



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Návrh automatizované kočičí toalety

Design of the automatic cat toilet

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Martin LEDVINKA

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Karel Petr, Ph.D

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ledvinka** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **483984**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh automatizované kočičí toalety

Název bakalářské práce anglicky:

Design of The Automatic Cat Toilet

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je návrh automatické toalety pro kočky, která sama oddělí čisté stelivo od zhrudkovatělého a znečištěného steliva. Student provede rešerši vyráběných automatizovaných kočičích toalet z pohledu konstrukce. Na základě rešerše provede zhodnocení a výběr několika vhodných koncepčních řešení. Následně student provede potřebné konstrukční řešení podrobně zpracuje návrhové a kontrolní výpočty, kinematiku pohybu mechanismu, výběry materiálů, vytvoří 3D CAD model a kompletní výkresovou dokumentaci. Součástí práce bude také kalkulace nákladů na výrobu. Rozsah tištěné grafické části: sestavný výkres; alespoň dva výrobní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spojí a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
- [2] Joseph E. Shigley: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [3] FREDERICK E. GIESECKE. Technical Drawing with Engineering Graphics. 2014. Pearson New International Edition. ISBN 13: 9781292026183.
- [4] Katalogy výrobců.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Karel Petr, Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **12.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Karel Petr, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Automatizovaná toaleta pro kočky“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Karla Petra, Ph.D., s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Martin Ledvinka

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Karlu Petrovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce. Hlavně bych chtěl poděkovat za velmi přátelský přístup, ochotu, cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval. Dále děkuji všem ostatním, kteří mě podporovali jak při psaní bakalářské práce, tak po celou dobu mého studia.

Anotační list

Jméno autora:	Martin LEDVINKA
Název BP:	Návrh automatizované kočičí toalety
Anglický název:	Design of automated toilet for cats
Rok:	2021
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. Karel Petr, Ph.D
Bibliografické údaje:	počet stran 46 počet obrázků 29 počet tabulek 7 počet příloh 4
Klíčová slova:	automatizovaná, automatická, toaleta pro kočky, kočičí toaleta
Keywords:	automatic, automated, toilet for cats, cat toilet

Anotace: Tato bakalářská práce se zabývá návrhem automatizované toalety pro kočky. První částí práce je rešerše, kde jsou zmíněny všechny hlavní, již vyráběné mechanismy a jejich klady a zápory. Druhá část pojednává o možných principech, dle kterých by mechanismus mohl pracovat. Dále se práce zabývá konkrétním rozpracováním a výpočty dvou zvolených mechanismů. V závěru práce je zvolen finální mechanismus, který je doplněn o zbylé důležité výpočty, nacenění materiálů a design.

Abstract: This bachelor thesis deals with designing an automated toilet for cats. The first part of this theses is recherche, where are mentioned the main, already produced automated cat toilets and their pros and cons. The second part is about all the possible principles on which the mechanism can operate. The next part deals with two selected principles – calculations and basic design. The last part of this thesis is about final calculations, price of material and design.

Obsah

Seznam použitých veličin a jejich jednotek	1
1 Úvod	4
2 Náhled na aktuální trh.....	5
2.1 Typy toalet:	5
2.1.1 Omega Paw Roll'n Clean	5
2.1.2 ScoopFree	6
2.1.3 CatGenie	7
2.1.4 Litter-Robot III	8
2.2 Shrnutí průzkumu trhu	8
3 Návrh mechanismu	9
3.1 Mechanismus č.1.....	9
3.1.1 Varianta A.....	9
3.1.2 Varianta B.....	9
3.2 Mechanismus č.2.....	10
3.3 Mechanismus č.3.....	11
3.4 Mechanismus č.4.....	11
3.4.1 Varianta A.....	11
3.4.2 Varianta B.....	12
3.4.3 Varianta C.....	13
3.5 Mechanismus č. 5.....	13
3.5.1 Varianta A.....	13
3.5.2 Varianta B.....	14
3.6 Volba výsledného mechanismu	15
4 Podrobné rozpracování vybraných mechanismů.....	16
4.1 Mechanismus č.1 varianta A – Podélná toaleta	16
4.1.1 Schéma mechanismu	16
4.1.2 Princip pohybu mechanismu – kinematika.....	16
4.1.3 Návrhové a kontrolní výpočty	17
4.2 Mechanismus č.5 varianta A – Rotační toaleta.....	21
4.2.1 Schéma mechanismu	21
4.2.2 Princip pohybu mechanismu – kinematika.....	21
4.2.3 Návrhové a kontrolní výpočty	22
4.3 Srovnání variant.....	27
5 Zvolený mechanismu – Podélná toaleta	29
5.1 Doplnující výpočty.....	29

5.1.1	Čelní ozubení.....	29
5.1.2	Kuželové ozubení	32
5.1.3	Ložiska.....	33
5.2	Vyjímání nečistot.....	34
5.3	Materiál a montáž	34
5.4	Elektronika a ovládání	36
5.5	Přibližná kalkulace nákladů (na materiál).....	37
5.6	Design	38
6	Závěr:.....	40
7	Seznam použité literatury:	41
	Seznam obrázků:.....	44
	Seznam tabulek:.....	45
	Seznam příloh:.....	46

Seznam použitých veličin a jejich jednotek

Výkony [W]:

P_{min1} – minimální výkon motoru podélné toalety

P_{min2} – minimální výkon hlavního motoru rotační toalety

P_{min3} – minimální výkon motoru síta rotační toalety

P_1 – reálný potřebný výkon motoru podélné toalety

P_2 – reálný potřebný výkon motoru rotační toalety

Síly [N]:

F_{O1} – odporová síla, kterou působí kočkolit na síto podélné toalety

F_{O2} – odporová síla, kterou působí kočkolit na síto rotační toalety

F_{Odpadu} – síla od odpadu v sítu

F_p – síla potřebná na zvednutí síta

F_{real} – reálná síla na tělese přenášejícím sílu

F_v – kolmá síla působící na válečky

F_t – síla potřebná k překonání valivého tření

Délkové rozměry [mm]:

R – poloměr válečků

r_{Fp} – vzdálenost působíště síly od poháněné osy

r_v – poloměr kružnice procházející středem válečků

r_s – vzdálenost působíště odporové síly od osy rotace

$D_{HŘ}$ – průměr hřídele

$\varnothing d_p$ – roztečný průměr pastorku

$\varnothing d_k$ – roztečný průměr kola

l_1 – vzdálenost síly F_{Odpadu} od podpěry

l_2 – vzdálenost síly F_p od podpěry

b_k – šířka kola

b_p – šířka pastorku

$p_{pš}$ – rozteč závitu pohybového šroubu

m'_n - minimální modul ozubení (nenormalizovaný)

l_{ov} – osová vzdálenost

Převodové poměry [1]:

i_1 – převodový poměr pro pohon podélné toalety

i'_2 – předběžný převodový poměr rotační toalety

i_2 – převodový poměr rotační toalety

i_s – převodový poměr síta

i_z – zbytkový převodový poměr síta

i_{mp} – převodový poměr mikro-převodovky

Otáčky [s^{-1}]:

$n_{pš}$ – otáčky pohybového šroubu

n_{m1} – otáčky motoru podélné toalety

n_{m2} – otáčky motoru rotační toalety

n_v – požadované výstupní otáčky rotační toalety

n_m – počet otáček motoru sklopného síta

n_p – požadovaný počet otáček sklopného síta

Momenty [Nm]:

M_{km} – kroutící moment motoru podélné toalety

M_{kv1} – výsledný kroutící moment na pohybovém šroubu

M_{kv2} – výsledný kroutící moment potřebný pro provoz rotační toalety

M_{kn} – moment způsobený hmotností kočkolitu v nádobě

M_{ks} – moment od sklopného síta

M_{kp} – potřebný moment k vyklopení síta

Počty zubů [1]:

z_{k1} – počet zubu na velkém ozubeném kole soukolí podélné toalety

z_{p1} – počet zubu na pastorku soukolí podélné toalety

z_{k2} – počet zubu na velkém ozubeném kole soukolí rotační toalety

z_{p2} – počet zubu na pastorku soukolí rotační toalety

Ostatní:

g – gravitační zrychlení

[$m \cdot s^{-2}$]

m – ekvivalent hmotnosti, kterou působí kočkolit proti sítu	[kg]
K_F – součinitel přídatného zatížení	[1]
k – koeficient bezpečnosti	[1]
ξ – součinitel valivého tření	[1]
τ_D – dovolené napětí hřídeli	[N · m ⁻²]
W_K – polární kvadratický moment	[kg · m ²]
f_p – koeficient pro ocelová ozubená kola	[1]
K_F – součinitel přídatného zatížení	[1]
$\frac{b_{WF}}{m_n}$ – poměrná šířka	[1]
σ_{FP} – dovolené napětí v ohybu	[N · m ⁻²]
ω – úhlová frekvence	[s ⁻¹]
v_s – rychlost lineárního posuvu	[m · s ⁻¹]

1 Úvod

Účelem této BP je navrhnout optimální automatizovanou kočičí toaletu, která bude oddělovat čisté, nezhrudkovatělé stelivo od zbytku. Spouštěna bude ale manuálně stisknutím tlačítka, nebude tedy úplně autonomní, ale proces jako takový bude automatizován. Cílem je, aby mechanismus oddělené znečištěné stelivo (kočkolit) shromáždil na sběrném místě, odkud bude snadné odpad odebrat.

Práce také obsahuje řešerši již vyráběných mechanismů a jejich zhodnocení, návrhy realizovatelných variant a principů mechanismů, podrobné rozpracování zvolených mechanismů, veškeré výpočty potřebné k bezpečnému sestrojení konečného mechanismu a v závěru práce je také celkové nacenění materiálu a práce.

Celkově je mechanismus navržen na kusovou výrobu (pro jednotlivé zakázky), nikoli na výrobu stovek či tisíců kusů. Znamená to, že jsme se snažili docílit hlavně kvality a spolehlivosti na úkor ceny a obtížnosti sestavení.

2 Náhled na aktuální trh

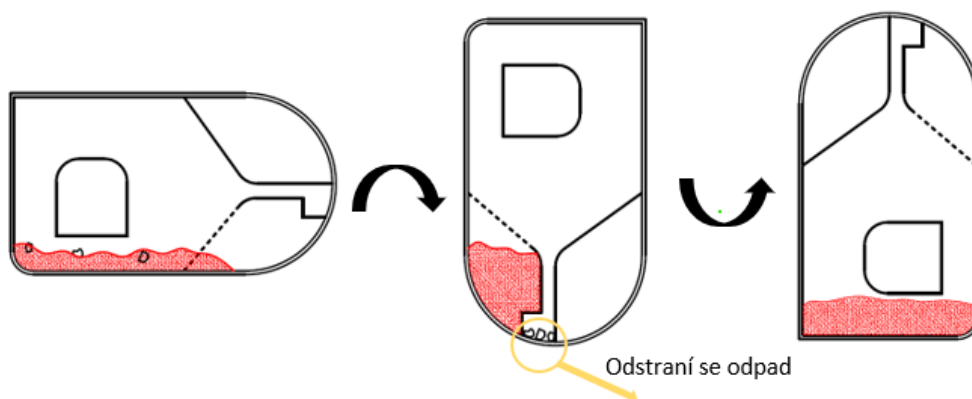
Tato část práce je zaměřena na již vyráběné automatizované kočičí toalety. Konkrétně na jejich hlavní klady a zápory, ty určí směr, kterým se bude práce dále ubírat.

2.1 Typy toalet:

Existuje několik různých mechanismů a designů, které využívají momentálně vyráběné toalety. Některé toalety využívají stejných mechanismů. V následujících podkapitolách budou popsány čtyři různé typy toalet, využívajících naprosto odlišné způsoby automatizace. Je třeba zmínit, že je vyráběno výrazně větší množství toalet, ale z většiny se jedná jen o modifikace dále zmíněných toalet.

2.1.1 Omega Paw Roll'n Clean

- jde o jednoduchý mechanismus, kde se celá toaleta musí ručně otočit na jeden bok, při čemž dojde k oddělení čistého, nepoužitého granulátu od zbytku (Obr. 1)
- druhým krokem je otočení zpět o 180°, aby došlo k navrácení již prosetého granulátu do původní pozice
- jedná se pravděpodobně o nejprimitivnější dohledatelný mechanismus na trhu
- veškerá práce je dodávána manuálně
- výhody mechanismu:
 - cena (okolo 1 200,-)
 - nezávislost na elektřině
- nevýhody:
 - vyžaduje poměrně značnou fyzickou zručnost
 - velmi nízká úroveň automatizace
 - vzhled (Obr. 2)



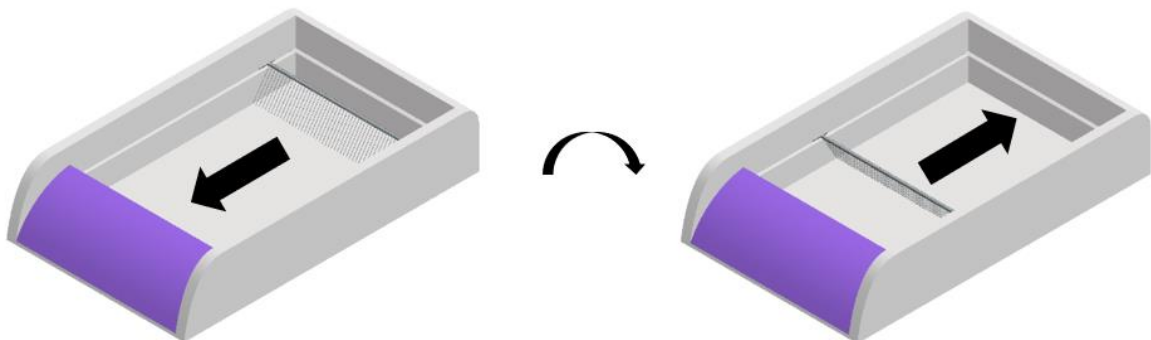
Obrázek 1: Mechanismus toalety Paw Roll'n Clean



Obrázek 2: Kočičí toaleta Paw Roll'n Clean [1]

2.1.2 ScoopFree

- toto zařízení funguje na principu pohyblivého síta, které projede stélkou a zadrží na sobě jen její zhrudkovatělé části a jiné nečistoty
- poté co dorazí na konec vany, se síto obrátí a vrátí se zpět na začátek (Obr. 3)
- jedná se o sofistikovanější model, který využívá elektromotoru k pohánění síta a k separaci steliva
- výhody:
 - relativně nízká cena (okolo 4 300,-)
 - jednoduchý mechanismus
 - vyšší úroveň automatizace
- nevýhody:
 - funguje pouze s jedním druhem granulátu
 - veškeré součásti vyrobeny z plastu
 - pouze pro menší kočky
 - vzhled (Obr. 4)



Obrázek 3: Mechanismus toalety ScoopFree



Obrázek 4: Kočičí toaleta ScoopFree [2]

2.1.3 CatGenie

- CatGenie patří již mezi složitější automatické toalety (Obr. 5)
- granulát leží na rotační podložce, která je při spuštění poháněna elektromotorem
- když je rotační podložka v pohybu, sklopí se síto do granulátu, což způsobuje oddělení čistého a znečištěného granulátu
- mechanismus zároveň umožňuje proplachování granulátu s vývodem do odpadu s následným sušením
- výhody:
 - úplná automatizace (musí se pouze manuálně spustit)
 - vysoká úroveň hygieny
- nevýhody:
 - vysoká cena (okolo 12 500,-)
 - pro využití všech funkcí musí být postaveno vedle toalety, do které musí být zaveden vývod + musí být připojeno na zdroj vody
 - musí se používat omyvatelný granulát



Obrázek 5: Kočičí toaleta CatGenie [3]

2.1.4 Litter-Robot III

- ze všech zmíněných toalet je tato nejvíce mechanicky komplikovaná (Obr. 6)
- princip Litter-Robota spočívá v rotování celého prostoru s granulátem o 360°
- za jedno orotování o 360° se uvnitř oddělí čistý granulát od zbytku, omyje se následně granulát vrácený do oběhu a zároveň se zneutralizuje zápach
- celý mechanismus se spustí na základě výstupu z pohybového čidla uvnitř toalety
- výhody:
 - celý proces plně automatizován
 - velmi hygienický
 - designový
- nevýhody:
 - velmi vysoká cena (okolo 19 000,-)
 - velké rozměry



Obrázek 6: Litter-Robot III [4]

2.2 Shrnutí průzkumu trhu

Provedením tohoto průzkumu lze dojít k závěru, že nejefektivnější je, celý mechanismus zbytečně nekomplikovat. Toaleta je pak výrazně levnější, méně poruchová, a zároveň může mít jednodušší a designovější vzhled. Hlavní funkcí automatické toalety by mělo být automatické oddělení čistého granulátu od zbytku obsahu a shromáždění na jednom konkrétním místě. Ostatní funkce jsou doplňkové a pouze zvyšují cenu.

Na základě tohoto rozhodnutí lze začít s návrhem takového mechanismu, který bude co nejlépe splňovat požadovanou funkci a zároveň bude co nejméně finančně náročný. Takovýto mechanismus bude fungovat na podobném principu jako u toalety ScoopFree (viz podkapitola 3.1), nebo CatGenie (viz podkapitola 3.2).

3 Návrh mechanismu

Jak bylo zmíněno na konci minulé kapitoly, princip mechanismu bude podobný jako u ScoopFree nebo CatGenie, což znamená, že buď bude granulát v klidu a síto bude konat pohyb, nebo bude naopak síto v klidu a granulát bude vykonávat pohyb.

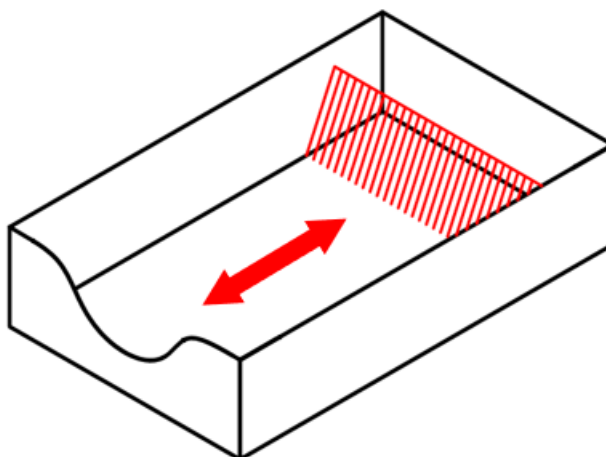
Mechanismů využívající tyto dva principy se však dá navrhnout nespočet, proto se další část této práce bude věnovat návrhu a výběru toho nejvhodnějšího.

3.1 Mechanismus č.1

Jako první je zvolen mechanismus pracující na podobném principu jako ScoopFree toaleta. Existuje však několik variant aplikace tohoto principu.

3.1.1 Varianta A

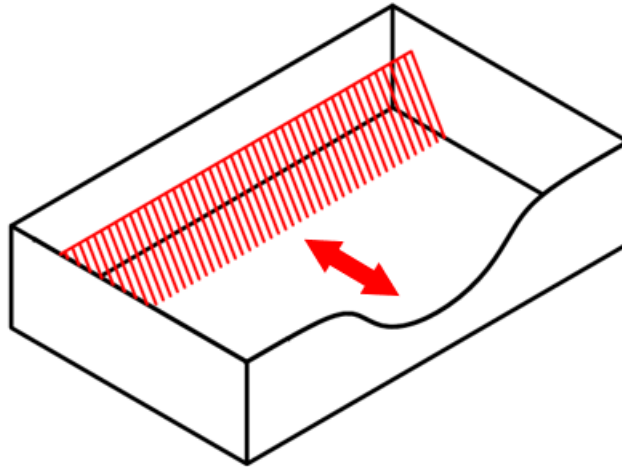
Tato varianta je totožná s toaletou ScoopFree (Obr. 7). Jedná se o velmi jednoduchý mechanismus, kde hrablo při průjezdu granulátem zachytí a odstraní veškeré větší částice než samotný granulát. Hrablo je připevněno na kovové tyčce, která zabíhá dovnitř tělesa toalety, kde může být poháněna například ozubenou řemenicí, řetězem nebo pohybovým šroubem. Výhodou tohoto provedení je také snadné řešení sběru odpadu na jednom z konců nádoby.



Obrázek 7: Mechanismus č.1 – varianta A

3.1.2 Varianta B

Varianta B je velmi podobná variantě A, ale hrablo jezdí kolmo na kratší stranu toalety (Obr. 8). Výhodou je kratší dráha oproti variantě A, tudíž i snazší provedení. Velkou nevýhodou je ale výrazně větší namáhání pohonu, které je zapříčiněno tím, že hrablo musí překonávat větší odpor granulátu. Větší délka prvku nesoucí hrablo by také mohla způsobovat jeho průhyb, a s tím spojené nežádoucí mechanické zatížení. Sběrné místo odpadu, které musí být na konci pohybu hrabla, by při tomto provedení zabíralo více místa než u předchozího provedení.

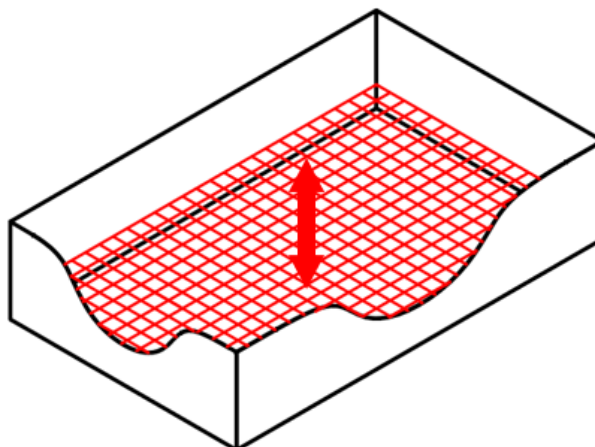


Obrázek 8: Mechanismus č.1 – Varianta B

3.2 Mechanismus č.2

Tento mechanismus je zcela odlišný od obou předchozích. Funguje na principu posuvného roštu, který je uchycen ve všech čtyřech rozích na pohybových šroubech (Obr. 9). Šrouby musí být propojeny pomocí řemenu nebo řetězu, aby se pohybovaly synchronizovaně a nedošlo ke zkřížení. Nevýhodou je složité odebrání odpadu – první možnost je manuální odebrání, což však není žádoucí. Druhá možnost je mechanický sběrač, který by z roštu odpad odebral.

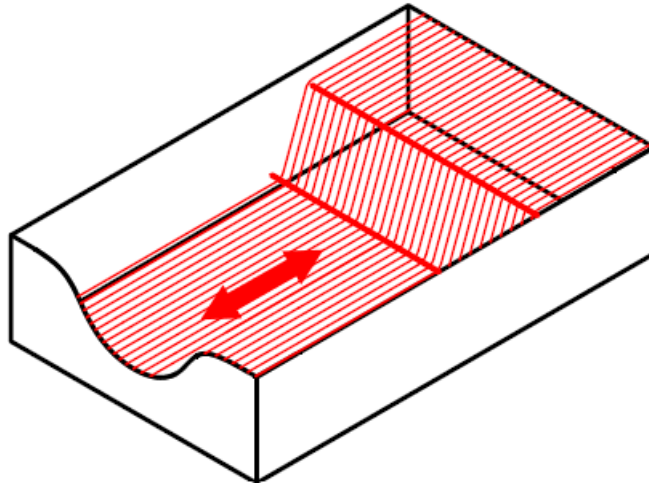
U tohoto mechanismu je možnost změnit tvar roštu, například tím způsobem, že se plocha bude svažovat doprostřed, což by mělo za následek shromažďování odpadu na tomto místě.



Obrázek 9: Mechanismus č.2

3.3 Mechanismus č.3

Mechanismus číslo 3 funguje na relativně podobném principu jako mechanismus 1 a 2. Hlavním rozdílem ale je, že mezi čelními stěnami nádoby jsou napnutá lanka (kovová/textilní). Na zadní stěně jsou uchycena nahoře a na přední stěně dole. Kolmo na ně jezdí 2 kovové podpory, které udržují lanka napnutá a zároveň zajišťují sešikmení, pohybující se předozadně nádobou (Obr. 10). Výhodou je snadné odebírání odpadu a velká účinnost. Nevýhodou je o něco složitější mechanismus a celková konstrukce.



Obrázek 10: Mechanismus č.3

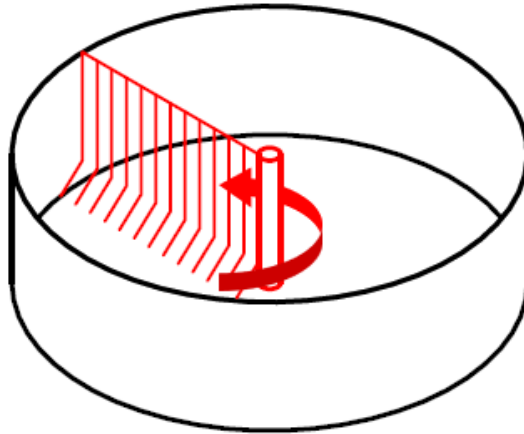
3.4 Mechanismus č.4

Tento mechanismus je naprosto odlišný od předcházejících typů, protože je rotační. To že je rotační však neznamená, že nádoba musí mít vždy tvar celého kruhu.

3.4.1 Varianta A

Síto je upevněno uprostřed nádoby na otočném dílu (Obr. 11) a na obvodu je uloženo ve vedení, které může být řešeno několika způsoby. Jedná se o mechanismus nejjednodušší z hlediska pohonu, protože stačí pouze připojit otočné hrablo k z převodovanému elektromotoru. Jedná se o významnou výhodou toho principu. S tím však přichází i poměrně zásadní problém s odebíráním nečistot.

Zatím co u ostatních variant měl mechanismus konečnou fázi posuvu síta, kde se dalo provést odebrání nečistot, u tohoto provedení tomu tak není. Muselo by se tudíž připojit další zařízení, které by tuto chybějící funkci doplňovalo.

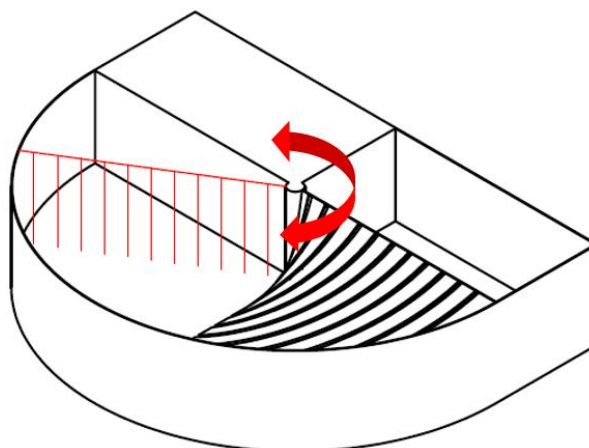


Obrázek 11: Mechanismus č. 4 – Varianta A

3.4.2 Varianta B

Princip je stejný jako u varianty A. Síto je upevněno uprostřed nádoby a rotuje kolem středové osy. Hlavním rozdílem těchto dvou variant je to, že nádoba nemá tvar kruhový, ale půlkruhový (Obr. 12), což má za následek několik podstatných rozdílů. Hlavním kladem je možnost snadného řešení problému s odběrem nečistot. Na konec půlotáčky stačí pouze připevnit rampu se zářezy, za kterou bude sběrné místo na odpad.

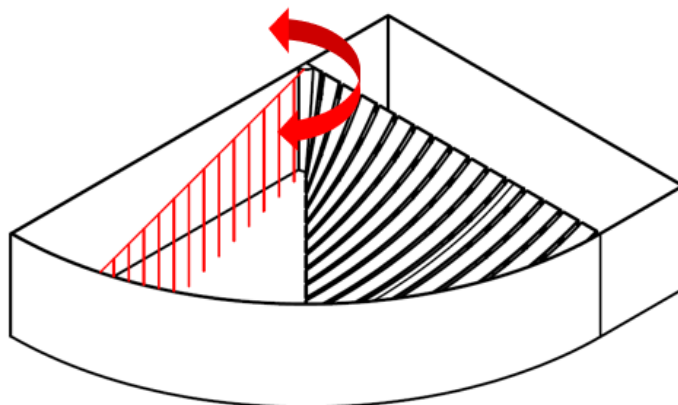
Naopak zásadním záporem je, že síto nerotuje stále ve stejném směru, ale vždy se po dokončení pohybu musí vrátit do počáteční polohy. To znamená komplikace spojené se změnou směru pohybu (složitější elektronická i mechanická část).



Obrázek 12: Mechanismus č.4 - Varianta B

3.4.3 Varianta C

Tato varianta je z hlediska fungování mechanismu úplně stejná jako varianta předchozí, ale liší se tvarem. Zatím co předchozí varianta měla tvar půlkruhu, tato varianta má tvar čtvrtkruhu (Obr. 13). Hlavní výhodou toho designu je lepší možnost umístění v domácnosti. Oproti předchozí variantě se dá mnohem lépe umístit jak do rohu místnosti, tak ke stěně. Naopak nevýhodnou této varianty je nutnost větší délky ramene síta, tudíž zde budou působit větší silové momenty.



Obrázek 13: Mechanismus č.4 - Varianta C

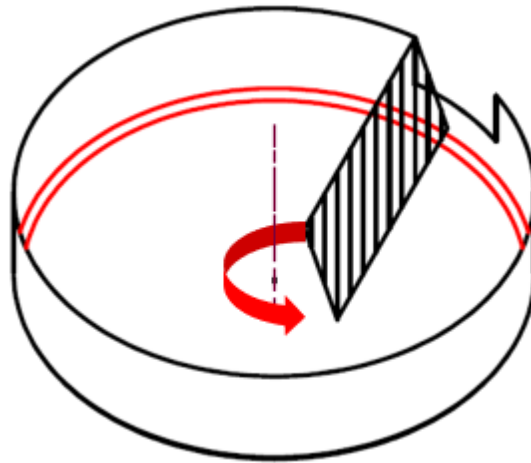
3.5 Mechanismus č. 5

Tento mechanismu využívá opačného principu než všechny předchozí varianty. Pohyb tedy nebude vykonávat síto, ale samotná nádoba, respektive dno nádoby. Opět lze tento princip využít různými způsoby.

3.5.1 Varianta A

U této varianty se bude pohybovat pouze dno a síto bude naprosto nehybné (Obr. 14). Odvod odpadu bude zajištěn geometrií síta a správným uložením v nádobě vzhledem k rotaci dna. Vzhledem k uložení síta bude odpad vytlačován rotujícím granulátem směrem šikmo ven z nádoby, kde bude vyjímatelná nádoba. Nevýhodou této varianty bude malá ztráta granulátu na místě otvoru na nečistoty. Na druhou stranu je zde zásadní výhoda zjednodušení celé konstrukce, protože síto bude přiděláno na pevně. Další výhodou je umístění celého pohybového aparátu pod pohyblivé dno, tudíž bude mít kočka přístup k celé nádobě.

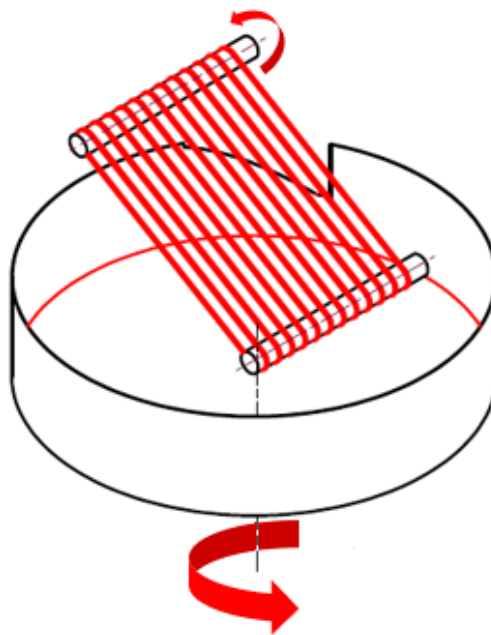
Je zde také možnost provést modifikaci síta. Aby se zamezilo zbytečnému odpadu granulátu a zároveň, aby síto nepřekáželo kočce při využívání záchodu, je možnost udělat síto sklápěcí. Při spuštění toalety by se sklopilo a při vypnutí by se vrátilo do počáteční polohy, při čemž by zároveň došlo k vysypání odpadu. Taková varianta je však již výrazně složitější.



Obrázek 14: Mechanismus č.5 - Varianta A

3.5.2 Varianta B

Tato varianta je již o něco složitější, ale zároveň účinnější. Zatímco u předchozí bylo síto v klidu a pohybovalo se pouze dno, v tomto případě je síto nahrazeno malým šikmým páskovým dopravníkem (Obr. 15). Rotační dno nahrne odpad k dopravníku, kde se větší částice zachytí a menší propadnou. Větší částice se následně dopraví po dopravníku šikmo vzhůru, kde přepadnou na sběrné místo. Alternativou této varianty je nahrazení páskového dopravníku sadou ozubených kol, které postupně vyvezou odpad na sběrné místo. U této alternativy je však zásadní nevýhoda. Mohlo by se stát, že sada ozubených kol bude mít tendenci drtit odpad.



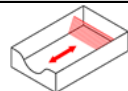
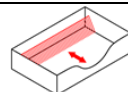
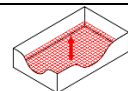
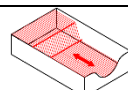
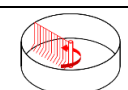
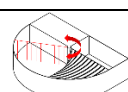
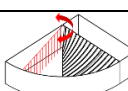
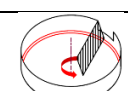
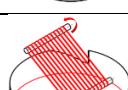
Obrázek 15: Mechanismus č.5 - Varianta B

3.6 Volba výsledného mechanismu

Po provedení návrhu a zhodnocení zmíněných mechanismů je třeba zvolit ty z nich, které jsou nejperspektivnější a nejlépe splňují požadavky (viz. podkapitola 2.2). Z tabulky 1, kde jsou jednotlivé mechanismy obodovány podle daných kritérií, je zjevné, kterými návrhy je třeba se nadále zabývat.

Nejlépe sice vyšly obě varianty mech. 1, ale pro větší rozmanitost budou zvoleny toalety na 1. a 3. příčce. Těmito mechanismy jsou: mechanismus č. 1 varianta A a mechanismus č.5 varianta A. Dále tyto mechanismy budou podrobně rozpracovány a budou provedeny veškeré potřebné výpočty a návrhy součástí.

Tabulka 1: Srovnání mechanismů a jejich variant

Mechanismy Varianty		Složitost (0-10)	Možnost automatizace (0-10)	Cena (0-10)	Přístupnost pro kočku (0-10)	Vzhled (0-5)	Σ^*
M. 1 V. A		10	9	9	10	3	41
M. 1 V. B		8	8	9	9	3	37
M. 2		7	4	4	10	3	28
M. 3		5	7	4	9	3	28
M. 4 V. A		9	4	8	8	4	33
M. 4 V. B		7	7	7	6	3	30
M. 4 V. C		7	7	7	4	3	28
M. 5 V. A		8	7	7	8	4	34
M. 5 V. B		3	8	3	6	2	22

*) Čím lépe odpovídá mechanismus požadavkům, tím více dosáhne bodů

4 Podrobné rozpracování vybraných mechanismů

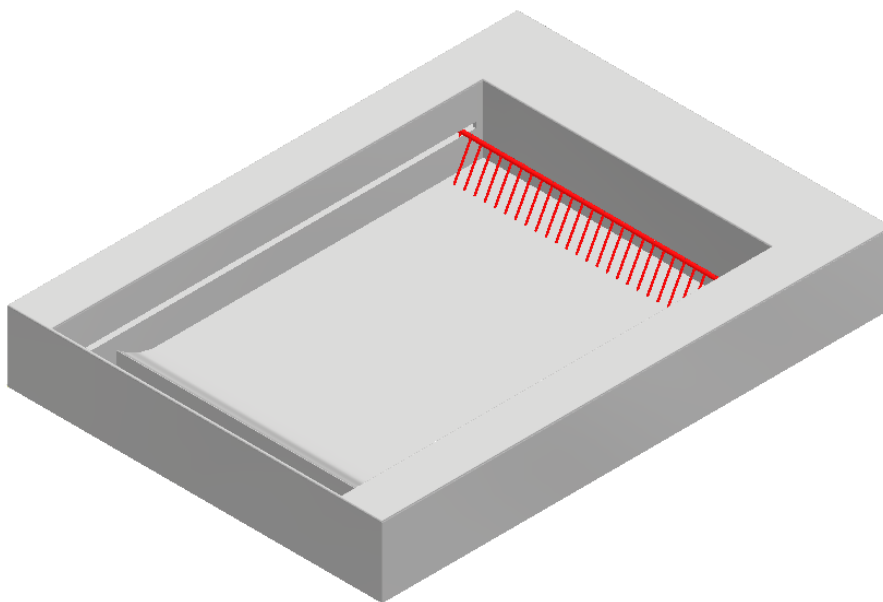
Tato kapitola se bude zabývat dvěma vybranými mechanismy. Budeme se zabývat výpočty spojenými s výkonem motoru. Dále také samotným fungováním mechanismů a výběrem mechanických součástí. Konec kapitoly je věnován zhodnocení veškerých kladů a záporů jednotlivých variant.

4.1 Mechanismus č.1 varianta A – Podélná toaleta

Princip fungování tohoto mechanismu byl již popsán v podkapitole 2.1.1. V této podkapitole bude dopodrobna rozepsán konkrétní návrh toalety, včetně všech parametrů a ostatních důležitých informací.

4.1.1 Schéma mechanismu

Na následujícím obr. 16 je zobrazeno schéma zvoleného mechanismu.

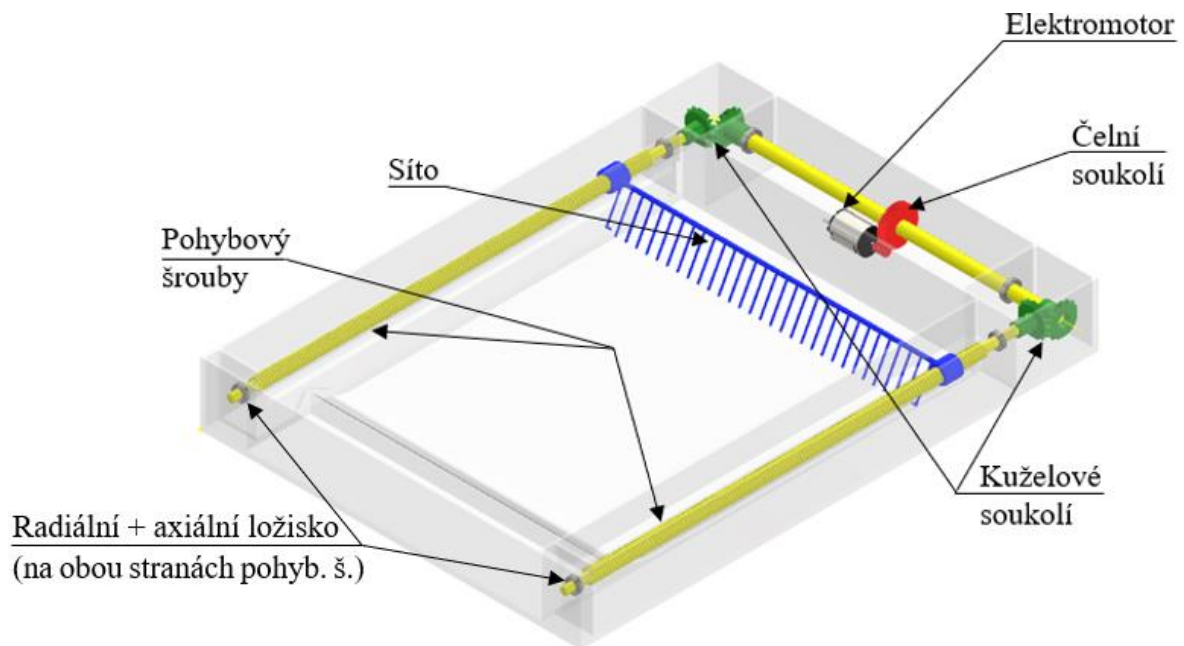


Obrázek 16: Schéma mechanismu č.1 varianta A – základní pohled

4.1.2 Princip pohybu mechanismu – kinematika

Pro popis lze využít obr. 17, kde jsou vyobrazeny veškeré zásadní komponenty zajišťující pohyb mechanismu. Zdrojem mechanické energie je elektromotor, na kterém je upevněn čelní pastorek. Tento pastorek je v záběru s větším ozubeným kolem, který uvádí do pohybu hlavní rozvodnou osu v požadovaném převodovém poměru. Na obou koncích osy jsou upevněny dvojice kuželových ozubených kol, která slouží k přenosu otáček na pohybové šrouby. Vyžadovaný lineární pohyb vzniká na dvojici pohybového šroubu a pohybové matice, následně je přenesen na síto.

Jak pohybové šrouby, tak rozvodná hřídel, jsou uloženy v jednořadých kuličkových radiálních ložiskách. Pohybové šrouby jsou navíc zajištěny axiálními ložisky, která vstřebávají veškerou axiální sílu vzniklou při pohybu síta granulátem.



Obrázek 17: Schéma mechanismu č.1 varianta A –Zobrazení komponent

4.1.3 Návrhové a kontrolní výpočty

Aby byl zajištěn správný chod mechanismu, je třeba správně navrhnout jednotlivé komponenty. Některé výpočty jsou potřebné k tomu, aby mechanismus vůbec mohl konat svou práci. Jiné jsou potřeba, aby se mechanismus nerozpadl po prvním použití.

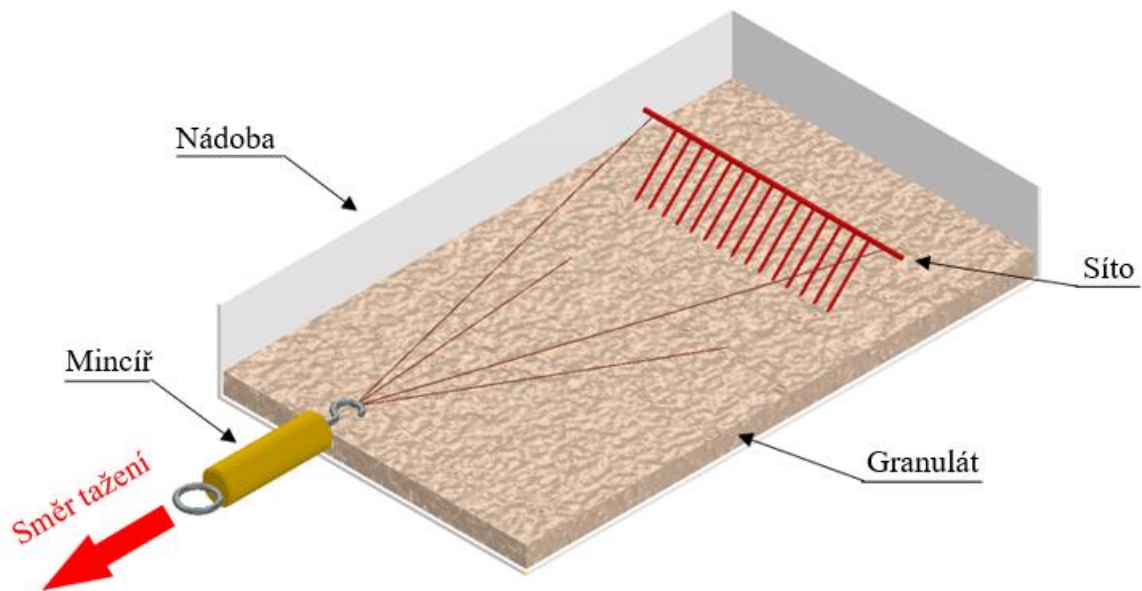
4.1.3.1 Potřebný výkon motoru

Opakovaně byl proveden experiment (viz obr. 18) na získání přibližných hodnot odporu síta, které se pohybovalo v granulátu rychlostí $v_s = 0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Parametry experimentálního síta:

- Počet příček síta: 15
- Průměr příček: 0,0025 m
- Vzdálenost příček: 0,013 m
- Hloubka zanoření příček: 0,02 m
- Experimentálně zjištěný odpor síta:
 - a) Při kolmosti příček na vodorovnou rovinu $\approx 1\,800 \text{ g} = 1,8 \text{ kg}$
 - b) Při sklonu 45° vůči vodorovné rovině $\approx 1\,200 \text{ g} = 1,2 \text{ kg}$

- Schéma experimentu:



Obrázek 18: Experiment – Získání odporu granulátu

Síto ve finální verzi návrhu bude mít 29 příček, což je zhruba dvojnásobné množství, než mělo experimentální zařízení. Z toho plyne, že i odpor bude zhruba dvojnásobný. Déle se bude z tohoto důvodu počítat s modelem, kde je sklopení síta 45°.

Když se aplikují hodnoty získané experimentem na reálné síto, vyjde výsledný odpor síta 2,4 kg, což je hodnota, která rozhodne o minimálním výkonu motoru. Ten lze vypočítat ze vztahu:

$$P_{min} = F_{O1} \cdot v_s \quad (1)$$

kde v_s bude dosahovat hodnoty $0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Sílu získáme dosazením do vzorce:

$$F_{O1} = m \cdot g \quad (2)$$

Pro získání reálného výkonu motoru se musí zohlednit, že P_{min} je výkon, který je potřeba pouze k pohybu síta. Dále ale mechanismus musí překonávat odpory v ložiskách, tření v ozubení a tření na pohybovém šroubu. Také je potřeba vzít v úvahu, že každý granulát může mít jiný odpor. Z těchto důvodů je za potřeby přenásobit minimální výkon konstantou, která zahrne jak odpory mechanismu, tak možnost většího odporu granulátu. Tato konstanta se bude značit jako „k“ a bude nabývat hodnoty 3. Využije se ve vzorci:

$$P_1 = P_{min1} \cdot k \quad (3)$$

Nyní je třeba dosadit do již zmíněných vzorců (1), (2) a (3) a získat tak výsledný požadovaný výkon motoru:

$$F = m \cdot g = 2,4 \cdot 9,81 = 23,544 \text{ N}$$

$$P_{min1} = F \cdot v = 23,544 \cdot 0,05 = 1,178 \text{ W}$$

$$P_1 = P_{min1} \cdot k = 1,178 \cdot 3 = 3,534 \text{ W}$$

Podle tohoto výpočtu je zvolen motor G 30.2 12 V od výrobce DUNKENMOTOREN, který má maximální výkon 3,65 W, což je (vzhledem k přesnosti výpočtů a experimentálně získaných dat) dostatečný výkon. [5]

4.1.3.2 Převody

Nyní je třeba vypočítat potřebný převod, který zajistí správné otáčky pohybového šroubu a tím správnou rychlost síta. Zvolený motor se točí s otáčkami $2900 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a požadovaná rychlost posuvu síta granulátem je $0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro zvolený mechanismus bude k převodu z rotačního na lineární posuv využíván posuvný šroub se závitem Tr 16x4 (Obr. 17). Z označení závitu plyne, že rozteč závitu je 4 mm, neboli za jednu otáčku se síto posune právě o 4 mm. [6]

Výsledné otáčky tedy lze vypočítat podle vzorce:

$$n_{pš} = \frac{v_s}{p_{pš}} \cdot 60 \quad (4)$$

Po dosazení do vzorce získáme požadované otáčky pohybového šroubu:

$$n_{pš} = \frac{0,05}{0,004} \cdot 60 = 750 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

Nyní již stačí vypočítat převod, který otáčky motoru převede na správné otáčky šroubu. Znamená to, že výsledný převodový poměr lze dopočítat podle vzorce:

$$i_1 = \frac{n_{m1}}{n_{pš}} \quad (5)$$

Dosazením se získá výsledný převodový poměr:

$$i_1 = \frac{2900}{750} = \frac{58}{15} = 3,87$$

Z tohoto výpočtu plyne, že počet zubů na ozubených kolech v převodu motoru bude muset být v poměru 58:15, a tudíž se bude jednat o převod do pomala (redukce). Aby nedocházelo k podřezání zubů, musí mít pastorek alespoň 17, ale maximálně 22 zubů. Zvoleno bude 19 zubů pro pastorek, z čehož lze podle následujícího vzorce (9) dopočítat počet zubů na velkém ozubeném kole pouhým přenásobením zubů pastorku převodovým poměrem:

$$z_{k1} = i_1 \cdot z_{p1} \quad (6)$$

Nyní stačí dosadit známé hodnoty:

$$z_{k1} = \frac{58}{15} \cdot 19 = 73,47 \Rightarrow 74 \text{ zubů}$$

Převod bude realizován pomocí čelního ozubení, přičemž pastorek bude uchycen přímo na ose motoru.

4.1.3.3 Hřídele

Jedná se o rozvodný hřídel, ne němž bude uprostřed uchyceno čelní ozubené kolo a na obou koncích kola šneková. Je tedy třeba navrhnout minimální dovolený průměr, a to podle momentu zvoleného motoru, který je $M_{km} = 0,0327 \text{ N}\cdot\text{m}$. Tímto momentem však bude namáhán pouze hřídel motoru. Ostatní hřídele budou namáhané momentem podstatně větším. Na převodu do pomala se totiž snižují otáčky a tím se zároveň zvyšuje kroutící moment. Výsledný moment, na který budeme dimenzovat hřídele tedy bude:

$$M_{kv1} = i_1 \cdot M_{km} \quad (7)$$

Dosazením do vzorce se získá:

$$M_{kv1} = \frac{58}{15} \cdot 0,0327 = 0,1264 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Samotné dimenzování se bude provádět podle vzorce, který lze získat úpravou a vzájemným dosazením dvou jednoduchých vzorců pro krut kruhového profilu:

- 1) Polární kvadratický moment profilu:

$$W_K = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \quad (8)$$

- 2) Dovolené napětí v krutu:

$$\tau_D = \frac{M_{kv1}}{W_K} \Rightarrow W_K = \frac{M_{kv1}}{\tau_D} \quad (9)$$

Výsledný vzorec (kombinace vzorce (8) a (9)) má tvar: [7]

$$D_{HŘ} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{kv1}}{\pi \cdot \tau_D}} \quad (10)$$

kde za τ_D bude dosazeno $25 \text{ N}\cdot\text{mm}^2$, protože se jedná o hodnotu, pod kterou žádná ocel neklesne, a tedy jí lze použít. Pokud bude zvolena ocel s větší hodnotou τ_D , výpočet se bude pohybovat na straně bezpečnosti a hřídel bude lehce předdimenzovaný. Dosazením do vzorce lze získat:

$$D_{HŘ} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 0,1264}{\pi \cdot 25}} = 0,3 \text{ mm}$$

Z tohoto výpočtu je možno vyvodit, že stačí velmi malý průměr hřídele, aby unesla požadovaný moment. Hřídel samozřejmě bude výrazně větší, aby se nacházel v normalizovaných rozměrech jak samotný hřídel, tak ložiska, která na hřídelích budou nasazená. Pro tyto důvody bude použit hřídel o minimálním průměru 8 mm.

Dále je třeba řešit pohybový šroub, který byl již zvolen. Jedná se o šroub Tr 16x4, který má nejužší průměr 10,8 mm, což také s rezervou splňuje minimální průměr. Tento šroub bude

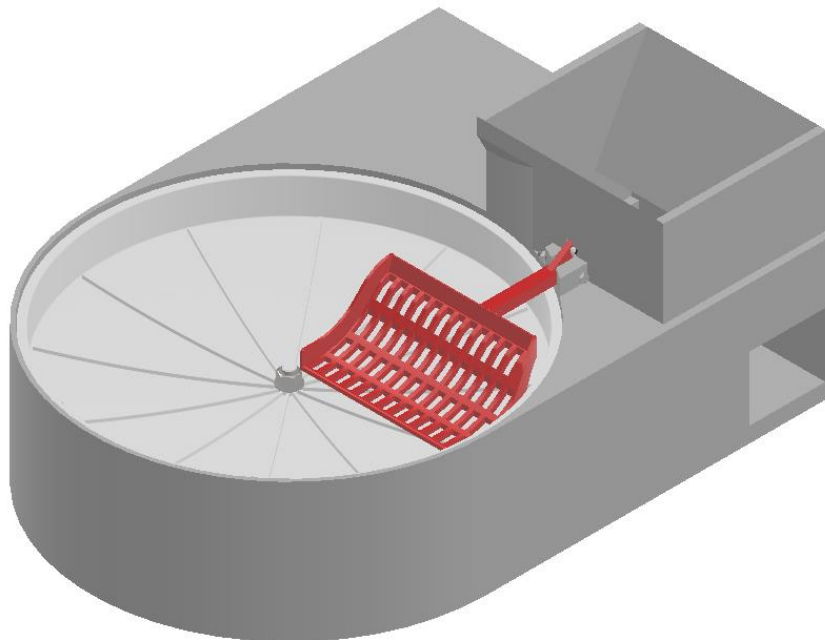
na koncích třeba obrobit, aby bylo možno nasadit ložiska. Konkrétně bude obroben na minimální zvolený průměr 8 mm tak, aby zůstalo osazení na uložení ložisek

4.2 Mechanismus č.5 varianta A – Rotační toaleta

Princip tohoto mechanismu byl zmíněn v podkapitole (2.5.1). Tato konkrétní možnost má však modifikaci vyklápěcího síta. V této části práce bude dopodrobna rozepsán již konkrétní návrh toalety, včetně všech parametrů a ostatních důležitých informací.

4.2.1 Schéma mechanismu

Na následující obr. 19 je zobrazeno schéma mechanismu.

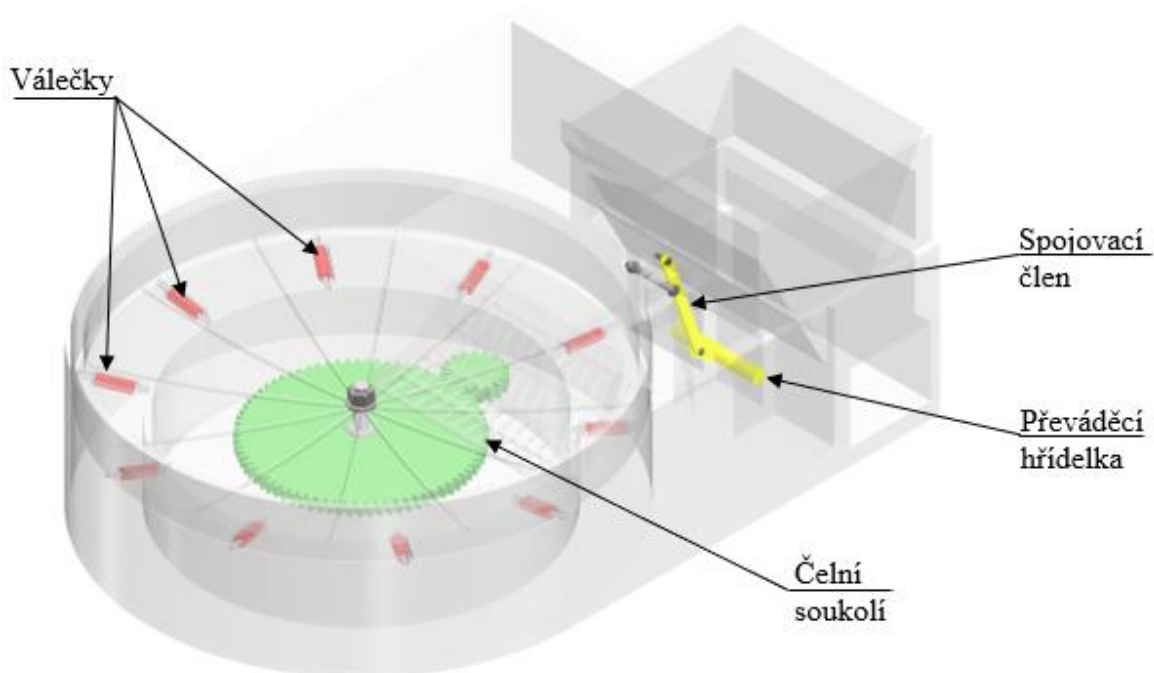


Obrázek 19: Mechanismus č.5 varianta A – Základní pohled

4.2.2 Princip pohybu mechanismu – kinematika

Na obr. 20 jsou zobrazeny zásadní komponenty (kromě motoru), které umožňují pohyb celého mechanismu. Stejně jako u podélné toalety, zdrojem mechanické energie je elektromotor, který je zapojený do sítě. Na hřídeli elektromotoru je upevněno menší ze dvou kol soukolí (pastorek), které je v záběru s větším kolem s převodovým poměrem i_2 . Větší kolo je již přímo připojeno na svislou hřídelku, která je společná i pro pohyblivé dno. To se při pohybu otáčí na válečcích uložených v tělesu nádoby. Hřídelka je uložena na dvou radiálních a jednom axiálním kuličkovém ložisku.

Síto má vlastní elektromotor, který musí být taktéž zpřevodován a to převodem i_p . Rotační pohyb elektromotoru je převeden přes převáděcí hřídel na obecný pohyb spojovacího členu, který následně přes páku způsobí pohyb samotného síta.



Obrázek 20: Mechanismus č.5 varianta A – Zobrazení komponent

4.2.3 Návrhové a kontrolní výpočty

Stejně jako u předchozího mechanismu je zde potřeba provést několik zásadních výpočtů, které zajistí správný chod a spolehlivost mechanismu.

4.2.3.1 Potřebný výkon hlavního motoru

Výkon tohoto motoru nebude nikterak velký, protože celá váha kočkolitu bude rozložena na několik válečků radiálně rozmístěných pod dnem toalety. Protože se válečky budou volně otáčet, nebude zde docházet ke smykovému tření, ale pouze k výrazně menšímu tření valivému. Sílu potřebnou k překonání takového tření lze snadno vypočítat pomocí vzorce:

$$F_t = \xi \cdot \frac{F_n}{R} \quad (11)$$

Tímto vzorcem je možno získat sílu potřebnou k překonání valivého tření u všech válečků najednou (není tedy třeba násobit počtem válečků).

Poloměr válečků je 0,006 m, síla kolmá na válečky bude rovna hmotnosti kočkolitu v rotační nádobě, což bude maximálně okolo 5 kg (≈ 50 N), koeficient valivého tření se rovná 0,002. [10] Tento koeficient odpovídá tření mezi polymerem (vana) a ocelí (válečky). Dosazením do předchozího vzorce dostaneme:

$$F_t = 0,002 \cdot \frac{50}{0,006} = 16,7 \text{ N}$$

Působíště této síly lze počítat na kružnici procházející středem válečků, která má poloměr $r_v = 0,215$ m. Výsledný moment, který bude potřeba na překonání valivého tření

způsobeného váhou kočkolitu, tedy bude vypočítán pomocí základního vzorce na výpočet momentu:

$$M_{kn} = r_v \cdot F_t \quad (12)$$

Po dosazení:

$$M_{kn} = 0,215 \cdot 16,7 = 3,6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Tímto výpočtem je získána velikost potřebného momentu na rozpořádání samotné nádoby s kočkolitem. Bude zde ale i další odpor, který bude způsoben sítím sklopeným do nádoby. Na zjištění tohoto odporu by bylo potřeba provést další experiment, který by obnášel sestavení komplikovaného měřicího aparátu. Z tohoto důvodu budou použita data, která byla získána předchozím experimentem. Velikost sklopného síta bude v porovnání s experimentálním sítím zhruba o 1/3 menší, ale z hlediska bezpečnosti budeme počítat s hodnotou získanou experimentem.

Odporová síla bude působit ve směru pohybu, tudíž se přímo promítne na potřebném kroutícím momentu. Moment se vypočítá pomocí stejného vzorce jako pro moment od tíhy kočkolitu (12), pouze je třeba dosadit jiné hodnoty:

$$M_{ks} = r_s \cdot F_{O2} = 0,125 \cdot 1,2 \cdot 9,81 = 1,47 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Celkový moment bude součtem obou momentů, které bude muset motor překonat, aby uvedl mechanismus do pohybu:

$$M_{kv2} = M_{kn} + M_{ks} \quad (13)$$

Po dosazení do vzorce pro finální velikost momentu lze získat:

$$M_{kv2} = 3,6 + 1,47 = 5,06 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Nyní je možno vypočítat potřebný výkon motoru. Lze tak učinit pomocí požadované rychlosti otáčení (úhlové frekvence) a právě získaného momentu:

$$P_{min2} = M_{kv2} \cdot \omega \quad (14)$$

kde ω nabývá hodnoty 5 za minutu, tedy 1 za 12 sekund (0,0833 za sekundu). Když se tato hodnota dosadí do vzorce společně s hodnotou získaného momentu, lze získat výkon:

$$P_{min2} = 5,06 \cdot 0,083 = 0,4 \text{ W}$$

Z důvodu ostatních odporů a bezpečnosti je zvolen koeficient bezpečnosti $k = 2$, a tedy výsledný potřebný výkon bude podle vzorce (3):

$$P_2 = P_{min2} \cdot k = 0,4 \cdot 2 = 0,8 \text{ W}$$

Je zvolen elektromotor Igarashi 20GN152025-330-GC 384:1, který má výkon 0,85 W. Díky integrovanému převodovému poměru 384:1 má výstupní otáčky pouze 20 ot/min, což je pro tyto potřeby, vzhledem k požadovaným finálním otáčkám 5 ot/min, naprosto ideální. [8]

4.2.3.2 Převody

Převodový poměr bude velmi podobný v porovnání s převodovým poměrem předchozího mechanismu. Je možno ho taktéž vypočítat podle vzorce (5):

$$i'_2 = \frac{n_{m2}}{n_v} = \frac{20}{5} = 4$$

Tento převodový poměr však není vhodný, protože při celočíselném převodovém poměru dochází k zvýšenému záběru stejných zubů a tím dochází k nerovnoměrnému opotřebení ozubených kol. Zvolíme proto počty zubů tak, aby výsledný převodový poměr vycházel neceločíselný.

Nejdříve je třeba zvolit počet zubů na pastorku. Dle podmínky proti podřezávání ($17 \div 22$ zubů) bude na pastorku 19 zubů. Z toho plyne, že na velkém kole by mělo být podle vzorce (6) 76 zubů. Přidáním jednoho zubu na kole se změní převodový poměr, podle modifikovaného vzorce (5), na:

$$i_2 = \frac{z_{k2}}{z_{p2}} = \frac{77}{19} = 4,053$$

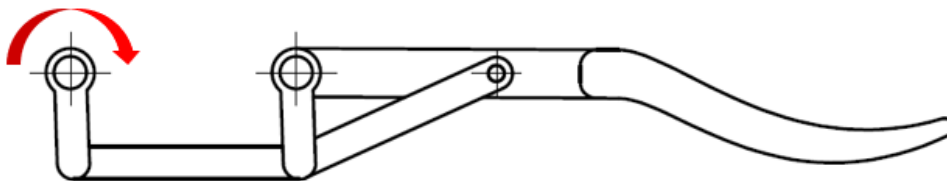
Touto úpravou je zajištěno rovnoměrné opotřebení obou kol soukolí a změna na výsledných otáčkách nádoby bude zanedbatelná.

4.2.3.3 Výpočty spojené se sklopným sítem

U tohoto mechanismu se vyskytuje navíc problematika sklopného síta. Toto síto bude realizovat odstranění nežádoucího odpadu z kočkolitu a jeho následný transport na sběrné místo. Znamená to tedy, že bude muset vykonávat rotační pohyb v rozmezí cca 120° . Tento pohyb z důvodu jednodušší konstrukce bude vykonán zvláštním motorem o velmi malém výkonu, který bude mít na starosti pouze sklápění síta.

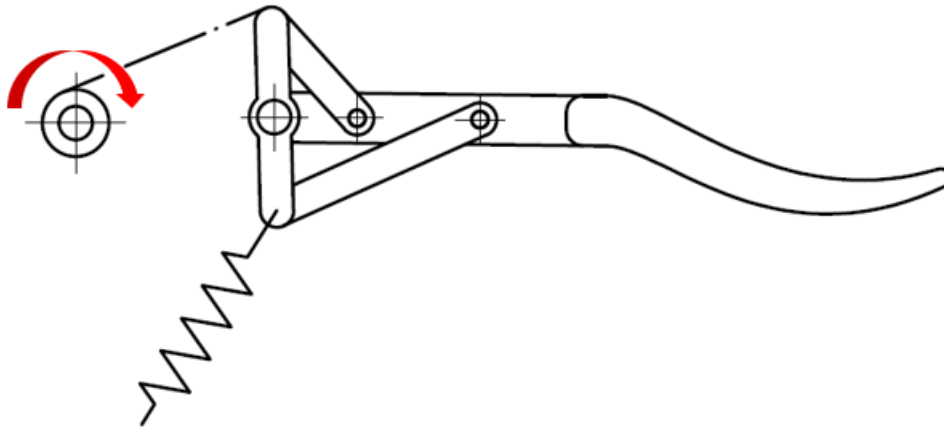
Samotný mechanismus sklápění by šel realizovat několika způsoby:

- 1) Motorem s dostatečným převodem (obr. 21). Síto by bylo propojeno s osou vystupující z převodu tuhými součástmi. Tato osa by se musela točit jen velmi malými otáčkami (cca 2 ot/min). Bylo by tedy nutno realizovat poměrně velký převod a zároveň by na osu působil poměrně zásadní kroutící moment.



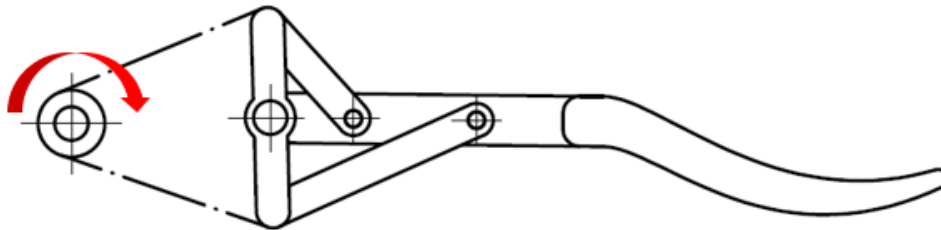
Obrázek 21: Přenos momentu pomocí tuhého elementu

- 2) Pomocí navijáku a pružiny (obr. 22). Na hřídel motoru by byl připevněn malý buben, na který by se navíjelo lanko připevněné k horní straně síta. K dolní straně by byla připevněna pružina, která by působila proti lanku. Při realizaci pohybu dolů by lanko povolovalo a pružina by síto přitáhla směrem dolů. Při pohybu nahoru by se lanko naopak navíjelo, pružina napínala a síto by se vrátilo zpět do horní úvratě.



Obrázek 22: Přenos momentu pomocí lanka a pružiny

- 3) Pomocí dvou lanek (obr. 23). Princip je velmi podobný jako u předchozí varianty s tím rozdílem, že by na ose motoru byly dva bubny. Když by se motor točil na jednu stranu, jedno lanko by se povolovalo a druhé navíjelo a při rotaci na druhou stranu by se pohyby lanek prohodily. Tímto způsobem by se pomocí lanek dal ovládat pohyb jak nahoru, tak dolů.



Obrázek 23: Přenos momentu pomocí 2 lanek

Přesto že u přenosu momentu přes pevnou součást se budou muset výrazně snižovat otáčky, stejně tato varianta vychází nejnvýhodněji a hlavně nejspolehlivěji – lanko se může špatně navinout a pružina může prasknout, nebo ztratit sílu.

Nyní je třeba navrhnout správný motor. Nejprve se vypočítá síly působící na obou koncích síta, které lze počítat využitím páky. Maximální zatížení konce síta s mřížkou lze odhadnout s rezervou na 0,25 kg. Vzdálenost středu hmotnosti tohoto konce od osy rotace je 0,18 m a vzdálenost druhého poháněného konce je 0,024 m. Nejprve se určí síla na straně síta (2):

$$F_{\text{odpadu}} = m \cdot g = 0,25 \cdot 9,81 = 2,45 \text{ N}$$

Poté se dopočítá síla na druhé straně podpory vyjádřením F_P ze vzorce:

$$F_{Odpadu} \cdot l_1 = F_P \cdot l_2 \quad (15)$$

z čehož se po dosazení získá následující:

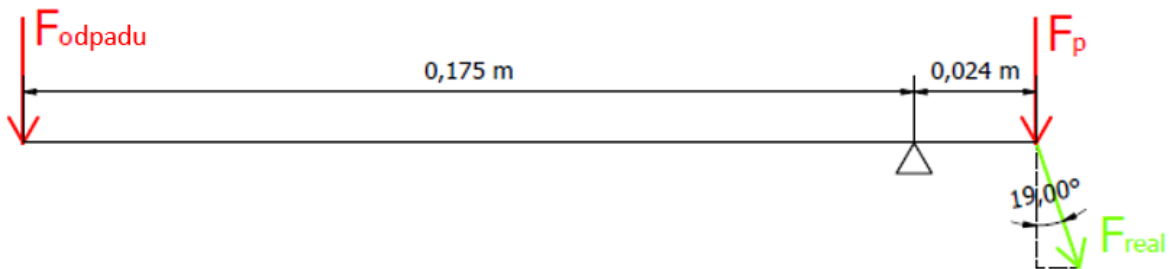
$$F_{Odpadu} \cdot 0,175 = F_P \cdot 0,024 \Rightarrow F_P = \frac{0,175}{0,024} \cdot F_{Odpadu} = 17,86 \text{ N}$$

Ze síly F_P na kratším konci páky se vypočítá síla F_{real} , kterou je potřeba na síto působit (síla se bude podle polohy a změny úhlu měnit, ale v počáteční poloze, pro kterou je síla počítána, bude dosahovat svého maxima). Síla působí pod úhlem 19° , protože z konstrukčních důvodů to je nejpříhodnější. Musí se tedy dle zákonů goniometrických funkcí podělit $\cos(19^\circ)$:

$$F_{real} = \frac{F_P}{\cos(19^\circ)} = 18,89 \text{ N} \quad (16)$$

Pomocí síly F_{real} , která bude přenesena přes pevný element na osu hnanou motorem, lze vypočítat potřebný moment dle vzorce (12):

$$M_{kp} = r_{F_P} \cdot F_P = 0,034 \cdot 18,89 = 0,64 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Obrázek 24: Síly působící na síto

Pomocí hodnoty momentu společně s hodnotou úhlové frekvence, která bude cca 3 min^{-1} (rychlost byla určena experimentálně), je možné získat minimální potřebný výkon motoru (14):

$$P_{min3} = M_{kp} \cdot \omega = 0,64 \cdot 0,05 = 0,032 \text{ W}$$

Dle tohoto výkonu je zjevné, že největší omezení spojené s motorem bude převod otáček na velmi nízkou hodnotu. I po přenásobení bezpečnostní konstantou ($k=3$) je třeba motor pouze s výkonem $0,1 \text{ W}$. Je zvolen motor od značky Motraxx SR30-18150-38RA+V+C. Jedná se o motor s výkonem $0,52 \text{ W}$ a s $4\,760 \text{ ot/min}^{-1}$. [9]

Dle vzorce (5) se pomocí otáček dopočte potřebný převodový poměr:

$$i_s = \frac{n_m}{n_p} = \frac{4\,760}{3} = 1\,587$$

Protože vychází značný převodový poměr, bude nejjednodušší využít sériově vyráběnou převodovku Sol Expert G1000. Tato mikro-převodovka má převod $1:1000$ a zároveň má

kovová ozubená kola, takže bude i spolehlivá. Z toho plyne, že zbytkový převodový poměr bude: [30]

$$i_z = \frac{i_p}{i_{mp}} = \frac{1\,587}{1\,000} = 1,587 \quad (17)$$

Tento převod už je velmi snadno dosažitelný. Podle stejných principů zmíněných v předchozích výpočtech počty zubů na pastorku a na ozubeném kole vycházejí:

- Pastorek: 17 zubů
- Ozubené kolo: 27 zubů

Podle volby počtu zubů vychází výsledný převodový poměr 1 588,24, což odpovídá veškerým požadavkům.

4.3 Srovnání variant

Nyní je třeba srovnat pozitiva a negativa jednotlivých variant. Byla sestavena tabulka (tab. 2) veškerých kladů a záporů obou variant. Podle tohoto srovnání se provede volba výsledného mechanismu, kterým se práce bude zabývat v následující kapitole:

Tabulka 2: Srovnání mechanismů

	Podélná toaleta	Rotační toaleta
Výhody:	<ul style="list-style-type: none"> • Jednoduchá konstrukce • Nízká cena • Vysoká efektivita • Praktický tvar z hlediska umístění • Vše je zařízeno pomocí jednoho motoru • Lepší přístupnost pro kočku • Snadné ovládání 	<ul style="list-style-type: none"> • Veškeré převody uskutečněné pomocí čelního ozubení • Praktický tvar z hlediska umístění • Vzhledově zajímavější • Snazší shromažďování odpadu
Nevýhody:	<ul style="list-style-type: none"> • Potřeba převodu pomocí kuželových kol • Využití pohybového šroubu • Vzhledově nezajímavé 	<ul style="list-style-type: none"> • Zapotřebí dva motory • Komplikovanější mechanismus • Využívá mikro-převodovku (vysoká cena) • Více komponent – větší možnost poškození • Poměrně složité elektronické ovládání

Nepodařilo se však provést potřebné experimenty prověřující účinnost jednotlivých variant. Důvodem bylo uzavření laboratoří z důvodů epidemiologických opatření (kvůli šířícímu se viru Covid-19). Z tohoto důvodu se toto kritérium nevyskytuje v tabulce srovnání.

Z tabulky plyne celkem jednoznačný výsledek. Finálním mechanismem bude podélná toaleta – mechanismus č. 1 varianta A. Jedná se o celkově výhodnější variantu s jednodušší konstrukcí.

5 Zvolený mechanismu – Podélná toaleta

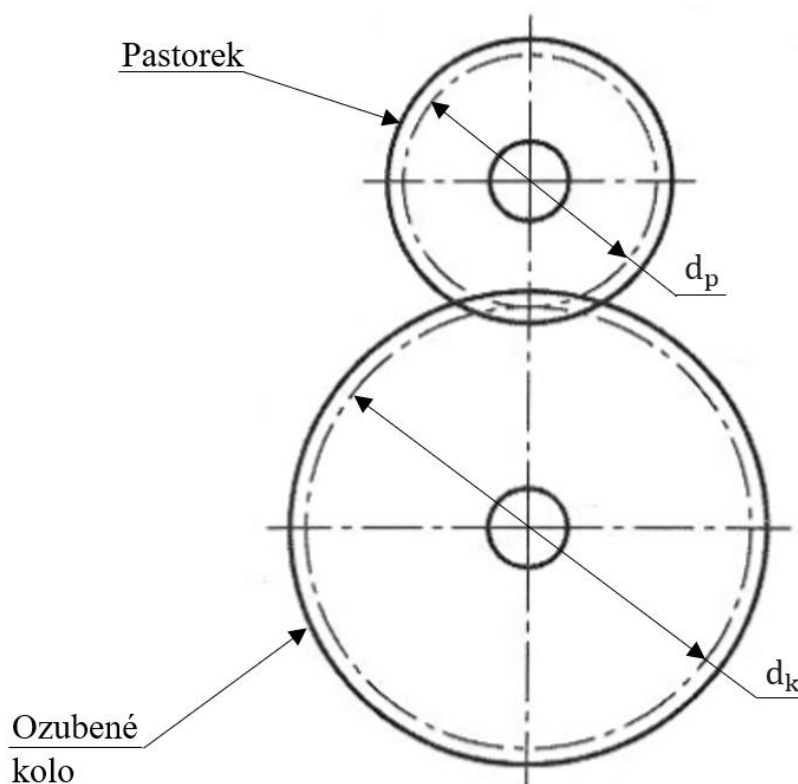
Tato kapitola se bude zabývat doplňujícími výpočty, které jsou potřeba k optimálnímu návrhu toalety. Dále zde bude návrh celkového designu toalety, aby byla vhodná k používání i z pohledu kočky. Toto hledisko je stejně důležité jako mechanické vlastnosti a optimalizace. Nakonec bude celý mechanismus naceněn, protože cena je v dnešní době rozhodující parametr jak pro výrobce, tak pro většinu spotřebitelů.

5.1 Doplňující výpočty

V kapitole 3 byla již vypočítána část hlavních parametrů potřebných pro sestavení alespoň předběžného návrhu – potřebný výkon motoru, převodový poměr ozubení, počty zubů ozubených kol a minimální potřebný průměr hřídelů. K úplnému návrhu je však potřeba vypočítat výrazně větší množství hodnot a získat více podstatných informací.

5.1.1 Čelní ozubení

Velmi důležitou součástí tohoto mechanismu je převod, který je realizován čelním ozubením (viz obr. 17). Zatím byl vypočítán pouze převodový poměr a s tím spojený počet zubů. To však nevypovídá nic o samotné velikosti a konkrétní geometrii kol. Proto je za potřebí vypočítat modul a následně kolové průměry.



Obrázek 25: Schéma čelního ozubení

5.1.1.1 Modul ozubení

Modul ozubení je jeden ze základních parametrů ozubených kol, který určuje mohutnost jednotlivých zubů. Pro jeho výpočet se využívá následujícího vzorce: [7]

$$m'_n = f_p \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{KV1} \cdot K_F}{\left(\frac{b_{WF}}{m_n}\right) \cdot z \cdot \sigma_{FP}}} \quad (18)$$

kde f_p nabývá hodnoty 18, K_F hodnoty 1,3, $\frac{b_{WF}}{m_n}$ hodnoty 20 a σ_{FP} pro námi zvolený materiál dosahuje 200 MPa podle normy DIN 3990. Tato hodnota se vztahuje na materiál S235JR, ze kterého jsou kola vyrobena. Kola by šla udělat pravděpodobně i z plastových materiálů, ale po zvážení této možnosti bylo rozhodnuto, že plastová ozubená kola bývají většinou první místo poruchy. Z hlediska vyšší spolehlivosti tedy byla zvolena levnější ocel. Dosazením do vzorce (18) se získá:

$$m'_n = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,1264 \cdot 1,15}{20 \cdot 74 \cdot 200}} = 0,153 \text{ mm}$$

Tímto výpočtem byla získána minimální hodnota modulu. Kdyby byl však využit takto malý modul, způsobilo by to velmi malou osovou vzdálenost kol (konkrétně 5,58 mm), takže by nebylo možné vedle sebe umístit rozvodovou osu a motor. Z tohoto důvodu volíme modul 0,5 mm, což zajistí dostatečnou osovou vzdálenost a dostatek místa na upevnění motoru.

Je nutno zmínit, že modul byl počítán pro větší kolo soukolí. Aby soukolí správně pracovalo, je třeba zajistit, aby obě kola měla stejný modul.

5.1.1.2 Roztečné průměry kol

Pomocí modulu je již možno dopočítat roztečné průměry obou kol (obr. 25). K výpočtu je potřeba pouze modul a počet zubů kol:

$$d = m_n \cdot z \quad (19)$$

Dosazením parametrů pro obě kola se získají jejich průměry:

$$d_p = 0,5 \cdot 19 = 9,5 \text{ mm}$$

$$d_k = 0,5 \cdot 74 = 37 \text{ mm}$$

Výsledná osová vzdálenost bude 23,25 mm. Tato vzdálenost však není celočíselná a bylo by s ní obtížné pracovat. Je proto třeba použít korekci ozubení, aby se osová vzdálenost dostala na celočíselnou vzdálenost 24 mm. Velikost korekce je hodnota, o kolik se musí vzájemně vzdálit osy:

$$\text{korekce} = l_{ov} - \frac{1}{2}(\varnothing d_p + \varnothing d_k) = 24 - 23,25 = 0,75 \quad (20)$$

Korekce ale není parametr určující geometrii ozubení. Musí se proto ještě dopočítat velikost jednotkového posunutí x (jedná se o bezrozměrnou veličinu): [11]

$$x = \frac{\text{korekce}}{m_n} = \frac{0,75}{0,5} = 1,5 \quad (21)$$

Nyní je potřeba celkovou jednotkovou korekci rozdělit podle vzorců (22) a (23) na korekce pastorku a kola x_p a x_k :

$$x_k = \frac{x}{\frac{z_k}{z_p} + 1} \quad (22)$$

$$x_p = x - x_k \quad (23)$$

Po dosazení se získají výsledné hodnoty:

$$x_k = \frac{1,5}{\frac{74}{19} + 1} = 0,306$$

$$x_p = 1,5 - 0,306 = 1,194$$

Výsledná korekce kola vychází 0,306 a výsledná korekce pastorku 1,194.

5.1.1.3 Šířka ozubení

Posledním parametrem je šířka ozubení. Lze jí vypočítat pomocí poměrné šířky a modulu ozubení: [7]

$$b_k = \left(\frac{b_{WF}}{m_n}\right) \cdot m_n = 20 \cdot 0,5 = 10 \text{ mm} \quad (24)$$

Je zvykem dělat pastorek o m_n širší než kolo, aby byl zajištěn záběr celé délky zubů. Šířka pastorku b_p tedy bude šířka kola $b_k + m_n$ což je 10,5 mm. Tímto výpočtem se dopočítal poslední důležitý parametr pro sestavení ozubení.

Tabulka 3: Výčet parametrů ozubení

	z	m [mm]	d [mm]	b [mm]	x [mm]
Pastorek	19	0,5	9,5	10,5	0,306
Kolo	75	0,5	37	10	1,194

5.1.2 Kuželové ozubení

Kuželové ozubení je v tomto mechanismu využito k převodu kroutícího momentu z rozvodového hřídele na pohybové šrouby (viz obr. 17). Neslouží však ke změně otáček nebo velikosti momentu, bude tedy na obou kolech stejný počet zubů. Velikost a parametry soukolí nebudou dány ani tak převáděným momentem a otáčkami, jako spíše minimální velikostí. Ta umožní napojení na hřídel o průměru 10 mm. Protože kolo bude výrazně větší, než by vzhledem k momentu potřebovalo být při výrobě kol z oceli, lze si dovolit využít k výrobě plast.

Konkrétně bude využíván plast PLA (tab. 4), protože je velmi snadno tisknutelný, má nízkou cenu a zároveň má dobré mechanické vlastnosti. Nevýhodou je pouze relativně nízká teplota skelného přechodu, což pro toto využití ale není rozhodující. Mechanismus bude vždy jen krátký časový interval v chodu, takže se nestihne zahřát na nebezpečné teploty. [12]

K radiálnímu upevnění ozubených kol bude užito těsné pero DIN 6885-1 A a pro axiální zajištění stavěcí šroub ISO 2342. Stavěcí šroub je použit z důvodu snadné konstrukce, a protože bude přenášet jen velmi malou axiální sílu.

Tabulka 4: Srovnání plastů využívaných k 3D tisku [12]

Materiál	PLA	ABS	PET-G
Modul pružnosti [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]	4 000	2 200	1 900
Pevnost v ohybu [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]	80	65	64
Pevnost v tahu [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]	110	73,5	53
Teplota skelného přechodu [$^{\circ}\text{C}$]	60	105	81

5.1.2.1 Návrh soukolí

Soukolí bude (jak již bylo zmíněno) navrženo podle minimálního potřebného prostoru pro nasazení na hřídel o průměru 10 mm. Nejprve se musí zvolit počet zubů. Tento počet bude pro obě kola 19. Dále je třeba zvolit modul, který rozhodne o výsledné velikosti výsledného prostoru. Ideálních rozměrů kolo nabývá pro modul 1,25 mm.

5.1.2.2 Kontrola

Pevnostní kontrolu provedeme pomocí programu Inventor 2020 (obr. 26). Podle tohoto výpočtu vychází všechny součinitele bezpečnosti s velkou rezervou, kola tedy můžeme použít.

Generátor komponent – kuželová ozubená kola

Metoda pevnostního výpočtu
ISO 6336:1996

Zatížení

	Kolo 1	Kolo 2
Výkon	P 3,65 W	0,004 kW
Otáčky	n 750 rpm	750,00 rpm
Krouticí moment	T 0,046 N m	0,046 N m
Účinnost	η 0,980 ul	

Materiálové hodnoty

Kolo 1 Vlastní

Kolo 2 Vlastní

Mez únavy v ohybu	σ_{Flim} 80 MPa	80 MPa
Mez únavy v dotyku	σ_{Hlim} 110 MPa	110 MPa
Modul pružnosti	E 4000 MPa	4000 MPa
Poissonova konstanta	μ 0,42 ul	0,42 ul
Tepelné zpracování	0 ul	0 ul

Požadovaná životnost L_h 1000 hr

19:53:54 Návrh: Výpočet skončil úspěšně!

Výsledky

F_t	4,889 N
F_n	5,292 N
v	0,747 mps
n_{E1}	88516,561 rpm
Kolo 1	
F_{r1}	1,432 N
F_{r2}	1,432 N
F_{a1}	1,432 N
F_{a2}	1,432 N
S_H	5,933 ul
S_F	49,349 ul
S_{Hst}	17,802 ul
S_{Fst}	76,539 ul
Kolo 2	
F_{r1}	1,432 N
F_{r2}	1,432 N
F_{a1}	1,432 N
F_{a2}	1,432 N
S_H	6,358 ul
S_F	38,547 ul
S_{Hst}	60,527 ul
S_{Fst}	72,737 ul

Vypočítat OK Storno >>

Obrázek 26: Kontrola kuželového ozubení v aplikaci Inventor 2020

5.1.3 Ložiska

Pro potřeby této toalety budou stačit ložiska co nejjednodušší a nejlevnější, jelikož budou jen málo frekventovaně používána a jejich celková doba provozu bude maximálně v řádu desítek hodin. Zároveň síly, které budou na ložiska působit, nebudou nijak velké.

Pro uložení osy hnané přes čelní ozubený převod budou použita pouze ložiska radiální, neboť veškeré axiální síly generované na kuželovém ozubení se navzájem anulují (na obou koncích kuželové soukolí, které bude působit opačnými silami). Budou tedy použita valivá kuličková ložiska 608 2RS CN výrobce China. [13]

Pohybový šroub bude namáhán na rozdíl od zmíněného hřídele nezanedbatelnou axiální silou. Veškerá síla odporu stélky bude v pohybovém šroubu převedena právě na axiální sílu, která nebude příliš velká. Přesto by bylo záhodno využít ložisek přizpůsobených k odolávání vůči axiálním silám. Pro velikost hřídele 8 mm se však nevyrábí ani kuželíková ložiska, ani

ložiska kuličková s kosoúhlým stykem. Využije se proto kombinaci radiálních a axiálních kuličkových ložisek, která budou zajišťovat uložení na obou stranách šroubu. Konkrétně budou využita ložiska F 8-19 od výrobce EZO. [14]

5.2 Vyjímání nečistot

Hlavní funkcí toalety je oddělování nečist od zbytku podestýlky. Separace je konána sítím, které veškerý odpad nabere a dotlačí na určené místo. Tímto místem je sběrný šuplík, který je umístěn na konci pohybu síta.

Ve finální fázi pohybu bude síto vytlačeno po rampě. Na jejím konci se díky volnému rotačnímu uložení síta v pohybové matici vlastní tíhou překloupí a veškerý odpad vysype na sběrné místo.

Na vnitřní straně bočnic nádoby budou navařeny dvě obdélníkové tyček. Ty budou zajišťovat vedení síta při zpětném pohybu, aby bylo zatlačeno zpět do kočkolitu. Poté už jen zbývá vysunout šuplík s odpadem a vysypat do koše.

5.3 Materiál a montáž

V této kapitole je shrnuto, které součásti budou vyrobeny z jakých materiálů (Tab. 5). Je zde odůvodnění proč a také naznačení způsobu celkové výroby a montáže. Číselné označení jednotlivých vyráběných součástí je znázorněno na následujícím obrázku č. 27.

Samotné tělo toalety bude vyrobeno z relativně tenkého nerezového plechu, který bude nejdříve nařezán na potřebný tvar, poté naohýbán a nakonec svařen. Finální tvar bude tvořen jen pomocí dvou dílů, takže většinu hran ani nebude třeba svařovat. Přepážky, které ponesou přes ložiska pohybové šrouby budou obrobena z PVC desek a vloženy mezi navařené profily. Shora budou na místě pojištěny poklopem celé toalety.

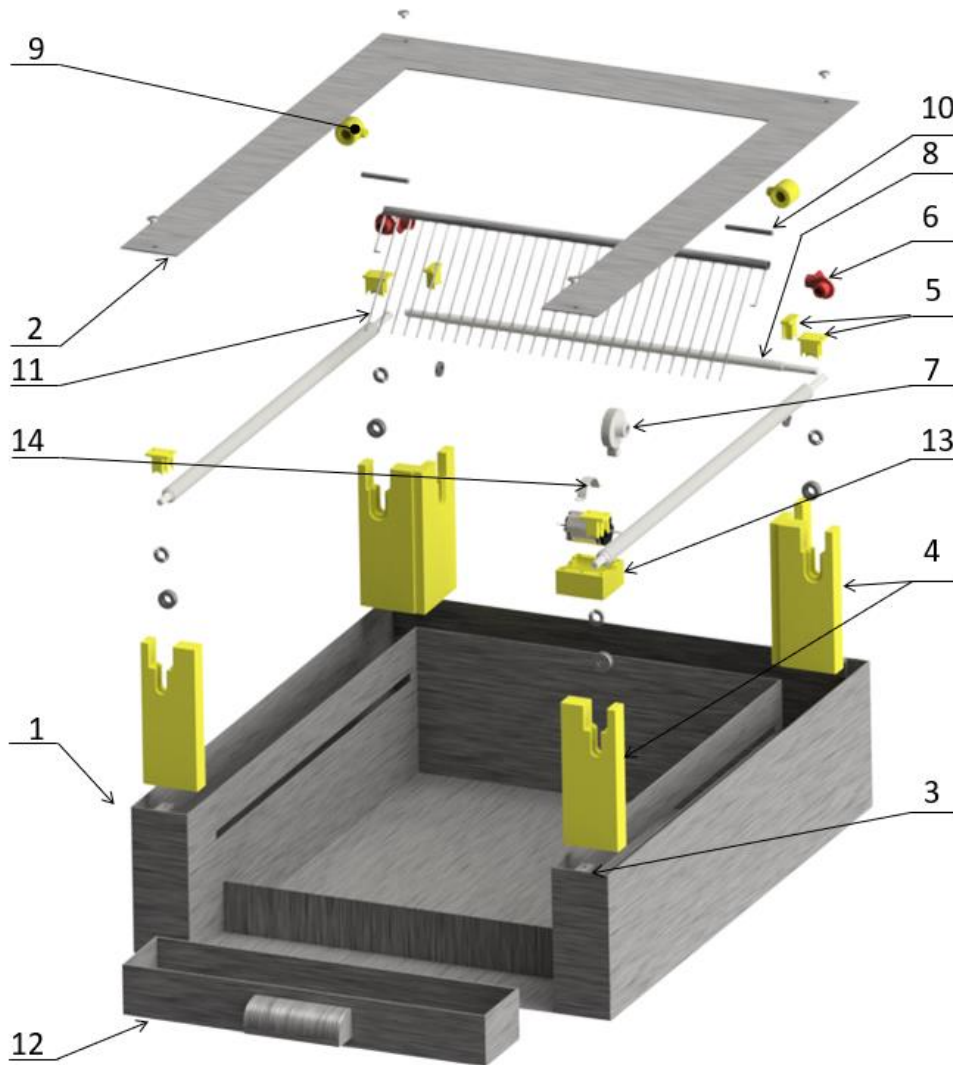
Jeví se ještě možnost celou schránku včetně přepážek vytisknout na 3D tiskárně, což by výrazně usnadnilo celou konstrukci. Nebylo by zapotřebí řezání, ohýbání, svařování a navařování profilů na upevnění přepážek. S tímto ulehčením by ale přibylo několik zásadních nevýhod.

Plastový 3D tisk v dnešní době není ještě dostatečně vyvinutý na to, aby se vyplatilo tisknout relativně snadné tvary o velkých rozměrech, protože celkové náklady vycházejí nesrovnatelně velké oproti jiným metodám a zároveň by celý proces trval několikanásobně déle. Zároveň je nerezová ocel ve srovnání s běžnými plasty chemicky stálejší, což je pro toto využití třeba. Také ji lze lépe čistit. Další nevýhodou plastů je v porovnání s nerezovou ocelí vzhled, což může být pro spoustu potenciálních zákazníků také rozhodující.

Ostatní kovové materiály jsou vyrobené taktéž z nerezové oceli. Je to z důvodu jak lepší vzájemné svařitelnosti, tak z důvodu vizuální ucelenosti.

Tabulka 5: Materiály vyráběných součástí

Č.	Součást	Materiál	Polotovary	Odůvodnění
1	Schránka	Ocel nerez ČSN 17 240	Plech nerez 1,5-1000- 2000 mm [15]	Vzhled, nižší cena než 3D tisk, chemická stálost a odolnost
2	Poklop	Ocel nerez ČSN 17 240	Plech nerez 1,5-1000- 2000 mm	Vzhled
3	Profily	Ocel nerez ČSN 17 240	L profil EN 10056-3-25- 25 [16], U profil EN 106162-3-100-50 [20]	Lepší vzájemná svařitelnost
4	Přepážky	PE	Desky tloušťky 10 a 20 [23]	Odolný, snadno tisknutelný a opracovatelný
5	Víka	ABS	Filament ABS [17]	Odolný, snadno tisknutelný a opracovatelný
6	Kuželové ozubení	PLA	Filament PLA [18]	Relativně levný, tvrdý a snadno tisknutelný plast
7	Čelní ozubení	Ocel S235JR	Tyč kruhová ČSN 42 5510-40-20 [24], 42 5510-12-12 [26]	Odolnější než plast, snadno opracovatelná, levná
8	Hřídel	Ocel S235JR	Tyč kruhová ČSN 42 5510-10-450 [25]	Levná, dostatečně pevná
9	Pohybová matice	PLA	Filament PLA	Relativně levný, tvrdý a snadno tisknutelný plast
10	Spojky	Ocel nerez ČSN 17 240	Tyč kruhová EN 10278-8-50 [21]	Schopnost přenášet větší zatížení než plast, větší odolnost
11	Síto	Ocel nerez ČSN 17 240	TR EN 10217-10-1 [19], Tyč kruhová EN 10278-2-120 [21]	Vysoká pevnost, vzhled
12	Šuplík	Ocel nerez ČSN 17 240	Plech nerez 1,5-1000- 2000 mm	Vzhled
13	Držák motoru	PLA	Filament PLA	Vhodné pro komplikovaný tvar
14	Upínka	Ocel ČSN 41 1321	Plech 1-1000-2000 [29]	Cena



Obrázek 27: Rozložený model toalety

5.4 Elektronika a ovládání

Mechanismus je poháněn elektromotorem, který vyžaduje poměrně snadné ovládání. Bude zajištěno pomocí časovače, který po stisknutí tlačítka uvede motor do pohybu. Když se matice na pohybovém šroubu dostane do finální polohy, časovač přepne polaritu napětí a tím i směr otáčení motoru a síto se vrátí zpět do původní polohy.

Motor je určen pro napětí 12 V, takže ho lze napájet pomocí baterií, nebo přímo ze sítě 230 V/50 Hz. Je zvolena varianta napájení ze sítě, protože se poté majitel toalety nemusí starat o výměnu nebo dobíjení baterií. Zároveň není problém způsob napájení změnit dle přání zájemce. V případě napájení ze zásuvky je třeba využít měnič, který přímo mění napětí 230 V na 12 V. [23]

5.5 Přibližná kalkulace nákladů (na materiál)

V této kapitole je probrán zvolený mechanismus z hlediska financí. Výsledná cena produktu se skládá ze 2 hlavních částí: materiál a práce. Do výsledné ceny je samozřejmě nutno započítat i další náklady: skladování, distribuce, energie, reklama atd.

Je třeba se zabývat hlavně materiálem, protože právě ten je možno nejvíce ovlivnit návrhem mechanismu. Cenu práce již není tak snadné vypočítat, protože se bude zásadně odvíjet od počtu kusů, které bude třeba vyrobit. Do materiálů jsou zařazeny jak polotovary potřebné k výrobě vlastních součástí (tab. 5), tak veškeré kupované součásti (tab. 6), které jsou ke konstrukci využité.

Tabulka 6: Přehled cen vyráběných součástí

Součást	Cena polotovaru *)	Potřebné množství z polotovaru	Cena využití části *) [Kč]
Schránka	952,00 Kč/m ²	0,942 m ²	896,78
Poklop	952,00 Kč/m ²	0,104 m ²	99,01
Profily	126,00 Kč/m	0,668 m	84,17
	631,00 Kč/m	0,050 m	31,55
Přepážky	1 965,00 Kč/m ²	0,032 m ²	62,88
	995,00 Kč/m ²	0,022 m ²	21,01
Víka	442,15 Kč/kg	0,024 kg	10,61
Kuželové ozubení	478,51 Kč/kg	0,011 kg	5,18
Čelní ozubení	326,46 Kč/m	0,020 m	6,53
	28,43 Kč/m	0,012 m	0,34
Hřídel	19,53 Kč/m	0,433 m	8,85
Pohybová matice	478,51 Kč/kg	0,014 kg	6,70
Spojky	39,00 Kč/m	0,100 m	3,90
Síto	33,00 Kč/m	0,402 m	13,266
	5,00 Kč/m	3,480 m	17,40
Šuplík	952,00 Kč/m ²	0,084 m	79,97
Držák motoru	442,15 Kč/kg	0,046 kg	19,90
Upínka	259,92 Kč/m ²	0,0007 m	0,18
Pohybový šroub	461,50 Kč/m	1,078 m	497,50
Celkem	-----	-----	1 865,73

*) Uvedené ceny jsou bez DPH

Tabulka 7: Přehled kupovaných součástí [22], [27], [28], [31]

Součást	Počet kusů	Cena za kus *) [Kč]	Cena celkem *) [Kč]
Ložisko axiální	4	145,20	580,8
Ložisko radiální	6	8,47	50,82
Motor	1	Odhadem 1 000	1 000
Spínač	1	210,18	210,18
Časovač	1	109,15	109,15
Zdroj + kabel	1	140,00	140
Šroub s drážkou	4	3,22	12,88
Pero	5	1,44	7,2
Šroub stavěcí	5	0,43	2,15
Závlačka	2	0,71	1,42
Šroub s válcovou hlavou M4x12	12	0,64	7,68
Šroub s válcovou hlavou M5x35	6	1,17	7,02
Matice 6hr.	2	0,8	1,6
Celkem	-----	-----	2 130,9

*) Uvedené ceny jsou bez DPH

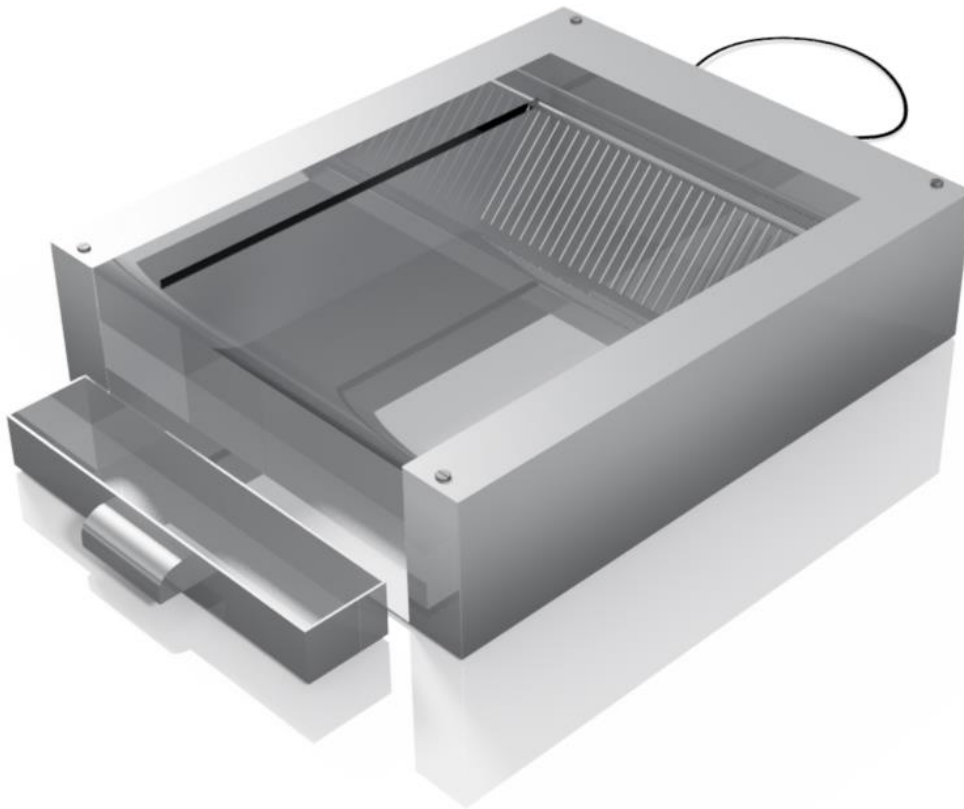
U elektromotoru se nepodařilo dohledat přesnou cenu, a tak je použit jen odhad podle ostatních dostupných modelů od výrobce.

Celková cena potřebných materiálů a zakoupených součástí k výrobě je tedy **3 996,6** Kč. Tato cena však platí pro případ, že je všechen potřebný materiál kupován po jednotlivých kusech. Kdyby se materiál kupoval po větších množstvích přímo od dodavatelů, bylo by bezpochyby možno cenu výrazně snížit.

5.6 Design

Poslední důležitou podkapitolou je design celé toalety. Významnou součástí finálního vzhledu je samozřejmě materiál, ze kterého je celá toaleta vyrobena. Tímto materiálem je nerezová ocel. Částečně bylo rozhodnutí učiněno v závislosti na potřebné chemické odolnosti, udržitelné čistotě a kvalitě. Zároveň však bylo učiněno v závislosti na vzhledu, kde nerezová ocel překonává většinu jiných kovových materiálů.

Snaha byla navrhnout design, který bude jednoduchý, snadný na výrobu, ale přesto elegantní a moderně vyhlížející. Bylo využito pouze jednoduchých tvarů a co nejméně viditelných komponent (Obr. 28 a 29).



Obrázek 28: Finální design – pohled zepředu



Obrázek 29: Finální design – pohled zezadu

6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout automatizovanou kočičí toaletu, která bude splňovat několik základních parametrů: funkčnost, jednoduchost, vzhled a cena. Postupně bylo navrženo několik mechanismů, ze kterých byl vybrán jeden, který nejlépe splňoval požadavky. V závěru byl zvolen za nejlepší mechanismus č.1 varianta – A. Jedná se o podélný mechanismus, pracující na velmi podobném principu jako toaleta ScoopFree, která byla již zmíněna v podkapitole 2.1.2.

Dále byly provedeny veškeré důležité výpočty, umožňující výrobu optimalizovaného mechanismu. Veškeré součásti, které by mohly podléhat opotřebení, byly navrženy z takových materiálů, které zaručují co nejvyšší trvanlivost a spolehlivost. Naopak ty součásti, u kterých nehrozí zvýšené opotřebení, byly navrženy tak, aby byla co nejvíce ulehčena jejich výroba a snížena cena.

Finální verze mechanismu odpovídá zvoleným požadavkům na návrh. Je poměrně jednoduchý, funkční, snadno rozebratelný a zároveň opravitelný, vzhledově poutavý a relativně levný. Co se ceny týče, jedná se jen o hrubý odhad, ale zároveň se jedná o maximální cenu, kterou by materiál mohl stát. Celkově se podařilo úspěšně navrhnout automatizovanou toaletu, která má všechny požadované vlastnosti.

7 Seznam použité literatury

- [1] Roll'n Clean Litter box | Self Cleaning Litter Box | omegapaw.com [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <http://www.omegapaw.com/products/roll-clean-litter-box.html>
- [2] SVĚTKRMIV.CZ | krmivo pro psy a kočky levně a rychle | svetkrmiv.cz [online]. [cit. 13.04.2021] Dostupné z: <https://www.svetkrmiv.cz/petsafe-automaticka-toaleta-pro-kocky-scoopfree-original-p200596/#gallery>
- [3] Toaleta pro kočky s automatickým čištěním CatGenie | Kočičí toaleta CatGenie. | catgenie.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.catgenie.cz/roboticka-toaleta-catgenie-120-bez-poklopu-P57b46b78ba16b/>
- [4] Dropohs – Eshop na klíč | dropohs.cz [online]. [cit. 13.04.2021] Dostupné z: https://dropohs.cz/docs/images_0c/1591408818_0b43df86.jpg/orig
- [5] Stejnoseměrné kartáčové motory Dunkermotoren řady G 30.1/2 | RAVEO s.r.o. | WORLD OF MOTION | raveo.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/stejnosemerne-kartacove-motory-dunkermotoren-G-30-1-2>
- [6] Ložiska, řemeny, těsnění | Mateza.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/vodici-jednochody-trapezovy-sroub-levy-tr-16-x-4-l-1000-mm>
- [7] KUGL, Otmar. *Projekt: III. ročník*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01638-2.
- [8] Igarashi stejnosměrný elektromotor | Conrad.cz [online]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/igarashi-stejnosmerny-elektromotor-prevodovy-20gn152025-330-gc-3841-120-vdc-015-a-250-nmm-20-otmin-prumer-hridele-1711494>
- [9] Motraxe stejnosměrný motor | Conrad.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/motraxe-stejnosmerny-motor-sr30-18150-38ra-v-c-sr30-18150-38ra-v-c-30-vdc-033-a-105-nmm-4760-otmin-prumer-hridele-1711497>
- [10] Valivé tření a rameno valivého odporu | Fyzikální tabulky | converter.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>
- [11] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šestá vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.

- [12] Rozdíl mezi ABS, PLA a PETG | Materiály a doplňky pro 3D tisk – filamenty | Materialpro3d.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>
- [13] Miniaturní ložisko 608 2RS CN China | Korbel | korbel-loziska.cz [online]. [cit. 13.04.2021] Dostupné z: <https://www.korbel-loziska.cz/sortiment/miniaturni-loziska-5/608-2rs-cn/p72.html>
- [14] Miniaturní ložisko F8-19 M EZO China | Korbel | korbel-loziska.cz [online]. [cit. 13.04.2021] Dostupné z: <https://www.korbel-loziska.cz/sortiment/miniaturni-axialni-loziska-111/f-8-19-m-ezo/p2323.html>
- [15] Plech - 1.4301 - 2B: 1,5 x 1000 x 2000. Nerezový materiál | inerez.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/plech-1-4301-2b-1-5-x-1000-x-2000-116686.html>
- [16] Nerezové L profily rovnoramenné. Nerezový materiál | inerez.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/nerezove-profilu/nerezove-l-profilu/>
- [17] ABS filament antracit black 1,75 mm Print With Smile 1kg | Materiály a doplňky pro 3D tisk – filamenty | Materialpro3d.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/abs-1-75/abs-filament-antracit-black-1-75-mm-print-with-smile-1kg/>
- [18] PLA tisková struna černá 1,75 mm 1 kg Filament PM | Materiály a doplňky pro 3D tisk – filamenty | Materialpro3d.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/pla-1-75/pla-filament-cerny-1-75-mm/>
- [19] Svařované nerez trubky - 1.4301. Nerezový materiál | inerez.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/nerezove-trubky-a-jekly/nerezove-trubky-svarovane/svarovane-nerez-trubky-1.4301/>
- [20] Nerezové U profily – ohýbané. Nerezový materiál | inerez.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/nerezove-profilu/nerezove-u-profilu-ohybane/>
- [21] Kruhová tažená nerez ocel - 1.4301. Nerezový materiál | inerez.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/nerezove-profilu/nerezove-kulatiny/nerezova-ocel-kruhova-tazena-EN-10278/kruhova-tazena-nerez-ocel-1.4301/>
- [22] R16DFNSTAG | Tlačítkový spínač | cz.rs-online.com [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/tlacitkove-spinace/6903249/>

- [23] Polyetylenové desky PE300 | multiplast.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.multiplast.cz/eshop/polyetylenove-materialy-87/polyetylenove-desky-484>
- [24] Ocel kruhová 40 mm | Kondor.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/ocel-kruhova-40mm/d-78114/>
- [25] Ocel kruhová 10 mm | Kondor.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/ocel-kruhova-10mm/d-78834/>
- [26] Ocel kruhová 12 mm | Kondor.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/ocel-kruhova-12mm/d-78271/>
- [27] LED zdroj 12V 24W zásuvkový | t-led.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: https://www.t-led.cz/p/led-zdroj-12v-24w-zasuvkovy-5305?artnr=227&size=227&gclid=CjwKCAjwr_uCBhAFEiwAX8YJgcIwFja02A3Gcul79cTXaisFrX7IR-XcQ91dE9q92rBq0vDbrk7VhBoCXskQAvD_BwE
- [28] Samořezný šroub se zaoblenou hlavou s nákrůžkem a s křížovou drážkou | manutan.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: https://www.manutan.cz/cs/mcz/samozny-sroub-se-zaoblenou-hlavou-s-nakruzkem-a-s-krizovou-drazkou-ocel-pozinkovane-cerne-pasivovane-99822029mr?gclid=Cj0KCQjw0oCDBhCPARIsAI3C_GerMO9FcK-2rkKwEUWfUJx6b-Va2eP0ZUJbv6PeO1tWbi4YZGBUKkaAmdSEALw_wcB
- [29] Feromat – eShop | shop.feromat.cz [online]. [cit. 13.04.2021]. Dostupné z: <https://shop.feromat.cz/index.php?Akce=Hledej&Hodnota=OBPD&IdP=13#street.php?IdP=13&Akce=Obj&Hodnota=15000000058057&IdVazby=0>
- [30] Sol Expert G1000 | Conrad.cz [online]. [cit. 24.04.2021]. Dostupné z: https://www.conrad.cz/p/sol-expert-g1000-mikroprevodovka-g-1000-kovova-ozubena-kola-11000-1-15-otmin-1289388?&vat=true&gclid=CjwKCAjwg4-EBhBwEiwAzYAlspzuhV3_jUeDD37znLCwru7i1KBhBNavamhLapjlpkpME0FyhKzTJxoCrI0QAvD_BwE
- [31] Šrouby, s válcovou hlavou | eshop.bmkco.cz [online]. [cit. 24.04.2021]. Dostupné z: <https://eshop.bmkco.cz/cs/B2C/smd/srouby-s-valcovou-hlavou-din-912-drazka-imbus?k=777&fm=ocel%208.8&fu=zinek%20b%C3%AD1%C3%BD>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Mechanismus toalety Paw Roll'n Clean.....	5
Obrázek 2: Kočičí toaleta Paw Roll'n Clean [1]	6
Obrázek 3: Mechanismus toalety ScoopFree	6
Obrázek 4: Kočičí toaleta ScoopFree [2]	7
Obrázek 5: Kočičí toaleta CatGenie [3]	7
Obrázek 6: Litter-Robot III [4].....	8
Obrázek 7: Mechanismus č.1 – varianta A.....	9
Obrázek 8: Mechanismus č.1 – Varianta B	10
Obrázek 9: Mechanismus č.2.....	10
Obrázek 10: Mechanismus č.3.....	11
Obrázek 11: Mechanismus č. 4 – Varianta A.....	12
Obrázek 12: Mechanismus č.4 - Varianta B.....	12
Obrázek 13: Mechanismus č.4 - Varianta C.....	13
Obrázek 14: Mechanismus č.5 - Varianta A.....	14
Obrázek 15: Mechanismus č.5 - Varianta B.....	14
Obrázek 16: Schéma mechanismu č.1 varianta A – základní pohled.....	16
Obrázek 17: Schéma mechanismu č.1 varianta A –Zobrazení komponent.....	17
Obrázek 18: Experiment – Získání odporu granulátu	18
Obrázek 19: Mechanismus č.5 varianta A – Základní pohled.....	21
Obrázek 20: Mechanismus č.5 varianta A – Zobrazení komponent.....	22
Obrázek 21: Přenos momentu pomocí tuhého elementu	24
Obrázek 22: Přenos momentu pomocí lanka a pružiny	25
Obrázek 23: Přenos momentu pomocí 2 lanek	25
Obrázek 24: Síly působící na síto	26
Obrázek 25: Schéma čelního ozubení	29
Obrázek 26: Kontrola kuželového ozubení v aplikaci Inventor 2020	33
Obrázek 27: Rozložený model toalety.....	36
Obrázek 28: Finální design – pohled zezadu	39
Obrázek 29: Finální design – pohled zepředu	39

Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání mechanismů a jejich variant.....	15
Tabulka 2: Srovnání mechanismů	27
Tabulka 3: Výčet parametrů ozubení.....	31
Tabulka 4: Srovnání plastů využívaných k 3D tisku [12]	32
Tabulka 5: Materiály vyráběných součástí.....	35
Tabulka 6: Přehled cen vyráběných součástí.....	37
Tabulka 7: Přehled kupovaných součástí [22], [27], [28], [31].....	38

Seznam příloh

Příloha 1: Sestavný výkres

Příloha 2: Výrobní výkres – pohybový šroub

Příloha 3: Výrobní výkres – Šuplík (svařenec)

Příloha 4: Celková výkresová dokumentace na CD (12 výrobních výkresů, sestavný výkres, kontury a kusovník)