

Projekt sPrinter a 3D tlač vo vesmíre z lokálne dostupných materiálov a energetických zdrojov

Matej Pavelka, Lubomír Mařuga, Oliver Hollý, Ladislav Kašša, Milan Gallo, Bence Nagy, Peter Hubínsky

¹ Ústav vedy a výskumu, FEI STU v Bratislave

² Ústav robotiky a kybernetiky

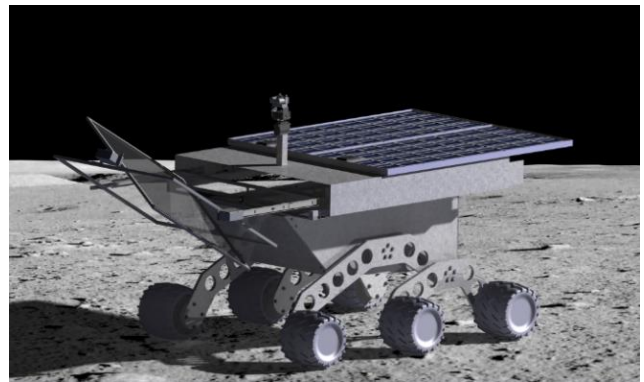
xpavelka@stuba.sk, xhollyo@stuba.sk

Abstrakt - Hmotnosť je kľúčovým obmedzením pri cestovaní, skúmaní a možnom osídľovaní vesmíru. 3D tlač je veľmi užitočná pre schopnosť vytvárať štruktúry z materiálov priamo na mieste budúcich kolónií. Časť potrebnej infraštruktúry teda nie je nutné prepravovať technologicky a finančne náročnými prostriedkami zo Zeme. Existuje niekoľko typov a technológií spájania materiálu, ekonomicky najvýhodnejšími sa však ukazuje priame topenie materiálu nazberaného z okolia, bez ďalších aditívnych surovín. Do úvahy teda prichádza napríklad spekanie a tavenie za pomoci laserového lúča, mikrovlnného žiarenia alebo koncentráciou slnečného žiarenia za pomoci zrkadiel alebo šošoviek. V tomto projekte sme sa zamerali na vytvorenie demonštračného zariadenia, ktoré by malo byť schopné prejsť náročným terénom, zozbierať potrebný materiál a vytvoriť z neho základné stavebné prvky pre väčšie objekty.

1 Úvod

V súčasnosti je badateľný pomerne veľký záujem najväčších vesmírnych agentúr o návrat a dlhodobšie pôsobenie ľudských misí na povrchu Mesiaca. To odnáša aj vybudovanie infraštruktúry s dostatočnou ochranou pred nepriaznivými podmienkami panujúcimi na lunárnom povrchu. Základným problémom ostáva preprava týchto modulov, kedy pre dosiahnutie lunárneho povrchu z orbíty Zeme je užitočná hmotnosť v pomere k hmotnosti potrebného paliva a pristávacieho modulu zanedbateľná. Do úvahy však prichádza vytvorenie častí tejto ťažkej infraštruktúry priamo na mieste z lunárneho regolitu.

Proces 3D tlače pozostáva z koncentrátora slnečného žiarenia, ktorý sa pohybuje svojim ohniskom po predom určenej ploche rôznymi rýchlosťami. Pri rýchlejšom pohybe sa materiál nestihne dostatočne zohriať pre dosiahnutie teploty topenia regolitu (~1000°C). Po pridaní ďalšej vrstvy materiálu sa proces opakuje, po ukončení procesu tlače je nutné odstrániť prebytočný materiál a odobrať vytvorený 3D objekt. Ukázalo sa, že výhodou aplikovania procesu vo vákuu je nižšia teplota topenia jednotlivých zŕn spekaného materiálu, ako aj vyššia odolnosť v tlaku vytlačenej vzorky (až do 152 MPa v porovnaní s 98 MPa pri tlačení v atmosférických podmienkach [1]).



Obr. 1. Ilustrácia sPrintera.

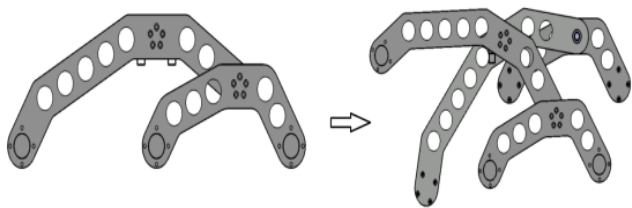
Názov sPrinter vznikol ako skratka k anglickému pomenovaniu Space printing rover. Projekt započal ako súčasť odborného kurzu „Vesmír pre vzdelanie, vzdelanie pre vesmír“, ktorý vznikol zo spolupráce iniciatívnych pedagógov Slovenskej technickej univerzity a Európskej vesmírnej agentúry ESA. Je však nutné hneď v úvode spomenúť, že po absolvovaní spomínaného dobrovoľného kurzu zameraného na kozmické inžinierstvo, na projekte pracovali iba študenti, a teda sa z technickej ani finančnej stránky nemôže porovnávať so zariadeniami komerčných vesmírnych spoločností.

2 Návrh mechanickej konštrukcie

Technicky bolo nutné zabezpečiť návrh prototypových mechanizmov a konštrukcií, pričom hlavným cieľom bolo dosiahnuť mechanizmus 3D tlače s potrebnými stupňami voľnosti. Systém 3D tlače je principiálne založený na sústreďení slnečnej energie pomocou fresnelovej šošovky. Návrh mechanických prvkov zariadenia pozostával z 5 častí.

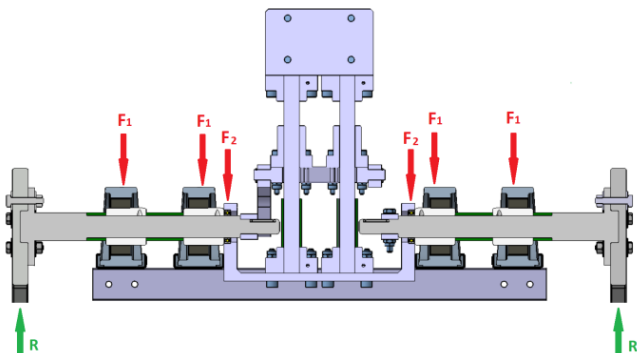
2.1 Návrh podvozku

Vozidlo využíva typ podvozku Rocker-Bogie. Podvozok sa vyznačuje dobrou mobilitou a priechodnosťou terénom. Využíva protismerný pohyb predných ramien (Rockers) a nezávislé otáčanie zadných ramien (Bogies), ako je vidieť na Obr. 2.



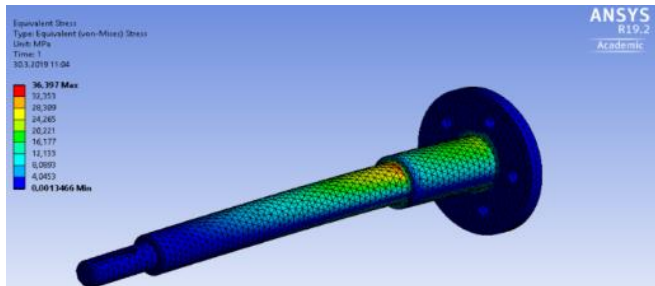
Obr. 2. Protichodný pohyb ramien.

Nosnými prvkami podvozku sú dva centrálne hriadele ktoré tvoria aj os otáčania skrine vozidla (Pozri Obr. 3.). Pri ich navrhovaní sa vychádzalo z maximálneho statického zaťaženia v ložiskových ulohzeniach. Sily F_1 reprezentujú hmotnosť samotnej skrine a sily F_2 hmotnosť prevodového centrálneho mechanizmu.



Obr. 3. Sily pôsobiace na centrálny hriadeľ.

V MKP statickej analýze sa následne nasimulovali okrajové podmienky a zistili sa napätia, Obr. 4.



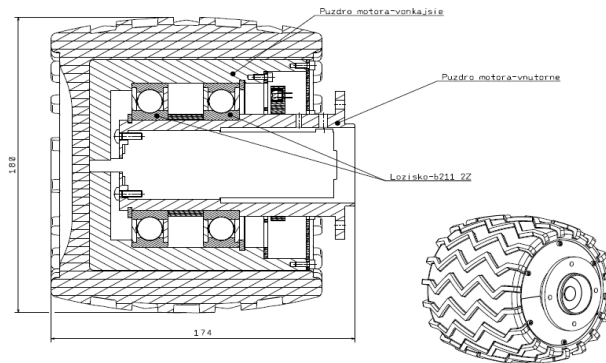
Obr. 4. MKP analýza centrálného hriadeľa.

Z výsledkov je zrejme že maximálne napätia sú niekoľko násobne menšie ako medza klzu materiálu EN AW 7075 T61 z ktorého je hriadeľ vyrobený ($400\text{MPa} > 36,397\text{MPa}$).

2.2 Návrh uloženia pohonného systému

Pohon vozidla je zabezpečený cez hnacie DC motory typu PG421 s planétovou prevodovkou, zapuzdrené jednotlivo v každom kolese. Na Obr. 5. je znázornený rez zostavy zavesenia kolies s motorom ukazuje že zostava sa skladá z vnútorného a vonkajšieho puzdra, ložísk a plastového obalu s dezénom, simulujúci skutočný obal kola s pevnejšieho materiálu. Zapuzdrenie má funkčnú ale aj bezpečnostnú úlohu. Z dôvodu detekcie a následnej možnosti riadenia otáčok

jednotlivých kolies je v zadnej časti každého kola uložený systém optického enkodéra.

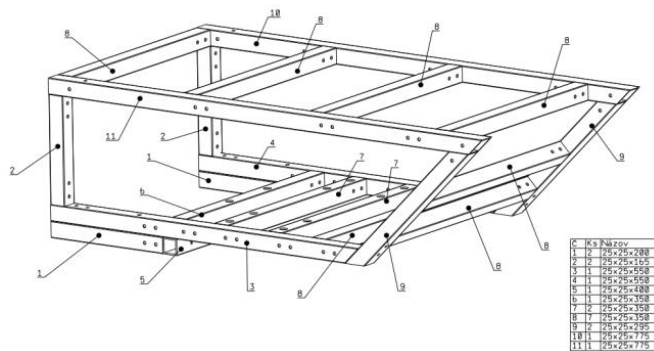


Obr. 5. Zostava kola.

Za najkritickejšie miesto pre kontrolu na otláčenie materiálu cez MKP analýzu sa zvolil tvarový spoj hriadeľa motora a puzdra. Okrajové podmienky pre model sa úmyselne zvolil pre extrémny prípad votknutého vonkajšieho puzdra kola, kedy je tvarový spoj namáhaný najviac. Zaťažujúci krútiaci moment sa aplikoval najväčší možný (rozbehový) o hodnote 7,5 Nm. Výsledky ukazujú nižšie hodnoty napätí v kontaktnej ploche ako medza klzu oboch materiálov ($300-400\text{MPa} > 175,49\text{MPa}$).

2.3 Návrh platformy skrine

Základná kostra skrine vozidla je tvorená z duralových profilov typu jokol ($25 \times 25\text{mm}$), podľa Obr. 6. V nej sú osadené stojanové ložiská, ktoré spájajú celú skriňu s podvozkom vozidla. Úložné miesto v zadnej časti slúži na efektívne uskladnenie batérií. Montáž kostry sa realizovala cez rozoberateľné, skrutkové spoje, čo je výhodné z hľadiska nožnej modifikácie v budúcnosti. Kotviace diery pre stojanové ložiská na spojenie s ramenami podvozku sa zvolili v približnom geometrickom strede kostry.

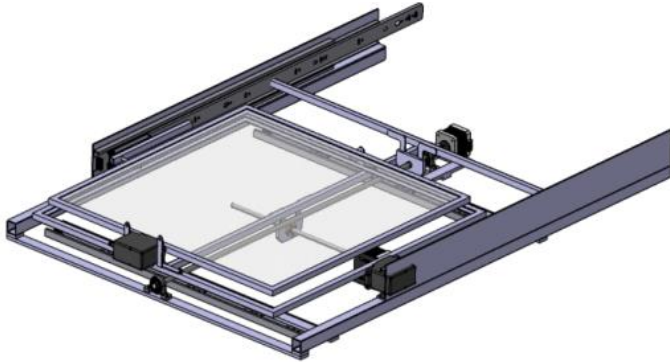


Obr. 6. Zostava skrine.

2.4 Návrh mechanizmu 3D tlač

Pri navrhovaní mechanizmu uloženia Fresnelovej šošovky bolo nutné zabezpečiť, čo najefektívnejší spôsob usmerňovania slnečnej energie na povrch taveného materiálu počas procesu tlačenia. Výsledný mechanizmus (Obr. 7.) je podobný ako pri konvenčnom 3D tlačením typu FDM. Umožňuje šošovke súčasný pohyb v dvoch osiach cez závitové tyče a krokové

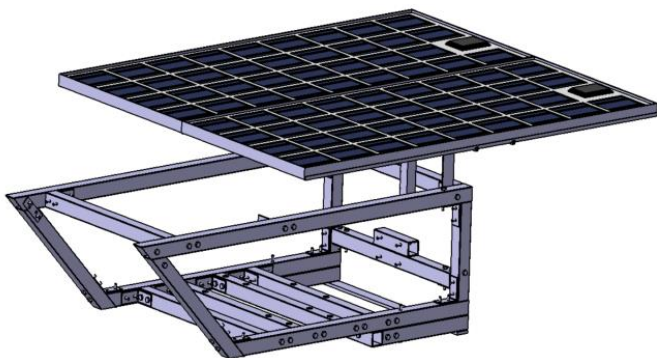
motory, ale taktiež aj natáčanie okolo týchto osí cez servomotory. Podporné koľajnice s valivými telieskami slúžia na plynulejší pohyb do jednotlivých smerov posuvu šošovky.



Obr. 7. Mechanizmus pohybu šošovky.

2.5 Návrh uloženia solárnych panelov

Solárne panely majú na vozidle významnú úlohu. Slúžia na napájanie batérií a teda sú zdrojom elektrickej energie pre celý systém. Z konštrukčného hľadiska bolo nutné navrhnuť ich statické uloženie na vrchnej strane vozidla tak, aby nekolidovali s mechanizmom šošovky pri jeho pohybe. Na uchytenie nosných profilov sa využil priestor v zadnej časti skrine. Panely bolo potrebné orámovat' pre získanie lepšej pevnosti a zabráneniu ich ohybu. Následne sa vložili do pripravených drážok v uchytení a tým došlo k ich zaisteniu.



Obr. 8. Uloženie solárnych panelov.

2.6 Návrh robotického manipulátora

Súčasťou systému 3D tlače je aj mechanizmus vrstvenia materiálu, ktorý je nevyhnutný pre tvorenie trojrozmerných telies. V súčasnosti nie je tento systém implementovaný, avšak pracujeme na ňom, preto predstavujeme náš návrh.

Zabezpečenie presného vrstvenia, resp. kopírovania zvolenej trajektórie robotickým manipulátorom alebo rukou v trojrozmernom priestore je zložitá úloha. Bežné robotické ruky sú z pohľadu elektrickej spotreby neefektívne, navyše ich riadenie predstavuje komplikovaný prístup, ktorý so sebou prináša chyby či kolízie. Preto sme zvolili použitie robotického manipulátora typu SCARA. Tento mechanizmus má jednoduchú kinematiku a teda sa ľahko a rýchlo riadi, navyše je energeticky výhodný a staticky stabilný.

3 Diferenciálny systém podvozku

Podvozok rocker-bogie bol pôvodne navrhnutý pre vozidlá pohybujúce sa malou rýchlosťou a neobsahoval žiadnu sústavu pruženia. Ramená na každej strane sa pasívne vyrovnávali cez diferenciálny prevod ukrytý vo vnútri vozidla. Vozidlo bolo s ramenami spojené teda na jednej priečnej osi. Takéto zavesenie umožňuje aj otáčanie samotného vozidla okolo priečnej osi kým podvozok (teda ramená) by ostali nehybné spojené so zemou.

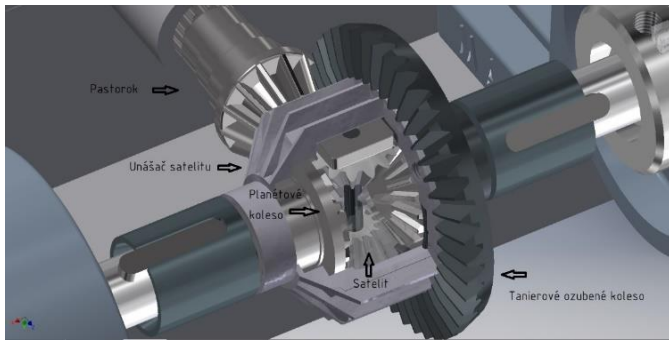
3.1 Návrh mechanizmu rotačným prevedením s využitím diferenciálu

Prvým realizovaným riešením je spojenie ramien rocker cez diferenciál ktorý sa sériovo používa v RC vozidlách (viď. Obr. 9). Protichodné vyvažovanie ramien je zabezpečené cez planétové kolesá diferenciálu ktoré sú priamo pevne prepojené s hriadeľmi ktoré spájajú rameno rocker a telo vozidla s jedným stupňom voľnosti. Protichodnosť planétových kolies zabezpečujú 4 satelity ktoré prenášajú opačný moment z jedného planétového kolesa na druhé. Tieto 4 satelity sú spojené s unášačom satelitu cez hliníkovú konštrukciu ktorá je spojená pevne s tanierovým ozubeným kolesom. V prípade že by mal fungovať len protichodný pohyb satelitov (a teda aj ramien rocker), tak by toto tanierové koleso muselo byť pevne spojené s telom vozidla so žiadnym stupňom voľnosti.

Na takomto princípe pracoval protichodný pohyb ramien v roveroch Sojourner, Spirit a Opportunity ale nebol v nich použitý priamo diferenciál ale sústava ozubených kolies. V našom prípade má tanierové koleso jeden stupeň voľnosti a to taký že sa môže otáčať okolo priečnej osi. Tento pohyb je zabezpečený tak že tanierové ozubené koleso je spojené cez kuželové ozubenie s pastorkom diferenciálu. V bežnom vozidle kde diferenciál prenesie vstupný krútiaci moment z pastorka na polosi sa otáčaním pastorka začnú otáčať kolesá automobilu.

V našom prípade sa však nebudú otáčať hriadele spojené s ramenami rocker ale otáčať sa bude telo rovera okolo priečnej osi, kým hriadele spojené s planétovými ozubenými kolesami a takisto satelity a unášač satelitu budú v pokoji. Krútiaci moment na pastorok je prinesený z DC motora s planétovou prevodovkou ktorý je s pastorkom spojený napevno cez hriadeľ. Takýto motor má výhodu v tom že v čase keď na neho nie je privedené vstupné napätie tak jeho výstupný hriadeľ zostáva v pokoji a jeho otočenie je takmer nemožné, tento jav zabezpečuje vnútorné trenie prevodovky.

Celý tento systém je veľmi výhodný vtom že ramená rocker sa môžu pohybovať protichodne v hocijakom uhle natočenia a telo rovera sa môže neobmedzene otáčať okolo priečnej osi ak mu to geometria dovolí. Nevýhodou takéhoto riešenia je mŕtva vôľa v ozubení diferenciálu, ktorá spôsobuje že telo rovera sa môže samovoľne pohybovať v rozsahu ktorý mu vôľa povolí. Z tohto dôvodu sme museli nájsť nový spôsob protichodného pohybu ramien rocker ktorý by umožňoval aj náklon rovera okolo priečnej osi.

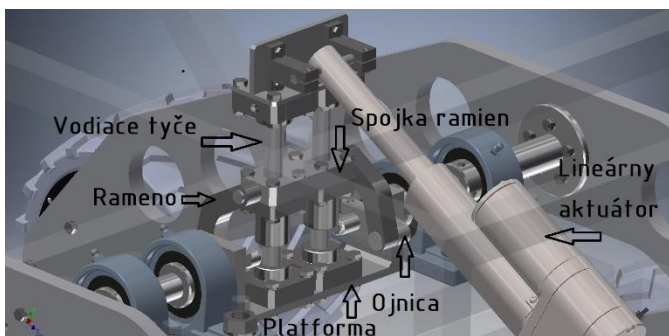


Obrázok 9 Popis častí diferenciálu

3.2 Návrh mechanizmu translačným prevedením s využitím systému ramien

Riešením je sústava ramien ktorá neobsahuje žiadne ozubené kolesá ktoré sme museli z dôvodu mŕtvej vôle vylúčiť. Pri tomto riešení je zachovaný celý podvozok vrátane hriadeľov rotačne spájajúcich ramená rocker s telom rovera (viď. Obr. 10.). Na tieto hriadele sú cez zverný spoj pripevnené ojnice, ktoré sú navzájom otočené o 180°. Na druhom konci ojnice je otvor na čap ktorý spája ojnicu s ramenom. Toto rameno má na oboch koncoch otvory na čap. Na druhom konci je spojené so spojku ramien ktorá mení rotačný pohyb hriadeľov na translačný. Táto spojka má na koncoch čapy ktorými je spojená s ramenami a v strede dva kruhové otvory ktoré ju spájajú s vodiacimi tyčami. Vodiace tyče dávajú spojke ramien jeden stupeň voľnosti. Tyče sú na jednom konci zakotvené v platforme ktorá ich rotačne spája s hriadeľmi. Na druhom konci je na nich napojený lineárny aktuátor. Ten je na jeho druhom konci cez čap spojený s telom rovera a svojim pohybom k tyčiam a od nich spôsobuje náklon tela rovera okolo priečnej osi. Platforma na ktorej sú pripevnené vodiace tyče so samotným telom rovera nie je priamo spojená a môže rotovať okolo priečnej osi nezávisle od tela rovera.

Výhoda tohto riešenia spočíva v tom že všetky súčiastky, ktoré sa nedajú kúpiť sú relatívne jednoducho vyrobiteľné. Ďalšou výhodou sú spojenia jednotlivých častí cez čap v ktorom sa dá ovplyvniť veľkosť vôle presnosťou výroby a montáže. Protichodný pohyb a aj pohyb okolo priečnej osi je realizovaný namiesto ozubených kolies len translačnými pohybmi komponentov sústavy.



Obr. 10. Popis častí nového systému protichodu ramien

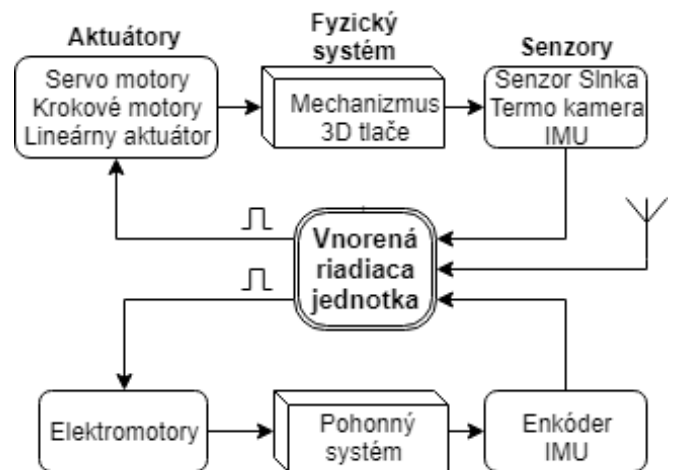
4 Elektronika a vnorený riadiaci systém

Súčasne s vývojom mechanického návrhu prebiehal vývoj aj elektronického a riadiaceho systému. Pre potreby činnosti takéhoto komplexného zariadenia sa vyžadoval vývoj centralizovaného riadiaceho systému, ktorý na základe užívateľských pokynov bude ovládať mechanizmus 3D tlače, zabezpečovať automatické operácie tlačenia, ovládať pohon celého zariadenia a tiež sprostredkovať či spätiväzobne spracovať informácie zo snímačov.

4.1 Návrh riadiaceho systému

Riadiaci systém predstavuje integráciu separovaných mechatronických a elektronických častí do funkčného celku, ktorého logické výpočty a rozdeľovanie úloh v podobe dát a elektrických signálov realizuje riadiaca jednotka. V blokovej schéme na Obr. 11. je znázornený zjednodušený pohľad na riadiaci systém nášho zariadenia.

Podmienkou pri vývoji je naprogramovať riadiacu jednotku tak, aby bola možnosť zmeny interpretácie nadradeného systému pre budúce autonómne aplikácie. Nízkoúrovňový riadiaci systém očakáva nadstavbu nadradeného systému, pričom tieto budú medzi sebou navzájom komunikovať. Výhodou takéhoto prístupu je známe delenie problému na menšie časti, kedy pri vývoji autonómneho systému budeme mať k dispozícii inteligentný driver, ktorý optimálne a bezpečne spracuje prijaté príkazy. Navyše riešitelia nadradeného systému nemusia mať vedomosti a informácie o elektronických zapojeniach a principiálnom fungovaní akčných členov.



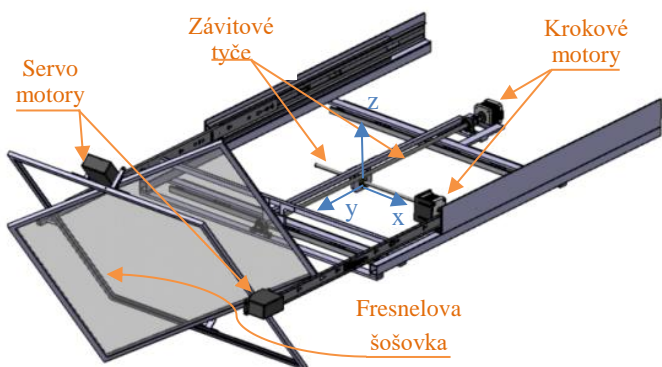
Obr. 11. Blokovaná schéma riadiaceho systému

Jadrom vnoreného riadiaceho systému je jednočipový mikropočítač STM32F4. Tieto konkrétne mikropočítače sa síce nepoužívajú vo vesmírnej technike nakoľko nie sú radiačne odolné a teda z technologického pohľadu nie sú určené pre kozmické aplikácie. Avšak sú často používané v bežných komerčných aplikáciách vnorených systémov, je to teda záruka profesionálneho a efektívneho programového prístupu.

4.2 Návrh elektroniky a akčných členov

Z principiálnych dôvodov realizácie nášho konceptu 3D tlačie bolo nutné zabezpečiť mechanizmu potrebné stupne voľnosti. Implementácia akčných členov a ich principiálne využitie je znázornené na Obr. 12.

Možný pohyb platformy vo vodorovnej rovine (x, y) pre postupné tlačenie jednej vrstvy a korekciu zmeny uhla pozície Slnka voči Zemi zabezpečuje dvojica krokových motorov, ktoré cez závitové tyče transformujú rotačný pohyb na translačný. Možnosť zdvihu šošovky voči terénu pre dosiahnutie ohniskovej vzdialenosti riešime lineárnym aktuátorom ako je vidieť na Obr. 10. Rotačné pohyby okolo osí vodorovnej roviny pre kolmé natočenie šošovky voči Slnku zabezpečuje dvojica servo motorov.



Obr. 12. Model návrhu mechanizmu 3D tlačie

Pohonná sústava rovera pozostáva zo šiestich hnacích kolies. V každom kolese je jednosmerný elektromotor riadený pulzno-šírkovou moduláciou.

Súčasťou riadiaceho systému je aj komunikačný modul, slúžiaci na prenos telemetrických dát a riadiacich príkazov.

4.3 Návrh snímačov

Pre optimálne riadenie a automatickú činnosť je nutné do systému implementovať spätnú väzbu ako na mechanizmus 3D tlačie, tak aj na riadenie pohonu a trakcie.

Dôležitou je informáciou o pozícii Slnka, pre správne natočenie šošovky a získanie maximálnej energie v ohnisku. Tento údaj získame pomocou senzora Slnka (Suntracker), ktorý je založený na princípe sledovania intenzity žiarenia v tienených kvadrantoch. Do budúcnosti chceme aplikovať fúziu senzora Slnka spolu s kamerou pre lepšiu presnosť. Je nutné poznať aktuálne natočenie šošovky a samotnej platformy rovera voči gravitačnému poľu. Tak získame stabilnú vzťažnú sústavu nezávislú na okolitom teréne voči ktorej budeme riadiť proces tlačie. Informácie o náklone v gravitačnom poli získame z iniciálnej meracej jednotky (IMU), konkrétne z akcelerometra, ktorý nám poskytne vektor gravitačných zrýchlení v troch osiach.

Pre riadenie rýchlosti alebo polohy vozidla, sme vyvinuli inkrementálny enkodér implementovaný v každom kolese. Informácie z enkodéra využívame aj na odometriu resp. hrubé stanovenie polohy a pre optimalizáciu jazdných vlastností.

4.4 Návrh riadenia mechanizmu 3D tlačie

Po zabezpečení ovládania a spracovania dát zo senzorov, pristúpime k návrhu systematického riadenia mechanizmu pre možné tvorenie komponentov 3D tlačou. Tlač bude v prvom rade predstavovať sústredenie slnečnej energie postupne na rovinu tlačie, pričom po určitom počte vrstiev vznikne 3D objekt.

Pre postupnú aproximáciu takéhoto deterministického telesa akým je kváder budeme pohyby vyhodnocovať numericky, teda algoritmom. Avšak pre tlač telies, ktorých tvar nebude dopredu známy, využijeme posielanie príkazov v G kóde.

4.5 Softvérová implementácia vnorenej riadiacej jednotky

Program je písaný v jazyku C a C++, pričom sme využívali ich nízkoúrovňové funkcionality, vďaka ktorým sú tieto jazyky zaužívané pri vývoji vnorených systémov.

Taktiež sme sa pri vývoji riadili súbormi pravidiel na implementáciu a správu zdrojových kódov pre kritické systémy [2]. Jedná sa o pravidlá využívajúce v kozmických aplikáciách, lietadlách či automobiloch. Akceptovaním týchto pravidiel, sme sa vyhlili používaniu funkcionalít náchylných na zlyhanie programu. V rámci softvérovej robustnosti sme navyše implementovali prídavné ochranné prvky, napríklad watchdogy, či CRC sumy.

4.6 Ďalší vývoj riadiaceho softvéru

Vývoj zahŕňa implementáciu vyšších úrovní ovládania, konkrétne iteratívnym procesom pridať vykonávanie najprv jednotlivých úkonov tlačie, jednotlivých pohybov mechanizmu rotácie šošovky, lokalizácie slnka a jazdných manévrov, potom ich serializáciu a paralelizáciu, implementáciu manévrov zložených z viacerých úkonov, a nakoniec funkcie autonómnosti, ktoré budú samostatne zariadenie prispôbovať situáciám na človeku nedostupných miestach a znižovať objem dát potrebný na prenos pomocou rádiových komunikácií.

Ďalej spracovávanie obrazu z termo a video kamier, rozoznávanie terénu pri pohybe, rozoznávanie rozloženia teploty pri tlačí, prispôbovanie spotreby elektrickej energie a manažment zásob elektrickej energie.

Všetka táto funkcionalita vyžaduje aj rozvoj hardvérovej stránky projektu, umiestnenie kamier, lidar, regulačných energetických obvodov, a samozrejme aj ich ovládanie a komunikáciu s nimi, s grafickými perifériami pomocou I2C protokolu, a s energetickými obvodmi pomocou hardvérových prerušení a GPIO registrov.

5 Zhodnotenie výsledkov a záver

Cieľom projektu bolo vytvorenie demonštračného vozítka schopného autonómnej 3D tlače a zberu materiálu. Po inštalácii nového systému pre protichod ramien bude vozítko schopné podstúpiť intenzívnejšie testovanie mechaniky v rôznych terénoch. Aktuálne je zariadenie schopné po nájdení ohniska vykonávať tlač z bežne dostupnej zeminy, z abrazívneho alebo iného materiálu v priestore o rozlohe približne 10x20 cm. Náklonom vrchnej časti vozítka za pomoci lineárneho aktuátora, a vrstvením materiálu sme teda schopný vytvoriť 3D objekt s výškou niekoľko cm.

Riešením projektu sme mali možnosť aplikovať nadobudnuté teoretické poznatky zo školy a tiež sa naučiť niečo nové nad rámec povinného štúdia. Komplexnosť projektu zabezpečuje neustálu možnosť integrácie nových funkcionalít a mechanizmov, ktoré môžu noví študenti riešiť v ich záverečných prácach.

V najbližšej budúcnosti plánujeme návrh a realizáciu systému zberu a vrstvenia materiálu, ako aj ďalší vývoj ovládacieho softvéru, automatizovanie schopnosti a detekcie samotnej tlače.

Pod'akovanie

V prvom rade by sme radi poďakovali doc. RNDr. Pavlovi Valkovi, PhD. za iniciatívu popularizácie kozmického inžinierstva a podporu, vďaka čomu vznikol tento projekt. Ďakujeme prof. Ing. Petrovi Hubinskému, PhD. za cenné odborné rady a ochotu pri realizácii celého projektu. Ďakujeme prof. Ing. Františkovi Janičkovi, PhD za poskytnutie cenných rád, priestorov a materiálov, bez ktorých by bolo obtiažne tento projekt vytvoriť.

Srdečne ďakujeme Nadácii Tatrabanky za finančnú podporu, vďaka ktorej sa mohol tento projekt realizovať.



Obr. 13. Testovanie mechanizmov 3D tlače pred fakultou.



Obr. 14. Prezentovanie projektu a univerzity

Literatúra

- [1] MEURISSE, A., BELTZUNG, J.C., KOLBE, M., COWLEY, A., SPERL, M., Journal of Aerospace Engineering February 2017, Influence of Mineral Composition on Sintering Lunar Regolith
- [2] VALKO, P., KUTIŠ, V. et al. 2018. *Kozmické technológie*. Bratislava : SPEKTRUM STU, 2018. 437 s. ISBN 978-80-227-4833-9
- [3] JPL Laboratory: JPL Institutional Coding Standarts for the C Programming Language, v1.0, JPL DOC-ID D-60411, 2009
- [4] KRÁĽ ŠTEFAN a kol., Časti a mechanizmy strojov II, Bratislava, 2002. 296s., ISBN: 80-227-1079-2
- [5] GIANCARLO, GENTA, Introduction to the Mechanics of Space Robots, Torino, 2012, 597s., ISBN: 978-94-007-1795-4