailný návrh – roviny symetrie | 62 |
| obr. 6-4 | Detailný návrh - prelis | 63 |
| obr. 6-5 | Detailný návrh – perspektívny bočný pohľad..... | 64 |
| obr. 6-6 | Detailný návrh - proporcie..... | 64 |
| obr. 6-7 | Detailný návrh – rozmerové riešenie..... | 65 |
| obr. 6-8 | Vnútorňý rozpad komponentov | 66 |
| obr. 6-9 | Detail čelných svetiel a kamier..... | 67 |
| obr. 6-10 | Detail zadných svetiel a kamier..... | 67 |
| obr. 6-11 | Vizualizácia svetelných prvkov v tme | 68 |
| obr. 6-12 | Detail vnútra pásového modulu..... | 69 |
| obr. 6-13 | Detail ovládacích prvkov..... | 69 |
| obr. 6-14 | Elektro nabíjačka typ 2..... | 70 |
| obr. 6-15 | Detail otvoreného krytu na nabíjanie..... | 70 |
| obr. 6-16 | Detail nabíjania s rozsvieteným LED pásikom signalizujúcim nabíjanie.... | 71 |
| obr. 6-17 | Vizualizácia nabíjania..... | 71 |
| obr. 6-18 | Princíp skladania ramena do výrezu v tele..... | 72 |
| obr. 6-19 | Rameno v maximálne polohe | 73 |
| obr. 6-20 | Rameno v minimálnej polohe | 73 |
| obr. 6-21 | Schéma kinematiky otáčania ramena..... | 74 |
| obr. 6-22 | Detail čistiacej hlavice | 75 |
| obr. 6-23 | Detail vedenia hadice pozdĺž ramenom..... | 75 |

| | | |
|------------------|--|----|
| obr. 6-24 | Detail otvoreného krytu pre dolievanie vody | 77 |
| obr. 6-25 | Detail dolievania vody | 77 |
| obr. 6-26 | Detail otvoreného krytu pre vylievanie vody | 78 |
| obr. 6-27 | Detail vylievania vody | 79 |
| obr. 6-28 | Schéma toku vody | 79 |
| obr. 6-29 | Ergonomické pozície v porovnaní s 50-percentilným mužom | 80 |
| obr. 6-30 | Ergonómia napúšťania vody | 80 |
| obr. 6-31 | Ergonómia vylievania vody | 81 |
| obr. 6-32 | Stroj na maximálne naklonenej rovine | 81 |
| obr. 6-33 | Výhľady senzorov a kamier na pohyb | 82 |
| obr. 6-34 | Minimálne rozmerové požiadavky rozmiestnenia solárnych panelov | 82 |
| obr. 6-35 | Farebná varianta č. 1 | 84 |
| obr. 6-36 | Farebná varianta č. 2 | 84 |
| obr. 6-37 | Farebná varianta č. 3 | 85 |
| obr. 6-38 | Grafické riešenie loga | 85 |
| obr. 6-39 | Detail umiestnenia loga | 86 |
| obr. 6-40 | Grafické riešenie aplikácie – úvodná obrazovka a menu | 87 |
| obr. 6-41 | Grafické riešenie aplikácie – výber daného modelu a aktuálny prehľad daného vozidla | 87 |
| obr. 6-42 | Grafické riešenie aplikácie – nastavenia čistiaceho procesu a uvedenie stroja do prevádzky | 88 |

12 ZOZNAM TABULIEK

| | | |
|-----------------|---|----|
| tab. 2-1 | Ročná strata finančných nákladov na efektívite v dôsledku znečistenia [5] ... | 20 |
| tab. 3-1 | Ergonomické požiadavky | 42 |
| tab. 3-2 | Technické požiadavky..... | 43 |
| tab. 3-3 | Estetické požiadavky | 43 |
| tab. 4-1 | Porovnanie variant | 56 |
| tab. 5-1 | Odhad výrobných nákladov (Kč)..... | 58 |

13 ZOZNAM PRÍLOH

- Designérsky poster
- Sumarizačný poster
- Technický poster
- Ergonomický poster
- Fotografia modelu k 25.5.2023

DESIGNÉRSKY POSTER

Autonómny robot na čistenie solárnych panelov

2023

Martin Kuchárik

vedúci: doc. akad. soch. Ladislav Krěnek, ArtD.

ERAYS, v anglickom jazyku spojenie elektrického pohonu (E) a slnečných lúčov (RAYS), je autonómne vozidlo určené do veľko-rozmerových solárnych elektrární. Jeho účel napovedá podoba názvu prečítaná v celku ako "erase", čo v preklade znamená vymazať, v prenesenom význame vyčistiť špinu z povrchu solárnych panelov. Je navrhnuté bi-symetricky a je schopné obojsmerného pohybu, čo napovedajú šípky ukryté v písmenách A a Y. Design sa nesie v čistých krivkách a plochách a v jednoduchosti tvarovania a kompozície. Dôraz bol kladený na účelovosť, intuíciu, ergonómiu a bezpečnosť. Hlavný prínos tejto diplomovej práce je inovatívnosť a nový pohľad riešenia danej problematiky. Súčasťou produktu je aj návrh prehľadovej aplikácie o aktuálnom stave robotického čističa.



SUMARIZAČNÝ POSTER

DESIGN AUTONÓMNEHO ROBOTA NA ČISTENIE SOLÁRNYCH PANELOV

SUMARIZAČNÝ POSTER



Naznačenie proporcií zlatého rezu

Témou diplomovej práce je návrh konceptu autonómneho robota určeného na čistenie fotovoltaických panelov v solárnych parkoch. Návrh má byť reakciou na aktuálne dianie na trhu, ktoré hovorí o exponenciálnom raste výstavby fotovoltaiky vo svete, čo je zapríčinené prechodom na obnoviteľné zdroje výroby elektrickej energie. Solárne panely si vyžadujú pravidelnú údržbu, na čo slúžia čistiace roboty, ktoré však majú v súčasnosti premenlivú podobu. Práca si dáva za cieľ vytvoriť koncept inovatívneho univerzálneho čistiaceho vozidla s autonómnym pohonom využívajúcim zelené zdroje energie. Diplomová práca predkladá návrh s dôrazom na ekológiu, estetiku, účelovosť a intuíciu používania.

Návrh je symetrickým počínom, umožňuje tak vozidlu jazdiť vyvážené obojstranne. Kompozícia základných línií pracuje s usporiadaním v proporciách zlatého rezu. Súčasťou práce je aj návrh prehľadovej aplikácie o aktuálnom stave robota.



Náhľad prehľadovej aplikácie na ovládanie stroja



Nabíjanie batérie pomocou nabíjačky typu 2

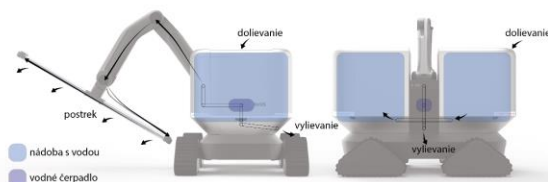
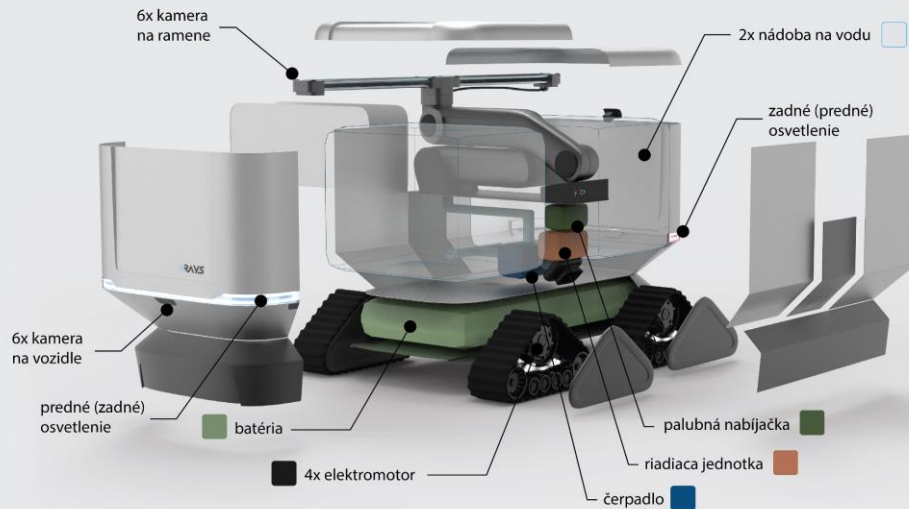
DESIGN AUTONÓMNEHO VOZIDLA NA ČISTENIE SOLÁRNYCH PANELOV / DIPLOMOVÁ PRÁCA / Autor: Martin Kucháňk / Vedúci práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / UK / OPD / júl 2023



TECHNICKÝ POSTER

DESIGN AUTONÓMNEHO ROBOTA NA ČISTENIE SOLÁRNYCH PANELOV

TECHNICKÝ POSTER

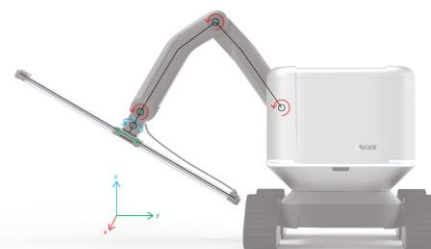
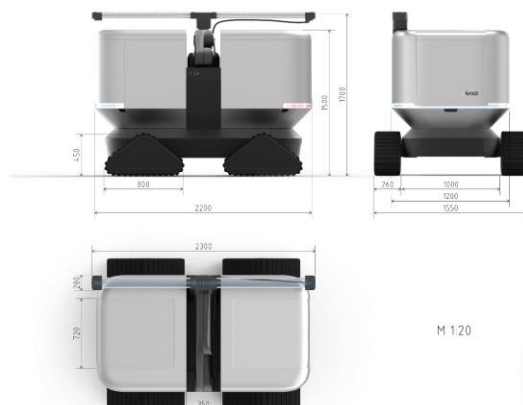


Znáznornenie toku vody

Z dôvodu stability bola batéria umiestnená v podvozku stroja. Každý pásový modul má vlastnú hybnú jednotku, čím sa umožní otáčanie na mieste. Stroj disponuje dvoma polyuretánovými nádobami na vodu v celkovom objeme 1200l. Osvetlenie sa v prípade otočenia smeru jazdy vymení, aktuálna čelná strana svieti na modro a zadná strana na červenno.

Do vozidla sa nalieva voda, ktorá napúšťa obe nádoby s vodou. Tá sa čerpá hadicou pripevnenou pozdĺž ramenej ruky a vyúsťuje na konci hlavice, odkiaľ je postrekovaná na povrch fotovoltaických panelov.

Rameno sa skladá do stroja a zväčša nevyčnieva zo stroja von. Prvé tri kľby rotujú o 180° v osi smere pohybu, štvrtý kľb rotuje vo zvislej osi o 90° a posledná translácia prebieha v rovine paralelnej so solárnymi panelmi a lineárnym pohybom sa vysúva rameno do svojej maximálnej dĺžky.



DESIGN AUTONÓMNEHO VOZIDLA NA ČISTENIE SOLÁRNYCH PANELOV / DIPLOMOVÁ PRÁCA / Autor: Martin Kuchárik / Vedúci práce: doc. akad. soch. Ladislav Kfenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / UK / OPD / júl 2023



ERGONOMICKÝ POSTER

DESIGN AUTONÓMNEHO ROBOTA NA ČISTENIE SOLÁRNYCH PANELOV

ERGONOMICKÝ POSTER



Ergonómia nabíjania batérie



Ergonómia nalievania vody



Ergonómia vylievania vody

Nakoľko je vozidlo autonómne, neprichádza vo väčšine prípadov do kontaktu s človekom. Napriek tomu sú na stroji prvky, s ktorými operátor interaguje. Ovládacie prvky na spustenie stroja a bezpečnostné vypnutie sú uložené v strede pod ramenom spolu s otvorom na nabíjanie batérie. Na vrchu v jednej z čelných plôch je otvor pre dolievanie vody a zdola pod ramenom je otvor pre vylievanie prebytočnej vody. V prípade nutnosti stroj servisovať je prístup do servisného miesta pod plochou nachádzajúcou sa pod ovládacím boxom v mieste vylievania vody.



Rameno v minimálnej polohe



Rameno v maximálnej polohe

DESIGN AUTONÓMNEHO VOZIDLA NA ČISTENIE SOLÁRNYCH PANELOV / DIPLOMOVÁ PRÁCA / Autor: Martin Kuchárik / Vedúci práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / UK / OPD / júl 2023



FOTOGRAFIA MODELU K 25.5.2023

