

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

**Modelovanie a simulácia mechatronických
systémov s aplikačným využitím pre
Výskumné laboratórium nelineárnych
podaktuovaných systémov**

Bakalárska práca

Príloha D

Tutoriál modelovania a riadenia mechatronických systémov s
využitím moderných simulačných nástrojov

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Slávka Jadlovská, PhD.

Bakalár:

Martin Durkáč

Konzultant bakalárskej práce:

Ing. Slávka Jadlovská, PhD.

Košice 2018

Obsah

1 Úvod	1
2 Modelovanie jednoduchého kyvadla v programe Fusion 360	1
3 Importovanie kyvadla do prostredia OnShape	6
4 Importovania kyvadla do Simulinku	7
5 Spätnoväzobné riadenie	9
6 Záver	10
Zoznam obrázkov	10

1 Úvod

V tejto príručke stručne opíšem postup modelovania v programe Fusion 360 a následný import namodelovaného systému do programu Matlab/Simulink. Prostredie Simscape Multibody len na základe definície kinematickej štruktúry zostaví pohybové rovnice a vytvorí vizualizáciu dynamiky navrhnutého modelu. Nakoľko je tento toolbox implementovaný ako knižnica Simulink, u je jednoduché navrhnuť riadenie na navrhnutý systém a porovnávať výsledky riadenia.

2 Modelovanie jednoduchého kyvadla v programe Fusion 360

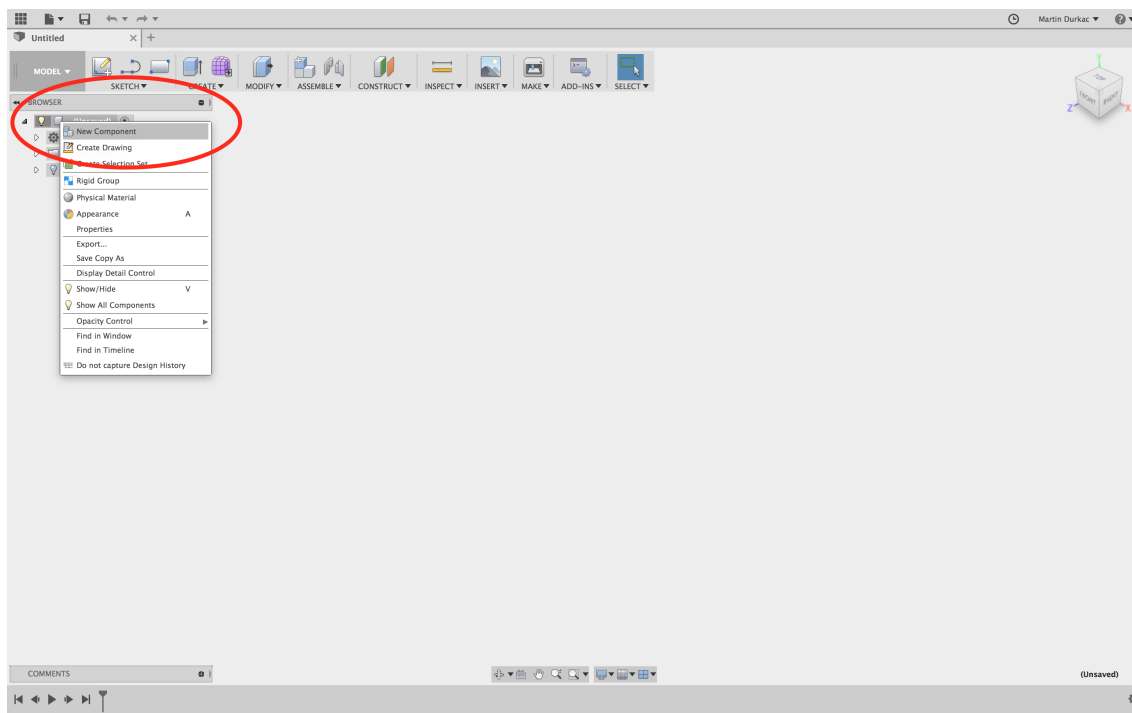
Pred samotným začatím uvediem, že program Fusion 360 od firmy Autodesk je dostupný pre študentov vysokých škôl a podporuje platformy Windows a Mac. Po klasickej inštalácii a otvorení programu si musíme vybrať záložku **Model**.

Prvým krokom pri vytvorení nového komponentu je kliknutím pravého tlačidla myši na názov projektu (*Unsaved*) a zvoliť **New Component**. Po aktivovaní tohto komponentu môžeme vytvoriť prvý náčrt **Create Sketch**. Vyberieme si, kde chceme začať kresliť. Odporúčam si zvoliť dolnú stenu. **2-1**

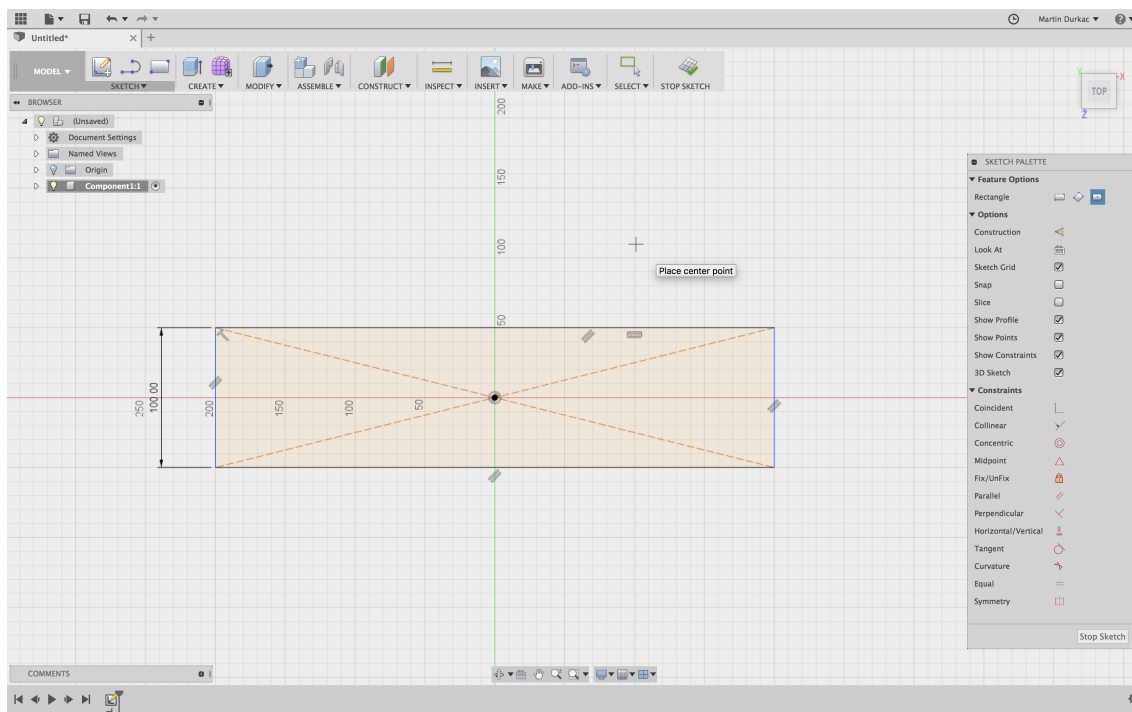
Z ponuky **Sketch** si vyberieme záložku **Rectangle** a v nej **Center Rectangle**. V osi **X** nastavíme hodnotu 400 mm a v osi **Y** hodnotu 100 mm. **2-2**

Klikneme na **Stop Sketch** pre ukončenie náčrtu. Z ponuky **Create** si vyberieme položku **Extrude**. Klikneme na nakreslený obdĺžnik a vysunieme tento tvar do 3D priestoru o 20 mm. Dôležité je si vybrať správny smer, čo je možné meniť aj pomocou záporných hodnôt a *Operation* musíme nastaviť na **New Body**. Následne klikneme **OK**.

Na vrchnú plochu nášho kvádra položíme nový náčrt kliknutím na **Create Sketch** a následným zvolením vrchnej plochy kvádra. Stlačíme klávesu **L** alebo si vyberieme z ponuky **Line**. Uchytíme stredný bod objektu a natiahneme čiaru hore o dĺžke 35

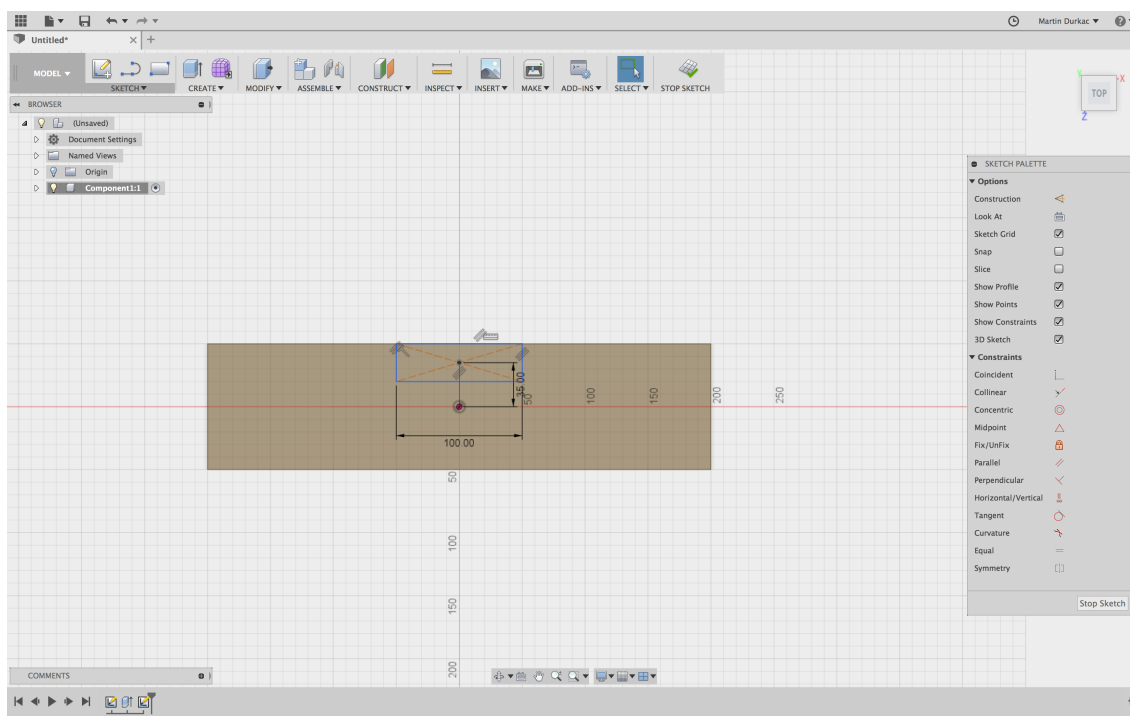


Obr. 2–1 Prvý krok pri vytváraní komponentu



Obr. 2–2 Vytvorenie náčrtu obdĺžníka

mm. Opäť použijeme **Center Rectangle** so stredom na konci čiary, ktorú sme si nakreslili. Šírka obdĺžníka bude po hranu kvádra, čiže 30 mm a dĺžku nastavíme na 100 mm. Výsledok je možné vidieť na obrázku 2–3

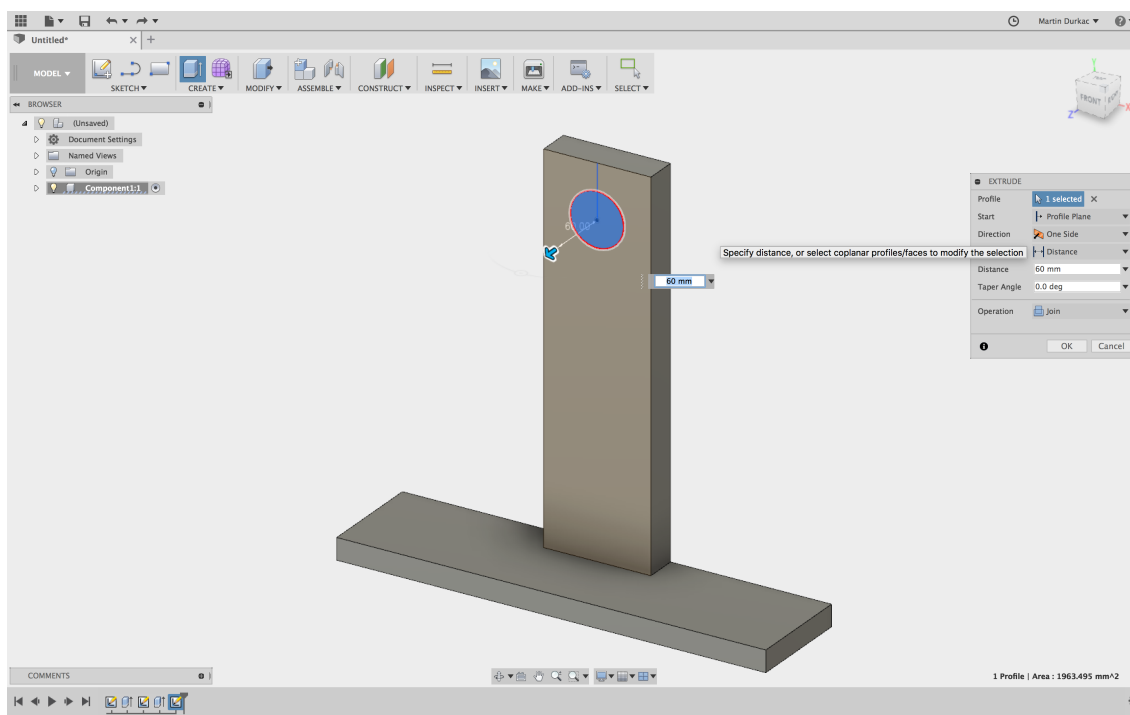


Obr. 2–3 Vytvorenie náčrtu nového obdĺžníka

Ukončíme proces náčrtu **Stop Sketch** a použijeme **Extrude** na vytiahnutie tohto obdĺžníka o hodnotu 350 mm.

Vytvoríme nový náčrt na prednej strane objektu, ktorý sme práve vytiahli do priestoru. Použitím klávesnice **L** urobíme čiaru zo stredy vrchnej hrany kvádra a potiahneme ju smerom dole o hodnotu 50 mm. Stlačíme klávesnicu **C** pre vytvorenie kruhu a do konca čiary urobíme kruh o priemere 50 mm. Náčrt ukončíme a vytiahneme tento kruh do priestoru smerom k nám použitím **Extrude** o hodnotu 60 mm. 2–4

Po skompletizovaní podstavy nášho kyvadla je čas urobiť samotné kyvadlo. Najprv klikneme na meno projektu (*Unsaved*) a zvolíme **New Component**. Po vytvorení nového komponentu nám vytvorená podstava zmení farbu na priesvitnú a my mô-

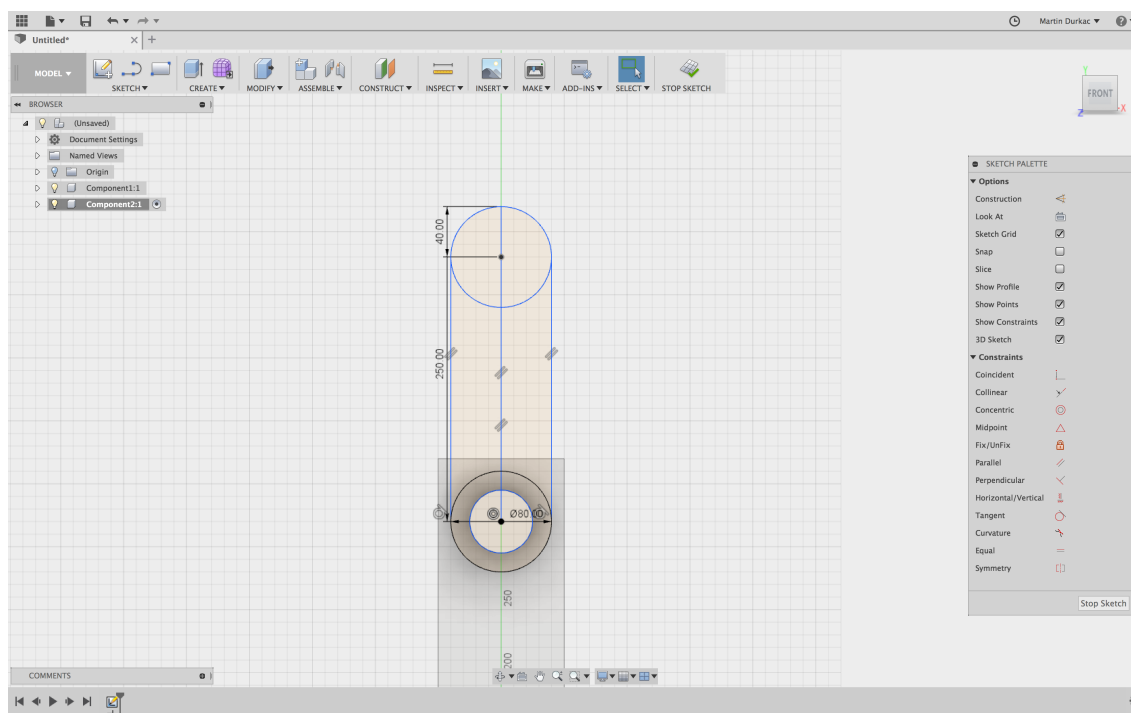


Obr. 2–4 Namontovaný kĺb pre jednoduché kyvadlo

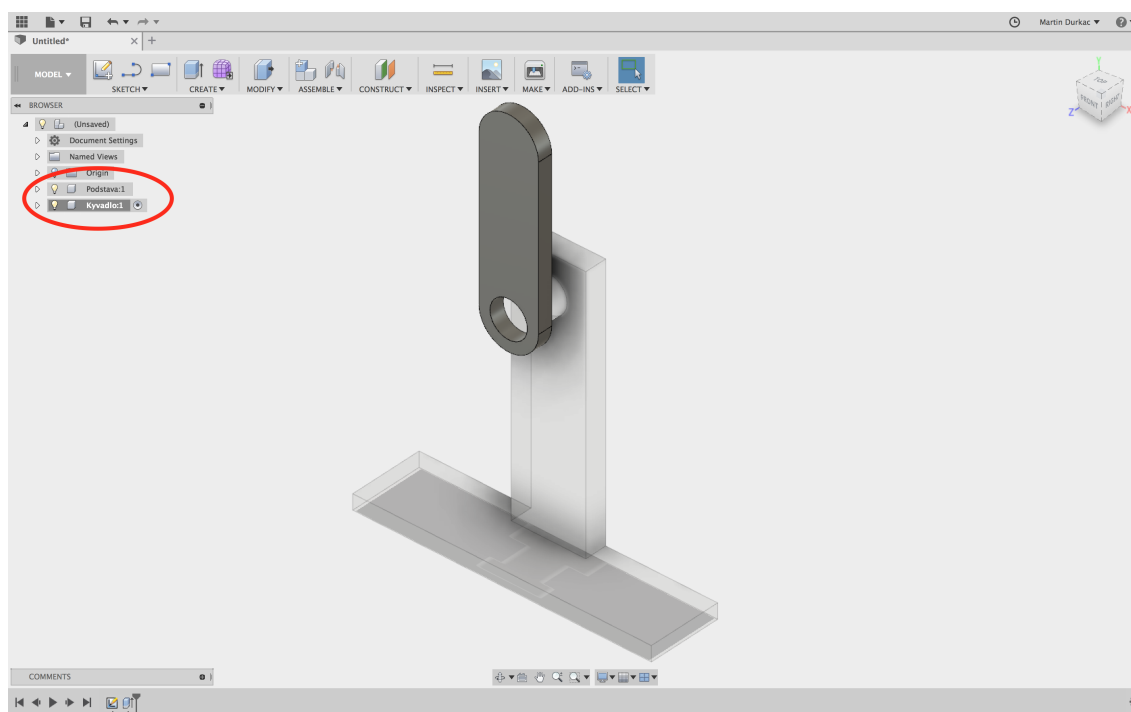
žeme vytvárať nový komponent. Klikneme na vytvoriť náčrt a ako plochu si zvolíme valcový držiak kyvadla. Najprv vytvoríme kruh o priemere 50 mm, aby nám vytvoril vnútro ramena kyvadla, ktoré sa bude otáčať okolo valca. Vytvoríme ďalší kruh s rovnakým stredom, ale s priemerom 80 mm. Čiaru z tohto počiatku natiahneme smerom hore o hodnotu 250 mm. Z konca tejto čiary potiahneme novú čiaru smerom dole o dĺžke 40 mm. Z tohto konca kratšej čiary vytvoríme nový kruh o priemere 80 mm. Medzi kruhmi natiahneme čiary a kyvadlo je načrtnuté. Tento náčrt je možné vidieť na obrázku 2–5.

Pri vyťahovaní objektu do priestoru teraz ideme v smere od nás (dozadu k podstave) a je dôležité si vybrať všetky útvary okrem kruhu s priemerom 50 mm. Vyťahovať objekt budeme teda o hodnotu -20 mm (proti smeru dopredu). Následne som týmto objektom zmenil meno a výsledok je možné vidieť na obrázku 2–6

Po ukončení súbor uložíme do formátu .STEP. Klikneme na **File -> Export...** -> projekt si nazveme -> vyberieme *Type: .STEP* -> uložíme do počítača.



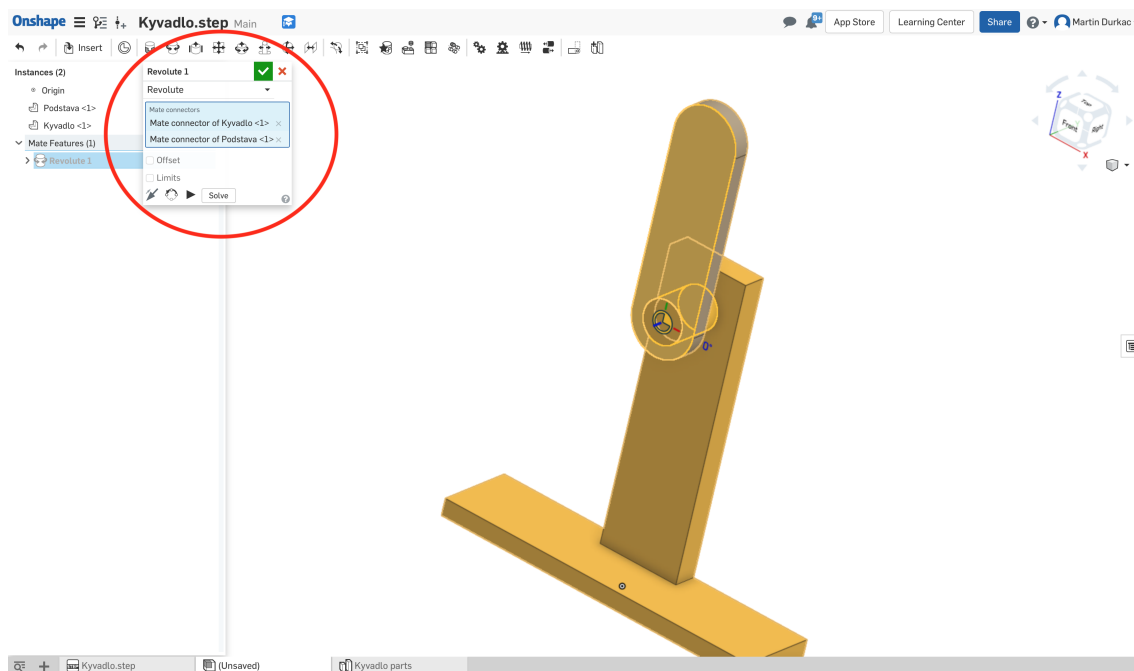
Obr. 2–5 Náčrt jednoduchého kyvadla



Obr. 2–6 Výsledný model jednoduchého kyvadla

3 Importovanie kyvadla do prostredia OnShape

Internetová aplikácia OnShape je zadarmo pre študentov, stačí sa registrovať cez študentský email. Po spustení aplikácie vyberieme **Create -> Import files.. ->** vyberieme si naše kyvadlo -> **OK ->** označíme položku **Imported models are in 'Y Axis Up' coordinates -> OK**. Po chvíli sa náš súbor objaví medzi všetkými súborami. Po rozkliknutí v spodnej časti aplikácie vyberieme tretiu položku *Kyvadlo parts*. V ľavo dole sa nachádzajú časti nášho systému (*Parts*). Pravým tlačidlom vyberieme možnosť **Edit appearance...** a vyberiem farby našim objektom. Pre definovanie kĺbov si v spodnej časti vyberieme druhú záložku (v mojom prípade (Unsaved)). Vyberieme si položku **Revolute mate**. Vyberieme spojenie, ako je na obrázku 3–1, a klikneme na tlačidlo **Animate mate degree of freedom**. Ak sa systém natáča podľa predstáv, klikneme na zelené tlačidlo potvrdenia. Okrem toho klikneme na *Podstava* pravým tlačidlom a vyberieme možnosť **Fix**. V tomto kroku je potrebné skopírovať adresu *url* z prehliadača, ktorú využijeme v nasledujúcom kroku.



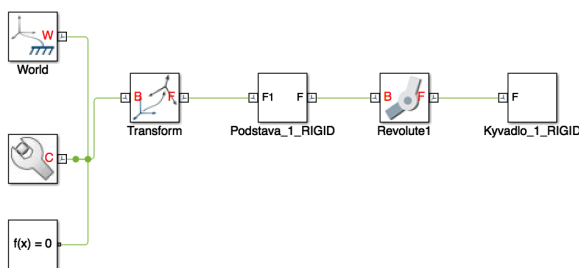
Obr. 3–1 Definovanie kĺbu v programe OnShape

4 Importovania kyvadla do Simulinku

Predpokladom pre úspešné vykonanie tohto kroku je Matlab R2017a s toolboxom Simscape Multibody.

Prvým krokom je zadať príkaz do Matlabu v tvare `smexportonshape('url')`. Namiesto `url` použijete adresu získanú z predchádzajúceho kroku. Matlab najprv potrebuje overenie mena a hesla pre účet na OnShape. Po zadaní príkazový riadok Matlabu vráti .xml súbor do premennej `ans`.

Použitím príkazu `smimport(ans)` sa nám vytvorí schéma v Simulinku pomocou blokov Simscape Multibody.



Obr. 4 – 1 Importované kyvadlo v prostredí Simulinku

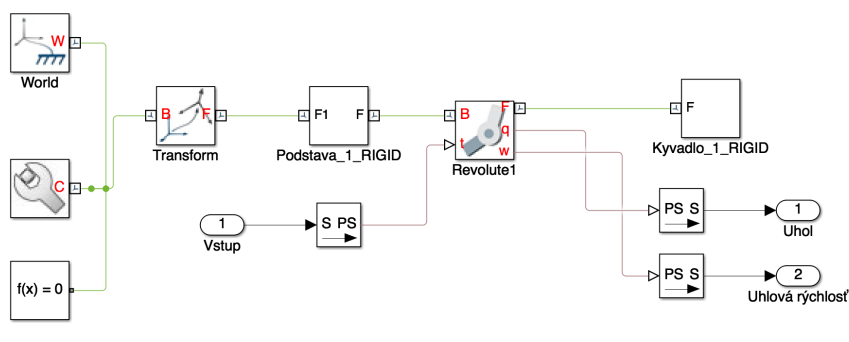
V bloku označenom znakom kľúča zmeníme položku *Gravity* na hodnotu $[0 \ 0 \ -9.81]$. Dvojklikom sa dostaneme do subsystému *Podstava_1_RIGID*, kde v bloku *Solid* označenom modrou kockou nastavíme parametre bloku *Podstava*. V záložke **Inertia** vyberieme pod **Type** možnosť **Calculated from Geometry, Based on** -> **Mass** a nastavíme hodnotu 4 kg.

Dvojkliknutím do subsystému *Kyvadlo_1_RIGID*, postupujeme rovnako ako v prípade podložky, ale hmotnosť nastavíme na hodnotu 0.5 kg.

Posledný blok, ktorý treba nastaviť, je samotný klb *Revolute1*. Dvojkliknutím v záložke **State Targets** -> **Specify Position Target** -> **Value** nastavíme hodnotu 10 deg. Táto zmena znamená počiatočnú podmienku nášho systému. V záložke **Internal Mechanics** -> **Damping Coefficient** nastavíme hodnotu 0.02

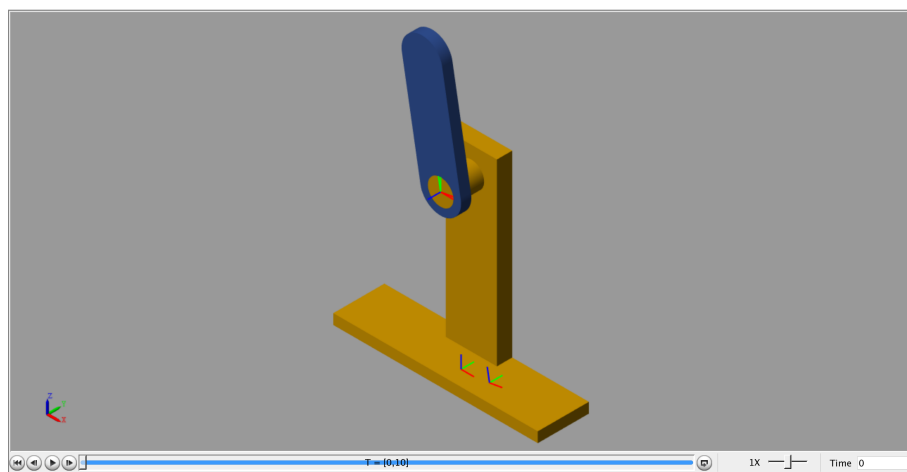
$N \cdot m / (rad/s)$. V záložke **Actuation** -> **Torque** vyberieme možnosť **Provided by Input** a v záložke **Sensing** zaškrtneme možnosť **Position** a **Velocity**. Náš blok *Revolute1* obsahuje jeden vstup a dva výstupy.

Na tieto vstupy a výstupy pripojíme bloky **Simulink-PS converter** a **PS-Simulink coverter**. Výslednú blokovú schému môžeme vidieť na obrázku 4–2.



Obr. 4–2 Výsledná schéma jednoduchého kyvadla

Simuláciu môžeme spustiť kliknutím na položku **Run**. V okne Matlabu sa nám otvorí *Mechanical Explorer* s 3D animáciou nášho namodelovaného jednoduchého kyvadla.



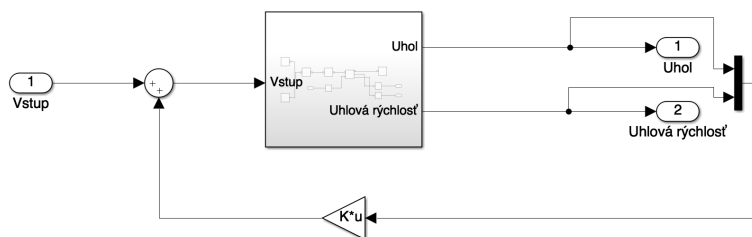
Obr. 4–3 Mechanical Explorer s animáciou kyvadla

5 Spätnoväzobné riadenie

Pred samotným návrhom riadenia si z našej blokovej schémy, zobrazenej na obrázku 4–2, vytvoríme subsystém. Označíme všetky bloky a pravým tlačidlom klikneme na schému a zvolíme **Create Subsystem from Selection**. Po vytvorení subsystému ešte nastavíme bod, v ktorom budeme linearizovať. Klikneme na *Revolute1* -> **State Targets** -> **Specify Position Targets** -> **Value** a nastavíme hodnotu na 0 deg.

V príkazovom okne zadáme príkaz: $[A, B, C, D] = \text{linmodv5}('schema')$, kde *schéma* reprezentuje názov Simulinkovej schémy. Po zobrazení matíc vypočítame spätnoväzobné zosilnenie k . Zadáme príkaz $k = \text{lqr}(A, B, [1000 \ 0; \ 0 \ 1000], 100)$. Získali sme hodnotu zosilnenia k .

Upravíme si schému v Simulinku, ako to vidíme na obrázku 5–1. Budeme potrebovať blok **Mux**, **Gain** a **Sum**. Pri bloku **Gain** je potrebné nastaviť hodnotu *Gain*: na **-k** a zvoliť **Multiplication** -> **Matrix(K*u)**. Posledným krokom je zmeniť počiatočnú podmienku: *Revolute1* -> **State Targets** -> **Specify Position Targets** -> **Value** na hodnotu 50 deg. Schému uložíme a môžeme začať simulovať. Na animácií je možné vidieť, ako sa nám kyvadlo postupne uriadí v nestabilnom rovnovážnom stave.



Obr. 5–1 Bloková schéma upravená pre riadenie

6 Záver

Knížnica Simscape Multibody ponúka zaujímavú možnosť ako importovať ľubovoľný 3D model navrhnutý v CAD nástrojoch. Blokom stačí pridať ich fyzikálne parametre a môžeme sledovať dynamiku reálneho systému v 3D animácií. Na nami navrhnuté systémy môžeme navrhovať rôzne typy riadenia a testovať náš systém na rôzne počiatočné podmienky a poruchy.

Zoznam obrázkov

2–1 Prvý krok pri vytváraní komponentu	2
2–2 Vytvorenie náčrtu obdlžníka	2
2–3 Vytvorenie náčrtu nového obdlžníka	3
2–4 Namontovaný klb pre jednoduché kyvadlo	4
2–5 Náčrt jednoduchého kyvadla	5
2–6 Výsledný model jednoduchého kyvadla	5
3–1 Definovanie klbu v programe OnShape	6
4–1 Importované kyvadlo v prostredí Simulinku	7
4–2 Výsledná schéma jednoduchého kyvadla	8
4–3 Mechanical Explorer s animáciou kyvadla	8
5–1 Bloková schéma upravená pre riadenie	9