

Robotok alkalmazási területei az átviteli hálózaton

Az energiaszolgáltatás folytonosságának biztosítása kiemelten fontos az átviteli hálózat rendszerirányításában. A távvezetékek vizsgálatára, valamint különböző karbantartási, javítási munkák elvégzésére számos módszer alkalmazható. Manapság az egyre inkább teret hódító robottechnológia is felhasználható a távvezetékek állapotfelmérésére és bizonyos körű karbantartási munkák elvégzésére. Robotok alkalmazására lehetőség van feszültség alatti munkavégzés során is, azonban ebben az esetben érdemes megvizsgálni, hogy a használt eszközöknek milyen elektromágneses kompatibilitási kritériumoknak kell megfelelniük. Jelen kutatás során ezt a kérdéskört vizsgáljuk meg számítógépes mezőszimulációs szoftverek felhasználásával. A szoftveres szimulációkon felül valós körülmények közötti mérések elvégzésére kerül sor, mely lehetőséget biztosít a különböző eredmények összehasonlítására. Az együttes szimulációs és mérési eredmények segítségével pedig felállítható az a követelményrendszer, amelynek meg kell felelniük a robotoknak ahhoz, hogy az átviteli hálózaton üzembiztosan alkalmazhatóak legyenek.

There are several different methods to investigate the overhead lines (OHLs) and execute various maintenance or repair works on the transmission grid in order to ensure the continuous electrical energy supply. Nowadays, the application of robotic technology, which has constantly increasing popularity, allows online OHL diagnostics and maintenance works to be carried out. Robotic technology can also be applied in live-line maintenance (LLM), but in this case, it is worth to examine the electromagnetic compatibility criteria of the applied devices. In this research, simulations are carried out with the use of electric and magnetic field simulation software to investigate the EMC questions and issues. Moreover, high voltage measurements under real circumstances are also carried out, so in this way the comparison of different results is also possible. The simulation and measurement results can be used to set up the requirements that robots need to comply with in order to use them on the transmission grid safely.

Kulcsszavak:

Átviteli hálózat, robotok, robottechnológia, diagnosztika, karbantartás, mezőszimuláció, COMSOL

1. BEVEZETÉS

Az átviteli hálózat központi szerepet tölt be a villamosenergia-rendszerben, ebből kifolyólag a különféle diagnosztikai és karbantartási folyamatok rendszeres megvalósítása elengedhetetlen az ellátásbiztonság szempontjából. Az ilyen munkálatok elvégzésére több alternatíva is rendelkezésre áll, a fő cél az, hogy gazdaságosan és versenyképesen lehessen fenntartani a rendszer biztonságos és megbízható üzemvitelét.

Magyarországon az átviteli hálózat rendszerhossza 4856 km [1], ezért a diagnosztikai és karbantartási munkákat magas szinten kell összehangolni a fentebbi kritériumok teljesítése érdekében.

Hazánkban a diagnosztikai és karbantartási munkákat nagyrészt a rendszer feszültség alatti állapotában végzik. Azonban az utóbbi időben megnőtt az érdeklődés különféle robottechnológiák alkalmazása iránt is, amely lehetővé teszi az emberi munkaerő részbeni vagy teljes kiváltását, illetve a munkavégzés közbeni kockázatok csökkentését. Az átviteli hálózaton alkalmazható robotok skálája igen széles, és ez a folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően egyre inkább bővül. Fontos azonban megemlíteni, hogy az újonnan kialakított munkamódszereket célszerű a már elterjedt FAM (feszültség alatti munkavégzés) technológiához és szabályrendszerhez igazítani.

A FAM munkavégzés mellett a robotok egy másik alkalmazási területe lehet a távvezetékterhelhetőséggel kapcsolatos szenzorok telepítési folyamata, illetve a LIDAR (Light Detection and Ranging) technológia alkalmazásának kiterjesztése, mely jelentős segítséget nyújthat a vegetációmenedzsment területén.

Összességében az mondható el, hogy komoly potenciál rejlik az átviteli hálózati robottechnológia területén, melyet alátámaszt a folyamatos technikai fejlődés, és a rendszerirányítók részéről mutatkozó egyre nagyobb érdeklődés is [2].

2. ROBOTOK AZ ÁTVITELI HÁLÓZATON

2.1 A robotok csoportosítása

A robotokat általában a személyzet és a munkamódszer alapján szokás csoportosítani, de ettől eltérő osztályozások is léteznek.

A személyzet alapján két kategória különböztethető meg. A személyzetet igénylő robotok egy adott munkafolyamat elvégzéséhez emberi beavatkozást igényelnek, míg a személyzet nélküli robotok önállóan képesek elvégezni a rájuk szabott feladatokat.

A munkamódszer alapján leggyakrabban négy csoportba sorolhatók a robotok:

- Távvezetésekre függesztett robotok;
- Légi közlekedésű robotok;
- Földi támaszpontú robotok;
- Egyéb, a másik három csoportba nem besorolható robotok.

A távvezetésekre függesztett robotok leggyakrabban a fázisvezetőn helyezkednek el, és különféle diagnosztikai munkák során használhatóak. Ide tartozik a különféle kamerákkal készült felvételek rögzítése, a szemrevételezés, de akár az öregedő sodronyok állapotfelmérése is. Ezekkel a robotokkal kapcsolatban fontos kritérium, hogy képesek legyenek a szigetelőn áthaladni, hiszen ez jelentősen meggyorsítja a munkavégzést.

A légi közlekedésű robotok közé tartoznak a különféle fix szárnyú repülőgépek, robothelikopterek, valamint drónok és multikopterek. Ezek az eszközök szintén diagnosztikai célokra alkalmazhatóak jól. A segítségükkel nem csak nehezen megközelíthető helyek érhetőek el, de a LIDAR technológia alkalmazásával a növényzet és a távvezetékek kapcsolata is pontosan feltérképezhető.

A földi támaszpontú robotok arra használhatóak, hogy a távolból, általában egy szigetelőkar segítségével avatkozzanak be a távvezetési munkálatokba, ezzel csökkentve a szakszemélyzetet érő különféle igénybevételeket.

Az egyéb kategóriába tartoznak azok a robot eszközök, amelyek valamilyen specifikus feladat elvégzését képesek kiváltani. Ide tartoznak a különféle mászó, illetve szigetelő tisztító robotok [3].

2.2 A robotok alkalmazási lehetőségei

A robotok elsődleges feladata, hogy a szakszemélyzet munkáját kiegészítve növeljék a villamosenergia-rendszer rendelkezésre állását és megbízhatóságát. Főként ott lehet előnyös a robotok használata, ahol nehezen megközelíthető a távvezeték és környéke, illetve ahol kifejezetten nagy igénybevételek érik a karbantartó személyzetet.

A robotok egyik ígéretes alkalmazási lehetősége a különféle diagnosztikai feladatokban történő használatuk, azaz a távvezetékrendszer egyes elemeinek szemrevételezése. Ezekben az esetekben elsősorban drónokra felhelyezett hagyományos, infravörös, vagy UV kamerák segíthetnek a pontosabb információszerzésben és a gyorsabb hibafeltárásban. Az infrakamerák segítségével feszültség alatti állapotban kimutathatók a különféle melegedéssel járó villamos és mechanikai problémák, míg az UV kamerák a vezetékek vagy szigetelőanyagok közelében lévő koronakisüléseket képesek láthatóvá tenni.

A robottechnológia másik nagy területe foglalja magában a tényleges karbantartási munkákat. Ide tartoznak a különféle hőmérséklet-, ellenállás-, korrózió-, vagy árammérő szenzorok felhelyezése, de akár a madáreltérítők drónokkal történő kihelyezése is. A karbantartási munkálatok során ma már nem elrugaskodott robotok segítségével szálszakadást javítani, toldókötetést felhelyezni vagy védővezetőt újrahúzni sem, de a különféle robotok a szakszemélyzet segítségére lehetnek eszközcsere, eszköztisztítás vagy festési munkálatok esetében is.

A robotok közül is kiemelkedően népszerű a légi közlekedésű robotok, azon belül is a drónok használata. Ezeknek a Li-ionnal működtetett szerkezeteknek a fő alkalmazási területe a személyzet számára nehezen elérhető helyek megközelítése, de újabban már a LIDAR technológiával a vegetációmenedzsmentben is bevetethetők.

Ezzel együtt azonban fontos megjegyezni, hogy mind a légi közlekedésű, mind a pedig a távvezetésekre függesztett robotok esetében komoly követelményrendszernek kell megfelelniük az eszközöknek a távvezetési munkákban való alkalmazásukhoz [4], [5], [6], [7], [8].

3. ROBOTOKKAL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

A nemzetközi szakirodalom részletesen foglalkozik a különféle robotokkal szemben támasztott követelményekkel. Ezek közül a legfontosabbak az elektromágneses kompatibilitásra (EMC) vonatkozó előírások. Ezekre azért van szükség, mert a sodronyok közelében a robot és egyéb eszközök elektronikai, kommunikációs rendszerei, valamint a rajtuk lévő antennák, érzékelők és kamerák esetében elektromágneses interferencia lép fel, melyek nagyfrekvenciájú zavarokkal járhatnak. Emellett további problémát okozhatnak a koronajelenségek és egyéb veszteséggel járó folyamatok is. Ezek a zavarok különféle földelési és árnyékolás technikával, valamint megfelelő geometria kialakításával kivédhetőek. Az alkalmazni kívánt eszközöket azonban minden esetben nagyfeszültségű laboratóriumban végzett kísérletekkel ellenőrizni is kell, amelyek közül a cikk az alábbiakkal foglalkozik:

- Elektromos erőtér vizsgálata (nagy feszültség);
- Mágneses erőtér vizsgálata (nagy áram);

Jelen cikkben tehát az elektromos és mágneses erőtérre vonatkozó kritériumok kerültek megvizsgálásra mind szoftveres szimulációk, mind pedig laboratóriumi mérések során.

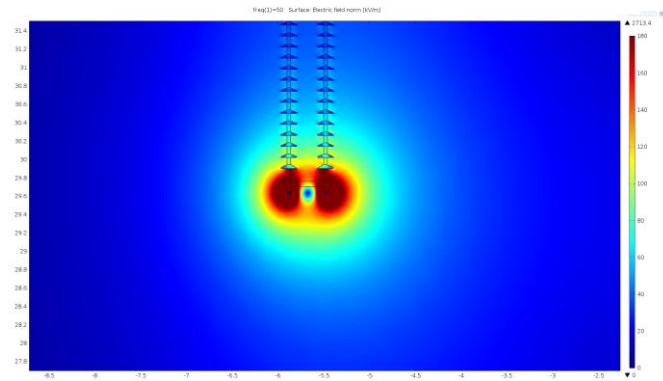
4. SZIMULÁCIÓK

A mezőszimuláció során a COMSOL Multiphysics program felhasználásával a magyar átviteli hálózaton 400 kV-os távvezetékein egyik legtöbbször alkalmazott Fenő típusú távvezeték oszlop villamos- és mágneses erőtere került vizsgálatra. A modellezés során a távvezeték oszlopra kompozit szigetelők, valamint 500/65 mm²-es kettős kötegelésű ACSR fázisvezetők kerültek kialakításra [9].

4.1 Villamos erőtér

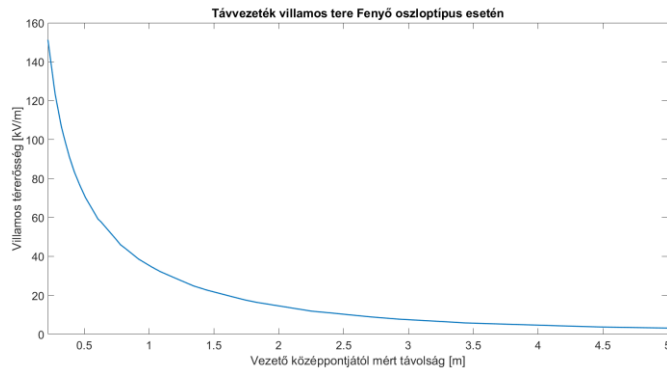
A villamos erőtér modellezése során a sodronyok vonali feszültség szintje 400 kV-ra lett alapértelmezve. A térszámítás során a fázisvezetők 5 m sugarú környezete került vizsgálat alá, ugyanis a robotok ebben a térrészben dolgoznak a típusuktól függően kevésbé,

vagy jobban megközelítve a fázisvezető sodronyokat. Erre a felületre a villamos erőtér eloszlását az 1. Ábra mutatja be a legfelső fázisvezető esetében.



1. Ábra. Villamos téreloszlás a fázisvezetők környezetében

A vizsgált térrészben, az 1. Ábra szerint bal oldali – az oszloptól távolabb elhelyezkedő – fázisvezető középpontjától mért távolság függvényében a villamos térerősség értékét a 2. Ábra mutatja be.



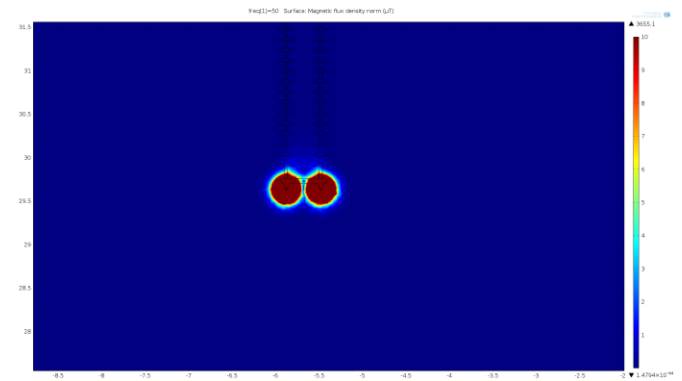
2. Ábra. Villamos térerősség a fázisvezetők környezetében

A szimulációs eredmények alapján a távvezetésekre függesztett robotokra, amelyek néhányszor 10 cm-re közelítik meg a fázisvezetőket 100-150 kV/m-es villamos erőtér hat. Ezzel szemben a légi közlekedésű robotok, csak néhány m-es távolságban közelítik meg a sodronyokat attól függően, hogy milyen diagnosztikai mérést végeznek. Ebben az esetben ezeknek a robotoknak 5-30 kV/m-es villamos erőtér mellett kell üzembiztosan működniük.

4.2 Mágneses indukció

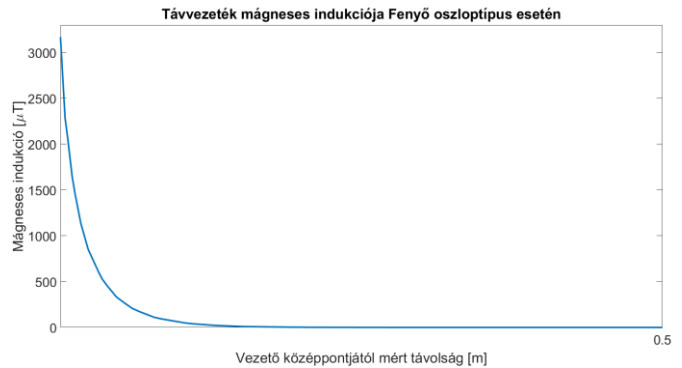
A mágneses indukció vizsgálata során az egyes fázisvezetőkben egységesen 500 A-es áramerősség került modellezésre. A szimuláció során a 4.1 Fejezetben már bemutatott térrész vizsgálata valósult

meg, amely során a létrejött mágneses indukció eloszlását a 3. Ábra szemlélteti.



3. Ábra. Mágneses indukció eloszlása a fázisvezetők környezetében

Ebben a térrészben, a 3. Ábra szerint bal oldali – az oszloptól távolabb elhelyezkedő – fázisvezető középpontjától mért távolság függvényében a mágneses indukció értékét a 4. Ábra mutatja be, ahol a sodrony középpontjától mért 0,5 m-es távolságban került ábrázolásra, ugyanis ezen a térrészen kívül a mágneses indukció mértéke elhanyagolható:



4. Ábra. Mágneses indukció a fázisvezetők környezetében

A térszámítás eredményeképp a távvezetésekre függesztett robotok esetén a mágneses indukció értéke nem haladja meg a 3500 μT a felfüggesztési pontnál sem, ebben a konfigurációban. Más típusú robotok esetén pedig a mágneses indukció hatása elhanyagolható mértékű, ugyanis 500 A áram hatására már a sodronyoktól 10 cm távolságban 100 μT alá süllyed az értéke.

5. SENZOR VIZSGÁLAT

A BME Nagyfeszültségű Laboratóriumában végzett kísérletek során a cél egy olyan szenzor vizsgálata volt, amely a különböző típusú robotok építőeleme. Ehhez egy olyan mobilis IP kamera került kiválasztásra, amely vezeték nélküli adatátvitelre képes, így a különböző erőkommunikációra gyakorolt hatása is tesztelhető volt. A kamera és a kamera képét fogadó

laptop közötti kommunikáció az IEEE 802.11 n szabvány szerinti vezeték nélküli ad-hoc hálózaton (WANET) keresztül került megvalósításra. A kamera megtáplálása egy egyedi DC tápforrásról történt, amely egy 6 V-os, 1,2 Ah-ás akkumulátorról egy 5 V-os feszültségstabilizátoron keresztül látta el energiával a kamerát. A tápforrásban két visszajelző LED is beépítésre került, így egy esetleges hiba esetén megállapítható, hogy a hiba forrása az akkumulátor, a feszültségstabilizátor, vagy pedig maga a kamera-e.

5.1 IP kamera vizsgálata villamos térben

A mérés során a BME Nagyfeszültségű Laboratóriumában található 250 kV-os próbatranszformátor segítségével valósítható meg a szimulált távvezeték 231 kV-os fázisfeszültségének előállítása. A kamerát egy tartószigetelőre erősítve 2 m-es távolságból a transzformátor kivezetéséhez közelítve zajlott a mérés.



5. Ábra. IP kamera vizsgálata villamos térben

A tapasztalat alapján a feszültséget 204 kV-ig növelve, a kamerát pedig 15 cm-re közelítve a nagyfeszültségű kivezetéshez az eszköz üzembiztosan működött. 10 cm-es távolságon belül megközelítve a nagyfeszültségű részt azonban már a kamera elvesztette a Wi-Fi alapú adatkommunikációs összeköttetést, azonban a kivezetéstől távolítva a kommunikációs csatorna helyreállt.

5.2 IP kamera vizsgálata mágneses térben

A mágneses tér előállításához a BME Nagyfeszültségű Laboratóriumában található nagyáramú transzformátor szolgáltatott kellően nagy áramaértéket. Ennek során a sodronytól 3 cm-re szimulált mágneses indukcióval ekvivalens 1400 μT -ás értéke került előállításra.



6. Ábra. IP kamera vizsgálata mágneses térben

A mérés során az eszköz, üzembiztosan működött, az adatkapcsolat is folyamatos maradt.

5.3 Eredmények értékelése

A vizsgálatok során megbizonyosodott, hogy egy roboton is alkalmazható IP kamera a létrejövő mágneses térrel szemben ellenálló. Azonban a villamos erőterre vonatkozó tesztek alapján kiderült, hogy ez az elrendezés egy sodronyra felfüggesztett robot esetén már nem feltétlenül működik üzembiztosan, még egy légi közlekedésű eszközön alkalmazva probléma nélkül üzemeltethető.

A modellezés és mérések egyezése alapján szimuláció segítségével megadható a biztonságos üzemvitelhez tartozó maximális télerősség értéke. Így az adott elrendezésre vonatkozó követelmények szerint a Wi-Fi alapú kommunikációs csatorna maximálisan 275 kV/m-es télerősség érték mellett üzemeltethető üzembiztosan.

6. KONLÚZIÓ

A cikk célja az átviteli hálózaton alkalmazható különböző típusú robotok villamos-, valamint mágneses térrel szembeni ellenállóságának vizsgálata, és ezek alapján a megbízható működésre vonatkozó kritériumrendszer felállítása volt.

A mezőszimulációk során megállapításra került, hogy egy robotra felszerelhető szenzornak milyen villamos- és mágneses térben kell stabilan működnie. A laboratóriumi mérések során bebizonyosodott, hogy egy nagyfeszültségű távvezeték mágneses erőtere nem okozhat problémát egy robot működése során.

Ezzel szemben a villamos erőtér vizsgálata során kiderült, hogy egy 400 kV-os fázisvezető közelében a vezeték nélküli kommunikáció bizonyos esetekben összeomlik. A mérések és szimulációk alapján elmondható, hogy a 802.11 n típusú Wi-Fi adatkommunikáció megfelelő működéséhez a villamos erőtér nem haladhatja meg a 275 kV/m-es értéket. Így egy robot kialakítása során fontos, hogy ez a kritérium megfelelő geometriával vagy árnyékolással biztosítva legyen.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **MAVIR Zrt.:** *A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2016. évi adatai*
- [2] **Elizondo, D.:** *Robots Are Coming*, T&D WORLD MAGAZINE, 2015
- [3] **CIGRE Working Group B2.52.:** *The use of Robotics in Assessment and maintenance of OHL*, 2017
- [4] **Pagnano, A., Höpf, M., Teti, R.:** *A Roadmap for Automated Power Line Inspection. Maintenance and Repair*, 8th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, ScienceDirect, Procedia CIRP, Vol. 12, pp. 234-239, 2013.
- [5] **Gonçalves, R.S., and Carvalho, J.C.M.:** *Review and Latest Trends in Mobile Robots Used on Power Transmission Lines*, International Journal of Advanced Robotic Systems, InTechOpen, Vol. 10, pp. 1-14, 2013.
- [6] **Aracil, R., Pinto, E., Ferre, M.:** *Robots for live-power lines: maintenance and inspection tasks*, 15th Triennial World Congress, Barcelona, 2002
- [7] **Elizondo, D., Gentile, T., Candia, H., Bell, G.:** *Overview of robotic applications for energized transmission line work — Technologies, field projects and future developments*
- [8] **Claudi, A., Willim, C., Meyer, R., Lamprecht, J.:** *Monitoring of Overhead Lines with autonomous flying Platforms*, 17th International Symposium of High Voltage Engineering, Hannover, Germany, 2011.
- [9] **MAVIR Zrt.:** *A MAVIR Zrt. Átviteli hálózati távvezetékei, 2013*