

SZAKDOLGOZAT

Felföldi László, CY0N7R

Gépészmérnök, BSc

Gödöllő
2024



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus**

Járműtechnika Tanszék

Gépészmérnök BSc

Gumikerekes csúszókormányzású robotjármű terepi mozgékonyságának vizsgálata

Belső konzulens:	Körmöczi Dávid Tanszéki munkatárs
Intézet/tanszék:	Járműtechnika Tanszék
Külső konzulens:	Szép Zoltán Ground Vehicle System kft. Ügyvezető igazgató
Készítette:	Felföldi László (CY0N7R)

Gödöllő

2024

MŰSZAKI INTÉZET GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Gépjárműtechnika specializáció

SAKDOLOGOZAT
feladatlap

Felföldi László (CY0N7R)

részére

A szakdolgozat címe:

Gumikerekes csúszókormányzású robotjármű terepi mozgékonyságának vizsgálata

Feladatkiírás:

A szakdolgozatomban a Husky Clearpath A200-as robotjármű terepi mozgékonyságát vizsgáltam az általam erre a célra tervezett és kialakított, a modelljármű léptékéhez igazodó akadálypályán. Főbb szempontok a dolgozatomban a robotjármű akadály leküzdőképességének meghatározása, valamint a mozgékonyságának elemzése volt.

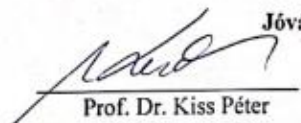
Közreműködő tanszék: Járműtechnika Tanszék

Külső konzulens: Szép Zoltán, ügyvezető igazgató, Ground Vehicle Systems Kft.

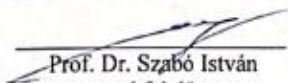
Belső konzulens: Körmöczi Dávid, tanszéki munkatárs, MATE, Műszaki Intézet, Járműtechnika Tanszék

Beadási határidő: 2024. november 5. (kedd) 12.00 óra

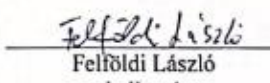
Gödöllő, 2024. június 15.


Prof. Dr. Kiss Péter
tanszékvezető

Jóváhagyom


Prof. Dr. Szabó István
szakfelelős

Átvettem


Felföldi László
hallgató

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024. november 5.


(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	3
1. Bevezetés, célkitűzés.....	5
2. Terepen mozgó autonóm járművek.....	7
2.1 Terepakadályok	7
2.2 Jármű akadályleküzdő képességének paraméterei.....	8
2.3 Autonóm terepjáró eszközök	8
2.4 Autonomitás a robotikában.....	11
2.5 Akadályok érzékelése robotjárművekkel	12
2.6 A jármű és az akadály közvetlen kapcsolata	12
2.6.1 Terepfelület elemzése	12
2.6.2 Akadály elkerülésének betanítása a robot számára.....	13
2.7 A jármű és az akadály közvetett kapcsolata.....	14
2.7.1 Hosszirányú akadályok	15
2.7.2 Keresztirányú akadályok.....	15
2.7.3 VSE-görbe	15
2.8 Járművek mozgása különböző terepviszonyok között	17
2.8.1 Lejtőszög hatása a jármű mozgására.....	17
2.8.2 Makroakadályok hatása a jármű mozgására	17
2.8.3 Mikroakadályok hatása a jármű mozgására	18
2.8.4 Talaj hatása a jármű mozgására	18
2.9 Autonóm jármű térkép alapú navigálása	19
2.10 Mobilitási Tesztpálya	19
2.10.1 Délnyugati Kutatóintézetnél.....	19
2.10.2 ZalaZONE tesztpálya	21
2.10.3 Rába ring.....	22
2.11 Autonóm robot széleskörű használatának lehetőségei	23
3. Gumikerekes csúszókormányzású robotjármű terepi mozgékonyságának vizsgálata	25
3.1 Clearpath Robotics	25
3.2 Clearpath Husky A200	25
3.3 Akadálypálya tervezése	29
3.4 Akadálypálya felépítése.....	31
3.4.1 Talajnedvesség tartalma.....	33
3.4.2 Talajellenállás mérése	33
3.5 Akadálypályán való tesztelés.....	36

3.6 Mért adatok kiértékelés	40
4. Összefoglalás	47
5. Summary.....	48
6. Irodalomjegyzék	49
7. Nyilatkozatok.....	52
7.1 Hallgatói nyilatkozat	52
7.2 Konzulensi nyilatkozat	53

1. Bevezetés, célkitűzés

Szakdolgozatom célkitűzése, hogy bemutassam a Clearpath Husky A200 robotjármű terepi mozgékonyágát, akadály leküzdőkéességét, valamint az autonóm járművek terepen való alkalmazásának előnyeit.

Azért ezt a témát választottam, mert mindig is érdekelt a jármű automatizáció technikai háttere és innovációi, továbbá az alkalmazhatóságuk és hatékony működésük fejlesztése. A téma körbejárására nagy segítséggel szolgált, hogy az egyetem járműtechnika tanszékén ehhez a témához kapcsolódó projekt indult, melyben a Husky Clearpath A200 típusú robotjárművet vizsgáltam. Fő szempontok a dolgozatom során a terepi mozgékonyág, valamint az akadály leküzdőkéesség vizsgálata, elemzése.

A téma jelentősége, hogy manapság a járművek automatizálása, vezető nélküli irányításának elérése a cél, hogy olyan helyeket is fel lehessen fedezni, kutatni, amely emberi megközelítésre nem alkalmas a természeti viszonyok vagy szimplán veszélyessége miatt. Ilyen helyek például a barlangok, sivatagi-, és hó lepte vidékek vagy a Földet elhagyva Hold, valamint a Mars. Az emberi kíváncsiság sokszor túlmutat a fizikai elérhetőségen, ezért kell, hogy a robotika fejlődése meghaladja ez emberi képességeket.

A szakdolgozathoz szükséges mérések előzményeként a robot geometriai méreteit felvettem, majd ennek birtokában a terepi akadálypálya koncepcióját (1. ábra) kezdtem el megtervezni. A tervezés során figyelembe vettem a jármű méreteit, hogy a mérés során számomra a releváns értékeket kapjam. A pályának könnyen leküzdhető, nehezen leküzdhető és leküzdhetetlen akadályokból kell állnia, hogy széleskörűen fel lehessen mérni a jármű képességeit. Ezért a kialakítás során, olyan egyedi akadályokat készítettem, ami a lehető legátfogóbb képet ad a robot akadály leküzdőkéességéről és a környezetben megtalálhatóak természeti formákból áll. A leggyakoribb akadályformák: lépcső, gát, árok, ezek imitálása képpen farönköket, köveket, építési törmelékeket, ágakat, emelkedőket, természetes keletkezésű lankás területet és ásott árkot alkalmaztam. A tesztelés után a kiértékeléskor a várt eredményeket kaptam, hogy van, amit letud és van, amit nem tud leküzdni a jármű. A mérés során előfordult a jármű borulása is, ezért a későbbiekben egy biztonsági kötelet

rögzítettünk, melynek ellentartásával tudtuk elkerülni a robot rongálódását. A tesztelés sokszori megismétlése után sikeresnek nyilvánítottam.

2. Terepen mozgó autonóm járművek

2.1 Terepakadályok

A geomorfológia számos természetes terepakadály formát és méretet különböztet meg. Az elemzések azt mutatják, hogy a járművek elakadását csak néhány akadálytípus okozza, míg a többi akadály ezekhez hasonlóan kezelhető.

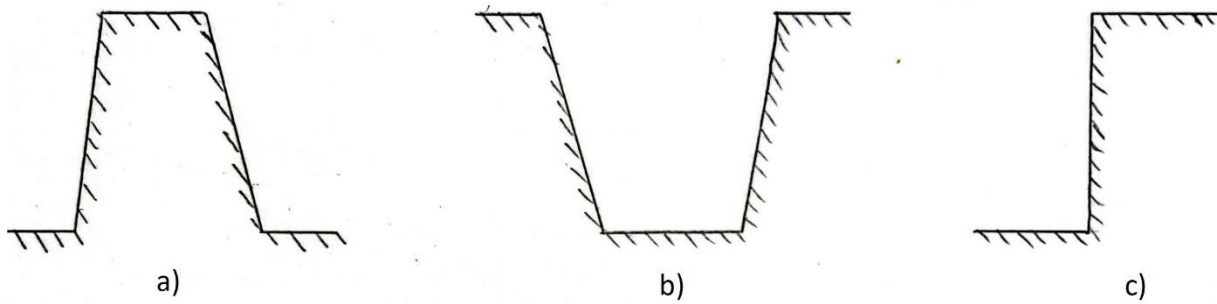
Egy adott terület morfológiai jellemzői, mint az éghajlat, a talaj, a növényzet és az évszak figyelembevétele elengedhetetlen a terepjárhatóság vizsgálatának szempontjából. A domborzat formái és a különböző alakzatok vizsgálata alapvető lépés a terület áthatolhatóságának meghatározásához. Az akadályok mérete és formája nagyon változatos lehet a környezetben.

A morfológiai formák kialakulásánál figyelembe kell venni a talajképződési tényezőket, mint az éghajlat, az alapkőzet, a növényzet, a domborzat, valamint a talaj kora.

Az egyszerű akadályok, mint a lépcsők és a gátak, jellemzőek a terepen. Ezek alakját és méreteit a talaj típusa és annak tulajdonságai határozzák meg. A természetes akadályok ritkán derékszögűek, és magasságuk is változó. Az akadályok általános jellemzői a lejtőszög ($0-90^\circ$ között) és a lépcsőmagasság (amely 0-tól akár végtelenig is terjedhet). Az összetettebb akadályok több egyszerű akadály kombinációjával állíthatók elő.

A valóságban megtalálhatóak olyan akadályformák, amelyek geometriai szempontból nem okoznak különösebb gondot a járművek számára, például a domb, ha nagy lekerekítési sugárral rendelkezik, amelynek formája lehetővé teszi a könnyű és akadálymentes áthaladást. További akadályok azonban a méretük és formájuk miatt jelentősen nehezítik vagy lehetetlenné teszik a járművek számára az áthaladást, például a szakadék, amelynél a jármű egyszerűen nem tud átkelni, mert a távolság és a mélység nagysága túltesz a jármű képességein.

A természetben találhatóak olyan tipikus akadályformák, amelyek gyakrabban fordulnak elő az átlagnál, így a járművek is gyakrabban találkoznak velük. Ezek a jellegzetes akadályok a gát (1. ábra a, rajz), az árok (1. ábra b, rajz) és a lépcső (1. ábra c, rajz). (Laib, 2002)



1. ábra Akadályformák

2.2 Jármű akadályleküzdő képességének paraméterei

A gyártók leggyakrabban a hasmagasságot adják meg a terepjárók képességeinek egyik mutatójaként. Azonban ez csak az egyik olyan tényező, amely befolyásolja a jármű makroakadályok leküzdésére való alkalmasságát. Terhelés hatására a gumibroncsok deformálódnak, ami miatt az elméleti kerékátmérőhöz képest a jármű tényleges gördülési átmérője csökken. A közúti gumibroncsoknál, a gyári előírásoknak megfelelő légnyomás mellett, ez a csökkenés általában 3-6%. Terepi használat során alacsonyabb nyomású gumibroncsoknál ez az érték jelentősen nagyobb lehet. A gördülési sugár változása a jármű egyéb geometriai méreteire is hatással van, kisebb-nagyobb mértékben.

A jármű hosszirányú makró akadály-leküzdési képessége különösen fontos, hiszen ebben az irányban közelíti meg az akadályokat. Bizonyos helyzetekben azonban a keresztirányú akadályleküzdés sem figyelmen kívül hagyható, ilyenkor a jármű keresztirányú méreteit is figyelembe kell venni. Itt is számolni kell a gumi deformációjából adódó méretváltozásokkal, amelyeket mérési adatokkal lehet pontosan meghatározni. A vizsgálatok során a jármű alap adatait tekintik bemenő adatoknak, amelyek alapvetően meghatározzák a makroakadályok leküzdésére való képességet. (Laib, 2002)

2.3 Autonóm terepjáró eszközök

Az önvezető technológia bevezetése jelentős újításokat hozott az autóiiparban és a közlekedésben, ígéretes eredményekkel a közúti biztonság és mobilitás terén. Ezek az autonóm rendszerek képesek csökkenteni a balesetek számát és javítani a forgalom hatékonyságát, emellett a gazdaság számára is előnyösek lehetnek. Ugyanakkor ezek a technológiák számos kihívással és hibalehetőséggel néznek szembe.

Az egyik legfontosabb probléma az emberi beavatkozás hiánya. Az autonóm járművek képesek önállóan döntéseket hozni, de még mindig vannak helyzetek, amikor emberi közbelépésre van szükség a biztonságos vezetés érdekében. Ha a jármű rossz döntést hoz, az emberi vezetőnek gyakran nincs elég ideje a reakcióra vagy az irányítás átvételére, ami súlyos következményekhez vezethet.

További problémát jelentenek a szoftver- és hardverhibák. Az önvezető rendszerek nagymértékben támaszkodnak az érzékelőkre és a szoftverekre, amelyek adatokat gyűjtenek és dolgoznak fel. Ha ezen alkatrészek bármelyike meghibásodik – például egy radar vagy kamera –, az balesetet eredményezhet. Ezek a technikai hibák veszélyt jelentenek az utasokra és más közlekedőkre.

Az autonóm járművek döntéshozatali folyamatai etikai kérdéseket is felvetnek. Az önvezető rendszereknek élet-halál helyzetekben kell döntenüik, például balesetek megelőzésekor. Ilyen esetekben felmerül a kérdés, hogy melyik döntés a leginkább elfogadható, és kinek az élete vagy vagyona van előtérben.

Az információbiztonság szintén kiemelt figyelmet igényel. Hackerek kihasználhatják a rendszerek sebezhetőségeit, és támadásokat indíthatnak az autonóm járművek ellen. Ez súlyos veszélyt jelenthet a közúti biztonságra és a technológia megbízhatóságára.

Mindezen kihívások ellenére az önvezető rendszerek folyamatosan fejlődnek. A fejlesztők elkötelezettek a biztonság és megbízhatóság mellett, ami elengedhetetlen ahhoz, hogy az autonóm járművek széles körben elfogadottá váljanak. A technológia fejlesztése során a kihívások és kockázatok kezelése természetes folyamat, és a jövőben további javulások várhatók az iparági szereplők együttműködésével. (Viktor és Garai-Fodor, 2024)

Az autonóm terepjáró eszközök kifejezés, amelyet gyakran találunk a szakirodalomban, magában foglalja a különböző szintű autonómiával rendelkező, valamint a vezető nélküli, távvezérelt és automatizált terepjáró eszközöket.

Az autonómia a gépek azon képességét jelenti, amely lehetővé teszi számukra, hogy egy feladatot önállóan hajtsanak végre, anélkül hogy a szabad akarat szükséges lenne. Ha azt szeretnénk, hogy a vezető nélküli terepjáró eszközök maximálisan kihasználják potenciáljukat, elengedhetetlen a magas szintű autonóm viselkedés és az adott környezet megértése, különösen a helyzettudatosság terén. (Tóth és Vég, 2022)

Az SAE (Society of Automotive Engineers) 2014-ben megalkotott szabványa alapján az önvezető járművek automatizáltságának szintjeit hat szintben definiálták. Ezek a szintek fokozatosan növekvő autonómiát képviselnek, az emberi irányítástól a teljesen önálló működésig.

- 0. szint: Nincs automatizáltság: A jármű teljes mértékben az emberi vezető irányítása alatt áll. A sofőr felelős minden vezetési feladatért, a jármű semmilyen automatizált rendszert nem alkalmaz a vezetéshez.
- 1. szint: Vezetés támogatása: A jármű részben átveszi a kormányzást vagy a fékezést/gyorsítást. Ebben az esetben a sofőr továbbra is irányítja a járművet, de egy adott feladatot – például a sávban tartást vagy a tempomat használatát – az automatizált rendszer segíthet elvégezni.
- 2. szint: Részleges automatizáltság: Az automatizált rendszer egyszerre több vezetési funkciót is átvesz, például a kormányzást és a gyorsítást/fékezést, de az emberi vezetőnek folyamatosan figyelnie kell, és bármikor készen kell állnia a beavatkozásra.
- 3. szint: Feltételes automatizáltság: A jármű képes az összes dinamikus vezetési feladat végrehajtására normál körülmények között, de szükség esetén a sofőrnek be kell avatkoznia. A rendszer érzékeli, ha az emberi beavatkozás szükséges, és felhívja a figyelmet, amikor át kell venni az irányítást.
- 4. szint: Magas szintű automatizáltság: A jármű képes teljesen önállóan közlekedni még akkor is, ha a sofőr nem reagál egy adott helyzetre. Az emberi beavatkozás minimális, a rendszer képes kezelni a legtöbb forgalmi és környezeti szituációt.
- 5. szint: Teljes automatizáltság: A jármű teljesen autonóm, nincs szükség emberi vezetőre. A jármű minden körülmény között képes önállóan közlekedni, beleértve a komplex városi forgalmat is. Az ilyen járművekre a nemzetközi szakirodalom FAV (fully autonomous vehicle) vagy AV (autonomous vehicle) rövidítéseket használ. (Szemerédi, 2019)

Ez az osztályozási rendszer segíti a járműautomatizálás technológiai fejlődésének és fokozatos bevezetésének megértését. Ahogy a járművek egyre magasabb szinteken

működnek, az emberi beavatkozás szükségessége csökken, míg az autonóm rendszerek biztonsági és hatékonysági kihívásai növekednek.

2.4 Autonomitás a robotikában

A robottechnológia fejlődése, különösen kültéri, terepen és változatos környezetben való alkalmazása, egyre nagyobb figyelmet kap. Olyan robotikai alkalmazások, mint a bolygófelderítés, keresés és mentés, erdőgazdálkodás és bányászat megvalósíthatóvá válnak a rekonfigurálható komponensekkel rendelkező robotok révén, amelyek képesek alkalmazkodni a különböző terepviszonyokhoz.

A mobil robotok kulcsszerepet játszanak a földi környezetben, ahol a legfontosabb problémák közé tartozik a terep átjárhatóságának értékelése, az optimális mozgási útvonalak tervezése, és az artikulált robotok kinematikai konfigurációjának alkalmazkodása a terephez. A terep átjárhatósági elemzése kulcsfontosságú a robotok hatékony működésében, különféle megközelítéseket, mint például a proprioceptív, geometriai alapú és megjelenés alapú elemzéseket alkalmazva.

A proprioceptív elemzési módszerek segítik a robotokat a terep nehézségeinek megértésében, míg a geometriai alapú megközelítések a terep jellemzőit vizsgálják. A megjelenés alapú módszerek a képfeldolgozást és osztályozást használják, a hibrid megközelítések pedig a LIDAR és látószensorok kombinálásával növelik a rendszer robusztusságát.

A jövőbeli kutatásoknak arra kell összpontosítaniuk, hogy a terep átjárhatósági elemzésének módszerei hogyan segíthetik a robotok mozgástervezését. A különböző megközelítések közötti szinergiák kihasználása és a legjobb gyakorlatok összegyűjtése elengedhetetlen a robotok hatékonyabb működéséhez a komplex és veszélyes környezetben. Az összegyűjtött irodalom és az azonosított kihívások elemzése fontos alapot nyújt a további kutatásokhoz, amelyek célja a terep átkelhetőségének elemzése és a mozgástervezés hatékonyságának növelése. (Panagiotis, 2013)

2.5 Akadályok észlelése robotjárművekkel

Az akadályok észlelése és elkerülése központi kérdésnek tekinthető az autonóm robotok tervezésében. Ez a technológia érzékeket biztosít a robotok számára, amelyeket felhasználhatnak ismeretlen környezetben való navigáláshoz anélkül, hogy megsérülnének. Létezik olyan akadálykerülő robot, amely képes észlelni az útjában lévő akadályokat, és ütközés nélkül manőverezni körülöttük. Ez egy Arduino mikrokontrolleren működő robot jármű, amely három ultrahangos távolságérzékelőt használ az akadályok észlelésére. A három ultrahangos távolságérzékelő integrációja nagyobb pontosságot biztosít a környező akadályok észlelésében. Mint teljesen autonóm robot, sikeresen manőverez ismeretlen környezetben is ütközés nélkül.

Az ilyen technológiával vezérelt robotok sokféle felhasználási területre alkalmazhatók, például tájfelmérésre, önvezető járművekre, autonóm takarítókra, automatikus fűnyírókra és felügyelő robotokra ipari környezetben.

A kutatók folyamatosan azon dolgoznak, hogy pontosabb módszereket találjanak az autonóm robotok vagy járművek mozgástechnológiájának fejlesztésére. Az akadályok észlelésénél a szenzor kiválasztása létfontosságú a robot alkalmazásához, különben előfordulhat, hogy a robot nem tud működni, még akkor sem, ha minden hardver és szoftver megfelelően működik. Például egy optikai érzékelővel rendelkező robot egy üvegfalú szobában több ütközést okozhat, mint elkerülést. Ezért a szenzorokat az akadályok jellemzőinek megfelelően kell kiválasztani. Ryther és Madsen (2009) 240°-os lézerszkennert használtak szenzorként egy kis mobil robot (SMR) platform alapú robot építéséhez. A robot ütközésmentes útvonalat generál egy ráctérkép alapján hullámfront algoritmus használatával. (Faiza et al. 2017)

2.6 A jármű és az akadály közvetlen kapcsolata

2.6.1 Terepfelület elemzése

A terepelemzések formája és eredményei jelentősen függnek a használt bemeneti adatbázisok minőségétől. Azok a digitális domborzatmodellek, amelyek információkat nyújtanak a lejtési meredekségről, megbízható globális adatforrásként szolgálnak. Ezzel

szemben a felszín- és talajinformációk jellemzői általában kevesebb pontossággal bírnak, és elérhetőségük is korlátozott. Ennek ellenére ezek az adatok kulcsfontosságúak a terepi mozgás részletes elemzéséhez.

A terepjárhatósági elemzések matematikai és fizikai modelleken alapulnak, amelyek a terepfelszín hatását értékelik ki a terepjáró járművek mozgásának hatására. Az irodalom bőségesen foglalkozik a katonai, mentési, erdészeti, mezőgazdasági és úrkutatási területeken, valamint a speciális pilóta nélküli földi járművek mozgási lehetőségeinek értékelésével.

A kutatás során kiválasztott tesztelési terület a Bačetín erdő Kelet-Csehországban található, mivel teljes adatbázis elérhetőséggel rendelkezik, és reprezentatív a Cseh Köztársaság területén található különböző tereptípusok szempontjából. Az erdő jellemzői, mint a homokos-agyagos talaj és az alluviális talajok, alkalmasak a terepjárhatósági elemzésre.

A második lépésben három járművet választottak ki: a Land Rover Defender 110 (kerekes), a Tatra 815 (kerekes teherautó), és a Bojové vozidlo pěchoty 2 (lánctalpas). E járművek eltérő jellemzőkkel rendelkeznek, és a tesztelés során technikai paramétereiket használták.

Az elemzés során fontos a járművek mozgását befolyásoló erők pontos meghatározása. A vontatási erő, amely a jármű sebességét és mozgásképességét határozza meg, a felszíni körülmények hatásait is figyelembe veszi, mint például a gördülési ellenállás és a lejtő ellenállása. Az elemzés célja a tapadási és gördülési együtthatók pontos meghatározása, amelyek segítenek a CCM elemzések eredményeinek validálásában. (Josef et al., 2021)

2.6.2 Akadály elkerülésének betanítása a robot számára

Megközelítésünk, hogy az egész feladatot egy end-to-end tanulási feladatként kezelik. Ez azt jelenti, hogy a teljes folyamatot a bemenettől a kimenetig egyetlen tanulási rendszer végzi. A robot két előre felé néző kamerájából származó nyers színes képeket használja és ezeket egy betanított függvény segítségével fordítja le a lehetséges kormányzási szögekre.

A tanulási adatokat úgy gyűjtötték, hogy egy emberi sofőr által vezetett robot mozgását rögzítették videón. Az emberi sofőr távolról irányítja a robotot, először egy egyenes vonalon haladva, majd amikor akadályba ütközik, elkerüli azt a megfelelő irányba történő kormányzással. A rendszer felügyelt tanulás módszerével lett betanítva, azaz a két kamera

által készített képpárokhoz tartozó kormányzási szögeket tanulta meg. A rendszer minden képpár esetén előre jelzi az emberi sofőr által alkalmazott kormányzási szöget.

A tanulási architektúránk egy hat rétegből álló konvolúciós neurális hálózat. Ez a hálózat bal és jobb oldali 149×58 pixeles színes képeket kap bemenetként, és két kimenetet generál. Az első kimenet magas értéke balra kormányzást jelöl, míg a második kimenet magas értéke jobbra kormányzást jelez. A konvolúciós rétegek lineáris szűrőkből állnak, amelyek képesek helyi jellemzőket felismerni a képeken, és a szűrők paraméterei automatikusan betanulnak a rendszer működése során. A tanulási algoritmus célja, hogy minimalizálja a kívánt és a valós kimenetek közötti eltérést.

A konvolúciós hálózatok előnyei közé tartozik, hogy képesek nagyobb felbontású képeket kezelni, miközben a rendszer mérete megmarad egyszerű keretek között. Ezek a hálózatok különösen hasznosak a helyi jellemződetektorok alkalmazásában, amelyek segíthetnek az akadályok távolságának becslésében. Ezenkívül a szűrők eltolás-invariáns tulajdonsága lehetővé teszi, hogy a rendszer releváns helyi jellemzőket tanuljon viszonylag kevés képzési adat alapján is.

Az end-to-end tanulási megközelítés legfőbb előnye az, hogy a teljes folyamatot, a nyers képpixelettől a kormányzási szögekig, adatvezérelten lehet betanítani. Ez kiküszöböli a manuális jellemzők kiválasztásának, geometriai számításoknak és kamerakalibrációnak a szükségességét, amelyek általában bonyolítják a robotvezérlési feladatokat. Az automatikus globális optimalizálás lehetőséget ad arra, hogy a rendszer nagy mennyiségű adatból tanuljon, ami robusztusabb megoldásokat eredményez, amelyek jobban alkalmazkodnak a valós világ változékonyságához. (Yann et al., 2005)

2.7 A jármű és az akadály közvetett kapcsolata

A jármű és az akadály geometriájának összevetésének célja annak meghatározása, hogy a jármű képes-e áthaladni az adott akadályon. Ebben az elemzésben a haladási sebességet nem vesszük figyelembe. Határhelyzetekben a jármű érintheti az akadályt, de még ekkor is át tudja küzdeni magát rajta. Az áthaladás során a jármű három ponton ütközhet fel az akadályra, amelyek sorrendben a következők: első konzol, járműhas, hátsó konzol.

Az első és a hátsó konzol vizsgálata szempontjából hasonló és egyszerű. Ezzel szemben a középső rész, azaz a has felütközési pont vizsgálata eltérő, mivel hosszabb és összetettebb elemzést igényel. (Laib, 2002)

2.7.1 Hosszirányú akadályok

Áthaladás során a jármű az akadály különböző pontjai felett halad el. Az esetek többségében az elakadás az akadály legmagasabb pontján következik be, ezért ennek a pontnak és a jármű hasának egymáshoz viszonyított helyzetét szükséges megvizsgálni. A vizsgálatot egy álló, az akadályhoz rögzített koordináta-rendszerben szokták végezni. A járműhasának kritikus pontjainak teljes pályagörbéjét meg kell határozni, hogy pontosan fel lehessen mérni a lehetséges elakadási helyeit. (Laib, 2002)

2.7.2 Keresztirányú akadályok

Az első híd fennakadása és a jármű stabilitása számos tényezőtől függ, többek között, a rugók merevségétől és bázisától, a tömegközéppont helyzetétől, a kerékfelfüggesztés típusától, valamint esetenként a nyomtávától is. Ezek a tényezők együttesen határozzák meg, hogy a jármű mennyire képes stabilan áthaladni az akadályokon, és mekkora az esélye annak, hogy a híd fennakad.

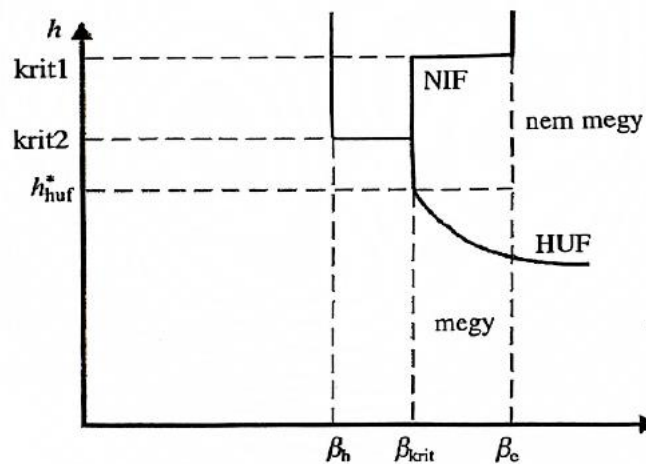
Abban az esetben, ha az első vagy hátsó differenciálmű, amely a felfüggesztés legalsó pontja, fennakad az akadályon, feltételezhető, hogy a mellső vagy hátsó felfüggesztés momentán centruma, vagyis a forgáspont, az ütközés helyén van. A rugózott tömeg, például kanyarodáskor, a jármű első és hátsó momentán centrumán átmenő tengely körül billen. Egyenes haladás közben, az ütközés pillanatában olyan tömegérő-komponensek is hatnak, amelyek keresztirányban veszélyeztethetik a jármű stabilitását és dőlés okozhatnak. (Laib, 2002)

2.7.3 VSE-görbe

Az áthatolási avagy VSE (Vehicle Slope Elevation) görbét (2. ábra) Bekker és csoportja dolgozta ki. Ezt a görbét, ha egy adott járműre specializálva elkészítik, megmutatja a általános

makroakadály-leküzdő képességét. A diagram létrehozásához szükséges a jármű geometriai paraméterei azért, hogy megfelelően szemléltesse, hogy a lejtőszög függvényében mekkora magasságú akadályok küzdhetők még le a jármű számára. A görbe két fő részből áll:

- Has felütközésének határgörbéje (HUF, Hang Up Failure),
- Első és hátsó konzol akadálykapcsolatának jellemzésére szolgáló NIF (Nose In Failure).



2. ábra Áthatolási VSE-görbe
Forrás: Terepen mozgó járművek c. könyv

A görbe elkészítése lépésekben az adott járműhöz a következők:

1. A adott lejtőszögekhez tartozó legnagyobb akadálymagasságok meghatározása
2. Az akadálymagasságok összehasonlítása a jármű hasmagasságával
3. A kritikus és nagyobb lejtőszögekhez kapcsolódó, még áthatolható lépcsőmagasságok meghatározása
4. Az akadálymagasságok ábrázolása a lejtőszögek függvényében
5. Az első valamint a hátsó konzolhoz tartozó kritikus magasságok kiszámítása
6. Az első valamint a hátsó konzolhoz tartozó kritikus magasságok ábrázolása
7. A kritikus lejtőszöghöz tartozó lépcsőmagasság pontjából függőleges vonal húzása
8. A kritikus magasságokból vízszintes vonal húzása.

A koordináta-tengelyek és a hozzájuk közelebb eső vonalak által határolt területen belül található akadályokon a jármű képes áthaladni, míg az e területen kívül eső akadályokon

nem, elakad. Ez a görbe lehetőséget biztosít a terepjáró járművek makroakadály-leküzdő képességének általános jellemzésére és összehasonlítására. Minél magasabban helyezkedik el a járműre vonatkozó VSE függvény, annál jobb a jármű makroakadály-leküzdő képessége, ami azt jelzi, hogy nagyobb akadályokat képes leküzdeni. (Laib, 2002)

2.8 Járművek mozgása különböző terepviszonyok között

A jármű sebességét és mozgékonyágát jelentősen befolyásolják a terep és a környezet jellemzői. A terep sajátosságai közé tartozik a makro- és mikroakadályok, a lejtőszög, növényzet, valamint a talaj típusa és annak mechanikai tulajdonságai. Ha egy jármű terepen halad, a mozgását az alábbi járműparaméterek befolyásolják:

- tengelytáv,
- kerékátmérő,
- hasmagasság,
- nyomtáv,
- abroncsszélesség.

2.8.1 Lejtőszög hatása a jármű mozgására

A lejtőszög két módon befolyásolhatja a haladó jármű mozgását: emelkedőn haladva le kell küzdeni az útfelülettel párhuzamos és arra merőleges erőket, amelyek csökkentik a mozgási energiát. Lejtőn lefelé haladva a jármű gyorsul, ezért mozgási energiája növekszik. Mindkét esetben a jármű stabilitását a terepre merőleges erők biztosítják. (Máthé és Kiss, 2017)

2.8.2 Makroakadályok hatása a jármű mozgására

Azokat a terepakadályokat és felszíni egyenetlenségeket nevezzük makroakadályoknak, amelyek 0,25 méternél nagyobbak. Ezek lehetnek a kövek, sziklák, árkok, kidőlt fatörzsek, vízmosások, valamint patak- és folyómedrek, nagyobb növények, fák, bozótok és cserjék, melyek mind akadályozzák a jármű mozgását. A jármű geometriája fontos tényező a jármű által leküzdhető makroakadályok méretének meghatározásában. Az áthatolási VSE

függvény (1. ábra) használatával a jármű akadályleküzdő képessége „megy, nem megy” minősítéssel fejezhető ki. A jármű geometriai méretei mellett az akadály lépésszögének és lépésmagasságának ismerete is szükséges. (Máthé és Kiss , 2017)

2.8.3 Mikroakadályok hatása a jármű mozgására

A mikrobarrierék (terepprofilok) a talajfelszín érdeességére utalnak, amely mérhető terepjellemző. A terepprofil mérhető közvetlenül a deformálatlan talajfelszínről vagy a jármű áthaladása után megmaradó talajfelszínről. A terepprofil befolyásolja a jármű függőleges kilengését. Ha ez a kilengés kedvezőtlenül befolyásolja a jármű stabilitását, fennáll a felborulás veszélye. Ezek a rezgések azonban nemcsak a járműre, hanem a járművezetőre és az utasokra is hatással vannak, befolyásolva kényelmüket és biztonságukat. (Máthé és Kiss, 2017)

2.8.4 Talaj hatása a jármű mozgására

A jármű mobilitását igen nagymértékben a talaj típusa és annak fizikai összetétele határozza meg. Homokos talajok esetében a homokszemcsék és frakciók közötti tapadóerő mértéke elhanyagolható. Ennek következtében a száraz homokos talajokban a járművek elsüllyednek, járható akkor lesz, ha nedves lesz. Ez a jelenség vályogoknál és agyagoknál eltérő módon tapasztalható. Az iszap- és agyagszemcséknek nagyobb a fajlagos felületük és nagyobb a szemcsék közötti tapadásuk. (Máthé és Kiss, 2017)

Az off-road jármű mozgása deformálható felületen, például talajon és fűvön, módosítja a puha talaj profilját és mechanikai tulajdonságait – különösen a kohéziót és a belső súrlódást. Feltételezhető, hogy dinamikus fizikai változás történik a gumiabroncs és a talaj érintkezési felületén, ahol a talaj kohéziós és belső súrlódási tulajdonságai szintén nem állandóak.

Tesztek alapján megállapítható, hogy a talaj kohéziója a talaj mélységével növekszik. A növekedés mértéke a talajtömörödéstől és a talaj mélységétől függ. A talaj belső súrlódása alig csökken, és változása kisebb mértékű, mint a kohézióé. A talaj kohéziója és nyírási értékei a talaj nedvességtartalmának függvényében csökkennek. A magasabb kohéziós és nyírási értékek a tömörített talajra jellemzőek. Tesztek eredményei szerint a talaj kohéziója és nyírási értékei nem állandóak különböző talajtípusok esetén. Mindkettő a talaj

nedvességtartalmának és mélységének függvényében változik. A talajok sokfélék, ezért eredményeink az adott talajfeltételekre és vizsgálati módszerekre vonatkoznak. (Szabó, 2010)

2.9 Autonóm jármű térkép alapú navigálása

A térkép alapú navigáció három fő folyamatot foglal magában: térkép-készítés, lokalizáció és útvonaltervezés. A térkép-készítés a robot által gyűjtött adatok memorizálását jelenti, míg a lokalizáció a robot aktuális helyzetének meghatározására szolgál a térképen. Az útvonaltervezés a cél eléréséhez szükséges cselekvési terv kiválasztását jelenti. E három folyamat kapcsolata rendkívül bonyolult, mivel a térkép szükséges a pozíció becsléséhez, de a pozíció is szükséges a térkép felépítéséhez.

A cikk a térkép alapú navigáció lokalizációs stratégiáira összpontosít, és a rendelkezésre álló allotheticus és idiotheticus információk felhasználásának módjait tárgyalja. A tanulmány célja, hogy a robotok lokalizációs módszereit az állatok és emberek hasonló módszereivel hasonlítsa össze. A robotok a környezetük topológiai vagy metrikus térképének megalkotásához allotheticus és idiotheticus érzékelőket használnak. Bár az előbbiek érzékelési zavarokkal, míg az utóbbiak kumulatív hibákkal küzdenek, különböző módszerekkel lehet együtt használni őket, hogy pontos és megbízható belső reprezentációkat hozzanak létre a környezet térbeli elrendezéséről. (David és Jean-Arcady, 2003)

2.10 Mobilitási Tesztpálya

2.10.1 Délnyugati Kutatóintézetnél

A Délnyugati Kutatóintézet kis robotjármű tesztpályáját az Egyesült Államok kormányának támogatására és független harmadik fél által végzett értékelések céljából alakították ki. A tesztelés négy fő kategóriába sorolható: mérnöki értékelés, tartóssági tesztek, akadályok leküzdése, valamint operatív forgatókönyvek. Továbbá, külön kérésre környezeti tesztek (rezgés, esés, merítés, elektromágneses összeférhetőség), érzékelők, navigációs rendszerek és speciális hasznos terhek vizsgálatát is el lehet végezni.

Bár a teszt során a mobilitásra helyezik a hangsúlyt, egyéb területeken is gyűjtenek adatokat, mint például az operátori vezérlőegység, a parancs- és kommunikációs rendszer, az akadályok észlelésére és elkerülésére szolgáló rendszer, valamint a navigációs és egyéb érzékelők teljesítménye. A mérnöki tesztek során a jármű jellemzőit, például súlyát, fizikai méreteit, hasmagasságát és statikus teljesítményigényét mérik és dokumentálják. Továbbá a robot képességeit is tesztelik, mint például a különböző dőlésszögű rámpák és padkák mászása, valamint a maximális irányítható sebességgel történő teleoperáció.

A jármű aszfalton történő működési távolságát ideális körülmények között egy 6100 láb hosszú ovális tesztpályán határozzák meg. A teszt teljesen feltöltött akkumulátorral kezdődik, és a járművet addig működtetik, amíg az akkumulátor lemerül. Ezen folyamat során az összes távolságot mérik, az átlagsebességet kiszámítják, valamint az energiahatékonyságot is rögzítik. A robot off-road teljesítménye egy 6000 láb hosszú, változatos terepen végzett teszt során kerül meghatározásra.

A harmadik tesztkategória különböző akadályok leküzdését foglalja magában. A vasúti pálya három eltérő nehézségű útvonalat kínál, ahol a robotnak különböző kihívásokkal kell szembenéznie. A legkönnyebb egy fahíd, míg a legnehezebb a síneken történő mászás. A robotot továbbá PVC csöveken is át kell irányítani, amely különböző átmérőkkel és szögelésekkel van elhelyezve.

A különböző akadályok tesztelése során a robot teljesítményének mérése történik. A mélyárhok átkelése, a különböző méretű kövek, a homokágyak és dűnék, valamint a sár- és vízszakaszok jelentős kihívások elé állítják a járművet. Az operatív forgatókönyvek célja, hogy a robotot valódi terepi körülmények között teszteljék, figyelembe véve a különböző akadályokat és terepviszonyokat.

A tesztek során az operátor távolról, közvetlen rálátás nélkül irányítja a robotot, amely lehetővé teszi a valós idejű navigációs és teleoperációs információk felhasználását. A tesztek végén a robot teljesítményét az eltelt idő, az energiafogyasztás, a feladatok végrehajtásának szintje és a navigációs pontosság alapján értékelik.

A tesztpálya célja, hogy részletes és átfogó képet nyújtson a robot járművek teljesítményéről, mobilitásáról és megbízhatóságáról különböző körülmények között, amely segíti a fejlesztők és a kormányzati ügynökségek döntéshozatalát. Az itt végzett tesztek

lehetővé teszik a járművek fejlesztését és finomítását, ezáltal növelve azok hatékonyságát és alkalmazhatóságát a különböző operatív környezetben. (Bill et al. 2003)

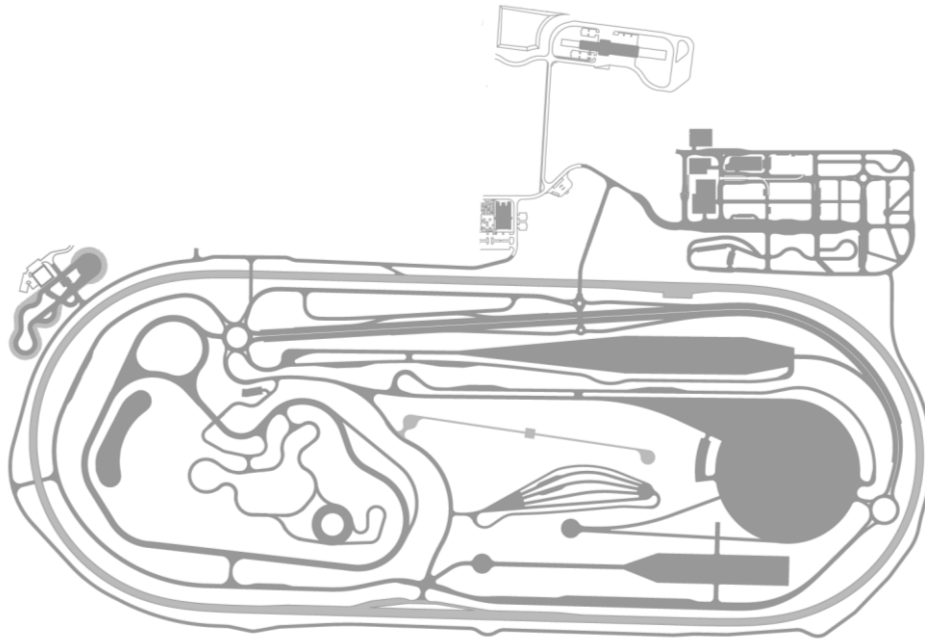
2.10.2 ZalaZONE tesztpálya

A zalaegerszegi tesztpálya kiemelt jelentőségű projekt, amely Magyarország járműipari kutatás-fejlesztési kapacitásait erősíti, különös tekintettel az önvezető járművek tesztelésére. A 250 hektáron elterülő létesítmény célja, hogy egy teljes körű vizsgálati környezetet alakítson ki az autonóm járművek számára, lehetőséget biztosítva különböző kutatólaboratóriumok és szimulációs környezetek létrehozására is. A tesztpálya nem csak hagyományos járműdinamikai tesztek lebonyolítására alkalmas, hanem az autonóm járművekhez kapcsolódó kutatás-fejlesztési tevékenységekre, amely során a hazai tudományos és műszaki-felsőoktatási intézményekkel együttműködve történik az innováció.

A projekt egyik legfőbb célja, hogy meghatározó szerepet töltsön be az autonóm járművek tesztelését szolgáló nemzetközi szabványok és tesztesetek kialakításában. Ezen kívül a tesztpálya lehetőséget nyújt az IT szektor szereplőinek arra, hogy kipróbálják saját fejlesztéseiket, különösen az önvezető járművekkel és a "Smart City" megoldásokkal kapcsolatos rendszereket. A zalaegerszegi tesztpálya Európában, egyedülálló abban a tekintetben, hogy nemcsak városi és közúti tesztkörnyezetet kínál, hanem olyan infrastruktúrát is, amelyen, határokon átnyúló tesztelésre is lehetőség nyílik Ausztriával és Szlovéniával együttműködve.

Az autonóm járművek tesztelése új típusú kihívásokat jelent, mivel számos olyan funkcióval rendelkeznek, amelyek nem szerepeltek a hagyományos járműtesztek során. Az autonóm járművek fejlesztéséhez és teszteléséhez elengedhetetlen a megfelelő jogi szabályozás kialakítása is, amely fokozatosan fejlődik, és összhangban van a technológia haladásával.

A zalaegerszegi tesztkörnyezet tehát nemcsak a hagyományos járművek tesztelésére fókuszál, hanem kiemelt szerepet játszik az autonóm járművek jövőbeli fejlesztésében és a



3. ábra ZalaZONE tesztpálya, forrás: HTTP1

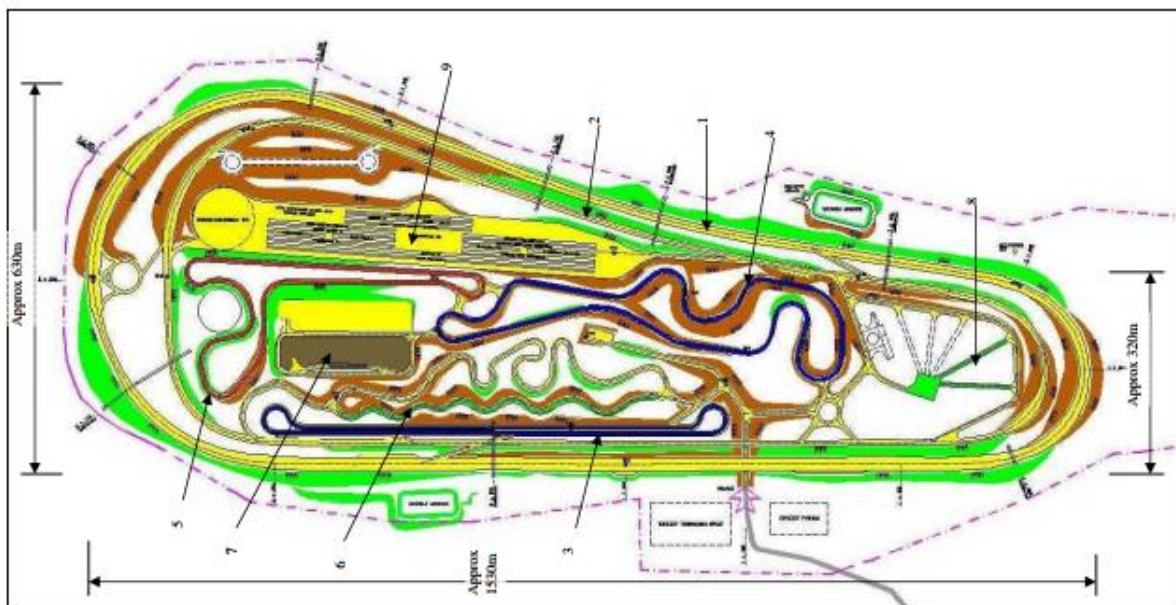
2.10.3 Rába ring

A Rábaring egy magyarországi versenypálya, amely a Győr melletti Rába Járműipari Holding területén található. A pálya eredetileg a vállalat járműveinek tesztelésére és fejlesztésére készült, de idővel különböző motorsport eseményeknek is otthont adott. A Rábaring különleges jellemzője, hogy vegyes használatú: a tesztelési célokat szolgáló infrastruktúra lehetővé teszi a különböző típusú járművek – például katonai és terepjáró járművek – viselkedésének vizsgálatát, míg a versenyszakaszok motorsport rendezvények lebonyolítására is alkalmasak.

A pálya kialakítása lehetőséget nyújt a járművek széles körű tesztelésére, beleértve a különböző terepviszonyokat, emelkedőket, lejtőket és kanyarokat is. Ezek a jellemzők kiválóan alkalmasak a Rába által gyártott futóművek és egyéb járműalkatrészek teljesítményének és megbízhatóságának vizsgálatára.

Pályaleírás

1	Nagy sebességű út	3670m
2	Országút	3290m
3	Macskaköves út	1550m
4	Makadám út	1730m
5	Kovicsos út	1400m
6	Kormányzási pályaszakasz	1490m
7	Kanyarpálya	700m
8	Emelkedő	200m
9	Különleges vizsgálati útszakasz	500m



4. ábra Rábaring, forrás: HTTP2

2.11 Autonóm robot széleskörű használatának lehetőségei

Vannak robotok, melyeket magas kockázatú műveletek elvégzésére fejlesztettek ki, mint például az aknamentés. Erre a célra kialakított robot működése során fémdetektor segítségével észleli a talajban található gyanús objektumokat, és amikor talál, megáll és aktiválja a kartéziánus vizsgálati mechanizmust. Ez a mechanizmus lehetővé teszi a talaj 2D-s vizsgálatát, amely során az aknaábrázoló eszközök megbízhatóan azonosíthatják, hogy az adott objektum akna-e vagy sem. A jövőbeni cél egy kognitív megközelítés implementálása a mobil robot navigációjára, amely lehetővé teszi a robot számára, hogy félautomatikusan átvizsgálja a gyanús aknamezőt, és részletes térképet készítsen a gyanús akna helyeiről.

A robot érzékelőket használ a környezet észlelésére, mint például ultrahangos érzékelők, lézer távolságmérők, sztereó kamerák, inerciális mérőrendszerek és GPS vevők, a fémdetektor mellett. Ezen érzékelők feladata, hogy pozicionális és észlelési információkat

szolgáltassanak a környezetről. Az érzékelők által gyűjtött adatok fúziója elengedhetetlen a koherens „kép” kialakításához a környezetről, így szükséges egy intelligens érzékelő-fúziós algoritmus kidolgozása.

Az érzékelési adatok motorparancsokká való átalakítását a robot navigációs vezérlője végzi. Ennek a vezérlőnek a dizájnya szorosan összefonódik a vezérlési architektúra tervezésével, amely leírja a különböző építőelemek kombinálásának általános stratégiáját. A navigáció során alapvetően egy térképre van szükség, amely a környezet modelljét reprezentálja. Ezek a térképek lehetnek egyszerű rácstérképek, topológiai térképek vagy integrált módszerek. (Daniela et al., 2007)

3. Gumikerekes csúszókormányzású robotjármű terepi mozgékonyságának vizsgálata

3.1 Clearpath Robotics

Az általam vizsgált robotot a Clearpath Robotics gyártja, mely egy 2009 óta létező, kanadai székhelyű cég. Eleinte egy pár fős vállalkozásnak indult, majd az évek során multinacionális céggé kinőtte magát. Fő profiljuk a beltéri és kültéri autonóm robotok és azok tartozékai. Három féle kültéri robotuk van: Warthog, Husky és Jackal. (HTTP3)

A Warthog (5. ábra) egy nagyobb méretű jármű, mely rövid ideig vízben is tud mozogni. Masszív felépítésének köszönhetően a nehezebb körülményekkel is képes leküzdeni. Nagy méreteinek (1,52 m x 1,38 m x 0,83 m) és tömegének (280 kg) kialakítása okán gyakran alkalmazzák bányákban és mezőgazdasági hasznosításra, ugyanis a teherbírása is nagy (max. 272 kg teher). Maximális sebessége eléri a 18 km/h-t, amely hatalmas segítség a vonóerő kifejtésénél. (HTTP4)

A másik típus a Jackal (6. ábra). Ez egy kicsi, de gyors, belépő szintű terepi robot. Az előnye, hogy teljesen felszerelt GPS-szel, IMU-val, érzékelőkkel és egyéb tartozékokkal. Alumínium vázból készült, nagy nyomatékú, 4x4 hajtáslánccal gyártják, ezáltal kiváló a terepen való működése. IP62- es időjárás álló burkolata segít a szélsőséges környezeti viszonyok (–20 °C – +45 °C) leküzdésében. (HTTP5)



5. ábra: Warthog UGV
Forrás: Clearpath Robotics honlapja



6. ábra: Jackal UGV
Forrás: Clearpath Robotics honlapja

3.2 Clearpath Husky A200

A Clearpath Robotics által gyártott Husky A200 egy robusztus és sokoldalú vezetőkülső robot jármű (UGV), amelyet kifejezetten kutatási és fejlesztési célokra terveztek. Ez a

robotplatform különösen népszerű az autonóm navigáció, a környezeti felderítés, a mezőgazdasági automatizálás, és a robotikai oktatás terén. Az alábbiakban részletesen bemutatom a Husky A200 főbb jellemzőit, technikai specifikációit és alkalmazási területeit.

A Husky A200 (7. ábra) egyik legkiemelkedőbb tulajdonsága a robusztus kialakítása. A robot masszív acélvázsal rendelkezik, amely biztosítja a hosszú élettartamot és a megbízható működést még nehéz körülmények között is. A Husky A200 hajtásrendszere négy egyenként meghajtott kerékkel rendelkezik, amelyek együttesen biztosítják a kiváló mobilitást és manőverezhetőséget. A kerekek egyedileg vezérelhetők, lehetővé téve a pontos mozgást és a helyben történő fordulást, ami különösen hasznos szűk helyeken és bonyolult terepen. Az elektromos hajtásrendszer erős motorokkal van felszerelve, amelyek nagy nyomatékot biztosítanak, lehetővé téve a robot számára, hogy könnyedén megbirkózzon a meredek lejtőkkel és a laza talajjal. A nagy átmérőjű, levegővel töltött gumibroncsok kiváló tapadást és stabilitást biztosítanak különböző terepviszonyok között, beleértve a durva és egyenetlen felületeket is. Az IP65-ös védettségi besorolása révén a Husky A200 por- és vízálló, így kültéri használatra is alkalmas, akár esős, sáros környezetben is.

Az A200 típus rendkívül rugalmasan és könnyen bővíthető platform. Számos érzékelőt és kiegészítőt támogat, amelyek révén a felhasználók könnyedén testre szabhatják a robotot a saját igényeik szerint. Például felszerelhető LIDAR-ral, kamerákkal, GPS-szel, IMU-val (inerciális mérőegység), és számos más érzékelővel, amelyek segítségével pontos adatgyűjtést és navigációt tesz lehetővé. Az érzékelők integrálása és a robot vezérlése a nyílt forráskódú ROS (Robot Operating System) használatával történik, amely támogatja a fejlesztők és kutatók széles körét, és megkönnyíti a szoftverfejlesztést. A ROS közösség által biztosított számos eszköz és könyvtár segítségével a felhasználók könnyedén fejleszthetnek és tesztelhetnek új algoritmusokat és alkalmazásokat. (HTTP6)



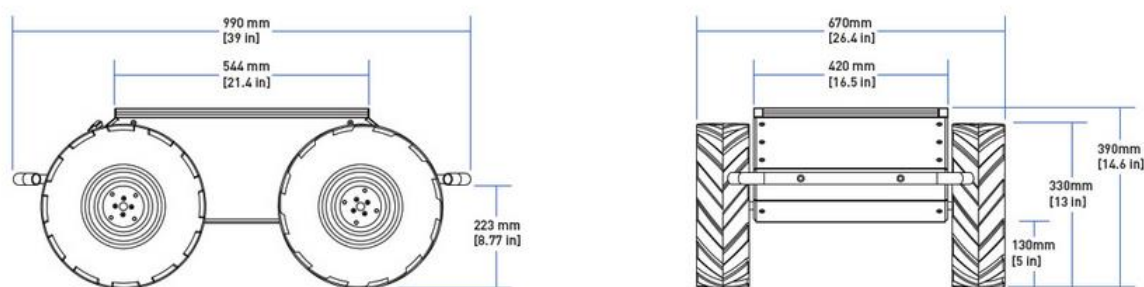
7. ábra: Husky A200, forrás: Clearpath Robotics honlapja

A Husky A200 energiaellátásáról egy nagy kapacitású, cserélhető akkumulátor gondoskodik, amely hosszú üzemidőt biztosít. Az akkumulátor könnyen hozzáférhető és gyorsan cserélhető, ami minimalizálja a leállási időt. A robot erős motorokkal van felszerelve, amelyek nagy húzóerőt és gyorsulást tesznek lehetővé, így képes akár 75 kg-os terhet is szállítani. Ez különösen hasznos lehet olyan alkalmazásokban, ahol nagy mennyiségű adatgyűjtő eszközt vagy más felszerelést kell szállítani.

A Husky A200 alkalmazási területei rendkívül széleskörűek. Az autonóm navigációs képességei révén ideális választás az autonóm járművek fejlesztéséhez, ahol a pontos és megbízható mozgás elengedhetetlen. A mezőgazdasági automatizálásban a robot segítségével növényfelügyeleti, növényápolási feladatokat végezhetnek, adatokat gyűjthetnek a növények állapotáról és a talajminőségről, valamint precíziós mezőgazdasági műveleteket hajthatnak végre. A katasztrófavédelmi feladatok során a Husky A200 felderítő és mentési műveletekben is részt vehet, ahol a veszélyes területeken történő autonóm navigációval és adatgyűjtéssel segítheti a mentőegységek munkáját.

Az ipari automatizálás terén a Husky A200 a gyárakban és raktárakban történő anyagmozgatásra és logisztikai feladatok elvégzésére is használható. Az autonóm mozgás és a precíziós navigáció révén a robot hatékonyan és biztonságosan képes mozgatni a rakományokat az üzemi környezetben.

Összességében a Clearpath Husky A200 egy sokoldalú és megbízható robot, amely kiválóan alkalmas különböző kutatási és fejlesztési célokra. Robusztus felépítése, bővíthetősége és fejlett érzékelői révén lehetőséget biztosít a felhasználók számára, hogy új és innovatív megoldásokat fejlesszenek ki a robotika terén. A Husky A200 egyaránt szolgálja a tudományos kutatást, az ipari alkalmazásokat és az oktatási célokat, hozzájárulva a robotikai technológia fejlődéséhez és elterjedéséhez.



8. ábra: Clearpath Husky A200 paramétere, forrás: robot kézikönyve

A robot egy indító gombbal rendelkezik, amellyel be- és kikapcsolható. A jármű irányításához a hozzá tartozó kulcs elfordítása szükséges, ami aktiválja az irányíthatóságot. Továbbá megtalálható egy piros gomb, mely az azonnali leállítáért felel, bármi probléma esetén megnyomás hatására azon nyomban megállítja a robotot.

A jármű irányítása egy PS4 (PlayStation 4) controllerrel (9. ábra) történik, amely egyszerű és intuitív vezérlést biztosít. A controller bekapcsolásához a PS gomb megnyomása szükséges. Ekkor az irányító eszköz tetején található fény felvillan, jelezve a bekapcsolást és a robothoz való automatikus csatlakozást. Az irányítás egyszerűségét tovább növeli, hogy a controller vezeték nélkül csatlakozik a robothoz, biztosítva a kezelő számára a maximális mozgásszabadságot.

A controller L1 gombjának lenyomásával a lassú járási mód aktiválható, amely kb. 0,4 m/s sebességet biztosít. Ez a mód különösen hasznos a precíz manőverezéshez és szűk helyeken való navigáláshoz. Az R1 gomb megnyomásával a gyors járási mód aktiválható, amely kb. 1 m/s sebességet biztosít. Ez a mód előnyös, ha gyorsabb haladásra van szükség nyílt terepen vagy akadályok leküzdésénél. Az L3-as analóg kar használatával irányítható a jármű

mozgása, lehetővé téve a finom és pontos irányítást. Az akciógombokra további funkciók programozhatók, így a felhasználó testre szabhatja a vezérlést a saját igényei szerint.



9. ábra: PS4 kontroller, forrás: HTTP7

A vezeték nélküli csatlakozás nagy mozgásszabadságot biztosít, így a kezelő könnyedén irányíthatja a robotot anélkül, hogy a kábelek korlátoznák a mozgását. Ez különösen hasznos terepen történő navigáláskor, ahol a kábelek akadályozhatnák a szabad mozgást. Az egyszerű és intuitív vezérlésnek köszönhetően a robot könnyen irányítható még kevés tapasztalattal rendelkező felhasználók számára is. Ez növeli a rendszer hozzáférhetőségét és sokoldalúságát, mivel széles körben alkalmazható különböző felhasználási területeken.

3.3 Akadálypálya tervezése

Az akadályok kiválasztása során elengedhetetlen, hogy figyelembe vegyünk az adott jármű specifikus paramétereit, mivel ezek közvetlen hatással vannak a jármű teljesítményére és mozgékonyására. A tengelytávolság és nyomtáv meghatározza a jármű stabilitását és fordulékonyságát, míg a hasmagasság és terepszögek meghatározzák, hogy milyen meredek akadályokat és dombokat képes áthidalni anélkül, hogy alulról sérülne vagy fennakadna. A kerekek mérete és bordázata kritikus szerepet játszik a jármű terepviszonyokhoz való alkalmazkodásában és tapadásában, így hatékony mozgást biztosítva különböző földrajzi környezetekben. A jármű tömege és terhelhetősége szintén fontos szempont, mivel ezek befolyásolják az akadályokkal való érintkezés során fellépő erőhatásokat és a jármű által kezelhető terheléseket. Ezeket a paramétereket figyelembe véve lehetőség nyílik olyan

akadálypályák kialakítására, amelyek reálisan tesztelik a jármű teljesítményét és határait, biztosítva ezzel a megbízható és biztonságos üzemeltetést széles körben.

Paraméterek	Méret
tengelytávolság	544 mm
nyomszélesség	670 mm
hasmagasság	130 mm
kerekek mérete	Ø 330 mm
kerekek bordázata	Eltolt V-alak
mellső terepszög	60°
hátsó terepszög	60°

1. táblázat Clearpath Husky A200 geometriai paraméterei

Általában a hasmagasságot szokták megadni a gyártók a terepjáróképesség egyik mérőszámaként, azonban ez csak a jármű makroakadály-leküzdőképességének egyik tényezője. Viszont, ha terheljük a járművet a gumi belapul és deformálódik, ez által megváltozik a kerék átmérő. Ez a belapulás közúti gumibroncsoknál 3-6% a gyári légnyomáshoz viszonyítva. Sokkal nagyobb lehet ez az érték a terepi gumibroncsoknál. A mérések megmutatták, hogy a Clearpath Husky A200 robotjármű esetében ettől a belapulástól, deformálódástól eltekinthetünk a minimális változás miatt.

Az akadályok kiválasztása a leggyakoribb akadályformák szerint történt, melyek: lépcső, gát, árok. A főszempont az volt, hogy olyan akadályokat válasszak, ami méretarányaiban megfelel a robot paramétereinek, hogy releváns értékeket kapjak a mérés során. Az akadályok szerkesztése és tervezése során össze kell vetni a jármű geometriáját az akadályéval, az okból, hogy meg tudjuk állapítani, hogy a jármű képes-e az adott akadály leküzdésére. Ez az elemzési folyamat a jármű sebességét nullának tekintve történt, hogy pontosan meg tudjuk határozni az akadályokkal való érintkezési pontokat és a leküzdési képességeket. Fontos volt, hogy az akadályokat úgy válasszuk ki és helyezzük el, hogy azok reprezentatívan mutassák meg a jármű teljesítményét különböző kihívásokkal szemben. Ezen módszerrel biztosítottuk, hogy a tesztek és mérések során megbízható adatokat kapjunk a jármű teljesítményéről és alkalmasságáról az adott környezeti feltételek között.

Akadályon való áthaladáskor három kritikus ütközési pontot kell figyelembe venni: az első konzol, járműhasa és a hátsó konzol. A vizsgálat során az első és hátsó konzol vizsgálata egyszerű és hasonló. A konzol magasságát kell összevetni az akadály magasságával és

megállapítható az adott forma leküzdhetősége. A hasmagasság fennakadását egy álló koordináta rendszerben szokták vizsgálni, úgy, hogy mivel a fennakadás általában az akadály legmagasabb pontján szokott bekövetkezni, ezért ezt a pontot és a hasmagasságot ábrázolják egy egymáshoz viszonyított helyzetben. (Laib, 2002.)

Tervezés során fontos szempont volt a megfelelő talajzat kiválasztása, mert jelentős szerepet játszik a mérési eredményekben és a tesztelés megbízhatóságában. A kiválasztásnál arra törekedtünk, hogy a valós helyzetnek megfelelő minőségű talaj típust tartalmazzon a pálya. A cél az volt, hogy a valós körülményekhez hasonló talajminőséget biztosítsunk a pályán, hogy a tesztelési eredmények minél inkább tükrözzék a jármű tényleges teljesítményét a különböző környezetekben. Hosszas mérlegelés után egy füves, földes terület mellett döntöttünk. Ez a választás lehetővé teszi, hogy a jármű különböző felületeken való mozgását és stabilitását értékeljük, beleértve a változó terepviszonyokat, amelyek gyakran előfordulhatnak a valós alkalmazások során. A terepi körülmények változása, mint például a fű növekedése és az eső utáni nedvesség, folyamatos helyreállítási munkákat igényelt. Ez biztosította, hogy a mérések mindig hasonló viszonyok között történjenek. Füves-földes talajzat jól reprezentálja azokat a kihívásokat, amelyekkel a jármű szembesülhet, mint például a csúszós felületek és az egyenetlen talaj. Emellett ez a talajtípus lehetőséget nyújt a jármű különböző komponenseinek, például a felfüggesztésnek és a hajtásláncnak az alapos tesztelésére, miközben a szenzorok és navigációs rendszerek is valós körülmények között próbálhatók ki. Így biztosítható, hogy a tesztelési folyamat átfogó és hiteles eredményeket nyújtson a jármű teljesítményéről.

3.4 Akadálypálya felépítése

Az akadálypálya kialakítása az egyetem területén történt, amely egy dombos vidéken helyezkedik el. A területet LIDAR (fénydetektáló és távolságmérő radar) technológia segítségével térképeztük fel. A LIDAR egy lézer alapú távérzékelő eszköz, amely lehetővé teszi a terület részletes szkennelését. E technológia segítségével precíz térképezést végeztünk, ami lehetővé tette számunkra, hogy kiválasszunk egy megfelelő helyszínt az akadálypálya létrehozásához.

A LIDAR technológia nagy pontosságú adatokat biztosít a terep domborzatáról, így pontosan azonosíthatjuk a dombokat, a fűtakarót és más természetes akadályokat. Ezek az információk kritikusak voltak a pálya kialakításához, mivel lehetővé tették számunkra, hogy olyan területet válasszunk, amely optimális kihívásokat jelent a tesztelendő jármű számára. A dombos terep és a különféle természetes akadályok segítenek különböző szituációk és környezeti feltételek szimulálásában, amelyek fontosak a jármű teljesítményének és mozgékonyságának teszteléséhez.

A LIDAR technológia használatával pontos, háromdimenziós térképet készíthettünk a területről, ami különösen hasznos volt a dombok magasságának és lejtésének meghatározásában. Ez a részletes információ lehetővé tette a pálya optimális megtervezését, biztosítva, hogy a különböző szakaszok különböző nehézségi szinteket kínáljanak. A pálya tervezésekor figyelembe vettük a jármű manőverezési képességeit és stabilitását, valamint a különböző sebességi fokozatokhoz való alkalmazkodási képességét.

A LIDAR technológia további előnye, hogy lehetővé teszi az akadályok pontos helyzetének meghatározását és a pálya rendszeres frissítését. Ezáltal a jövőbeli tesztek során is biztosítható a pálya relevanciája és kihívásossága, mivel a természetes környezet változásait könnyedén követni tudjuk. A dombok és más természetes akadályok pontos feltérképezésével olyan pályát tudtunk létrehozni, amely megfelelő kihívásokat jelent a jármű számára, miközben biztosítja a különböző manőverek és navigációs képességek tesztelésének lehetőségét.

A feltérképezések során körülbelül 70000 m² terület lett LIDAR használatával feltérképezve és ebből választottunk ki egy körülbelül 400 m²-t, mely 10. és 11. ábrán látható, ahol megépült a tesztpálya.



10. ábra: LIDAR felvétel

11. ábra: LIDAR felvétel, nagyított

3.4.1 Talajnedvesség tartalma

A tesztpályán TDR 350 talajnedvességmérő (12.ábra) segítségével rögzítettük a nedvességi adatokat. A működési elv szerint a TDR 350 egy rövid elektromágneses impulzust küld ki a talajba helyezett szondákon keresztül. A mérés során használt szonda hossza 7,5 cm nagyságú volt. A szondák által kibocsátott impulzus áthalad a talajon, és amikor különböző anyagokkal, például vízzel vagy száraz talajjal találkozik, a visszaverődési sebessége megváltozik. A víz dielektromos állandója lényegesen magasabb, mint a száraz talajé, ezért az impulzus sebessége és visszaverődési ideje alapján pontosan meg lehet határozni a talaj nedvességtartalmát. A mérési folyamat során a készülék kiszámítja az impulzusok visszatérési idejét, amely arányos a talaj nedvességtartalmával. Az eszköz így képes gyors és pontos méréseket végezni különböző talajtípusokon.

A talaj típusa magas agyagtartalmú talajnak lett titulálva. A mérés tavasszal a korai órákban, 7:30-8:30 történt, ekkor a talaj hőmérséklete 18,4-24,3 °C közötti értékek között mozogtak. Térfogatszázalékos nedvességtartalom 12,7-35,8 % között változott, átlagosan 21,4% nedvességtartalmat kaptam.



12. ábra TDR 350, forrás: HTTP8

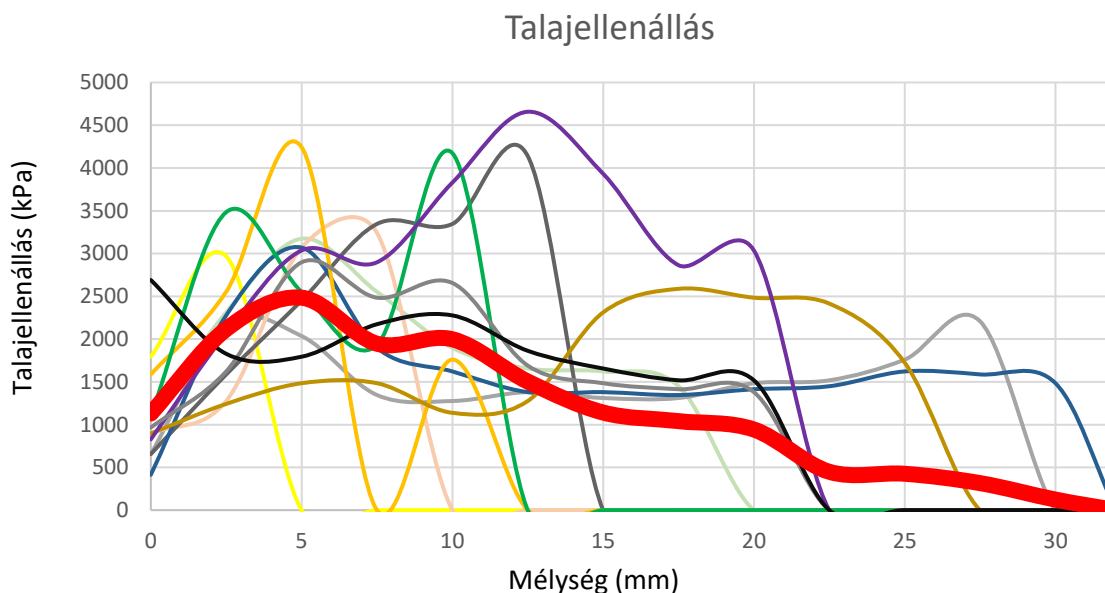
3.4.2 Talajellenállás mérése

A mérés egy FieldScout SC900 típusú talajellenállás mérővel történt. A mérés során egy mérőtűskét (kúpos érzékelőt) nyomtam le a talajba, miközben a készülék mérte az ellenállást, amit a talaj fejt ki a tűske behatolásával szemben. A talajtömörödés-mérő a behatolási ellenállást kilopascalban (kPa) jelzi, amely a talaj tömörödésének mértékét mutatja.

Az SC900 mérő szenzorokkal rendelkezik, amelyek folyamatosan rögzítik a behatolási erőt és a tűske mélységét. Az eszköz lehetőséget biztosít arra, hogy a felhasználó különböző mélységeken (általában 0-45 cm) mérje a talajtömörödést, így réteges profil alapján

határozható meg a talajszerkezet állapota. A készülék által mért adatok segítenek azonosítani a talaj problémás rétegeit, például a kemény rétegeket, amelyek akadályozhatják az áthaladást.

A mérés 24 ponton történt, melyek egyenletesen felosztott 10,9 x 13,3 méteres területen helyezkedtek el. Az 1. diagramon a pirossal jelölt görbe az átlag.



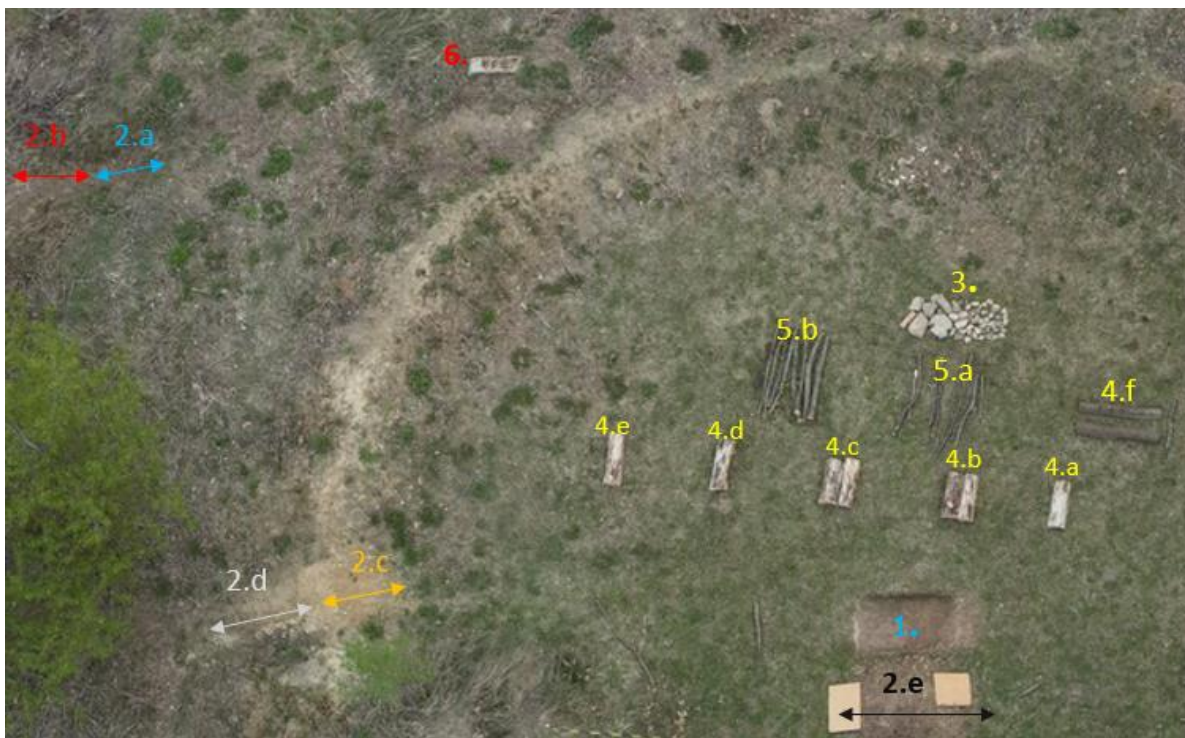
1. diagram Talaj ellenállás a mélység függvényében

3.4.3 Felhasznált akadályok

Akadályként a természetben megtalálható formákat használtunk, hogy a tesztek minél realisabban hajthassuk végre. Az ilyen formák alkalmazása lehetővé tette, hogy a környezethez hasonló feltételek között végezzük a vizsgálatokat, ezáltal megbízhatóbb és pontosabb eredményeket érhattük el. Mivel a természetes formák összetettek és változatosak, segítettek abban, hogy a tesztek során különböző körülményeket modellezzünk. Ez a megközelítés különösen hasznos volt a különféle akadályok és nehézségek valósághű szimulálásában, így a kísérletek során fellépő tényezőket jobban megérthettük és elemezhetjük. Az akadályok realisabb megjelenítése révén a tesztelés folyamata is hatékonyabbá vált, mivel a való élethez közeli szituációkban próbálhattuk ki a különböző megoldásokat. Így a tesztek eredményei is relevánsabbak és alkalmazhatóbbak lettek a gyakorlatban.

Akadályok:

- 1. árok: kb. 80 cm széles és 120 cm hosszú, egyik oldalt 30%-os, másik oldalt 50%-os emelkedő
- 2. domboldal: több domboldal is kialakításra került
 - 2. a: 56%-os emelkedő, 30 cm szintemelkedés
 - 2. b: 49%-os emelkedő, 200 cm szintemelkedés
 - 2. c: 35%-os emelkedő, 95 cm szintemelkedés
 - 2. d: 51%-os emelkedő, 95 cm szintemelkedés
 - 2. e: 7%-os emelkedő, 20 cm szintemelkedés
- 3. építkezési törmelékek: beton törmelék, tégladarabok
- 4. félbevágott farönkök:
 - 4. a: 13 cm magas, 25 cm hosszú
 - 4. b: 17 cm magas, 45 cm hosszú
 - 4. c: 20 cm magas, 47 cm hosszú
 - 4. d: 20 cm magas, 32 cm hosszú
 - 4. e: 20 cm magas, 22 cm hosszú
 - 4. f: 15 cm magas, 55 cm hosszú, dupla farönk
- 5. darabolt ágak:
 - 5. a: <5 cm átmérőjű ágak
 - 5. b: 5-10 cm átmérőjű ágak
- 6. betontömb: 37 cm magas, 80 cm széles, 35 cm hosszú

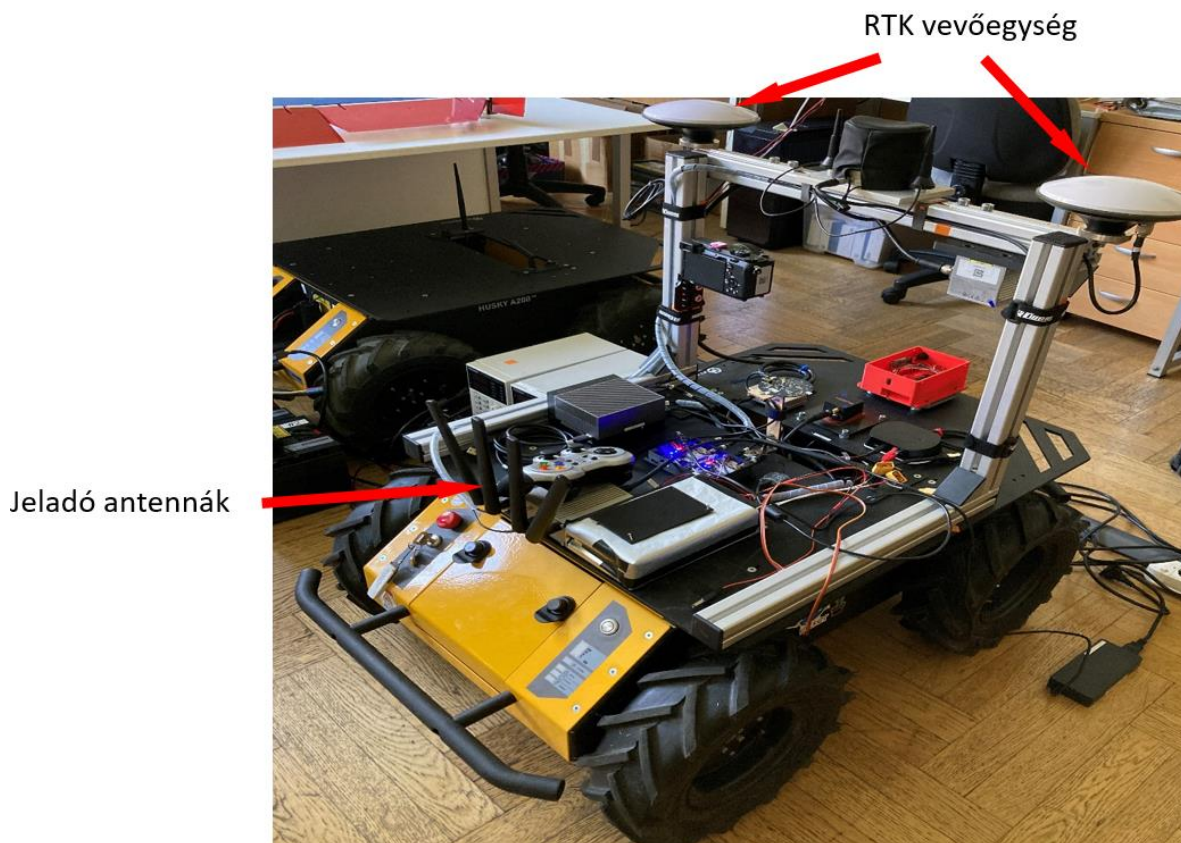


13. ábra: Akadálypálya

3.5 Akadálypályán való tesztelés

A tesztelés során a járművet felszereltük RTK-val (Real-Time Kinematic) a pontos helymeghatározás miatt. Az RTK (Real-Time Kinematic) egy speciális műholdas helymeghatározási technológia, amely a GPS (Global Positioning System), GLONASS, Galileo és más műholdas navigációs rendszerek jeleit használja a pontos pozíció meghatározására. Az RTK rendkívül nagy pontosságot tesz lehetővé, akár centiméteres szintű helymeghatározást, szemben a hagyományos GPS rendszerekkel, amelyek általában csak méteres pontosságot biztosítanak. Ennek eredményeként az RTK különösen fontos és hasznos olyan területeken, ahol a precíziós navigáció és pozícionálás elengedhetetlen, például a mezőgazdaságban, építőiparban, katasztrófavédelemben és az autonóm járművek navigációjában.

Az RTK rendszer alapvetően két fő egységből áll: a bázisállomásból és a roverból. A bázisállomás egy ismert, általunk meghatározott helyen található, és folyamatosan gyűjti a műholdjeleket. Ezeket a jeleket feldolgozza, és differenciális korrekciós adatokat számít. A rover, vagyis a mozgó vevőegység, szintén fogadja a műholdjeleket, és kapcsolódik a bázisállomáshoz, hogy a kapott korrekciós adatok segítségével pontosabb helyzetmeghatározást végezzen.



14. ábra Robot jármű felszereltsége

Az RTK rendszer fő előnyei közé tartozik a nagy pontosság, amely lehetővé teszi például a precíziós mezőgazdasági munkákat, ahol fontos a vetési, permetezési vagy aratási folyamatok pontos irányítása. Az építőiparban is alapvető szerepe van, ahol pontos területi adatokra van szükség az építési munkálatok során. Ezen kívül katasztrófavédelmi és mentési műveletek során is használják, hogy a mentőcsapatok pontos helyzetmeghatározást kapjanak a vészhelyzetekben.

Az RTK technológia nem csupán nagy pontosságot biztosít, hanem valós idejű korrekciókat is nyújt, így lehetővé téve a mozgó objektumok precíz navigációját és irányítását. Azonban a rendszer hatékonysága és pontossága erősen függ a bázisállomás és a rover közötti távolságtól, valamint a rendelkezésre álló adatkapcsolat minőségétől. Általában 10-20 kilométeren belül optimálisan működik, és a rendszer használata hosszú távon költséges lehet, mivel speciális hardverek és szoftverek szükségesek a megfelelő működéshez. Összességében az RTK technológia jelentős előrelépést jelent a pontos helymeghatározás terén, hozzájárulva a különböző iparágak hatékonyabb és gazdaságosabb működéséhez.



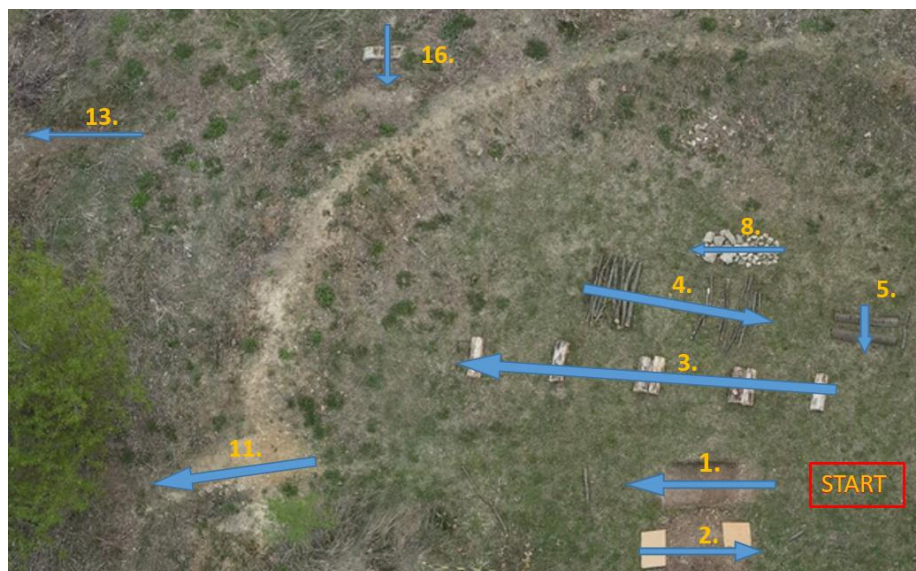
15. ábra: Terepi akadálypályán való mérés

Az akadálypálya útvonaltervének kialakítása során számos tényezőt kellett figyelembe vennünk annak érdekében, hogy a jármű tesztelése átfogó és reprezentatív legyen. Első lépésként meghatároztuk a pálya célját, vagyis azt, hogy milyen képességeket és teljesítményjellemzőket kívánunk mérni. Ez magában foglalta a jármű mozgékonyágát, akadályleküzdő képességét, sebességét, valamint a navigációs rendszerek pontosságát.

A pálya különböző szakaszokra lett bontva, mindegyik szakasz specifikus tesztelési célokat szolgált. Például első szakasz (16. és 17. ábra, 1-10. útvonal) kanyarokkal, éles fordulókkal és kisebb akadályokkal volt tele, hogy a jármű kanyarodási képességeit és stabilitását értékeljem. A második szakasz (16. és 17. ábra, 10-17. útvonal) meredek emelkedőket és lejtőket tartalmazott, hogy a jármű hegymászási képességeit és fékrendszerét vizsgáljuk.

A pályán különböző típusú akadályok, mint például kövek, faág és agyagosabb terület. Ezek az akadályok lehetővé tették a jármű terepjáró képességeinek és a felfüggesztés teljesítményének alapos vizsgálatát. Ezen felül különféle felületeket, mint magasabb méretű fű, kavicsos terület, rövidebb méretű füves területek, avaros felületet is beépítettük, hogy a jármű különböző talajviszonyokkal való interakcióit is mérni tudjuk.

Az akadálypálya útvonaltervének kialakítása során folyamatosan figyeltünk arra, hogy a tesztelési környezet változatos és kihívásokkal teli legyen, ezzel is biztosítva, hogy a jármű teljesítménye minden lehetséges szempontból alaposan értékelhető legyen.



16. ábra: Útvonal terv 1



17. ábra: Útvonal terv 2

A tesztelés során a jármű több alkalommal is felborult, ezért a további mérések során biztosító kötéll segítségével mértem.

3.6 Mért adatok kiértékelés

A tesztelési folyamat lezárását követően részletesen elemeztük a jármű teljesítményét, miközben különböző típusú akadályokkal szembesült. Az elemzés során az akadályokat három fő kategóriába soroltuk: leküzdhető, nehezen leküzdhető, és leküzdhetetlen. Ez a besorolás lehetővé tette számunkra, hogy jobban megértsük a jármű viselkedését és teljesítményét a különféle terepviszonyok között, valamint segített az eredmények vizuális megjelenítésében. Az elemzés eredményeit grafikus formában is ábrázoltam, amelyeket a 18. és a 19. ábrán mutatok be, a jármű eltérő sebességfokozatait figyelembe véve.

Mivel a jármű két sebességi fokozattal rendelkezik (egy lassabb és egy gyorsabb beállítás), külön méréseket végeztünk mindkét sebességi tartományban. Az akadályok leküzdőképességét mindkét sebességi szinten megvizsgáltuk, és két különböző ábrát készítettem a vizsgálat eredményeiről. Az ábrák segítségével könnyen láthatóvá vált, hogyan befolyásolja a sebesség a jármű teljesítményét különböző típusú akadályok esetén.

A 18. ábra a jármű teljesítményét mutatja be a lassú sebességfokozatban. Ebben a sebességi tartományban a jármű által leküzdött akadályokat különböző színekkel jelöltem annak megfelelően, hogy mennyire volt nehéz vagy könnyű a jármű számára áthaladni rajtuk. A zöld szín azokat az akadályokat jelöli, amelyeket a jármű könnyedén leküzdött lassú sebességnél. Ezek az akadályok nem okoztak jelentős nehézséget a járműnek, és minimális erőfeszítéssel sikerült átjutnia rajtuk. A zöld színű akadályok főként kisebb méretű és kevésbé technikás akadályok voltak, mint például enyhe emelkedők, sekély gödrök, vagy kisebb kövek, farönkök.

A sárga szín a nehezen leküzdhető akadályokat jelzi. Ezeknél az akadályoknál a jármű nagyobb erőfeszítésre volt kényszerítve, és a vezetőnek is komolyabb koncentrációra és irányításra volt szüksége a sikeres áthaladáshoz. Ide tartoznak például a meredekebb emelkedők, nagyobb kövek, nagyobb átmérőjű farönkök, valamint olyan terepi elemek, amelyek nagyobb nyomatékot és precíz manőverezést igényeltek. Bár a jármű végül átjutott ezeken az akadályokon, az erőfeszítés jól érezhető volt, és bizonyos esetekben a kerekek kipörgése, vagy kisebb elakadások is előfordultak, mielőtt sikerült volna tovább haladni.

A piros színnel azokat az akadályokat ábrázoltam, amelyeknél a jármű nem volt képes áthaladni, azaz leküzdhetetlennek bizonyultak lassú sebességfokozatban. Ezek az akadályok olyan kihívást jelentettek a jármű számára, amelyet még maximális erőfeszítéssel sem tudott legyőzni. Ide sorolhatók a nagyon meredek lejtők és olyan akadályok, amelyeknél a jármű felfüggesztése vagy hasmagassága nem volt elegendő az áthaladáshoz. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a jármű lassú sebességnél korlátozottabb képességekkel rendelkezik a nehéz terepeken.



18. ábra: Lassú sebességű mérés

A 19. ábra a jármű gyors sebességfokozatban nyújtott teljesítményét mutatja be. Itt is hasonló színkódolást alkalmaztunk: a zöld szín azokat az akadályokat jelöli, amelyeket a jármű könnyen leküzdött, míg a sárga a nehezen leküzdhető akadályokat, a piros pedig a leküzdhetetleneket. Azonban a gyorsabb sebesség hatással volt a jármű teljesítményére. Bizonyos akadályok, amelyek lassú sebességnél nehezen leküzdhetőnek minősültek, gyorsabb sebességnél könnyebben áthidalhatóak voltak, mivel a jármű lendülete segített az akadályokon való áthaladásban. Ugyanakkor a nagyobb sebesség növelte a baleset vagy károsodás kockázatát, különösen technikásabb akadályoknál.

Az akadályok és a jármű viselkedésének részletes elemzése lehetőséget adott arra, hogy pontos képet alkossak a jármű teljesítményéről és korlátairól különböző sebességtartományokban.



19. ábra Gyors sebességű mérés

Érdeemes megfigyelni, hogy bizonyos akadályok, amelyeket a jármű lassú sebességnél leküzdhetetlennek talált, gyors sebességnél leküzdhetővé váltak. Ez a jelenség jól mutatja a sebesség hatását a jármű teljesítményére és mozgékonyására, különösen összetett terepen. A sebesség növelése lehetővé tette a jármű számára, hogy átjusson olyan akadályokon, amelyeken alacsonyabb sebességnél elakadt volna. Ennek egyik oka, hogy a nagyobb sebességnél a jármű lendülete segít áthaladni az akadályokon, amelyeket lassú haladás közben nem tudna leküzdeni.

A tesztek során megfigyeltük, hogy a jármű különböző terepviszonyokhoz való alkalmazkodási képessége jelentős mértékben függ a sebességi fokozattól. A lassú sebességi fokozat előnyös a pontos manőverezés és a stabilitás szempontjából. Ilyenkor a jármű kezelhetősége és irányíthatósága a legjobb, mivel a robotot irányító személy könnyebben korrigálhatja a mozgást, és jobban kontrollálhatja a jármű helyzetét. Ez különösen fontos szűk helyeken, ahol a pontos irányítás elengedhetetlen, valamint olyan terepeken, ahol a stabilitás kiemelt jelentőséggel bír.

Ezzel szemben a gyors sebességi fokozat növeli a dinamizmust és a nagyobb akadályok leküzdésének esélyét. A jármű lendülete, amit a nagyobb sebesség biztosít, átsegítheti a

járművet olyan akadályokon, amelyeket lassabb tempónál nem tudna legyőzni. Például, amikor a jármű egy meredek emelkedőn (13. ábra, 2.a, 2.b akadály) próbál feljutni, a nagyobb sebesség lendülete segíthet abban, hogy átlendüljön az akadályon, míg lassabb sebességnél elakadhatna. Az ilyen helyzetekben a gyorsabb mozgás előnyt jelenthet, mivel a jármű tehetetlensége és lendülete hozzásegít a nehéz terepviszonyok leküzdéséhez.

Az akadályleküzdőképesség szempontjából fontos, hogy a jármű felhasználói tudatában legyenek ezeknek a különbségeknek, és az adott terepviszonyoknak megfelelő sebességi fokozatot válasszanak a maximális teljesítmény érdekében. Az optimális sebesség kiválasztása a terep és az akadályok jellegétől függ. Egy összetett, változatos terepen a sebesség megfelelő megválasztása kulcsfontosságú lehet a sikeres navigációhoz és a jármű teljesítményének maximalizálásához.

Például, ha a járművezető egy sziklás, egyenetlen terepen halad (13. ábra, 3., 5.a, 5.b akadályok), ahol a pontos manőverezés elengedhetetlen, érdemes lassabb sebességet választani. Ilyenkor a jármű stabilitása és a finom irányíthatóság lesz a legfontosabb szempont. Ugyanakkor, ha a terep viszonylag sík, de nagyobb akadályokkal tarkított (13. ábra, 1., 2.e, 2.c, 2.d akadályok), akkor a nagyobb sebességű fokozat alkalmazása lehet előnyösebb, mivel a jármű lendülete segíthet átlendülni az akadályokon.

Összességében a tesztek rámutattak arra, hogy a jármű teljesítménye és mozgékonyága nagymértékben függ a sebességtől és annak megfelelő alkalmazásától. A felhasználóknak tudniuk kell, mikor célszerű lassítani a pontos irányítás és stabilitás érdekében, valamint mikor érdemes gyorsítani a dinamizmus és az akadályleküzdés érdekében. Az optimális sebesség kiválasztása jelentősen hozzájárulhat a jármű hatékony működéséhez és a különböző terepviszonyokhoz való sikeres alkalmazkodáshoz.

Könnyen leküzdhető akadályok (18. és 19. ábra, zöld szín):

–Lassú és gyors járási fokozat:

–1., 2.f, 3., 4.f, 5.a, 5.b: Ezen akadályok leküzdése nem okoz gondot a robotnak, sem lassú, sem gyors járási fokozatban.

–Gyors járási fokozat:

–2.c, 2.d, 4.a, 4.b, 4.c, 4.d: Ezen akadályok leküzdhetősége csak a gyors sebességi fokozatban tekinthető könnyen leküzdhetőnek, mert a sebesség nagysága egyszerűvé teszi a leküzdhetőségüket.

Nehezen leküzdhető akadályok (18. és 19. ábra, sárga szín):

–Lassú járási fokozat:

–2.c, 2.d, 4.a, 4.b, 4.c, 4.d: Az akadályok méretei a járműhöz viszonyítva komoly nehézséget okoznak a leküzdhetőség szempontjából, de a robot még át tud rajtuk haladni a kifejtett erő hatására.

–Gyors járási fokozat:

–2.b: A gyors fokozat sebességével és bizonyos mértékű lendülettel leküzdhetővé válik ez az emelkedő.

–4.e: Megfelelő lendület vételével és a gyors fokozat sebességének mértékével leküzdhető az akadály.

Leküzdhetetlen akadályok a tesztpályán (18. és 19. ábra, piros szín):

–Lassú járási fokozat:

–2.a, 2.b akadály (13. ábra): Az emelkedő lefele menetben nem okoz gondot, viszont a felfele menetben a meredek szögű emelkedő okán a jármű súlypontja kritikus helyzetbe kerül, felborul a robot.

–4.d akadály (13. ábra): A fél rönk magassága leküzdhetőnek bizonyult volna a teszt során, viszont az akadály hossza rövidebb, mint a jármű tengelytávja, így az akadályon fentakad, leküzdhetetlen.



20. ábra Elakadás az alacsony hasmagasság miatt, forrás: Körmöczy Dávid

–4.e akadály (13. ábra): A fél rönk magassága leküzdhetetlennek bizonyult a teszt során.



21. ábra Elakadás az alacsony mellső terepszög miatt, forrás: Körmöczy Dávid

–6. akadály (13. ábra): A betontömb magassága túlságosan nagynak bizonyult, borulás következett be a mérés során.

–Gyors járási fokozat:

–2.a akadály (13. ábra): A 2.b akadályszakasz a gyorsabb sebesség hatására leküzdhető lett, viszont a 2.a szakaszon továbbra is fent áll a borulás veszélye a meredek emelkedési szög miatt.

–6. akadály (13. ábra): A betontömb leküzdésében a sebesség növekedése segít, az akadály magasságával továbbra sem tud megbirkózni a robot.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a robot mozgékonyasága és teljesítménye különféle körülmények között hatékonyan skálázható és alkalmazkodó. A tesztek során a robot képes volt megbirkózni a különböző kihívásokkal, ami kiemeli a rugalmasságát és megbízhatóságát.

Az elvégzett vizsgálatok során a robot különböző terepviszonyokkal és akadályokkal találkozott, és minden esetben bizonyította, hogy alkalmazkodni tud a változó környezethez. Ez a képesség különösen fontos a kutatási és ipari felhasználásokban, ahol a különféle körülmények és helyzetek gyorsan változhatnak.

A tesztek során szerzett tapasztalatok megerősítik, hogy a robot nemcsak a feladatok elvégzésére alkalmas, hanem a különböző kihívásokhoz való alkalmazkodás terén is

kiemelkedő. Ennek köszönhetően a robot széleskörű alkalmazási lehetőségeket kínál, például automatizált logisztikai rendszerekben, felfedező missziókban, vagy akár veszélyes környezetekben végzett munkák során.

4. Összefoglalás

Szakedolgozatom célja a Clearpath Husky A200 robotjármű terepi mozgékonyságának és akadályküzdési képességeinek bemutatása, valamint az autonóm járművek terepi alkalmazásának előnyeinek ismertetése. A témaválasztásomat az motiválta, hogy érdeklődöm a járműautomatizáció technikai háttere és innovációi iránt, illetve részt vettem egy kapcsolódó egyetemi kutatásban, ahol a Husky robotjárművet vizsgáltam.

A Clearpath Robotics által gyártott Husky A200 egy robusztus és sokoldalú autonóm földi robot, amelyet kutatási és fejlesztési célokra terveztek. A robot nagy terhelhetőséggel, könnyen bővíthető szenzorplatformmal és egyszerű vezérléssel rendelkezik, így számos alkalmazásban hatékonyan használható.

A tesztelés során természetes formákat használtam (árok, emelkedő, lejtő, bukkanó) akadályokként, hogy reális körülmények között vizsgálhassam a jármű teljesítményét. A pálya tervezése során figyelembe vettem a jármű mozgékonyságát, sebességét és navigációs rendszereinek pontosságát, különböző akadályokkal és talajviszonyokkal modellezve a valós helyzeteket. Az RTK technológia alkalmazása lehetővé tette a jármű precíz helymeghatározását, ami elengedhetetlen volt a sikeres teszteléshez. Végeztem talajnedvesség- és ellenállás mérést, hogy pontos eredményeket kapjak az elemzésem során.

A robot két sebességi fokozattal rendelkezik. A mérések során bizonyítottam, hogy lassú sebességi fokozat esetén a jármű stabilitása és irányíthatósága a jobb, ezzel szemben a gyors sebességi fokozatban dinamikusabb mozgást és a nehezebb akadályok leküzdésének lehetőségét biztosítja.

Az elemzés során készítettem ábrák és színkóddal jelöltem a jármű teljesítményét, akadályleküzdő képességét. Zöld színnel jelöltem a könnyen leküzdhető akadályokat, míg a sárga és piros színűek a nehezen leküzdhető és leküzdhetetlen akadályokat.

Ezek az eredmények rámutatnak arra, hogy a jármű alkalmazhatósága és hatékonysága nemcsak az akadályok fizikai jellemzőitől, hanem a sebesség megfelelő megválasztásától is függ, ami alapvetően befolyásolja a navigáció sikerességét különböző terepviszonyok között.

5. Summary

The aim of my thesis is to demonstrate the field mobility and obstacle negotiation capabilities of the Clearpath Husky A200 robotic vehicle, as well as to highlight the advantages of deploying autonomous vehicles in outdoor environments. My topic selection was motivated by my interest in the technical background and innovations of vehicle automation, and my participation in a related university research project, where I examined the Husky robotic vehicle.

The Husky A200, manufactured by Clearpath Robotics, is a robust and versatile autonomous ground robot designed for research and development purposes. The robot has a high load capacity, an easily expandable sensor platform, and straightforward control, making it effective for a variety of applications.

During testing, I used natural forms (ditch, slope, incline, bump) as obstacles to realistically assess the vehicle's performance under real-world conditions. In designing the course, I considered the vehicle's mobility, speed, and the accuracy of its navigation systems, modeling real situations with different obstacles and soil conditions. The application of RTK technology allowed for precise vehicle positioning, which was essential for successful testing. I conducted soil moisture and resistance measurements to obtain accurate results for my analysis.

The robot has two speed settings. My measurements demonstrated that at a slow speed setting, the vehicle's stability and maneuverability are better, while the fast speed setting offers more dynamic movement and the ability to overcome more challenging obstacles.

During the analysis, I created charts and color-coded the vehicle's performance. I marked easily negotiable obstacles in green, while yellow and red indicated difficult and impassable obstacles, respectively.

These results indicate that the vehicle's applicability and efficiency depend not only on the physical characteristics of the obstacles but also on the appropriate selection of speed, which fundamentally affects the success of navigation across various terrain conditions.

6. Irodalomjegyzék

1. Daniela Doroftei, Eric Colon, Yvan Baudoin, Hichem Shali (2007): Development of a semi-autonomous off-road vehicle, letöltés dátuma: 2024. 09. 30. Forrás: https://mecatron.rma.ac.be/pub/2007/Development_of_a_semi-autonomous_off-road_vehicle.pdf
2. David Fillat, Jean-Arcady Meyer (2003): Map-based navigation in mobile robots:: I. A review of localization strategies, letöltés dátuma: 2024. 09. 30. Forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389041703000081>
3. Faiza Tabassum, Susmita Lopa, Muhammad Masud Tarek, Dr. Bilkis Jamal Ferdosi (2017): Obstacle Avoiding Robot, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/85516976/2-Obstacle-Avoiding-Robot-libre.pdf?1651743780=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DObstacle_Avoiding_Robot_By_Faiza_Tabassu.pdf&Expires=1728305078&Signature=YcYO9r56XXPIWTT2S2GVgnsohckqxJ8LkyXgoGGTRrbif5VOyNSgYpV4k4hXyH~JbFrb-Uc~5WfpvG~9iG0LjV0ky9IICD95v4zclBw2h~gJVK0~BhdzMJIOQGquncKdhypnl3vLwQ4aTCu2SFCwlSKh1VW31zz64PO8-Y1KHkcZ0J60eYSZWQGViv0sQLtTWYcONFHBsleZ9eEBTMGaMac0DaHMke2BZk5Q5m3vWEUK6XYGuKI1oYz2IDPBjh6c-ENv0b5EZKDMtQe4teQqTlsTWnb5zpp~6E-E9uQ~DSHabdWk6WesAn1JBuE8eVr5cZameYH4nnxgCpF5qkBojiA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
4. Dr. Gyarmati József, Simó Réka (2020): Autonóm terepjáró járművek katonai felhasználásának lehetőségei, letöltés dátuma: 2024. 09. 30. Forrás: https://real.mtak.hu/118234/1/HT_2020-6_cikk_03.pdf
5. Dr. Hegedűs Ernő, Szivák Petra (2019): Az „Autonóm on- és off-road járművek katonai alkalmazhatóságának lehetőségei”, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: https://real.mtak.hu/97061/1/HT_2019-4_cikk_11.pdf

6. Josef Rada, Marian Rybansky, Filip Dohnal (2021): The Impact of the Accuracy of Terrain Surface Data on the Navigation of Off-Road Vehicles, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <https://www.mdpi.com/2220-9964/10/3/106>
7. HTTP1: ZalaZONE tesztpálya, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <https://avlzalone.com/teszteles-es-palyak/>
8. HTTP2: Rábaring tesztpálya, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <http://mbteam.hu/portfolio-items/when-the-planets-align/>
9. HTTP3: Clearpath Robotics honlapja, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <https://clearpathrobotics.com/> (2024.06.11.)
10. HTTP4: Warthog unmanned ground vehicle, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <https://clearpathrobotics.com/warthog-unmanned-ground-vehicle-robot/>
11. HTTP5: Jackal unmanned ground vehicle, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <https://clearpathrobotics.com/jackal-small-unmanned-ground-vehicle/>
12. HTTP6: Husky unmanned ground vehicle, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <https://clearpathrobotics.com/husky-unmanned-ground-vehicle-robot/> (2024.06.11.)
13. HTTP7: Sony Playstation 4 kontroller, letöltés dátuma: 2024.06.12. Forrás: <https://gamepad-kontroller.arukereso.hu/sony/playstation-4-dualshock-4-v2-wireless-p346558404/#>
14. HTTP8: nedvességtartalom mérő, TDR 350 letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: https://www.agroinform.hu/aprohirdetes_adatlap/gep/agrarinformatika-gps/talajnedvesseg-mero-meresadatgyujtovel-tdr-350/h_6958982#gallery-trigger-2
15. KOVÁCSHÁZY Miklós (2014): MIKOR KERÉK, MIKOR LÁNCTALP?, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: http://www.hadmernok.hu/142_10_kovacshazym_2.pdf
16. Magyar Tudományos Akadémia: A magyar helyesírás szabályai, tizenkettedik kiadás, Akadémiai Kiadó, Budapest 2015.
17. Dr. Máthé László, Dr. Kiss Péter (2017): Járművek mozgásának vizsgálata terepviszonyok között, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás:

http://technika.gmgi.hu/uploads/termek_1186/jarmuvek_mozgasanak_vizsgalata_terepviszonyok_kozott_17_05.pdf

18. Panagiotis Papadakis (2013): Terrain traversability analysis methods for unmanned ground vehicles: A survey, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095219761300016X>
19. Szemerédi Eszter (2019): Autonóm járművek – biztonság, használat és észlelt hasznosság, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: https://tge.sze.hu/images/dokumentumok/K%C3%B6tetek%20%C3%B6sszes%20cikkkel/2019.%20VII.%20%C3%A9vfolyam%201.%20sz%C3%A1m_Cikkek/2019_VII_evfolyam_I-szam_Szemeredi_eszter.pdf
20. Tommy Boone (2012): Obstacle Course Challenges: History, Popularity, Performance Demands, Effective Training, and Course Design, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <https://static.julinse.com/m/854b9004777a194f.pdf>
21. Tóth József Lukács, Vég Róbert László (2022): Az autonóm terepjáró eszközök, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/6145>
22. Viktor Patrik, Garai-Fodor Mónika (2024): Az önvezető technológia alkalmazása, letöltés dátuma: 2024.06.11. Forrás: https://kgk.uni-obuda.hu/wp-content/uploads/2024/06/VF_TK_24_1_Az-onvezeto-technologia-alkalmazasa.pdf
23. Yann LeCun, Urs Muller, Jan Ben, Eric Cosatto, Beat Flepp (2005): Off-Road Obstacle Avoidance through End-to-End Learning, letöltés dátuma: 2024.09.30. Forrás: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2005/file/fdf1bc5669e8ff5ba45d02fde729feb-Paper.pdf>

7. Nyilatkozatok

7.1 Hallgatói nyilatkozat

NYILATKOZAT

A szakdolgozat nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Felföldi László
A Hallgató Neptun kódja:	CY0N7R
A dolgozat címe:	Gumikerekes csúszókormányzású robotjármű terepi mozgékonyágának vizsgálata
A megjelenés éve:	2024
A konzulens intézetének neve:	Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Járműtechnika

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítotam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: Gödöllő, 2024. év október hó 22. nap


Hallgató aláírása

7.2 Konzulensi nyilatkozat

NYILATKOZAT

Felföldi László (név) (hallgató Neptun azonosítója: CY0N7R) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Gödöllő, 2024. év október hó 22. nap



belső konzulens