



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamos Energetika Tanszék

Rácz Levente

INTELLIGENS ROBOTOK, DRÓNOK ALKALMAZÁSA AZ ÁTVITELI HÁLÓZATON

KONZULENSEK

Dr. Németh Bálint

Dr. Göcsei Gábor

Bodó Zsolt

BUDAPEST, 2018

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	3
Abstract	4
1 Bevezetés	5
2 Robotok a nagyfeszültségű átvitelihálózaton	6
2.1 Robotok definíciója.....	6
2.2 Robotok csoportosítási lehetőségei.....	7
3 Robotok alkalmazási lehetőségei	10
3.1 Átviteli hálózat ellenőrzése.....	10
3.1.1 Szemrevételezés.....	11
3.1.2 Infra-, UV-, és lézeres képalkotás.....	11
3.1.3 Robotok egyéb alkalmazása az ellenőrzési munkákban	12
3.2 Karbantartási munkák végzése robotok segítségével	13
3.2.1 Eszközcserevel kapcsolatos karbantartási feladatok.....	14
3.2.2 Eszközfelhelyezéssel kapcsolatos karbantartási feladatok	15
3.2.3 Egyéb robotokkal megvalósítható feladatok.....	16
4 Jelenleg alkalmazható robotok	18
4.1 A távvezetékre felfüggesztett robotok	18
4.2 Levegőben közlekedő robotok.....	19
4.2.1 Fix szárnyú repülő robotok.....	20
4.2.2 Helikopterek.....	21
4.2.3 Multikopterek, drónok	23
4.3 Földi támaszpontú robotok	27
4.4 Speciális robotok.....	28
5 A robotok konkrét alkalmazhatósága a térségben	31
6 Konklúzió	32
Irodalomjegyzék	33

Összefoglaló

A hazai és nemzetközi villamosenergia-rendszerekben központi szerepet tölt be az üzembiztonság és a villamos energia megfelelő rendelkezésre állásának kérdésköre. Az üzemvitel folytonosságának biztosítása végett az átviteli- és elosztóhálózat elemeit folyamatosan megfigyelés alatt kell tartani.

Manapság a robottechnológia fejlődése igen dinamikus, és különféle robotok jelentek meg a távvezeteki diagnosztikához kapcsolódóan. De nem csak a diagnosztika terén alkalmazhatóak robotok, hanem egyes karbantartási munkák elvégzésénél is. Az ilyen robotok fő előnye, hogy segítséget nyújtanak a szakszemélyzet számára, esetenként pedig helyettesítik azokat, ezzel csökkentve a munkavégzés erőterekből és mechanikai igénybevételek hatásaiból származó kockázati faktort. [1][3][9]

A robottechnológia és feszültség alatti munkavégzés (FAM) összekapcsolása szintén fontos az átviteli hálózat esetén. A különféle FAM technológiák segítségével csökkenthető a fogyasztói kiesések száma, ami az üzemviteli folytonosság miatt jelentős. Megfelelő robottechnológia alkalmazása a FAM-mal kombinálva ezért gazdaságosabb megoldást is nyújthat, mint a hagyományos, feszültségmentesített munkavégzés. [1][7][11]

Jelen összefoglalóban egy áttekintést kívánok nyújtani jelenleg elérhető átviteli hálózati robotokról, és a velük megvalósítható diagnosztikai és karbantartási munkálatokról.

Abstract

The security of supply with a high level of operational safety and security has a prominent role in the domestic and international electricity networks. For the continuity of supply the maintenance of high voltage network components have to be carried out continuously.

Nowadays, the development of robotic technology is very dynamic and various robots have emerged in connection with the transmission line diagnostics. However, robots appeared not just in the field of diagnostics, but also for performing some maintenance work. The main advantage of such robots is that they provide assistance to the human workers or in some cases they could also replace them, thereby reducing the risk factor from working with electrical and magnetic field or under mechanical stresses. [1][3][9]

The combination of robotic technology and live-line maintenance (LLM) is also important for the transmission network. Various LLM technologies help to avoid loss of supply and customer interruption, which is significant due to operational continuity. Applying appropriate robot technology in combination with LLM works can therefore provide a more economical solution than conventional, de-energized working methods. [1][7][11]

In this overview, I would like to present an overview of currently available transmission network robots and their diagnostic and maintenance work.

1 Bevezetés

A nagyfeszültségű átviteli hálózat központi szerepet tölt be a villamosenergia-rendszerekben, ezért a folyamatos karbantartás és diagnosztika létfontosságú az ellátásbiztonság fenntartásának érdekében. A fogyasztók ellátása mellett alapvető követelmény a rendszer biztonságos és megbízható üzemvitele is, melynek biztosítása az átviteli hálózati rendszerirányító számára napi szintű kihívásokat jelent. Mindezek mellett nem elhanyagolható tényező az üzemeltetés gazdaságossága, és a piaci versenyképesség fenntartása is. [7]

Ezt átfogalmaznám, pl: Manapság egyre meghatározóbb Magyarországon a feszültség alatti munkavégzéssel történő hálózati beavatkozások a nagy- és közép-feszültségű villamosenergia-hálózaton. A magyarországi nagyfeszültségű szabadvezeték hálózat több, mint 4856 km hosszú, ennél fogva a diagnosztikai és karbantartási munkák pontos tervezése és összeegyeztetése kiemelten fontos feladat. A FAM technológiák népszerűsége mellett egyre nagyobb hangsúlyt kap a különféle robotok alkalmazása az átviteli hálózaton is, melynek elsődleges célja a FAM személyzetet érintő kockázati tényezők leredukálása. A robotok használatának azonban ezen kívül is vannak további járulékos előnyei. A szabadvezeteki átviteli hálózat jelentős kiterjedése miatt előfordulnak olyan távvezeték szakaszok, amelyek karbantartás céljából nehezen megközelíthetők, ezekben az esetekben is célra vezető lehet különféle drón alapú eszközök alkalmazása. Emellett a robotok használata meg is gyorsíthatja az egyes, nagyfeszültségű technikához kapcsolódó feladatokat, valamint számos esetben növelheti a költséghatékonyságot is. [2][11]

A különféle, robotokkal kapcsolatos kutatás-fejlesztések már a múlt század végén elkezdődtek, de ezek gyakorlati megvalósítása főleg az ezredforduló után kezdett kibontakozni. A tématerület fontosságát is jelzi az első, 2010-ben tartott nemzetközi villamosenergia-rendszeren alkalmazott robotokkal kapcsolatos nemzetközi konferencia (CAPRI) hagyományteremtő megtartása is, melynek első helyszíne a kanadai Montréal volt. A robotok népszerűsége, és dinamikus fejlődése pedig kiváló alapul szolgál a nagyfeszültségű alkalmazhatóságuk elterjedésében. [1]

2 Robotok a nagyfeszültségű átviteli hálózaton

Az alapvető diagnosztikai és karbantartási munkákat a villamosenergia-hálózat kiépítésétől kezdve elsősorban speciálisan kiképezett karbantartó személyzet végezte. A helyzet a FAM munkamódszerek elterjedésével sem változott meg gyökeresen, azonban mindig is megvolt az igény arra, hogy a szakszemélyzetet érő erőterek káros hatásait mérsékeljék különböző módszertani-, illetve technikai fejlesztésekkel. Az utóbbi évtizedekben főleg az Európán kívüli területeken azonban elterjedtek különféle, diagnosztikai és karbantartási munkákra szakosodott robotok, hogy megkönnyítsék a munkavégzést, és a szakszemélyzet számára segítségül szolgáljanak. [1][3]

2.1 Robotok definíciója

A nagyfeszültségű technikában használatos robotokkal kapcsolatos definíciókra és csoportosításokra számos változat létezik, attól függően, hogy mely nemzetközi szervezet szabványait, kiadványait nézzük. Más definíciókat használ a robotokra az IFR (International Federation of Robotics) és más a RAS (IEEE Robotics and Automation Society). Előbbi különbséget tesz ipari robotok és szerviz robotok között is. [1][4]

Összességében elmondható, hogy általános elfogadott kritérium a robotokkal kapcsolatban az autonóm működés és a programozhatóság, azaz ezek nélkül a kritériumok nélkül nem nevezhető egyetlen eszköz sem robotnak. A kulcsszereplők, azaz a gyártók, a végfelhasználók, az akademikusok, és a kutatók általában egyetértenek abban, hogy a robot eszközöknek az alábbi kritériumok közül legalább négyet teljesíteniük kell: [1][3]

- Mechatronikai rendszer
- Bizonyos szintű beavatkozóképesség
- Bizonyos szintű vezérelhetőség
- Bizonyos szintű programozhatóság
- Bizonyos szintű autonómia

2.2 Robotok csoportosítási lehetőségei

A robotokat különböző módon lehet csoportosítani, a legelterjedtebb a munkamódszer és a személyzet szerinti csoportosítás. [1][7]

Személyzet szerint 2 kategóriát különböztetnek meg:

- **Személyzetet igénylő robotok**, melyek egy munkafolyamathoz emberi beavatkozást igénylenek.
- **Személyzet nélküli robotok**, melyek önállóan, emberi beavatkozás nélkül képesek a rájuk szabott feladatot elvégezni.

A munkamódszer alapján 4 különböző kategóriába sorolhatjuk az eszközöket:

- **Távvezetékre felfüggesztett robotok**, amelyek leggyakrabban a sodronyra vannak felfüggesztve, és arra szolgálnak, hogy a szakszemélyzet diagnosztikai lehetőségeit kiterjesszék. Elsődleges feladatuk a szemrevételezés, de öregedő ACSR sodronyok állapotfelmérésére is használhatóak, valamint alkalmazhatóak sodronyszakadások behatárolására, és acél keresztmetszet mérésére is.



1. ábra Sodronyra felfüggesztett HiBot robot [13]

- **Levegőben közlekedő robotok**, amelyek elsősorban szemrevételezési feladatokat látnak el. Egyes rutinszerű ellenőrzések, valamint állapotfelmérés céljából szoktak helikopteres munkavégzést alkalmazni, amelyen minden esetben speciálisan kiképzett szakszemélyzet tartózkodik. Ezek a robotok azért nagyon keresettek, mert

összeegyeztetve a FAM munkavégzéssel növelik a hálózat rendelkezésre állását és megbízhatóságát. Szintén ebbe a csoportba tartoznak a különféle drónok alkalmazása is, melyek személyzet nélküli munkavégzésre is képesek, ezzel páratlan lehetőséget biztosítva ahhoz, hogy kellően közel repülve a távvezetékhez hajtsák végre feladatukat.



2. ábra Rögzített szárnyú repülő robot [1]

- **Földi támaszpontú robotok**, amelyek arra használhatóak, hogy távolból, általában egy szigetelőkar segítségével avatkozzanak be a távvezetéki munkálatokba, ezáltal olyan feladatok is el lehet végezni, amelyeket pusztán szakszeméllyel nem (elsősorban a személyzetet érő villamos és mechanikai igénybevételek miatt).



3. ábra Földi támaszpontú robot [1]

- **Egyéb**, a másik három kategóriába nem besorolható robotok. Manapság az átviteli hálózaton használható robotok igen dinamikusán fejlődnek,

azonban néhány korlátozó tényező továbbra is nehezíti a különböző konstrukciók megvalósítását. Ilyen például az oszlopokkal, szigetelőkkel, áramvezetőkkel kapcsolatos feladatok, amelyek számos esetben nem valósíthatóak meg földi támaszpontú, vagy levegőben közlekedő robotokkal. Ilyen esetekben speciális robotok, mint például a mászó robotok, a szigetelőtisztító robotok, vagy a szigetelő ellenőrző robotok használata vezethet eredményre.



4. ábra Speciális mászó robot [1]

3 Robotok alkalmazási lehetőségei

Jelenleg igen sokféle típusú robot áll rendelkezésre a szabadvezetéki vonalakkal kapcsolatos munkák elvégzésére. A legtöbbjük szemrevételezési és karbantartási feladatokat lát el, azonban vannak példák felújítási munkákra is. A robotok elsősorban a szakszemélyzet munkáját kiegészítve nyújtanak segítséget a rendelkezésre állás és megbízhatóság növelése érdekében. A robotok használatának előnye akkor nyilvánvaló, ha a munkát nehezen elérhető helyeken kell elvégezni, vagy amikor az időmegtakarítás kritikus tényező. [3][4][6]

3.1 Átviteli hálózat ellenőrzése

A felsővezeték-hálózat ellenőrzése azt a célt szolgálja, hogy valós képet kapjunk a különböző átviteli hálózati elemekről, valamint az esetleges mechanikai és villamos jellegű hibák detektálhassuk, a hiba súlyosságát felderíthessük. Mivel a meghibásodásokat célszerű elkerülni, ezért szükség van megelőző karbantartások, ellenőrzések rendszeres elvégzésére.



5. ábra Ellenőrzésre szoruló távvezetéki elemek [10]

Az átviteli hálózatot éves rendszerességgel ellenőrzik, melynek fő eleme a szemrevételezés, és az infravörös, illetve az ultraibolya képalkotás. Azokat a távvezeték

vonalkat, amelyek közel vannak a tervezett élettartamukhoz, vagy környezeti szempontból kiemelten kezelendő területeken haladnak végig gyakrabban ellenőrzik. Ezeket az ellenőrzéseket végezheti bejárások alkalmával szakszemélyzet, illetve robotok, egyes esetekben pedig akár helikopterek is. Utóbbi használata kiemelten fontos a LIDAR technológia segítségével a vegetáció, vagy különféle geometria anomáliák feltérképezésében. Az alkalmazott technika nagyban függ gazdasági kérdésektől is. [3][5]

3.1.1 Szemrevételezés

Az alábbi elemek szemrevételezésében és diagnosztikájában feltérképezésében segédkezhetnek robotok: [1]

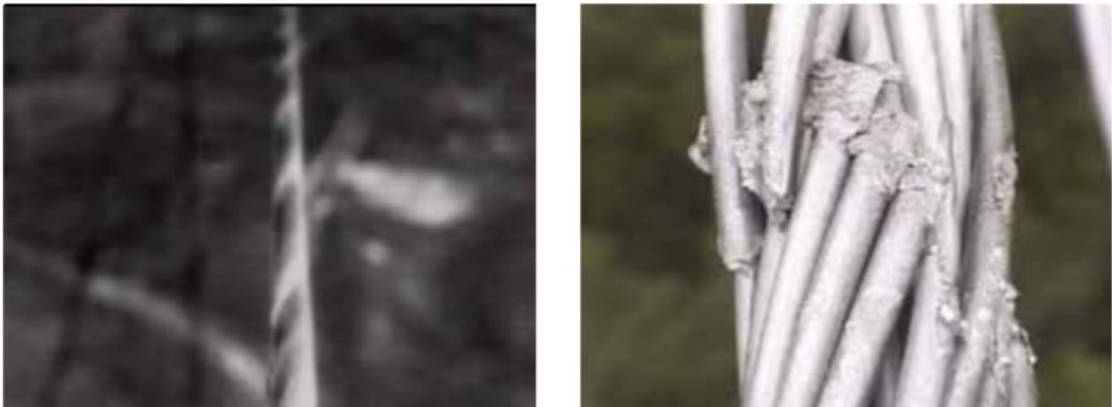
- **Nagyfeszültségű oszlop** (toronyazonosítás, szerkezeti analízis, elmozdulás analízis, korrózió detektálása, veszélyt jelző táblák kint létének ellenőrzése)
- **Sodronyok és védővezetők** (a vezetékek és a sodronyszerelvények állapot ellenőrzése (kapcsok, bilincsek, csatlakozó bilincsek, összekötő vezetékek, távtartók, rezgéscsillapítók, közbenső távtartók, szálkisodródás)).
- **Szigetelők** (általános állapotfelmérés, szigetelőanyagvizsgálata, ívvédő állapota)
- **Távvezetékvonallal** (növényzet, építmények, ültetvények, kereszteződések: telekommunikáció, vasút felmérése, távolságmérés, árvíz, stb)

3.1.2 Infra-, UV-, és lézeres képalkotás

Az infravörös képalkotás (IR) esetén egy robotra felszerelt infrakamera végzi a diagnosztikát. Az infravörös vizsgálatok lehetővé teszik az elektromos és mechanikai problémák korai kimutatását a távvezeték vonal feszültség alatti állapotában.

A levegő ionizációja következtében létrejött koronakisülések vizsgálatát ultraibolya kamerával szokták végezni. A koronakisülés a vezetékek vagy szigetelőanyagok közelében lévő részleges villamos kisülés, amely környezeti változásokat és anyagkárosodást, vagy akár teljesítménycsökkenést is okozhat. A

koronakisülés leggyakoribb forrásai a különböző szennyeződések, szigetelő meghibásodások, illetve a nem megfelelően kivitelezett szerelési munkálatok.



6. ábra IR kamerás és hagyományos kamerás felvétel a sodronyról [8]

A robotra a kamera helyett lézer szkennel is felszerelhető. A szkennel megvilágítja a célt egy lézerrel, és a visszavert fény elemzésével méri a távolságot. A felsővezeték lézeres szkennelését LIDAR technológiával végzik. Ezt a technológiát a robotika a környezet feltérképezésére használja fel. A távvezeték vonal szkennelésének eredménye a geometriai rendellenességek észlelése, a növényzet megfigyelése és távolság- vagy belógás problémák feltárása. [1][3]

3.1.3 Robotok egyéb alkalmazása az ellenőrzési munkákban

A fentebb említett detektálási technikákon kívül egyéb alkalmazási módja is lehet a robotoknak, például különféle mérő, vagy érzékelő szenzorok sodronyra telepítése. [1][3]

- **Villamos ellenállás mérő szenzor** (toldó- és szorítókötések állapotát határozza meg)
- **Árammérő szenzor** (áramérzékelés összekapcsolva egyéb terhelési adatokkal)
- **Korrózió mérő műszer** (keresztmetszetmérés alapján)
- **Hőmérsékletmérő szenzor** (lehet direkt vagy indirekt hőmérsékletmérés)
- **Zajmérő szenzor** (korona jelenség, illetve különféle hibás elemek zajforrásként történő detektálására)

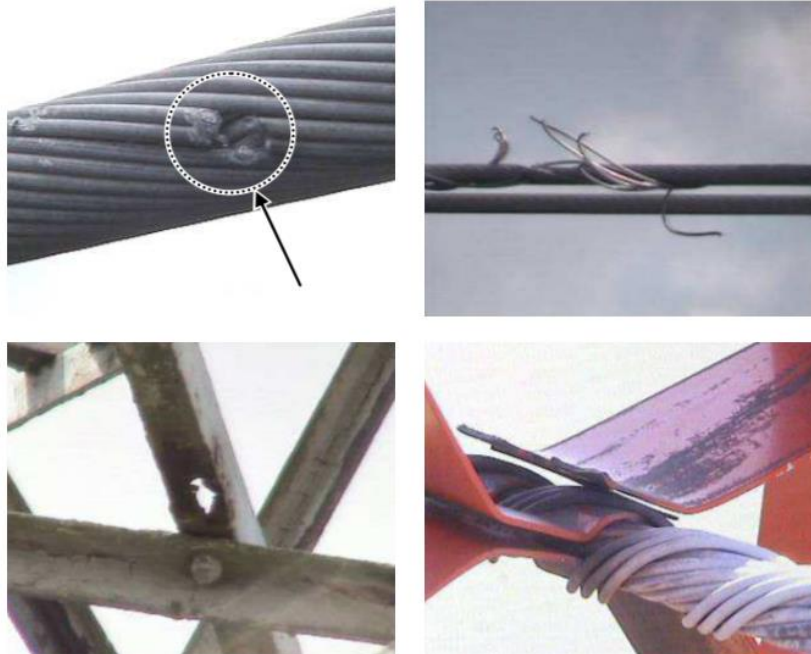
Összességében az mondható el, hogy ezekre az ellenőrzési, detektálási feladatokra elsősorban levegőben közlekedő és sodronyra függesztett robotok a legalkalmasabbak, földi támaszpontú robotokat ilyen célokra ritkán alkalmaznak.

3.2 Karbantartási munkák végzése robotok segítségével

Amellett, hogy a robotoknak komoly potenciálja van a diagnosztikában, megjelentek olyan eszközök is, amelyek segítségével karbantartási munkálatok is kivitelezhetők a szabadvezetéki hálózaton. [1][3]

A teljesség igénye nélkül néhány alkalmazási terület:

- szálszakadás javítása
- toldókötés felhelyezés
- sodronycsere (elsősorban védővezető, de lehet fázisvezető eltávolítása is)
- eszközcsere, eszköztisztítás
- festési munkák



7. ábra Távvezetéki vonalon fellépő meghibásodások [10]

Az ilyen jellegű feladatok közül az egyszerűbbeket bizonyos területeken már robotok végzik, a fejlesztések távlat célja pedig egyértelműen az emberi személyzet robotokkal

történő teljes kiváltása. A karbantartási feladatok elvégzéséhez a robotnak rendkívül hatékonyan kell lennie, nagyszámú érzékelőről kell visszajelzést adnia, és önálló alrendszerrel kell rendelkeznie ahhoz, hogy a kezelő a karbantartási feladatra tudjon összpontosítani. [3]

A nehezen elérhető helyeken, mint például az utak, folyók, vasutak keresztezésénél, valamint a hegyeken áthaladó távvezetékek esetén a távvezérlésű robotok rendkívül hasznosak a karbantartási munkálatoknál. Ezek mellett a többrendszerű távvezetékek középső fázisainak megközelítése is egyszerűbb robotok alkalmazásával. [6][10]

3.2.1 Eszközcserével kapcsolatos karbantartási feladatok

- **Fázisvezető csere**

A fázisvezető cseréjére több okból is szükség lehet. Egyrészt a nagymértékben sérült távvezeték szakaszok esetén, másrészt pedig a megnövekedett átviteli teljesítményre való igény miatt (szélerőmű parkok közelében, ahol megnövekedett energiatermelés és veszteségek csökkentése indokoltá teszi a sodronycserét).



8. ábra Fázisvezetők leszedése a régi oszlopkról robotkarok segítségével [11]

Ezeket főként földi támaszpontú robotkarok végzik, amelyek képesek megragadni, és eltávolítani a sodronyokat a helyükről, így biztosítva

biztonságos környezetet a szakszemélyzet számára. Általában ilyen robotok 500 kV-os feszültség szintig használhatóak.

- **Védővezető csere**

A védővezető cseréjét főként csigasorok segítségével végzik a robotok. Egy lehetséges megvalósítás, hogy a robot végighaladva a sérült védővezetőn behúzza egy úgynevezett tehermentesítő vezetékét a két oszlop közé. Ez a tehermentesítő sérült védővezetővel együtt már képes elbírnivalóan az új védővezető súlyát, azaz a robot a két vezetéken visszafelé haladva képes behúzni a helyére az új védővezetőt.

- **Sérült szigetelőcsere**

A szennyeződések, kisülések, vagy az öregedési folyamatok hatására a szigetelő láncok olyannyira rongálódhatnak, hogy kicserélésük elkerülhetetlen. A szigetelőcsere folyamata többnyire feszültség alatti munkavégzés során valósul meg. Ebben az esetben is alkalmazhatóak robotok, szigetelt robotkarok, amely földi támaszpontú kosaras gépjárművek, vagy daruk segítségével képesek a sérült szigetelőt eltávolítani, és azt egy új elemmel helyettesíteni.

- **Sérült szerkezetek javítása vagy cseréje**

A villamosenergia-ellátás és a megbízhatóság iránti növekvő igények eredményeként az átviteli- és elosztóhálózati engedélyesek dönthetnek nagyobb átviteli kapacitású távvezetékvonallakkal helyettesítik a meglévő rendszereket. Ha ezeket a munkálatokat feszültség alatt kívánják elvégezni, akkor alkalmazhatóak földi támaszpontú robotok, amelyek a sodronyokat tartva ideiglenesen betölthetik az oszlopok szerepét. Ugyanez a helyzet állhat fent akkor is, ha kevés idő áll rendelkezésre egy-egy természeti csapás után az oszlopkarbantartó munkálatokra.

3.2.2 Eszközfelhelyezéssel kapcsolatos karbantartási feladatok

- **Légi figyelmeztető gömb felhelyezése**

A védővezető cseréjénél egyes esetekben problémát okozhat a figyelmeztető gömb jelenléte, hiszen emiatt nem lehet egyszerűen kihúzni a védővezetőt a helyéről. Ennek feloldására használnak olyan sodronyra függesztett

robotokat, melyek képesek megközelíteni, és szétszerelni ezeket a gömböket, ezzel szabaddá téve a védővezető cseréjét.

- **Javító bilincs és javító hüvely felhelyezése**

A villámcsapások egyik következménye lehet a szálak megolvadása, mely nem csak mechanikailag gyengíti a sodronyt, de a villamos tulajdonságokat nézve sem kedvező. A szálkisodródás javítása a földről igen körülményes, ezért robotok segítségével végzik ezt a folyamatot. Elsőként a felküldött robot szemrevételezi a hibát, és információt szolgáltat annak súlyosságáról, valamint a tényleges mechanikai állapotáról. Ezután egy robot megközelíti a sérült részt, és javítóhüvellyel veszi körbe a sodronyt, amely ideiglenes megoldást biztosít a problémára.

3.2.3 Egyéb robotokkal megvalósítható feladatok

- **Sodrony jégtelenítés**

A jegesedés mindig is komoly gondot okozott az üzemeltetők számára. Egyrészt az optikai szálak védővezetőre rakódott jég miatt keletkező pótteher lehúzza a vezetőt, ezáltal a fázis vezetőhöz képesti védőtávolság lecsökken és ív keletkezhet. Másrészt a fázisvezetőkre rakódott jég is okozhat belógás növekedést, ami szintén átütéshez vezethet. A robotok alkalmazása a jégtelenítésben főleg a mechanikai jégtörésre korlátozódik. Az ilyen megvalósításnál a sodronyra függesztett robot végighaladva az oszlopközökön kések segítségével végzi el a jég eltávolítását.



9. ábra A LineROVER robot, amely képes jégteleníteni a sodronyt [15]

- **Szigetelő tisztítás**

A szigetelőn lévő szennyeződések hatására átütés valósulhat meg, ezért a távvezetékek esetében komoly gondot okozhatnak. Az üveg és porcelán szigetelők tisztítása feszültség alatt is megvalósítható különböző spray-k segítségével, de van, ahol helikopterekből permetezik a szigetelőt, míg máshol földi támaszpontú szerkezetekből végzik a tisztítást szakszemélyzet segítségével. További problémát jelent a hidegebb területeken a szigetelők jégszennyezéstől való megtisztítása. Ebben az esetben gőzt permetező robotok vezethetnek eredményre, melyek képesek az így kialakult pótkerhet leolvasztani.

- **Csavarszerelvények meghúzása és rezgéscsillapítók pozicionálása**

Ilyen feladatokra szintén sodronyra függesztett robotokat használnak. Ezekben az esetekben a robotkar végére egy forgó szerszámot telepítenek, így a csavarszerelvények, rezgéscsillapítók meghúzása távolról, szakszemélyzet bevonása nélkül is elvégezhető.

Összességében az mondható el, hogy a karbantartási munkákat minden típusú robotokkal végeznek szemben az átviteli hálózat diagnosztikájával. Habár sokféle karbantartói munkára létezik robottechnológiával megvalósítható alternatíva is, ezek elsősorban néhány, a kutatás-fejlesztésben is részt vevő országokban terjedtek el főleg. A tématerület iránt azonban világszerte kiemelt érdeklődés mutatkozik. [1]

4 Jelenleg alkalmazható robotok

4.1 A távvezetékre felfüggesztett robotok

Az 1. Táblázat tartalmazza a jelenleg létező sodronyra függesztett robotok listáját. Mielőtt ilyen robotot telepítenének a feszültség alatt lévő távvezetékre, minden esetben elvégeznek egy speciális műszaki elemzést a robot sodronyra gyakorolt hatásának megállapítása érdekében, és ezzel párhuzamosan meg kell vizsgálni a megfelelő védőtávolságokat is. [1][8]

1. Táblázat A jelenleg létező sodronyra függesztett robotok

Sodronyra függesztett robotok		
Robot neve	Vállalat	Fejlesztő ország
LineScout	Hydro-Québec	Kanada
LineROVer	Hydro-Québec	Kanada
LineVue™	Kinectrics Inc.	Kanada
Conductor Corrosion Assessment System (CCAS)	Shannon Technology	Kanada
Transmission Inspector (TI)	EPRI	USA
Expliner	HiBot	Japán
AApe	Chinese Academy of Sciences	Kína
Power Line Inspection Robot (PLIR)	University of KwaZulu-Natal	Dél-afrikai Köztársaság
	Transpower	Új-Zéland

A távvezetékre felfüggesztett robotok esetében az egyik kritikus pont a robot távvezetékvonala történő felhelyezése és levétele. Ezt függetlenül attól, hogy a távvezeték feszültség alatt, vagy feszültségmentesített állapotban van, csak kioktatott szakszemélyzet végezheti. A távvezeték vonal konfigurációjától függően a sodronyra felhelyezésre több módszer is kínálkozik, ezeket mindig egy korábbi helyszíni bejárás során határozzák meg a FAM szabályzat betartásának figyelembevételével. [1][7]



10. ábra LineScout robot a sodronyon [10]

Sodronyra függesztett robotokat elsősorban állapotfelmérésre használnak oly módon, hogy IR, UV, vagy hagyományos kamerát helyeznek fel rájuk, azonban megjelentek olyan típusok is, amelyek a karbantartásban is tevékenyen részt vehetnek. Elsősorban karbantartás alatt a olyan sodronnyal kapcsolatos munkálatokra kell gondolni, mint a szálkiszodródás kezelése, a különböző kötések meghúzása, rezgéscsillapítók pozicionálása, és különféle tisztítási feladatok elvégzése. [1][3][4]

4.2 Levegőben közlekedő robotok

Különböző állapotfelmérési és karbantartási munkákhoz bizonyos területeken már eddig is használtak légi járműveket, ilyen magvalósítás például a feszültség alatti munkavégzéshez használt helikopter. Azonban egyre nagyobb az igény a pilóta nélküli levegőben közlekedő robotok, azaz az UAV-ok (Unmanned Aerial Vehicles) alkalmazására. Az UAV-ok jelenleg önállóan vezérelt repülő berendezésként, azaz drónként írhatók le, és főleg katonai alkalmazásuk jelentős. Bár a távvezetékű diagnosztika területén jelenleg kevésbé elterjedtek, így is több száz féle gyakorlati megvalósítás létezik. Mivel a robotok ezen típusa igen népszerű és dinamikus fejlődő, ezért a konkrét megvalósítások helyett egy részletesebb összegzést kívánok bemutatni. [1][12]

A drónok, vagy UAV-k 3 nagy csoportja különíthető el:

- **Fix szárnyú repülő**
- **Helikopterek** (a pilóta nélküli helikopterek tartoznak ide)
- **Multikopterek** (a klasszikus értelemben használt drónok)

Mindamellet, hogy az UAV-ok alkalmazása igen nagy előnnyel jár, főleg a nehezen megközelíthető távvezetési részekenél, számos nehezítő körülmény lassítja az elterjedésüket. A legfontosabb felmerülő problémák az alábbiak:

- A készülék hirtelen ütközés hatására könnyen összetörhet
- A váratlan környezeti változások hatása kivédhetetlen (hirtelen heves szélleökés)
- Személyiségi jogok megsértése
- Légiközlekedési szabályok és szabályzatok
 - Országonként és területenként eltér
 - Repülési engedély, és előzetes repülési terv
 - Folyamatos emberi felügyelet

Ezek a nehezítő körülmények egyrészt gátolják a jelenlegi alkalmazhatósági tartomány kiszélesítését, valamint nehezítik egy egységesített UAV technológia kialakítását. [1]

4.2.1 Fix szárnyú repülő robotok

A rögzített szárnyú repülő robotok egy fő szárnyból és egy vagy két farok szárnyból állnak. A motor általában a főszárny mögött vagy a repülőgép hátsó részén található Y-farok konfigurációkhoz. Nagy hatótávolságú repülések megtétele esetén általában autonóm működés a jellemző, a katonai alkalmazásoknál már bonyolultabb szabályozási körök is előfordulnak.

A rögzített szárnyú repülő robotok szempontjából a fel és leszállási folyamat kritikus. Felszállás esetén egyaránt alkalmaznak fixen telepített, általában földre, vagy járműre telepített indító állásokat, és hosszabb kiterjedésű felszálló pályákat is. Leszállás esetén egyes esetekben repülés közben fogják be az eszközt, míg mások ejtőernyővel, vagy leszállópályával valósítják meg a lassítást. Ezek balesetmentes

megvalósításához nagy pontosságú magasság- és sebességérzékelő szenzorokat kell alkalmazni.



11. ábra Fix szárnyú repülő robot járműre telepített indítóálláson [1]

Ezek a robotok főként diagnosztikai célokra alkalmazhatóak, a repülési sebességük nagyjából a 10-30 m/s-os sebességtartományban mozog a repülési tömegtől függően. Ez a sebesség a legnagyobb hátrányuk is, hiszen rendelkezniük kell egy minimális repülési sebességgel, ami a diagnosztikai képalkotás során okozhat problémákat. Másrészt viszont relatíve nagy távolságokat képesek rövid idő alatt megtenni, átfogó ellenőrző folyamatokra jól használhatóak. Ilyen gyakorlati alkalmazásra példa a LIDAR technológia széleskörű alkalmazása növényzet felmérésekor. [1][3]

4.2.2 Helikopterek

A pilóta nélküli helikopterek elsősorban a pilótával rendelkező változatok alternatívái a távezetési karbantartói munkavégzés során. A helikopter egy mechanikus rendszer, amely két rotorttal, egy fő rotorttal és egy farokrészen elhelyezkedő mellékrotorttal van felszerelve. Elsősorban olyan karbantartási munkákhoz alkalmazzák ezeket a robotokat, amelyek esetén nagyobb tömegű eszközöket, tárgyakat kell a magasba emelni. A helikopterek ellentétben a villamos hajtású multikopterekkel, főként 8-25 LE dízelmotorokkal vannak felszerelve. A repülés során 25-100 kg-os terhet tudnak mozgatni. A reptetett tömeg nagysága több, elsősorban környezeti tényezőtől

függ. A repülési idő általában 1-2 óra, fő előnyük a fix szárnyú repülő robotokkal szemben, hogy nincs minimális repülési sebességük. [1][4]



12. ábra A spanyol Red Electrica rendszerirányító helikopteres robotja [1]

A helikopter robotok két fő alrendszerből állnak, egy földi és egy légi alrendszerből. A légi alrendszerhez tartozik a rotorokat tartalmaz mechanikus rendszer, a GPS-en és különböző pozíciómérésen alapuló repülésirányító rendszer, a kommunikációs rendszer, és a képstabilizáló rendszer, amely kiszűri az eszköz keltette rezgéseket. [1]

A földi alrendszerhez tartozik a helikopter szállítására szolgáló kommunikációs hardver és vezérlő számítógépekkel felszerelt jármű, a helikopter és a kamera navigációját lehetővé tevő kommunikációs rendszer, valamint maga a vezérlő számítógép is.

Működésüket tekintve 2 esetet különböztetünk meg:

- Kézi üzemmód: a helikopter a saját maga által küldött információk felhasználásával működik a vezérlőegység irányításai alapján
- Autonóm üzem: a helikopter önállóan működik a korábban rögzített "útponatok" követésével. Gyakran előfordul, hogy a helikopternek további biztonsági útvonalakat programoznak be a váratlan hatások elkerülése érdekében. Emellett

mágneses mező érzékelőket használnak a feszültség alatt lévő vezetők és a radar érzékelők mint akadályok felderítése érdekében.

A biztonság elsődleges szempont az ilyen robotok működtetésénél. A szállított teher mellett a helikopteren mintegy 20 liter éghető üzemanyag is van, ezért a lakott területen mindenképpen kerülendő a teljesen autonóm irányítás.[4]

A vezérlőszoftverek valós-időben futnak a repülés ideje alatt, és az elsődleges navigációs rendszer még kombinálva van egy ún. DGPS (Differential Global Positioning System) technológiával. A földi vezérlőegység és a robot között a kommunikáció folyamatos, és a közvetlen kapcsolaton túl GPS műholdak is segítik az információterjedést. [10]

A robot helikopterek nagy távolságú hosszú időtartamú légi diagnosztikára alkalmasak, illetve a legnagyobb hasznukat akkor veszik, amikor nagyon jó felbontású képet kell készíteni egy-egy távvezetékrendszeri elemről.

4.2.3 Multikopterek, drónok

Multikopternek neveznek minden olyan repülő robotot, amely 3, vagy annál több rotorral van felszerelve. Attól függően, hogy 4-, 6-, vagy 8 rotorral rendelkezik „quadro-”, „hexa-” vagy „octokopternek” is nevezhetőek, de a multikopter, vagy drón elnevezés is általánosan elterjedt. Ellentétben a helikopter robotokkal vagy a rögzített szárnyú repülőgép robottal, a multikopterek általában nem rendelkeznek mechanikusan mozgó részekkel, leszámítva a rotorokat. Nincs kitüntetett repülési irányuk, minden irányba képesek mozgást végezni. A sebesség- és magasság változtatást a rotorok sebességének változtatásával érik el. Ezek a robotok elektromos meghajtásúak, és a kis méretű, nagy fajlagos teljesítményű akkumulátorok elterjedésével egyre több szenorral szerelhetők fel. A drónok megítélése igen kettős, egyrészt tartanak tőlük (katonai felhasználás, kém drónok), másrészt viszont nagy potenciál rejlik bennük a kisméretű csomagszállításra keresztül a távvezetési diagnosztikáig. [1]

A drónok nem képesek önállóan stabil repülési pozíciót tartani, ezért giroszkópokkal, gyorsulásérzékelőkkel és magnetométerekkel valamint repülésvezérlő áramkörökkel vannak felszerelve. Főként villamos hajtásúak, a dízel változatok kevésbé elterjedtek. Az távvezetési feladatokhoz használható drónok átmérője nagyjából a 0,5 m és 1,5 m-es tartományban mozog, az ennél kisebbek nem képesek elszállítani a szükséges berendezéseket, míg a nagyobbakkal a sodronyok közelében nehéz a

manőverezés. Az irányítás maga rádiófrekvenciás jelekkel és jeladókkal történik, melyet gyakran kiegészítenek GNSS navigációs vezérlőkkel. A fejlettebb változatok ütközésvezérlőket, automatikus felszállási és leszállási vezérlőket, valamint LIDAR rendszert használnak a 3D-s leképezéshez. [1][10]



13. ábra 6 rotorral rendelkező drón, azaz hexakopter [1]

A drónok szállított tömege és repülési ideje fordított viszonyban van egymással. Manapság a repülési idő átlagosan 20 és 60 perc közötti, a reptetett tömeg, amely általában valamilyen kamera, vagy szenzor pedig 0,5 és 3 kg közötti tartományban változhat. A repülési sebesség 3-10 m/s, míg a megtehető távolság átlagosan 4-35 km. Ezeket a paramétereket csökkentheti, ha tartalék akkumulátorral is ellátják az eszközt. Az akkumulátor leggyakrabban Lítium-ionos, melyek teljesítménysűrűség növekedésével a repülési idő is megnövelhető. Az akkumulátorokat általában nem töltik, hanem cserélik, mert ez lényegesen gyorsabb. [1]

A páratartalom és a szél a legnagyobb kihívás a multikopterek számára. Ezek a robotok tipikusan nem vízállóak, bár néhányuk képes ellenállni a magas páratartalomnak, valamint kisebb esőzésnek is. A normál működési hőmérsékleti tartományuk -20°C és 40°C között van. A tervezésnél figyelembe kell venni, hogy az akkumulátor töltöttségi szintje jelentősen csökken hideg környezetben. Emellett az ultraibolya és a napsugárzás az elektronika túlmelegedéséhez vezethet. Továbbá, mivel a repülés során nem lehet elkerülni a vibrációt és a mechanikus ütések, a teljes rendszert ennek megfelelően kell megtervezni. [4][10]

A navigációt tekintve 3 különböző eset különböztethető meg:

- **Manuális mód:** Emberi beavatkozással a földről irányítják a drónt rádiójelek segítségével. Mivel az 50-80 m-es magasságban való pozicionálás nem egyszerű, már ez a navigációs mód is nagy tapasztalatot igényel. A kezelő segítségével lehet ilyen esetekben speciális FPV (first-person-view), azaz belső kameranézet.
- **Fél-automata mód:** Ennek a módszernek az a sajátossága, hogy a fel- és leszállás kivételével emberi beavatkozás nélkül közlekedik a drón az előre felparaméterezett koordináták alapján. A repülés során azonban a kezelő bármikor megszakíthatja a repülési folyamatot.
- **Teljesen autonóm mód:** Ez a navigációs mód a világ legtöbb országában nem engedélyezett, vagy szigorú hatósági engedélyhez kötött. Ekkor a drónt kihelyezik a felszállási pontra, ahonnan teljesen autonóm módon felszáll, és előre beprogramozott paraméterek alapján elvégzi a repülés során rá bízott feladatot, majd emberi segítség nélkül le is száll. Ilyen esetben nincs emberi felügyelet, azonban az útvonal tervezési folyamat és az előzetes vizsgálatok kiemelten fontosak. Ilyen repüléseknél különleges navigációs segédeszközök és vészhelyzetet elhárító eljárások használata is szükséges.

Az ipari drónok tervezése eltér a hobbi eszközök tervezésétől, hiszen a megbízhatóság és biztonság kiemelten fontos. Az összetevők kiválasztásának fő szempontja a robusztusság, illetve külön figyelmet kell fordítani a rotorok oldalsó védelmének. A multikoptert professzionális módon kell megtervezni, tesztelni és üzemeltetni, hiszen a repülésirányításban egyes esetekben vészhelyzeti eljárásokat kell végrehajtani. Ez magában foglalja a biztonságos körülmények közötti automatikus leszállási eljárást, az akkumulátor töltöttségének kezelését és a kommunikációs rendszerek belső hibák okozta zavarát is. A multikoptertől a vezérlő állomáshoz küldött vizsgálati adatok, képek, videoadatok továbbítására megbízható szélessávú kapcsolatokat kell létesíteni. [1]

A drónok tervezésénél további fontos tényezőket kell figyelembe venni. A legfontosabb ilyen tervezési tényező a szabadvezetékek közelébe repülés során az elektromágneses kompatibilitás. Ilyenkor a fedélzeti elektronika, a kommunikációs rendszerek, antennák,

érzékelők és kamerák nagy frekvenciájú és amplitúdójú elektromos és mágneses mezőkkel vannak körülvéve. A koronakisülések szintén olyan nagyfrekvenciájú zavarokat okozhatnak, amelyek RC-jel veszteséghez vezethetnek. Különböző védőelemek, földelési és árnyékolási stratégiák megakadályozhatják a túlfeszültségeket és a belső kisüléseket, és a legtöbb áramköri kártyába ezeket már a tervezés során beépítik. A geometriai kialakításával minimálisra csökkenthetőek a korona kisülés hatásai a vezetőképes burkolatokon, valamint a vezetőanyagok megfelelő mechanikai csatlakoztatása megvédheti a drónok érzékeny elektronikáját. [1]

Az EMC védelem szempontjából az alábbi három vizsgálat elengedhetetlen:

- **Működési frekvenciás elektromos mező tesztelés** (terhelés nélkül, csak nagyfeszültség)
- **Működési frekvenciás mágneses mező tesztelés** (nagyfeszültség nélkül, csak nagyárammal)
- **Tranziens mező tesztelés** (hagyományos villámimpulzus, teljes vagy részleges hullámjelalakkal)



14. ábra Drón EMC teszt közben [14]

A drónok fő alkalmazási területe a képalkotás az átviteli hálózatok esetén. Felszerelhetők rájuk hagyományos kamerák, amelyek a szigetelőkről, és más

távvezetési elemekről szolgáltatnak információt, de ugyanúgy telepíthető rájuk IR és UV kamera is. Az IR képeket főként a szigetelőkről és a sodronyokról készítik, ezek segítségével a szigetelő felületen lévő szennyeződések vagy a huzalok rossz csatlakozásai miatt fellépő „melegpontok” észlelhetők a távvezetéken. Az UV-képek olyan koronakisüléseket tesznek láthatóvá, amelyek sérült sodronyokról vagy a szigetelők mechanikai károsodásából származhatnak.

4.3 Földi támaszpontú robotok

A földi támaszpontú robotika esetében a fő hangsúly a feszültség alatt álló sodronyok rögzítésén és helyzetük fixálásán van, azért, hogy biztosítsák a szakszemélyzet számára a biztonságos munkaterületet a projekt során. A fejlesztések fő iránya az ilyen robotoknál a különféle funkciókat ellátó robotkarok megvalósítása volt. [4]



15. ábra Oszlopsere földi támaszpontú robot segítségével [7]

Földi támaszpontú robotokat főleg feszültség alatti munkavégzés során alkalmaznak, közel 15 éve. A földi támaszpont jelentheti a ténylegesen földön elhelyezett támaszpontot is, de gyakran valamilyen jármű, vagy daru szolgáltatja a robotkar alapját. [3]

Az ilyen típusú robotok, robotkarok a 2. Táblázatban jelzett feladatok elvégzésére alkalmasak. Az alkalmazások során találni az egy sodronyt rögzítő robotkarok mellett olyat is, amely mindhárom fázist képes rögzíteni.

2. Táblázat A földi támaszpontú robotok alkalmazhatósága

Földi támaszpontú robotok alkalmazhatósága	
1	Átviteli hálózati oszlop javítás és csere
2	Szigetelőcsere
3	Fázisvezető csere
4	Szakaszolócsere
5	Távvezetékvonat bővítés
6	Szelektív alállomási javítások a feszültség alatt álló alaperőművekben, beleértve az atomerőműveket is
7	Vészhelyzet elhárító javítások és a vezetékek rögzítése, ha az új struktúra nem áll rendelkezésre időben

A földi támaszpontú robotok fejlesztésében élen jár a japán Kyushu Electric Power vállalat, amely Phase X névvel fejlesztett robotot, illetve a kanadai Quanta Services, mely LineMaster™ robotjával képes megvalósítani igen sokféle átviteli hálózati fejlesztést. De alkalmaztak már földi támaszpontú robotokat az Egyesült Államokban, és a Dél-afrikai Köztársaságban is. [1]

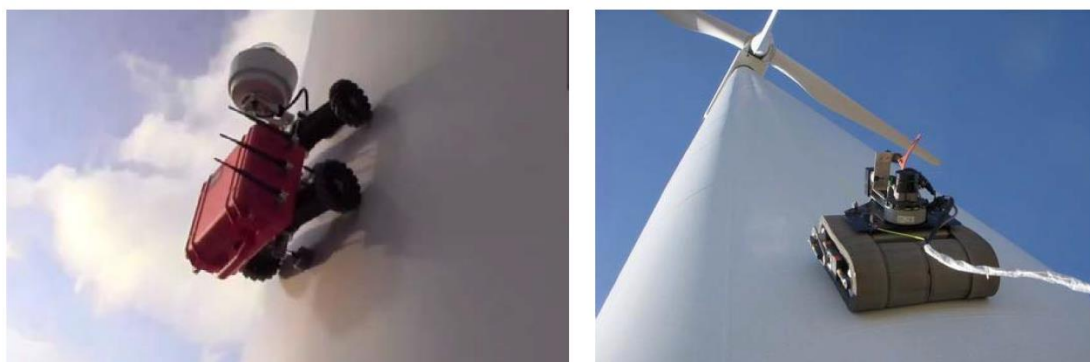
4.4 Speciális robotok

A távvezetéki robotok fejlesztésekor kiderült, hogy nem célravezető olyan robotokat alkotni, amelyek minden típusú feladatot képesek elvégezni. Ezért a tervezők egyes esetekben csak egy főfunkcióval ellátott speciális robotokat hoztak létre. Ezek a robotok nem illeszthetők be a fentebb említett három csoport egyikébe sem, ezért külön szokta őket kezelni a szakirodalom.

Az ilyen speciális robotok két nagy csoportba sorolhatók: [1][6]

- Mászórobotok,
- Szigetelőrobotok

A mászórobotokat főként Észak-amerikai közepesfeszültségű oszlopokra tervezték, amely köré felcsavarodva, kígyómozgással képesek a mászást kivitelezni. Ezekre az eszközökre kamerát szerelve képet kaphatunk magáról az oszlopról, illetve az oszlopkar állapotáról is. Nagyfeszültségű oszlopokon a bonyolult szerkezet miatt ilyen jellegű robotok nem használhatóak. Ebbe a kategóriába sorolhatók azok a mászórobotok is, amelyek szélérőművek oldalán képesek feljutni görgők segítségével. [1][6]



16. ábra Mászórobotok a szélérőmű oldalán [1]

3. Táblázat A jelenleg alkalmazható mászó robotok

Mászórobotok	
Robot neve	Fejlesztő vállalat/személy
CMU snake robot (CMU kígyó robot)	Carnegie Mellon University (CMU)
Metallic Surface Climbing Robot (Fém felületen mászó robot)	Helical Robotics
Tower-climbing Robot (Oszlopmászó robot)	International Climbing Machines
Anchor-Climber	Prof. Shigeo Hirose

A szigetelőrobotokat a '90-es évek közepén kezdték el kifejleszteni, és fő feladatuk elsősorban a szigetelőernyőzet kefékkel történő tisztítása volt. Később olyan

változatok is megjelentek a Távol-Keleten, amelyekkel meg tudták mérni a szigetelők szigetelési ellenállását és feszültségességét. Ezeket aztán különféle, feszültség alatti munkavégzéssel összeegyeztethető eszközök kifejlesztése követett, amelyek feszültségválasz mérésen alapultak. Ezek fejlesztésénél a fő cél az emberi személyzet tehermentesítése és a mérések reprodukálhatóságának biztosítása volt.[1][9]



17. ábra Szigetelőrobotok működés közben [1]

5 A robotok konkrét alkalmazhatósága a térségben

Bár számos elméleti lehetőség és gyakorlati megvalósítás létezik, a robotok konkrét alkalmazásánál figyelembe kell venni a helyi sajátosságokat és a gazdasági szempontokat is.

A robotok csoportjait vizsgálva az mondható el, hogy a földi támaszpontú robotok alkalmazása nem tűnik rentábilisnak a hazai átviteli hálózaton. Hasonló a helyzet a speciális robotokkal is, ráadásul a robotok ezen két csoportja technikai háttere is főleg a tengeren túlon és a Távol-Keleten összpontosul.

Más a helyzet azonban a sodronyra függeszthető robotokkal kapcsolatban. Ezeknek a robotoknak a diagnosztikai kiaknázása komoly potenciált tartalmazhat. Ezekben az esetekben célszerű a munkavégzéseket összekapcsolni a hazai FAM technológiákkal és munkamódszerekkel, és új diagnosztikai, képalkotó folyamatokat meghonosítani. Az IR és UV kamerák alkalmazása is számos új lehetőséget rejt magában. A sodronyra függeszthető robotok méretüknél fogva is kisebb anyagi ráfordítást igényelnek a robusztusabb robotkarokkal szemben, ezáltal jobban beilleszthetők a hazai gyakorlatba.

Szintén nagy potenciál rejlik a levegőben közlekedő robotok hazai alkalmazásában is. Ebben az esetben nem a rögzített szárnyú repülő robotokon, vagy a pilótánélküli helikoptereken van a hangsúly, hanem a jóval kisebb méretű multikopterek, drónok alkalmazásán. Ilyen robotokat nem csak az átviteli hálózaton, de a közép feszültségű elosztó-hálózaton is lehetne alkalmazni. A felhasználás egyik hatékony módja lehet a távvezeték vonal bejárása és a növényzet, egyéb vegetáció, valamint a kérdéses geometriák feltárása. Ezek mind hasznos információt szolgáltathatnak az elvégzendő karbantartási munkákhoz és a különféle nyiladéktisztító eljárásokhoz. A drónok szintén kisméretűek, és bár körültekintő tervezést igényelnek, gazdasági vonatkozásokat tekintve kifizetődő lehet az alkalmazásuk.

Az ilyen robotok hazai alkalmazása minden esetben a hálózati engedélyes bejegyzésével, és megelőző tesztek elvégzésével valósulhat csak meg. Ezen felül minden esetben célravezető lehet gazdasági elemzéseket és éles tesztrepüléseket végezni a konkrét technológiai adaptáció előtt.

6 Konklúzió

A közelmúltban számos robot jelent meg a távvezetési munkák kivitelezéséhez. Ezek az eszközök nem csak a diagnosztikában, de a karbantartási munkák kivitelezésénél is kezdenek elterjedni. Bár vannak sikeres megvalósítások, a robotok esetében nem minden tématerületen áll rendelkezésre kellő üzemi tapasztalat.

A szabadvezetési hálózaton alkalmazott robottechnológiák jövője nagyon ígéretes. A robottechnológiák lehetséges jövőbeni alkalmazási lehetőségeinek csak az ipar igényei és a fantázia szab határt. Lehetséges alkalmazások lehetnek például az autonóm drónok használata különféle diagnosztikai vagy karbantartási feladatokra.

A robot technológia képes lehet forradalmasítani az erőátviteli rendszer kialakítását és karbantartását is. A robot technológia lehetősége kiemelkedő, és egyelőre jórészt kiaknázatlan. A lehetőségek mellett azonban számos hiányosság is észlelhető a gazdasági tanulmányoktól a technikai fejlesztéseken át a szabályozói környezet kiépítéséig. A tématerület jövőjét illetően a legfontosabb, hogy legyen egy jól kialakított jövőkép, ami a további fejlesztések irányát képezheti. [1]

Irodalomjegyzék

- [1] CIGRE Working Group B2.52, *The use of Robotics in Assessment and Maintenance of OHL*, 2017
- [2] A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2014. évi statisztikai adatai https://www.mavir.hu/documents/10258/45985073/VER_Stat_2015_1223MAVIR.pdf/54105c7e-fc2e-439e-9779-5e468a28f5ae (2018.06.21.)
- [3] Toussaint, K., Pouliot, N., Montambault, S.: *Transmission Line Maintenance Robots Capable of Crossing Obstacles: State-of-the-Art Review and Challenges Ahead*, Journal of Field Robotics, Vol. 26, Issue 5, pp. 477–499, 2009.
- [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] Nayerloo, M., Chen, X., Wang, W., Chase, J.G.: *Cable-Climbing Robots for Power Transmission Lines Inspection*, Chapter 4 of Mobile Robots - State of the Art in Land, Sea, Air, and Collaborative Missions, InTechOpen, pp. 63-84, 2009 május.
- [7] Szabó, D.: *Robotok alkalmazási lehetőségei a feszültség alatti munkavégzésben*, Szakdolgozat, 2017
- [8] LineROver: *Remotely Operated Vehicle for Work on Live Overhead Lines* <http://www.hydroquebec.com/innovation/en/pdf/2010G080-40A-LineRover.pdf> (2018.06.21.)
- [9] Aracil, R., Pinto, E., Ferre, M.: *Robots for live-power lines: maintenance and inspection tasks*, 15th Triennial World Congress, Barcelona, 2002
- [10] Pouliot, N., Richard, P., Montambault, S.: *LineScout Technology Opens the Way to Robotic Inspection and Maintenance of High-Voltage Power Lines* <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7062013> (2018.06.21.)
- [11] Elizondo, D., Gentile, T., Candia, H., Bell, G.: *Overview of robotic applications for energized transmission line work — Technologies, field projects and future developments* <http://ieeexplore.ieee.org/document/5624478/> (2018.06.21.)
- [12] Paredes, J., A., Saito, C., Abarca, M., *Study of effects of high-altitude environments on multicopter and fixed-wing UAVs' energy consumption and flight time*, 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 2017

- [13] <http://robohub.org/ozobot-hibot-and-airware-all-get-funding-from-ge-ventures/hibot/> (2018.06.21.)
- [14] 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.
- [15] Zhao, J., Guo, R., Cai, L.: *Improvement of LineROVer: A mobile robot for de-icing of transmission lines*, 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry, 2010