

Název veřejné
zakázky:

**Konstrukční prvky modulárních robotů vč. lineárních a rotačních
pohonů**

Odůvodnění vymezení technických podmínek podle § 156 odst. 1 písm. c) zákona č. 137/2006 Sb.

Technická podmínka:

Odůvodnění

- minimálně 7 stupňů volnosti
- robot musí být složen z modulárních komponent
- nosnost alespoň 9kg
- minimální opakovatelnost $\pm 0,20\text{mm}$
- maximální hmotnost celého robota 20kg
- komunikační rozhraní s jednotlivými modulárními komponentami alespoň CAN nebo CANopen
- brzděné osy v případě výpadku napájení
- elektrické rozvody vedené vnitřkem modulárních komponent
- krytí alespoň IP54
- real-time řízení modulárních komponent alespoň v polohovém, rychlostním a momentovém režimu
- robot bude vybaven uchopovačem s minimálně dvěma prsty
- koncový efektor robotu bude umožňovat měření reakčních sil a momentů ve všech osách

**Technické parametry
modulárního robotu**

Odůvodnění parametrů:

Modulární robot je určen především k vývoji a výzkumu řídicích algoritmů manipulátorů. Požadovaných min. 7 stupňů volnosti hraje důležitou roli pro výzkum řízení redundantních manipulátorů. Poměr mezi užitným zatížením (nosností) a hmotností celého zařízení je požadován co nejmenší s ohledem na možnost přemístování robotu, případně, v kombinaci s pořizovanými lineárními moduly, umístění robotu na pojezd při výzkumu algoritmů řízení mobilních robotů. S ohledem na bezpečnost zařízení jako celku je požadována možnost pasivních brzdění všech os manipulátoru z důvodu vyloučení havárie (zhroucení) robotu v případě nenadálého výpadku napájení. S bezpečností souvisí také požadované krytí modulárních komponent. Jednotlivé modulární komponenty musí být možné řídit v polohovém, rychlostním a zejména momentovém režimu, neboť při vývoji řídicích algoritmů manipulátoru bude kladen požadavek na implementaci nadřazených regulátorů (polohy, rychlosti) ve vlastním řídicím systému zadavatele. Z důvodu kompatibilitnosti je požadováno komunikační rozhraní alespoň CAN nebo CANopen. Koncový efektor s uchopovačem a možností měření sil a momentů je požadován z důvodu možnosti efektivní manipulace s předměty včetně možnosti detekce kolizí a režimů řízení na principu force control algoritmů.

**Technické parametry
rotačních modulů**

- moduly musí obsahovat minimálně uvedené součásti: brzda, enkodér, pohon včetně převodovky v jednom pouzdře
- dále moduly musí mít komunikační rozhraní s jednotlivými modulárními komponentami alespoň CAN nebo CANopen, které musí být kompatibilní s modulárním robotem
- opakovatelnost minimálně $0,05^\circ$

Požadované vlastnosti rotačních modulů

- rotační modul A: 1ks s nominálním momentem 6 – 8 Nm, hmotností do 1,8kg

- rotační modul B: 1ks s nominálním momentem 12 – 16 Nm, hmotností do 1,8kg
- rotační modul C: 1ks s nominálním momentem 21 – 25 Nm, hmotností do 1,8kg
- rotační modul D: 1ks s nominálním momentem 40 – 50 Nm, hmotností do 3,5kg
- rotační modul E: 1ks s nominálním momentem 70 – 75 Nm, hmotností do 3,5kg
- rotační modul F: 1ks s nominálním momentem 85 – 95 Nm, hmotností do 6kg
- rotační modul G: 1ks s nominálním momentem 140 – 150 Nm, hmotností do 6kg

Požadované vlastnosti spojovacích elementů (connecting element):

- 3ks přímých spojek (mezi moduly A-B, A-C a B-C), délka maximálně 40mm
- 3ks přímých spojek (mezi moduly A-B, A-C a B-C), délka 50 – 100mm
- 3ks pravoúhlých spojek (mezi moduly A-B, A-C a B-C)
- 2ks přímých spojek (mezi moduly A-D, B-E), délka maximálně 50mm
- 2ks přímých spojek (mezi moduly A-D, B-E), délka 70 – 100mm
- 3ks přímých spojek (mezi moduly D-E), délka maximálně 50mm
- 3ks přímých spojek (mezi moduly D-E), délka 60 – 100mm
- 3ks pravoúhlých spojek (mezi moduly D-E)
- 2ks přímých spojek (mezi moduly D-F, E-G), délka maximálně 60mm
- 2ks přímých spojek (mezi moduly D-F, E-G), délka 70 – 120mm
- 2ks přímých spojek (mezi moduly F-G), délka maximálně 60mm
- 2ks přímých spojek (mezi moduly F-G), délka 80 – 120mm
- 2ks pravoúhlých spojek (mezi moduly F-G)

1ks dvouosého pohonu, který bude kompatibilní s rotačními a lineárními moduly

- dvě kolmé rotační osy (pan-tilt actuator)
- jmenovité momenty v ose 1: 10 – 15Nm, v ose 2: 1-3Nm
- maximální hmotnost 2kg

Odůvodnění vlastností:

Moduly musí být tvořeny jako kompaktní pohony (motor, převodovka, silová a řídicí elektronika, enkodér v jednom pouzdře) z důvodu univerzálního a modulárního použití. Ze stejného důvodu je kladen požadavek na hmotnosti a výkon jednotlivých modulů. Kompaktnost a hmotnost modulů hraje klíčovou roli při sestavování různých architektur robotů (zejména sériových kinematických řetězců, kde hmotnost modulů výrazně ovlivňuje realizovatelnost, statické a dynamické vlastnosti celého systému). Z hlediska možnosti kumulace chyb v polohování jednotlivých komponent je kladen důraz na vysokou přesnost a opakovatelnost polohování. Brzdy v jednotlivých modulech jsou požadovány ze stejného důvodu jako při nákupu modulárního robotu (bezpečnost provozu). Z hlediska kompatibility je požadováno komunikační rozhraní alespoň CAN nebo CANopen. Z důvodu univerzálnosti vývoje robotických architektur jsou moduly voleny v odstupňovaných výkonových (velikostních) řadách. Mechanická kompatibilita mezi moduly je zajištěna prostřednictvím uvedených spojovacích elementů, které umožňují propojovat přímočaře či pravoúhle jednotlivé moduly ze stejných i odlišných výkonových řad. Je požadováno, aby konstrukční délky spojovacích elementů nabývaly alespoň dvou hodnot. Z důvodu kompaktnosti a univerzálnosti je požadován jeden kus dvouosého rotačního pohonu s pravoúhlými osami rotace, který bude s výhodou použit jako koncová část manipulátoru bezprostředně předcházející koncovému efektoru (modul bude součástí tzv. sférického zápěstí). S ohledem na předpokládané architektury manipulátorů, které budou prostřednictvím modulů realizovány, byly vytvořeny matematické modely kinematiky a dynamiky sestavy. Hodnoty krouticích momentů, hmotností komponent a rozměrů spojovacích elementů vychází z této analýzy. Přímé spojky mezi moduly jsou požadovány v uvedených rozměrech z důvodu možnosti sestavení předpokládané škály velikosti manipulátorů. Vzhledem k předpokládanému sférickému zápěstí, které bude v kombinaci s uvedenými moduly realizováno je z důvodu

kinematické funkčnosti nezbytně nutné možnost sestavení modulů ve vzájemné vzdálenosti menší než 40mm (pro nejmenší moduly), menší než 50mm (pro kombinaci nejmenších a středních modulů) a menší než 60mm (pro kombinaci středních a největších modulů). V případě nutnosti využití modulů za účelem sestavení polohovací části manipulátoru (mimo sférické zápěstí) či speciálních architektur manipulátorů požadujeme délky spojek v rozmezí 50-100mm (pro nejmenší moduly), 70-100mm (kombinace nejmenších a středních modulů), 60-100mm (střední moduly), 70-120mm (kombinace středních a největších modulů) a 80-120mm (pro největší moduly). Tyto rozměry jsou dány předpokládanou možností propojování modulů s různými výkony, a tedy i velikostmi, aby bylo možné zajistit korektní funkčnost modelu vyvíjeného zařízení. Samotné zařízení není možné ve většině případů sestavit ve skutečné velikosti a model musí být sestaven v daném měřítku. Tzn. uvedené rozměry spojovacích elementů přibližně odpovídají požadavkům na konstrukci takových modelů s ohledem na předpokládané realizace a možné prostorové a váhové možnosti modelu zařízení s ohledem na předpokládanou manipulaci a umístění v laboratoři.

- moduly musí obsahovat minimálně uvedené součásti: enkodér, pohon
- opakovatelnost minimálně $\pm 0,05\text{mm}$
- dále moduly musí mít komunikační rozhraní s jednotlivými modulárními komponentami alespoň CAN nebo CANopen, které musí být kompatibilní s modulárním robotem

Požadované vlastnosti lineárních modulů:

- 1ks s výsuvem (stroke) 150 – 250mm, jmenovitou silou (Rated feeding force) minimálně 150N a hmotností maximálně 5kg
- 1ks s výsuvem (stroke) 450 – 550mm, jmenovitou silou (Rated feeding force) minimálně 150N a hmotností maximálně 7kg
- 1ks s výsuvem (stroke) 1150 – 1500mm, jmenovitou silou (Rated feeding force) minimálně 300N a hmotností maximálně 35kg

Odůvodnění vlastností:

Moduly musí být tvořeny jako kompaktní pohony (motor, silová a řídicí elektronika, enkodér v jednom pouzdře) z důvodu univerzálního a modulárního použití. Ze stejného důvodu je kladen požadavek na hmotnosti a výkon jednotlivých modulů. Kompaktnost a hmotnost modulů hraje klíčovou roli při sestavování různých architektur robotů (zejména sériových kinematických řetězců, kde hmotnost modulů výrazně ovlivňuje realizovatelnost, statické a dynamické vlastnosti celého systému). Z hlediska možnosti kumulace chyb v polohování jednotlivých komponent je kladen důraz na vysokou přesnost a opakovatelnost polohování. Z hlediska kompatibility je požadováno komunikační rozhraní alespoň CAN nebo CANopen. Z důvodu univerzálnosti vývoje robotických architektur jsou moduly voleny v odstupňovaných výkonových (velikostních) řadách. Lineární moduly musí být plně kompatibilní (mechanicky i elektronicky) s výše uvedenými rotačními moduly. S ohledem na předpokládané architektury manipulátorů, které budou prostřednictvím modulů realizovány, byly vytvořeny matematické modely kinematiky a dynamiky sestavy. Hodnoty výsuvů, hmotností a jmenovitých sil modulů vychází z této analýzy. S ohledem na možnost vytváření modelů architektur manipulátorů reálných zařízení, je nutné postihnout v udaném měřítku celou škálu předpokládaných hodnot výsuvů (vzhledem k rotačním modulům). Vzhledem k současně plánovaným modelům zařízení je nezbytně nutné zajistit výsuv nejmenších modulů v rozsahu 150-250mm a 450-550mm (vykrytí celé předpokládané škály) a následně výsuv největšího modulu 1150-1500mm z důvodu předpokládaného polohování celého modelu robotického systému, který bude instalován na největším výsuvu (kompromis mezi reálností modelu a prostorovými nároky).

Technické parametry lineárních modulů

Senzor síly a momentu:

- senzor musí měřit síly ve třech osách s rozsahem do 150N
- senzor musí měřit momenty kolem tří os s rozsahem do 10Nm
- hmotnost senzoru maximálně 2kg
- senzor musí mít komunikační rozhraní s jednotlivými modulárními komponentami alespoň CAN nebo CANopen, které musí být kompatibilní s modulárním robotem i s rotačními a lineárními moduly

Technické parametry senzoru

Technické parametry koncových efektorů

Odůvodnění vlastností:

Senzor tvoří nedílnou součást robotického systému. Senzor síly a momentu umožňuje měřit silový moment a síly ve všech třech osách. V takovém případě lze u robotického systému uzavírat zpětnou vazbu nikoliv pouze od polohy (rychlosti) jednotlivých rotačních/lineárních komponent (aktuátorů, kloubů), ale i od měřených sil a momentů. Takový přístup je velmi důležitý zejména s ohledem na kvalitu regulace (odregulování poruch v mechanické konstrukci manipulátoru). Klíčovou roli hraje zejména v oblasti tzv. Force Control, Compliant Control, kde požadujeme přímo řídit silové účinky, kterými robot působí na své okolí. Požadavky na rozsah měřených sil, momentů a hmotnost senzoru vyplývají z předpokládaného použití při vývoji a výzkumu plánovaných aplikací. Senzor musí být kompatibilní s komunikací alespoň CAN nebo CANopen a s rotačními a lineárními moduly.

1ks dvouprstého uchopovače

- o musí být kompatibilní s modulárním robotem, rotačními a lineárními moduly přes komunikační rozhraní alespoň CAN nebo CANopen
- o rozvor čelistí (stroke) 50-100mm
- o trvalá síla stisku čelistí minimálně 150N
- o hmotnost maximálně 1,5kg

1ks dvouprstého uchopovače

- o musí být kompatibilní s modulárním robotem, rotačními a lineárními moduly přes komunikační rozhraní alespoň CAN nebo CANopen
- o taktilní senzor alespoň v jedné čelisti
- o rozvor čelistí (stroke) 70-120mm
- o trvalá síla stisku čelistí alespoň v rozsahu 10 - 100N
- o hmotnost maximálně 1,5kg

Odůvodnění vlastností:

Uchopovače jsou důležitým článkem robotického manipulátoru a slouží především k uchopování předmětů během jejich transportu, při obrábění atd. Pro funkčnost celého robotického systému je podstatné, aby byl robot takovými uchopovači vybaven. V základní verzi je zapotřebí jednoduchý dvouprstý uchopovač s dostatečným rozsahem pohybu (rozvor) a silou stisku, která je stanovena na základně předpokládaného využití. Uchopovač musí být kompatibilní s ostatními částmi robotu (lineární, rotační moduly) jak mechanicky tak komunikačně (CAN nebo CANopen). Hmotnost uchopovače je požadovaná co možná nejmenší z důvodu jeho umístění až na konci kinematického řetězce. Pro aplikace vyžadující řízení síly přitlaku uchopovače se předpokládá nákup pokročilého zařízení, opět dvouprstého uchopovače, s možností měřit sílu stisku pomocí tenzometrických snímačů umístěných alespoň v jednom z prstů. Takový uchopovač bude s výhodou použit u aplikací, kde vyžadujeme rychlé a přesné zpětnovazební řízení síly (transport křehkých obrobků a komponent, atd.). Uchopovač musí být opět kompatibilní s ostatními rotačními a lineárními moduly. S ohledem na předpokládané architektury manipulátorů, které budou prostřednictvím modulů realizovány, byly vytvořeny matematické modely kinematiky a dynamiky sestavy. Hodnoty rozvoru, hmotností a trvalých sil stisku čelistí vychází z této analýzy a z předpokladu na uvažované tvary, rozměry a hmotnosti uchopovaných předmětů. Rozvory čelistí u dvouprstých uchopovačů jsou dány předpokládanými rozměry uchopovaných předmětů (vzhledem k rozměrům celého robotického systému). Uchopované předměty pro netaktilní uchopovač budou pravděpodobně ve tvarech, jejichž vnější rozměry nebudou větší než 50mm a menší než 100mm. U taktilního uchopovače se, s ohledem na možnosti měření síly, a tedy i možnosti uchopování deformujících se předmětů, požaduje rozvor čelistí, který může uchopovat předměty větší než 70mm (celkově větší konstrukce uchopovače a prstů) a menší než 120mm (vzhledem k velikosti robotického systému).

Technické parametry dalších komponent

1ks převodník elektrických a pneumatických signálů pro trvalou rotaci v jedné ose

- o minimálně 2 pneumatické a 4 elektrické signály
- o minimální požadované otáčky 100rpm

**Příslušenství (pro
současný provoz
všech komponent)**

Odůvodnění vlastností:

Velmi často se setkáváme s případem, kdy je nezbytně nutné umět převést pneumatické a elektrické signály z nepohyblivé části stroje na část pohyblivou. Požadovaný převodník bude tento přenos umožňovat alespoň pro 2 pneumatické a 4 elektrické signály, a to v případě jednoosého rotačního pohybu (neomezeného). Zařízení bude s výhodou použitelné u aplikací, při kterých je například nutné s uchopovačem na konci manipulátoru neustále v jedné ose otáčet (např. případ šroubování obrobku do vývrtu a podobně), a tedy k němu přivádět odpovídající pneumatické a elektrické signály.

Příslušenství musí být použitelné pro současný provoz všech komponent.

Součástí dodávky musí být alespoň následující příslušenství:

- napájecí zdroje pro veškeré komponenty,
- komunikační a napájecí kabely

Odůvodnění vlastností:

S ohledem na kompaktnost a univerzálnost celého robotického systému, ať už v případě modulárního robotu, či v případě robotických architektur vytvořených z dílčích (rotačních, lineárních) komponent, z komponent pro měření a z uchopovačů, je nezbytně nutné zajistit korektní silové napájení a kabeláž, včetně kabelů komunikace.