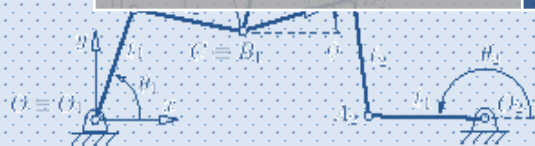


Výskum a vývoj inteligentných mobilných robotických platforiem
a polohovacích systémov s vysokou presnosťou pre využitie
vo výskume, vývoji a v priemysle

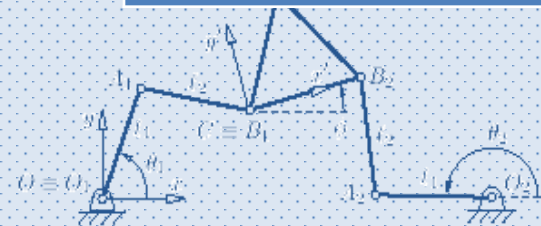
Projekt priemyselného (aplikovaného) výskumu



Názov projektu:	Výskum a vývoj inteligentných mobilných robotických platforiem a polohovacích systémov s vysokou presnosťou pre využitie vo výskume, vývoji a v priemysle
Druh projektu:	Projekt priemyselného výskumu
Číslo projektu:	2015-10961/33306:2-15F0
Druh stimulov:	STIMULY PRE VÝSKUM A VÝVOJ poskytnuté v zmysle Zákona 185/2009 Z.z. o stimuloch pre výskum a vývoj a o doplnení zákona č. 595/2003 Z. z. o dani z príjmov v znení neskorších predpisov
Poskytovateľ stimulov:	Ministerstvo školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky
Riešiteľ:	ZTS Výskumno-vývojový ústav Košice, a.s. Južná trieda 95, 041 24 Košice vaclav.kubak@ztsvvu.eu
Spoluriešiteľ:	Technická univerzita v Košiciach Letná 9, 042 00 Košice
Doba riešenia:	09/2015 – 08/2018 (36 mesiacov)
Vytvorenie/udržanie pracovných miest vo výskume a vývoji:	Vytvorenie 7 nových pracovných miest
Zodpovedný riešiteľ:	Ing. Václav Kubák



Harmonogram riešenia projektu		
Názov etapy	Začiatok	Koniec
E1 Návrh koncepčných variantov a ich vyhodnotenie	09/2015	02/2016
E2 Výpočtová a konštrukčná analýza vybraného variantu	03/2016	09/2016
E3 Detailné technologické a konštrukčné riešenie funkčných modelov	10/2016	03/2017
E4 Výroba funkčných modelov	04/2017	12/2017
E5 Skúšky funkčných modelov	01/2018	06/2018
E6 Úprava dokumentácie funkčných modelov a záver	07/2018	08/2018



Popis čiastkových cieľov projektu podľa etáp.

Nižšie sú uvedené popisy čiastkových cieľov a plánovaných činností. Tieto sa môžu zmeniť v dôsledku nových zistení a skutočnosti resp. v dôsledku výsledkov a poznatkov z predchádzajúcich už prebehnutých etáp.

Etapa E1 Návrh koncepcných variantov a ich vyhodnotenie

Výstupom etapy bude štúdia, ktorej cieľom je zhrnúť prehľad o aktuálnom stave poznania a trendoch v oblasti modulov polohovacích systémov z rôznych pohľadov. Následne budú vypracované koncepcné návrhy variantov riešenia zohľadňujúce doterajšie skúsenosti ako aj poznatky získané z štúdie. Pomocou štatistických metód s využitím kritérií vyhodnotenia vyplývajúcich z štúdie sa vyberie optimálny koncepcný návrh.

Etapa E2 Výpočtová a konštrukčná analýza vybraného variantu

Cieľom tejto etapy je rozpracovanie vybraného optimálneho koncepcného návrhu a vykonanie výpočtovej a konštrukčnej analýzy vybraného variantu polohovacieho systému.

Konečným návrhom bude návrh polohovacieho systému pre polohovanie kryomagnetov kompaktného lineárneho urýchľovača a návrh jeho jednotlivých častí a hlavných dielov, ako sú: pevná základňa, pohony – aktuátory, jednotlivé kĺby, pohyblivá základňa, elektročasť, riadiaci systém a ostatné nutné časti.

Konečný návrh musí zohľadňovať všetky požadované parametre na tento polohovací systém ako sú: presnosť polohovania, hmotnosť a rozmery polohovaných technologických zariadení, teplota pracovného prostredia, radiácia a iné, špecifikované v rozbere aplikačnej sféry.

Špeciálne požiadavky sú kladené na samotný pohyblivý nosník, ktorý tvorí pohyblivú základňu mechanizmu. Cieľom tejto etapy je aj optimalizácia všetkých navrhnutých častí.

Etapa E3 Detailné konštrukčné a technologické riešenie funkčných modelov

Cieľom tejto etapy je detailné konštrukčné a technologické riešenie funkčných modelov. V etape budú vyhotovené 3D modely všetkých konštrukčných skupín a dielcov.

Bude vyhotovená konštrukčná a technologická dokumentácia pre funkčné modely. Budú spracované výkresy a popisy pre objednanie nutných nakupovaných dielov, výkresy pre projektovú prípravu, návody na montáž a oživenie, návody na vystavovanie a návody na ovládanie a údržbu.

Súčasťou dokumentácie bude metodika skúšok zariadenia.

Etapa E4 Výroba funkčných modelov

Cieľom tejto etapy je výroba funkčných modelov, zabezpečenie nutnej externej výroby dielcov, zabezpečenie nevyhnutnej kooperácie výroby alebo služieb.

Súčasťou výroby dielcov sú aj merania za účelom overenia správnosti dosiahnutých rozmerov, vyhotovenie protokolov z tejto rozmerovej kontroly, vyhotovenie dokumentácie na overenie použitých materiálov a pod. Etapa zahŕňa aj montáž podskupín, skupín a celkovú montáž experimentálneho zariadenia.

Etapa E5 Skúšky funkčných modelov

Cieľom tejto etapy bude vystavenie zmontovaného funkčného modelu polohovacieho systému na požadovanú presnosť. Podskupiny ako sú pohony – aktuátory, jednotlivé pružné členy – kĺby, vzorky použitých materiálov a pod. budú skúšané aj samostatne vopred.

Vykonávané skúšky podskupín budú zamerané na ich funkčnosť, presnosť a opakovanú presnosť polohovania. Skúšky budú vykonávané bez záťaže a so záťažou. Budú vykonané aj skrátené skúšky životnosti a skúšky odolnosti predpísanému žiareniu.

Po vykonaní skúšok podskupín a konečnej montáže zariadenia sa budú vykonávať funkčné skúšky modelu polohovacieho systému s meraním docielenej presnosti a času polohovania. Skúšky budú bez záťaže a so záťažou (rovnakou, ako bude zaťaženie od hmotnosti technologických).

Etapa E6 Úprava dokumentácie funkčných modelov a záver

Cieľom tejto etapy budú úpravy a zmeny v dokumentáciách po overení výroby funkčného modelu a vykonaní všetkých skúšok. V tejto etape budú vykonané aj prípadné zmeny riešenia polohovacieho systému so zameraním na samotnú konečnú hromadnú montáž a presné vystavovanie zariadení polohovacích systémov v tuneli.

V záverečnom zhodnotení budú formou záverečnej správy zhrnuté všetky získané poznatky.

Plánovaná výška oprávnených nákladov na projekt (€):

	2015	2016	2017	2018	Spolu
Celkom	135 849	254 800	409 651	533 095	1 333 395
Vlastné prostriedky	33 970	63 711	102 426	133 292	333 399
Požadovaná dotácia	101 879	191 089	307 225	399 803	999 996
Podiel vlastných prostriedkov	25,01%	25,00%	25,00%	25,00%	25,00%

Rozdelenie financií medzi hlavného riešiteľa a spoluriešiteľov (€):

	Výška dotácie	Vlastné prostriedky	Spolu
ZTS Výskumno-vývojový ústav Košice, a.s.	883 165	294 440	1 177 605
Technická univerzita v Košiciach	116 831	38 959	155 790
Spolu	999 996	333 399	1 333 395

Výskum a vývoj inteligentných mobilných robotických platforiem a polohovacích systémov s vysokou presnosťou pre využitie vo výskume, vývoji a v priemysle

Realizované ciele a výstupy projektu za rok 2015

Projekt priemyselného (aplikovaného) výskumu

Hlavné realizované výstupy (výsledky) za rok 2015:

- Boli podrobne posúdené a následne vybrané konečné **cieľové aplikácie** pre robotické moduly, tvoriace polohovacie systémy s mimoriadne vysokou presnosťou polohovania. Takými sú polohovacie systémy pre polohovanie kryomagnetov, laserových zariadení a iných špeciálnych technológií a zariadení používaných pri urýchľovaní častíc. Ďalej sú to polohovacie systémy pre polohovanie radarov, satelitných antén, teleskopov, navigačných zariadení, bezpečnostných, obranných a moderných zbraňových systémov.
- Vykonala sa podrobná **analýza požiadaviek zvolenej aplikačnej sféry**.
- **Zhromaždili sa všetky dostupné najnovšie informácie pre zmapovanie aktuálneho stavu poznania** v oblasti teórie modulov polohovacích systémov. Zmapovali sa aj praktické riešenia a realizácie týchto poznatkov u polohovacích systémov využívaných vo vybranej aplikačnej sfére.

Uvedenými aktivitami boli dosiahnuté výsledky, ktoré budú následne využité v nadväzných etapách v roku 2016 a vytvárajú predpoklad úspešného riešenia celého projektu.

Zhodnotenie čerpania finančných prostriedkov v kontrolovanom roku 2015 (€):
rok 2015

Dotácie		Vlastné prostriedky		Spolu	
Plán	Čerpanie	Plán	Čerpanie	Plán	Čerpanie
101 879	101 879	33 970	33 970	135 849	135 849

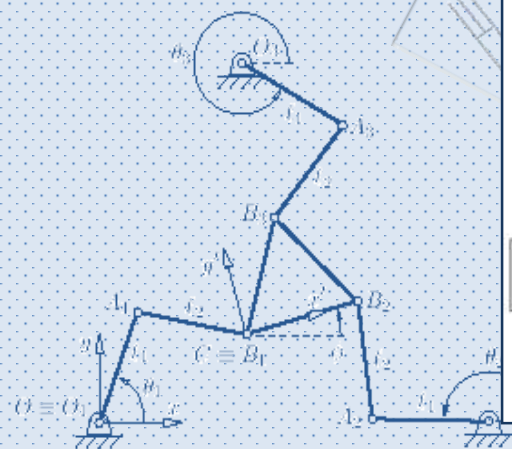
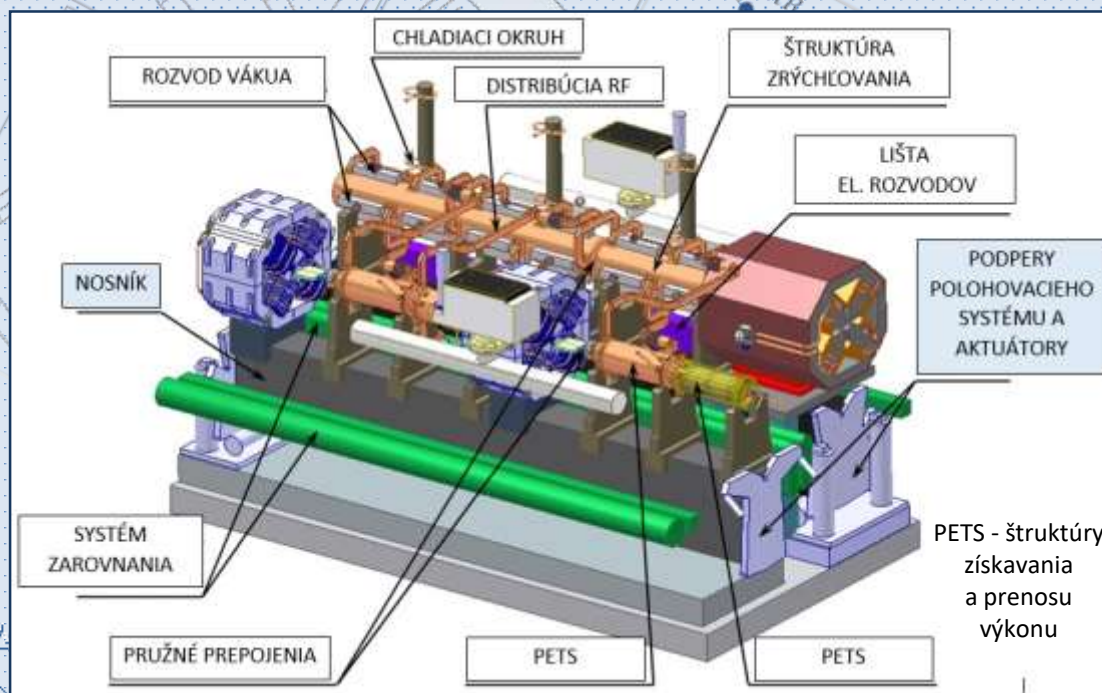
Štruktúra vynaložených nákladov (€):

Sumárny rozpočet projektu za rok 2015				
	Plán 2015	Dotácia 2015	Vlastné 2015	Spolu 2015
Bežné priame náklady	108 688,00	82 828,04	27 619,68	110 447,71
Mzdové náklady	80 970,00	61 041,57	20 603,43	81 645,00
Zdravotné a sociálne poistenie	25 818,00	20 546,76	6 601,01	27 147,76
Cestovné výdavky	1 900,00	0,00	0,00	0,00
Materiál	0,00	1 239,71	415,24	1 654,95
Odpisy	0,00	0,00	0,00	0,00
Služby	0,00	0,00	0,00	0,00
Energie, vodné, stočné a komunikácie	0,00	0,00	0,00	0,00
Bežné nepriame náklady	27 161,00	19 050,97	6 350,32	25 401,29
Bežné náklady spolu	135 849,00	101 879,00	33 970,00	135 849,00
Kapitálové výdavky	0,00	0,00	0,00	0,00
Požadovaná výška dotácie pre projekt	101 879,00	101 879,00		101 879,00
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	33 970,00		33 970,00	33 970,00
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	135 849,00			135 849,00
Bežné nepriame náklady	19,99%			18,70%
Intenzita stimulov	74,99%			74,99%

Hlavný cieľ projektu:

je formou priemyselného výskumu vyvinúť komplex robotických modulov tvoriacich polohovací systém s mimoriadne vysokou presnosťou polohovania.

- Požadovaná konečná presnosť polohovania **celého polohovacieho systému** je $\pm 5 \mu\text{m}$, pri hmotnosti bremien (technologických zariadení) **niekoľko stoviek kilogramov** a rozmermi, u ktorých môže jeden rozmer (napríklad dĺžka) niekoľkonásobne prevyšovať ostatné.
- Požadované minimálne efektívne posunutie v celom rozsahu zdvihu samotných **aktuátorov** použitých pri polohovaní (ich rozlišovacia schopnosť) je $0,5 \mu\text{m}$.
- Uvedené systémy majú spĺňať zvýšené nároky jednotlivých členov modulov na ich **vysokú tuhosť, nízku tepelnú rozťažnosť a odolnosť voči zvýšenej rádiácii.**



Cieľové aplikácie:

- konečné **cieľové aplikácie** pre robotické moduly tvoriace polohovacie systémy s mimoriadne vysokou presnosťou polohovania sú polohovacie systémy pre polohovanie kryomagnetov, laserových zariadení a iných špeciálnych technológií a zariadení používaných pri urýchľovaní častíc. Ďalej sú to polohovacie systémy pre polohovanie radarov, satelitných antén, teleskopov, navigačných zariadení, bezpečnostných, obranných a moderných zbraňových systémov.

Polohovanie sekundárneho zrkadla teleskopu



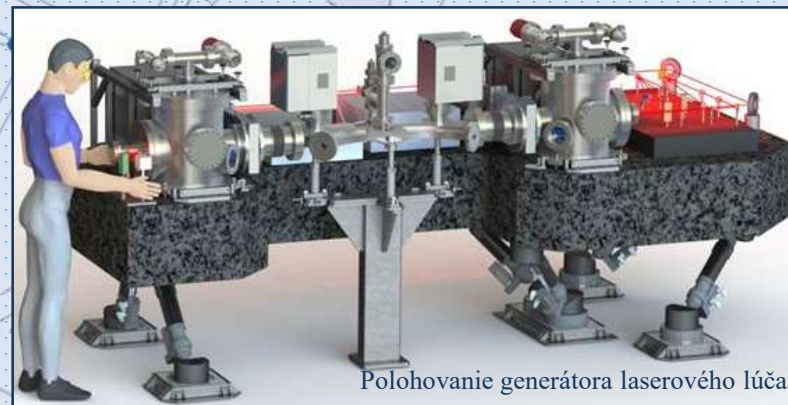
Polohovanie Synchrotronu (Austrália)



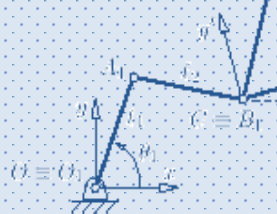
Polohovanie častí teleskopu



Polohovanie magnetov



Polohovanie generátora laserového lúča



Analyza požiadaviek aplikačnej sféry

Polohovacie zariadenia musia okrem požadovanej **presnosti** a **únosnosti** byť navrhované tak, aby:

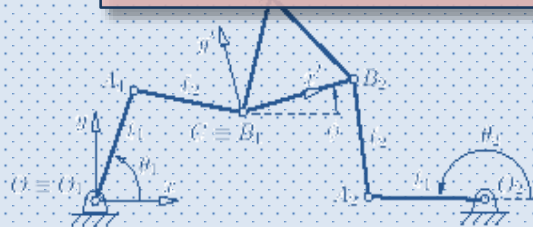
- spoľahlivo pracovali v prostredí s rozsahom teplôt $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vlhkosťou maximálne do 90 %,
- mali nízku prevádzkovú energetickú náročnosť v stave nečinnosti
- dosahovali vysoký stupeň bezporuchovosti
- vyžadovali minimálny rozsah kontrolno-servisnej činnosti
- boli schopné samé diagnostikovať svoj stav alebo zmenu stavu, ktorý by mohol vyústiť do poruchy a následnej odstávky zariadenia
- mali vysokú prevádzkovú životnosť
- vyžadovali minimálny priestor pri servisnej činnosti
- boli odolné vysokej úrovni rádioaktívneho žiarenia
- boli ľahko a bezpečne prepraviteľné

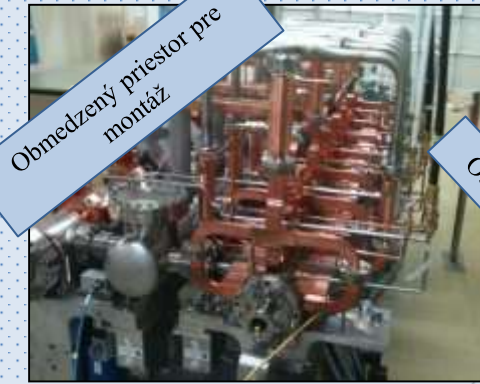
Požiadavky na polohovacie systémy pre polohovanie kryomagnetov kompaktného lineárneho urýchľovača

Okrem už spomenutých požiadaviek je potrebné pre polohovanie kryomagnetov zohľadniť ďalšie špecifiká:

- spúšťanie do tunela a doprava na miesto montáže
- obmedzená manipulácia pri doprave v tuneli
- obmedzený priestor pre montáž polohovacieho zariadenia
- obmedzený priestor pri nastavovaní polohovacieho zariadenia
- obmedzený priestor pre údržbu polohovacieho zariadenia

Uvedené špecifiká sú zobrazené na nasledovných obrázkoch

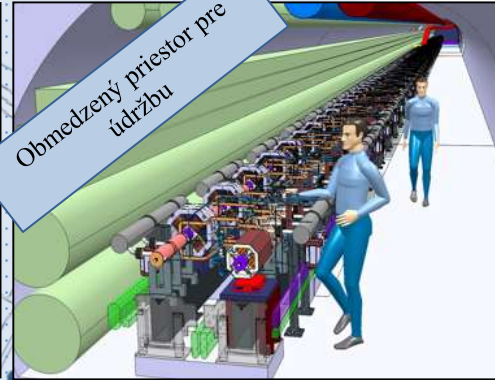




Obmedzený priestor pre montáž



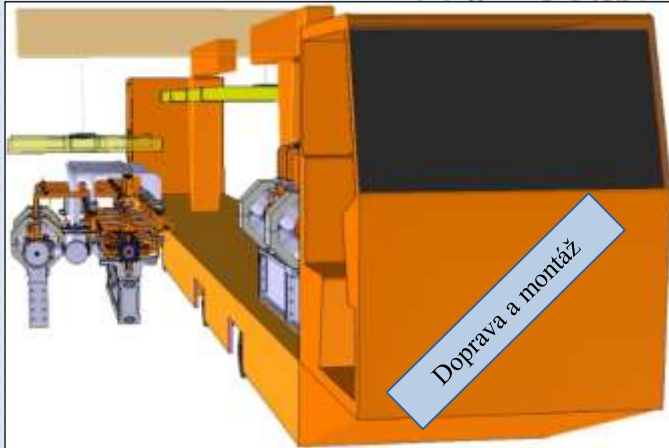
Obmedzená manipulácia



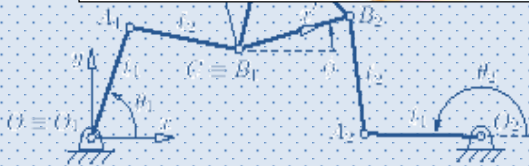
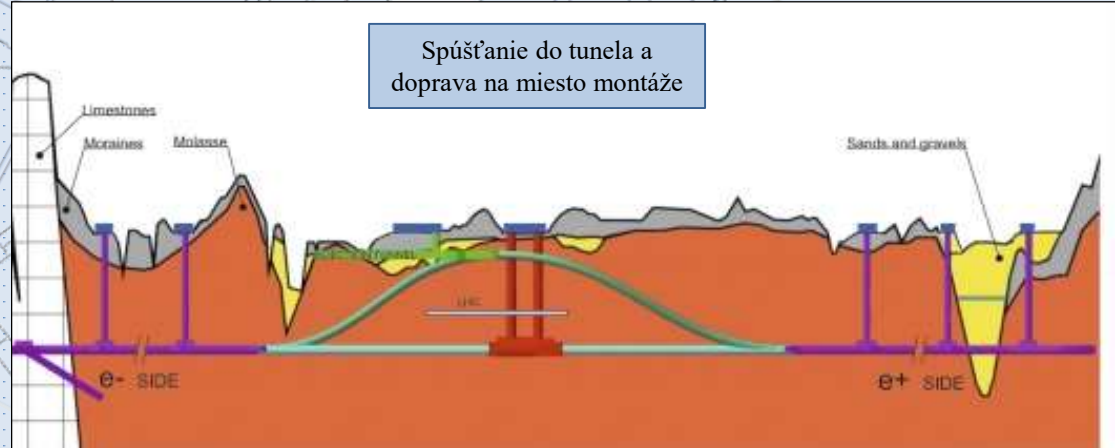
Obmedzený priestor pre údržbu

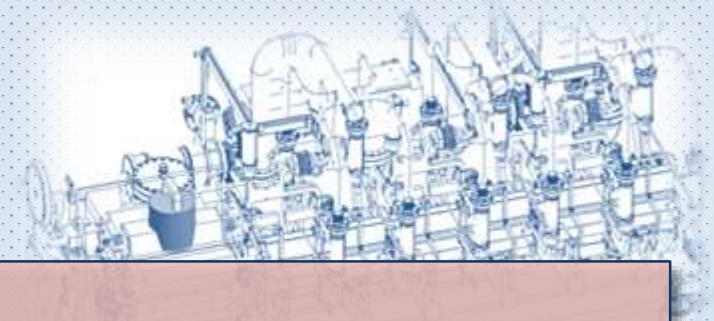


Obmedzený priestor pre dopravu a montáž



Doprava a montáž

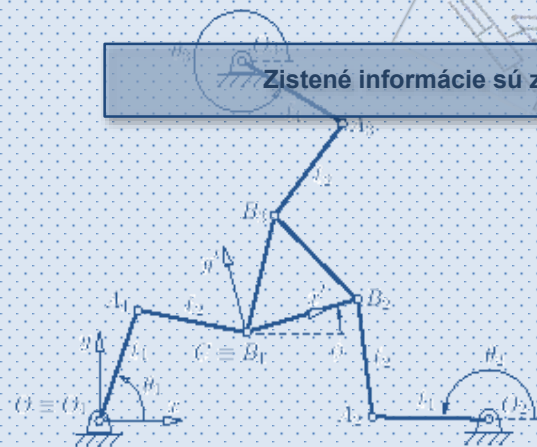




Analýza súčasného stavu a trendov polohovacích systémov

Zhromaždili sa všetky dostupné najnovšie informácie pre zmapovanie aktuálneho stavu poznania v oblasti teórie modulov polohovacích systémov. Zmapovali sa aj praktické riešenia a realizácie týchto poznatkov u polohovacích systémov využívaných vo vybranej aplikačnej sfére. Ďalej sú uvedené len stručné zhrnutia a odporúčania pre veľmi presné polohovacie systémy určené pre cieľové aplikácie.

Zistené informácie sú zhrnuté v štúdií „Presné polohovacie systémy s mimoriadne vysokou presnosťou polohovania“



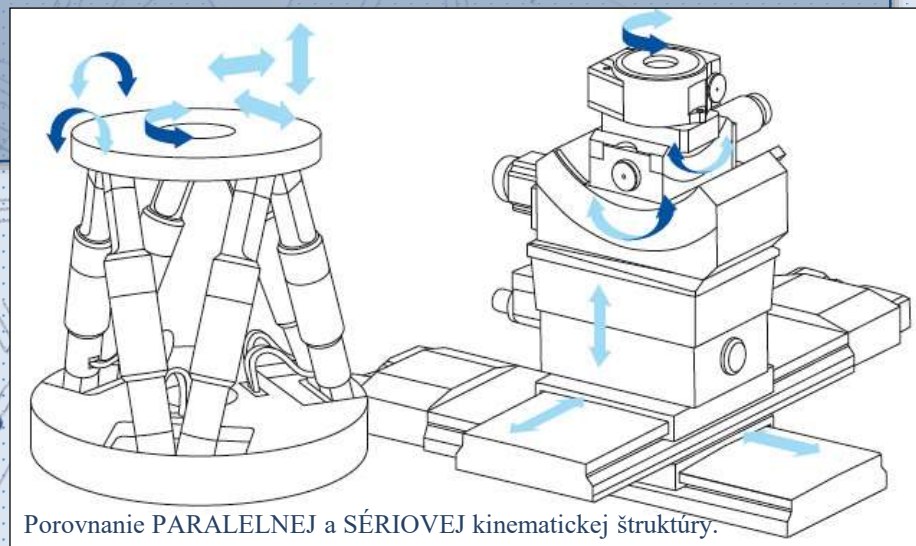
MODULY POLOHOVACÍCH SYSTÉMOV Z POHĽADU ICH KINEMATIKY MODELOV

Výsledkom posúdenia podľa **kinematického reťazca**, sa ako najvýhodnejšie riešenie javí použitie polohovacieho systému s **paralelnou kinematickou štruktúrou** s ich nasledujúcimi výhodami:

- nízke hmotnosti pohybujúcich sa častí
- možnosť vysokej pracovnej rýchlosti a zrýchlenia
- rám a všetky časti stroja sú obyčajne len minimálne namáhané ohybovými momentmi
- väčšina použitých komponentov má vysokú opakovateľnosť v rámci stroja
- možnosť použitia normalizovaných súčiastok
- vysoká dosiahnuteľná presnosť polohovania

Nevýhodami sú :

- trenie v guľových kĺboch
 - dlhé ramená náchylné na porušenie vzperovej stability
 - tepelná dilatácia u dlhých ramien
 - presnosť závislá od kalibrácie polohovacieho mechanizmu
- Tieto nevýhody sa dajú eliminovať vhodnou voľbou konštrukcie

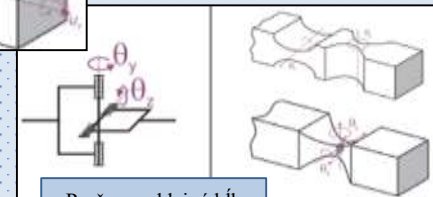
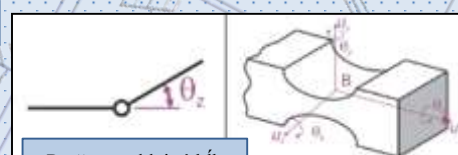
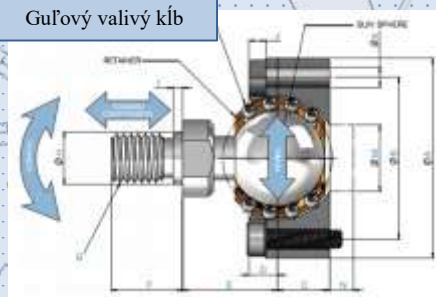
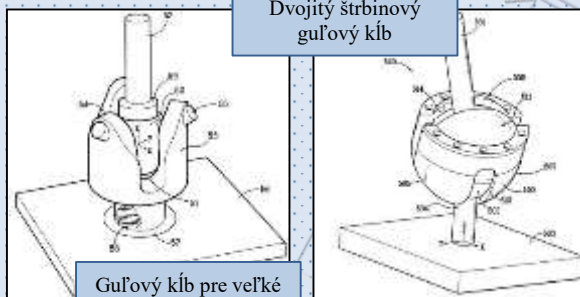


KÍBY POLOHOVACÍCH SYSTÉMOV S MIMORIADNE VYSOKOU PRESNOSŤOU

Výsledkom posúdenia možných riešení kinematických väzieb – kĺbov bol vykonaný výber najvhodnejších riešení pre polohovacie systémy s paralelnou kinematickou štruktúrou. Takými sú:

- guľové kĺby
- kardanové kĺby
- pružne poddajné kĺby

Pre kĺby polohovacieho systému kryomagnetov sa ako najvhodnejšie javia pružne poddajné kĺby.



MATERIÁLY PRE RAMENÁ A NOSNÉ ČLENY POLOHOVACÍCH SYSTÉMOV

U materiálov pre nosné časti mechanizmov sa posudzovalo splnenie požiadaviek:

- vysokej tuhosti týchto častí
- vysokej presnosti ich výroby
- tepelnej stability (rozťažnosť materiálu)
- dodržanie technológičnosti konštrukcií pri ich výrobe
- mechanických vlastností použitého materiálu
- životnosti
- primeranej ceny materiálov
- opakovateľnosti použitých komponentov v rámci mechanizmu

Podľa skúseností s podobnými zariadeniami v ZTS VVÚ (rôzne manipulátory, robotické časti a pod.) ako aj zo skúseností s podobnými zariadeniami v CERNe boli vytipované niektoré akosti materiálov pre jednotlivé zariadenia:

- nerezové ocele (1.4301, 1.4311, 1.4948, 1.4307, 1.4306, 1.4315, 1.4401, 1.4436, 1.4404, 1.4435, 1.4432, 1.4406, 1.4429, 1.4571 alebo 1.4580)
- stredne legovaná oceľ 34CrNiMo6 – na pružne poddajné členy
- zliatina hliníka EN AW 6082 – na nosné ramená a nastaviteľné základne

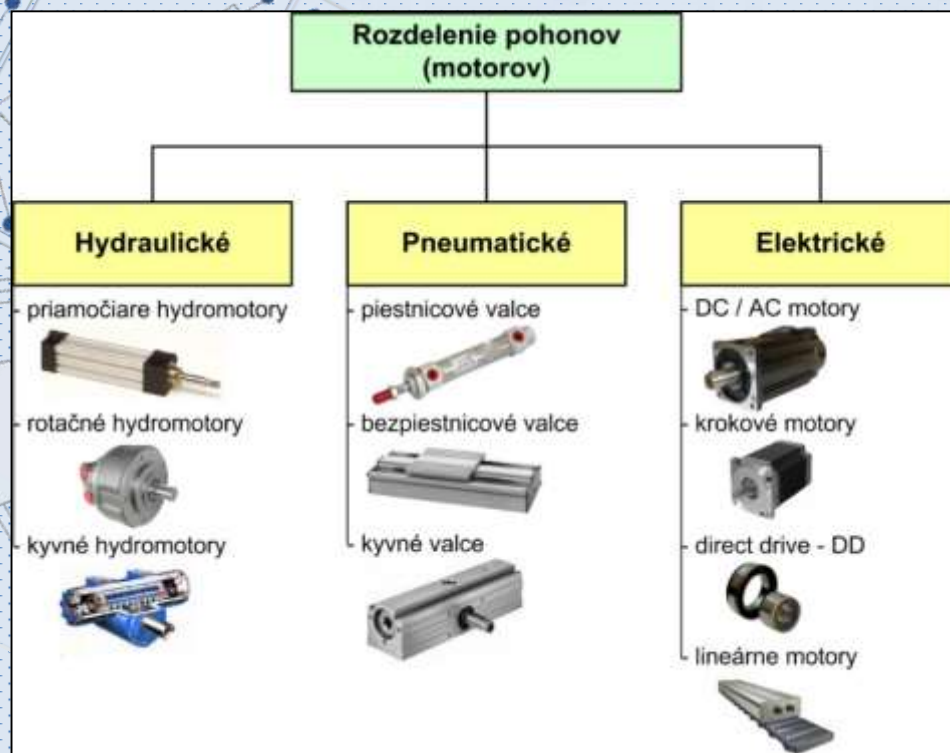
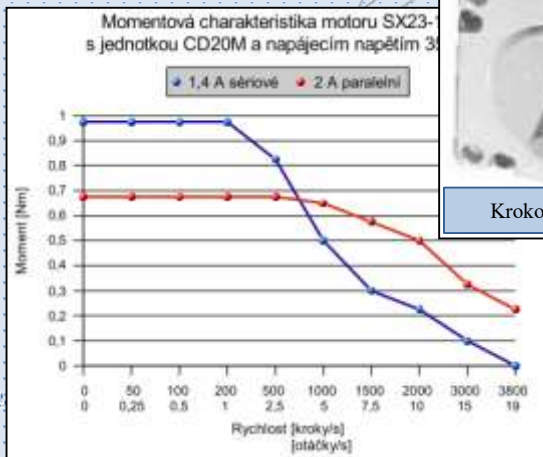


POHONY POLOHOVACÍCH SYSTÉMOV (motory)

Bol zmapovaný súčasný stav a trendy v oblasti pohonov (motorov) robotov a polohovacích systémov.

Pri porovnaní rôznych typov motorov sa pre konečnú aplikáciu javí ako najvhodnejšie použitie krokového motora, ktorý poskytuje optimálne vlastnosti pri regulácii polohy s extrémne vysokou presnosťou akými sú:

- vysoká presnosť určenia mechanickej polohy rotora motora pri impulznom riadení
- vysoký krútiaci moment pri relatívne malých rozmeroch a hmotnosti
- relatívne nižšia cena

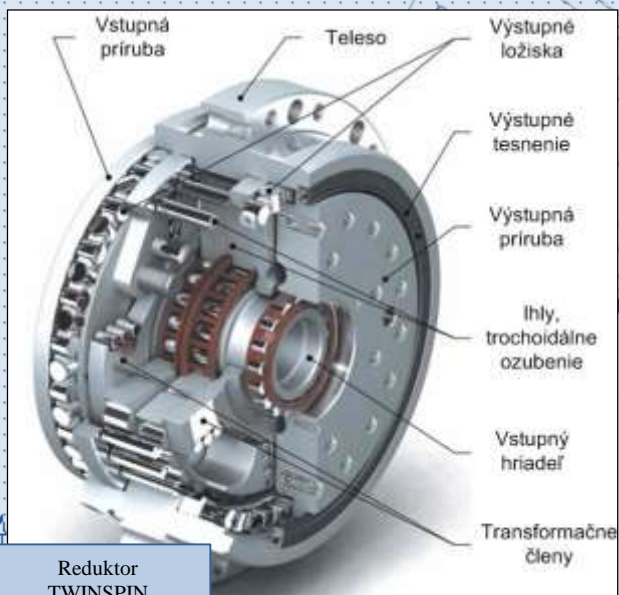


PREVODOVÉ SYSTÉMY POLOHOVACÍCH SYSTÉMOV (prevodovky)

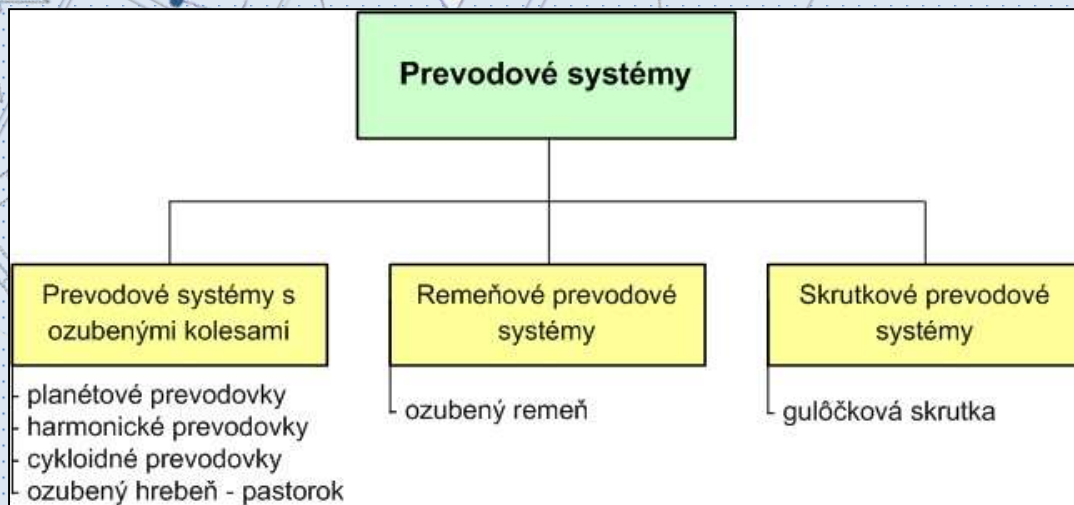
Bol zmapovaný súčasný stav a trendy v oblasti prevodových systémov (prevodoviek) robotov a polohovacích systémov.

Pri porovnaní rôznych typov prevodových systémov sa pre konečnú aplikáciu javí ako najvhodnejšie použitie cykloidného reduktora pre jeho nasledovné výhody:

- malé rozmery
- malé vôle
- malé momenty zotrvačnosti
- vysoká torzná tuhosť
- vysoká účinnosť
- vstupný a výstupný hriadeľ je súosový a smer otáčania výstupného hriadeľa je zhodný so smerom otáčania vstupného hriadeľa



Reduktor
TWINSPIN



RIADIACI SYSTÉM PRE PRESNÉ POLOHOVACIE MODULY

Riadiaci systém, ktorý riadi chod celého polohovacieho systému bude pre potreby riadenia vyvinutý ZTS VVÚ Košice. Okrem všeobecných požiadaviek dosiahnuť:

- extrémne presné rozlíšenie polohy pri veľkom mechanickom zaťažení
- extrémne presné rozlíšenie polohy pri veľkom pracovnom rozsahu
- schopnosť systému identifikovať anomálie v priebehu riadiaceho procesu
- snímanie základných veličín s extrémnou presnosťou, ktoré sú potrebné pre korektný priebeh riadiaceho procesu
- mať viacúrovňovú prevádzkovú bezpečnosť zariadenia
- mať kompaktné mechanické vyhotovenie s minimálnymi externými prepojeniami medzi mechanickými komponentami
- mať automaticky regulovanú minimálnu spotrebu energie potrebnej na prevádzku riadiaceho systému
- mať mechanickú kompatibilitu riadiacich jednotiek pre rôzne typy pohonov (vertikálny, radiálny, excentrický)

ŠTRUKTÚRA AKTUÁTORA POLOHOVACIEHO SYSTÉMU

Pre cieľovú aplikáciu, ktorou sú polohovacie systémy pre polohovanie kryomagnetov kompaktného lineárneho urýchľovača podľa doterajších skúsenosti s podobným polohovaním ako aj na základe výsledkov štúdie navrhujeme použitie uzatvoreného modelu polohovacieho aktuátora pozostávajúceho z:

- krokového motora
- brzdy
- cykloidného reduktora
- guľôčkovej skrutky
- snímača absolútnej polohy



ZHRNUTIE ODPORÚČANÍ Z JEDNOTLIVÝCH ČASTÍ ŠTÚDIE PRE VEĽMI PRESNÉ POLOHOVACIE SYSTÉMY

- Najvýhodnejšie sa javí kinematický model s paralelnou kinematickou štruktúrou
- Pre cieľovú aplikáciu polohovania kryomagnetov sa z dôvodu hadovitého princípu polohovania za sebou usporiadaných polohovacích systémom javí modul polohovacieho systému tromi stupňami voľnosti (DoF) a to horizontálne posunutie, vertikálne posunutia a otáčanie (rotácia okolo osi zväzku častí).
- Ako riešenie spájania pre jednotlivé kinematické dvojice sa najvýhodnejšie javia dvojice s pružne poddajnými členmi (typu rotačný kĺb a kardan).
- Ako materiál pre ramená a nosné členy sa odporúčajú vybrané akosti nerezových ocelí a vysoko pevná zliatina hliníka EN AW 6082.
- Ako materiál pre polohovanú platformu (nosník) sa odporúča špeciálny materiál SiC a jeho výroba reakčným spekaním.
- Ako pohon (motor) aktuátorov polohovacieho mechanizmu sa odporúča krokový elektromotor.
- Ako prevodový systém (prevodovka) sa odporúča cykloidná prevodovka typu Twinspin.
- Ako štruktúra polohovacieho aktuátora sa odporúča zostava : krokový motor, brzda, cykloidná prevodovka, guľôčková skrutka a snímač absolútnej polohy.
- Výstupným pohybom aktuátorov bude priamočiary vratný pohyb.
- Ako riadiaci systém bude použitý vlastný riadiaci systém, vyvinutý pre tento konkrétny polohovací systém.
- Riadiaci systém bude pripravený pre jeho pripojenie do centrálného radiaceho systému, ktorý bude riadiť činnosť celého polohovacieho systému kryomagnetov urýchľovača častíc.



ZTS VVÚ KOŠICE a.s.

**Výskum a vývoj inteligentných mobilných robotických platforiem
a polohovacích systémov s vysokou presnosťou pre využitie
vo výskume, vývoji a v priemysle**

Realizované ciele a výstupy projektu za rok 2016

Projekt priemyselného (aplikovaného) výskumu

 **ZTS VVÚ KOŠICE a.s.**

ZTS VVÚ KOŠICE a.s.
Južná trieda 95
041 24 Košice

Tel.: +421 / 55 / 6834 111
Fax: +421 / 55 / 6834 217
E-mail: market@ztsvvu.eu
GPS pozícia: N: 48° 42' 10,746" (48,702985)
E: 21° 15' 40,5324" (21,92554)



- Uplatnením všetkých získaných poznatkov zhrnutých do štúdie, **boli navrhnuté vhodné koncepčné varianty pre polohovanie kryomagnetov.**
- Pomocou štatistických metód vyhodnocovania a použitím zvolených výberových kritérií **bol vybraný konečný návrh riešenia pre polohovanie kryomagnetov.**
- Pre optimálny variant boli navrhované riešenia, koncepcie a zistené vstupné a výstupné parametre zhrnuté v **predbežnom návrhu projektu.**
- Pre definovanie dôležitých základných parametrov celého polohovacieho systému bola vypracovaná **kinematická analýza pohybov nosného systému** a boli vyhotovené **kontrolné výpočty** s využitím lineárnych statických analýz **metódou konečných prvkov MKP.**
- Po vykonaní výpočtových a konštrukčných analýz bol vypracovaný **konečný návrh projektu.**
- Začali sa práce na detailnom konštrukčnom a technologickom riešení funkčných modelov. Bol vytvorený **úplný 3D model celého zariadenia.**

Uvedenými aktivitami boli dosiahnuté výsledky, ktoré budú následne využité v nadväzných etapách v roku 2017 a vytvárajú predpoklad úspešného riešenia celého projektu.

Zhodnotenie čerpania finančných prostriedkov v kontrolovanom roku 2016 (€):
rok 2016

Dotácie		Vlastné prostriedky		Spolu	
Plán	Čerpanie	Plán	Čerpanie	Plán	Čerpanie
191 089	191 089	63 711	63 711	254 800	254 800

Štruktúra vynaložených nákladov
Sumárny rozpočet projektu za rok 2016 (v eurách)

	Plán 2016	Dotácia 2016	Vlastné 2016	Spolu 2016
Bežné priame náklady	203 679,00	152 256,43	51 422,57	203 679,00
Mzdové náklady	152 966,00	113 693,81	38 418,07	152 111,88
Zdravotné a sociálne poistenie	48 813,00	35 509,59	11 983,65	47 493,24
Cestovné výdavky	1 900,00	2 195,31	731,76	2 927,07
Materiál	0,00	0,00	0,00	0,00
Odpisy	0,00	0,00	0,00	0,00
Služby	0,00	857,72	289,09	1 146,81
Energie, vodné, stočné a komunikácie	0,00	0,00	0,00	0,00
Bežné nepriame náklady	51 121,00	38 832,57	12 288,43	51 121,00
Bežné náklady spolu	254 800,00	191 089,00	63 711,00	254 800,00
Kapitálové výdavky	0,00	0,00	0,00	0,00
Požadovaná výška dotácie pre projekt	191 089,00	191 089,00		191 089,00
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	63 711,00		63 711,00	63 711,00
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	254 800,00			254 800,00
Bežné nepriame náklady	20,06%			20,06%
Intenzita stimulov	75,00%			75,00%

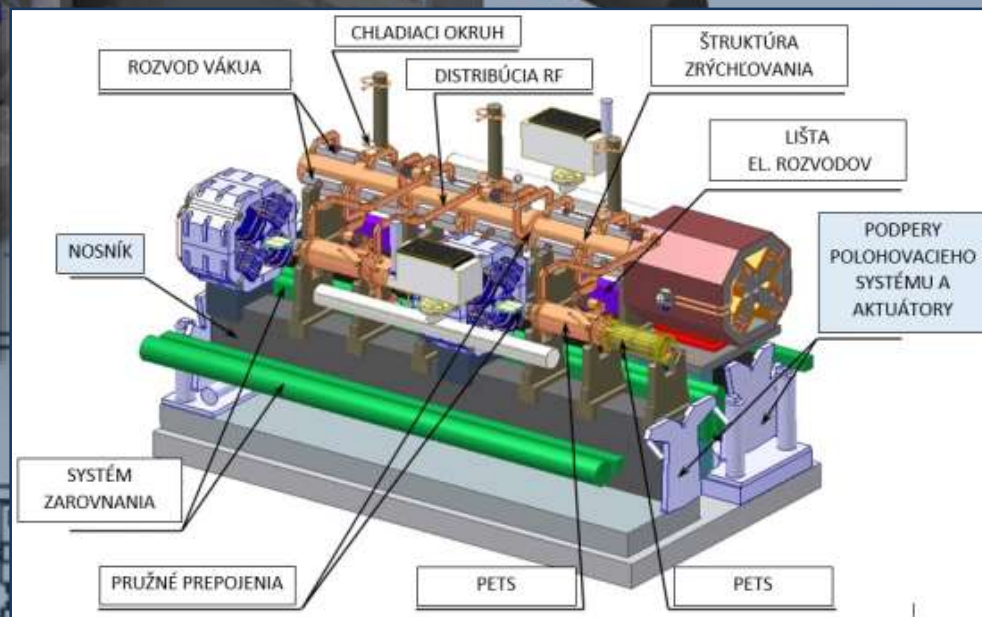
Hlavný cieľ projektu:

je formou priemyselného výskumu vyvinúť komplex robotických modulov tvoriacich polohovací systém s mimoriadne vysokou presnosťou polohovania.

- Požadovaná konečná presnosť polohovania **celého polohovacieho systému** je $\pm 5 \mu\text{m}$, pri hmotnosti bremien (technologických zariadení) **niekoľko stoviek kilogramov** a rozmermi, u ktorých môže jeden rozmer (napríklad dĺžka) niekoľko násobne prevyšovať ostatné.
- Požadované minimálne efektívne posunutie v celom rozsahu zdvihu smotných **aktuátorov** pužitých pri polohovaní (ich rozlišovacia schopnosť) je **0,5 μm** .
- Uvedené systémy majú spĺňať zvýšené nároky jednotlivých členov modulov na ich **vysokú tuhosť, nízku tepelnú rozťažnosť a odolnosť voči zvýšenej radiácii**.

Cieľová aplikácia priemyselného výskumu :

Realizácia **polohovania kryomagnetov** bola zvolená ako cieľová aplikácia priemyselného výskumu riešenia komplexu robotických modulov tvoriacich polohovací systém s mimoriadne vysokou presnosťou polohovania.



DB0-1

2375

Návrh koncepčných variantov :

Uplatnením všetkých získaných poznatkov zhrnutých do štúdie a skúseností z v minulosti realizovaných polohovacích systémov s mimoriadne vysokou presnosťou polohovania, **bolo navrhnutých niekoľko koncepčných variantov pre polohovanie kryomagnetov.** Pri ich návrhu boli uplatňované tieto základné požiadavky na riešenie polohovania :

- tuhosť a stabilita polohovacieho zariadenia
- základné rozlíšenie aktuátora pri meraní reálnej polohy \leq ako 0,5 μ m
- presnosť dosiahnutia požadovanej polohy aktuátora \pm 1 μ m pri vysokom zaťažení od polohovaných technológií
- viacúrovňová bezpečnosť pri kolíznych stavoch
- spoľahlivá práca v prostredí s rozsahom teplôt -40 do +40 °C a vlhkosťou maximálne do 90 %,
- nízka prevádzková energetická náročnosť v stave nečinnosti
- vysoký stupeň bezporuchovosti
- vysoká prevádzková životnosť
- minimálny rozsah kontrolno-servisnej činnosť
- požiadavka na minimálny priestor pri servisnej činnosti
- samo diagnostika svojho stavu alebo zmeny stavu
- odolnosť vysokej úrovni rádioaktívneho žiarenia

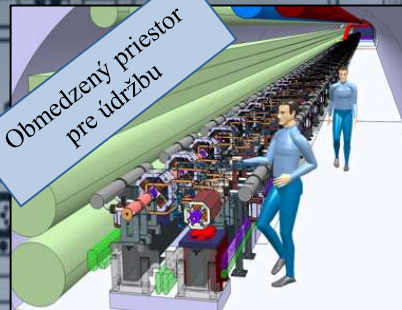
- hardvérový a softvérový systém priebežného monitorovania stavu aktuátora - jeho mechanickej časti a taktiež stavu a funkčnosti riadiaceho systému.
- jednoduchý a prehľadný základný ovládací program pre riadenie, ovládanie a testovanie motorových modulov aktuátorov v polohovacom systéme
- zariadenie ľahko a bezpečne prepraviteľné na miesto použitia
- spúšťanie do tunela a doprava na miesto montáže
- obmedzená manipulácia pri doprave v tuneli
- obmedzený priestor pre montáž polohovacieho zariadenia
- obmedzený priestor pri nastavovaní polohovacieho zariadenia
- obmedzený priestor pre údržbu polohovacieho zariadenia



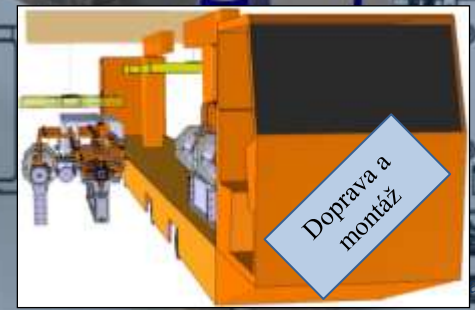
Obmedzený priestor pre montáž



Obmedzená manipulácia



Obmedzený priestor pre údržbu

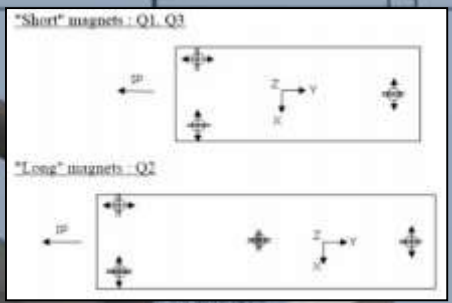
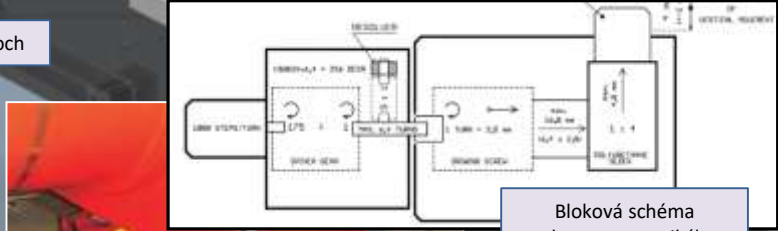


Doprava a montáž

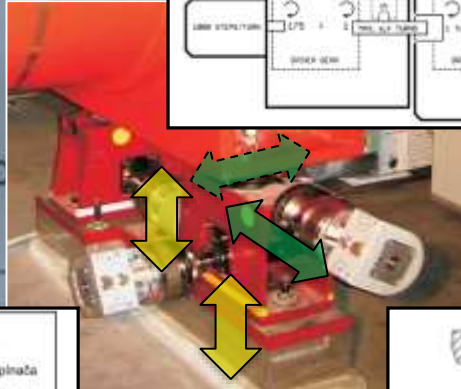
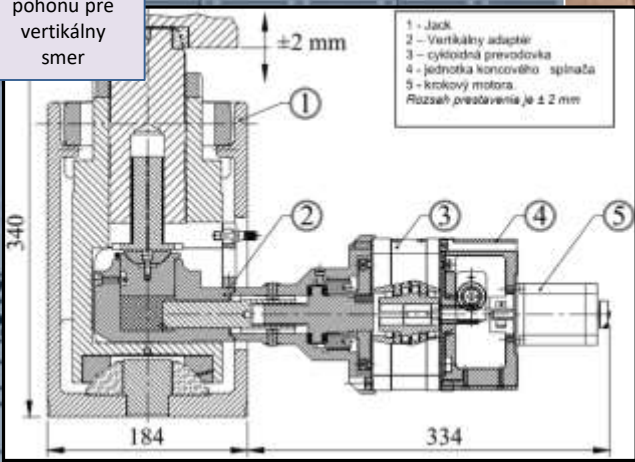
Etapa E1
 Analýza požiadaviek aplikačnej sféry, návrh alternatívnych koncepčných riešení jednotlivých modelov, výber najvhodnejších riešení (pokračovanie v roku 2016).

Variant - polohovanie kryomagnetu uloženého v samonosnom puzdre alebo na nosníku pomocou viacsmerových aktuátorov.

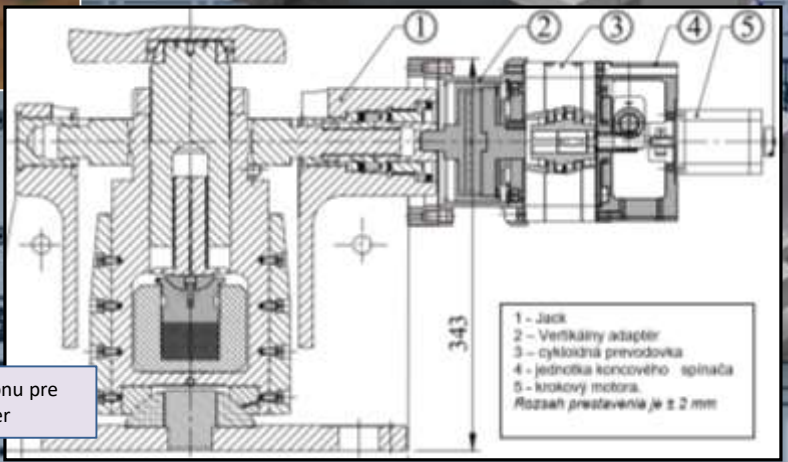
- polohovanie nosníka by sa vykonávalo pomocou sady aktuátorov umiestnených v každom definovanom podpornom bode.
- Konštrukcia aktuátorov umožňuje polohovanie vždy v dvoch na seba kolmých smeroch - vo vertikálnom a radiálnom smere.



Detailné riešenie pohonu pre vertikálny smer



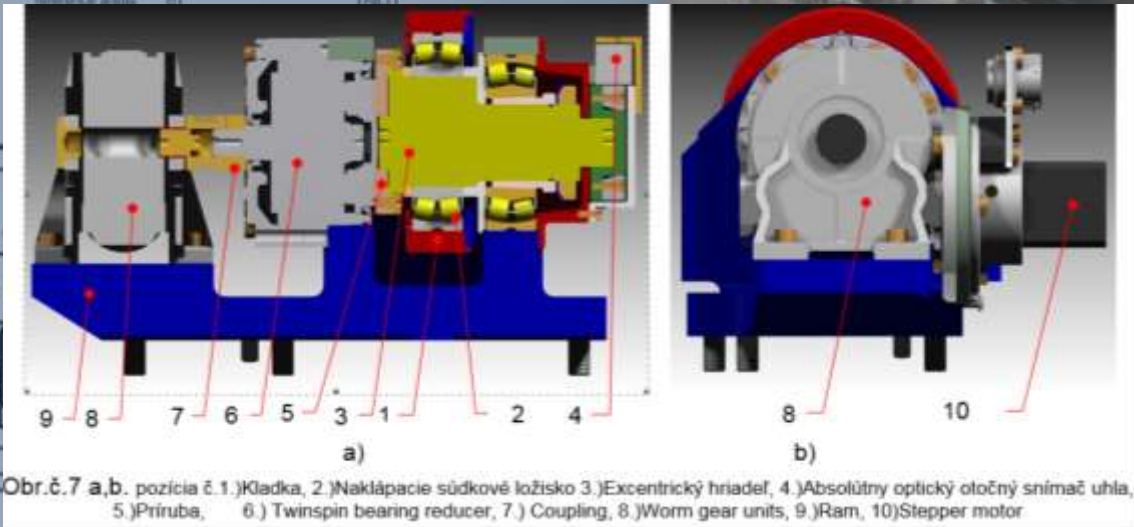
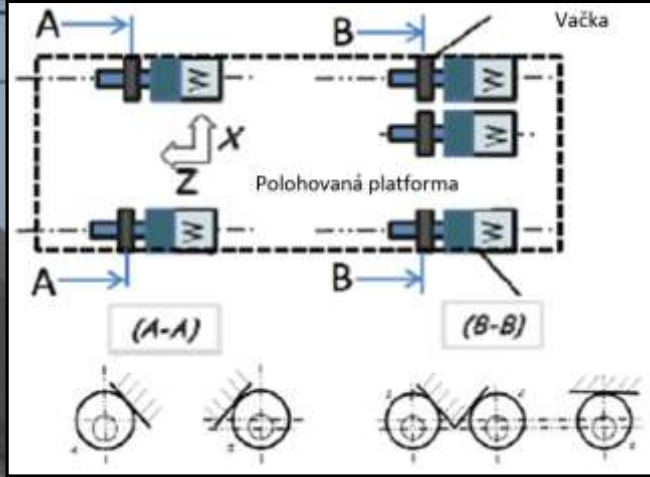
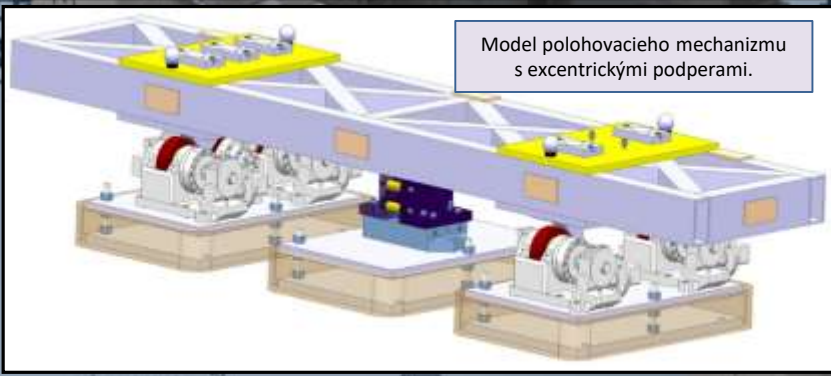
Detailné riešenie pohonu pre horizontálny smer



Variant - polohovanie kryomagnetu pomocou excentrických aktuátorov.

Koncepcia mechanizmu s 5 DOF stupňami voľnosti pozostáva zo základne polohovanej na piatich vačkových aktuátoroch.

- Samotné polohovanie nosníka by sa vykonávalo pomocou vačkových excentrických aktuátorov umiestnených v definovaných bodoch na spodnej časti polohovaného nosníka.
- Konštrukcia aktuátorov umožňuje polohovanie nosníka pomocou otáčania vačiek podopierajúcich nosník v operných lôžkach.



Obr.č.7 a,b. pozícia č.1.)Kladka, 2.)Naklápacie súdkové ložisko 3.)Excentrický hriadeľ, 4.)Absolútny optický otočný snímač uhla, 5.)Príruba, 6.)Twinspin bearing reducer, 7.)Coupling, 8.)Worm gear units, 9.)Ram, 10.)Stepper motor

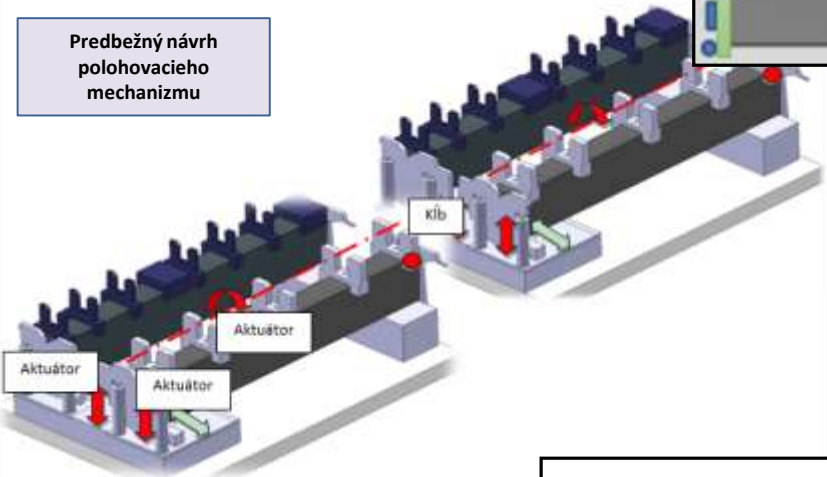


Variant - polohovanie kryomagnetov pomocou paralelného kinematického mechanizmu prepojeného do hadovitého nekonečného systému.

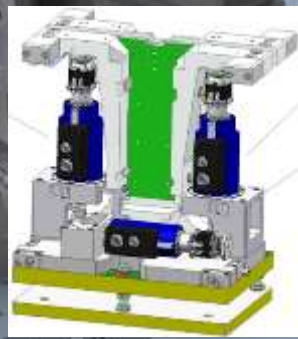
Pri tejto koncepcii polohovania kryomagnetov kompaktného lineárneho urýchľovača predpokladáme z pohľadu pôsobenia samotných aktuátorov na polohovanú platformu (nosník) aplikovanie **paralelného kinematického mechanizmu**.

Jednotlivé polohovacie mechanizmy sú za sebou navzájom spájané pomocou „mechanického závesného bodu“ pozostávajúceho z pružne poddajných členov usporiadaných do typu spojenia kardan. Toto spojenie v prepojovacej rovine (rovine, kde sa pripája ďalší polohovací mechanizmus do tzv. hadovitého polohovacieho systému) umožňuje pohyby s troma stupňami voľnosti (DoF).

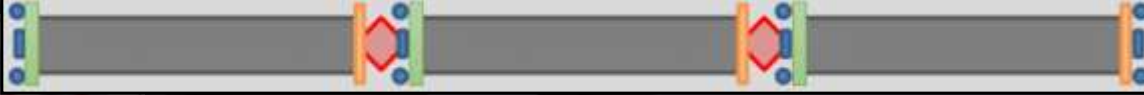
Predbežný návrh polohovacieho mechanizmu



Bloková schéma polohovacieho zariadenia



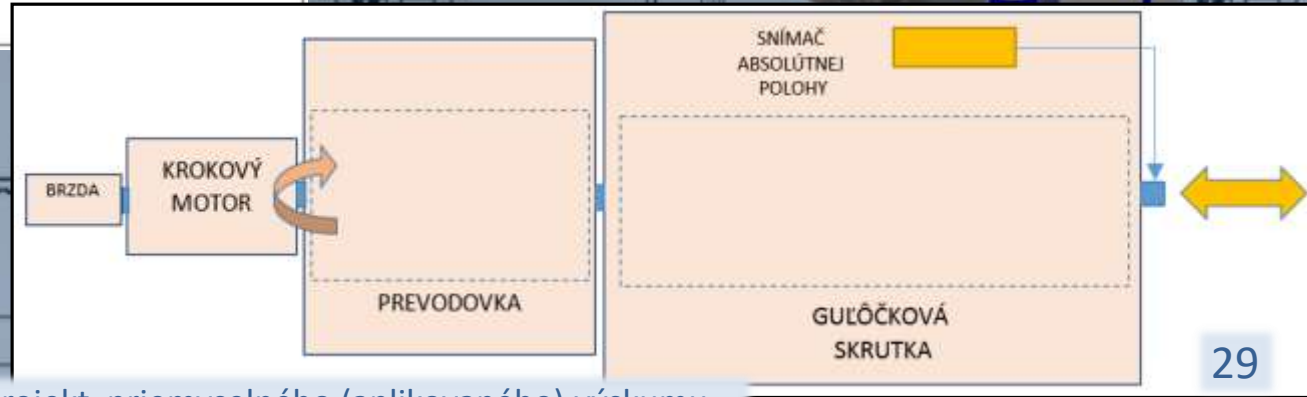
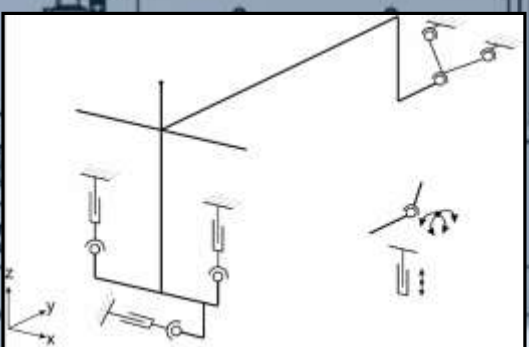
Model polohovaného ramena



Legenda ku schéme

	Nosník
	Vertikálny aktuátor
	Radiálny aktuátor
	Hlavný nosný člen
	Podriadený nosný člen
	Kĺbový spoj

Bloková schéma aktuátora



Zo všetkých uvedených variant sa vykonal **výber ZÁKLADNEJ KONCEPCIE vhodného polohovacieho systému**. Pre jednotlivé samostatné časti a skupiny, z ktorých pozostávajú tieto polohovacie systémy, boli vykonané samostatné dielčie posudzovania a výbery ich najvhodnejších variant. Tieto boli zohľadnené pri samotnej tvorbe PROJEKTU pre vybraný výsledný variant. Výber sme vykonali na základe štatistickej metódy kde samotné kritéria boli zvolené na základe poznatkov zhrnutých v štúdií „*Polohovacie systémy s mimoriadne vysokou presnosťou polohovania*“ ako aj doterajších **poznatkov a budúcich zámerov CERNu** ako organizácie, pre ktorú bude polohovací systém určený. Nakoľko navrhovaný polohovací systém bude po vyhotovení funkčných modelov odskúšaný ako súčasť skúšobného a testovacieho zariadenia slúžiaceho pre overenie celkovej koncepcie samotného kompaktného lineárneho urýchľovača, **boli vo výberových kritériách zohľadnené aj tieto požiadavky**.

Na základe aplikovanej metódy pre výber optimálneho variantu bola ako najvýhodnejší zvolaný:

POLOHOVANIE KRYOMAGNETOV POMOCOU PARALELNÉHO KINEMATICKÉHO MECHANIZMU PREPOJENÉHO DO HADOVITÉHO NEKONEČNÉHO SYSTÉMU.

Výpočtová a konštrukčná analýza

Etapa E2

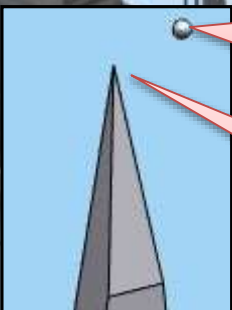
Výpočtová a konštrukčná analýza vybraného variantu.

Všetky v opise optimálneho variantu uvedené navrhované riešenia, koncepcie ako aj požadované vstupné a výstupné parametre kladené na polohovací systém pre polohovanie kryomagnetov kompaktného lineárneho urýchľovača poskytnuté CERNom boli zhrnuté v návhu projektu: „**Polohovací systém pre polohovanie kryomagnetov**“.

- Pre stanovenie a overenie rozsahov pohybov bola vypracovaná kinematická analýza pohybov navrhovaného nosného systému
- Pre overenie požadovanej pevnosti a tuhosti navrhovaných častí a celého nosného systému pre polohovanie kryomagnetov boli vyhotovené kontrolné výpočty s využitím lineárnych statických analýz metódou konečných prvkov MKP. Výpočty metódou konečných prvkov MKP boli využívané aj pri kontrole a optimalizácii jednotlivých dôležitých konštrukčných častí a uzlov.

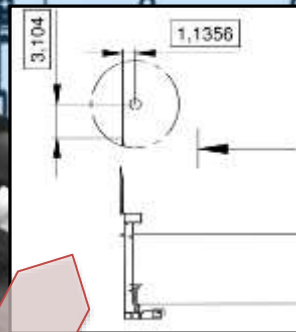
Na nasledovných slajdoch sú niektoré ukážky z výsledkov uvedených analýz.

Niektoré výsledky geometrickej kinematickej 3D analýzy **polohovacieho systém pre polohovanie kryomagnetov.**

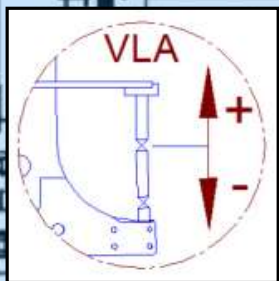
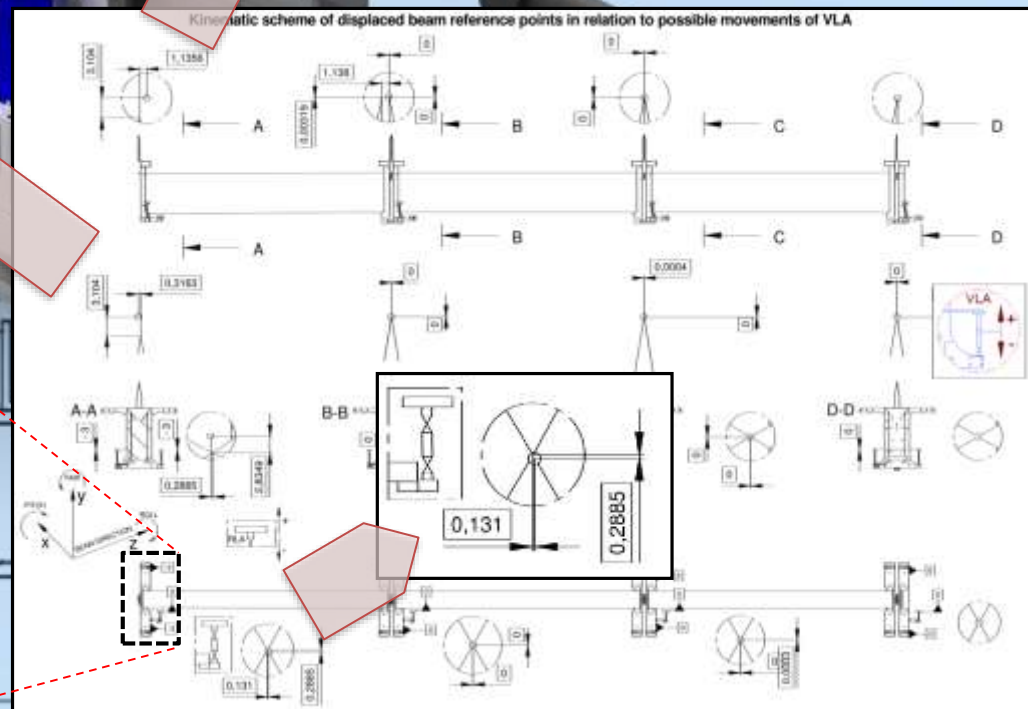
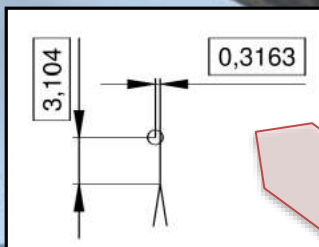
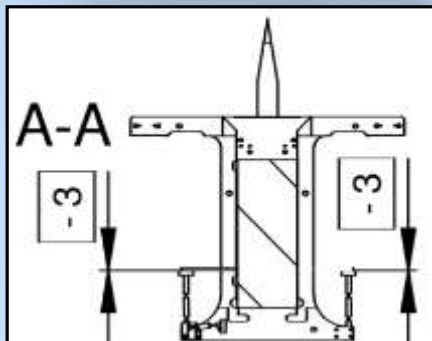


Teoretický pevný bod

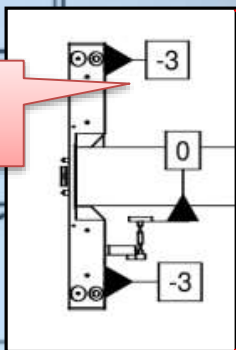
Hrot – výsledná poloha po vykonaní pohybov



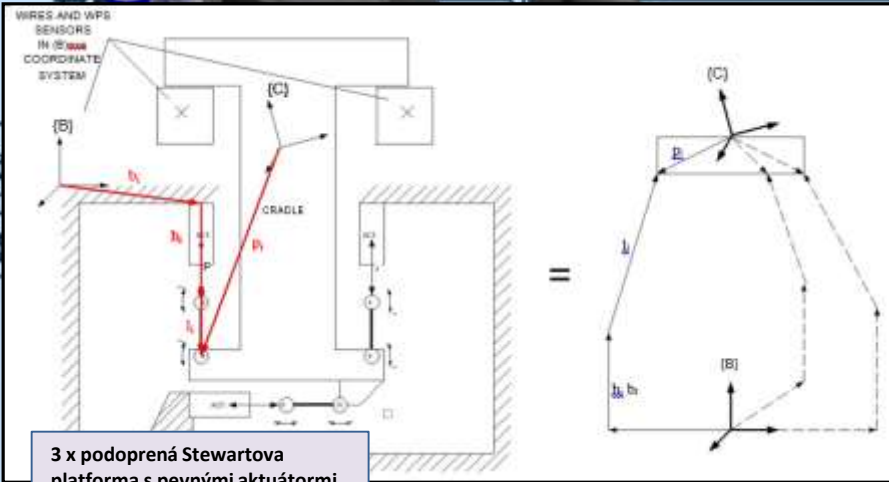
VYSVETLENIE GRAFICKÉHO VÝSTUPU:
Kinematická schéma prestavenia referenčných bodov v závislosti na prestavení aktuátorov



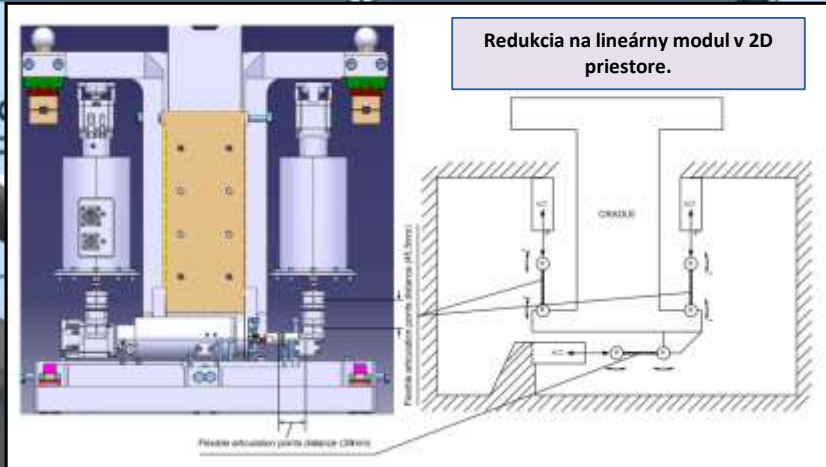
Hodnoty prestavenia aktuátorov



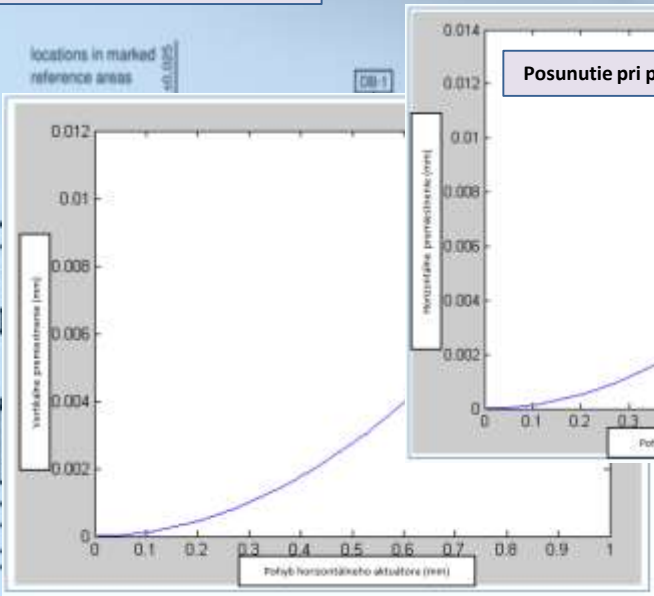
Kinematická analýza „ kolísky typu polohovaná “ ako lineárny modul v 2D priestore.



3 x podoprená Stewartova platforma s pevnými aktuátormi

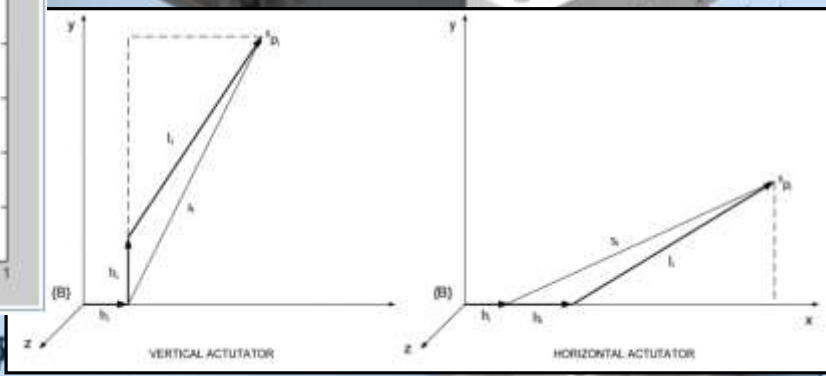


Redukcia na lineárny modul v 2D priestore.

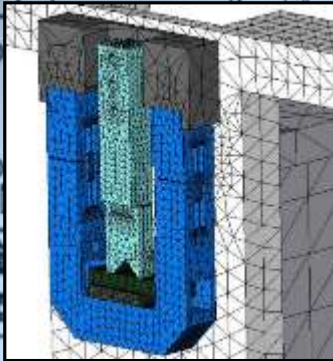
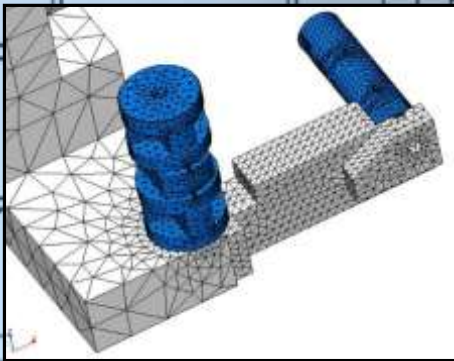
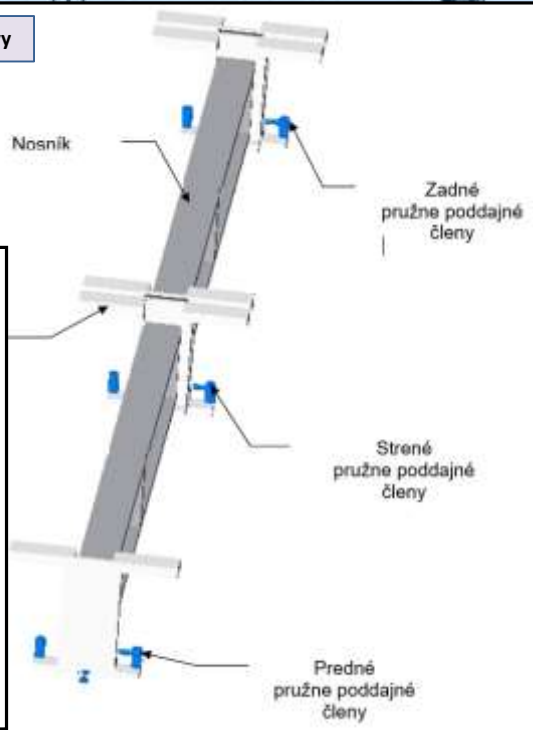
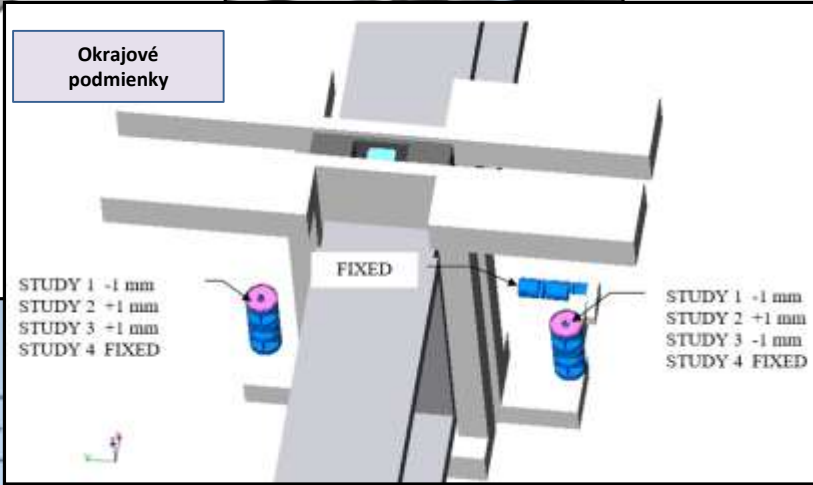
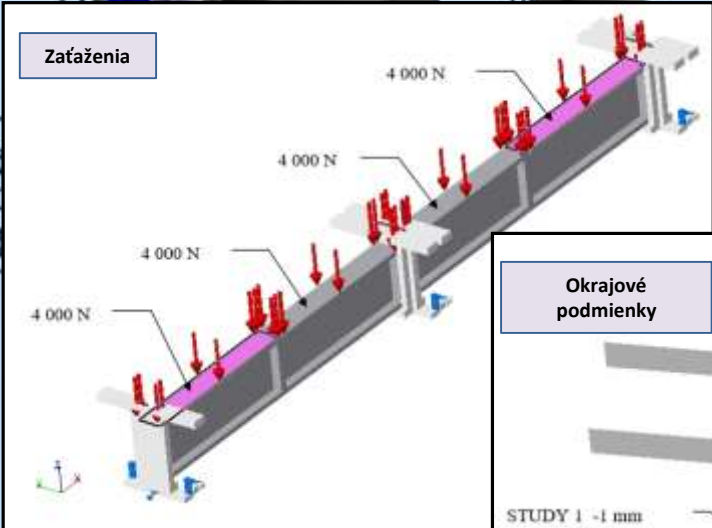


Posunutie pri pohybe aktuátorov

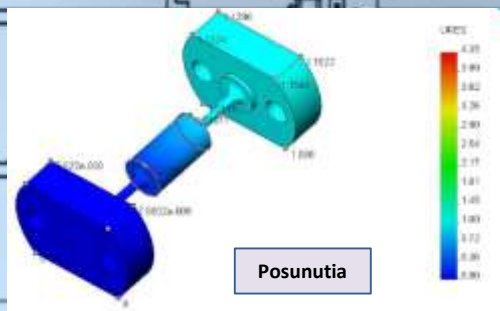
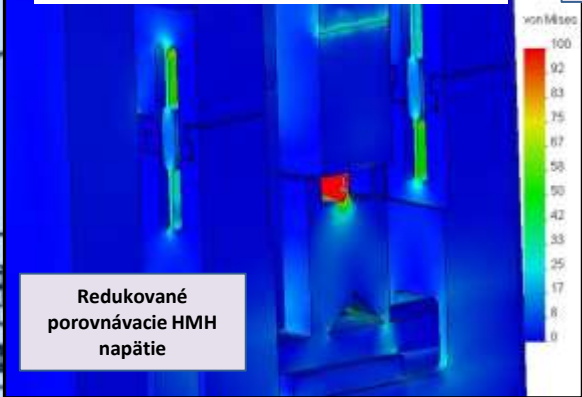
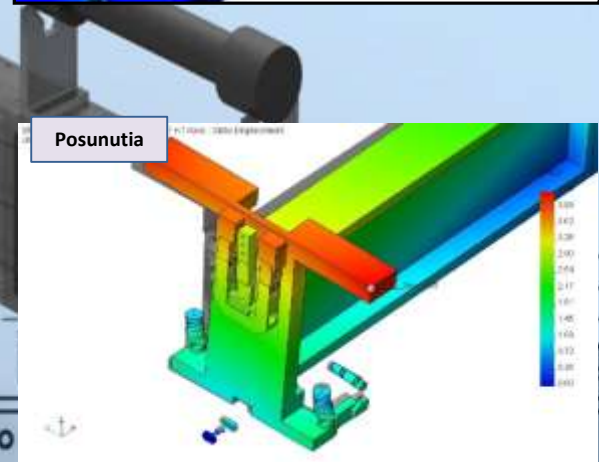
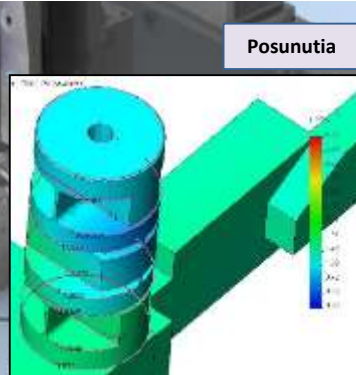
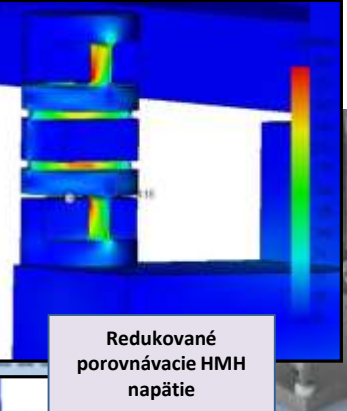
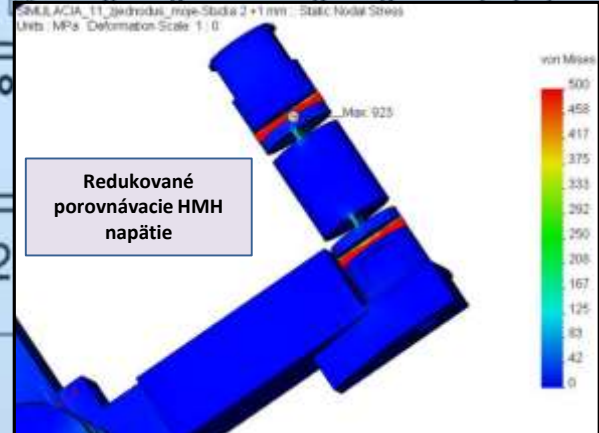
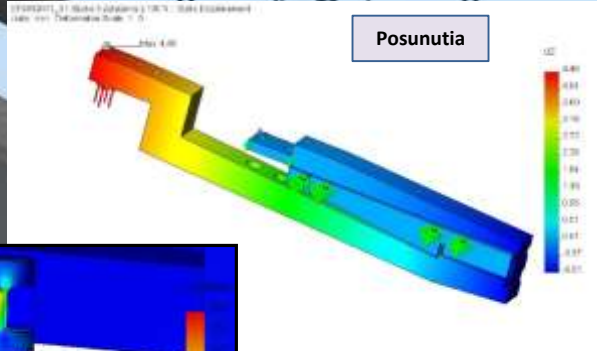
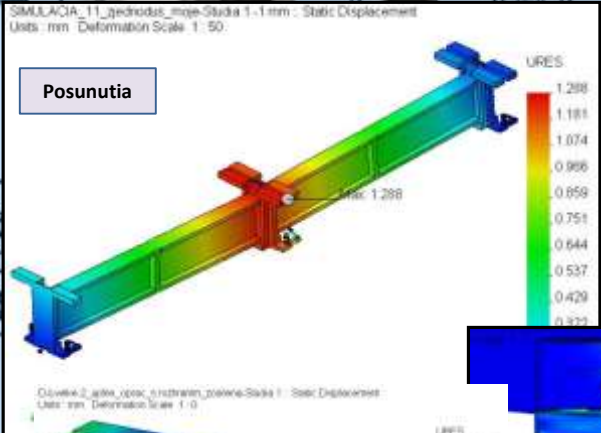
Inverzná kinematika pre Stewartovu platforma s pevnými 3-oma aktuátormi



Niektoré výsledky výpočtu nosného systému polohovania kryomagnetov pomocou lineárnej statickej analýzy MKP.



Ukážky výsledkov vykonaných analýz



Analýza metódou konečných prvkov MKP pre rôzne časti a rôzne počiatočné stavy – rôzne pohyby aktuátorov

Etapa E3

Detailné technologické a konštrukčné riešenie funkčných modelov.

Po vypracovaní všetkých výpočtových a konštrukčných analýz bol upresnený **konečný projekt**, ktorý definuje:

- hlavné pojmy a definície týkajúce sa celého zariadenia a jeho častí
- všetky hlavné technické parametre navrhovaných aktuátorov z pohľadu mechanickej aj elektročasti
- celkovú koncepciu polohovacieho systému
- detailné konštrukčné prevedenie všetkých navrhovaných častí a zariadení
- použitý materiál pre všetky pre funkciu polohovacieho systému dôležitých častí
- celkovú koncepciu výroby a montáže polohovacieho systému s cieľom dodržania požadovanej presnosti po montáži a samotného polohovacieho zariadenia
- meracie metódy použité v jednotlivých etapách výroby, montáže a overenia presnosti polohovania polohovacím systémom
- použitie jednotlivých programov a programovacích prostredí pri predmontáži, montáži samotnom polohovaní polohovacím zariadenia

Podľa konečného projektu sa začali práce na detailnom konštrukčnom a technologickom riešení funkčných modelov. Bol vytvorený úplný 3D model celého zariadenia. Pokračovaním tejto etapy v nasledujúcom kontrolovanom období bude príprava výrobnéj a technologickej dokumentácie pre samotnú výrobu funkčného vzoru zariadenia.

