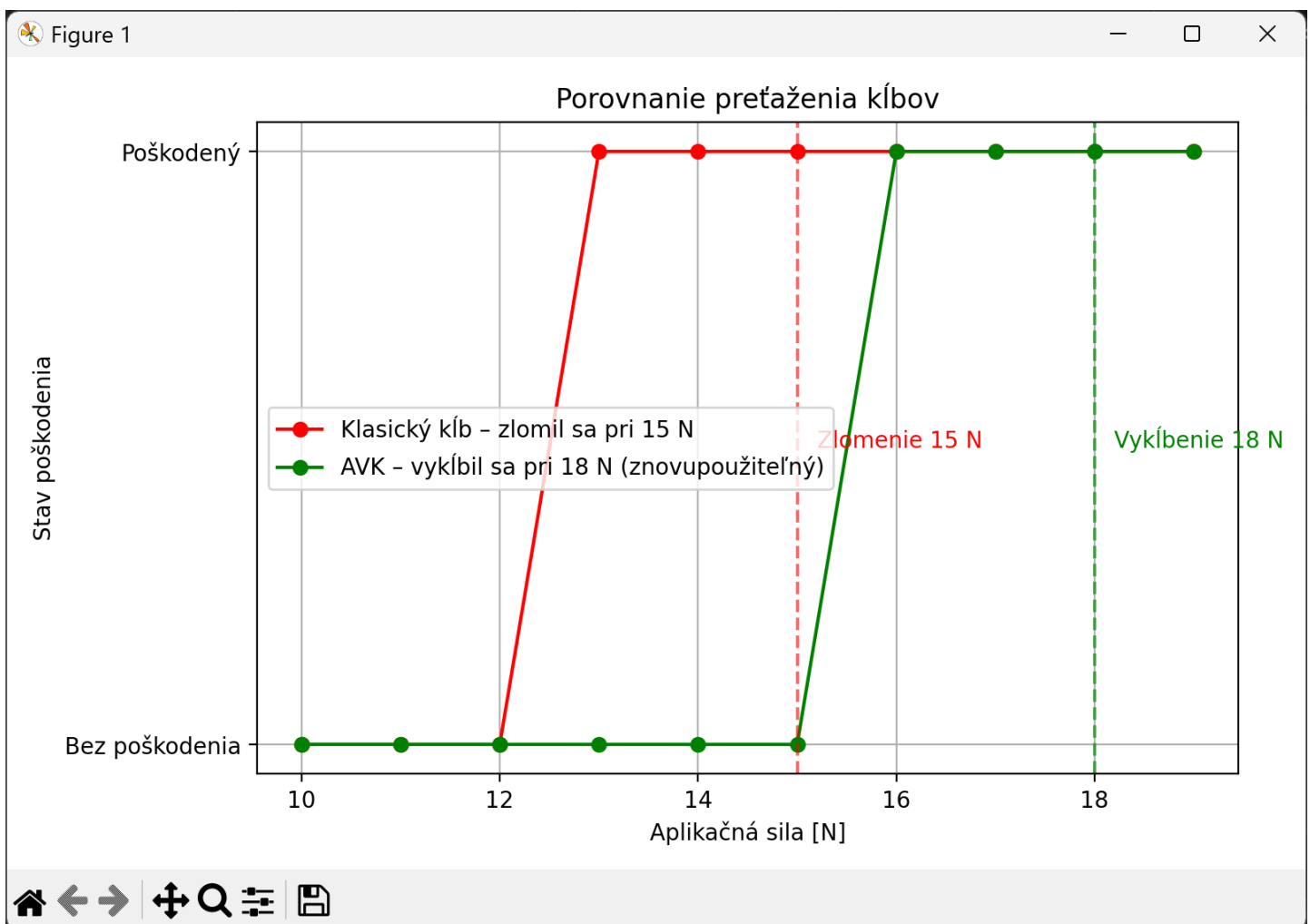


Výsledky a porovnanie

- AVK je pri preťažení **vyklbený**, narozdiel od klasických kĺbov, ktoré sa pri preťažení zlomia. Znamená to, že keď sa kĺb externou silou vráti do normálneho stavu je **znovupoužiteľný**, odhadovaná sila potrebná na uvedenie kĺbu do absolútneho zničenia = 150 N, na rozdiel od klasického ktorý sa pri testoch zlomil už pri 15 N
- AVK má lepší prenos sily a je **efektívnejší** o 12% od klasického pántového kĺbu
- AVK je **odolnejší voči stresu** spôsobený tlakom, ťahaním, ohýbaním, vďaka väčšej kontaktnej ploche, spôsobuje menšie trenie v kĺboch
- Oproti klasickému pántovému kĺbu je AVK **flexibilnejší**, čo môže byť vnímané ako negatívna vlastnosť, keďže nie je fixovaný v jednej polohe, keď je aplikovaná externá sila, taktiež to však znamená, že záťaž, ktorá by mohla poškodiť motor je prenesená na kĺb, čo môže predĺžiť životnosť motora



Metodológia

Testy sa realizovali pod kontrolovanými podmienkami, aby sme mohli objektívne porovnať AVK kĺb s klasickým pántovým kĺbom. Vytlačili sme dva identické prsty (rovnaká geometria a materiál PLA), pričom jeden obsahoval náš AVK kĺb a druhý bežný pántový kĺb. Oba prsty boli upevnené na servá SG90 (a MG996R, ak to bolo potrebné pre väčšiu silu) tak, aby sa dalo aplikovať postupné ťažné zaťaženie.

Testovanie pozostávalo z týchto krokov:

1. Príprava vzoriek: Zhotovili sme vzorky prstov na rovnakej 3D tlačiarňi pri zachovaní identických tlačových parametrov. Každý prst bol pripavený na koniec páky spojeného so servom.
2. Meranie únosnosti: Postupne sme zvyšovali ťažnú silu na voľnom konci prsta pomocou rastúceho závažia. Pántový kĺb sa pri cca 15 N zlomil, zatiaľ čo AVK kĺb pri 18 N vykĺbil, pričom nedošlo k trvalej deformácii. V tieto momenty sme zaznamenali hodnoty zaťaženia.
3. Meranie ťahu serva: S pomocou rovnakého závažia sme testovali maximálnu ťahovú kapacitu serva SG90 pri rovnakej pozícii. Servomotor dosiahol ~800 g pri pántovom kĺbe a ~900 g pri AVK kĺbe (s blížiacim sa limitom serva).
4. Test opätovnej funkčnosti: Po vykľbení AVK kĺbu sme ho opätovne nasadili do pôvodnej polohy a zopakovali zaťaženie, aby sme overili plnú obnoviteľnosť. Pri vhodnom znovu nasadení sa kĺb vrátil do funkčného stavu bez poškodenia, čo potvrdzuje jeho znovupoužiteľnosť.

Dizajn a princíp fungovania AVK

Testovanie vlastností AVK

BIONICKÁ RUKA

Každý prst protézy pozostáva z troch článkov – **proximálneho, stredného a distálneho**. Články sú spojené metakarpofalangeálnym (MCP), proximálnym (PIP) a distálnym (DIP) kĺbom. V našom mechanizme majú **DIP a PIP každý po 1 DOF** (flexia–extenzia). Aj MCP kĺb je v návrhu koncipovaný ako jednokoaxiálny (1 DOF flexie–extenzie), takže každý prst ohýba len v jednom smere. Palec má špeciálny dvojosový rotačný kĺb (rotácia + flexia, **nie** valivý kĺb), ktorý umožňuje opozíciu palca – jeho priblíženie k ostatným prstom. V budúcnosti by bolo možné vyvinúť zložitejší kĺb s 2–3 DOF (napríklad guľový kĺb s rotačným pohybom v troch osiach) na priblíženie ešte prirodzenejšiemu pohybu.

- **DIP a PIP kĺby:** 1 DOF (ohyb/vyrovnanie).
- **MCP kĺb:** 1 DOF (ohyb/vyrovnanie).

Na povrchu každého článku sú vyfrézované drážky pre vedenie lankových pohonov, ktoré simulujú šľachy. Lanká vedú cez vyše **päť drážok v každom článku**, čo zabezpečuje hladký chod a rovnomerné rozloženie sily.

Technické špecifikácie

Riadenie ruky zabezpečuje mikrokontrolér ESP32-WROOM, ktorý generuje PWM signály pre jednotlivé servomotory. Servá sú napájané stabilizovaným 5 V zdrojom typu DC–DC LM2596S (5 V / 5 A), ktorý zdieľa spoločné uzemnenie s ESP32. Napájací modul je kompatibilný s breadboardom a umožňuje napájanie celého systému z externého 12 V adaptéra s vysokou účinnosťou a tepelnou ochranou. (len mi nestihol dojsť, toľko k slovenskej pošte)

Ovládací algoritmus pozostáva z dvoch častí:

1. ESP32 program (v MicroPythone) – prijíma príkazy cez sériový port (serial), spracúva JSON správy a podľa nich nastavuje PWM výstupy pre jednotlivé servá. Zabezpečuje plynulý pohyb prstov, obmedzenie času ťahu (0,25 s) a ochranu serva pred preťažením.
2. Python skript s knižnicami OpenCV a MediaPipe – beží na počítači, kde spracúva obraz z USB kamery, sleduje ruku používateľa a

deteguje ohýby prstov pomocou neuronového modelu MediaPipe Hands. Na základe uhla ohýbu každého prsta sa vypočíta požadovaný uhol serva, ktorý sa následne pošle do ESP32 vo forme JSON správy cez sériový port.

Komunikácia medzi počítačom a ESP32 prebieha cez sériové rozhranie UART (USB). Každý riadiaci príkaz obsahuje názov prsta a cieľový uhol otočenia, napríklad:

```
{"index": 30, "middle": -20, "ring": 0, "pinky": 0, "palecbend": 40, "palecrot": 40}
```

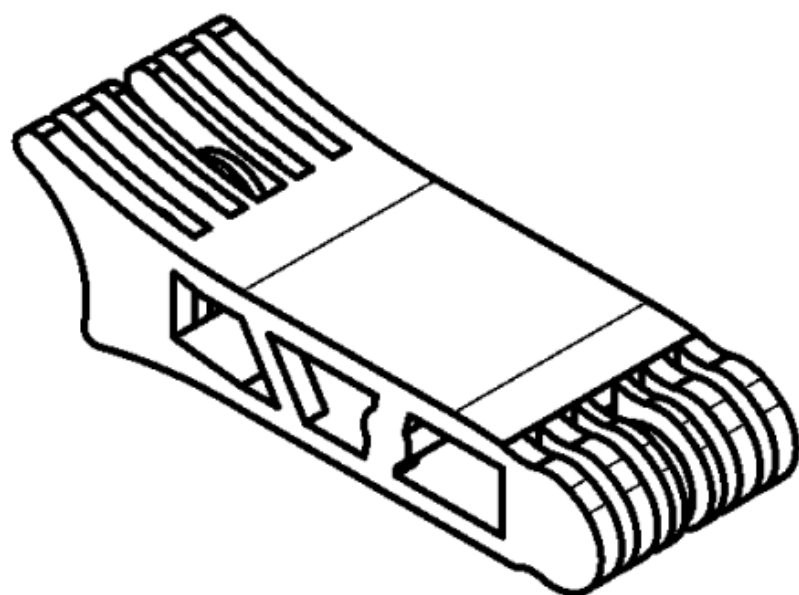
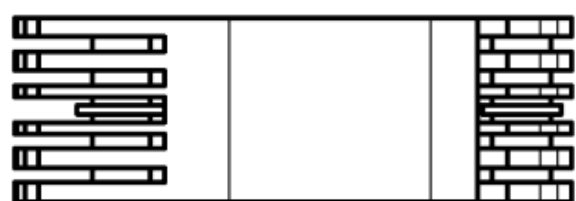
ESP32 prijatý príkaz spracuje a príslušné servomotory sa natočia o zadaný uhol.

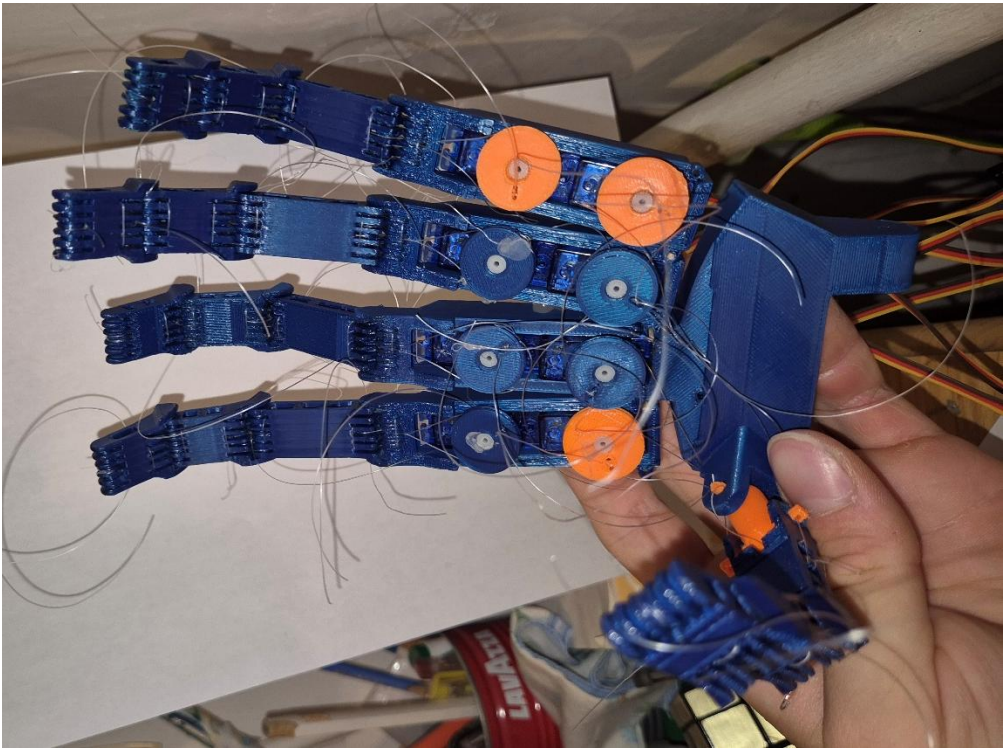
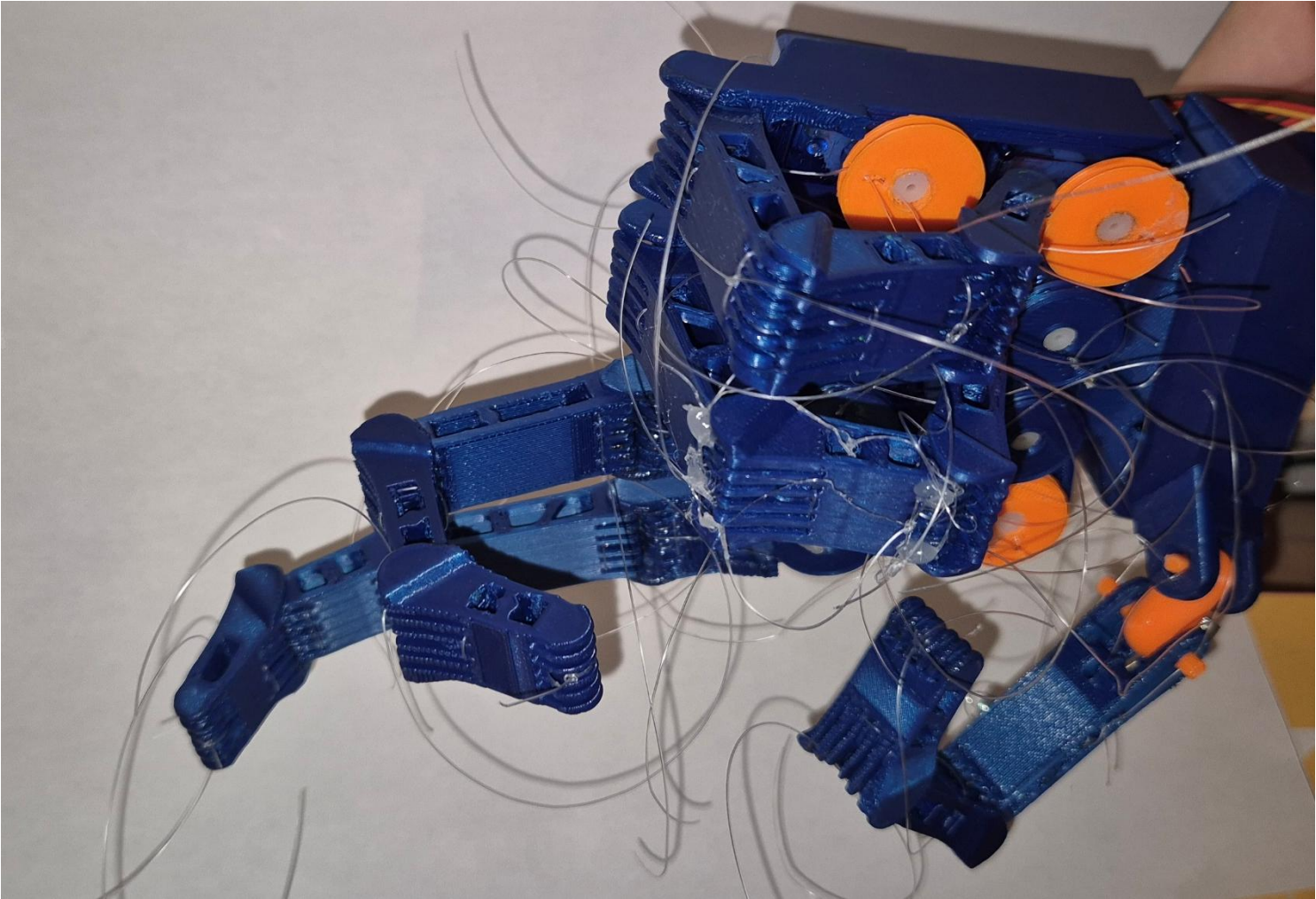
Schéma zapojenia zahŕňa:

- PWM signálne vodiče serv pripojené na digitálne piny ESP32 (napr. D15, D18, D19, D21, D17),
- spoločné uzemnenie GND medzi ESP32, napájacím modulom a servami,
- napájanie 5 V pre servá z výstupu LM2596S.

Servomotory typu SG90 sú ovládané pomocou PWM pulzov s frekvenciou 50 Hz.

Python kód využíva moduly cv2 a mediapipe na snímanie a rozpoznávanie pohybov prstov. Výstupné údaje (uhly prstov) sú následne spracované a odoslané ESP32 cez sériový port. Prepojenie medzi kamerou, OpenCV a ESP32 umožňuje intuitívne vizuálne riadenie bionickej ruky – teda, používateľ pohybom svojej ruky pred kamerou priamo ovláda mechanickú ruku, ktorá kopíruje jeho pohyb v reálnom čase.





ruka A

dizajn a vývoj an

NTROPOMORFICKÝCH VA a ich testovanie

Úvod

Prvotným cieľom tohto projektu bolo vytvoriť **cenovo dostupnú bionickú protetikú**. Pri jej vývoji som však narazil na zásadný problém – klasické pántové kĺby nedokážu dostatočne verne napodobniť pohyb ľudskej ruky. Ich mechanika je síce jednoduchá, ale neumožňuje plynulé valenie a pri dlhodobom používaní dochádza k ich opotrebovaniu alebo prasknutiu. Tento problém som sa rozhodol riešiť návrhom nového typu kĺbu, ktorý lepšie kopíruje prirodzený pohyb prstov a zároveň zvyšuje odolnosť konštrukcie.

Abstrakt

V tomto projekte navrhujem a testujem **bionickú ruku**, založenú na **novom antropomorfnom valivom kontaktnom kĺbe (AVK)**. Tento kĺb využíva valivý pohyb namiesto tradičného rotačného, čím znižuje trenie, zvyšuje efektivitu prenosu sily a umožňuje prirodzenejšie ohýbanie prstov. Pri experimentoch som porovnával klasický pántový kĺb s AVK z hľadiska pevnosti, prenosu sily a správania pri preťažení. Kým pántový kĺb sa zlomil pri 15 N, AVK sa vykĺbil až pri 18 N a bolo ho možné vrátiť späť bez poškodenia, čím preukázal vyššiu odolnosť a znovupoužiteľnosť.

Bionická ruka je riadená pomocou **ESP32-WROOM**, pričom pohyb prstov je ovládaný na základe obrazu z kamery spracovaného cez **OpenCV a MediaPipe**. Mechanika prstov pozostáva z troch stupňov voľnosti (DIP, PIP, MCP), pričom palec používa dvojosový rotačný kĺb pre ohyb a rotáciu. Celý systém je navrhnutý tak, aby bol **modulárny, lacný a ľahko opraviteľný**. 3D tlačené komponenty z PLA a nylonové lanká ako šlachy zaručujú nízke náklady, zatiaľ čo elektronika je otvorená a ľahko rozširiteľná o ďalšie senzory.

Ciele projektu

- **Vyvinúť valivý kĺb (AVK)**, ktorý sa dokáže vykĺbiť bez poškodenia a viac sa približuje pohybu ľudského prsta.
- **Porovnať AVK s klasickým pántovým kĺbom** v oblasti pevnosti, efektivity prenosu sily a reakcie na preťaženie.
- **Vytvoriť funkčný prototyp bionickej ruky** s 3D tlačenými dielmi a nízkonákladovou elektronikou.
- **Preskúmať možnosť rozšírenia o EMG ovládanie** – v budúcnosti plánujem použiť vlastný **EMG náramok inšpirovaný MyoBandom**, ktorý umožní ovládanie ruky pomocou svalových signálov.

PH

ivých kীবov



