

# Dílna kráčejících robotů pro střední školy

Chůze a kinematika robotu

**NTK**

50°6'14.083"N, 14°23'26.365"E

Národní technická knihovna  
National Library of Technology

(0x) 41 68 6f 6a 20 72 6f 62 6f 74 69 6b 6f 21 0a

# Co je napsáno v nadpisu?

## Co je napsáno v nadpisu?

... dnes vytvoříme »hello world« alà robotika.

# Dnešní dílna

## Cíle dílny

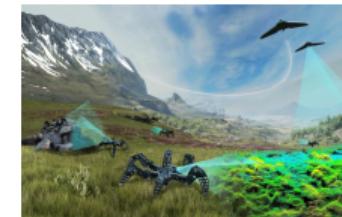
- Rozchudit roboty vlastním programem.
- Popsat chůzi robotu matematicky.
- Získat pokročilejší výhled do robotiky.
- Zjistit, že se ve škole neučíme nadarmo.  
... A to vše za pouhé 4 hodiny.

## Pravidla

- Zkoumejme, vymýšlejme, zkoušejme!
- Spolupracujme dle libosti! Těžte!
- Snažte se nezničit chudáky roboty.
- Pracujte v Plocha/roboty/<datum>.

**Martin Zoula (✉) | Filip Kučera (✉)**

[comrob.fel.cvut.cz](http://comrob.fel.cvut.cz)





<https://owncloud.cesnet.cz/index.php/s/nD7VWH7RTgA5M31>

# Hexapod – naše dnešní robota

- 6 nohou, každá má 3 klouby.
- Celkem 24 stupňů volnosti.
- Staticky stabilní chůze možná.
- Mnoho typů chůze - 3pod, 4ped, 5pod...
- Senzory vzdálenosti vepředu a nahoře.
- Senzor tlesknutí, reproduktor.
- Jakému zvířeti je nejblíže?

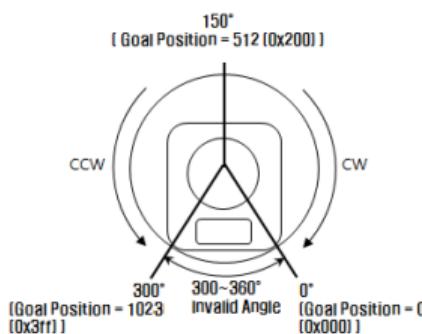


**ROBOTIS PREMIUM** King Spider

Jedna ryska = 150°



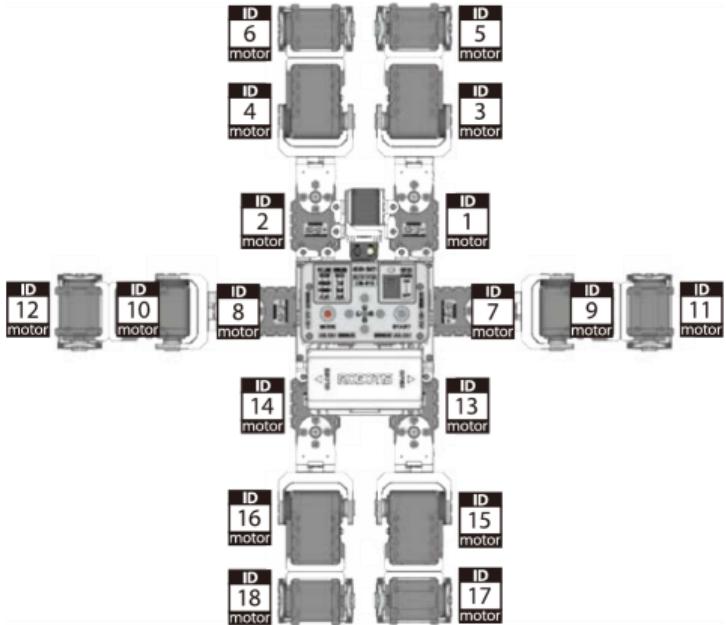
Dvě rysky = 330°



## Robotis Dynamixel AX-12W

- Převodovaný elektromotor s řízením polohy.  
(Pozor! Náraz může převody poškodit!)
- Poziční zpětná vazba z potenciometru.  
(Pozor! Mrtvý úhel - rotor se nemůže zastavit dole.)
- Ovládaný digitálním protokolem z řídicí jednotky.  
(Každé servo v rámci robota musí mít unikátní ID!)
- Lze ovládat nebo pozorovat různá nastavení serva.  
(Maximální moment, rychlosť, úhel, přehrátí, stall...)
- Referenční manuál zde.

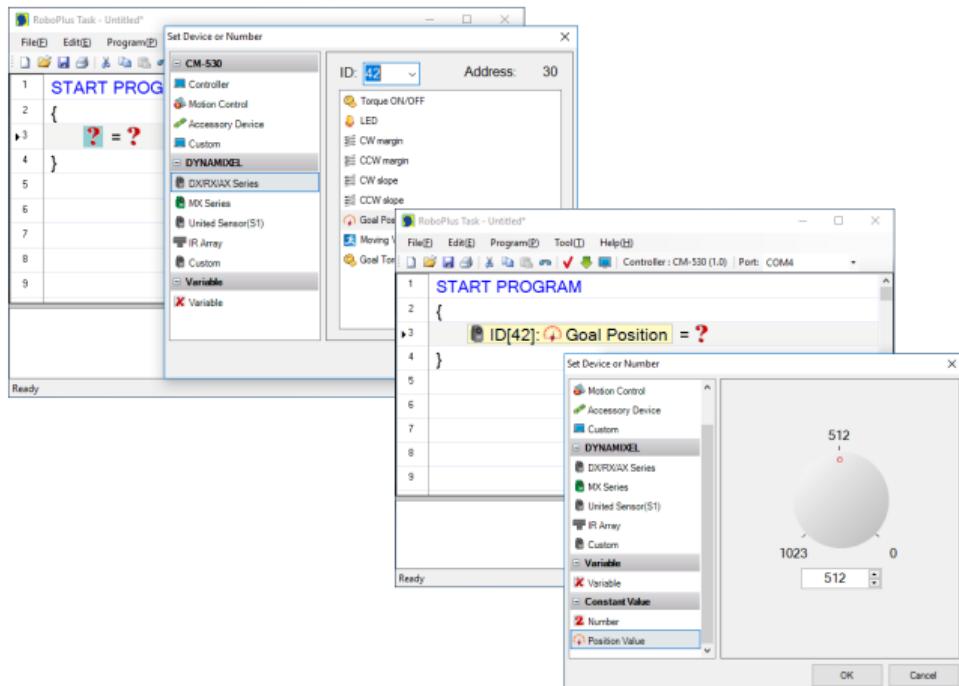
# Poznejte svůj robot



- S robotem hýbejte, zkoumejte pohyb.
- Zkoumejte limity rotace kloubů.
- Zkontrolujte stav kabeláže a šroubů.
- Načrtněte schéma nohy a těla robota.
- Značte + směr otáčení servomotorů.
- K čemu je uchycený stator a rotor?

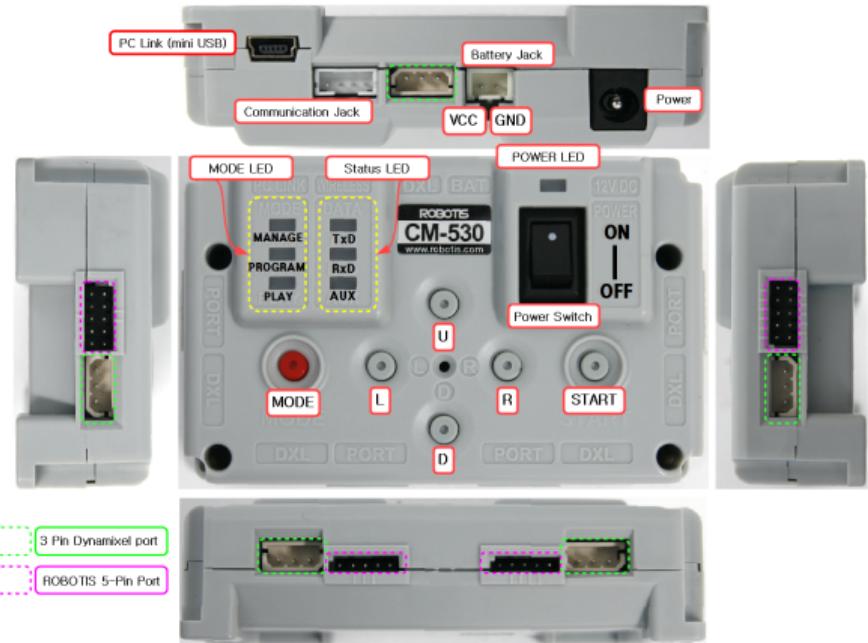
# První krůčky

1. Spusťte »RoboPlus Task.«
2. Nový soubor, vyberte kontroler.
3. Mezerník vkládá prázdný řádek.
4. Dvojklikem na řádek vkládáte.
5. Nastavte servo na pozici 0°.
6. Nahrajte přes správný COM.



K robotu může být v danou chvíli připojen jen jeden program!

# Řídící jednotka



STM32F103RE ARM Mikročip, 72 MHz, 512 kB

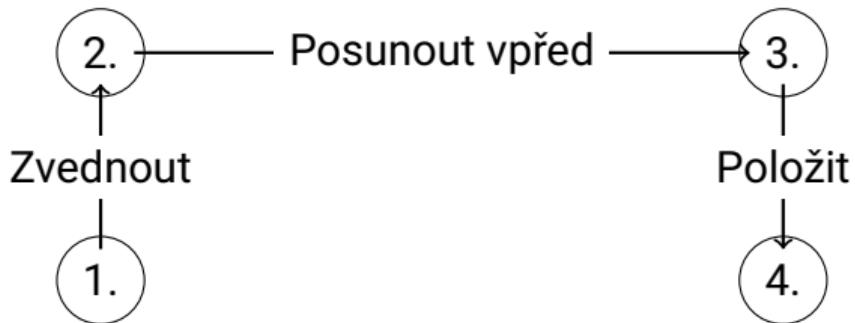
- Zprostředkovává komunikaci počítače a servomotorů.
- Umí přehrát naprogramovaný pohyb nebo program.
- Programujeme z PC přes USB.
- Pro spuštění nahraného programu je potřeba červeným tlačítkem zvolit režim »play«, poté zmáčknout »start«.
- Program zastavit červeným tlačítkem, v nouzi kolébkou.

# Mávání jednou nohou

1. Nastavte všem servům rychlosť 50.
2. Nastavte všechna serva na nulový úhel.  
(Nastavení počáteční polohy robotu.)
3. Hýbejte jedním servem sem a tam.
  - Po nastavení požadovaného úhlu se servomotor začne ihned pohybovat!  
Procesor ale na dokončení pohybu nečeká! Čekání je potřeba vynutit!
4. Pomocí WAIT WHILE kontrolujte stav servomotoru Is Moving.

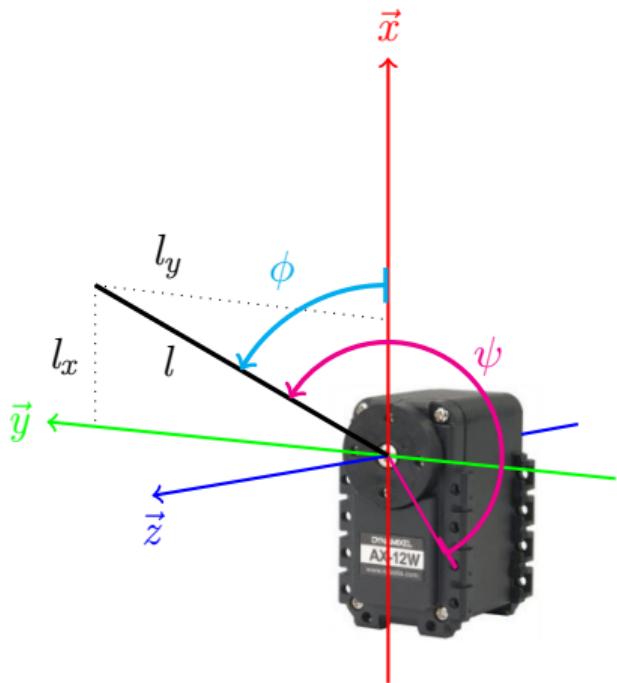
[CM-530]-ukol-kyvani-hexa-2

```
1: START PROGRAM
2: {
3: // Zapnutí výkonu serv
4: [ID[All]]: ☀️ Torque ON/OFF = TRUE
5: // Nastavení rychlosti serv.
6: [ID[All]]: ✅ Moving Velocity = 50
7: // Nastavení základní pozice robotu.
8: [ID[All]]: ⚪ Goal Position = 512
9: Timer = 2.048sec
10: WAIT WHILE (Timer > 0.000sec )
11: // Kývání pravým středním femurem
12: LOOP FOR (i = 0 ~ 6 )
13: {
14: [ID[9]]: ⚪ Goal Position = 860
15: WAIT WHILE ([ID[9]]: 🔴 Is Moving == TRUE )
16: [ID[9]]: ⚪ Goal Position = 512
17: WAIT WHILE ([ID[9]]: 🔴 Is Moving == TRUE )
18: }
19: // Povolení serv - zabráníme přehřívání
20: [ID[All]]: ☀️ Torque ON/OFF = FALSE
21: }
```



- Vytvořte »pohybové primitivum,« které bude součástí výsledné chůze.
- Existuje mnoho různých typů kroků: Obdélník, trojúhelník, kružnice, elipsa, reaktivní krok, adaptivní krok, měkký krok, ...
- Nezapomínejte na to, že je potřeba čekat na dokončení pohybu servomotoru.
- »RoboPlus Manager« zobrazuje (mj.) aktuální úhly servomotorů.

# Matematický popis servomotoru

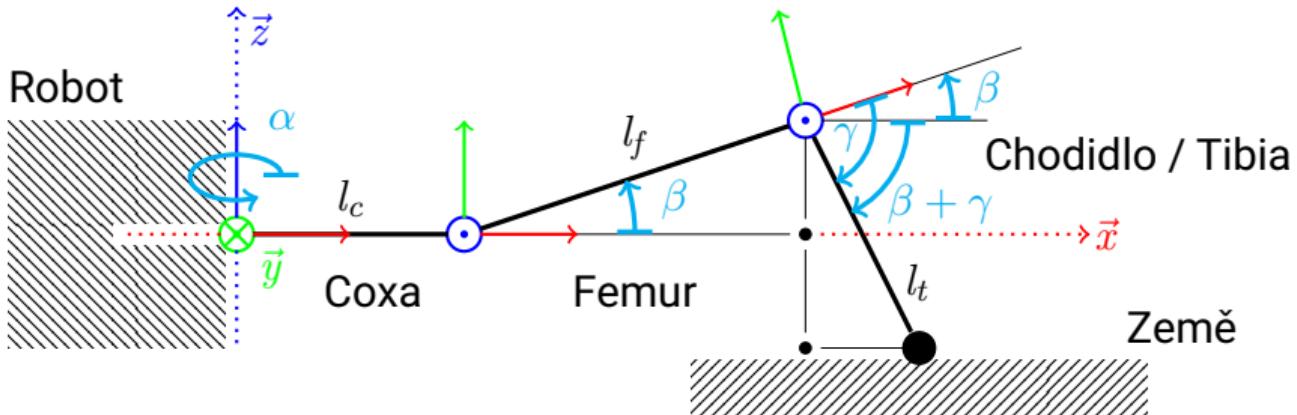


- Technický úhel  $\psi$ : Dle výrobce serva.
  - (To čteme/zapisujeme v servu.)
- Matematický úhel  $\phi$ : Dle našeho robota.
  - Kladný směr rotace podél osy  $z$ .
  - Nulový úhel na ose  $x$ .
  - (Pravidlo pravé ruky.)

$$l_x = l \cos(\phi)$$

$$l_y = l \sin(\phi)$$

$$\phi = \psi - 150^\circ$$



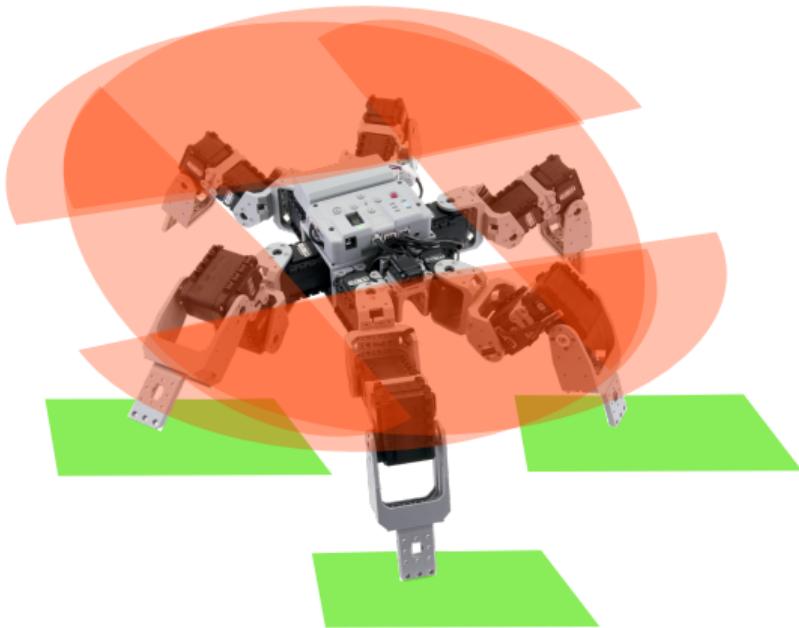
Přímá kinematická úloha: Úhel servomotorů → souřadnice chodidla.

$$x_{chod.}(\alpha, \beta, \gamma) = \cos(\alpha) [l_c + l_f \cos(\beta) + l_t \cos(\beta + \gamma)]$$

$$y_{chod.}(\alpha, \beta, \gamma) = \sin(\alpha) [l_c + l_f \cos(\beta) + l_t \cos(\beta + \gamma)]$$

$$z_{chod.}(\alpha, \beta, \gamma) = l_f \sin(\beta) + l_t \sin(\beta + \gamma)$$

# Omezení pohybu



- Robot má mnoho stupňů volnosti.  
Může je ale využít úplně?
- Mechanicky omezený pohyb kloubů.
- Operační prostor nohou se protíná!
- Chůze robotu tedy můsí být vymyšlena tak, aby se nohy vzájemně nesrážely.
- Robot může narazit i do prostředí!  
(Země nebývá vždy rovná, v prostředí jsou překážky, lidé, jiné stroje ...)

1. Vytvořte pro každou nohu jednu funkci, která provede pohyb vpřed.
- !** Funkce nepřijímá vstupní argumenty, může ale měnit globální proměnné.
2. Nohy mají různé orientace servomotorů. Dopočítejte si nové správné úhly!
  3. Volejte ve vhodném pořadí všechny funkce a tím vytvořte chůzi.

## POZOR!

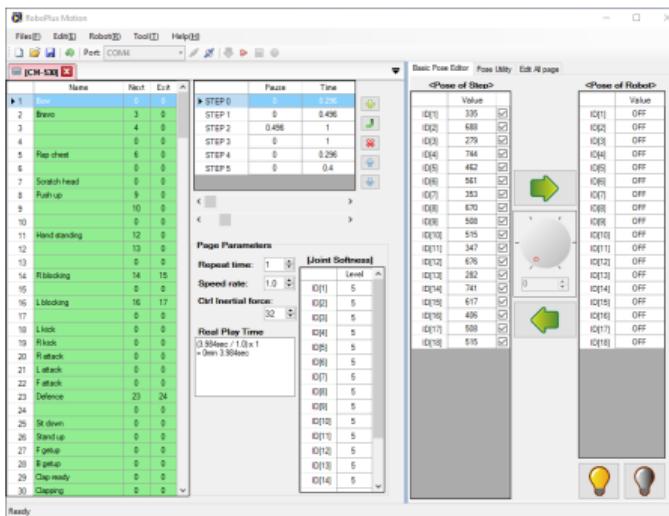
- Dávejte pozor na kolize nohou.
- Nepřekračujte rychlosť pohybu 50.

# Předprogramované pohyby

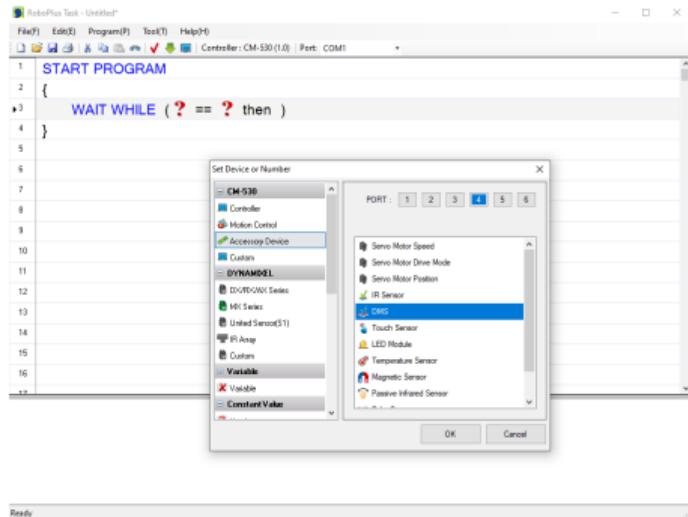
- V paměti robota je nahráno několik předprogramovaných pohybů.
- Pomocí nástroje »RoboPlus Motion« můžete tyto pohyby přehrát.
- Pohyby je možno spouštět i z programu.

[CM-530]-stub-motion

```
1: START PROGRAM
2: {
3:   // Začne vykonávat přednastavený cvik.
4:   Motion Index Number = 42
5:   // Program je třeba zastavit dokud není cvik dokončen.
6:   WAIT WHILE (Motion Status == TRUE )
7: }
```



Senzor odražené intenzity (IR Sensor) a úhlový senzor vzdálenosti (DMS).  
Port a chování senzoru lze vyzkoušet v programu RoboPlus Manager.

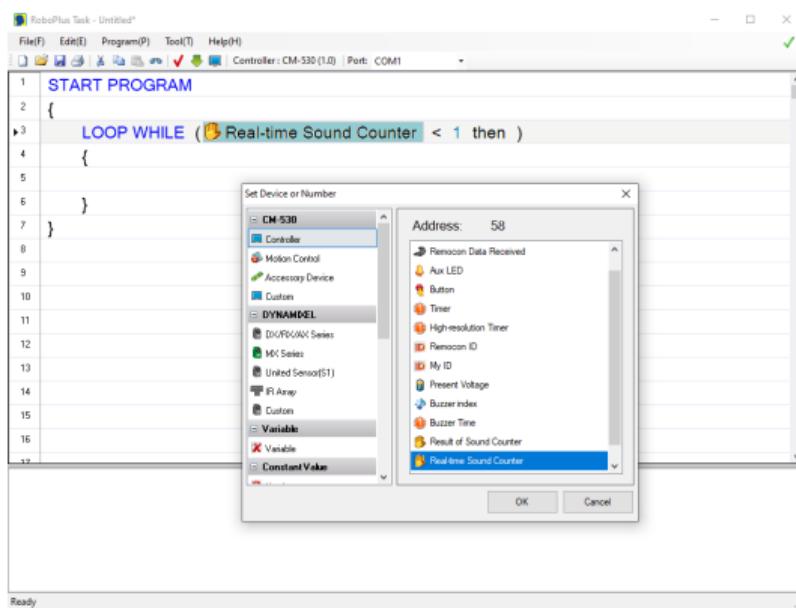


# Senzor tlesknutí

Robot umí počítat tlesknutí. Real-time sound counter počítá tlesknutí v sekvenci. Result of sound counter uchovává počet v poslední sekvenci.

```
[CM-530]-stub-distance

1: START PROGRAM
2: {
3:     // Vyčtení hodnoty do proměnné
4:     přečteno = PORT[1]:IR Sensor
5:     // Použití hodnoty přímo v programu
6:     IF (PORT[1]:IR Sensor <= 100 )
7:     {
8:         // ...
9:     }
10:
11:    // Senzor tlesknutí - čekám na jeden tlesk.
12:    Result of Sound Counter = 0
13:    WAIT WHILE (Result of Sound Counter < 1 )
14:    // Zahraji melodii.
15:    Buzzer Time = Play Melody
16:    Buzzer index = Melody2
17:    WAIT WHILE (Buzzer Time > 0 )
18: }
```



# Úkol: Vytvořit tanček

1. Robot čeká dokud se netleskne.
2. Po tlesknutí provede jeden pohyb.
3. Poté opět čeká na tlesk, následně provede jiný pohyb.
4. ... cokoliv, co vás napadne.

# Bonusový úkol: Senzorika

- Naprogramujte robota vyšší logiku využívající senzory.
- (Robot jde vpřed, jakmile se přiblíží, zastaví a otočí se.)
- (Robot čeká na tlesknutí, po něm se rozběhne vpřed.)
- (Robot po tlesknutí zastaví a udělá nějaké gesto.)
- Využijte vlastní program chůze, předprogramovaný pohyb, nebo obojí.

# Bonusový úkol: Zrychlení chůze tripodem

- Hexapod může s výhodou využít staticky stabilní krok.
- Tři nohy jsou na zemi, tři se přemisťují vpřed.
- Změňte program tak, aby chodil jako tripod.
- (Tzn. během pohybu má vždy jen tři nohy na zemi.)



# DON'T PANIC!



Děkujeme, nashledanou!

#robotikaNTK

comrob.fel.cvut.cz

[https://cw.fel.cvut.cz/wiki/  
courses/crl-courses/aed23](https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/crl-courses/aed23)