



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH A ANALÝZA KONSTRUKCE POLOHOVACÍ JEDNOTKY

THE DESIGN AND CONSTRUCTION ANALYSIS OF POSITIONING UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Daniel Ožvoldík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Rostislav Huzlík, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Daniel Ožvoldík
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Rostislav Huzlík, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro dodržení stálé kvality výroby jsou finální díly pravidelně testovány. Pro fixaci kontrolovaných dílů v diagnostických zařízeních vznikají požadavky pro jejich polohování. Polohovací zařízení se tvarem a rozměry přizpůsobuje jak k řešení multi-osového pohybu, tak konstrukci měřicího přístroje. Polohovací jednotka je navržena dle charakteru měřicího procesu splňující vhodnou rychlost pohybu vzorku, nosnost jednotky a přesnost polohování. K dodržení stanovených parametrů je nutné vybrat správnou konstrukci a pohonné ústrojí polohovací jednotky. Práce se zabývá řešením manipulátorů pro lineární pohyb a následně jeho systematickým návrhem.

Cíle diplomové práce:

- Literární rešerše konstrukce zařízení pro lineární pohyb
- Systémový rozbor konstrukce polohovací jednotky
- Návrh přesného vodícího systému
- Návrh pohonného ústrojí
- Energetická bilance výkonu motoru a baterie
- Simulace, testování, měření
- výkresová dokumentace vybraných dílů
- závěry a doporučení pro praxi

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

DRURY, Bill. Control techniques drives and controls handbook, 2nd edition. IET, 2001. ISBN 978-1-84919-013-8.

DRURY, Bill. Control techniques drives and controls handbook, 2nd edition. IET, 2001. ISBN 978-1-84919-013-8.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne 22.10.2021

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá návrhom konštrukcie dvoj oseh horizontálnej polohovacej jednotky. Polohovacie jednotky sa najčastejšie používajú vo výrobe alebo pri procese skúšok, či kontroly. Návrh je orientovaný na systematický výber mechanických častí a na návrh konštrukčných častí. Následne sú overené funkčnosti pomocou simulácií a testov.

ABSTRACT

This thesis deals with designation of construction two axes horizontal positioning unit. Gadgets are used in manufacture or in processes of testing and inspection. Designation is aimed at systematic choosing parts of an assembly and design of construction parts. Next are check functionality with simulation and tests.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Polohovanie, konštrukcia polohovacej jednotky, guľôčková skrutka, lineárne vedenie, akumulátor, strojné zariadenie.

KEY WORDS

Positioning, design of positioning unit, ball screw, linear guide, accumulator, machinery.

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

OŽVOLDÍK, Daniel. *Návrh a analýza konstrukce polohovací jednotky*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140176>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Rostislav Huzlík.

čestné prehlásenie

Prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Rostilvom Huzlíkom, Ph.D. s použitím vedomostí a literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dne 26.5.2020

.....
Daniel Ožvoldík

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval rodine, priateľke, kamarátom za podporu pri štúdiu a každému vyučujúcemu, ktorí ma štúdiom na ÚVSSR sprevádzali. Zvláštne poďakovanie patrí vedúcemu práce Ing. Huzlíkovi Ph.D. a taktiež Ing. Marekovi Ph.D.

OBSAH

1	ÚVOD	11
1.1	Polohovacie jednotky	12
1.2	Termíny spojené s polohovaním	14
2	Prehľad súčasného stavu poznania.....	15
2.1	Rešerš polohovacích jednotiek.....	15
2.1.1	Standa 8MT167-100	15
2.1.2	Thorlabs Kinesis 30 mm XY	16
2.1.3	IntelLiDrives,Inc. XY-BSMA- 100x100WJ.....	17
2.2	Systematický rozbor konštrukcie	18
2.3	Externý pohľad.....	18
2.3.1	Telo polohovacej jednotky.....	19
2.3.2	Motor.....	20
2.3.3	Lineárne vedenie.....	21
2.3.4	Pracovný priestor	22
2.3.5	Vstupy energie, informácií.....	23
2.3.6	Signalizácia, označenie	24
2.3.7	Krytovanie.....	24
2.4	Interný pohľad.....	25
2.4.1	Držiaky.....	25
2.4.2	Akumulátor	26
2.4.3	Riadiaca jednotka.....	26
2.4.4	Senzory.....	27
2.4.5	Pohon	28
3	Vlastné riešenie	29
3.1	Vymedzenie zadania.....	29
3.1.1	Popis problému	29
3.1.2	Popis požiadaviek	30
3.1.3	Popis vstupov	31
3.1.4	Popis výstupov	32
3.2	Návrh presného vodiaceho systému	33
3.2.1	Vstupy pre výber vodiaceho systému	33
3.2.2	Variant 1	36
3.2.3	Variant 2.....	37
3.2.4	Variant 3.....	38
3.2.5	Výber variantu.....	39
3.2.6	Výpočty VR 2-120x21z	40

3.3	Návrh pohonného systému.....	44
3.3.1	Vstupy pre výber pohonu	44
3.3.2	Variant 1.	45
3.3.3	Variant 2.	46
3.3.4	Variant 3.	46
3.3.5	Výber variantu	47
3.3.6	Prevedenie variantu	48
3.3.7	Gulôčková skrutka	52
3.3.8	Spojka	53
3.3.9	Krokový motor	54
3.4	Energetická bilancia výkonu motoru a batérie.....	56
3.4.1	Špecifikácia spotreby	56
3.4.2	Voľba akumulátoru.....	58
3.5	Návrh polohovacej jednotky	59
3.5.1	Pracovná doska	59
3.5.2	Telo polohovacej jednotky	60
3.5.3	Pohon polohovacej jednotky	60
3.5.4	Vnútorne časti PJ	61
3.5.5	Krytovanie, značenie a signalizácia.....	62
3.5.6	Zostava	63
3.6	Simulácia, testovanie, meranie	64
3.6.1	Simulácia vybíjania batérie	64
3.6.2	Simulácia teplotných vplyvov	65
3.6.3	Testovanie a meranie	70
4	ZÁVER.....	74
5	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	75
6	ZOZNAM PRÍLOH.....	77

1 ÚVOD

Polohovacie jednotky ktoré sú témou riešenia tejto záverečnej práce sú strojnými zariadeniami, ktoré môžeme zahrnúť do skupiny priemyslových manipulátorov. Niektoré konštrukčné prvky zdieľajú s obrábacími číslicovo riadenými strojmi.

Polohovanie je operácia ekvivalentná k manipulácií. Je potrebná pri činnostiach, kde človek nedokáže svojimi danými fyziologickými vlastnosťami vykonať požadovaný pohyb. Tieto fyziologické obmedzenia, ktoré nahrádza polohovacia jednotka môžeme rozdeliť do 4 základných bodov nasledovne

- nosnosť
- rýchlosť
- presnosť
- odolnosť.

Tieto obmedzenia sa následne prenášajú do požadovaných vlastností zariadení. Tematika polohovacích jednotiek je pomerne široká. Na prístroje vykonávajúce túto funkciu môžu byť požiadavky spomenuté vyššie, ale aj definovaný počet stupňov voľnosti, spôsob komunikácie a iné.

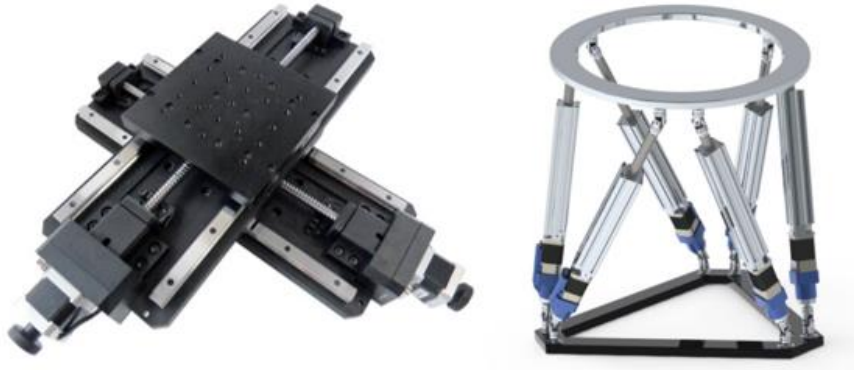
Najbežnejšou úlohou polohovacích jednotiek (ďalej aj ako „PJ“). je zabezpečiť pohyb po ideálnej trajektórií. Faktory ako trenie, výrobné presnosti častí sústavy alebo deformácia vyvolaná zaťažením odchyľujú jej pohyb zo spomenutej ideálnej trajektórie. Polohovacie sústavy sú pomerne náročné na zhotovenie. Prehliadnutie akéhokoľvek problému môže viesť k rôznym závažným chybám. Preto je potrebné dôkladne preskúmať použitie zariadenia.[1]

1.1 Polohovacie jednotky

V úvode bolo spomenuté čo si pod pojmom PJ predstaviť. Pre ich bližšie popísanie a vlastnosti bude použitá táto časť diplomovej práce.

Ako prvé rozdelenie zariadení môžeme uvažovať ich kinematiku, obrázok 1. Môže byť rozdelená nasledovne

- sériová
- paralelná.



Obrázok 1- príklad sériovej kinematiky vľavo, príklad paralelnej kinematiky vpravo [2][3]

V konštrukcii polohovacích jednotiek býva používaná najmä sériová kinematika z dôvodov väčších rozsahov pohybu a jednoduchšieho riadenia. Vyskytujú sa aj kombinácie spomenutých kinematík. Tie sú však používané v menších mierach pre špecifické prípady použitia.

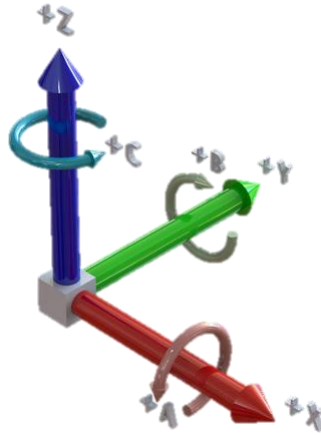
V ďalšej fáze rozdelenia môžeme uvažovať priestor polohovania. Ten je závislý na spojení dvoch typov kinematických dvojíc, translačnej (T) a rotačnej (R). Priestory polohovania

- plošný
- priestorový

pre zjednodušenie je uvažovaná iba sériová kinematika zariadení. Je rozdelená na tieto druhy

- lineárne
 - horizontálne
 - vertikálne
- rotačné
 - horizontálne
 - vertikálne
 - univerzálne
- kombinované
 - horizontálne
 - vertikálne
 - univerzálne.

Lineárne sústavy kombinujú polohovanie v osách X, Y ako horizontálne, alebo vertikálne pri kombinácii ktorejkoľvek horizontálnej osy s osou Z. Pre orientáciu a ujasnenie smerov osí je možné nahliadnuť na obrázku 2. Rotačné sústavy kombinujú polohovanie pomocou rotácie. Kombinované sústavy môžu využívať rotácie s následnou transláciou napríklad kombinácia pre horizontálne polohovanie v spojení osy C a X.

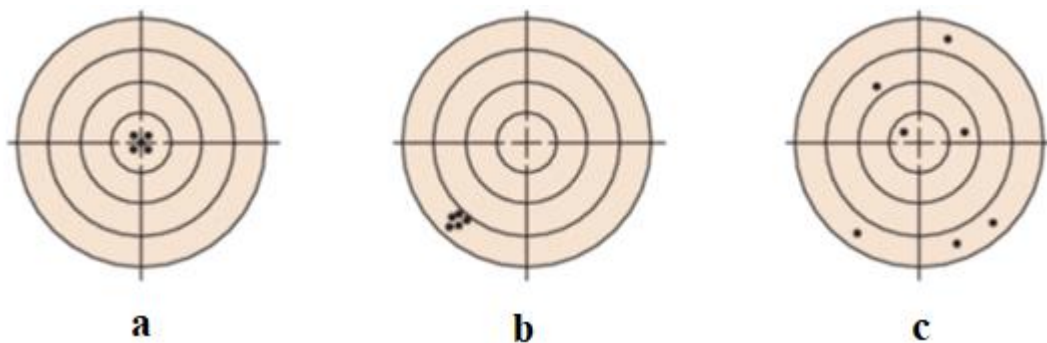


Obrázok 2- pohybové osy; osa Z je v opačnom smere ako gravitačné zrýchlenie [4]

Po konzultácií s vedúcim práce bol zvolený typ s lineárnym pohybom v horizontálnom smere, s dvomi stupňami voľnosti. V tomto prevedení bývajú často používané pri skúmaní spôsobmi ako je svetelná mikroskopia, elektrónová mikroskopia alebo výpočetná tomografia. Môžu byť využívané aj pri metrológií. Vlastnosti navrhovanej polohovacej jednotky budú určované počas tvorenia práce konzultáciami tak, aby prístroj vyhovoval použitiu.

1.2 Termíny spojené s polohovaním

- Funkčný bod je bodom, v ktorom prebieha meranie. [1]
- Cieľová poloha je taká, do akej polohy chceme uviesť funkčný bod. [1]
- Skutočná poloha je nameraná poloha funkčného bodu pri dosahovaní cieľovej polohy. [1]
- Odchýlka polohy je rozdiel medzi cieľovou a skutočnou polohou. [1]
- Rozlíšenie je najmenší prírastok, ktorý dokáže stroj detegovať, a ktorý je súčasne možné zariadeniu stanoviť aby vykonal. Zariadenie nemusí byť však schopné zaručene dosahovať prírastkové pohyby rovnajúce sa rozlíšeniu. [1]
- Minimálny prírastkový posuv je hodnota najmenšieho možného prírastku pohybu, čo zariadenie musí trvale a spoľahlivo dosahovať. [1]
- Presnosť je hodnota toho, do akej miery daný posuv odpovedá dohodnutému štandardu. Presnosť pohybového systému môže byť ovplyvnená usporiadaním, zaťažением a podmienkami prostredia. Príklad je uvedený na obrázku 3. [1]
- Opakovateľnosť je schopnosť polohovacej sústavy opakovane dosahovať rovnaké funkčné body. Existuje jednosmerná, kedy funkčný bod dosahujeme vždy pohybom z jedného smeru. Taktiež existuje obojsmerná, kedy funkčného bodu je dosahované z dvoch smerov. Pre mnoho zariadení je dôležitejšia opakovateľnosť než vlastná presnosť. Softvérovými kompenzáciami je možné zohľadniť systematické chyby a v konečnom dôsledku zvýšiť presnosť. [1]



Obrázok 3- a-vysoká presnosť, vysoká opakovateľnosť; b-nízka presnosť, vysoká opakovateľnosť; c-nízka presnosť, nízka opakovateľnosť [1]

Vôľta je výsledkom relatívneho pohybu medzi vzájomne sa ovplyvňujúcimi mechanickými časťami sústavy pohonu, ktorý nevytvára pohyb. Zásadný vplyv na vôľtu majú mechanizmy premieňajúce pohyby, teda pastorok s hrebeňom alebo matica so skrutkou. Taktiež mechanické deformácie majú podiel na vôľi. Vôľtu je možné kompenzovať pomocou riadiacej jednotky vďaka svojej opakovateľnej povahe. [1]

2 Prehľad' súčasného stavu poznania

2.1 Rešerš polohovacích jednotiek

V praxi sa vyskytujú rôzne prevedenia riešených zariadení. V prehľade súčasného stavu budú uvedené samostatné jednotky podľa kritéria veľkosti zdvihu do 100 mm na osu. Je uvedený súhrn základných vlastností a popis použitých súčastí.

2.1.1 Standa 8MT167-100

Spoločnosť Standa pôvodu z Litvy zaoberajúca sa Opto-mechanickými produktami ponúka polohovaciu jednotku, ktorá môže byť kombinovaná s ich ďalšími prístrojmi. Pri použití dvoch rovnakých zariadení je možné dosiahnuť dvojsového polohovania. Do prehľadu bol zvolený z dôvodu modularity skladania s inými zariadeniami od spomínanej firmy. V konštrukcii sú použité krížové valčekové valivé vedenia, vodiaca skrutka s maticou a krokový motor s prevodovkou. Pri ovládaní musí byť motor pripojený k riadiacej jednotke, ktorú výrobca ponúka. Zariadenie je možné vidieť na obrázku 4 a vlastnosti v tabuľke 1. [5]

Tabuľka 1- vlastnosti PJ [5]

Standa Ltd. 8MT167-100	
Vlastnosti	Hodnoty
Plošný rozmer [mm ²]	30375
Výška [mm]	43,5
Hmotnosť [kg]	1,4
Zdvih [mm]	100
Nosnosť [kg]	7
Obojsmerná opakovateľnosť [μm]	2
Rýchlosť [mm/s]	5



Obrázok 4- Standa 3MT167-100 [5]

2.1.2 Thorlabs Kinesis 30 mm XY

Spoločnosť Thorlabs ponúka polohovaciu jednotku zobrazenú na obrázku 5 s parametrami definovanými v tabuľke 2. Pre pohon boli použité DC-servomotory a mechanizmus skrutky a matice. Lineárne vedenie je valivé s vozíkmi. Toto zariadenie pri použití musí byť napájané zdrojom jednosmerného prúdu s konštantným napätím 15V. [6]

Tabuľka 2- vlastnosti PJ [6]

Thorlabs Kinesis 30 mm XY	
Vlastnosti	Hodnoty
Plošný rozmer [mm ²]	13225
Výška [mm]	40
Hmotnosť [kg]	1,2
Zdvih [mm]	30x30
Nosnosť [kg]	5
Obojsmerná opakovateľnosť [μm]	2
Rýchlosť [mm/s]	2,4



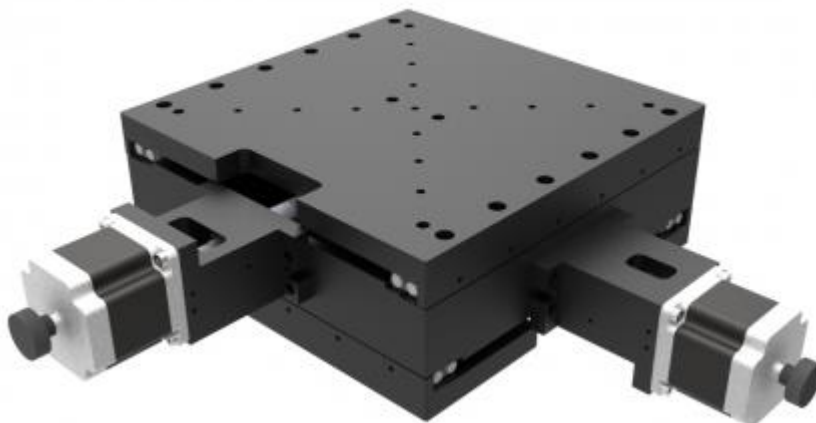
Obrázok 5- Thorlabs Kinesis 30 mm XY [6]

2.1.3 IntelLiDrives,Inc. XY-BSMA- 100x100WJ

IntelLiDrives má v portfóliu PJ s parametrami vypísanými v tabuľke 3 . V konštrukcii je použité krížové valčekové valivé vedenie, guľôčková skrutka so zdvihom 4 mm a maticou, rotačný pohyb poskytuje krokový motor Nema 17. Zariadenie je k nahliadnutiu na obrázku 6. [7]

Tabuľka 3- vlastnosti PJ [7]

IntelLiDrives,Inc. XY-BSMA- 100X100WJ	
Vlastnosti	Hodnoty
Plošný rozmer [mm ²]	82082,25
Výška [mm]	77
Hmotnosť [kg]	-
Zdvih [mm]	100x100
Nosnosť [kg]	15
Obojsmerná opakovateľnosť [μm]	10
Rýchlosť [mm/s]	<40



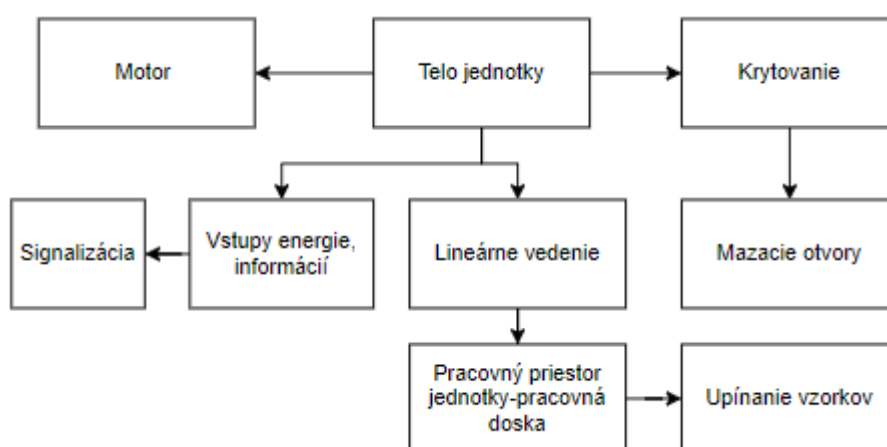
Obrázok 6- XY-BSMY-100x100WJ [7]

2.2 Systematický rozbor konštrukcie

V nasledujúcich krokoch je popísaný systematický rozbor konštrukcie na základe existujúcich výrobkov a na základe zadania práce. Pre popis jednotlivých častí je vytvorený schematická vizualizácia všeobecného prístroja. Na sústavu hmotných častí je nahliadnuté z hľadiska externe viditeľných častí a na vnútorných, interných častí PJ. Použité sú blokové schémy.

Systematický rozbor konštrukcie slúži k usporiadaniu štruktúry jednotlivých častí pre zhotoviteľa práce a taktiež jej čitateľa. Pri rozbere je potrebné uvedomiť si väzby medzi vnútornými a vonkajšími entitami. Dané entity sú hierarchicky usporiadané.

2.3 Externý pohľad



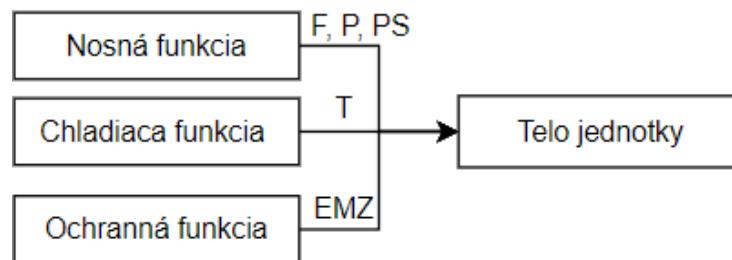
Obrázok 7- bloková schéma externého pohľadu

Nasledujúci text je popisom k obrázku 7. Prvú z externe viditeľných častí môžeme pozorovať telo jednotky. Telo jednotky je najčastejšie vyrobené z hliníkovej zliatiny a slúži ako nosná časť pre ostatné prvky sústavy. Ďalšou významným komponentom je lineárne vedenie, ktoré je len čiastočne odhalené a viditeľné zvonku. Pracovný priestor, doska je spojená s časťou lineárneho vedenia. Pracovný priestor-doska je určená pre prichytenie skúmaných predmetov alebo prípravkov. V niektorých prípadoch môžeme pozorovať motor vyčnievajúci z konštrukcie. Súčasťou polohovacích jednotiek je aj pripojenie k energiám, vstupným informáciám a poskytuje spätnú väzbu pomocou jednoduchej svetelnej signalizácie alebo pomocou komunikačných zberníc. V neposlednej rade môžeme pozorovať malé otvory slúžiace pre mazanie pohybových častí polohovacej jednotky. Pre určitý stupeň krytia a bezpečnosť je použité krytovanie.

2.3.1 Telo polohovacej jednotky

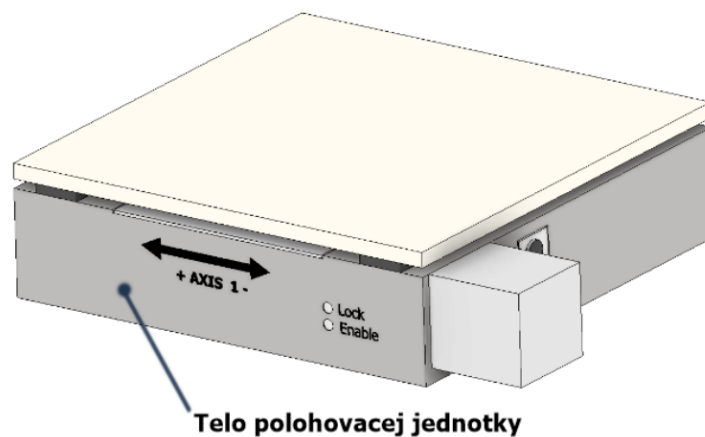
Základnou časťou zariadenia je telo jednotky. Funkcie a väzby sú uvedené v blokovej schéme na obrázku 8. Vlastnosti tela polohovacej jednotky môžu byť ovplyvnené materiálom a geometriou súčiastky. Geometria dielu je volená konštruktérom vzhľadom na základné požiadavky konštruovania. Materiál je volený podľa požiadaviek zadania s ohľadom na možnosti a cenu výroby. Telo môže byť vyrobené z

- hliníkovej zliatiny
- ocele
- priemyslovej keramiky
- kompozitných materiálov.



Obrázok 8- bloková schéma funkcie tela jednotky, s väzbami F- silová , PS-pasívne polohová, P- polohová väzba, T-teplná, EMZ-elektromagnetického žiarenia

Na tele polohovacej jednotky je upevnený vodiaci systém, pohon, riadiaca jednotka a krytovanie. Najčastejší spôsob spojenia medzi telom a uvedenými prvkami sú skrutkové spoje. V menej častých prípadoch to môžu byť lepené spoje či zverné spoje. Tým je popísaná nosná funkcia. Súčiastky, ktoré pri ich prevádzke produkujú teplo sú spojené s telom PJ. Teda telo môže slúžiť ako odvod tepla zo spomenutých súčiastok do konštrukcie. Pred pohybujúcimi a potenciálne nebezpečnými časťami sústavy, chráni telo polohovacej jednotky užívateľa, tiež tlmí elektromagnetické žiarenie, či už vstupy alebo výstupy.

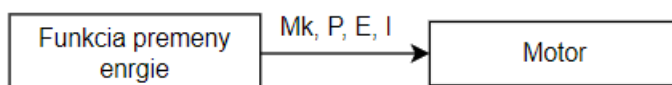


Obrázok 9- telo polohovacej jednotky

2.3.2 Motor

Motor, obrázok 11, môže byť súčasťou ako externého pohľadu tak aj interného, vždy ako súčasť pohonu. V dvoch vybraných prípadoch v prehľade súčasného stavu poznania je motor umiestnený mimo vnútornú časť sústavy, preto je uvedený v externom pohľade na konštrukciu. V prípade použitia pri malých zariadeniach, ako je PJ prichádzajú v úvahu motory s napájaním jednosmerným prúdom. Funkcie a väzby sú uvedené v blokovej schéme na obrázku 10. V konštrukciách uvedených polohovacích jednotkách sledujeme krokové motory. Pre zariadenie sú však vhodné tieto typy motorov

- DC motory
- krokové motory
- lineárne motory
- piezo motory.



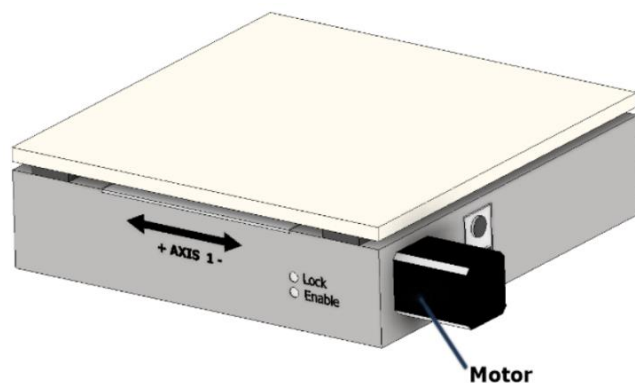
Obrázok 10- bloková schéma funkcie motoru s väzbami Mk-moment, P-poloha, E-elektrická energia, I- informácie

DC, jednosmerné motory môžu byť použité dvoch základných typov. Kartáčové, kedy magnetické pole rotoru (kotvy) mení svoju polaritu komutátorom a zrovnáva ju s magnetickým polom statora. Druhý typ je bezkartáčový (BLDC) motor, kedy na rotore sú permanentné magnety a zapínaním vinutí cievok statoru je riadiacou elektronikou vyvolávaný točivý moment. Pri oboch typoch musí byť použitý enkodér pre určenie polohy natočenia. [8] Krokové motory zabezpečujú pohyb postupným napájaním pólových dvojíc. Pri tomto type nie je nutné použitie enkodéru, keďže je možné počítanie jednotlivých krokov natočenia. Pri preťaženi však hrozí strata krokov.

Lineárne motory sú v princípe najčastejšie viac pólové synchronne motory s rozvinutým statorom aj rotorom. Môžu byť krokové kedy pre určenie polohy môže byť využité počítanie krokov.

Piezomotor využíva piezoelektrického javu kryštálov, kedy sa po privedení elektrického napätia deformujú a tým premieňajú elektrickú energiu na mechanickú. Existujú rôzne typy piezoelektrických motorov. Napríklad: stick-slip, push-pull [1]

Motor má funkciu premeny elektrickej energie E na mechanický pohyb. Tým poskytuje silu F alebo krútiaci moment Mk pre pohyb pracovného priestoru. Súčasťou motora môže byť snímač polohy, ktorý poskytuje informácie I napríklad ako spätnú väzbu natočenia.



Obrázok 11- motor

2.3.3 Lineárne vedenie.

Lineárne vedenie poskytuje vodiacu funkciu po presne definovanej dráhe. Má jeden stupeň voľnosti. Na obrázku 12 môžeme pozorovať práve polohovú väzbu P. Vedenie má aj nosnú funkciu, tá predstavuje prenášanie zaťažovacej sily F z pracovného priestoru cez vedenie do tela jednotky. Spomínaná časť konštrukcie by mala byť dostatočne tuhá a bezvôľová. Lineárne vedenia môžu fungovať na rôznych princípoch. Lineárne vedenia môžu byť typu

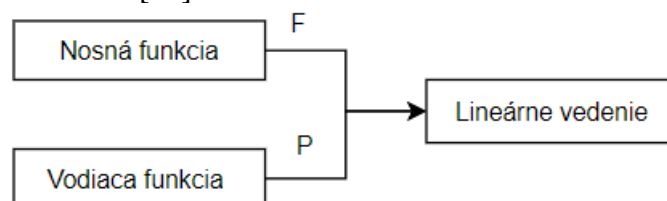
- valivé
- klzné
- aerostatické
- magnetické

Pričom valivé vedenie umožňuje pohyb vďaka valivým elementom odvalujúcich sa po vodiacej časti. Elementy môžu byť guľôčky, valčeky, ihly. Tento druh vedenia môže byť s obmedzeným zdvihom alebo s nekonečným zdvihom. Pri vedení s nekonečným zdvihom reálne závisí hodnota zdvihu na vodiacej časti vedenia, koľajnice. [10]

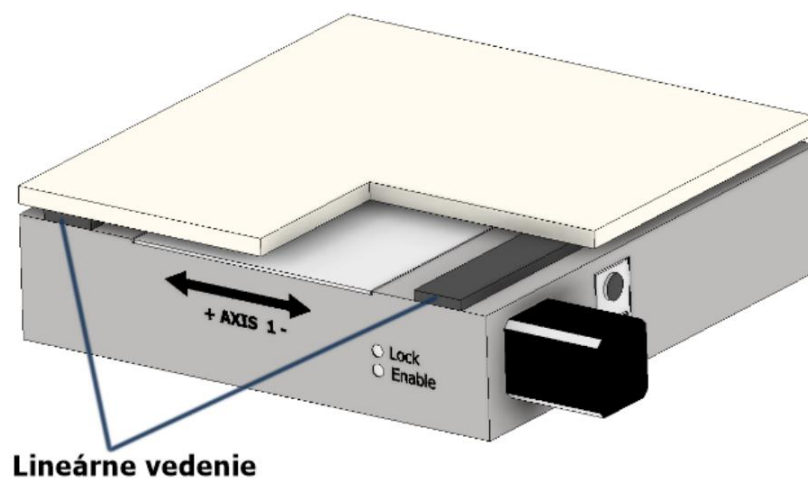
Klzné vedenia umožňujú pohyb pomocou trecích plôch vedenia so vzájomným kontaktom. Je to vedenie s vyšším súčiniteľom trenia ako u valivých vedení, pohyblivá časť kľže po pevnej časti pričom tieto plochy sú mazané. Podľa spôsobu mazania sa toto vedenie ďalej rozdeľuje na hydrostatické a hydrodynamické. [10]

Aerostatické vedenia sú podobné hydrostatickým klzným vedeniam, kedy miesto kvapaliny je privádzaný stlačený vzduch. Toto vedenie má minimálny trecí odpor zato nižšiu tuhosť. Preto býva často využívané pri presných meracích strojoch. [11]

Magnetické vedenie tak ako magnetické ložisko využíva magnetickú levitáciu, je teda bezkontaktné. Takýto typ vedenia nie je však bežne používaný v strojárskom priemysle. Je náročný na riadenie. Je však možné ho použiť vo vákuu. Jeho uvedenie slúži ako príklad inovatívneho myslenia autora. [12]



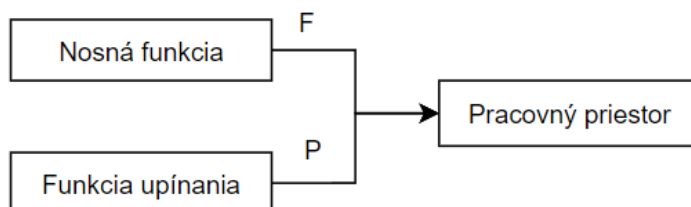
Obrázok 12- bloková schéma funkcie lineárneho vedenie s väzbami F -silová, P -polohová



Obrázok 13-lineárne vedenie

2.3.4 Pracovný priestor

Pracovná doska a jej pracovný priestor, obrázok 15, slúži k umiestneniu bremena, vzorku, skúmanej súčiastky, ktorú následne polohujeme. Vyznačuje sa teda nosnou funkciou kedy prenáša zaťažovaciu silu od bremena na lineárne vedenie. Pracovný priestor by mal byť dostatočne odolný, pretože čelí vonkajším vplyvom, kedy skúmané vzorky sa po jeho povrchu pri upínaní či nastavovaní kľžu. Povrch by mal byť odolný voči oteru či poškrabaniu.

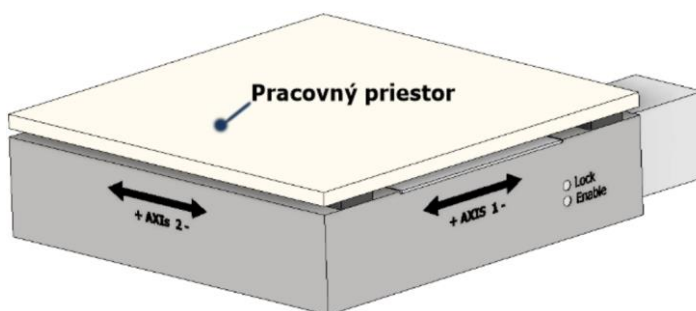


Obrázok 14- bloková schéma funkcie s väzbami F-silová, P-polohová

Skúmanú súčiastku je často potrebné upevniť tak aby, bola zaistená definovaná poloha. To je možné uskutočniť pomocou špeciálnych, na mieru vyrobených prípravkov s proti tvarom skúmanej súčiastky a tiež časťou uspôsobenou k pevnému prichyteniu k pracovnému priestoru. Tým pádom pracovný priestor zastrešuje aj funkciu upínania. Spomenuté prípravky môžu byť upevnené na pracovnej doske na týchto princípoch

- skrutkovým spojom
- zverným spojom
- magnetickou silou.

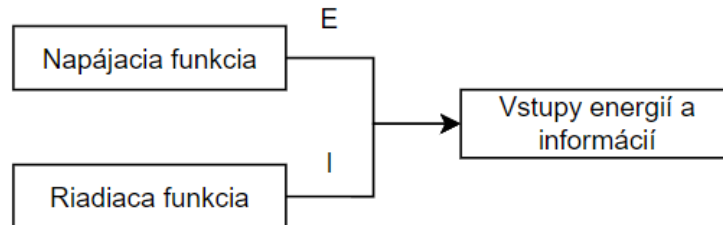
Skrutkovým spojom sa môžu rôzne prípravky prichytiť na pracovný priestor stroja, v ktorom sú vyrobené závit. Zverným spojom sa pomocou sily excentra, či iných súčiastok vyvinie zverná sila, ktorá pevne definuje polohu prípravku a tým aj súčiastky. Magnetickým polom od permanentného magnetu, ktorý je zabudovaný v prípravku. Pri kontakte pracovného priestoru, kde je feromagnetický povrch sa vyvinie magnetická sila držiaca prípravok v definovanej polohe.



Obrázok 15- pracovný priestor

2.3.5 Vstupy energie, informácií

V uvedených prípadoch dostupných na trhu môžeme pozorovať rôzne vstupy energií a informácií. Energia je neskôr spracovaná riadiacim systémom pomocou informácií a signálov na riadený pohyb či signalizáciu. Vstupy energií a informácií majú napájajúcu a riadiacu funkciu. Bloková schéma je na obrázku 16.



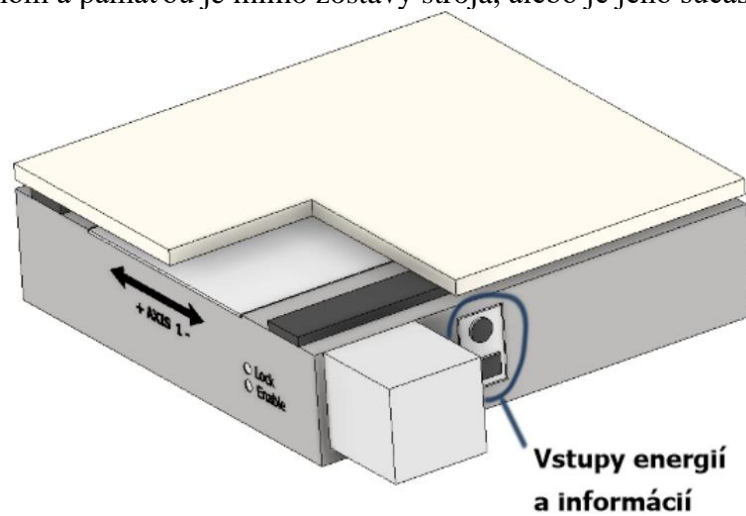
Obrázok 16- bloková schéma funkcie vstupu energií a informácií s väzbami E-energie, I-informácií

Spomenuté zariadenia v prehľade súčasného stavu poznania sú napájané z externého zdroja energie. V základe, môže ísť tieto typy energií

- napájanie elektrickou energiou
- napájanie pneumatickou energiou
- napájanie hydraulickou energiou.

Pre potreby polohovacích jednotiek je potrebné zväžiť okrajové podmienky pre čo má byť polohovacia jednotka určená. V zariadeniach s nízkou nosnosťou a nízkymi silami vyvinutými pre pohyb spracúvajú najčastejšie elektrickú energiu.

Druhou spomenutou funkciou je riadiaca funkcia, kedy plnohodnotný riadiaci systém s vysokým výkonom a pamäťou je mimo zostavy stroja, alebo je jeho súčasťou.

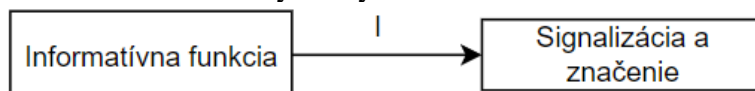


Obrázok 17- vstupy energií a informácií

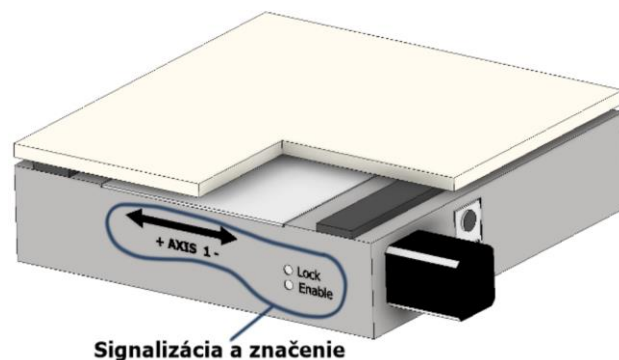
2.3.6 Signalizácia, označenie

Signalizácia a označenie na polohovacej jednotke môže pozostávať zo signalizačných LED žiaroviek a symbolov či vlastného displeja. Tieto prvky prenášajú informácie do svojho okolia a popisujú stav zariadenia. Tieto prvky sú určené hlavne pre užívateľa prístroja tým je myslená obsluha. Ak to zhrnieme sú to

- označenia pohybu osí
- vlastný informačný displej
- symboly informujúce o vlastnostiach, nebezpečenstve
- príkazové a informačné symboly.



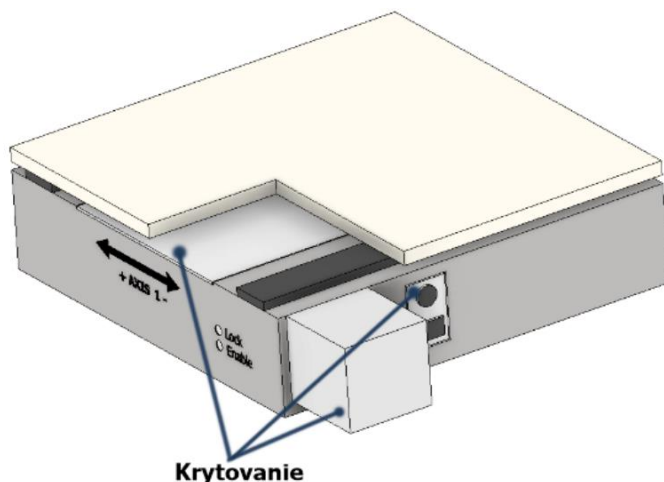
Obrázok 18- bloková schéma funkcie signalizácie a značenia s väzbou I-informácií



Obrázok 19- príkladová signalizácia a značenie

2.3.7 Krytovanie

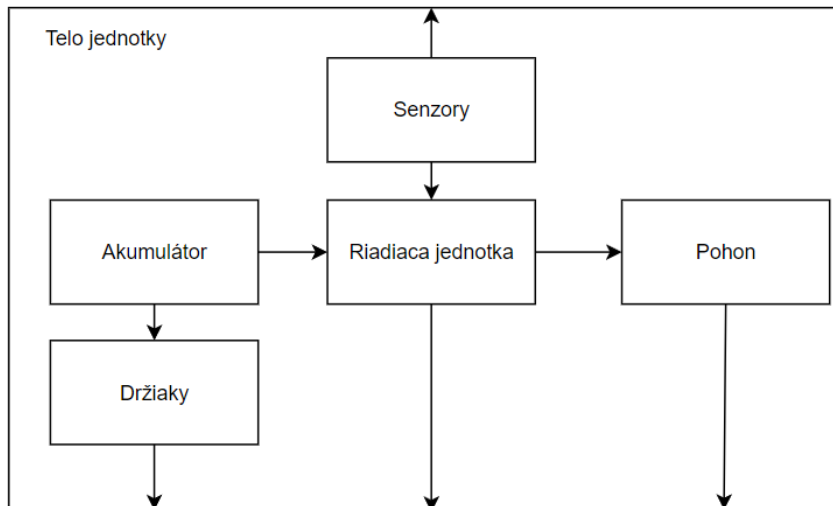
Podľa normy ČSN EN ISO 12100 je druhým stupňom ochrany pred nebezpečnými časťami. Krytovanie je definované ako bezpečnostná ochrana a doplnkové ochranné opatrenia (ČSN EN ISO 12100:2011 6.2). Krytovanie však chráni aj stroj pred nežiadúcim zásahom z okolia napríklad nepovolanej osoby a slúži aj ako krytie elektrických častí podľa normy ČSN EN 60529.



Obrázok 20- krytovanie

2.4 Interný pohľad

Interný teda vnútorný pohľad, obrázok 21, vyplýva z všeobecných znalostí a predstáv autora. Táto časť rozboru konštrukcie obsahuje aj iné ako mechanické časti, ide hlavne o elektro výzbroj stroja. V základe ide aj o držiaky vykonávajúce pasívne polohovú väzbu a určujú umiestnenie ostatných komponent vo vnútri tela PJ. Ďalej je to akumulátor, riadiaca jednotka, senzory a pohony.



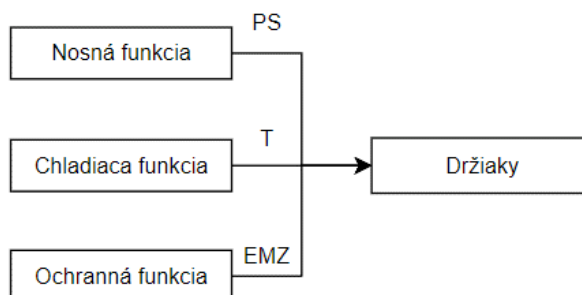
Obrázok 21- Interný pohľad na konštrukciu PJ

2.4.1 Držiaky

Sú komponenty určujúce pasívnu polohovú väzbu v priestore tela polohovacej jednotky. Sú v priamom kontakte s ostatnými časťami konštrukcie či elektro výzbroje. Môžu mať aj kryciu funkciu, kedy bránia okolitému prostrediu nepriaznivo ovplyvňovať správnu funkčnosť častí elektro výzbroje. Takisto môžu plniť funkciu distribúcie tepla z výkonnostných komponent do okolia. Môžu byť vyrobené z

- kovu
- plastu.

Držiaky musia teda odolávať okolitým vplyvom ako je zvýšená teplota. V prípade kovových držiakov je možná výroba konvenčným spôsobom na obrábacích strojoch. Tieto držiaky by však mali byť bez prehnane zložitých prvkov, ktoré by komplikovali výrobu. V prípade plastov je možné použitie aditívnych technológií pre výrobu prototypu či hotových dielov. V tomto prípade je možné uvažovať zložené tvarové prvky pre spoje s tvarovým stykom, či pre prípad vedenia kabeláže. Pri zvýšenej teplote by však nemalo prísť k poškodeniu.

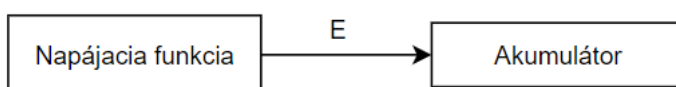


Obrázok 22- blokova schéma funkcie držiakov a ich väzieb, PS-pasívne polohová, T-chladiaca, EMZ-ochranná pred rušením

2.4.2 Akumulátor

Iným slovom sekundárny elektrický článok, ktorý nabitím-chemickou reakciou vyvolanou jednosmerným prúdom je schopný spustiť opačnú reakciu čím dodáva jednosmerný prúd do mysleného obvodu. To je jeho hlavná funkcia zobrazená na obrázku 23. Pre polohovacu jednotku, ktorá je zadaná pre vypracovanie a má byť napájaná z vlastného zdroja energie, je akumulátor vhodnou voľbou. Preto internou časťou rozboru konštrukcie je aj akumulátor pre napájanie ostatných elektrických častí zariadenia. Akumulátory môžu byť typu [13]

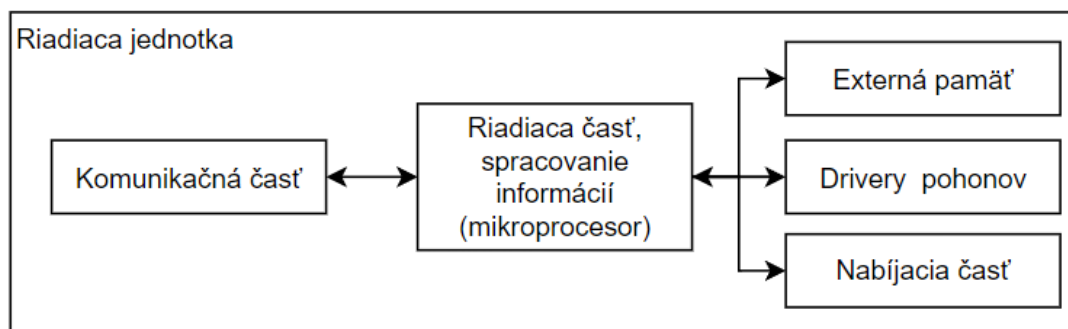
- nikel-kadmiové (NiCd)
- nikel-metal hybridné (NiMH)
- olovenné
- lithium ionové (Li-ion)
- lithium ion polymerové (Li-pol).



Obrázok 23- bloková schéma funkcie akumulátoru s väzbou E-energie

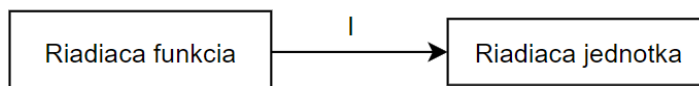
2.4.3 Riadiaca jednotka

Hlavnou časťou elektro výzbroje zloženou s mnohých pod častí je riadiaca jednotka. Môže to byť doska plošných spojov s komunikačnou časťou, mikroprocesorom, drivermi pohonov (akčné členy), externou pamäťou, nabíjacou časťou a pomocnými obvodmi. V tejto Diplomovej práci nie je cieľom navrhnuť riadiacu jednotku. No pre návrh konštrukcie je potrebné ju uvažovať s jej jednotlivými časťami. Jej blokové schéma by mohlo vyzerat' ako na obrázku 24.



Obrázok 24- bloková schéma zloženia riadiacej jednotky

Jej funkciou je riadenie elektrických dejov v polohovacej jednotke.

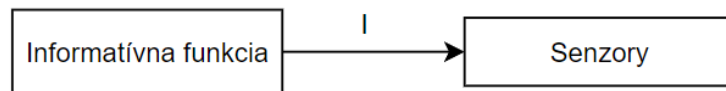


Obrázok 25- bloková schéma funkcie s väzbou I-informácií

2.4.4 Senzory

Poskytujú informácie o stave zariadenia riadiacemu systému. Tieto informácie sú fyzikálne alebo technické veličiny popisované najčastejšie ako elektrický signál napätia, prúdu. Sledované veličiny môžu byť

- teplota
- poloha
- tlak
- vlhkosť.



Obrázok 26- bloková schéma funkcie s väzbou I-informácií

Teplotnými senzormi môže byť sledovaná teplota zariadenia, kedy z dôvodu prehriatia môže prísť k strate funkcie polohovania. Polohou sú myslené koncové spínače pre pohony či odmeriavanie polohy pohonných systémov.

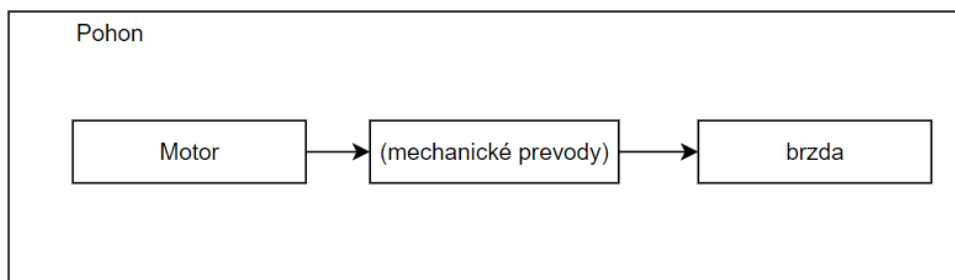
2.4.5 Pohon

Myslenú sústavu elektrických a mechanických prvkov pre zabezpečenie žiadaného pohybu stroja, na základe vstupov z riadiaceho systému, v tomto prípade lineárny pohyb, môžeme nazvať pohon. Pohon polohovacej jednotky je zložený z motoru ktorého možné typy sú stručne popísané s kapitole 2.3.2, akčných a riadiacich členov, ktoré sú súčasťou riadiacej jednotky popísanej v kapitole 2.4.3. V závislosti na type motora, rotačný či lineárny je potrebné voliť ďalšie prvky pohonu. V prípade rotačného motoru, ktorý poskytuje otáčavý pohyb je potrebná jeho premena tohto pohybu na lineárny pohyb. To je možné docieľiť týmito typmi mechanizmov.[14]

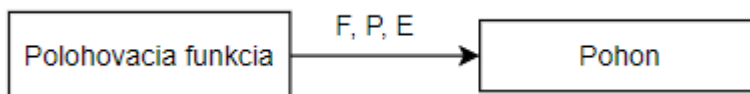
- skrutka a matica
- pastorok a hrebeň
- ozubená remenica a remeň
- vačka.

V prípade mechanizmu skrutka a matica je potrebné, aby motor a mechanizmus bol spojený. To môže byť dosiahnuté tým, že skrutka je súčasťou rotoru motora, alebo spojením pomocou spojky. V prípade lineárneho motoru nie je nutné meniť typ vyvinutej mechanickej energie. To môže predstavovať potenciál pre konštrukcie zariadení s požadovanými malými rozmermi. Ďalšou časťou je brzda. Tá spomaľuje pohonovú sústavu pri brzdení a môže brániť samovoľnému pohybu pohonu, teda môže poskytovať stabilnú polohu čím vytvára teoreticky nehybnú sústavu. Vo väčšine prípadov brzdú tvorí samotný motor.

Bloková schéma všeobecného pohonu bez riadiacej časti a koncových snímačov a prídavného odmeriavania polohy môže vyzeráť ako na obrázku 27.



Obrázok 27- stručná blokovaná schéma pohonu



Obrázok 28- blokovaná schéma funkcie pohonu

3 Vlastné riešenie

3.1 Vymedzenie zadania

3.1.1 Popis problému

V zadaní diplomovej práce je spomenuté použitie polohovacej jednotky ako súčasť diagnostického systému. Diagnostický systém nebol však definovaný, preto je volený a uvažovaný rentgenový zobrazovací systém.

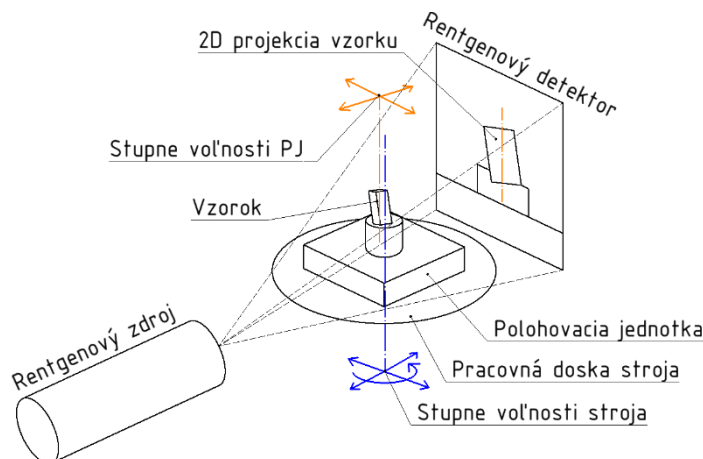
Rentgenové zobrazovacie systémy sú používané v priemysle pre kontrolu výrobkov. Tieto systémy používajú vyžarovanie žiarenia o určitej vlnovej dĺžke zdrojom, často nazývaným rentgenka. Žiarenie prechádza cez kontrolovaný predmet, kedy jeho časti rôzne pohlcujú žiarenie. Za skúmaným predmetom sa nachádza detektor, na ktorý sa zachytáva dvojrozmerná projekcia lúču nepohlteného žiarenia.

Priestorový obraz je vytvorený môže byť vytvorený rotáciou a následným skladaním 2D projekcií založenom na princípe výpočtovej tomografie. Rotovať môže

- skúmaný predmet
- rentgenový zdroj spolu s detektorom.

V priemysle sa najviac využíva prvý variant, teda rotácia skúmaného predmetu, Obrázok 29. Stroje často majú polohovací stôl, na ktorom je pripevnená rotačná jednotka s pracovným priestorom, na ktorú sa upevňuje skúmaný objekt.

V mnohých prípadoch samotný polohovací stôl stroja nie je vyhovujúci. Je to z dôvodu kinematiky mnohých strojov. Tieto stroje majú v základe často najprv pravouhlý polohovací mechanizmus a ďalej, na konci kinematického reťazca je rotačná časť s pracovným priestorom určená na uchytenie a následné otáčanie skúmaných predmetov. Po pripevnení k pracovnému priestoru ale vzniká pevne definovaná os rotácie. Ak by sme ju chceli zmeniť je potrebné ručne odopnúť skúmaný predmet a zmeniť jeho polohu na pracovnom priestore rotačnej jednotky. Posunutie osy pri malosériovej a kusovej kontrole nie je vopred známe. Preto obsluha stroja iteratívnym spôsobom musí ručne nastaviť správnu polohu rotácie vzorku. To sa však musí diať pokiaľ zdroj röntgenového žiarenia je vypnutý. Obsluha potom stráca možnú spätnú väzbu polohy voči rentgenke a detektoru. Pri manipulácii so skúmaným objektom sa teda musí spoľahnúť na odhad, čo nie je vyhovujúce. Tým sa predlžuje potrebný čas na vykonanie meraní, plytvá sa časom aj energiou pri opätovnom zapínaní zdroju žiarenia. Preto je vhodné použiť polohovaciu jednotku, kedy si obsluha behom krátkeho času nastaví požadovanú polohu bez vypínania zdroja, teda má aj spätnú väzbu o polohe objektu voči detektoru, z ktorého sa zachytávajú obrazy a tvorí sa troj-rozmerná projekcia. [15], [16]



Obrázok 29- schéma princípu rentgenového zobrazovacieho systému

3.1.2 Popis požiadaviek

V popise požiadaviek sú tabuľkou 4 určené úvodné požadované parametre. Rozmery nie sú však záväzné, slúžia ako počiatočný vstup pre návrh. Jeho presné vlastnosti budú ovplyvňovať teda návrhy jednotlivých častí konštrukcie. Definujme že navrhované zariadenie bude mať označenie PJ-DORH. PJ by mala mať tieto základné vlastnosti

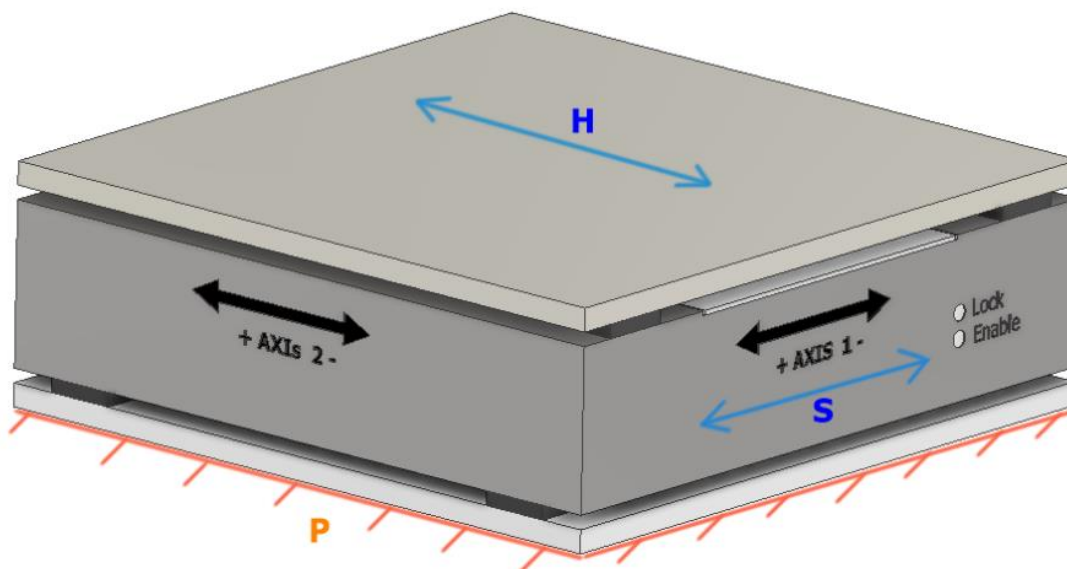
Tabuľka 4- vstupné parametre pre PJ

PJ-DORH	
Vlastnosti	Hodnoty
Celkový rozmer [mm x mm]	150 x 150
Plošný rozmer [mm ²]	22500
Výška [mm]	50
Hmotnosť [kg]	3
Zdvih [mm]	60x60
Nosnosť [kg]	7
Rozlíšenie [μm]	10
Rýchlosť [mm/s]	7

Ďalšími vlastnosťami sú

- Samostatne funkčný bez prívodu energií.
- Využitie v jednozmennom prevádzke 8 hodín nepretržitého používania stanoveného cyklu.

Vzhľadom na pohyb v blízkosti zdroja rentgenového žiarenia je potrebné, aby polohovacia jednotka mala kompaktný tvar, aby bolo zamedzené kolízií so zdrojom rentgenového žiarenia. Preto je volená kinematika polohovacej jednotky nasledovne, obrázok 30. Písmeno H predstavuje stupeň voľnosti pracovnej dosky, písmeno S predstavuje stupeň voľnosti tela PJ a písmeno P predstavuje pevnú väzbu voči pracovnému priestoru rentgenového zobrazovacieho systému.



Obrázok 30- volená kinematika PJ

3.1.3 Popis vstupov

Medzi popis vstupov patrí aj systémový rozbor vykonaný v prvej polovici diplomovej práce, časť 2.2. kde sú zobrazené základné prvky konštrukcie s popísanou funkcionalitou a väzbami. Medzi vstupy patrí aj systém podstatných veličín ovplyvňujúce riešenie zadanej úlohy. Entita s určitými vlastnosťami je ovplyvňovaná okolím a v tom istom čase toto okolie ovplyvňuje. Systém podstatných veličín je popísaný podmnožinami S0 až S8. [17]

Podmnožina S0 – prvky okolia

Sústava je primárne pri práci v izolovanej časti meracieho stroja. Prostredie v stroji je čisté a globálne stále z pohľadu teploty či tlaku. Sústava je obklopená časťami meracieho stroja a vzduchom. V meracích strojoch prebieha meranie s globálnymi podmienkami. Okolie tvorí aj obsluha, ktorá podľa potreby s entitou manipuluje.

Podmnožina S1 – štruktúra, topológia, geometria

Objektové veličiny entít sústavy sú navrhnuté tak aby splňovali podmienky zadania a vykazovali predpokladané vlastnosti. Objektové veličiny entít tvoriace sústavu sú navrhnuté pomocou výpočtov.

Podmnožina S2 – podstatné väzby a interakcie

Entity v sústave sú navzájom spojené polohovými väzbami. Tie môžu byť pasívne, určujúce stálu polohu jednotlivých entít sústavy, alebo aktívne, tie určujú polohu pohyblivých častí na základe vstupov energií. Pasívne aj aktívne väzby spolu interagujú, prenášajú sily, určujú pohyb, vedú teplo atď.

Podmnožina S3 – aktivácia entity

K aktivácií entít sústavy prichádza po prijatí riadiacich impulzov z riadiaceho systému. Tým sa rozpo pohybujú časti sústavy a prichádza k žiadaným pohybom.

Podmnožina S4 – ovplyvňovanie entity

Na sústavu v gravitačnom poli Zeme pôsobí tiaž. Pri vykonávaní funkcie polohovania na sústavu pôsobia tiež zotrvačné sily.

Podmnožina S5 – odborové vlastnosti prvkov štruktúry

Sústava zložená z entít, ktoré sú tvorené zväčša hliníkovou zliatinou sú popísané modulom pružnosti v ťahu, modulom pružnosti v šmyku, hustotou, tepelnou vodivosťou. V sústave môžu byť použité aj iné materiály ako je oceľ, iné neželezné kovy či plast. Kovové materiály použité v sústave sú uvažované ako homogénne, izotropné a lineárne pružné.

Podmnožina S6 – procesy a stavy

Na sústave prebiehajú procesy polohovania objektov v meracom zariadení. Pri procesoch sa mení stav sústavy voči základovému pevnému telesu stroja. V interakcií s podmnožinou S4 vznikajú namáhania v rôznych polohách, ktorým odpovedajú stavy sústavy.

Podmnožina S7 – prejavy entity

Prejavy sústavy v stavoch od procesov sú posuvy v bodoch sústavy.

Podmnožina S8 – dôsledky prejavov

Dôsledky prejavov sústavy, posuvov, sú zmeny geometrických vlastností sústavy a entít sústavy. To môže viesť ovplyvneniu funkcií a narušiť proces merania. V prípadoch medzných stavov deformácie sústavy a entít by mohlo prísť k porušeniu entity či sústavy.

3.1.4 Popis výstupov

Výstupy diplomovej práce sú jasne definované v jej zadaní. V tejto časti je stručne zhrnuté s výkladom riešiteľa práce.

Ciele diplomové práce:

Literárna rešerš konštrukcie zariadení pre lineárny pohyb

Oboznámenie sa so súčasnou situáciou problematiky v akademickej a komerčnej sfére.

Systémový rozbor konštrukcie polohovacej jednotky

Na základe literárnej rešerše sa zamyslieť a uviesť z čoho je konštrukcia polohovacej jednotky zložená a aké majú jednotlivé časti, entity a väzby.

Návrh presného vodiaceho systému

Pre sústavu polohovacej jednotky dôležitá časť, ovplyvňujúca jej vlastnosti či montáž. Z troch vybraných variant je vyhotovené multikriteriálne zhodnotenie. Na základe tohto hodnotenia výber najlepšej varianty.

Návrh pohonného ústroja

Pre procesy polohovania základná časť ovplyvňujúca najmenší krok, presnosť a opakovateľnosť. Z troch vybraných variant je vyhotovené multikriteriálne zhodnotenie. Na základe tohto hodnotenia výber najlepšej varianty.

Energetická bilancia výkonu motoru a batérie

Podľa navrhnutého požadovaného cyklu v prevádzke vysloviť požiadavky pre vhodné parametre batérie, ako vlastný zdroj energie pre polohovacu jednotku.

Simulácie, testovanie, meranie

Pomocou dostupných súčastí a softwarov vybrať stav, ktorý je simulovaný a následne overený meraním.

Výkresová dokumentácia vybraných dielov

Na základe vybraných dielov v návrhu vytvoriť ich výkresovú dokumentáciu.

Záver a odporúčenie pre prax

Po zoznámení a práci s problematikou polohovacích jednotiek vyvodiť záver s hodnotením navrhovanej koncepcie polohovacej jednotky. Vyvodiť odporúčenie pre prax.

3.2 Návrh presného vodiaceho systému

Dôležitá časť zariadenia, ktorá určuje jeho vlastnosti je vodiaci systém. Podľa stanovených kritérií samostatnej funkčnosti prístroja nie je možné použiť vedenia, ktoré si vyžadujú kontinuálny prísun energie z externého zdroja. V úvahu prichádzajú valivé vedenia. Valivé vedenia sa vyznačujú vysokou účinnosťou a sú bežne dostupné na trhu v rôznych prevedeniach. Preto je tento druh volený pre návrh presného vodiaceho systému. Valivé vedenia obsahujú valivé elementy ako guľôčky, valčeky alebo ihličky. Môžu mať zabudované odmeriavanie na magnetických či elektrických princípoch. Pre nižšiu požadovanú presnosť polohovania však nebudú volené.

V nasledujúcej časti bude volený z troch vybraných variant podľa stanovených kritérií. Predtým však bude predchádzať konkretizácia vstupov pre výber vodiaceho systému a s tým spojená písomná rozvaha.

3.2.1 Vstupy pre výber vodiaceho systému

Podľa celkového popisu vstupov pre PJ sú vybrané najdôležitejšie pre zdôvodnenie výberov. Konkrétnymi vstupmi sú

- S0-prvky okolia
 - čisté prostredie - stoj
 - korozívne prostredie - obsluha
- S1-štruktúra, topológia, geometria
 - umiestnenie daných komponent
- S2-podstatné väzby a interakcie
 - spôsob uchytenia v konštrukcií
 - interakcia jednotlivých komponent systému
 - zástavbové rozmery
 - zdvih
- S3-aktivácia entity
 - pôsobenie síl od pohonného systému
- S4-ovplyvňovanie entity
 - ovplyvňovanie zaťažiením
 - ovplyvňovanie tepelnými zdrojmi
- S5-odborové vlastnosti prvkov
 - nosnosť
 - tuhosť
- S6-procesy a stavy
 - montáž
 - údržba
 - polohovanie
 - meranie
 - nabíjanie
- S7-prejavy entity
 - posuvy
 - deformácie
- S8-dôsledky prejavov
 - napätia
 - medzné stavy

Z prehľadu vstupov pre správny výber je možné zhrnúť požiadavky na volenú komponentu v nasledujúcej rozvahe.

Vzhľadom na čisté prostredie v ktorom sa stroj nachádza väčšinu času nie je potrebné uvažovať špeciálny tip krytia súčiastky.

Korozívne prostredie je možné vyriešiť nerezovým typom vedenia. Pri uvažovaní minimálneho vplyvu korozívneho prostredia je možné počas prevádzky zahrnúť údržbu kontaktných plôch konzervačnou látkou ako je olej.

Spôsob uchytenia v konštrukcii býva prevedený skrutkovými spojmi. Sú preferované spojenia závrtnou skrutkou s hlavou, pri ktorých je možné pracovať s nastavením polôh jednotlivých komponent voči sebe.

Správnou interakciu komponent je možné zabezpečiť vhodným druhom maziva, ktoré doporučuje výrobca.

Zástavbové rozmery s čo najnižšími hodnotami pre kompaktnosť riešenia a ponechaniu priestoru pre ostatné komponenty sústavy PJ.

Zdvih je v zadaní požadovaný s hodnotou 60mm. Skutočný zdvih je však s väčšou hodnotou aby neprichádzalo ku kontaktu posuvnej časti vedenia s vlastným mechanickým dorazom, teda na svoje mechanické limity.

Ovplyvňovanie zaťažením je vhodné ak pri používaní bolo zaťaženie ideálneho typu-tlak.

Ovplyvňovanie tepelnými zdrojmi je nutné uvažovať pri procesoch a stavoch PJ, kedy pri polohovaní či nabíjaní môže prísť k deformáciám čo by mohlo mať vplyv na funkciu komponenty.

Odborové vlastnosti dané materiálom špecifikujú výrobcovia v katalógoch. Úlohou konštruktéra je vybrať multikriteriálnou analýzou práve správny typ pre definované použitie.

Pri výbere komponenty je potrebné zohľadniť aj procesy a stavy, v ktorých sa môže vybraný komponent nachádzať. Kritéria pri týchto stavoch môžu byť odhadnuté.

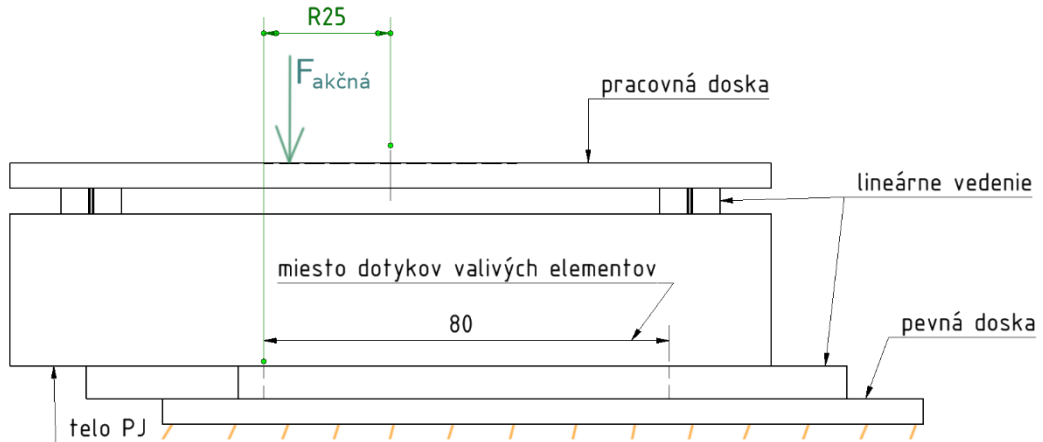
Pri uvažovaní prejavov entity je možné určiť posuvy či už aktívnych častí alebo deformácie od zaťaženia. Táto časť však nebude riešená. Vlastnosť, ktorá ovplyvňuje tento prejav je tuhosť.

Dôsledky prejavov ako sú medzné stavy a napätia. Tieto stavy riešené pre jednu vybranú najnepriaznivejšiu situáciu.

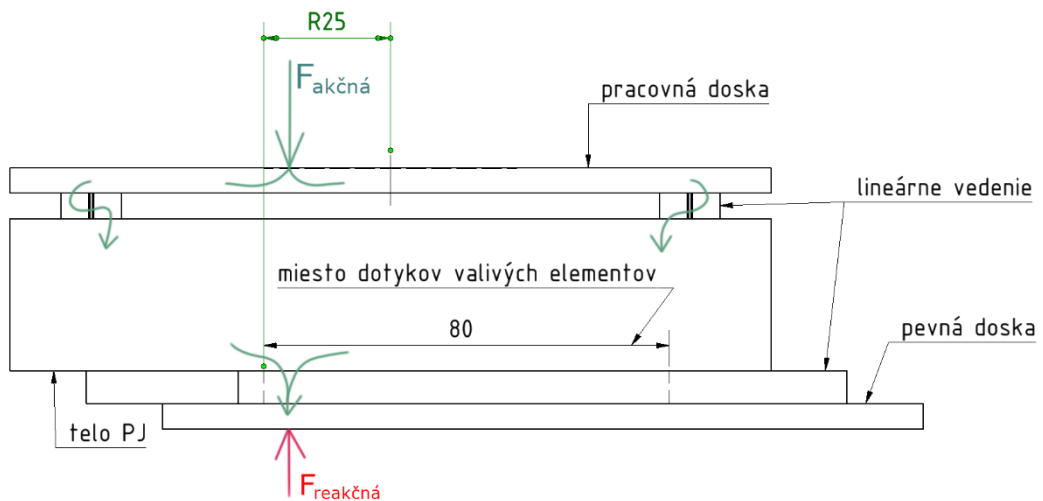
Na základe vstupov v multikriteriálnej analýze budú porovnávané tieto vlastnosti

- zástavbová plocha
- zástavbová výška
- váha
- zložitosť montáže
- počet komponent
- priemer plochy ideálneho zaťaženia
- základná statická únosnosť.

Posudzované kritéria sú vyčítané z dostupnej literatúry. Vzťahujú k vodiacemu systému pre jednu pohybovú os. Tieto hodnoty sú exaktné ale aj subjektívne. Subjektívnym kritériom je zložitosť montáže. Slovná hodnota tohto kritéria je určená po preštudovaní návodov k montáži jednotlivých lineárnych vedení. Priemer plochy ideálneho zaťaženia je určený po vizualizácii jednotlivých druhov vedení a po rozvahe toku síl cez konštrukciu. Pre predstavu je nižšie uvedený tok síl pre ďalej spomenutú variantu dva, obrázok 32.



Obrázok 31- zataženie pre určenie toku síl



Obrázok 32- tok síl cez konštrukciu

3.2.2 Variant 1.

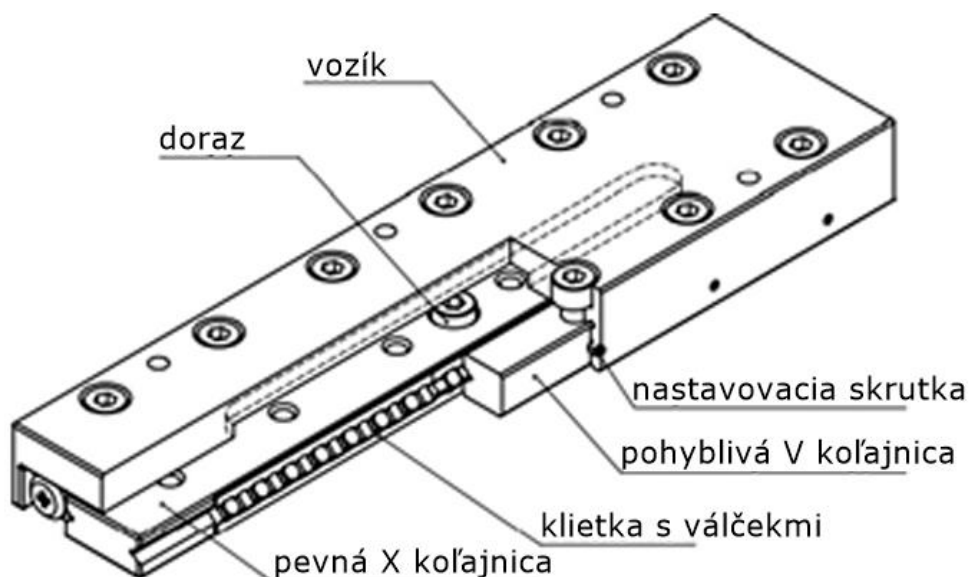
Valivé valčekové vedenie s obmedzeným zdvihom od výrobcu Nippon vyznačujúce sa vysokou tuhosťou. Je volený najnižší bežne dostupný variant so zdvihom odpovedajúcim potrebným parametrom pre PJ. Je teda vhodný kandidát pre použitie v konštrukcii. Skladá sa z pevného vedenia, ktoré sa skrutkami pripevní k pevnej časti konštrukcie a pohybujúceho sa stolu. Uvažovaný typ daného mechanizmu je

NYT 2110-D

Na obrázku 33 môžeme pozorovať doraz, vozík, koľajnica, klietka valčekov, pohyblivá koľajnica, nastavovacia skrutka. Základné vlastnosti dôležité pre vstupy do multikriteriálnej analýzy sú uvedené v tabuľke 5. Uvedené hodnoty sú vzťahované k dvom zostavám sústavy vedenia. Tieto dve sústavy sú uvažované práve pre jednu pohybovú os. Počet komponent v tabuľke parametrov predstavuje počet hlavných častí bez uvažovania skrutiek či dorazov. Valivé elementy a ich klietka predstavujú jednu komponentu.

Tabuľka 5- vlastnosti vedenia jednej pohybovej osy [18]

Parametre	V1 NYT 2110-D
zástavbová plocha [mm ²]	7260
zástavbová výška [mm]	12
váha [g]	530
zložitosť montáže	nižšia
počet komponent	12
priemer plochy ideálneho zaťaženia [mm]	45
statická únosnosť [N]	18320



Obrázok 33- variant 1 vodiaceho systému [18]

3.2.3 Variant 2.

Druhý variant valivého valčekového vedenia navrhovaný pre použitie v konštrukcií je s obmedzeným zdvihom a je uvažovaná od výrobcu THK, obrázok 34. Prakticky sa jedná o časť varianty 1. Skladá sa z štyroch hlavných komponent

- pevná koľajnica
- pohyblivá koľajnica
- klietka valivých elementov
- valivé elementy.

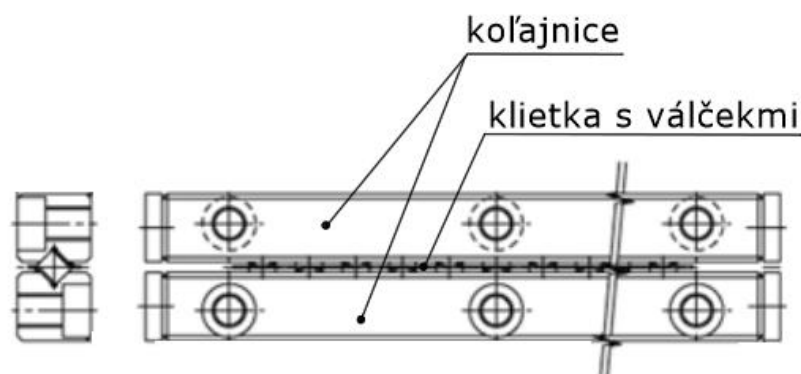
Jej použitie však zvyšuje náročnosť na montáž a výrobu dielov, ktoré táto súčiastka spája. Výhodou je ale nižšia zástavbová výška a aj plošné rozmery. Tento typ môžeme pozorovať aj v dvoch prípadoch použitia u PJ v prehľade súčasného stavu poznania. Typ lineárneho vedenia je volený

VR 2-120x21z

Základné vlastnosti dôležité pre vstupy do multikriteriálnej analýzy sú uvedené v tabuľke 6[19]. Uvedené hodnoty sú vzťahované k dvom zostavám sústavy vedenia z dôvodu rovnakého ako pri variante 1. Počet komponent v tabuľke parametrov predstavuje počet hlavných častí bez uvažovania skrutiek či dorazov. Valivé elementy a ich klietka pre zjednodušenie predstavujú jednu komponentu.

Tabuľka 6- vlastnosti vedenia [19]

Parametre	V2 VR 2 120x21z
zástavbová plocha [mm ²]	2880
zástavbová výška [mm]	6
váha [g]	124
zložitosť montáže	stredná
počet komponent	6
priemer plochy ideálneho zaťaženia [mm]	50
statická únosnosť [N]	12466



Obrázok 34- variant 2 vodiaceho systému [19]

3.2.4 Variant 3.

Tento variant valivého vedenia s nekonečným zdvihom, ktorý je uvažovaný je od výrobcu Hiwin je zobrazený na obrázku 35. Pre použitie v PJ sa skladá sa z týchto častí [20]

- pevnej koľajnice
- 2x pohyblivého vozíka
- valivých elementov

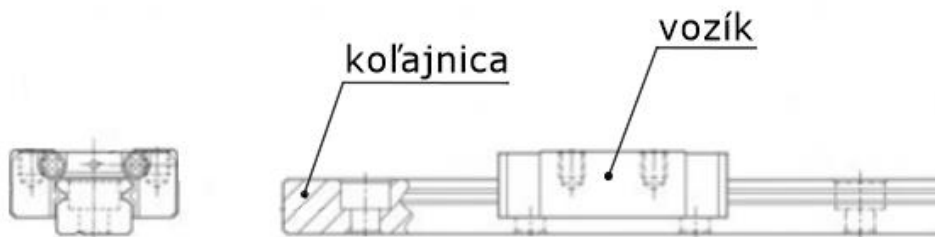
Vyznačuje sa pomerne jednoduchou montážou tak ako v prípade variantu 1. Potenciál nekonečného zdvihu pri polohovacích jednotkách spomínaného typu však nie je úplne využitý, keďže v navrhovanom type je pomerne malý zdvih. Volené konkrétne prevedenie je typu

vozík MGN 07 H
 koľajnica MGNR 07

Vstupy do multikriteriálnej analýzy sú uvedené v tabuľke 7. Uvedené hodnoty sú vzťahnuté k dvom zostavám sústavy vedenia z dôvodu rovnakého ako pri variante 1. Počet komponent v tabuľke parametrov predstavuje počet hlavných častí bez uvažovania skrutiek či dorazov. Valivé elementy a vozík pre zjednodušenie predstavujú jednu komponentu.

Tabuľka 7- vlastnosti vedenia [20]

Parametre	V3 MGN 07
zástavbová plocha [mm ²]	2550
zástavbová výška [mm]	8
váha [g]	240
zložitosť montáže	Nižšia
počet komponent	6
priemer plochy ideálneho zaťaženia [mm]	24
statická únosnosť [N]	7840



Obrázok 35- variant 3 vodiaceho systému [20]

3.2.5 Výber variantu

Pre presné vyhodnotenie navrhovaných variant bola použitá metóda porovnávania v trojuholníku párov. Do tabuľky v tvare trojuholníku boli vypísané kritéria v pároch, voľby jednotlivých kritérií boli sčítané. Na základe počtu volieb bolo určené poradie kritérií, pomocou ktorého boli určené váhy významnosti kritérií. Pre určenie váhy významnosti bol využitý nasledujúci vzorec.

$$\text{Váha významnosti} = 0,2 \cdot \text{počet volieb daného kritéria} + 0,8$$

Tabuľka 8- hodnotenie kritérií metódou porovnania v trojuholníku párov

Váha významnosti	Poradie	Počet volieb						
1,6	3	4	F1	F1	F1	F1	F1	F1
			F2	F3	F4	F5	F6	F7
1,8	2	5	F2	F2	F2	F2	F2	
			F3	F4	F5	F6	F7	
1,4	4	3	F3	F3	F3	F3		
			F4	F5	F6	F7		
1	6	1	F4	F4	F4			
			F5	F6	F7			
0,8	7	0	F5	F5				
			F6	F7				
2	1	6	F6					
1,2	5	2	F7					
Možnosti párov		21	Celkom					

Tabuľka 9- popis a priradenie finálneho poradia kritérií podľa poradia

Označenie kritéria	Popis kritéria	Finálne poradie významnosti
F1	zástavbová plocha	3
F2	zástavbová výška	2
F3	váha	4
F4	zložitosť montáže	6
F5	počet komponent	7
F6	priemer plochy ideálneho zaťaženia	1
F7	statická únosnosť	5

Tabuľka 10- celkové porovnanie variantov

Celkové porovnanie			
Parametre	V1 NYT 2110-D	V2 VR 2 120x21z	V3 MGN07
zástavbová plocha [mm ²]	7260	3240	5100
zástavbová výška [mm]	12	6	8
váha [g]	530	124	146
zložitosť montáže	Nižšia	Stredná	Nižšia
počet komponent	12	6	6
priemer plochy ideálneho zaťaženia [mm]	45	50	24
statická únosnosť [N]	18320	12466	7840
Počet získaných bodov	1,6	6,4	3,2

Variant s najvyšším počtom bodov získaných v porovnaní je vybraný pre nasledujúce použitie v konštrukcii. Je to variant 2.

3.2.6 Výpočty VR 2-120x21z

Pre výpočty valivého vedenia je potrebné zohľadniť zaťaženie, prostredie a podmienky, v ktorom budú prevádzkované.

V rentgenových systémoch je obvykle stabilná teplota na hodnote približne 20°C. Oteplenie v dôsledku vplyvov od výkonových prvkov pri definovanom používaní je zanedbateľné. Rýchlosť polohovania v režime 7mm/s je dostatočne nízka, aby nebol uvažovaný vplyv používania pri vysokých rýchlostiach. Vibrácie z okolia nie sú žiadnym spôsobom výrazné. Preto korekčné faktory uvedené vo vzorových výpočtoch nie sú uvažované.

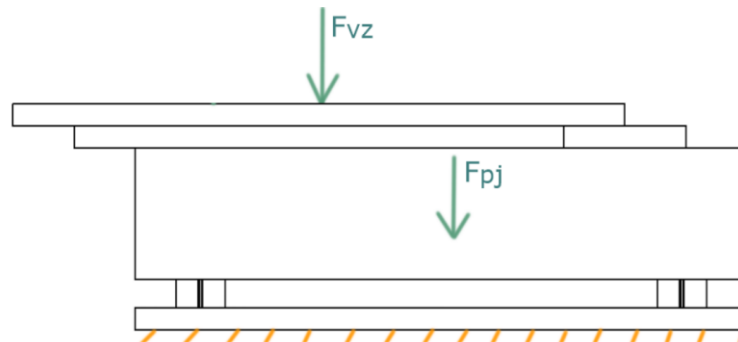
Vstupné parametre

Koeficient statickej únosnosti	$C_{0z} = 0.271 \text{ kN}$
Koeficient dynamickej únosnosti	$C_z = 0.276 \text{ kN}$
Rozostup valivých elementov	$P = 4 \text{ mm}$
Hmotnosť vzorku	$m_{vz} = 7 \text{ kg}$
Odhadovaná hmotnosť PJ	$m_{pj} = 3 \text{ kg}$
Nominálne zaťaženie vzorkom	$F_{vz} = m_{vz} \cdot g = 70 \text{ N} = 0,07 \text{ kN}$
Nominálne zaťaženie PJ	$F_{pj} = m_{pj} \cdot g = 30 \text{ N} = 0,03 \text{ kN}$
Zdvih	$l_s = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$
Čas jedného cyklu	$t_m = 25 \text{ min} = 0,417 \text{ hod}$
Odhadovaný počet zdvihov	$n = 6$

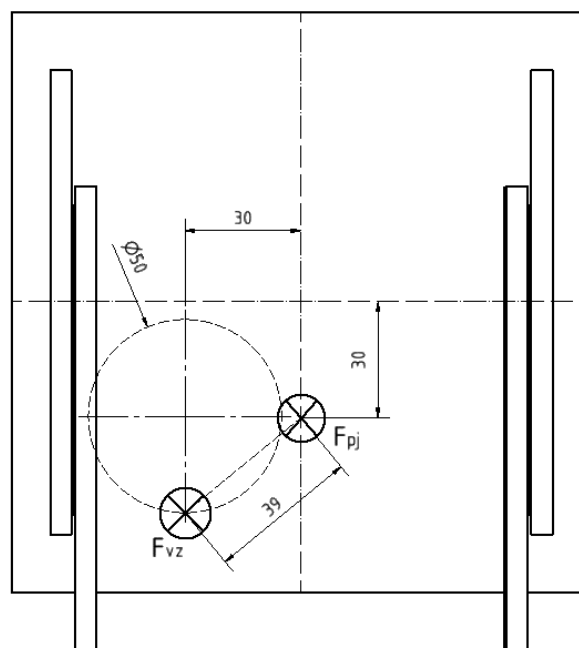
Statické zaťaženie

Zaťaženie je vyobrazené na obrázku 36 a obrázku 37. Pri vysunutí pracovnej dosky o 30 mm, určenom priemere zaťažovacieho priestoru o veľkosti 50 mm, polohovaný objekt uložíme s ťažiskom na okraji zaťažovacieho priestoru v najnepriaznivejšej pozícii, potom zaťaženie vyzerá tak ako na spomenutom obrázku.

V definovanom stave je zaťažovacia sila je súčtom odhadovanej časti hmotnosti PJ (3kg) a maximálnej hmotnosti polohovaného vzorku (7kg). Na tieto hmotnosti pôsobí gravitačné zrýchlenie g. Väzba votknutia je zobrazená oranžovou farbou na obrázku 36.



Obrázok 36- zobrazenie zaťažujúcich síl



Obrázok 37- najnepriaznivejšie zaťaženie lineárneho vedenia spodnej osy

Z pôvodného zaťaženia je potrebné určiť výslednicu síl s jej pôsobiskom. Veľkosť výslednice je súčtom oboch síl. Jej pôsobisko leží na priamke medzi silami F_{vz} a F_{pj} vzdialenosť pôsobiska určíme nasledovne

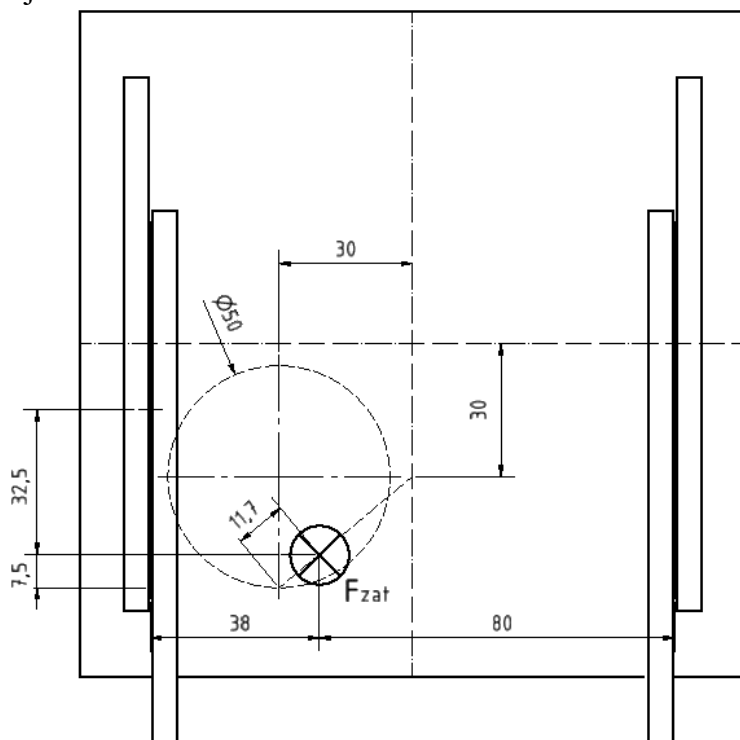
$$F_{vz} \cdot x = F_{pj} \cdot (39 - x) \quad (1)$$

$$x = F_{pj} \cdot \frac{39}{F_{vz} + F_{pj}} = 30 \cdot \frac{39}{70 + 30} = 11,7 \text{ mm} \quad (2)$$

Po určení pôsobiska F_{zat} je možné do predbežnej geometrie ho zakresliť a tým získať údaje o počte valivých elementov zapojených v danej situácii. Na geometrii je možné pozorovať kótu 7,5 mm, to predstavuje vzdialenosť od zaťažovacej sily. Pri uvažovaní symetrického rozdelenia táto sila pôsobí na 15 milimetroch dĺžky valivých elementov. Počet zapojených elementov z je potom vypočítaný rovnicou 3 v závislosti na rozstupe valivých elementov P.

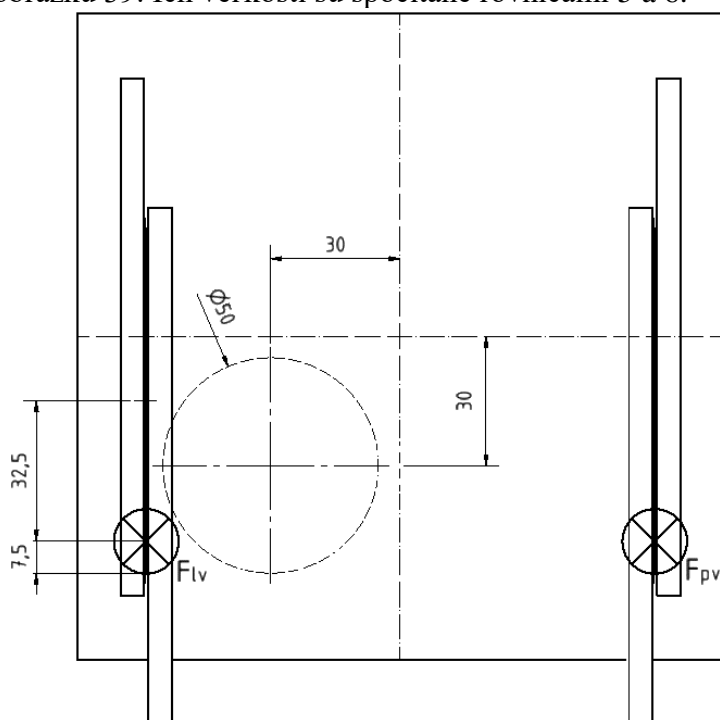
$$z = \frac{15}{P} = \frac{15}{4} \doteq 3 \quad (3)$$

Taktiež môžeme na obrázku 38 pozorovať vzdialenosti, podľa ktorých bude zaťažovacia sila distribuovaná na jednotlivé vedenia.



Obrázok 38- pôsobisko celkovej zaťažujúcej sily pre spodnú osu

Pri uvažovaní zaťaženia na jednotlivé lineárne vedenia sa sila prerozdelená na F_{lv} a F_{pv} tak ako je zobrazené na obrázku 39. Ich veľkosti sú spočítané rovnicami 5 a 6.



Obrázok 39- prerozdelenie síl na jednotlivé vedenia

$$F_{lv} \cdot 38 = (F_{zat} - F_{lv}) \cdot 80 \quad (4)$$

$$F_{lv} = F_{zat} \cdot \frac{80}{38 + 80} = 100 \cdot \frac{80}{38 + 80} = 67,8 \text{ N} \quad (5)$$

$$F_{pv} = F_{zat} - F_{lv} = 100 - 67,8 = 32,2 \text{ N} \quad (6)$$

Vlastné výpočty

Skladajú sa predovšetkým z kalkulácie únosnosti, statického súčiniteľa bezpečnosti, vyjadrenia nominálnej životnosti vedenia vzťahnutej k prípadu ak by váha vzorku a tela polohovacej jednotky bola sústredená nad lineárnym vedením so zapojenými 3 valivými elementami.

Kalkulované zaťaženie 10 kg

$$P_c = 0,1 \text{ kN}$$

Podľa katalógu a vzorových výpočtov boli vypočítané nasledovné hodnoty.[19]

Základná dynamická únosnosť

$$C = \left(\left(\frac{z}{2} - 1 \right) \cdot 2 \cdot P \right)^{\frac{1}{36}} \cdot \left(\frac{z}{2} \right)^{\frac{3}{4}} \cdot C_z = \left(\left(\frac{3}{2} - 1 \right) \cdot 2 \cdot 4 \right)^{\frac{1}{36}} \cdot \left(\frac{3}{2} \right)^{\frac{3}{4}} \cdot 0,276 = 0,389 \text{ kN} \quad (7)$$

Základná statická únosnosť

$$C_0 = \frac{z}{2} \cdot C_{0z} = \frac{3}{2} \cdot 0,271 = 0,407 \text{ kN} \quad (8)$$

Statický súčiniteľ bezpečnosti

$$f_s = \frac{C_0}{P_c} = \frac{0,407}{0,1} = 4,07 \quad (9)$$

Nominálna životnosť

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_c} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 100 = \left(\frac{0,389}{0,1} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 100 = 9,26 \cdot 10^3 \text{ km} = 9,26 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (10)$$

Počet zdvihov za minútu

$$n_1 = \frac{n}{t_m} = \frac{6}{0,417} = 14,3 \text{ hod}^{-1} \quad (11)$$

Nominálna životnosť v hodinách

$$L_h = \frac{L_{10}}{2 \cdot f_s \cdot n_1} = \frac{9,26 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,06 \cdot 14,3} = 6,42 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (12)$$

Všetky vyjadrené hodnoty sú vyhovujúce. Najmä nominálna životnosť, ktorá pri nepretržitej osem hodinovej prevádzke počas dvestopäťdesiatich pracovných dní v roku predstavuje plnenie funkcie na dĺžku odhadom tritisíc rokov.

3.3 Návrh pohonného systému

Základné vlastnosti polohovacej jednotky sú silno naviazané na pohon, ktorého voľba je popísaná v nasledujúcej časti. Sú určené tri varianty pre posúdenie vhodnosti. Všetky tri varianty sú uvažované ako elektrické pohony napájané vlastným jednosmerným zdrojom prúdu. V prvom rade je potrebné uvedomiť si vstupy pre výber pohonu a definovať vlastnosti, ktoré budú porovnávané medzi jednotlivými systémami. Dôležitým faktorom pri návrhu je hlavné zohľadnenie požiadaviek stroja vid'. tabuľka 4. Pri zvolenom type kinematiky sú uvažované 3 druhy pohonov. Ich určovacie výpočty sú uvedené v prílohe 1.

3.3.1 Vstupy pre výber pohonu

Tak ako v kapitole 3.2.1 sú rovnakým spôsobom definované a popísané vstupy pre výber pohonného systému. Väčšina vstupov je rovnakých, preto sú následne uvedené dôležité líšiace sa vstupy pre výber pohonu

- S1-štruktúra, topológia, geometria
 - umiestnenie daných komponent
- S2-podstatné väzby a interakcie
 - spôsob uchytenia v konštrukcii
 - interakcia jednotlivých komponent systému
 - zástavbové rozmery
 - zdvih
 - inkrementálny posuv
- S3-aktivácia entity
 - pôsobenie dynamických síl
- S4-ovplyvňovanie entity
 - ovplyvňovanie zaťažením
 - ovplyvňovanie tepelnými zdrojmi
- S5-odborové vlastnosti prvkov
 - maximálne prenášané sily
 - zrýchlenie

Štruktúrou, teda umiestnením komponent pohonu je možné ovplyvniť vlastnosti PJ, je nutné zohľadniť aj požiadavky pre napájanie z vlastného zdroja energie a riadenie cez vlastnú riadiacu jednotku. Pohony sú ovládané riadiacou jednotkou, ktorej súčasťou sú akčné členy-drivery. Pri výbere časti zariadenia je nutné uvažovať aj túto časť pre ovládanie pohonu, preto bude zahrnutá v kriteriálnej analýze.

Druh pohonného systému má vplyv na uchytenie v konštrukcii, na interakciu s ostatnými komponentami, či zástavbové rozmery. Počet komponent z ktorých je zložený má vplyv na zložitosť montáže.

Minimálny inkrementálny posuv v pre rentgenové zobrazovacie systémy v rozmedzí nižších desiatok mikrometrov je postačujúcou hodnotou pre polohovanie vzorkov v stroji.

Pôsobením dynamických síl od zaťaženia či už pri polohovaní PJ alebo pri otáčaní otočného stolu stroja rentgenového systému by mala PJ zachovávať stabilnú polohu.

Ovplyvňovanie tepelnými zdrojmi ako je batéria, či vlastné motory pohonu je potrebné uvažovať a zohľadniť pri návrhu tejto časti.

Na základe vstupov v multikriteriálnej analýze budú porovnávané tieto vlastnosti:

- zástavbová plocha
- zástavbová výška
- váha
- počet komponent
- dostupnosť
- veľkosť inkrementu
- veľkosť driveru.

3.3.2 Variant 1.

Gulôčková skrutka a matica je hojne používaný pri obrábacích strojoch, či iných polohovacích jednotkách. Je dostatočne známa s bohatým portfóliom výrobcov komponent. Jednotlivé komponenty boli volené s prihliadnutím na montáž, ich veľkosť.

Keďže miniatúrne gulôčkové skrutky, ktoré sú ponúkané výrobcami začínajú na menovitých priemeroch 3mm, 4mm je vzhľadom na montáž k ostatným dielom volená skrutka s priemerom 4mm so stúpaním 1mm a s nepredpätou maticou s axiálnou vôľou do 5 μ m. Tento typ je volený z dôvodu absencie trecieho momentu, ktorý vzniká predpätím. Tým sa znižujú nároky na krútiaci moment motoru. Pri rotácii pracovného priestoru rentgenového systému vzniká vymedzenie vôle odstredivou silou. Ku skrutke bolo zvolené uloženie, spojka a krokový motor AM1524 250 na základe určovacích výpočtov. Pre aplikáciu polohovania hmôt o dostatočne malej hmotnosti je možné použiť krokové motory, ktoré umožňujú relatívne presné natočenie rotoru motora. To v konečnej fáze je umožňuje polohovanie po určitými skokovými prírastkami, inkrementami. Po vyslovení teoretických vlastností bola vytvorená tabuľka vlastností pre posúdenie multikriteriálnou analýzou. [21], [22], [23], [24]

Tabuľka 11-odhadované vlastnosti variantu 1

Vlastnosti	V1 AM1524
zástavbová plocha [mm ²]	2800
zástavbová výška [mm]	20
váha [g]	30
počet komponent	7
dostupnosť	výborná
veľkosť inkrementu [mm]	0,0104
veľkosť driveru [mm ³]	24,6

3.3.3 Variant 2.

Na základe určovacieho výpočtu a dostupných komponent bol volený pohon s mechanizmom pastorok a hrebeň s modulom 0,5 mm. Bol zvolený plochý krokový motor Nema flat 02, ktorý bol určovacím výpočtom overený. Odhadované vlastnosti pohonu sú zhrnuté v tabuľke 12, ktorá slúži ako vstup do multikriteriálnej analýzy.[25] [26]

Tabuľka 12- odhadované vlastnosti variantu 2

Vlastnosti	V2 NEMA FLAT02
zástavbová plocha [mm ²]	2800
zástavbová výška [mm]	20
váha [g]	30
počet komponent	3
dostupnosť	dobrá
veľkosť inkrementu [mm]	0,033
veľkosť driveru [mm ³]	24,6

3.3.4 Variant 3.

Piezomotor, ktorý je voľbou pre variant 3 bol podľa určovacieho výpočtu zvolený typu LL06 Delta. Pri voľbe do zvažovaného variantu je prínosom a zväčšením prehľadu pre riešiteľa práce a aj čitateľa. Piezomotory nie sú bežné, je to spôsobené ich cenou a aj tým, že je to pomerne nové a stále vyvíjajúce sa odvetvie. Piezomotory sú jednoznačne náročnejšie na riadenie. Riadenie inými drivermi ako poskytuje výrobca vzniká riziko správnosti riadenia. Tieto drivery nie sú zanedbateľných veľkostí, to je možné pozorovať v tabuľke vlastnosti pre multikriteriálnu analýzu. [27]

Tabuľka 13- odhadované vlastnosti variantu 3

Vlastnosti	V3 LL06 Delta
zástavbová plocha [mm ²]	1900
zástavbová výška [mm]	10,5
váha [g]	20
počet komponent	2
dostupnosť	obmedzená
veľkosť inkrementu [mm]	0,0045
veľkosť driveru [mm ³]	21169,2

3.3.5 Výber variantu

Tou istou metódou porovnania v trojuholníku párov ako je spomenutá v kapitole 3.2.5 boli porovnané kritéria, určené ich poradie, váhy a následne boli porovnané jednotlivé varianty.

Tabuľka 14- hodnotenie kritérií metódou porovnania v trojuholníku párov

Váha významnosti	Poradie	Počet volieb							
1,4	4	3	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1
			F2	F3	F4	F5	F6	F7	
1,8	2	5	F2	F2	F2	F2	F2		
			F3	F4	F5	F6	F7		
0,8	7	0	F3	F3	F3	F3			
			F4	F5	F6	F7			
1	6	1	F4	F4	F4				
			F5	F6	F7				
2	1	6	F5	F5					
			F6	F7					
1,2	5	2	F6						
1,6	3	4	F7						
Možnosti párov		21	Celkom						

Tabuľka 15- popis a priradenie finálneho poradia kritérií

Označenie kritéria	Popis kritéria	Finální poradí významnosti
F1	zástavbová plocha [mm ²]	4
F2	zástavbová výška [mm]	2
F3	váha [g]	7
F4	počet komponent	6
F5	dostupnosť	1
F6	veľkosť inkrementu [mm]	5
F7	veľkosť driveru [mm ³]	3

Tabuľka 16- celkové porovnanie variantov

Celkové porovnanie			
Vlastnosti	V1 AM1524	V2 NEMA FLAT02	V3 LL06 Delta
zástavbová plocha [mm ²]	2800	2800	1862
zástavbová výška [mm]	20	20	10,5
váha [g]	30	30	20
počet komponent	7	3	2
Dostupnosť	výborná	dobrá	obmedzená
veľkosť inkrementu [mm]	0,0104	0,033	0,0045
veľkosť driveru [mm ³]	24,6	24,6	21169,2
Počet získaných bodov	4,4	2,4	(6,2)

Celkové porovnanie variantov zobrazené v tabuľke 16 je výsledkom kedy uvažovaný piezomotor je ovládaný dostupným driverom od výrobcu, ten je však rozmerný a použitie spolu s riadiacou jednotkou vo vnútri tela polohovacej jednotky je obtiažne. Taktiež najmenšia veľkosť inkrementu 0,0045 mm je vzhľadom na požiadavku polohovania v nižších desiatkach mikrometrov mierne prehnaná. Preto obvodový zisk 6,2 nie je uvažovaný. Z toho vyplýva že druhý umiestnený variant 1 je voľbou pre použitie v konštrukcii.

3.3.6 Prevedenie variantu

Zvolená prevedenie sa skladá z

- krokového motora AM1524 250
- vlnovcovej spojky MK0,5/14/1,5/2/
- guľôčkovej skrutky MDK 0401 C0 GT.
- dvoch ložísiak s kosouhlým stykom MTA02-06

Pri detailnom výpočte je potrebné uvažovať zaťažujúci cyklus daného pohonu, kedy je určené predpokladané použitie. Pri uvažovaní nepriaznivých podmienkach pre spodný pohon, kedy nesie váhu polohovacej jednotky a bremena čo približne odpovedá 10kg.

Určenie doby použitia

Vzorový cyklus použitia polohovacej jednotky môžeme rozdeliť na časti uvedené v blokovej schéme na obrázku 40.



Obrázok 40- vzorový cyklus použitia

Čas polohovania odpovedá dvom pohonom, je uvažované že pri polohovaní je vždy zapnutý iba jeden pohon. Preto doba použitia pohonu v jednom cykle je približne šesťdesiat sekúnd. Za osem hodinovú zmenu prebehne devätnásť meraní, teda cyklov. Za rok je uvažovaných dvestopäťdesiat pracovných dní v roku. Poruchy nie sú uvažované a vedľajšie pracovné časy nie sú uvažované.

Vstupné parametre sú uvedené nižšie.

Cyklus merania $C_m = 25 \text{ min} = 0,42 \text{ hod}$

Doba zmeny $t_{zm} = 8 \text{ hod}$

Počet pracovných dní v roku $p_{dr} = 250$

Odhadovaná doba testovania $t_{test} = 75 \text{ hod}$

Počet cyklov merania

$$n_c = \frac{t_{zm}}{C_m} = \frac{8}{0,42} \doteq 19 \quad (13)$$

Odhadovaná doba polohovania v jednom cykle merania je určená odhadovaným počtom zdvihov, dĺžke zdvihu kap. 3.2.6. a rýchlosti. Jej hodnota je zaokrúhlená na celé nižšie číslo. Počet cyklov za jednu osem hodinovú zmenu je devätnásť. Približný čas polohovania jedného pohonu za jednu zmenu je určený na 1140 sekúnd. Za desať rokov v jednozmennej prevádzke to odpovedá na 671 hodín. K tomu musí byť uvažovaná taktiež odhadovaná doba testovania po zmontovaní, čomu odpovedá 75 hodín. To znamená že životnosť uloženia guľôčkovej skrutky a aj životnosť samotnej skrutky musí byť väčšia ako 750 hodín.

Odhadovaná doba polohovania jedného pohonu v

$$t_{pc} = \frac{n \cdot l_s}{v} = \frac{6 \cdot 60}{7} = 51,4 \text{ s} = 0,014 \text{ hod} \quad (14)$$

Odhadovaná doba polohovania za desať rokov používania

$$t_{10r} = 10 \cdot p_{dr} \cdot \frac{t_{zm}}{C_m} \cdot t_{pc} = 10 \cdot 250 \cdot \frac{8}{0,42} \cdot 0,014 = 671 \text{ hod} \quad (15)$$

Celková doba polohovania za desať rokov

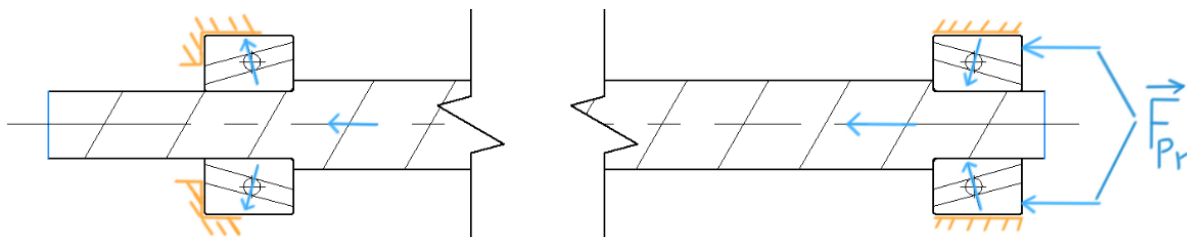
$$t_{10rc} = t_{10r} + t_{test} = 671 + 75 = 746 \text{ hod} \quad (16)$$

Uloženie skrutky

Spôsoby uloženia koncov skrutky sú [29]

1. s dvojitým ložiskom kosouhlým stykom -voľný
2. s dvojitým ložiskom kosouhlým stykom -podopretý radiálnym ložiskom
3. s dvojitým ložiskom kosouhlým stykom - s ložiskom kosouhlým stykom
4. s dvojitým ložiskom kosouhlým stykom - s dvojitým ložiskom kosouhlým stykom
5. s ložiskom kosouhlým stykom – s ložiskom kosouhlým stykom.

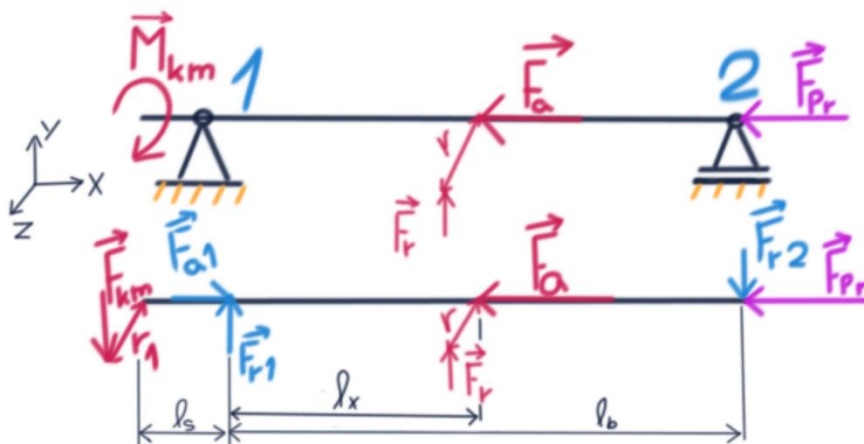
Piaty spôsob uloženia nie je bežný, ani uvedený v citovanom zdroji no vychádza z myšlienky autora. Pre malé zástavbové rozmery je volený typ 5. Pre bezvôľové uloženie býva aplikované predpätie ložísk s kosouhlým stykom. S prihliadnutím na voľbu je uvažované jediné možné predpätie tlakom. To môže mať za následok malé zástavbové priestory a jednoduchú montáž. Obrázok uloženia so zvýrazneným tokom predpínacej sily F_{Pr} je na nasledujúcej strane s označením 41.



Obrázok 41- typ zvoleného uloženia.

Výpočet zaťaženia

Aby bolo uloženie vhodné pre použitie v konštrukciách, je potrebné ho overiť vzhľadom na maximálne dovolené zaťaženie. Rozbor síl zaťaženia ložísk aj skrutky je zobrazený na obrázku 42.



Obrázok 42- zaťaženie skrutky v uložení

Podmienka statickej rovnováha po uvoľnení je

$$\sum M_z = 0$$

$$\sum M_o = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

Rovnice popisujúce stav zaťaženia sú s prihliadnutím na väzbu guľôčkovej skrutky a matice. Pri maximálnom zaťažení od dynamických síl je mechanický krútiaci moment na motore spodného pohonu označený M_{km} veľkosti 0,36 Nmm. V tabuľke 17 je uvedené zaťaženie vzhľadom na meniacu sa pozíciu matice l_x .

Krútiaci moment mechanický $M_{km} = 0,36 \text{ Nmm}$

Predpínacia sila $F_{pr} = 12 \text{ N}$

Dĺžka skrutky medzi uloženími $l_b = 80 \text{ mm}$

Vzdialenosť momentu od ložiska $l_s = 10 \text{ mm}$

Polomer skrutky $r = 2 \text{ mm}$

Polomer v ložisku $r_1 = 1 \text{ mm}$

Stúpanie skrutky $s = 1 \text{ mm}$

$$M_{km} = F_r \cdot r = F_{km} \cdot r_1 \quad (17)$$

$$F_{a1} = \frac{M_{km} \cdot 2 \cdot \pi}{s} + F_{Pr} \quad (18)$$

$$F_{km} \cdot l_s = F_r \cdot l_x - F_{r2} \cdot l_b \quad (19)$$

$$F_{r1} = F_{km} - F_r + F_{r2} \quad (20)$$

$$F_{r2} = \frac{F_r \cdot l_x + F_{km} \cdot l_s}{l_b} \quad (21)$$

Tabuľka 17- priebehy zaťaženia pri polohovaní v závislosti na polohe matice

$M_{km} = 0,36 \text{ Nmm}$	$F_{r1} [\text{N}]$	$F_{a1} [\text{N}]$	$F_{r2} [\text{N}]$
$l_x = 10 \text{ mm}$	0,24	14,3	0,06
$l_x = 40 \text{ mm}$	0,32	14,3	0,14
$l_x = 70 \text{ mm}$	0,38	14,3	0,2

V prípade, ak by sa v dráhe vyskytla prekážka a motor by točil maximálnym nominálnym momentom M_{kmmax} o veľkosti 4 Nmm. Zaťaženie by bolo ako v uvedenej tabuľke 18.

Tabuľka 18- priebehy zaťaženia pri preťažení od nepohyblivej prekážky v závislosti na polohách matice

$M_{km} = 4 \text{ Nmm}$	$F_{r1} [\text{N}]$	$F_{a1} [\text{N}]$	$F_{r2} [\text{N}]$
$l_x = 10 \text{ mm}$	2,62	37	0,625
$l_x = 40 \text{ mm}$	3,5	37	1,5
$l_x = 70 \text{ mm}$	4,25	37	2,25

Vlastnosti ložiska sú [24]

Základná statická axiálna únosnosť $C_{0a1ož} = 450 \text{ N}$

Základná dynamická axiálna únosnosť $C_{a1ož} = 555 \text{ N}$

Základná statická radiálna únosnosť $C_{0r1ož} = 92 \text{ N}$

Základná dynamická radiálna únosnosť $C_{r1ož} = 288 \text{ N}$

Najnižšia hodnota statickej bezpečnosti vzhľadom k preťaženiu je v axiálnom smere. [24]

$$f_{sa} = \frac{C_{0a1ož}}{F_{a1}} = \frac{450}{37} = 12 \quad (22)$$

V radiálnom smere je

$$f_{sr} = \frac{C_{0r1ož}}{F_{r1}} = \frac{92}{4,25} = 21,6 \quad (23)$$

Trvanlivosti uloženia vzhľadom na prevádzkový stav je závislá na ekvivalentnom zaťažení, ktoré je spočítané podľa katalógu od výrobcu. [24]

Zaťaženie v axiálnom smere $F_{a1} = 14,3 \text{ N}$

Zaťaženie v radiálnom smere $F_{r1} = 0,38 \text{ N}$

Koeficient X $X = 0,56$

Koeficient Y $Y = 1,49$

Posuvová rýchlosť pohybu $v = 7 \text{ mm s}$

Pre výpočty je potrebné spočítať rýchlosť otáčania rovnicou 24 tá je závislá na posuvovej rýchlosti a stúpaní skrutky.

$$n_{ot} = \frac{v}{s} = \frac{7}{1} = 7 \text{ s}^{-1} = 420 \text{ min}^{-1} \quad (24)$$

Hodnota ekvivalentného zaťaženia P je počítaná rovnicou 25 [24]

$$P = X \cdot F_{r1} + Y \cdot F_{a1} = 0,56 \cdot 0,38 + 14,3 \cdot 1,49 = 21,5 \text{ N} \quad (25)$$

Trvanlivosť ložiska v hodinách je [24]

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n_{ot}} \cdot \left(\frac{C_{rloz}}{P} \right)^3 = \frac{10^6}{60 \cdot 420} \cdot \left(\frac{288}{21,5} \right)^3 = 95380 \text{ hod} \quad (26)$$

3.3.7 Gul'ôčková skrutka

Je uvažovaná s úpravou na mieru, keďže od výrobcu sú dostupné iba hotové varianty prevedenia, ktoré nevyhovujú. Gul'ôčková skrutka je vybraná bez predpätia zato s maximálnou vôľou 5 μm . Pri uvažovaní 2 kolmých osí to vytvára priestorovú vôľu 25 μm^2 Pre rentgenové systémy s nižším rozlíšením, ktoré nie sú určené pre metrologiu ale pre kontrolu štruktúr, prípadne montovaných zostáv je táto hodnota v poriadku.

Pri overení výpočtami je potrebné uvažovať životnosť skrutky, dovolené axiálne zaťaženie a nakoniec by mohli byť uvažované kritické otáčky. Kritické otáčky vzhľadom na pomalú rýchlosť otáčania, ktorá je spočítaná rovnicou 24, tento výpočet ani nebude uvedený. Vlastnosti skrutky sú nasledovné [22]

Menovitý priemer skrutky	$d = 4 \text{ mm}$
Malý priemer skrutky	$d_m = 3,4 \text{ mm}$
Základná statická únosnosť	$C_{0a} = 290 \text{ N}$
Základná dynamická únosnosť	$C_a = 420 \text{ N}$
Koeficient uloženia	$\alpha = 2 \cdot \pi$
Modul pružnosti ocele	$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

Dovolené axiálne zaťaženie

Je to výpočet vzpernej stability so započítaným koeficientom bezpečnosti o hodnote 2. Z toho dôvodu je výraz v rovnici 28 vynásobený prevrátenou hodnotou koeficientu, čo je číslo 0,5. Ako prvé je potrebné určiť kvadratický prierez skrutky.[31]

$$I_{kps} = \pi \cdot \frac{d_m^4}{64} = \pi \cdot \frac{3,4^4}{64} = 6,56 \text{ mm}^4 \quad (27)$$

$$F_{pov} = \alpha^2 \cdot \frac{E \cdot I_{kps}}{l_b^2} \cdot 0,5 = 2^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 6,56}{80^2} \cdot 0,5 = 4248 \text{ N} \quad (28)$$

Z dôvodu použitia zvoleného uloženia a malej dĺžke skrutky, povolená sila axiálneho zaťaženia, aby skrutka nestratila vzpernú stabilitu, je mnohonásobne vyššia ako hodnota zaťaženia pri zablokovaní pohybu a pôsobení maximálneho krútiaceho momentu motora.

Životnosť skrutky

Je spočítaná nasledovne. Hodnota L_h odpovedá odhadovanej životnosti v hodinách.

[32]

$$L_{10} = \left(\frac{C_a}{F_{a1}} \right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{420}{14,3} \right)^3 \cdot 10^6 = 2,53 \cdot 10^{10} \quad (29)$$

$$L_h = \frac{L_{10}}{60 \cdot n_{ot}} = \frac{2,53 \cdot 10^{10}}{60 \cdot 420} = 1 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (30)$$

Podľa vypočítaného času použitia v rámci 10 rokov, ktorý odpovedá 750 hodinám navrhované vedenie, uloženie skrutky a takisto aj skrutka, všetky ich životnosti prevyšujú mnohonásobne čas použitia v rámci 10 rokov.

3.3.8 Spojka

Spojka prenášajúca krútiaci moment z motora na guľôčkovú skrutku je typu pružnej spojky, aby dokázala tolerovať nepresnosti súososti hriadeľu motora a skrutky. Spojka musí mať väčší nominálny prenášaný moment ako je mechanický krútiaci moment, ktorý prenáša motor na skrutku. Taktiež spojka musí odolať preťaženiu od motora čomu odpovedá krútiaci moment motora 4 Nmm. Bola vybraná vlnovcová spojka s vlastnosťami s veľmi prevyšujúcim nominálnym momentom ako je potrebný k potrebný pri aplikácii v PJ. [23]

Nominálny prenášaný moment

$$M_{nmsp} = 50 \text{ Nmm}$$

Priemer vrtania diery 1

$$d_{c1} = 2 \text{ mm}$$

Priemer vrtania diery 2

$$d_{c2} = 1,5 \text{ mm}$$

3.3.9 Krokový motor

Vybraný motor s dostatočným krútiacim momentom volený [21]

AM1524 250

Má vlastnosti

Nominálne napätie na fáze

$$U_{nom} = 3,5 V$$

Nominálny prúd na fáze

$$I_{nom} = 0,25 A$$

Prídržný moment

$$M_h = 6 Nmm$$

Veľkosť kroku

$$k = 15^\circ$$

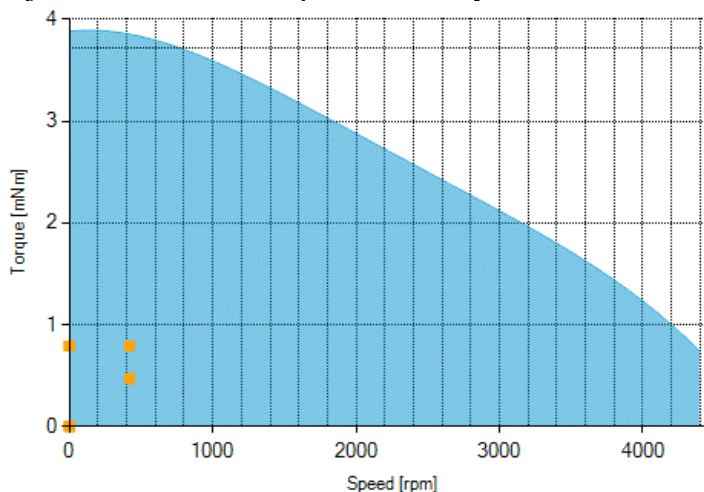
Typ chodu motora mikrokrokovanie

Polohovanie pomocou daného typu motora je uvažované po štvrtinách kroku. To odpovedá v ideálnych podmienkach posunutiu mechaniky o 0,0104 mm. Tieto štvrtiny kroku by mali byť rozdelené do mikrokrokov. Má to jednoduchý dôvod, nižšiu hlučnosť, menšie vibrácie a vyššiu presnosť. Krokový motor sa chová ako dynamická sústava telesa na pružine. Po zrovnaní magnetických polí statoru s rotorom rotor vždy kmitá určitý čas okolo ideálnej polohy až kým ju nedosiahne. Amplitúda kmitu je závislá na veľkosti kroku. Ak teda znížime kroky na čo najmenšiu hodnotu, zníži sa tým aj spomenutý prechyt. Pri odporoch sústavy pohonu by mohlo prísť k väčším nepresnostiam polohovania. Vzorové porovnanie prevedenia plných krokov a mikrokrokov je na obrázku 43. [33]



Obrázok 43- typy prevádzky motory s vplyvom na polohu natočenia [33]

Napájacie napätie pre mikrokrokovanie je odporúčané dvoj až päťnásobné ako nominálne napätie. Je teda volená dvojnásobná hodnota napájania motora odpovedajúca 7 V. Pri danom napájacom napätí je krútiaci moment motora stanovený podľa konfigurátoru od firmy Faulhaber. Maximálny krútiaci moment pri otáčaní 420 min^{-1} je približne 4 Nmm. Oranžové body ležiace v modrej časti obrázku 44 sú pracovné body motora. [37]



Obrázok 44- momentová charakteristika motora pre zvolené podmienky [34]

Krútiaci moment motora pri mikrokrokování, vzhľadom na uvažovaný posuv 0,0104 mm, ktorý môže byť pomenovaný ako inkrementálny moment, sa znižuje v závislosti na počte vykonaných mikrokrokov . Pri uvažovaní polohovania po 0,0104 mm motor poskytne moment o veľkosti vyjadrený rovnicou 31. [35]

$$M_{ink} = M_m \cdot \sin\left(\frac{90^\circ \cdot n_{mk}}{n_{mkk}}\right) = 4 \cdot \sin\left(\frac{90^\circ \cdot 64}{256}\right) = 1,53Nmm \quad (31)$$

Tento inkrementálny moment je dostatočne veľký, aby prekonal odhadované odpory a dynamickú silu od zaťaženia a vykonal najmenší uvažovaný posuv.

Ohriatie motora

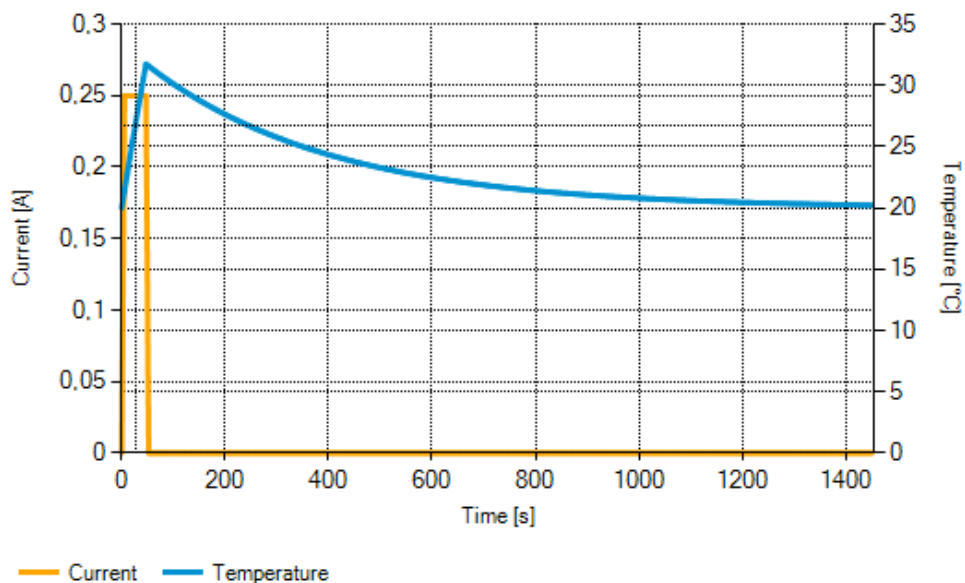
Pre určenie ohriatia motora bol použitý spomenutý konfigurátor. Okrajovými podmienkami boli doba polohovania a kľudu jedného motoru pri cykle použitia PJ. Vid'. obrázok 40- vzorový cyklus použitia. Doba polohovania je určená počtom zdvihov a dĺžke zdvihu spomenutých v kapitole 3.2.6. pri konštantnej rýchlosti polohovania posuvom 7 mm/s.

$$t_{pol} = n \cdot \frac{l_s}{v} = 6 \cdot \frac{60}{7} = 52 s \quad (32)$$

Doba kľudu je vypočítaná a zaokrúhlená na desiatky sekúnd.

$$t_{klud} = C_m - t_{pol} = 1500 - 52 = 1450s \quad (33)$$

Hodnoty veľkosti oteplenia pri napájaní 7 V a toku prúdu 0,25A v priestore obklopeného vzduchom o teplote 20°C sú vyznačené modrou krivkou na obrázku. Najvyššia teplota je približne 33°C z čoho vyplýva že predpokladané ohriatie je 13°C.[36]



Obrázok 45- oteplenie motora pri danom cykle zaťaženia [34]

3.4 Energetická bilancia výkonu motoru a batérie

Energetickou bilanciou rozumieme správny výber batérie vzhľadom na požiadavky motoru a požiadavky zadané vo vstupných podmienkach. Vstupnou podmienkou definovanou vo vymedzení zadania kapitola 3.1, je minimálna výdrž batérie podľa stanoveného cyklu používania počas jedno zmennej prevádzky. Cyklus používania pri meraní kusových položiek s malým rozmerom a rovnakou metodikou merania je možné časovo určiť spôsobom uvedenom v blokovej schéme na obrázku 40. To je vzorový a najnepriazivejší stav pre polohovaciu jednotku.

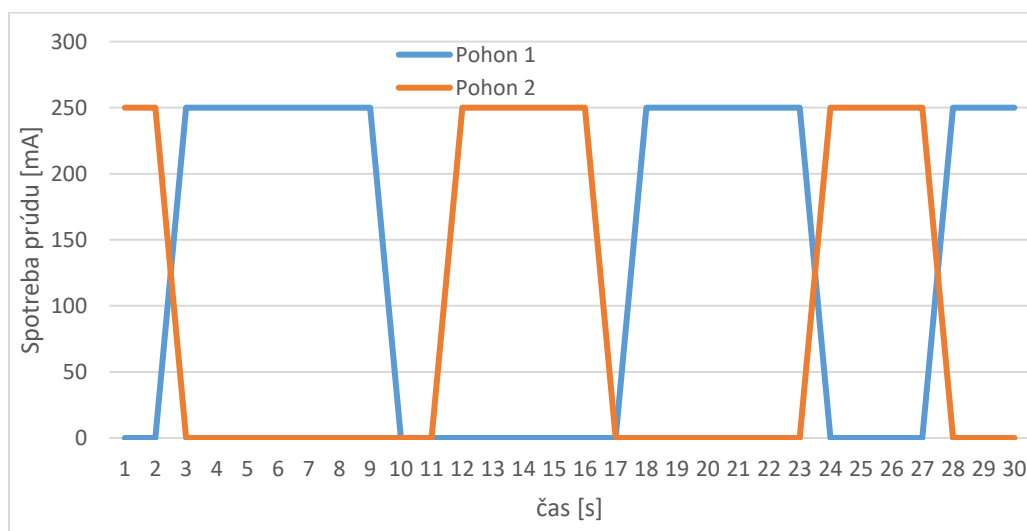
3.4.1 Špecifikácia spotreby

Pri používaní polohovacej jednotky je potrebné brať v úvahu všetky elektrické prvky. Sú to riadiaci systém, ktorý predstavuje riadiacu jednotku a senzory ako jeden celok. Ďalej je to kabeláž a pohon. Príkonný odber prúdu jednotlivých prvkov je stanovený

- riadiaci systém - 60 mA [38]
- kabeláž - zanedbaná
- pohon pohyb - 250mA.

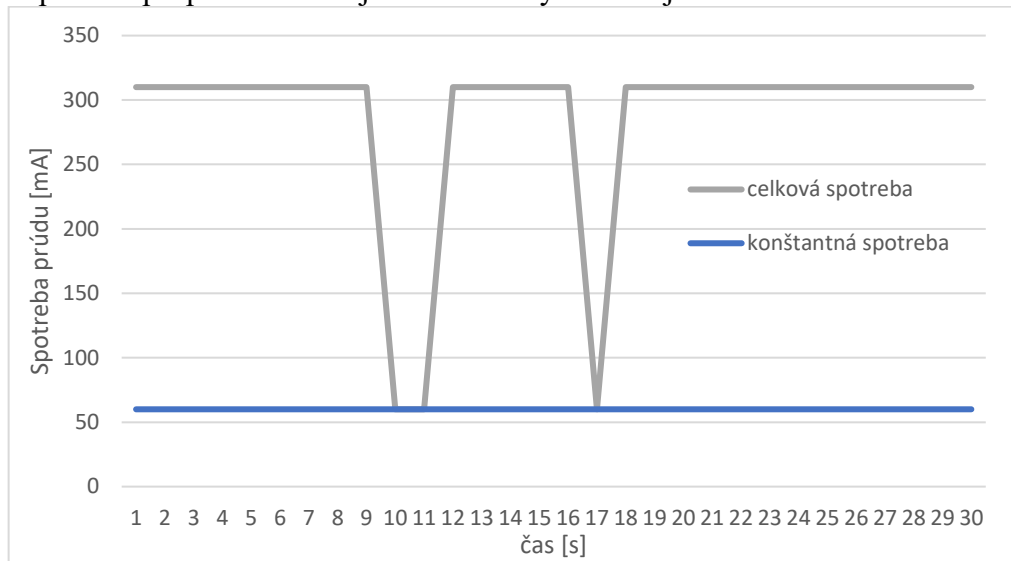
Pre hodnotu príkonu riadiaceho systému je uvažovaná hodnota príkonu riadiacej jednotky z práce Návrh a realizace elektroniky pro polohovací platformu od Adama Ondryáša.

Vzorový cyklus odberu prúdu v skrátenej dobe polohovania na 30 s vždy iba s jedným zapnutým pohonom je definovaný na obrázku 46.



Obrázok 46- cyklus odberu prúdu od pohonov

Celková spotreba pri polohovaní aj s riadiacim systémom je na obrázku 47.



Obrázok 47- celková spotreba pohonov a riadiacej jednotky počas funkcie

Priemerná spotreba prúdu pri polohovaní $I_{sp} = 285 \text{ mA}$

Spotreba prúdu riadiacej jednotky $I_{sk} = 60 \text{ mA}$

V priemerná spotreba prúdu počas vzorového cyklu polohovania je určená 285mA. Ak uvažujeme devätnásť cyklov s časom polohovania dvoch pohonov, 104 s na cyklus. Čas polohovania za zmenu je 0,55 hodín.

$$t_{2pols} = 2 \cdot t_{pol} \cdot n_C = 2 \cdot 52 \cdot 19 = 1976 \text{ s} = 0,55 \text{ hod} \quad (34)$$

$$Q_{pol} = t_{2pols} \cdot I_{sp} = 0,55 \cdot 285 = 157 \text{ mAh} \quad (35)$$

To odpovedá elektrickému náboju 157 mAh rovnica 35.

V stave merania a aj polohovania je riadiacim systémom v stave konštantnej spotreby. je polohovacia jednotka 7,45 hodín to odpovedá elektrickému náboju 447mAh.

$$Q_{klud} = (t_{zm} - t_{2pols}) \cdot I_{sk} = (8 - 0,55) \cdot 60 = 447 \text{ mAh} \quad (36)$$

Celková priemerná spotreba prúdu počas predpokladanej funkcie je aritmetickým priemerom hodnôt priemernej spotreby pri polohovaní a konštantnej spotreby prúdu riadiacej jednotky.

$$I_{spr} = \frac{I_{sp} \cdot t_{2pols} + I_{sk} \cdot (t_{zm} - t_{2pols})}{t_{zm}} = \frac{285 \cdot 0,55 + 60 \cdot 7,45}{8} = 75,5 \text{ mA} \quad (37)$$

Ak uvažujeme že kapacita akumulátoru sa mení v čase a po dvoch rokoch používania zníži svoju kapacitu na 80%, potom minimálna hodnota kapacity batérie by mala byť 775 mAh.

$$C_{bmin} = \frac{(Q_{pol} + Q_{klud})}{0,8} = \frac{(157 + 447)}{0,8} = 755 \text{ mAh} \quad (38)$$

3.4.2 Voľba akumulátoru

Pri návrhu správneho akumulátoru je možné uvažovať hotový akumulátor alebo ho navrhnuť pomocou skladania jednotlivých článkov o určitom napätí a kapacite. Skladané akumulátory by mali obsahovať obvody chrániace jednotlivé články pred nerovnomerným nabíjaním či vybíjaním. Pre zjednodušenie budú uvažované hotové akumulátory priamo od výrobcov. Ich výhodou sú presne definované vlastnosti z testovania a certifikácie, ktoré už výrobca zabezpečil.

Hotové akumulátory môžu byť o veľkosti potrebného napätia alebo napätia vyššieho ako je menovité. Pre kompaktné riešenie bude uvažovaný typ akumulátoru s rovnakou veľkosťou nominálneho napätia ako je požadované napájacie napätie pre krokový motor.

Pri rozvahe počiatkovej voľby typu akumulátora sú zohľadnené dva parametre. Prvým je energetická hustota a druhým je životnosť batérie, čím je myslené klesnutie kapacity batérie na 80% pôvodnej kapacity v závislosti na počtu cyklov nabitia. Hodnoty pre tri vybrané druhy akumulátorov sa nachádzajú v tabuľke 19. [28]

Tabuľka 19- všeobecné vlastnosti akumulátorov

Typ akumulátoru	Hustota energie zariadenia [Wh.kg ⁻¹]	Životnosť batérie [cykly nabitia]
NiMH	60-120	300-500
Li-ion	110-160	500-1000
Li-pol	100-130	300-500

Z tabuľkových hodnôt je zrejmé, že akumulátory typu Li-ion je najlepšou voľbou pre PJ. Pri samotnej voľbe bolo uvažované použitie zariadenia s čo najväčšou kapacitou s prihliadnutím na konštrukciu polohovacej jednotky. Bola volená až po vytvorení koncepčného návrhu.

Zvolený akumulátor

Zvolený akumulátor je od výrobcu Ansmann typu 2447-3043. Jeho vlastnosti sú [39]

Nominálne napätie	$U_{nomb} = 7,4 V$
Kapacita batérie	$C_b = 5200 mAh$
Kapacita batérie 80%	$C_{b80} = 4160 mAh$
Váha	$m_b = 195 g$
Rozmery Šírka x Výška x Dĺžka	$70 mm \times 19mm \times 73,5 mm$
Vnútorň odpor	$R_{int} = 120 m\Omega$

Rovnicou 39 a 40 je určený počet zmien výdrže batérie.

$$p_{zm} = \frac{C_b}{Q_{pol} + Q_{klud}} = \frac{5200}{(157 + 447)} = 8,6 \quad (39)$$

$$p_{zm80} = \frac{C_{b80}}{Q_{pol} + Q_{klud}} = \frac{4160}{(157 + 447)} = 6,9 \quad (40)$$

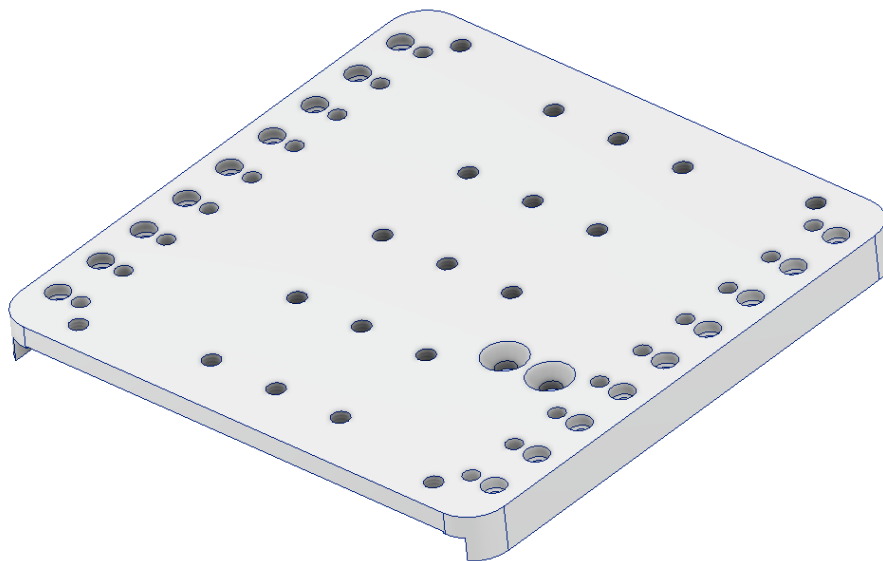
Je možné vysloviť predpoklad že PJ na začiatku životného cyklu bude na jedno nabitie plniť funkciu 8 pracovných zmien. Po klesnutí vlastnej kapacity na 80% to bude takmer 7 zmien. V časti práce simulácie testovanie a meranie bude vyhotovený priebeh vybíjania počas zaťaženia a taktiež skúmaný vplyv vybíjania na teplotu batérie a tela polohovacej jednotky, ktorá slúži ako chladič.

3.5 Návrh polohovacej jednotky

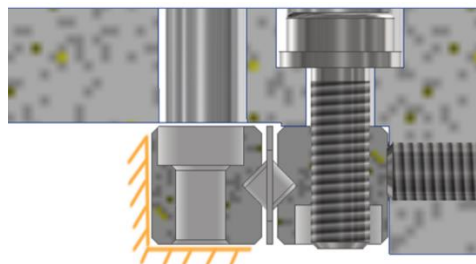
Po výbere jednotlivých prvkov konštrukcie je potreba tieto časti poskladať do funkčného celku. V návrhu je braný ohľad na odporúčania výrobcov komponent. Počas navštevovania predmetu venujúcej sa analýze rizík bola vytvorená semestrálna práca pre analýzu rizík polohovacej jednotky. Je teda braný ohľad na výsledky analýzy rizík príloha 2.

3.5.1 Pracovná doska

Ako prvá bola navrhnutá pracovná doska. Na nej sú skrutkovými spojmi pripevnené časti lineárneho vedenia. Táto súčiastka má pomerne vysoké nároky na výrobu. Jej podoba je na obrázku 48. Odhadovaná hmotnosť je 350 g. Výkres súčiastky je označený V_PJ_DORH_002.



Obrázok 48- pracovná doska PJ

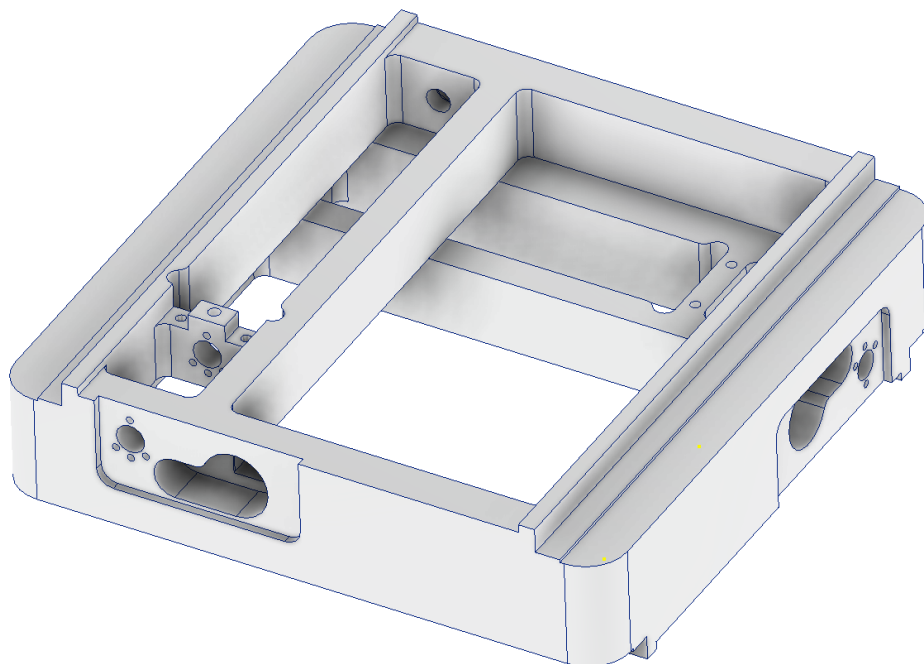


Obrázok 49- spôsob uchytenia a vymedzenia vôle vo vedení

Na obrázku 49 je zobrazené uchytenie lineárneho vedenia a spôsob vymedzenia vôle vo vedení s nastavovacími skrutkami. [40]

3.5.2 Telo polohovacej jednotky

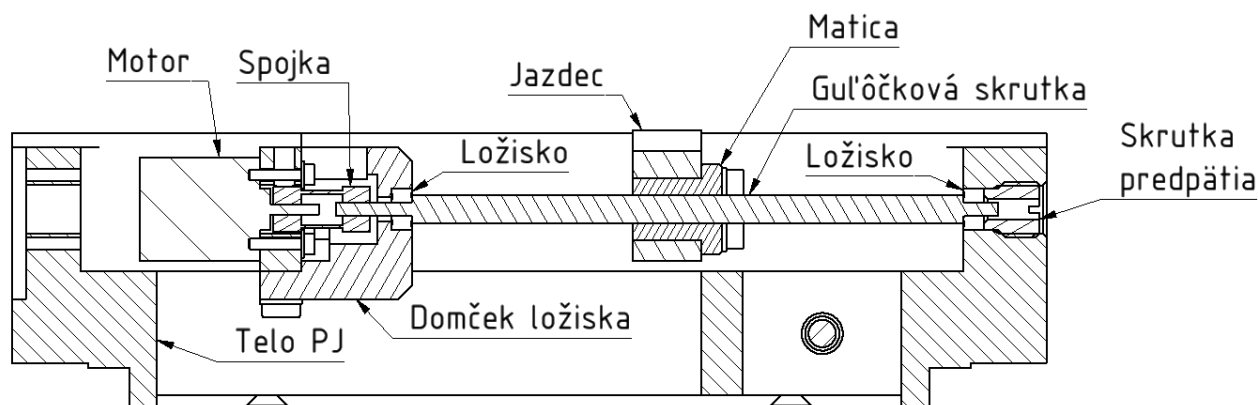
Telo polohovacej jednotky tvorené z jedného kusu hliníkovej zliatiny, pre ktoré je uvažovaný spôsob výroby frézovaním. Bolo postupne upravované do navrhovanej podoby ako je na obrázku 50. Odhadovaná hmotnosť je 790 g.



Obrázok 50- telo polohovacej jednotky

3.5.3 Pohon polohovacej jednotky

Mechanická časť pohonu s motorom je navrhnutá tak, aby uloženie skrutky bolo predpäté a skrutka tak nehybná v axiálnom smere. To zabezpečuje predpätie pomocou skrutky predpätia. Tá tlačí na ložisko uložené v tele PJ. Sila sa prenáša skrz celú skrutku do ložiska uloženého v súčiastke pomenovanej ako domček ložiska. Skrz domček ložiska sa sila späť prenáša do tela PJ, čím nastáva rovnováha a spomínané predpätie. To je možné pozorovať na obrázku 51. K poisteniu skrutky predpätia môže byť použitý poist'ovač skrutiek, či poist'ovacia skrutka.

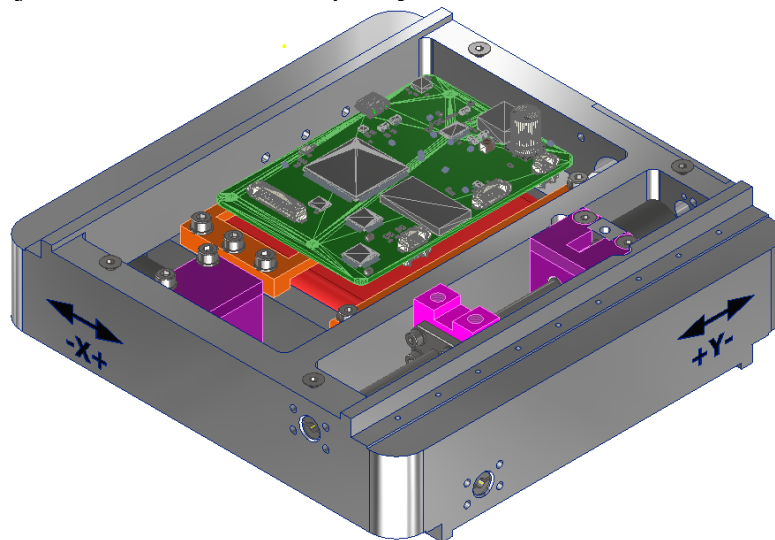


Obrázok 51- pohľad rezom skrz mechanickú časť pohonu PJ

3.5.4 Vnútorne časti PJ

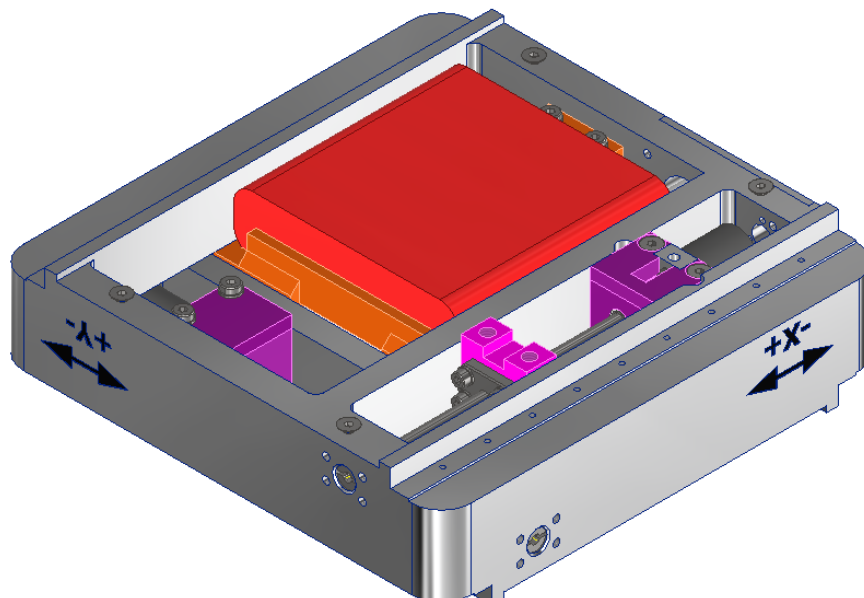
Ako bolo spomenuté v rozbere konštrukcie, interné časti ako riadiaca jednotka, akumulátor alebo senzory a držiaky sú uvažované práve v tejto časti. Riadiaca jednotka je použitá z diplomovej práce z mechatronického ústavu, ktorá je určená pre PJ s krokovými motormi.[38]

Riadiaca jednotka je uložená nad batériou, prichytená držiakmi k telu PJ. Obrázok 52.



Obrázok 52- uloženie riadiacej jednotky

Batéria, obrázok 53, je upevnená pomocou držiakov, ktoré batériu mierne zvierajú. Držiaky sú pripevnené k telu PJ. Batéria má kontakt s krytom ktorý zaisťuje jej polohu a pomáha odvádzať teplo.



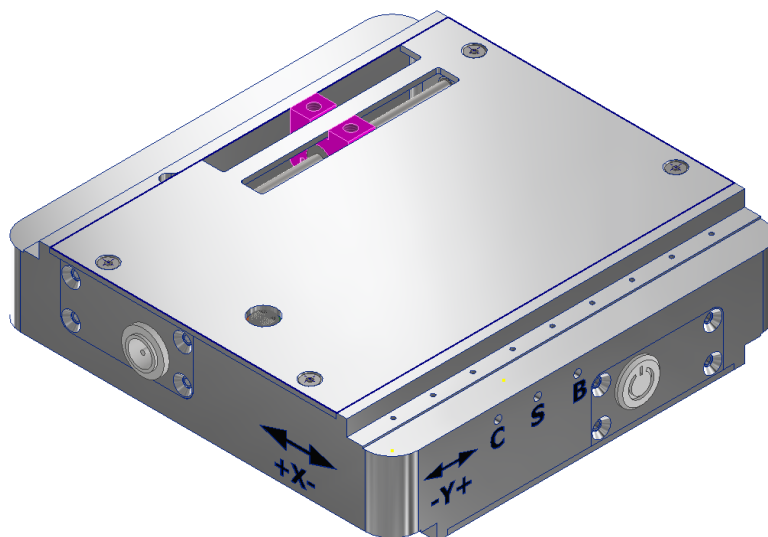
Obrázok 53- uloženie batérie

Umiestnenie senzorov v PJ nie je uvažované. Krokové motory môžu používať mechanické obmedzenia konštrukcie. Pri narazení na ne uvažované drivery motorov Trinamic môžu používať funkciu StallGuard™. Tá umožňuje bez senzorové meranie zaťaženia a pri spomenutom kontakte s konštrukciou deteguje koncovú polohu.[41]

3.5.5 Krytovanie, značenie a signalizácia

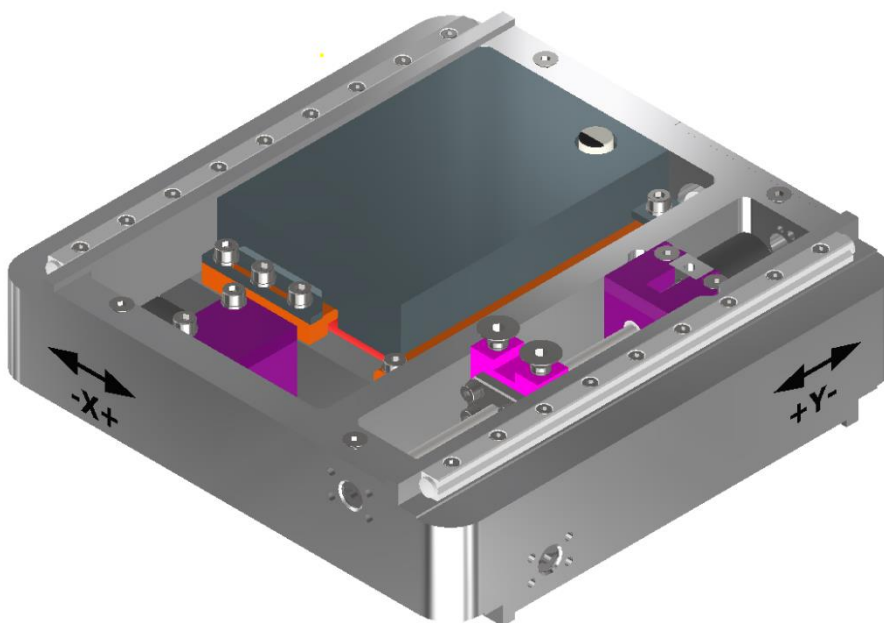
V tejto časti je znázornené prevedenie krytovania, značenia a signalizácie. Krytovanie pre PJ určenú do rentgenového systému kde býva udržiavané čisté prostredie nie je nijak náročné na požiadavky. Jedinou požiadavkou je, aby obsluha nemala dosah prstom na pohybujúce sa časti alebo elektrické obvody riadiacej jednotky. Krytovanie je uvažované pomocou hliníkových plechov pripevnených skrutkovými spojmami, obrázok 54.

Značenie je navrhnuté na tele PJ, uvažované je vytvorenie pomocou laserovania či gravírovania. Signalizácia je uvažovaná pomocou LED diód s rôznou farbou, ktoré sú umiestnené v dierach tela PJ.



Obrázok 54- zobrazenie krytovania a značenia

V rámci krytovania je uvažovaný vplyv radiácie od zdroju stroja, pre ktorý je PJ určená. Tejto časti sa venuje príloha- vplyv radiačného žiarenia na polohovaciu jednotku. Výsledkom je hrúbka ochranného krytovania kritických elektrických súčiastok. Odhadovaná hrúbka ochranného krytu pri použití olova je 1,5mm. Do návrhu konštrukcie bude uvažovaný kryt elektroniky o hrúbke 2 mm, obrázok 55.



Obrázok 55- zobrazenie ochranného krytu elektroniky

3.5.6 Zostava

Navrhovaná polohovacia jednotka v kompletnom stave je na obrázku 56. Jej hmotnosť z modelu, v ktorom boli priradené materiály je odhadovaná na 2,5 kg čo splňuje požiadavky zadania. Rozmery PJ bez uvažovaného konektoru nabíjania a zapínacieho tlačidla sú 150mm dĺžka, 150 mm šírka a 52 mm výška.

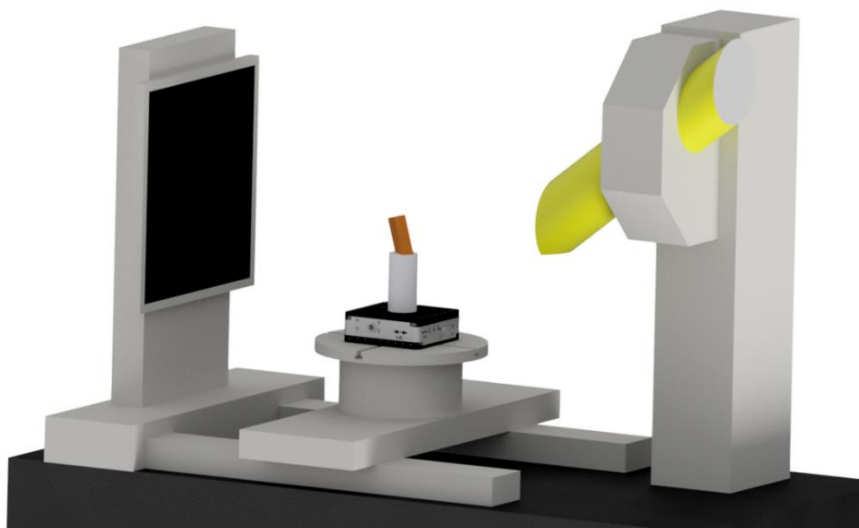


Obrázok 56- vizualizácia navrhutej polohovacej jednotky

Pre ujasnenie predstavy umiestnenia v stroji je názorný náhľad na rentgenový systém V TOME X L240 bez použitia PJ so sledovaným vzorkom na obrázku 57. Na ďalšom Obrázok 58 je umiestnenie PJ v zjednodušenej vizualizácii.



Obrázok 57- rentgenový systém bez PJ



Obrázok 58- vizualizácia PJ v stroji rentgenového systému

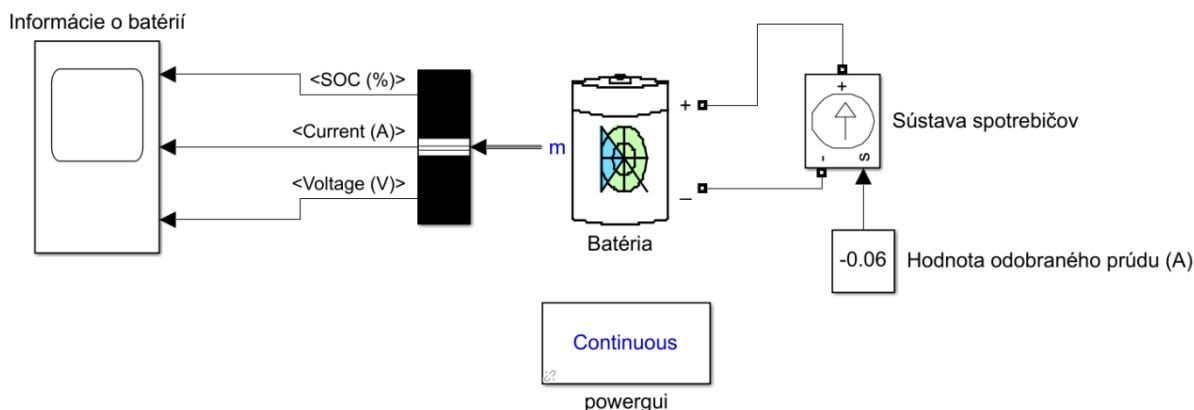
3.6 Simulácia, testovanie, meranie

Aby práca nebola len na teoretickej báze, boli do cieľov zahrnuté časti ako simulácia, testovanie a meranie. Úlohou simulácií je teoreticky overiť správanie daného návrhu v rámci simulačných programov ako je Matlab či Ansys. Testovanie a meranie je druhou časťou tejto kapitoly. Keďže výroba prototypu navrhnutej jednotky je veľmi nákladná, bola vyhotovená testovacia platforma, ktorá má nahradiť celú polohovaciu jednotku.

3.6.1 Simulácia vybíjania batérie

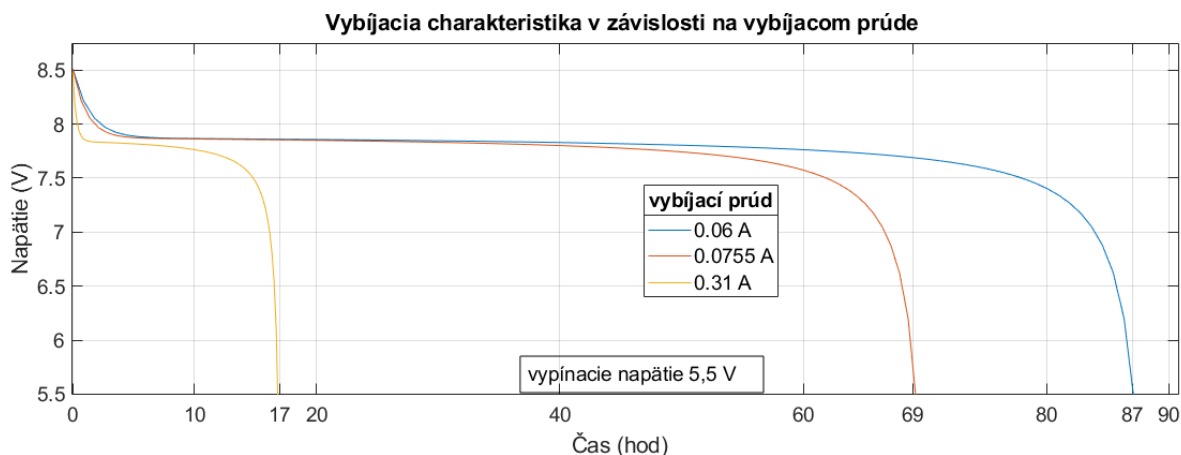
Ako prvá simulácia bola vyhotovená simulácia vybíjania batérie v závislosti veľkosti odoberaného prúdu, obrázok 59. K zhotoveniu bol využitý matlab simulink kde bola definovaná batéria, ktorej boli priradené jej vlastnosti. Batéria je uvažovaná vo východnom stave od výrobcu bez jej degradácie. V simulácii bola vytvorená sústava spotrebičov zjednodušená na zdroj prúdu. Hodnota tohto prúdu bola sledovaná nasledovne

Spotreba prúdu riadiacej jednotky	$I_{sk} = 60 \text{ mA}$
Celková priemerná spotreba prúdu zariadenia	$I_{sp} = 75,5 \text{ mA}$
Maximálna spotreba	$I_{p+sk} = 310 \text{ mA}$



Obrázok 59- model pre simuláciu vybíjania batérie

Už v bloku batérie bolo možné jednoducho a prehľadne vykresliť priebeh vybíjacej charakteristiky pri rôznych úrovniach zaťaženia. Tento priebeh je zobrazený na obrázku 60. Z toho vyplýva že pri priemernom používaní zariadenia je batéria schopná zabezpečiť funkčnosť približne 69 hodín. To odpovedá vypočítanej hodnote 8,6 pracovnej zmeny určenej výpočtom v časti 3.4.2 Voľba akumulátoru. V režime aktívneho riadiaceho systému PJ by bola schopná vydržať približne 87 hodín.



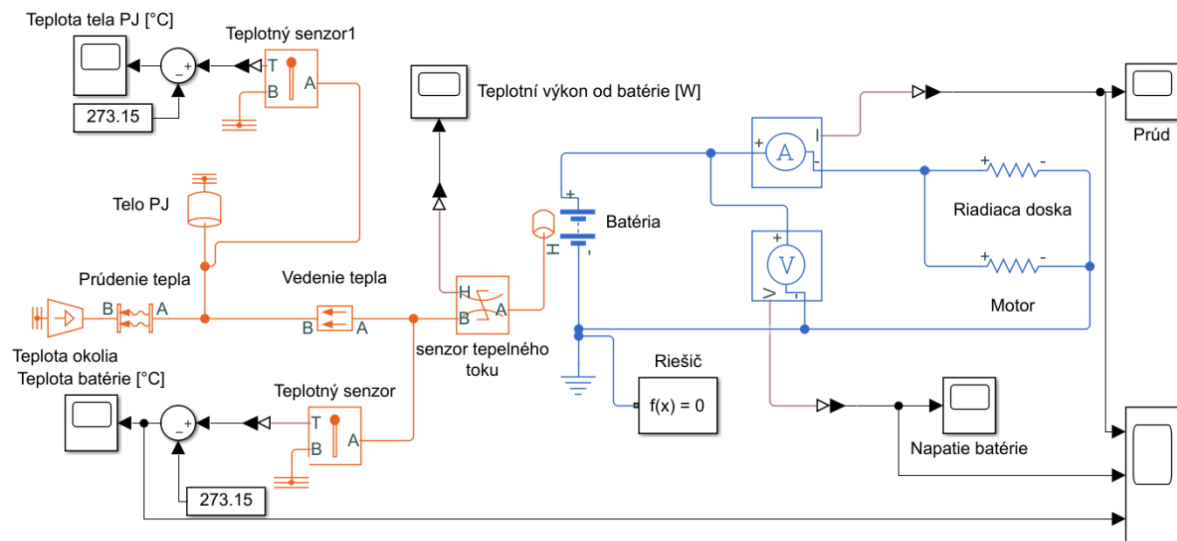
Obrázok 60 vybíjacia charakteristika batérie v závislosti na vybíjacom prúde

3.6.2 Simulácia teplotných vplyvov

Skúmanie teplotných vplyvov na konštrukciu od batérie a motorov pohonu je zvolené pre zhotovenie do diplomovej práce, nakoľko tieto deje by mohli mať rozhodujúci vplyv na funkčnosť zariadenia. Táto simulácia je zjednodušená, zásadné informácie však dokáže poskytnúť. Z dôvodu nízkych rýchlostí pohybov a krátkemu času pracovného cyklu je zanedbané oteplenie ložísk a oteplenie guľôčkovej skrutky od pohybu matice.

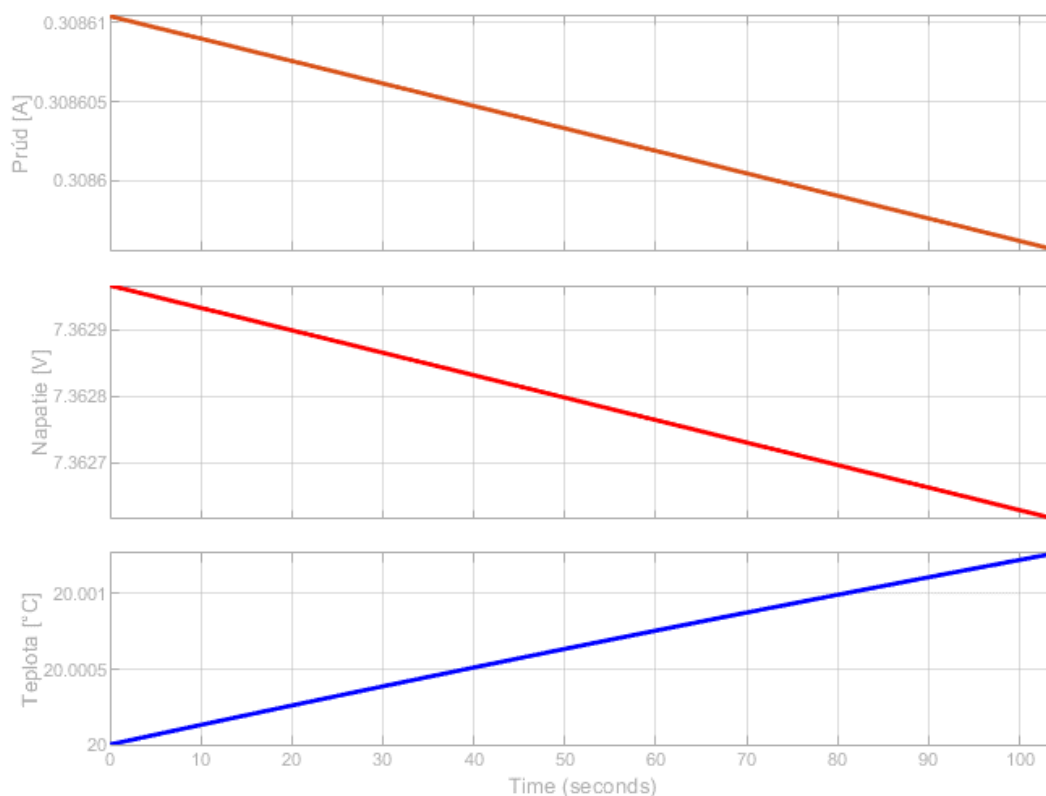
Vplyv batérie

Pri premene chemickej energie na elektrickú prichádza k otepľovaniu batérie. Pre túto časť bude dôležité oteplenie počas cyklu používania. Pri nízkych odberoch prúdu by sa batéria nemala nijakým veľkým spôsobom zohrievať, je ale dôležité stanoviť toto oteplenie. Pre zhotovenie simulácie je volený simulačný program Matlab Simulink obsahujúci hotové bloky predstavujúce časti sústavy pre daný typ simulácie. Je potrebné však týmto blokom určiť väzby a definovať ich parametre. Zostavený systém zobrazený na obrázku 61 je zložený z batérie, tela PJ, okolia PJ, riadiacej jednotky a motoru. Riadiaca jednotka zahŕňa všetky časti riadiaceho systému, teda aj senzory a drivery pre krokové motory je uvažovaná ako odpor, ktorým tečie definovaný prúd z kapitoly 3.4.1. Motor je uvažovaný tým istým spôsobom. Telo polohovacej jednotky a aj batéria sú časti s určenou tepelnou kapacitou v spojení cez kontaktnú plochu so súčiniteľom vedenia tepla odpovedajúcemu hliníku. Telo PJ je potom v kontakte s okolitým vzduchom o teplote 20 °C Na obrázku je možné pozorovať aj ampérmeter, voltmeter a teplotné senzory pre vyhodnotenie teploty batérie a PJ.



Obrázok 61- simulácia ohriatia batérie a tela PJ

Tepelná kapacita tela polohovacej jednotky bola určená z hmotnosti navrhovaného modelu a mernej tepelnej kapacity hliníku. Tepelná kapacita batérie bola určená na základe jej hmotnosti a rešerše mernej tepelnej kapacity Li-ion článkov predstavujúcej $1000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Po simulovaní po dobu 104 sekúnd, čomu odpovedá polohovanie počas jedného cyklu použitia, kedy je polohovanie zabezpečené vždy iba jedným pohonom boli zhotovené výsledky simulácie. Zobrazené v grafe na obrázku 62, kde môžeme pozorovať priebeh prúdu tečúci z batérie, napätie batérie a hlavne oteplenie batérie a tela polohovacej jednotky. [42]



Obrázok 62- graf priebehu teploty, napätia a výstupného prúdu batérie

Z grafu je zjavné že oteplenie je na takej úrovni, ktorú je možno zanedbať. Tento priebeh nebol úplne očakávaný. Priniesol však potvrdenie že oteplenie batérie pri nízkych prúdoch je nízke.

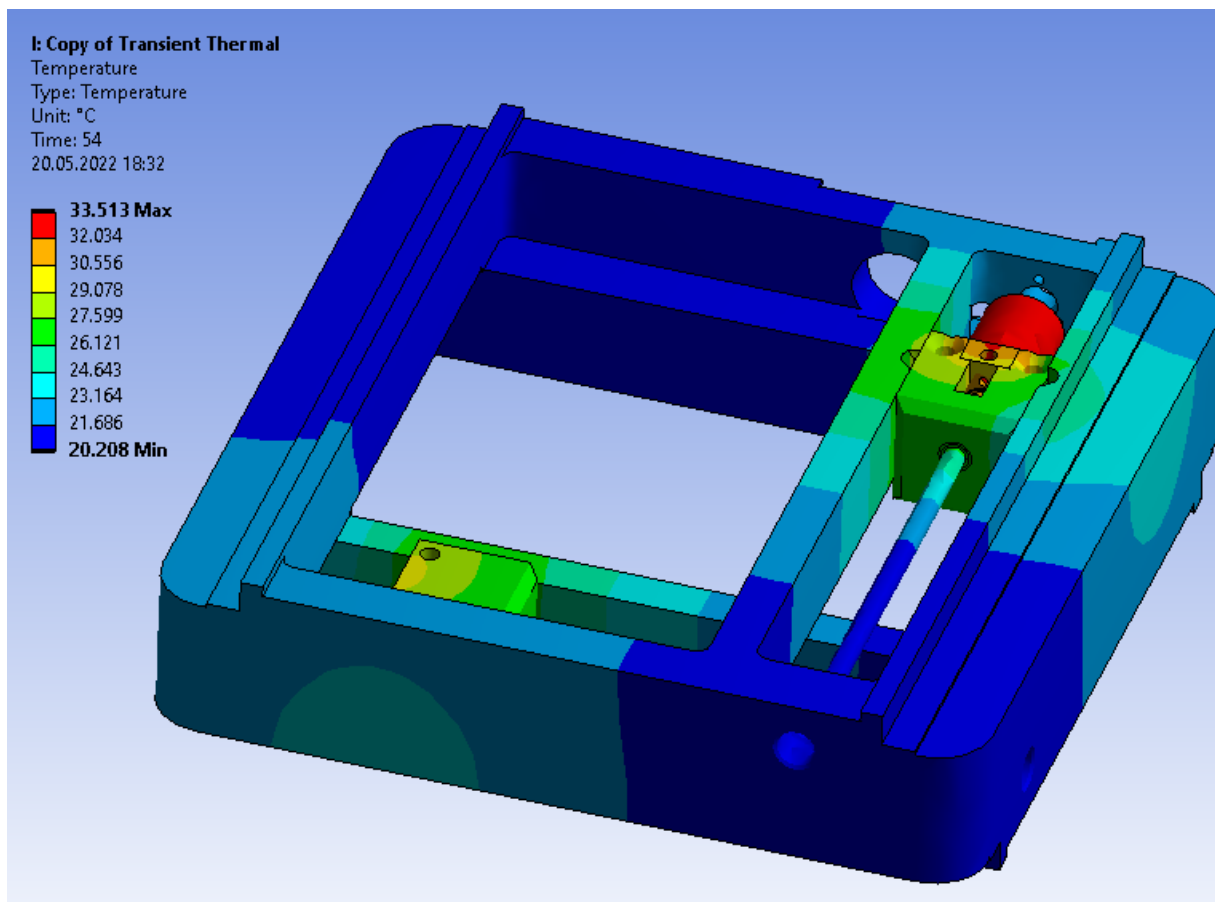
Vplyv motorov

V kapitole 3.3.9 korkový motor bolo určené oteplenie motora. Podľa popisu katalógu je vyslovená podmienka že motor je obklopený vzduchom o teplote 20°C. Táto podmienka nie je síce dosiahnutá v tele polohovacej jednotky ale bude uvažované ako východzia. Toto oteplenie je použité do simulácie Transient Thermal v Ansyse. V tomto prípade sa predpokladá že chladenie konvekciou v kontakte so vzduchom je porovnateľné s kondukciou v kontakte s hliníkovým telom polohovacej jednotky.

Po definovaní oteplenia motora pomocou priebehu oteplenia z obrázku 45, po zadefinovaní zvislých kontaktných plôch tela PJ so vzduchom, s konvekciou odpovedajúcej stojatému vzduchu (hodnota poskytnutá z knižnice programu). Bola vytvorená simulácia so zobrazením vplyvu ohriatia motora na konštrukciu. Konštrukcií boli priradené jednotlivé materiály a väzby a zo simulácie boli určené vzájomné posunutia v smere osy guľôčkovej skrutky. To má overiť stálosť predpätia skrutky v konštrukcií.

Teplota v sústave

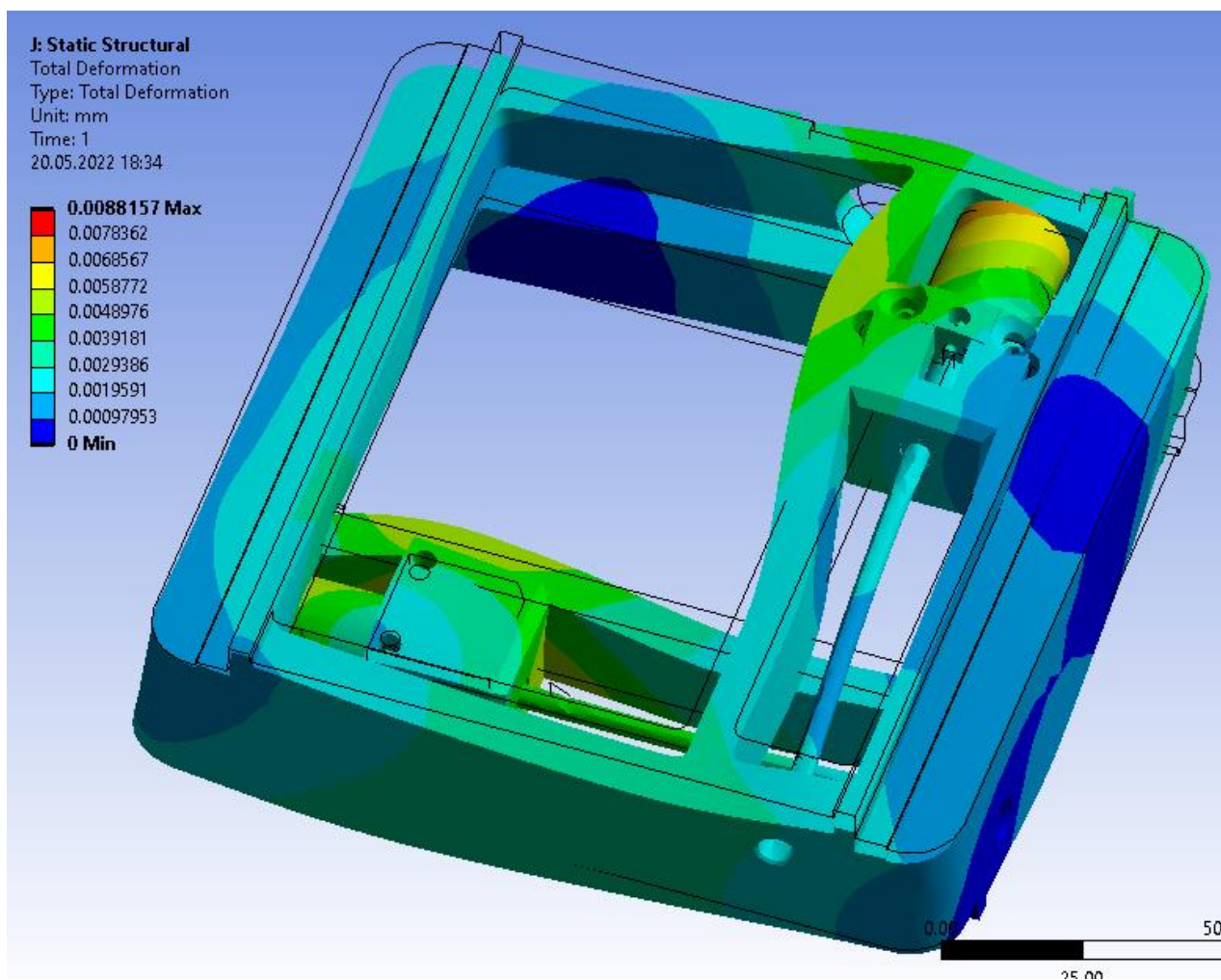
Priebeh teploty pri oteplení tela PJ od motoru na konci cyklu polohovania je zobrazený na obrázku 63.



Obrázok 63- Teplota tela polohovacej jednotky v dobe skončenia polohovania

Celková deformácia sústavy

Veľkosť deformácie od tepelného vplyvu motora je zobrazená na obrázku 64.



Obrázok 64- deformácia sústavy v dobe skončenia polohovania

Posunutie guľôčkovej skrutky s telom PJ

Hodnoty posunutia v guľôčkovej skrutky a tela PJ v smere osy skrutky sú zobrazené na obrázku. Z toho je zjavné, že neprichádza k výrazným posunutiam. Dôležité sú však rozdiely posunutia skrutky, s ktorou je spojené ložisko a posunutie tela PJ. Tieto hodnoty sa líšia v rádovo o desatiny mikrometru. Posunutie skrutky je vždy väčšie, čo znamená, že skrutka je stláčaná. V tom prípade nepríde k strate predpätia. Overenie nárastu axiálnej sily je spočítané v nasledujúcich riadkoch práce.

Výberom rozdielov posunutia v pozíciách blízko seba je určené posunutie. Keďže ložisko je pevne uchytené v konštrukcii tela PJ, táto hodnota je uvažovaná ako stlačenie skrutky.

$$\Delta l = -3,75 \cdot 10^{-4} - 2,3 \cdot 10^{-4} = 1,45 \cdot 10^{-4} \text{ mm} \quad (41)$$

Pomerné predĺženie vzhľadom na dĺžku skrutky medzi uloženiami $l_b=80$ mm je.

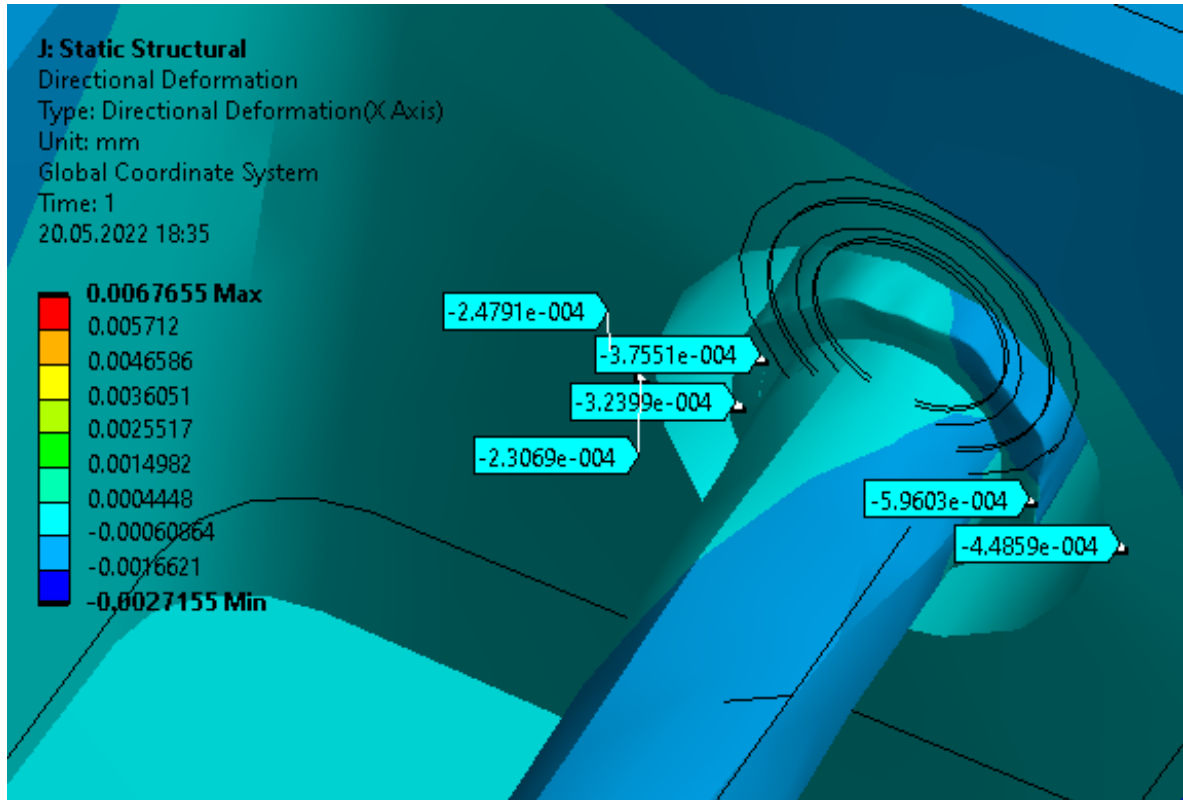
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_b} = \frac{1,45 \cdot 10^{-4}}{80} = 1,81 \cdot 10^{-6} \quad (42)$$

Sila vzniknutá od posunutia je súčinom modulu pružnosti materiálu (ocele) E, pomerného predĺženia ε a funkčného prierezu skrutky S. Funkčný prierez je vyjadrený rovnicou 43.

$$S = \pi \cdot \frac{d_m^2}{4} = \pi \cdot \frac{3,4^2}{4} = 9,1 \text{ mm}^2 \quad (43)$$

$$F = E \cdot \varepsilon \cdot S = 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,81 \cdot 10^{-6} \cdot 9,1 = 3,5 \text{ N} \quad (44)$$

Z vypočítanej sily F o veľkosti 3,5N je zrejmé že nepríde k prekročeniu dovoleného axiálneho zaťaženia vybraného ložiska. Dovoľená hodnota axiálneho zaťaženia ložiska je 75 N pri uvažovaní predpätia 12 N. Uloženie teda vyhovuje aj po vplyve teploty od motora.

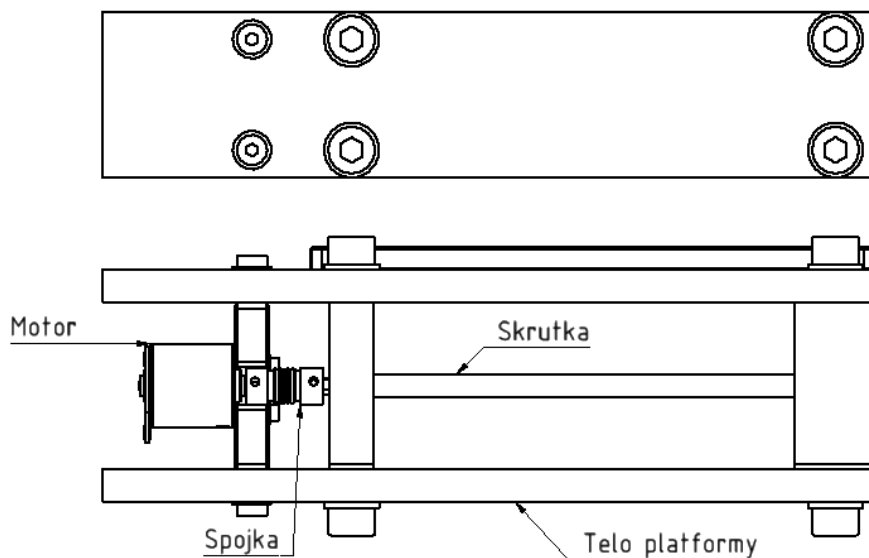


Obrázok 65- posunutie skrutky a tela PJ

3.6.3 Testovanie a meranie

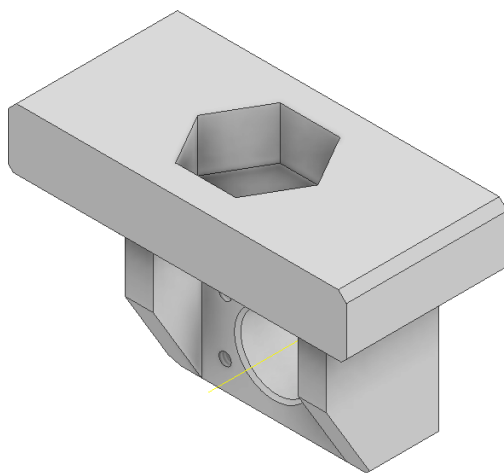
Testovacia platforma

Ide o konvenčne vyrobenú konštrukciu z oceľových dielov a z dielov plastových vyrobených na FDM tlačiarňami. Oceľové diely boli volené s prihliadnutím na možnosť výroby lepších geometrických a rozmerových presností dosiahnutých brúsením. Testovacia platforma má simulovať časti pohonu z PJ, slúži teda pre overenie funkčnosti časti návrhu.



Obrázok 66- testovacia platforma

Na obrázku 67 je navrhnutý jazdec, ktorý je pripevnený k matici guľôčkovej skrutky. Ten simuluje zároveň pracovnú dosku a bude skúmaný jeho pohyb.



Obrázok 67- navrhnutý jazdec vyrobený FDM tlačou

Meranie teploty motora

Meranie teploty prebehlo pomocou bezkontaktného teplomeru Voltcraft IR800-200d, kedy bol meraný povrch motora. Bolo overené oteplenie stanovené v kapitole 3.3.9.

Teplota bola meraná na konci polohovacieho cyklu v čase 52 sekúnd. Pre riadenie bola použitá riadiaca jednotka od Bc. Adama Ondryša so softwarom od Bc. Matúša Remiša, ktorý sa zaoberal programovaním riadenia krokových motorov pomocou spomenutej riadiacej jednotky. Na obrázku 68 je vidieť testovaciu platformu a použitý bezkontaktný teplomer.[38], [43]



Obrázok 68- testovacia platforma a teplomer

Meranie bolo opakované tri razy s veľkou časovou prestávkou, aby sa motor ochladil do okolnej teploty. Počiatočná teplota na motore dosahovala 23°C. Počas polohovania bola meraná teplota a následne bola zaznamenaná do tabuľky. Hodnoty boli zaokrúhľované na celé číslo a sú uvedené v tabuľke 20.

Tabuľka 20- meranie teploty povrchu motora

Meranie	Teplota t=0 s [°C]	Teplota t=52 s [°C]
1.	22	35
2.	23	35
3.	23	36

Rozdiel teplôt bol 12°C až 13 °C čo odpovedá aj stanovenému otepleniu podľa konfigurátoru firmy Faulhaber, kedy počiatočná teplota vo výpočte bola 20°C a teplota po cykle polohovania bola približne 33°C. Teoreticky určené oteplenie bolo 13°C.

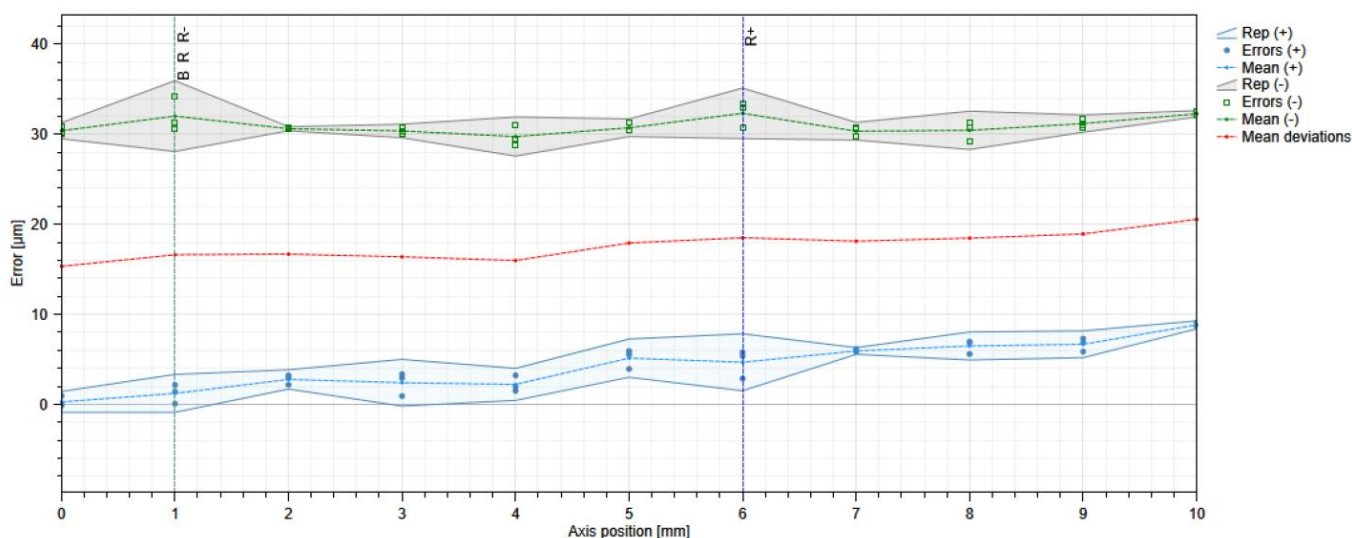
Meranie polohovania

Meraním polohovania bola overená funkcia testovacej platformy. Polohovanie bolo uskutočnené po prírastkoch o veľkosti 1 mm na dráhe 10 mm. Hodnoty boli merané pomocou interferometra, ktorý poskytol Ústav výrobných strojov, systémov a robotov. Za asistencie pána Ing. Mareka Ph.D. bolo vyhotovené meranie obojsmerného polohovania. Fotografia z daného merania je zobrazená na obrázku 69.



Obrázok 69- meranie polohovania testovacej platformy interferometrom.

Priebeh merania je na obrázku nižšie. Pri pohybe v kladnom smere prírastkov boli merané hodnoty zaznamenané na obrázku modrými bodmi. Okrajové body sú spojené modrými úsečkami popisujúcimi rozsah nameraných hodnôt polohy pri jej dosahovaní v kladnom smere. Pri opačnom, zápornom smere polohovania boli zaznamenané hodnoty vyznačené zelenou farbou a taktiež okrajové body sú spojené úsečkami popisujúce rozsah nameraných hodnôt. Červenou krivkou spojené body vyznačujú vypočítanú priemernú trajektóriu hodnôt polohovania.



Obrázok 70- priebeh merania polohovania testovacej platformy

Podľa normy ISO 230-2 2014 boli softvérom CARTO od firmy Renishaw vyhodnotenú výsledky nameraných hodnôt uvedených v tabuľke 21.

Tabuľka 21- hodnoty merania

Názov	(+) μm	(-) μm	(Obojsmerná) μm
Chyba polohovania	10,2	8,4	36,9
Opakovateľnosť polohovania	6,3	7,9	36,9
Systematická chyba polohovania	8,6	2,6	32,1
Necitlivosť v ose			30,8
Priemerná necitlivosť v ose			-26,7
Rozsah priemernej obojsmernej polohovej chyby			5,2

Podmienky merania boli zaznamenané v tabuľke 22.

Tabuľka 22- podmienky merania

Názov	Štart	Koniec	Min.	Max.
Teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]	22,8	22,8	22,8	22,8
Tlak vzduchu [mbar]	984,6	984,6	984,6	984,6
Vlhkosť vzduch [%RH]	41	42	41	42
Teplota materiálu [$^{\circ}\text{C}$]	22,8	22,8		
Koeficient rozťažnosti [ppm/ $^{\circ}\text{C}$]	11,7	11,7		

Očakávané výsledky sa líšili od skutočnosti. Namerané hodnoty boli väčšie. V systéme sa však prejavujú systematické chyby, s ktorými je možné ďalej pracovať a kompenzovať ich.

Výsledky boli jednoznačne ovplyvnené tým že na testovacej platforme nebolo presné lineárne vedenie, to bolo nahradené provizórnym klzným vedením s kontaktom plast-ocel'. Tu mohol vzniknúť problém prichytenia a odtrhnutia. Svoj vplyv mal aj jazdec a súčiastka pre uchytenie motora vyrobené z plastu, tie neboli dostatočne tuhé. Už pri veľmi ľahkom dotyku jazdca sa hodnoty merané interferometrom menili. Necitlivosť v ose bola o veľkosti 30,8 μm . Tieto výsledky by mali viesť analýze problému s následným navrhnutím úprav pre vytvorenie viac vypovedajúceho merania.

4 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo navrhnuť jednotlivé časti polohovacej jednotky. Návrhy spočívali v spracovaní jednotlivých variant a výberom najvhodnejších z nich. Súčasťou bol systematický rozbor konštrukcie. Ten bol vyhotovený po zoznámení so zariadeniami, ktoré ponúka trh. Následne pomocou multikriteriálnych analýz boli navrhované hlavné prvky konštrukcie ako je lineárne vedenie a pohon. K zvoleným častiam boli zhotovené adekvátne konkrétne výpočty. V ďalšej podkapitole bola riešená voľba akumulátoru pre zariadenie. Kedy bolo potrebné sa zoznámiť a jednotlivými druhmi a na základe toho vybrať správny typ. V návrhu je koncepčne navrhnutý prototyp PJ. Ten bol podrobený hlbšiemu skúmaniu pomocou simulácií v rôznych stavoch, v ktorých sa môže nachádzať. Pre spracovanie pomocou simulácie bol zvolený vplyv teploty od častí konštrukcie. Nebola tu však uvažovaná radiaca jednotka, pretože jej návrhom a rozložením výkonových prvkov nebolo úlohou tejto diplomovej práce. Boli uvažované vplyvy oteplenia od batérie, ktorý sa ukázal ako zanedbateľný a vplyv od motora. K tomuto problému bola vytvorená simulácia a následne bol overený vplyv na funkčnosť uloženia guľôčkovej skrutky. Pre verifikáciu bolo zhotovené meranie ohriatia motoru pre uistenie či teoretické výpočty a simulácie v určitej miere odpovedajú realite. Pre spomenuté testovanie bola navrhnutá testovacia platforma, ktorá slúžila k overeniu navrhovaného zoskupenia pohonu. Poslednej časti diplomovej práce bolo zhotovené meranie polohovania pomocou laserového interferometru na študovanom ústave. Navrhnutá polohovacia jednotka je určená pre použitie pri skúmaní kontroly kvality štruktúr či zostáv. Z hľadiska dosiahnutých cieľov každý bol riešený a spracovaný. K celistvosti práce a dotiahnutiu návrhu do fázy tak, aby mohol byť vyrobený prototyp, chýba dosť častí. Niektoré z nich boli riešené no neboli spracované v diplomovej práci.

Odporúčenie pre prax:

Pri navrhovaní malých polohovacích jednotiek je dôležité stanoviť okrajové podmienky pre čo má byť PJ použitá. Je potrebné zohľadňovať vplyvy okolia a väzieb medzi jednotlivými časťami konštrukcie. Dôležitým prvkom, ktorý je jednoznačne pohon by sa malo venovať veľká časť času určenému k vývoju. Je veľmi vhodné používať symetriu v konštrukciách. Hlavne ak ide o presné polohovacie jednotky. Je potrebné brať do úvahy tepelné zaťaženia od zdrojov tepla.

Pre inováciu v tejto časti strojárstva, ktorá je veľmi pokrytá rôznymi dodávateľmi ponúkajúcimi svoje riešenie, odporúčam začať používať neobyčajné riešenia ako je napríklad magnetické lineárne vedenie. Ďalšou výzvou a odporúčením je použiť technológie ako strojové učenie pre návrh tela polohovacej jednotky. Toto telo by mohlo byť následne vyrobené aditívnou technológiou a doobrobené na presných obrábacích strojoch.

5 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] Motion Basics Terminology & Standards, Newport Corporation [online]. [cit. 2022-02-3]. Dostupné z: <https://www.newport.com/n/motion-basics-terminology-and-standards>
- [2] Motorized XY Translation Stage, Optics focus [online]. [cit. 2022-04-13] Dostupné z: <https://www.optics-focus.com/motorized-xy-translation-stage-p-861.html#.Yoqd6OhByUl>
- [3] Stewart Platform, 3D CAD Model Library [online]. [cit 2022-04-13] Dostupné z: <https://grabcad.com/library/stewart-platform-6>
- [4] XYZ Axis for CNC Education, 3D CAD Model Library [online]. [cit 2022-04-18] Dostupné z: <https://grabcad.com/library/xyz-axis-for-cnc-education-1>
- [5] Motorized translation stage, Standa [online]. [cit 2022-04-13] Dostupné z: https://www.standa.lt/products/catalog/motorised_positioners?item=64
- [6] Kinesis 30mm XY Stage, Thorlabs [online]. [cit 2022-04-13] Dostupné z: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_ID=14597
- [7] XY-BSMA_100X100WJ, IntelLidrive [online]. [cit 2022-04-13] Dostupné z: <https://www.intellidrives.com/XY-BSMA-100x100WJ>
- [8] Stejnoseměrný motor, Wikipedie [online]. [cit 2022-04-18] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosem%C4%9Brn%C3%BD_motor
- [9] MUDRÁK, Marek, Piezoelektrické motory [online]. [cit 2022-04-20], Posterus Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=7993>
- [10] PROKOP, Mojmír. *Výrobní stroje. I.* Brno: Vysoké učení technické, 1985, 165 s. : il., schémata.
- [11] KUKUČKA, Martin, Hydrostatické vedení pro malé a střední stroje, MM průmyslové spektrum [online]. [cit 2022-04-20] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/hydrostaticka-vedeni-pro-male-a-stredni-stroje>
- [12] Šamánek, Otakar, Magnetická ložiska, Ústav Konstruování - Počítačová Podpora Konstruování, Vysoké Učení Technické v Brně, [online]. [cit 2022-04-20] Dostupné z: <https://adoc.pub/ustav-konstruovani-poitaova-podpora-konstruovani-vysoke-ueni.html>
- [13] Akumulátor, Wikipedie [online]. [cit 2022-04-22] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Akumul%C3%A1tor>
- [14] Pohon, Wikipedie [online]. [cit 2022-04-22] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pohon>
- [15] How computed tomography works, X-view [online]. [cit 2022-04-23] Dostupné z: <https://www.xviewct.com/computed-tomography-technology/how-ct-works>
- [16] Výpočetní tomografie, Wikipedie [online]. [cit 2022-04-23] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDpo%C4%8Detn%C3%AD_tomografie
- [17] JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí.* Praha: Grada, 2013, 592 s. : il. ; 25 cm. ISBN 978-80-247-4127-7.
- [18] Slide table, Nippon bearing [online]. [cit 2022-04-25] Dostupné z: https://www.nipponbearing.com/english/product/pdf/07slide_way.pdf
- [19] Cross roller guide, THK [online]. [cit 2022-04-25] Dostupné z: https://tech.thk.com/en/products/pdf_download.php?file=E_07_CrossRBGuide.pdf
- [20] Positioning systems, Hiwin [online]. [cit 2022-04-25] Dostupné z: https://www.hiwin.cz/en/products/linear-guideways/miniature-guideway/236_block-mgn
- [21] Stepper motors, Faulhaber [online]. [cit 2022-04-29] Dostupné z: https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN_AM1524_FPS.pdf
- [22] MDK no preload, THK [online]. [cit 2022-04-29] Dostupné z: https://tech.thk.com/en/products/pdfs/en_a15_172.pdf
- [23] The precision couplings, R+W [online]. [cit 2022-04-29] Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/files/upload/64.pdf>
- [24] Miniature thrust angular contact ball bearing for high axial load applicatin, NSKmikro [online]. [cit 2022-04-29] Dostupné z: http://www.nskmicro.co.jp/english/download/catalog_pdf/bearing/croxy_en.pdf

- [25] Miniature helical gear racks spur and helical gear rack M0,3-M10 bronze steel alloy material, Nierson [online]. [cit 2022-04-29] Dostupné z: <https://www.precisionwormgear.com/sale-11540734-miniature-helical-gear-racks-spur-and-helical-gear-rack-m0-3-m10-bronze-steel-alloy-material.html>
- [26] Flat nema stepper, Joy-it [online]. [cit 2022-04-29] Dostupné z: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/002355881DS00/list-technicky-udaju-2355881-joy-it-krokovy-motor-nema-flat02-0016-nm-05-a-05-a-prumer-hridele-4-mm.pdf>
- [27] Product catalogue, Piezomotor [online]. [cit 2022-04-30] Dostupné z: <https://piezomotor.com/wp-content/uploads/2019/02/150200-Rev02-Catalogue-en.pdf>
- [28] What's the best battery, Battery university [online]. [cit 2022-05-05] Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/whats-the-best-battery>
- [29] Method of mounting the ball screw shaft, THK [online]. [cit 2022-0-05] Dostupné z: https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a15_028.pdf#1
- [30] Bearing life, NSKmicro [online]. [cit 2022-05-08] Dostupné z: http://www.nskmicro.co.jp/technical_info/bearing/catalog07.pdf
- [31] Permissible axial load, THK [online]. [cit 2022-05-08] Dostupné z: https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a15_030.pdf#1
- [32] Studying the service life, THK [online]. [cit 2022-05-08] Dostupné z: https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a15_045.pdf#3
- [33] Microstepping, ADI Trinamic [online]. [cit 2022-05-10] Dostupné z: <https://www.trinamic.com/technology/motor-control-technology/microstepping/>
- [34] Torque and Temperature Calculator, Faulhaber, [online]. [cit 2022-26-9] Dostupné z: <https://www.faulhaber.com/en/products/series/am1524/>
- [35] Microstepping, Faulhaber [online]. [cit 2022-05-10] Dostupné z: https://www.faulhaber.com/fileadmin/user_upload_global/support/MC_Support/Motors/AppNotes/Faulhaber_AN015_EN.pdf
- [36] Termal behavior of a stepper motor, Faulhaber [online]. [cit 2022-05-10] Dostupné z: https://www.faulhaber.com/fileadmin/user_upload_global/support/MC_Support/Motors/AppNotes/Faulhaber_AN008_EN.pdf
- [37] Drivers and controllers: how to drive a stepper motor, Faulhaber [online]. [cit 2022-05-10] Dostupné z: https://www.faulhaber.com/fileadmin/user_upload_global/support/MC_Support/Motors/AppNotes/Faulhaber_AN003_EN.pdf
- [38] ONDRYÁŠ, Adam, Návrh a realizace elektroniky pro polohovací platformu. [online] Brno, 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139929>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Zdeněk Hadaš.
- [39] Li-ion Battery 7,4V 5200mAh with safety board, Farnell [online]. [cit 2022-05-13] Dostupné z: <https://www.farnell.com/datasheets/2644608.pdf>
- [40] Instalation procedure, THK [online]. [cit 2022-05-13] Dostupné z: https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a07_028.pdf#1
- [41] StallGuard and coolstep, ADI Trinamic [online]. [cit 2022-05-15] Dostupné z: <https://www.trinamic.com/technology/motor-control-technology/stallguard-and-coolstep/>
- [42] KEIL, Peter, Katharina Rumpf, Andreas Jossen, Thermal impedance spectroscopy for Li-ion batteries with an IR temperature sensor system. [online]. [cit 2022-05-15] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325288882_Thermal_Impedance_Spectroscopy_for_Li-Ion_Batteries_with_an_IR_Temperature_Sensor_System
- [43] REMIŠ, Matúš. Návrh řídicího algoritmu pro polohovací platformu [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139926>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Zdeněk Hadaš.

6 ZOZNAM PRÍLOH

- 1 Určovacie výpočty pohonov
- 2 Analýza rizík polohovacia jednotka
- 3 Vplyv radiačného žiarenia na polohovacu jednotku
- 4 Výkres hlavných rozmerov zostavy PPS_PJ_DORH_100
- 5 Výkres súčiastky V_PJ_DORH_PD_002
- 6 Výkres súčiastky V_PJ_DORH_J_006
- 7 Výkres súčiastky V_PJ_DORH_SP_005
- 8 Model návrhu PJ_DORH