

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Teoretický základ strojního inženýrství



Bakalářská práce

Mechanismy v robotice a mechatronických hračkách

Praha, 2015

Autor: Jakub Tomíček

zadání

Anotace

Jméno autora:	Jakub Tomíček
Název bakalářské práce:	Mechanismy v robotice a mechatronických hračkách
Anglický název:	Mechanisms in robotics and mechatronic toys
Akademický rok:	2014/2015
Obor studia:	Teoretický základ strojího inženýrství
Ústav/obor:	Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky Obor mechaniky a mechatroniky
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Petr Beneš
Bibliografické údaje:	Počet stran: 64 Počet obrázků: 42 Počet tabulek: 14
Klíčová slova:	hračka, hexapod, robot, mechatronika, robotika
Keywords:	toy, hexapod, robot, mechatronic, robotics
Anotace:	Cílem této bakalářské práce je seznámení se s moderními robotickými hračkami, jejich rozdělení, analýza kinematiky vybrané robotické hračky. V první části práce rozdělují základní mobilní roboty a uvádím příklady nejzajímavějších, či nejrozšířenějších robotických a mechatronických hraček. V druhé části práce podrobněji popisují vybranou hračku, Hexapod, z hlediska konstrukce a pohybových možností. Ve třetí části se zabývám samotnou kinematikou Hexapoda, vymezením jeho pracovního prostoru a možností pohybu. Dále práce obsahuje matematickou simulaci jednoduchého pohybu vpřed, po rovném podkladu v programu Matlab.
Abstract:	The aim of this thesis is the introduction and classification of basic robotic toys, analysis of the kinematics of selected toys. The first part divides the basic mobile robots, and I present examples of the most interesting or the most common robotic and mechatronic toys. In the second part I describe in detail the selected toy, Hexapod, in terms of structure and motion options. The third part deals with the actual kinematics of Hexapod robot, by defining the work area and the possibility of movement. The work includes a simple mathematical simulation of moving forward, on a flat surface in Matlab.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne _____

podpis

Poděkování

Děkuji především svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Benešovi, Ph.D. za ochotu, příkladné vedení a nesmírnou trpělivost. Dále děkuji ostatním kolegům za cenné rady. Také děkuji kamarádům a rodině za podporu po celou dobu studia.

Obsah

1 Úvod	11
2 Cíle práce	12
3 Definice nejdůležitějších pojmů	13
3.1 Hračka	13
3.2 Robot	13
3.3 Agent	14
3.4 Autonomie	14
3.5 Mechatronika	15
4 Dělení robotů	17
4.1 Mobilní roboty	18
4.2 Kráčející roboty	19
4.2.1 Dvounohé kráčející roboty	20
4.2.2 Čtyřnohé kráčející roboty	20
4.2.3 Šestinohé kráčející roboty	21
4.2.4 Osminohé kráčející roboty	22
5 Mechatronické a robotické hračky	23
5.1 LEGO 8547 MindStorms NXT 2.0	23
5.2 Robotická ruka OWI-535	24
5.3 HEXBUG	25
5.4 Meccano Spykee WiFi	26
5.5 Pleo	27
5.6 WowWee Rovio	28
5.7 Kyosho MANOI PF01	29
5.8 Lynxmotion Hexapod AH3-R	30
6 Roboty v průmyslu	31
6.1 IRB 1600ID	32
6.2 R-2000iB/100H	33
6.3 IRB 360-8/1130 FlexPicker	34
7 Roboty co pomáhají	35
7.1 Servisní, zásahový a záchranářský robot Hardy	35
7.2 Pyrotechnický robot tEODor	36
7.3 Chirurgický systém da Vinci	37

8 Hexapody	38
8.1 Konstrukce	38
8.2 Pohyb	38
9 Výběr hračky pro kinematickou studii	39
9.1 Zdůvodnění výběru	39
9.2 Specifikace výběru	39
10 Popis a kinematika	40
10.1 Schématický popis	40
10.2 Návrh rozměrů	42
10.3 Analytické řešení	42
10.4 Obecné vztahy transformace	43
10.5 Konkrétní vztahy transformace	45
10.5.1 Končetina 1	45
10.5.2 Končetina 2	46
10.5.3 Končetina 3	46
10.5.4 Končetina 4	46
10.5.5 Končetina 5	46
10.5.6 Končetina 6	46
11 Simulace pohybu	47
11.1 Krok: Střídavý stativ	47
11.1.1 Zvedání končetin 1, 3 a 5	47
11.1.2 Posuv ve směru chůze	48
11.1.3 Pokládání končetin 1, 3 a 5	49
11.1.4 Zvedání končetin 2, 4 a 6	50
11.1.5 Posuv do výchozí polohy	50
11.1.6 Pokládání končetin 2, 4 a 6	51
11.1.7 Grafické znázornění stavů pro Krok: Střídavý stativ	52
11.2 Krok: Procházení	54
11.2.1 Vysunutí těla	54
11.2.2 Pohyb končetiny 1	55
11.2.3 Pohyb končetiny 2	55
11.2.4 Pohyb končetiny 3	56
11.2.5 Pohyb končetiny 4	56
11.2.6 Pohyb končetiny 5	57

11.2.7 Pohyb končetiny 6	58
11.2.8 Posunutí těla do výchozí polohy	58
11.2.9 Grafické znázornění stavů pro Krok: Procházení	59
11.3 Vlastní výpočet	61
12 Závěr	63
Seznam použitých zdrojů	65

Seznam obrázků

Obr. 3.3 Grafické znázornění MAS	14
Obr. 3.5 Grafické znázornění Mechatroniky jako spojení několika oborů	16
Obr. 4.1 Rozdělení mobilních robotů podle podvozků	19
Obr. 4.2.1 Humanoidní robot Honda Asimo	20
Obr. 4.2.2 Čtyřnohý robot DARPA LS3	21
Obr. 4.2.4 Robotické vozidlo Mondo Spider	22
Obr. 5.1 Sestavený robot a mechatronické prvky stavebnice	24
Obr. 5.2 Robotická ruka OWI-535 s ovladačem	24
Obr. 5.3 HEXBUG roboty.....	25
Obr. 5.4 Robot Meccano Spykee WiFi	26
Obr. 5.5 Robopet Pleo	27
Obr. 5.6 Robot s všesměrovými koly Rovio	28
Obr. 5.7 Robot Kyosho MANOI PF01	29
Obr. 5.8 Hexapod AH3-R s kruhovým uspořádáním končetin	30
Obr. 6.1 Průmyslový robot IRB 1600ID	32
Obr. 6.2 Balicí a paletizační robot R-2000iB/100H	33
Obr. 6.3 Paralelní robot IRB 360-8/1130 FlexPicker	34
Obr. 7.1 Servisní, zásahový a záchranářský robot Hardy	35
Obr. 7.2 Robot tEODor	36
Obr. 7.3 Chirurgický systém da Vinci	37
Obr. 9.2 Náhled na zvolený typ Hexapoda	39
Obr. 10.1.1 3D pohled na navrhovaného Hexapoda	40
Obr. 10.1.2 Horní pohled na navrhovaného Hexapoda	41
Obr. 10.1.3 Pohled na třetí končetinu v obecné poloze	41
Obr. 11.1.7.1 Počáteční stav	52
Obr. 11.1.7.2 Zvedání nohou 1, 3 a 5	52

Obr. 11.1.7.3 První posun	53
Obr. 11.1.7.4 Pokládání nohou 1, 3 a 5	53
Obr. 11.1.7.5 Zvedání nohou 2, 4 a 6	53
Obr. 11.1.7.6 Druhý posun	53
Obr. 11.1.7.7 Pokládání nohou 2, 4 a 6	53
Obr. 11.2.9.1 Počáteční stav	59
Obr. 11.2.9.2 Vysunutí těla	59
Obr. 11.2.9.3 Zvedání nohy 1	60
Obr. 11.2.9.4 Posun nohy 1	60
Obr. 11.2.9.5 Položení nohy 1	60
Obr. 11.2.9.6 Posun nohy 3	60
Obr. 11.2.9.7 Posun nohy 5	60
Obr. 11.2.9.8 Posun nohy 2	60
Obr. 11.2.9.9 Posun nohy 4	61
Obr. 11.2.9.10 Posun nohy 6	61
Obr. 11.2.9.11 Srovnání těla	61

Seznam tabulek

Tab. 11.1.1 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 0 - 1	47
Tab. 11.1.2 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 1 - 2	48
Tab. 11.1.3 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 2 - 3	49
Tab. 11.1.4 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 3 - 4	50
Tab. 11.1.5 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 4 - 5	50
Tab. 11.1.6 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 5 - 0	51
Tab. 11.2.1 Polohy koncových bodů D při vysunutí těla	54
Tab. 11.2.2 Poloha koncového bodu D_1 pro zvednutí, posun a položení	55
Tab. 11.2.3 Poloha koncového bodu D_2 pro zvednutí, posun a položení	56
Tab. 11.2.4 Poloha koncového bodu D_3 pro zvednutí, posun a položení	56
Tab. 11.2.5 Poloha koncového bodu D_4 pro zvednutí, posun a položení	57
Tab. 11.2.6 Poloha koncového bodu D_5 pro zvednutí, posun a položení	57
Tab. 11.2.7 Poloha koncového bodu D_6 pro zvednutí, posun a položení	58
Tab. 11.2.8 Polohy koncových bodů D při vyrovnání pozice těla	58

1 Úvod

Žijeme v době, kdy si lidé snaží co možná nejvíce ulehčit život. Už odedávna používáme k ulehčení práce všemožné nástroje. Intelligence se však od té doby výrazně posunula kupředu. Dnes už nám život neulehčují "pouhé" nástroje. Kdo si dnes umí představit život bez výrobních linek, či kuchyňských robotů?

Ale tento trend s sebou přináší rozvoj robotiky i v jiných odvětvích. Například v zábavě nebo při sportu. A v neposlední řadě u hraček. Ať už u samostatně existujících nebo u hraček řízených člověkem. Díky různorodosti a robotickému potenciálu hraní nadále nezůstává jen výsadou dětí. Jen těžko si lze představit předškoláka, jak předvádí složitou akrobacii s helikoptérou na dálkové ovládání. Nebo jak vytváří program pro pohyb hexapod robota.

Většina znás si při pohledu na robota nekouká na jeho "tělo". Zajímá je jejich "srdce" v podobě zdroje energie nebo motoru. Vidí jeho "mozek" jako procesor na základní desce, jeho elektroniku, či jeho "duši", reprezentovanou důmyslným programem, který ho ovládá. Avšak k čemu by i nám, lidem, bylo srdce, mozek i duše bez důmyslného mechanismu zvaného tělo? Právě tělo je často přehlížené a opomíjené, brané jako samozřejmost.

I robotické tělo, ač v mnoha ohledech jednodušší než tělo lidské, potřebuje být co možná nejdokonalější. Aby veškeré fyzické úkony, které provádí, byly co nejefektivnější.

V této práci se chci zabývat právě těmito těly a jejich mechanickými částmi.

2 Cíl práce

Cílem práce je představit roboty, především pak robotické hračky, a provést jednoché rozdělení, nejvíce se hodící pro většinu robotických a mechatronických hraček. Dále pak výběr jednoho robota, v tomto případě Hexapoda, u kterého provedu podrobnější popis. Nakonec pomocí programu Matlab provést studii kinematiky a simulaci pohybu Hexapoda v přímém směru po rovném povrchu bez překážek.

Dle zadání jdou cíle práce rozdělit do následujících bodů:

1. Rozdělení robotických mechanismů do skupin.
2. Představení různých mechatronických a robotických hraček.
3. Popis a analýza jednoho vybraného mechanismu.
4. Kinematický popis vybraného mechanismu.
5. Vytvoření simulačního modelu vybraného mechanismu v prostředí Matlab.

3 Definice nejdůležitějších pojmů

Jako nutné považuji nejprve definovat některé ze základních pojmů, či pojmů často v práci používaných, aby nedošlo ke špatnému pochopení některých souvislostí.

3.1 Hračka

Hračkou je míněn předmět, sloužící ke hře, především dětí, ale občas i dospělých. Smyslem hračky je upoutat pozornost a následně zabavit, některé hračky mohou sloužit i k rozvíjení motorických a psychických schopností. Díky archeologickým vykopávkám je existence hraček dokázána i v obdobích před tisíci lety. Hračky jako miniatury nástrojů dospělých, panenky, sošky zvířátek a vojáčky jsou nacházeny ve vykopávkách ze všech období historie po celém světě. Například civilizace Inků ve všedním životě nepoužívala kolo, avšak mezi jejich hračkami byly i hračky na kolech. Jako základní surovinou pro výrobu hraček až do devatenáctého století bylo převážně dřevo nebo kámen. Postupem času se při jejich výrobě začaly používat další materiály, jako například látky, kovy a porcelán. Díky velkému rozvoji moderních syntetických materiálů se po druhé světové válce začínají masově vyrábět převážně panenky, ale i jiné hračky z plastu. Ve 20. století se pak produkce hraček stala masovou. [4],[5]

3.2 Robot

Slovo robot vychází ze slova "robota", známého již z 17. století, kde označovalo otrockou práci nevolníků na panských polích. Jako autora moderního významu slova robot lze považovat Josefa Čapka, který toto slovo poradil svému bratrovi při dotazu, jak má pojmenovat umělou bytost. Takže je poprvé ve významu stroje použil český spisovatel Karel Čapek ve své divadelní hře R.U.R..

Původně bylo slovo robot v češtině výhradě neživotné, skloňované podle vzoru hrad, čili v množném čísle: roboty. V moderní době se pro inteligentní roboty, podobné člověku, obvykle ve vědeckofantastické literatuře běžně používá rod životný, podle vzoru pán, v množném čísle pak: roboti. Pro průmyslové roboty, nebo roboty nepodobné člověku, jako je například kuchyňský robot, se stále upřednostňuje skloňování neživotné.

"Robot je stroj pracující s určitou mírou samostatnosti, vykonávající určené úkoly, a to předepsaným způsobem a při různých mírách potřeby interakce s okolním světem a zadavatelem. Robot je schopen své okolí vnímat pomocí senzorů, zasahovat do něj, případně si o něm vytvářet vlastní představu, model."[6]

Díky schopnosti vnímání prostředí si robot nejenže může vytvářet model okolí, ale také vyhodnocovat svůj vliv na něj a díky tomu využívat zpětné vazby, což může znamenat lepší interakci s okolním světem.

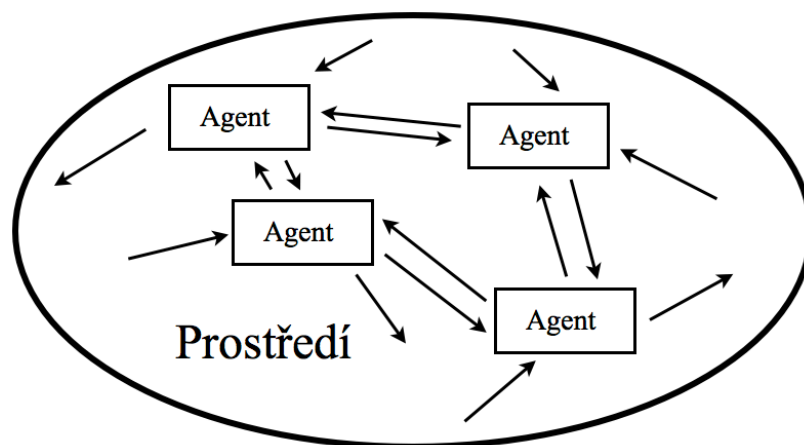
Robot je fyzickou realizací obecnějšího slova "agent". [2],[6]

3.3 Agent

Agent (Agent, A) je definován jako aktivní prvek systému, vytvořený člověkem za určitým účelem. Je vybaven určitou mírou inteligence a autonomie, které využívá k řešení problémů.

Agentní systém (Agent system, AS) lze definovat jako prostředí, ve kterém agent působí.

Multiagentní systém (Multi-agent system, MAS) je simulované prostředí s převážně síťovým charakterem, ve kterém dochází i k interakci určitých typů agentů mezi sebou, prostředím, ve kterém se nacházejí, případně obojím. Tato "komunita" agentů je schopná řešit problémy, který by žádný samostatný agent vyřešit nemohl, jelikož přesahuje jeho možnosti či znalosti. [8]



Obr. 3.3 Grafické znázornění MAS

3.4 Autonomie

Autonomie (z řeckého slova autonomos, řídící se vlastními zákony) znamená samostatnost nebo také samosprávnost či svébytnost. Odtud autonomní, samosprávný, s vlastním

zákonodárstvím. Protikladem autonomie je heteronomie (z řeckého slova heteros, jiný), správa či zákonodárství určované někým jiným.

Míra vlastní interakce s prostředím je dána mírou dynamiky robota. Tím je myšleno: čím více je stroj či robot dynamičtější, tím lepší, přesnější potřebuje povědomí a informace o svém okolí. To má za následek menší potřebu zásahů lidské obsluhy. Proto lze mluvit o různých typech autonomie robota vůči obsluze.

- **Řízený** robot - má přímé vedení, bez schopnosti či možnosti rozhodovat. Kromě člověka absence interakce s okolím (např. autíčko na vysílačku, jezdí pouze na základě povelů od obsluhy).
- **Ovládaný** robot - činnost vykonává podle zadaného pokynu. Schopnost logického rozhodování.
- **Regulovaný** robot - cíle dosahuje předem určeným způsobem, za různých podmínek, různými cestami. Analogové rozlišení míry intenzity jevu.
- **Autonomní** robot - cíle dosahuje způsobem, který si robot sám zvolí. Předepsaná metodologie volby.
- **Inteligentní** robot - cíle a cesty k dosažení si volí sám, člověka nepotřebuje. Utopie. Hraniční cíl oboru umělé inteligence.

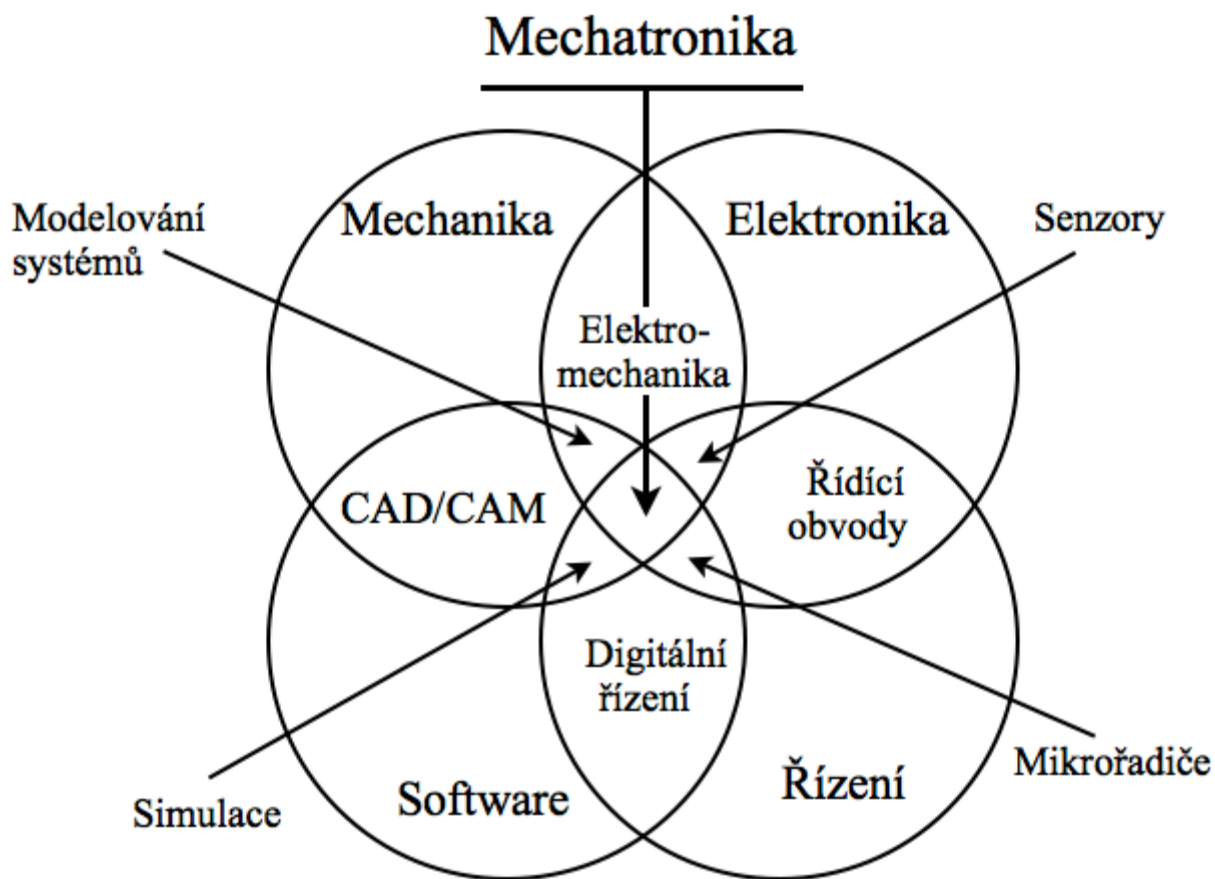
Sestaveno ze zdrojů [2] a [6]

3.5 Mechatronika

Mechatronika je poměrně nový obor, který spojuje několik tradičních oborů v jeden. Název mechatronika vznikl v polovině 70. let 20. století v Japonsku, jako spojení slov Mechanical Systems and Electronic, mechanické systémy a elektronika.

Je to komplexní kombinace oborů mechaniky, elektroniky, softwarového inženýrství a řízení techniky. Toto spojení je vyzobrazeno na Obr. 3.5. Účel mechatroniky, jako mezioborového inženýrského oboru, je studium automatů. Slouží k řízení složitých, vyspělých a moderních hybridních systémů. Díky tomuto spojení oborů je možné navrhovat mechatronické systémy daleko efektivněji, jelikož se v současné době např. na hydrauliku, senzory, elektroniku a komunikační technologie nahlíží společně. Postupy, při kterých se již od počátku tyto principy uplatňují v koncepci a konstrukci, se velmi osvědčují.

Inženýrské studium mechatroniky zahrnuje mechaniku, matematiku, konstrukci strojů, termodynamiku, elektroniku, telekomunikaci, teorii řízení, energetiku a robotiku. [2],[8]



Obr. 3.5 Grafické znázornění Mechatroniky jako spojení několika oborů

4 Dělení robotů

Existuje celá řada možností a kritérií jak rozdělit roboty. V žádném případě si tato práce nevymezuje nárok na úplnost. K mému účelu nejlépe poslouží dělení podle možností pohybu a dále podrobnější rozdělení robotů mobilních. Avšak uvedu i jiné, základní a z mého pohledu zajímavé či důležité způsoby rozdělení.

Jako nejzákladnější dělení lze uvést komplexní dělení podle vzhledu, účelu, způsobu vzniku, schopností a dalších základních aspektů, podle kterých lze rozlišit tyto typy robotů.

- **Manipulátor** - stroj nemající vlastní inteligenci, dálkově ovládaný.
- **Průmyslový robot** - manipulátor s minimální mírou autonomie, převážně provádí předprogramovaný cyklus.
- **Víceúčelový robot** - robot s různou mírou autonomie, různé konstrukce, nepodobný člověku, hračky, vojenské roboty, Mars rover.
- **Roboty pro domácnost** - kuchyňské roboty, automatické vysavače, myčky, minimální míra autonomie, většinou možnost zvolení programu z několika možností.
- **Android** - člověku podobný stroj, obvykle se předpokládá analogie s biologickou stavbou lidského těla. Androidy lze dále dělit na:
 - **Droid** - každý inteligentní a samočinný robot a jeho podtyp Dron, neboli robotický dělník.
 - **Humanoid** - robot podobný člověku, především stavbou těla a způsobu pohybu.
 - **Anthropomorf** - robot, který se přibližuje člověku vzhledem, mentalitou či pohybem, napodobuje ho (např. HAL 9000).
- **Kyborg** (kybernetický organizmus) - umělá bytost, či mysl. Biologické tělo je zcela pod nadvládou stroje nebo naopak mechanické tělo pod nadvládou živé mysli.

Dále lze roboty rozdělovat dle možnosti pohybu v prostředí na:

- **Stacionární** - bez schopnosti pohybu z místa na místo (např. průmyslové manipulátory).
- **Mobilní** - se schopností pohybu z místa na místo.

V této části jsem vycházel ze zdrojů [2],[6]

4.1 Mobilní roboty

Jelikož většina robotických hraček jsou roboty mobilní, proto se v této části zabývám podrobněji právě jimi.

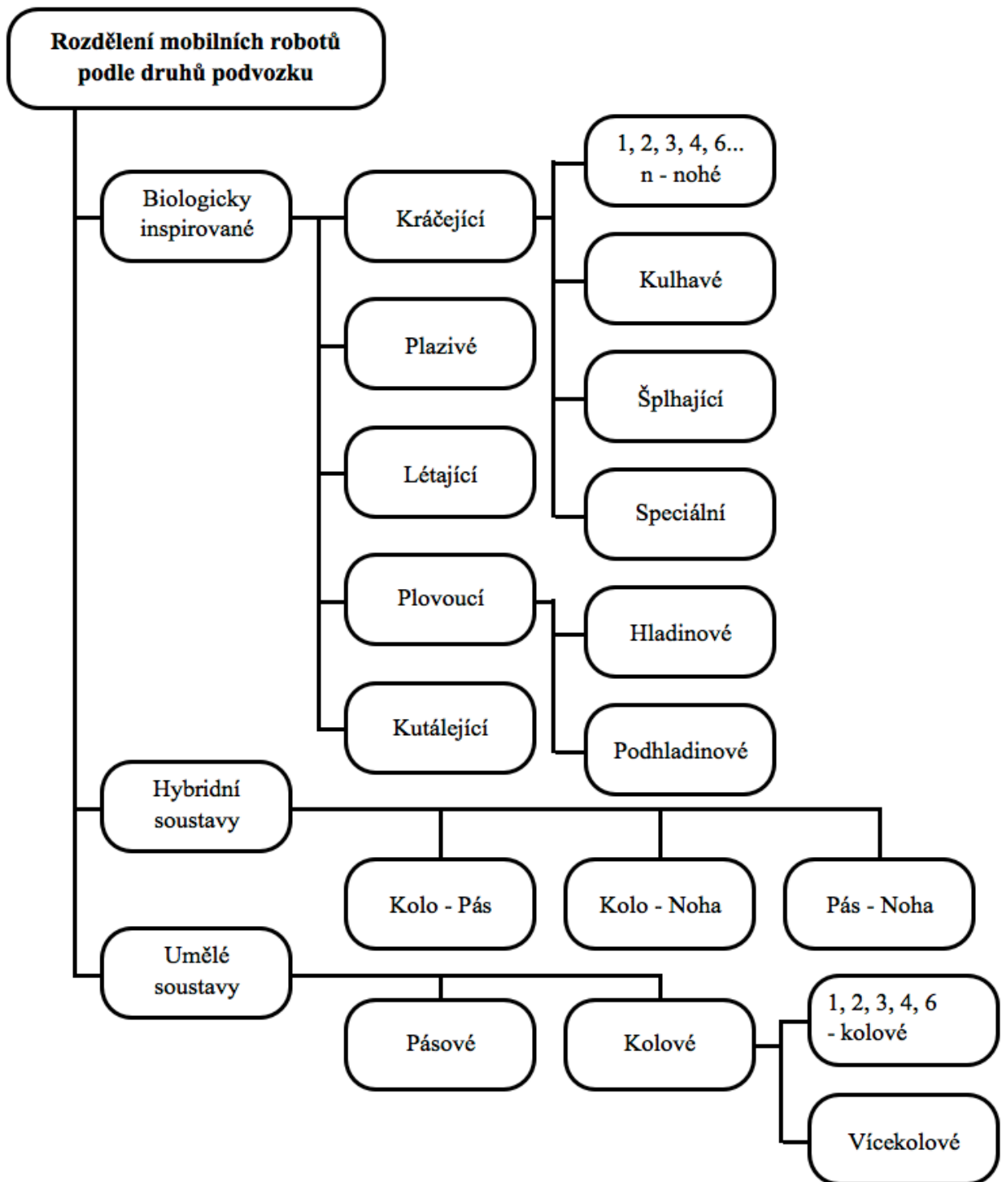
Mobilní roboty můžeme dále dělit podle celé škály možností. Mezi nejzákladnější způsoby dělení patří rozdělení **podle autonomie** na dva typy a to na autonomní a dálkově řízené.

U autonomního robota se předpokládá schopnost samostatně reagovat a vykonávat zadanou úlohu. Jako příklad lze uvést sledování čáry na podlaze či pohybujícího se předmětu se schopností zareagovat na překážku a dále pokračovat v jízdě. Dále například robota typu "robotpet", robotického mazlíčka, například psa, který se svým chováním snaží napodobit chování skutečného psa.

Dálkově řízené roboty jsou řízeny operátorem, nejčastěji člověkem, který má zpravidla vizuální informaci jak o robotu samotném, tak o jeho okolí. Ale i takovýto robot by měl být vybaven určitou mírou autonomie pro případ ztráty komunikace s operátorem nebo při výskytu poruchy, kterou operátor nemusí zaznamenat.

Podle prostředí, ve kterém se robot převážně či úplně pohybuje, lze mobilní roboty nadále dělit na roboty pohybující se ve vnitřím nebo vnějším prostředí, na souši, ve vodě, ve vzduchu, ve vesmíru, hybridní a uzpůsobené k pohybu v jiných prostředích.

Dále je možné mobilní roboty dělit **podle typu podvozku**, na kterém se pohybují. Na Obr. 4.1 je zobrazeno toto zjednodušené rozdělení .



Obr. 4.1 Rozdělení mobilních robotů podle podvozků [22]

4.2 Kráčejíci roboty

I kráčejíci roboty lze nadále dělit a to podle několika hledisek:

- **Dle počtu nohou** - 1, 2, 3, 4, 6 a n - nohé roboty
- **Dle konstrukce nohy** - typ savec, typ hmyz
- **Dle kinematických vazeb** - rotační, translační

Nejčastěji používané konstrukce kráčejících robotů podle vzoru hmyz, jsou plošiny na podvozku čtyř nebo šesti nohou. A podle vzoru savec jako humanoidní robot na páru nohou, nebo jako kráčející plošina na čtyřech nohách. Na konstrukci převažující části dvounohých robotů je vidět snaha dosáhnout co největší podobnosti s člověkem.

4.2.1 Dvounohé kráčející roboty

Dvounohé roboty podle vzoru humanoid, oproti kolovým či pásovým robotům, jsou schopné překonávat variabilnější překážky, jako například příkré schody. V dnešní době jsou již tyto roboty vybaveny natolik vyspělým hardwerem a softwarem, že nemají problém s plynulou chůzí a jejich manévrovatelnost a stabilita je také velmi vysoká. Avšak oproti jejich předloze, člověku, jsou jejich pohybové možnosti stále omezené.



Obr. 4.2.1 Humanoidní robot Honda Asimo [23]

4.2.2 Čtyřnohé kráčející roboty

Konstrukce čtyřnohých robotů je nejčastěji inspirována anatomií žijících živočichů. Nejrozšířenější konstrukce jsou podle vzoru "savec" nebo "hmyz". Toto provedení je pouze rámcové a má vliv pouze na konstrukci končetin, ne na jejich počet.

Tyto mechanismy jsou staticky stabilní, ale v případě, že jedna noha není v kontaktu s podložkou, například při pohybu, musí být těžiště robotu uvnitř trojúhelníku tvořeného spojením bodů dotyku zbývajících nohou. V opačném případě by došlo k převrácení robota. Pokud se těžiště nachází v blízkosti hrany tohoto trojúhelníku, může dojít k převrácení vlivem dynamického účinku, náhodné překážky, či prohlubní v povrchu. Čtyřnohé kráčející roboty jsou proto většinou vybavovány větším počtem senzorů, než roboty s více nohama.



Obr. 4.2.2 Čtyřnohý robot DARPA LS3 [24]

4.2.3 Šestinohé kráčející roboty

Šestinohé roboty jsou v jistém smyslu kompromisem, mezi roboty čtyřnohými, jednoduššími po konstrukční a softwarové stránce a roboty osminohými s hladce plynulým pohybem. Konstrukce jsou převážně inspirovány stavbou těla hmyzu, jelikož po mnoha milionech let je příroda dovedla až k samému prahu dokonalosti.

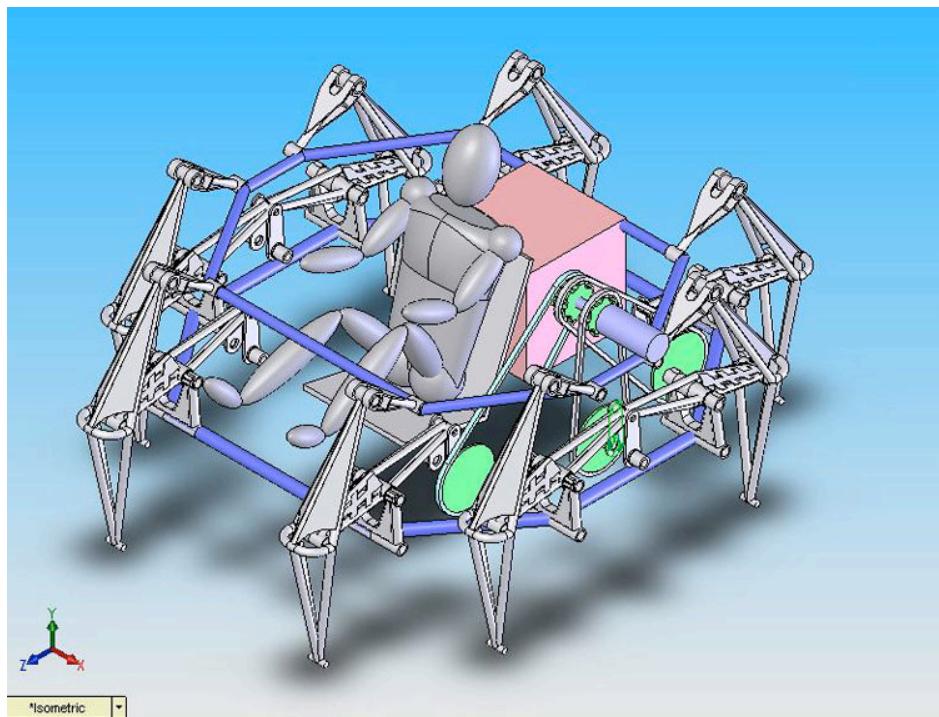
Mezi kráčejícími roboty jsou šestinohé podvozky zastoupeny asi nejčastěji. Některé konstrukce robotů z této skupiny umožňují v případě převrácení na "záda" otočení zpět na nohy a pokračování v chůzi.

Podmínka stability je v případě šestinohých robotů splněna dokonale, jelikož je vždy možné při chůzi nechat nejméně tři končetiny v kontaktu s podložkou a to i v případě, že je některá končetina poškozená. Díky své konstrukci je robot velmi stabilní při chůzi po jakémkoli terénu a

je velmi odolný proti převrnutí. Robot je velmi odolný proti vlivu dynamických účinků, takže není třeba znát v každém okamžiku všechny informace o členech kinematického řetězce. Díky tomu klesá potřebné množství senzorů a konstrukce a software se tím zjednodušují.

4.2.4 Osminohé kráčející roboty

V této skupině se, kromě konstrukcí podobných šestinohým robotům pro chůzi po vodorovném povrchu vyskytují i konstrukce určené k pohybu v potrubí a po kolmých stěnách. Jejich osminohá koncepce je pro tyto účely nejvhodnější, jelikož je robot pomocí čtyř noh schopen dostatečně stabilně zajistit svou polohu i za předpokladu, že dojde k přerušení kontaktu s povrchem jednou končetinou. Ostatní čtyři končetiny jsou volné pro vykonání kroku a zajištění stabilní polohy. Při chůzi po vodorovném povrchu jsou rovněž stabilnější a odolnější vůči dynamickým účinkům než roboty se šesti nohama.



Obr. 4.2.4 Robotické vozidlo Mondo Spider [25]

5 Mechatronické a robotické hračky

Dnes je na trhu celá řada výrobců hraček, zabývajících se výrobou, či distribucí hraček mechatronických a robotických. Lze je pořídit rámcově od několika desítek korun až po desetitisíce, či statisíce korun. V této části uvádím příklady a stručné popisy nejznámějších a nejzajímavějších zástupců z říše robotických hraček.

5.1 LEGO 8547 MindStorms NXT 2.0

Stavebnice LEGO a zejména LEGO Technic přináší celou řadu možností realizace robotických hraček. Díky velkému množství stavebních dílků a ještě většímu množství jejich druhů, lze stavět obrovské množství robotů. LEGO Technic obsahuje celou řadu servo motorů, pístů, senzorů a jiných součástek pro realizaci v podstatě jakéhokoli projektu v rámci fyzických možností.

V současné době je na trhu stavebnice s názvem LEGO 8547 MindStorms NXT 2.0, která posouvá LEGO do světa mechatronických hraček ještě hlouběji. Balení obsahuje stavebnici chytrých robotů, které si musíme sami postavit a naprogramovat. V balení jsou tři servo motory a čtyři čidla - na vzdálenost, světlo, dotyk a zvuk. Ovšem hlavní součástí je takzvaná "inteligentní kostka", sloužící jako zdroj energie a ovládací zařízení. Inteligentní kostku je možné připojit k počítači a nahrát do ní v podstatě jakýkoli ovládací program.

Ze základního balení je návod na stavbu čtyř robotů. Shooterbot, dělo na pásovém podvozku, vystřelující míčky na základě aktivace vybraného senzoru. Robogator, robot vypadající jako aligátor, pohonem jsou dvě zadní končetiny s jedním stupněm volnosti, robot se pohybuje v prostředí a vyhýbá se překážkám. Color Sorter, robot schopný třídít míčky dle barev, v zásobníku jsou umístěny různobarevné míčky. Pomocí senzoru je zjištěna barva míčku, který je následně vyklopen do příslušného koše. Alpha Rex, humanoidní robot, po vložení barevného míčku do ruky je rozpoznána barva a vykonána operace příslušící této barvě, jako chůze, tanec, puštění míčku.

ČVUT v Praze vlastní několik těchto stavebnic i s rozšiřujícími balíčky a dalšími senzory, s jejichž pomocí se snaží robotickou konstrukci a programování přiblížit studentům a veřejnosti.[14]



Obr. 5.1 Sestavený robot a mechatronické prvky stavby [14]

5.2 Robotická ruka OWI-535

Jedná se o repliku robotického manipulátoru používaného například na výrobních linkách automobilů. Maximální hmotnost zdvihovaného předmětu je 100 g, otevřené čelisti dokáží uchopit vše do šířky 4,5 cm. S otočným zápěstím umožňujícím pohyb o 120°, 300° pohybem hlavního loketního kloubu a 180° úhlem pohybu ramene má vymezeno dostatečně velké pracovní pole. V přední části ruky je dioda pro "práci" při horších světelných podmínkách. [15]



Obr. 5.2 Robotická ruka OWI-535 s ovladačem [15]

Popis mechanismu:

Robotické rameno se čtyřmi stupni volnosti a pohyblivými čelistmi umístěnými na konci, s jedním stupněm volnosti. "Ramenní" kloub umožňuje pootočení kolem dvou navzájem kolmých

os, "loketní" kloub natočení kolem jedné osy a pohyb "zápěstím", je taktéž otáčení kolem jedné osy. Každý kloub ramene je poháněn servem. Servo pohybující "zápěstím" je umístěno mimo osu otáčení, proto je pohyb přenášen pomocí dvojice ojníc, podobně jako tomu bylo na parních lokomotivách. Ovládání je zprostředkováno pomocí ovladače, zpětná vazba s operátorem pouze přímá, vizuální.

5.3 HEXBUG

Společnost HEXBUG existuje od roku 2007. Od té doby nám představila již celou řadu zajímavých robůtků inspirovaných světem hmyzu a drobných živočichů. Přes nanobrouky, pídálky, mravence a housenky až po kraby. Každý z robotů je něčím unikátní, ať už je to ovládání, vzhled nebo míra autonomie. Většina z výrobků jsou plastové roboty, ovládané zejména zvukem nebo jednoduchým ovladačem. Na Obr. 5.3 jsou vyobrazeny některé z robotů HEXBUG, zleva nanobrouk, mravenec a krab. [16]



Obr. 5.3 HEXBUG roboty [16]

Popis mechanismu:

Robot vzoru Mravenec, na Obr. 5.3 je vidět uprostřed, je robot, jehož podvozek je tvořen šesticí nekruhových kol. Kola nemají kruhový tvar, aby dodávala pohybu robota jistou nepřesnost a tím připomínala více skutečného mravence. Trojice kol na každé straně je pevně synchronizovaná pomocí ozubených kol, tj. všechna kola jedné strany se mohou točit pouze jednou rychlostí ve stejném směru, jako je tomu u pásových podvozků. Robot je vybaven dvěma dotykovými čidly v podobě tykadél. Není ovládán operátorem, po zapnutí se pohybuje v jednom směru, dokud není jedním z čidel detekována překážka. Pak robot pomocí zbrzdění jedné strany kol, podobně jako pásová vozidla, změní směr pohybu a opět pokračuje přímo.

5.4 Meccano Spykee WiFi

Autorem robota Meccano Spykee WiFi je francouzská firma Meccano, která se specializuje na stavebnice všeho druhu. Ke komunikaci s robotem a jeho ovládní je využívána technologie WiFi. Ze stavebnice je možné postavit tři druhy robotů - lunární vozidlo, škorpiona a robůtka Spykee, který je vidět na Obr. 5.4. Robota lze ovládat lokálně pomocí počítače s WiFi nebo přes internet. Pohyb zajišťuje dvojice pásů a orientaci vestavěná kamera. Součástí robota je i mikrofon, reproduktor a přehrávač mp3. Program umožňuje robota využít jako hlídače. V tomto režimu je robot schopen zaznamenat pohyb pomocí kamery a záznam odeslat na e-mailovou adresu. Robot si sám hlídá stav energie a pokud je nízký, sám zajede do dobíjecí stanice, která je zároveň i WiFi routerem. [17]



Obr. 5.4 Robot Meccano Spykee WiFi [17]

Popis mechanismu:

Jediný poháněný mechanismus tohoto robota je pásový podvozek. Konstrukce podvozku se nijak neliší od běžného konceptu konstrukce pásových podvozků. Končetiny a hlava robota jsou sice pohyblivé, ale nepoháněné, k nastavení jejich polohy je potřeba přímý zásah operátora. Hlava je umístěna na jednom kulovém kloubu, lze ji tudíž pootočit do libovolné pozice, kterou dovoluje uchycení kloubu. Stejně je tomu tak u "rukou", každá ruka je tvořena ze tří částí spojených navzájem a s tělem kulovými klouby. Kulové klouby dovoluují operátorovi nastavení ramen, připomínající polohy lidských rukou.

5.5 Pleo

Pleo je konstruován jako mládě Camarasaura, pomocí nejnovějších poznatků v robotice a díky operačnímu systému Life Form OS se Pleo rozvíjí podle prostředí, ve kterém se pohybuje. Robot je zcela autonomní formou života, komunikuje, pohybuje se, vyjadřuje emoce, samostatně mapuje okolí. Díky obrovskému množství senzorů, jako infračervený přijímač, vysílač a přerušovač, senzory dotyku, mikrofony a senzory pro orientaci, je Pleo schopen velmi dobře reagovat a přizpůsobovat se prostředí. Hračka je přednostně určena dětem, jelikož veškerá komunikace s robotem je verbální, či pohybová. Pleo by v ideálním případě měl být schopen nahradit potřebu zvířecího mazlíčka. [18]



Obr. 5.5 Robopet Pleo [18]

Technické specifikace:

Řídící jednotka:

- dva 32-bitové mikroprocesory – řídicí centrum a zpracování obrazu
- čtyři 8-bitové subprocesory – ovládání motorů

Vysoce sofistikované pohybové centrum:

- 14 servo motorů
- více než 100 speciláně vytvořených převodů

Komplexní senzorová síť:

- barevná kamera pro světelnou detekci a navigaci
- 2 mikrofony pro stereofonní slyšení
- 8 povrchových senzorů – hlavový, bradový, zádový, zadní a 4 nožní
- 4 nášlapné snímače
- 14 zpětnovazebných snímačů
- snímač orientace a otřesů
- infračervený snímač/přerušovač pro detekci objektů

Vícenásobné datové kanály:

- mini USB port pro online downloads (stahování doplňkových programů a aktualizací)
- slot SD-karty pro nové Pleo-programy
- infračervený vysílač/přijímač pro vzájemnou komunikaci mezi více exempláři Plea

Zvukový systém:

- 2 reproduktory, přední a zadní

Napájecí systém:

- NiMH dobíjitelná baterie [18]

5.6 WowWee Rovio

Rovio je robotické vozidlo se třemi všesměrovými koly a vestavěnou kamerou. Funguje podobně jako výše zmíněný Meccano Spykee WiFi. Lze ho vládat přes internet pomocí počítače, mobilního telefonu nebo herní konzole. Kamera je namontována na pohyblivé "hlavě", což robotu umožňuje zacílit kamerou na předměty postavené výše než robot. K robotu lze dokoupit majáky, díky kterým lze nastavit orientační body a zvýšit tak robotu operační prostor. Robot je vybaven kromě kamery i reproduktorem, mikrofonem a led svítilnou. Jeho největší předností jsou již zmíněná všesměrová kola, díky nimž lze robotem pohybovat v jakémkoli okamžiku jakýmkoli směrem. [19]



Obr. 5.6 Robot s všesměrovými koly Rovio [19]

Popis mechanismu:

Rameno s kamerou umístěné na horní straně těla má dva stupně volnosti. Toto rameno slouží pouze k tomu, aby bylo možné kamerou zabírat větší prostor, respektive vyšší. Tento robot je

především zajímavý svými koly. Kola jsou navzájem pootočena o 120° a leží na vrcholech pomyslného rovnostranného trojúhelníka. Kola jsou tvořena hlavní válcovou částí a v tomto případě deseti válcovými elementy rozmístěnými rovnoměrně po obvodu hlavního kola. Tato nezvyklá konstrukce umožňuje kolu pohybovat se i ve směru rovnoběžným s osami hlavních kol. Kombinací pohybu hlavních kol a jejich elementů je možné dosáhnout pohybu v libovolném směru a otáčení na místě. Tyto tři všesměrová kola jsou poháněna šesti samostatnými elektromotory.

5.7 Kyosho MANOI PF01

Robot Manoi PF01 pochází z dílny mistrů Kyosho a Kondo Kagaku. Navržen byl za účelem získání zlaté medaile v soutěži Humanoid Athletic Cup a turnajů v rychlochůzi. Robot má 17 stupňů volnosti. Je vybaven silnými aktuátory a sofistikovaným mechanismem. Pro tohoto robota byla zvlášť vyvinuta vysoko kapacitní lithium-polymerová baterie. Design robota je inspirován japonským stylem manga a i jeho pohyby jsou tomuto stylu blízké. Ovšem cena tohoto robota se již pohybuje okolo 50 000 Kč. [20]



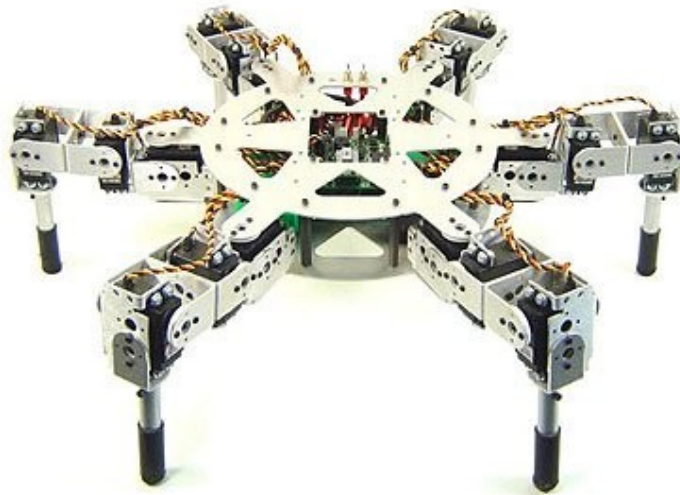
Obr. 5.7 Robot Kyosho MANOI PF01 [20]

Popis mechanismu:

Tento vyspělý robotický mechanismus má 17 stupňů volnosti. Jeden pro otáčení hlavou, tři pro každou ruku a pět pro každou nohu. Pro každý stupeň volnosti je pohonem servo KRS-4024S VN. Tyto serva mají točivý moment 10,5 Kg/cm a rychlost 0,117 sec/60deg. Plášť robota je z polykarbonátu. Robot není kromě snímačů polohy serv vybaven žádnými senzory, proto míra jeho autonomie je velmi omezena.

5.8 Lynxmotion Hexapod AH3-R

Hexapod AH3-R je klasická ukázka hexapoda s kruhovým uspořádáním končetin. Kruhové tělo robota AH3-R z něj díky symetricky postaveným končetinám dělá unikátního chodce. Díky třem stupňům volnosti každé končetiny pro něj není problém pohyb v kterémkoli směru. Robot používá 18 serv HS-645 pro pohyb nohou. Kostra robota je vyrobena z vysokopevnostní hliníkové slitiny. Výrobce uvádí, že vědecká úroveň tohoto modelu je výborná i pro vysokoškolské vědecké laboratoře. [21]



Obr. 5.8 Hexapod AH3-R s kruhovým uspořádáním končetin [21]

6 Roboty v průmyslu

Roboty se v průmyslu využívají od počátku 70. let 20. století, kdy společnost Unimation vyrobila prvního průmyslového robota. Koncem 70. let na trh vstoupilo Japonsko, dnes oprávněně považováno za velmoc v oboru a začalo značně přispívat do vývoje i rozšiřování robotiky. Průmyslový robot je ústrojí s následujícími parametry: manipulační prostor, automatická činnost, snadná změna programu, univerzálnost a zpětná vazba.

Průmyslový robot má vzhled mechanického ramene podobného lidské horní končetině. nejčastěji se 3 až 6 stupni volnosti. Velikost robotů může být různá od několika desítek centimetrů až po několikametrová monstra, s nosností ramene až do několika stovek kilogramů.

Tato robotická ramena se nejčastěji využívají jako manipulátory na montážních linkách, například v automobilovém průmyslu, ale i na svařování, obrábění, lakování a měření. [26]

6.1 IRB 1600ID

Průmyslový robot IRB 1600ID je určený především pro obloukové svařování díky vnitřnímu vedení médií a kabeláže. Vnitřkem horního ramene jsou vedeny kabely, svařovací drát, přívod stlačeného vzduchu, vedení ochranného plynu a vodní chlazení. Jelikož jsou kabely vedeny vnitřkem ramene, lze přesně předvídat jejich pohyb v rámci pracovních cyklů a tím předejít jejich poškození. Se svou nosností 4 kg, maximálním pracovním dosahem 1,5 m a přesností opakovatelnosti polohy $\pm 0,02$ mm patří mezi špičku ve své třídě. Rychlost pohonů se pohybuje od $180^\circ/\text{s}$ až do $460^\circ/\text{s}$. Robot je možné instalovat na podlahu, nebo zavěsit. [27]



Obr. 6.1 Průmyslový robot IRB 1600ID [27]

Technické údaje:

Verze robota: 4/1.5

Dosah: 1,5 m

Nosnost: 4 kg

Počet os: 6

Stupeň krytí: IP40

[27]

6.2 R-2000iB/100H

Balící a paletizační robot R-2000iB/100H od společnosti FANUC je základní model řady R-2000. Tato řada robotů, jak uvádí výrobce, je nejuspěšnější na světě. Jedná se o kompaktní, vysokorychlostní robot se štíhlým ramenem i zápěstím. Navržen je především pro manipulaci s nejrůznějšími materiály, ale je vhodný i k bodovému svařování. Model R-2000iB/100H má 5 os, dosah více než 2,5 m a nosnost 100 kg. Nejvhodnější je pro paletizaci nebo balení. Při paletizaci krabic je robot schopen dosáhnout rychlosti 20 cyklů za minutu a při paletizaci pytlů 24 cyklů za minutu. Standartní balící roboty mají jen 4 stupně volnosti. 5. stupeň volnosti umožňuje robotu ukládat předměty na nakloněné plochy.[28]



Obr. 6.2 Balící a paletizační robot R-2000iB/100H [28]

Technické údaje:

Dosah: 2655 mm
Nosnost: 100 kg
Počet os: 5
Přesnost: $\pm 0,08$ mm
Stupeň krytí: IP54

[28]

6.3 IRB 360-8/1130 FlexPicker

Paralelní robot IRB 360 FlexPicker je již 15 let předním robotem v oboru nejmodernějších technologií odebrání a balení předmětů. Vyniká vysokou flexibilitou na kompaktní ploše při zachování přesnosti a vysokých užitečných zatížení. Tento model má nosnost až 8 kg v pracovním prostoru o průměru 1130 mm. Robot je poháněn čtyřmi motory, třemi pro zajištění pohybu ramen a jedním pro rotaci nástrojové příruby. Nástrojová příruba nejčastěji slouží k upnutí chapadel určených pro zvedání předmětů, které pracuje v rozmezí 0,75 až 7 bar. Nejčastěji se využívá k manipulaci s průběžně balenými výrobky z dělicího pásu. Robot je konstruován pomocí kulových kloubů. [29]



Obr. 6.3 Paralelní robot IRB 360-8/1130 FlexPicker [29]

Technické údaje:

Pracovní rozsah / průměr: 2655 mm

Nosnost: 8 kg

Počet os: 4

Přesnost: $\pm 0,1$ mm

[28]

7 Roboty co pomáhají

Považuji za vhodné uvést zde alespoň nějaké příklady skutečných robotů využívaných k práci mimo běžný průmysl, převážně pak k práci v nebezpečných podmínkách, či při práci, při které je nezbytná přesnost, které člověk není schopen. Jako zástupce z tohoto odvětví robotiky jsem vybral servisního, zásahového a záchranářského robota Hardy, pyrotechnického robota tEODor a lékařský systém da Vinci.

7.1 Servisní, zásahový a záchranářský robot Hardy

V rámci projektu MPO Tandem FT-TA5/071 vyvinuly Strojírny Třinec a.s. ve spolupráci s FITE a.s. a VŠB-TU Ostrava robota HARDY. Podvozek a pohon mají původ v miniakladači Bobcat. Manipulační nadstavba, tj. rameno má 5° volnosti a její nosnost je 300 kg. Je navržena tak, aby odpovídala hmotnosti největších vyráběných tlakových lahví. Koncové chapadlo se třemi prsty lze automaticky přestavovat do dvou poloh a to do polohy s rozmístěním prstů po 120° nebo do polohy dva prsty proti jednomu. Dutinami v rameni je vedena tlaková voda až do trysky umístěné na konci mezi prsty. Voda je využívána jak pro chlazení ramene pro operace ve vysokých teplotách, tak i pro případné hašení. Tryska navíc umožňuje regulovat šířku kužele vody. Řídicí systém se skládá ze dvou částí a to ze systému umístěného přímo na robota a systému v operátorském stanovišti. Operátorské stanoviště je kufřík s počítačem, díky kterému operátor může bezdrátově pomocí WiFi řídit robota a má vizuální zpětnou vazbu včetně stereovize. Aplikace operátorského stanoviště je plně grafická, ovládaná především pákovým ovladačem a dotykovou obrazovkou. Hmotnost robota je 4 500 kg a jeho celkové rozměry jsou 3 100 x 2 060 x 2 910 mm, s vodorovným dosahem ramene 2 200 mm. Maximální průtok vody ramenem je 400 l/min s maximálním tlakem 1,2 MPa. Maximální rychlost jízdy je 10,6 km/h. [9]



Obr. 7.1 Servisní, zásahový a záchranářský robot Hardy [9]

7.2 Pyrotechnický robot tEODor

Armáda České republiky má robota tEODor ve své výzbroji od roku 2005. Je využíván jako prostředek k manipulaci v nebezpečném prostředí nebo s nebezpečným předmětem, bez přímé účasti pyrotechnika. Robot je převážně určen k prvotnímu průzkumu podezřelého materiálu ve volných prostorech, pod dopravními prostředky, v budovách nebo k zřízení přístupové cesty do uzavřených prostor. Jeho výbava se skládá z hydraulického ramene k manipulaci s nebezpečným materiálem, rentgenovým zařízením, rozstřelovacím zařízením pro likvidaci nástražných výbušných systémů a zmrazovacím zařízením k zamezení přechodu impulsu mezi roznětným prvkem a výbušninou. K robotu je možné připojit další přídatná zařízení určená k řezání plechu, vrtání otvorů do zdi, rozbíjení oken a odtahu vozidel. Robot je operátorem ovládán skrze dálkové ovládání s vizuální zpětnou vazbou. Rozměry robota jsou 1 300 x 680 x 1 100 mm v rozloženém stavu a s dosahem ramene 2 400 mm ve vodorovném směru a 4 800 mm ve směru svislém. Robot je schopen stoupat po schodišti s max. stoupáním 32° a pohybovat se rychlostí až 50 m/min. Váha celého robota i s bateriemi je 360 kg. [10]



Obr. 7.2 Robot tEODor [10]

7.3 Chirurgický systém da Vinci

Robotický systém da Vinci je robot určený pro chirurgické výkony v měkkých tkáních břicha a hrudníku. Výrobce robota je americká společnost Intuitive Surgical Inc. Je to robotická platforma, umožňující složité chirurgické výkony při minimálním invazivním přístupu. Robot má 2 nebo 3 ramena ovládající nástroje a jedno rameno pohybuje kamerou. Tato ramena celkově tvoří laparoskopický operační systém, který má za úkol simulovat pohyby lidských rukou uvnitř těla pacienta. Lékař tato robotická ramena ovládá skrze ovládací konzoli, pomocí joysticků. Zpětná vazba je realizována pomocí stereoskopického zobrazovacího kanálu.

Robotický systém da Vinci se skládá jako celek ze tří samostatných částí a to ovládací konzole, videověže a chirurgické konzole. Ovládací konzole je stanoviště operátora, který odtud ovládá pomocí dvou joysticků a nožních pedálů veškeré pohyby robotických ramen. Robotická ramena přesně kopírují pohyby chirurga zápěstí, ale je i možné nastavit některé korekce jako např. "škálovatelnost" pohybu ruky vůči pohybu ramene. Operátor průběh operace sleduje v zobrazovacím zařízení, které mu podává reálné prostorové zobrazení operačního pole. Videověž slouží především ke zpracování stereoskopického obrazu a jsou zde umístěny další přístroje potřebné pro laparoskopickou operaci jako např. zdroj světla. Na videověži je umístěn i monitor určený pro ostatní personál. Chirurgická konzole je právě ta část, která přichází do styku s pacientem. Podle konfigurace konzole obsahuje dvě nebo tři pracovní nástrojová ramena, která přímo ovládá operátor. Na konci každého z těchto ramen je umístěn robotický nástroj, podobný běžným lékařským nástrojům jako je skalpel a další. [11]



Obr. 7.3 Chirurgický systém da Vinci [11]

8 Hexapody

Hexapod robot je obecně mobilní robot, vozidlo pohybující se na podvozku tvořeným šesti končetinami. Díky tomu může robot být staticky stabilní na třech či více nohách. Díky své konstrukci má značnou možnost volnosti pohybu, jako otáčení na místě nebo chůze stranou. Díky množství končetin se robot může stále stabilně pohybovat i při postižení či ztrátě jedné nebo dvou končetin. Kromě toho ne všechny končetiny jsou potřebné pro stabilitu, proto volné končetiny mohou být použity k jiným účelům jako manipulace s předměty.

8.1 Konstrukce

Provedení Hexapodů se liší kus od kusu, ale rámcově jdou rozdělit do dvou skupin a to podle uspořádání nohou:

- **Příčně symetrické** - konstrukce inspirovaná přírodou, obdelníkové tělo se třemi končetinami na každé z delších stran.
- **Kruhově symetrické** - nohy rozmístěny na kruhovém těle po 60° , symetricky podle těžiště těla.

Většina konstrukcí zahrnuje končetiny se dvěma až šesti stupni volnosti. Konce končetin jsou převážně špičaté, ale také lepivé, či s háčky pro možnost stoupání po stěně. Vyjímkou nejsou ani kola, díky kterým se robot může pohybovat po rovném terénu velice rychle a díky stupňům volnosti končetin, na kterých jsou kola umístěna, i velmi obratně. [13]

8.2 Pohyb

Nejčastější způsoby pohybu hexapodu umožňující základní pohyb vpřed, vzad, stranou a otáčení na místě:

- **Střídavý stativ** - vždy tři končetiny jsou na zemi najednou a tři vykonávají pohyb.
- **Procházení** - pohyb vždy jen jednou končetinou po druhé, v předem daném opakujícím se sledu.

Pohyb hexapoda je většinou stabilní a to i na obtížnějším terénu.

Pohyb může být realizován také pomocí nongaited, což znamená, že sled pohybů končetin není daný, ale je volen jako nejvýhodnější v závislosti na prostředí a terénu. Ovšem stávající techniky pro plánování pohybu jsou velice drahé. [13]

9 Výběr hračky pro kinematickou studii

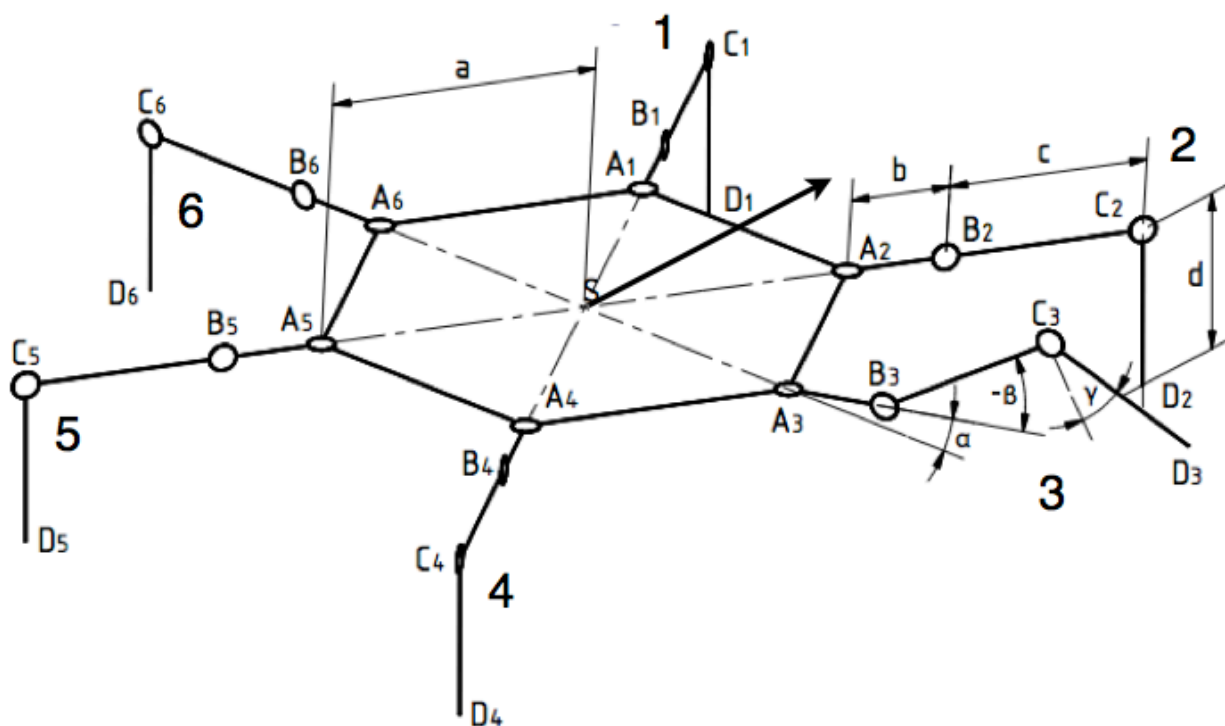
Jako hračku pro kinematickou analýzu jsem si vybral Hexapoda.

9.1 Zdůvodnění výběru

Hexapod mi díky své konstrukci připadá jako velmi zajímavý robot, protože díky svému podvozku, sestávajícímu z šesti na sobě nezávislých nohou, je schopen pohybovat se v prostředích, která zůstávají nedostupná nebo těžko dosažitelná pro jiné typy podvozků. Jeho konstrukce navíc nabízí možnost celé řady způsobů jak robotem pohybovat.

9.2 Specifikace výběru

Jako konkrétní typ robota volím Hexapoda s kruhovým uspořádáním končetin a se třemi stupni volnosti pro každou z nich. Nepopisují žádný existující model, jelikož množství prodávaných modelů je přímo závratné a z hlediska řešení kinematiky se liší jen minimálně a to v rozměrech a konstrukci omezující pracovní prostor končetin. Proto pro analýzu kinematiky navrhuji vlastní konstrukci a rozměry a jakákoli podobnost s již existujícím Hexapodem je čistě náhodná.



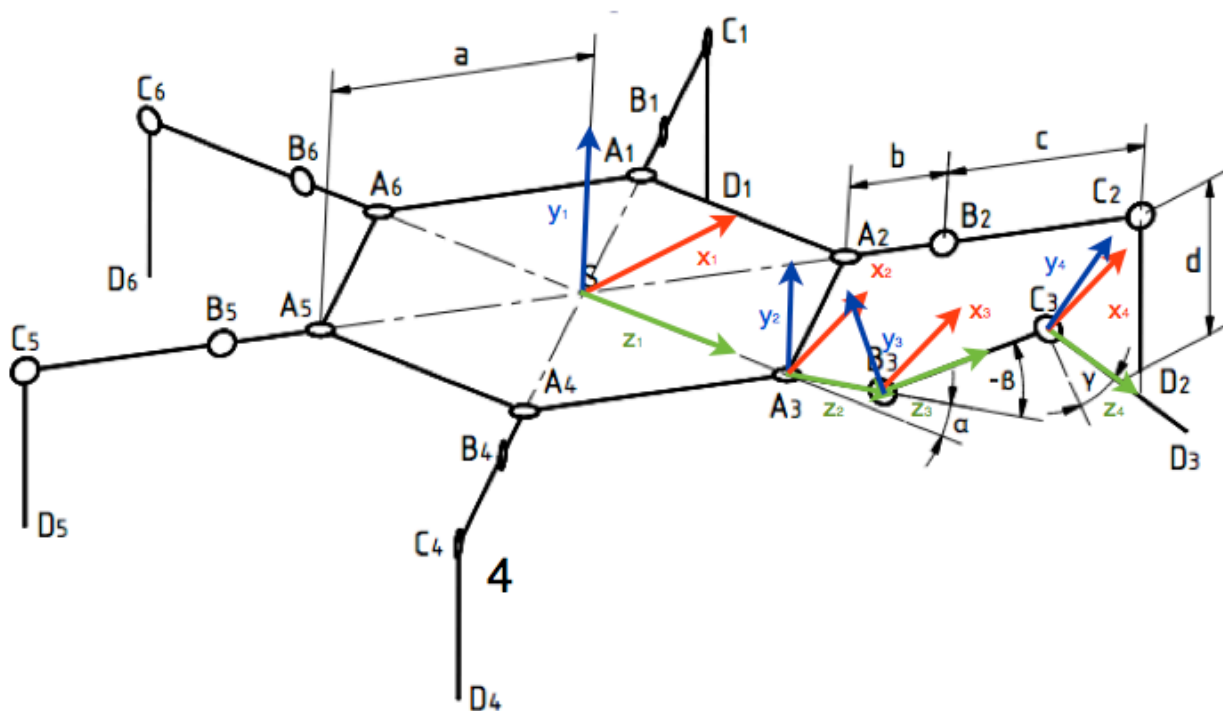
Obr. 9.2 Náhled na zvolený typ Hexapoda

10 Popis a kinematika

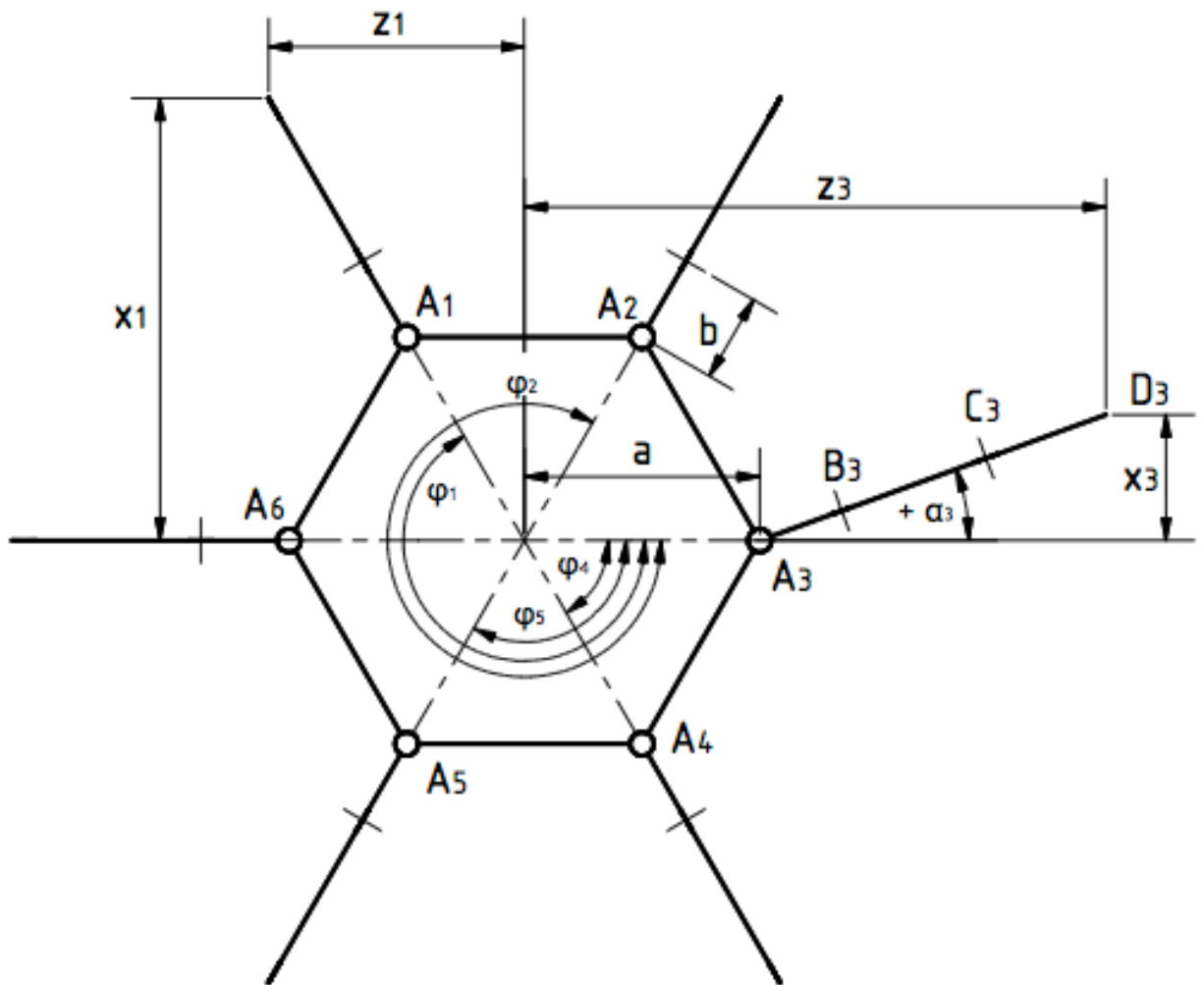
V této části představím zjednodušený schématický model Hexapoda a popis jeho kinematiky pomocí transformačních matic v prostoru. Kapitola obsahuje i nástin analytického řešení inverzní kinematiky.

10.1 Schématický popis

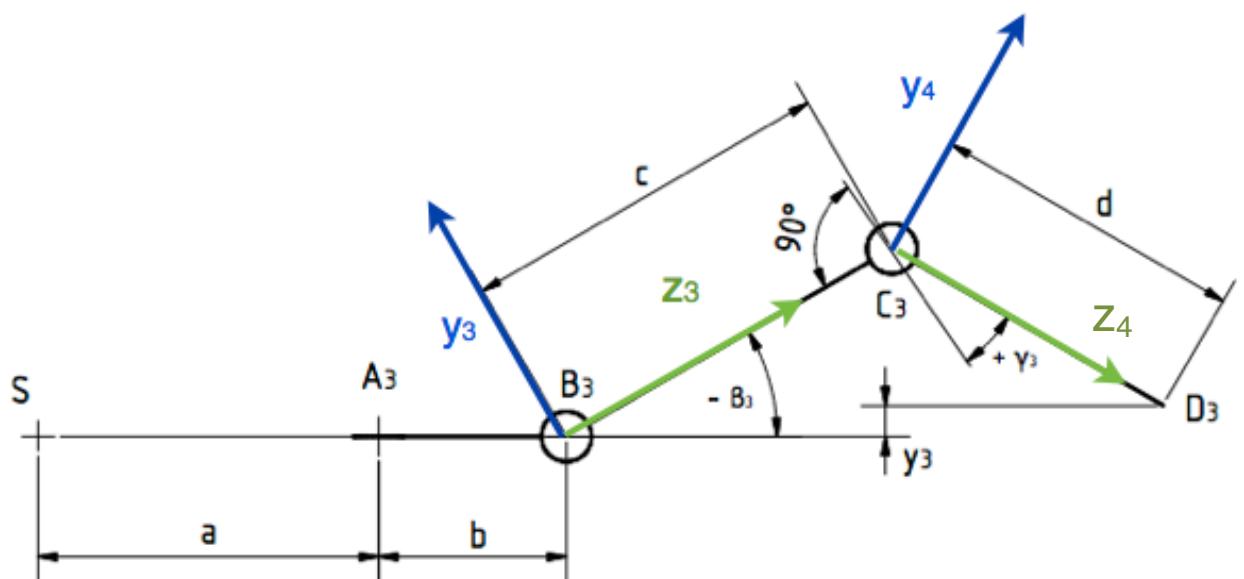
Na Obr. 10.1.1 je vyobrazen schématický model navrhlého hexapoda s obecným naznačením rozměrů. Obr. 10.1.2 ukazuje pohled na model shora pro lepší orientaci. Obr. 10.1.3 detail končetiny v obecné poloze.



Obr. 10.1.1 3D pohled na navrhovaného Hexapoda



Obr. 10.1.2 Horní pohled na navrhovaného Hexapoda



Obr. 10.1.3 Pohled na třetí končetinu v obecné poloze

10.2 Návrh rozměrů

Aby byla dodržena podmínka kruhového uspořádání noh, úhel φ musí být 60° . Ostatní rozměry **a**, **b**, **c** a **d** navrhuji tak, aby byla dodržena alespoň základní souměrnost.

$$a = 80 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$c = 70 \text{ mm}$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

10.3 Analytické řešení

Jako nejhodnější metoda pro řešení se zdá být vyjádření koncového bodu D_i obecné končetiny v souřadném systému 1, náležícímu tělu Hexapoda (1). A následné rozepsání do rovin x_i (2), y_i (3) a z_i (4). Vektor \vec{a}_i spojuje těžiště robota s prvním kloubem a vektory \vec{b}_i , \vec{c}_i , a \vec{d}_i sledují příslušnou část končetiny.

$$D_i = \vec{a}_i + \vec{b}_i + \vec{c}_i + \vec{d}_i \quad (1)$$

$$x_i = a \cdot \sin \varphi_i + (b + c \cdot \cos \beta_i + d \cdot \sin(\gamma_i - \beta_i)) \cdot \sin(\varphi_i - \alpha_i) \quad (2)$$

$$y_i = c \cdot \sin \beta_i + d \cdot \cos(\gamma_i - \beta_i) \quad (3)$$

$$z_i = a \cdot \cos \varphi_i + (b + c \cdot \cos \beta_i + d \cdot \sin(\gamma_i - \beta_i)) \cdot \cos(\varphi_i - \alpha_i) \quad (4)$$

Aby bylo analytické řešení pro inverzní kinematiku použitelné, je potřeba vyjádřit hodnoty α_i , β_i a γ_i . Výsledné vztahy označují rovnice (5), (6) a (7). Ale vzhledem k obsáhlosti a složitosti vztahů nepovažuji toto řešení za elegantní. Řešení kinematiky pomocí transformačních matic v prostoru se zdá být mnohem vhodnější. Dále jsem zavedl pomocné proměnné F (8) a Q (9), čistě pro lepší přehlednost a čitelnost rovnic.

$$\alpha_i = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{z_i - a \cdot \cos \varphi_i}{x_i - a \cdot \sin \varphi_i} \right) - \varphi_i + \frac{\pi}{2} \quad (5)$$

$$\beta_i = -2 \cdot \cos^{-1}(Q) - \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{y_i \cdot \cos(\varphi_i - \alpha_i)}{z_i - a \cdot \cos \varphi_i - b \cdot \cos(\varphi_i - \alpha_i)} \right) \quad (6)$$

$$\gamma_i = \cos^{-1} \left(\frac{c}{d} \cdot \cos(-\beta_i) - \frac{z_i - a \cdot \cos \varphi_i - b \cdot \cos(\varphi_i - \alpha_i)}{d \cdot \cos(\varphi_i - \alpha_i)} \right) + \beta_i - \frac{\pi}{2} \quad (7)$$

$$F = \sqrt{y^2 + \left(\frac{z_i - a \cdot \cos \varphi_i - b \cdot \cos(\varphi_i - \alpha_i)}{\cos(\varphi_i - \alpha_i)} \right)^2} \quad (8)$$

$$Q = \sqrt{\frac{\frac{1}{2}(c+d+F) \left(\frac{1}{2}(c+d+F) - d \right)}{F \cdot c}} \quad (9)$$

10.4 Obecné vztahy transformace

Vzorec (10) popisuje transformace koncového bodu obecné končetiny D_i , popsaného v souřadném systému 4, náležícímu poslední části končetiny do souřadného systému 1, náležícímu tělu Hexapoda. Vzorce (11), (12) a (13) popisují rozepsané transformace mezi systémy pomocí transformačních kroků. Vzorec (14) popisuje polohu koncového bodu D_i v souřadném systému $i4$.

$${}^1D_i = T_{12i} \cdot T_{23i} \cdot T_{34i} \cdot {}^4D_i \quad (10)$$

$$T_{12i} = T_{\varphi_y}(\varphi_i) \cdot T_z(a) \cdot T_{\varphi_y}(\alpha_i) \quad (11)$$

$$T_{23i} = T_z(b) \cdot T_{\varphi_x}(\beta_i) \quad (12)$$

$$T_{34i} = T_z(c) \cdot T_{\varphi_x}(90^\circ - \gamma_i) \quad (13)$$

$${}^{i4}D_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d \\ 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Matice (15), (16) a (17) popisují transformační kroky mezi systémy 1 a 2 pro obecnou končetinu. Matice (15) popisuje pootočení souřadného systému o úhel φ_i podle osy y . Matice (16) popisuje posuv systému po ose z o vzdálenost a . A matice (17) pootočení o úhel α_i obecné končetiny podle osy y . Těmito kroky je počáteční souřadný systém posunut do bodu \mathbf{A}_i , kde je osa z shodná s úsečkou $\mathbf{A}_i\mathbf{B}_i$.

$$T_{\varphi_y}(\varphi_i) = \begin{bmatrix} \cos(-\varphi_i) & 0 & \sin(-\varphi_i) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\varphi_i) & 0 & \cos(-\varphi_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$T_z(a) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$T_{\varphi_y}(\alpha_i) = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_i) & 0 & \sin(\alpha_i) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha_i) & 0 & \cos(\alpha_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Matice (18) posunuje posuv systému v ose **z** o vzdálenost **b**. Matice (19) pootáčí souřadný systém o úhel β_i podle osy **x**. Těmito kroky se souřadný systém posune do bodu **B_i**, kde osa **z**, je shodná s úsečkou **B_iC_i**.

$$T_z(b) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$T_{\varphi_x}(\beta_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta_i) & -\sin(\beta_i) & 0 \\ 0 & \sin(\beta_i) & \cos(\beta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Pomocí matice (20) dochází k posuvu ve směru osy **z** o vzdálenost **c** a matice (21) otáčí systémem o úhel γ_i podle osy **x**. Těmito kroky se souřadný systém posune do bodu **C_i**, kde osa **z** je shodná s úsečkou **C_iD_i**.

$$T_z(c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$T_{\varphi_x}(90^\circ - \gamma_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(90^\circ - \gamma_i) & -\sin(90^\circ - \gamma_i) & 0 \\ 0 & \sin(90^\circ - \gamma_i) & \cos(90^\circ - \gamma_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Tyto vztahy popisují transformace koncového bodu \mathbf{D} , i -té končetiny ze souřadného systému $i4$, do souřadného systému $\mathbf{1}$. Členy i nabývají hodnot od 1 do 6, číslo i je shodné s pořadovým číslem končetiny. Čísla končetin jsou naznačena v Obr. 10.1.1.

10.5 Konkrétní vztahy transformace

Následující vztahy (22) až (28) reprezentují transformaci polohy bodu \mathbf{D} ze souřadného systému $\mathbf{4}$ příslušné končetiny, do souřadného systému $\mathbf{1}$. Souřadnice polohy \mathbf{D}_x , \mathbf{D}_y a \mathbf{D}_z jsou závislé na úhlech α , β a γ . Při dosazení úhlů získáme pomocí příslušných vztahů souřadnice polohy bodu \mathbf{D} , v souřadném systému $\mathbf{1}$ a naopak.

10.5.1 Končetina 1

Dosazení konkrétních hodnot pro první končetinu a ukázka rozepsání matic s dosazením všech známých parametrů.

$${}^1D_1 = T_{\varphi_y}(\varphi_1) \cdot T_z(a) \cdot T_{\varphi_y}(\alpha_1) \cdot T_z(b) \cdot T_{\varphi_x}(\beta_1) \cdot T_z(c) \cdot T_{\varphi_x}(90^\circ - \gamma_1) \cdot {}^4D_1 \quad (22)$$

$${}^1D_1 = \begin{bmatrix} \cos(-120^\circ) & 0 & \sin(-120^\circ) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-120^\circ) & 0 & \cos(-120^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & \sin(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 30 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta_1) & -\sin(\beta_1) & 0 \\ 0 & \sin(\beta_1) & \cos(\beta_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 70 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(90^\circ - \gamma_1) & -\sin(90^\circ - \gamma_1) & 0 \\ 0 & \sin(90^\circ - \gamma_1) & \cos(90^\circ - \gamma_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 50 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

10.5.2 Končetina 2

Dosazení konkrétních hodnot pro druhou končetinu.

$${}^1D_2 = T_{\varphi_y}(\varphi_2) \cdot T_z(a) \cdot T_{\varphi_y}(\alpha_2) \cdot T_z(b) \cdot T_{\varphi_x}(\beta_2) \cdot T_z(c) \cdot T_{\varphi_x}(90^\circ - \gamma_2) \cdot {}^4D_2 \quad (24)$$

10.5.3 Končetina 3

Dosazení konkrétních hodnot pro třetí končetinu.

$${}^1D_3 = T_{\varphi_y}(\varphi_3) \cdot T_z(a) \cdot T_{\varphi_y}(\alpha_3) \cdot T_z(b) \cdot T_{\varphi_x}(\beta_3) \cdot T_z(c) \cdot T_{\varphi_x}(90^\circ - \gamma_3) \cdot {}^4D_3 \quad (25)$$

10.5.4 Končetina 4

Dosazení konkrétních hodnot pro čtvrtou končetinu.

$${}^1D_4 = T_{\varphi_y}(\varphi_4) \cdot T_z(a) \cdot T_{\varphi_y}(\alpha_4) \cdot T_z(b) \cdot T_{\varphi_x}(\beta_4) \cdot T_z(c) \cdot T_{\varphi_x}(90^\circ - \gamma_4) \cdot {}^4D_4 \quad (26)$$

10.5.5 Končetina 5

Dosazení konkrétních hodnot pro pátou končetinu.

$${}^1D_5 = T_{\varphi_y}(\varphi_5) \cdot T_z(a) \cdot T_{\varphi_y}(\alpha_5) \cdot T_z(b) \cdot T_{\varphi_x}(\beta_5) \cdot T_z(c) \cdot T_{\varphi_x}(90^\circ - \gamma_5) \cdot {}^4D_5 \quad (27)$$

10.5.6 Končetina 6

Dosazení konkrétních hodnot pro šestou končetinu.

$${}^1D_6 = T_{\varphi_y}(\varphi_6) \cdot T_z(a) \cdot T_{\varphi_y}(\alpha_6) \cdot T_z(b) \cdot T_{\varphi_x}(\beta_6) \cdot T_z(c) \cdot T_{\varphi_x}(90^\circ - \gamma_6) \cdot {}^4D_6 \quad (28)$$

11. Simulace pohybu

Pomocí programu Matlab simuluji pohyb hexapoda ve směru x po rovném povrchu, pro příslušný krok. Jako proměnnou volím změnu polohy koncových bodů končetin D_i , v souřadném systému 1 a jako závislou hodnoty úhlů natočení příslušných částí končetin. Samotným výstupem jsou pak grafy, zobrazující závislosti úhlů natočení jednotlivých částí končetin na změně polohy koncového bodu D v souřadném systému 1 .

11.1 Krok: Střídavý stativ

Pohyb pomocí střídavého stativu je tvořen zvednutím, posuvem a následným položením končetin 1, 3 a 5 a následným zvednutím, posuvem a položením končetin 2, 4 a 6 tak, aby koncový stav byl shodný se stavem počátečním. Tento jeden krok je nutné rozfázovat do několika samostatných částí, ve kterých je konečný stav jedné, shodný s počátečním stavem následující. Pro zjednodušení volím fáze kroku tak, aby v každé byl pohyb končetin prováděn pouze v jedné a shodné ose. Proto je krok potřeba rozfázovat do šesti částí.

11.1.1 Zvedání končetin 1, 3 a 5

Z výchozího stavu 0, kdy všechny úhly jsou rovny nule, dochází ke zdvihnutí končetin 1, 3 a 5 o 20 mm ve směru osy y_1 .

Počáteční poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3}$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3}$	1D_3	${}^1D_{3x}$	0
	${}^1D_{1y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 50
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_6	${}^1D_{6x}$	0
	${}^1D_{4y}$	- 50		${}^1D_{5y}$	- 50		${}^1D_{6y}$	- 50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{6z}$	- 180

Koncová poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3}$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3}$	1D_3	${}^1D_{3x}$	0
	${}^1D_{1y}$	- 30		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 30
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_6	${}^1D_{6x}$	0
	${}^1D_{4y}$	- 50		${}^1D_{5y}$	- 30		${}^1D_{6y}$	- 50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{6z}$	- 180

Tab. 11.1.1 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 0 - 1

11.1.2 Posuv ve směru chůze

Ze stavu **1**, kdy končetiny 1, 3 a 5 jsou zdvižené a končetiny 2, 4 a 6 ve výchozí poloze, dojde k posuvu lichých končetin o 35 mm ve směru pohybu, tj. ve směru osy x_1 a posuvu sudých končetin o stejnou vzdálenost v opačném směru. Čímž dojde k posunutí těla o 35 mm a zároveň nakročení.

Počáteční poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3}$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3}$	1D_3	${}^1D_{3x}$	0
	${}^1D_{1y}$	- 30		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 30
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_6	${}^1D_{6x}$	0
	${}^1D_{4y}$	- 50		${}^1D_{5y}$	- 30		${}^1D_{6y}$	- 50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{6z}$	- 180
Koncová poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_3	${}^1D_{3x}$	35
	${}^1D_{1y}$	- 30		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 30
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180

Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$-90\sqrt{3} - 35$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$-90\sqrt{3} + 35$	1D_6	${}^1D_{6x}$	-35
	${}^1D_{4y}$	-50		${}^1D_{5y}$	-30		${}^1D_{6y}$	-50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	-90		${}^1D_{6z}$	-180

Tab. 11.1.2 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 1 - 2

11.1.3 Pokládání končetin 1, 3 a 5

Ze stavu 2 se do stavu 3 posunou končetiny 1, 3 a 5 ve směru osy y_1 o -20 mm, čímž dojde k posunutí do výchozí hladiny a položení končetin. To má za následek, že všechny končetiny mají kontakt s podložkou.

Počáteční poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_3	${}^1D_{3x}$	35
	${}^1D_{1y}$	-30		${}^1D_{2y}$	-50		${}^1D_{3y}$	-30
	${}^1D_{1z}$	-90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$-90\sqrt{3} - 35$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$-90\sqrt{3} + 35$	1D_6	${}^1D_{6x}$	-35
	${}^1D_{4y}$	-50		${}^1D_{5y}$	-30		${}^1D_{6y}$	-50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	-90		${}^1D_{6z}$	-180
Koncová poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_3	${}^1D_{3x}$	35
	${}^1D_{1y}$	-50		${}^1D_{2y}$	-50		${}^1D_{3y}$	-50
	${}^1D_{1z}$	-90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$-90\sqrt{3} - 35$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$-90\sqrt{3} + 35$	1D_6	${}^1D_{6x}$	-35
	${}^1D_{4y}$	-50		${}^1D_{5y}$	-50		${}^1D_{6y}$	-50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	-90		${}^1D_{6z}$	-180

Tab. 11.1.3 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 2 - 3

11.1.4 Zvedání končetin 2, 4 a 6

Ze stavu 3 dojde ke zdvihnutí končetin 2, 4 a 6 ve směru osy y_1 o 20 mm.

Počáteční poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_3	${}^1D_{3x}$	35
	${}^1D_{1y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 50
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$- 90\sqrt{3} - 35$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$- 90\sqrt{3} + 35$	1D_6	${}^1D_{6x}$	- 35
	${}^1D_{4y}$	- 50		${}^1D_{5y}$	- 50		${}^1D_{6y}$	- 50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{6z}$	- 180
Koncová poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_3	${}^1D_{3x}$	35
	${}^1D_{1y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 30		${}^1D_{3y}$	- 30
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$- 90\sqrt{3} - 35$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$- 90\sqrt{3} + 35$	1D_6	${}^1D_{6x}$	- 35
	${}^1D_{4y}$	- 30		${}^1D_{5y}$	- 50		${}^1D_{6y}$	- 30
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{6z}$	- 180

Tab. 11.1.4 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 3 - 4

11.1.5 Posuv do výchozí polohy

Dojde k posunutí všech končetin tak, aby úhly α byly rovny 0, tím budou všechny **x-ové** souřadnice všech koncových bodů **D** již rovny výchozímu stavu **0**.

Počáteční poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_3	${}^1D_{3x}$	35
	${}^1D_{1y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 30		${}^1D_{3y}$	- 30
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180

Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$-90\sqrt{3} - 35$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$-90\sqrt{3} + 35$	1D_6	${}^1D_{6x}$	-35
	${}^1D_{4y}$	-30		${}^1D_{5y}$	-50		${}^1D_{6y}$	-30
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	-90		${}^1D_{6z}$	-180
Koncová poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3}$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3}$	1D_3	${}^1D_{3x}$	0
	${}^1D_{1y}$	-50		${}^1D_{2y}$	-30		${}^1D_{3y}$	-50
	${}^1D_{1z}$	-90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$-90\sqrt{3}$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$-90\sqrt{3}$	1D_6	${}^1D_{6x}$	0
	${}^1D_{4y}$	-30		${}^1D_{5y}$	-50		${}^1D_{6y}$	-30
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	-90		${}^1D_{6z}$	-180

Tab. 11.1.5 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 4 - 5

11.1.6 Pokládání končetin 2, 4 a 6

Ze stavu **5** se do stavu **6** posunou končetiny 2, 4 a 6 ve směru osy y_1 o -20 mm, čímž dojde k posunutí do výchozí hladiny a položení končetin. To má za následek, že všechny končetiny mají kontakt s podložkou a Hexapod je opět ve výchozí poloze **0**.

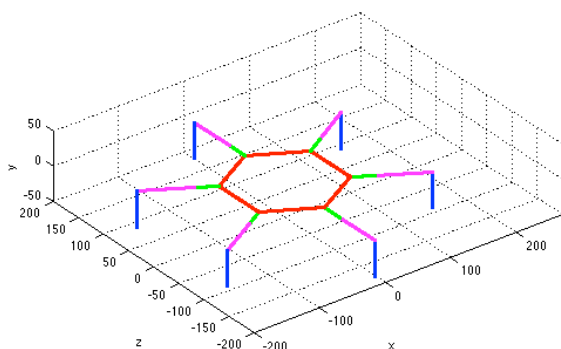
Počáteční poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3}$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3}$	1D_3	${}^1D_{3x}$	0
	${}^1D_{1y}$	-50		${}^1D_{2y}$	-30		${}^1D_{3y}$	-50
	${}^1D_{1z}$	-90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$-90\sqrt{3}$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$-90\sqrt{3}$	1D_6	${}^1D_{6x}$	0
	${}^1D_{4y}$	-30		${}^1D_{5y}$	-50		${}^1D_{6y}$	-30
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	-90		${}^1D_{6z}$	-180

Koncová poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3}$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3}$	1D_3	${}^1D_{3x}$	0
	${}^1D_{1y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 50
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_6	${}^1D_{6x}$	0
	${}^1D_{4y}$	- 50		${}^1D_{5y}$	- 50		${}^1D_{6y}$	- 50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{6z}$	- 180

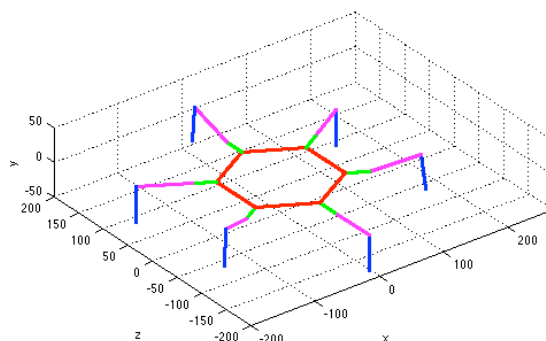
Tab. 11.1.6 Polohy koncových bodů končetin ve fázi 5 - 0

11.1.7 Grafické znázornění stavů pro Krok: Střídavý stativ

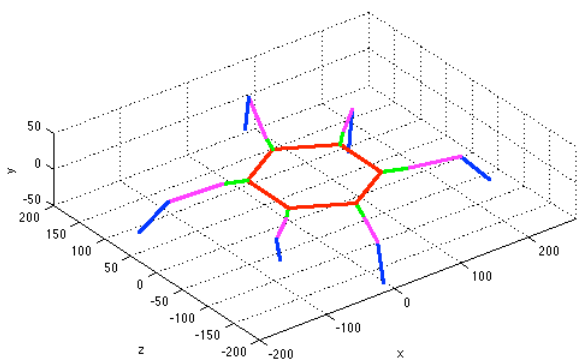
Obr. 11.1.7.1 až Obr. 11.1.7.7 ukazují polohy těla a končetin hexapodu, při kroku: střídavý stativ, rozfázovaného do sedmi částí. Každý graf znázorňuje stav příslušící ke kapitolám 11.1.7.1 až 11.1.7.6. Grafy jsou pro přehlednost uvedeny společně ve stejné kapitole, ne u příslušných částí.



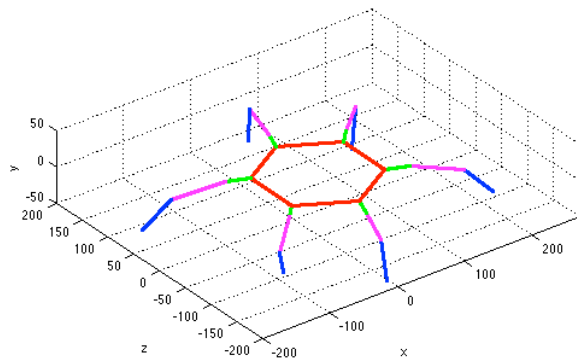
Obr. 11.1.7.1 Počáteční stav



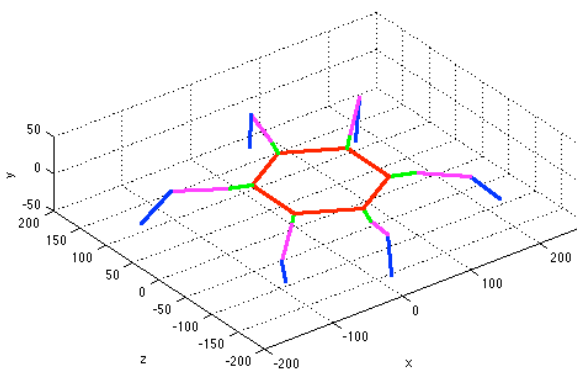
Obr. 11.1.7.2 Zvedání nohou 1, 3 a 5



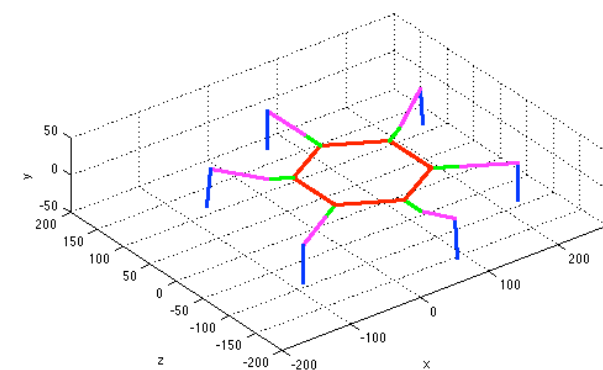
Obr. 11.1.7.3 První posun



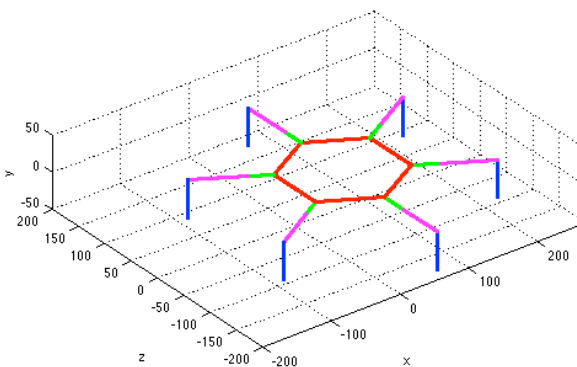
Obr. 11.1.7.4 Pokládání nohou 1, 3 a 5



Obr. 11.1.7.5 Zvedání nohou 2, 4 a 6



Obr. 11.1.7.6 Druhý posun



Obr. 11.1.7.7 Pokládání nohou 2, 4 a 6

11.2 Krok: Procházení

Ucelený krok, čili pohyb tvořený jedním krokem každé končetiny, je v provedení procházení realizován postupným přesunem každé končetiny zvlášť v určeném pořadí. Sled končetin volím takto: 1; 3; 5; 2; 4; 6;. Samotný pohyb každé končetiny bude rozdělen do tří samostatných částí tak, aby vždy docházelo ke změně polohy pouze vzhledem k jedné ose. Velikost kroku je pro každou končetinu stejný.

Jako nejjednodušší variantu realizace tohoto kroku volím variantu, kdy nejprve dojde k posunu polohy těla vzhledem ke končetinám ve směru pohybu, nadále pohyby samotných končetin a vyrovnání polohy těla do počátečního stavu.

Pro přehlednost řadím pohyby končetin chronologicky, jelikož na výsledek to nemá vliv.

11.2.1 Vysunutí těla

Z výchozího stavu $\mathbf{0}$, kdy natočení úhlů α , β , a γ jsou pro každou končetinu rovny 0, dojde k vysunutí těla Hexapoda ve směru osy x o 35 mm. Což v praxi znamená posuv všech končetin vzhledem k souřadnému systému $\mathbf{1}$ ve směru osy x o - 35 mm současně.

Počáteční poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3}$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3}$	1D_3	${}^1D_{3x}$	0
	${}^1D_{1y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 50
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$- 90\sqrt{3}$	1D_6	${}^1D_{6x}$	0
	${}^1D_{4y}$	- 50		${}^1D_{5y}$	- 50		${}^1D_{6y}$	- 50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{6z}$	- 180
Koncová poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_3	${}^1D_{3x}$	- 35
	${}^1D_{1y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 50
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180

Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$-90\sqrt{3} - 35$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$-90\sqrt{3} - 35$	1D_6	${}^1D_{6x}$	-35
	${}^1D_{4y}$	-50		${}^1D_{5y}$	-50		${}^1D_{6y}$	-50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	-90		${}^1D_{6z}$	-180

Tab. 11.2.1 Polohy koncových bodů D při vysunutí těla

11.2.2 Pohyb končetiny 1

Následující Tab. 11.2.2 reprezentuje samostatný pohyb končetiny 1, rozfázovaný na zvedání, posunutí a položení končetiny. Zvedání je provedeno posunutím koncového bodu D ve směru osy y_1 o 20 mm. Posunutí je tvořeno plynulou změnou polohy bodu D ve směru osy x_1 o 70 mm a pokládání posunem stejného bodu ve směru osy y_1 o -20 mm.

Počáteční poloha								
Zvedání			Posun			Pokládání		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$
	${}^1D_{1y}$	-50		${}^1D_{1y}$	-30		${}^1D_{1y}$	-30
	${}^1D_{1z}$	-90		${}^1D_{1z}$	-90		${}^1D_{1z}$	-90
Koncová poloha								
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$
	${}^1D_{1y}$	-30		${}^1D_{1y}$	-30		${}^1D_{1y}$	-50
	${}^1D_{1z}$	-90		${}^1D_{1z}$	-90		${}^1D_{1z}$	-90

Tab. 11.2.2 Poloha koncového bodu D_1 pro zvednutí, posun a položení

11.2.3 Pohyb končetiny 2

Následující Tab. 11.2.3 reprezentuje samostatný pohyb končetiny 2, rozfázovaný na zvedání, posunutí a položení končetiny. Zvedání je provedeno posunutím koncového bodu D ve směru osy y_1 o 20 mm. Posunutí je tvořeno plynulou změnou polohy bodu D ve směru osy x_1 o 70 mm a pokládání posunem stejného bodu ve směru osy y_1 o -20 mm.

Počáteční poloha								
Zvedání			Posun			Pokládání		
1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} + 35$
	${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 30		${}^1D_{2y}$	- 30
	${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{2z}$	90
Koncová poloha								
1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} - 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} + 35$
	${}^1D_{2y}$	- 30		${}^1D_{2y}$	- 30		${}^1D_{2y}$	- 50
	${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{2z}$	90

Tab. 11.2.3 Poloha koncového bodu D_2 pro zvednutí, posun a položení

11.2.4 Pohyb končetiny 3

Následující Tab. 11.2.4 reprezentuje samostatný pohyb končetiny 3, rozfázovaný na zvedání, posunutí a položení končetiny. Zvedání je provedeno posunutím koncového bodu **D** ve směru osy y_1 o 20 mm. Posunutí je tvořeno plynulou změnou polohy bodu **D** ve směru osy x_1 o 70 mm a pokládání posunem stejného bodu ve směru osy y_1 o - 20 mm.

Počáteční poloha								
Zvedání			Posun			Pokládání		
1D_3	${}^1D_{3x}$	- 35	1D_3	${}^1D_{3x}$	- 35	1D_3	${}^1D_{3x}$	35
	${}^1D_{3y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 30		${}^1D_{3y}$	- 30
	${}^1D_{3z}$	180		${}^1D_{3z}$	180		${}^1D_{3z}$	180
Koncová poloha								
1D_3	${}^1D_{3x}$	- 35	1D_3	${}^1D_{3x}$	35	1D_3	${}^1D_{3x}$	35
	${}^1D_{3y}$	- 30		${}^1D_{3y}$	- 30		${}^1D_{3y}$	- 50
	${}^1D_{3z}$	180		${}^1D_{3z}$	180		${}^1D_{3z}$	180

Tab. 11.2.4 Poloha koncového bodu D_3 pro zvednutí, posun a položení

11.2.5 Pohyb končetiny 4

Následující Tab. 11.2.5 reprezentuje samostatný pohyb končetiny 4, rozfázovaný na zvedání, posunutí a položení končetiny. Zvedání je provedeno posunutím koncového bodu **D** ve směru

osy y_1 o 20 mm. Posunutí je tvořeno plynulou změnou polohy bodu **D** ve směru osy x_1 o 70 mm a pokládání posunem stejného bodu ve směru osy y_1 o - 20 mm.

Počáteční poloha								
Zvedání			Posun			Pokládání		
1D_4	${}^1D_{4x}$	- 90 $\sqrt{3}$ - 35	1D_4	${}^1D_{4x}$	- 90 $\sqrt{3}$ - 35	1D_4	${}^1D_{4x}$	- 90 $\sqrt{3}$ + 35
	${}^1D_{4y}$	- 50		${}^1D_{4y}$	- 30		${}^1D_{4y}$	- 30
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{4z}$	90
Koncová poloha								
1D_4	${}^1D_{4x}$	- 90 $\sqrt{3}$ - 35	1D_4	${}^1D_{4x}$	- 90 $\sqrt{3}$ + 35	1D_4	${}^1D_{4x}$	- 90 $\sqrt{3}$ + 35
	${}^1D_{4y}$	- 30		${}^1D_{4y}$	- 30		${}^1D_{4y}$	- 50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{4z}$	90

Tab. 11.2.5 Poloha koncového bodu D_4 pro zvednutí, posun a položení

11.2.6 Pohyb končetiny 5

Následující Tab. 11.2.6 reprezentuje samostatný pohyb končetiny 5, rozfázovaný na zvedání, posunutí a položení končetiny. Zvedání je provedeno posunutím koncového bodu **D** ve směru osy y_1 o 20 mm. Posunutí je tvořeno plynulou změnou polohy bodu **D** ve směru osy x_1 o 70 mm a pokládání posunem stejného bodu ve směru osy y_1 o - 20 mm.

Počáteční poloha								
Zvedání			Posun			Pokládání		
1D_5	${}^1D_{5x}$	- 90 $\sqrt{3}$ - 35	1D_5	${}^1D_{5x}$	- 90 $\sqrt{3}$ - 35	1D_5	${}^1D_{5x}$	- 90 $\sqrt{3}$ + 35
	${}^1D_{5y}$	- 50		${}^1D_{5y}$	- 30		${}^1D_{5y}$	- 30
	${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{5z}$	- 90
Koncová poloha								
1D_5	${}^1D_{5x}$	- 90 $\sqrt{3}$ - 35	1D_5	${}^1D_{5x}$	- 90 $\sqrt{3}$ + 35	1D_5	${}^1D_{5x}$	- 90 $\sqrt{3}$ + 35
	${}^1D_{5y}$	- 30		${}^1D_{5y}$	- 30		${}^1D_{5y}$	- 50
	${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{5z}$	- 90

Tab. 11.2.6 Poloha koncového bodu D_5 pro zvednutí, posun a položení

11.2.7 Pohyb končetiny 6

Následující Tab. 11.2.7 reprezentuje samostatný pohyb končetiny 7, rozfázovaný na zvedání, posunutí a položení končetiny. Zvedání je provedeno posunutím koncového bodu **D** ve směru osy y_1 o 20 mm. Posunutí je tvořeno plynulou změnou polohy bodu **D** ve směru osy x_1 o 70 mm a pokládání posunem stejného bodu ve směru osy y_1 o - 20 mm.

Počáteční poloha								
Zvedání			Posun			Pokládání		
1D_6	${}^1D_{6x}$	- 35	1D_6	${}^1D_{6x}$	- 35	1D_6	${}^1D_{6x}$	35
	${}^1D_{6y}$	- 50		${}^1D_{6y}$	- 30		${}^1D_{6y}$	- 30
	${}^1D_{6z}$	- 180		${}^1D_{6z}$	- 180		${}^1D_{6z}$	- 180
Koncová poloha								
1D_6	${}^1D_{6x}$	- 35	1D_6	${}^1D_{6x}$	35	1D_6	${}^1D_{6x}$	35
	${}^1D_{6y}$	- 30		${}^1D_{6y}$	- 30		${}^1D_{6y}$	- 50
	${}^1D_{6z}$	- 180		${}^1D_{6z}$	- 180		${}^1D_{6z}$	- 180

Tab. 11.2.2 Poloha koncového bodu D_6 pro zvednutí, posun a položení

11.2.8 Posunutí těla do výchozí polohy

Tento krok by šel nazvat zrcadlovým ke kroku 11.2.1 *Vysunutí těla*, jelikož se jedná o velmi podobný pohyb, při kterém se pohybují všechny koncové body končetin ve směru osy x_1 o stejnou vzdálenost.

Z tohoto stavu dojde k posunu těla Hexapoda o 35 mm ve směru osy x_1 , čímž se dostane do stavu shodným s výchozím. Konkrétně je tento pohyb umožněn současným pohybem všech koncových bodů končetin **D** ve směru osy x_1 o - 35 mm.

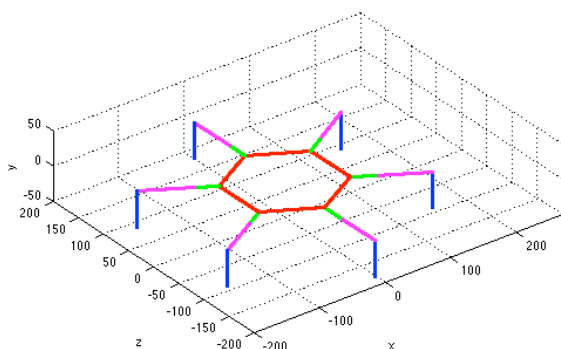
Počáteční poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3} + 35$	1D_3	${}^1D_{3x}$	35
	${}^1D_{1y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 50
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180

Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$-90\sqrt{3} + 35$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$-90\sqrt{3} + 35$	1D_6	${}^1D_{6x}$	35
	${}^1D_{4y}$	- 50		${}^1D_{5y}$	- 50		${}^1D_{6y}$	-50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{6z}$	- 180
Koncová poloha								
Končetina 1 [mm]			Končetina 2 [mm]			Končetina 3 [mm]		
1D_1	${}^1D_{1x}$	$90\sqrt{3}$	1D_2	${}^1D_{2x}$	$90\sqrt{3}$	1D_3	${}^1D_{3x}$	0
	${}^1D_{1y}$	- 50		${}^1D_{2y}$	- 50		${}^1D_{3y}$	- 50
	${}^1D_{1z}$	- 90		${}^1D_{2z}$	90		${}^1D_{3z}$	180
Končetina 4 [mm]			Končetina 5 [mm]			Končetina 6 [mm]		
1D_4	${}^1D_{4x}$	$-90\sqrt{3}$	1D_5	${}^1D_{5x}$	$-90\sqrt{3}$	1D_6	${}^1D_{6x}$	0
	${}^1D_{4y}$	- 50		${}^1D_{5y}$	- 50		${}^1D_{6y}$	-50
	${}^1D_{4z}$	90		${}^1D_{5z}$	- 90		${}^1D_{6z}$	- 180

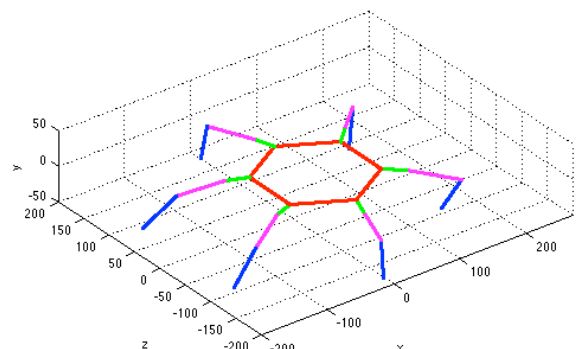
Tab. 11.2.8 Polohy koncových bodů D při vyrovnání pozice těla

11.2.9 Grafické znázornění stavů pro Krok: Procházení

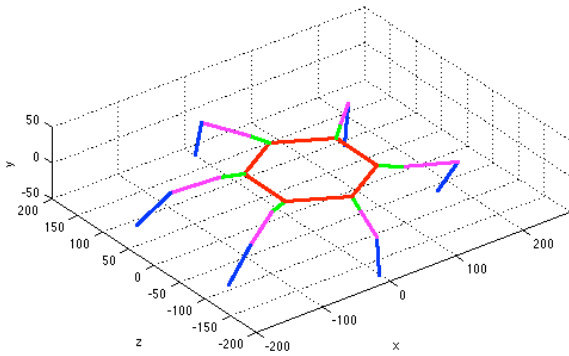
Obr. 11.2.9.1 až Obr. 11.2.9.11 ukazují polohy těla a končetin hexapodu, při kroku: procházení, rozfázovaného do osmi částí. Každý graf znázorňuje stav příslušící ke kapitolám 11.2.9.1 až 11.2.9.8. Obr. 11.2.9.3 až 11.2.9.5 ukazují pohyb končetiny 1 jako rozfázovaný pohyb. Jelikož je toto rozfázování shodné pro všechny ostatní končetiny, nepovažují za nutné, z důvodu přehlednosti a úspory místa, toto rozfázování uvádět pro každou končetinu. Grafy jsou pro přehlednost uvedeny společně ve stejné kapitole, ne u příslušných částí.



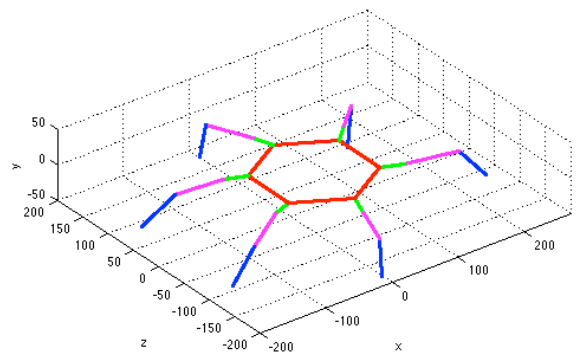
Obr. 11.2.9.1 Počáteční stav



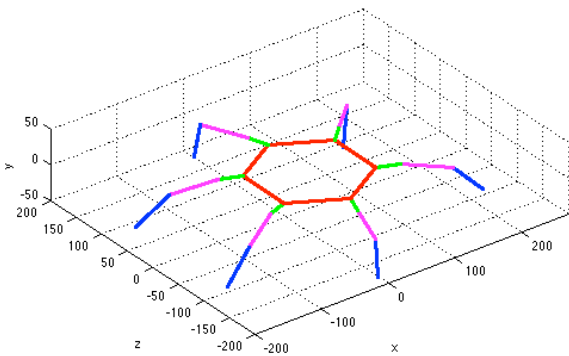
Obr. 11.2.9.2 Vysunutí těla



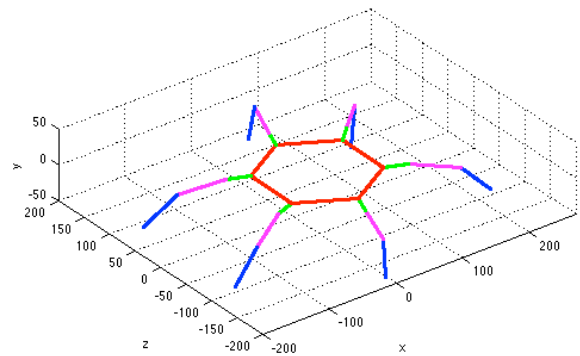
Obr. 11.2.9.3 Zvedání nohy 1



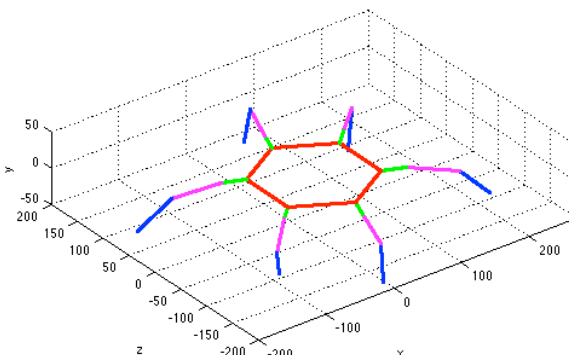
Obr. 11.2.9.4 Posun nohy 1



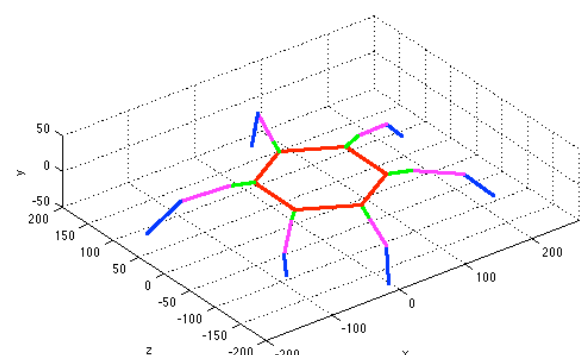
Obr. 11.2.9.5 Položení nohy 1



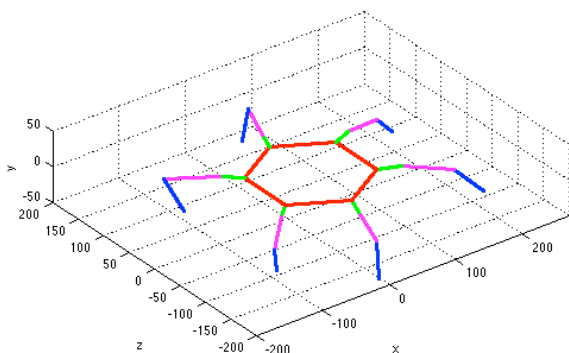
Obr. 11.2.9.6 Posun nohy 3



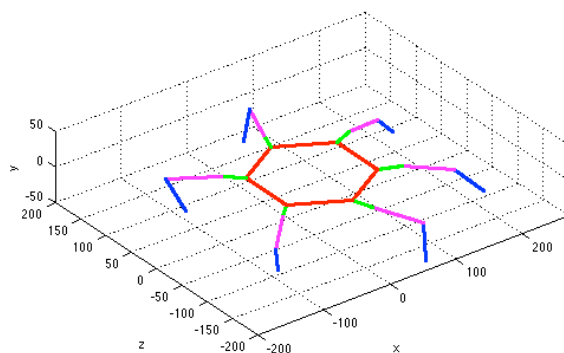
Obr. 11.2.9.7 Posun nohy 5



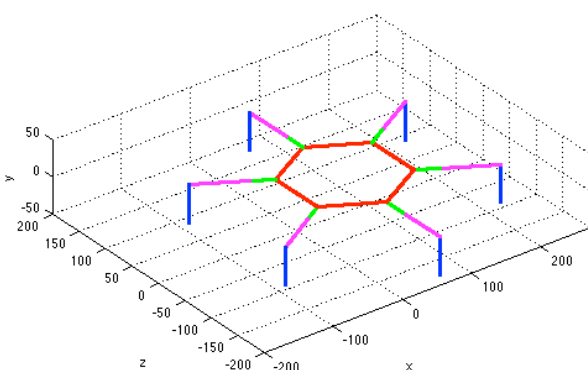
Obr. 11.2.9.8 Posun nohy 2



Obr. 11.2.9.9 Posun nohy 4



Obr. 11.2.9.10 Posun nohy 6



Obr. 11.2.9.11 Srovnání těla

11.3 Vlastní výpočet

Jako nejnvýhodnější proměnná se zdá být poloha koncového bodu končetiny D a jako závislá úhly natočení α , β a γ . Ze zápisu rovnice (23), jelikož se jedná o násobení více matic, je zřejmé, že analytické řešení, tj. vyjádření neznámých α , β a γ v závislosti na souřadnicích D_x , D_y a D_z , není možné nebo velice obtížné. Proto je potřeba přistoupit k numerickému řešení.

$$\begin{bmatrix} {}^1D_{1x} \\ {}^1D_{1y} \\ {}^1D_{1z} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-120^\circ) & 0 & \sin(-120^\circ) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-120^\circ) & 0 & \cos(-120^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\alpha_1) & 0 & \sin(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha_1) & 0 & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \\
\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 30 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta_1) & -\sin(\beta_1) & 0 \\ 0 & \sin(\beta_1) & \cos(\beta_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 70 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \\
\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(90^\circ - \gamma_1) & -\sin(90^\circ - \gamma_1) & 0 \\ 0 & \sin(90^\circ - \gamma_1) & \cos(90^\circ - \gamma_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 50 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Pro tento konkrétní případ, při řešení v programu Matlab, se jeví jako nejlepší numerické řešení pomocí funkce `fminsearch`, což je funkce pro nalezení lokálního nebo globálního minima funkce s více proměnných s počátečním odhadem. Funkce `fminsearch` mění hodnotu parametrů funkce simplexovou metodou. Cílová funkce je součet kvadratických odchylek řešení, kvadratických proto, aby nedošlo k ovlivnění výsledku vzájemným snížením nebo vyrušením odchylky pomocí opačných znamének, či směřování výsledku do záporného nekonečna. Hledá nejmenší chybu řešení pomocí kritériální funkce, která je jí předána jako první parametr. Kritériální funkce vrací hodnotu, která je tím menší, čím je výsledek přesnější.

$$[\text{vysledek}] = \text{fminsearch}(@(\text{uhly}) \text{cilova}(\text{uhly}, \text{parametry}), \text{odhad}, \text{options}) \quad (29)$$

Výsledkem `[vysledek]` jsou hodnoty úhlů α , β a γ . Funkce cílová je funkce, která vrací hodnotu součtu kvadratických odchylek úhlů od přesného řešení. Odhad je počáteční vektor hodnot, odhad výsledku, ze kterého funkce vychází. Jako nejvýhodnější se jeví nulové hodnoty, což bylo empiricky ověřeno. Parametr `options` označuje vnitřní nastavení funkce, jako požadovanou přesnost, počet cyklů, či zobrazování mezivýsledků.

12 Závěr

Tato práce měla za cíl zmapovat, jaké mechanismy se v současné době používají v mechatronických hračkách a v robotice obecně, provést jejich základní rozdělení a pro jeden vybraný mechanismus vytvořit simulační kinematický model.

Po přečtení částí **3** až **8** by čtenář měl být seznámen se základními pojmy z mechatroniky a robotiky, mít pojem o dostupných robotických hračkách a možnostech rozdělování robotů podle různých kritérií. Jako stěžejní je uveden způsob dělení dle typu podvozku, který je v tomto případě nejpřehlednější a nejpoužitelnější, jelikož dominantní část robotických hraček je mobilních.

V části **9** a **10** jsem rozměrově navrhl hexapod robota s kruhovým uspořádáním nohou a třemi stupni volnosti pro každou z nich. Pomocí transformačních matic jsem popsals jeho kinematiku. Poloha každého koncového bodu ramene hexapod robota je vyjádřena vzhledem k souřadnicovému systému umístěnému v těžišti těla robota. Tato poloha je realizována natočením úhlů α , β , a γ příslušné končetiny. Právě velikosti těchto úhlů definují přesnou polohu každé končetiny.

V části **9** jsem provedl simulaci pohybu hexapod robota v přímém směru po rovném povrchu různými způsoby pomocí programu Matlab.

První způsob: chůze pomocí střídavého stavivu. Výstupem jsou grafy, znázorňující polohu a natočení robota pro příslušnou fázi kroku. Grafy závislosti úhlů na poloze koncových bodů příslušných končetin konajících krok jsou uvedeny v příloze.

Druhý způsob: procházení. I zde jsou výstupem grafy, znázorňující polohu a natočení robota pro příslušnou fázi kroku. Grafy závislosti úhlů na poloze koncových bodů příslušných končetin konajících krok jsou také uvedeny v příloze.

Při srovnání těchto dvou metod chůze hexapod robota, za předpokladu, že pohyb je konán konstantní rychlostí, je zřejmé, že chůze pomocí střídavého stavivu je 3x rychlejší. Při použití střídavého stavivu konají pohyb vždy tři končetiny naráz oproti způsobu procházení, kde se pohybuje pouze jedna končetina.

Avšak metoda procházení, ač je pomalejší, lze realizovat i se čtyřmi funkčními končetinami, v případě poškození, což v případě střídavého stavivu nelze.

Bodové zhodnocení podle vytyčených cílů práce uvedených v kapitole 2:

1. Bod jedna, rozdělení robotických mechanismů, byl splněn v kapitole 4, kde jsou roboty rozděleny do skupin podle různých kritérií.
2. Jako druhý cíl bylo stanoveno seznámit čtenáře s různými robotickými mechanismy, mechatronickými hračkami. Tento bod byl splněn v kapitolách 3, 4, 5 a 6.
3. Cíl práce vytyčený bodem tři, provést popis a analýzu jednoho vybraného mechanismu, je splněn v kapitolách 8 a 9. V těchto kapitolách jsem popsal a navrhl robota, vhodného pro následnou kinematickou analýzu.
4. Kinematický popis vybraného mechanismu, odpovídající čtvrtému cíli práce, je splněn v kapitole 10, kde je kinematika robota popsána pomocí transformačních matic.
5. Tento podbod, simulace mechanismu v prostředí Matlab, je splněn v kapitole 11, kde jsou pomocí programu Matlab vykresleny polohy mechanismu provádějícího krok. Podrobné vykreslení závislosti úhlů natočení končetin na změně polohy je v příloze.

Všechny body zadání tak byly splněny. Vytvořený simulační model lze dále využít pro výpočet a plánování trajektorie složitějších pohybů, jako je otáčení robota a chůze po nerovném povrchu.

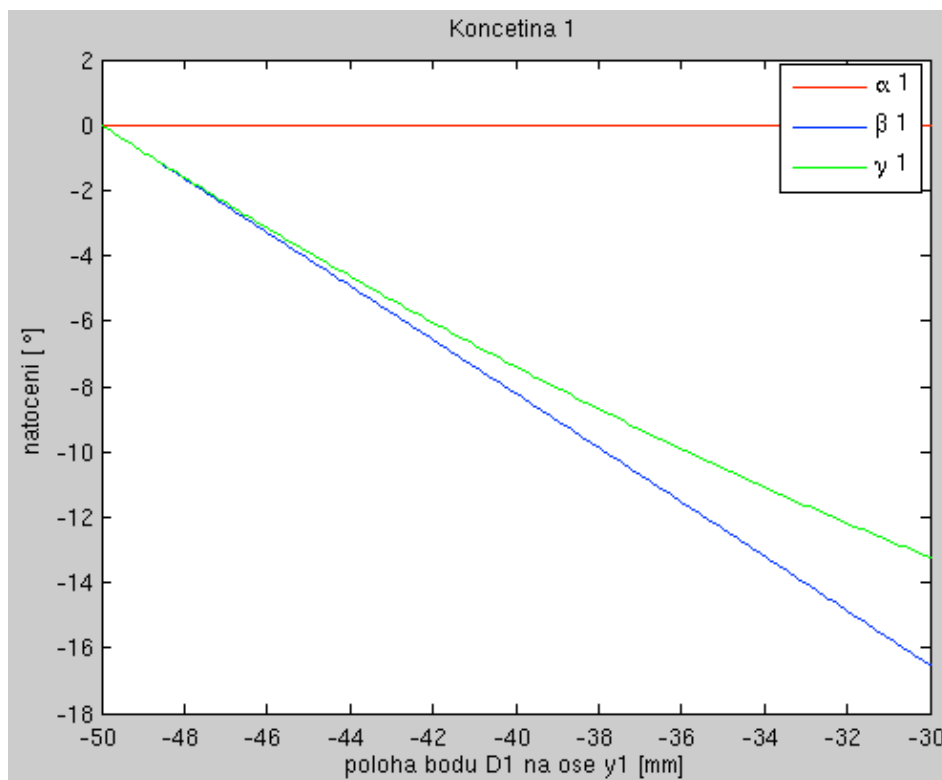
Seznam použitých zdrojů

- [1] Stejskal, V., Valášek, M.: Kinematics and Dynamics of Machinery, Marcel Dekker, Inc., New York 1996
- [2] Novák, P.: Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení, BEN - Technická literatura, Praha 2005
- [3] Dokumentace prostředí Matlab [online], [cit. 06-2015]
<http://www.mathworks.com>
- [4] WIKIPEDIE Otevřená encyklopedie, Hračka [online], [cit. 06-2015]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Hračka>
- [5] KNÁPEK, Z., TITĚRA, D. (2002): Rukověť sběratele hraček. Rubico, Olomouc
ISBN 80-85839-74-1
- [6] Šolc F., Žalud L.: Robotika. VUT Brno 2002 [online], [cit. 06-2015]
http://matescb.skvorsmalt.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf
- [7] NETRVALOVÁ, Arnoštka. Úvod do problematiky multiagentních systémů [online], [cit. 06-2015]
<http://www.kiv.zcu.cz/~netrvalo/phd/MAS.pdf>
- [8] Automatizace.cz, Odborný časopis pro automatizaci, měření a inženýrskou informatiku [online], [cit. 06-2015]
<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1712>
- [9] Požáry.cz Ohnisko žhavých zpráv [online], [cit. 06-2015]
<http://www.pozary.cz/clanek/46151-servisni-zasahovy-a-zachranarsky-robot-hardy/>
- [10] Army.cz, Robot EOD tEODor, [online], [cit. 06-2015]
<http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=6343>
- [11] CSRECH ČLLS JEP (Česká společnost robotické chirurgie) [online], [cit. 06-2015]
<http://www.csrch.cz/davinci-system.html>
- [12] Stargen EU s.r.o., Robotický systém da Vinci [online], [cit. 06-2015]
<http://stargen-eu.cz/produkty/da-vinci/>
- [13] Micromagic systems [online], [cit. 06-2015]
<http://www.hexapodrobot.com/information.html>
- [14] LEGO [online], [cit. 06-2015]
<http://mindstorms.lego.com/en-gb/default.aspx?icmp=COUKFR26MINDSTORMS>
- [15] OwiRobots.com [online], [cit. 06-2015]
<http://www.owirobots.com/cart/index.php>

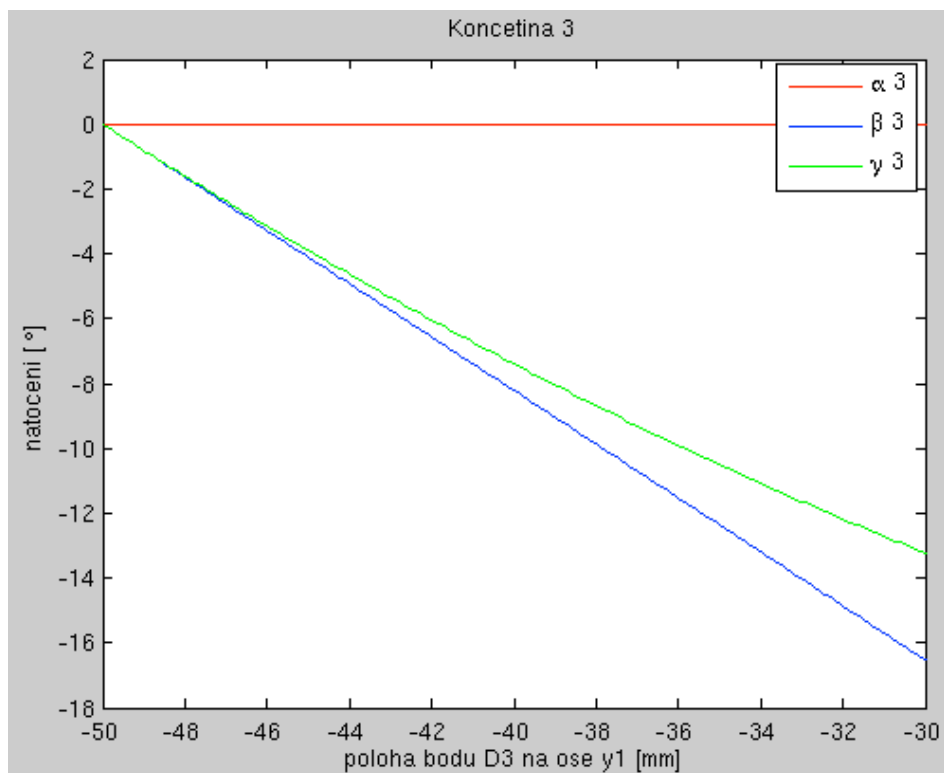
- [16] HEXBUG Micro Robotic Creatures [online], [cit. 06-2015]
<http://www.hexbug.com/>
- [17] Meccano [online], [cit. 06-2015]
<http://www.meccano.com/models/spykee-the-wifi-spy-robot.html/>
- [18] Pleo [online], [cit. 06-2015]
http://www.pleoworld.com/pleo_rb/eng/index.php
- [19] Rovio™ - WowWee [online], [cit. 06-2015]
<http://www.wowwee.com/en/products/tech/telepresence/rovio/rovio>
- [20] MANOI PF01 - Kyosho [online], [cit. 06-2015]
<http://www.kyosho.com/jpn/products/robot/pf01/pf01.html>
- [21] Lynxmotion - AH3-R [online], [cit. 06-2015]
<http://www.lynxmotion.com/c-92-ah3-r.aspx>
- [22] O. Andrš: ŘÍDÍCÍ SYSTÉM PRO MOBILNÍ KOLOVÉ ROBOTY [online], [cit. 06-2015]
http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2007/DP_Andrs.pdf
- [23] HONDA The power of dreams [online], [cit. 06-2015]
<http://world.honda.com/ASIMO/>
- [24] DARPA [online], [cit. 06-2015]
<http://www.darpa.mil/newsevents/releases/2012/02/07.aspx>
- [25] Mondo Spider [online], [cit. 06-2015]
<http://www.mondospider.com/>
- [26] Roboti.cz Vše o průmyslových robotech [online], [cit. 06-2015]
<http://www.robots.cz/test/robotizace-v-prumyslu/svarovani-kovovyroba>
- [27] ABB power and productivity for better world TM [online], [cit. 06-2015]
<http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-1600id>
- [28] FANUC [online], [cit. 06-2015]
<http://www.fanuc.eu/cz/cs/robots/stránka-filtru-robotů/r-2000-series/r-2000ib-100h>
- [29] ABB power and productivity for better world TM [online], [cit. 06-2015]
<http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-360>

Přílohy

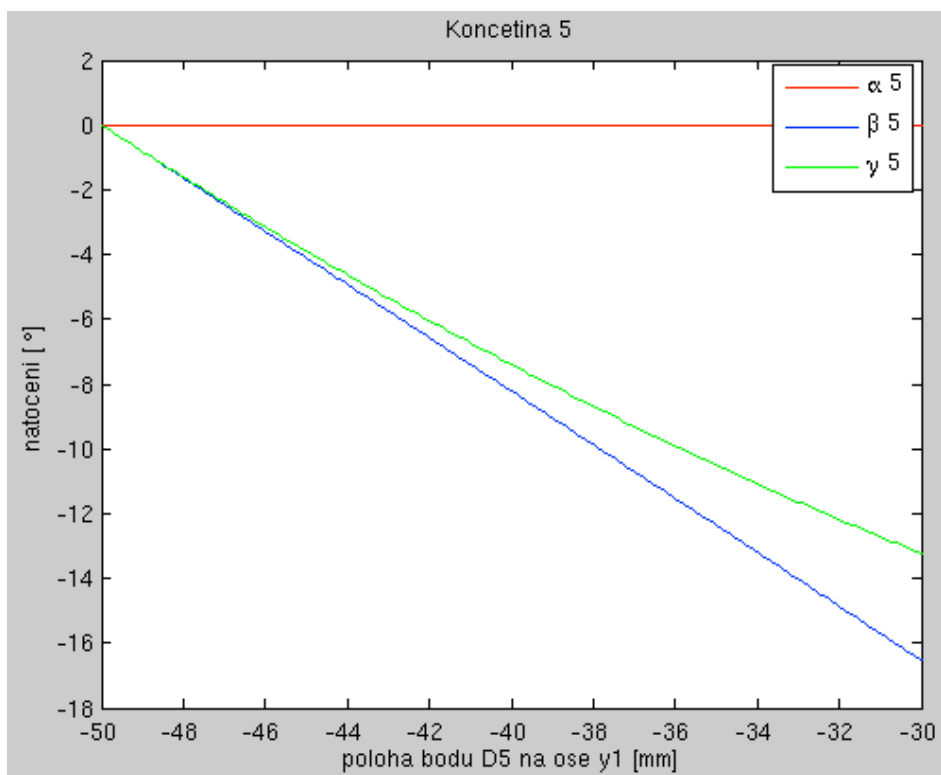
Grafy znázorňující natočení úhlů na změně polohy koncového bodu končetiny



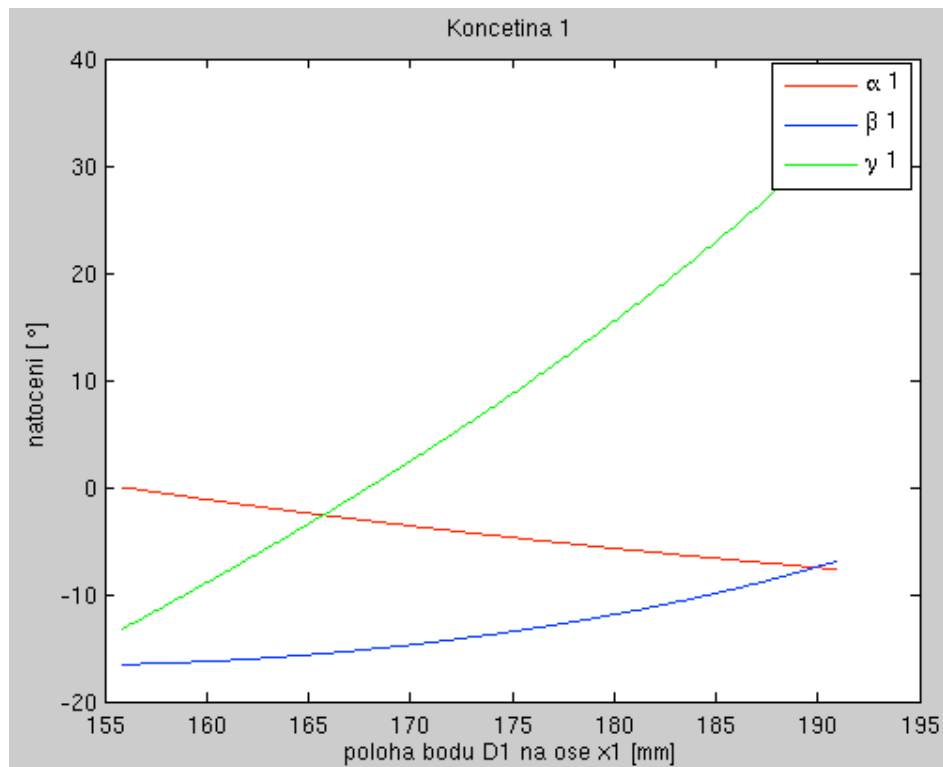
Obr. 9.1.1.1 Závislost úhlů α_1 , β_1 , a γ_1 na změně polohy bodu D_1 ve fázi 0 - 1



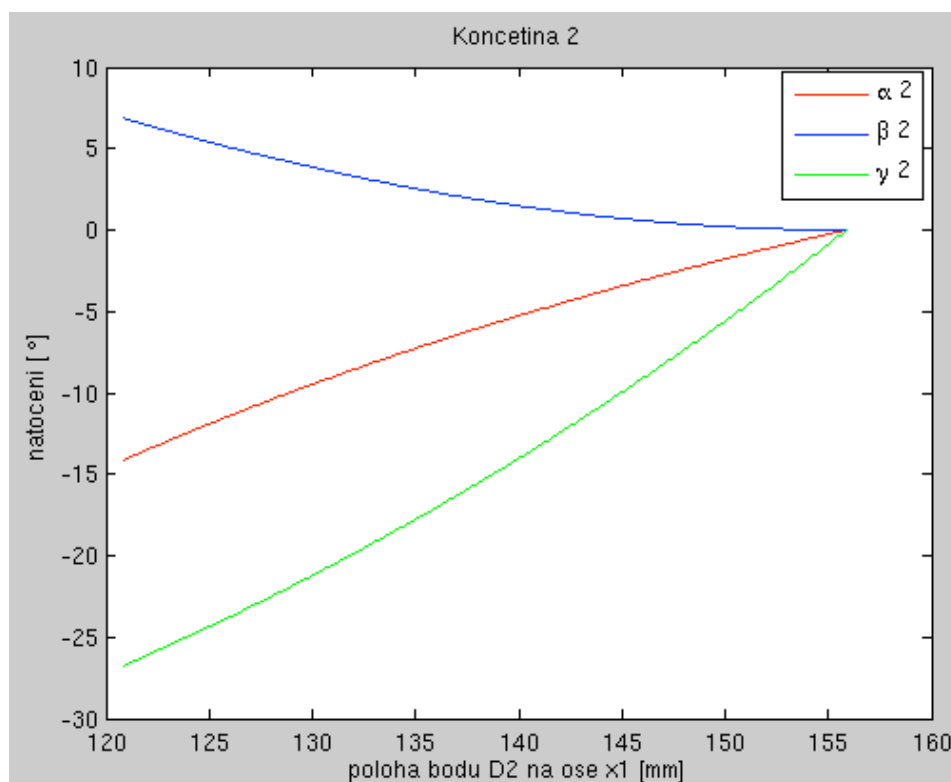
Obr. 9.1.1.2 Závislost úhlů α_3 , β_3 , a γ_3 na změně polohy bodu D_3 ve fázi 0 - 1



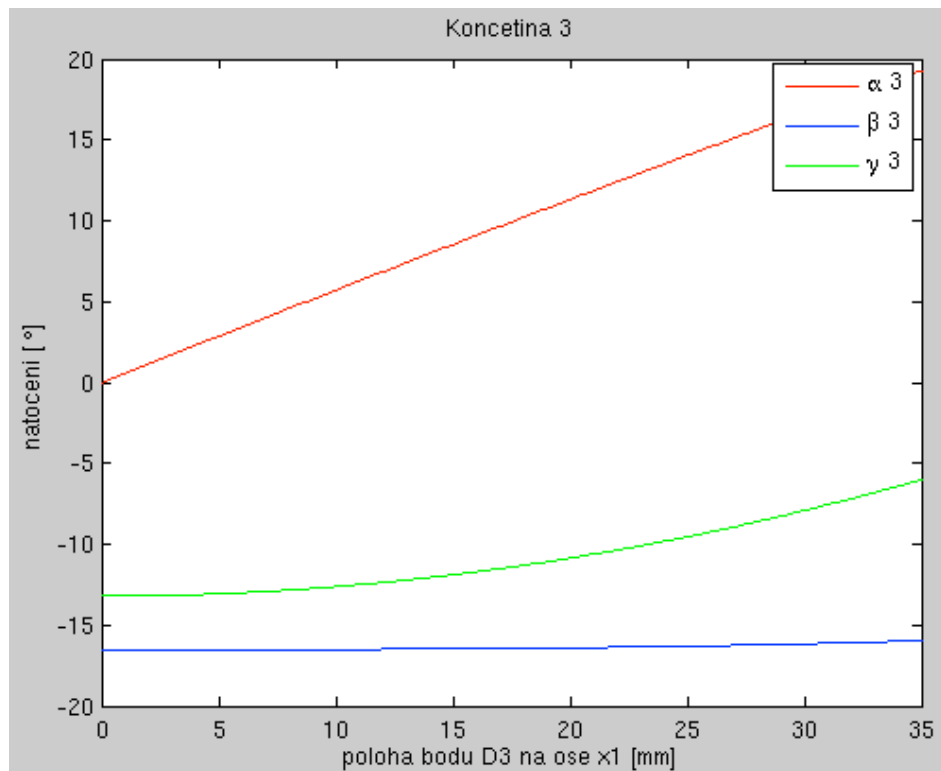
Obr. 9.1.1.3 Závislost úhlů α_5 , β_5 , a γ_5 na změně polohy bodu D_5 ve fázi 0 - 1



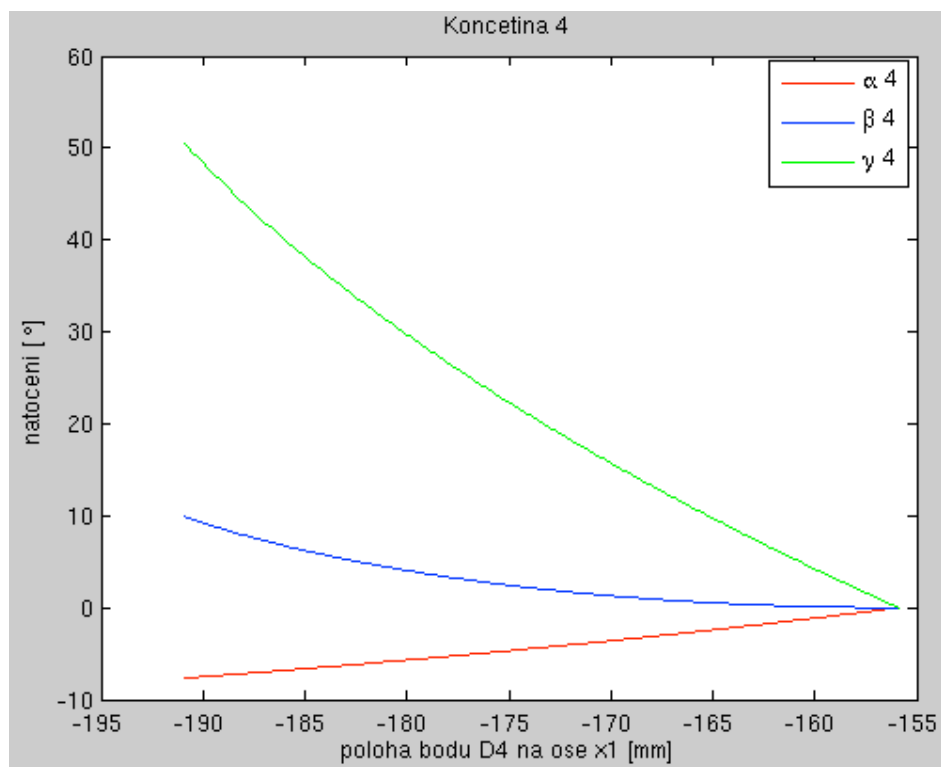
Obr. 9.1.2.1 Závislost úhlů α_1 , β_1 , a γ_1 na změně polohy bodu D_1 ve fázi 1 - 2



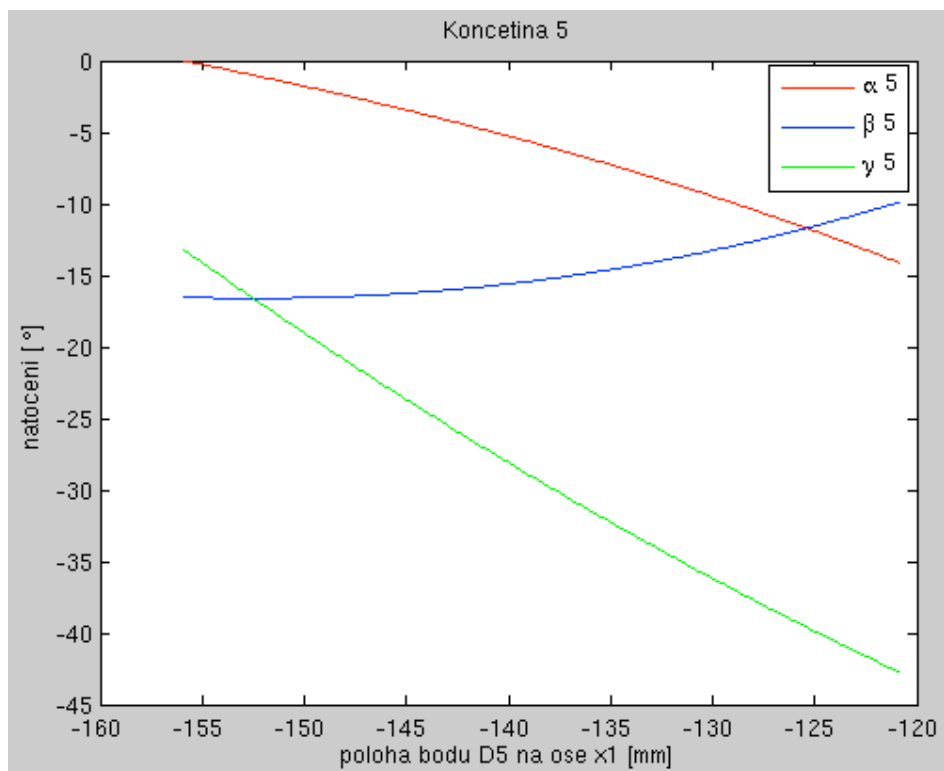
Obr. 9.1.2.2 Závislost úhlů α_2 , β_2 , a γ_2 na změně polohy bodu D_2 ve fázi 1 - 2



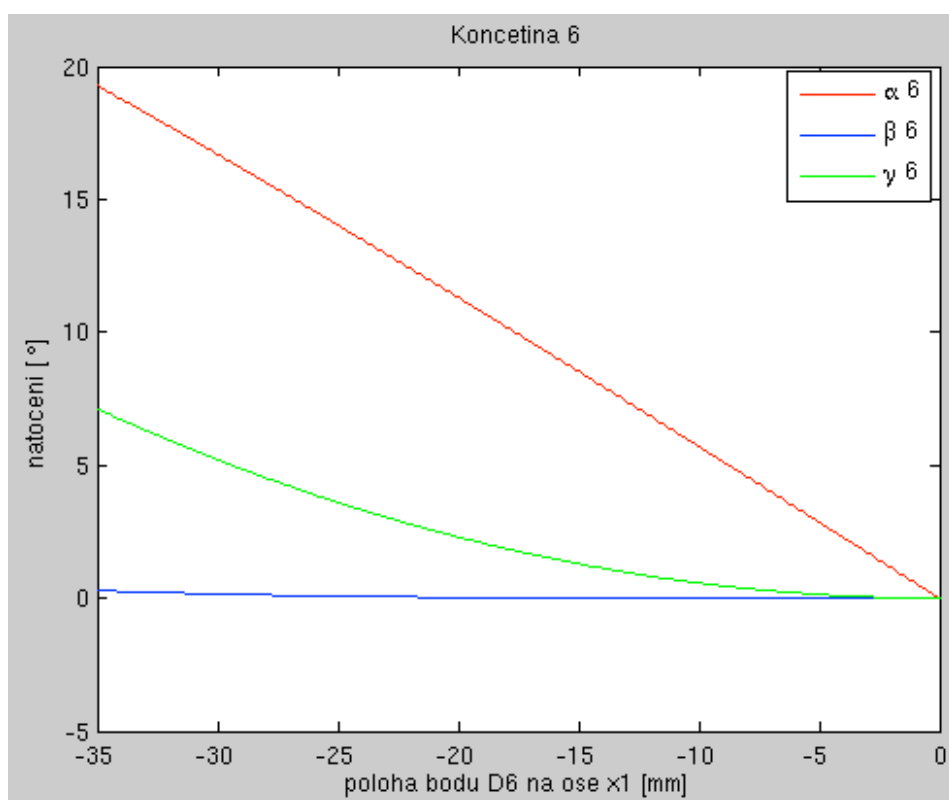
Obr. 9.1.2.3 Závislost úhlů α_3 , β_3 , a γ_3 na změně polohy bodu D_3 ve fázi 1 - 2



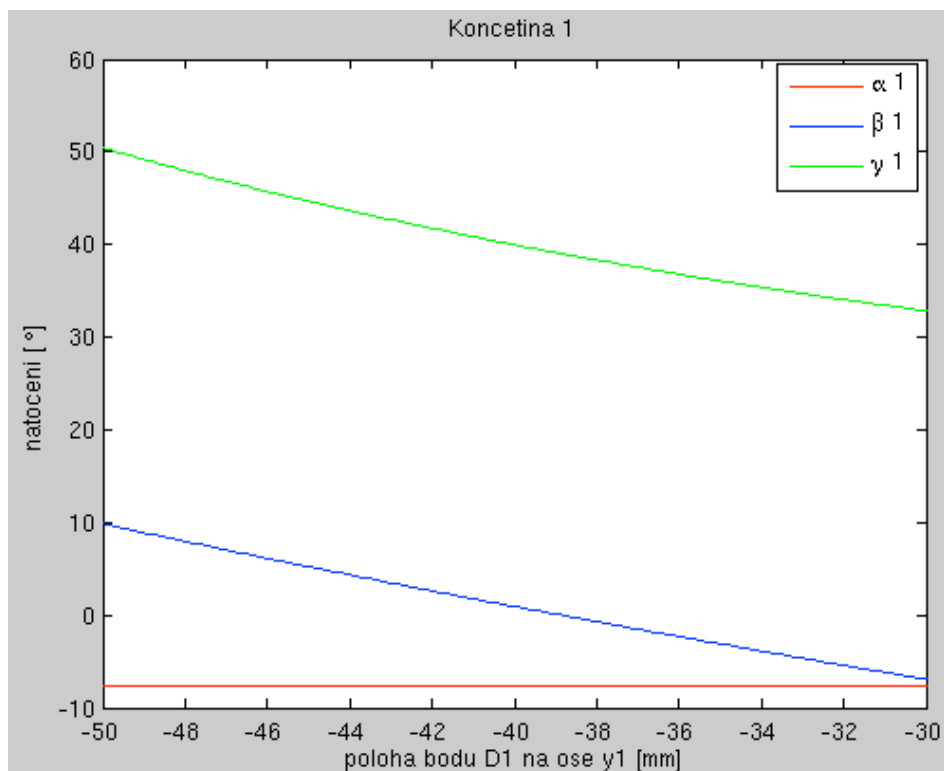
Obr. 9.1.2.4 Závislost úhlů α_4 , β_4 , a γ_4 na změně polohy bodu D_4 ve fázi 1 - 2



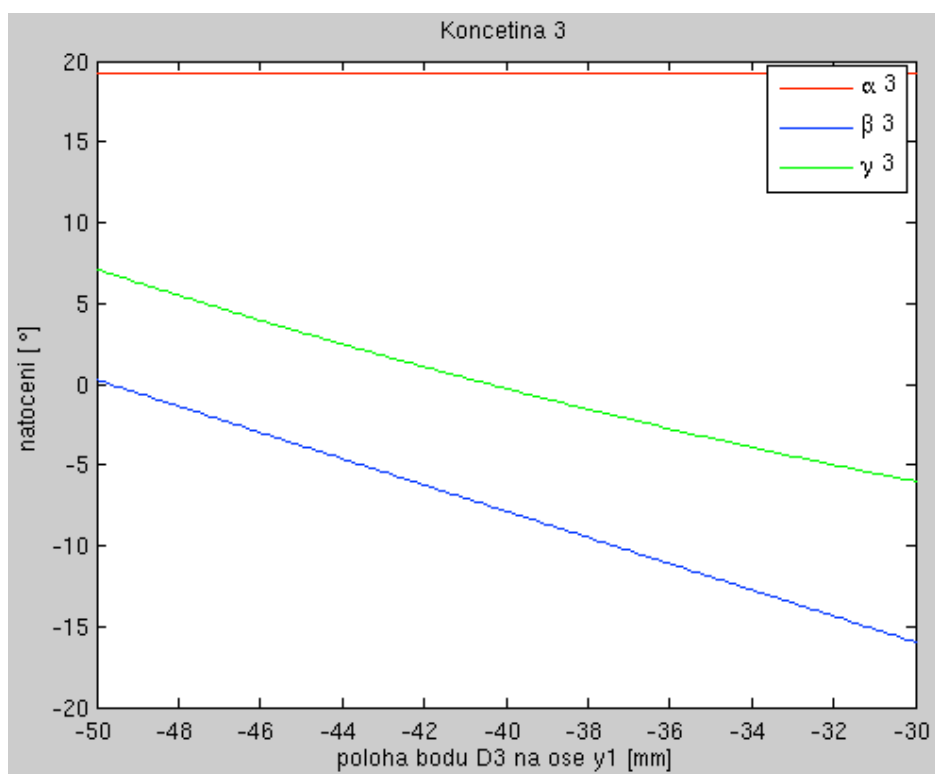
Obr. 9.1.2.5 Závislost úhlů α_5 , β_5 , a γ_5 na změně polohy bodu D_5 ve fázi 1 - 2



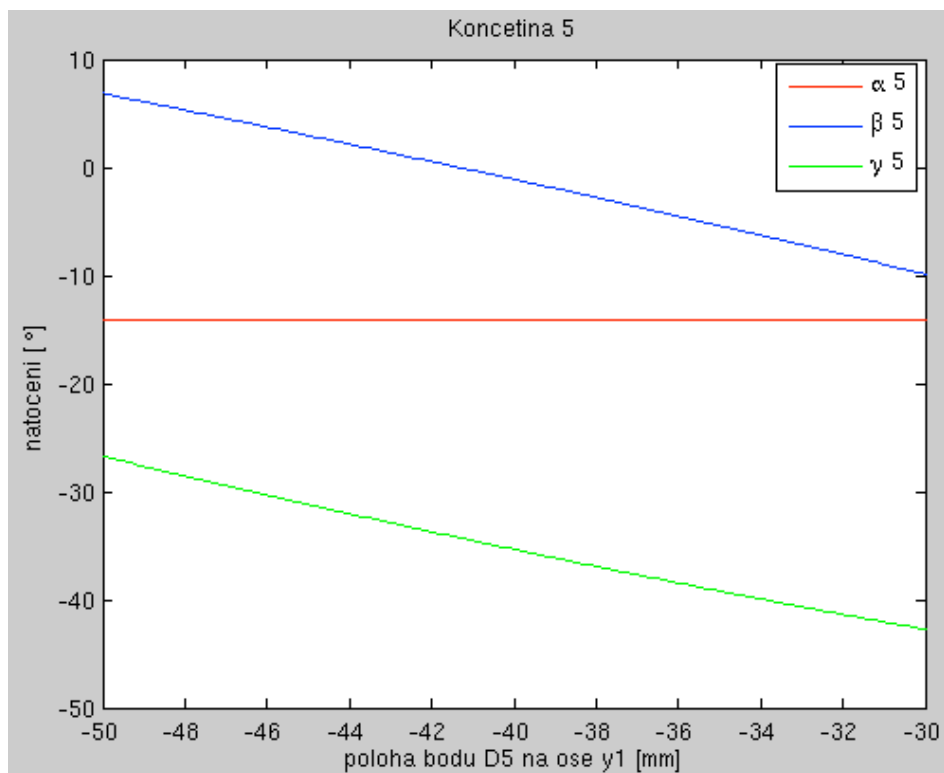
Obr. 9.1.2.6 Závislost úhlů α_6 , β_6 , a γ_6 na změně polohy bodu D_6 ve fázi 1 - 2



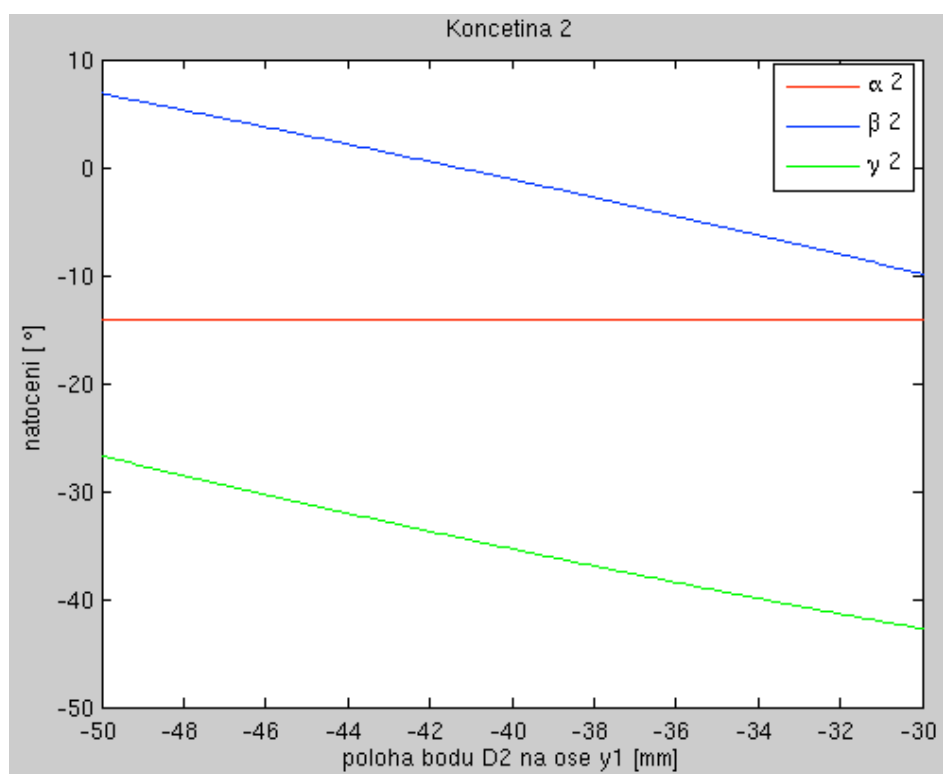
Obr. 9.1.3.1 Závislost úhlů α_1 , β_1 , a γ_1 na změně polohy bodu D_1 ve fázi 2 - 3



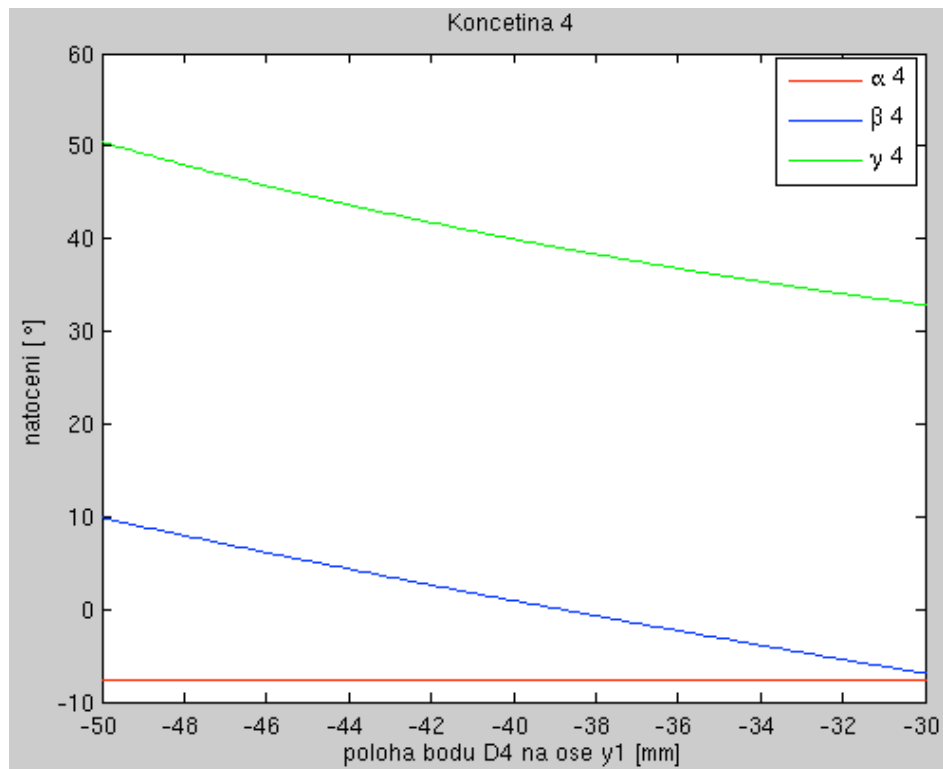
Obr. 9.1.3.2 Závislost úhlů α_3 , β_3 , a γ_3 na změně polohy bodu D_3 ve fázi 2 - 3



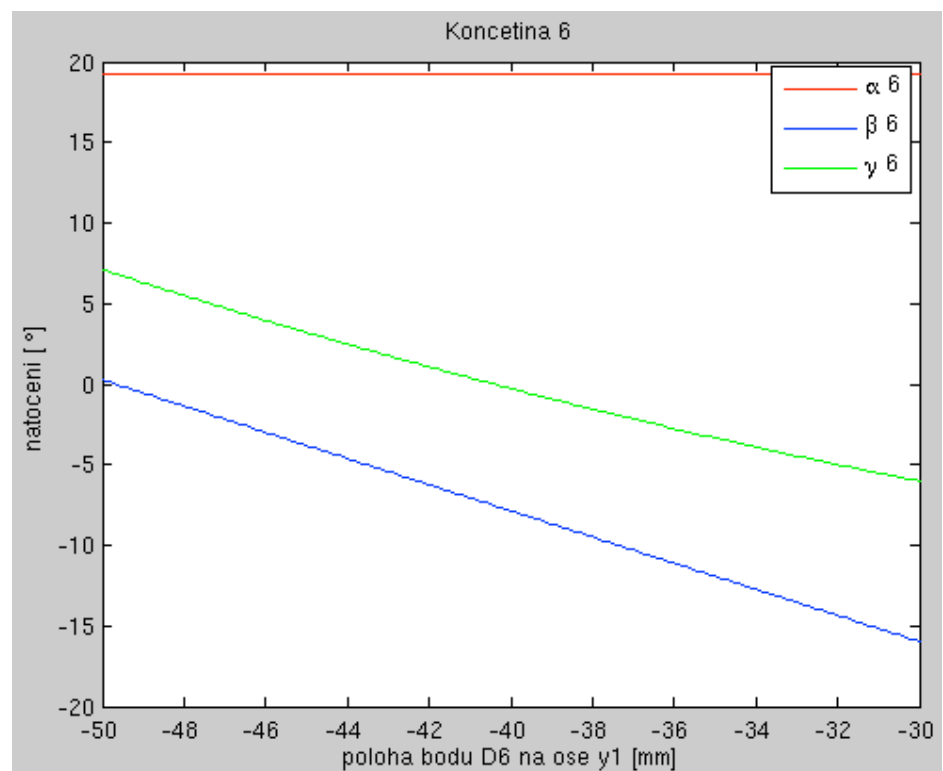
Obr. 9.1.3.3 Závislost úhlů α_5 , β_5 , a γ_5 na změně polohy bodu D_5 ve fázi 2 - 3



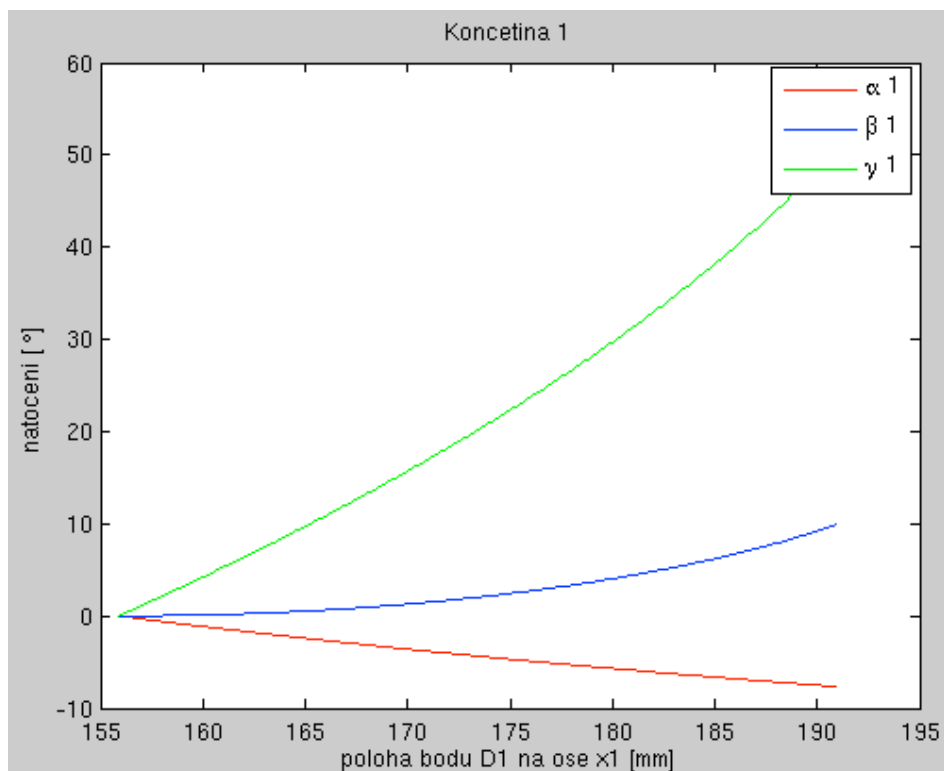
Obr. 9.1.4.1 Závislost úhlů α_2 , β_2 , a γ_2 na změně polohy bodu D_2 ve fázi 3 - 4



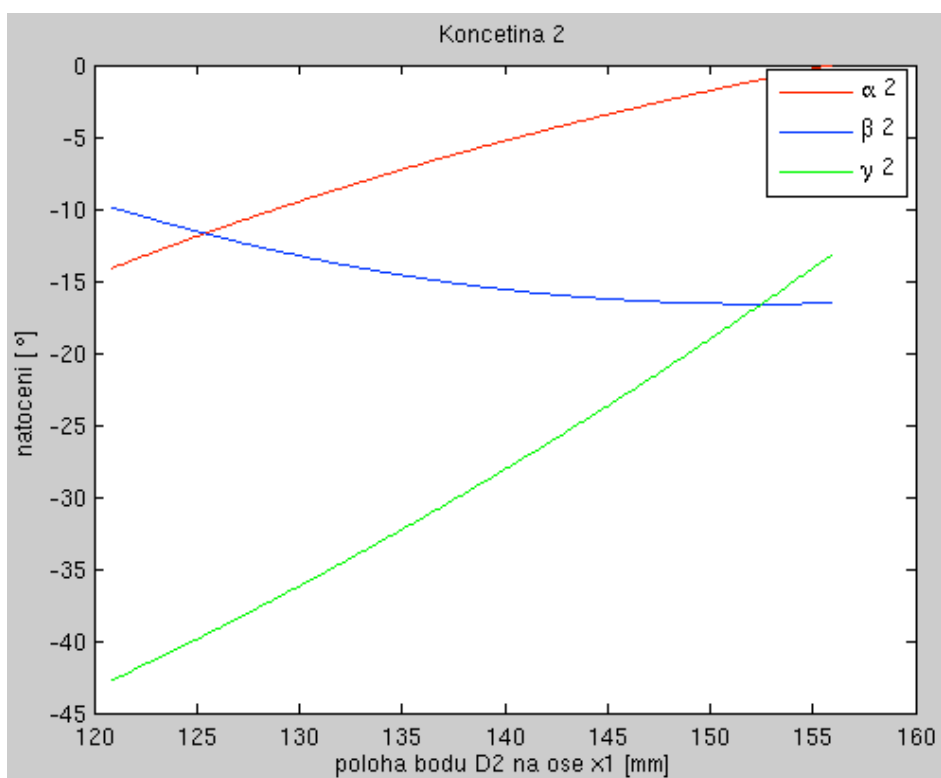
Obr. 9.1.4.2 Závislost úhlů α_4 , β_4 , a γ_4 na změně polohy bodu D_4 ve fázi 3 - 4



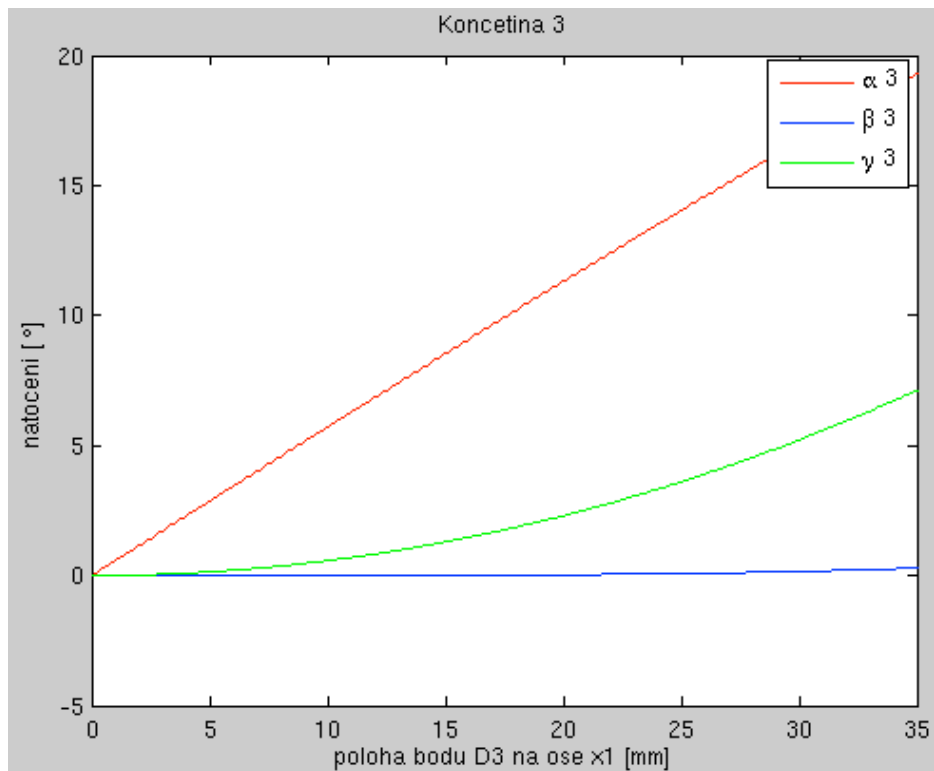
Obr. 9.1.4.3 Závislost úhlů α_6 , β_6 , a γ_6 na změně polohy bodu D_6 ve fázi 3 - 4



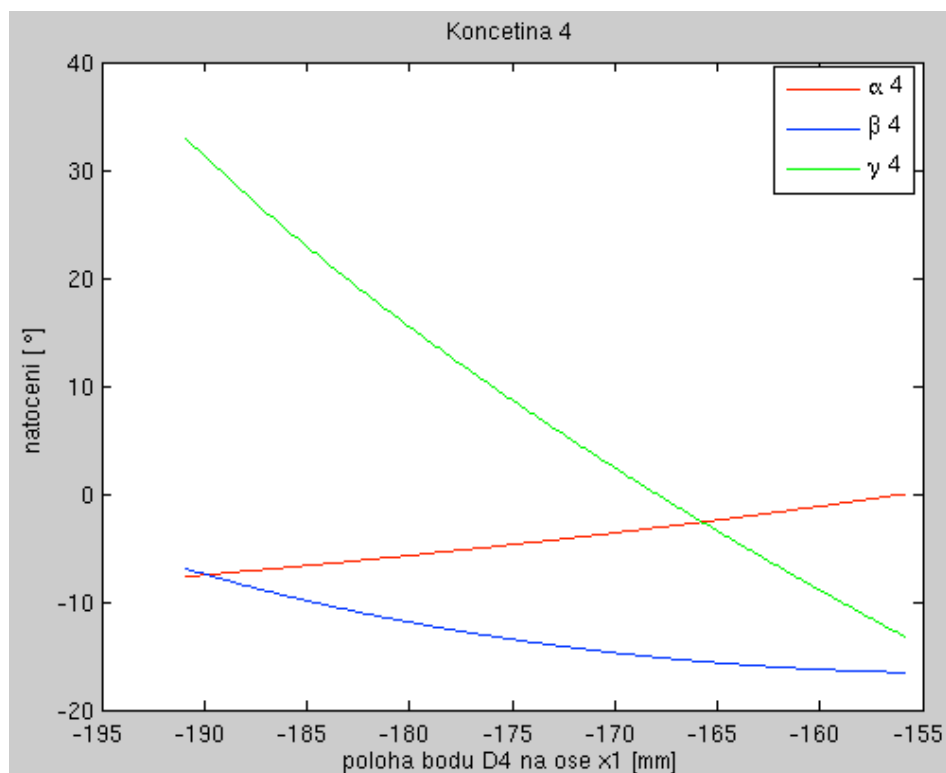
Obr. 9.1.5.1 Závislost úhlů α_1 , β_1 , a γ_1 na změně polohy bodu D_1 ve fázi 4 - 5



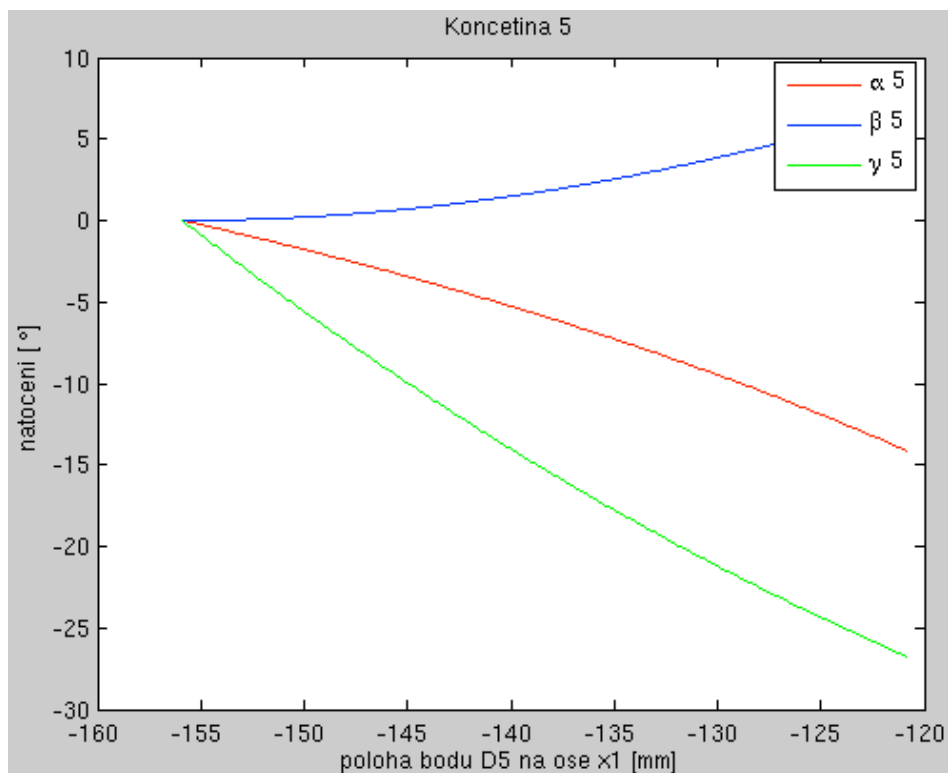
Obr. 9.1.5.2 Závislost úhlů α_2 , β_2 , a γ_2 na změně polohy bodu D_2 ve fázi 4 - 5



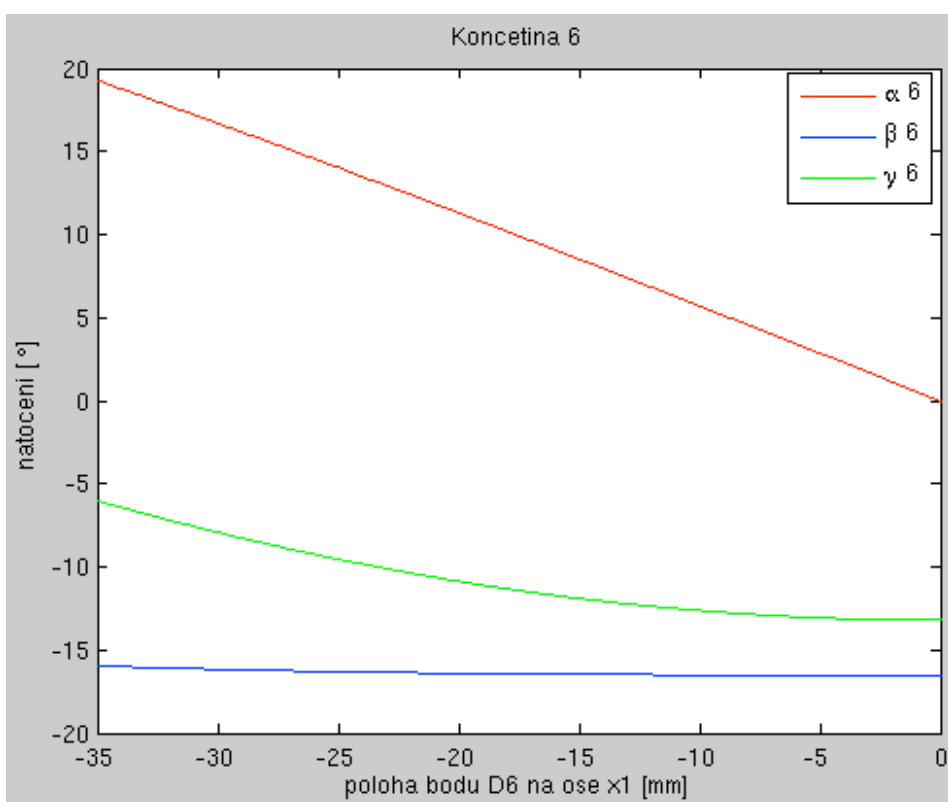
Obr. 9.1.5.3 Závislost úhlů α_3 , β_3 , a γ_3 na změně polohy bodu D_3 ve fázi 4 - 5



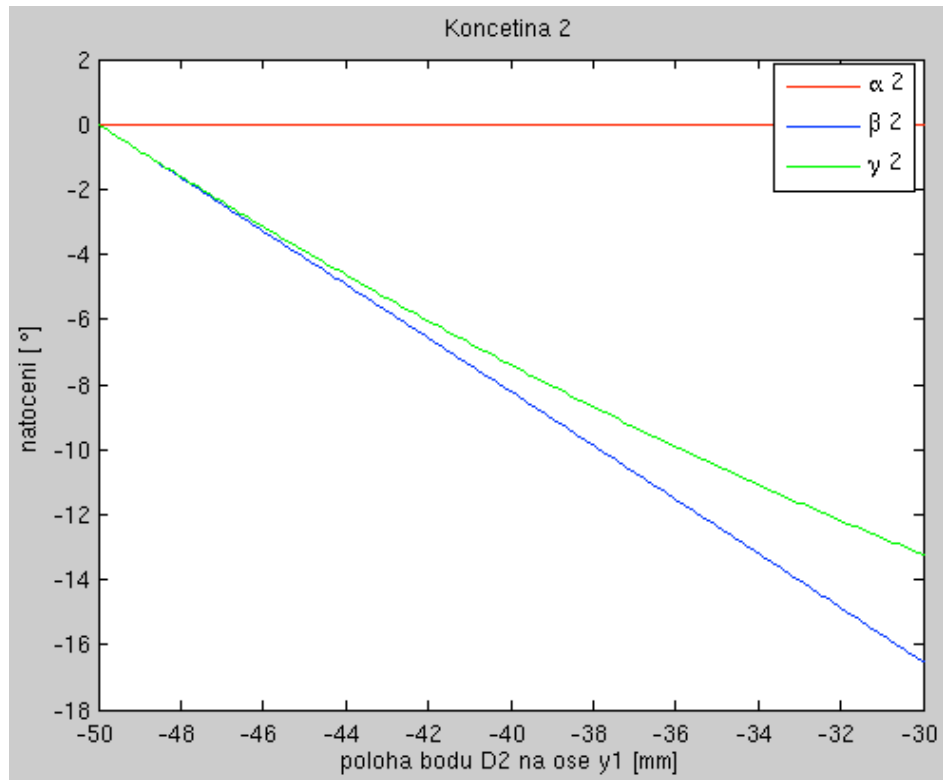
Obr. 9.1.5.4 Závislost úhlů α_4 , β_4 , a γ_4 na změně polohy bodu D_4 ve fázi 4 - 5



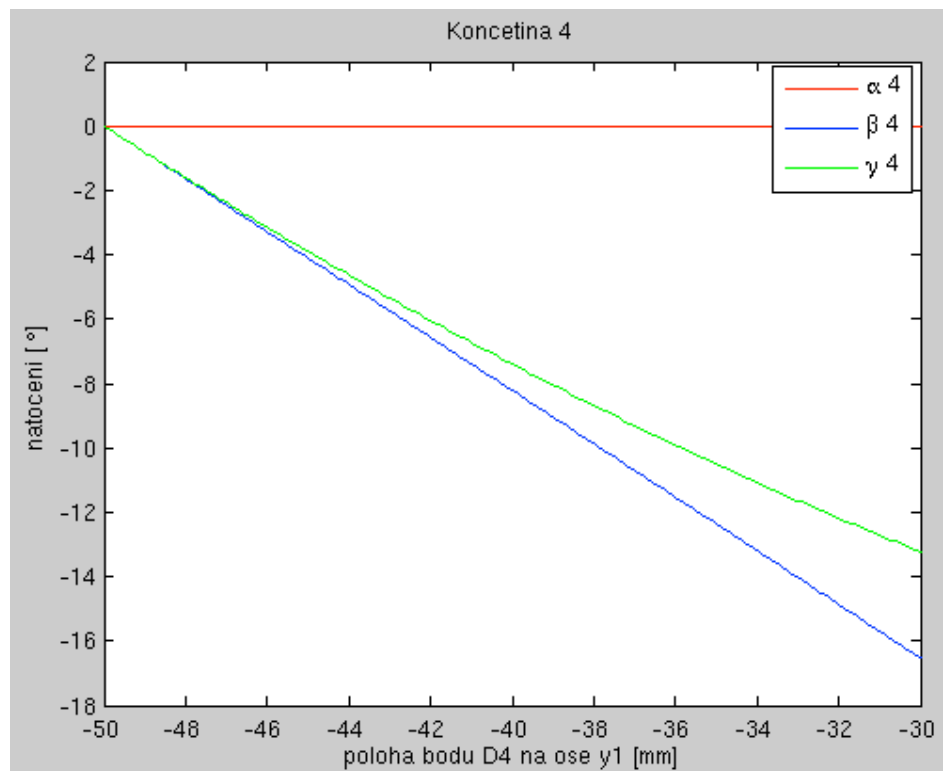
Obr. 9.1.5.5 Závislost úhlů α_5 , β_5 , a γ_5 na změně polohy bodu D_5 ve fázi 4 - 5



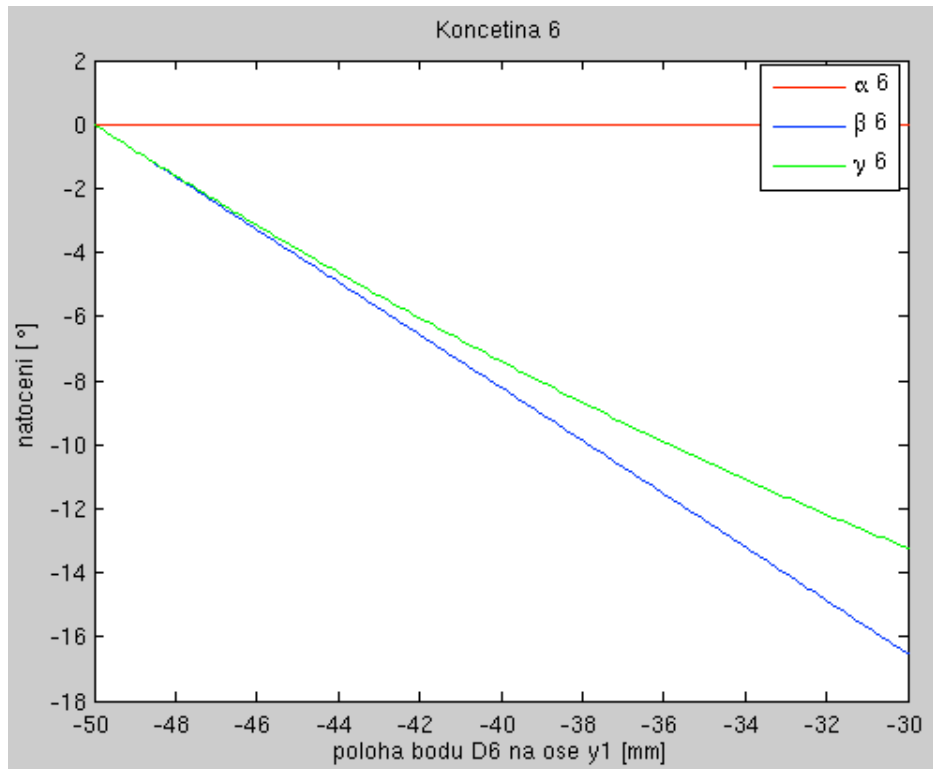
Obr. 9.1.5.6 Závislost úhlů α_6 , β_6 , a γ_6 na změně polohy bodu D_6 ve fázi 4 - 5



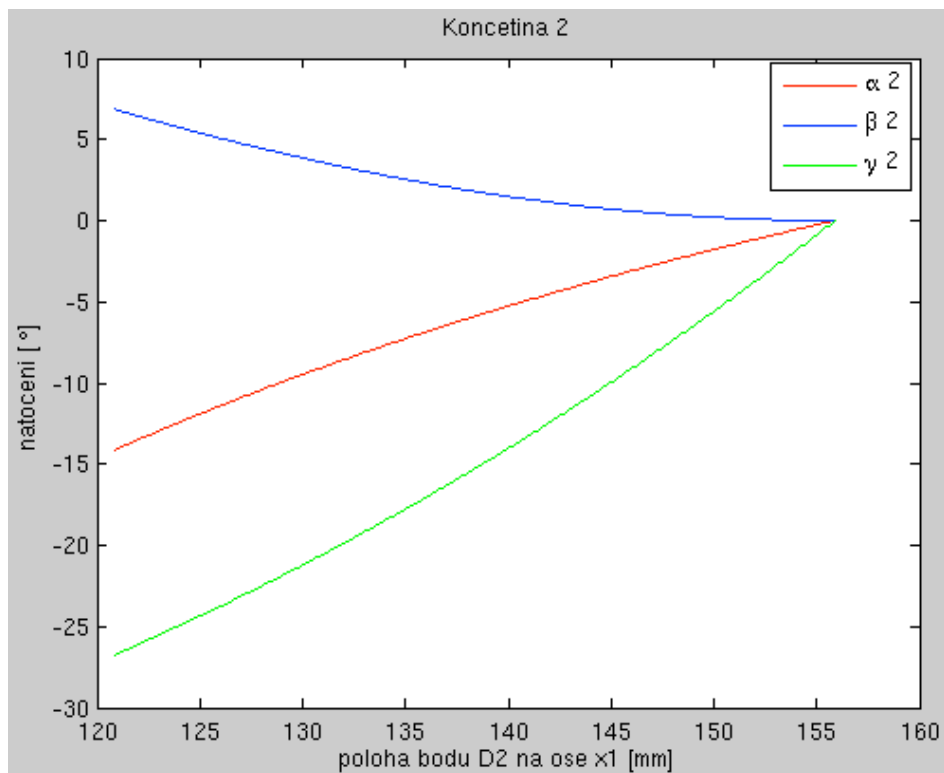
Obr. 9.1.6.1 Závislost úhlů α_2 , β_2 , a γ_2 na změně polohy bodu D_2 ve fázi 5 - 0



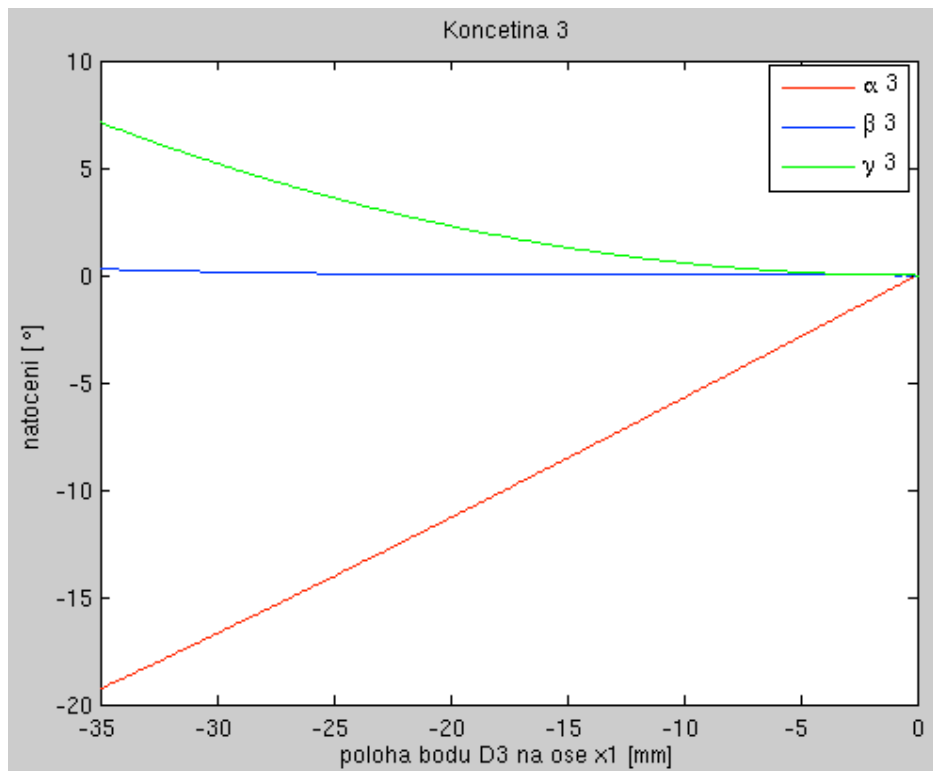
Obr. 9.1.6.2 Závislost úhlů α_4 , β_4 , a γ_4 na změně polohy bodu D_4 ve fázi 5 - 0



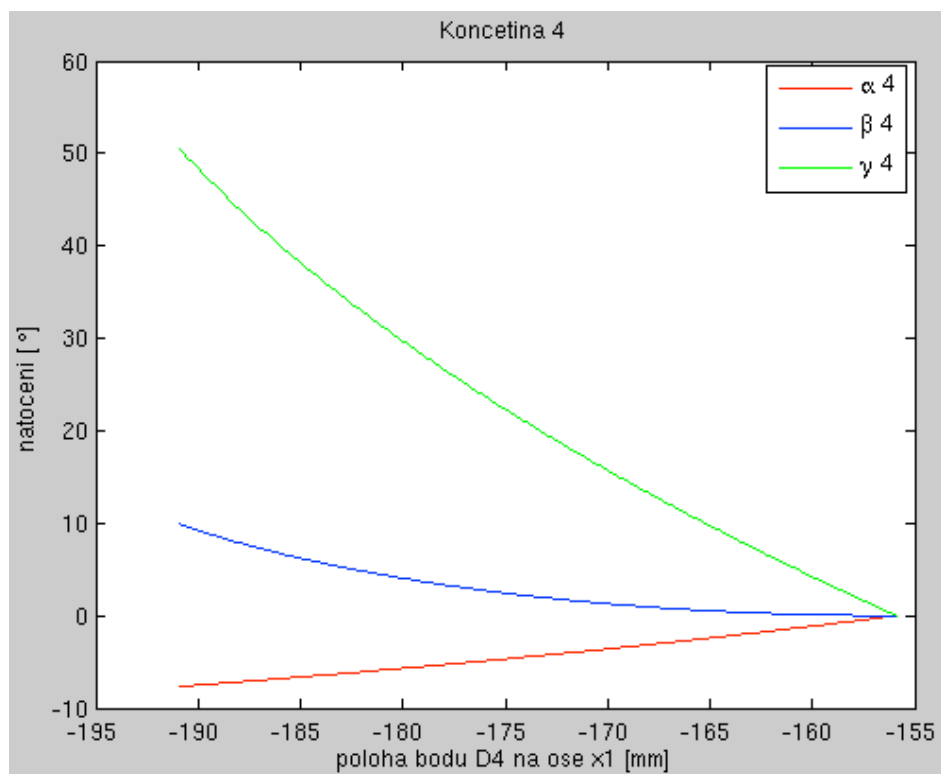
Obr. 9.1.6.3 Závislost úhlů α_6 , β_6 , a γ_6 na změně polohy bodu D_6 ve fázi 5 - 0



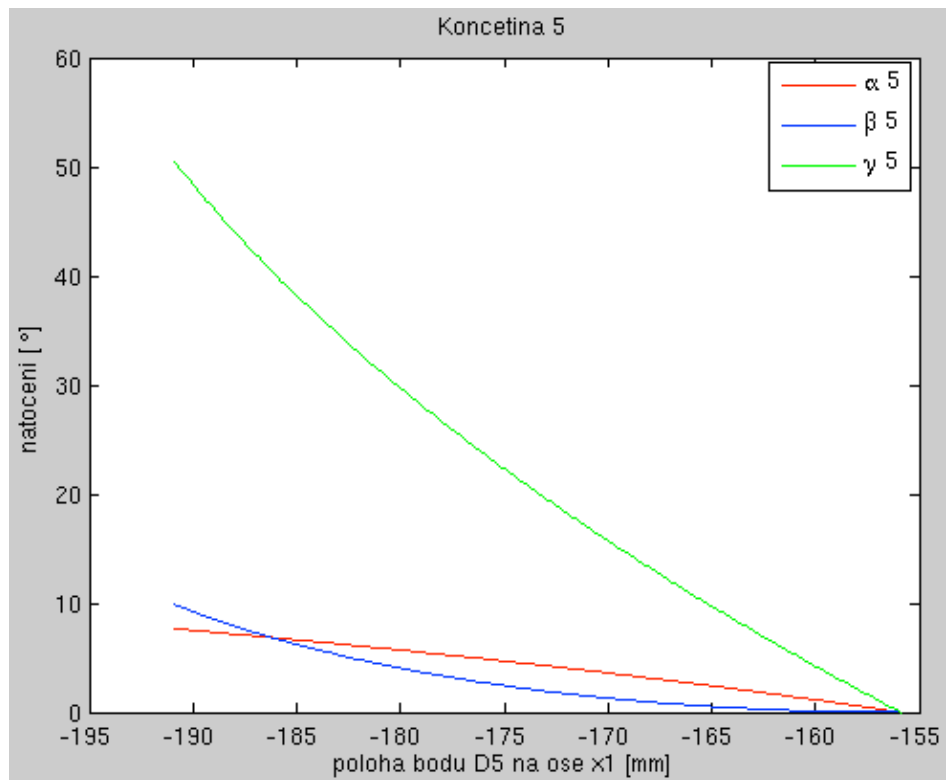
Obr. 9.2.1.1 Závislost úhlů α_1 , β_1 , a γ_1 na změně polohy bodu D_1 při vysunutí



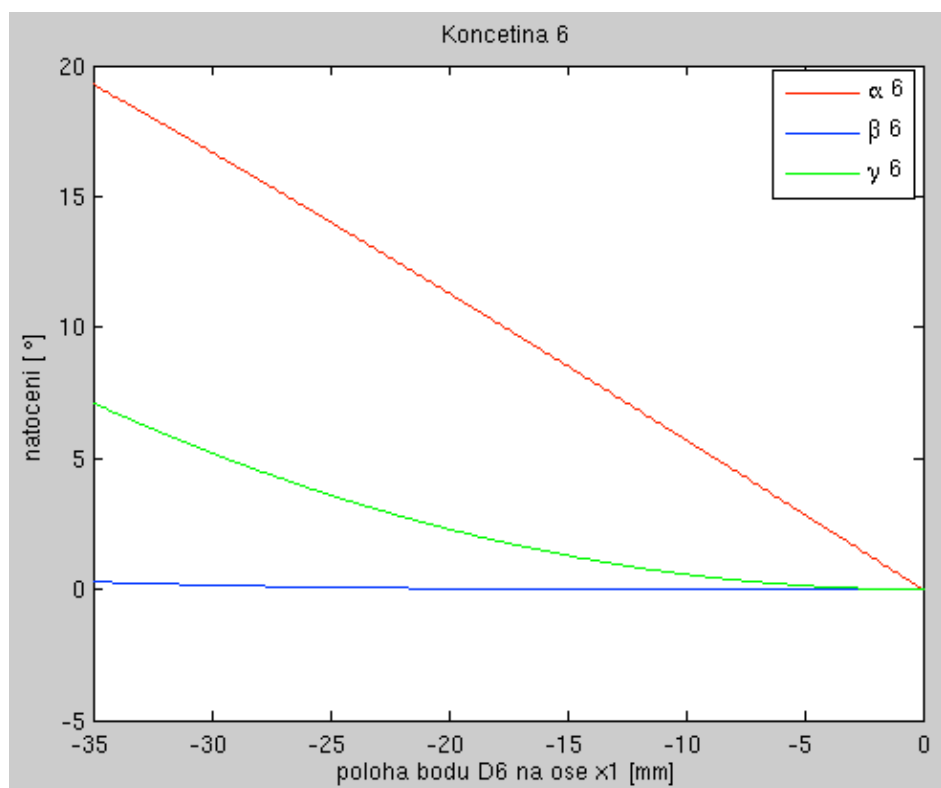
Obr. 9.2.1.2 Závislost úhlů α_2 , β_2 , a γ_2 na změně polohy bodu D_2 při vysunutí



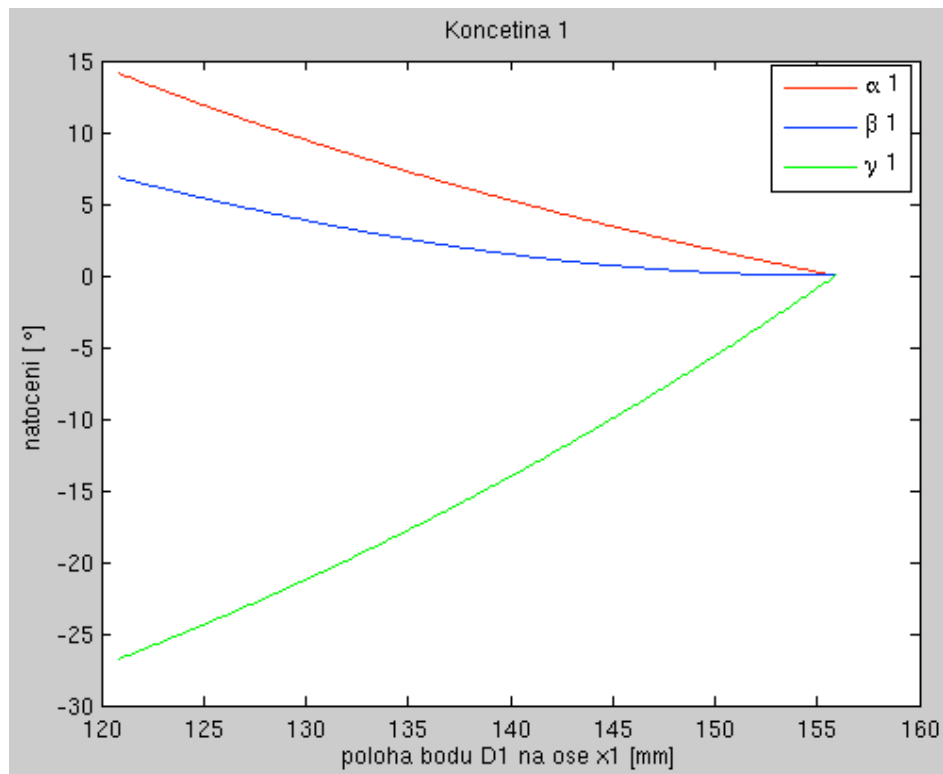
Obr. 9.2.1.3 Závislost úhlů α_3 , β_3 , a γ_3 na změně polohy bodu D_3 při vysunutí



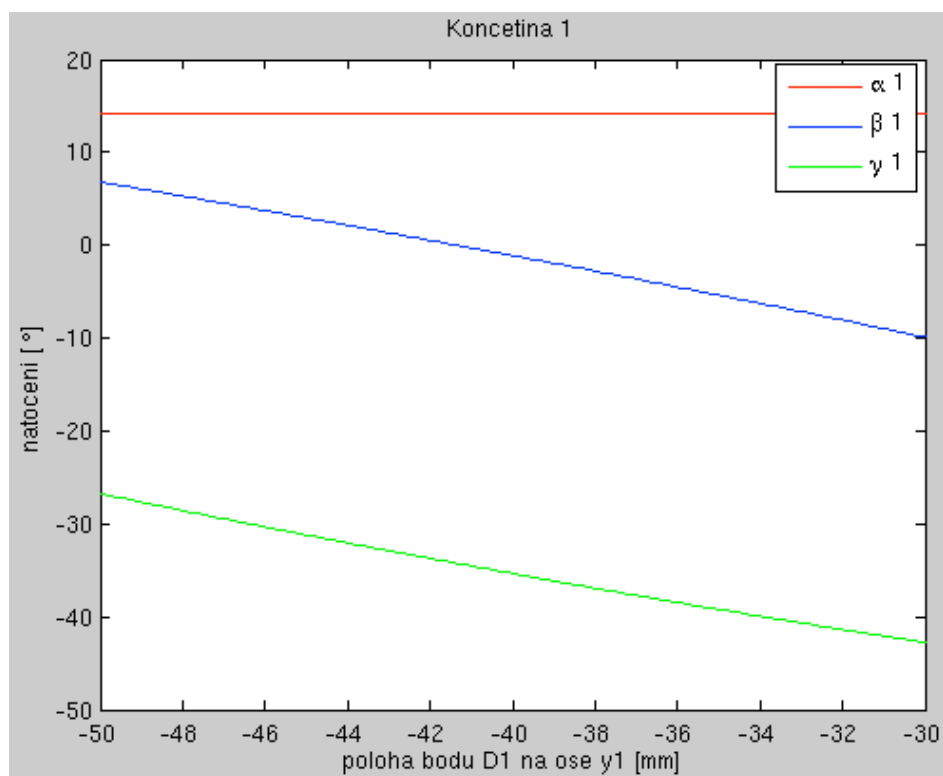
Obr. 9.2.1.4 Závislost úhlů α_4 , β_4 , a γ_4 na změně polohy bodu D_4 při vysunutí



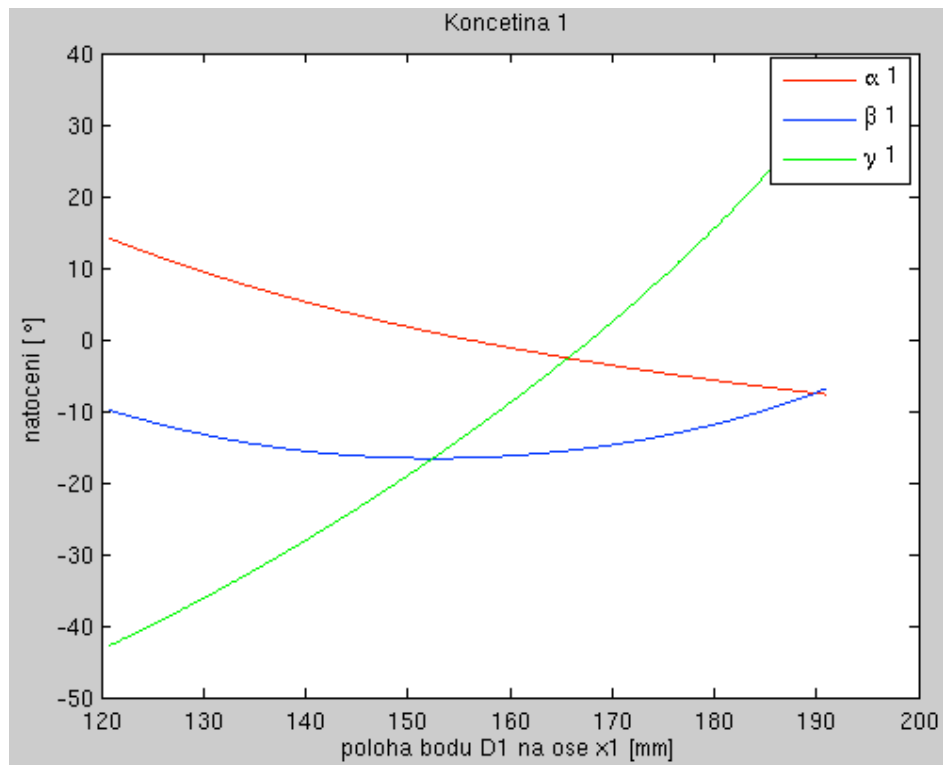
Obr. 9.2.1.5 Závislost úhlů α_5 , β_5 , a γ_5 na změně polohy bodu D_5 při vysunutí



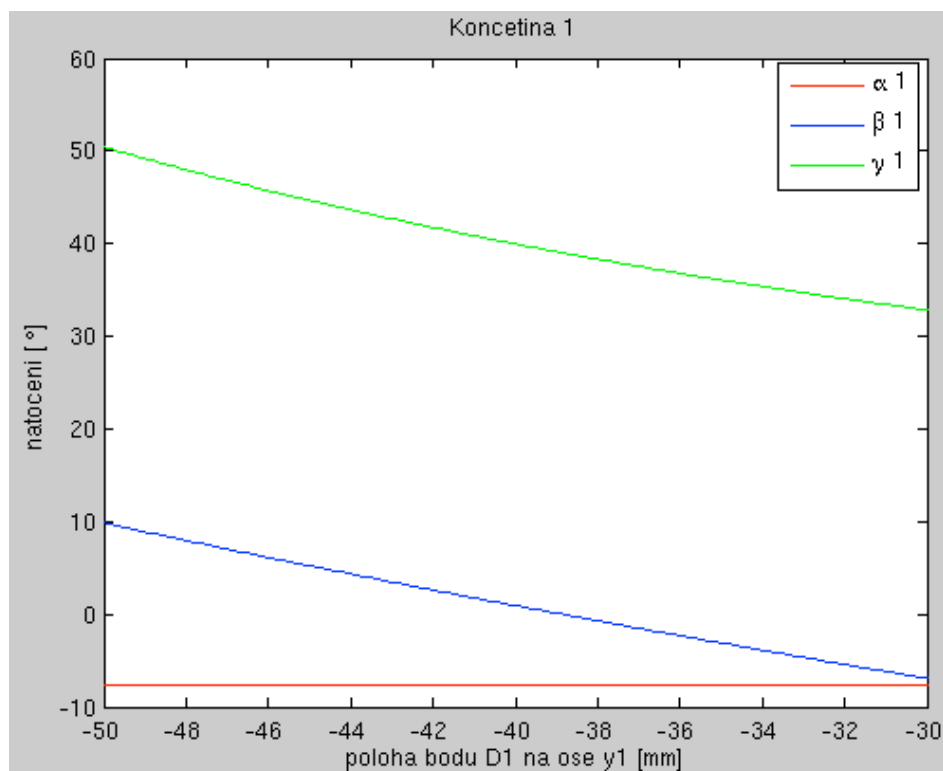
Obr. 9.2.1.6 Závislost úhlů α_6 , β_6 , a γ_6 na změně polohy bodu D_6 při vysunutí



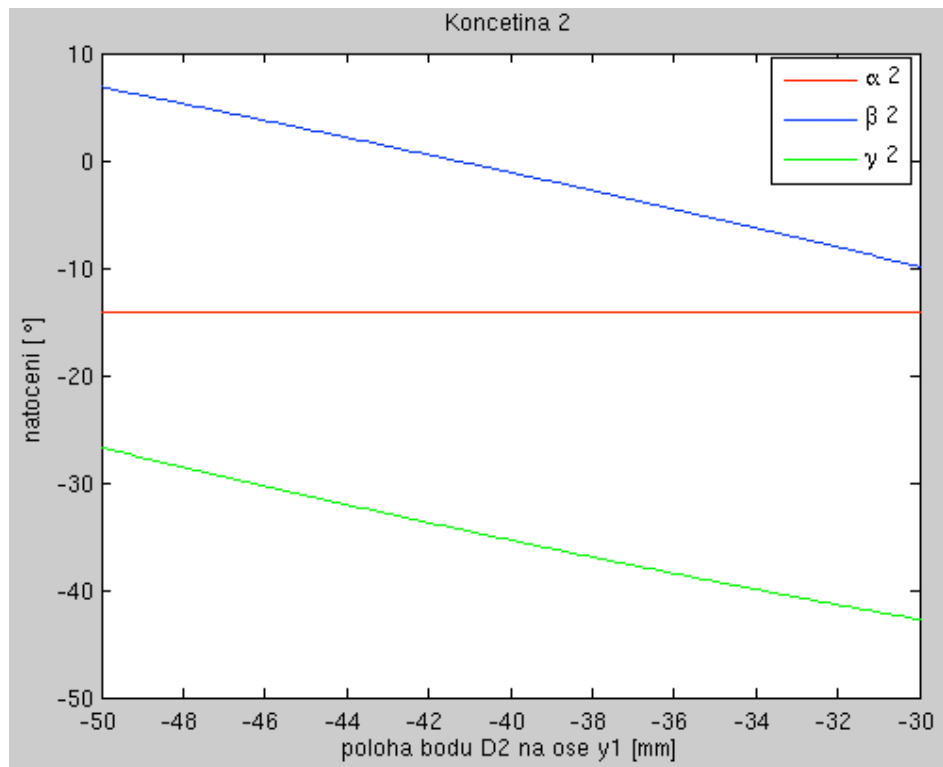
Obr. 9.2.2.1 Závislost úhlů α_1 , β_1 , a γ_1 na změně polohy bodu D_1 při zvedání



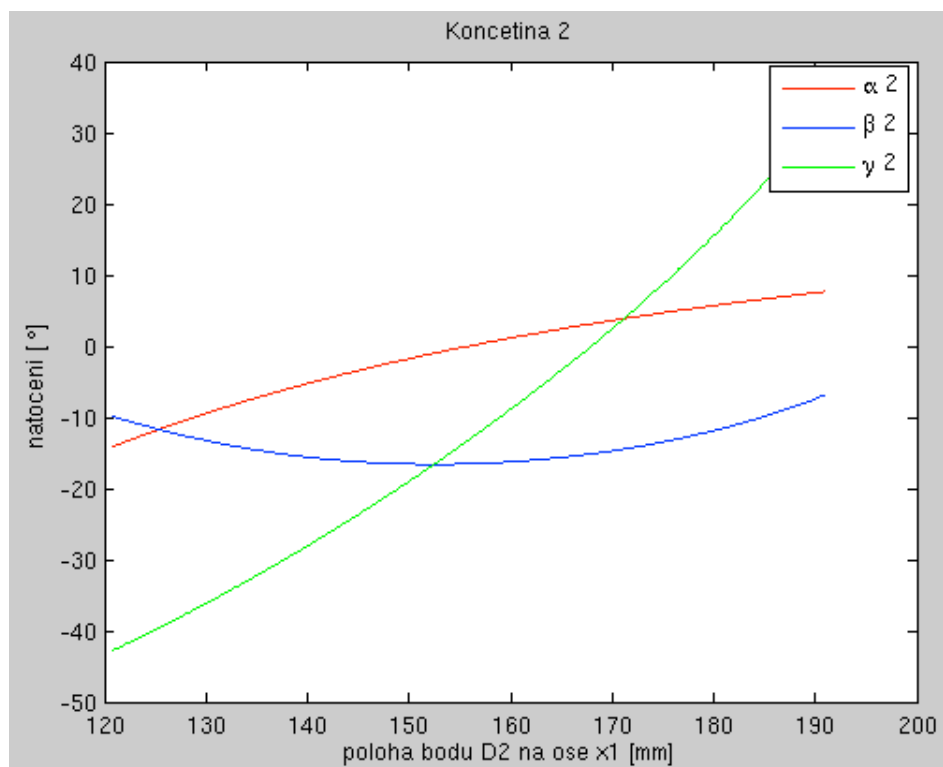
Obr. 9.2.2.2 Závislost úhlů α_1 , β_1 , a γ_1 na změně polohy bodu D_1 při posunu



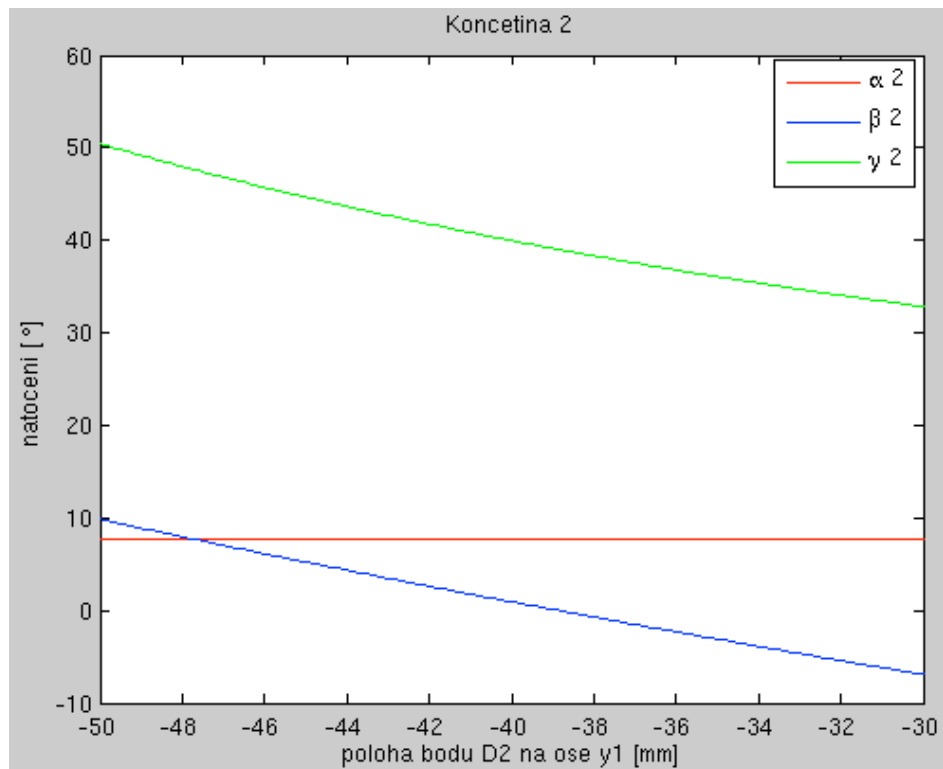
Obr. 9.2.2.3 Závislost úhlů α_1 , β_1 , a γ_1 na změně polohy bodu D_1 při pokládání



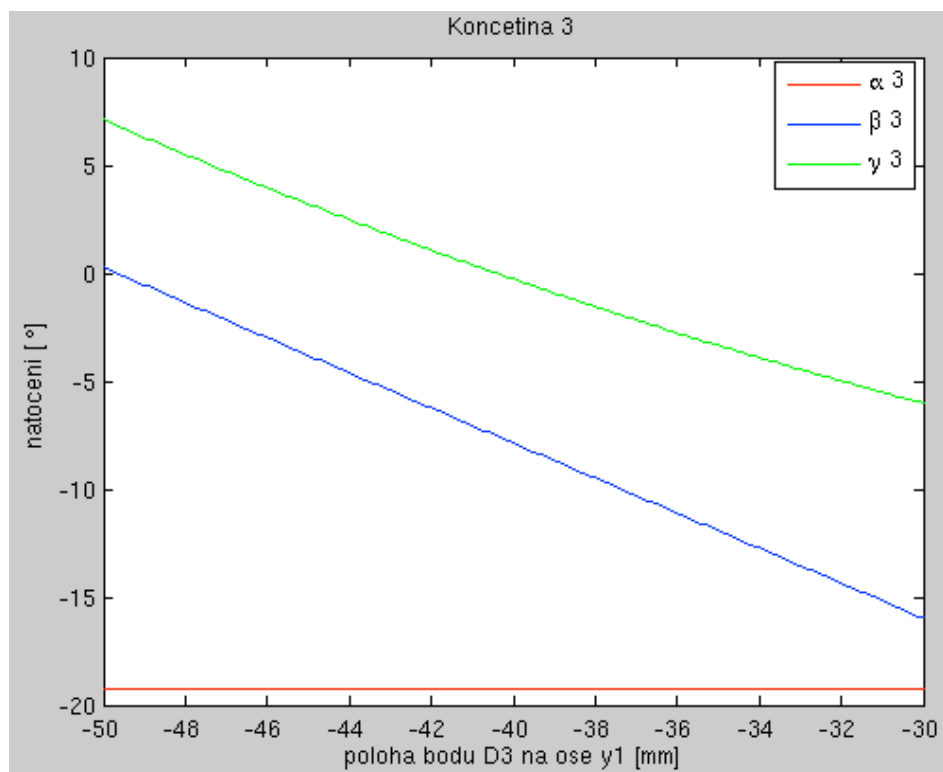
Obr. 9.2.3.1 Závislost úhlů α_2 , β_2 , a γ_2 na změně polohy bodu D_2 při zvedání



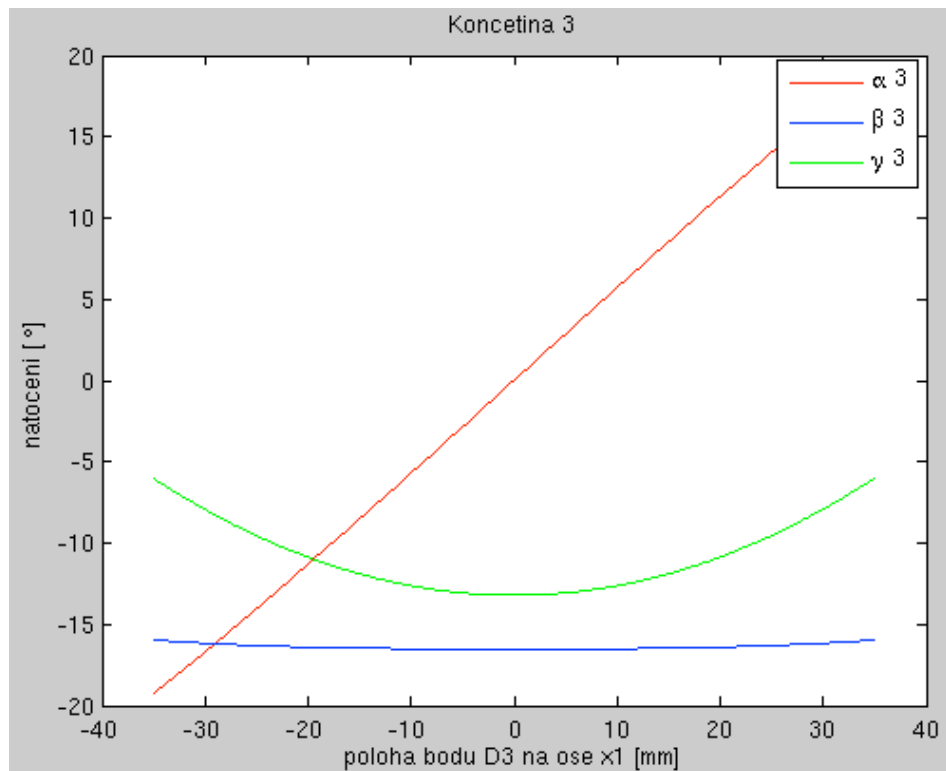
Obr. 9.2.3.2 Závislost úhlů α_2 , β_2 , a γ_2 na změně polohy bodu D_2 při posunu



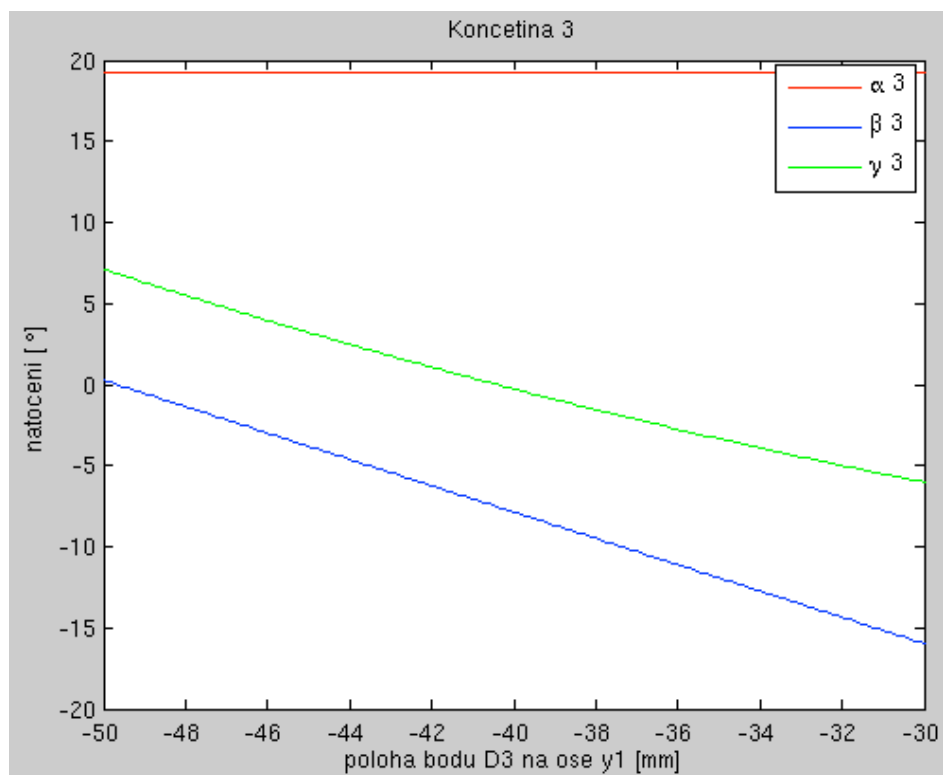
Obr. 9.2.3.3 Závislost úhlů α_2 , β_2 , a γ_2 na změně polohy bodu D_2 při pokládání



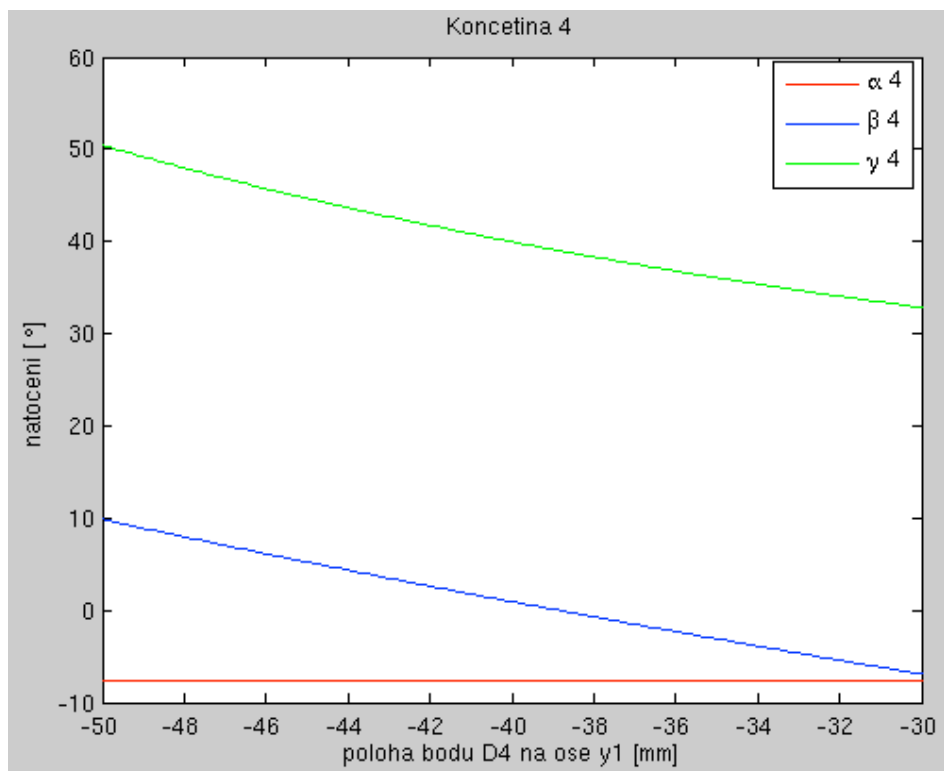
Obr. 9.2.4.1 Závislost úhlů α_3 , β_3 , a γ_3 na změně polohy bodu D_3 při zvedání



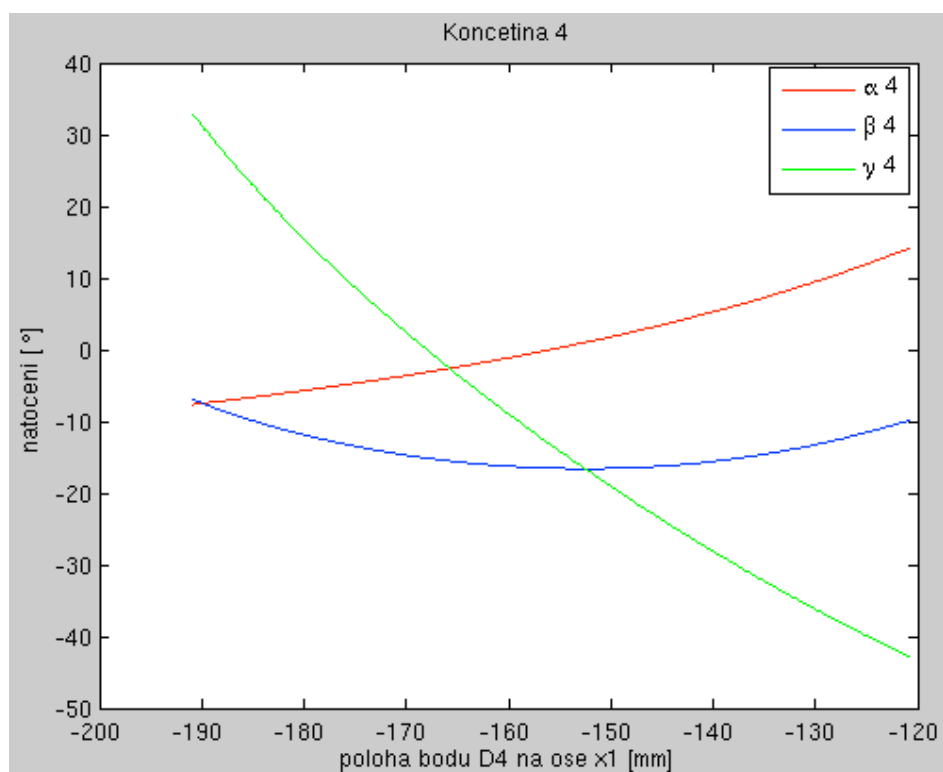
Obr. 9.2.4.2 Závislost úhlů α_3 , β_3 , a γ_3 na změně polohy bodu D_3 při posunu



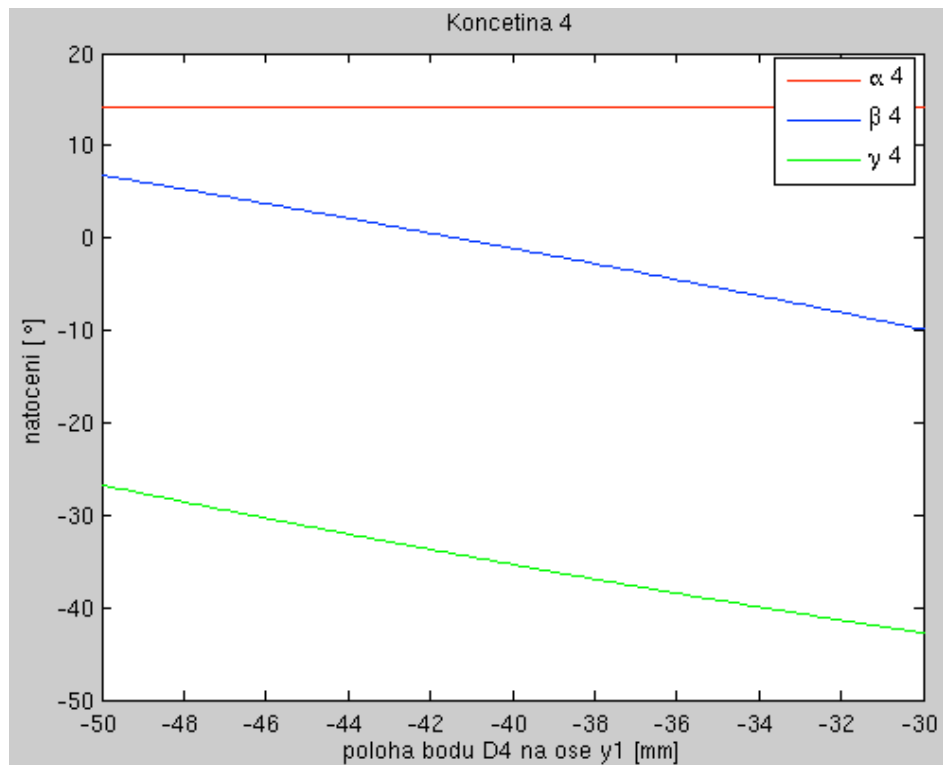
Obr. 9.2.4.3 Závislost úhlů α_3 , β_3 , a γ_3 na změně polohy bodu D_3 při pokládání



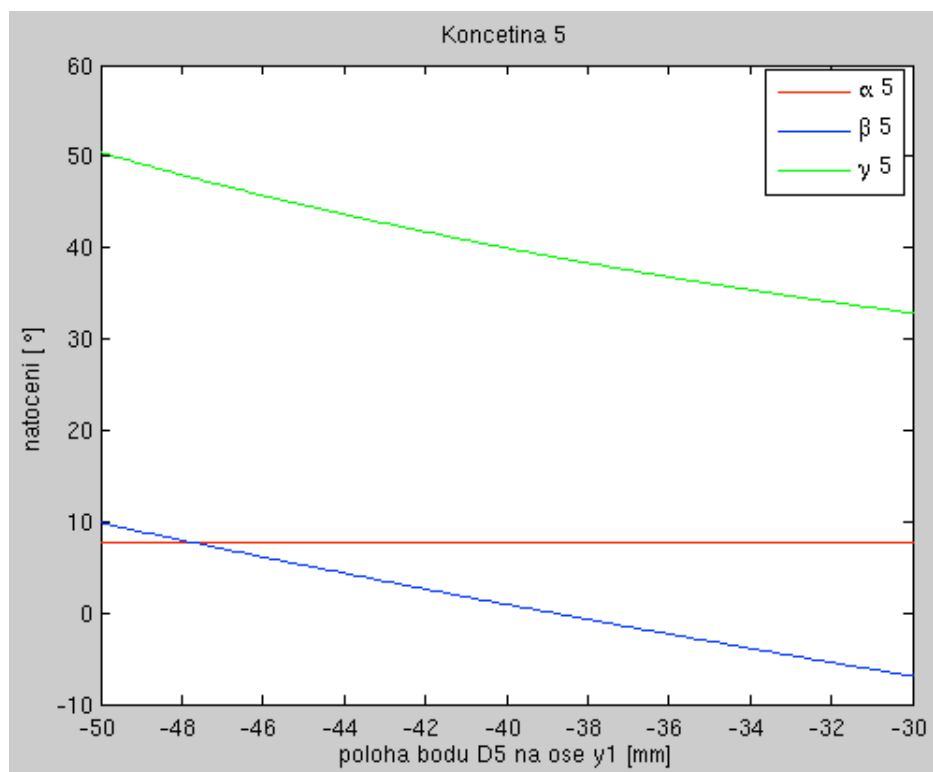
Obr. 9.2.5.1 Závislost úhlů α_4 , β_4 , a γ_4 na změně polohy bodu D_4 při zvedání



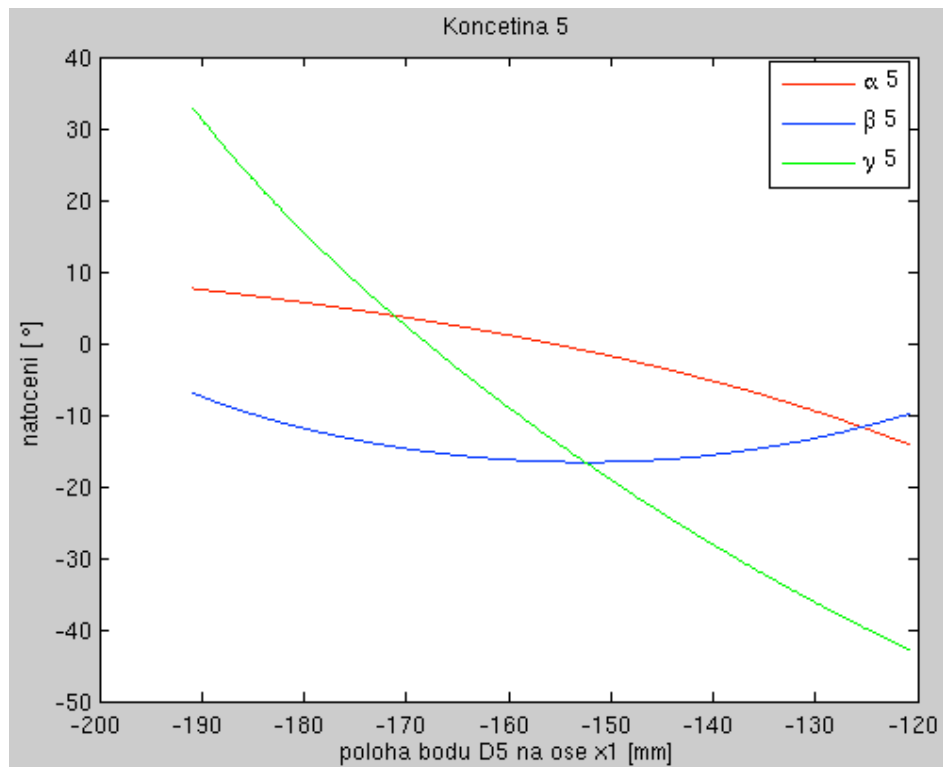
Obr. 9.2.5.2 Závislost úhlů α_4 , β_4 , a γ_4 na změně polohy bodu D_4 při posunu



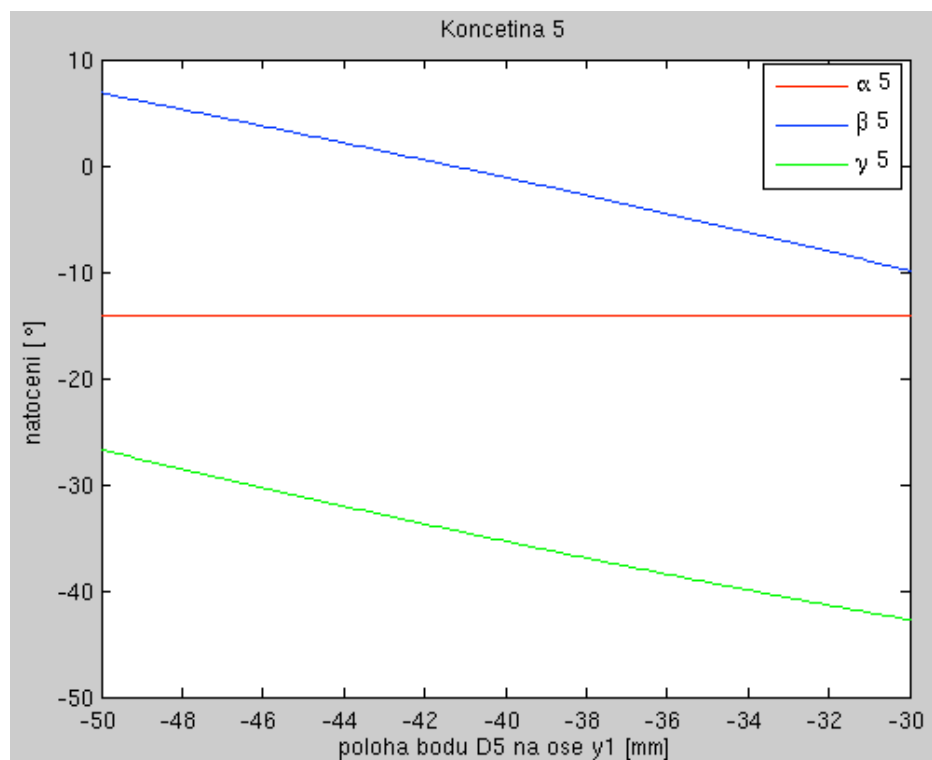
Obr. 9.2.5.3 Závislost úhlů α_4 , β_4 , a γ_4 na změně polohy bodu D_4 při pokládání



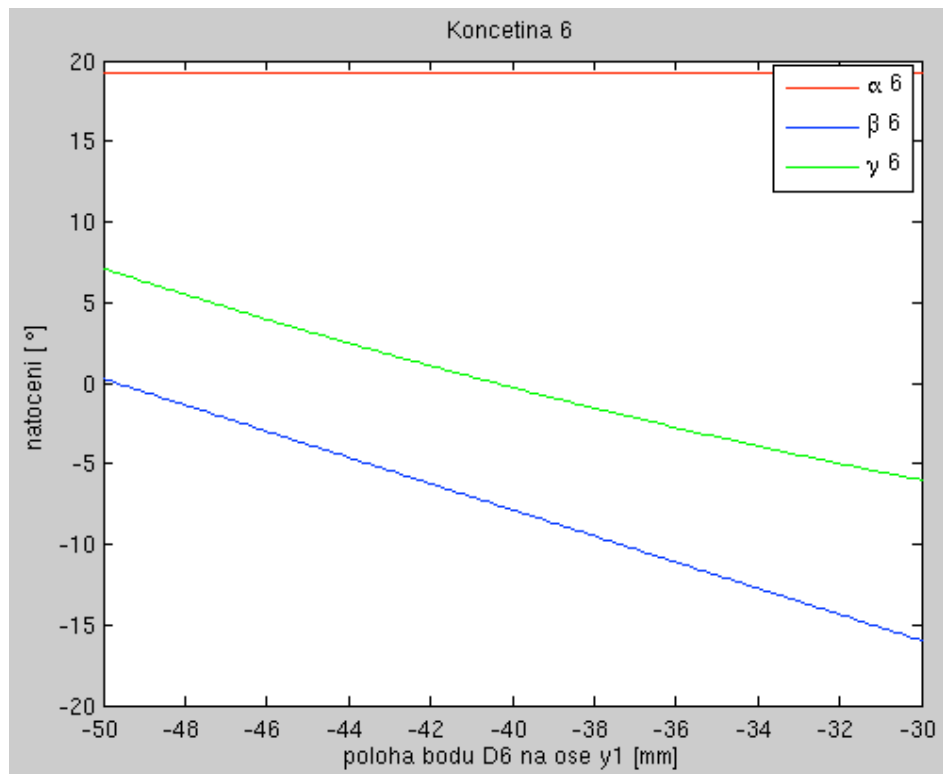
Obr. 9.2.6.1 Závislost úhlů α_5 , β_5 , a γ_5 na změně polohy bodu D_5 při zvedání



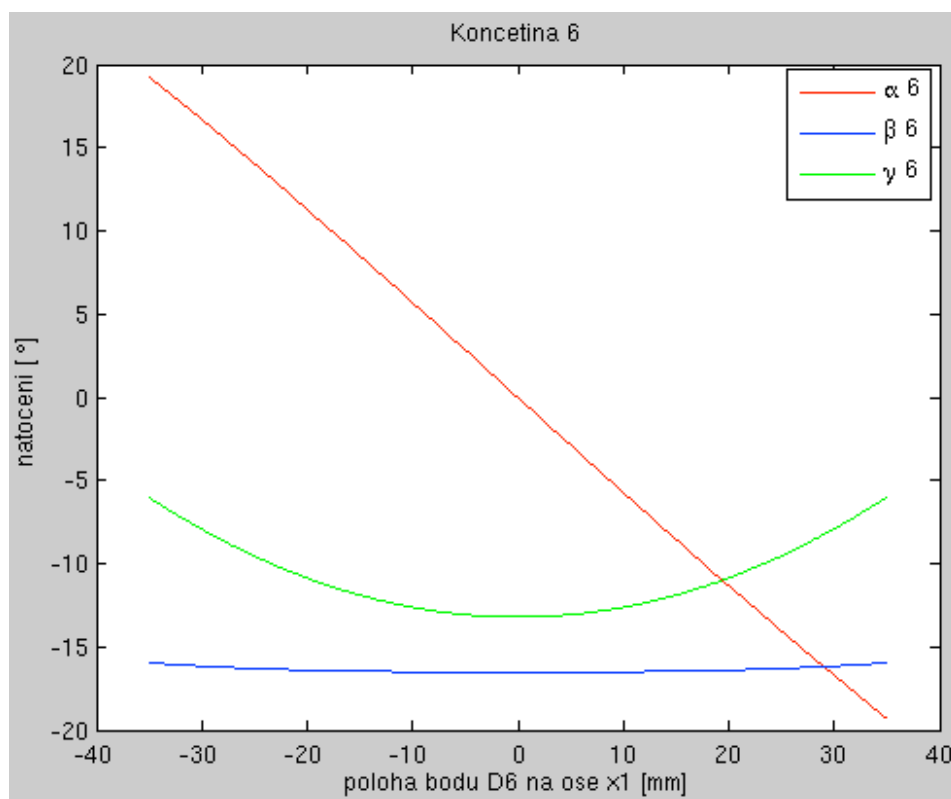
Obr. 9.2.6.2 Závislost úhlů α_5 , β_5 , a γ_5 na změně polohy bodu D_5 při posunu



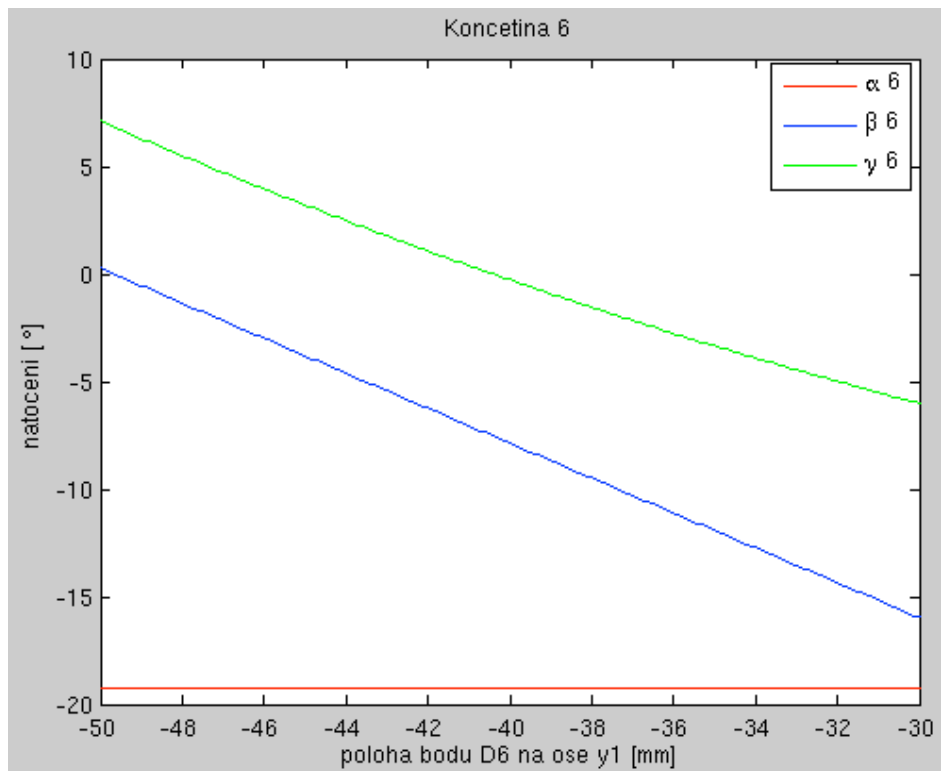
Obr. 9.2.6.3 Závislost úhlů α_5 , β_5 , a γ_5 na změně polohy bodu D_5 při pokládání



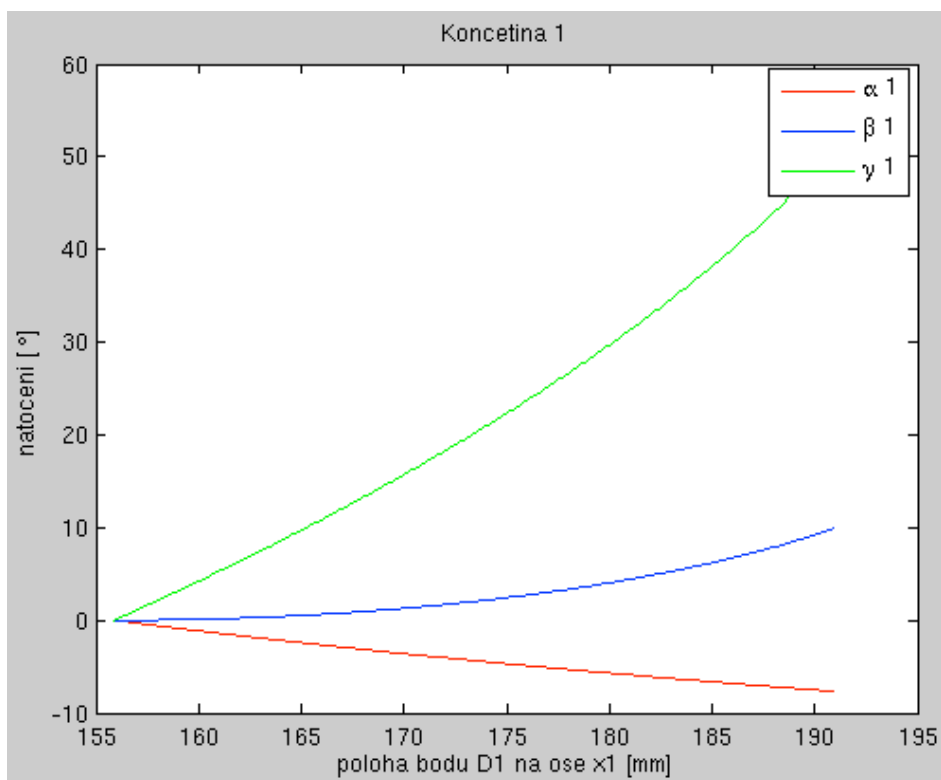
Obr. 9.2.7.1 Závislost úhlů α_6 , β_6 , a γ_6 na změně polohy bodu D_6 při zvedání



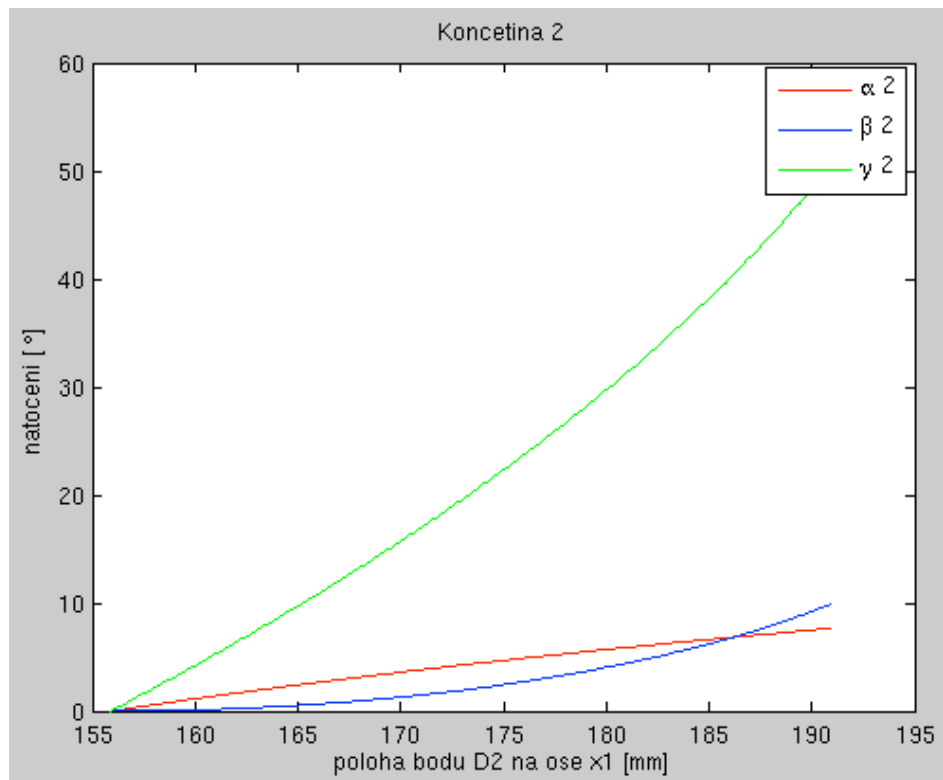
Obr. 9.2.7.2 Závislost úhlů α_6 , β_6 , a γ_6 na změně polohy bodu D_6 při posunu



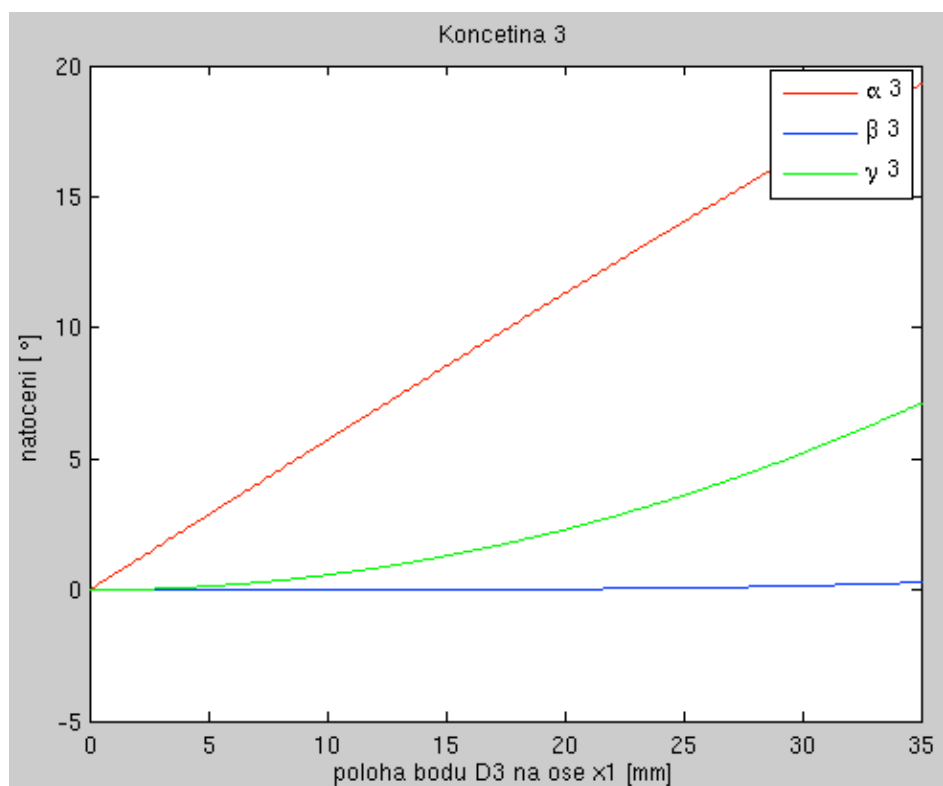
Obr. 9.2.7.3 Závislost úhlů α_6 , β_6 , a γ_6 na změně polohy bodu D_6 při pokládání



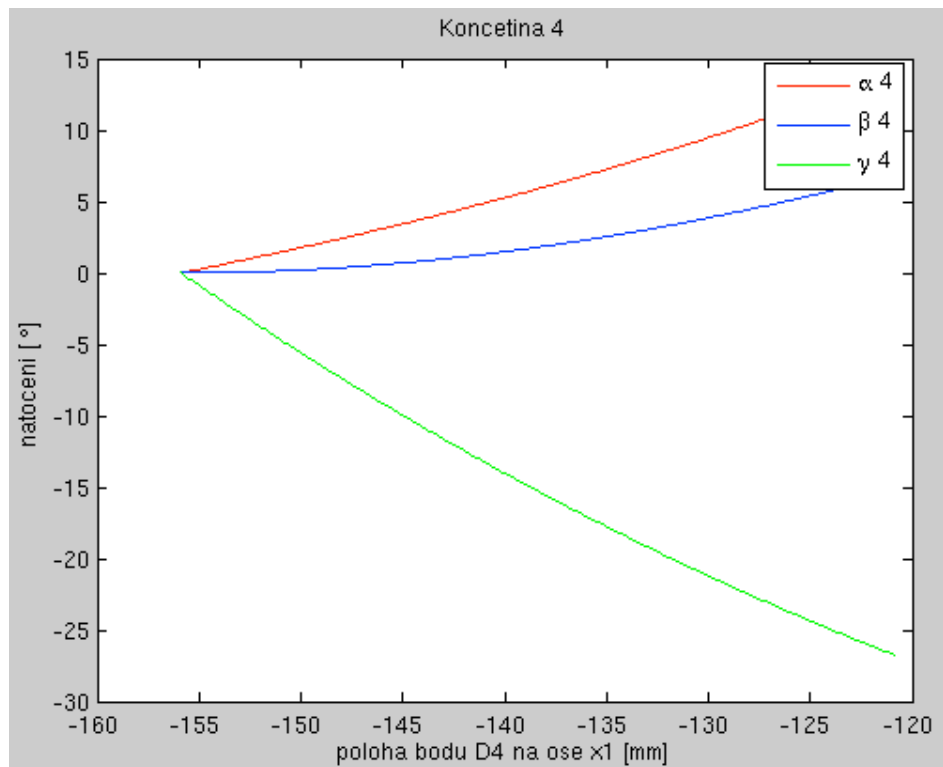
Obr. 9.2.8.1 Závislost úhlů α_1 , β_1 , a γ_1 na změně polohy bodu D_1 při posunutí



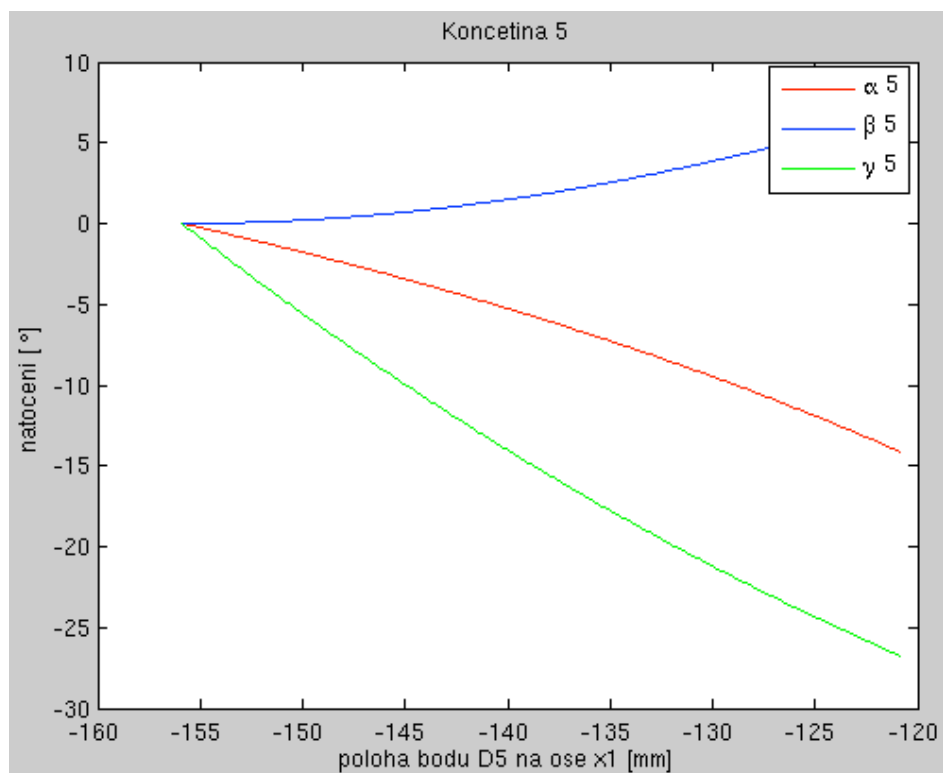
Obr. 9.2.8.2 Závislost úhlů α_2 , β_2 , a γ_2 na změně polohy bodu D_2 při posunutí



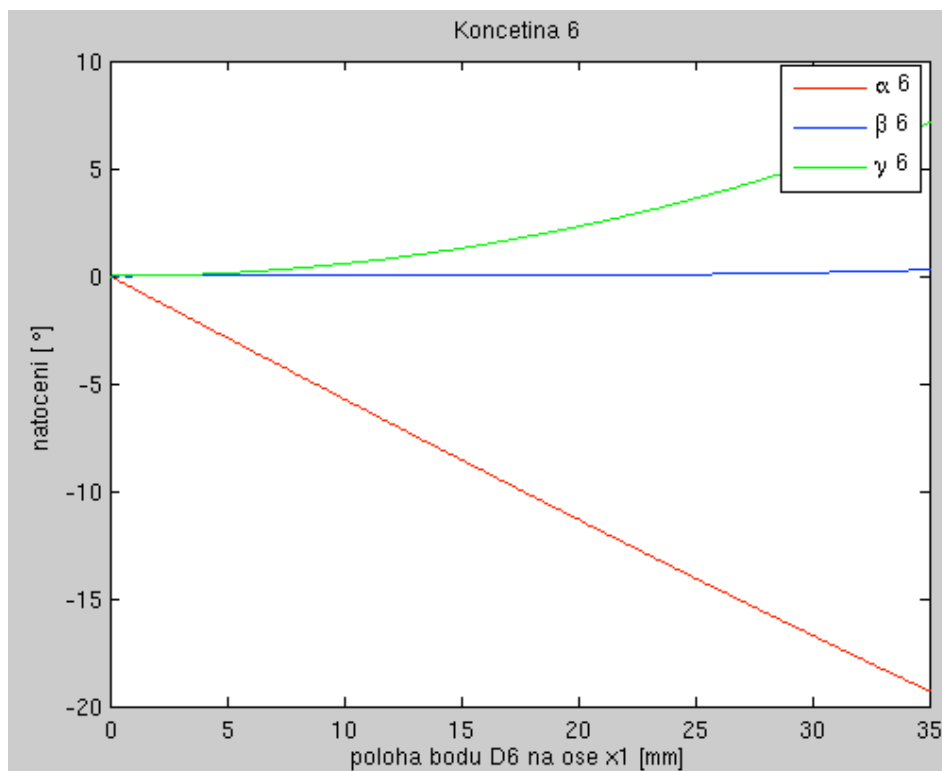
Obr. 9.2.8.3 Závislost úhlů α_3 , β_3 , a γ_3 na změně polohy bodu D_3 při posunutí



Obr. 9.2.8.4 Závislost úhlů α_4 , β_4 , a γ_4 na změně polohy bodu D_4 při posunutí



Obr. 9.2.8.5 Závislost úhlů α_5 , β_5 , a γ_5 na změně polohy bodu D_5 při posunutí



Obr. 9.2.8.6 Závislost úhlů α_6 , β_6 , a γ_6 na změně polohy bodu D_6 při posunutí