

Návrh, testovanie a validácia antropomorfného valivého kĺbu pre bionické protézy horných končatín

Marek Hromada
ŠpMNDaG



Github s ovládacím kódom, CAD modelmi, teóriou do hĺbky a teoretickým základom pre budúcu implementáciu

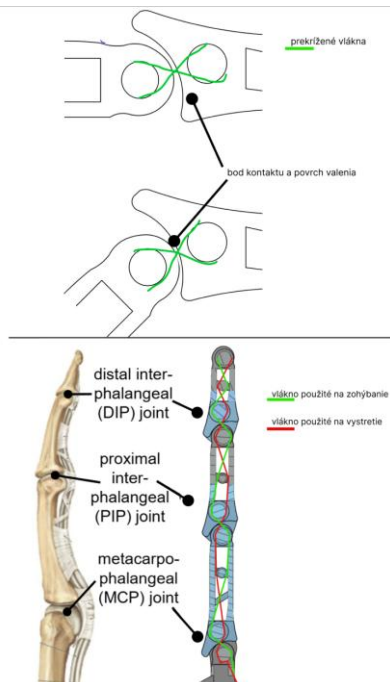
- Tento výskum sa zameriava na zásadný problém v robotických protézach: nízka životnosť kĺbov.
- Identifikovaný Problém:** Miniaturizované klasické rotačné kĺby v bionických rukách sú náchylné na mechanické zlyhanie a opotrebovanie. Ich zbytočne komplexná montáž a nízka odolnosť voči bočnej záťaži obmedzujú funkčnosť a spoľahlivosť protézy, zároveň sú protézy so spoľahlivými kĺbmi ťažko cenovo dostupné.
- Cieľ:** Navrhnuť, vyrobiť a experimentálne overiť nový typ antropomorfného valivého kĺbu (AVK), ktorý prekoná odolnosť a modularitu existujúcich riešení.
- Výskumná Hypotéza:** Navrhnutý antropomorfný valivý kĺb (AVK) vykáže štatisticky významne vyššiu mechanickú odolnosť a dlhšiu životnosť pri zaťažení v porovnaní so štandardným rotačným kĺbom v identických podmienkach testovacej platformy.

Návrh Komponentu (AVK)

- Architektúra:** Antropomorfný valivý kĺb bol navrhnutý v softvéri Onshape. Dizajn využíva 4 valivé drážky s krížovým usporiadaním ligamentov, ktoré minimalizujú trenie a maximalizujú prenos sily.
- Geometrická Optimalizácia:** Počiatočný dizajn bol iteratívne upravovaný (fine-tuning) pre dosiahnutie požadovaného rozsahu pohybu (ROM) a prispôsobenie sa konštrukcii ruky.
- Výroba:** Všetky komponenty kĺbu a ruky boli vyrobené technológiou FDM (3D tlač) z materiálu PLA a nylónového monofilamentu.

Návrh testovacieho prostredia(bionická ruka)

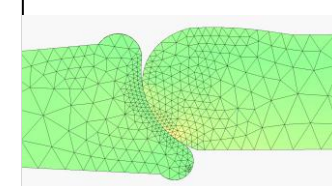
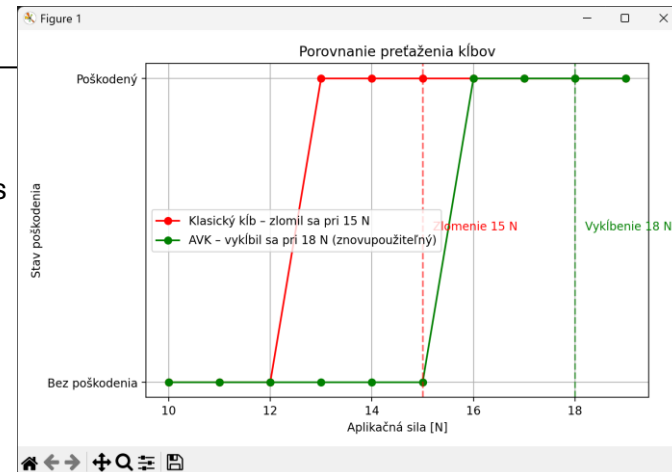
- Testovacia Platforma:** Na overenie hypotézy bola postavená bionická ruka slúžiaca ako validovacia platforma. Platforma zahŕňa servomotory (sg90, mg996r) a riadiacu jednotku (ESP32).
- Kontrolný Systém:** Pre zabezpečenie opakovateľnosti testov bol v jazyku Python vyvinutý skript, ktorý využíva knižnice OpenCV a MediaPipe na sledovanie ruky v reálnom čase a autonómne ovládanie testovacej platformy.



Bočný pohľad na kontaktný valivý kĺb a kríženie ligamentov umožňujúce dočasné vyklbenie a vedenie ovládacieho ligamentu cez prst

Výsledky a analýza

- Porovnanie maximálnej nosnosti a správania AVK s rotačným kĺbom pod rôznou záťažou = AVK je odolnejší, zároveň je znovupoužiteľný v prípade vyklbenia, pričom rotačný kĺb sa pri rovnakej záťaži zlomí
- Testovanie opencv softvéra a bionickej ruky – ruka používajúca AVK vie vykonávať rovnako komplexné úlohy, ako ruka s rotačnými kĺbmi



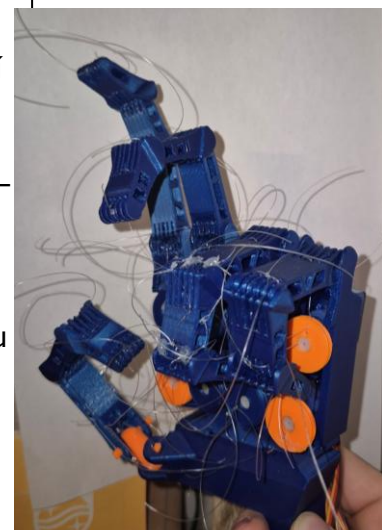
Aparatúra testovania odolnosti



Von misses diagram AVK

Záver

- Testovanie a výpočty ukázali, že navrhnutý AVK je odolnejší ako klasické rotačné kĺby a dokáže pri použití v bionickej ruke urobiť rovnako komplexné úkony, ako ruka s rotačnými kĺbmi
- Vyvinutá „AVK“ bionická ruka je cenovo dostupná(150 – 200 €, oproti dnešným kvalitným protézam 20000 – 45000€) a vďaka AVK aj odolná a silná
- Oproti rotačnému kĺbu je znovu použiteľný, pri preťažení sa vyklbí, po vrátení kĺbu do pôvodného stavu je znovu použiteľný, čo je obrovská výhoda oproti rotačnému kĺbu ale aj oproti iným dizajnom VK(napr. Faive hand z roku 2025)(poznámka:znovu sa nedá použiť pokiaľ nepríde k plastickej deformácii ligamentov, pričom k signifikantnej deformácii dochádza pri sile cca 500 N, k čomu sa pri každodennom použití dostaneme ťažko)



Zostavený model bionickej ruky používajúcej AVK, bez protišmykových prvkov a rukavice