



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONCEPČNÍ NÁVRH PLOŠINY PRO PŘEKONÁVÁNÍ SCHODIŠŤ

DESIGN OF LOCOMOTOR SYSTEM FOR STAIRS CLIMBING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Řezanina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kočiš

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Daniel Řezanina
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	Ing. Petr Kočiš
Akademický rok:	2020/21

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 bakalářské práce:

Koncepční návrh plošiny pro překonávání schodišť

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je navrhnout a porovnat koncepční řešení pro strojní zařízení na transport předmětů po schodišti. Předměty budou transportované na plošině strojního zařízení. To bude schopno automatického pohybu po rovných nebo lomených schodech včetně adaptace na parametry schodiště.

Cíle bakalářské práce:

Přehled současného stavu a poznání.

Systémový rozbor.

Nejméně 4 návrhové varianty, jejich zhodnocení a výběr vhodné varianty.

Porovnání návrhových variant na základě multikriteriálního hodnocení.

Kompletní 3D model vybraného koncepčního návrhu.

Závěr a zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce řeší koncepční návrh plošiny pro překonání schodišť. Cílem je zhodnotit kvalitu současných plošin a jejich pohyblivost po schodech. A také navrhnout 4 varianty plošiny, porovnat je multikriteriální analýzou a vytvořit kompletní 3d model koncepčního návrhu plošiny. Je vytvořen návrh kola, které je schopno měnit svoji velikost o 14 %, a to i při pohybu po schodech. Dále pak je vytvořen návrh mechanismu pro naklonění nákladu o 20° mezi přepravovaným nákladem a podvozkem

KLÍČOVÁ SLOVA

šroubové kolo, naklánění nákladu, rozevření kola, plošina

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the conceptual design of a platform for overcoming stairs. The goal is to evaluate the quality of current platforms and their mobility on stairs. And also to design 4 variations of the platform, compare them with multi criteria analysis and create a complete 3D model of the conceptual design of the platform. A wheel design is created that is able to change its size by 14,6%, even when moving on stairs. Furthermore, a design of a mechanism for tilting the load by 20 ° between the transported load and the chassis is created.

KEYWORDS

Screw wheel, tilting load, platform, splay wheel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŘEZANINA, Daniel. Koncepční návrh plošiny pro překonávání schodišť [online]. Brno, 2021 [cit. 2020-11-02]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132520>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Ing. Petr Kočíš.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Kočiše a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Daniel Řezanina

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce za vstřícný přístup.

OBSAH

Úvod	10
1. Zařízení s kolovými podvozky	11
1.1 Podvozky využívající Weisteinova kola	11
1.2 Podvozky využívající výměnu dílčích kol v záběru	12
1.3 Návrh vozíku se synchronním řízením	13
1.4 Podvozek, který je schopný rozdělit kolo na jednotlivé části	14
2 Pásové podvozky	15
2.1 Pásový Schodolez Domino Automatic	15
2.2 Screw	16
3 Další principy	17
3.1 <i>sTetro</i> robot	17
4 Krácející zařízení	18
5 Systémový rozbor	19
5.1 Problémová situace	19
5.2 Formulace problému	19
5.3 Diagram postupu práce	20
5.4 Reprezentativní parametry potřebné pro posouzení návrhových variant	21
6 Koncepční varianty	22
6.1 Pás s ramenem	22
6.2 Pás s měnicím se profilem	22
6.3 Weisteinovo kolo s lineárními motory	23
6.4 Šroubové kolo měnicí svůj tvar	24
6.5 Návrhy vyrovnávacích mechanismů	25
6.5.1 Využití jednoho lineárního motoru	25
6.5.2 Využití 4 šroubových mechanismů	25
7 Multikriteriální analýza koncepčních variant	26
7.1 Posouzení variant	27
7.1.1 Posouzení návrhové varianty: pás s ramenem	28
7.1.2 Posouzení návrhové varianty: pás s měnicím se profilem	29
7.1.3 Posouzení návrhové varianty: Weisteinovo kolo s lineárními motory	31
7.1.4 Posouzení návrhové varianty: kolo, které je schopno rozdělit se na 4 části	32
Zhodnocení :	33
8 Detailní návrh plošiny	34
8.1 Šroubové kolo	35
8.2 Naklápečí mechanismus	36
Závěr	37
Seznam příloh	39

ÚVOD

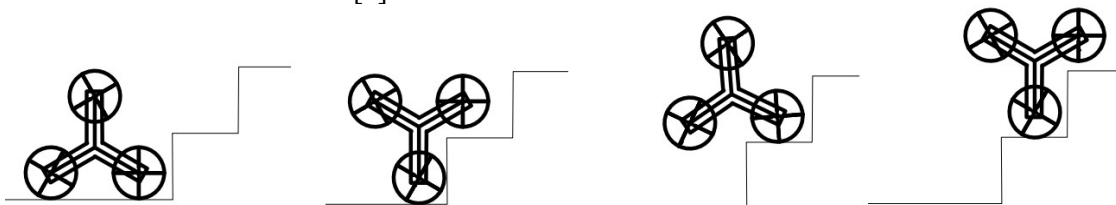
Celkový problém v překonání schodiště plně autonomním systémem spočívá v problémech, jako jsou například: regulace směru a úhlu náklonu podvozků či jejich součástí, které jsou ve styku se schodištěm, aby nedošlo ke ztrátě stability. Následné převrnutí by mohlo mít za následek poškození podvozku přepravovaného objektu, nebo by mohlo dokonce dojít k úrazu. Další problémy by nastaly, kdyby rozměry přepravovaného nákladu přesáhly rozměry podvozku. V tomto případě by hrozilo poškození okolí schodiště a přepravovaného materiálu. Také je důležité, aby se podvozek uměl plně přizpůsobit na různý sklon a rozměry schodů, případně i na natočení celého schodiště. Pro zvládnutí většího sklonu schodiště je lepší, aby plošina uměla naklonit přepravovaný náklad, což také zvyšuje stabilitu.

1. ZAŘÍZENÍ S KOLOVÝMI PODVOZKY

Hlavním hnacím prvkem je kolo či soustava. Hlavní výhodou jsou menší rozměry a lepší manévrovatelnost. Tento princip podvozku je nejvíce rozšířen u mobilních robotů. Díky různorodosti konstrukčních řešení je možno ho využít na mnoho aplikací. Od sběru plodin v zemědělství až po servisní roboty pro nebezpečná prostředí. [1]

1.1 PODVOZKY VYUŽÍVAJÍCÍ WEISTEINOVA KOLA

Weisteinovo kolo je soustava tří kol, které každé je na vrcholu rovnoramenného trojúhelníka. Každé kolo je poháněno buď ozubeným nebo řetězovým převodem. Celá tato soustava je otočná okolo své osy. Princip překonání překážky je buď přejetím, anebo se dílčí kolo zarazí o překážku a dojde k protočení Weisteinova kola okolo středu. Tento princip je znázorněn na obrázku 1, a využívá ho Schodolez Veverka 2000 / ES, EL (obr. 2), s dvěma Weisteinovými koly. Schodolez dokáže překonat schod za tři sekundy, ale je potřeba proškolené osoby, která udržuje rovnováhu. Schodolez je schopný překonat sklon 35° , a s pomocí dvou doprovodných osob až 70° sklon schodiště. [2]

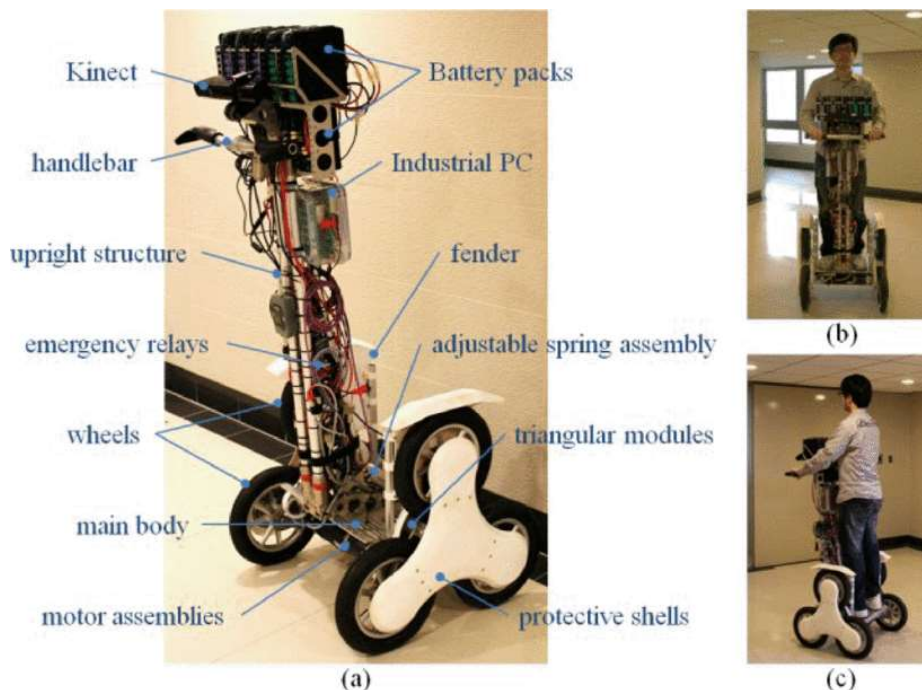


Obr. 1) Princip pohybu Weisteinova kola



Obr. 2) Schodolez Veverka 2000 / ES, EL [1]

Zajímavé využití Weisteinových kol představil taiwanský tým vědců z *Intelligent Robotics and Automation Research, National Taiwan University*. Pro potřeby testování představili návrh podvozku (obr. 3), který uzpůsobili jako osobní vozidlo pro vnitřní i venkovní prostory. Jejich podvozek dokáže překonat schody i zatáčet s nulovým rádiusem. Do budoucna plánují tento podvozek uzpůsobit pro přímou interakci s lidmi. [3]



Obr. 3) Erect wheel-legged stair climbing robot for indoor service applications [3]

1.2 PODVOZKY VYUŽÍVAJÍCÍ VÝMĚNU DÍLČÍCH KOL V ZÁBĚRU

Při překonávání schodů se vysunou menší kola, která neslouží k posuvnému pohybu, ale slouží k nazvednutí celé soustavy a jejímu přehoupnutí na další schod. Nevýhoda spočívá v tom, že je nutno udržovat rovnováhu celé soustavy a dochází k rázům při střídání kol v záběru. Například Schodolez LIFTKAR PT-S 130 (obr. 4), který dokáže překonat až 18 schodů za minutu. Je zde ale potřeba asistence doprovodné osoby. [4]



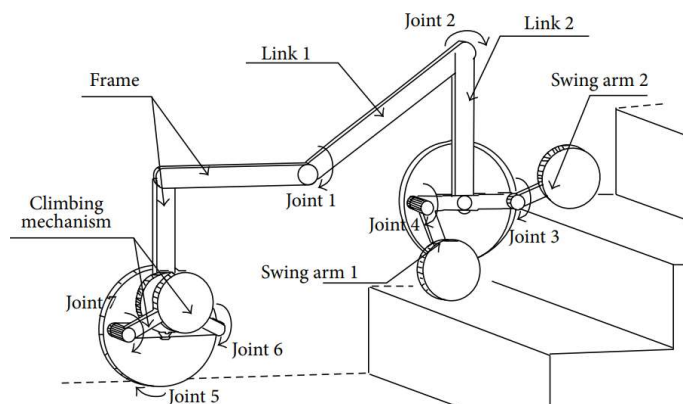
Obr. 4) Schodolez LIFTKAR PT-S 130 [4]

1.3 NÁVRH VOZÍKU SE SYNCHRONNÍM ŘÍZENÍM

Samotný mechanismus sloužící k překonání schodiště se skládá z hlavního kola a ramen. Ramena se otáčejí a jsou ukončena menším kolem (obr. 5). Při překonávání schodu (obr. 6) je plynule otáčeno rameno (swing arm 1 a swing arm 2). Rameno swing arm 2 se překlápí na schod a současným otáčením ramena swing arm 1 se soustava plynule zvedne, čímž se dokončí pohyb na další schod. [5] Hlavní výhodou je, že není potřeba asistence doprovodné osoby. Jelikož je to prozatím pouze konstrukční návrh čínské Univerzity Nanjin, tak nejsou dohledatelné údaje, jako rychlost překonávání schodů a dojezd. Soudím, že rychlost bude menší než u Weisteinových kol. Přibližná rychlost je zhruba jeden schod za 5 vteřin z důvodu celkové složitosti pohybu po schodech. Pro překonání kroku na další schod rameno musí vykonat jednu otáčku, aby zjistilo, jaká je jeho aktuální poloha, a jaká je velikost schodu. Aby se na tyto parametry mohl podvozek plně přizpůsobit, předpokládám soustavu ultrazvukových snímačů.



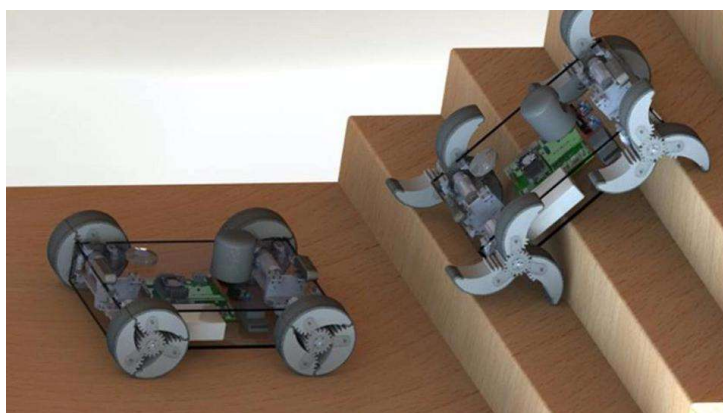
Obr. 5) Novel Stair-Climbing Wheelchair Robot [5]



Obr. 6) Novel Stair-Climbing Wheelchair Robot[5]

1.4 PODVOZEK, KTERÝ JE SCHOPNÝ ROZDĚLIT KOLO NA JEDNOTLIVÉ ČÁSTI

Při příjezdu k překážce systém rozdělí kolo na nesouměrný tvar, aby ji mohlo překonat. Například robot α -WaLTR (obr. 7) pomocí ozubeného soukolí „rozevře“ kolo, a tím se umožní pohyb po schodišti. [6] O tomto systému není možné dohledat podrobnější údaje, protože tento systém vyvíjí texaská A&M University s Americkou armádou pro vojenské operace s městskou zástavbou. Předpokládám vyšší rychlost z důvodu, že kola se mohou rychle otáčet, a i při vzniku velkých rázů by se mohl tento systém přizpůsobit, a tak i rychleji překonat schodiště. Největší problém předpokládám u lomených či točivých schodišť, protože systém nedokáže upravit směr na schodišti. Kdyby jedna strana otáčela koly rychleji, došla by do stavu, kdy by měl podvozek rozdílnou výšku, a systém by se při překonávání schodiště celý nakláněl ze strany na stranu.



Obr. 7) α -WaLTR

2 PÁSOVÉ PODVOZKY

Podvozky používající pás k překonávání překážek se vyznačují větší plynulostí a větší rychlostí pohybu po schodech. Hlavní výhodou je, že pás je stabilní a nedochází tolik k rázům při přejezdu ze schodu na schod. Některé systémy dokážou sami udržovat rovnováhu nakloněním přepravované osoby nebo nákladu, aby předešly ztrátě stability. Například pyrotechnický robot FLIR PackBot (obr. 8) mění úhel mezi pásy tak, aby se podvozek průběžně přizpůsobil, a plynule najel a vyjel ze schodiště.



Obr. 8) FLIR PackBot

2.1 PÁSOVÝ SCHODOLEZ DOMINO AUTOMATIC

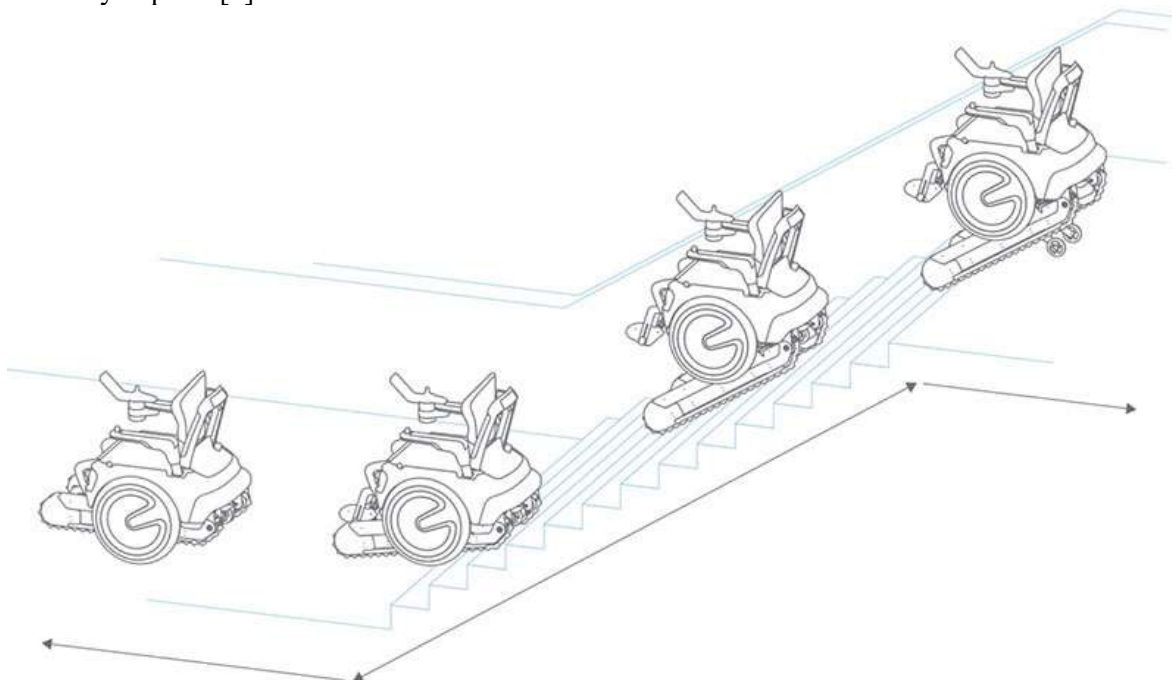
Skládá se ze dvou pásů, které umožňují lepší manévrovatelnost, a elektronického servomotoru, který automaticky udržuje rovnováhu nakloněním nákladu. Při příjezdu na konec schodiště se Schodolez přesune přibližně do poloviny pásu, a postupným sklápěním nákladu se plynule převáží do vodorovné polohy (obr. 9).



Obr. 9) Schodolez DOMINO AUTOMATIC [4]

2.2 SCREWO

Podvozek invalidního vozíku se skládá ze dvou velkých kol, umožňujících pohyb na rovném povrchu. Po příjezdu ke schodům se vysune pásový podvozek, který převážně slouží k překonání schodů. Udávaná rychlost výrobcem je 1 schod za vteřinu, ale záleží na velikosti stoupání schodiště a celkových rozměrech schodu. Maximální stoupání je až 36° , dokáže urazit až 25 km na jedno nabití, a maximální dosažitelná rychlost na rovině činí 10 km/h. Pro překonání schodiště, kdy je podvozek přibližně v půlce posledního schodu, se vysunou malá kolečka na udržení rovnováhy. Nevýhodou tohoto systému je fakt, že uživatel vyjíždí schody tzv. zády napřed. [7]



Obr. 10) Screwo [7]

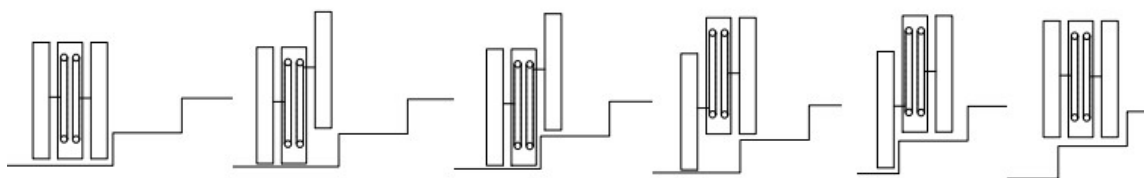
3 DALŠÍ PRINCIPY

3.1 STETRO ROBOT

Primární účel tohoto robota (obr. 11) je uklízení podlah vnitřních prostorů. Je schopný vyčistit rovné prostory i se přizpůsobit na parametry schodiště. Skládá se ze tří hlavních částí, které na sebe navazují. Samotný pohyb po schodišti je umožněný vzájemným posouváním tří hlavních částí pomocí pásu. Názorné schéma je na obrázku 12. Když tento podvozek přijede ke schodišti, vysune první část, která je nejbližší schodu. Po vysunutí pomalu vyjede na schod. Vysunutím i prostřední části, a najetím na schod, se toto opakuje i u poslední části, která dojede na stejnou úroveň. [9]



Obr. 11) Stetro Robot [9]



Obr. 12) Schéma pohybu Stetro Robot

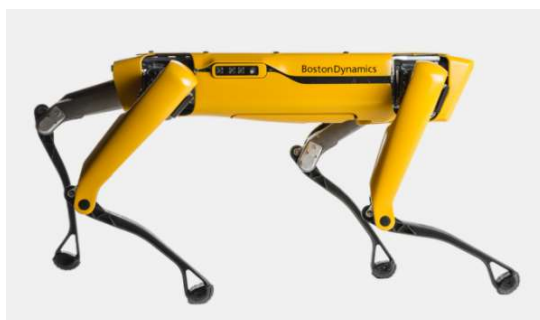
4 KRÁČEJÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Kráčející podvozky označujeme principy, kdy jako hlavní hnací člen podvozku slouží výměna dílčích noh v záběru, např. Atlas (obr. 13) a Spot (obrázek 14) od firmy Boston Dynamics. Atlas je navržen tak, aby se co nejvíce podobal lidskému tělu. S pomocí 28 hydromotorů dokáže vyvinout rychlost až 5,4 km/h, také dokáže překonávat různé výšky schodů a nejrůznější akrobacii, jako třeba salta. Celé zařízení měří na výšku 1,5 m a váží 80 kg.



Obr. 13) Atlas [8]

Programovatelný autonomní Spot (obr. 14) od firmy Boston Dynamics, s cenou od 74 500 dolarů, je schopný unést až 14 kilogramů. Sám váží 25 kilogramů, má 12 motorů, a dokáže vyvinout rychlost 5,76 km/h. Je schopný překonat velké množství překážek, jako jsou schody, ale dokáže se také pohybovat po nepevném terénu, jako je např.: hlína, štěrka a tráva. Je plně programovatelný a operátor je schopen ho ovládat mobilním telefonem. Spot je navržen na autonomní provádění inspekce, jako jsou tunely, různé stavby a výrobní kapacity. Spot je schopný snímat 360° fotografie, a s využitím softwaru Holobuilder, je schopný zachycovat průběžný postup stavby. Dokonce dokáže provádět kontrolní měření. Spot je schopný zaznamenávat prostředí, které by mohlo být potenciálně pro člověka nebezpečné, a na tyto nebezpečí i upozornit. Je možné ho vybavit kamerou s termovizí pro měření teploty a zjištění možných zkratů, nebo různých úniků tepla. V tunelech a dolech je schopen pozorovat případné trhliny, ale také je schopný detekovat úniky plynu. [8]



Obr. 14) Spot [8]

Výzkumný tým univerzity Briston využívá Spot s měřiči radiace v radiační zóně Černobylské jaderné elektrárny, na mapování velikosti radiace a odhalení nebezpečných míst. Plánuje se i jeho použití v oblasti zvané „Red Forest“, která po havárii obdržela velké množství radiace, a i po vybagrování povrchové zeminy patří tato oblast do území s nejvyšší radiací na světě.

5 SYSTÉMOVÝ ROZBOR

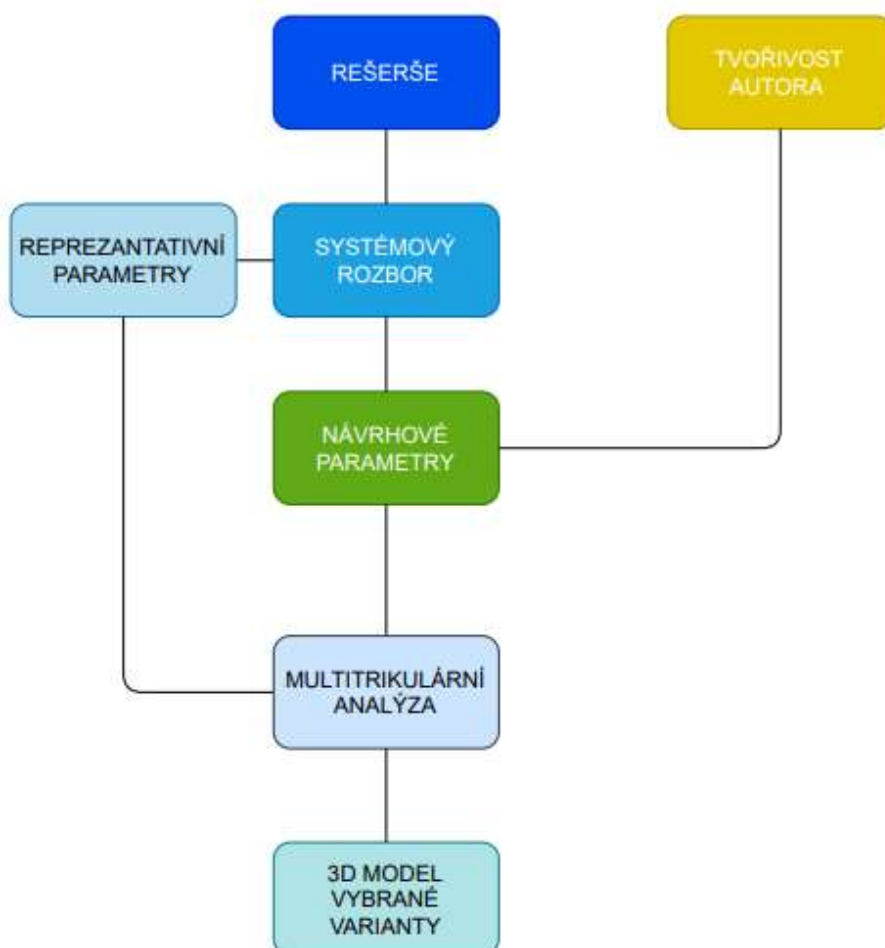
5.1 PROBLÉMOVÁ SITUACE

Největší problém současných řešení je špatná ovladatelnost po točitých schodištích, a také míra autonomie u přizpůsobivosti na různé výšky schodů. Podvozky určené pro jízdu po točitém schodišti mají na počátku jízdy po schodišti značnou prodlevu. Tato prodleva je způsobena tím, že podvozek je nutno přizpůsobit na rozdílný pohyb, než je jízda po rovině. Podvozky určené pro vyšší nosnost mají většinou velké zástavbové rozměry, a nejsou schopny pohybu v úzkých prostorách schodišť. Je to především dáno potřebou stability při transportu rozměrných předmětů. Velká část řešení není schopna autonomně překonávat vysoké stoupání schodiště, protože podvozek nedokáže natočit až do takové míry náklad, a tak dochází ke ztrátě stability.

5.2 FORMULACE PROBLÉMU

Při překonání točitých schodišť je důležité zachovat rozdílnou rychlost bočních stran podvozku, aby se předešlo situaci, kdy by jedna strana byla na jiné výškové úrovni než druhá, což by mělo za následek posunutí těžiště a ztrátu stability. Rozdílná rychlost je problematické řešení u všech způsobů, kde není využit jako hlavní část pás. Ke zlepšení schopnosti překonat i větší sklony schodiště je vhodné posunout těžiště celého zařízení tak, aby směřovalo přibližně doprostřed styčné plochy podvozku se schodištěm. Také je dobré mít co nejmenší nakládací výšku, čímž je udržena při pohybu po schodech vyšší stabilita.

5.3 DIAGRAM POSTUPU PRÁCE



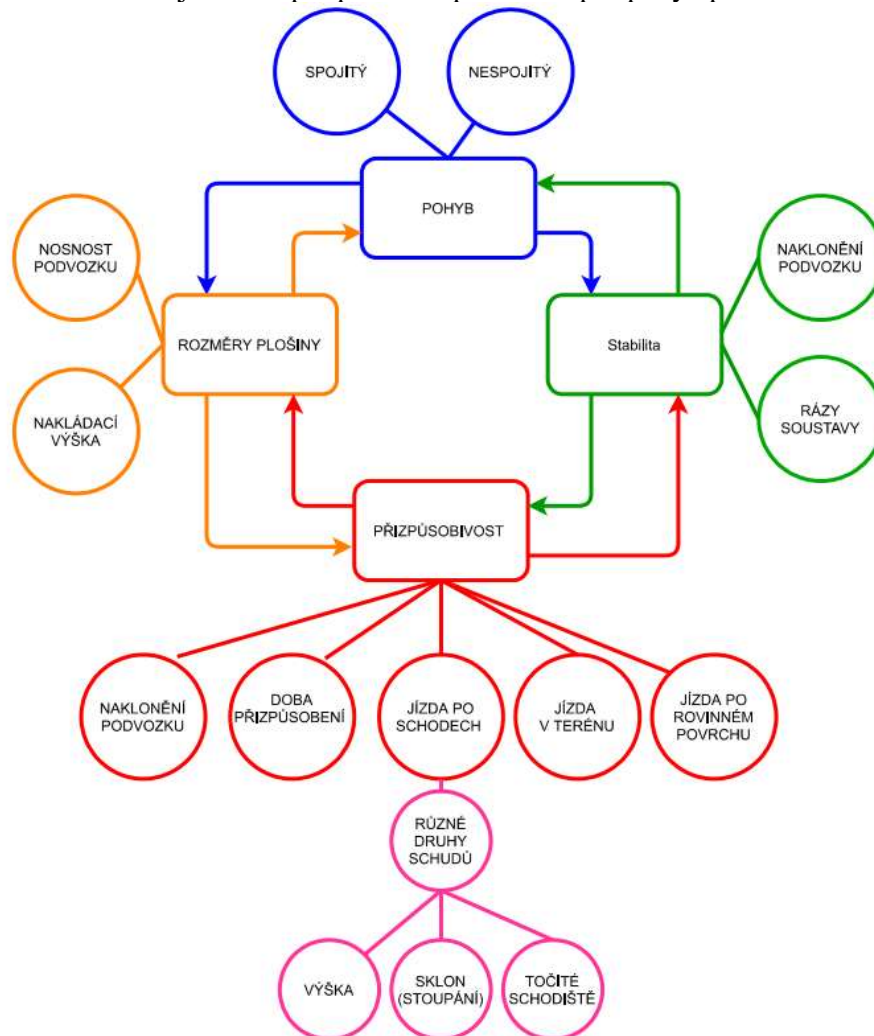
Obr. 15) Diagram postupu práce

5.4 REPREZENTATIVNÍ PARAMETRY POTŘEBNÉ PRO POSOUZENÍ NÁVRHOVÝCH VARIANT

Parametry jsou zarovnány do dílčích celků, a pro lepší přehlednost jsou reprezentativní parametry uzpůsobeny do myšlenkové mapy, aby bylo lépe znázorněno vzájemné ovlivňování prvků.

Nejvyšší problém je v přizpůsobivosti podvozku, aby byl schopen překonat i točité schodiště s proměnlivým sklonem a výškou schodů. U některých soustav je pohyb po schodišti nespojitý (přerušovaný) ve smyslu potřeby výměny dílčích kol, které se zrovna nachází ve styku se schodištěm. U těchto soustav často dochází k rázům (výkyvům) a horší stabilitě. Naproti tomu spojitý (plynulý) pohyb je většinou u pásových podvozků. U těch nedochází k velkým rázům, a jsou tedy plynulejší. Pro velké sklony je vyrovnávací mechanismus klíčový, aby nedošlo ke ztrátě stability. Rozměry plošiny jsou také velmi důležitým prvkem, abychom nepřesáhli rozměry schodiště, a také jsou velké rozměry nepříznivé na lomených či točivých schodištích. Rozměry plošiny přímo ovlivňují nosnost podvozku a nakládací výšku.

Důležitou vlastností je i doba přizpůsobení podvozku pro pohyb po schodech.



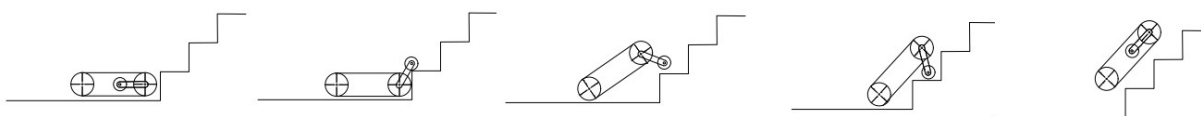
Obr. 16) Myšlenková mapa reprezentativních parametrů

6 KONCEPČNÍ VARIANTY

V této kapitole naleznete 4 konstrukční varianty mnou navržených lokomotivních podvozků. A také dva návrhy vyrovnávacích mechanismů pro větší sklony schodišť.

6.1 PÁS S RAMENEM

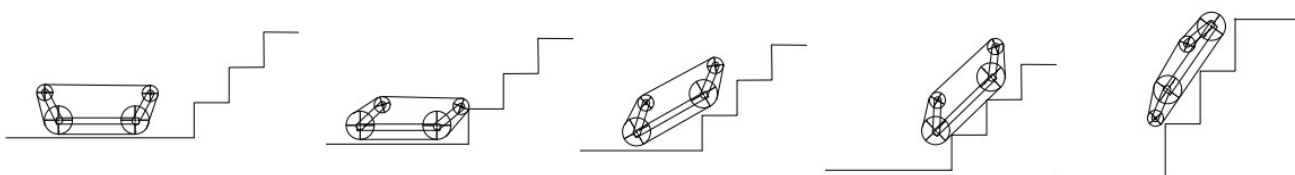
Tento podvozek se skládá ze dvou pásů a jednoho ramene (obr. 17). Podvozek přijede ke schodu a rameno se zapře o horní část schodu. Rameno nadzvedne část podvozku, aby plynule najel na schody. Toto řešení by teoreticky umožňovalo i větší sklon schodiště. Protože při velkém sklonu by pás sloužil jen jako brzda před smýkáním, a rameno by se kruhově posunovalo s pomocí pásu. Pohyb podvozku na točitých schodištích je řešen rozdílnou rychlostí pásu na každé straně.



Obr. 17) Schéma pohybu pásu s ramenem

6.2 PÁS S MĚNÍCÍM SE PROFILEM

Podvozek se skládá ze dvou pásů a dvou ramen. Obě ramena jsou otočná a jsou umístěna na konci prostřední části, která je nosná. Před příjezdem ke schodu podvozek natočí obě ramena, čímž změní úhel sklonu pásu (obr. 18). S upraveným sklonem pak může plynule najet na schodiště. Z teoretické roviny by mohl být schopen více naklonit zadní rameno, aby se pás co nejvíce napřímil. Napřímením by zvětšil styčnou plochu, čímž by byl schopen překonat i větší sklon schodiště. Největší problém je napnutí pásu při pohybování ramen.

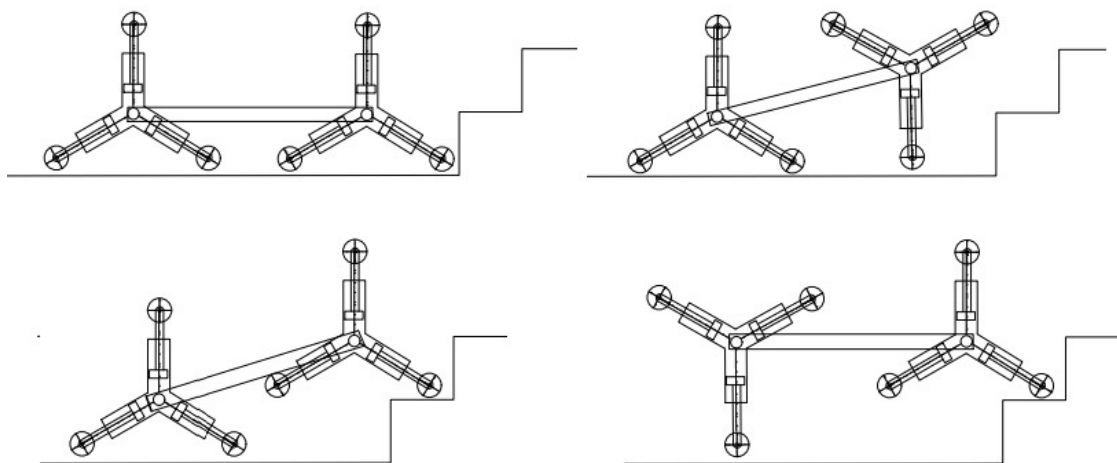


Obr. 18) Schéma pohybu pásu s měnícím se profilem

6.3 WEISTEINOVO KOLO S LINEÁRNÍMI MOTORY

Tento typ podvozku využívá princip Weisteinova kola, který je doplněn lineárním motorem na každé větvi (obr. 18). Takže na každém rohu trojúhelníku je umístěno dílčí kolo, které musí být poháněno. Také musí být vybaveno mechanismem, který umožňuje pohon dílčího kola, a zároveň umožňuje vysouvání a zasouvání dílčího kola blíže ke středu. Takovéto řešení by se dokázalo lépe přizpůsobit na parametry schodiště, z důvodu schopnosti průběžně zasouvat a vysouvat dílčí kola ke středu, která leží na každé větvi. Toto řešení by mohlo významnou měrou pomoci i v situaci, kdy se podvozek nachází na schodišti. Zadní kola, která jsou umístěna níže, by vysunutím srovnala úhel podvozku.

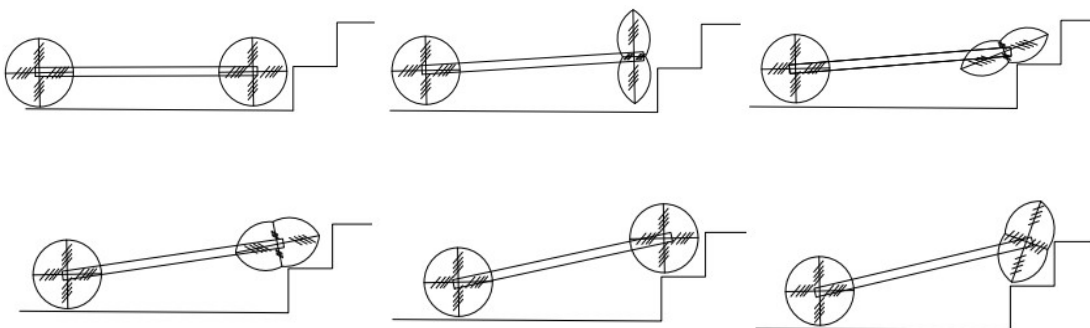
Je možné využít více druhů lineárních motorů. Teoreticky by se mohl využít pneumatický lineární motor, ale bylo by potřeba použít speciální mechanismus, abychom zabezpečili správné vysunutí. Možné je i použití hydraulické soustavy, která ale z důvodu potřeby použití přesnějších dílů, má vyšší cenu. Výhodou je, že hydraulika umožňuje plynulý a plně regulovaný posuv lineárního hydromotoru. Zmíněným nedostatkům by se dalo předejít použitím vhodnějšího šroubového mechanismu v každé větvi, který by nahradil lineární motory. Ve schématu pohybu Weisteinova kola (obr. 18) je použito lineárních motorů z důvodu lepší přehlednosti a představy.



Obr. 19) Schéma pohybu Weisteinova kola s lineárními motory

6.4 ŠROUBOVÉ KOLO MĚNÍCÍ SVŮJ TVAR

Toto kolo je vybaveno šroubovým mechanismem, který umožňuje vysouvat a zasouvat dílčí šroubovice blíže ke středu, tak aby bylo docíleno rozdílného tvaru kola. Kolo má čtyři podpůrná ramena, ve kterých leží šroubový mechanismus, jenž se zasouvá či vysouvá blíže ke středu. Vždy dvě ramena, která leží naproti sobě se zasouvají, současně zbylá dvě ramena (kolmá na tyto dvě) konají opačný pohyb. Mezi ramena jsou umístěny 4 ližiny. Ližiny jsou umístěny otočně na čepích tak, aby bylo umožněno otáčení vůči sobě, a tím došlo ke změně výsledného tvaru. Toto řešení umožňuje měnit tvar kola i při jízdě, čímž by se vyřešil i komplikovaný pohyb při rozdílných schodech. Každé kolo by tak bylo schopno měnit svůj tvar nezávisle na ostatních, mohlo by mít rozdílnou výšku a rozdílnou rychlost. Díky využití těchto kol by byla umožněna jízda i po lomených či točivých schodech, protože jsme schopni plynule měnit tvar kola.



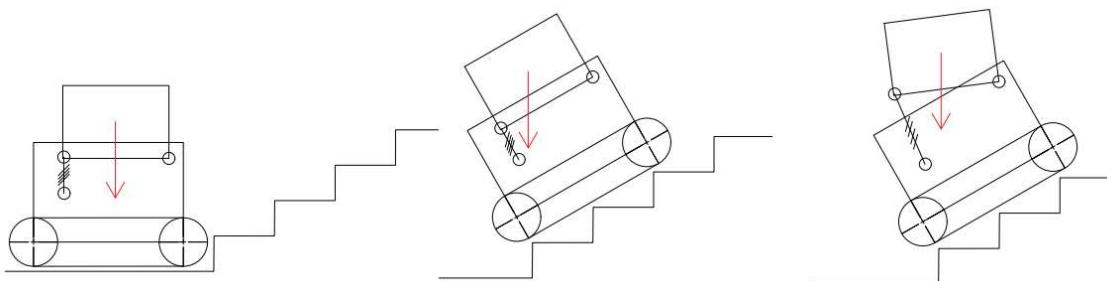
Obr. 20) Schéma pohybu šroubové kolo měnící svůj tvar

6.5 NÁVRHY VYROVNÁVACÍCH MECHANISMŮ

Aby nedošlo ke ztrátě stability při velkých sklonech je potřeba, aby se mohl přepravovaný náklad naklonit, čímž silová výslednice uvnitř těžiště soustavy zamíří blíže středu podvozku. Pro názorné představení různých řešení bude využito jen jednoduché schéma skládající se z pásového podvozku. Z přepravovaného materiálu je pak vyznačena červená šipka znázorňující gravitační sílu, která vždy směřuje svisle.

6.5.1 VYUŽITÍ JEDNOHO LINEÁRNÍHO MOTORU

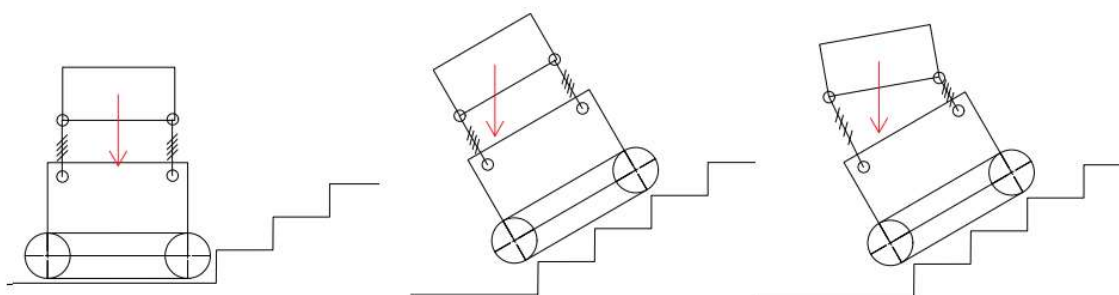
Jedna strana konstrukce, na které leží přepravovaný objekt, je nadzvedána lineárním hydromotorem nebo šroubovým mechanismem. Čímž je pootočeno nosnou konstrukcí přepravovaného materiálu. Hlavní výhodou je fakt, že díky tomuto systému jsme schopni přepravovaný náklad významně pootočit k jedné straně.



Obr. 21) Schéma naklonění s jedním lineárním motorem

6.5.2 VYUŽITÍ 4 ŠROUBOVÝCH MECHANISMŮ

Přepravovaný objekt je na čtyřech stojnách, které jsou připevněny k podvozku. Každá stojna je vybavena šroubovým mechanismem, aby se strany mohly volně natáčet, a nedošlo ke ztrátě stability při rozdílné výšce stran. Díky tomuto systému jsme schopni natočit přepravovaný náklad na všechny strany, čímž zabezpečíme plošinu i při naklonění podvozku na levou či pravou stranu.



Obr. 21) Schéma naklonění s využitím 4 šroubových mechanismů

7 MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA KONCEPČNÍCH VARIANT

Pro objektivní analýzu koncepčních variant je zvolena multikriteriální analýza. Pro důležité oblasti je určena váha od 0 po 1. Kdy na variantu s 1 bodem je kladen největší důraz.

Podvozek vyhodnocujeme bez přidavného vyrovnávajícího mechanismu, protože je lepší ho zohlednit až podle vybraného podvozku.

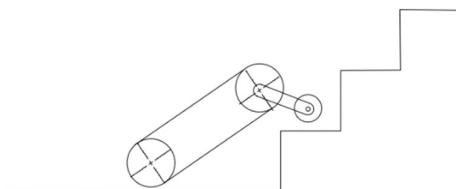
Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Váha parametru	Odůvodnění
P1	Plynulost chodu	0,5	Při přerušovaném chodu je větší vznik rázů, způsobující nestabilitu soustavy.
P2	Rychlost po rovině	0,6	Pro povozek je žádoucí co největší rychlost i při nepřekonávání schodů.
P3	Rychlost po schodech	0,5	Podvozek musí být schopen dosáhnout rychlosti i při překonávání překážek.
P4	Větší sklon	0,4	Je žádoucí překonávat co největší sklon schodiště, autonomně bez obsluhy.
P5	Adaptace na parametry schodiště	1	Důležitý parametr, který je zmíněn v zadání.
P6	Schopnost plynule se přizpůsobit na lomené schodiště	0,9	Tento parametr je zmíněn v zadání. V současné době většina podvozků nedokáže překonat tento problém z důvodu horšího přizpůsobení.
P7	Jednoduchost soustavy	0,9	Při zbytečně komplikovaných řešeních se hromadí problémy s pevností a náročností sestavy. Cílem je vytvořit proveditelné řešení, u kterého bude co nejméně pohybujících se dílů.

P8	Doba přizpůsobení	0,7	Doba, za kterou je podvozek schopen se přizpůsobit na pohyb po schodišti.
Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Váha parametru	Odůvodnění
P9	Vlastní hmotnost	0,5	Kvůli nosnosti schodiště a případné potřebě silnějších motorů je co nejlepší, aby hmotnost podvozku byla co nejmenší.
P10	Nosnost	0,7	Nosnost podvozku patří mezi základní vlastnosti požadované uživatelem.
P11	Rozměry plošiny	0,6	Kvůli rozdílné šířce schodišť jsou potřeba co nejmenší rozměry.
P12	Nakládací výška	0,3	Při manipulaci s přepravovaným materiálem je lepší co nejmenší nakládací výška.

7.1 POSOUZENÍ VARIANT

V této kapitole proběhne posouzení navrhovaných variant. Ke každému parametru budou přisouzeny body parametru. Při maximálním bodovém zisku 5 bodů, kdy 1 bod znamená předpokládané špatné splnění požadované vlastnosti a 5 bodů znamená dobrou předpokládanou schopnost. Na konci každé podkapitoly také bude proveden krátký výpočet celkového bodového zisku.

7.1.1 POSOUZENÍ NÁVRHOVÉ VARIANTY: PÁS S RAMENEM



Obr. 22) Schéma pásu s ramenem

Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Bodové ohodnocení parametru	Odůvodnění
P1	Plynulost chodu	4	Pásy mají všeobecně lepší plynulost chodu.
P2	Rychlost po rovině	2	Pásy mají pomalejší pohyb po rovině.
P3	Rychlost po schodech	3	Pásy mají rychlejší pohyb po schodech.
P4	Větší sklon	4	Díky možnosti použití ramene při větším sklonu, je teoreticky podvozek schopen překonat větší sklon.
P5	Adaptace na parametry schodiště	3	Pásy se dokážou plynule přizpůsobit.
P6	Schopnost plynule se přizpůsobit na lomené schodiště	3	Pásy dokážou vyvinout rozdílnou rychlost na obou stranách podvozku.
P7	Jednoduchost soustavy	3	Celý mechanismus je možné udělat jednoduše.
P8	Doba přizpůsobení	1	Delší doba přizpůsobení, než se rameno zařadí do záběru.
P9	Vlastní hmotnost	2	Větší hmotnost pásu a ramene, které musí unést celou tíhu sestavy při jízdě po schodišti.
P10	Nosnost	4	Všeobecně mají pásy dobrou nosnost díky rozprostření tíhy na větší plochu.

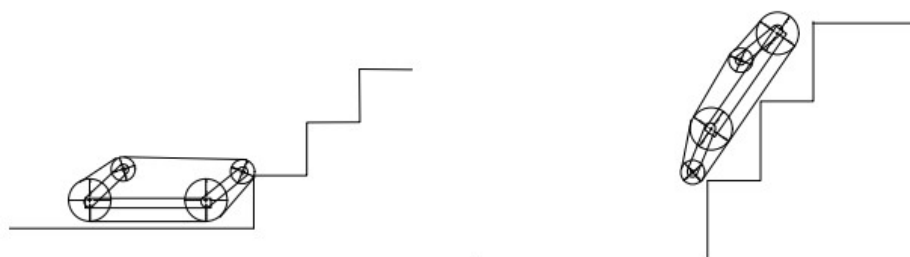
Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Bodové ohodnocení parametru	Odůvodnění
P11	Rozměry plošiny	3	Díky použití pásu je dobrá šířka plošiny.
P12	Nakládací výška	3	Pásy mají dobrou nakládací výšku z důvodu menší vzdálenosti od plošiny k rovině, ale kvůli použitému ramenu je nakládací výška o velikost ramena vyšší.

výpočet bodového zisku:

$$Z_1 = \frac{P_1 \cdot B_1 + P_2 \cdot B_2 + P_3 \cdot B_3 + P_4 \cdot B_4 + P_5 \cdot B_5 + P_6 \cdot B_6 + P_7 \cdot B_7 + P_8 \cdot B_8 + P_9 \cdot B_9 + P_{10} \cdot B_{10} + P_{11} \cdot B_{11} + P_{12} \cdot B_{12}}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12}} = 2,88$$

Celkový bodový zisk tohoto návrhu je 2,88

7.1.2 POSOUZENÍ NÁVRHOVÉ VARIANTY: PÁS S MĚNÍCÍM PROFILEM



Obr. 23) Schéma pásu s měnícím se profilem

Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Bodové ohodnocení parametru	Odůvodnění
P1	Plynulost chodu	4	Pásy mají všeobecně lepší plynulost chodu.
P2	Rychlost po rovině	2	Pásy mají pomalejší pohyb po rovině.
P3	Rychlost po schodech	3	Pásy mají rychlejší pohyb po schodech.
P4	Větší sklon	4	Díky možnosti naklonit zadní rameno se zvětší plocha, která se dotýká schodiště. Díky této vlastnosti je možno překonat větší sklon.

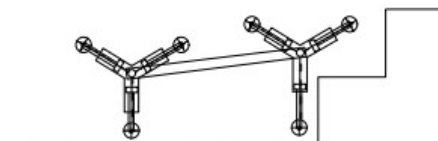
Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Bodové ohodnocení parametru	Odůvodnění
P5	Adaptace na parametry schodiště	4	Pásky se dokážou plynule přizpůsobit.
P6	Schopnost plynule se přizpůsobit na lomené schodiště	3	Pásky dokážou vyvinout rozdílnou rychlost na obou stranách podvozku.
P7	Jednoduchost soustavy	2	Celý mechanismus je možné udělat jednoduše.
P8	Doba přizpůsobení	2	Kratší doba, než se přizpůsobí ramena na nájezd na schodiště.
P9	Vlastní hmotnost	2	Větší hmotnost pásu a nosné konstrukce hlavně dvou ramen, která musí být schopna se plynule natáčet i při záběru.
P10	Nosnost	4	Všeobecně mají pásky dobrou nosnost, a také je zde lepší možnost rozprostřít tíhu na schodiště.
P11	Rozměry plošiny	3	Díky využití pásu je dobrá šířka plošiny.
P12	Nakládací výška	4	Pásky mají dobrou nakládací výšku z důvodu menší vzdálenosti od plošiny k rovině.

Výpočet bodového zisku:

$$Z_1 = \frac{P_1 \cdot B_1 + P_2 \cdot B_2 + P_3 \cdot B_3 + P_4 \cdot B_4 + P_5 \cdot B_5 + P_6 \cdot B_6 + P_7 \cdot B_7 + P_8 \cdot B_8 + P_9 \cdot B_9 + P_{10} \cdot B_{10} + P_{11} \cdot B_{11} + P_{12} \cdot B_{12}}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12}} = 3,02$$

Celkový bodový zisk tohoto návrhu je 3,02

7.1.3 POSOUZENÍ NÁVRHOVÉ VARIANTY: WEISTEINOVOKOLO S LINEÁRNÍMI MOTORY



Obr. 24) Schéma Weisteinova kola s lineárními motory

Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Bodové ohodnocení parametru	Odůvodnění
P1	Plynulost chodu	3	Weisteinova kola mají horší plynulost chodu.
P2	Rychlost po rovině	1	Weisteinova kola mají pomalý pohyb po rovině.
P3	Rychlost po schodech	2	Weisteinova kola mají pomalý pohyb po schodech.
P4	Větší sklon	4	Díky možnosti měnit velikost vzdálenosti ramen od středu se hodí i na větší sklon schodiště.
P5	Adaptace na parametry schodiště	4	Weisteinova kola se dobře přizpůsobí.
P6	Schopnost plynule se přizpůsobit na lomené schodiště	1	Weisteinova kola mají velmi špatnou vlastnost přizpůsobení se na lomené schodiště.
P7	Jednoduchost soustavy	1	Je nutno použít složitý mechanismus, aby umožnil otáčení okolo středu, a také vzájemné zasouvání a vysouvání dílčích kol a jejich otáčení.
P8	Doba přizpůsobení	5	Tento způsob nepotřebuje větší dobu potřebnou na přizpůsobení se na pohyb po schodišti.
P9	Vlastní hmotnost	1	Každé upravené Weisteinovo kolo bude mít složitý mechanismus umožňující oddalování a přibližování dílčích kol, a jejich otáčení, což bude mít za následek velkou hmotnost.
P10	Nosnost	1	Kvůli možnosti oddalování dílčích kol od středu bude horší nosnost sestavy.

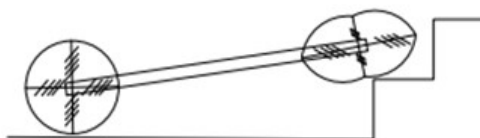
Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Bodové ohodnocení parametru	Odůvodnění
P11	Rozměry plošiny	1	Kvůli použitému mechanismu na oddálení dílčích kol, je kolo širší, čímž je větší i plošina.
P12	Nakládací výška	3	Díky možnému přiblížení dílčích kol je celkově dobrá nakládací výška.

Výpočet bodového zisku:

$$Z_1 = \frac{P_1 \cdot B_1 + P_2 \cdot B_2 + P_3 \cdot B_3 + P_4 \cdot B_4 + P_5 \cdot B_5 + P_6 \cdot B_6 + P_7 \cdot B_7 + P_8 \cdot B_8 + P_9 \cdot B_9 + P_{10} \cdot B_{10} + P_{11} \cdot B_{11} + P_{12} \cdot B_{12}}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12}} = 2,19$$

Celkový bodový zisk tohoto návrhu je 2,19

7.1.4 POSOUZENÍ NÁVRHOVÉ VARIANTY: ŠROUBOVÉHO KOLA MĚNÍCÍ SE SVŮJ TVAR



Obr. 25) Schéma šroubového kola měnící svůj tvar

Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Bodové ohodnocení	Odůvodnění
P1	Plynulost chodu	3	Horší plynulost z důvodu nepravidelného chodu.
P2	Rychlost po rovině	4	Kola mají nejrychlejší pohyb po rovině.
P3	Rychlost po schodech	2	Takto upravená kola jsou schopna pomalého pohybu po schodech.
P4	Větší sklon	4	Při plynulé změně tvaru ozubeného kola je možno dosáhnout i většího sklonu schodiště.

Označení veličiny pro lepší přehlednost	Název	Bodové ohodnocení	Odůvodnění
P5	Adaptace na parametry schodiště	5	Tento typ kola se dokáže plně přizpůsobit i na proměnlivé parametry schodiště.
P6	Schopnost plynule se přizpůsobit na lomené schodiště	3	Tento druh kola je schopen přizpůsobit se na rozdílné parametry schodiště a měnit tvar i při chodu.
P7	Jednoduchost soustavy	0,3	Celý mechanismus je možné udělat jednoduše.
P8	Doba přizpůsobení	4	Tato kola se dokážou rychle přizpůsobit na pohyb po schodišti.
P9	Vlastní hmotnost	4	Celý mechanismus je možno odlehčit a přizpůsobit tak, aby byl co nejpevnější a zároveň odolný.
P10	Nosnost	3	Díky použitému mechanismu bude dobrá nosnost kol.
P11	Rozměry plošiny	2	Kvůli použitému mechanismu rozevření kola je kolo širší, čímž je větší i plošina.
P12	Nakládací výška	2	Nakládací výška bude větší z důvodu průměru kola.

Výpočet bodového zisku:

$$Z_1 = \frac{P_1 \cdot B_1 + P_2 \cdot B_2 + P_3 \cdot B_3 + P_4 \cdot B_4 + P_5 \cdot B_5 + P_6 \cdot B_6 + P_7 \cdot B_7 + P_8 \cdot B_8 + P_9 \cdot B_9 + P_{10} \cdot B_{10} + P_{11} \cdot B_{11} + P_{12} \cdot B_{12}}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12}} = 3,04$$

Celkový bodový zisk tohoto návrhu je 3,04

ZHODNOCENÍ :

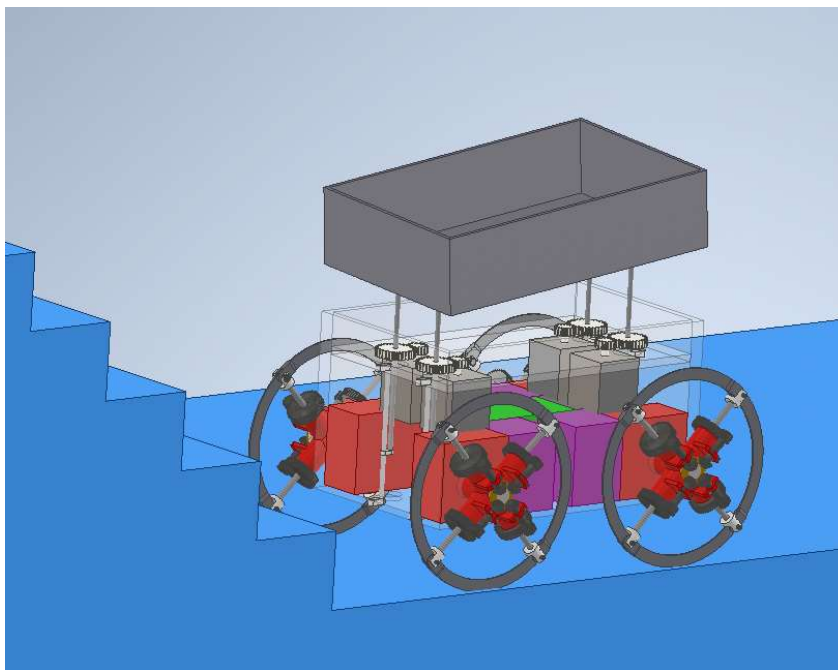
Z multikriteriální analýzy nám vyšlo, že z navržených způsobů je nejlepší kolo, které je schopno se rozdělit na 4 části, a to s bodovým ziskem 3555. Jeho hlavními přednostmi jsou rychlost po rovině a možnost překonávat větší sklon schodiště. A schopnost měnit tvar kola při pohybu po schodišti.

Kvůli schopnosti překonávat lomená či točitá schodiště jsou vybrány, pro pootočení přepravovaného nákladu, 4 šroubové mechanismy, které jsou schopny rozdílným vysouváním naklonit přepravovaný materiál na všechny strany o 20° vzhledem k podvozku.

8 DETAILNÍ NÁVRH PLOŠINY

V jednotlivých podkapitolách bude zaměřena pozornost na hlavní prvky plošiny, které jsem navrhnul. Budou popsána jejich kritéria, a důležitá fakta týkající se návrhu. Můj návrh plošiny se skládá ze 4 šroubových kol umožňujících změnu tvaru kola i při jízdě po schodech. Pro správnou funkci těchto kol je potřeba samostatného pohonu pro každé kolo a převodové skříně umožňující, aby byla poháněna vnitřní či vnější hřídel. Také je potřeba při jízdě po rovině, aby se vnitřní hřídel otáčela současně s vnější hřídelí, aby nedošlo k samovolnému rozevírání kola. Dále se plošina skládá z baterie, řídicí jednotky a také čidel, aby se plošina byla schopna autonomně pohybovat po rovině a schodech. Dále je potřeba 4 samostatných motorů pro naklápací mechanismus. Naklápací mechanismus nákladu také disponuje možností měnit výšku plošiny pro lepší nakládání a vykládání,

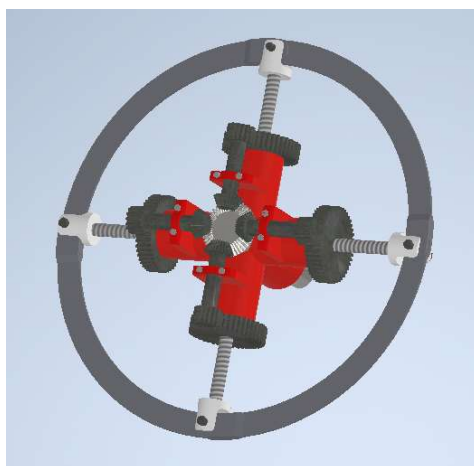
Na obrázku níže [] je koncepční uspořádání prvků v plošině. Motory pro dílčí kola jsou vyobrazeny fialovým čtvercem, převodové skříně jsou vyobrazeny červeně. Baterie pro naši plošinu jsou vyobrazeny zeleně, a řídicí jednotka je vyobrazena černým čtvercem. Motory pro naklápací mechanismus jsou vyobrazeny šedým čtvercem.



Obr. 26) Navržená plošina

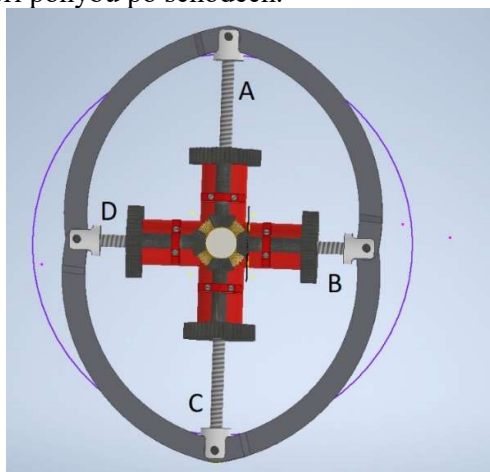
8.1 ŠROUBOVÉ KOLO

Mnou navržené šroubové kolo obr. [] se skládá ze 4 ližin, 4 šroubů, kuželového ozubení, které je vprostřed kola, přímého ozubeného kola, které je umístěno na dílčí hřídeli. Ve větším ozubeném kole je matice pro šroubový mechanismus. Ližiny jsou vůči sobě uloženy otočně na čepech, aby se mohli vůči sobě natačovat. Každá ližina má v sobě drážku, aby byl umožněn pohyb a jejich vzájemné otáčení. Při otáčení vnitřního kuželového kola se přeneše kroutící moment na dílčí hřídele. Z dílčích hřídelí se přímým ozubením přeneše kroutící moment na matici šroubového mechanismu, která je umístěna ve větším ozubeném kole. Díky otáčení matice dojde ke zasouvání či vysouvání šroubovic. Díky zasouvání a vysouvání šroubovic je kolo schopno měnit svůj tvar, čímž je možno překonat schodiště.



Obr.27) 3d model Šroubového kola schopna měnit svůj tvar

Na obrázku [28] je vyobrazeno maximální rozevření kola. Fialová kružnice nám značí základní průměr kola při jízdě po rovině. Mnou navržené kolo má průměr 50 cm, a je schopno dosáhnout rozevření o 14,6 % na 57,3 cm, což umožňuje překonání schodiště. Důležitým aspektem je fakt, že na dílčích hřídelích je stejný směr otáčení, takže je nutno využít opačného stoupání na šroubovicích. Například na šroubových mechanismech A C je využito pravotočivé stoupání, a na B D je levotočivé. Takže, když začne vnitřní kolo rotovat, tak dojde ke spojitému rozevření, a je možné ho rozevírat i při pohybu po schodech.



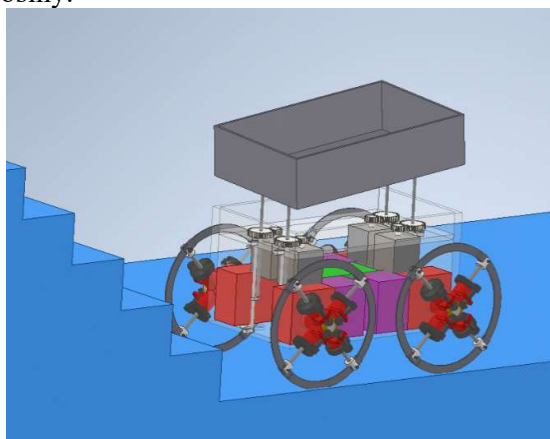
Obr.28) 3d model rozevřeného šroubového kola schopna měnit svůj tvar

8.2 NAKLÁPĚCÍ MECHANISMUS

Pro naklání na všechny strany jsem zvolil mechanismus, který se skládá ze 4 šroubovic, 4 poháněných matic a 4 vodících lišt pro správný chod mechanismu. Vodící lišta je broušený válec, zabudovaný v nosných částech plošiny. Vodící lišta slouží ke správnému fungování šroubového mechanismu. Otáčením matice, zabudované v ozubeném kole, se začne vysouvat a zasouvat šroubovice, která je upevněna v radiálním kloubem k plošině, kde je umístěn přepravovaný náklad.

Při potřebě změnit nakládací výšku je možno vyzvednout nakládací plošinu.

Tento způsob umožňuje naklánět přepravovaný náklad až o 20 ° do všech směrů. Natočením nákladu je potřeba, aby silová výslednice těžiště vždy směřovala co nejbližší ke středu, čímž se zlepšuje stabilita celé plošiny.

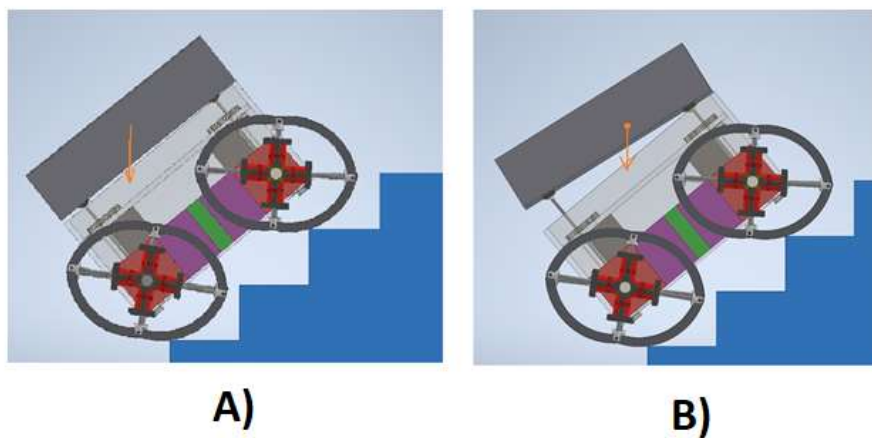


Obr. 29) Navržená plošina

Na obrázcích 30A) a 30 B) je znázorněn pohyb plošiny po schodišti. Oranžová šipka ukazuje směřování těžiště soustavy.

Na obrázku 30 A) nedošlo k pootočení nákladu, takže silová výslednice směřuje za zadní kolo a hrozí převrnutí plošiny.

Na obrázku 30 B) je znázorněn celkový pohyb navržené plošiny, kdy došlo k pootočení přepravované plochy, čímž se zvyšuje míra stability. Výslednice těžiště soustavy, zde směřuje těsně před zadní kolo, takže ještě nehrozí převrnutí plošiny.



Obr. 30 A); B) Naklání plošiny

ZÁVĚR

Navržený koncepční návrh řeší problémy, se kterými se potkávají současné plošiny pro překonání schodů. Mezi tyto problémy patří špatná míra přizpůsobení na parametry schodiště. Navržená plošina je schopna se autonomně pohybovat po schodech, a to i lomených a točivých.

Díky využití šroubového kola je možné dosáhnout vysoké rychlosti po rovině. Také je plošina schopna se adaptovat na parametry schodiště. Navržené kolo je při pohybu po rovině vysoké 50 cm, a při rozevření dosahujeme rozevření o 14 procent na 57 cm, což umožňuje bez potíží překonávat schody až do maximální výšky schodu 25 cm. Rozevření velikosti kola je při změně průměru kola okolo 14,6 % procent. Toto platí i když navrhujeme menší průměr kola v základním tvaru. Například, kdybychom uvažovali o průměru kola 40 cm v základním tvaru, tak dosáhneme rozevření až na 45,6 cm, a toto rozevření by teoreticky stačilo na 20 cm vysoké schody. Naopak při zvýšení průměru na 60 cm, v základním tvaru, dosahujeme maximálního rozevření na 68,4 cm.

Při překonání lomených schodů by mohla nastat situace, kdy by došlo k příliš velkému naklonění plošiny, čímž by mohla nastat situace ztráty rovnováhy. Celkový problém se stabilitou je zde řešen nakloněním přepravovaného nákladu, čímž se posouvá těžiště tak, aby nedošlo ke ztrátě stability. Samotné naklonění nákladu je pak řešeno navrženým naklápěcím mechanismem, který umožňuje naklonění k jedné straně či jen jednomu rohu.

Toto naklonění je umožněno použitím radiálního kloubu, který umožňuje natočení až o 20°. Použitím vhodnějšího radiálního kloubu, který umožňuje ještě větší naklonění, by bylo možné ještě více pootočit s nákladem. U těchto radiálních kloubů je ale přípustné jen menší zatížení.

Toto naklonění je důležité v situaci, kdy levá a pravá strana mají rozdílnou výšku, a hrozí převrnutí na bok. Natočením přepravovaného nákladu dojde k stabilitě, i při větším naklonění plošiny, i na lomených schodech či dokonce při jízdě na schodech nepravidelné výšky. Nepravidelná výška schodu je myšlena v situacích, kdy je různá velikost každého schodu na schodišti, či dokonce schody na stejném stupni mají rozdílnou výšku.

Díky využití vhodných čidel jsme schopni rozpoznat výšku schodu, což nám udá míru toho, jak moc máme změnit tvar kola. Díky údajím o aktuálním otočení vnější a vnitřní hřídele, a o aktuální výšce přední či zadní části, jsme schopni měnit tvar tak, aby byl umožněn plynulý pohyb. Při naklonění plošiny, na jakoukoliv stranu, jsme schopni udržet stabilitu vysouváním dílčích šroubovic, a tím dojde k naklonění.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1.] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2.] *Schodolez Veverka 2000 / ES, EL* [online]. Praha, ALLMEDICA s.r.o. © 2020 [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <http://www.allmedica.eu/koleckove-schodolezy/schodolez-veverka-2000-es-el/>
- [3.] LUO, Ren C, Ming HSIAO a Tsung-wei LIN. *Erect wheel-legged stair climbing robot for indoor service applications*. In: *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* [online]. IEEE, 2013, s. 2731-2736 [cit. 2020-11-2]. ISSN 2153-0858. Dostupné z: doi:10.1109/IROS.2013.6696742
- [4.] Schodolez LIFTKAR PT-S 130. *LIFT4U© 2018 - 2021* [online]. Praha [cit. 2021-4-21]. Dostupné z: <https://www.lift4u.cz/schodolez-liftkar-pt-s-130-p117>
- [5.] Liu, Juanxiu & Yifei, Wu & Guo, Jian & Chen, Qingwei. (2015). High-Order Sliding Mode-Based Synchronous Control of a Novel Stair-Climbing Wheelchair Robot. *Journal of Control Science and Engineering*. 2015. 1-16. 10.1155/2015/680809.
- [6.] Michelle Revels. Researchers create robots that can transform their wheels to legs. Texas A&M University College of Engineering [online] College Station Texas: A&M Engineering Communications, ©2020 [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://today.tamu.edu/2020/10/20/researchers-create-robots-that-can-transform-their-wheels-into-legs/>
- [7.] In: *SCREWO* [online]. SCREWO, © 2020 [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.scewo.ch/en/>
- [8.] In: *Boston Dynamics* [online]. Boston: Boston Dynamics, © 2020 [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.bostondynamics.com/>
- [9.] ILYAS, Muhammad, Shi YUYAO, Manojkumar DEVARASSU a Manivannan KALIMUTHU. Design of sTetro: A Modular, Reconfigurable, and Autonomous Staircase Cleaning Robot. *Journal of sensors* [online]. Hindawi Limited, 2018, 2018 [cit. 2020-11-2]. ISSN 1687-725X. Dostupné z: doi:10.1155/2018/8190802



SEZNAM PŘÍLOH

Přílohou této bakalářské práce je kompletní 3d model s názvem:

2021_BP_REZANINA_DANIEL_209073