



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

NÁVRH MODELU ROBOTICKÉHO HADA

DESIGN OF A ROBOTIC SNAKE MODEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Pollák

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Hůlka

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Jakub Pollák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Hůlka**
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:

Návrh modelu robotického hada

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta bude nejprve analyzovat dynamiku hadího pohybu. Poté navrhne a vhodným způsobem (simulace/konstrukce) vytvoří model n -článekového hada a otestuje ho na vhodné úloze.

Cíle bakalářské práce:

Stručná rešerše problematiky.
Vytvoření adekvátního modelu.
Otestování funkčnosti na vhodné úloze.

Seznam doporučené literatury:

S. Hirose, Biologically Inspired Robots: Serpentine Locomotors and Manipulators. Oxford University Press, 1993.
C. Wright, A. Johnson, A. Peck, Z. McCord, A. Naaktgeboren, P. Gianfortoni, M. Gonzalez-Rivero, R. Hatton, and H. Choset, "Design of a modular snake robot," in Intelligent Robots and Systems, 2007.

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

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Cieľom tejto práce je vytvorenie simulovaného robotického hada a analýza pohybu. Následne jeho otestovanie na jednoduchých úlohách a zhodnotenie výsledkov.

Prvá časť práce je zameraná na zhrnutie poznatkov biologických hadov a využitie robotických hadov v robotike. V druhej časti je opísaný unikátny návrh a konštrukcia robotického hada. Posledná časť bude testovanie limitov a prekonávanie prekážok, z ktorých vyvodíme záver.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to create a simulated robotic snake and its motion analysis followed by its testing on the simple tasks and subsequent evaluation of the obtained results.

The first part of the thesis summarises the knowledge about biological snakes and the usage of robotic snakes in robotics. The second part deals with the description of the unique design and construction of a robotic snake. The last part is concerned with testing of the limits and overcoming obstacles from which the conclusion is drawn.

KLÍČOVÁ SLOVA

V-REP simulace, Algodoo simulace, robotický had

KEYWORDS

V-REP simulation, Algodoo simulation, robotic snake



2021

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLLÁK, Jakub. Návrh modelu robotického hada [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132853>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Tomáš Hůlka.

POĎAKOVANIE

Chcem sa poďakovať vedúcemu práce, pánovi Ing. Tomášovi Hůlkovi za pomoc a ochotu aj v týchto nepriaznivých pandemických podmienkach.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 22. 5. 2021

.....

Jakub Pollák

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA	17
2.1	Biologické hady	17
2.1.1	Laterálna undulácia (Lateral undulation)	17
2.1.2	Side winding	17
2.1.3	Priamočiary pohyb (Rectilinear/caterpillar movement)	18
2.1.4	Harmonikový pohyb (Concertina progression)	18
2.2	Robotické hady	19
2.2.1	Lietajúci had DRAGON	19
2.2.2	Vode-odolný had	20
2.2.3	Had s hnanými kolesami.....	20
3	VLASTNÉ RIEŠENIE	21
3.1	Prvý prototyp	21
3.1.1	Návrh	21
3.1.2	Testovanie.....	23
3.1.3	Záver testovania.....	24
3.2	Druhý prototyp	25
3.2.1	Návrh	25
3.2.2	Vyhotovenie návrhu v programe V-REP CoppeliaSim.....	28
3.2.3	Programovanie.....	29
3.2.4	Tvorba terénu.....	32
4	ZHODNOCENÍ A DISKUZE.....	34
5	ZÁVĚR	37
6	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	39
7	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	41

1 ÚVOD

Jedným z problémov konvenčných kolesových robotov je potreba upravenej plochy po ktorej sa pohybujú. Kvôli tomu je ich použitie v neupravenom teréne obtiažne. Ďalší problém predstavujú úzke a inak neprístupné miesta. V snahe prekonať tento problém sa inšpirujeme prírodou, konkrétne hadmi vďaka svojej pohyblivosti.

Súčasťou tejto práce je postupný vývoj a návrh unikátnej konštrukcie robotického hada. Začiatok práce oboznamuje čitateľa s pohybmi biologických hadov, existujúcimi robotickými hadmi ako aj ich použitím. V ďalších kapitolách sa postupne prejde od prototypu jednoduchého hada pohybujúceho sa v 2D prostredí programu Algodoo, cez druhý prototyp, už v 3D programe V-REP a s reálnymi parametrami, až po tretí prototyp, taktiež v programe V-REP, ale už s unikátnou konštrukciou. Táto konštrukcia je inšpirovaná kardanovým spojmom avšak využíva pohyb biologických hadov. Had je vymodelovaný podľa stavebnice BIOLOID, ktorá je dostupná v dielni VUT. Všetky tieto prototypy budú používať voľne otáčajúce sa kolieska, ktoré pomáhajú pri pohybe. Zároveň všetky spomenuté prototypy je možné ovládať manuálne v reálnom čase. Nadobudnuté poznatky môžu byť použité pri zostavení reálneho modelu.

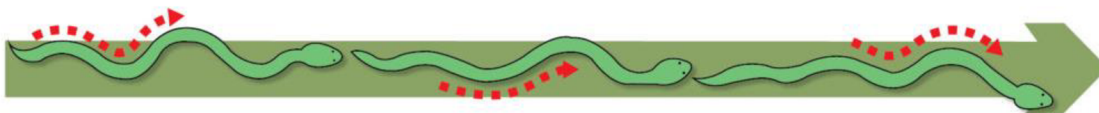
2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

2.1 Biologické hady

Čo sa týka pohybu, na prvý pohľad vyzerajú hady znevýhodnené, kvôli chýbajúcim končatinám ktoré by ich pohybovali. Z hľadiska pohybu považujeme hady za znevýhodnené pre chýbajúce končatiny, ktorými by sa pohybovali. Aj napriek tomu sú schopné rýchleho, efektívneho pohybu po zemi, vode i pod vodou. Dokonca niektoré sú schopné plachtiť vo vzduchu. Nasledujúce podkapitoly priblížia najtypickejšie pohyby

2.1.1 Laterálna undulácia (Lateral undulation)

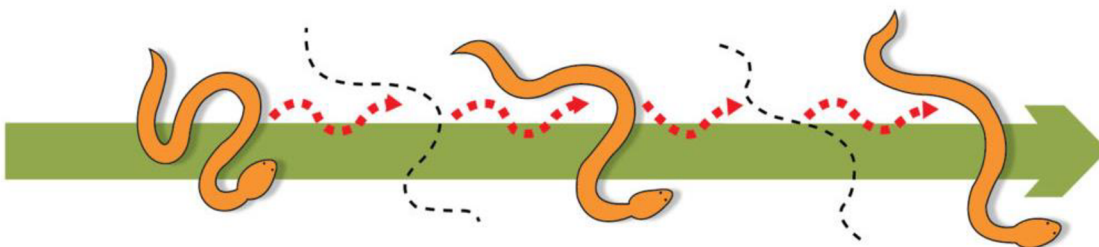
Najtypickejší a najznámejší typ pohybu hadov, pri ktorých telo vykresľuje typické krivky tvaru S, nazvaného serpenoida. Vlnenie sa šíri od hlavy až po chvost. Každá časť sa pohybuje po rovnakej trajektórii ako hlava, podobne ako vagóny nasledujú lokomotívu na koľajniciach. Je vhodný najmä pre členitý a náročný terén, ako aj pre plávanie a pohyb cez sypké materiály.



Obr. 1: Laterálna undulácia [1]

2.1.2 Side winding

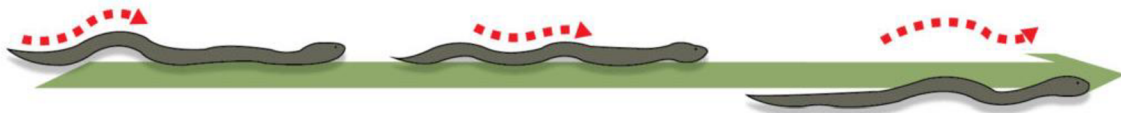
Voľne preložené ako bočné vlnenie, je zložený z pohybu opísaného vyššie, a vertikálnemu dvíhaniu tela, vďaka čomu sa had posúva diagonálne. Je to efektívny pohyb pre hladký a klzký povrch, ako aj pre pohyb v horúcom piesku, pretože kontaktná plocha je minimálna, tým pádom dochádza k minimálnemu prenosu tepla. [1]



Obr. 2: Bočné vlnenie [1]

2.1.3 Priamočiary pohyb (Rectilinear/caterpillar movement)

Pomalý pohyb pri ktorom had používa kožu na bruchu a poháňa sa vpred, vlna vytvorená sťahovaním svalov je podobná chôdzi mnohonožiek, postupuje dozadu vpred. Tento typ pohybu bol objavený a podrobne vysvetlený len pred pár rokmi. Nemá rozsiahle využitie v robotike, pretože je potrebná elastická koža so šupinami a aj napriek tomu je pohyb veľmi pomalý. Pohyb používajú hlavne väčšie hady vrátane množstva Austrálskych pytónov. Používajú ho však zriedkavo, ak sa necítia ohrozené a nepotrebujú sa rýchlo presunúť. Na tento typ pohybu had používa dva protíľahlé svaly pre každé rebro, ktoré je spojené s kožou pod ním. Najskôr sa časť kože nadvihne, presunie vpred, položí opäť na zem a posunie dozadu, vytvárajúc efekt krokov, zatiaľ čo had sa plynule posúva vpred.



Obr. 3: Priamočiary pohyb [1]

2.1.4 Harmonikový pohyb (Concertina progression)

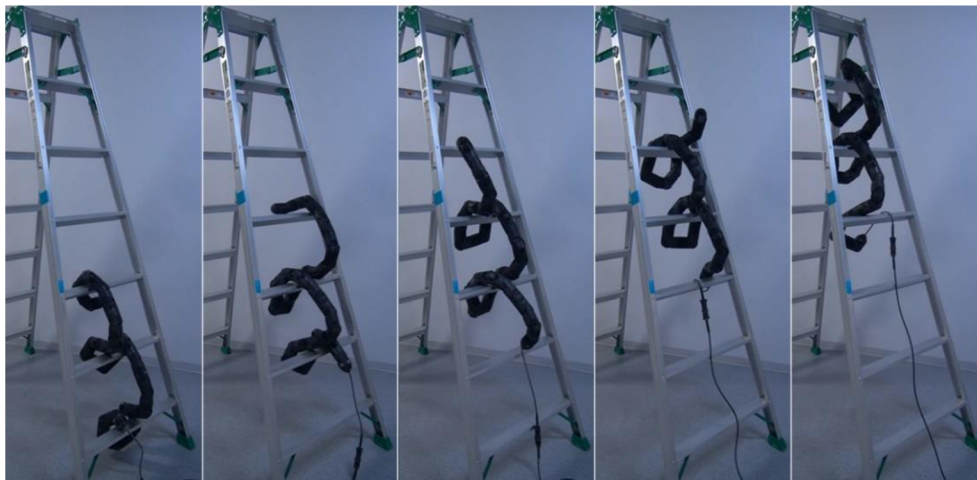
Pohyb zahŕňa zachytenie hlavy a pritiahnutie zvyšku tela, následné uchytenie tela a natiahnutia hlavy. Pohyb známy hlavne pre dážďovky. Aj napriek tomu že je veľmi pomalý, je to jediný pohyb ktorý môžu hady použiť vo veľmi stiesnených priestoroch. [1]



Obr. 4: Harmonikový pohyb [1]

2.2 Robotické hady

Schopnosť zdolávania náročných prekážok ako aj ukážku obratnosti dokázal robot predstavený na výstave „International Conference on Intelligent Robots and Systems“ v Španielsku.

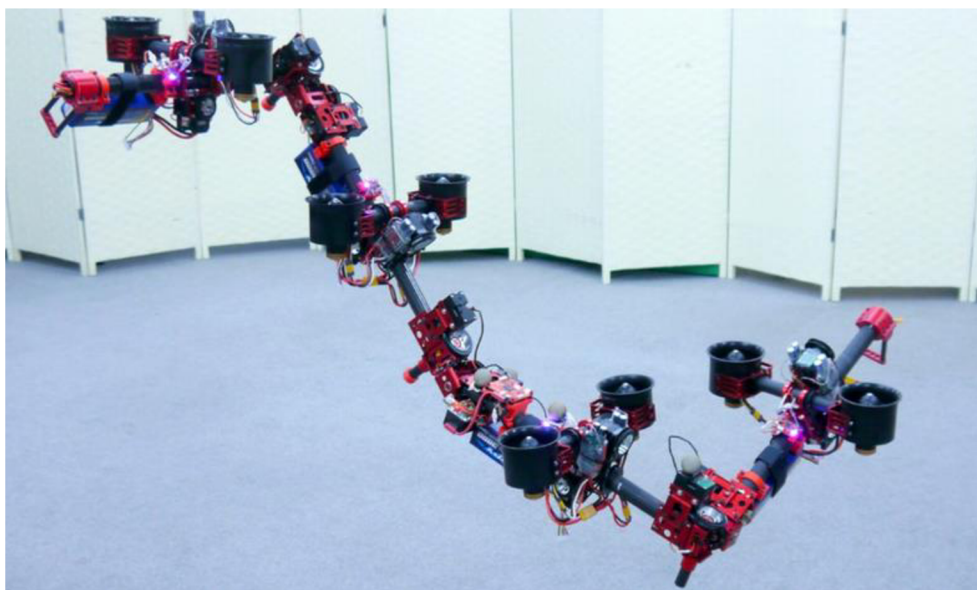


Obr. 5: Postup šplhania [2]

Robotické hady sa snažia napodobniť pohyb biologických hadov, prípadne ich kombinujú s inou formou pohonu, pre ešte širšie možnosti ako prekonať prekážky.

2.2.1 Lietajúci had DRAGON

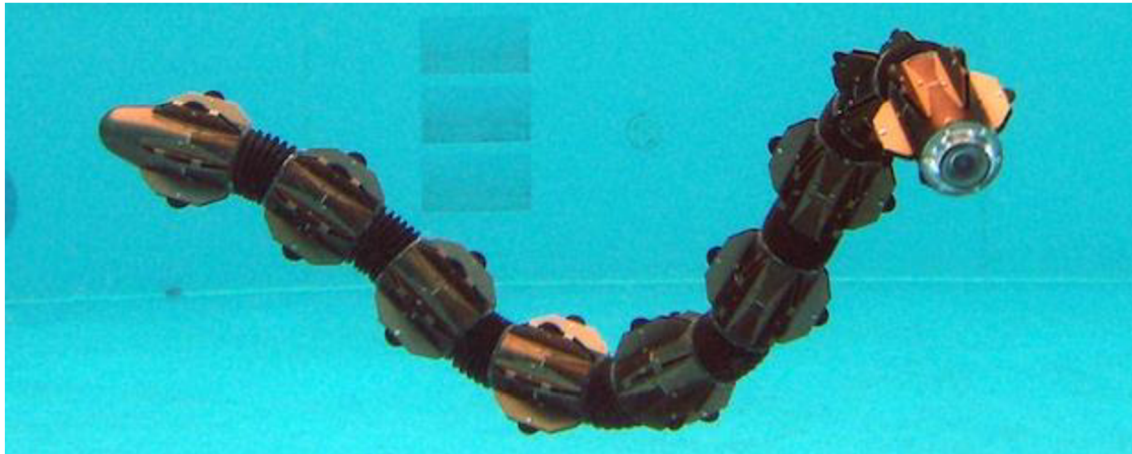
Každý článok má pár motorov s vrtuľami, čo mu umožňuje presun vo vzduchu. Avšak let je energeticky náročný a batéria vydrží len tri minúty.



Obr. 6: DRAGON [3]

2.2.2 Vode-odolný had

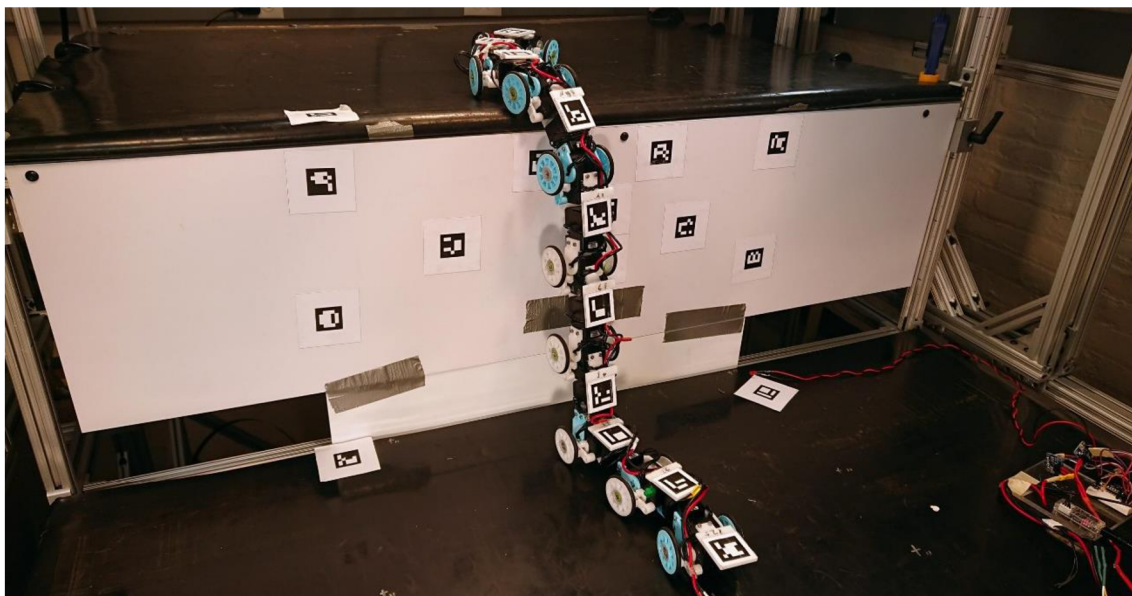
Dialkovo ovládaný vode odolný had, schopný ponárať sa pod vodu za účelom prieskumu. Modulárna konštrukcia umožňuje pridať ďalšie špecializované články, ktoré obsahujú rôzne senzory. Každý článok má 6 krídelok, na konci ktorého je voľne otáčajúce sa koliesko. Vďaka tomuto dizajnu je had schopný pohybu vo vode aj po súši.



Obr. 7: HiBot ACM-R5H [4]

2.2.3 Had s hnanými kolesami

Tento had používa hnané kolesá pre rýchlo a energeticky efektívny presun po nenáročnom teréne. Jeho článkovitá konštrukcia mu umožňuje prechod aj ťažkým terénom, alebo výstup po schodoch, ako je možno vidieť na obrázku nižšie.



Obr. 8: Ukážka mobility [5]

3 VLASTNÉ RIEŠENIE

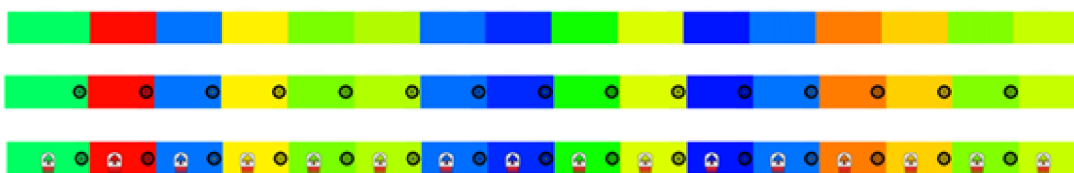
Cieľom práce je vyrobiť simuláciu hada, ktorý ku svojmu pohybu používa servá AX-12A zo sady Bioloid. Vďaka tomu má simulácia reálne vstupné parametre. Je možné použiť aj voľne otáčajúce sa kolieska vlastného návrhu, ktoré uľahčujú pohyb.

Proces návrhu bol iteračný, celkovo vznikli dva prototypy, pričom novší model sa opieral o poznatky predchádzajúcej verzie.

3.1 Prvý prototyp

3.1.1 Návrh

Prvým krokom výroby robotického hada bolo pochopenie pohybu a nájsť vhodný matematický model opisujúci želaný pohyb. Prototyp č.1 bol jednoduchý, vytvorený v programe Algodo. Algodo je 2.5D software od spoločnosti *Algoryx Simulation AB*, pre simuláciu viacerých telies (multi-body simulation). [6] Konštrukcia tohto prototypu bola jednoduchá, nemala reálne parametre, slúžila len pre otestovanie modelu vlnenia.



Obr. 9: Postup zostavenia

Prototyp č.1 pozostával zo 16-tich článkov, spojených otočnými spojmi. Každý článok mal v ťažisku pridanú externú silu, ktorá napodobňovala interakciu s povrchom, podobným spôsobom ako voľne rotujúce koliesko. Všetky spoje používali identický kód, jediný rozdiel bol v ID, unikátne číslo, poradie začínajúce od hlavy. Obrázok vyššie ukazuje postup výroby a pridávania objektov.

Hlavnou funkciou bolo prvotné experimentovanie s matematickou funkciou napodobujúcou vlnenie zvané „Lateral undulation“. Pomocou metódy pokus/omyl a základných vedomostí o vlnení sa veľmi rýchlo podarilo nájsť potrebnú funkciu (1).

$$\alpha = _turning + _a \cdot \sin(_speed \cdot time + _ID \cdot _phase) \quad (1)$$

Všetky premenné sa začínajú podtržítokom “_“. Týmto premenám boli pridelené názvy, v zátvorke je názov premennej:

1. Amplitúda (*_a*)
2. Rýchlosť (*_speed*)
3. Fázový posun (*_phase*)
4. Zatačanie (*_turning*)
5. Poradové číslo článku (*_ID*)
6. Maximálny rozsah natočenia (*_range*)

Druhým krokom je zistiť ich vplyv na pohyb a priradenie povoleného rozsahu ktorý mohli nadobúdať, ako aj limit maximálneho natočenia článkov.

```
Target = {
  clamp((_turning / 10.0) + (_a * math.sin(_speed *
scene.my.time + _ID * (scene.my.Y > 0 ? _phase : ( -
_phase)))) / 3), -_range, _range)
}
```

Obr. 10: Funkcia natočenia serva

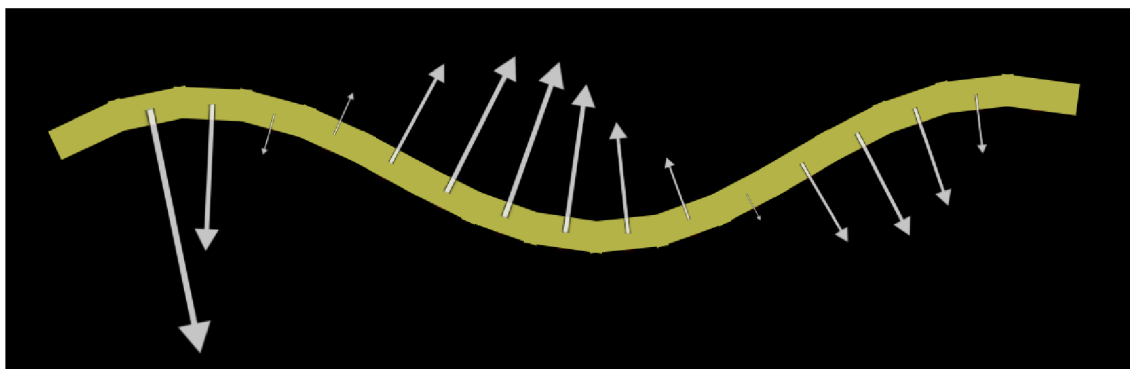
Tretím krokom je vyrobiť spôsob ovládania týchto hodnôt. Hada bolo možné ovládať šípkami klávesnice a klávesmi WASD alebo 4-osým vlastnoručne vyrobeným ovládačom pre vyššiu presnosť.



Obr.11: 4-osý ovládač s Arduino rozhraním pre komunikáciu s PC [7]

3.1.2 Testovanie

Vizualizácia externých síl pomohla pri lepšom pochopení pohybu a následnom vylepšovaní zmenou parametrov.



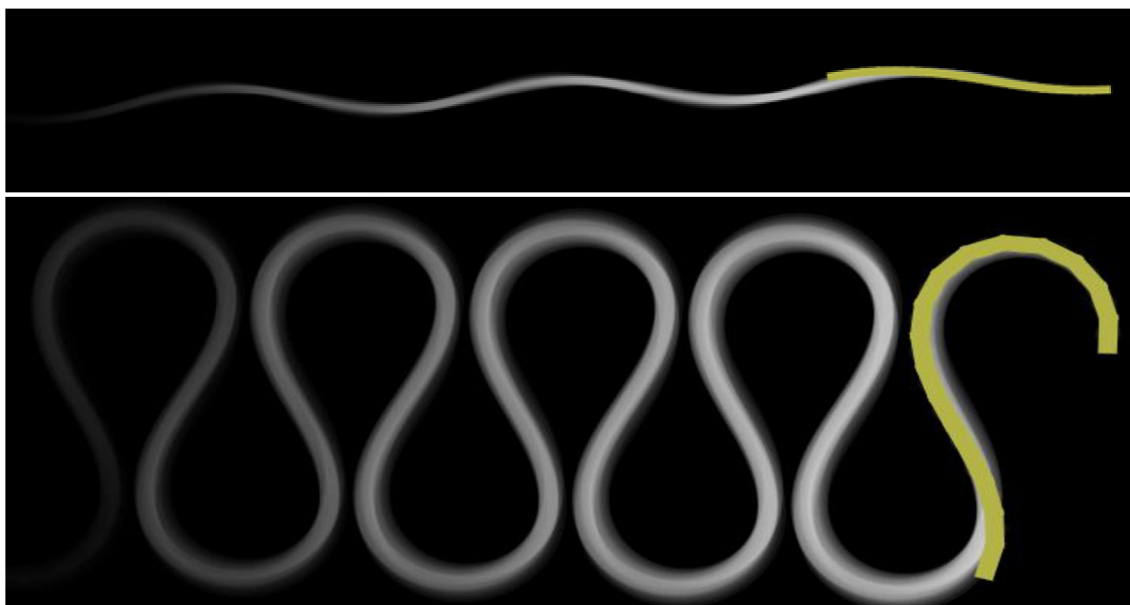
Obr. 12: Vizualizácia síl

Funkčnosť bola otestovaná dvoma spôsobmi:

1. Maximálna dosiahnutá rýchlosť
2. Maximálna ťažná sila

1. Rýchlosť

Najvyššiu rýchlosť had dosiahol had pri nízkych hodnotách amplitúdy a posuvu. Naopak, vysoké hodnoty amplitúdy a posuvu mali za výsledok veľmi pomalý a neefektívny spôsob pohybu

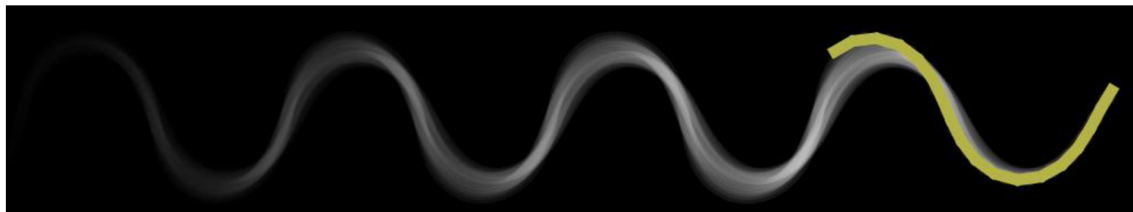


Obr.13: Výsledný pohyb, hore nízka, dole maximálna amplitúda vlnenia

2. Ťažná síla

Pri experimente bol posledný článok pripevnený pružinou ku stene a veľkosť ťažnej sily bola odčítaná podľa výchylky, avšak pri meraní je príliš veľa neznámych, hlavne čo sa týka simulácie interakcie s povrchom a preto nie je možné namerané hodnoty vyčíslit', je ich len možné porovnať ako bezrozmerné veličiny.

Najväčšiu ťažnú silu sme dostali pri veľkých hodnotách amplitúdy, pretože vtedy mal had najviac tela pod veľkým uhlom voči smeru pohybu, vďaka čomu sa mohol lepšie zaprieť o povrch.



Obr. 14: Výsledný pohyb pre maximálnu ťažnú silu

3.1.3 Záver testovania

Výsledky testovania boli použité pri vytváraní prototypu č.2, ktorý je detailne opísaný v nasledujúcej kapitole. Pri experimentovaní boli nájdené prakticky nepoužiteľné kombinácie parametrov vytvárajúce zaujímavé stopy. Ich vykonanie však vyžadovalo vypnutie vzájomnej kolízie článkov, čo nie je pri fyzickom modeli možné.

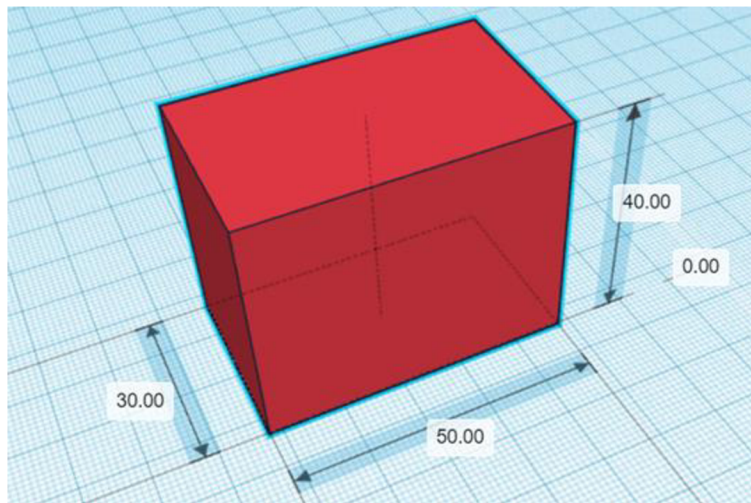


Obr.15: Fyzicky nemožný pohyb

3.2 Druhý prototyp

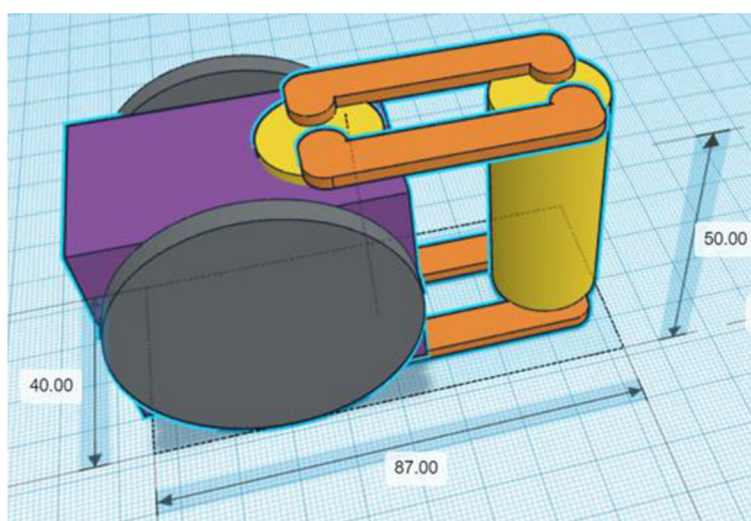
3.2.1 Návrh

Základ tela tvorí servo AX-12A, z robotickéj sady BILOID. Pre zjednodušenie je model serva nahradený kvádom, ktorého parametre ako rozmery a váha boli vložené do simulácie.



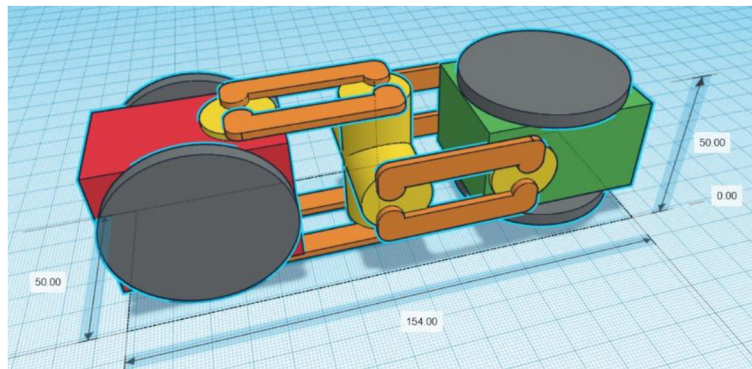
Obr. 16: Rozmery serva AX-12A [8], vizualizácia v TinkerCAD [9]

Umiestnenie a veľkosť pomocných koliesok boli určené tak, aby sa kolieska chránili servá proti odieraniu, poškodeniu, pádmi a nárazmi pri prekonávaní prekážok. Zároveň nie je potrebná dodatočná schránka, ktorá by zvyšovala hmotnosť a tým negatívne obmedzovala pohyblivosť.



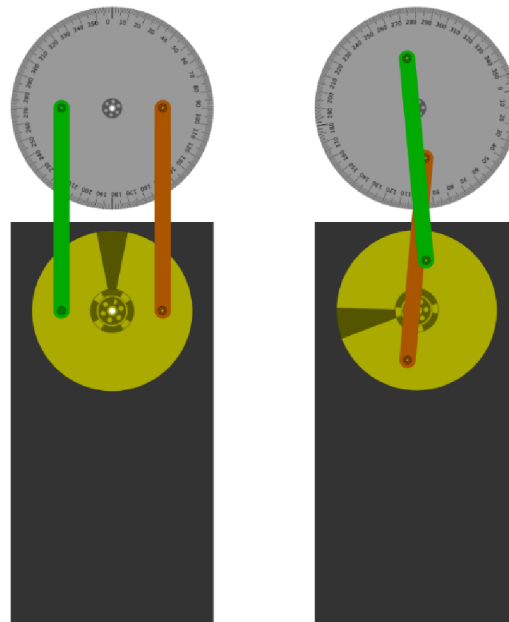
Obr. 17: Rozmery pol-článku s kolieskami

Spoj, inšpirovaný kardanovým kĺbom, poskytuje jedinečné možnosti pohybu, avšak zhotovenie tohto typu spoja vyžadovalo vyriešenie problémov.



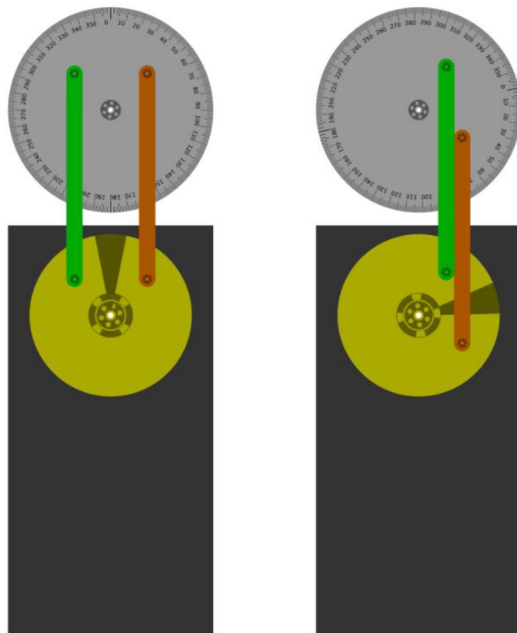
Obr. 18: Rozmery článkov s kardanovým kĺbom

Krútiaci moment serva bolo nutné dostať do stredu kardanového spoja. Pôvodným riešením boli dve rovné paralelné ťahadlá, uložené s odsadením o 180° . Pri plnom vychýlení o 90° dochádzalo k zablokovaniu a dokonca skríženiu ťahadiel. Ako servo-motor dosahoval maximálnej výchylky, ťahadlá nedokázali prenášať sily a dostali sa obe do „mŕtveho bodu“. Mŕtvym bodom sa označuje pozícia pri ktorej ťažná/tlačná sila nevytvára krútiaci moment, typické obmedzenie kľukových mechanizmov, ktoré postihovalo aj parné stroje.



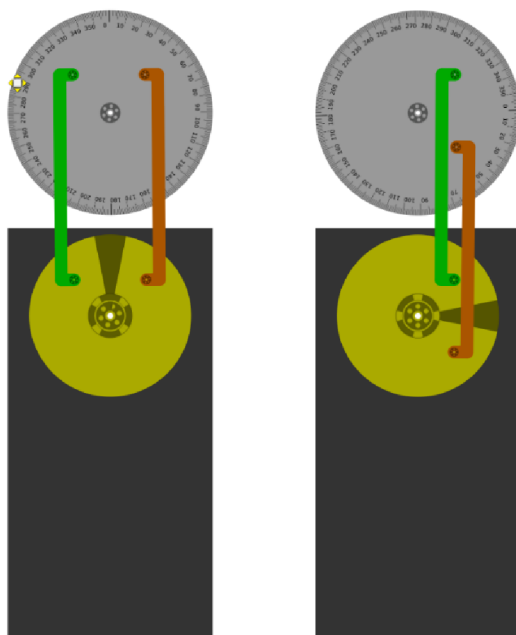
Obr. 19: Ťahadlá 1

Podobne ako aj u parných strojov, tento problém sa dal vyriešiť uložením s odsadením ťahadiel o 90° . Táto zmena zamedzuje aby sa obe ťahadlá zároveň dostali do mŕtveho bodu. Posledným problémom je už len kolízia ťahadiel pri plnom vytočení.



Obr. 20: Ťahadlá 2

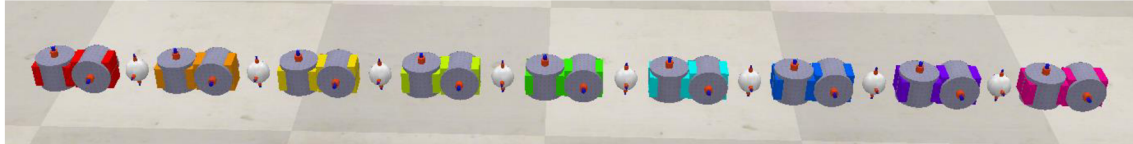
Jednoduchou zmenou dizajnu ťahadiel sa podarilo aj tento problém vyriešiť bez väčšieho zásahu. Tento dizajn a uloženie ťahadiel spĺňa všetky potrebné požiadavky.



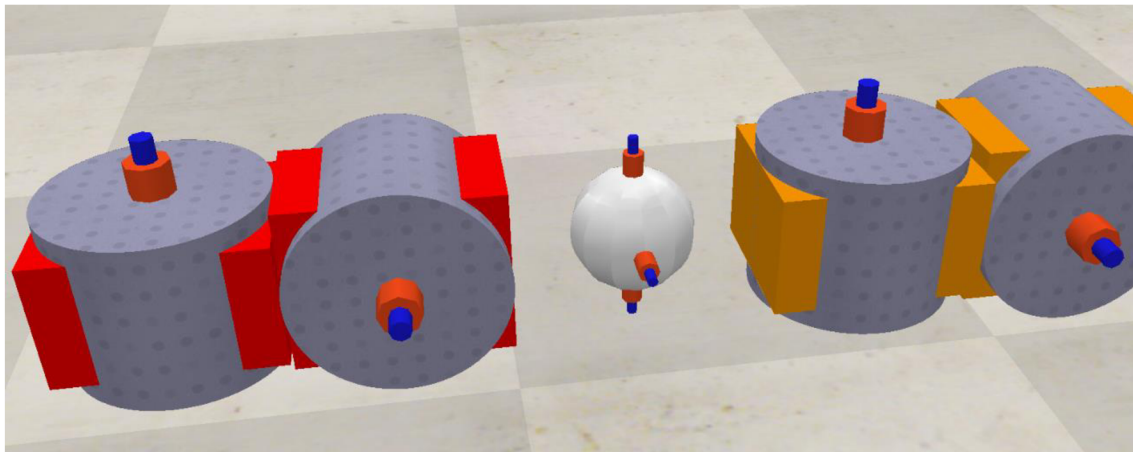
Obr. 21: Ťahadlá 3

3.2.2 Vyhotovenie návrhu v programe V-REP CoppeliaSim [10]

Prototyp č.2 pozostával zo 8-mych článkov, spojených otočnými spojmi. Skrz každý článok sú voľne otočným spojom pripojené kolieska ktoré uľahčujú dopredný pohyb. Kolieska boli nahradené valcom, ktorý mal zakázané kolízie so zvyškom tela. Toto zjednodušenie má malý vplyv z hľadiska funkčnosti, no efektívne znižuje výpočtovú náročnosť simulácie. Kvôli znižovaniu výpočtovej náročnosti nemal dynamický model ani kardanový kríž s ťahadlami.



Obr. 22: Dynamický model



Obr. 23: Detail na zjednodušený kĺb

3.2.3 Programovanie

Program V-REP podporuje skripty v jazyku LUA a xml. [11][12] Nasledujúca podkapitola bližšie popisuje časti kódu:

- Inicializácia: Deklarácia premenných a GUI
- Funkcie pre ovládanie servo-motorov
- Funkcie pre generovanie pohybu
- Cyklicky vykonávaný kód

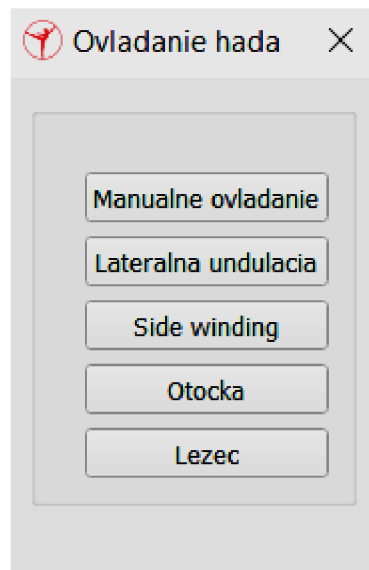
Inicializácia:

Funkcia „sysCall_init()“ sa vykoná jeden-krát na začiatku simulácie. [13] Deklaruje premenné a nastaví ich na nulové hodnoty. Deklarácia obsahuje aj jednu konštantu menom „clanky“ ktorej hodnota určuje dĺžku vygenerovaného poľa (array) A a poľa B. Pole A je použité pre horizontálne, B pre vertikálne servo-motory. Had je riadený cez stavový automat, preto je potrebná aj deklarácia premennej s názvom „Stav“.

```
1 function sysCall_init()
2     sim.addStatusbarMessage() --clear status bar
3
4     -- deklaracia premennych, a ze ich je dost
5     tA=0
6     tB=0
7     tocA=0
8     ampA=0
9     rychA=0
10    opozA=0
11    tocB=0
12    ampB=0
13    rychB=0
14    opozB=0
15    clanky=8 -- pocet clankov-1
16
17    -- vyroba array,pre hodnoty klbov od hlavy po posledny clanok
18
19    A = {} --pre serva A
20    B = {} -- pre serva B
21    for i=1, clanky do
22        A[i] = 0
23        B[i] = 0
24    end
25
26    --stavy
27    Stav="reset"
```

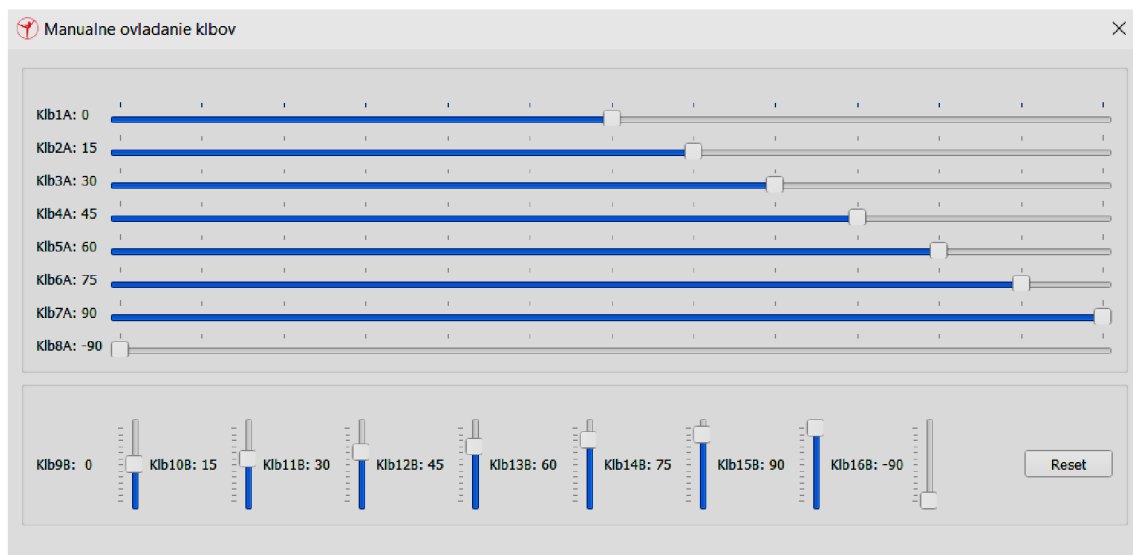
Obr. 24: Deklarácia

GUI: Pre možnosť jednoduchého, užívateľský prívetivého ovládania, bolo vytvorené GUI s tlačidlami možných pohybov. [14]



Obr. 25: Hlavné menu

Po stlačení tlačidla sa otvorí príslušné okno s posúvačmi pre možnosť zmeny predvolených parametrov. V prípade manuálneho ovládania posúvač priamo nastavuje uhol serva. Tento mód je hlavne pre debugovanie a kontrolu funkčnosti jednotlivých servo-motorov.



Obr. 26: GUI manuálneho ovládania

Funkcie pre ovládanie servo-motorov:

Funkciu tvorí cyklus „for“ ktorý pošle každému servu signál natočenia podľa pol'a A pre servá horizontálne servá a pol'a B pre vertikálne servá.

```

230 function ServaA(a) --nastav serva A
231     for i=1,clanky do
232         KlbyA=sim.getObjectHandle(string.format("Klb%iA",i))
233         sim.setJointTargetPosition(KlbyA,a[i]) -- v radianoch
234     end
235 end
236
237 function ServaB(a) --nastav serva B
238     for i=1,clanky do
239         KlbyB=sim.getObjectHandle(string.format("Klb%iB",i))
240         sim.setJointTargetPosition(KlbyB,a[i]) -- v radianoch
241     end
242 end

```

Obr. 27: Kód

Funkcie pre generovanie pohybu:

Funkcia „sysCall_actuation()“ sa vykonáva cyklicky počas simulácie. Obsahuje funkcie pre vygenerovanie polí, podľa ktorých sa natáčajú jednotlivé servá. Základom je funkcia ktorú sme otestovali na protype č.1

```

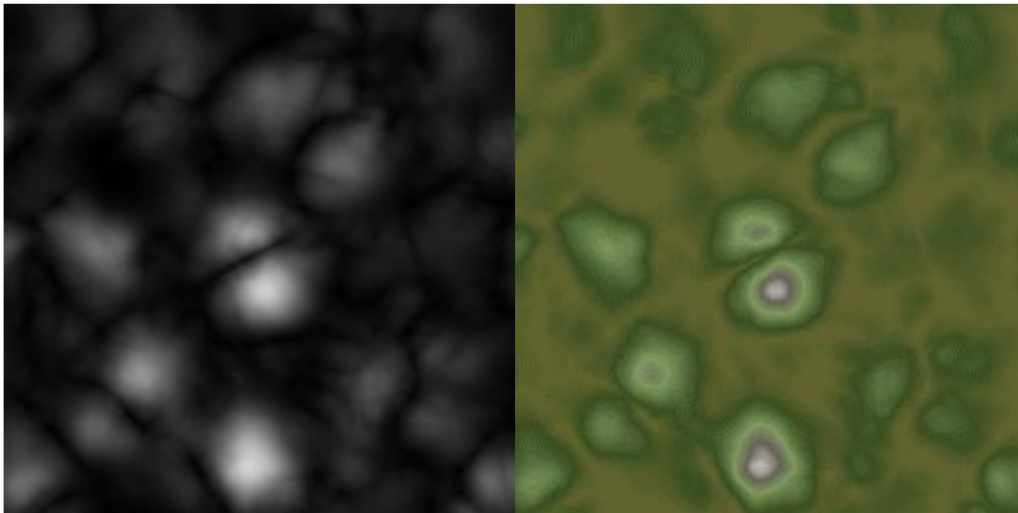
333 function sysCall_actuation()
334     if stav=='reset' then
340         if stav=='manual' then
341             ServaA(A)
342             ServaB(B)
343         end
344
345         if stav=='lat_und' then
346             for i=1, clanky do
347                 A[i] = (0.05*tocA)+(0.1*ampA)*(math.sin(tA-0.1*i*opozA))
348                 tA=tA+(0.01*rychA)
349             end
350             ServaA(A)
351         end
352
353         if stav=='side wind' then
364         if stav=='otocka' then
370         if stav=='lezec' then
375     end

```

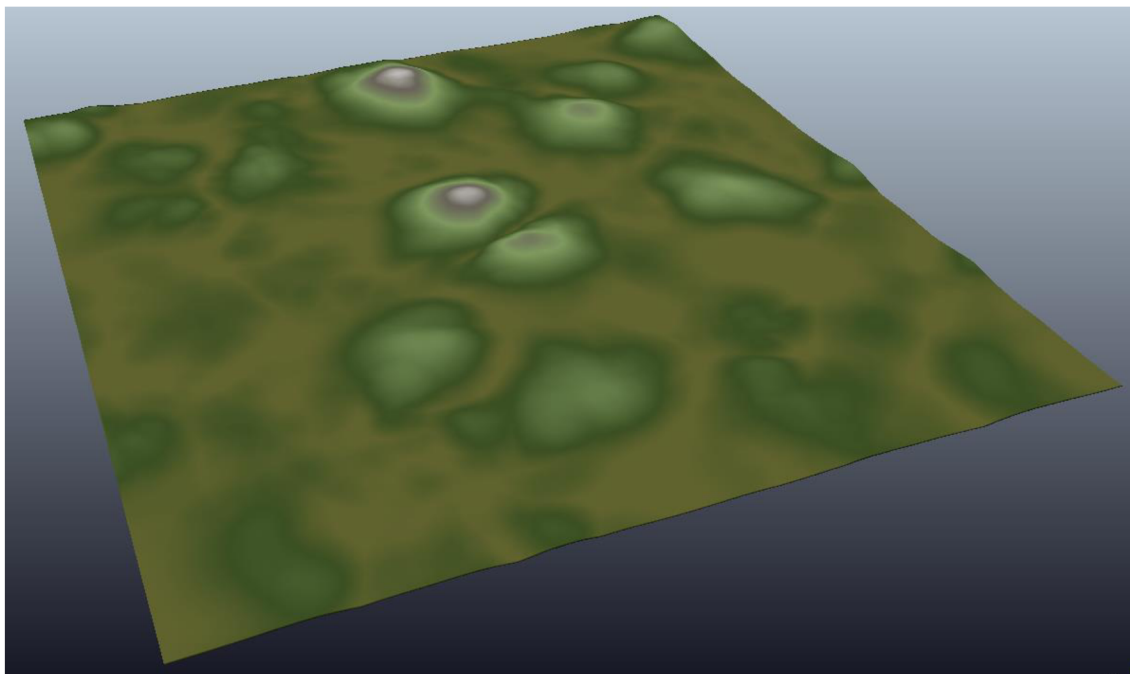
Obr. 28: Ukážka kódu

3.2.4 Tvorba terénu

Prototyp č.2 vyžadoval zložitejšie testovanie, pretože sa nachádzal v 3D priestore. Terén je vytvorený pomocou výškovkej mapy, importovanej ako čierno-biely obrázok. Na povrch bola potom použitá farebná textúra rovnakého obrázku pre zviditeľnenie členitosti terénu. Pre vygenerovanie terénu bol použitý online nástroj pre generáciu šumu. [15]



Obr. 29: Obrázok pre výškovú mapu, pôvodná textúra



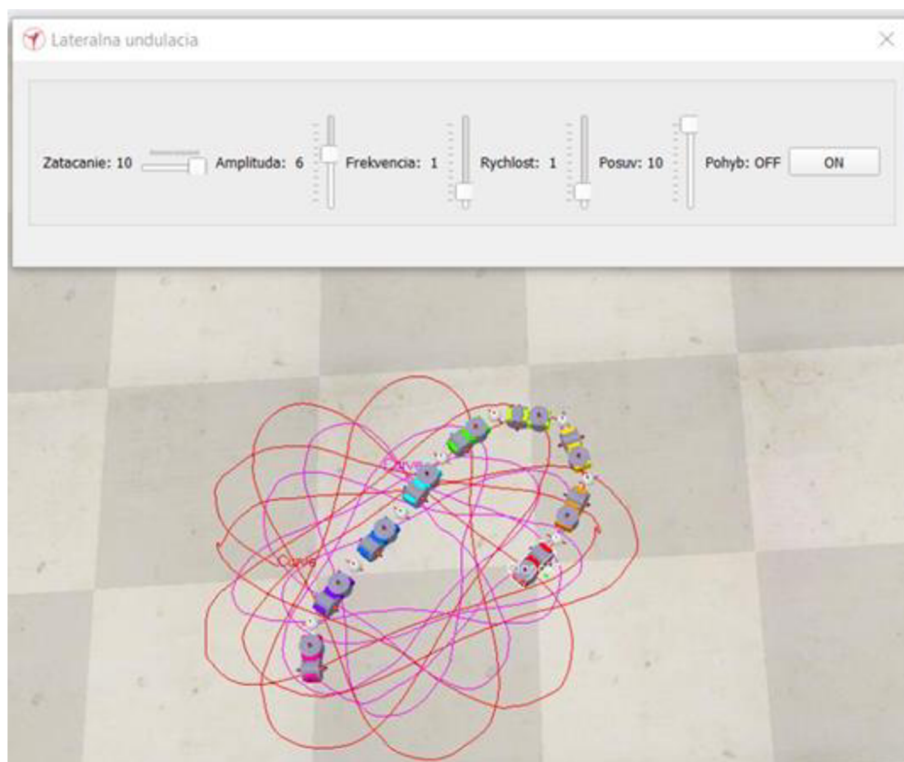
Obr. 30: Importovaný terén



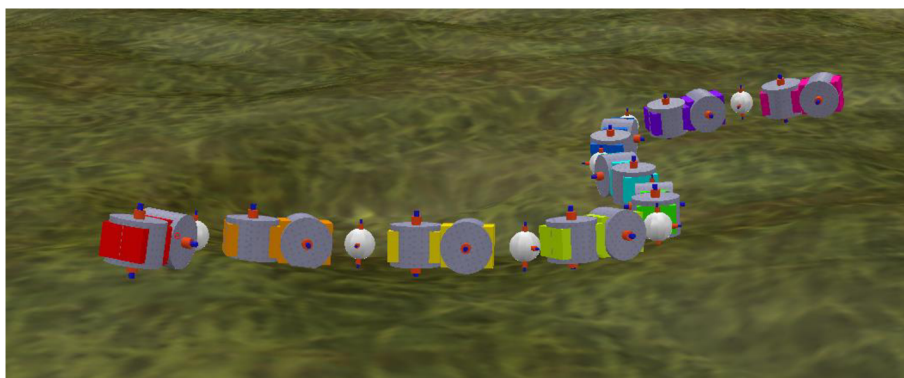
Obr. 31: Finálna verzia terénu s textúrou trávy a osvetlením

4 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Vo výsledku splňuje práca požiadavky zadania. Funkčnosť bola otestovaná na náhodne vygenerovanom teréne. Prototyp č.2, prezývaný NimRod*, je schopný napodobovania pohybov biologických hadov. [16][17] GUI umožňuje jednoduché ovládanie, rýchle prepínanie medzi typmi pohybov a nastavenie dodatočných parametrov pohybu v reálnom čase. Nastaviteľné parametre majú limity, vďaka ktorým sa články hada nezrazia ani pri nezmyselných vstupoch, napríklad od neskúseného používateľa.



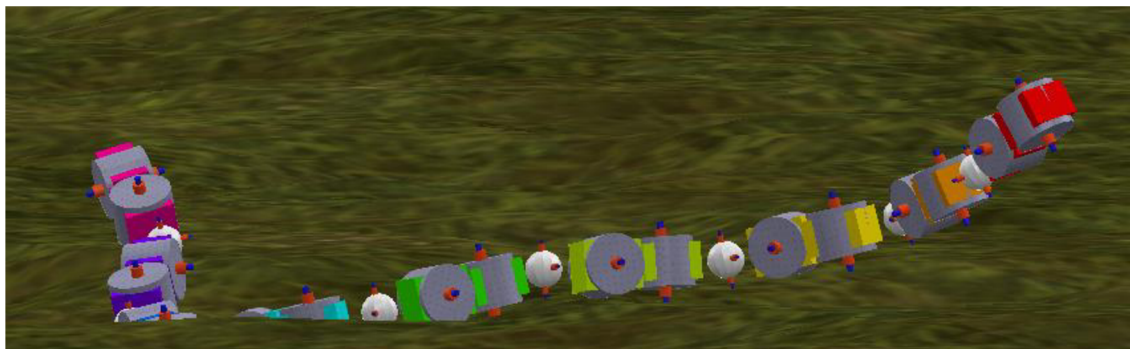
Obr. 32: Testovanie pohybu laterálna undulácia na rovine



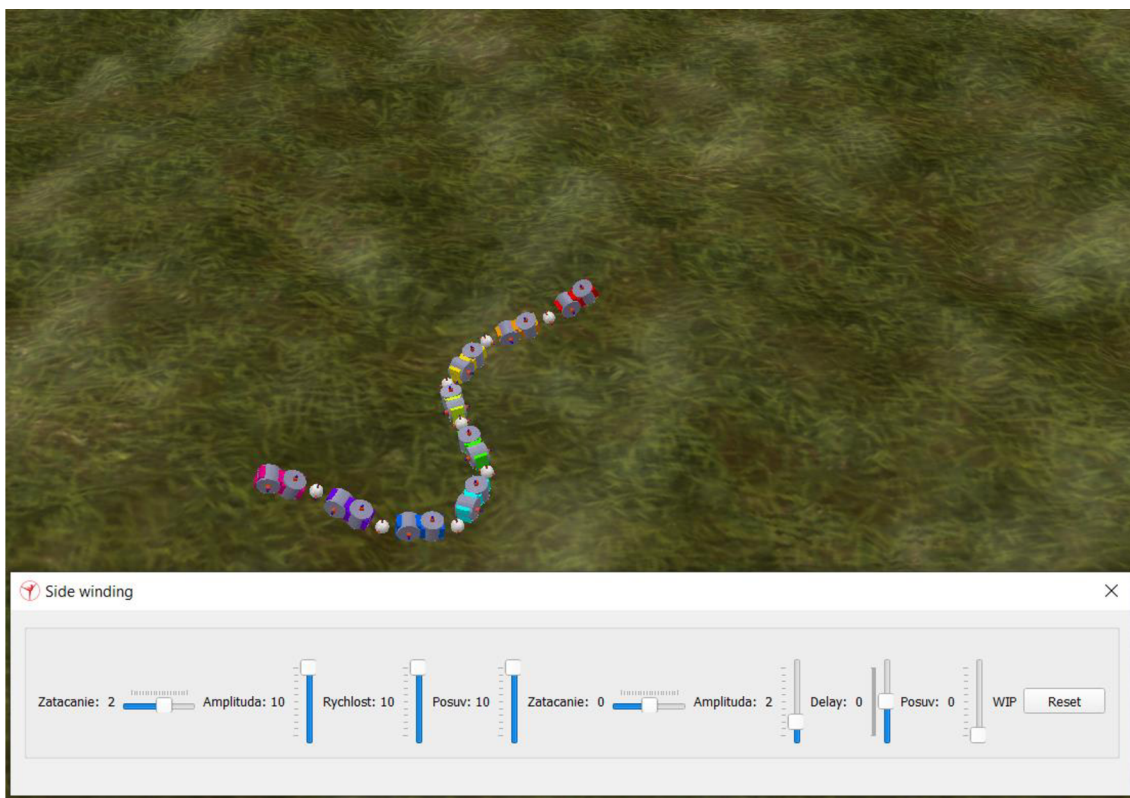
Obr. 33: Testovanie pohybu laterálna undulácia v teréne

Neexistuje univerzálne nastavenie ktoré bude fungovať a vyhovovať pri všetkých podmienkach a v každom teréne. Možnosť ich nastavenia umožňuje lepšiu špecializáciu pre daný terén, čím sa zvýši a urýchli priechodnosť.

Pohyb **laterálna undulácia** je výhodný pre rýchly presun po nenáročnom a plochom teréne, malé nerovnosti mu nerobia problém. Pre náročnejší terén je lepšie použiť pohyb typu **side winding**, ktorý je schopný prejsť aj väčšie nerovnosti, avšak za cenu vyššej spotreby energie, pretože do pohybu sa zapájajú všetky horizontálne aj vertikálne servá.



Obr. 34: Testovanie pohybu side winding



Obr. 35: GUI pohybu side winding

*Pozn. NimRod – skrátene „Nimble Rod“, v preklade „svižná/hbitá tyč“.

Nastavitelné parametry a typy pohybů nie sú jediným limitom. Serva sú vymodelované podľa reálnych servo-motorov AX-12A. Krútiaci moment, maximálna uhlová rýchlosť, váha a rozmery boli vstupnými hodnotami pri návrhu robota. Vďaka týmto vstupným údajom by malo byť možné vyrobiť funkčný fyzický model (projekt magisterského štúdia).

5 ZÁVĚR

Z výsledkov simulácie sme zistili, že určité pohyby sú pre niektoré situácie nepoužiteľné. Avšak najzložitejší typ pohybu, „side winding“, obmedzuje celkovú účinnosť a je energeticky najnáročnejší. Hlavne v nenáročnom teréne, kde by jednoduchší typ pohybu dosahoval vyššej rýchlosti. Na pevnom podklade je najlepším typom pohybu „lateral undulation“, ktorý vyžaduje napájanie len polovice servo-motorov. Je veľmi závislý na dobrom trení koliesok s podkladom, no pri optimálnych podmienkach je možný veľmi rýchly pohyb aj pri malých amplitúdach výchylky.

Vďaka reálnym vstupom, a parametrom servo-motorov, by mohla táto práca poslúžiť pri konštrukcii reálneho modelu. Kardanové kĺby je možné vyrobiť aj na 3D tlačiarňi, vďaka jednoduchému dizajnu.

Riadiaci kód je jednoduchý a nepoužíva žiadne externé knižnice ani atypické funkcie, vďaka čomu je možná úprava pre iný programovací jazyk. Najväčším problémom reálneho modelu je maximálny krútiaci moment servo-motorov. Limitujúcim faktorom je napájanie, keďže väčší počet servo motorov vyžaduje výkonný a tvrdý zdroj elektrického prúdu. Tento problém by sa mohol vyriešiť ťahaním napájacieho kábla za sebou, čo však znižuje jeho priechodnosť terénom. Simulácie ukázali že pri správnych parametroch je had schopný ťahať aj pridanú záťaž.

6 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] SCOOT, Dutfiel. All About Snakes – How It Works. How It Works – the ultimate science and technology magazine [online], 2021 [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://www.howitworksdaily.com/all-about-snakes/>
- [2] ACKERMAN, Evan, GUIZZO, Erico. Ladder-Climbing Snake Robot, and More. Full Page Reload [online]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/video-friday-ladder-climbing-snake-robot>
- [3] BOOM, Daniel. A flying snake robot code-named DRAGON. What could go wrong? Product reviews, how-tos, deals and the latest tech news - CNET [online], 2021 [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/news/flying-snake-robot-code-named-dragon-what-could-go-wrong/>
- [4] GUIZZO, Erico HiBot Demos New Amphibious Snake Robot. Full Page Reload [online], Dostupné z: https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/hibot-demos-new-amphibious-snake-robot?utm_source=robots.ieee.org
- [5] Slithering Snakes on a 2D Plane – Search and Rescue Robots Inspired by Snakes. SciTechDaily | Science, Space and Technology News 2021 [online], 2021 [cit. 07.05.2021]. Dostupné z: <https://scitechdaily.com/slithering-snakes-on-a-2d-plane-search-and-rescue-robots-inspired-by-snakes-video/>
- [6] Algodoo. Dostupné z: <http://www.algodoo.com/what-is-it/>
- [7] Arduino. Dostupné z: <https://www.arduino.cc>
- [8] Dokumentácia AX-12A. Dostupné z: <https://emanual.robotis.com/docs/en/dxl/ax/ax-12a/>
- [9] TinkerCAD. Dostupné z: <https://www.tinkercad.com>
- [10] V-REP Coppelias SIM. Dostupné z: <https://www.coppeliarobotics.com/>
- [11] LUA. Dostupné z: <http://lua-users.org/wiki/LuaDirectory>
- [12] XML. Dostupné z: <https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/customUIPlugin.htm>
- [13] V-REP Manual. Dostupné z: <https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/index.html>
- [14] GUI: <https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/customUIPlugin.htm>
- [15] Generátor terénu. Dostupné z: <https://cpetry.github.io/TextureGenerator-Online/>
- [16] HIROSE, S., Biologically Inspired Robots: Serpentine Locomotors and Manipulators. Oxford University Press, 1993.
- [17] WRIGHT, C., JOHNSON, A., PECK, A., McCORD, Z., NAAKTGEBORN, A., GIANFORTONI, P., GONZALEZ-RIVERO, M., HATTON, R., and CHOSET, H., "Design of a modular snake robot," in Intelligent Robots and Systems, 2007.

7 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

- Obr. 1: Laterálna undulácia
- Obr. 2: Bočné vlnenie
- Obr. 3: Priamočiary pohyb
- Obr. 4: Harmonikový pohyb
- Obr. 5: Postup šplhania
- Obr. 6: DRAGON
- Obr. 7: HiBot ACM-R5H
- Obr. 8: Ukážka mobility
- Obr. 9: Postup zostavenia
- Obr. 10: Funkcia natočenia serva
- Obr. 11: 4-osý ovládač s Arduino rozhraním pre komunikáciu s PC
- Obr. 12: Vizualizácia síl
- Obr. 13: Výsledný pohyb, hore nízka, dole maximálna amplitúda vlnenia
- Obr. 14: Výsledný pohyb pre maximálnu ťažnú silu
- Obr. 15: Fyzicky nemožný pohyb
- Obr. 16: Rozmery serva AX-12A
- Obr. 17: Rozmery pol-článku s kolieskami
- Obr. 18: Rozmery článkov s kardanovým kĺbom
- Obr. 19: Ťahadlá 1
- Obr. 20: Ťahadlá 2
- Obr. 21: Ťahadlá 3
- Obr. 22: Dynamický model
- Obr. 23: Detail na zjednodušený kĺb
- Obr. 24: Deklarácia
- Obr. 25: Hlavné menu
- Obr. 26: GUI manuálneho ovládania
- Obr. 27: Kód
- Obr. 28: Ukážka kódu
- Obr. 29: Obrázok pre výškovú mapu, pôvodná textúra
- Obr. 30: Importovaný terén
- Obr. 31: Finálna verzia terénu s textúrou a osvetlením
- Obr. 32: Testovanie pohybu laterálna undulácia na rovine
- Obr. 33: Testovanie pohybu laterálna undulácia v teréne
- Obr. 34: Testovanie pohybu side winding
- Obr. 35: GUI pohybu side winding

Rovnica (1): Funkcia vlnenia „lateral undulation”