



Széchenyi István Egyetem
Audi Hungaria Járműmérnöki Kar

OTDK Dolgozat

Autonóm tekéző robot megépítése és beágyazott vezérlése 3D-s környezetben

Kovács Zoltán
Járműmérnöki MSc szak
Villamos járműhajtások

Belső konzulens:
Dr. Fodor Dénes
Teljesítményelektronika és Villamos Hajtások Tanszék

Külső konzulens:
Kőrös Péter
Járműipari Kutatóközpont

Győr, 2024

Kivonat

Tekéző robot megépítése és vezérlése beágyazott rendszer segítségével

A feladat egy olyan önműködő tekéző robot tervezése, megépítése és mikrovezérlős beágyazott irányítása, amely egy billiárdgolyót adott helyről képes felemelni és elgurítani oly módon, hogy az arányosan lecsökkentett méretű teke bábukat minél nagyobb számban ledöntse. Kitűzött cél az állva maradt bábuk számának minimumra csökkentése három egymást követő gurítás után.

A munkát irodalomkutatással kezdtem, melynek eredményeként összeállítottam egy robotikát érintő történelmi áttekintést. Létrehoztam egy rövid, a robotok működésével kapcsolatos ismeretanyagot.

A robot szerkezetének modellezését Inventor program segítségével hajtottam végre. A tervezés folyamán nagy figyelmet fordítottam az egyszerű, de stabil kialakítására. A beépített motorok számát az irányító program egyszerűsítése végett próbáltam minimalizálni, illetve a robotot első lépésben nem szereltem fel szenzorokkal. Különös figyelmet fordítottam arra, hogy a golyó mozgása stabil legyen és a gurítás folyamata többször megismételhető maradjon. A tervezésnél fontos követelményként tűztem ki a golyó pattanásmentes földet érését a roboton kialakított gurító szerkezetről, a golyó várható mozgásának pontos meghatározása miatt, melyet matematikai megközelítéssel próbálok leírni.

A háromdimenziós környezetben megtervezett robot, a szükséges építőelemek beszerzése után a valóságban is összeszerelésre került.

A feladat utolsó és talán legizgalmasabb része a robot programozása beágyazott környezetben, melyet grafikus kezelőfelület kialakításra alkalmas szoftver segítségével NI myRIO eszközön valósítottam meg.

Abstract

Construction and control of a bowling robot using an embedded system

The task is to design, build and control a self-powered bowling robot with embedded microcontroller that can lift and roll a billiard ball from a given position in such a way that it can drop a proportionately reduced number of bowling figures. The objective is to minimize the number of the figures left standing after three subsequent rolls.

I started the work with a literature search, which resulted in a historical overview of robotics. I created a brief knowledge base on the operation of robots.

I carried out the modelling of the hardware of the robot using Inventor software. During the design process, I paid attention to the design of a simple but stable structure. I tried to minimize the number of built-in motors in order to simplify the control program, and I did not equip the robot with sensors in the first step. I pay particular attention to the stability of the ball movement and the repeatability of the rolling process. An important requirement in the design is to ensure a bounce-free landing of the ball from the robot's roll structure, due to the accurate determination of the expected ball motion, which I to describe using a mathematical approach.

The robot, designed in a three-dimensional environment, was physically assembled after the necessary building blocks had been purchased.

The last and perhaps most exciting part of the task is the programming of the robot in an embedded environment, which I implement using graphical user interface software on NI myRIO.

Jelölésjegyzék

Latin betűk, jelölések:

- d : osztókör átmérő [mm];
- D : átmérő [mm];
- h : magasság, mélység [mm];
- i : módosítás;
- l : megtett távolság [mm] (robot);
- $n_{\text{névl.}}$: névleges fordulatszám [fordulat/perc];
- R : sugár[mm];
- s : tömegközéppont;
- t : idő [s];
- v : sebesség [m/s]
- x : megtett út [m] (golyó);
- z : fogaskerék fogszaám [db];

Görög betűk, jelölések:

- θ : elfordulási szög [rad];
- Φ : elfordulási szög [rad];
- Ψ : elfordulási szög [rad]
- ω : szögsebesség [1/s, rad/s];

Tartalomjegyzék

Bevezetés	1
1. Robottechnika történelmi áttekintése.....	3
2. Robotok mechanikai kialakítása	4
3. Robotok vezérlése	5
4. Beágyazott vezérlés megvalósításának platformjai	6
4.1. Arduino platform	6
4.1.1. Arduino UNO felépítése és tulajdonságai	6
4.2. NI myRIO-1900 platform	9
4.2.1. Az NI myRIO-1900 mérési platform bemutatása	9
4.2.2. NI myRIO perifériális csatlakozásai	10
5. Teke vagy Bowling	12
6. Tekéző robot tervezése	14
6.1. A környezet meghatározása	14
6.1.1. A golyó kiválasztása	14
6.1.2. A golyótartó felvázolása.....	15
6.1.3. A bábuk mérete és elhelyezésük.....	17
6.1.4. A pálya méreteinek a meghatározása	18
6.2. A robot tervezett mozgása.....	20
6.2.1. A helyváltoztatáshoz használt DC motor	21
6.2.2. A gurítást létrehozó szervomotor	22
6.2.3. Omni-Wheel kerék	23
7. A golyó mozgásának matematikai leírása	25
8. TETRIS elemekből a feladatra alkalmas robot megépítése, mely képes a golyót felemelni és elgurítani	31
8.1. A robot megépítése 3 dimenziós tervezőkörnyezetben, INVENTOR tervező szoftverrel	32
8.2. A robot összeszerelése	42
9. A golyó pályára engedése pattanásmentesen	45
10. A vezérlő program megírása beágyazott NI myRIO programozási környezetben.....	47

Összegzés.....	52
Irodalomjegyzék	53
Nyomtatott dokumentumok:.....	53
Elektronikus dokumentumok:	53

Bevezetés

A kitűzött cél egy tekészésre képes robot építése. A szerkezetet 3 dimenziós környezetben terveztem meg. A robot tervezése megépítése és vezérlése több területet ölel át. Az iparban, az új járművek fejlesztéséhez hasonló a robotom létrehozásának folyamata. A prototípust számítógép segítségével, irodai környezetben szoftver segítségével hoztam létre. A megépítéshez csak a szükséges alkatrészeket szereztem be. Kiválasztottam egy speciális területet, a golyó mozgását, ahol szimulációkat hajtottam végre a golyó mozgásának javítása érdekében. A szimulációs eredményekre támaszkodva építettem meg a 3 dimenziós környezetben létrehozott prototípus alapján a robotot. A robot mozgását szintén számítógépes környezetben terveztem meg.

Egy ilyen robot megépítése játékos környezetet teremt az iparban a hasznos tudás elsajátításához, a folyamat véghezvitele nagyon jó rálátást biztosít a tervezés különböző fázisaira. Úgy gondolom, hogy az általam kidolgozott folyamathoz hasonló, projektmunka keretében, a jövőben beépíthető lenne az egyetemi oktatásba. Egy ilyen komplex tervezési munka segíthet a célzott tudás elsajátításában.

A robot tervezése során a golyó mozgásának finomhangolását választottam ki fő tervezési célként. Tudományos megközelítéssel próbáltam a golyó mozgását leíró egyenleteket meghatározni, melyek segítségemre voltak az építésben a hatékonyan gurító tekésző robot megalkotásában.

Járműmérnök hallgatóként ez a terület ismeretlen volt számomra a téma felmerülésének pillanatában. Szerettem volna a szakterülethez közelebb kerülni, ezért irodalomkutatással kezdtem a kutatómunkám. Először a robotépítés történelmébe mélyedtem bele alaposabban. Dióhéjban összefoglaltam az olvasottakat, a számomra érdekes robotokról, készítettem egy történelmi áttekintést. A következő lépésben a robotok mechanikai kialakításának szakirodalmába ástam bele magam. A témába való jártasságszerzésem harmadik, egyben utolsó lépcsőfoka volt a beágyazott rendszerek alapos megismerése a robotok vezérlésének megértése érdekében.

A következőkben feltérképeztem, hogy mely cégek gyártanak olyan alkatrészeket, melyekből a tekészésre alkalmas robotot meg lehet építeni. Felkutattam azokat a vállalatokat, amelyek ezeket az alkatrészeket forgalmazzák. Meggyőződtem a termékek elérhetőségéről. Az alkatrészek méreteinek esetleg 3D modelljeinek a rendelkezésre állása is fontos szempont a megfelelő gyártó kiválasztása előtt.

A gyártó és forgalmazó kiválasztását követően, az alkatrészek pontos méreteinek begyűjtése után elkezdődhet az érdemi tervezőmunka. A robot 3 dimenziós modellezése során a szerkezetet alkatrészeiről alkatrészeire össze kell építeni.

A tervezőnek nagy szabadságot és könnyebbséget biztosít ez a környezet, mivel számos variációt viszonylag gyorsan létre lehet hozni úgy, hogy nem kell a valóságban megépíteni a szerkezetet. Az összeépítési nehézségek a számítógép képernyője mögül felderíthetők. Az esetleges megépíthetetlen ötletek elvetésre kerülhetnek.

A modellezés szintjén megépített végleges szerkezet összeszereléséhez szükséges alkatrészek kilistázhatók. Megvásárlásuk, legyártatásuk után a szerkezet a valóságban is megépíthető.

A robot megépítéséhez a TETRIX MAX Building System rendszerét választottam, mely nagyon sok különböző elemet tartalmaz. A tervezés végeztével két prototípus gyártásra alkalmas szerkezetet mutatok be. Mindkettőt megépítem, de csak az egyszerűbb szerkezetet fogom programozni.

A robot beágyazott vezérlése többféle platformon is megoldható lenne. Én a The National Instruments myRIO-1900 hardvert használom és az NI LabVIEW grafikus kezelőfelületű szoftver segítségével végzem el a programozást.

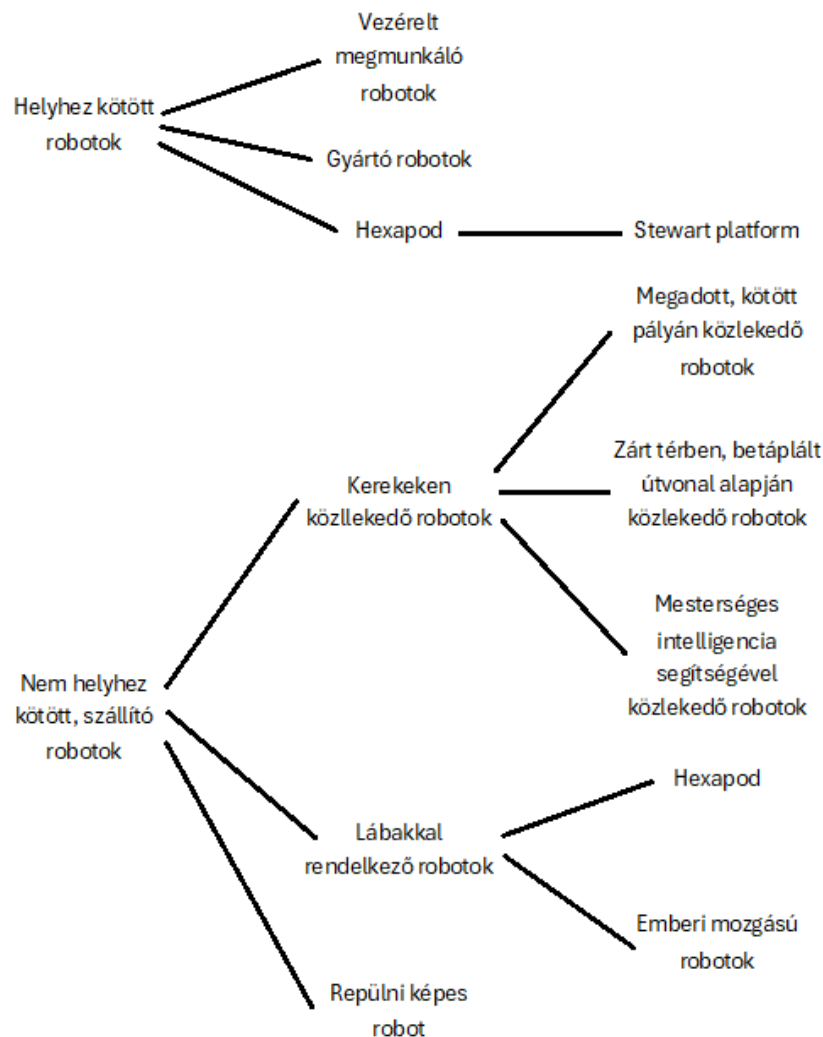
A robotépítés folyamatát videók segítségével szerettem volna színesíteni, érdekesebbé tenni. A golyó pattanásmentes földre érkezését, a golyó robot által történő megemelését és a robot programozott gurításának az elvégzését csak mozgó kép segítségével tudom bemutatni. A dokumentum tartalmaz olyan hivatkozásokat, melyek a saját Google Drive-omra mutatnak. Innen letölthetők a rövid videók, melyek segítenek pontosabb képet adni munkámról. Az olvasót így talán vissza tudom repíteni azokhoz a pillanatokhoz, melyeket izgatottan és igen nagy lelkesedéssel éltem át.

1. Robottechnika történelmi áttekintése

Mielőtt komolyabban belemerültem volna a témába, szükségesnek tartottam egy kis robot történelmet olvasni, hogy kicsit otthonosabban mozogjak ezen a területen. A számomra legérdekesebbnek tartott robotokról készítettem egy rövid történelmi összefoglalót. Szerepelnek benne az első robotok a XVIII. századból, a fuvolázó fiú, a totyogó, hápogó és pancsikáló kiskacsa, az író a rajzoló és a zenész. Majd minden ezt követő századból kiemelek alkotásokat napjainkig, bemutatom az automata trombitást, a zongorázó robotot. Végül szót ejtek a sétáló, szerkezetéről, amely olyan precízen kialakított kéz mechanikával van felszerelve, mellyel képes az üditős flakon kupakját lecsavarni és a flakon tartalmát egy pohárba tölteni. Írok az első, a második, és a harmadik generációs robotokról. A rövid olvasmány az **1. számú mellékletben** található.

2. Robotok mechanikai kialakítása

A robotok történelmi megismerése után szükségesnek tartottam csoportosítani a megismert, különböző területen használt robotokat. A szakirodalmakban számos csoportosítás fellelhető, de komplex csoportosítást nem találtam, így megkíséreltem létrehozni egyet magamnak, hogy a témára jobb rálátásom legyen. Az **1. ábra** egy ilyen csoportosítást mutat a teljesség igénye nélkül.



1. ábra: A robotok csoportosítása kialakításuk alapján

A **2. számú mellékletben** az itt csoportosított robotokat mutatom be részletesen.

3. Robotok vezérlése

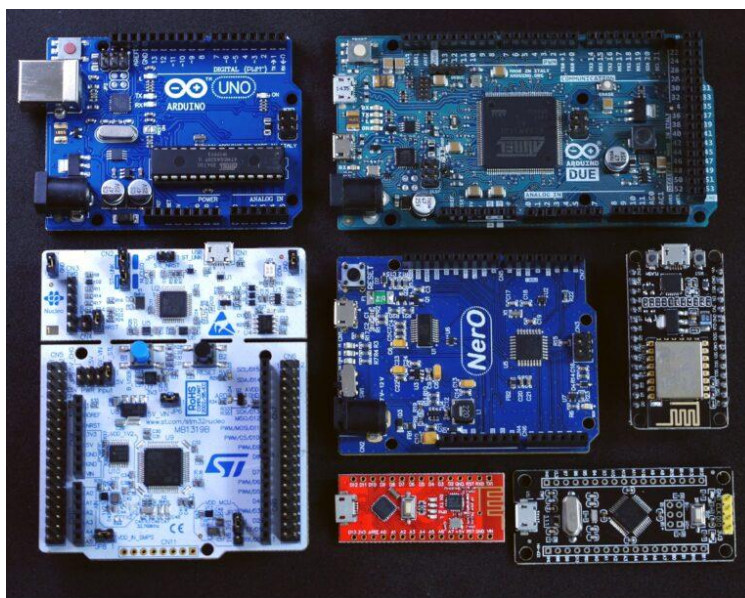
A beágyazott rendszerek egy teljesen új terület a számomra, ezért összeállítottam egy rövid tananyagot magamnak, amely segít a fontosabb összefüggések megértésében, illetve azon érdeklődő olvasóknak, akiket érdekel a robotépítés és ezért szeretnének komolyabban megismerkedni ezzel a területtel. Részletezem a mikrovezérlőket, tárgyalom a mikroszámítógépeket, írok a mikroprocesszorról a memóriáról és az Input/output eszközökről. Bemutatom a fejlesztés négy tesztelési szintjét, ezek a MIL (model in the loop), a SIL (software in the loop), a PIL (processor in the loop), és a HIL (hardware in the loop). Az oktatóanyag nagy részletességgel tárgyalja beágyazott rendszereket, ami megtalálható a **3. számú mellékletben**.

4. Beágyazott vezérlés megvalósításának platformjai

A tekéző robot vezérlését több hardver és szoftver összekombinálásával lehetne megoldani. Az elkövetkezőkben az Arduino és a NI myRIO platformokat fogom részletesebben bemutatni.

4.1. Arduino platform

Az Arduino egy széleskörűen elterjedt, nyílt forrású fejlesztőplatform. Az Arduino-t oktatási céllal hozták létre, de előszeretettel használják otthoni projektekhez, a kisebb automatizálási feladatoktól kezdve az okosotthonok kialakításáig. Ezek mellett ma már az ipari alkalmazások sem ritkák. Az Arduino platform része egy elektronikai áramköri lap és a szoftveres környezet. Maga az áramköri lap nagyon sokféle felépítésben található meg. A **2. ábrán** az elérhető Arduino áramköri lapok fajtáinak egy kis része látható.



2. ábra: Elérhető Arduino áramköri lapok fajtáinak egy kis része

(forrás: <https://www.inf.u-szeged.hu/~makan/tananyagok/elektronikai-alapok-programozoknak/az-arduino-bemutatasa/>)

4.1.1. Arduino UNO felépítése és tulajdonságai

Az egyik legelső és leginkább elterjedt áramkör az Arduino UNO az áramköri lapok közül. A továbbiakban ennek a kártyának a felépítését, tulajdonságait és használatát mutatom be. Az Arduino áramkörök leglényegesebb alkatrészé a mikrovezérlő. Az UNO esetében ez egy ATmega328/P típusú, 8 bites mikrovezérlő. Ilyen mikrovezérlőkből egyre több található meg a minket körülvevő hétköznapi használati tárgyainkban is, háztartási kis- és nagygépekben például: mosógépben, digitális órában, távirányítóban, mobiltelefonban.

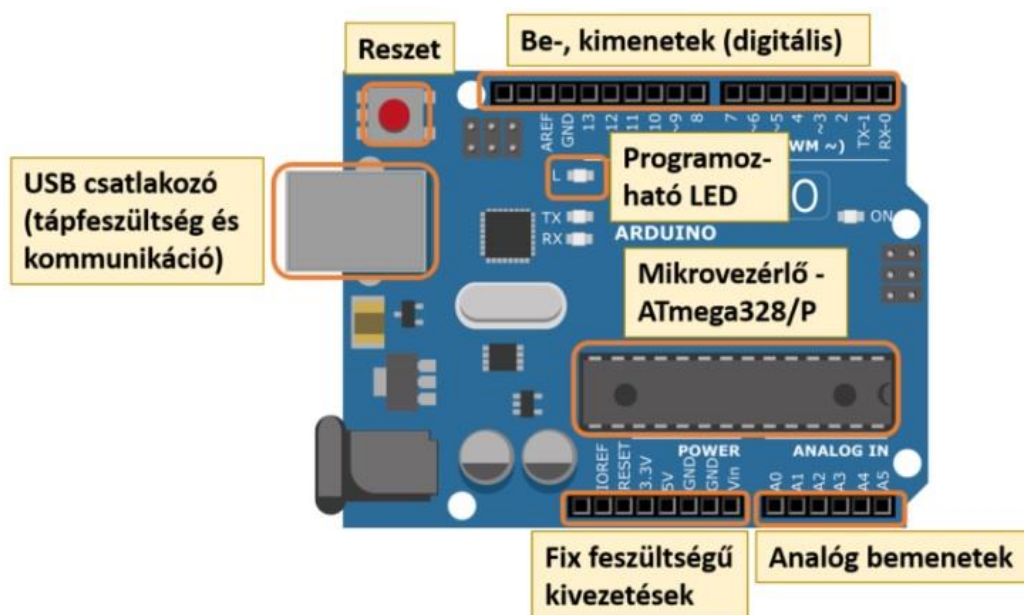
Mikrovezérlők segítségével mérhetjük a szenzorok jelét, beolvashatjuk a nyomógombok állapotát, vezérelhetünk velük LED-eket, motorokat, kommunikálhatunk más áramkörökkel és még sok egyéb feladatra is használhatók.

Az Arduino UNO áramköri lap lényege, hogy a rajta elhelyezett mikrovezérlő minden lába ki van vezetve egy kényelmesen hozzáférhető és könnyen használható csatlakozóra, valamint megtalálható rajta a mikrovezérlő működéséhez és programozásához szükséges egyéb alkatrész is. A mikrovezérlők általában lényegesen kisebb számítási teljesítménnyel rendelkeznek egy hagyományos PC-hez képest, de ezáltal sokkal alacsonyabb a fogyasztásuk és méretük is sokkal kisebb lehet. Mivel általában nem fut rajtuk operációs rendszer, ezért a rendelkezésre álló erőforrásnak megfelelő valós-idejű feladatokra is alkalmazhatók, azaz egy adott eseményre a mikrovezérlő gyorsan és egy garantált maximális idő alatt képes reagálni. Léteznek ugyan valós idejű operációs rendszerek, azonban ezek több erőforrást is igényelnek.

Az ATmega328/P típusú mikrovezérlő lényegesebb paraméterei:

- 8 bites architektúra
- 16 MHz-es órajel
- EEPROM (csak olvasható memória): 1 KB
- SRAM (változók tárolására): 2 KB
- A flash (programot tároló ROM): 32 KB

Az Arduino UNO áramköri lapon lévő legfontosabb alkatrészek a **3. ábrán** láthatóak.



3. ábra: Arduino UNO áramköri lap legfontosabb alkatrészei

(forrás: <https://www.inf.u-szeged.hu/~makan/tananyagok/elektronikai-alapok-programozoknak/az-arduino-bemutatas/>)

Ahhoz, hogy külső áramköröket is használjunk, tudnunk kell a lábkiosztást, azaz, hogy a kódból hogyan tudunk hivatkozni az adott kivezetésre. Az Arduino áramköri lap két szélén lévő tűskesor aljzat melletti számokkal érjük el az adott kivezetést a kódból. Ezek a kivezetések lehetnek digitálisak (0-tól 13-ig jelölve) vagy analóg bemenetek (A0-tól A5-ig jelölve). Az A0-A5 kivezetések még digitális be- és kimenetek is lehetnek, ha a kódban úgy állítjuk be az adott kivezetést. Külső áramkörök esetén a fix feszültségű kivezetésekről könnyedén tudunk tápfeszültséget adni az áramkör számára. A csatlakozókhoz egyszerűen köthetünk szenzorokat, digitális IC-eket és egyéb külső áramköröket. Ahhoz, hogy ezeket biztonságosan tudjuk használni, előbb meg kell ismernünk a be- és kimenetek működésének korlátait:

- Működési feszültség: 5 V
- Maximális kivehető/befolyatható áram egy digitális kimenetből: 20 mA
- Maximális kivehető áram a 3,3 V-os kimenetből: 50 mA

Az feszültségszintekre és áramkorlátokra nagyon figyelni kell az Arduino használata során. Csak egyforma feszültségszinteken üzemelő áramköröket szabad összekapcsolni, az áramerősségeket pedig a számolás során kapott értéknek megfelelő, sorba kapcsolt ellenállással lehet a maximális megengedett érték alatt tartani. Az Arduino-hoz számos feltét áramkör is kapható, amiket Arduino shieldeknek neveznek. Ezeknek az áramköri lapoknak az előnye, hogy egyszerűen, egyetlen mozdulattal rá lehet helyezni az Arduino-ra és máris kiegészítettük az Arduino-t valamilyen hasznos funkcióval. Egy feltét áramkörrel ellátott Arduino UNO áramköri lap látható a **4. ábrán**. [1]



4. ábra: Az Arduino-hoz kényelmesen hozzáilleszthető feltét áramkör

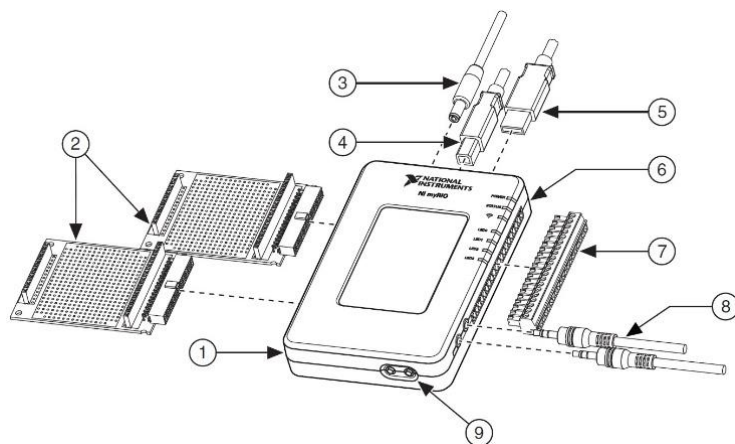
(forrás: <https://www.inf.u-szeged.hu/~makan/tananyagok/elektronikai-alapok-programozoknak/az-arduino-bemutatas/>)

4.2. NI myRIO-1900 platform

A mérés technika fejlődésével egyre pontosabb, gyorsabb és olcsóbb mérőeszközök állnak rendelkezésre. A régi célműszerek helyett megtalálhatóak a piacon az olyan mérőberendezések, mérőkártyák, amik számítógéppel összekapcsolva sokféle különböző mérési feladat elvégzését teszik lehetővé, a számítógépen futó szoftver segítségével. Egyik ilyen eszköz a National Instruments (NI) által gyártott NI myRIO-1900 mérési platform és a szintén az NI által megalkotott LabVIEW grafikus programozási környezet. [2]

4.2.1. Az NI myRIO-1900 mérési platform bemutatása

A The National Instruments myRIO-1900 (továbbiakban NI myRIO) egy olyan hordozható, újrakonfigurálható I/O (RIO-Reconfigurable Input/Output) készülék, amelyet a gyártó mérési feladatok elvégzésére; vezérlések, robotok és egyéb mechatronikai rendszerek fejlesztésére optimalizált. Fő részeit az **5. ábra** és az **1. táblázat** tartalmazza. Azért fejlesztettek ki, hogy a mechatronika iránt érdeklődők egy kompakt eszköz programozásán keresztül sajátíthassák el a NI LabVIEW környezeten belüli programozását a valós idejű és FPGA alapú rendszereknek. [2]



5. ábra: Az NI myRIO-1900 felépítése

(forrás: User guide and specifications NI myRIO-1900)

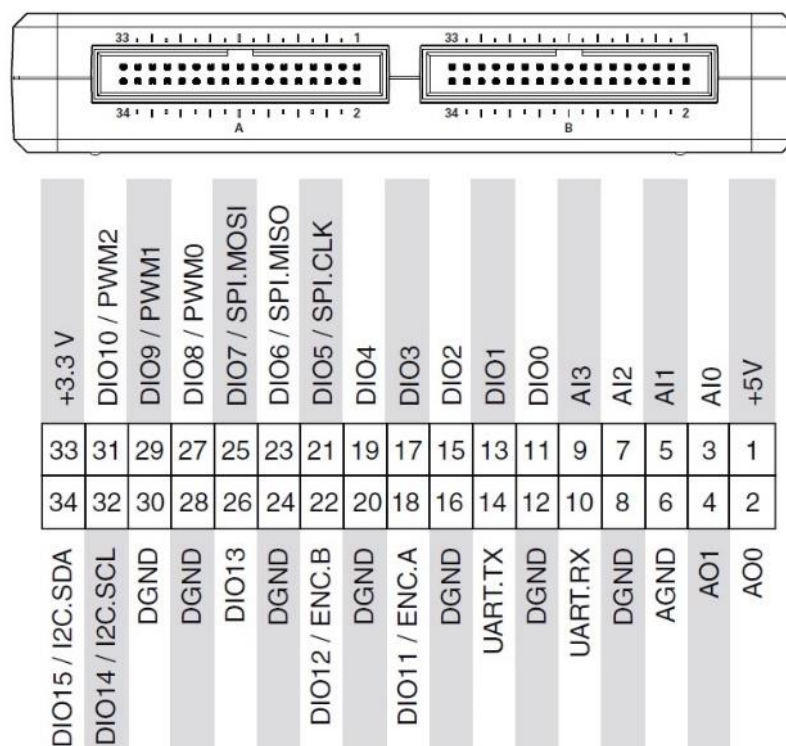
1. táblázat: Az NI myRIO-1900 főbb részei

(forrás: User guide and specifications NI myRIO-1900)

1.	NI myRIO-1900
2.	Bővítő port panelek (MXP - myRIO Expansion Port)
3.	Tápfeszültség csatlakozó vezeték
4.	USB vezeték
5.	USB Host vezeték
6.	LED-ek
7.	Mini rendszer port C (MSP - Mini System Port) csavaros csatlakozó
8.	Audio In/Out vezetékek
9.	Nyomógomb

4.2.2. NI myRIO perifériális csatlakozásai

A készülék bővítő port (MXP) és mini rendszer port C (MSP) perifériális csatlakozócsoporthal rendelkezik. Az MXP port csatlakozó-kiosztását és felépítését a **6. ábra** és a **2. táblázat** szemlélteti. A bővítő port két teljesen azonos (A, illetve B, jelű) részből áll, melyeket szoftveresen, a csatlakozó azonosítója alapján lehet megkülönböztetni (például ConnectorA/DIO1 illetve ConnectorB/DIO1). Egyes csatlakozó lábak több funkcióval is rendelkeznek, melyek közül szintén szoftveres úton lehet választani. Az MSP port jellemzően nagyobb feszültségű be- és kimeneteket tartalmaz, illetve mellette találhatóak a készülék audio in/out csatlakozásai is. A rendszer port kiosztását a **7. ábra** és a **3. táblázat** szemlélteti. [2]

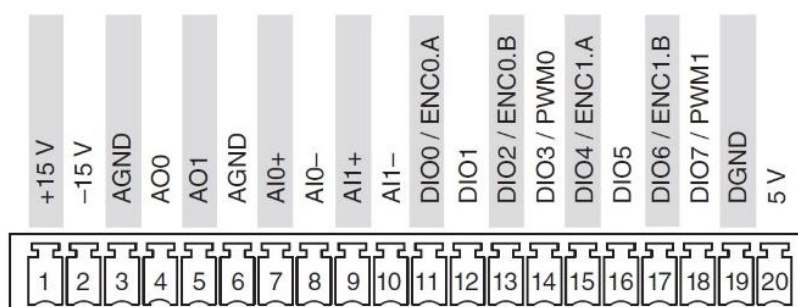
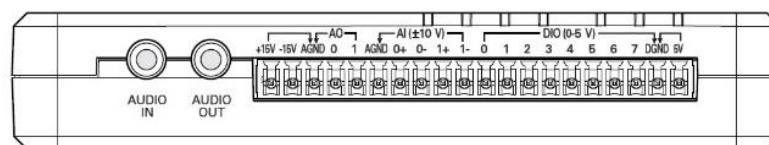


6. ábra: Bővítő port (MXP) csatlakozó-kiosztása
(forrás: User guide and specifications NI myRIO-1900)

2. táblázat: A bővítő port (MXP) csatlakozói

(forrás: User guide and specifications NI myRIO-1900)

Csatlakozó neve	Referencia pont	Bemenet/kimenet (I/O)	Leírás
+5V	DGND	O	+5V tápfeszültség kimenet
AI<0..3>	AGND	I	0-5V aszimmetrikus analóg bemenetek
AO<0..1>	AGND	O	0-5V aszimmetrikus analóg kimenetek
AGND	-	-	Referencia 0 az analóg be-/kimenetekhez
+3.3V	DGND	O	+3.3V tápfeszültség kimenet
DIO<0..15>	DGND	I/O	Általános célú digitális be-/kimenetek 3.3V kimeneti-, ill. 3.3V/5V bemeneti jelszinttel
UART.RX	DGND	I	UART bemeneti vonal
UART.TX	DGND	O	UART kimeneti vonal
DGND	-	-	Referencia 0 a digitális be-/kimenetekhez, ill. a +5V és +3.3V tápfeszültség kimenetekhez



7. ábra: A Mini Rendszer Port C (MSP) csatlakozó-kiosztása

(forrás: User guide and specifications NI myRIO-1900)

3. táblázat: A Mini Rendszer Port C (MSP) csatlakozói

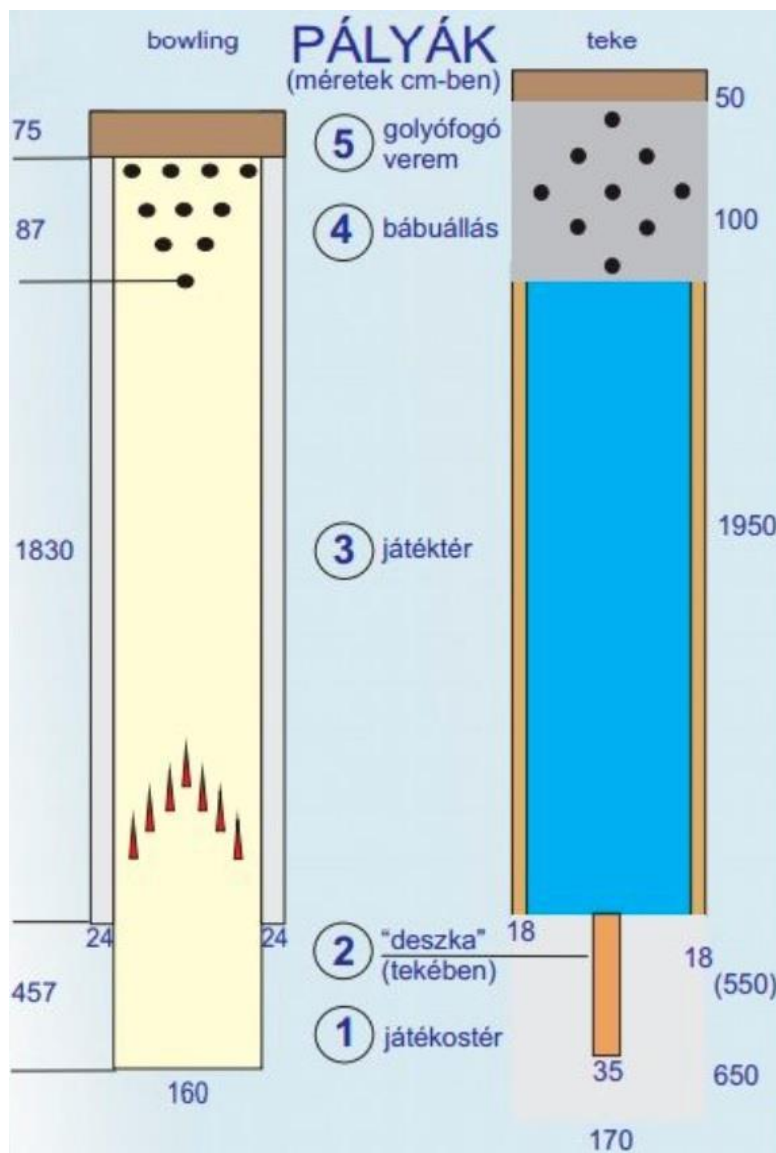
(forrás: User guide and specifications NI myRIO-1900)

Csatlakozó neve	Referencia pont	Bemenet/kimenet (I/O)	Leírás
+15V/-15V	AGND	O	+15V/-15V tápfeszültség kimenet
AI0+/AI0- AI1+/AI1-	AGND	I	+/-10V differenciális analóg bemenetek
AO<0..1>	AGND	O	+/-10V aszimmetrikus analóg kimenetek
AGND	-	-	Referencia 0 az analóg be-/kimenetekhez valamint a +15V/-15V tápfeszültség kimenethez
+5V	DGND	O	+5V tápfeszültség kimenet
DIO<0..7>	DGND	I/O	Általános célú digitális be-/kimenetek 3.3V kimeneti-, ill. 3.3V/5V bemeneti jelszinttel
DGND	-	-	Referencia 0 a digitális be-/kimenetekhez, valamint a +5V tápfeszültség kimenethez
AUDIO IN	-	I	Sztereo hang bemenet +/-2.5V
AUDIO OUT	-	O	Sztereo hang kimenet

5. Teke vagy Bowling

A teke, golyókkal és bábuval űzött sport, illetve játék. A 28,5 m hosszú, többsávos (sávonként 1,7 m széles) pálya első 6,5 métere a játéktér, a gurítás felőli végén az 5,5 m hosszú és 35 cm széles gurítódeszkával. Az általában fehér, műanyagból készült kilenc bábu magassága egyenként 40 cm, tömege 1 750 – 1 800 g. A tekegolyó tetszőleges színű tömör műanyag, átmérője 16 cm, tömege 2,8 – 2,9 kg.

A tíz bábuval játszott teke a bowling. Itt a pálya hossza 18,3 m, egy sáv szélessége 107 cm. Az 1-től 10-ig számozott, műanyagból készült bábuk magassága 38,1 cm, tömegük 1 530 – 1 640 g. A golyó átmérője 21,6 cm, tömege maximum 7,25 kg lehet. A golyón ujjtartó lyukak vannak a biztosabb golyófogáshoz. A kétféle pálya összehasonlítása a **8. ábrán** látható. [3]



8. ábra: Teke kontra Bowling

(forrás: http://www.jgyph.hu/tamop15e/tananyag_html/Rekreacio_III/iii4_teke.html)

Jelentős különbségek vannak. A bowlingban a bábukat háromszög alakban állítják fel, míg a tekében rombusz alakot alkotnak felállítás után. A bowlingban többféle méretű golyó van, a tekében egy méret létezik. A bowlingban lehet saját golyót használni a tekében nem. A bowlingban be kell dobni a golyót a játéktérbe, míg a tekében ez tilos. A golyó a bábúig a bowlingban ívelten gurul, a tekében egyenesen halad. A főbb különbségeket a **4. táblázat** foglalja össze.

4. táblázat: Alapvető különbségek

(forrás: http://www.jgypk.hu/tamop15e/tananyag_html/Rekreacio_III/iii4_teke.html)

Főbb különbségek	Játék	
	Bowling	Teke
Játéktér, Bábuállás anyaga	egyforma	2-3 féle
Játéktér olajozása	2 féle	nincs
Játéktér anyaga	egyféle	kétféle
Játék	szakaszos	folyamatos
Bábuk felállításának alakja	háromszög	rombusz
Bábukon zsinór	általában nincs	mindig van
Bábu garnitúra	2	1
Saját golyó használata	lehet	tilos
Golyó tömege	különböző	egyforma
Golyót bedobni a játéktérre	kötelező	tilos
Golyó útja a bábukig	ívelt	egyenes
Sportfelszerelés	csak cipő	kötelező
Játék közben elhagyhatja a játékterületet	igen	nem
Leülhet	igen	nem
Játék ideje	10. sorozat végéig	időre

6. Tekéző robot tervezése

Tekéző robotot építek, ezért a teke szabályait veszem figyelembe. Az első lépésben a körülményeket határozom meg, utána a robot mozgási lehetőségeit vázoló fel, kiválasztom az építéshez használt építőelemet, ezek után 3D tervezőkörnyezetben elvégzem a modellezést, végül a szükséges építőelemek és alkatrészek beszerzése után megépítem a robotot.

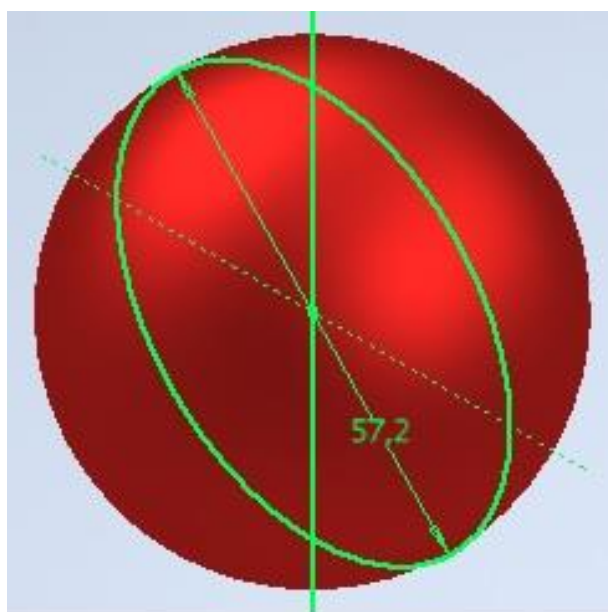
6.1. A környezet meghatározása

A golyó mozgásának tanulmányozása érdekében meglátogattam egy bowling pályát. Az egyik gurításomról készítettem egy videót, mely [itt](#) tekinthető meg. A felvételen először teljes sebességgel, majd később lassítva látható, amint egy gurítással úgy taroltam, hogy nem a középső bábút céloztam meg, mivel akkor a szélső bábuk állva maradhatnak, hanem a középső bábút bal oldalról döntötte jobb irányba a golyóm, így elérve a tökéletes tarolást. Tehát a későbbiekben arra is figyelnem kell, ha egy gurítással szeretném az összes bábút eldönteni, hogy pontosan hová is célzok.

Mindenekelőtt a robothoz méretarányos golyót, bábukat és pályát kell terveznem!

6.1.1. A golyó kiválasztása

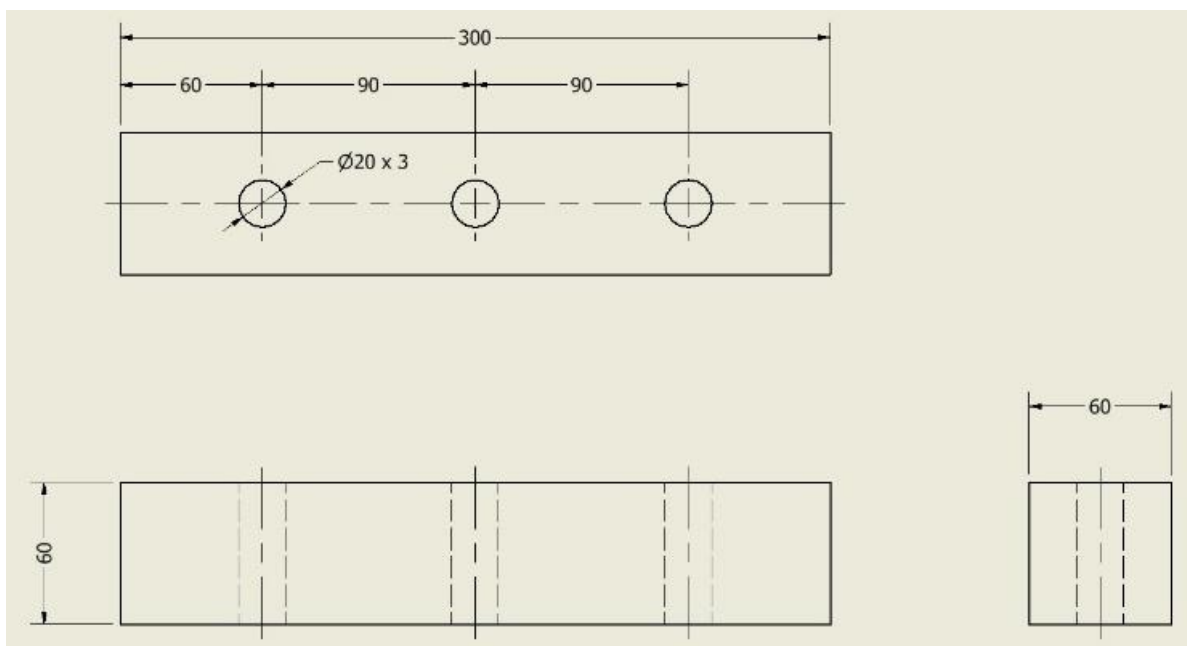
A gurításhoz szabványos piros színű billiárd golyót választottam, melynek átmérője $57,2\text{ mm}$, tömege pedig 162 g . A golyó a **9. ábrán** nézhető meg.



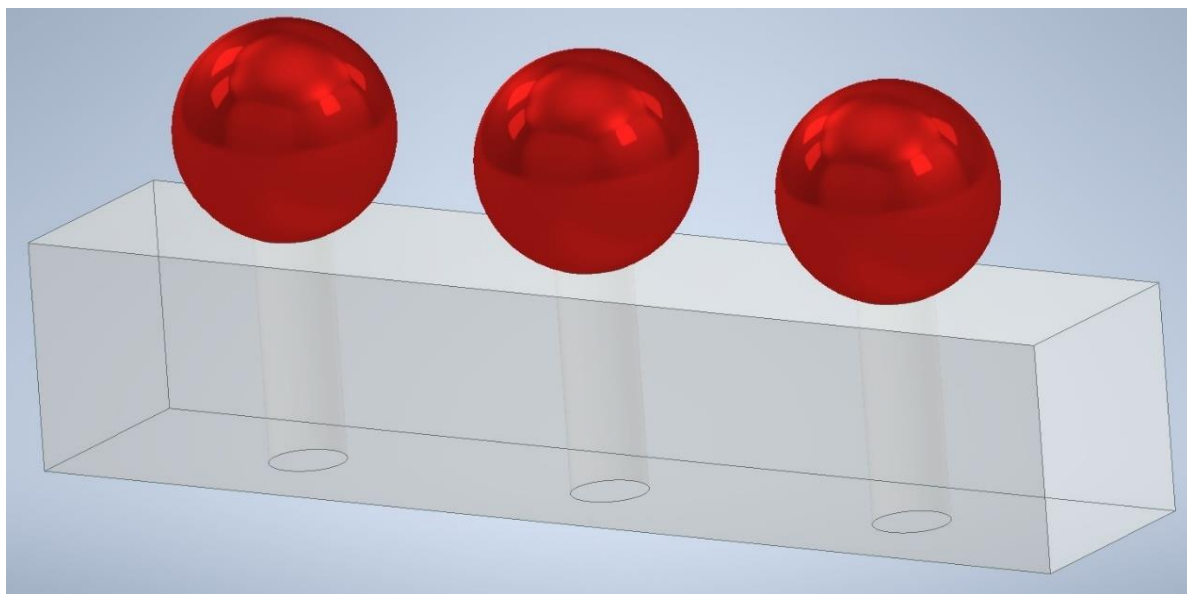
9. ábra: Az $57,2\text{ mm}$ átmérőjű golyó

6.1.2. A golyótartó felvázolása

Egy mozgó emelőtornyos és egy fix emelőtornyos robot ötletét fogom a későbbiekben bemutatni. Mindkét változat az első golyó felemelése után oldalirányú helyváltoztatás nélkül képes felvenni a további két golyót is. Az I. kialakításhoz tartozó golyótartóban egymás mellett sorakoznak a golyók, a II. változathoz tartozó golyótartóban egymás után, egyvonalban vannak elhelyezve a golyók. Az I. változathoz tartozó golyótartó egy $300 \times 60 \times 60 \text{ mm}$ méretű akril hasáb, mely egyszerre három golyót képes tárolni. A hasádba három 20 mm átmérőjű átmenő furat van kialakítva a golyók legurulásának megakadályozása érdekében. A **10. ábrán** a golyótartó alkatrészrajza, a **11. ábrán** pedig a golyótartó a három golyóval látható.

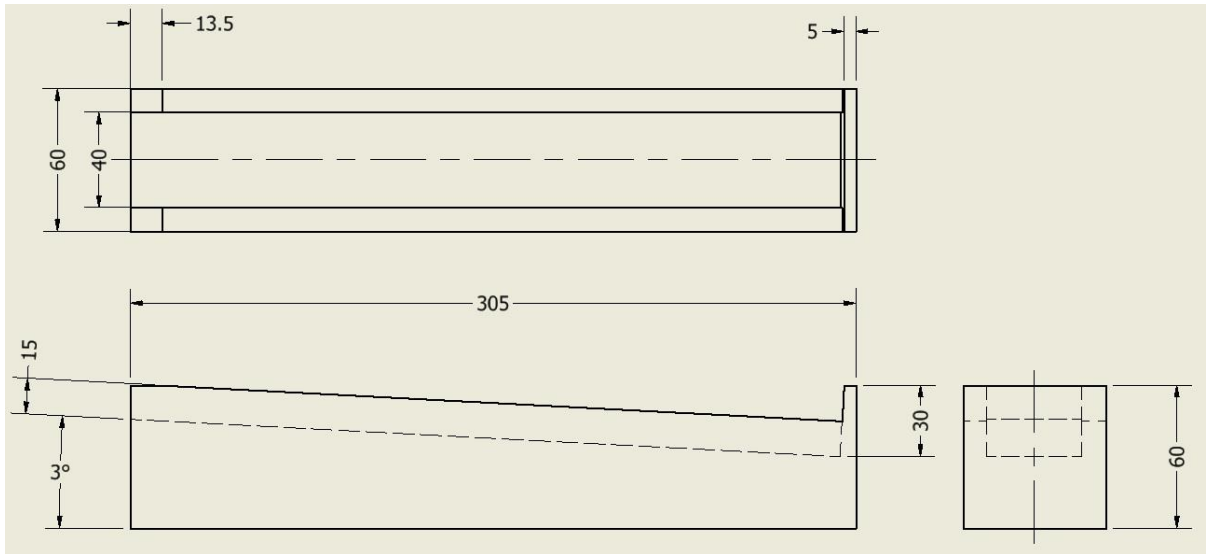


10. ábra: A golyótartó

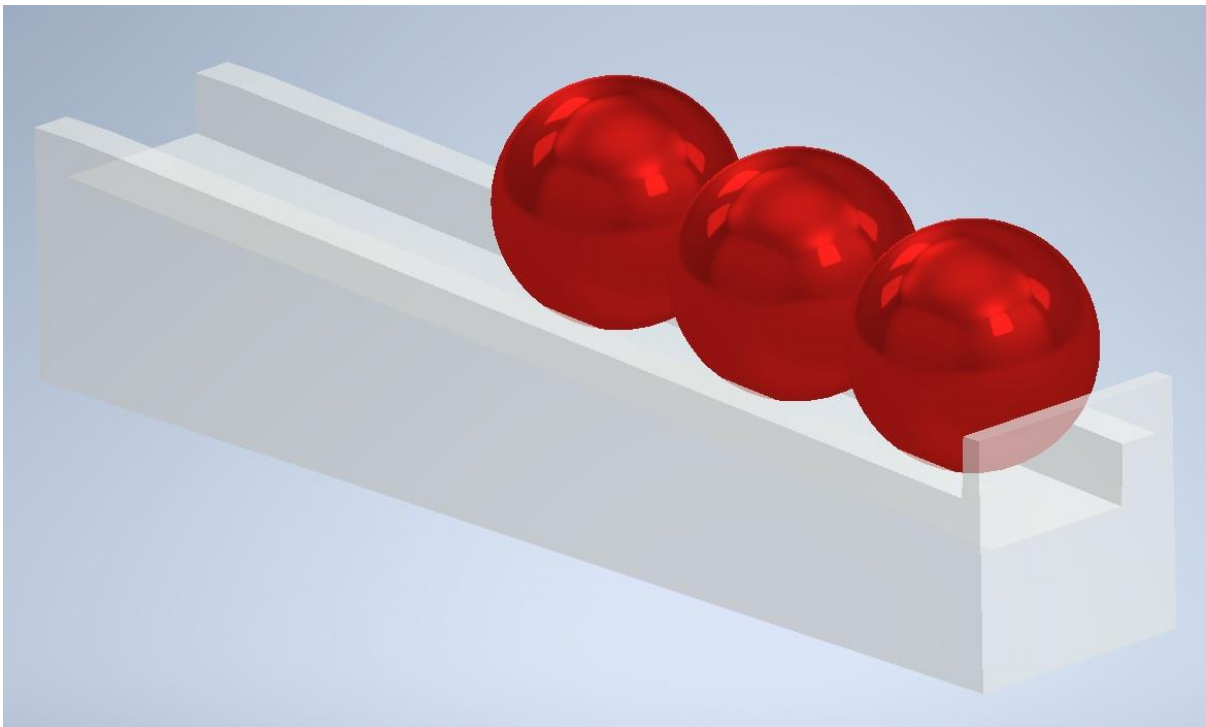


11. ábra: A golyótartó a három golyóval

A II. változathoz tartozó golyótartó ugyanúgy egy $300 \times 60 \times 60 \text{ mm}$ méretű akril hasáb, mely egyszerre három golyót képes tárolni. A hasádba egy lejtő van kialakítva, melyen a golyók a gravitáció hatására szeretnének elmozdulni, a legurulás megakadályozása érdekében a hasáb lejtő oldali oldala zárt. Egy golyó kivétele után, a mögötte lévő golyók elmozdulnak a lejtő irányába. A **12. ábrán** a golyótartó alkatrészrajza, a **13. ábrán** pedig a golyótartó a három golyóval látható.



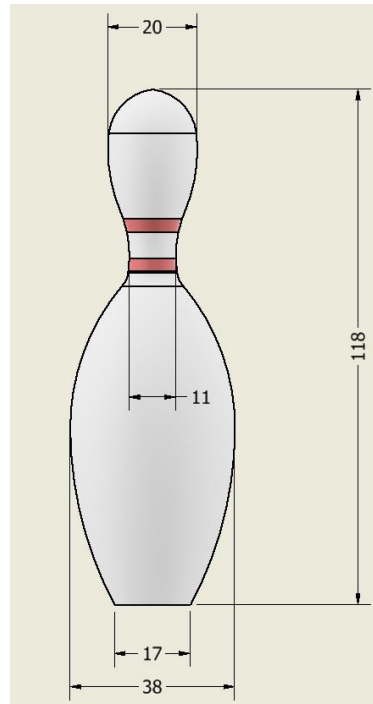
12. ábra: A lejtős golyótartó



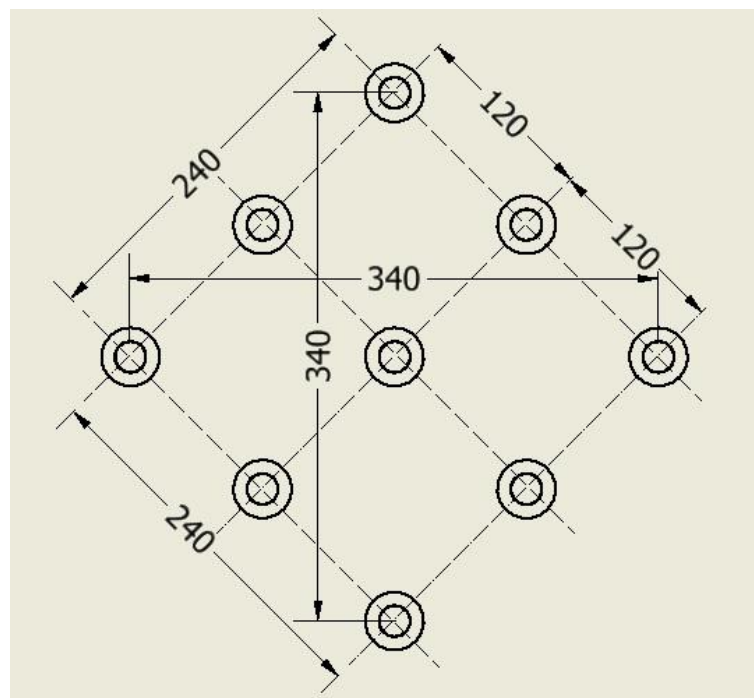
13. ábra: A lejtős golyótartó a három golyóval

6.1.3. A bábuk mérete és elhelyezésük

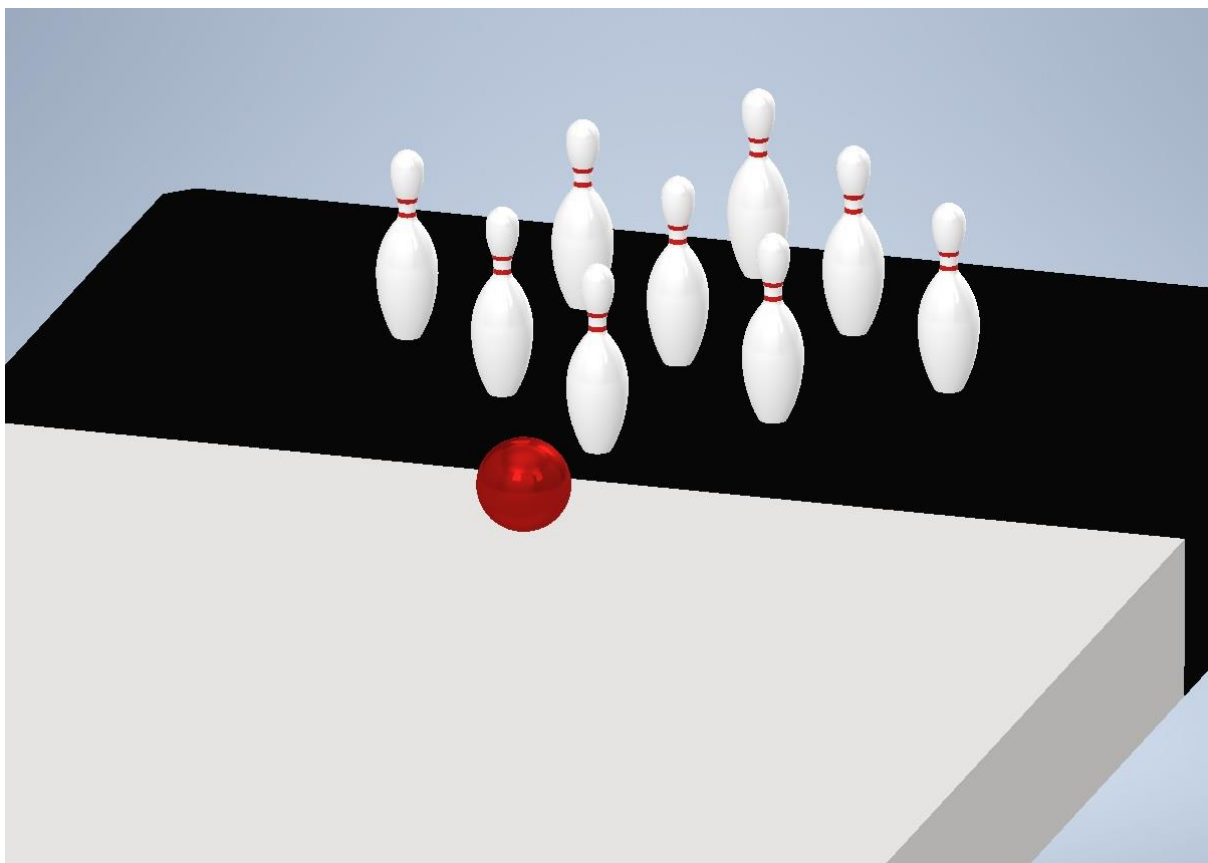
A bábuk fából készültek, a méretük arányosan kisebb a hagyományos teke bábukénál, de alakjuk azokkal megegyező. A bábu főbb méretei a **14. ábrán** nézhetők meg. A rombusz alakban felállított bábuk elrendezése a **15. ábrán** látható. A tarolni készülő golyó a **16. ábrán** tekinthetők meg.



14. ábra: A bábu főbb méretei



15. ábra: A rombusz alakban elrendezett bábuk



16. ábra: A tarolni készülő golyó

6.1.4. A pálya méreteinek a meghatározása

Mivel a golyó méretét lecsökkentettem, ezért a pálya méreteit is csökkentenem szükségem a valósághű gurítási hatás érdekében.

A gurító tér méretének kiszámolása:

$$\frac{160\text{mm}}{72,5\text{mm}} = \frac{6\,500\text{mm}}{x_1} \Rightarrow x_1 = \frac{6\,500\text{mm} \cdot 72,5\text{mm}}{160\text{mm}} = 2\,945,31\text{ mm} = 2,9\text{ m}$$

A guruló tér méretének kiszámolása:

$$\frac{160\text{mm}}{72,5\text{mm}} = \frac{19\,500\text{mm}}{x_2} \Rightarrow x_2 = \frac{19\,500\text{mm} \cdot 72,5\text{mm}}{160\text{mm}} = 8\,835,9\text{ mm} = 8,84\text{ m}$$

A bábu tér méretének kiszámolása:

$$\frac{160\text{mm}}{72,5\text{mm}} = \frac{1\,000\text{mm}}{x_3} \Rightarrow x_3 = \frac{1\,000\text{mm} \cdot 72,5\text{mm}}{160\text{mm}} = 453,12\text{ mm} = 0,45\text{ m}$$

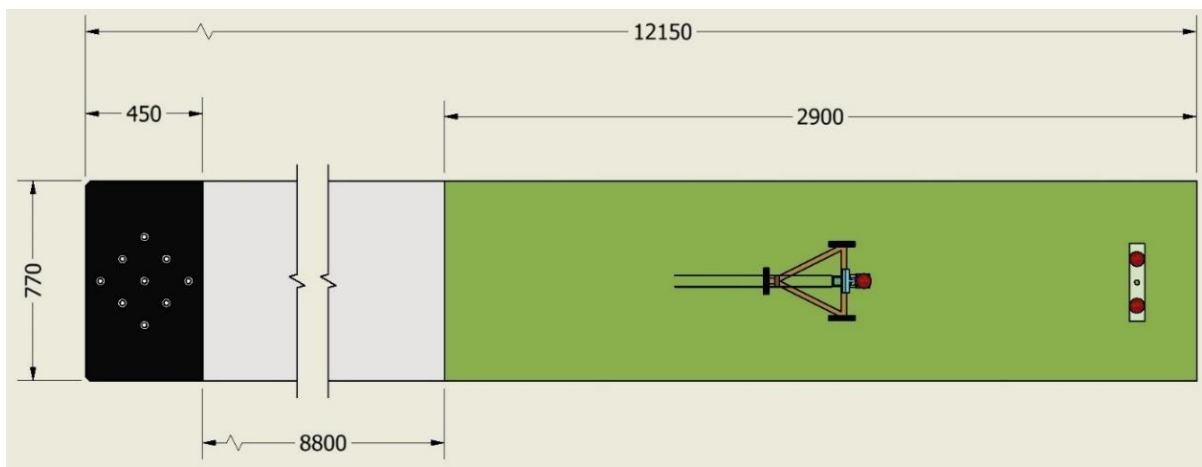
Így a pálya hosszmérete:

$$x = x_1 + x_2 + x_3 = 2\,945,31\text{mm} + 8\,835,9\text{mm} + 453,12\text{mm} = 12\,234,33\text{ mm}$$

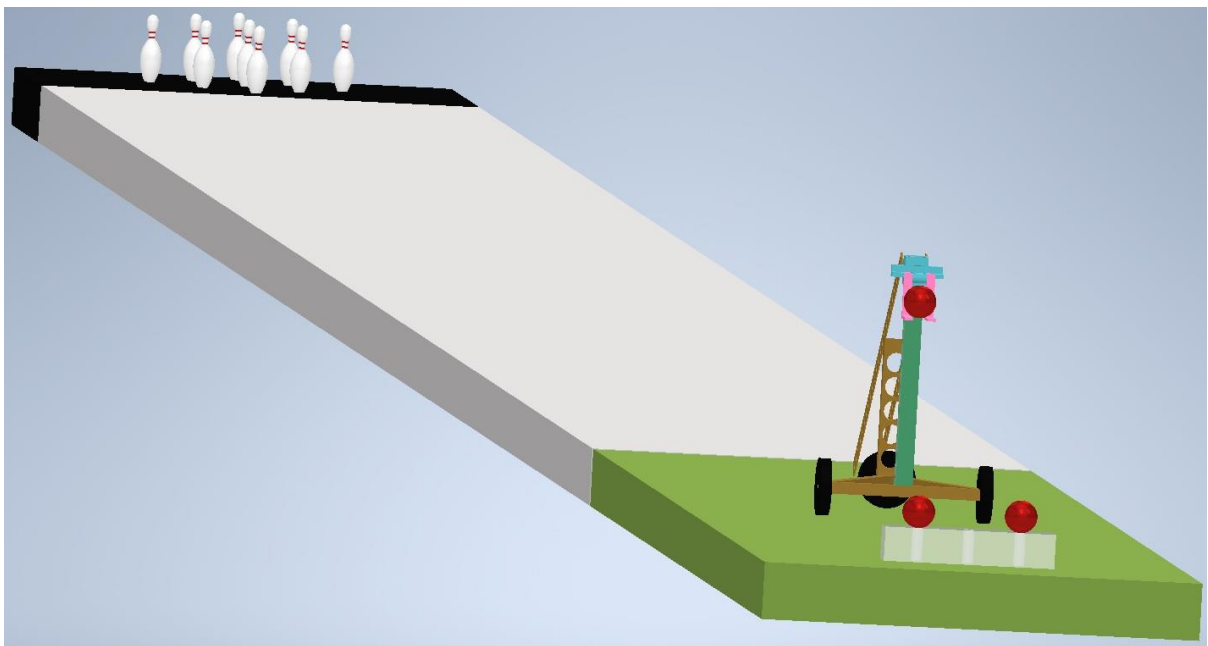
A pálya szélességének kiszámolása:

$$\frac{160\text{mm}}{72,5\text{mm}} = \frac{1\,700\text{mm}}{y} \Rightarrow y = \frac{1\,700\text{mm} \cdot 72,5\text{mm}}{160\text{mm}} = 770,31\text{ mm} = 0,77\text{ m}$$

Az így kialakult pálya a **17. ábrán** nézhető meg. A robot a golyótartó állványról felveszi a középső golyót, majd elvégzi a gurítást úgy, hogy menet közben a robotra épített gurítósínek közé emeli a golyót. A robot a gurítópálya vonalánál megáll. A golyó sebessége a golyó helyzeti energiájából és a robot sebességéből tevődik össze. Ezután a robot visszagurul, a golyótartóból kiveszi a pálya felé nézve a bal oldali golyót, elvégzi a gurítást, de már 50 mm-rel balra eltolt vertikális síkban az előbbi gurításhoz képest. Végül az utolsó golyót is felveszi és elgurítja, csak most a jobb oldalra eltolt síkban gurít. A **18. ábrán** az elképzelt robot egyszerű szerkezete látható gurítás közben.



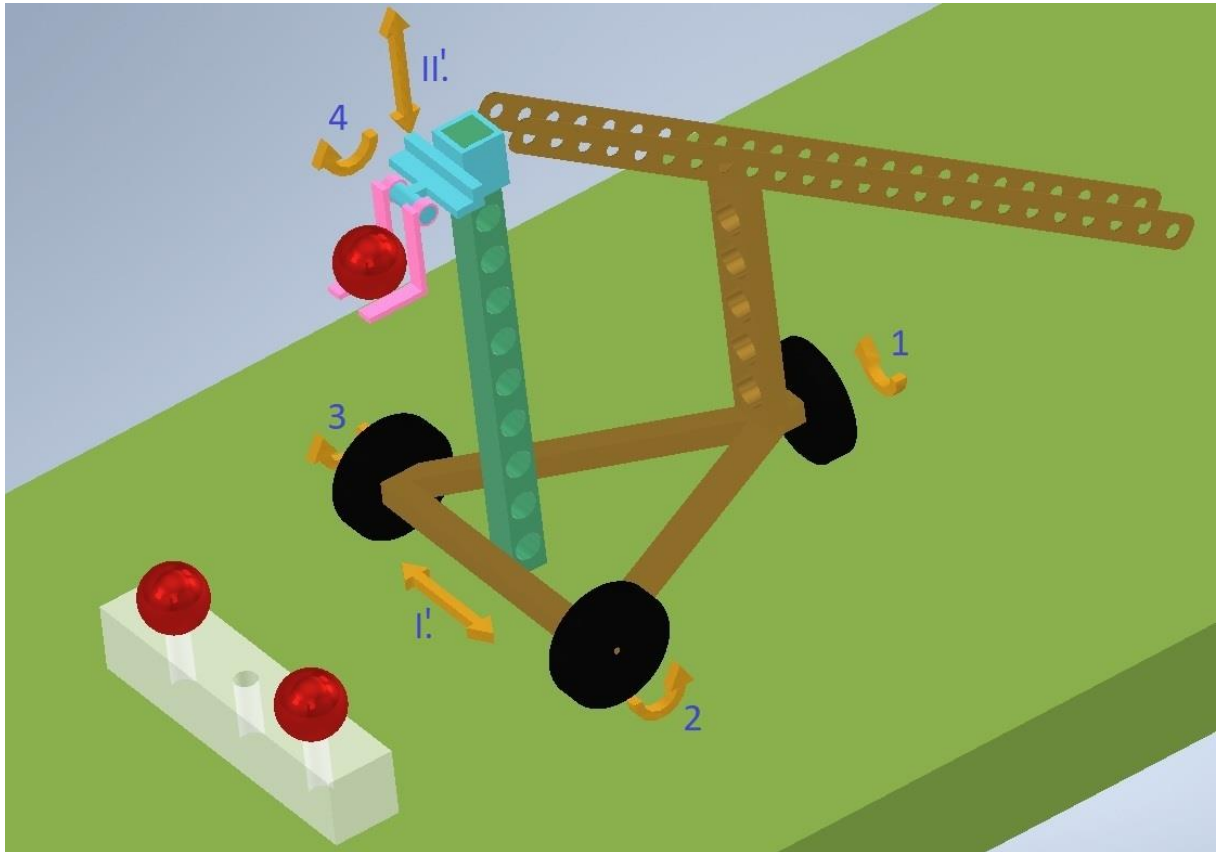
17. ábra: Teke pálya arányosan csökkentett méretekkel



18. ábra: A robot gurítás közben

6.2. A robot tervezett mozgása

Kétféle robotot vázolok fel. Az I. robotot variáció által végzendő mozgásokat a **19. ábrán** mutatom be. A 2-es és 3-as jelölésű kétirányú elfordulásra alkalmas kerék hajtott kerék és egy-egy DC motor hajtja. Az 1-es kétirányú elfordulásra alkalmas kerék egy Omni-Wheel kerék.

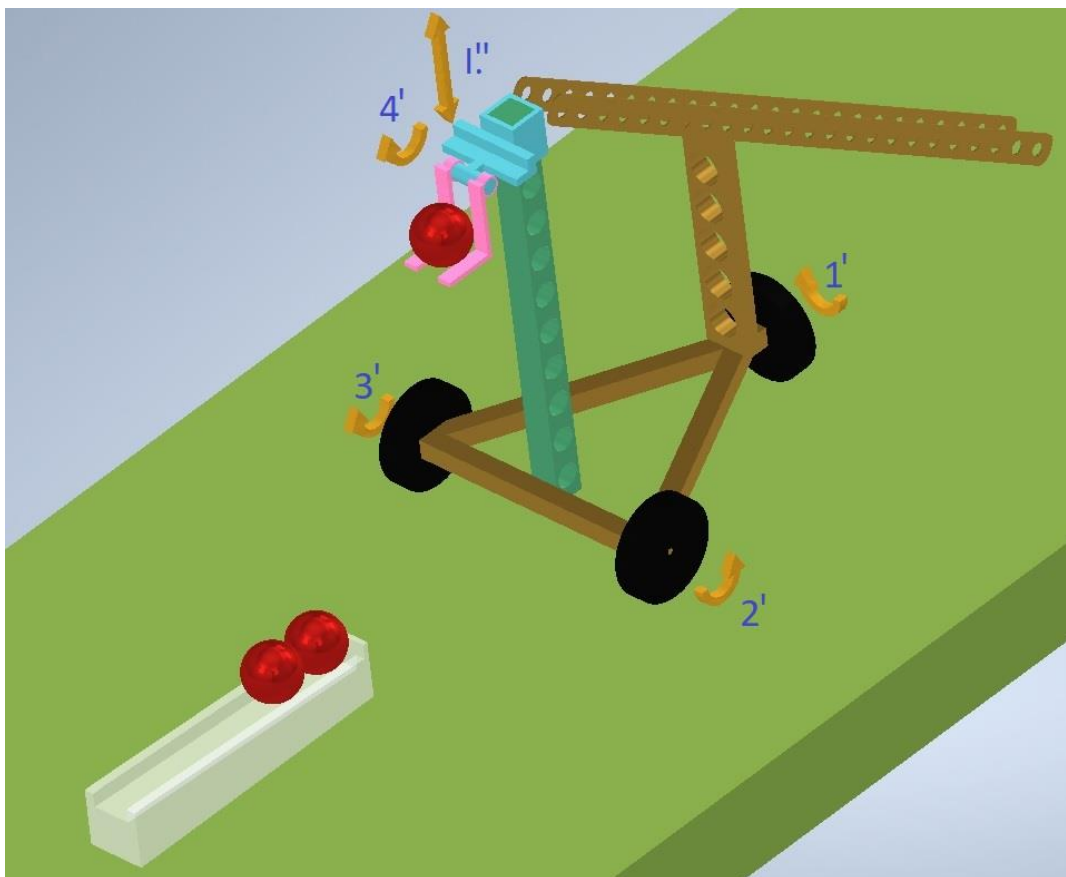


19. ábra: A I. robot variáció által végzendő mozgások

A 4-es jelölésű kétirányú elfordulást, egy 180°-os elfordulásra képes szervomotor végzi fogaskerék áttétellel. Az I'-es jelölésű kétirányú lineáris mozgást egy folyamatos forgásra képes szervomotor végzi fogaskerék-fogasléc segítségével. A II'-es jelölésű kétirányú lineáris mozgást szintén egy folyamatos forgásra képes szervomotor végzi fogaskerék-fogasléc kapcsolaton keresztül.

Az II. robot variáció által végzendő mozgásokat a **20. ábrán** mutatom be. A 2'-es és 3'-as jelölésű kétirányú elfordulásra alkalmas kerék hajtott kerék, úgy, mint az előbbi esetben és egy-egy DC motor hajtja. Az 1'-es kétirányú elfordulásra alkalmas kerék szintén egy Omni-Wheel kerék. A 4'-es jelölésű kétirányú elfordulást, egy 180°-os elfordulásra képes szervomotor végzi fogaskerék áttétellel.

A I''-es jelölésű kétirányú lineáris mozgást szintén egy folyamatos forgásra képes szervomotor végzi fogaskerék-fogasléc kapcsolaton keresztül, mint azt előbbi esetben.



20. ábra: A II. robotvariáció által végzendő mozgások

Mivel az egyszerűségezt tűztem ki célul, ezért a II. változatot fogom megépíteni. Három okból döntöttem így. A II. változathoz 1 db szervomotorral kevesebb szükséges, három helyett csak két szervomotor kerül beépítésre. Az oldalirányba mozgó torony a szerkezet merevségét hátrányosan befolyásolja. Az II. változat kevesebb alkatrészből felépíthető, és egyszerűbb szerkezetű.

6.2.1. A helyváltoztatáshoz használt DC motor

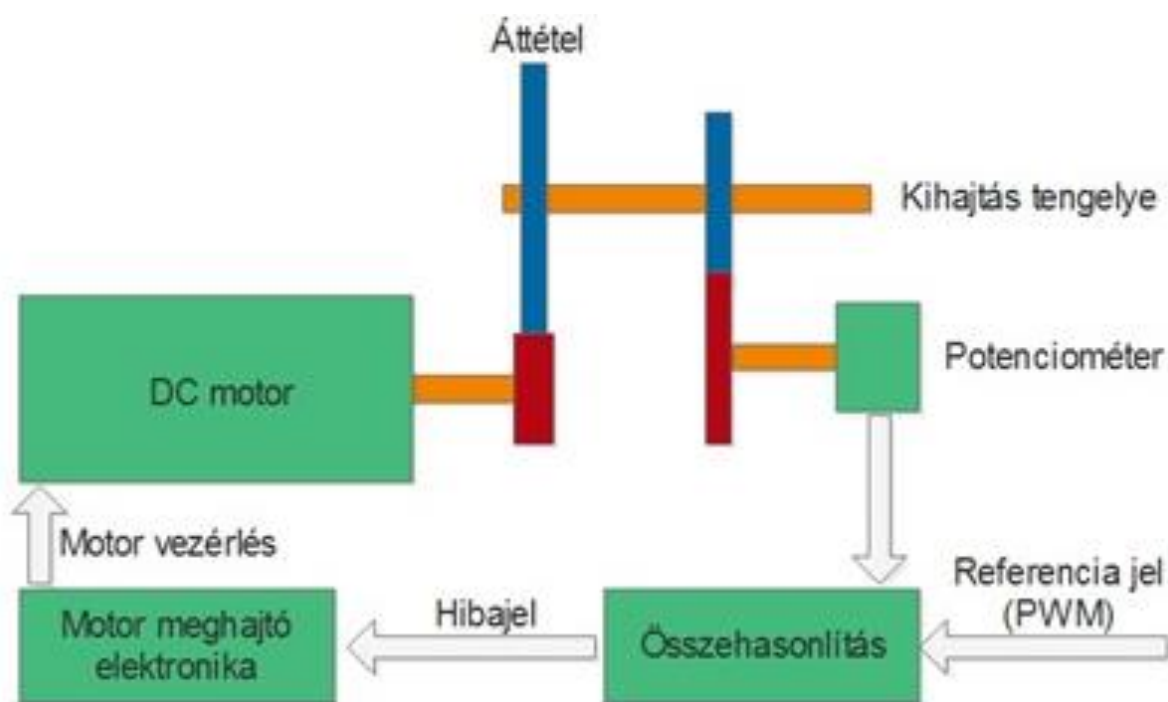
A DC, vagy egyenáramú motor egy gyakran alkalmazott villamos gép, mely a kivezetéseire kapcsolt egyenfeszültség hatására forgó mozgást végez. A robot mozgását DC motorokkal valósítottam meg, melyek beépített enkóder tárcsákat tartalmaznak. Az általam használt motor 12 V feszültségről működik, percenként $150 \frac{1}{perc}$ fordulatra képes és $2,26 Nm$ forgatónyomatékot tud kifejteni.

Az enkóderre azért van szükség, mert a DC motor nem állítható pontosan helyzetbe, csak a forgási irányát és sebességét tudjuk befolyásolni. Ahhoz, hogy a robot a kellő helyre tudjon állni, valamilyen visszacsatolás szükséges, tudnia kell, hogy hol jár éppen.

Ez megvalósítható valamilyen külső érzékelővel (ultrahangos szenzor, képfelismerés, vonalfelismerő rendszer) is, de sokkal egyszerűbb és célszerűbb a motor tengelyére szerelt enkódert használni. Így pontosan követhetjük a motor szögelfordulását. Az enkóderrel felszerelt motor működési elve hasonló a szervomotor működési elvéhez, de itt az enkóderből kapott adatokból és a referencia jelből készített hibajel generálása és vizsgálata nem a motorban, hanem a vezérlőben történik. [4]

6.2.2. A gurítást létrehozó szervomotor

A golyótartóhoz való pozicionálásra, a golyó felemeléséhez és elgurításához szervomotorokat használunk. A golyó felemeléséhez és elgurításához elengedhetetlen a karok pontos helyzetbe állítása. Amikor a pontos helyzetbe állás a cél, viszonylag egyszerű vezérlés mellett, célszerű szervomotorokat alkalmazni. A szervomotor egy komplex szerkezet, beépített fogaskerék átétellel, tehát az elérhető nyomaték többszöröse a motor tengelyén mérhető nyomatéknak. A szervomotor egy olyan DC motor, melynek a kimenet vissza van csatlakoztatva a bemenetre, ami a **21. ábrán** látható is. A szervomotorra három vezeték csatlakozik: +5 V (Piros), GND (Fekete), PWM jel (sárga).



21. ábra: A szervomotor működési elve

(forrás: Viola Gergely Automatikus bowlingozó robot vezérlésének megvalósítása beágyazott myRIO eszközökkel (2016))

A PWM vezetéken érkezik a vezérlő jel, mely megadja, hogy a motornak milyen helyzetbe kell fordulnia. A motor tengelyére csatlakoztatott potenciométer középső lábán a tengely elfordulásától függően 0 és +5 V közötti analóg feszültség érték jelenik meg. A szervomotorban lévő elektronika összehasonlítja a PWM jelhez tartozó értéket és a potenciométeren mért feszültséghez tartozót, majd a kettő különbségéből hibajelest generál. A hibajel előjele megadja, hogy a motor jó helyen áll-e, illetve milyen irányba kell fordulnia. Megkülönböztethetjük a hagyományos PWM jelet és a szervomotorokhoz használt PWM jelet. A hagyományos PWM jelnél a kitöltési tényező a döntő tényező. A lényege, hogy a PWM frekvencia sokkal nagyobb legyen, mint ami hatással van a berendezés működésére.

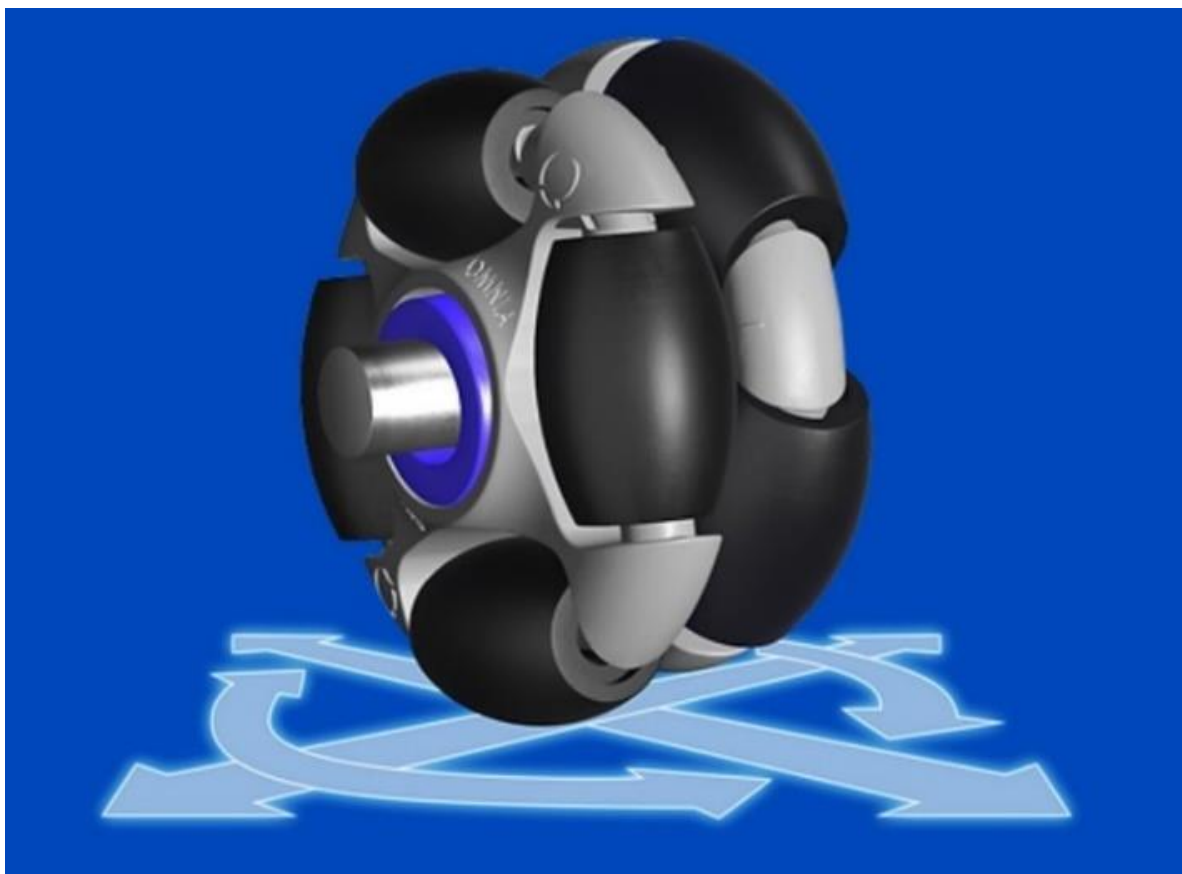
A szervomotorokhoz használt PWM jel úgy működik, hogy a vezérlő 20 ms időközönként küld egy impulzust a szervomotornak, aminek a hosszúsága általában 1 – 2 ms. Ennek az impulzusnak a hossza határozza meg, hogy a szervomotor hova álljon. [4]

Kétféle 6 V-os szervomotort használók, az egyik folyamatos körülfordulásra képes, percenként 52 fordulattal és 0,33 Nm forgatónyomatékot tud kifejteni. [5]

A másik szervomotor, 180°-os elfordulásra képes, 1,68 másodperc alatt fordul 60°-ot és 1,29 Nm forgatónyomatékot tud kifejteni. [6]

6.2.3. Omni-Wheel kerék

A robot harmadik, nem hajtott kereke egy Omni-Wheel kerék. Az Omni-Wheel kerék jellemzője, hogy a tengelye körüli elforgáson kívül tangenciális irányban is el tud csúszásmentesen mozdulni. Ezt úgy oldják meg, hogy valójában sokszög kialakítású a kerék. A kerülete mentén, az oldalak élén egy-egy tengely van elhelyezve, amelyre hordó alakú hengereket fűznek. A hordó kialakítás biztosítja a folyamatos gördülést a kerék forgásakor. Ezek a görgők fordulnak tangenciális elmozdulásnál, és biztosítják a csúszásmentességet. A sarkoknál nem lehet görgőt elhelyezni, így két kereket használnak egymáshoz képest elforgatott összeépítéssel, hogy a zökkenőmentes fordulás megmaradjon a kerék forgása közben, és a kerék sarkainál is biztosított legyen a csúszásmentes tangenciális elmozdulás lehetősége. [7] A 22. ábrán egy ilyen kerék látható.

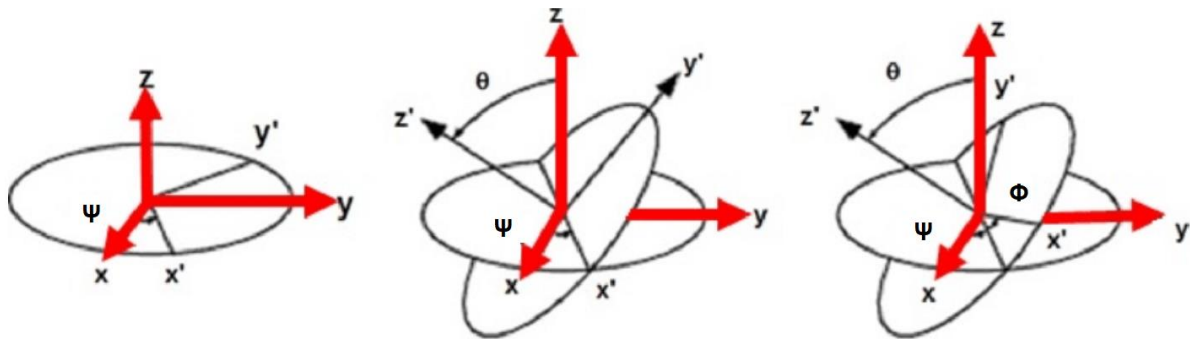


22. ábra: Omni-Wheel kerék

(forrás: <https://www.omniawheel.com/omnia-wheels>)

7. A golyó mozgásának matematikai leírása

A robot a vertikális tengelye körüli elfordulásával képes célozni. A robot kiindulási helyzete meghatározza a golyó mozgásának kezdeti feltételeit, az pedig meghatározza a golyó pályáját. A golyó mozgását a földre érkezés után vizsgálom. Másodfajú Lagrange-egyenletek segítségével írom le a golyó pályáját. A tömegközéppont magasságának változása gömb esetén zérus $\dot{z}_s = 0$. Tiszta gördülést feltételezve a tömegközéppont x és y irányú elmozdulására feltételeket kell felírni $\dot{x}_s; \dot{y}_s$. A tiszta gördülés esetén az érintkezési sebesség minden irányban zérus $\dot{x}_{\text{érintkezési}} = 0; \dot{y}_{\text{érintkezési}} = 0; \dot{z}_{\text{érintkezési}} = 0$. A 23. ábrán az Euler-szögeket felvételét, azaz a forgatások kompozícióját mutatom be. Az álló koordináta rendszer piros színnel ábrázolt, a fekete koordináta rendszer a golyóhoz rögzített. Tiszta gördülés esetén a golyó csúszása nem megengedett.



23. ábra: Euler-szögek felvétele

(forrás: https://www.researchgate.net/figure/Figure-no-4-Eulers-angles-Source-https-mathworldwolframcom-EulerAngleshtml_fig2_353144377)

A golyó mozgása másodrendű differenciálegyenletekkel írható fel. A felíráshoz szükséges alapokat a Nagy Károly féle Elméleti Mechanika könyv tartalmazza.

A szöggyorsulások az alábbi módon fejezhetőek ki a mozgásegyenletekkel. [8]

$$\ddot{\theta} = -\sin \theta \cdot \dot{\phi} \cdot \dot{\psi} \quad \{1\}$$

$$\ddot{\phi} = \frac{\dot{\theta}}{\sin \theta} \cdot (\dot{\phi} - \cos \theta \cdot \dot{\psi}) \quad \{2\}$$

$$\ddot{\psi} = \frac{\dot{\theta}}{\sin \theta} \cdot (\dot{\phi} - \cos \theta \cdot \dot{\psi}) \quad \{3\}$$

Még a következő egyenletek is szükségesek, hogy a mozgás ábrázolható legyen.

Tömegközéppont x irányú elmozdulása: ($\dot{x}_{\text{érintkezési}} = 0$) [Tiszta gördülés esetén]

$$v_{sx} = -R \cdot \sin \theta \cdot (\dot{\psi} \cdot \cos \phi - \dot{\theta} \cdot \sin \phi \cdot \sin \theta + \dot{\phi} \cdot \cos \phi \cdot \cos \theta) + R \cdot \cos \theta \cdot (\dot{\theta} \cdot \sin \phi \cdot \cos \theta + \dot{\phi} \cdot \cos \phi \cdot \sin \theta) \quad \{4\}$$

Tömegközéppont y irányú elmozdulása: ($\dot{y}_{\text{érintkezési}} = 0$) [Tiszta gördülés esetén]

$$v_{sy} = -R \cdot \sin(\dot{\psi} \cdot \sin \theta + \dot{\theta} \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta + \dot{\phi} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta) - R \cdot \cos \theta \cdot (\dot{\theta} \cdot \cos \theta \cdot \cos \theta - \dot{\phi} \cdot \sin \theta \cdot \sin \theta) \quad \{5\}$$

A mozgási energia:

$$E_{kin} = \frac{m \cdot R^2}{5} \cdot (\dot{\phi}^2 + \dot{\theta}^2 + \dot{\psi}^2 + 2 \cdot \dot{\phi} \cdot \dot{\psi} \cdot \cos \theta) + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_s^2 \quad \{6\}$$

A golyó mozgásának ábrázolása érdekében a másodfajú egyenletek megoldása miatt a Scilab szoftver segítségével írok egy programot, amely kiszámolja és ábrázolja az eredményt. A program csak elsőrendű deriváltakat tud kezelni, ezért minden olyan egyenletet, amely másodrendű derivált tagot tartalmaz, át kell alakítanom olyan tagokból álló egyenletté, ami csak elsőrendű derivált tagokat tartalmaz a következőképpen. Bevezetem az ω_θ ; az ω_ϕ ; és az ω_ψ változókat.

A $\ddot{\theta} = -\sin \theta \cdot \dot{\phi} \cdot \dot{\psi}$ egyenletből a következő két egyenlet lesz:

$$\dot{\omega}_\theta = -\sin \theta \cdot \omega_\phi \cdot \omega_\psi \quad \{7\}$$

$$\omega_\theta = \dot{\theta} \quad \{8\}$$

A $\ddot{\phi} = \frac{\dot{\theta}}{\sin \theta} \cdot (\dot{\phi} - \cos \theta \cdot \dot{\psi})$ egyenletből a következő két egyenlet lesz:

$$\dot{\omega}_\phi = \frac{\omega_\theta}{\sin \theta} \cdot (\omega_\psi - \cos \theta \cdot \omega_\phi) \quad \{9\}$$

$$\omega_\phi = \dot{\phi} \quad \{10\}$$

A $\ddot{\psi} = \frac{\dot{\theta}}{\sin \theta} \cdot (\dot{\phi} - \cos \theta \cdot \dot{\psi})$ egyenletből a következő két egyenlet lesz:

$$\dot{\omega}_\psi = \frac{\omega_\theta}{\sin \theta} \cdot (\omega_\phi - \cos \theta \cdot \omega_\psi) \quad \{11\}$$

$$\omega_\psi = \dot{\psi} \quad \{12\}$$

A kezdeti feltételek meghatározása érdekében leegyszerűsítve kiszámolom a kinetikus és a potenciális energia egyenlőségének segítségével, hogy hozzávetőlegesen mekkora sebességgel fogja elhagyni a robotot a golyó. A golyó kiinduló helyzetét 417 mm magasnak tekintem. A **24. ábrán** a megírt program látható.

$$\frac{m \cdot v_{golyó}^2}{5} + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{golyó}^2 = m \cdot g \cdot h \Rightarrow v_{golyó} = \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot h}{\frac{m}{5} + \frac{m}{2}}} = \sqrt{1,4285 \cdot g \cdot h}$$

$$v_{golyó} = \sqrt{1,4285 \cdot g \cdot h} = \sqrt{1,4285 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,417m} = 2,41 \frac{m}{s} = 8,7 \frac{km}{h}$$

$$v_{golyó} = R \cdot \omega \Rightarrow \omega = \frac{v_{golyó}}{R} = \frac{3,41 \frac{m}{s}}{\frac{0,0572m}{2}} = 84,5 \frac{1}{s}$$

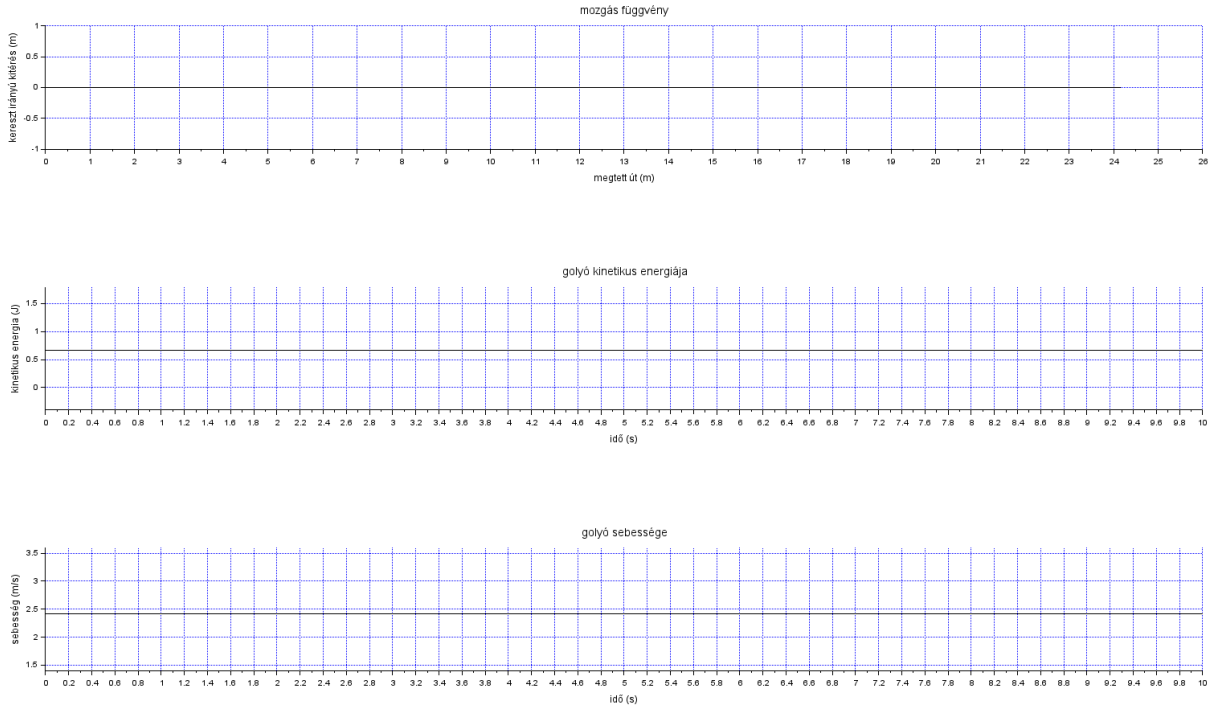
```

0001 clear all;
0002 usecanvas(%F);
0003 //-----ÉRTÉKADÁS-----
0004 angles(1)=1.57079632; // Θ Teta kezdeti szögelfordulás radiánban (pi/2 = 90 fok)
0005 angles(2)=0; // ωΘ
0006 angles(3)=0; // Φ Fi kezdeti
0007 angles(4)=0; // ωΦ
0008 angles(5)=0; // Ψ Pszi kezdeti
0009 angles(6)=-84.5; // ωΨ
0010 R=0.0286 // golyó sugara (golyó átmérője 57,2 mm)
0011 m=0.162 // golyó tömege (golyó tömege 162 g)
0012 //----- KEZDETI FELTÉTELEK MEGADÁSA -----
0013 t0=0; // szekundum, kezdeti időpont
0014 dt=0.001;
0015 tmax=10;
0016 t=t0:dt:tmax; // tmax másodperc, dt lépésközzel végrehajtva
0017 n=int(tmax/dt)+1;
0018 xs=zeros(1,n);
0019 ys=zeros(1,n);
0020 xs(1)=0.0; // méter, kezdeti x irányú elmozdulás
0021 ys(1)=0.0; // méter, kezdeti y irányú elmozdulás
0022 // -----
0001 function [anglesdot]=f(t, angles)
0002 anglesdot(1)=angles(2); // ωΘ
0003 anglesdot(2)=-sin(angles(1)).*angles(4).*angles(6);
0004 anglesdot(3)=angles(4); // ωΦ
0005 anglesdot(4)=angles(2)./sin(angles(1)).*(angles(6)-cos(angles(1)).*angles(4));
0006 anglesdot(5)=angles(6); // ωΨ
0007 anglesdot(6)=angles(2)./sin(angles(1)).*(angles(4)-cos(angles(1)).*angles(6));
0008 endfunction
0031
0032 // Runge-Kutta módszer aktivizálása
0033 angles=ode("rk",anglesi,t0,t,f);
0034
0035
0036 vsx(:)=-R.*sin(angles(1,:)).*(angles(6,:).*cos(angles(3,:))-angles(2,:).*sin(angles(3,:)).*sin(angles(1,:))+angles(4,:).*cos(angles(3,:)).*cos(angles(1,:)))+R.*cos(angles(1,:)).*(angles(2,:).*sin(angles(3,:)).*cos(angles(1,:))+angles(4,:).*cos(angles(3,:)).*sin(angles(1,:)));
0037 vsy(:)=-R.*sin(angles(6,:)).*sin(angles(3,:))+angles(2,:).*cos(angles(3,:)).*sin(angles(1,:))+angles(4,:).*sin(angles(3,:)).*cos(angles(1,:))-R.*cos(angles(1,:)).*(angles(2,:).*cos(angles(3,:)).*cos(angles(1,:))-angles(4,:).*sin(angles(3,:)).*sin(angles(1,:)));
0038 vs(:)=sqrt(vsx(:).*vsx(:)+vsy(:).*vsy(:));
0039 Ekin(:)=m.*R.*R.*0.2.*((angles(4,:).*angles(4,:)+angles(2,:).*angles(2,:)+angles(6,:).*angles(6,:)+2.*angles(4,:).*angles(6,:).*cos(angles(1,:))))+0.5.*m.*(vs(1,:).*vs(1,:));
0040 for i=2:n
0041     xs(1,i)=xs(1,i-1)+dt*vsx(i);
0042     ys(1,i)=ys(1,i-1)+dt*vsy(i);
0043 end
0044
0045 // Eredmények rajzoltatása
0046 //plot2d(xs(1,:),ys(1,:),5);
0047 //xlabel('x','x','y');
0048 //xgrid(2);
0049
0050 subplot(3,1,1)
0051 plot2d(xs(1,:),ys(1,:),1);
0052 xlabel('mozgás függvény','megtett út (m)','kereszt irányú kitérés (m)');
0053 xgrid(2);
0054
0055 subplot(3,1,2)
0056 plot2d(t,Ekin,1)
0057 xlabel('golyó kinetikus energiája','idő (s)','kinetikus energia (J)')
0058 xgrid(2);
0059
0060 subplot(3,1,3)
0061 plot2d(t,vs,1)
0062 xlabel('golyó sebessége','idő (s)','sebesség (m/s)')
0063 xgrid(2);

```

24. ábra: A Scilab-ban megírt program (4-es melléklet)

A programot a **4. számú melléklet (I. Közeggellenállás nélkül)** tartalmazza. A **25. ábrán (5. számú melléklet 1. ábra)** látható milyen lesz a golyó mozgása, ha teljes mértékben pattanásmentesen ér földet, akkor nem lesznek kitérítő szögsebességek, amelyek befolyásolják a mozgását.



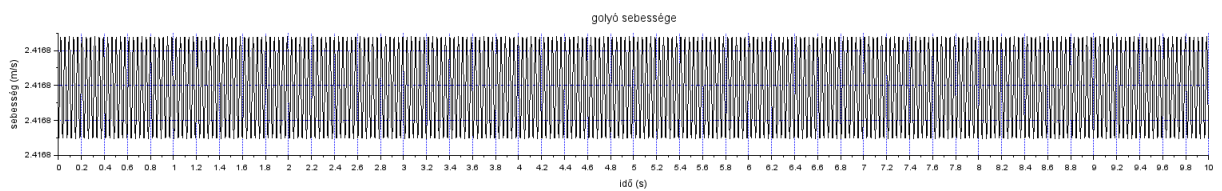
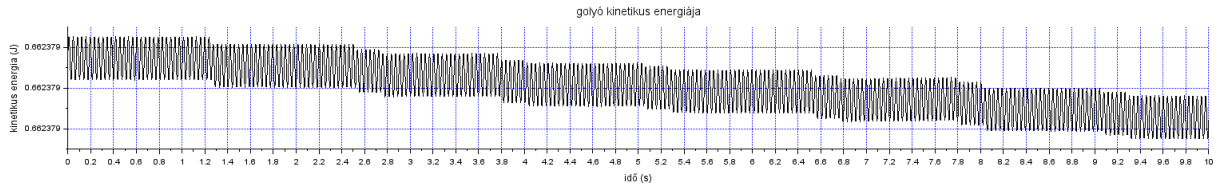
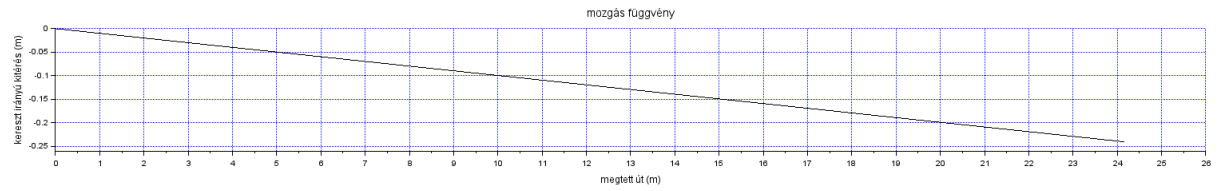
25. ábra: A golyó mozgása, $\omega_\psi = 84,5 \frac{1}{s}$; $\omega_\theta = 0$; $\omega_\phi = 0$

(5. számú melléklet 1. ábra)

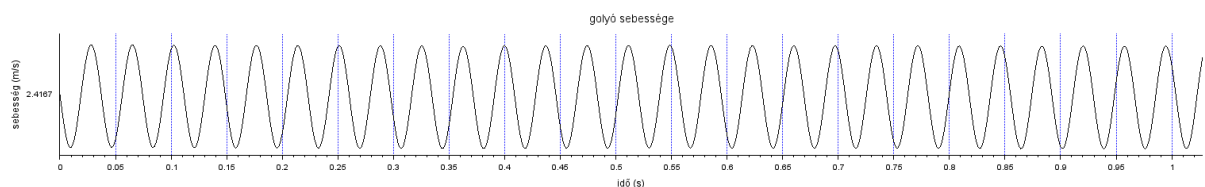
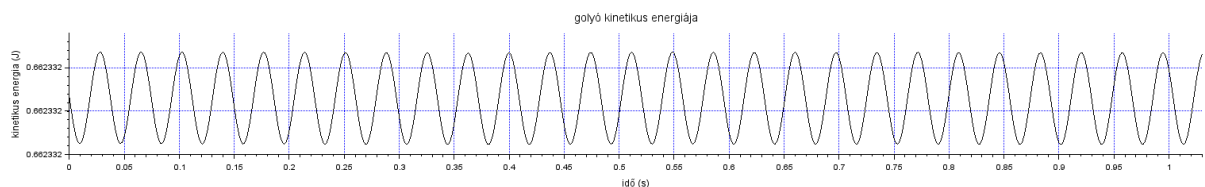
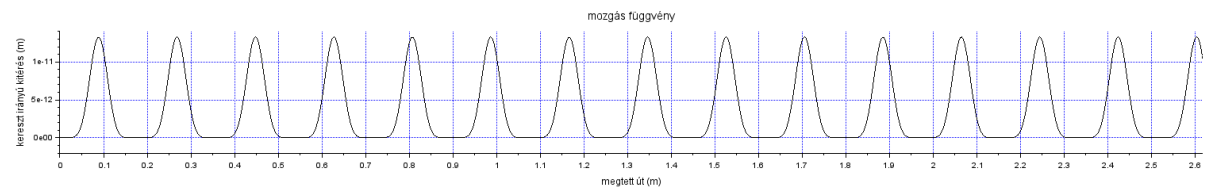
Látható, hogy golyó kitérés nélkül halad. A kinetikus energia nem változik, ebből tudható, hogy a program jól integrál. Mivel nincs közeggellenállás a programban megadva, ezért a golyó sebessége nem változik.

A **26. ábrán (5. számú melléklet 2. ábra)** látható, miként befolyásolja a golyó mozgását, ha a pattanást követően különböző kitérítő hatások alakulnak ki. Kezdeti feltételként a programban $\omega_\theta = 1 \frac{1}{s}$ értéket adtam meg. A mellékletben megnézhető egy szűkített tartományú ábrán, hogy a kinetikus energia és a sebesség miként alakul (**5. számú melléklet 3. ábra**). A diagramról leolvasható, hogy a golyó 20 méter megtétele után már 200 millimétert eltér az egyenes haladási iránytól. A kinetikus energia és a sebesség numerikus hiba miatt változik igen kis mértékben, konstansnak tekintendő.

Az (**5. számú melléklet 4. ábra**) látható, miként változik a golyó mozgása a pattanást követően, ha a kezdeti feltételként a programban $\omega_\phi = 1 \frac{1}{s}$ értéket adok meg. A **27. ábrán (5. számú melléklet 5. ábra)** szűkített tartományban nézhető meg hogy a golyó bolyongó mozgásba kezd ugyan, de az egyenes iránytól nem tér el.



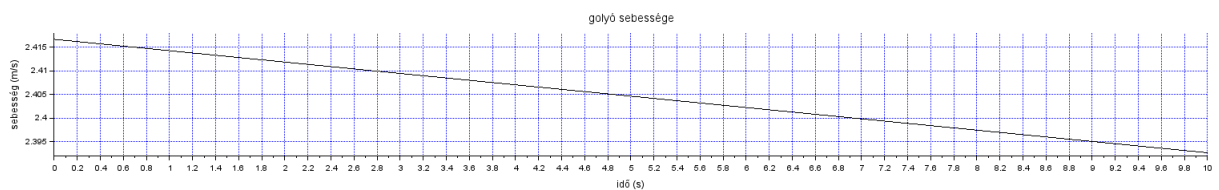
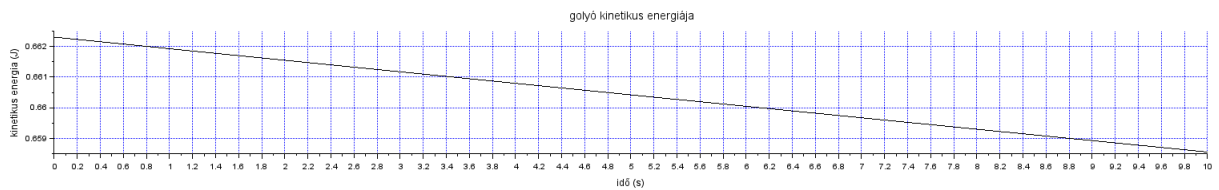
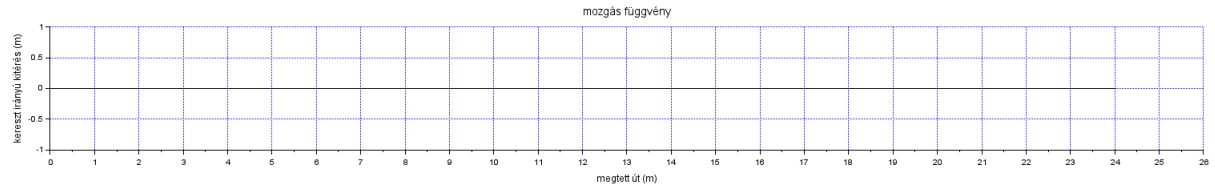
26. ábra: A golyó mozgása, $\omega_\psi = 84,5 \frac{1}{s}$; $\omega_\theta = 1$; $\omega_\phi = 0$
(5. számú melléklet 2. ábra)



27. ábra: A golyó mozgása szűkített tartományban, $\omega_\psi = 84,5 \frac{1}{s}$; $\omega_\theta = 0$; $\omega_\phi = 1$
(5. számú melléklet 5. ábra)

A programba a közegellenállást is beépítem, az így létrejövő mozgás az **28. ábrán** (5. számú melléklet 6. ábra) figyelhető meg. Jól látható, hogy a golyó lassuló mozgást végez, a mozgási energiája pedig folyamatosan csökken.

Ha ismert lenne a pontos közegellenállás mértéke, akkor a golyó elgurulási távolsága kiolvasható lenne a program segítségével. Az közegellenállással kiegészített programot az **4.számú melléklet (II. Közegellenállással)** tartalmazza.



28. ábra: A golyó mozgása közegellenállás figyelembevételével,

$$\omega_{\psi} = 84,5 \frac{1}{s}; \omega_{\theta} = 0; \omega_{\phi} = 0$$

(5. számú melléklet 6. ábra)

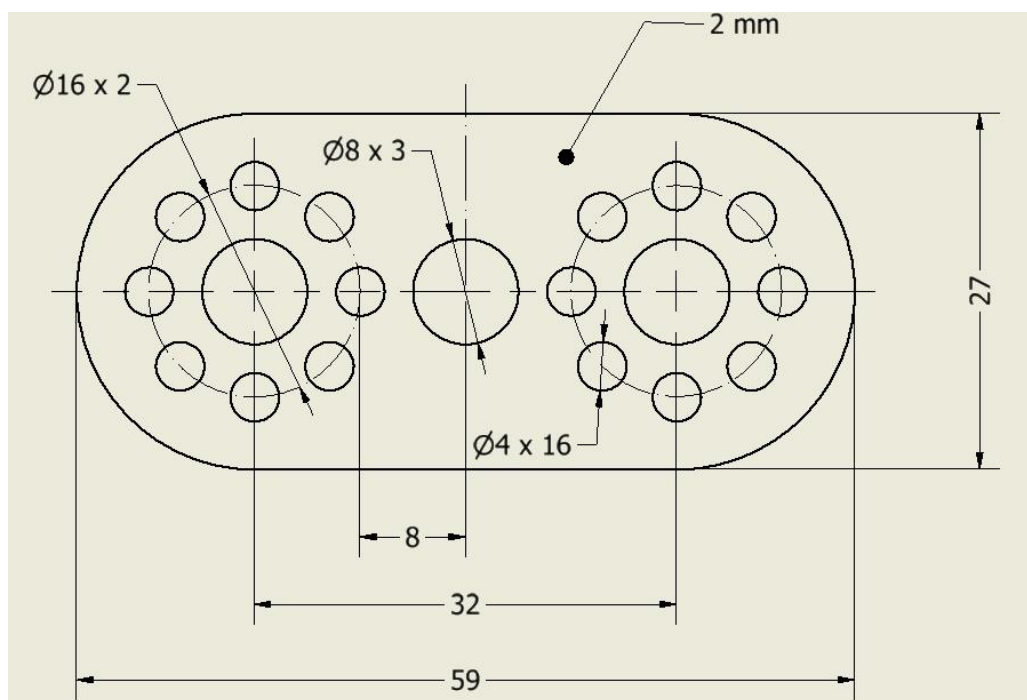
A golyó mozgásának matematikai leírása után elmondható, hogy a golyó mozgása közben a függőleges tengelye körüli elfordítása bolyongásra kényszeríti ugyan a golyót, de a pályájáról nem téríti ki, viszont a vízszintes tengely körüli elforgatás a golyó kitéréséhez vezet. Tehát a vízszintes tengely körüli elforgatást el kell kerülni. Ilyen jellegű forgást idézhet elő, ha a golyó megvezető sínek a pályára érkezés előtt eltérő magasságban vannak, vagy a pattanás után is létrejöhet ilyen jellegű parazita forgás.

8. TETRIX elemekből a feladatra alkalmas robot megépítése, mely képes a golyót felemelni és elgurítani

A TETRIX cég építőelemeket és kiegészítő egységeket gyárt és forgalmaz, melyekből a magukban késztetést érző fiatalok saját elképzeléseik alapján robotokat és különféle szerkezeteket építhetnek. Az egyes lapos, L és U profilok csavarral rögzíthetők egymáshoz, így könnyen és gyorsan építhető meg a szerkezet, amely bármikor átalakítható. Különböző készletek vannak forgalomba, illetve az alkatrészeket egyenként is meg lehet vásárolni.

Kaphatók egymáshoz csavarral rögzíthető tartó profilok, a motorok rögzítéséhez szükséges elemek, csavarok, anyák, bronz perselyek, tengelyek, szervomotorok, enkóderrel ellátott villamos motorok, kerekek, fogaskerekek, akkumulátor és a szükséges motorvezérlő elektronikák is. Mivel az egyes építőkészletek sok elemből állnak, melyek egymáshoz sokféleképpen rögzíthetők, bizonyos keretek között a felhasználó azt épít belőle, amit csak szeretne, ez a fantáziáján és az ügyességén múlik.

A TETRIX MAX Building System nagy teherbírású, repülőgép-minőségű alumíniumból készült elemeket használ a stabilitás, a tartósság és a megbízhatóság érdekében. A tartóprofilokon két méretű furatot alakítottak ki különböző kiosztásban, a nagyobbakat a tengelyeknek a kisebbeket a különböző elemek egymáshoz rögzítése érdekében alakították ki. A **29. ábrán** a legrövidebb lapos profil méretei láthatóak. A robotot ennek az építőelem családnak a segítségével fogom megépíteni.

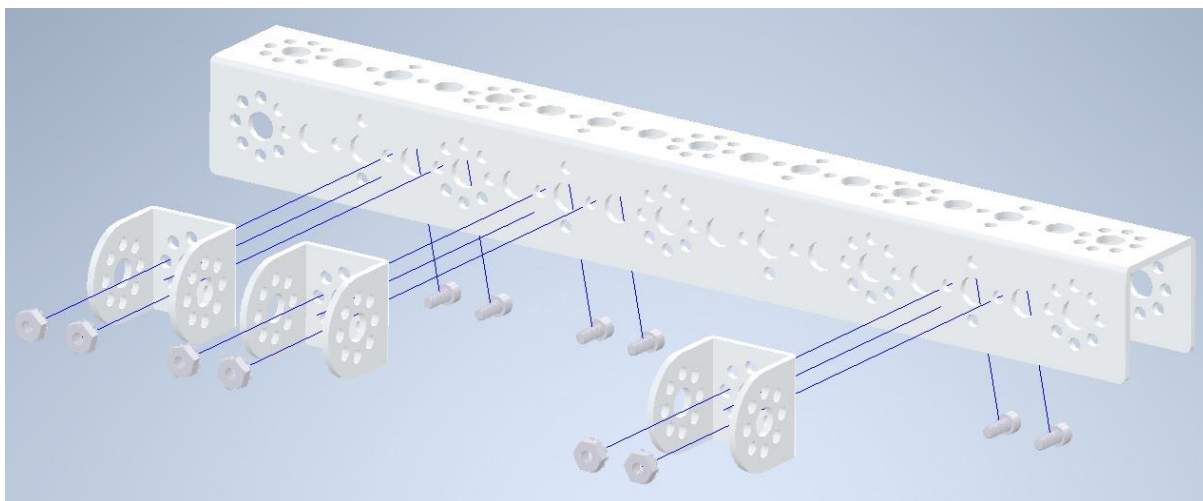


29. ábra: A legrövidebb 59 mm hosszú lapos profil méretei

8.1. A robot megépítése 3 dimenziós tervezőkörnyezetben, INVENTOR tervező szoftverrel

A 3D környezetben történő tervezés azért fontos, mert így gyorsan és költséghatékonyan megépíthető a prototípus. A végleges modell összeállítása után tudni fogom milyen alkatrészekre lesz szükségem a mechanikailag működőképes robot megépítéséhez. Ipari környezetben az így kapott darabjegyzék segítségével történik meg az egyes alkatrészek beszerzése, megrendelése, legyártatása.

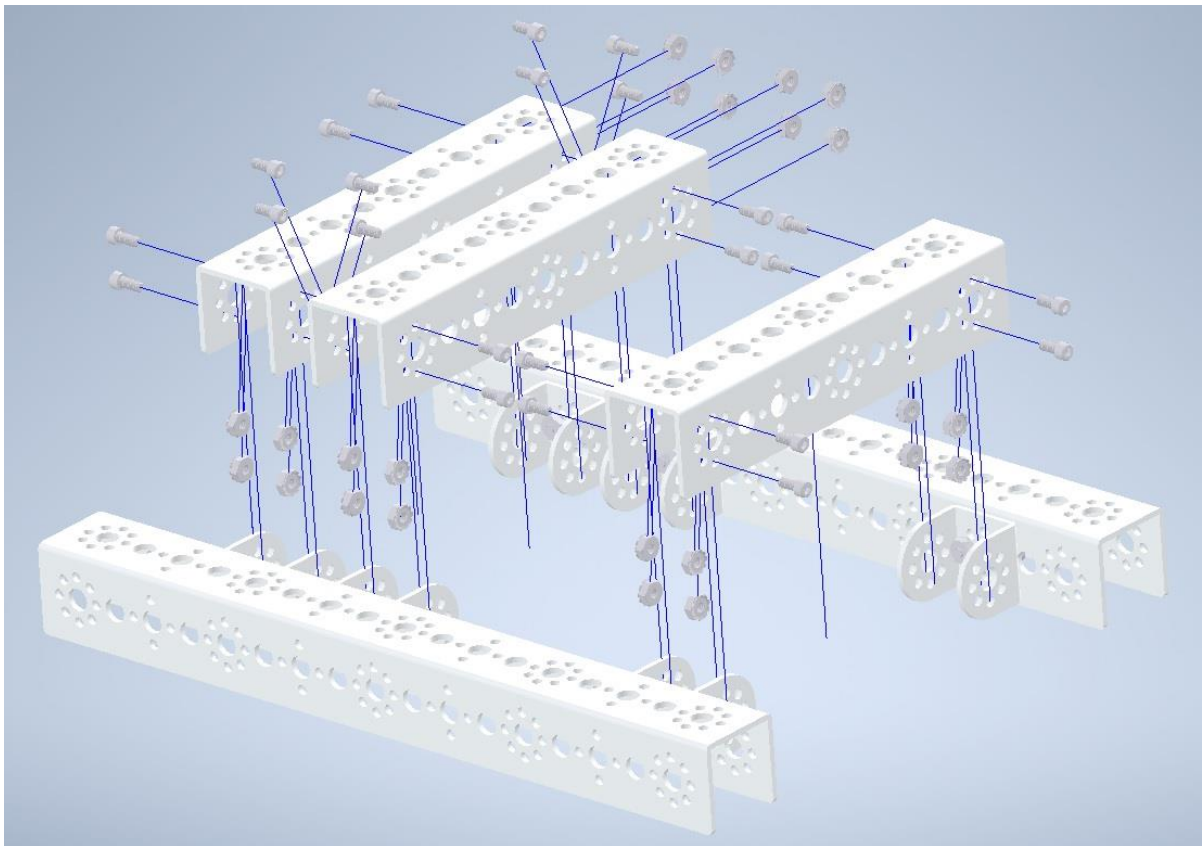
A tervezést a gerinctartóra épített keresztartók rögzítésére szolgáló U profilok helyének meghatározásával kezdem. A **30. ábrán** látható az U szelvények elhelyezése.



30. ábra: A gerinctartóra rögzített U profilok

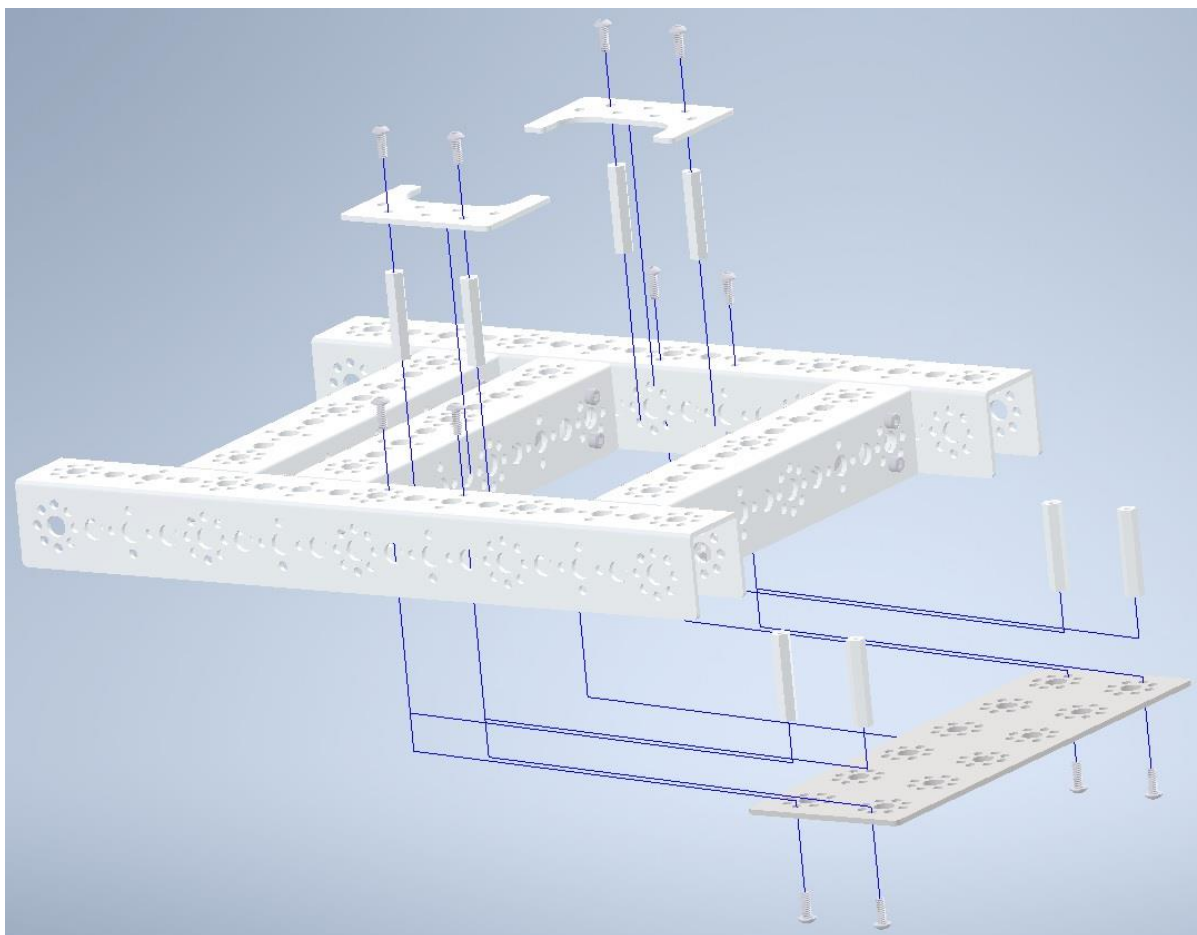
Balról az első keresztartó az első két kerékhez a lehető legközelebb helyezkedik el, a váz minél nagyobb merevsége érdekében. A középső keresztartó az golyó emelő szerkezet oszlopát tartja majd. A hátsó keresztartó, azaz balról a harmadik a hátsó pozicionálást segítő keresztbe beépített Omni-Wheel kerék csapágyazását fogja tartani, illetve a golyógurító pálya alsó rögzítéséül szolgál majd. A harmadik keresztartó a lehető leghátrább kerül az alváz jobb csavaró merevségének biztosítása érdekében.

Arra figyeltem, hogy a hátsó, keresztben beépített kerék ne lógjon túl a két gerinctartón. A három kereszttartó beépítése a **31. ábrán** nézhető meg.



31. ábra: A 3 kereszttartó elhelyezése a gerinctartókon

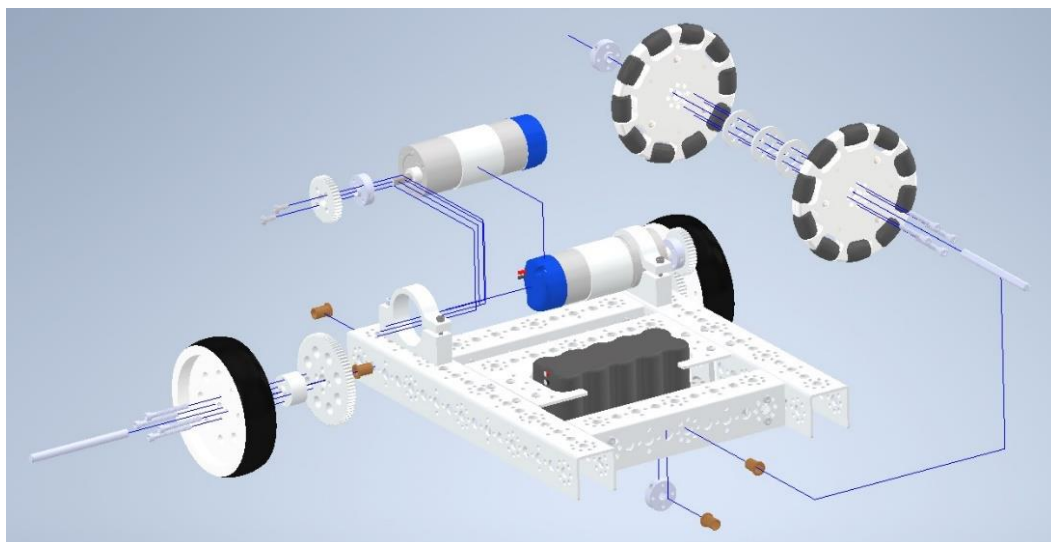
A következő lépés az akkumulátorpakk elhelyezése. A stabilitás érdekében fontos, hogy a tömegközéppont minél alacsonyabban maradjon, ezért a viszonylag nagy tömeget képviselő energiaellátó egységet a lehető legalacsonyabb pontra kell helyezni a szerkezethez képest. A **32. ábrán** az akkumulátor helyének a kiépítése figyelhető meg.



32. ábra: Az akkumulátorpakk helyének kialakítása

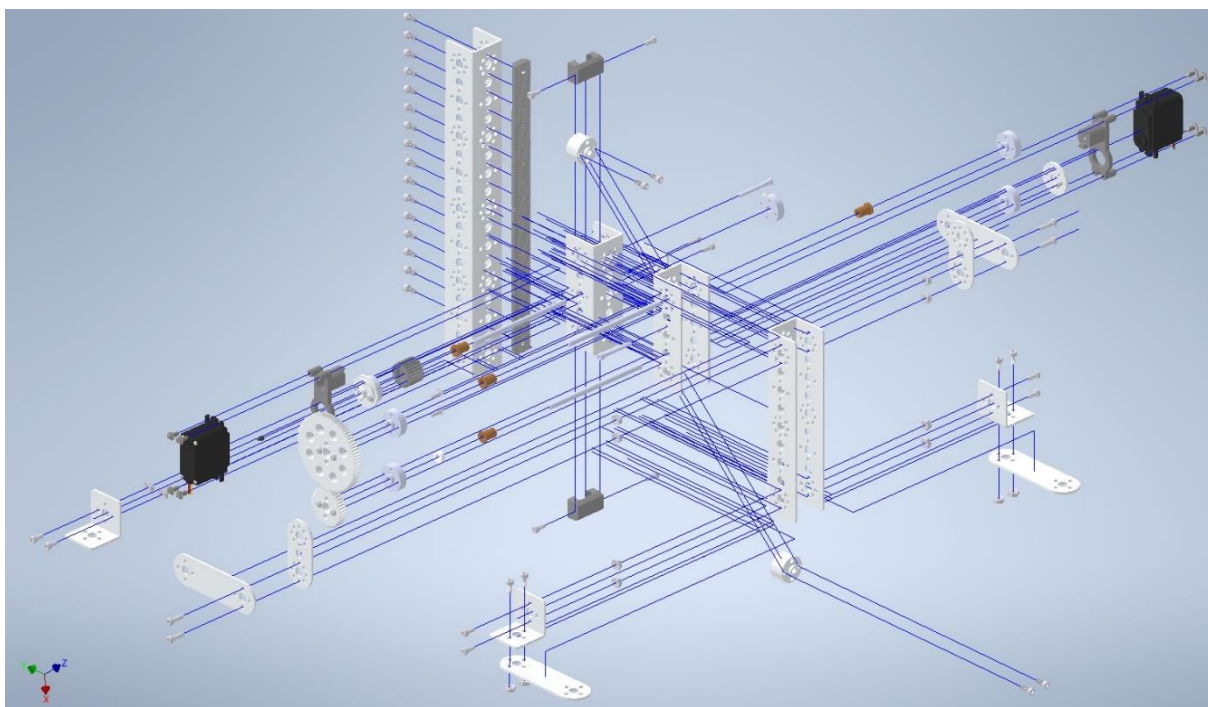
Az akkumulátor csomag helyének kialakításához egy alaplapot kell az alvázkeretre alulról erősíteni, amelyet 4 darab hatszögletű függesztőréddal oldok meg. Az alaplapra az akkumulátor elmozdulását meggátoló 2 db akkumulátor tartó lemezt kell szerelni, amit 4 darab hatszögletű tartólábbal támasztok alá.

Ezután a hajtott kerekeket a hajtómotorokat, a motortartó konzolokat, a hajtóművet, a csapágyazást, valamint a robot mozgását segítő hátsó kereket csapágyaikkal építem be a vázba. Az alkatrészek beépítése a **33. ábrán** követhető nyomon. Ezek után következik az emelő torony megépítése és a hozzá kapcsolódó emelőszerkezet megtervezése. A toronyra kerül a fogasléc. Az emelőszerkezet két szervomotort tartalmaz. Az egyik a torony emeléséről gondoskodik fogaskerék-fogasléc kapcsolat segítségével, a másik a billentőrendszert mozgatja lassító, azaz nyomatéknövelő fogaskerék kapcsolaton keresztül.



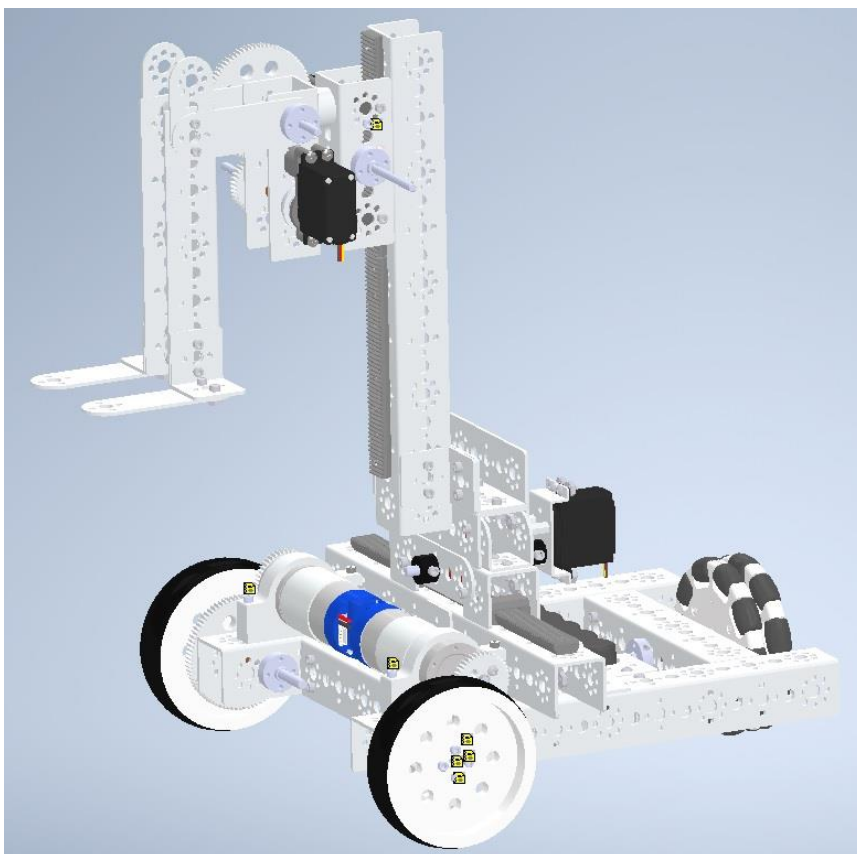
33. ábra: A kerekek és a DC hajtómotorok beépítése

A 34. ábrán a torony beépítése és a rá kerülő emelőszerkezet megtervezése kísérelhető figyelemmel.

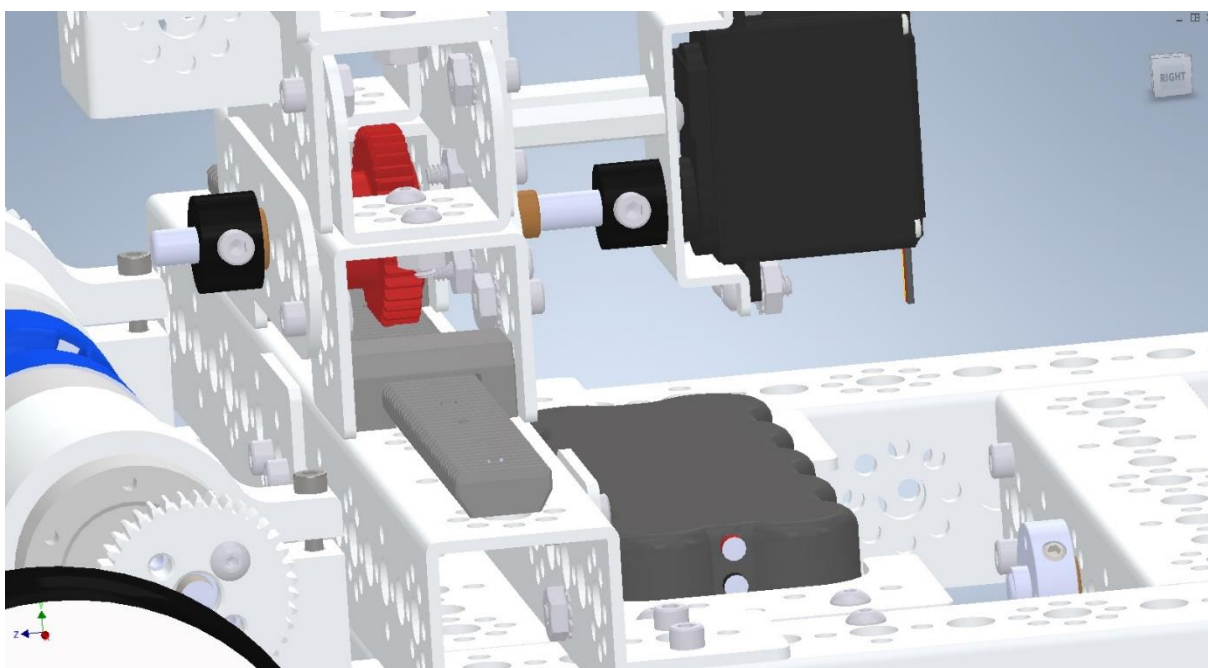


34. ábra: Az emelőtorony a ráépülő emelőszerkezettel

A torony kétféleképp is felkerülhet az alvázra. Rá lehet építeni egy oldalirányban mozgó szerkezetre, ami fogaskerék-fogasléc kapcsolat segítségével képes mozgatni a tornyot keresztirányban. Lehet fix tornyot is létrehozni, ami közvetlenül az alvázhoz van rögzítve. Ebben az esetben a torony oldalirányú mozgásra nem képes. A mozgó tornyú megoldás még egy szervomotor beépítését igényli. A szerkezet így magasabb és stabilitás szempontjából kedvezőtlenebb lesz. A 35. ábra az oldalirányban mozgó tornyú megépített szerkezetet mutatja. A 36. ábrán az oldalirányú mozgást biztosító szerkezet látható közelebről.

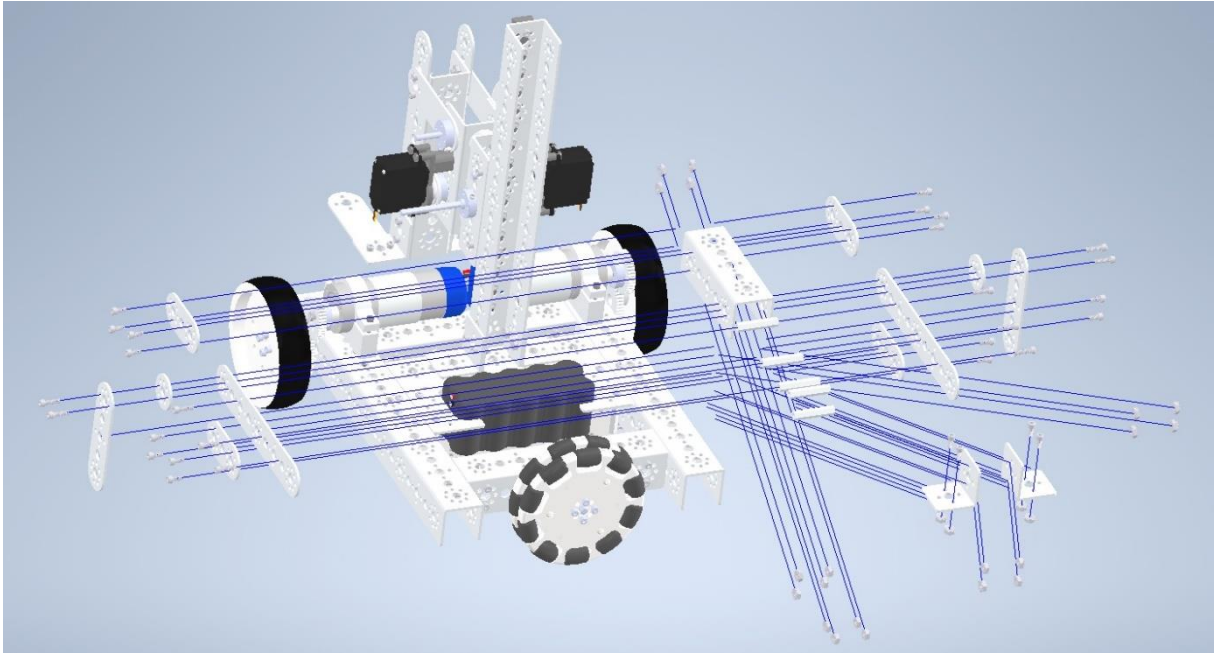


35. ábra: Oldalirányban mozgó toronnyal ellátott szerkezet



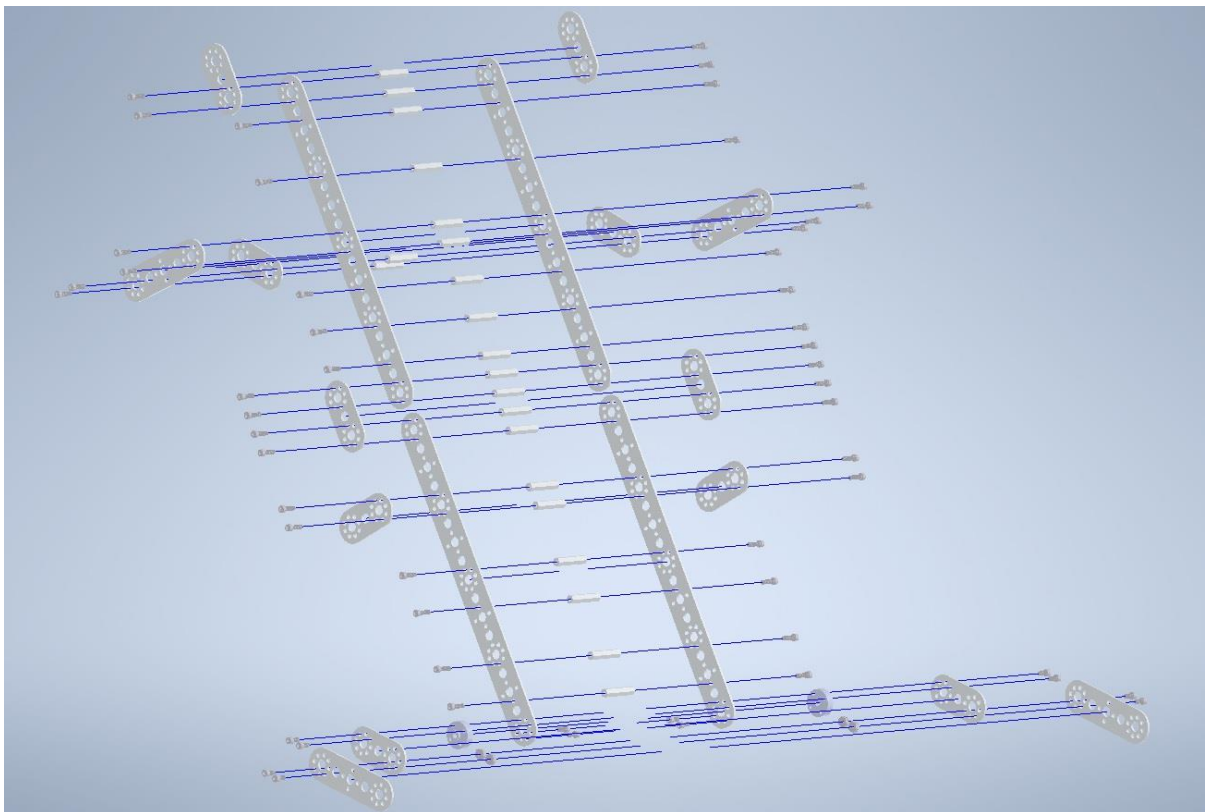
36. ábra: Az keresztirányú mozgás megvalósítása

A szerkezet egyszerűsége és jobb stabilitása miatt a fix tornyú kialakítás modellezését fogom a továbbiakban ismertetni. A torony és a rajta mozgó emelőszerkezet beépítése és alvázhoz rögzítése után a roboton elhelyezett gurítósíneket tartó szerkezetet építem a robotra. A szerkezet összeépítését a **37. ábrán** mutatom meg.



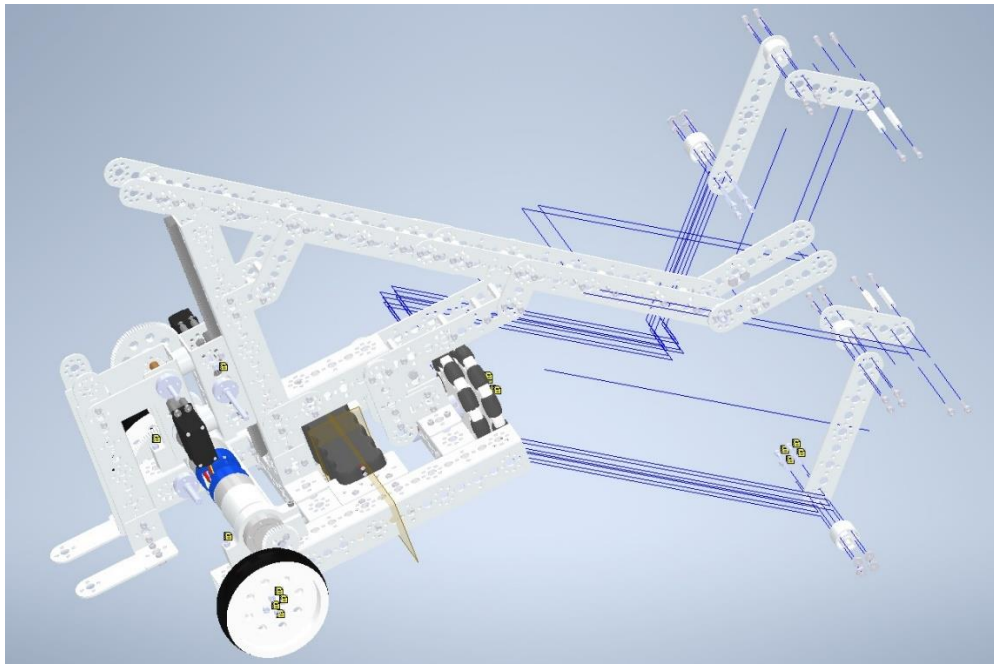
37. ábra: A gurítópálya tartó kialakítása a roboton

A következő lépés a gurítópálya kialakítása. Ehhez, mivel igen hosszúnak kell lennie a nagy szintkülönbség és a viszonylag enyhe lejtés érdekében, két-két egyenként 283 mm hosszú lapos elemet használok fel. Az elemek közé hatszögletű távtartókat helyezek a minél jobb merevség kialakítása érdekében. A gurítópálya összeépítése a **38. ábrán** követhető nyomon.



38. ábra: A roboton lévő gurítópálya kialakítása

A pálya és az egész szerkezet merevségének javítása érdekében, a robot alvázának hátsó sarkaihoz hozzákötöm a pályatartó kinyúló részeit két merevítő konzollal. A golyót pattanásmentesen pályára leengedő csipesz a gurítósínek legvégén kerül elhelyezésre, ennek a szerkezetnek a stabilitása fontos a golyó egyenes vonalú pályájának a kialakulása érdekében, a golyó zavaró hatásoktól mentes gurulása miatt. A merevítés robotra építése a **39. ábrán** tekinthető meg.

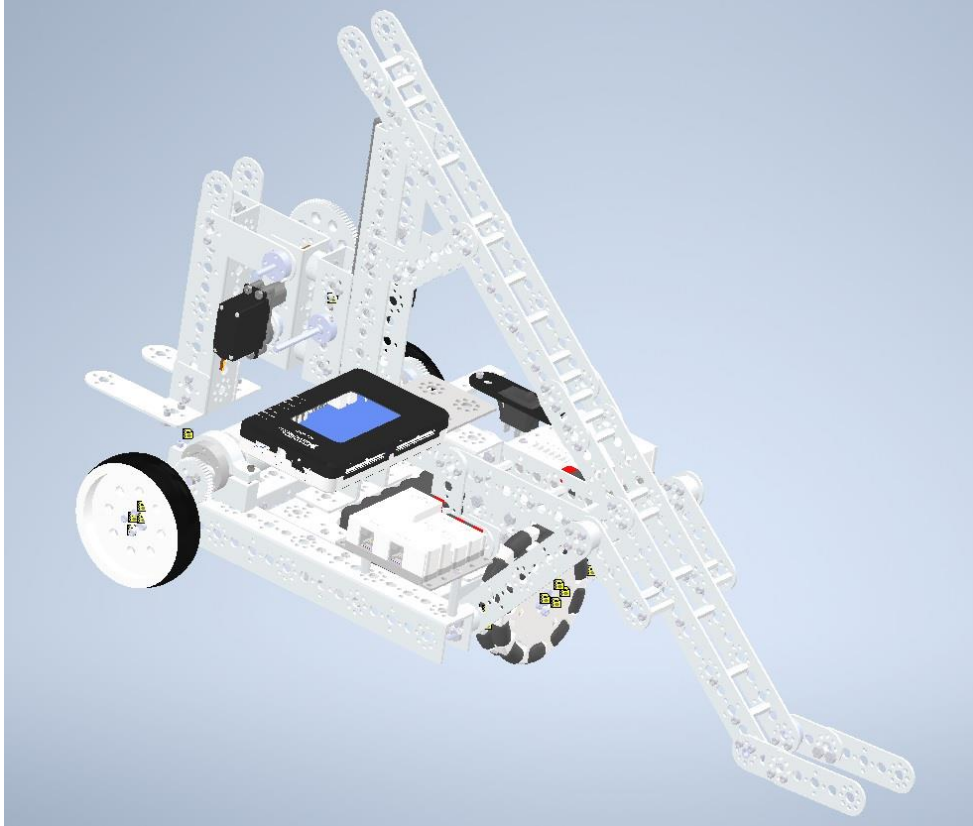


39. ábra: A gurítópálya hátsó részének merevítése

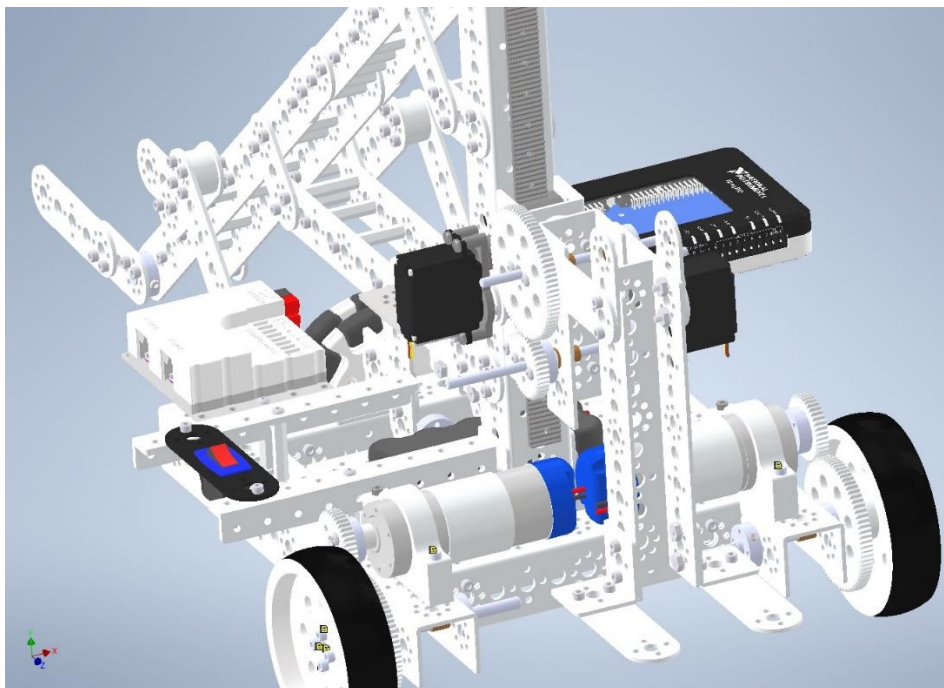


40. ábra: A vezérlők elhelyezése a roboton

A **40. ábrán** a DC motorvezérlő, a szervomotor vezérlő az NI myRIO vezérlő és a kapcsoló felszerelése látható. A DC motorvezérlőt és a szervomotor vezérlőt hatszögletű távtartókkal támasztom alá. Az NI myRIO vezérlőt egy alaplagra szerelem, úgy, hogy a vezérlőn található összes csatlakozási lehetőség és kapcsoló könnyen hozzáférhető maradjon.

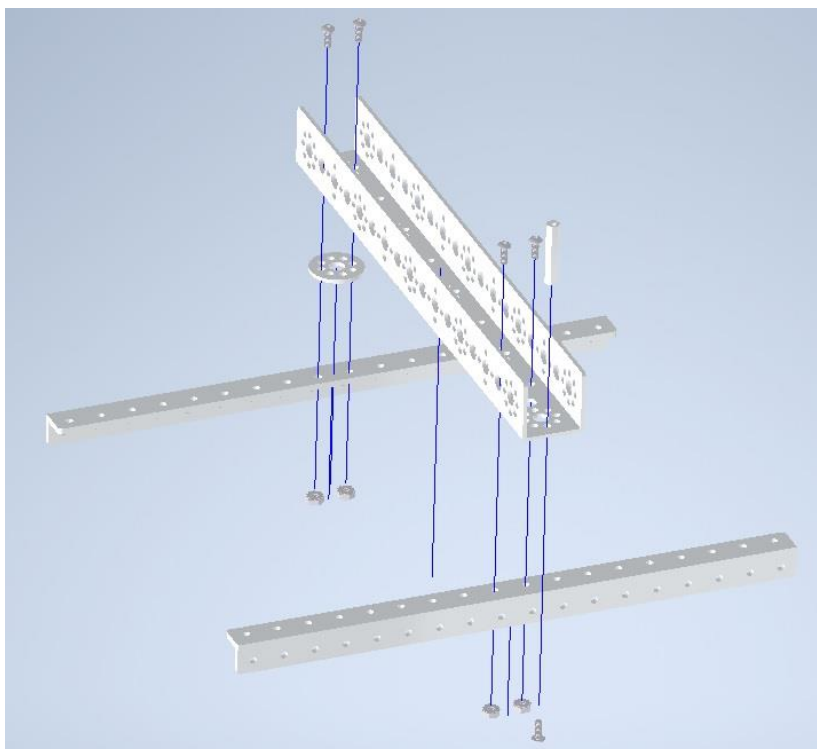


41. ábra: A 3D környezetben megtervezett tekéző robot

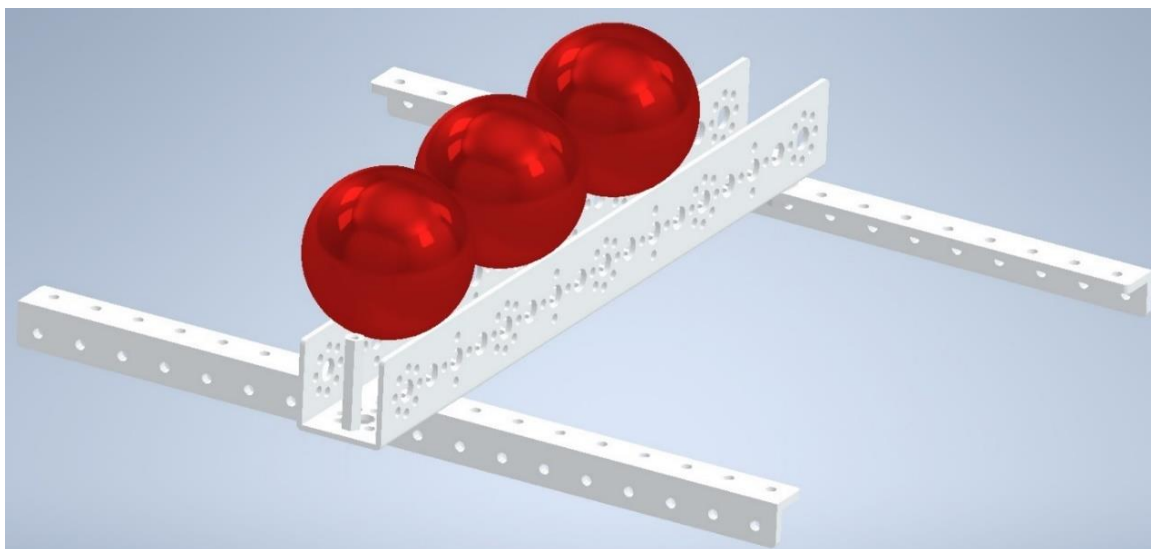


42. ábra: A 3D környezetben megtervezett tekéző robot közelről

A kapcsolót egy konzol és hatszögletű távtartók segítségével a robot oldalára szerelem a jobb hozzáférhetőség érdekében. A **41. ábrán** a 3D környezetben megtervezett robot tekinthető meg. A **42. ábra** a modellezés segítségével összeállított robot látható más szögből, közelebbről. A golyótartót is az építőelemekből alakítom ki. Ehhez egy 288 mm hosszú U szelvényt használok tartóként, lábként két L profilt keresztben helyezek el, egy hatszögletű távtartót legurulás gátlóként építek be, és a lejtés érdekében az egyik oldalra egy 2mm vastag hézagolót fektetek a kötés közé. A golyótartó kialakítása a **43. ábrán**, a golyókkal megrakott golyótartó pedig a **44. ábrán** látható.



43. ábra: Golyótartó tervezése



44. ábra: Golyótartó golyókkal

5. táblázat: A robot összeszereléséhez szükséges alkatrészek listája

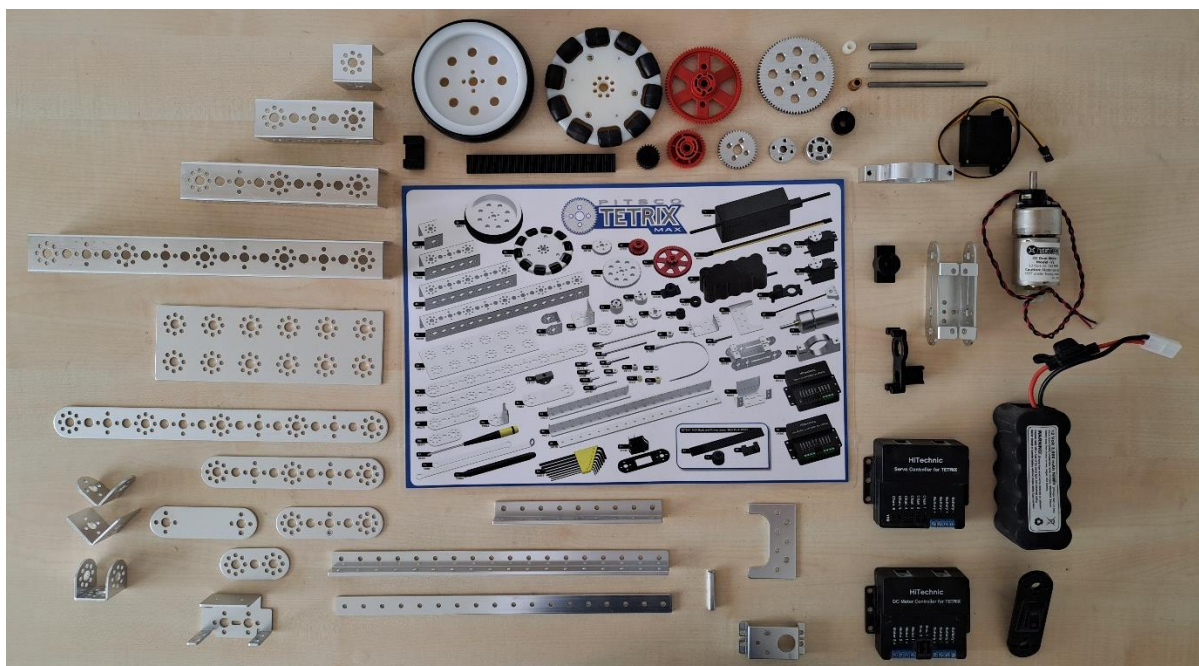
PARTS LIST		
ITEM	QTY	TITLE
1	4	6 szögletű távtartó 29,3mm
2	40	6 szögletű távtartó 32mm
3	1	Akkumulátor
4	2	Akkumulátor tartó
5	102	Anyá
6	4	Bronz persely $\varnothing$ 4,8
7	6	Bronz persely $\varnothing$ 6
8	2	DC motor
9	1	DC motor vezérlő
10	2	Építő alaplap 192x64
11	2	Fogasléc 127,5mm
12	1	Fogasléc fogaskerék
13	2	Fogasléc vezető
14	2	Hajtott kerék
15	16	I szelvény 59mm
16	8	I szelvény 91mm
17	4	I szelvény 155mm
18	4	I szelvény 283 mm
19	4	I szelvény, tele 91mm
20	1	Kapcsoló
21	3	Kicsi fogaskerék
22	6	L összekötő
23	2	L összekötő 144mm
24	2	Motor tartó ház
25	1	Műanyag távtartó $\varnothing$ 5
26	1	NI myRIO
27	3	Nagy fogaskerék
29	2	Omni Wheel kerék
30	128	Rögzítő csavar 8mm
31	70	Rögzítő csavar 13mm
32	24	Rögzítő csavar 32mm
33	2	Rögzítő csavar 40mm
34	42	Rögzítő csavar, lencse fejű 10mm
35	2	Szervo motor taró
36	1	Szervo motor vezérlő
37	1	Szervo motor_HS-785HB
38	1	Szervo motor_HSR-1425CR
39	8	Szervo motor rögzítő lemezcsavar
40	2	Szervo tengely csavar
41	2	Szervo tengelycsatlakozó
42	7	Távtartó
43	3	Tengely 6x80
44	3	Tengely $\varnothing$ 4,7 100mm
45	6	Tengely rögzítő $\varnothing$ 4,9
46	2	Tengely rögzítő, átmenő furatos $\varnothing$ 4,8
47	8	Tengely rögzítő, keskeny $\varnothing$ 4,7
48	8	Tengely rögzítő, keskeny $\varnothing$ 6
49	3	U szelvény 96mm
50	4	U szelvény 160mm
51	3	U szelvény 288mm
52	6	U szelvény, lekerekített 27,5mm

564 db

A tekéző robot, melyet egyedileg terveztem meg 3D-s környezetben, 52 különböző alkatrészből épül fel, összesen 564db elemet kellett általában alkatrészenként 3 kényszerrel beszerezni. Az alkatrészek listája az **5. táblázatban** található.

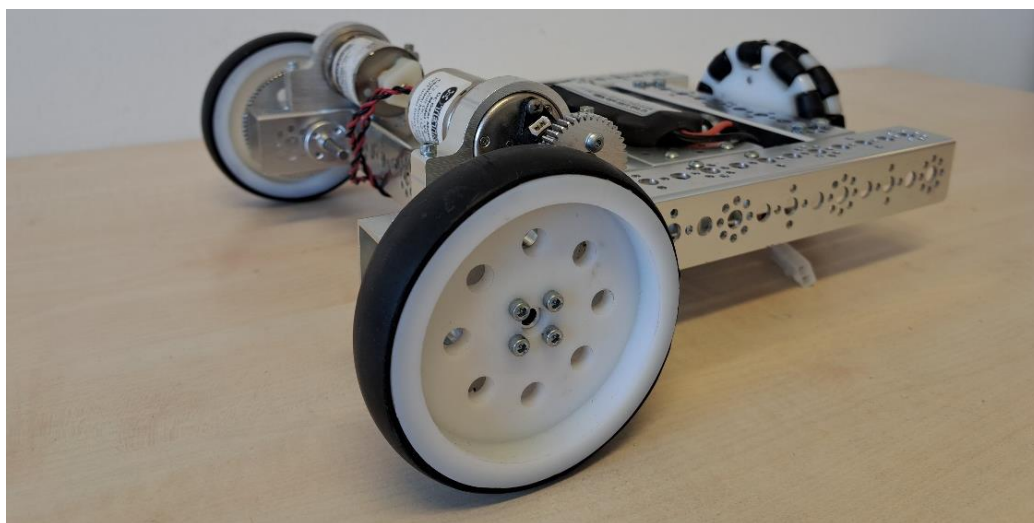
8.2. A robot összeszerelése

A szükséges elemek ismeretében megrendeltem az alkatrészeket. A **45. ábrán** a beszerzett alkatrészek egy része, a robot összeépítéséhez szükséges főbb elemcsoportokból egy-egy építőelem látható.

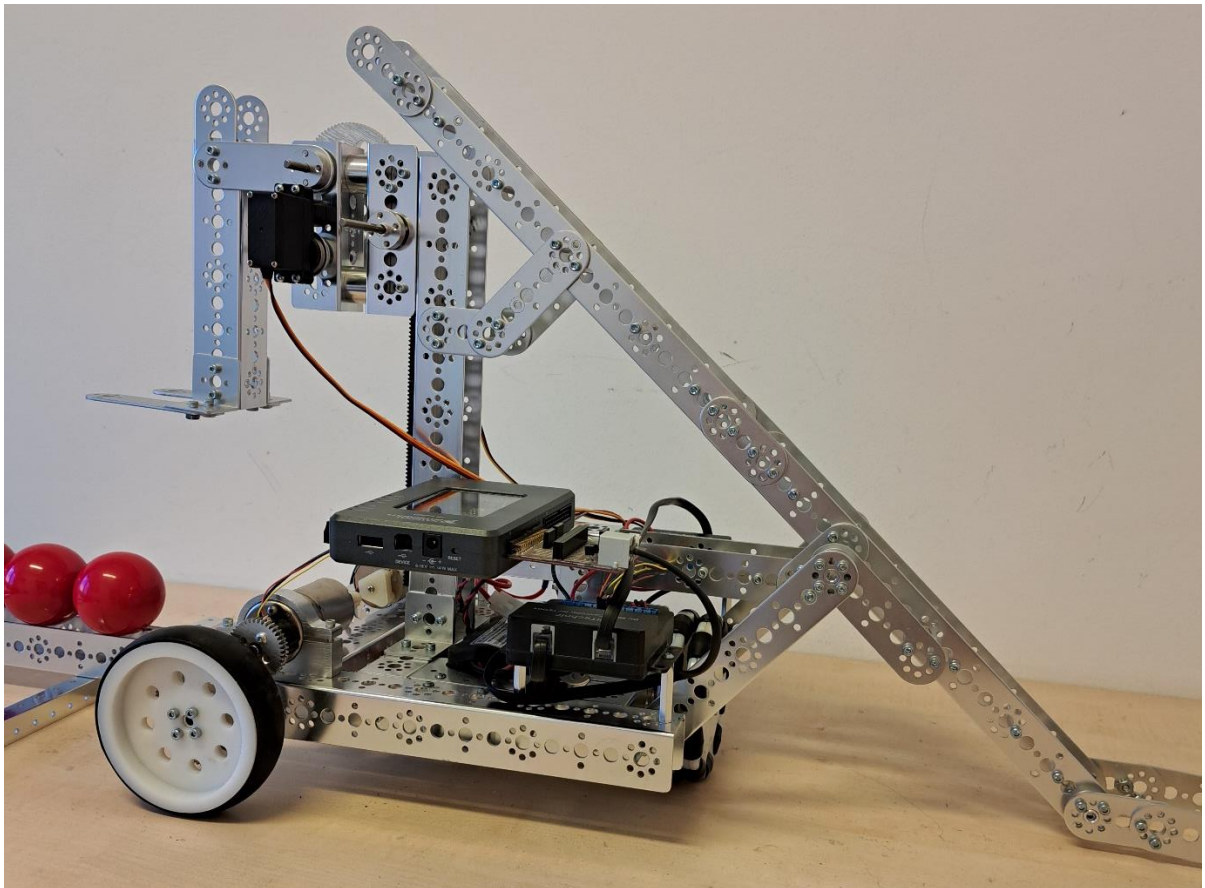


45. ábra: A megrendelt főbb elemcsoportok egy-egy eleme

A robotot a 3D tervek alapján megépíttem. A **46. ábrán** látható a kerekekkel felszerelt alvázszerkezet. A **47. ábra** a teljesen összeszerelt robotot mutatja.

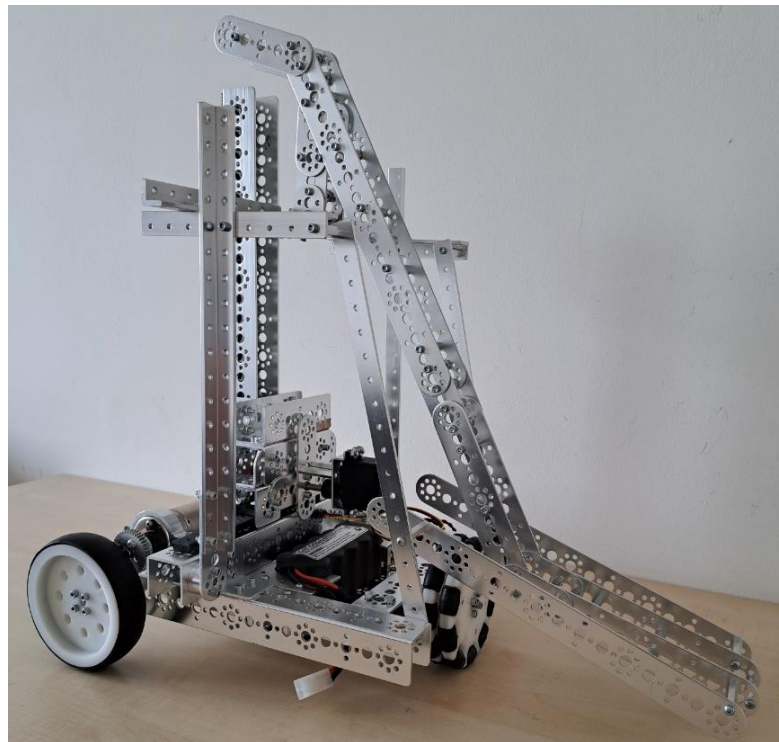


46. ábra: Kerekekkel ellátott alvázszerkezet

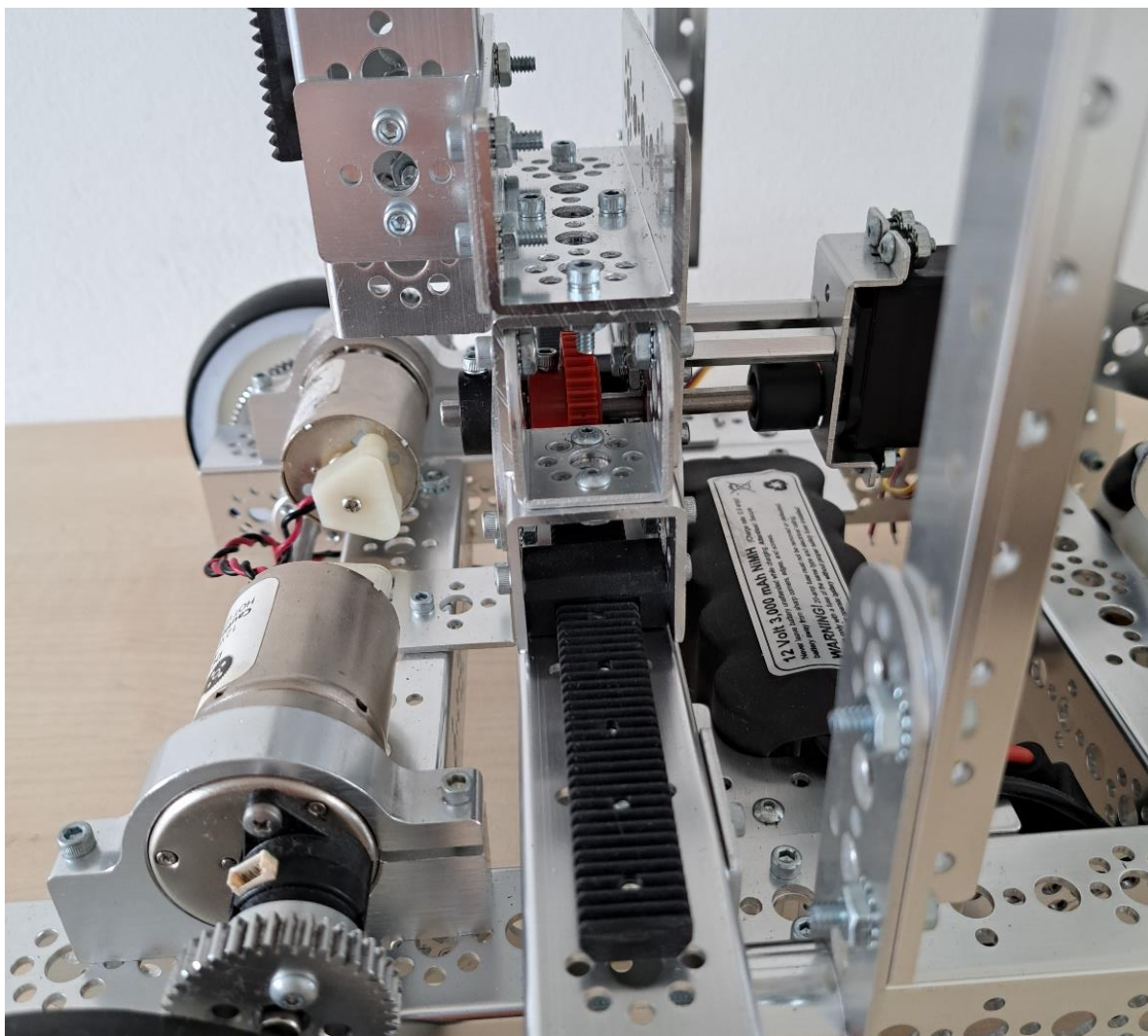


47. ábra: Teljesen összeszerelt robot

Megépítettem a mozgó tornyú változatot is, ez a szerkezet a **48. ábrán** ez nézhető meg. A **49. ábrán** a mozgó torony kialakítása szemléltethető meg.



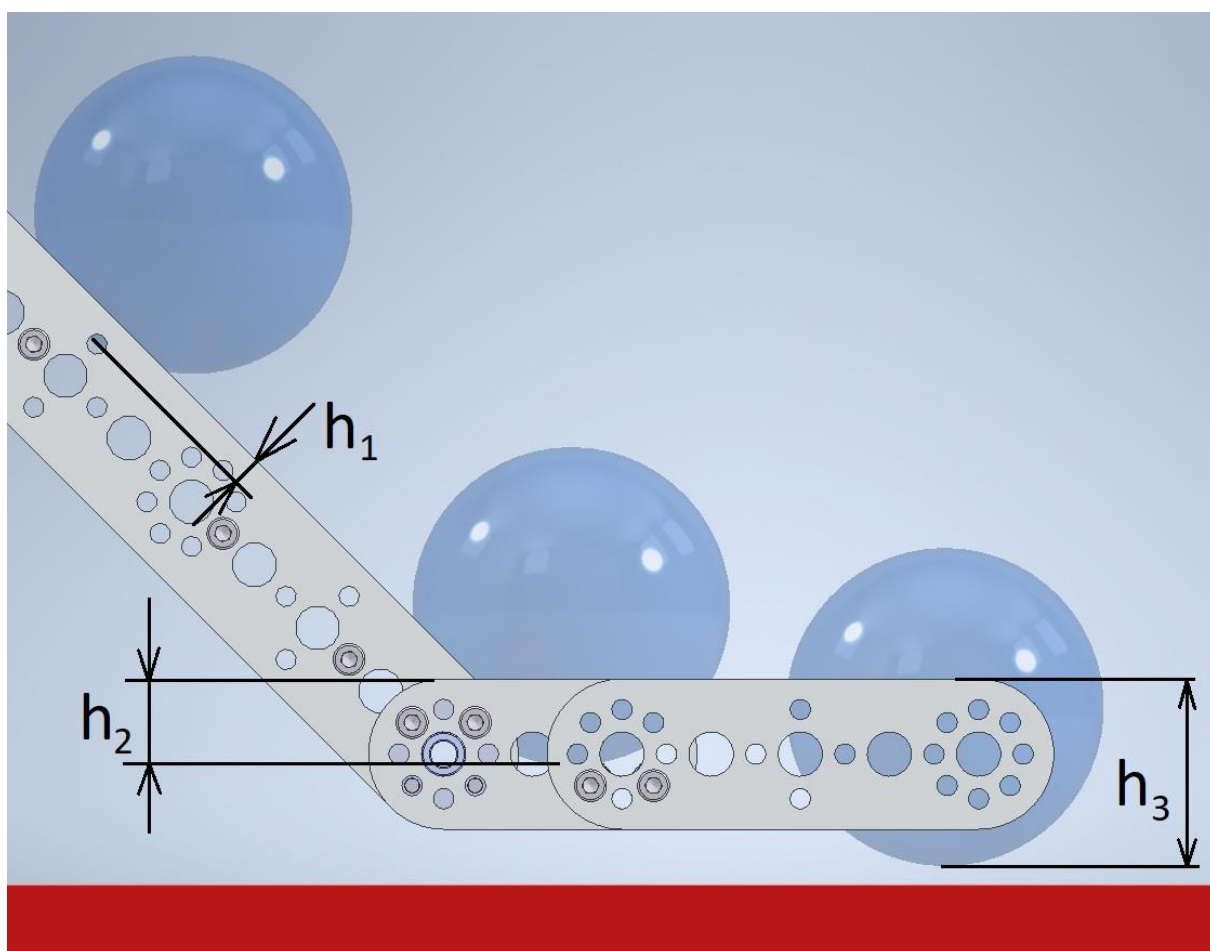
48. ábra: Keresztirányban mozgó tornyú szerkezet



49. ábra: A mozgó torony kialakítása

9. A golyó pályára engedése pattanásmentesen

A golyó pályájának matematikai leírása során kiderült, hogy a robot úgy lesz képes a saját hossz tengelyével egybeesően, egyenes vonalban elgurítani a golyót, ha a golyó mozgásába nem visz be nem kívánatos, parazita szögsebességeket ($\omega_\theta = 0$; $\omega_\phi = 0$). Ha a golyót pattanásmentesen engedjük a talajra, akkor ezek, a golyó egyenes vonalú mozgására kártékony befolyásoló hatások minimalizálhatóak. A golyó pattanásmentes leengedése a pályára úgy történik, hogy a vezető sínek, melyek között a golyó legurításra kerül egyre távolabb kerülnek egymástól három lépcsőben, ahogy az **50. ábrán** látható. A sín felső síkjától h_1 távolságra ül a golyó a sínek között gurulás közben, amíg a vezető sín aljára nem ér, ott két lépcsőben a sínek közötti távolság megnő úgy, hogy a golyó először h_2 , majd h_3 mélységbe kerül a sín felső síkjához képest.

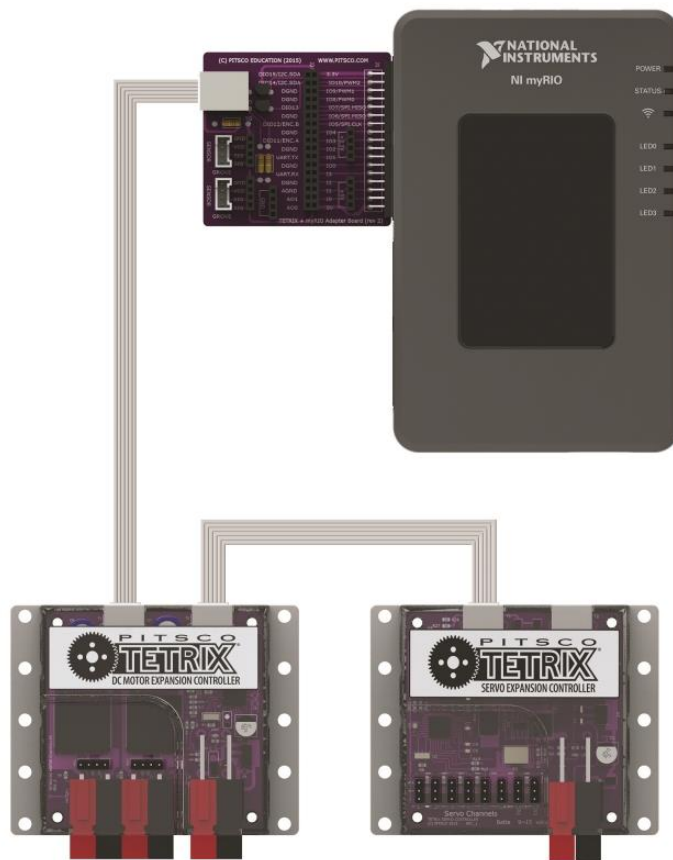


50. ábra: A golyót leengedő csipesz működése

A sínszálak végén, mielőtt a földre kerülne a golyó, a sínszálak már olyan távol esnek egymástól, hogy a golyó közéjük csúszva szét tudja feszíteni azokat. A vezető sín végén kialakított szerkezet a golyót csipesz szerűen, pattanásmentesen, leengedi a talajra, a gurító pályára. A sínszálak végét úgy alakítottam ki, hogy a szétnyíló részek között csak akkora nyomóerő terhelje a golyót, hogy az a súrlódás hatására a súlyerejéből adódóan még függőleges, lefelé irányuló mozgást tudjon végezni. A golyó pályára engedése, a golyóleengedő csipesz szárainak szétnyílása [itt](#) tekinthető meg. A videón a golyó pályára engedése először normál sebességben látható, utána egyre lassabban tekinthető, vizsgálható meg. Oldalirányból a golyó földet érése lassítva [itt](#) nézhető meg.

10.A vezérlő program megírása beágyazott NI myRIO programozási környezetben

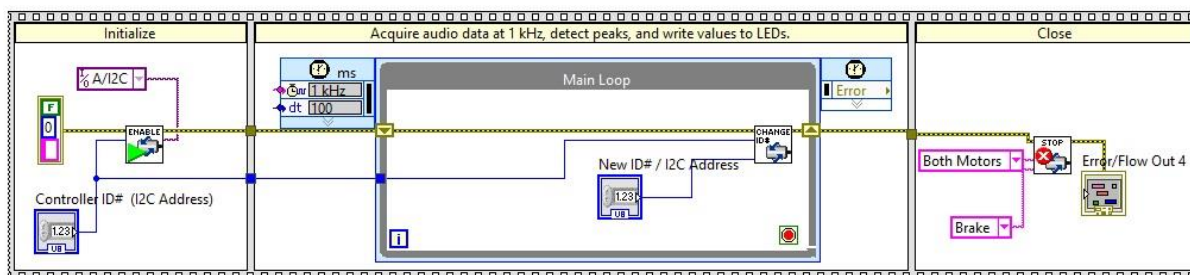
A robot mozgását Ni LabVIEW programozási környezetben valósítottam meg. A robotom tartalmaz egy DC motor vezérlőt és egy szervomotor vezérlőt. Ezeket az NI myRIO-val, azaz a központi vezérlőegységgel kötök össze, amely a két vezérlőt CAN-busz hálózaton érkező adatsomagokkal vezérli. A központi vezérlőegység a két vezérlővel az **51. ábrán** látható.



51. ábra: A központi vezérlőegység a vezérlők és a CAN-busz hálózat

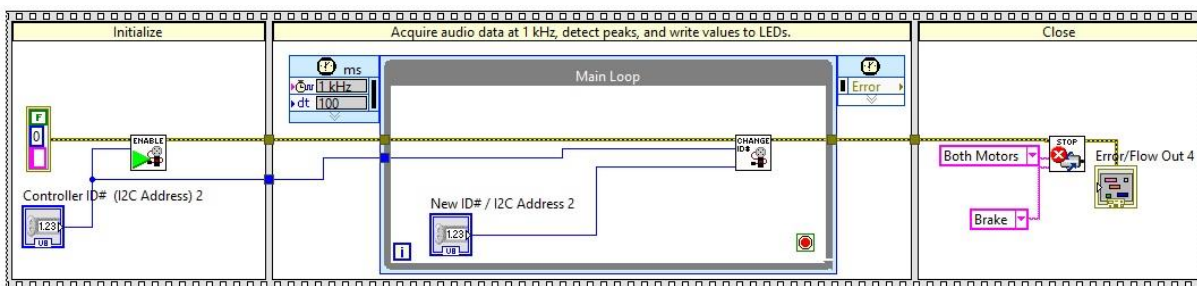
(forrás: <https://www.pitsco.com/>)

Először a DC motorok azonosítását végeztem el. Az ehhez szükséges blokkvázlat az **52. ábrán** (6. számú melléklet 1. ábra) látható.



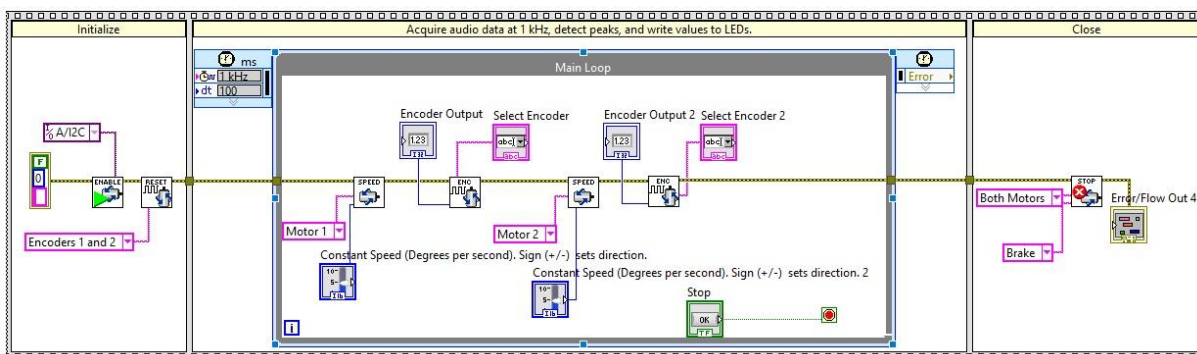
52. ábra: A DC motorok azonosítása (6. számú melléklet 1. ábra)

Ezután a szervomotorok azonosítását hajtottam végre. Az ehhez szükséges blokkvázlat az **53. ábrán** (6. számú melléklet 2. ábra) nézhető meg.



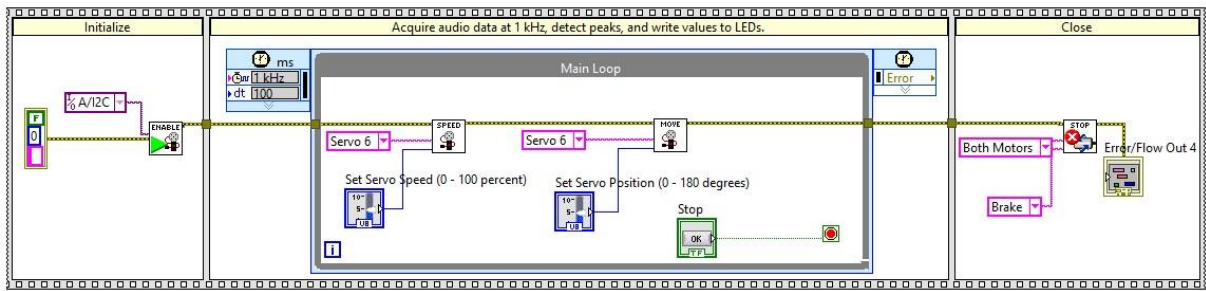
53. ábra: A szervomotorok azonosítása (6. számú melléklet 2. ábra)

A következő lépésben a DC motorok vezérléséhez szükséges blokkvázlatot hozom létre, ami az **54. ábrán** (6. számú melléklet 3. ábra) tekinthető meg.



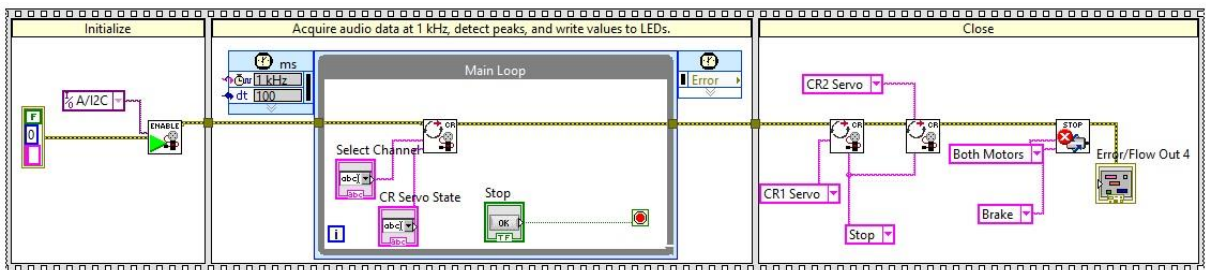
54. ábra: A DC motorok vezérlése (6. számú melléklet 3. ábra)

A behatárolt elfordulású szervomotor blokkvázlatának a létrehozása volt a következő lépés, ami az **55. ábrán** (6. számú melléklet 4. ábra) látható.



55. ábra: Behatárolt forgású szervomotor vezérlése (6. számú melléklet 4. ábra)

Még létre kellett hoznom a folyamatos körbefordulásra képes szervomotor blokkvázlatát is, amit az 56. ábrán (6. számú melléklet 5. ábra) mutatok be.



56. ábra: Folyamatos körbefordulású szervomotor vezérlése (6. számú melléklet 5. ábra)

A blokkdiagrammok létrehozása után a számítógép és a grafikus kezelőfelület segítségével egy csúszkával meg tudtam forgatni a DC motorokat, amely [itt](#) tekinthető meg. A csúszkával a motorok kivezetéseire kerülő feszültséget változtatom 0 és 12 V között, illetve a polaritást cserélem fel.

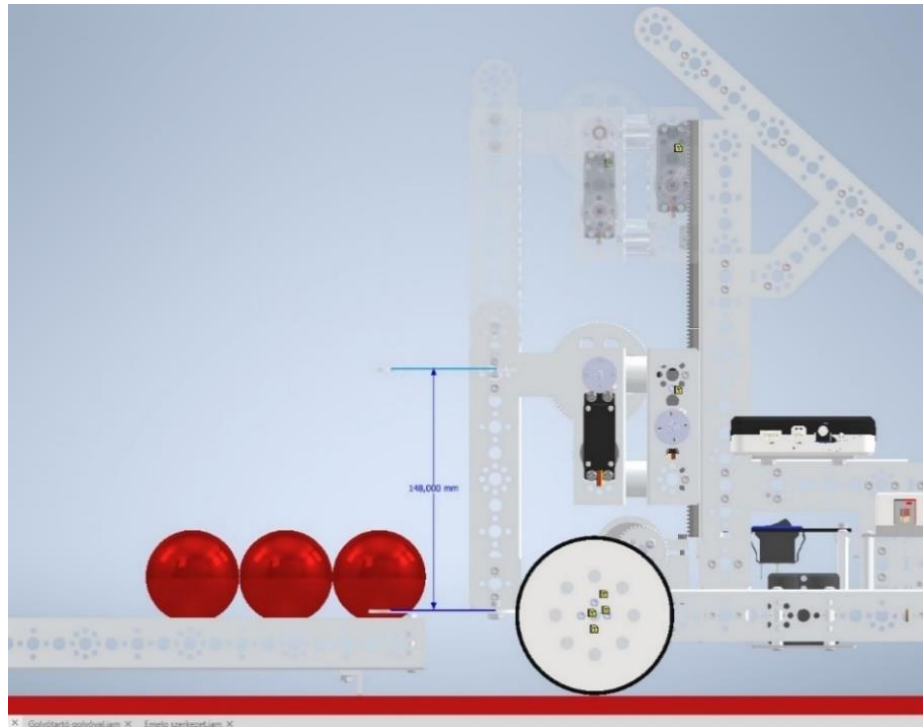
A blokkvázlatok létrehozása után meghatározom azokat a bemenő paramétereket, amelyek szükségesek ahhoz, hogy a robot a lehető legegyszerűbb módon az induló helyzetéből odaguruljon a golyótartóhoz, kivegyen egy golyót, majd megbillentse a golyóemelő szerkezetét úgy, hogy a golyó a robot hátrafelé történő mozgása közben ne tudjon legurulni onnan. Ezt követően a gurító vonalhoz gördülve felvegye a gurító pozícióját. Ezután a golyóemelő szerkezet segítségével először megemelje, majd megforgatva a billentő részt, útnak indítsa a golyót, amely a roboton kialakított sínzsalak között felgyorsulva pattanásmentesen a földre érkezve, egyenes vonalban haladva elérje, majd felborítsa a felállított bábukat.

A kerekek hajtása lassító áttételen keresztül történik. A kis fogaskerék fogszáma $z_1 = 40$, míg a nagy fogaskerék fogszáma $z_2 = 80$. A lassító módosítás $i=0,5$. A motor névleges fordulatszáma $n_{névl.} = 150 \frac{f}{perc}$. A hajtó kerék átmérője $D = 29 \text{ mm}$.

Egy motor körbefordulásra megtett távolság:

$$l = \frac{D \cdot \pi}{2} = \frac{29mm \cdot 3,14}{2} = 45,53 mm$$

A fogaskerék-fogasléc kapcsolatnál a fogaskerék fogszáma $z_3 = 24$, a fogaslécen mérve 24 fog távolsága $h_4 = 60 mm$. A fogaskerék osztókörének átmérője $d = 19mm$. $h_4 = d \cdot \pi = 19mm \cdot 3,14 = 60 mm$. A fogaskerék tengelyének egy körbefordulására az emelő szerkezet 60 millimétert emelkedik.



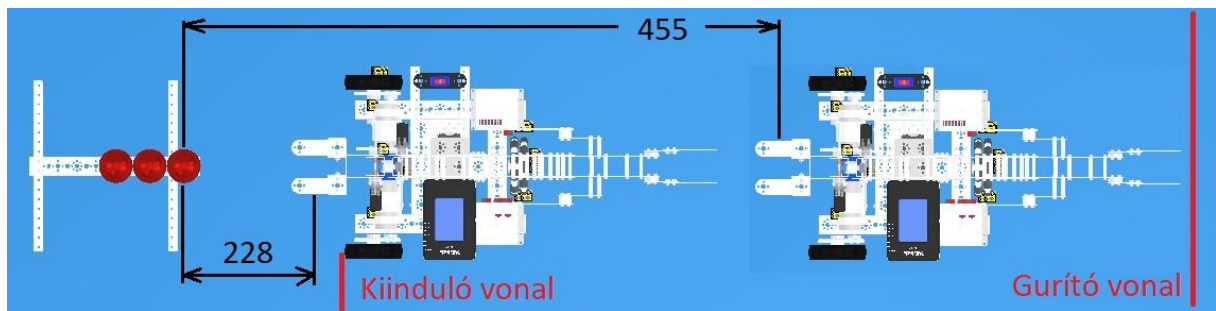
57. ábra: A golyó megemelése

Az emelőszerkezetnek, ahogy az az **57. ábrán** is látható 148mm magasságot kell emelkednie. Ebből adódóan a motor tengelyének 2,5 fordulatot kell fordulnia. Az emelőszerkezet mozgása [itt](#) tekinthető meg.

A programba bevitt mozgás a következő:

1. Az I. és a II. DC motor elfordul 5 teljes fordulatot (+) irányban (Enkóder használata) [A robot beáll a golyó alá.] 228 mm
2. Az I. SZERVO (180°-os) elfordul +5°-ot [A robot megbillenti a golyó emelőt.]
3. Az I. és a II. DC motor elfordul 10 teljes fordulatot (–) irányban [A robot beáll a gurító pozícióba.] 455 mm
4. A II. SZERVO (Folyamatos forgásra képes) elfordul +900°-ot [A robot a golyót felemeli.]
5. Az I. SZERVO (180°-os) elfordul +175°-ot [A robot elforgatja a golyóemelőt, megtörténik a gurítás.]

A Robot tervezett mozgása az **58. ábrán** nézhető meg.



58. ábra: A robot mozgása

A robot gurításáról készült videó, amikor a középső bábút balról üti meg a golyó, [itt](#) nézhető meg.

Egy másik gurítás, amikor a középső bábút pont középen találja el a golyó, [itt](#) látható. Az egyetlen golyóval történő tarolást nem is olyan egyszerű megvalósítani.

Összegzés

Háromdimenziós tervezőkörnyezetben egy olyan robot létrehozása volt a kitűzött célom, amely képes egy billiárd golyót felemelni és úgy elgurítani azt, hogy az adott távolságban, meghatározott módon felállított bábukat minél nagyobb számba ledöntse.

A tervezés elkezdése előtt meg kellett határoznom, hogy milyen mozgások szükségesek ahhoz, hogy a golyó a roboton lévő gurító sínek közé kerüljön, ahonnan a gravitáció segítségével legurul. Fontos feladat volt a golyótartó megközelítésének átgondolása, az egyes golyók kivétele előtti pozicionálás, illetve a gurítás előtti pozícióba állás megtervezése is.

A pontos gurítás nem elegendő a bábuk nagyszámú felborításához. A golyó pontos pályáját is ismernünk kell. Matematikai leírás segítségével elemeztem, hogy a golyó pályáját hogyan befolyásolják az egyes földet érés közbeni hatások.

A golyó pattanásmentes földre engedése volt a legnagyobb körültekintést igénylő feladat. Olyan szerkezetet sikerült terveznem, amely képes a golyót úgy leengedni a talajra, a gurító pályára, hogy az ne szenvedjen külső befolyásoló hatásokat. A robot képes ezzel a szerkezettel a golyót többszöri ismétléssel azonos pályán elgurítani.

Két különböző bonyolultságú gépet terveztem. Az egyszerűbb, kevesebb elemből álló robot építését dokumentáltam. 52 különböző elemből sikerült összeállítani a tekészre alkalmas robotot. Az összeépítéshez összesen 564 db alkatrészt használtam fel, melyeket háromdimenziós környezetben közel 1 700 kényszerrel kötöttem egymáshoz.

A robotot a tervek alapján a valóságban megépítettem. Teszteltem a golyó földet érését, vizsgáltam a pályáját. Megnyugtató eredményről számolhatok be. A golyó egyenes pályán, kitérés nélkül gurul.

Meghatároztam a lehető legegyszerűbb program létrehozásához szükséges bemeneti adatokat. A program segítségével a robot képes a golyótartóhoz gurulni, felemelni egy golyót, a gurító vonalhoz állni, majd elgurítani azt.

Véleményem szerint sikerült a kitűzött célt megvalósítani. Egyedi tervezéssel létrehoztam egy robotot, megépítettem majd programozás segítségével megmozgattam.

A robot szenzorok segítségével autonóm robottá fejleszthető, mely egy újabb tudományos munkát ölelhet fel. A robot oktatási célokra használható. Egy ilyen robot megépítése izgalmas és érdekes kihívás lehet a témakör iránt érdeklődő hallgatók számára. A szerkezet létrehozása során olyan ismeretanyagra tehetnek szert a tanulók, melyet ipari környezetben hasznosítani tudnak. Az autonóm járművek leendő fejlesztői játékos módon ismerkedhetnek meg ezzel a tudományterülettel.

Irodalomjegyzék

Nyomtatott dokumentumok:

2. Kiss Piusz **Fizikakísérletek demonstrálása myRIO platformon** (2017)
4. Viola Gergely **Automatikus bowlingozó robot vezérlésének megvalósítása beágyazott myRIO eszközökkel** (2016)
7. SicilianoKhatib **Handbook of Robotics** (2008) pp 394.; 407.
8. Dr. Nagy Károly **Elméleti Mechanika** (2002)

Elektronikus dokumentumok:

1. Tananyagok **Az Arduino bemutatása**
<https://www.inf.u-szeged.hu/~makan/tananyagok/elektronikai-alapok-programozoknak/az-arduino-bemutatasa/> (2024.01.21.)
3. Nagy sportválasztó **Teke** <https://sportagvalaszto.hu/teke/> (2024.03.18.)
5. HITEC **HS-785HB Servo Specifications** <https://hitecrcd.com/products/servos/analog/boat-analog/hs-785hb-3.5/product> (2024.03.22.)
6. HITEC **HS-1425CR Servo Specifications** <https://hitecrcd.com/products/servos/robotic-servos/hsr1425/product> (2024.03.22.)