

Strandbeest aneb pohyb na Marsu?

Úvodem

Theo Jansen roku 1990 objevil v nespočtu možností vhodnou konfiguraci rozměrů základní kostry pro sestavení chodícího mechanismu a dal tak vzniknout „tvorům“ označovaným jako Strandbeest.¹ Tyto konstrukce představují „samovolně“ se pohybující loutky, které využívají tzv. Jansenův mechanismus chůze a velice věrně tak připomínají skutečně se pohybující živé organismy. A co jiného čekat na Marsu než mart'anské pohyblivé potvůrky, které by mohly vypadat třeba právě jako Strandbeest.



Obrázek 1²: Jedna z generací Strandbeest Thea Jansena

Nápad a realizace

Celý nápad byl inspirován právě videem Thea Jansena, ve kterém se jeho výtvoři procházejí po pláži. Odtud už byl jen kousek k objevení konstrukce zjednodušené tak akorát, aby bylo možné ji realizovat po hrašticu, ale zároveň měla dostatečnou naději na funkčnost.



Obrázek 2: Podoba bezmotorového cíle projektu „chodící potvůrka“

¹ Zdroj: Theo Jansen. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-10-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Theo_Jansen

² Zdroj: By Eloquence; cropped by Beyond My Ken (talk) 18:45, 7 May 2011 (UTC) - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15139352>

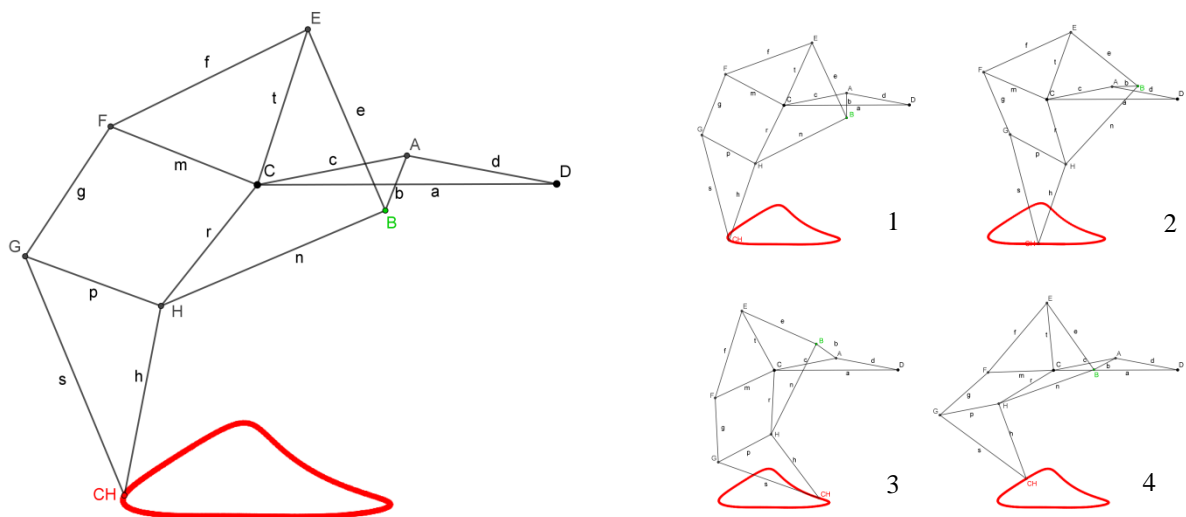
Materiály

Celá kostra je vytvořena pouze ze špejlí a dřevěných špachtlí neboli dřívek od nanuků. Na čtyřnohou potvůrku postačí 48 kusů dřívek a 5 špejlí. Pokud započítáme ztrátový materiál (při vrtání se některá dřívka naštípnou), je potřeba přibližně 60 dřívek. Z technického vybavení jsou pak využity šuplera, vrtačka (vrták s průměrem 3 mm), zaštipovací kleště a smirkový papír.

Trocha teorie poprvé

Jak vlastně mechanismus chůze funguje? Jansen vychází ze základního modelu, který zachycuje obrázek 3. Kolem pevného středu (bod A) se pohybuje po kružnici uzlový bod (B). Ten pak rozpohybuje celou kostru nohy, jejíž „chodidlo“ (bod CH) vykonává kráčivý pohyb.

Tvar křivky, kterou chodidlo opisuje (červená stopa na obr. 3), je pro celou konstrukci naprosto zásadní. Podoba křivky závisí na přesných délkách jednotlivých kostí a poloměru kružnice, po které se pohybuje uzlový bod B. Aby kostra mohla vykonávat reálný pohyb, je nutné najít vhodné délky jednotlivých kostí právě tak, aby výsledný tvar křivky opisované chodidlem byl optimální. Pro křivku to znamená: jedna její část je přímka, která představuje rovinu resp. povrch, po kterém se Strandbeest může pohybovat, druhá část je „kopec“, který umožňuje zvednutí nohy a překročení překážky. Jinými slovy - je potřeba napodobit tvar křivky, kterou při kráčivém pohybu opisuje lidská noha.



Obrázek 3: (vlevo) Náskres kostry končetiny vykonávající pohyb dle Jansenova mechanismu: pevný bod A kolem kterého se v kladném směru otáčí bod B a pomocí spojovacích kostí rozpohybuje bod CH (chodidlo) tak, že opisuje červenou křivku. (vpravo) Fáze pohybu.

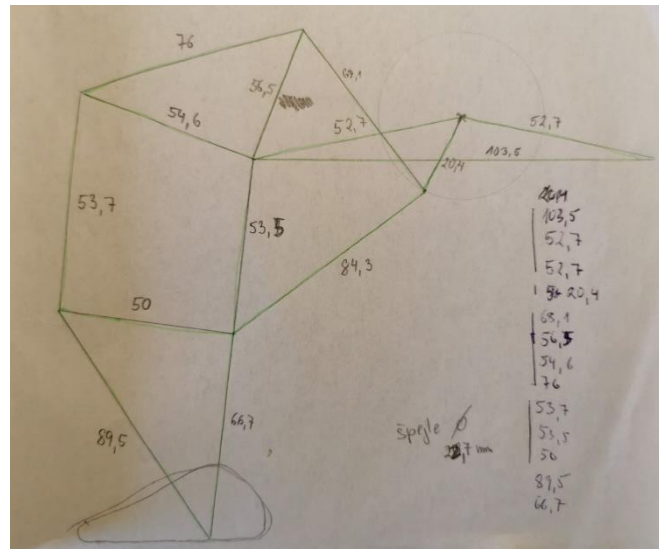
Na základě podoby kostry a tvaru křivky, kterou opisuje chodidlo, je možné rozlišit několik typů kráčivých pohybů. Jedním z dalších je typicky pavoučí kráčivá chůze, kterou umožňuje tzv. Klannův mechanismus.

Výroba

První fáze práce na projektu „chodící potvůrka“ spočívala v přípravě nákresu s rozvržením všech rozměrů. Samotná optimalizační úloha pro nalezení vhodných délek všech kostí byla provedena spíše kvalitativně pomocí programu Geogebra. Náskres a uspořádání dřívek v modelu (obr. 4) vychází z ověřených údajů, které byly součástí videonávodu, podle kterého celý zjednodušený projekt „chodící potvůrky“ vznikl. V tabulce 1 jsou zapsány délky jednotlivých kostí, značení odpovídá obrázku 3. Rozměry jsou uzpůsobeny práci s dřívky, neboť celková délka dřívka je 114 mm.

Tabulka 1: Rozměry dřivek využitých v konstrukci. Rozměr určuje vzdálenost středů vyvrtaných dírek.

Kost	a	b	c	d	e	f	g	h	m	n	p	s	t	r
Rozměr [mm]	103,5	20,4	52,7	52,7	68,1	76	53,7	66,7	54,6	84,3	50	89,5	56,4	53,5

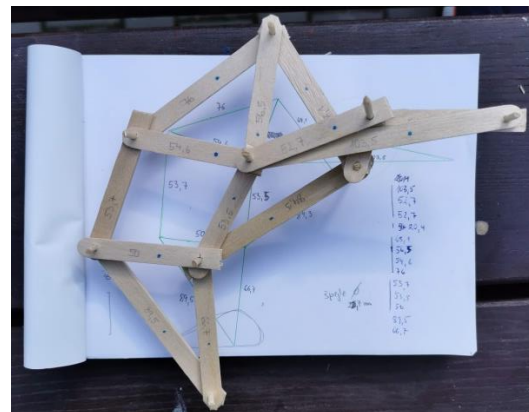


Obrázek 4: Náskres mechanismu s vyznačenými rozměry

Cílem druhé fáze projektu bylo vytvoření jedné končetiny tak, aby při ručním otáčení části kostry docházelo ke správnému pohybu. Pomocí šuplery byly naměřeny vzdálenosti (viz tabulka 1) míst pro vyvrtání otvorů, do kterých byla následně jako osa umístěna část špejle. „Krajní“ značka byla vždy umístěna 6 - 8 mm od okraje dřívka. Menší okraj se ukázal nepraktický pro následné vyvrtání otvoru – dřívka více praskala, větší odsazení otvoru naopak ovlivňovalo plynulost pohybu konstrukce. Protože v místech spojů kostí je žádoucí malé tření, byl zvolen pro otvory na špejle třímilimetrový vrták (průměr špejle je 2,7 mm). Připravená dřívka a sestavená končetina jsou zvětšeny na obrázku 5 a 6.



Obrázek 5: Dřívka s vyvrtanými otvory



Obrázek 6: Sestrojená končetina

Jelikož kráčivý pohyb jedné končetiny při ručním otáčení fungoval, následovala výroba druhé končetiny. Dvě končetiny mají společný nehybný trojúhelník ACD a rotující kost b (viz obr. 3). Tyto části nebylo potřeba znovu měřit, nařezávat/naštípávat a vyvrtávat. Na druhou končetinu tak bylo

připraveno celkem 11 nových kostí. Ke konstrukci z druhé fáze projektu byla dřívka připojena podle stejného nákresu (obr. 3 a 4) ovšem v zrcadlové symetrii, tj. bod C byl nahrazen bodem D.

Pro čtyřnohou „potvůrku“ byly tyto „dvojkončetiny“ vytvořeny celkem dvě.

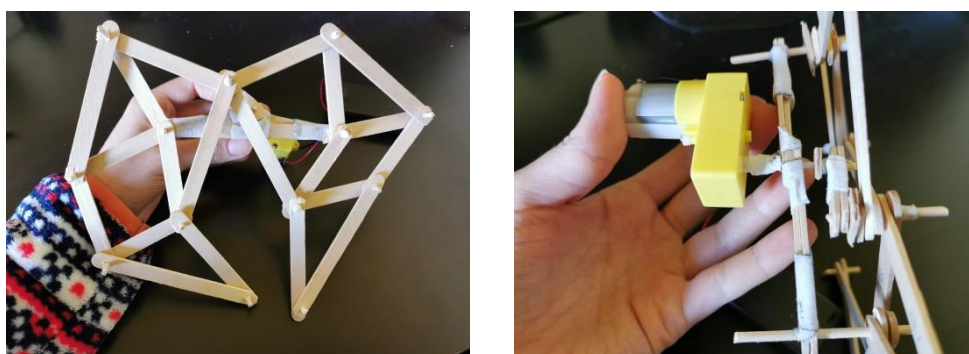
Celá konstrukce byla provizorně propojena špejlemi v bodech A, C, D nehybného trojúhelníku, aby „potvůrka“ dokázala přinejmenším stát. Přičemž všechny končetiny vykonávaly kráčivý pohyb při ručním otáčení příslušnou kostí (hřídely).



Obrázek 7 a 8: Propojení dvojic končetin a závěrečná podoba projektu

V této fázi byl projekt ukončen, až na malé odladění detailů. Fáze projektu, kdy měl být do bodu A připevněn motorek, který by zajišťoval potřebnou rotaci, již nebyla realizována v době soustředění kvůli nedostatku časového (dřívější odjezd).

V době pohrašticové byla spojnice dřívek v bodě A (obr. 3) nahrazena osou motorku. Při nasazení osy bylo nutné hlídat správné průměry vyvrtaných otvorů vzhledem k průměru osy motorku, neboť pouze uchycení kosti b bylo napevno. Aby základní trojúhelník ACD zůstal statický, bylo potřeba buď zúžit osu v kontaktním místě s otvory dřívek, nebo lehce zvětšit průměr vyvrtaného otvoru v bodě A. Jelikož při zvětšování otvoru na průměr 4 mm docházelo opakovaně k prasknutí dřívka, byla zvolena možnost *buď*.



Obrázek 9: Připojení motorku do konstrukce

Budoucnost projektu „chodící potvůrky“ je tedy po technické stránce: dosazení motorku pro zajištění rotace pro všechny čtyři končetiny, vytvoření nosné plošiny v těle „potvůrky“ pro motorky a napájení, pravděpodobná nutnost přidat další končetiny vzhledem k větší rovnováze při samostatném pohybu.

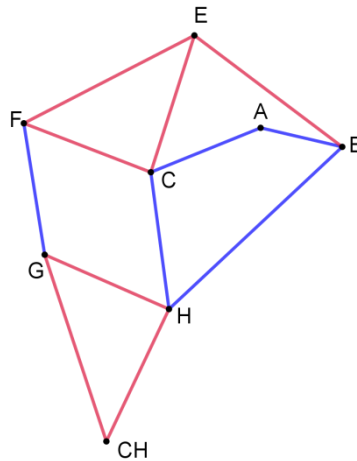
Po stránce estetické je to cesta o něco delší, a sice dovést vzhled k dokonalosti – vytvořit koncovky pro špejle, zabrousit všechna dřívka do hladka, vymyslet dostatečně jednoduchý způsob upevnění motoru i s jeho napájením ke konstrukci atp.

Trocha teorie podruhé

Na této části má veliký podíl Jana Legerská, která přispěla s úžasnou myšlenkou pohyblivých grafů a jejich aplikací právě v těchto konstrukcích, za což jí patří ohromný dík.

V teorii grafů lze rozlišovat na základě podoby tzv. frameworku³ pohyblivé a nepohyblivé grafy. Zjednodušeně řečeno: pokud si vymyslíme libovolnou konstrukci, např. podobnou té naší na obr. 3, a dokážeme ji nějakým způsobem rozpohybovat (nikoli celou posunout, zrcadlit či rotovat), pak se jedná o *pohyblivý graf*. V této teorii existuje jednoduchý způsob, jak určit, zda je zvolený framework (konstrukce) pohyblivý. Zavádí se tzv. NAC⁴ obarvení grafu, které si můžeme představit jako skutečné obarvování hran grafu (dřívka-kostí) dvěma barvami a to tak, že a) v cyklu⁵ jsou alespoň 2 hrany obarveny jednou barvou a alespoň 2 druhou, nebo b) je celý cyklus jednobarevný. Platí: Pohyblivé nastavení grafu (konstrukce) existuje, právě když graf dokážeme obarvit NAC obarvením.

Společně s Janou jsme pro Jansenův mechanismus toto obarvení objevily, vypadá následovně:



Obrázek 10: *NAC-coloring frameworku Jansenova mechanismu. V obrázku je trojúhelník ACD reprezentován pouze spojnici CA (v grafu nese tato spojnice stejnou informaci jako celý trojúhelník).*

Závěrem

Přestože se nepodařilo (nestihlo) sestavit samostatně „chodící potvůrku“, projekt ukázal, že taková konstrukce možná je. Většina dílčích cílů projektu byla splněna: Sestavit funkční model Jansenova mechanismu a to s využitím natolik jednoduchých pomůcek jako jsou dřívka od nanuků a několik špejlí. Zároveň si bádání užít, pracovat v příjemném kolektivu, při měření správných rozměrů kostí debatovat o podobě hvězdné oblohy na rovníku, ... co víc si přát.

³ Framework si lze představit jako konkrétní umístění nějakého grafu v prostoru. Pro nás by to byl náčrt kostry mechanismu (tj. obrázek 3).

⁴ No Almost Cycle

⁵ Cyklus je libovolný uzavřený okruh grafu (vyjdeme z bodu, jdeme po hranách a vrátíme se opět do počátečního bodu – hrany a body, které jsme takto navštívili, tvoří cyklus). Graf/konstrukce se může skládat (a zpravidla i skládá) z několika různých cyklů.

Zajímavosti, inspirace, odkazy

- Stránka věnovaná nejrozsáhlejšími podrobnostem o Strandbeests, různým modelům, přesný vývojový diagram (rodokmen) a spousta videí:
<https://www.strandbeest.com/>
- Theo Jansen vysvětluje princip svého kráčivého mechanismu:
<https://www.youtube.com/watch?v=FFS-2axFo1Y&t=43s>
- Model Jansenova mechanismu s nastavitelnými délkami kostí:
<https://www.geogebra.org/m/cjacfrat>
- Videonávod na sestavení Strandbeest z dřevků od nanuků:
<https://www.youtube.com/watch?v=1GEEbF2fpn8&t=118s>
- Videonávod na konstrukci Strandbeest z tvrdého papíru:
<https://www.youtube.com/watch?v=azixGAjPC1Q&t=3s>
- Stránka věnovaná různým druhům kráčivého mechanismu, jeho možným konstrukcím pomocí stavebnice Lego včetně návodů. Obsahuje také videa s porovnáním jednotlivých typů pohybu, rozebírá jejich rozdíly, výhody/nevýhody. Obsahuje nemalé množství teorie pro optimalizaci těchto pohybů.
<https://www.diywalkers.com/>
- Pro bližší informace o teorii pohyblivých grafů, buďte odkázáni na Janu Legerskou, která o problematice ví mnohem více než já a jistě vám doporučí i nějakou čtivou literaturu.

Poděkování

Speciální poděkování

patří Janě Legerské za skvělé rozhovory, inspiraci k dalšímu rozvíjení projektu, nalezení úžasných propojení s teoretickými poznatky a neskutečného nakažlivého zapálení do dalšího bádání.

Patří Janu Fejtovi za fascinující dokumentaci práce na tomto projektu. Bez jeho fotografií by mnohé krásy výroby zůstaly očím čtenáře utajeny.

Děkuji

