



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

**PAPP JÓZSEF**

# Nagymegbízhatóságú kültéri bioszféra védelmi rendszer rendszertechnikai kialakítása

Témavezető: Dr. Schuster György (Phd.)

**BIZTONSÁGTUDOMÁNYI  
DOKTORI ISKOLA**

Budapest, 2024.10.11.

**Nyilvános védés teljes bizottsága:**

Elnök:

Prof. Em. Dr. Berek Lajos

Titkár:

Dr. Ószi Arnold

Tagok:

Dr. Molnár István Jenő

Prof. Dr. Molnár György

Dr. habil. Farkas Tibor

Bírálok:

Dr. Eigner György

Dr. Szűcs Endre

**Nyilvános védés időpontja:**

2025.

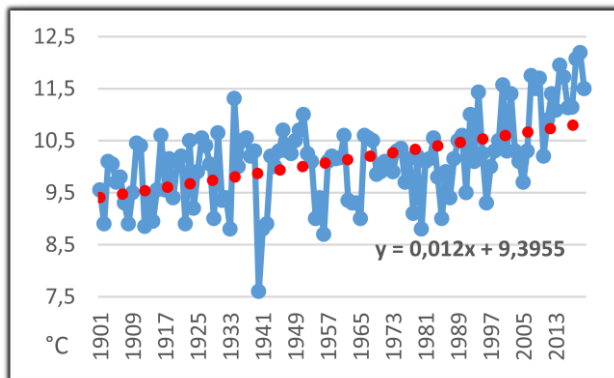
# TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS .....	6
A tudományos probléma megfogalmazása .....	8
Célkitűzés(ek) .....	11
A téma kutatásának hipotézisei.....	13
Kutatási módszerek.....	14
A kutatás körülményei és hatóköre.....	15
1 A BIOSZFÉRA SÉRÜLÉSEK KIALAKULÁSÁNAK ELEMZÉSE ÉS MEGBÍZHATÓSÁGI KÖVETELMÉNYEK MEGFOGALMAZÁSA .....	21
1.1 Illegális és legális fakitermelés .....	21
1.2 Az erdő- és bozóttüzek.....	23
1.3 Megbízhatósági követelmények a bioszféra felügyeleti rendszerekben .....	30
1.4 Részkövetkeztetések .....	34
2 JELENLEG ALKALMAZOTT FELÜGYELETI RENDSZEREK ÉS AZ ÉRTÉKELÉS MÓDSZERE .....	36
2.1 A technika jelenlegi állása .....	36
2.1.1 Preventív jellegű megoldások.....	36
2.1.2 Erdészeti járőrtevékenység .....	37
2.1.3 Megfigyelő tornyokból felügyelő személyzet által végzett felderítés .....	38
2.1.4 Speciális kamerákkal történő megfigyelés .....	39
2.1.5 Műholdas megfigyelés.....	45
2.1.6 Vezeték nélküli érzékelő hálózaton alapuló megfigyelés.....	48
2.2 A felügyeleti rendszer értékelése .....	50
2.2.1 Az értékelés módszere .....	50
2.2.2 A módszer alkalmazási feltételei .....	50
2.2.3 Az állapotér módszer összefoglalása és alkalmazása .....	51
2.2.4 Az értékelés folyamata.....	55
2.3 Részkövetkeztetések .....	57

3	NAGYMEGBÍZHATÓSÁGÚ KÜLTÉRI BIOSZFÉRA VÉDELMI RENDSZER RENDSZERTECHNIKAI KIALAKÍTÁSA .....	60
3.1	Követelmények a rendszer rendszertechikai kialakításához .....	60
3.2	A rendszer architektúra kialakítása .....	62
3.3	A berendezések hálózatának kialakítása és működése.....	68
3.4	A rendszer elemek kialakítása.....	71
3.4.1	A jelzőberendezés eljárásai a jelzés megbízhatóságának növelése érdekében .....	73
3.4.2	A jelzőberendezés felépítése.....	79
3.4.3	Az elméleti teljes kiépítésű jelzőberendezés sematikus felépítése .....	81
3.4.4	Az elméleti teljes kiépítésű jelzőberendezés általános működése .....	82
3.4.5	Jelzőberendezés kialakítási változatok .....	83
3.5	A rendszer telepítése és működése.....	85
3.6	A BVR kialakításának értékelése .....	94
3.7	Részkövetkeztetések .....	97
	ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK.....	98
	Új tudományos eredmények .....	103
	Ajánlások és a kutatási eredmények hasznosítása .....	104
	IRODALOMJEGYZÉK .....	105
	A TÉZISPONTOKHOZ KAPCSOLÓDÓ TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK.....	114
	ÁBRAJEGYZÉK.....	115
	TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	117
	RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK.....	118
	MELLÉKLETEK.....	120
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....	138

## BEVEZETÉS

A földi éghajlat folyamatos változásának, azaz melegedésének és lehűlésének - a különböző scenáriók alapján felállított klíma-modellek szerinti - ciklikussága, illetve jelentősen helyhez köthető ténye, a kutatók által elismert tézis. [1] [2] [3] A kérdés jelenleg az, hogy a 21. században tapasztalt melegedő periódust, vajon az ember okozta-e, vagy az, az emberi tevékenység nélkül is lejátszódná. A válaszok megoszlanak és nincs egyértelmű, minden kétséget kizáró bizonyíték sem arra, hogy az ember okozta a felmelegedés jelenlegi periódusát, de arra sem, hogy nem. Igazából - az értekezés szemszögéből nézve - nem is a globális klímaváltozás létezésének és okainak ténye a fontos, melyet eme disszertációban sem bizonyítani, sem pedig cáfolni nem fogok (ezért tényként fogadom el), hanem a melegedő változás sebességének mértéke. A jelenleg alkalmazott klímamodellek [4] [5] [6] [7] [8] szerint (16. ábra az 1. mellékletben) a melegedés nagyon gyorsan - a korábbi felmelegedési periódusoknál lényegesen gyorsabban zajlik. Ennek szemléltetéséhez tekintsük át Magyarország elmúlt 120 évének

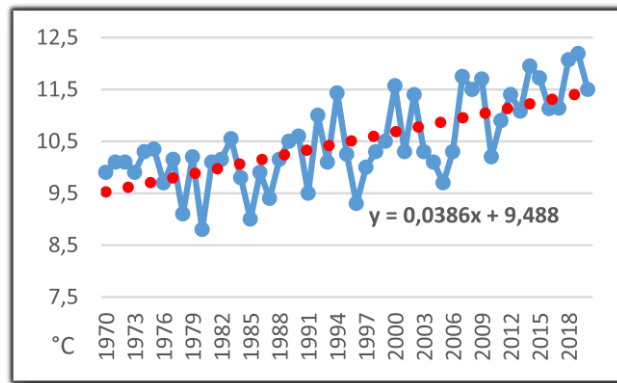


1. ábra: Évi középhőmérséklet alakulása 1901 és 2020 között. [9] [10]

homogenizált és interpolált évi középhőmérséklet adatait! A grafikonokon (1. ábra) látható az éves középhőmérséklet változása az elmúlt 120 évben. A grafikonról leolvasható, hogy az éves középhőmérséklet lassan ugyan, de folyamatosan emelkedik. Ha trendvonalat illesztünk a görbére

annak szignifikancia szintje 0,004% és a relatív illesztési hibája megközelíti a 6%-ot, ami alapján az a biztos megállapítás tehető, hogy évente kb. 0,01 °C-al emelkedik a középhőmérséklet, ami 100 évre vetítve 1 °C-nak felel meg. [9] [10] Miért került említésre akkor, hogy ez az emelkedés gyorsuló trendvonalat követ? Ha azonban 1970-től kezdve 2020-ig ábrázoljuk a görbét (2. ábra) és arra illesztünk trendvonalat, akkor azt

tapasztaljuk, hogy évente  $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ -al emelkedik a középhőmérséklet, ami jól szemlélteti a gyorsuló tendenciát. (A 2. ábrára illesztett trendvonal relatív illesztési hibája:  $6,8\%$ )



2. ábra: Évi középhőmérséklet alakulása 1970 és 2020 között. [9] [10]

Az éghajlat változásának sebessége azért kulcsfontosságú, mert ehhez az emberiségnek és

minden élő egyednek alkalmazkodnia kell itt a földön. Már a jelenleg légkörbe juttatott üvegházhatású gázok következtében elkerülhetetlen a hőmérséklet emelkedése. Ebben az esetben ez azt jelenti, hogy a globális átlaghőmérséklet az iparosodás előtti szinthez képest akár  $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal fog emelkedni (a század végére) - állítják a Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium, a kínai Nankingi Egyetem és a Texasi A&M Egyetem klímakutatói tanulmányukban. [11] [12] A kutatásban figyelembe vették azt is, hogy a bolygó különböző régiói eltérő sebességgel melegednek, és azokon a területeken, amelyeken eddig lassabban tapasztalták a felmelegedést, idővel utolérhetik a többi térséget. A kutatás következtetése szerint, ha sikerülne Ha belátható időn belül sikerülne elérni a zéró szén-dioxid-kibocsátást, akkor a  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os globális felmelegedés elérését évszázadokkal késleltethetjük, ami elegendő időt biztosíthatna az emberiség számára az alkalmazkodáshoz. Ha 100 ezer év alatt kellene alkalmazkodnunk ehhez a néhány Celsius-fokos hőmérséklet-emelkedéshez, az nem jelentene akkora gondot - mert képesek lennénk kezelni, alkalmazkodni, mint ha ugyanezen mértékű emelkedés száz év alatt történne meg, amely már súlyos problémákat okozna. - összegezte az egyik szerző Andrew Dessler. [11] [12] Ugyanis a megváltozott környezeti körülményekhez való alkalmazkodás folyamata lassú, hiszen most nincs lehetőség arra, hogy az optimális életkörülmények eltűnésével kisebb-nagyobb népcsoportok vándoroljanak életteret keresve és újabb és újabb területeket hódítsanak meg. Az ismert földi világ felosztott, így a meglévő korlátok között kell az alkalmazkodás folyamatát biztosítani. Ehhez pedig az kell, hogy a klímaváltozás sebességét lassítsuk, extrém esetben a melegedő és lehűlő periódusokat egyensúlyba hozzuk. Ez utóbbi persze már a tudományos fikció történetekből ismert terraformálás megoldásához vezető út, mely úgy gondolom - itt nem részletezett indokokkal bizonyítottan még nem elérhető megoldás. Azonban mindenki

számára ismert, hogy az éghajlat változás során a globális felmelegedést kiváltó okok egyike a légkörben felhalmozódó mind nagyobb mennyiségű üvegházhatást okozó gáz jelenléte. Félreértés ne essék, ezekre a gázokra bizonyos mértékig szükségünk van, hiszen ezek biztosítják a megfelelő hőmérsékletet itt a földön. [13] [14] Azonban, ha folyamatosan növekvő mértékben vannak jelen a légkörben, akkor a jelenleg is tapasztalt melegedést okozzák.

Ezek alapján tehát egyszerűnek tűnhet a feladat, hiszen csak ki kell vonnunk ezen gáz többletet és máris lassítottuk a felmelegedést, sőt megfelelő megoldásokkal akár vissza is fordíthatjuk ezt a folyamatot. Ehhez azonban olyan élő és élettelen rendszerekre van szükség, amelyek több tízmilliárd tonna üvegházhatást okozó gázt vonnak ki a légkörből, vagy akadályozzák meg a légkörbe jutását. Az egyik ilyen hatalmas élő rendszer a föld közel 30%-át borító [15] erdőségek. Az erdők alapvető életforrásai bolygónknak és az emberiségnek, olyan összetett ökoszisztémák, amelyeket a természeti tényezők és az emberi tevékenységek egyaránt befolyásolnak. Az erdő a Föld egyik legkomplexebb ökológiai rendszere, mely magába foglalja a talajban élő mikroorganizmusokat, a felszíni mohákat, gombákat, lágyszárú és fás növényeket, valamint az ott élő rovarokat, madarakat és vadon élő állatokat. Az erdők kiemelkedő szerepet játszanak a szén-dioxid megkötésében és az oxigéntermelésben, ami létfontosságú a bolygó ökológiai egyensúlya szempontjából. [16] Az erdők – mint összetett ökológiai rendszerek - nemcsak oxigént termelnek és faanyagot biztosítanak, hanem közjóléti szerepük révén rekreációs lehetőségeket is nyújtanak. Emellett alapvető fontosságúak a termőtalaj és a vízkészletek védelmében, valamint a biológiai sokféleség, azaz a biodiverzitás megőrzésében. [17] Így megállapítható, hogy az erdőknek alapvető szerepe van a környezet megőrzésében, a szén és a víz körforgása során keltett egyensúly vonatkozásában, az ökoszisztéma fenntartásában. Ennek megfelelően az erdőkárok közvetlen és közvetett gazdasági és környezeti hatásai egyaránt nagyon jelentősek lehetnek. Az erdővédelem és rajta keresztül a bioszféra védelem feladata ezen negatív hatások (előre)jelzése, elhárítása.

## **A tudományos probléma megfogalmazása**

Ahhoz, hogy több milliárd tonna üvegházhatást okozó gázt tudjunk kivonni a légkörből - a bevezetőben megfogalmazott gondolatmenetet folytatva - a Föld erdővel borított területeit kell erősítenünk (a meglévő erdőségeket megvédeni és újakat telepíteni), hiszen tudjuk, hogy az erdők alapvető szereplői a bioszféra működésének.

Ehhez képest jelenleg mind legális (fakitermelés), mind illegális (falopás) módon pusztítjuk erdőinket és sajnos a természeti katasztrófák - pl. erdőtüzek - sem éppen kedveznek az erdővédelmi folyamatnak. Az erdővédelem kifejezést nagyon sokan, nagyon sokféle, szűkebb-tágabb értelmezésben használják. Jelen disszertáció vonatkozásában az erdővédelem fogalma az alábbi meghatározásban foglalható össze: az erdőben bekövetkező károk előrejelzésével, megelőzésével, megszüntetésével, a káros hatások csökkentésével foglalkozó szintetizáló tudományág. A XXI. századi erdővédelemben a gazdasági és környezeti hatások eredményeit megszüntető technológiákkal szemben egyre inkább növekszik a megelőzés súlya. Ebben az esetben ez azt jelenti, hogy a kedvezőtlen események bekövetkezése előtt lenne célszerű annak bekövetkezési valószínűségét jelezni, mondhatnánk úgy is előre jelezni. Természetesen ez nem minden esetben megvalósítható, így a jelzésnek az esemény bekövetkezését követő legkorábbi pillanatban kell aktiválnia és megfelelő helyre eljutnia, hogy a komolyabb károkozást el lehessen kerülni. [18] [19]

Az elmúlt két évtizedben az erdőtüzek száma és az illegális fakitermelés volumene meredeken emelkedett (17. ábra a 2. mellékletben) [20] és az országok mindent megtettek annak érdekében, hogy ezeket a pusztításokat előre jelezzék, vagy megelőzzék - de sajnos próbálkozásuk csekély eredménnyel járt! Tudnunk kell, hogy a Földön előforduló erdőtüzek 4-6 milliárd tonna széndioxid gázt juttatnak a légkörbe minden évben. [21] Ez az érték megközelítőleg 20%-a, a teljes emberiség által okozott széndioxid mennyiségnek. [22] [23] Gondoljuk el, hogy ha sikerülne a Földön előforduló erdőtüzeket előre jelezni, vagy hatásukat csökkenteni, akkor részben már az éghajlat változás melegedési periódusának lassítását támogatjuk. Ehhez megbízható technológiai megoldásokat lenne célszerű alkalmazni. Olyan rendszereket - élő és élettelen, melyek ezen kívül számos más (katasztrófa)helyzetet is tudnak jelezni, ugyanis, ha az erdőtüzek problémája még nem lenne elég indok egy megbízható kültéri jelzőrendszer (védelmi rendszer) kialakítására és alkalmazására, és a tüzesetekhez hozzávesszük az illegális fakitermelések, falopások káros következményeit, eredményként azt kapjuk, hogy a Földön összességében, minden percben 48 futballpálya méretű erdőterület tűnik el. [24] Mindezen jelenségek azért következhetnek be, mert a jelenleg alkalmazott technológia - az erdővédelmi célra kifejlesztett kamera rendszerektől, a hatósági járőrözésen át, egészen a műholdas megfigyelésig, illetve ha alkalmaznak egyáltalán - által biztosított, a felügyeleti szervekhez befutó - az esemény bekövetkezését jelző - **riasztás túl későn**



**történik meg.** A kulcs információ történetesen itt a **“túl későn történik”**. Olyan megbízható megoldás kell, mely megfelelő időben jelez, úgy hogy a beavatkozás során meg lehessen állítani a környezeti katasztrófát még azelőtt, hogy kiteljesedne. Ehhez azonban megbízható rendszerekre van szükségünk, amelyek nemcsak működés biztosak, hanem jelzés biztosak is. Azaz „nagy megbízhatóságú, intelligens, széleskörű szolgáltatásokat nyújtó, az üzemeltetés biztonságosságát” [25](3.o.), a jelzés megbízhatóságát és „gazdaságosságát segítő rendszerekre van szükség.” [25](3.o.) Jelen esetben a jelzés megbízhatóságának „kérdése a rendszer determináló tényezőjévé, prioritásává vált” [25](3.o.), nemcsak a nagy területű erdők esetében, hanem gyümölcsfák és kultúrnövények termesztésére használt területek esetén is. Ez utóbbi fogalom nagyon fontos, hiszen a sok téves jelzés kezelése többlet ráfordítással jár, mely erőforrásokat von el azokról a területekről, ahol tényleg bekövetkezik a katasztrófa. A jelzés biztos rendszereknek még egy nagyon fontos tulajdonsággal kell rendelkezniük, nevezetesen, hogy a „biztos” jelzés a lehető leghamarabb a megfelelő szolgálatokhoz jusson, különben a beavatkozás már késő lesz és csak nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem állítható meg a környezet pusztulása.

Felelős erdővédelemről tehát akkor beszélhetünk, ha a jelentős károkat okozó hatások megjelenése, bekövetkezése előtt képesek vagyunk azokat jelezni. A legsúlyosabb környezet- és erdővédelmi kihívást az illegális fakitermelések, falopások (pl.: Közép-Kelet Európa) és az erdőtüzek (pl.: Ausztrália, Amerikai Egyesült Államok – United States of America, USA – a továbbiakban USA) jelentik. Korábban definiáltuk az erdővédelem fogalmát, de magát az erdőt, hogy mit is nevezünk erdőnek még nem. Az Európai Unió „Forest Focus” programja szerint az erdő fogalma, melyet erdőtüzek és egyéb bozóttüzek besorolásakor és vizsgálatokor használunk a következő: „10%-nál nagyobb mértékben lombkoronával borított, vagy ennek megfelelő mértékben telepített és 0,5 hektárnál nagyobb kiterjedésű földterület”-ként határozza meg. [26]

Erdőtüzek akárcsak az erdők tulajdonképpen a földön régóta jelen vannak. Azonban a napjainkban tapasztalható - a klímaváltozás felmelegedő periódusának hatására - minden eddiginél több, nagyobb kiterjedésű erdőtüzek pusztítanak. Ez miért is lényeges? Az utóbbi évtizedekben tapasztalt erdőtüzek mennyisége emelkedő tendenciát mutat és a hosszú helyenként száraz aszályos időszakok növelik az erdőtüzek kialakulásának lehetőségét, ezért az ellenük való hatékony védekezés fontos megoldandó probléma. További probléma, hogy az erdőtüzek potenciálisan hozzájárulhatnak új

járványok kialakulásához, mivel a kórokozók és gombák képesek lehetnek túlélni a füstben, és a füsttel terjednek a környezetben. [27] [28] Az Idahói Egyetem kutatói és az USA Betegségellenőrzési Központja kutatása szerint az erdőtüzek füstjében számos kórokozó képes nagy távolságokra eljutni. Egy mérés során 900 különböző baktériumfajt és 100 gombatípust azonosítottak a füstben. Egyelőre nem világos, szükséges-e az erdőtüzek egészségügyi monitorozása, de további kutatásokra lesz szükség a téma tisztázásához – ugyanis elképzelhető, hogy rejtélyes fertőzések jelenhetnek meg olyan területeken, ahol a szakértők nem számítanának rá. Fontos megjegyezni, hogy a kutatók még intenzív erdőtüzek esetén is találtak fertőzőképes mikrobákat a földhöz közel, míg 300 méteres magasságban ezeknek még mindig 60 százaléka volt életképes. A szakértők úgy vélik, hogy a levegőben lévő por és hamu megvédheti ezeket a mikrobákat az ultraibolya sugárzástól, amely különben elpusztítaná őket. [29]

Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának jelentése szerint évente 15 milliárd fa és 24 milliárd tonna termőtalaj tűnik el a bolygóról [30] Az erdők eme pusztítása részben a mezőgazdasági igényekre vezethető vissza, részben pedig az illegális fakitermelésre, mely az utóbbi években hatalmas méreteket öltött.

„A szándékos károkozások hatékony kockázat csökkentésének eléréshez komplex és integrált védelem megvalósítása szükséges. A komplex védelem egymásra épülő összetevőkből álló, piramisszerű rendszer célja a kockázatok előfordulási valószínűségének és az egyes mégis bekövetkező kockázati események káros következményeinek minél nagyobb mértékű csökkentése.” [25](12.o.) Az integrált biztonságtechnikai rendszerekkel pedig olcsóbban, hatékonyabban és egyszerűbben lehet garantálni a felügyelt területek integritását és emellett több járulékos előnyük is van. [24] Az igazi integrált rendszer koncepciója, „amelynél az egyes alrendszerek már nem elkülönülve, hanem valóban integrálva jelennek meg, ma még kevés helyen valósítják meg.” [25](6.o.)

### **Célkitűzés(ek)**

A modern technológiai felügyeleti rendszerek, amelyeket bioszféra felügyeletre használnak (lásd 2. fejezet) általában nagy értékűek és/vagy nagy teljesítményűek, karbantartásuk és a jelzések során elrendelt felvonulások költségesek. Érthető módon ezért, nagy megbízhatósági követelményeket támasztunk velük szemben, hogy hibás, vagy téves működésből ne következzen be a bioszféra és az élettér pusztulása. A téves

működés alatt egyrészt azt értjük, hogy a rendszer számára értelmezhető fizikai jelenségek játszódnak le a környezetben, de hatásukban különböznek azoktól a fizikai, veszélyes folyamatoktól, amelyek jelzését szeretnénk megoldani. Így a jelzésre válaszul elrendelt reakciók (felderítés, beavatkozás, oltási tevékenység) vagy feleslegesek, vagy túl későn kerülnek megvalósításra, mely a bioszféra komoly sérülésével járhat. Másrészt téves működés felléphet alkatrész meghibásodásból, karbantartás hiányból is.

**A disszertáció célkitűzése a kültéri bioszféra védelmi rendszerek rendszerszintű strukturális megoldásainak vizsgálata és meghatározott kritériumok szerint javaslat kidolgozása, egy nagymegbízhatóságú osztott struktúrájú, lokális intelligenciával rendelkező autonóm berendezések laza kapcsolatából álló hálózat, mint beágyazott felügyeleti (védelmi) rendszer rendszertechnikai kialakítására.**

Olyan célspecifikus rendszert célszerű létrehozni, amelyből származó információk – mint az eldőlt és mozgó fák, a tűz keletkezése, az illetéktelen behajtás, illegális fakitermelés kezdete, katasztrófa állapotokhoz vezető környezeti jelenségek kialakulása – a lehető leggyorsabban a felelős szervezethez jutnak. A rendszer kialakítás legfőbb szempontja, hogy képes legyen - a bioszféra sérüléséről, vagy változásáról - információt küldeni – a rendszer bármely elemeinek kiesése, fizikai megsemmisülése esetén is - legalább addig, amíg a helyszínre megérkezik az előerős védelem (Rendőrség, Tűzoltóság, Erdészeti járőr, Katasztrófavédelem). A kültéri védelmi rendszer nagyszámú szenzorokat tartalmazó egységei – melyeket az angolszász szaknyelv „mote”-oknak nevez - autonóm működésűek, önálló tápellátással és önvédelmi mechanizmussal rendelkeznek. Rendszer-topológia tekintetében „ad-hoc mesh” hálózatról beszélhetünk. A hálózati kialakítás lényege, hogy az egyes rendszer-elemek automatikusan szerveződjenek hálózatba úgy, hogy a hálózat terepi viszonyoknak megfelelő biztonsági szinten történő működése garantált legyen akkor is, ha bármely rendszer-elem, vagy rendszer-elemek fizikailag megsemmisülnek. A megmaradt rendszer-elemek továbbra is működtetik a hálózatot és az érzékelőinek mérési értékeit, jelzéseit továbbra is továbbítani tudják a felügyeleti számítógépes rendszerközpontokba, vagy egy előre tárolt mobil telefonszámra. A rendszerben egyenrangú hálózati elemek kommunikálnak egymással és a felügyeleti számítógéppel. A „mote”-ok feladata a környezet elemzése/mérése (érezkelők által), a mért értékek hitelesítése (más rendszer-elem méréseivel, többszöri méréssel, téves mérés szűrési eljárásokkal), szükség esetén jelzés küldése a felügyeleti szerv felé, mely lehet egy felügyeleti számítógép, vagy akár egy mobil telefonszám. A

könnyű telepíthetőség és álcázás érdekében az adatok vezeték nélkül kell, hogy továbbításra kerüljenek.

Az értekezés keretén belül javasolt, a XXI. század technológiai újításait és megoldásait alkalmazó jelzőrendszer használatával, mely az egyszerűség kedvéért Bioszféra Védelmi Rendszer (a továbbiakban BVR) nevet kapta – a jelenleg alkalmazott megoldásokhoz viszonyítva - sokkal korábban kaphatunk - többszörösen ellenőrzött - jelzést. A BVR egy előjelző védelmi és monitoring rendszer, mely paradigmaváltást hozhat az erdőtüzek keletkezésének és a falopások kezdetének jelzésére, a környezet felügyeletére, védelmére. Az értekezésben javasolt – általam készített prototípus szinten bemutatott - rendszer rendszertechnikai kialakításának alapját a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala iparjogvédelemként: HU 4128 lajstromszámon<sup>1</sup> és HU P1300560<sup>2</sup> számon nyilvántartásba vette.

A kutatási cél elérése érdekében az alábbi részcélok megfogalmazása vált szükségessé:

1. A kültéri bioszféra védelmi rendszerek „specifikus biztonságtechnikai összetevőinek, alrendszereinek áttekintő rendszerezése.” [25](8.o.)
2. Ezen rendszerek üzemelésének, és üzemeltetésének leírása, a kockázatok és a hibák elemzése.
3. Osztott intelligenciájú, „ad-hoc mesh” hálózati topológián alapuló kültéri védelmi rendszer kvantitatív és kvalitatív jellemzőinek meghatározása.
4. Osztott intelligenciájú, „ad-hoc mesh” hálózati topológián alapuló kültéri védelmi rendszer optimális kiépítettség esetére vonatkoztatott működési jellemzőinek meghatározása.

A kutatáshoz és a disszertációhoz nyílt forrásból származó információk kerültek felhasználásra. A kutatás 2023. 11. 30-án került lezárásra. (ez egyben a prototípus leszerelésének és működésének a vége)

### **A téma kutatásának hipotézisei**

Előzetes kutatásaim alapján létrehozható és telepíthető olyan osztott struktúrájú, lokális intelligenciával rendelkező autonóm berendezések laza kapcsolatából álló hálózat,

---

<sup>1</sup> Rádiófrekvenciás azonosításon alapuló jelzőberendezés az erdőgazdálkodásban

<sup>2</sup> Bioszféra védelmi rendszer kialakításának módszere

mint beágyazott felügyeleti (védelmi) rendszer az erdővédelemben, mely érzékelői révén lokális információkat képes gyűjteni és továbbítani a hálózaton keresztül és segítségével a szabályozott és illegális fakitermelés, a tüzek keletkezése és terjedése, az illegális behajtás, a kitermelt fa nyomkövetése, a tűz keletkezésének kockázata értékelhető és jelezhető, melyet a rendszer *valós idejű* adatok előállításával biztosít. [18]

A disszertációban az alábbi hipotézisek kerültek megfogalmazásra:

1. Feltételezhető, hogy az erősen centralizált, részben, vagy egészben humán azonosításon alapuló jelenleg az erdővédelemben alkalmazott jelzési/védelmi rendszerek a kialakításuknál fogva későn jelzik a kialakuló katasztrófa helyzetet, így a kárelhárítás csak későbbi fázisban kezdődhet meg.
2. Feltételezhető, hogy a kültéri BVR - a működési megbízhatósági követelményeknek megfelelő - architektúrája az intelligens decentralizált és az intelligens holonikus rendszer kialakítási jellemzőinek uniójaként határozható meg.
3. Feltételezhető, hogy a kültéri BVR elemei által érzékelt különböző tűzjellemzőt együttesen kezelő keresztverifikációs eljárás a jelzés megbízhatóság növelését és a rendszer érzékelésének terület alapúságát eredményezi.
4. Feltételezhető, hogy a kültéri BVR megbízhatóságának elemzésére az állapottér módszerek közül a homogén Markov-modell alkalmazható.

## **Kutatási módszerek**

A kutatás egyik módszere a **“lean”**. A lean lényege az építés – mérés – tanulás ciklikussága, azaz a tanulási szakasz után újra az építés szakaszába lépünk - ez tehát egy folyamatos visszacsatolással rendelkező iterációs fejlesztési módszer. Ahogy a kezdeti koncepció finomításra került, úgy finomodik a teljes üzleti koncepció és a kutatási dokumentáció is - a nagyon alapvetésektől a megalapozott részletekig. [32] [33] Az eredeti ötlet a kísérletek során átalakult és nyerte el eme értekezésben részletezett prototípus formáját, melyet a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatalához benyújtott és elfogadott iparjogvédelem is alátámaszt (lajstromszám: HU4128).

A felkutatott szakirodalmi forrásokból felhasznált gondolatokat és idézeteket az értekezés során szögletes zárójelben arab számozással jelöltem és az értekezés végén a „Irodalomjegyzék” fejezetben soroltam fel. Az idézeteket idézőjelben szedve jeleztem. Az értekezésben szereplő kifejezéseket magyarázó, kiegészítő ismeretanyagot

„lábjegyzet” formájában jelöltem, míg a rövidítések magyarázatát a rövidítésjegyzékben tüntettem fel. A disszertációban szereplő, más forrásban szereplő adatokon nem változtattam, a forrásokat megjelöltem a táblázat-, és képaláírás részben.

**Általános módszerként, a vonatkozó szakirodalmi háttér felkutatása és azonosítása után rendszerező, összehasonlító, értékelő elemzést hajtottam végre, amely a következtetéseim alapját képezi.**

A kutatási célok eléréséhez az alábbi módszerek kerültek alkalmazásra:

1. Tanulmányozásra került a „témával kapcsolatos írott és elektronikus szakirodalom”, a forrásként hasznosított szabványok, ajánlások, esettanulmányok, statisztikai adatok. Ezek feldolgozása, rendszerezése során, az alapvető módszer az adaptáció volt. [25](9.o.)
2. A kültéri védelmi rendszerek specifikus biztonságtechnikai összetevőinek és alrendszerének áttekintő rendszerezéséhez felhasználtam több mint két évtizedes oktatói és kutatói munkám során szerzett elméleti és gyakorlati ismereteimet, alkalmazva a *taxonómia és az összegzés módszereit*.
3. A kutatómunka során feltárt és rendszerezett ismeretek részeredményeit hazai és nemzetközi szakmai versenyeken, kiállításokon, hazai konferenciákon, valamint szaklapokban ismertettem.
4. Az ismert és jelenleg alkalmazott kültéri védelmi rendszerek elemzése és az osztott intelligenciájú, „ad-hoc mesh” hálózati topológián alapuló kültéri védelmi rendszer optimális felépítésének és kiépítettségének kidolgozása során az *analízis és szintézis módszere* került alkalmazásra.
5. A kutatómunka során folyamatos szakmai konzultációkra került sor kültéri védelmi rendszer egyes biztonságtechnikai alrendszer szakterület hazai és nemzetközi művelőivel.

### **A kutatás körülményei és hatóköre**

Ebben a fejezetben a kutatás fontosabb körülményei kerülnek részletezésre, melyek kiindulópontként szolgálnak, és megalapozzák a kutatói szemléletet és megközelítésmódot, irányítva a kutatási folyamatot. Meghatározzák a kutatási kérdéseket, és rögzítik a kutatásban alkalmazható eszközöket, elemzési módszereket és értelmezési eljárásokat. [38]

2004-től foglalkozom hivatásszerűen hagyományos vagyonsvédelmi rendszerek oktatásával és fejlesztésével. Kezdetben már meglévő rendszer-elemekhez fejlesztettem felügyeleti programokat, majd ezt követően bizonyos rendszerek nyújtotta korlátozottság miatt, hardver fejlesztésekkel is kezdtem foglalkozni. 2010-től veszek részt különböző rádió frekvenciás azonosításon (Radio Frequency IDentification, a továbbiakban RFID) alapú projektek kidolgozásában és kifejlesztésében. A kezdeti ötletelések után – melyek eredményeképpen számos mintaoltalmi és szabadalmi bejelentés született (többek között a BVR-ről és az alapját képező berendezésről is: lajstromszám: HU 4128<sup>3</sup>, illetve HU P1300560<sup>4</sup>) - a fejlesztés és kísérletezés végeláthatatlan folyamatában az ötletek alapja megváltozott. A változást egyértelműen az empirikus kísérletek, a szakirodalom kutatása és a piaci igények kényszerítették ki. Ugyanis az ötlet kezdetben csupán egy hipotézis, feltételezés, tehát még nem bizonyított tény. [31] Az ötletet érvényesíteni kell a piaccal – azaz igazolni kell, hogy tényleg szüksége van-e a termékre a piacnak. „Ezek fényében érdemes” elkezdeni a fejlesztéseket, kidolgozni a prototípust. [31]

A BVR koncepciójának és kísérleti prototípusának első igazi validációja 2014-ben történt, melynek során több innovációs versenyen vettem részt. Először a 4. Nemzetközi Számítógéppel támogatott Innovációk versenyén nyertem (kutatótársaimmal) ezüstérmet (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** – a 2. mellékletben), majd az Európai Unió K límovédelmi innovációs<sup>5</sup> versenyén 3. helyezést értem el és lehetőséget kaptam USA-ban történő bemutatkozásra. Az amerikai - kifejezetten kaliforniai<sup>6</sup> - bemutatkozó során számos igény és működési követelmény került beépítésre a prototípusba, melyet a kaliforniai tűzoltó parancsnokság vezetése fogalmazott meg. A 2014-es év második felében a már kiegészített kísérleti prototípussal részt vettem a 8. Nemzetközi Innovációs kiállításon és versenyen Kínában (Kushan), melyen a szakmai zsűri arany éremmel (18. ábra – a 2. mellékletben), illetve a Varsói Innovációs kiállításon és versenyen (A Varsói Műszaki Egyetemen) bronzéremmel (19. ábra – a 2. mellékletben) jutalmazta a rendszert.

A címben megfogalmazott BVR rendszertechnikai kialakítása egy olyan megoldást takar, ami közvetett és közvetlen hatással van a teljes bioszférára. Fontos tehát, hogy pontosan határozzuk meg, hogy az értekezés keretein belül mit is értünk bioszféra alatt. A bioszféra az élet színtere, vagyis a Föld külső burkának azon rétegei, ahol az élet jelen

---

<sup>3</sup> Rádiófrekvenciás azonosításon alapuló jelzőberendezés az erdőgazdálkodásban

<sup>4</sup> Bioszféra védelmi rendszer kialakításának módszere

<sup>5</sup> <https://klimainnovacio.hu/hu/interju/biomon> (letöltés időpontja: 2023.11.30)

<sup>6</sup> <https://www.climate-kic.org/start-ups/biomon/> (letöltés időpontja: 2023.11.30)

van. Ez egy földrajzi tér, amely magában foglalja a Föld kőzetburkának (litoszféra), vízburkának (hidroszféra) és levegőburkának (atmoszféra) azon részeit, ahol biológiai folyamatok zajlanak. A legátfogóbb geofiziológiai nézőpont szerint a bioszféra egy globális ökológiai rendszer, amely az összes élőlényt és azok összes kapcsolatát magában foglalja, beleértve az élettelen környezettel való kölcsönhatásokat is. A bioszféra működésének eredményei közé tartozik a klímaszabályozás, a légkör kémiai összetételének fenntartása, valamint a biogeokémiai ciklusok működtetése. [34] [36] A környezetünk tehát magában foglal élő és élettelen, természetes és mesterséges (ember által létrehozott) elemeket. Ezek az alkotóelemek – mint a talaj, víz, levegő, élővilág, táj és épített környezet – szoros kapcsolatban állnak egymással, kölcsönhatásban működnek. Emiatt, ha valamelyik elemet károsító hatás éri, az az egész környezetre kihat, és végső soron az emberre is negatív hatással van. [36] [37]

A kutatás hatókörének megállapítása az értekezés egyik létfontosságú része, mivel óriási témával állunk szemben ezért, mindenképpen szükséges a pontos határok kijelölése! Ebben az esetben ez azt jelenti, hogy a bioszféra degradációt jelentő események közül ki kell választani azokat, amelyek az értekezés középpontjába kerülnek. A bioszféra degradációja a földi ökoszisztéma általános egészségi állapotának és termelékenységének, valamint a biológiai sokféleségének csökkenésére utal. Ez bekövetkezhet emberi tevékenységek - például szennyezés, erdőirtás, túlhalászás, urbanizáció - valamint természeti okok - például éghajlatváltozás, természeti katasztrófák - következtében. A bioszféra degradációja jelentős negatív hatással lehet a földi ökoszisztéma működésére, beleértve az ökoszisztéma azon képességének csökkenését, hogy alapvető szolgáltatásokat nyújtson, mint a levegő és a víz tisztítása, a tápanyagkörforgás és az éghajlat szabályozása. Ezen túl, értékes erőforrások, többek között élelmiszerek, gyógyszerek és genetikai sokféleség elvesztését is eredményezheti. Hatással lehet az emberi jólétre is, mivel csökkenti az élelmiszer és a tiszta víz elérhetőségét, növeli a természeti katasztrófák és betegségek kockázatát, valamint károsítja a természeti területekhez kapcsolódó társadalmi és kulturális értékeket. Ezért fontos a bioszféra degradációjának megelőzése és a megfelelő környezetvédelmi intézkedések meghozatala. A megelőző intézkedésekkel - rezsim intézkedéssel - minimalizálhatjuk a bioszféra sérülésének kockázatát.

A környezet állapotának folyamatos változása, ezen belül az éghajlati viszonyok gyorsuló melegedése, a földön élő emberek lélekszám növekedése és az urbanizáció



előretörése mind hatással vannak a bioszféra sérülés kockázatának alakulására. Általánosságban elmondható, hogy a kockázat (risk) a károsodást okozó veszélyeztetés, vagy veszély előfordulásának valószínűségi rátája és a károsodás súlyosságának foka. [39]

A veszély (hazard) pedig olyan valóságban bekövetkező helyzet, amely potenciálisan a bioszféra sérülésével járhat! Az értekezés vonatkozásában a fenti általános kockázati fogalmat pontosítani és szűkíteni kell, így jutunk el a környezeti kockázat fogalmához, mely nem más mint: a természeti környezetet, valamint az emberi egészséget és jólétet érintő, egy adott tevékenység, vagy esemény által okozott kár valószínűsége. Ezek a kockázatok sokféle forrásból származhatnak, beleértve az ipari tevékenységeket, a természeti katasztrófákat és az éghajlatváltozást.

Ezeket a kockázatokat a szakirodalom (egy része) az alábbi csoportokra bontja:

- Biotikus (élő),
- Abiotikus (élettelen).

A környezeti tényezők ilyen jellegű megkülönböztetése nem helytálló. Egy adott külső életfeltétel környezeti hatása gyakran nem attól függ, hogy élő-e vagy sem, vagy hogy élőlénytől származik-e. Például a vörös vércse számára egy élő fűzfa odva (biotikus tényező) éppúgy fészkelési hely lehet, mint egy elhalt fa odva (abiotikus tényező), vagy akár egy abiotikus tényező, mint egy sziklaüreg vagy toronyablak. [36] [40] (A környezeti kockázatok részletes felsorolását a 3. melléklet tartalmazza!) Érdemes megjegyezni, hogy számos környezeti kockázat átfedéseket mutat, és több kategóriát is magában foglal. Például egy nagyobb olajszenyezés technológiai és kémiai kockázatnak tekinthető, emellett fizikai, gazdasági és társadalmi-gazdasági kockázatokat is okozhat. [40]

A kiterjedt kockázati források és a bioszférában bekövetkező folyamatok érzékelésére és megfelelő jelzés biztosítására alkalmas megoldások értékelő elemzése és osztályozása a nagy számosságuk miatt túlmutatnak eme kutatás terjedelmén, így elengedhetetlen a hatókör megállapítása, szűkítése. A bioszféra veszélyes események közül azokat lenne célszerű kiválasztani, amelyek elterjedésük okán jelentősen befolyásolják a klimatikus egyensúlyt és közvetlen bekövetkezésükkel hozzájárulnak a földi klíma melegedő periódusához. A bevezetőben felvázolt gondolatmenetet folytatva a degradációk közül kiválasztásra került az erdőtűz és az illegális fakitermelés. Mindkét esemény közvetlen és súlyos hatással van a bioszféra, a klimatikus egyensúlyra, tehát

bekövetkezésük megakadályozása elemi érdeke a társadalomnak. Fontos megjegyezni, hogy mindkét típusú bioszférára veszélyes esemény kiváltó okainak elemzése két kiemelt kategóriába sorolható: ember okozta (kiváltó) tevékenységből, vagy természetes folyamatok negatív együttállása következtében következett be. Eme kategóriákba történő besorolás esetén az illegális fakitermelés sérülésnél nem jelentős a természetes folyamatok értelmezése, hiszen minden esetben ember kell, hogy okozza a fakitermelést (illegális), ilyen irányú műveletre a természet nem feltétlenül képes (Hozzátenném, hogy a fölcsumzamlások, a földrengések és a vulkán kitörések is okozhatnak tömeges fa pusztulást. Míg az első esetben – bizonyos körülmények között – talán megakadályozható, a másik két esetben nem sok lehetőségünk van a bioszféra degradációjának megállítására.) Így ez esetben az adatok feldolgozásánál az - értekezés tekintetében - ember okozta káreseményként került figyelembevételre.

A degradáció típusának kiválasztása mellett fontos hatókör megállapítás, hogy ezen események nem azonos mértékben játszódnak le a földi ökoszisztéma egészét tekintve (például, elég elképzelhetetlen jelenleg, hogy az Antarktiszon erdőtüzek keletkezzenek). Így ebben az értelemben kiválasztott bioszféra degradáció bekövetkezésének jellemző helyei lesznek a vizsgálandó területek. A két degradáció típust külön kezelve elsődlegesen az alábbi területi korlátozások kerülnek bevezetésre. Lásd 4. és 5. melléklet. (Ebben az esetben ez azt jelenti, hogy a mellékletben részletes felsorolásban szereplő országok területei kerülnek a vizsgálat középpontjába.)

Erdőtüzek a világ számos országában előfordulnak, és a tüzek gyakorisága és súlyossága nagymértékben változhat olyan tényezőktől, mint az éghajlat, a növényzet és az emberi tevékenység. Az erdőirtás, az illegális fakitermelés, a szárazság és a tüzek elleni védelem hiánya mind hozzájárulhat az erdőtüzek gyakoriságához és súlyosságához. Az országok közötti különbségek pedig abból adódnak, hogy mely területeken találhatóak az erdők, milyen mértékű az emberi tevékenység és milyen a helyi tűzvédelmi szabályozás. Ezeknek a tényezőknek a figyelembevétele nélkül az erdőtüzek statisztikai adatainak összehasonlítása értelmetlen lenne. (Súlyos problémákat az erdőtűz a 4. számú mellékletben felsorolt országokban jelent!)

Az illegális fakitermelés a világ számos országában jelentős problémát jelent, és számos negatív hatással lehet a környezetre, valamint a helyi közösségekre és

gazdaságokra. (Országok, ahol az illegális fakitermelés jelentős problémát jelent az 5. számú mellékletben kerültek felsorolásra!)

Az elemzéshez - a fentebb meghatározott országokból származó adatok feldolgozása különösen nehéznek bizonyult, mivel különböző szervezetek különböző módon rögzítik az adatokat és teszik közvetlen, vagy közvetett módon elérhetővé. Az erdőtüzek statisztikai adatainak ezen korlátozott hozzáférhetősége és az országonkénti jelentős különbségek az erdőtüzek jelenségének komplexitását tükrözik. Az erdőtüzek esetében ilyen adatokat Magyarország is szolgáltat a 804/94/EK rendelet alapján. Az adatok a közösségi erdőtűz információs rendszerbe kerülnek, melyet még a 2158/1992/EBK tanácsi rendelet hívott életre. [41]

Az erdőtüzek okainak pontos megállapítása nehéz feladat, és gyakran több tényező is hozzájárulhat a tűz kialakulásához. A kiváltó ok meghatározása az esetek nagy részében nehéznek bizonyul, mivel a tűz keletkezésekor, vagy a tűzoltás során sok esetben megsemmisülnek azok a nyomok és bizonyítékok, amelyek segítenének az okok felkutatásában. A vizsgálat általában egy összetett folyamat, amely során az érintett területen dolgozó tűzoltók és szakértők a tűz körülményeit és az érintett területet vizsgálják meg. A cél, hogy az érintett területen dolgozó szakértők megértsék a tűz körülményeit, és azonosítsák az esetleges okokat. A terepi vizsgálatok általában magukban foglalják az érintett terület bejárását, az égési károk és nyomok, például hamu elemzését, fák égési nyomainak megvizsgálását, az érintett területen található eszközök és gépek ellenőrzését, valamint a tűzoltók és szemtanúk meghallgatását. Az ilyen terepi vizsgálatok az okok meghatározásához fontos bizonyítékokat szolgáltatnak, amelyek segítenek a keletkezés pontosabb feltérképezésében. Sajnálatosan ez nem mindig egyszerű, de az okok pontos megállapítása rendkívül fontos a megelőzés és a jövőbeli hasonló események elkerülése érdekében. [42]

Az adatok elemzése során bebizonyosodott, hogy a legteljesebb statisztikát az USA által nyilvánosan is közreadott adatok jelentik (6. számú melléklet), így az erdőtüzek elemzéséhez a korábban említett országok közül csak az USA került az értekezés középpontjába. (Ez a szűkítés piaci alapon is értelmezhető, mivel az USA-ban tett rendszer-bemutató során a Kaliforniai Tűzoltóparancsnokság sok gyakorlati és elméleti ismerettel bővítette a rendszer felépítését és működését.)

# **1 A BIOSZFÉRA SÉRÜLÉSEK KIALAKULÁSÁNAK ELEMZÉSE ÉS MEGBÍZHATÓSÁGI KÖVETELMÉNYEK MEGFOGALMAZÁSA**

Ebben a fejezetben a vizsgálat középpontjában álló sérülések elemzése kerül részletezésre, illetve a sérülések jelzésére alkalmas jövőbeni rendszer követelményeinek megfogalmazása.

Az erdőben kialakuló és terjedő degradáció (ami nem teljesen fordítható sérülésként, bár nagyrészt azt jelenti, de az erdészeti és geológus szakma számára a degradáció kifejezés több egyszerű sérülésnél) precízebb megértéséhez elengedhetetlen az események körülményeihez tartozó információk (részletes) gyűjtése, majd elemzése. A degradáció a természetes rendszerek, társulások és biotópok állapotának romlását jelenti, súlyosabb esetben akár egy adott rendszer teljes pusztulását is, például az erdők tarvágása esetén. A talaj degradációja bekövetkezhet helytelen talajművelés, túlzott öntözés, szikesedés, valamint eróziós vagy deflációs folyamatok hatására is. [36]

## **1.1 Illegális és legális fakitermelés**

Az Illegális fakitermelés az erdei ökoszisztémák és a biológiai sokféleség leromlásához vezet. Akadályozza a gazdasági fejlődést és kihívást jelent a helyi hatóságoknak, hozzájárul a bűnözéshez és a korrupcióhoz. [43]

Az illegális fakitermelők a társadalom szabályait megsértve lopják a faanyagot. Az elkövetésnek két típusa „honosodott” meg. Egyrészt a hagyományos - nevezhetjük úgyis, hogy egyénileg végrehajtott falopás, másrészt a szervezett módon végrehajtott illegális fakitermelés. Azt is mondhatnánk, és ez igaz is, megoldatlan probléma, napról napra tapasztalható bűncselekmény, amelynek hatására értelmetlenül pusztulnak erdeink. Ezek a jogtalan fakitermelések sohasem szakszerűek, habár az elkövetők technikailag jó felszereltek: motoros-fűrészekkel és szállító járművekkel rendelkeznek, de „barbár” módon erdőirtást végeznek. A becslések szerint a világban csak az állami tulajdonú erdőségekből okozott illegális fakitermelés egy év alatt több tíz milliárd dollár kárt okoz, nem beszélve ezeknek a területeknek a helyreállítási költségéről. Pontos adatokat természetesen nehéz megbecsülni az illegális tevékenység jellege miatt, de a fakitermeléseknek jelentős része, eseteként több, mint a fele (különösen a veszélyeztetett régiókban) illegális.

A Nemzetközi Bűnügyi Rendőrség szerint nagy trópusi erdőkkel rendelkező régiókban, mint például az Amazonas, Közép-Afrika és Délkelet-Ázsia területei, az illegális fakitermelés a becslések szerint az összes erdészeti tevékenység 50%-90%-át teszi ki. A Nemzetközi Bűnügyi Rendőrség arról is beszámol, hogy az illegálisan kitermelt faanyag kereskedelme évente 51 és 152 milliárd dollár között mozog. Az USA a világ legnagyobb fatermékgyártója, fogyasztója és a trópusi faanyagok egyik legnagyobb importőre. [43]

Az illegális fakitermelés és az erdőirtás hozzájárulhat a biológiai sokféleség szűküléséhez és a globális felmelegedés gyorsításához. Ezek az illegális tevékenységek aláássák a felelős erdőgazdálkodást, ösztönzik a korrupciót és az adóelkerülést, csökkenti a termelő országok jövedelmét, korlátozza az erdőgazdálkodási befektetéseket a termelő országokban, rontja a fenntartható fejlődést és aláassa a jogállamiságot. Az illegális fakitermelés átható probléma, ami hatalmas károkat okoz az erdőkben, a helyi közösségek és a termelő országok gazdaságában. A falopás, vagy illegális fakitermelés gyakran gyümölcsfás területet érint, ahol az okozott kár többszöröse is lehet a kitermelhető fák értékeinél. Ilyenkor ugyanis évekre kiesik a terület a gyümölcs-termesztésből, mely tovább növeli a kár értékét. Éppen ezért sok esetben a tulajdonosok maguk hajlandóak lennének egy „védelmi” rendszerért rendelkezésre állási díjat fizetni, ahonnan érkező információk alapján jelezhető a falopás kezdete és megelőzhető a károkozás. A „hivatalos” forrásból származó adatok (1. táblázat a 8. mellékletben) óvatos becslésen alapulnak, hiszen a magasan becsült illegális fakitermelés adat kínosan érinthetne egyes intézményeket. A kormányok hatékony jogalkalmazással és jelentős büntetési tételekkel próbálják elejét venni az illegális fakitermelésnek. Az ilyen helyzetekben azonban megnőhet a vesztegetés és a korrupció lehetősége.

Az Európai Unió törvényei tiltják az olyan faanyag behozatalát, amelyet illegálisan termeltek ki, vagy dolgoztak fel. Ennek érdekében az EU létrehozta az erdőre vonatkozó végrehajtási, irányítási és kereskedelmi cselekvési tervét, amely megtiltja az illegális fa forgalomba hozatalát az EU piacán. Ezt úgy érik el, hogy önkéntes partnerségi megállapodásokat kell kötni az EU-n kívüli országokkal, melyek egy ún. Jogszerűség-igazolást és különböző erdőgazdálkodási kötelezettségeket írnak elő fatermékekre vonatkozóan. [43] A környezetvédelmi civil szervezetek viszont hajlamosak riasztó becslési adatokat közzé tenni, ezzel is hangsúlyozva a tudatos erdővédelem és a szigorúbb védelmi intézkedések kialakításának fontosságát!

## 1.2 Az erdő- és bozóttüzek

A Föld biológiai sokféleségének (biodiverzitás<sup>7</sup>) 80%-át az erdők adják, de az éghajlatváltozás miatt komoly veszélynek vannak kitéve. 2017 nyarán Spanyolországban, Olaszországban és Portugáliában a tüzek által felégetett terület nagysága Belgium területének negyedét tette ki. 2018-ban már Svédországot is érintette, ahol az eddigi legrosszabb tűzvészes szezon volt. [44] 2022-ben az USA-ban, Kaliforniában volt az állam egyik legnagyobb erdőtüze (Mosquito fire), mely a Sierra Nevada nyugati lejtőjén ütött ki. A tüzet másfél hónappal később tudták csak teljesen felügyelni és nagyjából 31.000 hektár területet emésztett fel, 78 épületet pusztított el. [45] Ugyanebben az évben Argentínában az elmúlt évtized legnagyobb kiterjedésű erdőtüze pusztított. Több, mint 800.000 hektár erdős terület égetett fel, ami Corrientes (ahol a tűz tombolt) tartomány mintegy tíz százalékának felel meg. [46]

A biológiai sokféleségre vonatkozó 2030-ig szóló stratégiájának részeként az EU javítani tervezi az erdőtüzek kezelését. Az Európai Bizottság létrehozta a Veszélyhelyzeti Reagálási Koordinációs Központot, míg az EU Copernicus Vészhelyzet-kezelési Szolgálat a műholdas képekkel segíti az országokat az erdőtüzek veszélyhelyzeteinek nyomon követésében. Eközben az Európai Erdőtűzvédelmi Információs Rendszer európai adatokat gyűjt az erdőtüzek hatásáról valamennyi tagállamban. [44]

Az évről-évre egyre nagyobb területet felemésztő, a világon különböző területeket sújtó pusztító erdőtűz több száz milliárd dollár kárt okoz. Sajnos az erdőtüzet általában csak akkor észleljük, amikor már nagy területre terjedt ki, így megfékezése nehézkes, sőt néha lehetetlen. Az eredmény: a környezet és a légkör pusztulása és helyrehozhatatlan károsodása. [23] Az ökológia helyrehozhatatlan károsodása mellett hatalmas mennyiségű füst és szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) kerül a légkörbe. Az erdőtüzek egyéb szörnyű következményei közé tartoznak a hosszú távú katasztrofális hatások, mint például a helyi időjárási mintákra gyakorolt hatások, a globális felmelegedés, valamint a ritka növény- és állatfajok kipusztulása. [47]

Előfordul, hogy az erdők távoli, elhagyatott/nem kezelt területein - tele fákkal, száraz és száradó fával, levelekkel stb., amelyek tüzelőanyagként szolgálnak - keletkezik tűz. Ezek a körülmények tökéletes környezetet jelentenek a kezdeti tűz gyulladáshoz, és

---

<sup>7</sup> „A biodiverzitás biológiai sokféleség. Az élet megjelenési formáinak gazdagságát, az élővilág változatosságát és változékonyságát kifejező fogalom.” [37]

üzemanyagként szolgálnak a tűz későbbi szakaszaiban. A tűzgyújtást okozhatja emberi tevékenység, például dohányzás vagy grillezés, de kiváltó oka lehet természetes folyamat is, például a magas hőmérséklet egy forró nyári napon, vagy egy törött üveg, amely kollektív lencseként működik, és a napfényt egy kis pontra fókuszálja egy ideig, ami tűz gyulladáshoz vezet. Ha a begyulladás folyamata megkezdődött, az éghető anyagok könnyen tüzelőanyagot szolgáltathatnak a gyulladási fészekben, amely aztán egyre nagyobb és szélesebb lesz. A gyulladás kezdeti szakaszát általában „felületi tűz” szakasznak is nevezik. Ez aztán a szomszédos fákra átterjedhet, és a tűz lángja egyre magasabbra emelkedik, így „koronatűz” lesz. Ebben a szakaszban a tűz többnyire már ellenőrizhetetlenné válik, és a tájban keletkező kár túlzott mértékűvé válhat, az uralkodó időjárási viszonyoktól és a terepviszonyoktól függően nagyon hosszú ideig is eltarthat. [47] Az erdős területek tűzvédelmi besorolása általában az adott terület tűzveszélyességének és az esetleges tűz megfékezés nehézségének alapján történik. Ez azt jelenti, hogy területi besorolások során figyelembe kell venni az erdős terület növényzeti állapotát, a tűzgyújtásra vonatkozó szabályozásokat, a meteorológiai viszonyokat, az erdőtársulások összetételét és az erdőtüzek korábbi előfordulását. Általában az erdős területek tűzvédelmi besorolását az erdészeti hatóságok vagy a tűzvédelmi szervezetek végzik. (A megkülönböztetett területek száma és a besorolási kritériumok országonként és régióként eltérőek lehetnek.) Az USA-ban az alábbiak szerint osztályozzák az erdőtüzek tűzveszélyességét és megfékezésének nehézségét:

- Kis mértékben veszélyeztetett terület: Az erdőben lévő tűz könnyen ellenőrzés alatt tartható, és kis területre korlátozható.
- Közepes mértékben veszélyeztetett terület: Az erdőben lévő tűz ellenőrzése és korlátozása időbe telhet, és nagyobb méretű tüzek is előfordulhatnak.
- Nagymértékben veszélyeztetett terület: Az erdőben lévő tűz nagyon nehéz ellenőrzés alatt tartani, és jelentős károkat okozhat.
- Nagyon nagymértékben veszélyeztetett terület: Az erdőben lévő tűz rendkívül nehéz ellenőrzés alatt tartani, és jelentős veszélyt jelent a környezetre és az emberekre.

A cél, a tűz minél gyorsabb észlelése, ezért a tűz pontos helymeghatározása és a majdani oltási folyamatban résztvevő egységek korai értesítése létfontosságú. [47] Ennek a követelménynek tud megfelelni jelen értekezésben részletezett rendszer, mely az

erdőtűz nagyon korai felismerésével növeli és biztosítja az esélyt a tűz oltására, mielőtt az irányíthatatlanná válna, vagy jelentős károkat okozna.

Az erdőtüzek kialakulásának okait tekintve lehet emberi tevékenységből (kifejezetten gyakori, az esetek túlnyomó többsége gondatlanságból) származik, de okolható a globális klímaváltozás is, mely nem csak a tűzkárok számát, gyakoriságát növeli, hanem a kialakult tüzek terjedési sebességét is. A forró nyarak, a csapadékhiányos időszakok növekedése, a hőségnapok, a szárazabb éghajlat felé tolódás, mind-mind olyan tényező, amitől a tűzkárok súlyosbodnak. Az oltás nehezebb, emiatt a károsított terület nagyobb, és így a kár is hatványozódik.

Az erdőtüzek gyakoriságának és becslésének előrejelzésére valós időben mért és feldolgozásra eltárolt meteorológiai adatokat korábban is alkalmaztak, melyekből különböző összetételű indexeket készítettek. Ezeket közös nevükön Tűz gyakorisági Indexeknek, vagy Tűz időjárási indexeknek nevezzük. [48] A globális éghajlatváltozás egyik jelentős következménye a földi időjárás (területenként eltérő mértékű) szélsőséges jelenségeinek elszaporodása, azaz egyre többször várható, hogy egyes helyeken az özvényszerű esőzések, felhőszakadások okoznak/okozhatnak kárt, míg más helyeken tartósan csapadékhiányos időszakok fordulnak majd elő. A klímamodellek és az erdőtűz gyakoriság indexek kombinálásával végzett számításokból következtethetünk a jövőbeli eseményekre, amelyek azt mutatják, hogy 0,5 °C-os melegedés, akár 50-70% -al, míg 4 °C-os melegedés esetén akár 200-500 % -al növeli az erdőtüzek gyakoriságát! [49] [50] Fontos megjegyezni, hogy a tűzidőjárási indexeket, vagy tűzveszélyes indexeket mindig a tárgynapot megelőző nap adatai alapján határozzák meg, sosem valós időben. Ezek alapján próbálnak következtetni az aktuális értékekre és a kockázat mértékére. (Részletesebben lásd 3.4.1. fejezet)

Az erdőtűz pusztítása után nemcsak az elégett száraz anyag (fa) elvesztésével kell számolni, hanem az erdő alkotta ökoszféra ideiglenes, vagy akár végleges eltűnésével. Mint az korábban említésre került, az erdőtüzek során hatalmas mennyiségű hamu és CO<sub>2</sub> is kerül a levegőbe. Az erdőtüzek által okozott veszteség mértékét tovább növeli a tűz oltására fordított költség nagysága. [51] Fontos kiemelni, hogy az „időben elhúzódó” oltási folyamat, akár tartósan is lekötetheti az oltásban résztvevők rendelkezésre állását – „a társadalom magasabb potenciális veszélyeztetettségét jelenti” - mivel más eseményekhez, csak korlátozott számban és késve tudnak felvonulni. [51]



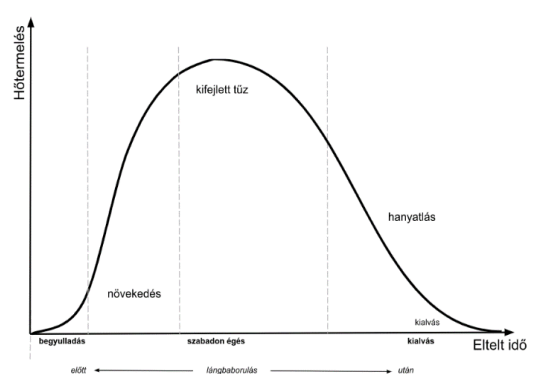
A klimatikus egyensúly (korábbi évek referencia értékeihez viszonyítva) felbomlásával, a mind több esetben kialakuló erdőtüzek elleni küzdelem fókuszába a mai tudomány és technológia lehetőségeit figyelembe véve a védekezés hatékonyságának növelése érdekében (az oltás lehetőség szerinti elkerülése) a megelőzésnek, vagy előrejelzésnek a szerepe kerül. Ez magában foglalhatja a távolsági érzékelésen alapuló tűz detektálást [52] [53] [54], a robbantásos tűzoltást [55] [56], vagy a térinformatikai alapokon nyugvó döntéstámogatás lehetőségét [57] [58]. Ezek közé a módszerek közé tartozik az értekezés középpontjában álló több területet ötvöző, a távolsági érzékelésen és térinformatikai elemeken nyugvó bioszféra védelmi rendszer kidolgozása!

Nézzük meg közelebbről egy feltételezett erdőtűz kialakulását! A vizsgálatban felhasználásra került a tűz kialakulásának és fejlődésének ismert folyamatát [59] megjelenítő ábra és a tűz lefolyásból származtatott ábra az úgynevezett kárérték-idő függvény. [60] Bár a legtöbb irodalomban eme függvények zárttéri tüzek esetére vonatkoznak, bizonyos peremfeltételek bevezetésével nyílt tüzek esetére is alkalmazható! [60]

A vizsgálathoz első közelítésben az alábbi megkötések kerültek bevezetésre:

1. sík területű és végtelen kiterjedésű homogén összetételű erdővel borított terület veszünk alapul, illetve
2. stabil és állandónak tekinthető klimatikus viszonyokat feltételezünk, azaz állandó hőmérsékletet és légáramlást. [60]

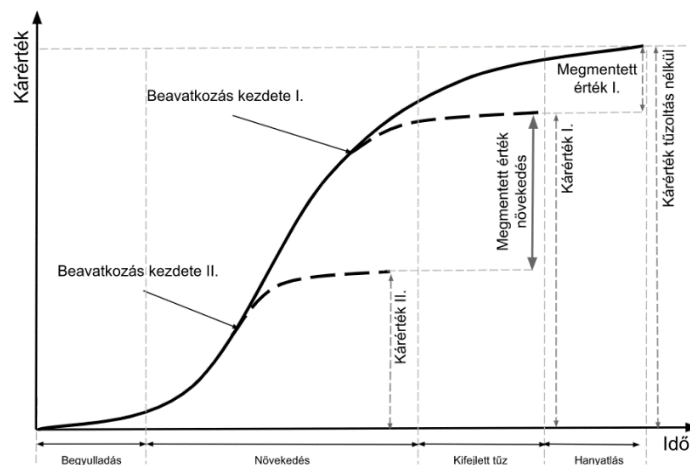
(A későbbiekben érdemes lehet megvizsgálni a lejátszódó folyamatokat peremfeltételek nélkül.) Ha a 3. ábra által szemléltetett folyamatot (tűz fejlődése) nyílt tüzek esetére alkalmazzuk, akkor a begyulladás folyamatot egy erőteljes kiteljesedés (exponenciális) követi, majd az éghető anyag fogyásával, illetve az égési “láncreakció” során csökkenő



3. ábra: A tűz fejlődés szakaszai. [59]

számban keletkező “égési feltételek” miatt, a görbe látható módon ellaposodik, majd a hanyatlásba csap át - ez a kialvás szakasza. Ha az éghető anyag elfogy a tűz önmagától

elalszik. Ezzel szemben a kárérték-idő függvény alakja (4. ábra) a tűz fejlődés első és második szakaszában exponenciálisan emelkedő, míg a kiteljesedés és a hanyatlás szakaszában már inkább négyzetgyök függvényhez hasonlít. Megjegyzendő, hogy a görbe kiindulási pontja az origó, de az égési folyamat lejátszódása során soha nem tér vissza az idő tengelyhez. Ez érthető is, hiszen a legkisebb tűz esetén is keletkezik kár. [60]



4. ábra: Kárérték-idő diagram nyílt tűzre vonatkoztatva. [60] alapján

Az erdőtüzek következtében nemcsak az elégett bioszféra értéke jelenti

a gazdasági kárt, hanem egyes ipari ágazatok, mint a papírgyártás és a parafa termelés is óriási veszteségeket könyvelhet el a katasztrófa miatt. A tüzek sok esetben szállítási útvonalakat vágnak el, otthonokat tesznek tönkre és több száz négyzetkilométernyi területen hagynak csak hamut maguk után. Az erdővédelem feladata tehát a degradáció bekövetkezés kezdetének jelzése, az okok összetevőinek meghatározásával a bekövetkezés várható előrejelzése, a kockázatok csökkentése és a megelőző rezsím intézkedések biztosítása. Mikor lehet, lesz hatékony az erdővédelem? Abban az ideális és általános esetben, ha a megmentett erdő(s) területek értéke meghaladja a védekezés költségeit. Jelen esetben az általános jelző arra az összefüggésre világít rá, hogy lehetnek olyan helyzetek, amikor magasabb védekezési költség-ráfordítással óvunk meg területeket valamilyen kiemelt, esetleg nemzetgazdasági, környezet- és állatvédelmi, vagy hitéleti indokok miatt.

Az 4. ábra-n látható teljes folyamat mellett a megfelelő szervek beavatkozásának hatása is feltüntetésre került. Beavatkozás esetén a görbe emelkedő szakasza megtörik. A teljes folyamat végpontja és a beavatkozás során ábrázolt végpont közötti, az ordinátatengelyen mért Delta kárérték adja a “mentett érték” nagyságát. Több beavatkozási pontot ábrázolva látható, hogy hamarabb elkezdett tevékenység, vagy a megtörő görbe meredekségét jellemző hatékonyabb beavatkozás következménye a kárérték csökkenése, illetve a megmentett érték növekedése. A fentiek alapján egyértelműen megfogalmazható, hogy a beavatkozás (jelen esetben tűzoltás) akkor hatékony, ha a

keletkezést követő legrövidebb idő alatt elkezdődik és optimális - vészhelyzettel arányos - eszközökkel és erőkkel történik, melyek eredményeképpen minél nagyobb a megmentett érték nagysága. Más néven minél kisebb a kárérték. Vizsgáljuk meg a kárérték idő diagrammot közelebbről és fókuszáljunk a görbe azon részére, amelyen a beavatkozások látszanak. A kárérték idő függvény általánosságban exponenciálisan növekvő görbe mely a végtelenbe tart. [60] Vizsgáljuk meg a korábban rögzített peremfeltételek mellett a görbe paramétereit. Egyszerűség kedvéért az egységnyi idő alatt leégett területet szemléltessük körrel. Az „a” esetben állandó tűzterjedési sebességet, mint peremfeltételt alkalmazunk, azaz az időegység alatt leégett terület nagysága:  $A = \pi r^2$ , ahol  $r =$  sugár, mely időben változik, hiszen  $r(t) = vt$ , így

$$A(t) = \pi(vt)^2 = v^2\pi t^2 \quad (1.2.1),$$

ami általánosan írható  $A(t) = pt^2$  alakban. A “b” esetben vegyük el a peremfeltételeket és tegyük fel, hogy a tűz terjedési sebessége változik, de a változás sebessége, azaz a gyorsulás állandó. Ez a feltételezés akkor állhat elő, ha például állandó szélességet és irányt mérünk az adott területen. Ebben az esetben az összefüggés  $r(t) = \frac{a}{2}t^2$  összefüggésre változik, így

$$A(t) = \pi \left(\frac{a}{2}t^2\right)^2 = \frac{a^2\pi}{4}t^4 \quad (1.2.2),$$

ami általánosan  $A(t) = qt^4$  alakban írható. [60]

Ha a közelítő sorozatot folytatjuk, akkor peremfeltételek nélküli tűzterjedést figyelembevéve és a legrosszabb esetet megvizsgálva látható, hogy a kár-érték görbe “ $t^x$ ”alakú, ahol  $x \geq 2$ . Ennek tudatában, ha az “a” esetre vonatkoztatva megállapításokat teszünk a beavatkozás időszerűségére, akkor az többszörösen igaz lesz a peremfeltételek nélküli esetekre is. [60]

A függvény alapján látható, hogy minél nagyobb a tűz terjedési sebessége (gyorsulása), annál nagyobb az egységnyi idő alatt leégett terület nagysága, amely minden pillanattal hatványozottan növekszik! A tűz terjedésének fokozódása növeli az oltáshoz szükséges erők és eszközök mennyiségét. A riasztási és segítségnyújtási terv szerint szükséges a távolabbi egységek ideiglenes összevonása. Az oltásban részt vevő erők saját területük biztonságát is csökkentik ezáltal. [60] [61] A függvény grafikonjáról leolvasható, hogy minél előbb megkezdődik az oltás (beavatkozás), annál nagyobb a

megmentett érték ( $\delta K$ ). Hozzá kell tennem, hogy a “minél előbb” egyértelműen pontosításra szorul, melyet a későbbi fejezetben hivatalos erdészeti szervek által elvégzett empirikus kutatásban kerül említésre.

A tűz terjedése általában nagyon gyors, és intenzitását nagymértékben befolyásolják a környező meteorológiai viszonyok (például a szél hatására a kiszáradás és a tűzterjedés sebessége növekszik). A szél különösen fontos tényező a tűzterjedés szempontjából, mivel a tűz általában háromszögben vagy legyezőformában terjed a szél irányában. Erős, viharos szél esetén a tűz terjedése akár több száz métert is elérhet percenként. A terjedést elősegítik továbbá a gázcsere következtében fellépő röptüzek, melyek újabb tűzfészkek keletkezését okozhatják, növelve ezzel a tűzkár kiterjedését. A terjedést azonban gátolhatják a környező vízfolyások, tavak és szurdokok természetesen a tűz terjedésének intenzitásától függően. [60]

Az egyes országok tűzfelderítési adatközlése nagyon eltérő. A legátfogóbb adatokat az Egyesült Államok tesz nyilvánosan elérhetővé (6. melléklet). Az adatokat látva az a feltételezés tehető, hogy erős helyi hatást mutat az erdőtüzek keletkezésének forrása. Ez ebben az esetben azt jelenti, hogy azokon a területeken, ahol nagy, vagy nagyobb a népsűrűség - a gondatlanság, (mint ember okozta esemény), mint tűz okozó cselekedetből keletkezik. Ezt követi a szándékos gyújtogatás a Mezőgazdasági és a nem megfelelően elvégzett talaj utómunkálatok következtében történő visszagyulladás. [60] A gyéren lakott területeken viszont inkább a természetes módon keletkező tüzek dominálnak, ezek között első helyen a villámcsapás áll. Feltehető tehát a kérdés, vajon az ember okozta tüzesetekben felfedezhető-e egyértelmű és jelentős kapcsolat a tüzesetek száma és az adott területen élő emberek lélekszáma között, azaz a jellemző keletkezési okok várható gyakorisága eltér-e a véletlen szintjétől? A megnyugtató válaszhoz  $\chi^2$  próbát szükséges végezni a tekintetben, hogy valós kapcsolat van-e az ember által okozott tűz és a népsűrűség között. A próba alapja a tűz keletkezésének két kategoriális változója (természetes, vagy emberi tevékenység). A próba alkalmazása során kiderül, hogy a nagyobb népsűrűség mennyire valószínűsíti jól a tüzek keletkezésének okát! A khi négyzet próba alkalmazhatóságának két alapvető feltétele van:

1. A vizsgálat alá vont változók függetlensége
2. Az elvárt gyakoriság a kontingencia táblázat minden cellájában 5 felett van

[62]

A feltételek fennállásának alapja könnyen bizonyítható, hiszen a terület népsűrűsége és a tűz jelenléte egymástól független változó, míg az 6. melléklet táblázatában összegyűjtött adatok alapján kijelenthető, hogy mint kontingencia táblázat a cellák értéke 5 felett van, az adatok számossága nagy. [62]

A khi négyzet próba alkalmazásának első lépéseként nullhipotézisként fogadjuk el hogy: *a magasabb népsűrűségű területeken nem az ember által okozott tűz számossága nagyobb*, melynek így statisztikai igazolására kerül sor. Az alternatív hipotézis a nullhipotézis ellentéte, tehát hogy van szignifikáns kapcsolat a népsűrűség és a tűz keletkezésének oka között. A második lépésben meghatározzuk a szignifikancia szintet, mely a nullhipotézis elutasításának valószínűsége, ha igaz, hogy a khi-négyzet eloszlás p-értéke kisebb, mint a szignifikancia szint. A bizonyításhoz a szignifikancia szint értéke 0,05. [62] Az elemzés eredményei a következők: korrelációs együttható = 0,329; p-érték = 0,0223. Tekintettel arra, hogy a p-érték kisebb, mint a szokásos 0,05-ös szignifikanciaszint, elutasítjuk a nullhipotézist. Ez azt sugallja, hogy statisztikailag szignifikáns kapcsolat van a népsűrűség és az emberi tevékenység által okozott tüzek aránya között, bár ennek a kapcsolatnak az erőssége gyenge (ahogyan azt a korrelációs együttható jelzi). Így óvatosan feltételezhetjük, hogy a magasabb népsűrűség magasabb arányú emberi tevékenység által okozott tüzekkel járhat. Azonban a kapcsolat nem erős.

### **1.3 Megbízhatósági követelmények a bioszféra felügyeleti rendszerekben**

Egy felügyeleti - különösképpen egy kültéri vegetációt, illetve egyes élő és élettelen objektumokat felügyelő, a környezetét monitorozni képes - esetleg mesterséges intelligenciával rendelkező rendszerrel szemben támasztott megbízhatósági igényeket az üzemeltetési előírások, a működés jellege, a környezeti viszonyok és a működés időviszonyai határozzák meg. [63]

A BVR tervezésének, létrehozásának filozófiája a megbízhatóság (**R**eliability), a rendelkezésre állás (**A**vailability), karbantarthatóság (**M**aintainability) és biztonság (jelen esetben **S**ecurity) szempontjainak együttes és kölcsönös figyelembevételén és kezelésén alapul. Ezek az ismert - RAMS betűkkel jelzett szempontok a biztonságkritikus rendszerek fejlesztésében és a bioszféra védelmi rendszerek tervezése és fejlesztése során

az IEC61508 szabványból származó MSZ EN 50136 szabvány szerinti meghatározása alapján kerül alkalmazásra, melyek a következők: [39]

- **Rendelkezésre álláson**, vagy üzemképességen: „egy gyártmány, vagy termék azon tulajdonságát értjük, hogy adott körülmények között, adott időintervallumban, vagy adott időszakon belül, olyan állapotban van, hogy meghatározott feladatát teljesíti, feltételezve, hogy a megkövetelt külső források rendelkezésre állnak.” [39](10.o.)
- **Karbantarthatóság**: „annak a valószínűsége, hogy egy megadott alkalmazási feltételekkel üzemelő egységen lebonyolított aktív karbantartási művelet meghatározott időszakon belül elvégezhető, ha a karbantartási művelet megadott feltételek mellett zajlik le, illetve meghatározott eljárásokat alkalmaz és meghatározott erőforrásokat használ fel.” [39](11.o.)
- **Megbízhatóság**: „annak valószínűsége, hogy egy termék előírt funkcióját adott feltételek között, adott (t1, t2) időszakban ellátja.” [39](12.o.)
- **Biztonság**: „Az elfogadhatatlan károsodási kockázatoktól való mentesség.” [39](12.o.)

„Az RAMS elemek, tehát a megbízhatóság, rendelkezésre állás (üzemképesség), karbantarthatóság és a biztonság” a BVR vonatkozásában kölcsönhatásban vannak egymással. „A biztonság és a rendelkezésre állás abban az értelemben van egymással kölcsönhatásban, hogy bármelyikük hiányossága, illetve a két tényező közötti ellentét nem megfelelő kezelése meggátolhatja egy megbízható rendszer létrehozását.” (20. ábra – a 7. számú mellékletben) [39](15.o.)

Az üzem közbeni biztonság és rendelkezésre állás csak úgy valósíthatók meg, ha teljesítésre kerül az összes megbízhatósági és karbantarthatósági követelmény, valamint ellenőrzés alatt tartható a hosszútávú, folyamatos karbantartási és üzemeltetési tevékenység, illetve a rendszer környezete. „Az rendelkezésre állás műszaki koncepciója” a következő információk ismeretén alapul (megbízhatósági szempontból): [39]

- A meghatározott alkalmazásban és környezetben a rendszer összes meghibásodási módja.
- Bármely hiba előfordulásának valószínűsége, vagy előfordulásának gyakorisága.
- A rendszer funkcionalitását befolyásoló bármely hiba hatása. [63]

„Egy meghatározott környezet és alkalmazás mellett üzemelő rendszerben fellépő hibák hatással vannak a rendszer viselkedésére. Adott alkalmazás esetén valamennyi meghibásodás rontja a rendszer megbízhatóságát, míg a rendszer biztonságát csak néhány konkrét hiba befolyásolja. A környezet is lehet és hatással is van egyrészt a rendszer funkcionalitására, másfelől pedig a terepi alkalmazás a jelzés biztonságra. (21. ábra – a 7. mellékletben) Egy megbízható bioszféra védelmi rendszer csak az RAMS-elemek kölcsönhatásának figyelembevételével, valamint a rendszer optimális RAMS-összetétel előírásával és megvalósításával alakítható ki.” [39](16.o.)

Egy bioszféra védelmi rendszer RAMS-a háromféle módon befolyásolható:

- A rendszer belső hiba forrásai útján a rendszer életciklusának bármely fázisában (Rendszer feltételek),
- A hiba forrásának az üzemben lévő rendszerre gyakorolt hatása útján,
- Valamint a hibaforrások karbantartás alatt lévő rendszerre gyakorolt hatása útján (karbantartási feltételek).

Ezek a hibaforrások kölcsönösen hatnak egymásra. (21. ábra – a 7. mellékletben) „Megbízható rendszerek kialakításához azonosítani kell mindazokat a tényezőket, amelyek valamilyen módon a rendszer RAMS-át befolyásolhatják. Ezen tényezők hatását ki kell értékelni és a rendszer teljesítmény legkedvezőbb kialakítása érdekében e hatások okára a rendszer életciklusa során megfelelő szabályozás alkalmazásával figyelmet kell fordítani.” [39](17.o.) Az emberi tényezők elemzése, tekintettel a rendszer RAMS-ra gyakorolt hatásukra, elválaszthatatlan rész az értekezésben rögzített rendszerszemléletű megközelítéstől! Az emberi tényezők úgy határozhatók meg, mint az emberi sajátosságok, elvárások és szokások rendszerre gyakorolt hatásai. Ezek a tényezők egyaránt magukba foglalnak anatómiai, fiziológiai és pszichológiai szempontokat. Az emberi tényezőkkel kapcsolatos fogalmak lehetővé teszik, hogy az emberek munkájukat eredményesen és hatékonyan végezhessék, megkülönböztetett figyelemmel az olyan emberi szükségletekre, mint az egészség, a biztonság és a munkával való elégedettség. [39]

„A RAMS-követelmények teljesítéséhez alkalmazott eszközök azon a koncepción alapulnak, hogy megelőző intézkedéseket teszünk az életciklus szakaszai során valamely hiba eredményeként fellépő kár bekövetkezési lehetőségének lehető legkisebbre csökkentése érdekében. A megelőző intézkedések a következő kombinációjából állnak:

- Megelőzés a kár bekövetkezésének csökkentésével.
- Védelem és kár következményeinek súlyosságának csökkentésével kapcsolatban.” [39](22.o.)

Megjegyzem, hogy a fenti gondolatmenetet elsősorban a biztonságkritikus rendszerekre teszi érvényessé a szabvány. Elmondható azonban, hogy minden olyan autonóm védelmi rendszerre, mely beágyazott elemek hálózatán alapul érvényessé tehető a RAMS-elemek figyelembevétele. Fontos kihangsúlyozni, hogy a különböző RAMS-elemekből levezetett mutatók értékei alapján a bioszféra felügyeleti rendszerek nem minősülnek a legmagasabb biztonságintegritási szintű rendszerek közé. [39]

A megbízhatóság nem választható el a karbantarthatóság, a biztonság és rendelkezésre állás fogalmától. (22. ábra – a 7. mellékletben) Ezek együttesen jellemzik a rendszer minőségét. [63]

A fent említett gondolatmenetet folytatva látható tehát, hogy a megbízhatóságot alapvetően befolyásolja a rendszer és a rendszer elemek tervezési filozófiája, folyamata. A megbízhatóság minimálisan elvárható szintjét - a bioszféra felügyeleti rendszerek vonatkozásában - az üzemeltetési, vagy üzemelési feltételek, a rendszer feltételek és a karbantartási előírások alapján lehet meghatározni. (22. ábra – a 7. mellékletben) Ezek alapján a különféle tervezési koncepciójú és hiba esetén más-más működésű rendszerek az alábbi csoportokba sorolhatóak:

- **„Hiba biztos”** rendszerek: ebbe a csoportba, olyan rendszerek tartoznak, melyek folyamatos – megfelelő biztonságintegritási szinten történő - működését minden körülmények között biztosítani kell, mert ennek hiányában feladatvégzésük ellenőrizhetetlenné válik és emberekre, anyagi javakra is veszélyes állapotba kerülhetnek. (pl. Vasúti biztosítóberendezés.) Ez azt jelenti, hogy a rendszer meghibásodása esetén - vagy ha a rendszer kimenetén hibás információ jelenik meg - egy biztonságos az emberekre és anyagi javakra veszélytelen állapotba kerülnek.
- **„Hiba esetén is működő”** rendszer esetében a felügyeleti rendszerének működései hibája esetén is tovább működik. (liftek, gázérzékelők). Ebbe a csoportba tartoznak azon rendszerek, amelyek meghibásodása miatti leállás, vagy gyakori téves jelzések miatti készenléti állapot nagy veszteséggel, esetenként az élettér pusztulásával járna. Így „ezek a folyamatok azt igénylik” [64] a felügyeleti



rendszerből, hogy egyes hálózati elemek meghibásodása ne okozza a teljes rendszer leállását, azaz képes legyen tovább működtetni a megmaradt elemeket. Ilyen rendszerek esetén a karbantartási, javítási műveletek elvégzésekor nem kell leállítani a teljes rendszert.

- **„Hiba esetén biztonságos”** rendszer esetében a rendszerhiba során is fenntartja a maximális biztonságot a rendszer. (labor biztonsági ajtók, széfek ajtaja)
- **„Hiba esetén is működő”** rendszer esetében a rendszer működése folyamatos a hiba esetén is, így a rendszerhiba nem okozhat kárt. (robotpilóta nem vezeti rossz irányba a gépet)
- **„Hiba tűró”** rendszer esetében a rendszerben lévő alrendszerek meghibásodása egy meleg tartalék illetve párhuzamosan működő alrendszer működését váltja ki. (nukleáris reaktor irányító- és felügyeleti rendszere)” [65]

A hiba biztos, a hiba tűró, a hiba esetén biztonságos és a hiba esetén működő rendszerekkel „szemben támasztott speciális előírások és követelmények, illetve megvalósíthatóságuk lehetőségei nem tartoznak az értekezés célkitűzéseibe, ezért ez a témakör itt lezárásra kerül.” [64]

Az ismert hibákkal működő bioszféra felügyeleti rendszereket vizsgálva megállapítható, hogy erősen központosított rendszerek felhasználása miatt az elosztott struktúrában és lokális intelligenciájú, autonóm, laza kapcsolatban lévő berendezésekből alkotott hálózat, illetve rendszer által nyújtott lehetőségeket nem használják ki teljes mértékben. „Az információs és kommunikációs technológiák fejlődésével lehetővé válik felhasználóbarát, ember-központú, az emberi tevékenységeket, interakciókat támogató, kiszolgáló környezet kialakítása. Az embert körülvevő objektumokra beépülő (‘‘embedded’’) intelligens, intuitív interfészek segítségével a környezet képes érzékelni és felismerni a különböző emberek jelenlétét, szándékait, igényeiket és reagálni azokra. Mindezt nem feltűnő, többnyire láthatatlan eszközökkel valósítjuk meg.” [25](52.o)

#### **1.4 Részkövetkeztetések**

Az illegális fakitermelés komoly károkat okoz az erdei ökoszisztémákban, hozzájárul a biológiai sokféleség csökkenéséhez, akadályozza a gazdasági fejlődést, és a helyi hatóságok számára is jelentős kihívást jelent. A hagyományos, egyéni falopás mellett a szervezett illegális fakitermelés is súlyos problémát okoz, mindkettő károsítja az erdőket

és hozzájárul a korrupció terjedéséhez. Az ilyen tevékenységek hatalmas anyagi és ökológiai veszteségeket eredményeznek, ami miatt sürgős megoldásokra van szükség.

A károkozás észlelésének jelenlegi rendszere nagymértékben központosított, és az emberi megfigyelésre támaszkodik. Ez a módszer gyakran késlelteti a detektálást, így az illegális fakitermelés jelentős károkat okozhat, mielőtt beavatkoznának.

Az évente egyre nagyobb területet pusztító erdőtüzek világszerte több száz milliárd dolláros károkat okoznak. Ezeket a tüzeket gyakran csak akkor észleljük, amikor már nagy területeket érintenek, ami megnehezíti vagy akár lehetetlenné teszi az oltásukat. Az eredmény súlyos környezeti és légköri károsodás, helyrehozhatatlan ökológiai következményekkel. Az erdőtüzek hatalmas mennyiségű szén-dioxidot és füstöt juttatnak a légkörbe, hosszú távú katasztrofális hatásokat okozva, mint például a helyi időjárási minták megváltozása, a globális felmelegedés gyorsulása és ritka növény- és állatfajok kihalása.

A részletezett kárérték-görbéből egyértelműen megállapítható, hogy ha a jelzés túl későn jut el a beavatkozást biztosító szervekhez, akkor a késői beavatkozás következménye, hogy maga az elhárítás hatásfoka gyengébb, a kárérték pedig nagyobb. [60] Statisztikai (USA) adatok elemzésével, azt a megállapítást tehetjük, hogy részben igazolható, hogy az ember által okozott erdőtüzek számossága és az adott lokalizációt jellemző népsűrűség között korreláció áll fent. Az elemzés azonban rámutatott arra is, hogy ez a kapcsolat gyenge, így nem jelenthető ki magabiztosan, hogy a nagyobb népsűrűségű területeken több lenne az ember által okozott tüzeset.

Az 1.3 fejezetben felsorolt igények alapján a bioszféra védelem területén alkalmazott felügyeleti rendszernek működésbiztosnak kell lennie, ami elsősorban azt jelenti, hogy két meghibásodás között hosszú idő elteltével kalkulálunk, ami nagy MTBF (Hibák közötti eltelt átlagos idő – Mean Time Between Failure, továbbiakban MTBF) értékkel érhető el. Ezeket a rendszereket működésbiztos felügyeleti rendszereknek is nevezzük [64] Ez alapján megfogalmazható a BVR rendszertechnikai definíciója! [64]

**A BVR üzemelésében nem a meghibásodás megakadályozása a cél, hanem a meghibásodás hatásának és a téves jelzések által kiváltott szükségtelen események kiküszöbölése, ami a működésbiztos felügyeleti rendszerek definíciója, melyek rendszertechnikai szempontból hiba esetén is működnek.**

## **2 JELENLEG ALKALMAZOTT FELÜGYELETI RENDSZEREK ÉS AZ ÉRTÉKELÉS MÓDSZERE**

Ebben a fejezetben a jelenleg alkalmazott felügyeleti rendszerek és megoldások/eljárások, mint a technológia jelenlegi állása, illetve a rendszerek értékelésének módja kerül röviden kifejtésre, hogy a felhalmozott ismeretekre alapozva lehessen az új rendszer követelményeit és elvárt funkciót, technológiai újdonságait megfogalmazni!

A hatóságok számos hagyományos és a XXI. század technológiáját felhasználó észlelési és felügyeleti rendszert alkalmaznak a falopások és az erdőtüzek észlelésére. Ezek közé tartoznak a járőrök vagy megfigyelőtornyok formájában működő megfigyelők, a légi és műholdas megfigyelés, valamint az egyre inkább előtérbe kerülő, optikai kamera érzékelőkön alapuló észlelő és megfigyelő rendszerek, illetve a különböző típusú észlelő-érzékelők vagy ezek kombinációja.

### **2.1 A technika jelenlegi állása**

#### **2.1.1 Preventív jellegű megoldások**

A tűz és a koronatüzek gyors terjedésének megakadályozása érdekében az erdészek gyakran alkalmaznak bizonyos megelőző módszereket. Ezek közé tartozik az éghető anyagok eltávolítása egy adott területről a tűz terjedésének megakadályozása érdekében, vagy az erdő átalakításának lehetősége. Ez utóbbi intézkedések különösen fontosak azokon a területeken, ahol nagy az erdőtűz kialakulásának veszélye. Ezek az erdészeti megoldások azonban nem hoznak azonnali eredményt, és bizonyos esetekben csak évek múlva – egy-két tűz keletkezését követően – fejtik ki a kívánt megelőző, vagy kárcsökkentő hatásukat. Míg az első esetben az erdő karbantartásának minőségén múlik a preventív jelleg, addig az átalakítás komoly tervezési, kialakítási fázisokkal rendelkezik. Az egyik ilyen módszer az, hogy a fiatal lombhullató fák számának növelésével jelentősen csökkenthető az erdőtüzek kockázata az idősebb fenyőállományokban. Ennek a megközelítésnek azonban az a hátránya, hogy a kevés csapadékú és gyengébb talajminőségű területeken az erdőátalakítás nem biztosít hosszú távú megoldást az erdőtüzek megelőzésére. Alkalmazható az úgynevezett „előreültetési” módszer, melynek lényege, hogy az idősebb, erősen éghető fenyőállományok elé fiatal,

jó árnyékolástűrő fákat ültetnek, hogy pajzsként védjék a jobban éghető fenyőállományokat, és megakadályozzák a tűz terjedését. [66] Az előreültetés mellett gyakran alkalmazzák az úgynevezett „*alültetés*”-t is. Ez egy hatékony módszer, ami valójában vegyes erdőállományt jelent. A vegyes erdő létrehozásának módszere abból áll, hogy egy adott erdőterületen szándékosan többféle faállományt telepítenek. [66] További hatékony és hagyományos módszer a tűzvédelmi sávok kialakítása és alkalmazása, melyekkel meg lehet előzni az erdőtüzeket. A tűzpászták kialakítása azon tervezési elven alapul, hogy tűzgátló területet hozzanak létre, amely tűzálló vagy kevésbé gyúlékony lombhullató és cserjés növényzetből áll. Ez a sáv tűz esetén megakadályozza a koronatűz keletkezését, és a tűz intenzitásától függően megakadályozza a tűz terjedését. [67] A tűzpásztá tulajdonképpen egy éghető anyagoktól és növényzettől mentes, körülbelül 20-30 méter széles terület, amely szintén hozzájárulhat a hatékony tűz megelőzéshez. [66] Az ilyen csökkentett növényzetű területet vágással is létrehozhatunk, de újszerű legeltetési technikával is. Ez a technika azt jelenti, hogy a gazdálkodók az állatállományt a tűzszakadási zónákban legeltetik, hogy csökkentsék a növényzetet, amely forró időjárás esetén kigyulladhat. [44]

A hatékony megelőzést biztosíthatja az úgynevezett „üzemanyag-osztályozási térkép”, mely megjeleníti, hogy egy erdős terület mennyire éghető. Az éghetőség itt azt jelenti, hogy ezen erdős területek tele vannak elhullajtott levelekkel, aljnövényzettel, apró gallyakkal, ágakkal és rönkökkel, amelyek könnyen meggyulladhatnak. A térkép jelzi, hogy mely területen hajlamosabb a tűzgyulladás, így a veszélyzónák nagyobb figyelmet kaphatnak. [44]

### **2.1.2 Erdészeti járőrtevékenység**

Az erdővédelemben hagyományosan működő megoldás a - felügyelő személyzet (mezőőrök, erdészek, polgárőrök) által végrehajtott gyalogos vagy járművel ellátott járőrtevékenység. A gyakorlat szerint az erdészeti társaságok felügyeleti személyzete - időszakosan kiegészülve rendvédelmi szervekkel - hivatott arra, hogy a meghatározott területeken és időpontokban járőrtevékenységet folytasson, és a szokatlan eseményekre közvetlen reagáljon. A járőrözés során egy vagy több személy együttműködve, előre meghatározott területen és útvonalon környezetvédelmi és bűnügyi feladatokat lát el. Ennek keretében ellenőrzik a jogszabályok betartását, megelőzik, felderítik és megszakadályozzák a jogellenes tevékenységeket, valamint – rendvédelmi szervek esetében – gondoskodnak az elkövetők elfogásáról. [68]

A járőrözéshez tartozó menetvonal tervek az Őrutasításhoz kapcsolódva készülnek, és hatékonyan biztosítják a javak védelmét, valamint a jogellenes cselekmények időbeni felfedezését. Emellett lehetőséget nyújtanak a tűz és egyéb rendkívüli események gyors észlelésére. A terv elkészítése nagy körültekintést és az adott terület alapos ismeretét igényli, továbbá meghatározza az általános ellenőrzési szempontokat. A járőrök az időjárásnak megfelelő szolgálati ruházatot viselnek, és tevékenységük kezdetét és végét az eseménynaplóban rögzítik. Rendkívüli esemény észlelése esetén azt szintén bevezetik az eseménynaplóba. [69]

A valóságban véletlenszerű időpontokban, esetleg kampányszerűen végzett járőrszolgálatok különböző napszakokban történnek, és elsődleges céljuk, hogy megelőzzék a falopásokat, az illegális fakitermelést, az orvvadászatot, valamint az egyéb külterületi bűncselekményeket. A tapasztalat viszont azt mutatja, hogy a komolyabb méretű illegális fakitermelést, falopást, környezeti kárt csak annak bekövetkezése után fedezik fel.

### **2.1.3 Megfigyelő tornyokból felügyelő személyzet által végzett felderítés**

A megfigyelő (kilátó) torony, amelyet gyakran tűzjelző toronynak neveznek - a legtöbb degradációt okozó erdőtüzek észlelése miatt- nemcsak egy őrhely. A torony szállást és védelmet nyújt a felügyelő személynek, akinek feladata az erdőkben keletkező bűncselekmények - mint az illegális fakitermelés és az erdőtüzek jelzése. Kialakítását tekintve a torony egy kis épület, amely általában egy hegycsúcson vagy más magas kilátóponton helyezkedik el, hogy maximális látótávolságot, úgynevezett kilátóteret biztosítson. Erről a kilátópontról a megfigyelő látja az esetlegesen kialakuló füstöt, az elboruló fákat, illetve hallhatja a szerszámképek zaját. Sajátos tájolási-, és rádiós távközlési eszközzel rendelkeznek a degradáció pontos helyének bemérésére és a megfelelő hivatalos szervek helyszínre irányítására. A kilátók az időjárás változásait is jelentik, és viharok idején feljegyzik a villámcsapások helyét. A villámcsapás helyét a gyújtogatás esetén napokig figyelemmel kísérik. [70]

A tipikus megfigyelő torony egy kis helyiségből, úgynevezett fülkéből áll, amely egy nagy acél- vagy fa torony tetején helyezkedik el. Történelmileg a magas fák tetejét is használták állandó platformok felállítására. A tornyok az 1900-as évek elején váltak

népszerűvé, és a tüzeseteket telefonok, postagalambok és heliográfok<sup>8</sup> [71] segítségével jelentették. [70]

*Különböző torony-típusok terjedtek el:*

- *Fából készült tornyok:*  
Ezek a hatalmas fából készült tornyok 9-20 m magasak lehetnek. (27. ábra – a 9. mellékletben) [72]
- *Acéltornyok:*  
Az acéltornyok különböző méretben és magasságban készültek. Felépítésükben hasonlítottak a fából készült társaikra, de ezek a tornyok sokkal stabilabbak. Szélben viszont hajlamosak kicsit jobban meginogni, mint a fából készült tornyok. (23. ábra – a 9. mellékletben) [73]
- *Speciális acéltornyok - Aermotor tornyok:*  
Nevüket a gyártó után kapták ugyanis, az eredetileg az illinois-i Chicagóban működő Aermotor Company volt az első és vezető gyártója az acél megfigyelő tornyoknak a XIX. század elején. Ezek a tornyok nagyon kis fülkékkel rendelkeznek, mivel a tornyok alapját az Aermotor szélmalomtornya adja. (26. ábra – a 9. mellékletben) [74]
- *Földi megfigyelő "helyek":*  
A földi fülkéket még mindig "tornyoknak" nevezik, még akkor is, ha a fülke alatt nem feltétlenül van torony. Ezek a tornyok lehetnek egy, két vagy három emelet magasak, természetes kőből vagy betonból készült alapokkal. (24. ábra, 25. ábra – a 9. mellékletben) [75] [76]
- *Kilátófák:*  
A legegyszerűbb fajta csak egy megfelelő magasságba vezető létrából áll. A bonyolultabb változatok (28. ábra – a 9. mellékletben) állandó síkfelülettel egészítették ki a fát úgy, hogy a fa tetejére egy fából, vagy később fémből kialakított szerkezetet építettek, és a törzsbe fémtüskéket ütöttek, hogy spirális létrát alkossanak. [77]

#### **2.1.4 Speciális kamerákkal történő megfigyelés**

Napjainkban a szenzorok, a digitális kamerák, a képfeldolgozás és az ipari számítógépek fejlődése az erdőtüzek optikai, automatikus korai felismerésére és

---

<sup>8</sup> „Tükrözött napfényvel működő régi katonai hírközlő eszköz” [71]

felügyeletére szolgáló rendszer kifejlesztését és elterjedését eredményezte. Ezekben a rendszerekben - a kamerákhoz kapcsoltan - különböző típusú érzékelőket alkalmaznak: [78]

- olyan videokamerákat, amelyek érzékenyek a nappal felismerhető füst látható spektrumára és az éjszaka felismerhető tűzre,
- infravörös (Infra-Red, továbbiakban IR) hőkamerákat, amelyek a tűz hőáramlását érzékelik,
- IR-spektrométereket a füst spektrális jellemzőinek azonosítására,
- fényérzékelő és távolságmérő érzékelőket, amelyek a füstreszecskekről visszavert lézersugarakat mérik.

A különböző gyártók által tervezett optikai érzékelésen alapuló rendszerek változatai mindegyike ugyanazzal az általános koncepcióval rendelkezik. Egyszerűen a rendszerben működő - különböző típusú - digitális kamerák minden alkalommal képeket készítenek. Egy kép számos pixelből áll, ahol a feldolgozó egység nyomon követi a mozgást az egymást követően készített képeken, és ellenőrzi, hogy hány pixel tartalmaz(hat) valamilyen előre paraméterezett tűzjellemző mintát, majd a feldolgozó egység elküldi az eredményeket egy másik rendszer-elemnek, amely eldönti, hogy riasztást adjon-e az üzemeltetőnek, vagy sem. A legtöbb optikai rendszert lokalizációs okokból földrajzi térképekkel kell integrálni. [79]

#### **A továbbiakban részletesen megvizsgálom ezen rendszerek elterjedt típusait:**

Az **AlarmEYE** rendszert Thaiföldön gyártották és telepítették. Egy infravörös, fekete-fehér és színes filterekkel ellátott optikai érzékeléssel integrált videokamerás rendszer az erdőtüzek korai észlelésére alkalmas. Infravörös opciója képes megkülönböztetni a lángot az egyéb hőforrásoktól. [78] [80].

Az **EYEfi SPARC** az ausztráliai *EYEfi* által gyártott, erdőtüzek észlelésére szolgáló optikai érzékelésen alapuló felügyeleti rendszer, melynek a következő összetevői vannak:

- digitális kamera (nappal színes, éjjel pedig ultravilágos szürkeárnyalatos),
- meteorológiai állomás,
- villámlás érzékelő,
- kommunikációs egység,
- energiaellátó rendszer.

A rendszer kiegészíthető hőkamerával, vagy pásztázó, dönthető és zoomolható kamerákkal. Az *EYEFI* nem alkalmaz automatikus füstérzékelést, így a tűz jelenlétét minden esetben a rendszert felügyelő személyzet azonosítja. Az azonosítást követően az *EYEFI* képes képeket szolgáltatni és az *EYEFI* szoftver segítségével a digitális térképet használva meg tudja határozni a füst helyzetét az adott területen. A nagyobb pontosság érdekében időjárás-állomás és villámlás-érzékelő is része a rendszernek. [78] [80]

Az **UraFire** rendszert Franciaországban alkalmazzák és gyártják. A látható füst azonosításán alapul, kiegészítő algoritmusokkal: a képeken a változó pixelek klaszterezésével és verifikációs idővel rendelkezik a téves riasztások számának csökkentése érdekében. [78] [81] [82]

A **Forest Fire Finder** rendszert a portugál erdőkben használják és teljesen más azonosítási megoldást alkalmaz a füst jelenlétének, vagy a tűz lángjának érzékelésére. Nem közvetlenül ezen tűzjellemzők mérhető paramétereit érzékeli, hanem a telepítésének környezetében a légkör intelligens elemzését végzi. A *Forest Fire Finder* azt követi nyomon, ahogyan a légkör elnyeli a napfényt, ami a légkör kémiai összetételétől függ. A különböző összetételű légkör eltérő abszorpciós képességgel rendelkezik, így a *Forest Fire Finder* 15 km-es körzetben képes felismerni az égett fákból származó szerves füstöt és az ipari füstöt. A berendezést a gyorsabb észlelés érdekében a fák koronájába telepítik. [78] [83]

A **ForestWatch** egy felügyeleti rendszer, amelyet a dél-afrikai *EnviroVision Solutions* gyárt és félautomata tűzérezékelést biztosít. A rendszer elemeit alkotó kamerákat tornyokra telepítik. A pásztázó működésű kamerák nappal a füstöt, éjszaka pedig tűz lángját "keresik". A füstöt 16-20 km-es tartományban érzékeli és kommunikációs modulon keresztül továbbítja az információt a felügyelő személyzetnek. [80]. A *ForestWatch* rendszer elemei a következők:

- egy 360 fokos forgást lehetővé tevő, pásztázó, dönthető kamera 24x optikai zoommal,
  - mintavevő modul,
  - kommunikációs rendszer (3G, mikrohullám, vagy műhold)
  - *ForestWatch* szoftver, mely a kapott adatok feldolgozásához és a végső döntés meghozatalához elegendő értékelést készít az üzemeltető számára.
- [79] [84]



A *ForestWatch* az egyik legnépszerűbb rendszer az erdőtüzek észlelésében. Működési tesztjeit Kanadában dokumentálták, melynek során a tüzeket 20 km-es hatótávolságig megbízhatóan észlelte, de a teszt időszak alatt sok téves riasztás is keletkezett. Működő *ForestWatch* rendszereket használnak Dél-Afrikában, Szváziföldön, az USA-ban, Kanadában, Chilében, Szlovákiában és Görögországban. [80]

A **FireHawk**, egy a tűz helyének meghatározását biztosító kockázatkezelési rendszer. Felépítését tekintve a következő „rétegekből” áll: [78]:

- a képkötő réteg a kamerák megfelelő helyekre történő telepítését jelenti,
- kommunikációs rétegek hozzák létre a vezeték nélküli kapcsolatot,
- a gépi látás réteg az a réteg, ahol a *FireHawk* a *FireWatch* rendszert, szoftvert és a digitális térképeket használja a tűz helyének és a hely megközelítéséhez a legrövidebb útvonalnak a megadására.

Jelenleg a *Firehawk* rendszer Dél-Afrikában került telepítésre. [85].

A *FireWatch* egy automatikus füstérzékelő rendszer, amely 10-40 km-es hatótávolságon belül képes azonosítani a füstöt.

A *FireWatch* rendszer részei a következők: [86]

- Optikai érzékelő rendszer: minden nappal 4-6 percenként, éjszaka pedig 8-12 percenként 360 fokos fordulatot tesz 10 fokos lépésekben.
- Kommunikáció egység: A toronynál vezeték nélküli összeköttetéssel rendelkezik a felügyeleti számítógéppel.
- Központi felügyelet: a felelős személyzet és számítógépek.

Ha az érzékelő füstfelhőt vagy füstoszlopot észlel, az információt a kommunikációs egységen keresztül továbbítja a központi erdőtűz-ellenőrző irodába. Működő *FireWatch* rendszereket alkalmaznak Németországban, Észtországban, Cipruson, Mexikóban, a Cseh Köztársaságban, Portugáliában, Spanyolországban, Olaszországban, Görögországban és az USA-ban. [80]

Az alábbi táblázatban összefoglaltam az erdőtüzek felügyeletére szolgáló rendszereket azonos jellemzői alapján melyek: a tűz érzékelési módszere, hatótávolsága, valamint az automatikus felismerés képessége.

Rendszer	Ország	Érzékelési Módszer	Hatótávolság (km)	Automatikus Érzékelés	Főbb Jellemzők
AlarmEYE	Thaiföld	Optikai infravörös és szűrők lángészleléshez	8-10km	Igen	Infravörös láng és hőforrás megkülönböztetés
EYEFI SPARC	Ausztrália	Optikai (digitális kamera, villámlás érzékelés)	10-12km	Nem	Időjárás állomás, villámlásérzékelő, opcionális hőkamera
UraFire	Franciaország	Látható füst érzékelése, pixel klaszterezés	15-20km	Igen	Pixel klaszterezés a téves riasztások csökkentésére
Forest Fire Finder	Portugália	Légköri kémiai összetétel (napfény elnyelése)	15 km	Igen	Szerves és ipari füst megkülönböztetése
ForestWatch	Dél-Afrika	Füst nappal, láng éjszaka érzékelés	16-20 km	Félautomata	360 fokos kamera optikai zoommal, félautomata érzékelés
FireHawk	Dél-Afrika	Kamera képfeldolgozás, tűz helyének és útvonalának meghatározása	10-40 km	Igen	Kamera hálózat, valós idejű tűz helymeghatározás
FireWatch	Németország és mások	Optikai füstérzékelés	10-40 km	Igen	360 fokos optikai forgás néhány percenként

1. Táblázat: A vizuális alapú felügyeleti rendszerek jellemzőinek összefoglaló táblázata. A Szerző saját munkája.

### Optikai érzékelés alapú felügyeleti rendszerek éles, összehasonlító vizsgálata

2010-ben az ausztrál kormány a Bushfire Cooperative Research Centre-vel együttműködve egy éles tesztet tervezett, amelynek célja három, az erdőtüzek észlelésére szolgáló felügyeleti rendszer teljesítményének éles helyzetben történő vizsgálata volt. Összehasonlításképpen figyelembe vették az emberi személyzettel ellátott megfigyelőtorony teljesítményét is. A vizsgálati eredményeket - annak befejeztével - egy jelentésben hozták nyilvánosságra. [87] Az éles teszt során három rendszert: az *EYEFI*-t,

a *FireWatch*-ot és a *ForestWatch*-ot háromféle típusú tüzeseten: kutatói égetés, magánégetés és hatósági égetés észlelése közben vizsgálták. Két helyszínt választottak a teszt lefolytatásához: az új-dél-wales-i Tumut és a Victoria állambeli Otway Ranges erdős területeire esett a választás. [80]

A kísérleti jelentés [87] és a nyomában készült további szakértői vizsgálat [80] főbb megállapításai a következők:

- A vizsgált területeken több, mint 250 magántűz (főként mezőgazdasági tüzek) keletkezett. A kamera rendszerek sok tüzet jelentettek, de az új-dél-wales-i torony megfigyeléseivel összehasonlítva a magántüzek nagy része nem került érzékelésre.
- Az érintett területeken 37 előírt tüzet és leégést hajtottak végre a szokásos földgazdálkodási feladatok részeként a hivatali szervek. Az egyik (teszt) megfigyelő állomáson egy bozóttűzet jelentettek, míg a másik teszt állomáson egyet sem.

A szakértői jelentésben általánosan megállapították (természetesen az adatok alapján), hogy mindhárom rendszer észlelése lassabb volt és kevésbé megbízható, mint egy képzett emberi toronymegfigyelőé. Ennek következtében az észlelést nem lehet CSAK a kamerákra bízni. Hasznos lehet azonban ezeket a rendszereket eszközként használni a toronymegfigyelő teljesítményének javítására, vagy távoli, személyzet nélküli tornyokban (távfelügyelet). [80] A három rendszer közül a *FireWatch* jobb volt, mint a *ForestWatch* a tűz észlelésének bejelentésében, ahol a *FireWatch* volt az egyetlen kamerarendszer, amely jelentette az erdei égéseket, bár az észlelés 35 perccel később történt, mint az emberi megfigyelő észlelése, és a tűz kb. 5-ször nagyobb volt. Rámutatott továbbá, hogy az észlelési teljesítmény részben a tűz méretének és a kamerától való távolságnak a függvénye; a nagy égéseket nagy távolságból (70 km) észlelték a kamerák, míg a mérsékelt égéseket (10-20 km) nem „vették észre”. Ez az eredmény rámutat az optikai elven működő tornyokra telepített rendszerek komoly hátrányaira. Ugyanis ez a fajta technológia csak meghatározott irányú „látást” biztosít, ahol a magas fák vagy a domborzati viszonyok akadályozhatják az észlelést; továbbá pontatlan és lassan szolgáltat információt a gyulladási fészek helymeghatározásához. Az optikai rendszereket úgy tervezték, hogy nagy területeket fedjenek le minimális számú kameratoronnyal; minden egyes toronynak 15-80 km-es körzetben kell érzékelnie a füstöt, ahol a begyulladás után

hosszú időre van szükség ahhoz, hogy a kamera által érzékelhető füstfelhő keletkezzen. Az időjárási körülmények és az éjszakai látási viszonyok pedig tovább rontják a kamerák teljesítményét. [80]

Az alábbi végkövetkeztetések kerültek megállapításra:

- A kamerák egyértelműen rosszabbul teljesítettek, mint az emberi megfigyelők; nem alkalmasak az emberi toronymegfigyelők helyettesítésére.
- Az emberi megfigyelők és a három rendszer tesztelése során az erdőtüzeket a látható füstoszlop észlelésével jelentették, ahol a begyulladás pillanatától számítva hosszú időre volt szükség ahhoz, hogy az emberi vagy érzékelő kamerák által észlelhető füst keletkezzen.
- A légköri és domborzati viszonyok, a füst jellemzői az érzékelési terület különböző részein voltak.

A kamerarendszerekkel történő érzékelés további nehézségekbe ütközik, melyek a téves riasztások számát gyarapítják. Ugyanis az elkészült képek feldolgozásának nehézségei a táj változatos jellegéből és a nagyszámú dinamikus eseményből adódnak, amelyeket a különböző megvilágítási körülmények (a Nap napi mozgása), az időjárás változása, az észlelő ponttól mért távolság, a napszak és a maszkoló objektumok okozhatnak.

### **2.1.5 Műholdas megfigyelés**

A műholdas erdőtűz jelző rendszerek különböző érzékelőket használnak a tűz bizonyos tűzjellemzőinek (Infravörös sugárzás, füst) észlelésére. A leggyakrabban használt eszközök az infravörös érzékelők és a hőkamerák, melyek képesek érzékelni a felszín hőmérsékletét, amely alapján azonosítani lehet a tűz jelenlétét. A tűzkitörések észleléséhez tehát műholdas képekre van szükség, amelyek általában hiperspektrálisak, mivel nagy spektrális felbontásúak és pontosabb eredményeket adnak. A műholdképeken az objektumok a fényvisszaverő képességük és az egyes sávokban (vörös, zöld és kék sávok) mért pixelértékeik alapján észlelhetők. Az erdőtüzek észlelésére és a tűzkitörések kezelésére szolgáló egyéb paraméterek meghatározására olyan osztályozási technikákat használnak, mint a neurális hálózat és a klaszterezési módszer. [88] A neurális hálózatos osztályozás a tűz képpontjainak a nem tűz képpontjaitól való osztályozására és a tűz megállapítására szolgál. A neurális hálózat akkor ad pontos eredményeket (osztályozott kép), ha a hálózat jól feltanított. [89]

Az érzékelők által gyűjtött adatokat később elemzik, hogy térképeket és modelleket készítsenek a tűz terjedéséről. Ezeket az információkat a tűzoltók és más katasztrófavédelmi személyzet felhasználhatja a tűzre való hatékonyabb reagáláshoz, valamint a tűz megfékezésére és elfojtására irányuló stratégiák megtervezéséhez.

A Google Earth multispektrális képeinek és a helymeghatározási (GPS, Global Positioning System - globális helymeghatározó rendszer, a továbbiakban GPS) adatoknak a szinkronizálása automatikus képregisztrációs technikákkal érhető el. A tűzkitörések előrejelzését és a veszélyeztetett területek azonosítását neurális hálózati technikákkal és digitális térképészeti adatok használatával jó pontossággal sikerült megvalósítani. A rendszer fő célja tehát a tűzfront alakulásának valós idejű becslése, előrejelzése és kezelése földrajzi koordinátákban.

A műholdas erdőtűz jelző rendszerek a füst terjedésének nyomon követésére és előrejelzésére is használhatók. A tűzből származó füst jelentős hatással lehet a közegészségre és a közbiztonságra, valamint a látási viszonyokra és a levegő minőségére. A füst mozgásának nyomon követésével a katasztrófavédelmi személyzet lépéseket tehet a lakosság védelme és a füst környezetre gyakorolt hatásának minimalizálása érdekében.

Az egyik legszélesebb körben használt műholdas erdőtűz-felderítő rendszer a NASA által üzemeltetett MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - moderált felbontású képalkotó spektrum radiométer, a továbbiakban MODIS) műhold. A MODIS egy-két naponta globális lefedettséget biztosít, és képes mind az aktív tüzek, mind az égett területek észlelésére. [90] Az Európai Űrügynökség üzemelteti a Sentinel-2 műholdat, egy multispektrális képalkotó rendszert, amely nagy felbontású képeket szolgáltat, amelyek az erdőtüzek megfigyelésére, valamint számos más alkalmazáshoz is felhasználhatók. A Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatal üzemelteti a Látható Infravörös Képalkotó Radiométer eszközt, amely képes mind az aktív tüzet, mind a forró foltokat észlelni, ezen kívül éjszakai megfigyelésekre is alkalmas.

*Az erdőtüzek műholdakkal történő észlelésének számos gyenge pontja van:*

- **Felhőtakaró:** az erdőtüzek észleléséhez és megfigyeléséhez a műholdak látható fényre vagy infravörös sugárzásra támaszkodnak, és a felhőtakaró akadályozhatja a "látásukat". Ez megnehezítheti a tüzek észlelését és a tűz előrehaladásának valós idejű nyomon követését az erősen felhős területeken. Ezenkívül a felhők visszaverhetik és szétszórhatják az infravörös sugárzást, ami megnehezíti a tűz

jelenlétének megkülönböztetését a háttérsugárzástól. A felhők befolyásolhatják a műholdas érzékelők által rögzített képek minőségét is, mivel légköri szóródást okozhatnak, ami csökkentheti a képek kontrasztját, és megnehezítheti a tűz jelenlétének észlelését. E kihívások leküzdésére a kutatók olyan módszereket dolgoztak ki, amelyekkel a műholdas adatokat kifejezetten a felhős körülmények között keletkező tüzek észlelésére lehet feldolgozni. Ezek a módszerek magukban foglalják a multispektrális adatok használatát, a légköri szórást kijavító algoritmusok alkalmazását, valamint gépi tanulási technikák alkalmazását a felhők és a tűz képpontjai közötti különbségtételre.

- **Füst:** a füst árnyékolhatja az erdőtüzek műholdakkal történő észlelését. A füst apró részecskékből és gázokból áll, amelyek elnyelik, szórják és visszaverik a látható és infravörös sugárzást. Ez megnehezítheti a műholdak számára a tűz hőjelzésének észlelését, különösen, ha a füst sűrű és kiterjedt. A füst eltakarhatja a talajra való kilátást is, ami megnehezíti magának a tűznek az észlelését. A füst befolyásolhatja a műholdas érzékelők által rögzített képek minőségét is. A füst csökkentheti a felszín visszaverő képességét a látható és a közeli infravörös sávban, így nehéz megkülönböztetni az égett területet a nem égett területtől. Ezenkívül a füst légköri szóródást okozhat, ami csökkentheti a képek kontrasztját, és megnehezítheti a tűz jelenlétének felismerését.
- **Térbeli felbontás:** A műholdképek térbeli felbontása korlátozott, ami megnehezítheti a kisebb tüzek észlelését, vagy a tűz kiterjedésének pontos feltérképezését.
- **Időbeli felbontás:** A műholdak jellemzően meghatározott időközönként, például egy-két naponta szolgáltatnak képeket. Ez megnehezítheti az új tüzek észlelését vagy a tűz előrehaladásának valós idejű nyomon követését.
- **Téves riasztások:** A műholdak más hőforrásokat, például hőközpontokat is észlelhetnek, ami téves riasztásokhoz vezethet.
- **Költségek:** A műholdak felbocsátása, üzemeltetése és karbantartása költséges, és ez megnehezítheti a műholdas erdőtűz-felderítő rendszer hosszú távú működtetéséhez szükséges finanszírozás megszerzését.
- **Korlátozott adatmennyiség:** Bizonyos esetekben a műholdas rendszerek által szolgáltatott adatok nem elegendőek ahhoz, hogy pontos előrejelzést lehessen adni a tűz terjedéséről, vagy hogy valós időben döntéseket lehessen hozni.

- **Korlátozott lefedettség:** A műholdak csak bizonyos területeket tudnak lefedni, és még mindig sok olyan távoli régió van, amelyet nem fednek le a műholdképek.

Érdemes megjegyezni, hogy e gyengeségek ellenére a műholdas erdőtűz-felderítő rendszerek fontos eszközt jelentenek az erdőtüzek észlelésében és terjedésének nyomon követésében, és gyakran más módszerekkel, például a földi megfigyeléssel és a légi megfigyeléssel együtt használják őket, hogy átfogóbb képet kapjanak a helyzetről. [47] [91]

### 2.1.6 Vezeték nélküli érzékelő hálózaton alapuló megfigyelés

A vezeték nélküli érzékelő hálózatok (WSN, Wireless Sensor Network - vezeték nélküli érzékelő hálózat, a továbbiakban WSN) technológiáját széles körben használják a megfigyelési és ellenőrzési alkalmazásokban. Jelenleg három fő vezeték nélküli szabványt használnak, nevezetesen WiFi, Bluetooth és ZigBee. Közülük a ZigBee a legígéretesebb szabvány az alacsony energiafogyasztása és az adaptív hálózati konfiguráció miatt. A távoli telepítésre és vezérlésre szolgáló vezeték nélküli érzékelőhálózat-alapú felügyeleti rendszerek költséghatékonyabbak, és könnyen telepíthetők a védendő területre. Még azokat a területeket is elérhetik, ahol a műholdas jelek - valamilyen oknál fogva - nem állnak rendelkezésre. Ezenkívül nagy területek megfigyelésére is paraméterezhetők és biztonságos adatátviteli móddal rendelkeznek. Az erdőfelügyeleti munka nem korlátozódik a tűz és az erdőirtás észlelésére és megelőzésére, hanem az erdők növény- és állatvilágának megőrzésére és megóvására is kiterjed. Ezen a rendszerek alkalmazásakor számos technológiai fontos tervezési célokat és jellemzőket kell figyelembe venni, mint például: energiahatékonyság, korai észlelés és pontos helymeghatározás, előrejelző képesség és alkalmazkodás a zord környezethez. [92] A szakirodalomból számos, az erdőtüzekkel kapcsolatos, WSN alkalmazásával kapcsolatos kutatási munkát végeztek világszerte [93] [94] [95] [96] [97] [98] [92], de más érdekes vizsgálatokat is végeztek ezen a területen. A [99] szerzői három szempontból tekintették át a tűz érzékelési tanulmányokat: maradék területek, erdőtüzek és a WSN hozzájárulása a tűz korai észleléséhez. A [94]-ben bemutatott dél-koreai projekt egy hálózatba kapcsolt „mote”-kon alapuló kísérleti megközelítést alkalmaz, de a szerzők nem végeztek értékelést a javasolt észlelési megközelítésről. A [100]-ben a szerzők a Castalia és a Farsite tűzszimulátorok segítségével szimulációs vizsgálatot végeztek az erdőtüzek WSN segítségével történő észlelésére és lokalizálására. A [101] tanulmány a Zigbee technológián alapuló WSN elméleti felépítését javasolta, de sem szimulációkat,

sem valós kísérleteket nem végeztek. Az [102] [103] című munkákban bemutatott kutatási munkák szimulációs és tesztalkalmazáson alapuló megközelítésekkel próbálták meg az erdőtüzek korai észlelését klaszterfa WSN segítségével. A [104] szerzői a hagyományos WSN-érzékelési megközelítések továbbfejlesztése érdekében a téves riasztások számának csökkentése révén egy képalapú, valós idejű tűzérzékelési technikát javasolnak.

A WSN-ek alkalmazása megváltoztatta a felügyelet minőségét a földgazdálkodásban, a mezőgazdaságban, a tavak vízminőségének kezelésében, az erdőtüzek észlelésében, a falopások megelőzésében és az erdőirtás megelőzésében. Ezenkívül számos egyéb területen is alkalmaznak WSN-rendszert. Például vasúti hidak feszültségének megfigyelésére [105], Ebben a megvalósításban kis teljesítményű gyorsulásérzékelőket használtak a közeledő vonat észlelésére. Amikor az esemény észlelésre került - azaz jármű érkezését észlelte a berendezés, a nyúlásmérő érzékelők által mért adatokat az acélhidak ciklusszámláláson alapuló fáradás értékeléséhez használták fel. Az érzékelő csoportok energia ellátását - napelemmel újratölthető - akkumulátorral oldották meg, a rendszer élettartamának növelése érdekében.

Egy másik alkalmazás során a WSN-rendszert földcsuszamlások megfigyelésére és megelőzésére alkalmazták. A telepített csomópontok 2 tengelyes gyorsulásmérővel rendelkeztek a rezgések mintavételezésére. Ezek a rezgések a földcsuszamlások által okozott lejtőmozgásokból adódtak. A szenzorcsomópontok által mért adatokat egy előre meghatározott statikus útválasztást követve továbbították a koncentrátorokhoz, majd ezeken keresztül a bázisállomáshoz. [106]

Egy újabb kísérleti WSN-rendszerben használt érzékelők segítettek az erdőben keletkező tűz észlelésén kívül az illegális fakitermelési tevékenység nyomon követésében is. A hőmérséklet- és fényerősség-érzékelők mind a fakitermelési tevékenységet, mind a tűz jelenlétét érzékelik. A csomópontok kiegészítő akusztikai érzékelői viszont csak a fakitermelési tevékenységről adtak több információt a traktorok vagy láncfűrészek használatakor keletkező egyedi hangok érzékelésével. [107] A szenzorok periodikusan hangmintát vesznek, feldolgozzák és továbbítják a központi szerverre. Amikor az érzékelők által vett hangminták megegyeznek a fakitermelő szerszámok hangmintáival, a rendszer fakitermelési tevékenységet észlel, és e-mailben vagy SMS-ben értesíti a felelős személyzetet. [108] A rendszer működésében azonban egy nem várt jelenség



okozott többszörös téves riasztást. A jelenség következtében az akusztikus érzékelés teljességgel megbízhatatlanná vált, ugyanis létezik madár, mely megtanulja utánózni a környezetében hallható hangokat, így a fakitermeléskor hallható kézfűrész, láncfűrész, vagy kalapács hangját hallatja. [109]

## **2.2 A felügyeleti rendszer értékelése**

### **2.2.1 Az értékelés módszere**

A különböző rendszerek megbízhatósági jellemzőinek meghatározásához szükséges adatok nem minden esetben állnak rendelkezésre. Következésképpen a rendszerek kialakításának megbízhatósági elemzését tudjuk csak elvégezni. Az architektúrák alapján azonban a rendszer megbízhatósági jellemzői - az egyes komponensek, alrendszerek számszerű megbízhatósági paramétereinek ismerete nélkül is - közelítőleg meghatározható!

### **2.2.2 A módszer alkalmazási feltételei**

A megfelelő értékelési módszer kiválasztása azon alapszik, hogy a felügyeleti rendszer kialakítása eleget tesz-e az alábbi alkalmazhatósági feltételeknek: [113] [114] [115] [116]

- A rendszerelemek száma véges.
- A rendszerelemek két állapottal rendelkeznek: (hibás és működő).
- Ha az összes rendszerelem hibás állapotú, akkor a rendszer is hibás.
- Ha az összes rendszerelem hibátlan, akkor a rendszer is hibátlan.
- A rendszerelemek egymástól sztochasztikusan függetlenek, azaz egy rendszerelem meghibásodása nem függ egy másik rendszerelem hibájától.
- A rendszerben bekövetkező események exponenciális eloszlást követnek.

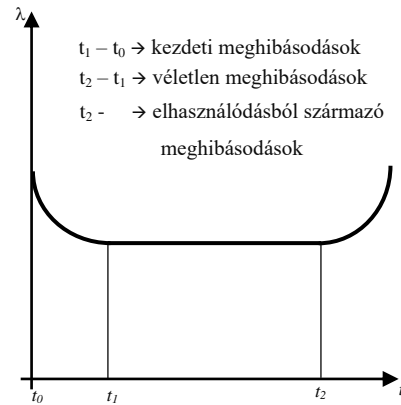
A bioszféra védelmi rendszerre vonatkozóan – sorra véve a feltételeket, az alábbiak állapíthatóak meg:

- A legegyszerűbb esetben a hálózati elemek két állapottal biztosan rendelkeznek és számosságuk is biztosan véges.
- Ha minden komponens hibás a rendszer is hibás, illetve ha minden komponens működő a rendszer hibátlan.

Fontos megjegyezni, hogy a rendszerben bekövetkező események exponenciális eloszlása, csak bizonyos feltételezések mellett érvényes! Ebben az esetben ez azt jelenti, hogy például a meghibásodás gyakoriságának a rendszer teljes üzemi ciklusának ideje

alatt állandónak kellene lennie, amely gyakorlati tapasztalatok alapján csak közelítőleg érvényes. Ez a közelítés a meghibásodási tényezők időbeli viselkedését leíró függvény alapján (5. ábra) a következő:

- Mivel alapkövetelmény egy felügyeleti (vagyonvédelmi) rendszertől, hogy az üzembe helyezés után gyakorlatilag hibamentesen működjön, ezért az életciklus üzemelési részének kezdeti időszaka (melyben a függvény által mutatott több meghibásodás tapasztalható) a teljes üzemidőhöz képest elhanyagolhatóan kis ideig tart.
- Az üzemelési időszak végén tapasztalható elhasználódási időszak pedig a technológia fejlődése (energihatékonyság) következtében, illetve javasolt karbantartási stratégia (Tényleges Megelőző Karbantartás [117]) alkalmazása esetén - modulok cseréje miatt - gyakorlatilag nem következik be.



5. ábra: Meghibásodások számának időfüggvénye. [64]

Ezek figyelembevételével következésképpen adódik, hogy a BVR esetén az események időtartamának exponenciális eloszlása valóban feltételezhető, mely alapján kijelenthető, hogy ezen rendszer megbízhatósági jellemzőinek számítására a homogén Markov modell alkalmazható!

### 2.2.3 Az állapottér módszer összefoglalása és alkalmazása

Az állapottér egy dinamikus rendszer összes lehetséges állapotának halmaza, amelyben a rendszer minden egyes állapota az állapottér egy egyedi pontjának felel meg. Általában bármely absztrakt halmaz lehet valamilyen dinamikus rendszer állapottere. Az állapottér lehet véges, mindössze néhány pontból álló, vagy végtelen dimenziós. Az ilyen állapotteret gyakran fázistérnek is nevezik. [118]

A felügyeleti és dinamikus rendszerek összefüggésében az állapottér egy rendszer matematikai ábrázolása, amelyben a rendszer állapotát nem differenciálegyenletek, hanem változók és azok időbeli deriváltjainak halmaza adja. A rendszer állapotát az állapotváltozóknak nevezett változók halmaza határozza meg, és az állapottér e változók összes lehetséges értékének halmaza. Az állapottér megvalósítás lehetővé teszi nagy

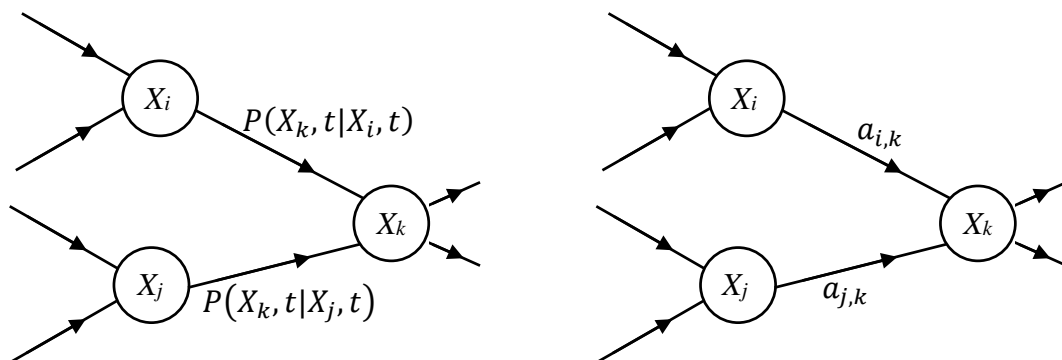
teljesítményű matematikai eszközök, például a lineáris algebra és a számtan használatát a rendszer elemzéséhez.

A Markov-modell a statisztikai modellek egy olyan típusa, amelyet egy olyan rendszer, vagy folyamat leírására használunk, amely időben változik, ahol a rendszer jövőbeli állapota csak az aktuális állapottól függ, és nem függ korábbi állapotoktól. Ez a speciális jellemző "Markov-tulajdonság" néven ismert. [118]

A Markov-modellben egy komponens ( $k$ ), vagy rendszer ( $r$ ) megbízhatósága az állapot-átmenetek valószínűsége alapján határozható meg. A modell leírásához az alábbi jelölések kerültek bevezetésre:

- $(X_k, t)$  egy komponens  $X_k$  állapota a  $t$  időpontban
- $P(X_k, t)$   $X_k$  állapot bekövetkezésének valószínűsége
- $(X_k, t|X_i, m)$  feltételes állapot-átmenet  $X_i$  -ből  $X_k$  -ba
- $P(X_k, t|X_i, m)$  az  $X_i \rightarrow X_k$  átmenet bekövetkezésének valószínűsége

Az  $(X_k, t|X_i, m)$  kifejezés jelen esetben azt fejezi ki, hogy a rendszert alkotó komponens a  $t$  időpillanatban van, feltéve, hogy korábban az  $X_i$  állapotban volt és az átmenet a  $(t-m)$  időtartam alatt ment végbe. Homogén Markov-modell esetén a  $P(X_k, t|X_i, m)$  állandó. Az állapot-átmenet valószínűsége azért állandó, mert a modell feltételezi, hogy az állapot-átmenet valószínűségei időben nem változnak. Ebben az esetben az állapot-átmenet valószínűsége exponenciális eloszlást követ, azaz az állapot ideje független a korábbi állapotoktól és csak az állapotban töltött időtől függ, így az exponenciális eloszlás az időközök közötti várható értéket adja meg, azaz azt, hogy a rendszer mennyi ideig marad azonos állapotban. Ahhoz, hogy a Markov-modellt alkalmazni lehessen ennek a valószínűségnek a meghatározása szükséges. [118]



6. ábra: Egy komponens állapot-átmenetei. Szerző saját munkája

Az 6. ábra alapján egy komponens éppen aktuális állapotának bekövetkezésére két lehetséges eset adódik: a  $t$  időpontban az  $X_k$  állapot akkor következik be, ha a korábbi  $m$  időpontban is  $X_k$  állapot állt fent és  $t-m$  idő alatt nem következik be átmenet egyik állapotból a másikba (változatlan állapot). A másik lehetőség, hogy  $m$  időpontban a komponens állapota  $X_i$ , vagy  $X_j$  és  $(t-m)$  időtartam alatt történik átmenet  $X_k$  állapotba. Az ábra jobb oldalán látható egyszerűsített jelzésű részén az  $a_{i,k}$  jelenti az  $X_i \rightarrow X_k$  átmenet bekövetkezésének valószínűségét, míg az  $a_{j,k}$  az  $X_j \rightarrow X_k$  átmenet bekövetkezésének valószínűségét. A két lehetséges eset között logikai vagy kapcsolat tehető, hiszen vagy egyik, vagy másik következik be. [118] Ez az alábbi egyenlettel kerül leírásra:

$$(X_k, t) = \{(X_k, t) \wedge (X_k, t | X_k, m)\} \vee_i \{(X_k, t) \wedge (X_k, t | X_i, m)\} \quad (4.1)$$

ahol:  $i < k$

A [114] és [113] forrás alapján ennek az összefüggésnek, azaz a  $(X_k, t)$  állapot bekövetkezésének valószínűsége:

$$P(X_k, t) = P[(X_k, t) \wedge (X_k, t | X_k, m)] + P[(X_k, t) \wedge (X_k, t | X_i, m)] \quad (4.2)$$

Ezek alapján az  $X_k$  állapot bekövetkezési valószínűsége meghatározó differenciálegyenlet a következő:

$$\frac{\partial P(X_k, t)}{\partial t} = \sum_i P(X_k, t) a_{i,k} - P(X_k, t) \sum_l a_{k,l} \quad (4.3)$$

ahol:  $i < k$  és  $l > k$

A (4.3) egyenlet értelmezése a következő: a komponens  $X_k$  állapot valószínűségének időbeli megváltozása azért következhet be, mert a komponens többi állapotából ( $X_i$ ) belép az  $X_k$  állapotba (ez növeli az állapot változás valószínűségét) illetve kiléphet az  $X_k$  állapotból (vagy abban maradhat), ami természetesen csökkenti az  $X_k$  állapotban maradás valószínűségét. A rendszer homogén Markov modelljében ha a komponensek  $n$  darab állapotára, azaz a rendszer állapotaira alkalmazzuk a fenti egyenletet, akkor egy egyenlet-rendszert kapunk. [118] Az egyenlet-rendszer ábrázolása mátrix alakban a következő:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P(X_1, t)}{\partial t} \\ \dots \\ \frac{\partial P(X_n, t)}{\partial t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P(X_1, t) \\ \dots \\ P(X_n, t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -a_{1,1} & \dots & a_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & \dots & -a_{n,n} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

ahol az egyes állapot valószínűsége a következő feltétel igaz:

$$0 \leq P(X_k, t) \leq 1 \quad (4.5)$$

Illetve az állapot valószínűségek összegére fennáll, hogy:

$$\sum_k P(X_k, t) = 1 \quad (4.6)$$

ahol  $k = 1, 2, 3, 4, \dots$

Az  $A = a_{i,j}$  (4.7) mátrixot átmenet-valószínűség mátrixnak, vagy átmenet-intenzitás mátrixnak nevezik. A Markov-modell kontextusában az állapotátmenet-mátrix egy olyan mátrix, amely az egyik állapotból a másikba való átmenet valószínűségét írja le. N állapotú rendszerben az állapotátmenet-mátrix egy  $n \times n$  méretű négyzetmátrix, amelynek minden egyes eleme  $P(X_k, t | X_i, t)$  az  $i$  állapotból a  $k$  állapotba való átmenet valószínűségét jelöli. [118]

A homogén Markov-modellben az állapotátmenet-mátrix a következő tulajdonságokkal rendelkezik:

- a mátrix minden sorának összege 1 (ez biztosítja, hogy az egyik állapotban való tartózkodás valószínűsége 1 legyen).
- a mátrix minden oszlopának összege 0, azaz az  $a_{i,j}$  elemekre érvényes:

$$a_{i,i} = \sum_k a_{i,k} \quad (4.8)$$

ahol  $i \neq k$

Az állapotátmenet-mátrix fontos tulajdonsága, hogy a kezdeti állapot eloszlásból kiszámítható a jövőbeli állapot eloszlás. Bevezetve (4.7) egyszerűsítést a (4.4) egyenlet tömörebb formában a következőképpen írható:

$$\frac{\partial P(X_i, t)}{\partial t} = A \cdot P(X_i, t) \quad (4.9)$$

melynek megoldása:

$$P(X_i, t) = e^{At} P(X_i, 0) \quad (4.10)$$

ahol  $A$  az állapotintenzitási-mátrix.

A homogén Markov modellben az állapot-átmenet valószínűségei időben nem változnak, ezért: [118]

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\partial P(X_i, t)}{\partial t} = 0, \text{ azaz } \sum_i P(X_k, t) a_{i,k} - P(X_k, t) \sum_l a_{k,l} = 0 \quad (4.11)$$

A differenciálegyenlet-rendszer algebrai egyenlet-rendszerként felírható és megoldható!

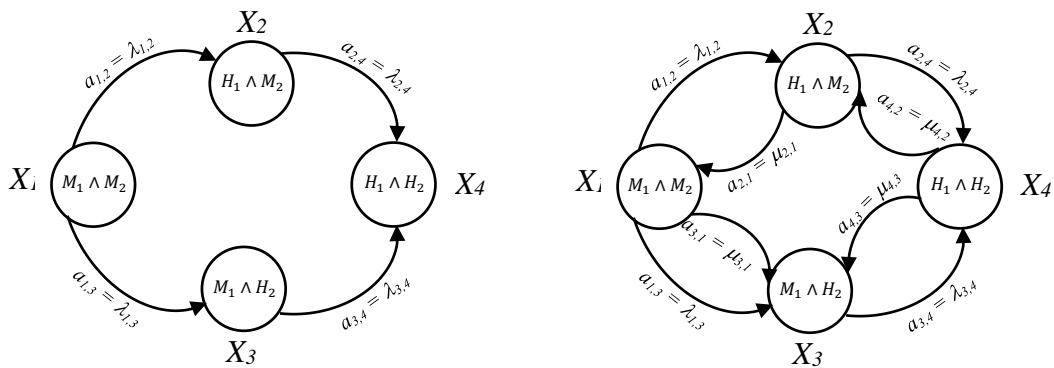
### 2.2.4 Az értékelés folyamata

Az értékelési jellemzők kiszámítása a következő lépések szerint történik:

1. Először a rendszer állapotainak és
2. az átmenet-intenzitási mátrixnak a meghatározására, majd
3. az (4.11) egyenlet-rendszer megoldására,
4. legvégül pedig – az állapotvalószínűségek felhasználásával – az értékelési jellemzők meghatározására kerül sor!

A 1.3. fejezetben megfogalmazott követelményeknek megfelelő értékelési jellemzők: a rendszer rendelkezésre állásának mértéke, a működés átlagos időtartama, ezekből az értékekből a megbízhatóság (R: reliability), rendelkezésreállítás (A: availability) és karbantarthatóság (M: maintenance) meghatározása.

Az első lépés tehát a rendszer állapotainak meghatározása. A rendszer egy  $t$  időpontban lévő állapotát a rendszer-elemek/komponensek állapotainak kombinációi határozzák meg. A felügyeleti rendszerben – leegyszerűbb esetben – az egyes rendszer-elemek/komponensek 2 állapottal rendelkeznek: működő (M) és nem működő, vagy más néven hibás (H) állapottal.



7. ábra: Két komponensű rendszer állapot átmenetei - a, javítás nélkül; b, javítással. A szerző saját munkája

Alkossa a rendszert először két komponens (7. ábra – „a”), azzal az egyszerűsítéssel, hogy a komponensek nem javíthatóak, így a javítási gyakoriságok nem kerülnek meghatározásra, az utolsó állapotból nincs további átmenet ( $X_4$ ). A komponens állapotok kombinációi, azaz logikai ÉS kapcsolatai határozzák meg a rendszer állapotait. Ebben az esetben a rendszert 4 különböző ( $X_1, X_2, X_3, X_4$ ) állapot jellemzi: mindkét komponens

működő, az egyik, vagy a másik hibás és egy működő, illetve mindkét komponens hibás állapot kombinációja. Könnyű belátni, hogy ha a rendszert  $n$  darab komponens alkotja, akkor a maximális állapotok száma  $2^n$ . Természetesen a felügyeleti rendszerek a javítható rendszerek közé tartoznak, így az 7. ábra kiegészítéseképpen a „b” része a javítási gyakoriságokat ( $\mu$ ) is tartalmazza. Ezek alapján felírható, ha egy rendszer  $k$  számú állapotban működik és  $i$  számú állapotban hibás, akkor a működő (M) rendszer ( $X_R$ ) állapotthalmaza  $t$  időpontban a működő komponensek kombinációjaként adódik:

$$X_R(M, t) = \bigvee_k X_k(M, t) \quad (4.12)$$

Bevezetve az  $X_R(M, t) = X_R(M)$  jelölést az egyenlet egyszerűbb alakban

$$X_R(M) = \bigvee_k X_k(M) \quad (4.13)$$

Hasonlóan a hibás állapotok bevezetésére a hibás (H) rendszer ( $X_R$ ) állapotthalmaza  $t$  időpontban a működő komponensek kombinációjaként – az előbbi egyszerűsítést felhasználva – adódik:

$$X_R(H) = \bigvee_i X_i(H) \quad (4.14)$$

A rendszer működésének és hibának valószínűsége az egyes állapotok valószínűségének ismeretében a következő:

$$P[X_R(M)] = \sum_k P(X_k) \quad (4.15)$$

$$P[X_R(H)] = \sum_i P(X_i) \quad (4.16)$$

A két állapot közötti közvetlen átmenetből számítható a működő és a hibás rendszer állapotok átlagos gyakorisága:

$$H_R(M) = \sum_k P(X_k) \sum_i a_{k,i} \quad (4.17)$$

$$H_R(H) = \sum_i P(X_i) \sum_k a_{i,k} \quad (4.18)$$

A működés átlagos időtartama, ami megfeleltethető az MBTF értéknek:

$$MBTF = T_R(M) = \frac{P[X_R(M)]}{H[X_R(M)]} \quad (4.19)$$

Ezek alapján a nem működés átlagos időtartama:

$$T_R(H) = \frac{P[X_R(H)]}{H[X_R(H)]} \quad (4.20)$$

A rendelkezésre állás jellemző pedig a 4.16 egyenlet alapján:

$$A = 1 - P[X_R(H)] \quad (4.21)$$

A működés  $T_R(M)$  és nem működés  $T_R(H)$  átlagos időtartam ismeretében meghatározható a rendszer meghibásodási ( $\lambda_R$ ) és javítási gyakoriság ( $\mu_R$ ) értéke is [64]:

$$\lambda_R = \frac{1}{T_R(M)} \quad (4.22)$$

$$\mu_R = \frac{1}{T_R(H)} \quad (4.23)$$

### 2.3 Részkövetkeztetések

Az erdőtüzek azon katasztrófák közé tartoznak, amelyeknek többdimenziós negatív hatásai vannak társadalmi, gazdasági és ökológiai téren. A nagymértékű erdőirtás negatív hatással van a légkörre, ami globális felmelegedést, árvizeket, földcsuszamlásokat, szárazságot stb. eredményez(het). Az éghajlatváltozás és az emberi tevékenység következtében az erdőkben keletkező tűz valószínűsége folyamatosan növekszik, de nemcsak az erdőtüzek, hanem az illegális fakitermelés is csökkenti a fával borított területek mértékét - kb. 13 millió hektár erdő pusztul el évente a világon csak az erdőtűz következtében [116] [111], és bolygónk gázkibocsátásának növekedéséhez vezet. E káros hatások miatt minden ország erdőgazdálkodásért felelős szervei lépéseket tettek az erdők megfigyelésére az erdővel borított területek pusztulása megakadályozása érdekében. A felügyelet fontos szerepet játszik az erdőgazdálkodásban. A kezdetektől fogva alkalmazzák és ma is használatban van megfigyelésre és információgyűjtésre. Az adatok alapján nagyon sürgössé válik a klasszikus erdőtűz-felderítési módszerek felülvizsgálata, amelyknél az egyik fő probléma az, hogy ha a tűz nagyméretűvé válik, akkor nagyon nehéz eloltani. Ebben az esetben ez azt jelenti, hogy a riasztás jelzés túl későn érkezik a felügyeleti szervekhez, így a beavatkozás is csak később indulhat meg, melynek jelentős kár-érték következménye van.

Kezdetben az erdőtüzeket (és az illegális fakitermelést) hagyományos technikákkal észlelték, például a domborzati viszonyoknak megfelelő, a terep egy magas pontjain elhelyezett őrtornyokkal, vagy például Osborne tűzkeresővel [70]. Ezek közé tartozik többek között a helyszíni felügyelő/biztonsági személyzet által végzett, valamint a birtokot vízi, szárazföldi és légi úton felügyelő mobil járőrök által végzett felügyelet. Sajnos ezek a kezdetleges megoldások az emberi megfigyelőtornyok megbízhatatlansága



és a nehéz életkörülmények miatt nem hatékonyak. Az újabb megoldások között találjuk a kamera rendszereket, melyek a tesztek során nem bizonyultak hatékonyabbnak, sőt az eredmények azt mutatják, hogy a jelzésbiztosabb működést sem növelték, mint a humán detektáláson alapuló megoldások, de jó kiegészítő eleme az emberi megfigyelők tevékenységének. Ezekkel a megoldásokkal párhuzamosan egyes országokban műholdas képeken alapuló erdőtűz-felderítő rendszereket is alkalmaznak. Kanadában a MODIS (mérsékelt felbontású képalkotó spektrométer) [90] és a KÍNA által használt AVHRR (fejlett nagyon nagy felbontású radiométer) [112] műholdas alapú megfigyelő rendszerek. Ezen típusú felügyeleti megoldások bizonyítottan korlátozottak a terepviszonyok, a napszak és az időjárási körülmények, például a felhők, a fényvisszaverődések és a törvényes ipari vagy társadalmi tevékenységekből származó füst miatt. [112]. Nem beszélve arról, hogy igen költségesek az illegális tevékenységek, például a birtok háborítók, a falopások és az erdőirtás megfigyelésére (ha egyáltalán képesek észlelni). A vezeték nélküli kommunikációs technológia fejlődésével elterjedőben van a különböző WSN rendszerek. Az érzékelő csomópontok telepítésüknél fogva érzékelik a megfelelő tűzjellemzőt, azonban nem alkalmaznak olyan eljárásokat, melyek a jelzés megbízhatóságát növelnék, ezért sok esetben téves riasztásokat generálnak. A jelenlegi WSN rendszerek a legtöbb - korábban deklarált - követelményt nem kezelik megfelelően; különösen az olyan szempontokat, mint a biztonság, a megbízhatóság, a rendelkezésre állás, a skálázhatóság és a heterogenitás támogatása. Az alkalmazott WSN alapú rendszerekben hang azonosítás alapján érzékelik a fa kivágást, mely a kísérletek szerint nem hatékony, hiszen számos madár képes a hang utánzására és ezzel a téves jelzés előidézésére. Az illegális fakitermelés ellen jelenleg a törvényi szabályozások szigorításával és megerősített járőr szolgálattal küzdenek az erdészeti társaságok. Az engedély nélküli tűzgyújtásról, pedig csak akkor rendelkeznek információval, ha vizuálisan észlelik, vagy ha kiterjedt erdőtűz keletkezett belőle. Az engedély nélküli behajtásról az esetek többségében még a tény is rejtve marad.

Az irodalomkutatás során feltárt adatok és kísérletek egyértelműen rámutatnak arra, hogy a jelenleg alkalmazott rendszerekben kulcs szerepet játszik az ember – legfőképp az identifikáció végrehajtójaként, de úgyis, mint az erősen centralizált rendszerek irányítója.

*Ezek alapján megállapítható, hogy a jelenleg alkalmazott erősen centralizált – részben, vagy egészben humán identifikáción alapuló – bioszféra felügyeleti rendszerek kialakításuknál fogva – hozzáteve a környezet negatív hatását – későn, vagy egyáltalán*

*nem jelzik az erdőtüzet (illetve tévesen a fakitermelést), így annak későbbi detektálása után, a tűz fejlődésének (vagy az erdőirtás lezajlását követően annak) későbbi szakaszában kezdődhet meg az elhárítás, melynek következménye a nagyobb káresemény, tehát a bioszféra súlyos degradációja.*

A BVR megbízhatósági jellemzőinek meghatározásához alkalmas analitikus módszerek közül - az alkalmazási feltételeknek megfelelően:

- kétállapotú és véges számú komponenst figyelembe véve,
- közelítést alkalmazva arra, hogy az események exponenciális eloszlást követnek,

*megállapítom, hogy a homogén Markov-modell alkalmazható!*

### **3 NAGYMEGBÍZHATÓSÁGÚ KÜLTÉRI BIOSZFÉRA VÉDELMI RENDSZER RENDSZERTECHNIKAI KIALAKÍTÁSA**

Ebben a fejezetben a rendszer részletes védelmi koncepciója kerül megfogalmazásra. “A védelmi koncepció a” a bioszféra védelmi rendszer “egy-összetevőinek funkcióit, kapcsolatát, működési módját írja le. Meghatározza a szükséges mechanikai, elektronikai, információ-technológiai alrendszerek, eszközök főbb paramétereit, egymásra épülésüket, funkcionális jellemzőiket, kezelésük, karbantartásuk módját.” [25]

#### **3.1 Követelmények a rendszer rendszerteknikai kialakításához**

Az alapvető cél, „egy olyan védett terület létrehozása, amelyből származó információk – mint az eldölt és mozgó fák, a tűz keletkezése, az illetéktelen behajtás – a lehető leggyorsabban a felelős szervezethez jussanak. A rendszert úgy kell létrehozni, hogy az egyes rendszer-elemek automatikusan szerveződjenek hálózatba úgy, hogy a hálózat terepi viszonyoknak megfelelő biztonsági szinten történő működése garantált legyen akkor is, ha bármely rendszer-elem, vagy rendszer-elemek fizikailag megsemmisülnek. A megmaradt rendszer-elemek továbbra is működtetik a hálózatot és az érzékelőinek mérési értékeit, jelzéseit továbbra is továbbítani tudják a felügyeleti számítógépes rendszerközpontokba, vagy egy előre tárolt mobil telefonszámra.” A rendszer kialakítás legfőbb szempontja tehát, hogy képes legyen - a bioszféra sérüléséről, vagy változásáról - információt küldeni – a rendszer bármely elemeinek kiesése, fizikai megsemmisülése esetén is - legalább addig, amíg a helyszínre megérkezik az élőerős védelem (rendőrség, tűzoltóság, erdészeti járőr, katasztrófavédelem). [19] [119]

A könnyű telepíthetőség és álcázás érdekében az adatok vezeték nélkül kell, hogy továbbításra kerüljenek. Az értekezésben javasolt rendszer a BVR, melynek működése érzékelőkön, RFID és ad-hoc hálózati technológián (Zigbee<sup>9</sup>) alapul. A rádiófrekvenciás eszközök és eljárások alkalmazásával pontos és gyors azonosítás és mérés érhető el. A moduláris felépítésnek és a vezeték nélküli kommunikációnak köszönhetően a rendszer-elemek telepítése és karbantartása, a hálózat későbbi bővítése, vagy leépítése egyszerűen megvalósítható kell legyen. A BVR csak akkor végzi jól a feladatát, ha

---

<sup>9</sup> Lásd: 3.3 fejezet

minden körülmények között képes a védett területeken történő eseményekből származó információk továbbítására a felügyeleti személyzet felé. [19] [119]

A rendszer kialakítás legfőbb szempontja, hogy a rendszer-elemek saját érzékelőkkel képesek legyenek - a bioszféra sérüléséről, vagy változásáról – valós idejű információt küldeni. Ezek az információk szenzorok által szolgáltatott adatokon alapulnak, melyek típusa és minősége a szenzorok által mért fizikai jellemzőktől függenek. Olyan fizikai jellemzőket – és ezek változásait célszerű tehát automatikus módon vizsgálni, ezekről információt küldeni, melyek lehetőséget teremtenek a spontán tűz keletkezésének, a fa-lopás kezdetének, az engedély nélküli behajtás megtörténeke jelzésére. A véletlenszerűen, vagy szándékosan keletkező tüzek jelenlétére, esetleg kialakulásainak körülményeire utaló fizikai jellemzők és az ezekből származtatható előrejelző indexek számítása, a kialakult tüzek lokalizációja, esetleg terjedésük irányának meghatározása fontos feladata a rendszernek. [19] [119]

A folyamatos információ áramlást hagyományos hálózati struktúrával nem célszerű megvalósítani, mert ha egy kitüntetett szereplő (hálózati útválasztó) a rendszerben megsemmisül, minden olyan elem, amely rajta keresztül kommunikált volna, információ továbbítása lehetetlenné válik. Ennek a helyzetnek a kiküszöbölésére olyan hálózati megoldásra van szükség, amelyben nincsenek kitüntetett szereplők mindenki egyenrangú, így a hálózat bármely elemének, vagy elemeinek kiesése nem okozza a hálózat teljes leállítását. Az ilyen hálózat addig működőképes, míg az utolsó két elem meg nem semmisül. Ezzel a hálózati megoldással lehet időt és esélyt biztosítani a védelemben résztvevők számára a komoly kárkövetkezménnyel járó események elhárítására. [19] [119]

Összegezve tehát:

1. a rendszer felépítése moduláris és skálázható – telepítés után bővíthető - kell legyen.
2. a rendszer decentralizált architektúrájú legyen.
3. meghatározott körülmények között legyen működés biztos.
4. legyen alkalmas önálló működésre.
5. a rendszer kialakítás és üzemeltetés karbantartás során a gazdasági szempontok is legyenek figyelembe véve.
6. a jelzés megbízhatóság legyen alapvető követelmény.

7. a rendszer felépítése nem járhat a környezet sérülésével ezért az egyes rendszerelemeket álcázni szükséges.
8. a rendszer telepítése biztonsági – a vagyonvédelmi rendszerek telepítésénél alkalmazott – elveket tükrözzön.

### **3.2 A rendszer architektúra kialakítása**

Egy centralizált rendszer működési megbízhatósága növelésének egyik legegyszerűbb módja a megfelelően megválasztott tartalékok (ú.n. redundancia struktúra) kialakítása. Ez rögzített funkcionalitás mellett még akár gazdaságosan is megvalósítható. Az ismert rendszerekben alkalmazott tartalékok azonban a rendszer teljes funkcionalitását biztosítja, ez pedig már költséges megoldás. Ezek a struktúrák általában a redundancia kialakítását figyelembe véve passzív tartalék egységek, melyek egy az egyben ugyanazok, mint aktív társaik. Természetesen ez nem is baj - leszámítva azt a rendszer jellemzőt, hogy funkció csökkentést nem tesznek lehetővé. Tehát, vagy teljes funkcionalitással működnek, vagy sehogy. Ez pedig sok esetben gazdasági hátránnyal járhat. Egy funkció csökkentett üzemre alkalmas rendszerben biztosítani kell, hogy az adott funkció mindaddig működőképes legyen, amíg van üzemképes rendszer-elem a struktúrában. Nyilván belátható, hogy egy centralizált rendszer esetén a központi rendszerelem kiesésekor számos funkció működése áll le a rendszerben, melyet más elem nem tud működtetni. Így érthető, ha a centralizált rendszerekben a teljes funkcionalitást biztosító redundancia struktúrát alkalmaznak. A funkció csökkentés kihasználására tehát olyan rendszerekben kerülhet sor, melyben egyes rendszer-elemek kiesése esetén, az elem által biztosított funkció helyettesíthető, vagy egyszerűen elhagyható. Természetesen ebben az esetben nem beszélhetünk totális rendszer működésről, de a főbb funkciók üzemeltetése megoldott más rendszer-elemek feladat átruházásával. A funkció csökkentés elvének elengedhetetlen feltétele, hogy a funkciókat priorizáljuk, azaz meg kell állapítani a funkció fontossági sorrendjét, amit a rendszertechnikai realizálás során implementálni kell az egyes rendszer-elemekben. Mivel a funkció csökkentett üzem során az egyes rendszer-elemek tevékenységük fontossági sorrendjét változtatják, ezért biztosítani kell, hogy minden rendszer-elem minden más elemmel legyen képes adat cserét lebonyolítani. Ezt általános esetben vezeték nélküli csillagpontos vagy mesh hálózati kommunikáció alkalmazásával érhetjük el. A topológiai ábrából (31 ábra– a 10. mellékletben) látszik, hogy a decentralizált rendszerben az ábrán alkalmazható csillag topológia nem szükségszerűen megfelelő. Akárcsak a centralizált rendszer esetén a

központi elem kiesése, azaz ebben az esetben a hálózat vezérlő kiesése esetén a teljes rendszerben az adatcsere leáll. Ez pedig a korábbi fejezetben (3.1 fejezet) tárgyalt működési biztonságra irányuló kritériumnak (3. számú kritérium) nem felel meg. Következésképpen a rendszer hálózati struktúrája mesh hálózati topológia, mint decentralizált rendszer - működés biztos adatcsere lehetővé tevő kommunikációs hálózat. Ezen hálózati struktúrában továbbá lehetővé válik a bővíthetőség könnyű és gazdaságos megvalósítása is. Így ezt a kritériumot (1. számú kritérium) is messzemenőleg teljesíti az ilyen típusú rendszer kiépítésben működő struktúra. A hálózati struktúrából adódóan az egyes rendszer-elemek hibájának, vagy nem megfelelő működésének felderítése teszt programokkal, a hibás elem funkcióinak más elem által történő végrehajtása automata rekonfigurációval valósítható meg. A BVR-ben az egyes rendszer-elemek automatikusan szerveződnek hálózatba (ad-hoc mesh-hálózat) úgy, hogy a hálózat terepi viszonyoknak megfelelő biztonsági szinten történő működése garantált legyen akkor is, ha bármely rendszer-elem, vagy rendszer-elemek fizikailag megsemmisülnek, és a megmaradt rendszer-elemek továbbra is működtetik a hálózatot. [19]

A szubszidiaritás elve a rendszer determináló tényezője. Ezen elv szerint a problémákat ott kell megoldani, ahol azok felmerülnek, így magasabb szintű beavatkozásra csak akkor van szükség, ha a probléma az adott szinten nem oldható meg, és az a teljes hálózat működését akadályozná. Ennek az elvnek az alkalmazásával lehetséges egy IKT-alapú, "ambiens" intelligenciával rendelkező rendszer létrehozása, amely egyik jellemzője az elosztott struktúra. Az "ambiens" rendszerek jellemzően vezeték nélküli kommunikációs megoldásokat használnak. Az "ambiens" szó használata arra utal, hogy az e technológia alkalmazásával létrehozott architektúra helyi szinten - ahol szükséges - lehetővé teszi, hogy az egységek érzékelők és mérések segítségével folyamatosan figyeljék saját környezetüket. Bizonyos engedélyezett rendszer-elemek be is avatkozhatnak a működési mechanizmusokba, ugyanakkor arra is képesek, hogy tájékoztassák, és ha szükséges, figyelmeztetéseket vagy riasztásokat küldjenek a magasabb „evolúciós” pozíciókban lévő rendszer-elemeknek. A struktúrában minden egyes rendszer-elem autonóm, de összetettebb protokoll végrehajtása során dinamikus együttműködésben működnek. Gordos professzor szerint „az ambiens intelligencia (AmI<sup>10</sup>) számos tudományág, köztük a távközlés, a számítástechnika és a szenzortechnológia interdiszciplináris paradigmája. A fő koncepció az, hogy az

---

<sup>10</sup> Ambient Intelligence

eszközöket olyan információs és kommunikációs technológiákkal vesszük körül, amelyek észrevétlenül beágyazódnak a környezetbe, és amelyek a hangsúlyt a hatékony és elosztott szolgáltatások hálózatára helyezik át. Az intelligenciával, érzékelőkkel és beavatkozókkel felszerelt AmI-elemek ad hoc (spontán) kommunikációs kapcsolatokat hoznak létre egymással”. [120]

Konstrukciós szempontból, a rendszer törzsrészét alkotó jelzőegységek (SD: Sensor Device - Érzékelő egység/berendezés, a továbbiakban SD) „olyan egészet jelölnek, melyek egyrészt részekre oszthatók (moduláris felépítésűek), másrészt maguk is egy nagyobb egész része. Ezekből a stabil részrendszer elemekből könnyebben jöhetnek létre komplex struktúrák, mint pusztán alapelemekből.” [121] [122] A bioszféra védelmi rendszer „ily módon létrejövő struktúrája nem hierarchikusan szerveződött merev szerkezet, hanem plasztikus, ún. holarchikus szisztéma”. [121] [122] Ez a feltétele annak, hogy egyes jelzőegységek feladat „átruházását” megvalósíthassuk, mely pedig a működés biztosság kritériumát erősíti! Az ilyen rendszerek alapja olyan „gyorsan alkalmazkodó berendezések dinamikus szövetsége, amelyek közösen dolgozva komplex feladatok megoldására képesek, anélkül, hogy a komplexitásból adódóan gazdaságtalan, alacsony hatékonyságú lenne a működésük.” Kialakításuk „során megpróbálják ötvözni a teljesen autonóm, laza hálózatban működő rendszerek gyors alkalmazkodó képességét a klasszikus hierarchiai rendszerek stabilitásával és hatékonyságával.” (A holonikus és a klasszikus hierarchia megnevezésből került kialakításra a holarchia megnevezés!) Ezen újszerű „modellek (holarchia) sokkal közelebb állnak a természetes rendszerekhez és rendszerint több tudományágból átvett tapasztalatokra épülnek.” [123] [122]

A BVR felépítésében és működésében - a kritériumok teljesítésének feltételeként - megjelenik a holonikus rendszer szemlélet. “A holonikus rendszer alkotó eleme a holon. Egy olyan autonóm és egyben kooperatív eleme a rendszernek, amely átalakít, szállít, raktároz, valamint információt dolgoz fel. Az autonóm egységek, amelyek előre gyártott stratégiákat” (eseményekhez, azaz mérési értékekhez előre rögzített algoritmusokat tartalmaznak és futtatnak (29. ábra – a 10. mellékletben)) „és terveket hajtanak végre és együttműködésük azt jelenti, hogy adott halmazuk közös (az együttműködő holonok számára egyaránt elfogadható) tervet dolgoz ki, majd ezek alapján jár el. A holonok belső algoritmusaik révén képesek önütemezésre, önszabályozásra, önbeállításra és önjavításra. Kooperáló egységekként pedig erősségük a többi holonnal való kommunikáció, a közös célok megfogalmazására és elérésére irányuló együttműködés.” [121] [122]

A decentralizált intelligens autonóm rendszer (DIAS – Decentralized Intelligent Autonomous System, a továbbiakban DIAS) és a holonikus intelligens rendszer (HIS – Holonic Intelligent System, a továbbiakban HIS) a fejlett technológiai rendszerek két típusa, amelyek az elmúlt években jelentős figyelmet kaptak. Ezek a rendszerek úgy kerültek megtervezésre, hogy autonóm működést biztosítsanak, miközben kommunikálnak és kölcsönhatásba lépnek a környezetükben lévő más rendszerekkel. Mind a DIAS, mind a HIS az elosztott intelligencia koncepcióján alapul, amely az egyes ágensek/holonok azon képességére utal, hogy egy közös cél érdekében együttműködjenek. A DIAS és a HIS számos hasonlóságot mutat tervezésük és működésük tekintetében. Mindkét rendszer meghatározó jellemzője az önszerveződés és az önmenedzselés, amelynek megvalósítása intelligens ágensek hálózatának kialakításával történik, melyben az ágensek képesek kommunikálni és együttműködni egymással. A DIAS és a HIS közötti fő különbség a szervezés és az irányítás megközelítésében rejlik. A DIAS egyfajta autonóm rendszer, amely központi irányítás nélkül működik. Ezt a rendszert úgy tervezték, hogy egymással összekapcsolt ágensek hálózatoként működjön, amelyek a helyi információk és feltételek alapján hozhatnak döntéseket és cselekedhetnek. Ez a decentralizált megközelítés lehetővé teszi, hogy a DIAS hatékonyabban és robusztusabban működjön, mint a hagyományos központosított rendszerek, mivel minden egyes ágens alkalmazkodni tud a változó körülményekhez, és saját megfigyelései alapján hozhat döntéseket. A HIS ezzel szemben egy olyan rendszertípus, amelynek tervezési szempontja a hierarchikus és moduláris működés. A HIS a holonok koncepcióján alapul, amelyek olyan önálló, autonóm egységek, amelyek nagyobb rendszerekké kombinálhatók. A HIS-en belül minden egyes holon képes helyi információk és feltételek alapján döntéseket hozni és cselekedni, de a rendszer más holonjaival való kapcsolatain keresztül magasabb szintű információkhoz és vezérléshez is hozzáférhet. Ez a hierarchikus megközelítés lehetővé teszi, hogy a HIS rugalmasabb és alkalmazkodóbb legyen, mint a hagyományos centralizált rendszerek, mivel az absztrakció különböző szintjein képes reagálni a változó körülményekre. E különbségek ellenére a DIAS és a HIS számos kulcsfontosságú előnnyel rendelkezik a hagyományos centralizált rendszerekkel szemben. A DIAS és a HIS egyik fő előnye az autonóm működés és a változó körülményekhez való alkalmazkodás képessége. Ez lehetővé teszi, hogy ezek a rendszerek hatékonyabbak és rugalmasabbak legyenek, mivel akkor is képesek tovább működni, ha egyes ágensek vagy modulok meghibásodnak vagy megsérülnek. Emellett a DIAS és a HIS jobban skálázható, mint a hagyományos



centralizált rendszerek, mivel könnyen bővíthetők vagy szűkíthetők ágensek vagy holonok hozzáadásával vagy eltávolításával. A DIAS és a HIS további előnye, hogy képesek komplex és dinamikus környezetben is működni. Ezeket a rendszereket olyan környezetben való működésre tervezték, ahol a körülmények és a követelmények gyorsan és kiszámíthatatlanul változhatnak. Ezen előnyök ellenére a DIAS és a HIS tervezésével és megvalósításával kapcsolatos kihívások is vannak. Az egyik fő kihívás az ágensek vagy holonok közötti hatékony kommunikációs és koordinációs mechanizmusok kialakítása. Mind a DIAS-ban, mind a HIS-ben az ágenseknek és a holonoknak képesnek kell lenniük kommunikálniuk és összehangolniuk tevékenységüket céljaik elérése érdekében. Ehhez megbízható kommunikációs protokollok alkalmazására van szükség, valamint a rendszer konfliktusainak és hibáinak kezelésére. Egy másik kihívás a hatékony ellenőrzési és döntéshozatali mechanizmusok kifejlesztése. Mind a DIAS-ban, mind a HIS-ben az ágenseknek vagy holonoknak képesnek kell lenniük arra, hogy a helyi információk és feltételek alapján döntéseket hozzanak és intézkedéseket tegyenek. A hatékony döntéshozatal érdekében azonban képesnek kell lenniük arra is, hogy ezeket az információkat magasabb szintű információkkal és célokkal integrálják. Ehhez olyan kifinomult irányítási és döntéshozatali algoritmusok kifejlesztésére van szükség, amelyek képesek kezelni az összetett és dinamikus környezeteket. [122] [124]

A BVR-ben „a rész és egész világosan elkülöníthető egymástól, de nem abszolút értelemben. Az egész mindig egy nagyobb teljesség része, míg a rész egy kisebb egésze.” [121] [122] Ezek alapján a jelzőegység (SD) „olyan egész, amely egyben - a rendszer - részeként funkcionál, és bár a két funkció (egész - rész) egymástól elkülöníthető,” [121] [122] a bioszféra védelmi rendszerben „relatív a rész-egész viszonya.” (30. ábra – a 10. mellékletben) [121] [122] „A szerepek azonban a rendszerben gyakorta felcserélődnek: a rész egyben egész és fordítva.” [121] [122] „Az így felfogott jelzőegység tehát nem strukturális, hanem funkcionális egység, mely egészként autonóm, részként kooperációra törekvő” eleme a rendszernek. Belátható, hogy a rész-egész viszony alapján a rendszer elemeinek és a rendszer egészének az egyik alap kritériuma a modularitás. Látható, hogy ez nem csupán karbantartási igény, hanem a gyors és rugalmas alkalmazkodás nélkülözhetetlen feltétele. A BVR-ben működő jelzőegységek „kötött szabályok és rugalmas stratégiák vezérlik, működésüknek alapfeltétele a fejlett kommunikációs képesség, a helyzet gyors átlátására való hajlandóság és rugalmas válasz az állandóan változó külső körülményekre.” [121] [122]

A jelzőegységek (SD) két alaptulajdonsággal jellemezhetők: az önállóságra való törekvéssel és az együttműködésre való hajlandósággal. Ha az önálló feladat megoldás során kooperálniuk kell, akkor nagyon hatékonyan képesek rá, miközben továbbra is autonóm döntéshozatalra alkalmas elemek maradnak.” [121] [122] (30. ábra – a 10. mellékletben) A jelzőegység tehát olyan autonóm és egyben kooperatív eleme a rendszernek, amely átalakít, szállít, raktároz, valamint információt dolgoz fel. Alkalmas az együttműködésre, vagyis az adatok kétirányú áramoltatására, más esetekben viszont az adatátvitelt egyirányúsítja, és nem engedi be a kívülről áramló információkat. A jelzőegységek együttműködése azt jelenti, hogy adott halmazuk közös terv alapján járnak el és mint autonóm egységek a belső algoritmusaik révén képesek önütemezésre, önszabályozásra, önbeállításra és önjavításra. Kooperáló egységekként pedig erősségük a többi jelzőegységgel való kommunikáció, a közös célok megfogalmazására és elérésére irányuló együttműködés. A holarchia létrehívja a kooperáció szabályait, amelyek szükségképpen korlátozzák a kooperáló jelzőegységek autonómiáját. A BVR jelzőegységeinek sematikus feladat végrehajtását mutatja a 30. ábra – a 10. mellékletben. Az egyes jelzőegységek „egymással szoros kapcsolatban állnak, és közöttük” a bioszféra védelmi „rendszer működéséhez szükséges információcsere zajlik.” „Autonómiájuknál fogva a jelzőegységek az önálló feladat megoldásra törekednek, de ha nem képesek a feladatot önállóan megoldani, akkor kapcsolatba lépnek más jelzőegységekkel és közös csoportba tömörülve oldják meg a problémát. (30. ábra – a 10. mellékletben) Az ilyen csoportokban, ha feladat megoldása megkívánja, akár időleges hierarchikus szerveződés is lehet.” „A kialakult szerveződés nem statikus. Különböző feladatokra más-más csoportosulások jönnek létre, és a feladat teljesítése után a csoport felbomlik.” [123] [122] A folyamatokban mindig van egy folyamat indító egység, de ez a szerepkör az aktuális rendszerben fennálló helyzettől függően változik. A BVR-be „könnyen beilleszthető az ember, hisz autonóm és együttműködésre képes, egyszerűen integrálható a gépi és az emberi döntéshozás, mivel az ember is önálló eleme, szerves összetevője egy komplex feladatot ellátó csoportosulásnak.” [123] [122]

A BVR szuverenitását biztosítja, hogy – az önvédelmi mechanizmusa során - folyamatos figyelemmel kíséri saját sértetlenségét, és hibás, vagy sérült, vagy megsemmisült rendszer-elem észlelésekor azonnali riasztási jelzést küld a felügyeleti számítógépes rendszer központokba, vagy egy előre tárolt mobil telefonszámra. Az információ birtokában a felügyeleti számítógépes rendszer központ kezelőszemélyzete

pontos képet alkothat a sérült rendszer-elemek számáról, elhelyezkedéséről és minőségéről. Ezen felül képes jelezni a jelzőegységek, illetve a jelző- és kommunikációs egységek mozgását vagy mozgatását. [19] [119]

A védelmi rendszer képes alkalmasan kiválasztott és előzőleg RFID transzponderrel megjelölt fák, vagy egyéb objektumok elmozdulását érzékelni, figyelni, azonosító adataikat a felügyeleti számítógépes rendszerközpontokba, vagy egy előre tárolt mobil telefonszámra továbbítani. A BVR egy intelligens integrált rendszer, ami azt jelenti, hogy az egyes eszközök folyamatai kölcsönhatásban vannak egymással. Feladat végzésük során, az egyes folyamatokban betöltött szerepek szerint az egységek kiegészítő kapcsolatban állnak egymással. Az ilyen típusú integrált struktúra lehetővé teszi egy összetettebb (teljesebb) védelmi rendszer kialakítását, amely biztonságosabb és hatékonyabb működést biztosíthat. Ezen túlmenően, egy ilyen rendszer számos további előnnyel jár, még akkor is, ha csak a működés közben fellépő problémákat vesszük figyelembe. [18] [19]

### **3.3 A berendezések hálózatának kialakítása és működése**

A BVR kommunikációja esemény vezérelt és parancsorientált. Esemény vezéreltnek nevezzük mert, csak akkor küld táviratot (információt) egy rendszer elem, ha valamilyen esemény történt és parancsorientáltak, mert a végrehajtandó funkciók az érzékelőkhöz, kapcsolókhöz vannak hozzárendelve. A buszra kiadott táviratokat az azt vevő rendszer elemek - az életjel kivételével - minden esetben nyugtázzák. Pontosabban azt, hogy a táviratban kiadott utasítás végrehajtása megtörtént-e, vagy valamilyen oknál fogva ez nem volt megvalósítható. A nyugtázás egy külön távirattal történik, melyben a parancs visszautasításának az oka is megtalálható. Egyes berendezéseknél beállítható a ciklikus adás is, vagyis az információ meghatározott időközönkénti rendszeres továbbítása. Kommunikációs adatvonal vesztés esetén hibaüzenet kerül továbbításra a kooperációs felek (más rendszer elemek) felé és a karbantartásért, illetve hiba elhárításért felelősök is közvetlenül értesítésre kerülnek a felügyelet nélkül maradt terület bioszférájának jelentős sérülése elkerülése érdekében. [125]

A folyamatos információ-áramlást a primer kommunikációs csatorna esetén hagyományos hálózati struktúrával – amilyen a másodlagos és harmadlagos kommunikációs csatorna - nem célszerű megvalósítani, mert ha egy kitüntetett szereplő (hálózati útválasztó) a rendszerben megsemmisül, minden olyan elem, amely rajta

keresztül kommunikált volna, információ továbbítása lehetetlenné válik. Ennek a helyzetnek a kiküszöbölésére olyan hálózati megoldásra van szükség, amelyben nincsenek kitüntetett szereplők mindenki egyenrangú, így a hálózat bármely elemének, vagy elemeinek kiesése nem okozza a hálózat teljes leállítását. Az ilyen hálózat addig működőképes, míg az utolsó két elem meg nem semmisül. Ezzel a hálózati megoldással lehet időt és esélyt biztosítani a felügyeletben résztvevők számára a komoly károkkal járó események bekövetkezésének elhárítására.

A bioszféra védelmi rendszer csak akkor végzi jól a feladatát, ha minden körülmények között képes a környezetében történő eseményekből származó információk továbbítására a felügyeleti számítógépes rendszer központba. Éppen ezért, külső területen **az alap kommunikációs csatornának köszönhetően a rendszerben az egyes rendszer-elemek automatikusan szerveződnek hálózatba (ad-hoc mesh-hálózat, Zigbee) úgy, hogy a hálózat környezeti viszonyoknak megfelelő biztonsági szinten történő működése garantált akkor is, ha bármely rendszer-elem, vagy rendszer-elemek fizikailag megsemmisülnek, és a megmaradt rendszer-elemek továbbra is működtetik a hálózatot.**

*Mi a Zigbee?*

A Zigbee egy alacsony költségű, kis teljesítményű vezeték nélküli hálózati szabvány. Alacsony költsége lehetővé teszi, hogy széles körben elterjedjen mindenütt, ahol vezeték nélküli vezérlő és naplózó alkalmazásokra van szükség. Az alacsony energiaigény pedig a hosszabb élettartamú és kisebb méretű akkumulátorok használatának kedvez. A mesh hálózat emellett nagy megbízhatóságot és kiterjesztett hatótávolságot biztosít. [126]

A mesh hálózat alapja, hogy a csomópontok nemcsak fogadják és küldik adataikat, hanem kiszolgálóként is működnek más csomópontok számára: a hálózatban lévő csomópontok együttműködése továbbítja az adatokat a hálózaton keresztül. [126]

A mesh hálózatot két technikával lehet megtervezni: az egyik az útválasztási technika. Az útválasztási technika segítségével az üzenet a hálózaton keresztül halad, egyik csomóponttól a másikra ugrálva, amíg el nem éri a célállomást. Az útválasztás biztosításához elengedhetetlen, hogy a hálózat csomópontjai folyamatosan kapcsolatban legyenek egymással, hogy a hálózat automatikusan újraszervezze magát, ha az útvonal megszakad vagy elakad. [126]

A távoli rendszerelemek közötti kommunikáció azért közvetett (ú.n. multi-hop), mivel a közvetlen (ú.n. single-hop) kapcsolat nem lehetséges az egyes rendszerelemek korlátozott energiaellátása, a mobilitás és az esetleges interferencia miatt. A közvetett kommunikációban az egyes rendszerelemek csak azokkal a hálózaton belüli rendszerelemekkel tartanak közvetlen kapcsolatot, amelyek adását értelmezni (fogadni) tudják. Ezeket nevezzük szomszédos rendszerelemeknek. Az összes többi rendszerelem, amely nem szomszédos, csak közvetve érhető el a saját szomszédjai által, a nem szomszédos célrendszerelemeknek küldött üzenetek továbbításával, valamilyen (az útválasztási protokoll által meghatározott) mechanizmus szerint. A közvetett kapcsolatra épülő kommunikáció esetén minden egyes rendszerelem egyben útválasztóként is működik, aminek biztosítania kell a rendszer önszerveződő képességét. Szükség esetén továbbítják a fogadott üzenetet a célrendszerelemnek, másrészt útvonal-kezelést is végeznek, és útvonal-információkat szolgáltatnak a többi rendszerelemnek. A védelmi rendszer hálózatának esetében fontos, hogy a lehető legbiztonságosabb és leggazdaságosabb adatátvitel biztosítása, azaz hogy optimálisan kihasználja a rendelkezésre álló sávzélességet és energiát takarítson meg. [126]

Ezzel a hálózati megoldással lehet időt és esélyt biztosítani a védelemben résztvevők számára a komoly károkkal járó események bekövetkezésének elhárítására. A megoldás másrészt azon a felismerésen alapul, hogy a bioszférában előforduló, megjelenő résztvevők (állatok, növények, emberek) – a szándékuknak megfelelően - csak meghatározott cselekvési formával rendelkeznek, amelyek formalizálhatóak. Meghatározott cselekvési formának tekinthetjük például egy erdőben található fa álló helyzetét, mivel helyváltoztatásra önmagától nem képes. Amennyiben mégis helyváltoztatás történik, a rendszer segítségével lehetőség van az esemény jelzésére. A módszer lényege, hogy a bioszféra-védelmi rendszer - kialakítása során - a terepi viszonyok mellett ezen cselekvési formákat, mint helyi viszonyokat figyelembe veszi és alkalmazkodik hozzá. A BVR képes az illegális fakitermelés kezdetének rögzítésére, falopások érzékelésére, védett területre történő behajtás rögzítésére, a bioszférában megjelölt résztvevők valós idejű nyilvántartására, számos természeti katasztrófa-fajta kialakulásának kezdeti észlelésére (például: engedély nélküli vagy spontán keletkező tüzek jelzése), illegális tűzhasználatnak, füstgáz keletkezésének érzékelésére és ezen jelzések rendszerben történő egyidejű kezelésére. A módszernek köszönhetően nagymértékben javítható a társadalmi szereplők jogkövető magatartása az erdő- és

természetvédelem területén. Ha köztudottá válik, hogy a védelmi rendszer folyamatos figyelemmel kíséri a társadalmi szereplőket és a kiválasztott és előzőleg RFID transzponderekkel megjelölt fákat, vagy egyéb objektumokat, nagymértékben csökkenthető a szabálysértések és a környezetkárosítás mértéke és a rendszer használata ezek társadalmi prevenciójához vezet.

### **3.4 A rendszer elemek kialakítása**

A hardver kialakítás legfontosabb kiindulási kritériuma a modularitás. Ebben az esetben ez azt jelenti, hogy az egyes funkciók megvalósításához tartozó alkatelemeket ugyanazon modulon helyezzük el, így hardver hiba esetén csak az adott modult kell kicserélni. Uniformizált belső modulok közötti adatcserét feltételezve, az adott modul továbbfejlesztése és frissítése is egyszerűen megvalósítható. Mivel a rendszer-elemeknek egymás feladatait el kell tudni látni, illetve a szerep, melyet a hálózati működésük közben betöltenek folyamatosan változik, így minden szerepkörre fel kell készíteni. Ennek megfelelően hardver felépítésük teljesen azonos lehet. Ennek számos rendszertechnikai és gazdasági előnye van. Az azonos hardver felépítéshez azonos szoftver struktúra tartozik, így a hiba észlelése lényegesen egyszerűbb, hiszen a feladatok elvégzése során az eltérő szerepkörökhöz társított eltérő funkciók szoftveres úton a programban vehetők figyelembe. Ez természetesen minden rendszer-elemet érint, melyek alapvetően önálló feladatot látnak el, azaz az egyes rendszerelemek saját belső algoritmusaik feldolgozásával foglalkoznak minimálisra csökkentve ezáltal az egységek közötti adatcserét. [18]

Egy nagymegbízhatóságú beágyazott berendezés, illetve az ezek sokasága alkotott rendszer esetében, ahol az élet és biztonság kérdése is szóba kerülhet, kritikus fontosságú a megbízhatóság növelése. A megkövetelt megbízhatóságnak (lásd 1.3 fejezet) megfelelően a rendszer egyes elemeiben - a rendszer elemek meghibásodásának az üzemvitelre gyakorolt hatása alapján - a következő tartalékok (ú.n. redundancia) kerültek kialakításra: a jelzőegységben 2 független magos mikrokontroller (TMS570LC4357) került alkalmazásra, melyek egymástól akár teljesen szeparáltan „dolgoznak”, ugyanakkor ugyanazt a feladatot látják el. Ebben az esetben ez azt jelenti, hogy ha az egyik mikrokontroller mag meghibásodik, a másik még mindig képes lesz az egység és egyben a rendszer működtetésére. A jelzőegység “tartalék magja” “forró tartalék” konfigurációban működik úgy, hogy valamelyik mag kiesése az üzemvitelt semmiképpen nem csorbítja. Redundancia került kialakításra a jelzésátviteli hálózaton is (Zigbee és

LORA: lásd 12. melléklet). Mindenképpen meg kell jegyezni, hogy ezek nem teljesen ugyanazt a kiépítést valósítják meg, ennek következtében a feladatuk sem teljesen ugyanaz. A cél a „specifikus” redundancia alkalmazásánál az a kiemelt funkció biztosítása, hogy a felügyeleti szervek információt kapjanak a riasztásjelzésről, még abban az esetben is - ha az elsődleges kommunikációs csatorna nem üzemel. Ezen felül tartalék került kialakításra a felügyeleti számítógép esetén is, melyet egy ipari számítógép páros alkot és “forró tartalék” állapotban működik. A tartalék elemek szoftverei azonosak és saját processzorukon, vagy processzor magukon futnak. Ezek a redundancia megoldások biztosíthatják a nagyobb megbízhatóságot és a rendszer általános stabilitását, és segít minimalizálni - a kritikus hibák és meghibásodások bekövetkezésekor - a bioszféra sérülés kockázatát.

A jelzőegységek hálózatának egyik fő célja, hogy hosszabb időn keresztül pontos információt szolgáltatson a megfigyelt/védett területről származó eseményekről. Ehhez a lehető legtöbb érzékelő típusról érdemes ismereteket gyűjteni, hogy az érzékelő kiválasztást megfelelő információk birtokában tudjuk elvégezni. Az energiafelhasználási korlátok miatt és a hálózat élettartamának meghosszabbítása érdekében azonban, a folyamatosan aktív érzékelők számát a lehető legkisebbre kell csökkenteni. Az érzékelők kiválasztási szempontjai ezeknek a kritériumoknak a megfelelésségét biztosítják.

#### *A rendszer-elemek energia ellátása*

Az energiagazdálkodás a vezeték nélküli kommunikáción alapuló hálózatok tervezésének legnagyobb kihívása. A jelzőegységek az alkalmazás jellegéből és a telepítési követelményből adódóan akkumulátorral működnek. Az akkumulátorok élettartama azonban korlátozott, ami befolyásolja a teljes rendszer teljesítményét, és időről időre cserére szorulnak. E probléma megoldása érdekében az akkumulátor élettartama a következő megközelítések elfogadásával meghosszabbítható:

1. Kis teljesítményű jelzőegységek tervezése.
2. Lehetőség szerint harmadik féltől független energiatermelés lehetősége, melyet bizonyos rendszer-elemnél alkalmazunk.

**Számos esetben a fontosnak vélt események folyamatos megfigyelése helyett inkább időszakos megfigyelést igényel.** Az ilyen megvalósítások esetében a rendszernek nem kell állandóan éber állapotban lennie (magas energiafogyasztás), hanem

lehet alvó állapotban (alacsony energiafogyasztás), amíg nem szükséges a paraméterekkel körülírt esemény megfigyelése. Ez az energiafogyasztás jelentős csökkenéséhez vezethet. Ma már számos olyan alacsony fogyasztású chipkészlet áll rendelkezésre, amely ilyen kialakításhoz konfigurálható. (A prototípus esetén alkalmazott mikrokontroller: TMS570LC4357 – Arm Cortex R5F: 2 független mag, 300Mhz. órajel; 168 GPIO; UART 4; CAN 4; Ethernet; SIL 3 biztonságintegritás szintű. )

### **3.4.1 A jelzőberendezés eljárásai a jelzés megbízhatóságának növelése érdekében**

A berendezések a méréseket előre meghatározott és a berendezésekben tárolt időpontokban végzik el. Amennyiben egy mért érték megközelíti (a közelítés mértéke szintén állítható és a berendezésekben tárolt érték) a korábban tárolt küszöb értéket, akkor - a beállítások alapján akár előjelzési üzenetet is küldhet a felügyeleti számítógépes rendszerközpontba, vagy egy előre tárolt mobil telefonszámra. A feltételes mód használata itt azt jelenti, hogy paraméterezhető az a funkció, hogy szükséges-e az előjelzés, vagy sem. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a berendezések autonóm működésűek és csak akkor lépnek kapcsolatba más rendszer-elemekkel, ha a feladat végzésük során ez elkerülhetetlen, így nem feltétlenül szükséges az előjelzésről üzenet kiküldése. Ugyanis, ha a mért érték eléri a küszöbértéket, akkor a berendezés - minden esetben - jelzésverifikációs eljárást futtat. Ez azt jelenti, hogy a kritikus érték elérésekor nem küld azonnal riasztás jelzést (a riasztás jelzés nem ugyanaz, mint az előjelzés), hanem előre beállított idő (jelzés-verifikációs idő) múlva megismétli a mérést. Ha a kritikus állapot továbbra is fenn áll, akkor értelmezi úgy a berendezés, hogy riasztási állapotban van. Erről az állapotról üzenetet küldhet a felügyeleti számítógépes rendszerközpontba, vagy egy előre tárolt mobil telefonszámra. A jelzés-verifikációs eljárással a rövid ideig fennálló, múltó zavarok okozta hatásokat lehet kiszűrni. és ezzel csökkenthető a téves riasztások száma. A berendezés állapota ugyan riasztási, de nem történik rendszer szintű riasztás. A korlátozott kommunikációs hálózat használat megkönnyíti a jelzés ellenőrzését, tehát a jelzésbiztos üzemet. A jelzés-verifikáció jelen esetben nem csupán az önállóan működő egységben történik, hanem több más egység között is. Sőt nemcsak ugyanazon fizikai mennyiség mérését végzi el több jelzőegység, hanem a jelzést kiváltó fizikai jelenség más mérhető hatásait is megvizsgálja, azaz decentralizált **kereszt-verifikációs eljárást** folytat.



*Kereszt-verifikációról beszélünk, ha a bekövetkező esemény, vagy folyamat (pl. tűzgyulladás) fizikai jellemzőinek mérése esetén, a mért jellemző értéke meghaladja a küszöbértéket és a verifikációs idő leteltét követően nem ugyanazon fizikai jellemző mérésére kerül ismét sor (verifikáció), hanem más, az esemény, vagy folyamatot jellemző érték küszöbértéket meghaladó érték mérése történik. Ezt keresztverifikációs eljárásnak nevezzük.*

Így biztosítható, hogy téves, vagy hibás jelzés ne kerüljön továbbításra a felügyeleti szervekhez. Ez a jelzés megbízhatóságának követelménye. Fontos kiemelni, hogy a keresztverifikációs eljárás lefuttatása nem feltétlenül egy berendezésben kerül aktiválásra. Decentralizált keresztverifikációs eljárásról, akkor beszélünk, ha abban kettő, vagy annál több berendezés vesz részt, azaz a verifikációs idő leteltével, nem (csak) a mérést végző berendezésben kerül újra megvizsgálásra a jelzés kiváltó ok (tűzjellemző), hanem más, a környezetben található berendezésben is. Abban az esetben, ha azonos területen lévő berendezések egyszerre, illetve rövid időn belül kerülnek jelző állapotba, akkor ez rendszer szintű riasztást fog jelenteni. Ez a BVR együttes-jelzés funkciója. A jelzőegységek folyamatosan (időzített algoritmus) monitorozzák a környezetben lévő hatásokat. Amennyiben nagyobb a környezeti zavaró hatás a berendezés automatikusan érzéketlenebb "állásba kapcsol", azaz a funkció aktiválásakor - paraméterezhető időeltolódással - megemeli a küszöbértéket, míg a zavaró hatások elmúltával újra érzékenyebb lesz (eredeti küszöbérték). Ez a jelzőegység adaptív érzékenység változtatási funkciója. Lehetőség van a jelzőegységekben kialakított algoritmusok alapján a küszöbértékek öntanuló beállítására is. Ezt a funkciót önbeálló előjelzésnek nevezzük. Ennek során az érzékelő környezetében mért hosszú idejű értékek alapján állítja be automatikusan az érzékelőhöz rendelt küszöb értéket.

Tűz esetén megjelenő tűzjellemzők a nyílt térben szabadon terjednek (pl. füst, infravörös sugárzás), ezért egy pontban történő mérése nehézkes és nyílt tűz esetén nem jelent hiteles riasztást. A rendszer berendezései, amikor az általuk mért érték eléri a küszöbértéket, a jelzés-verifikáció mellett, a környezetében működő más (hasonló) berendezésektől lekérdezi, azonos vagy más tűzjellemző mért értékeit (kereszt verifikáció). Az értékek összehasonlításából biztosan meg tudja állapítani, hogy a területen tűz van-e, vagy sem. Ugyanígy a korábban megjelölt objektumok, fák eltűnése, vagy feltűnése esetén is lekérdezi a környezetében működő berendezéseket, hogy olvassák-e az eltűnt transzpondert. Ez az algoritmus a rendszer kereszt-verifikációs

csoport döntése, melynek során a tűz megjelenésénél több tűzjellemző nagyobb területen történő megállapítása, illetve mozgó transzponderek megjelenése és eltűnése terület szinten határozható meg, nem pedig pontszerűen. A kereszt-verifikációs csoport döntésnek köszönhetően nem pontszerű, hanem területszerű érzékelés valósítható meg, mellyel a riasztás hitelessége növekszik, a téves riasztások száma pedig csökken. A csoport döntéshez nem szükséges a központi számítógép. A berendezések egymással kommunikálnak saját protokoll szerint. Csak az eredményről küldenek értesítést a központnak. A csoport döntéshez elengedhetetlen az algoritmus tárolása a berendezésekben, melyek ezáltal intelligenciát kapnak. Minden döntést és mért érték hitelesítést az eszközök végeznek. A berendezések egymással kommunikálnak központi szerver nélkül, a mért értékek megosztása, a riasztási üzenet hitelességének biztosítása érdekében. A köztük lévő kommunikáció saját titkosított protokollon keresztül valósul meg.

Ezeket a szempontokat figyelembevéve a berendezés autonóm működésűnek kell lennie, melyek azonos hardver és szoftver felépítésüként laza kapcsolatából álló hálózatba szerveződnek. Ennek a kiépítésnek a gazdasági haszna, hogy az ugyanolyan jelzőegységeket könnyebb nagyobb mennyiségben gyártani, a karbantartáshoz tartalékolni, illetve fizikailag karbantartani. Hátránya sajnos az, hogy sok kell belőle. A jelzőegységek funkciójuk szerint elláthatnak:

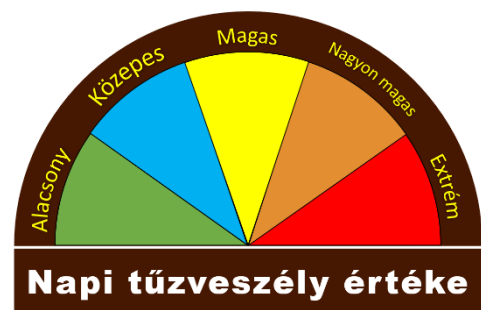
- Mérési feladatokat.
- Adat tárolási feladatokat.
- Kommunikációs feladatokat.
- Jelzési feladatokat.
- Jelzés ellenőrzési feladatokat.

A spontán, vagy szándékosan keletkező tüzek jelenlétére, esetleg kialakulásainak körülményeire utaló fizikai jellemzők és az ezekből származtatható előrejelző indexek számítása, a kialakult tüzek helymeghatározása, esetleg terjedésük irányának meghatározása fontos feladata a rendszernek. A valós időben mért adatok felhasználásával a berendezések tűzveszélyességi indexek és összetevőik meghatározását is végzik. Ezen indexek valós idejű értékét küldi a számítógépes rendszerközpontba, vagy egy előre tárolt mobil telefonszámra - az előre beállított paraméterek szerint. A valós idejű értékek ismeretében lehetőség van felderíteni a tűz kialakulásának veszélyét bizonyos

területeken, még mielőtt maga a tűz kialakul. Nagyobb hangsúlyt lehet fektetni a megelőzésre az indexek összetevőinek ismeretében. A tűzvédelmi időjárési rendszer egységes, numerikus módszert biztosít a tűzveszély minősítésére egy terület egészén. Kizárólag az időjárástól függ, és nem veszi figyelembe a kockázat, a tüzelőanyag vagy a domborzat különbségeit.

Az időjárás szerepe az erdő- és vegetációs tüzek tekintetében kettős: hat a tüzek kialakulására, illetve a már égő tüzek oltására. Az erdőtűz szezonzának ideje és hossza a klíma mellett az aktuális időjárési viszonyok, a rövid és középtávú trendek, valamint a veszélyeztetett területek függvénye. Az erdőtűz időjárési index (FWI – Fire Weather Index, a továbbiakban FWI) a tűzveszély fokának nominális mérésére szolgál. Az index meghatározása országonként változik, de a napi min., max. és átlag hőmérséklet, a napi min., max. és átlag relatív páratartalom, az előző időszakban esett csapadék mennyisége, az utolsó csapadékmennyiség és az azóta eltelt idő adatokat mindegyik tartalmazza. Az FWI segítségével előre jelezhető, hogy az adott időszakban mekkora valószínűséggel és milyen állományban várható erdő- és vegetációs tűz keletkezése. Az FWI értékei nagyban segítenek a tűzveszélyesség becslésében, így a megelőző intézkedéseket is hatékonyabban tudják megszervezni. A megfelelő taktika és technológia kiválasztásához, speciális erdő- és vegetációs tűz szempontból fontos információkat tartalmazó tűzidőjárési jelentésre van szükség. A hatékony tűzoltáshoz minimum egy órai gyakorisággal kell eljutnia az oltást vezető szakemberhez. Az időjárési viszonyok változásának ismeretében lehet a tűz várható terjedési irányát és sebességét tervezni, és a védekezésben résztvevő erők biztonságát és hatékonyságát a megfelelő oltási taktika kiválasztásával garantálni. [127]

Az FWI értékeket a tűzveszélyességi osztályok (L1-től L5-ig, illetve L1-től L6-ig) határozzák meg, ahol a magasabb osztályok nagyobb tűzveszélyt jelentenek. Az FWI a kanadai Nemzeti Tűzveszélyesség Értékelő Rendszer része, amelyet világszerte használnak az erdészeti szolgálatok, a tűzoltóságok, a meteorológiai intézetek és az erdőtulajdonosok, hogy előre jelezzék a tűzveszélyességet és hatékonyabban kezeljék a tüzeseteket. Az FWI kiszámítása a meteorológiai és a növénytani adatok kombinációján alapul. A rendszer öt



8. ábra: Az FWI értékeinek megfelelő tűzveszélyességi osztályok. A [139] alapján a szerző fordítása

különböző komponenst használ fel: a hőmérsékletet, a relatív páratartalmat, a szélesebbeséget, a csapadékot és az előző napi maximális széllekkést.

Az FWI, mint összetett index általános értelmezése - azaz a veszélyt megjelenítő skála - minden alkalmazó országban nagyon hasonló (8. ábra), de az index kiszámításának módja, az egyes területi sajátosságokat is figyelembe vevő egyszerűsítéseket tartalmaz. Elmondható, hogy az eredeti kanadai FWI értékének kiszámolása bonyolult egyenletek összességével valósítható meg [128], míg Ausztráliában és az USA-ban a helyi sajátosságoknak megfelelő egyszerűsített összefüggéseit alkalmazzák. Fontos megjegyezni, hogy sok esetben az FWI nem csupán egy érték, hanem számos alindex összesített eredménye, de az előrejelzésekhez az alindexeket épp úgy felhasználják, mint az összetett értéket. Az eredeti FWI-nak [128] alapján öt összetevője a következő:

- FFMC - (Fine Fuel Moisture Code - finom tüzelőanyag-nedvesség kód, a továbbiakban FFMC). Az avar és más kikeményedett finom tüzelőanyagok nedvességtartalmának numerikus minősítése. Ez a kód a finom tüzelőanyag relatív könnyű gyulladását és gyúlékonyságát jelzi.
- DMC - (Duff Moisture Code – szerves réteg nedvesség kód, a továbbiakban DMC). A közepes mélységű, lazán tömörített szerves rétegek átlagos nedvességtartalmának numerikus minősítése. Ez a kód a mérsékelt tufa rétegek és a közepes méretű fás anyagok tüzelőanyag-fogyasztását jelzi.
- DC - (Drought Code - szárazság kód, a továbbiakban DC). A mélyen fekvő, tömör, szerves rétegek átlagos nedvességtartalmának numerikus minősítése. Ez a kód hasznos mutatója az évszakos szárazságnak az erdei tüzelőanyagokra gyakorolt hatásának, valamint a mély tufarétegekben és a nagyméretű fatörzsekben a parázslás mértékének.
- ISI - (Initial Spread Index – kezdeti terjedési index, a továbbiakban ISI). A tűz várható terjedési sebességének numerikus minősítése. A szél és az FFMC terjedési sebességre gyakorolt hatását kombinálja, a változó mennyiségű tüzelőanyag hatása nélkül.
- BUI - (Build Up Index - tüzelőanyag mennyiségi index). Az égéshez rendelkezésre álló tüzelőanyag teljes mennyiségének numerikus értékelése, amely a DMC és a DC értékeit kombinálja.

Így adódik az FWI, amely tűz intenzitásának numerikus értékelése és az ISI-t és a BUI-t kombinálja. Alkalmas a tűzveszély általános indexeként az erdős és vidéki területeken.

Az FWI - az USA-ban szerzett gyakorlati tapasztalatok alapján egyszerűsített - képlete az alábbi összetevőkből tevődik össze (USA - gyakorlati korrekciókkal, mely a berendezésben implementálásra került):

$$FWI = (0,0272 \times RFWI + 0,211 \times DMC + 0,0443 \times FFMC + 0,0379 \times ISI) / 0,321$$

Ahol:

- RFWI: (Reference Fire Weather Index – az FWI referencia értéke). Az esőhiány hatását mutató tűzveszélyességi index, amelyet a számítógépes modell az előző napokban mért csapadékmennyiség, hőmérséklet és páratartalom alapján számít ki.
- DMC: a felszín alatti éghető anyag (talaj és föld alatti növényi részek) tűzveszélyességének mértéke.
- FFMC: a felületi éghető anyag (kéreg, tűlevelek stb.) tűzveszélyességének mértéke.
- ISI: a tűz terjedésének sebességét jellemző index.

Az FWI értéke 0 és 100 közötti skálán mozog, és minél magasabb az értéke, annál nagyobb a tűzveszélyesség. Az index értékei és a tűzveszély szintjei közötti összefüggés a következő:

#### 0-10: Alacsony tűzveszély szintje

Az FWI értéke 0-10 közötti tartományban van, amely alacsony tűzveszélyt jelent. A tűz elterjedése ebben az esetben csak nagyon lassan, vagy egyáltalán nem történik.

#### 11-20: Közepes tűzveszély szintje

Az FWI értéke 11-20 közötti tartományban van, amely közepes tűzveszélyt jelent. A tűz elterjedése ebben az esetben lassú lehet, de könnyen ellenőrizhető.

#### 21-30: Magas tűzveszély szintje

Az FWI értéke 21-30 közötti tartományban van, amely magas tűzveszélyt jelent. A tűz elterjedése ebben az esetben gyors és nehezen ellenőrizhető.

#### 31-50: Nagyon magas tűzveszély szintje

Az FWI értéke 31-50 közötti tartományban van, amely nagyon magas tűzveszélyt jelent. A tűz elterjedése ebben az esetben nagyon gyors és nagyon nehezen ellenőrizhető.

50 felett: Extrém tűzveszély szintje

Az FWI értéke 50 felett van, amely extrém tűzveszélyt jelent. A tűz elterjedése ebben az esetben rendkívül gyors és ellenőrizhetetlen.

Az FWI tehát egy olyan rendszer, amely a tűzveszélyesség becslésére és a tűzterjedés előrejelzésére szolgál. A BVR-ben – a területi sajátosságoknak megfelelő – index számítás megvalósítható. Az USA piacára szánt prototípusban a Kaliforniai Tűzoltóparancsnokság által használt változat került beépítésre.

### **3.4.2 A jelzőberendezés felépítése**

A jelzőberendezések mérési feladataikat különböző szenzoroknak köszönhetően végzik, mely a környezeti és belső hőmérséklet, páratartalom, infravörös sugárzás, széndioxid, szén-monoxid és metán gáz mennyiség, szélsébség és csapadék mennyiség mérését jelenti.

A mért adatok tárolását minden egység saját átmeneti tartós adattárolójában valósítja meg. Az egyes egységek nemcsak a mért értékeket tárolják, hanem számos beállítási paramétert is, ilyenek lehetnek a küszöbértékek, a kereszt-verifikációra kijelölt társberendezések, a mérési időközök, stb. A rendszer képes a jelzőegységekben előzetesen tárolt határérték, vagy korlát (küszöbérték) elérésekor riasztási üzenet továbbítására a számítógépes rendszer központokba, vagy egy előre tárolt mobil telefonszámra. A rendszer-elemek előre meghatározott időnként életjellet küldenek a számítógépes rendszer központokba. Az életjel elmaradása esetén az egységek riasztási üzenetet küldenek a felügyelő személyzetnek. [119]

A jelzőegységek kis méretüknél fogva kitűnően álcázhatók. Az álcázás megválasztásánál azonban figyelembe kell venni, hogy a jelzőegység szenzorai szabad levegővel érintkezzenek, illetve a modulok (GPS, LORA/GSM, Zigbee) antennái megfelelő helyen legyenek elhelyezve (télerősség és a környezet károsító hatása miatt). Az álcázás elkészítésének kritériuma, hogy a jelzőegység nem eredményezheti a környezet sérülését, és hogy a rossz szándékkal közelítők számára nehezebb legyen az egység hatástalanítása. Ezeket a szempontokat és a környezeti kialakításokat figyelembe

véve a fás területeken legalkalmasabb álcázó eszköz a madáretető, vagy madárodú. A mezőségi, bokros környezetben az álcázó bokor, a közlekedési útvonalaknál a sorompó, útjelző tábla, vagy ívelt kapu használata válhat szükségessé. Sorompó, tábla, illetve ívelt kapu igénybevételenél a műtárgyak megfelelő részeit kell felhasználni, hogy a jelzőberendezés elrejtésre kerüljön. A kihelyezett madárodúkkal a jelzőegységek álcázásán túl a rendszer hozzájárul ahhoz is, hogy a madarak - természetes kialakítású védett fészkek hiányában – biztonságot találjanak és ezáltal egyedszámuk gyarapodjon. Eredeti élőhelyük beszűkülésével, a vastag fák kivágásával a madarak természetes életfeltételei évről évre csökkennek. Az álcázott jelzőegység erre kialakított része télen a hideg elől éjszakai búvóhelyként, tavasztól ősziig pedig költőhelyként szolgálhat a madarak számára. Az odú időjárásnak ellenálló faanyagból, száraz deszkából készül, hogy ne vetemedjen. A felülete nem igényel semmilyen kezelést/festést, így a madarakra egyáltalán nem veszélyes. A tető lecsavarozható és széles peremű, hogy az eső és a vihar ellen védjen. Annak ellenére, hogy természetes színével beleolvad a környezetbe a madarak gyorsan rátalálnak a kihelyezett odúra, és ha megfelelőnek találják, hamar bele is költöznek. Az álcázott jelzőberendezés így nemcsak a BVR része, hanem az erdei vegetációé is, amellett hogy az álcázás így még tökéletesebb.

A jelzőegységek és a jelző- és kommunikációs egységek **egy teljes kiépítésű elméleti berendezésből** állnak, mely ez esetben: hőmérséklet, páratartalom, nyomás mérésére szolgáló szenzort, GPS modult, szélerősség és irány meghatározására, láng, füst, és gáz érzékelésre alkalmas szenzort, három különböző kommunikációs interfészt (Zigbee, LORA/GSM), RFID olvasót, csapadékmennyiség mérőt tartalmaz.

A **hálózat elméleti jelzőegysége** olyan teljes kiépítésű berendezés, mely a rendelkezésre álló három különböző típusú (Zigbee, LORA/GSM kommunikációs) vezeték nélküli kommunikációs interfész közül csak a Zigbee interfészt használja elsődleges kommunikációra. A LORA/GSM kommunikációs csatornát, csak kitüntetett vészhelyzet esetén aktiválja. Ezen **hálózat elméleti jelző- és kommunikációs egysége**, pedig olyan teljes kiépítésű berendezés, amely elsődleges kommunikációra a rendelkezésre álló három különböző típusú kommunikációs interfész közül (Zigbee, LORA/GSM kommunikációs) kettőt egyaránt használ. Azokon a terepeken, ahol a GSM kapcsolat nem áll rendelkezésre, a LORA kommunikációs interfészt kell alkalmazni. A rendszer-elemek energia ellátása akkumulátorok használatával megoldott.

### 3.4.3 Az elméleti teljes kiépítésű jelzőberendezés sematikus felépítése

A 32. ábrán – a 10. mellékletben látható jelzőberendezés felépítését tekintve moduláris (rétegelt). A bioszféra védelmi rendszert alkotó autonóm működésű berendezések egyik kiemelt követelménye a modularitás. A moduláris, vagy rétegelt felépítés az alábbiakban részletezett előnyt biztosítja, mind az üzemeltetőnek, mind pedig a karbantartónak.

- Rugalmasság: A moduláris felépítés lehetővé teszi, hogy könnyen hozzáadhassunk vagy eltávolíthassunk részegységeket a berendezésből, így lehetővé téve a tervezőnek, hogy testre szabott felügyeleti rendszert tervezzen, melyet az üzemeltető saját igényeihez és a terepi viszonyokhoz tud igazítani. Ez azt jelenti, hogy a karbantartás során könnyen frissíthető a rendszer, ha új funkciókat vagy hardvereket szükséges hozzáadni.
- Egyszerű karbantartás: A moduláris felépítés megkönnyíti a karbantartást és javítást, mert lehetővé teszi a hibás vagy sérült részek könnyű eltávolítását és cseréjét. Ez csökkenti a leállásokat és a karbantartási költségeket, valamint növeli a rendszer megbízhatóságát.
- Skálázhatóság: A moduláris felépítés lehetővé teszi a rendszer bővítését és skálázását, amikor szükség van rá. A modulok hozzáadása vagy eltávolítása lehetővé teszi, hogy a rendszer mérete és teljesítménye igazodjon az üzemeltető igényeihez és a terepi viszonyokhoz.
- Könnyű fejleszthetőség: A rétegelt felépítésű rendszer könnyebbé teszi az új funkciók megvalósítását, illetve új egységek csatlakozását a korábbi rétegekhez

A berendezés felépítésében (32. ábra – a 10. mellékletben) a központi modul központi mikrokontrollert, míg az egyes további modulok segédmikrokontrollereket tartalmaznak. Az egyedi marker azonosító adatainak és az ún. parancskártyák adatainak beolvasása céljából a pozícióját tekintve a legalsó modul(réteg) az irányított hatósugarú antenna, mely vezetékkel kapcsolódik az RFID olvasót is tartalmazó központi modul antenna bemenetéhez. A központi rétegen került elhelyezésre a GPS modul, melynek antennája az álcázás külső részére került, tekintve, hogy a pontos helymeghatározás létfontosságú a rendszer működésében - kiküszöbölendő a téves helyszínen történő felvonulásokat. Az érzékelők által mért értékek, illetve a berendezés működéséhez szükséges beállítási adatok tárolása céljából a központi mikrokontrollerhez írható-olvasható memória egység (cserélhető Flash memória) csatlakozik. A jelzőberendezés



egyedi azonosítása céljából a központi mikrokontrollerhez egyedi címet tároló "címező egység" - eeprom - csatlakozik. A modul időáramkör egységet alkotó integrált áramkört tartalmaz saját tápellátását biztosító elemmel és saját oszcillátorral. A központi mikrokontrollerhez a visszajelző ledek csatlakoznak - az életjel, a tápellátás és a kommunikáció minőségének visszajelzésére. A jelzőberendezés - a következő kommunikáció rétegen - saját passzív RFID transzpondert tartalmaz, míg az adatok továbbításának céljából a központi mikrokontrollerhez csatlakoztatott GSM/GPRS, LORA, illetve Zigbee interfész egység csatlakozik. A jelzőberendezés a szenzor rétege tartalmazza a környezeti jellemzők mérésére szolgáló érzékelőket.

*Milyen RFID eszközök kerültek alkalmazásra?*

Az erdővédelemben olyan RFID olvasókat (részletesen lásd 11. melléklet) ajánlatos választani, amelyeknek fogyasztása a jelzőegységekhez kapcsolt akkumulátorok véges kapacitása miatt alacsony és segítségükkel kellően nagy olvasási távolság (30-50m) biztosítható. Ezeknek a szempontoknak leginkább a semi-passzív és aktív RFID rendszerek felelnek meg. A modern semi-passzív RFID transzponderekben található akkumulátor élettartama az elektronikájuknak köszönhetően 3-6 év. Olyan címkéket célszerű alkalmazni, melyek könnyen álcázhatók, karbantartásuk egyszerű és olcsó. A nagy olvasási távolság elérése és az energia hatékonyság érdekében 2,45 Ghz frekvenciájú semi-passzív RFID rendszert praktikus használni. (Az olvasó és a címke közötti kommunikációt az ISO 15693 protokoll szabvány határozza meg.) [129]

#### **3.4.4 Az elméleti teljes kiépítésű jelzőberendezés általános működése**

A megfelelő azonosítás érdekében minden objektumot, melyet nyomkövetni szükséges egyedi transzponderrel, azonosítóval kell ellátni, melyet az objektum olyan felületén kell elhelyezni, hogy idegenek számára nehezen hozzáférhető, nehezen árnyékolható, de kézi (kontroll) RFID olvasóval ellenőrizhető legyen. Tűz jelenlétének érzékeléséhez füstgáz, CO<sub>2</sub> és láng érzékelésére alkalmas, előre megválasztott helyeken kell a berendezéseket elhelyezni. A jelzőberendezés dinamikus üzemmódban két működési módussal rendelkezik. Pozitív kiválasztásnak nevezzük azon módszerét, melyet a „pozitív” parancskártya jelzőberendezés hatókörébe helyezésével érünk el. A parancskártya által szolgáltatott azonosító kulcsot az irányított hatósugarú antenna segítségével az RFID olvasó beolvassa, majd a központi egység mikrokontrollerének továbbítja. Ezt követően a jelzőberendezés az irányított hatósugarú antennájú RFID

olvasója beolvassa a környezetében található összes egyedi transzpondert, melyek adatait a központi mikrokontrollerhez csatlakozó írható-olvasható memória egységben letárolja. A pozitív kiválasztási módszer esetén - alapértékként korábban beállított - meghatározott időnként a jelzőberendezés megismétli a környezetében található összes egyedi transzponder adatainak beolvasását, és ezeket összehasonlítja a korábban az írható-olvasható memória egységben tároltakkal. Eltérés esetén riasztási üzenetet küld az alapértelmezett kommunikációs interfészen keresztül a felügyeleti számítógépes központnak, vagy egy előre beállított mobiltelefonszámra. Tehát a pozitív kiválasztási módszer esetén a jelzőberendezés a környezetéből eltűnt egyedi transzponder esetén küld riasztási üzenetet. Negatív kiválasztásnak nevezzük a jelzőberendezés azon módszerét, melyet egy "negatív" parancskártya jelzőberendezés hatókörébe helyezésével érünk el. Ebben az üzemmódban állandó transzponder-pásztázás történik. A negatív kiválasztási módszer helyzetében, ha az egyedi transzponder által szolgáltatott azonosító kulcs az RFID olvasó hatósugarába kerül, az adatot beolvassa, majd a központi egység mikrokontrollerének továbbítja. Ebben az esetben a jelzőberendezés riasztási üzenetet küld az alapértelmezett kommunikációs interfészen keresztül a felügyeleti számítógépes központnak, vagy egy előre beállított mobiltelefonszámra. Tehát a negatív kiválasztási módszer esetén a jelzőberendezés a környezetébe került egyedi transzponder esetén küld riasztási üzenetet. Módtustól függetlenül, a riasztási üzenetet a berendezés központi egysége továbbítja a GSM/GPRS interfészen keresztül a felügyeleti számítógépes központnak, vagy egy előre beállított mobiltelefonszámra. A jelzőberendezés pozitív módszerében az eltároltakkhoz képest hiányzó egyedi transzponder által szolgáltatott azonosító adatot, vagy negatív módszerében a környezetébe került és beolvasott egyedi transzponder által szolgáltatott azonosító adatot, az időáramkör által szolgáltatott dátumot és időpontot, a címző modul által szolgáltatott címet, a GPS egység által szolgáltatott helymeghatározási adatokat digitálisan egymással társítja és egy üzenet formájában a kimeneti csatornához tartozó interfészekon továbbítja.

#### **3.4.5 Jelzőberendezés kialakítási változatok**

*A terepi viszonyoknak megfelelően a jelzőegységeket alkotó teljes kiépítésű elméleti berendezés nem feltétlenül kell, hogy tartalmazza az összes érzékelőt. A tömeges gyártás egyszerűsítésének érdekében az összes érzékelő fogadási lehetőségét azonban meg kell teremteni. Az érzékelő-csoportok környezeti viszonyoknak megfelelő*

alkalmazhatósága szempontjából többféle jelzőegység és jelző- és kommunikációs egység létrehozása célszerű:

1. Jelzőegység (SD-1010). A jelzőegység az elméleti berendezés legegyszerűbb változata: hő, hősebesség, nyomás mérésére szolgáló érzékelőt, GPS modult, láng, füst, és gáz érzékelésre alkalmas érzékelőt, Zigbee és LORA kommunikációs interfészt tartalmaz.
2. Jelzőegység (SD-2010). A jelzőegység az SD-1010 kiterjesztett változata, mely páratartalom mérésére alkalmas érzékelőt is tartalmaz.
3. Jelzőegység (RFSD-1010). A jelzőegység az SD-1010 kiterjesztett változata, mely RFID olvasó egységet tartalmaz.
4. Jelzőegység (WT-1010). A jelzőegység az SD-1010 kiterjesztett változata, mely szélereősség, szélirány és csapadékmennyiség mérésére szolgáló érzékelőt is tartalmaz
5. Jelző- és kommunikációs egység (SCD-1010). Ezen jelzőegység a teljes kiépítésű elméleti berendezés legegyszerűbb változata: hő, hősebesség, nyomás mérésére szolgáló szenzort, GPS modult, láng, füst, és gáz érzékelésre alkalmas érzékelőt, két különböző kommunikációs interfészt (Zigbee és LORA/GSM) tartalmaz.

Minden jelzőegység, jelzőegység IP68-as védettségű 3 rekeszes (érezkelő-, alaplap-, akkumulátor rekesz) műanyag házban helyezkedik el. Az érezkelő rekesz alsó fele műanyag hálóval, míg a felső része műanyag lencsével (Fresnel-lencse) körbevett. Itt helyezkednek el az egység érezkelői és jeladó antennái. Az alaplap rekesz tartalmazza az egység elektronikai áramköreit, míg az akkumulátor rekesz az egység energia ellátását biztosító akkumulátorokat. Mivel a telepített jelzőegységek doboza nem okozhatja a környezet sérülését és gondoskodni kell arról, hogy az rossz szándékkal közelítők számára nehezebb legyen a hatástalanítása, az álcázó ház a jelzőegység dobozát körbeveszi és a környezetbe illeszkedő külső megjelenést eredményez.

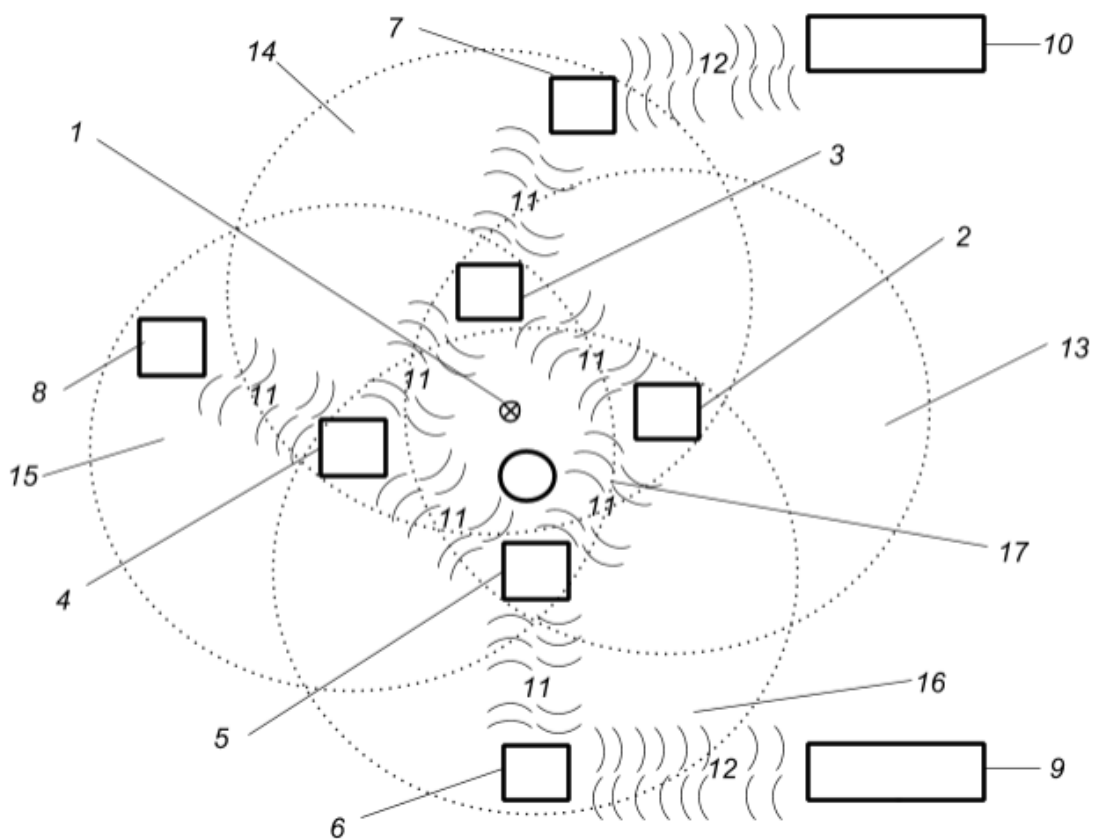
A közlekedési útvonalak, turista útvonalak mentén található útjelző táblák, sorompók, vagy gépkocsi behajtási helyét jelző ívelt kapu kiváló műtárgy a jelzőberendezés álcázására. A sorompó csapórúdjának forgójánál, a tábla hátoldalán, vagy a kapu tetején elhelyezett berendezés a bioszféra „résztvevők” számára rejtve marad, de a működése fontos információkat juttathat el a felügyeleti számítógépes rendszerközpontba. A fás, erdős területeken az álcázó ház célszerűen egy madárodú, vagy madáretető (33. ábra – a

10. mellékletben). Az odú felépítése: belső alapterülete legalább 12x12 cm, belső magassága 34-49 cm, a kerek alakú nyílás (berepülő nyílás) alja az odú aljától 24-38 cm távolságra van, a nyílás átmérője pedig 3,5-5,7 cm. Az alsó 4-6 cm finom hálóval borított, mivel itt helyezkednek el a szenzorok és antennák. Az odú – jelzőegységet tartalmazó része – szemből nyitható egy egyszerű retesszel. A nyitás érzékelésére reed-relés nyitásérzékelőt tartalmaz. Illetéktelen hozzáférés, nyitás esetén (nyitásérzékelő) a jelzőegység riasztást küld a felügyeleti személyzet részére, vagy egy előre tárolt mobil telefonszámra. Minden jelzőegység tartalmaz egy üzemmód kapcsolót, mellyel „normál” és „teszt” üzemmód között lehet váltani. (Erre a kapcsolóra a telepítéskor van szükség)

Az összeállított különböző típusú jelzőegységek műanyag dobozának felületén QR- kód elhelyezése ajánlott, mely tartalmazza a jelzőegység minden olyan paraméterét, amely a későbbiekben a felügyeleti program működéséhez szükséges.

### **3.5 A rendszer telepítése és működése**

A bioszféra-védelmi rendszerben a jelzőegységek topológiája - a környezeti viszonyoknak és a kialakítás céljának megfelelően - különböző lehet. Ez azt jelenti, hogy adott környezetben a rendszer N darab jelzőegységből, M darab jelző- és kommunikációs egységből és K darab felügyeleti számítógépes rendszerközpontból álló vezeték nélküli hálózat. A 9. ábra-n látható a bioszféra-védelmi rendszer hálózatában az egyes rendszer-elemek képesek rögzített infrastruktúra és centralizált adminisztráció nélkül egymással kommunikálni, tehát nincs szükség bázisállomásokra vagy hozzáférési pontokra a jelzőegységek közötti kommunikációhoz.



9. ábra: A BVR általános felépítése; [19]

- 1.** Egyedi RFID címke; **2-5.**Jelzőberendezés; **6-8.**Jelző- és kommunikációs berendezés;  
**9-10.**Felügyeleti központ; **11-12.**Vezeték nélküli kapcsolat; **13-16.** Rádiófrekvenciás hatósugar; **17.**Kézi RFID olvasó; **18.**Tűzrakhely; **19.**Vadettető/menedékház; **20.**Itató; **21.**Erdei út

Mint látható a 9. ábra-n a hálózatot egyenrangú rendszer-elemek: jelzőegységek (2, 3, 4, 5), jelző-és kommunikációs egységek (6, 7, 8) és felügyeleti számítógépes rendszerközpontok (9, 10) alkotják. A jelzőegységek (2, 3, 4, 5) és a jelző- és kommunikációs egységek (6, 7, 8) vezeték nélküli adatkapcsolatokon (11) egy központi vezérlőelem irányítása nélkül, a jelző- és kommunikációs egységek (6, 7, 8) és a felügyeleti számítógépes rendszerközpontok (9, 10) vezeték nélküli GSM vagy LORA adatkapcsolatokon (12) tartják egymással a kapcsolatot. Természetesen ezen kapcsolatok létrejöttéhez bázisállomásokra van szükség, azonban ha a felügyeleti központ hordozható része hatótávolságon belül helyezkedik el, akkor a Zigbee vezeték nélküli (11) kapcsolaton keresztül tud csatlakozni a hálózathoz, ott tehát nem szükséges egyéb vezérlőelem.

Az 9. ábra-n látható, hogy 13-as számmal jelzett pontozott kör jelöli a 2-es jelzőegység, 14-es számmal pontozott kör jelöli a 3-as jelzőegység, 15-ös pontozott kör jelöli a 4 jelzőegység, valamint 16-os pontozott kör jelöli az 5 jelzőegység rádiófrekvenciás sugárzásának hatósugarát. A 2-es és 3-as jelzőegység szomszédos, mivel képesek kölcsönösen értelmezi egymás adását. Ugyanígy 3-as és 4-es jelzőegység, valamint 4-es és 5-ös is szomszédosak. Ha 2-es jelzőegység küld egy üzenetet 5-ös jelzőegység számára, akkor azt először 3-as jelzőegység kapja meg, majd továbbítja 4-es jelzőegységnek, amely pedig eljuttatja 5-ös jelzőegységnek. Ha 4-es jelzőegység küld egy üzenetet a 9-es felügyeleti számítógépes rendszerközpont számára, akkor azt először 5-ös jelzőegység kapja meg Zigbee vezeték nélküli kapcsolaton keresztül, majd továbbítja 6-os jelző- és kommunikációs egységnek, amely pedig eljuttatja a 12-es vezeték nélküli GSM, vagy LORA kapcsolaton keresztül a 9-es felügyeleti számítógépes rendszerközpontnak. A 11-es vezeték nélküli kapcsolat kétirányú, míg a 12-es LORA vezeték nélküli kapcsolat - csak bizonyos körülmények között - kétirányú. [19] [119]

A rádiófrekvenciás azonosítás érdekében minden fát vagy egyéb objektumot a rajzon jelölt 1-es számú egyedi markerekkel, azonosítóval kell ellátni, melyet az objektum olyan felületén kell elhelyezni, hogy idegenek számára nehezen hozzáférhető, nehezen árnyékolható, de 17-es kontroll (kézi) RFID olvasóval ellenőrizhető legyen.

A kiépítés elrendezése szempontjából az alábbi változatok kerültek meghatározásra:

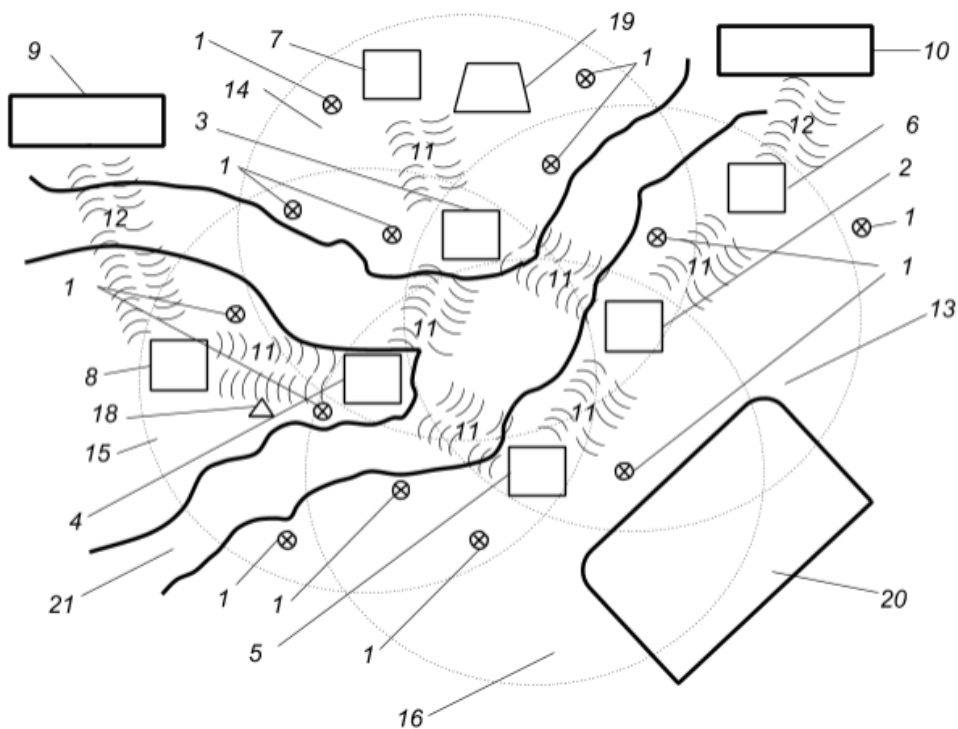
1. Láthatatlan „kerítészerű” elrendezés.
2. „csapdaszerű” elrendezés.
3. „teljes védelmi” elrendezés.

Mindegyik elrendezésnek előnyei és hátrányai is vannak. Az adott környezet és a kialakítás oka határozza meg, hogy a védelmi rendszer melyik elrendezése kerül megvalósításra és azon belül milyen típusú egységek kerülnek felhasználásra.

A BVR kialakításának módszerei a fent említett három előnyös kiviteli példa kapcsán a mellékelt rajzokra való hivatkozással az alábbiakban részletesebben is ismertetésre kerül. [19]

A rendszer-elemek elhelyezkedését „csapdaszerű” megvalósításnak (10. ábra) nevezzük, ha a hálózat rendszer-elemei a terepen található főbb közlekedési útvonalak mentén és csomópontjaiban, illetve a bioszféra szereplők által gyakran látogatott

helyeken (például: tűzrakhely, vadetető, menedékház, itató, stb.) helyezkedik el. Ez az elrendezés arra alkalmas, hogy az adott területre történő, a kifejezetten közlekedési útvonalak és a látogatott helyek felől érkező fenyegetettséget jelezze, mivel a rendszer a járművek behajtását füstgáz-érzékeléssel jelzi, a bioszféra szereplőket egyedileg azonosítja. A behajtásra jogosult járműveket az egyedi azonosító beolvasásával különbözteti meg. Az elrendezés előnye, hogy relatív kevés rendszer-elem felhasználásával valósítja meg az adott terület felügyeletét. Hátránya viszont, hogy az illegális tevékenység (falopás) elvégzése után van csak lehetőség riasztás-jelzést küldeni a felügyelő személyzet részére, feltéve, hogy az elkövetők nem kerülnek ki a hagyományos bevált közlekedési útvonalakat. [19]



10. ábra: A BVR elemeinek "csapdaszerű" elrendezése; [19]

**1.** Egyedi RFID címke; **2-5.**Jelzőberendezés; **6-8.**Jelző- és kommunikációs berendezés;  
**9-10.**Felügyeleti központ; **11-12.**Vezeték nélküli kapcsolat; **13-16.** Rádiófrekvenciás hatósugár;  
**17.**Kézi RFID olvasó; **18.**Tűzrakhely; **19.**Vadetető/menedékház; **20.**Itató; **21.**Erdei út

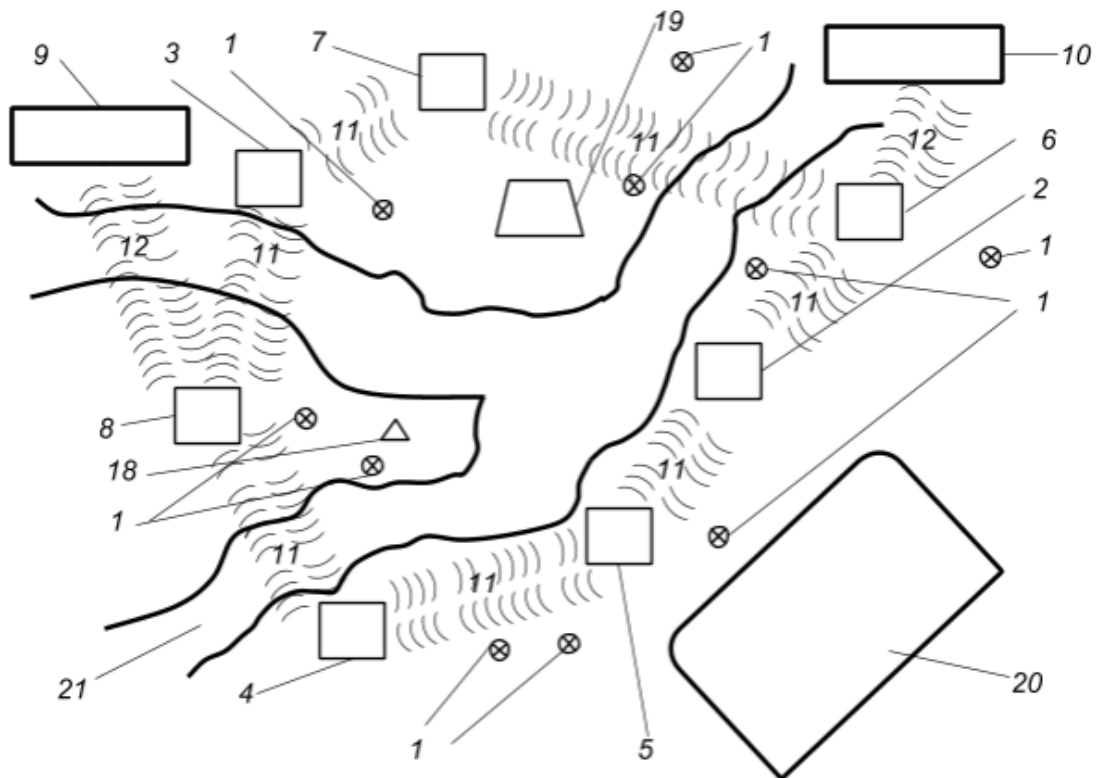
A 10. ábra alapján látható kialakítás szerint úgy kell a csomópontban és az útvonal mentén elhelyezni a jelzőegységeket (2, 3, 4, 5), hogy egymás rádiófrekvenciás sugárzásának hatósugarában (13, 14, 15, 16) legyenek, illetve a jelző- és kommunikációs egységek (6, 7, 8) elhelyezési kritériuma, hogy ne legyenek egymás rádiófrekvenciás

sugárzásának hatósugarában. Ezzel az elvvel érhető el, hogy ugyanazon negatív hatás (például tűz) bekövetkezésekor nem esik ki a működésből mindhárom jelző- és kommunikációs egység. [19]

A módszer szerint a bioszféra szereplői által gyakran látogatott helyeken elhelyezkedő jelzőegységek (2, 3, 4, 5) érzékelői (környezeti és belső hőmérséklet, páratartalom, infravörös sugárzás, szén-dioxid, szén-monoxid és metán gáz mennyiség, szélsébség és csapadék mennyiség mérésére szolgáló érzékelő) a helyeken történő eseményekből származó információkat a felügyeleti számítógépes rendszerközpontnak (9, 10) továbbítja. Például a 4-es jelzőegység a környezetében megtalálható 18-as tűzrakhelyen történő tűz keletkezését érzékeli és ezt az információt továbbítja a felügyeleti számítógépes rendszerközpontnak (9, 10). Ugyanígy a 3-as jelzőegység környezetében található 19-es vadetető, illetve az 5-ös jelzőegység közelében található 20-as itató helyen tartózkodó előzőleg RFID markerrel ellátott bioszféra szereplők (pl. vadállatok) azonosító információi a felügyeleti számítógépes rendszerközpontba (9, 10) jutnak. Ezzel a megoldással például a megjelölt vadállomány ellenőrzése válik lehetővé. Az 5-ös jelzőegység füstgáz érzékelői révén képes jelezni a 21-es erdei úton a védett területre történő gépjármű behajtást. Melyről információt küld a felügyeleti számítógépes rendszerközpontba (9, 10). Abban az esetben, ha a korábban RFID markerrel megjelölt fák azonosító adatait érzékelik a jelzőegységek (2, 3, 4, 5), vagy a jelző és kommunikációs egységek (6, 7, 8), akkor riasztási üzenet és az azonosító kerül továbbításra a felügyeleti számítógépes rendszerközpontba (9, 10), vagy GSM/LORA kommunikáció jelenléte mellett egy előre beállított mobil telefonszámra. Az információ birtokában a felügyeleti személyzet el tudja dönteni, hogy legális, vagy illegális fakitermelés történik. [19]

A rendszer-elemek elhelyezkedését „kerítésszerű” megvalósításnak (11. ábra) nevezzük, ha a hálózat rendszer-elemei a terepen található védett objektumokat körbefogó „láthatatlan” kerítés szerepét töltik be. Az 11. ábra alapján látható hálózatba szervezett rendszer-elemek „kerítésszerű” elhelyezésének módszere: tekintve, hogy a hálózat elemei a terepen található védett objektumokat körbefogó „láthatatlan” kerítés szerepét tölti be. Ebben az esetben a jelzőegységek (2, 3, 4, 5) és a jelző és kommunikációs egységek (6, 7, 8) érzékelői ún. kerületvédelmi eljárást valósítanak meg.





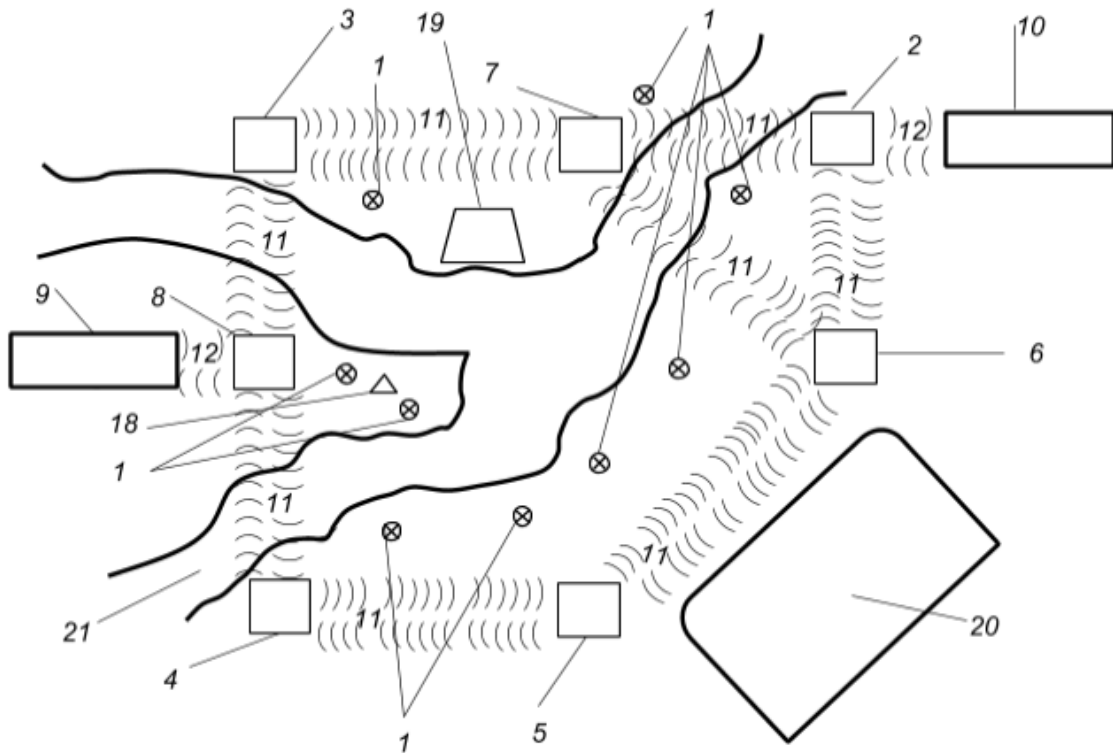
11. ábra: A BVR elemek "kerítésszerű" elrendezése; [19]

1. Egyedi RFID címke; 2-5. Jelzőberendezés; 6-8. Jelző- és kommunikációs berendezés;  
 9-10. Felügyeleti központ; 11-12. Vezeték nélküli kapcsolat; 13-16. Rádiófrekvenciás hatósugár;  
 17. Kézi RFID olvasó; 18. Tűzrakhely; 19. Vadetető/menedékház; 20. Itató; 21. Erdei út

Ez az elrendezés arra alkalmas, hogy az adott terepről eltűnő, vagy áthaladó objektumok mozgását jelezze. Előnye, hogy nem lehet megkerülni. Ha a védett térből bármely korábban megjelölt objektum a „láthatatlan” kerítésen keresztül halad, a rendszer riasztás-jelzést küld a felügyelő személyzet részére. Hátránya, hogy a „kerítésen” belül létrehozott védett térben történő, a szenzorok érzékelő tartományán kívüli eseményekről információt nem tud küldeni a rendszer. [19]

A rendszer-elemek elhelyezkedését „teljes védelmi” megvalósításnak nevezzük, ha a hálózat rendszer-elemei a terepen – a védett objektumoktól és a közlekedési útvonalaktól függetlenül – egy képzeletbeli négyzetrács pontjain helyezkednek el (12. ábra). Az elhelyezkedés távolságát, az egyes rendszer-elemek rádiófrekvenciás hatósugara és a szenzorok érzékelési tartományai határozzák meg. Ez a módszer kombinálja a csapdaszerű és a kerítésszerű elrendezés előnyeit, a védelmet teljessé teszi és további térinformatikai rendszer alapjait hordozza. Az 12. ábra alapján látható

jelzőegységek (2, 3, 4, 5) és a jelző és kommunikációs egységek (6, 7, 8) érzékelői által szolgáltatott információk ismeretében statisztikák és előrejelzések, akár meteorológiai, vagy tűz meteorológiai (tűz veszélyességi indexek) előrejelzések is készíthetők. Hátránya a magasabb beruházási és üzemeltetési költség. [19]



12. ábra: A BVR elemeinek "teljes védelmi" elrendezése; [19]

- 1.** Egyedi RFID címke; **2-5.**Jelzőberendezés; **6-8.**Jelző- és kommunikációs berendezés;  
**9-10.**Felügyeleti központ; **11-12.**Vezeték nélküli kapcsolat; **13-16.** Rádiófrekvenciás hatósugár;  
**17.**Kézi RFID olvasó; **18.**Tűzrakhely; **19.**Vadetető/menedékház; **20.**Itató; **21.**Erdei út

A bioszféra-védelmi rendszer hálózatában az egyes rendszer-elemek képesek rögzített infrastruktúra és centralizált adminisztráció nélkül egymással kommunikálni, tehát nincs szükség bázisállomásokra vagy hozzáférési pontokra. A hálózatot egyenrangú rendszer-elemek: különböző érzékelőkkel és kommunikációs lehetőségekkel ellátott jelzőegységek és felügyeleti számítógépes rendszer központok alkotják. [19]

A jelzőegységek és a jelző- és kommunikációs egységek Zigbee vezeték nélküli adat kapcsolatokon, a jelző- és kommunikációs egységek és a felügyeleti számítógépes rendszer központok vezeték nélküli LORA adat kapcsolatokon tartják egymással a kapcsolatot egy központi vezérlőelem irányítása nélkül.

A jelzőegységek és a jelző- és kommunikációs egységek korlátozott számítási kapacitással és energia-ellátással rendelkeznek, vagyis a kommunikációs képességük is behatárolt. A távoli rendszer-elemek kommunikációja közvetett módon történik, hiszen egy közvetlen kapcsolat az egyes rendszer-elemek korlátozott energia-ellátása valamint a mobilitás és esetleges interferencia miatt nem lehetséges. A közvetett kommunikáció során minden rendszer-elem csak olyan rendszer-elemekkel tartja a közvetlen kapcsolatot a hálózaton belül, amelyek adását képes értelmezni (rádióadását venni). Ezek számára a szomszédos rendszer-elemek. Minden más - számára nem szomszédos – rendszer-elemet csak közvetetten a saját szomszédai által képes elérni úgy, hogy azok továbbítják a nem szomszédos célrendszer-elemek felé elküldött üzeneteket valamilyen mechanizmus alapján (amit az útvonalválasztó protokoll specifikál). Közvetett kommunikáció használata esetén minden rendszer-elem egyben útvonal irányító funkciót is ellát, ez kell biztosítsa a rendszer önszervező képességét. Ha szükséges, akkor a kapott üzenetet továbbítják a célrendszer-elem felé, másrésztől útvonal karbantartást is végeznek, és útvonal információkkal látják el a többi rendszer-elemet. A BVR hálózatánál fontos a minél biztonságosabb és takarékosabb adattovábbítás, vagyis a rendelkezésre álló sávszélesség optimális kihasználása és az energiatakarékosság. A rendszer-elemek száma állandóan változhat, emiatt a hálózat topológiája folyamatosan változik, ehhez alkalmazkodó módszer kerül kialakításra az üzenetek biztonságos továbbítására és gyorsan el kell tudni dönteni, hogy egy rendszer-elem elérhető-e vagy sem. [19]

*A fent említett kiépítési változatokban a rendszer működése a következő:*

Minden rendszer-elem tartalmaz GPS modult, melyet 24 óránként aktivál. Az aktivációs időszak 50 másodperc alatt lezajlik, ezt követően az egység a modultól kapott koordinátákat összehasonlítja a korábbi mérésből származó tárolt értékkel. 4-5%-os eltérés esetén riasztás jelzést küld a számítógépes rendszerközpontba. A riasztási üzenet elküldése után, vagy a hibahatáron belül mért értékek esetén a jelző egység – energia hatékonyság miatt - kikapcsolja a modult. Tűz, behajtás, vagy falopás érzékeléskor az egység automatikusan bekapcsolja a GPS modult és a riasztás jelzés elküldését követően ellenőrzi, hogy az egység a korábban tárolt, tehát a felügyeleti személyzet által ismert koordinátákon található-e. Az aktivációs folyamat végén az egység a modultól kapott koordinátákat összehasonlítja a korábbi mérésből származó tárolt értékkel és 4-5%-os eltérés esetén riasztás jelzést küld a számítógépes rendszerközpontba. Erre azért van szükség, hogy a kikerkező élőerő az egység által érzékelt „új” helyre és ne a számítógépes

rendszerközpont által tárolt korábbi telepítési helyre vonuljon ki. A folyamat végén az egység kikapcsolja a GPS modult. Minden rendszer-elem 15 percnként életjelet küld a felügyeleti számítógépes rendszerközpontba. Az életjel elmaradása esetén a központ értesíti a felügyelő személyzetet, az egység eltűnéséről/megsemmisüléséről. Az egységek 5 másodpercnként megméri a környezet hőmérsékletét. A mért érték összehasonlításra kerül a korábban tárolt – az adott helyre meghatározott – küszöbértékkel (küszöb hőmérséklet-érzékelő). Ha a mért érték nagyobb, mint a küszöb érték, akkor az egység riasztási üzenetet küld a számítógépes rendszerközpontba. Minden 60. másodpercben a mért hőmérséklet adatot az egy perccel korábban tárolt adattal hasonlítja össze (hősebesség-érzékelő). 8-10-12 °C fokos eltérés esetén riasztási üzenetet küld a számítógépes rendszerközpontba, és tárolja a mért értéket. Minden egység 5 másodpercnként lekérdezi a láng érzékelőt és láng jelenléte esetén az egység riasztási üzenete küld a számítógépes rendszerközpontba. Az egységek 5 percnként nyomás, páratartalom és a levegő füstkoncentrációjának mérését végzik. A mérést követően az értékek a korábban tárolt – az adott helyre meghatározott – küszöbértékkel kerülnek összehasonlításra. A küszöbérték meghaladása esetén az egység riasztási üzenetet küld a számítógépes rendszerközpontba. Az energia felhasználás állapotának jelzésére és az akkumulátor élettartamának meghosszabbítása érdekében az egységek 15 percnként megméri az akkumulátor aktuális feszültségét és az előre meghatározott értékekkel történő összehasonlítás után, ha a feszültség szint kritikus értékre csökken riasztási üzenetet küld a számítógépes rendszerközpontba. A WT-1010 jelzőegység esetén minden 30. percben a meteorológiai érzékelők adatait továbbítja a felügyeleti számítógépes rendszerközpontba. Minden 15. percben az RFSD-1010-es egység bekapcsolja az RFID olvasót és a hatósugarában található összes transzpondert beolvassa. A beolvasott adatokat a korábban tárolt adatokkal összehasonlítja (negatív kiválasztási módszer). Ha a korábban tárolt egyedi azonosítók közül az aktuális listából hiányzik – akár egy is, vagy a beolvasott listában olyan egyedi azonosítót talál, amely korábban nem volt tárolva, akkor az egység riasztási üzenetet küld a rendszer központba. Ezzel a módszerrel jelzi a rendszer, ha a korábban megjelölt fák, vagy egyéb objektumok elmozdulnak, vagy eltűnnek a területről. Az RFSD-1010 jelzőegység pozitív kiválasztási algoritmusánál az RFID olvasó által bármilyen egyedi azonosító olvasása esetén küld az egység riasztási üzenetet a rendszer központba. Az egység minden órában minden érzékelője által mért adatot automatikusan eljuttat a központba, így a felügyelő személyzet óránként valós idejű adatokhoz jut. Az rendszer-elemek minden üzenetre

nyugtázó választ várnak (kivéve az életjelet). Abban az esetben, ha a felügyeleti személyzetnek szüksége van rá, adatkérő üzenetet küldhetnek a kiválasztott egységeknek, melyek a kiválasztott érzékelők által mért értéket automatikusan küldik a felügyeleti számítógépes központba. [19]

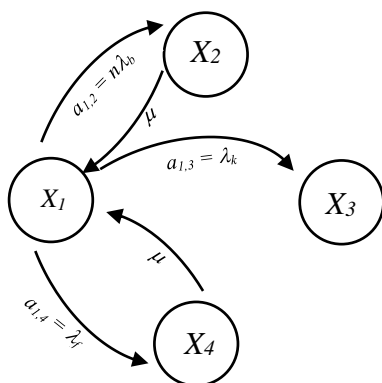
### 3.6 A BVR kialakításának értékelése

A BVR kialakításának vizsgálatát a 4. fejezetben kifejtett homogén Markov-modell segítségével lehet elvégezni. A cél, az értekezésben részletezett rendszer megbízhatóságának értékelése. Az értékelési eljárás menete a következő:

1. Először a javasolt rendszer egyes elemeiben meghatározott megbízhatóságot növelő megoldások nélküli ún. alap kiépítés megbízhatósági jellemzőit kell meghatározni.
2. Majd a javasolt teljes kiépítettségű rendszer megbízhatósági jellemzőinek meghatározása után az előbbi alap változathoz viszonyítva kell értékelni!

Először értékeljük az ún. alap kiépítés megbízhatósági jellemzőit. Ez több szempontból is fontos lehet. Egyrésztől meghatározzuk a további rendszer kiépítésekhez alkalmazott viszonyítási alapot, másrésztől pedig, a jelenleg alkalmazott elektronikus rendszerek kiépítésének megbízhatóságát is becsülni tudjuk segítségével! Az értékelés peremfeltételei ebben az esetben a következők:

- Egy jelzőberendezés eredő meghibásodási tényezője:  $\lambda_b$  (a rendszer  $n$  db. jelzőberendezést tartalmaz)
- Egy kommunikációs csatorna kerül figyelembevételre, melynek meghibásodási tényezője:  $\lambda_k$
- A központi felügyeleti számítógép meghibásodási tényezője:  $\lambda_f$
- Ha a rendszer-elemek közül bármelyik hibás, a rendszer is hibás. ( $P(X_1) \cong 1$ )
- Minden rendszer-elem javítási tényezője:  $\mu$



13. ábra: Az alap kiépítés állapotátmeneti diagramja. A szerző saját munkája

Ezek alapján a rendszer állapotátmeneti diagramja a következőképpen vehető fel (13. ábra):

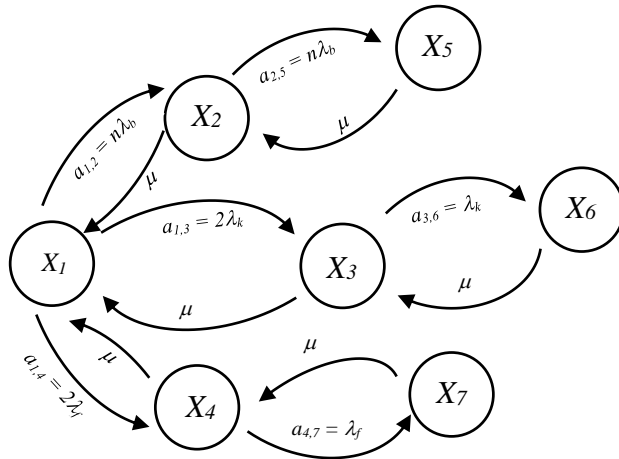
A működő rendszer állapotátmeneti gyakorisága a (4.17) egyenlet alapján:

$$H_R(M) = \sum_k P(X_k) \sum_i a_{k,i} = P(X_1)a_{1,2} + P(X_1)a_{1,3} + P(X_1)a_{1,4} \quad (6.1)$$

A működés átlagos időtartama, ami megfeleltethető az MBTF értéknek:

$$MTBF = T_R(M) = \frac{P[X_R(M)]}{H[X_R(M)]} = \frac{P(X_1)}{H_R(M)} \cong \frac{1}{n\lambda_b + \lambda_k + \lambda_f} \quad (6.2)$$

A 6.2 egyenlet alapján megállapítható, hogy a rendszer üzemi megbízhatósága csak akkor



14. ábra: Kiegészítő redundanciával rendelkező rendszer állapotátmeneti diagramja. A szerző saját munkája

nővelhető, ha az egyes rendszer-  
elemekhez kiegészítő redundancia  
kerül beépítésre! Ezek alapján –  
az értekezésben részletesen  
tárgyalt – bioszféra védelmi  
rendszer az alábbi redundancia  
kiépítést alkalmazza:

- minden (n db.)  
jelzőberendezés redundáns – jelen  
esetben „forró tartalék” elemet  
tartalmaz, melyeknek  
meghibásodási tényezője:  $\lambda_b$

- A központi felügyeleti

számítógép szintén kap kiegészítő redundanciát – egy ipari pc-t, meghibásodási  
tényezője:  $\lambda_f$

- Két kommunikációs csatorna kerül bevezetésre, amelyeknek normál működés  
esetén nem ugyanaz a funkciója, de kritikus – jelző – állapotban egyazon feladatot  
látnak el, így redundáns rendszer-elemnek tekinthető: meghibásodási tényezője:  
 $\lambda_k$
- Minden rendszer-elem javítási tényezője:  $\mu$

Az értékelés második lépésében (14. ábra) a rendszer állapotátmeneti gyakorisága:

$$H_R(M) = \sum_k P(X_k) \sum_i a_{k,i} = P(X_2)a_{2,3} + P(X_1)a_{1,3} + P(X_1)a_{1,4} \quad (6.3)$$

Az ábra alapján az egyes ágak állapotátmeneti gyakoriságát meghatározva és összegezve  
a következő egyenletet kapjuk [64]:

$$H_R(M) = \frac{n^2 \lambda_b^2}{n\lambda_b + \mu} + \frac{2\lambda_k^2}{\lambda_k + \mu} + \frac{2\lambda_f^2}{\lambda_f + \mu} \quad (6.4)$$

Tegyük fel, hogy rendelkezésre áll egy kiépített rendszer az alábbi paraméterekkel:

- 10 db jelzőberendezés  $\rightarrow n = 10$ ;
- A javítási idő 24 óra, azaz  $\mu = 4 \cdot 10^{-2}/h$
- A meghibásodási ráták a következők:
  - $\lambda_b = 2 \cdot 10^{-4}/h$  (egy átlagos nyomtatott áramköri egység meghibásodási rátája)
  - $\lambda_k = 2 \cdot 10^{-5}/h$
  - $\lambda_f = 2 \cdot 10^{-5}/h$

A számítást a 6.4 egyenlet alapján elvégezve, az egyes ágakra kapott értékek a következők:

$$H_{1,2,5}(M) = \frac{n^2 \lambda_b^2}{n \lambda_b + \mu} = \frac{100 \cdot 10^{-8}}{4,2 \cdot 10^{-2}} = 2,38 \cdot 10^{-5}$$

$$H_{1,3,6}(M) = \frac{2 \lambda_k^2}{\lambda_k + \mu} = \frac{4 \cdot 10^{-10}}{4 \cdot 10^{-2}} = 10^{-8}$$

$$H_{1,4,7}(M) = \frac{2 \lambda_f^2}{\lambda_f + \mu} = \frac{4 \cdot 10^{-10}}{4 \cdot 10^{-2}} = 10^{-8}$$

A várható átlagos működési idő:

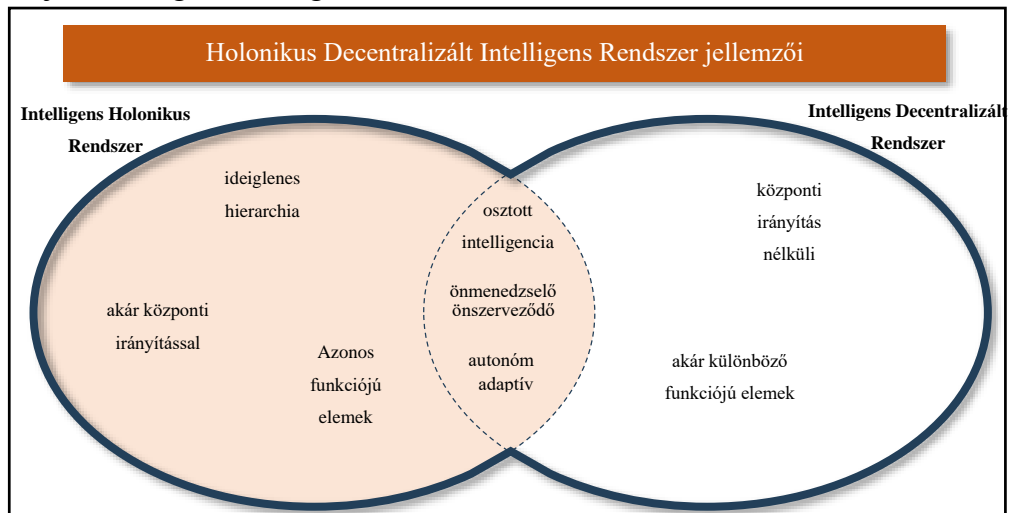
$$MTBF = T_R(M) \cong 4,1981 \cdot 10^4 \text{ óra} \cong 4,8 \text{ év}$$

A kapott működési idő megközelítőleg az akkumulátorok üzemidejével azonos, így kijelenthető, hogy az akkumulátorok cseréjével a berendezés vezérlő moduljait is cserélni kell majd! Belátható, hogy ha növeljük a berendezések számát, akkor – a fenti paramétereket figyelembe véve - gyakorlatilag a rendszer átlagos időtartama drasztikusan csökken. Ezt csak úgy lehet elkerülni, ha az értekezésben javasolt mikrovezérlő (TMS570LC4357) köré épített modult alkalmazunk, melynek gyártói, (Texas Instruments) adatlapon feltüntetett meghibásodási rátája:  $\lambda_b = 10^{-7}/h$

### 3.7 Részkövetkeztetések

A BVR – a fentebb megfogalmazott kritériumoknak megfelelő, a működési megbízhatóság növelésének elsődlegességét figyelembe vevő – kialakítása tehát egy olyan rendszer kialakítását jelenti, melyben osztott intelligenciájú, autonóm, adaptív működésű berendezések, önszerveződő, decentralizált, holarchikus architektúrában működnek. A rendszer architektúra jellemzőit a 15. ábra alapján csoportosítva kijelenthető, hogy a BVR architektúrája az intelligens holonikus rendszer és az intelligens decentralizált rendszer architektúra jellemzők uniójaként definiálható és létrehozza a **holonikus decentralizált intelligens rendszer** felépítését.

A jelzés megbízhatóság növelése érdekében bevezetésre került a decentralizált



15. ábra: Az intelligens holonikus és az Intelligens decentralizált rendszer jellemzőinek uniója. Szerző saját munkája

keresztverifikációs eljárás, egy algoritmus, melynek során a tűz megjelenésénél, az adott partícióba tartozó berendezések által vizsgálható több, különböző tűzjellemző érzékelése, illetve mozgó transzponderek megjelenése és eltűnése terület szinten határozható meg, nem pedig pontszerűen. A keresztverifikációs eljárásnak köszönhetően nem pontszerű, hanem területszerű érzékelés valósítható meg, mellyel a riasztás megbízhatósága növekszik, a téves riasztások száma pedig csökken. Az algoritmus futtatásához és annak eredményét képező hiteles jelzés kiváltásához nem szükséges a központi számítógép.



## ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Az erdők alapvető szerepet játszanak az ökoszisztéma vízháztartás-egyensúlyának és a szén-ciklus fenntartásának megőrzésében, ezért az erdőkben keletkező közvetlen és közvetett károk környezeti hatásai jelentősek. Az erdővédelem feladata ezen károk kockázatának felmérése, értékelése és következményeinek elhárítása. Felelős erdővédelemről akkor beszélhetünk, ha a jelentős károkat még azok bekövetkezése előtt képesek vagyunk jelezni, vagy ha meg tudjuk szüntetni ezek hatásait.

Az egyik legsúlyosabb környezet- és erdővédelmi kihívást az illegális fakitermelések, falopások jelentik. Távol-Keleten, Afrikában a pálmaolaj kinyerése érdekében erdők hektárjai tűnnek el. Közép- és Dél-kelet Európában a fűtési szezon beálltával minden évben egyre intenzívebbé - valódi iparággá - válik az illegális fakitermelés és elszaporodnak a falopások is. A fatolvajok a legtöbb esetben láncfűrészekkel rendelkeznek és gépjárművel, vagy nagyobb tehergépjárművel szállítják el a kivágott fát. Eljárásuk a "válogatásos" módszeren alapul, azaz a járőrözéstől időben/térben is távoleső területen kiválogatják az értékesebb fákat, és azokat derékmagasságban kivágják, a többit otthagyják "mementónak". Gyakran találkozhatunk olyan esettel is, amikor teljes "tarvágást" végeznek az elkövetők - ebben az esetben is derékmagasságban vágják ki a fákat. A tapasztalat azt mutatja, hogy a komolyabb méretű illegális fakitermelést, falopást, környezeti kárt csak annak bekövetkezése után fedezik fel, mivel a jelenlegi gyakorlat szerint szinte kizárólag az erdészeti társaságok felügyeleti személyzete hivatott arra, hogy a meghatározott területeken és időnként járőrtevékenységet folytasson, és a szokatlan eseményekre közvetlen reagáljon. A becslések szerint a világban csak az állami tulajdonú erdőségekben okozott illegális fakitermelés egy év alatt több tíz milliárd dollár kárt okoz, nem beszélve ezeknek a területeknek a helyreállítási költségéről. Pontos adatokat természetesen nehéz megbecsülni az illegális tevékenység jellege miatt, de a fakitermeléseknek jelentős része, esetenként több, mint a fele (különösen a veszélyeztetett régiókban) illegális. Az illegális fakitermelés és az erdőirtás hozzájárulhat a biológiai sokféleség szűküléséhez és a globális felmelegedéshez. Ezek az illegális tevékenységek aláássák a felelős erdőgazdálkodást, ösztönzik a korrupciót és az adóelkerülést, csökkenti a termelő országok jövedelmét, korlátozza az erdőgazdálkodási befektetéseket a termelő országokban, rontja a fenntartható fejlődést és aláássá a jogállamiságot. Az illegális fakitermelés átható probléma, ami hatalmas károkat okoz az erdőkben, a helyi közösségek

és a termelő országok gazdaságában A falopás, vagy illegális fakitermelés gyakran gyümölcsfás területet érint, ahol az okozott kár többszöröse is lehet a kitermelhető fák értékeinél. Ilyenkor ugyanis évekre kiesik a terület a gyümölcs-termesztésből, mely tovább növeli a kár értékét. Éppen ezért sok esetben a tulajdonosok maguk hajlandóak lennének egy „védelmi” rendszerért rendelkezésre állási díjat fizetni, ahonnan érkező információk alapján jelezhető a falopás kezdete és megelőzhető a károkozás. A „hivatalos” forrásból származó adatok óvatos becslésen alapulnak, hiszen a magasan becsült illegális fakitermelés adat kínosan érinthetne egyes intézményeket. A kormányok hatékony jogalkalmazással és jelentős büntetési tételekkel próbálják elejét venni az illegális fakitermelésnek. Az ilyen helyzetekben azonban megnőhet a vesztegetés és a korrupció lehetősége. A környezetvédelmi civil szervezetek viszont hajlamosak riasztó becslési adatokat közzé tenni, ezzel is hangsúlyozva a tudatos erdővédelem és a szigorúbb védelmi intézkedések kialakítására. [119]

Több száz milliárd USD kárt okoz a világon a különböző területeket sújtó pusztító erdőtűz, melyek évről-évre egyre nagyobb területet emésztenek el. Az erdőtüzek kialakulásának okait tekintve lehet emberi tevékenységből (kifejezetten gyakori, az esetek túlnyomó többsége gondatlanságból) származik, de okolható a globális klímaváltozás is, mely nem csak a tűzkárok számát, gyakoriságát növeli, hanem a kialakult tüzek terjedési sebességét is. A forró nyarak, a csapadékhiányos időszakok növekedése, a hőségnapok, a szárazabb éghajlat fele tolódás, mind-mind olyan tényező, amitől a tűzkárok súlyosbodnak. Az oltás nehezebb, emiatt a károsított terület nagyobb, és így a kár is hatványozódik. Az erdőtüzek következtében nemcsak az elégett bioszféra értéke jelenti a gazdasági kárt, hanem egyes ipari ágazatok, mint a papírgyártás és a parafatermelés is óriási veszteségeket könyvelhet el a katasztrófa miatt. A tüzek sok esetben szállítási útvonalakat vágnak el, otthonokat tesznek tönkre és több száz négyzetkilométernyi területen hagynak csak hamut maguk után. [119]

Olyan jelzőrendszert lenne célszerű tehát kialakítani az erdővédelemben, mely érzékelői révén lokális információkat képes gyűjteni és továbbítani a hálózaton keresztül a számítógépes rendszerközpontokba. A megoldásból származtatható információk segítségével olyan lehetőségekhez jutunk az erdővédelem, a szabályozott és illegális fakitermelés, a tüzek keletkezése, az illegális behajtás, a kitermelte fa nyomkövetése tekintetében, melyekre korábban nem - vagy csak korlátozott módon – volt képes a szakma. A rendszer „valós-idejű” adatok produkálásával biztosítja, hogy a védett

területen történő tevékenységekről a kiszolgáló személyzet, a rendőrség, vagy a tűzoltóság információval rendelkezzen. [119] Az információ birtokában pedig a megfelelő személyzet lépéseket tehet az erdő és a környezet védelmében, mielőtt a károk komoly méreteket öltenek. Az értekezésben megfogalmazott követelményeknek és kialakítási szempontoknak megfelelő rendszer kifejlesztése azt jelenti, hogy a jelenleg alkalmazott technológia szinten létrehozott intelligens decentralizált és holonikus rendszerek áttekintése, átalakítása, megújítása válik szükségessé.

A decentralizált intelligens rendszerek (DIAS) és a holonikus intelligens rendszerek (HIS) a fejlett technológiai rendszerek két típusa, amelyek az elosztott intelligencia elvein alapulnak. A DIAS-t úgy tervezték, hogy egymással összekapcsolt ágensek hálózataként működjön, amely a helyi információk és feltételek alapján képes döntéseket hozni és cselekedni, míg a HIS-t úgy tervezték, hogy hierarchikus és moduláris módon működjön, olyan önálló autonóm egységekkel, úgynevezett holonokkal, amelyek nagyobb rendszerekké kombinálhatók. Az egyes ágensek vagy modulok autonóm módon működhetnek, és helyi információk alapján hozhatnak döntéseket, ugyanakkor képesek kommunikálni és együttműködni a rendszer más ágenseivel vagy moduljaival. Ez lehetővé teszi, hogy a rendszer intelligens viselkedést mutasson, amelyben a rendszer egészének viselkedése az egyes ágensek vagy modulok közötti kölcsönhatásokból alakul ki. A holonikus decentralizált intelligens rendszerek fejlesztése számos előnnyel jár a hagyományos centralizált rendszerekkel szemben, amelyek a szervezés és irányítás hierarchikus és felülről-lefelé irányuló megközelítésén alapulnak. Bár ez a két rendszer a szervezés és az irányítás tekintetében eltérő megközelítést alkalmaz, egyre inkább a holonikus decentralizált intelligens rendszerek fejlesztése felé mutat a trend.

A BVR koncepciója a moduláris és decentralizált intelligens és holonikus rendszerek kombinációjának létrehozása ötletén alapul, mely ötvözi mindkét megközelítés előnyeit. Egyik fő előnye, hogy képes komplex és dinamikus környezetben működni. Azáltal, hogy lehetővé teszi az egyes jelzőegységek autonóm működését, melynek segítségével a rendszer gyorsabban reagál és könnyebben alkalmazkodik a változó körülményekhez. Ez teszi alkalmassá arra, hogy javítsa az erdővédelem hatékonyságát, a védelmi költségek csökkentését és a jelzések megbízhatóságát. A BVR másik előnye, hogy könnyebben méretezhető, mint a hagyományos centralizált rendszerek. A jelzőegységek hozzáadásával vagy eltávolításával a rendszer könnyen

bővíthető, vagy szűkíthető, így tud alkalmazkodni a változó igényekhez és követelményekhez.

A BVR jellemzője, hogy a jelzőegységek és a jelző- és kommunikációs egységek közötti hatékony kommunikációs és koordinációs mechanizmusok kerültek kifejlesztésre. A hatékony működés érdekében a rendszernek képesnek kell lennie a valós idejű kommunikációra és az érzékelők által mért értékek különböző ellenőrzési eljárások által történő verifikálás koordinálására, ami robusztus és megbízható kommunikációs protokollok alkalmazását igényli. Ehhez hatékony ellenőrzési és döntéshozatali mechanizmusok kerültek kifejlesztésre. A hatékony döntéshozatalhoz a rendszer-elemeknek képesnek kell lenniük arra, hogy a helyi környezetükből származó információkat integrálják a magasabb szintű információkkal és célokkal. Ehhez olyan kifinomult vezérlő és döntéshozatali algoritmusok kerültek kifejlesztésre, amelyek képesek kezelni az összetett és dinamikus környezetet.

A BVR-ben a rendszer szintű komplex intelligencia és végrehajtási mechanizmus (jelzés verifikációs eljárások, kommunikációs és döntéshozatali algoritmusok) a hatékonyabb feldolgozási teljesítmény érdekében a rendszer-elemek között van elosztva. Ez nemcsak a működési és adat- biztonság követelménye miatt került kialakításra, hanem energiahatékonysági megfontolások is szerepet játszottak. Az osztott intelligenciának ez a megközelítése számos előnnyel jár, többek között a nagyobb skálázhatósággal, jobb hibatűréssel és jobb adatbiztonsággal.

A BVR az intelligens holonikus rendszerektől származtatott jellemzője, hogy átmeneti hierarchikus struktúrát alkalmaz a komplexitás jobb kezelése érdekében. A rendszerben az egyes jelzőegységek egymásba ágyazott csoportokba szerveződnek, és minden csoport egy-egy újabb rendszer-elemet alkot. Minden jelzőegység egyszerre része egy nagyobb csoportnak és egy önálló egész, saját belső struktúrával és feldolgozási képességekkel. Az eredmény egy olyan rendszer, amely rugalmasabb, alkalmazkodóbb és érzékenyebb, mint egy hagyományos központosított rendszer, ugyanakkor kezelhető és könnyen áttekinthető.

A BVR telepítése gondos tervezést igényel, valamint a mögöttes technológiák és a rendszer felhasználóinak igényeinek mély megértését. Az első lépés a rendszert alkotó funkcionális egységek, vagy modulok azonosítása, majd funkcionális vagy működési jellemzőik alapján a jelzőegységek összeállítása. Ez kihívást jelentő feladat lehet, mivel

az optimális jelzőegység struktúra a rendszer egyedi követelményeitől függ. A jelzőegységek meghatározása után a következő lépés a koordinációs protokollok kialakítása. Itt jön a képbe a BVR átmeneti hierarchikus felépítése. Minden jelzőegység felelős a saját belső feldolgozásáért és döntés hozataláért, de kommunikál az átmenetileg magasabb hierarchia szinten besorolt jelzőegységgel is. Ez lehetővé teszi a rendszer számára, hogy dinamikusan alkalmazkodjon a környezet, vagy a követelmények változásaihoz, miközben a rendszer általános koherenciája és konzisztenciája megmarad. A BVR másik fontos aspektusa az önszerveződés fogalma. Egy decentralizált rendszerben minden egyes csomópont, vagy eszköz felelős a saját feldolgozásáért és döntés hozataláért. A BVR-ben ez a felelősség akár több jelzőegység között is felosztásra kerülhet. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a rendszer ne lenne teljesen decentralizált, vagy hogy az egyes jelzőegységek ne lennének teljesen függetlenek.

A BVR egyik legfontosabb tulajdonsága a skálázhatóság és a változó követelményekhez való alkalmazkodás képessége. A rendszer növekedésével új jelzőegységek, jelző- és kommunikációs egységek adhatók a hálózathoz, a meglévő rendszer-elemek pedig átstrukturálhatók, vagy lecserélhetők. Ez lehetővé teszi, hogy a rendszer könnyedén alkalmazkodjon a környezet, vagy a követelmények változásaihoz anélkül, hogy teljes újra tervezést vagy átalakítást igényelne.

A XXI. század harmadik évtizede a mesterséges intelligencia (MI) algoritmusok kutatásának és fejlesztésének "aranykorát" hozta el. Az MI algoritmusok lehetővé teszik olyan jelzőegységek kifejlesztését, amelyek képesek tanulni és alkalmazkodni a környezetükhöz, így idővel hatékonyabbá és eredményesebbé válnak. Ezen intelligens rendszer-elemek a BVR architektúrában történő kombinálásával olyan rendszerek hozhatók létre, amelyek mind egyéni, mind rendszerszinten képesek tanulni és alkalmazkodni.

A BVR kialakításának módszere olyan komplex megoldást honosít meg az erdő- és természetvédelemben, melynek segítségével azonnali információkat kaphatunk, ha egy jármű fordul be a védett területre, vagy illegális fakitermelés kezdődik, és ugyanígy az engedély nélküli vagy spontán keletkező tüzek jelzéséről is. Ilyen információk birtokában a megfelelő felügyeleti személyzet pontos lépéseket tehet, hogy megakadályozza az erdő és a környezet súlyos károsodását még annak bekövetkezése előtt. A védelmi rendszer erdőgazdálkodásban és természetvédelemben, fakitermelésben, fafelhasználásban

alkalmazható, ugyanakkor az erdőgazdálkodásban alkalmazott felügyelő személyzet által végrehajtott járőrözésnél lényegesen pontosabban és széleskörűbben, a kamerával, vagy műholdakkal történő azonosításnál lényegesen megbízhatóbban, az időjárás körülményeitől függetlenül a nap 24 órájában automatikusan működik. A védelmi rendszer működése az elkövetők számára rejtve marad, a felszerelés minden darabja kitűnően álcázható. A hálózati elemek könnyen telepíthetők, felhasználhatók és az okozható kár töredékébe kerülnek. Az álcázásnak köszönhetően pedig nem eredményezi a környezet sérülését és az elkövetők számára nehezebb a hatástalanítása. [119]

### Új tudományos eredmények

Az értekezés alapját képező kutatás során egy olyan osztott intelligenciájú, decentralizált érzékelő-, és kommunikáló elemek laza kapcsolatából álló hálózati rendszer - amit egyszerűen bioszféra védelmi rendszernek nevezünk - került kidolgozásra, melyet minden olyan helyen alkalmazni lehet, ahol a vegetáció tűz korai jelzése, az illegális fakitermelés kezdete, a bioszféra résztvevők nyomkövetése megjelenhet. A kutatás során négy fő hipotézis került megfogalmazásra, amelyek szorosan kapcsolódnak a megfogalmazott célkitűzéshez és részcélokhoz. Fontos megjegyezni, hogy a kutatásnak nem csak elméleti jellegű megoldásai vannak, hanem - a kiszélesített funkcionalitással működő - prototípus vizsgálata során megszerzett tapasztalatokkal is kiegészítésre kerültek. A feltett hipotézisek bebizonyosodtak, illetve a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala által regisztrált iparjogvédelmek alapján kijelenthető, hogy újszerű tudományos eredmények születtek. Ezek az alábbi táblázatban kerülnek összefoglalásra:

	Tézis	Tézishez kapcsolódó publikáció
T1	Igazoltam, hogy a jelenleg alkalmazott, erősen centralizált - részben, vagy egészben humán identifikáción alapuló - bioszféra felügyeleti rendszerek a kialakításuknál fogva későn jelzik a kialakuló katasztrófa helyzetet, így a kárelhárítás csak későbbi fázisban kezdődhet meg.	K1, K2, K8
T2	Meghatároztam, a kültéri bioszféra védelmi rendszer - a működési megbízhatósági kritériumoknak megfelelő -	K1, K3, K6, K8

	architektúráját, az intelligens decentralizált és az intelligens holonikus rendszer kialakítás jellemzőinek uniójaként.	
T3	Igazoltam, hogy a kültéri bioszféra védelmi rendszer elemei által érzékelt különböző tűzjellemzőt együttesen kezelő keresztverifikációs eljárás a jelzés megbízhatóság növelését és a rendszer érzékelésének terület alapúságát eredményezi.	K1, K6, K8
T4	Bizonyítottam, hogy a kültéri bioszféra védelmi rendszerek megbízhatóságának analizálására az állapotter módszerek közül a homogén Markov-modell alkalmazható.	K5, K6, K9

### **Ajánlások és a kutatási eredmények hasznosítása**

A kihívások ellenére a holonikus decentralizált intelligens rendszerek fejlesztése izgalmas és gyorsan fejlődő terület. Ahogy a mesterséges intelligencia és a gépi tanulás képességei tovább fejlődnek, valószínű, hogy az elkövetkező években egyre több alkalmazást fogunk látni a holonikus decentralizált intelligens rendszerekre. Ezek a rendszerek az iparágak és alkalmazások széles körét forradalmasíthatják, a közlekedéstől és a logisztikától kezdve az egészségügyön át az oktatásig. A decentralizáció, a modularitás és az intelligens ágensek, vagy modulok előnyeinek kombinálásával a holonikus decentralizált intelligens rendszerek a komplex rendszerek tervezésének és működtetésének erőteljes új paradigmáját képviselik.

# IRODALOMJEGYZÉK

- [1] J. Hansen et al., „Global temperature change,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pp. 14288-14293., 26.09.2006.
- [2] J. T. Houghton et al., „Contribution of WGI to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” *Climate Change 2001: The Scientific Basis.*, 2001.
- [3] J. Petit, J. Jouzel és D. Raynaud, „Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica,” *Nature*, szám 399, pp. 429-436, 1999.
- [4] R. J. Cicerone és S. Nurse, „Climate change. Evidence and causes.,” *The Royal Society and US National Academy of Sciences*, 27.02.2014.
- [5] L. O. Mearns, C. Rosenzweig és R. Goldberg, „Mean and variance change in climate scenarios: methods, agricultural applications, and measures of uncertainty,” *Climatic Change*, kötet 35, pp. 367-396, 1997.
- [6] S. Sun és J. Hansen, „Climate Simulations for 1951–2050 with a Coupled Atmosphere–Ocean Model,” *NASA Goddard Institute for Space Studies*, 2003.
- [7] E. A. Barnes, J. Slingo és T. Woollings, „A methodology for the comparison of blocking climatologies across indices, models and climate scenarios,” *Clim Dyn (2012)*, kötet 38, pp. 246-248, 2011.
- [8] R. Mihály, „Globális éghajlatváltozás interaktív és komplex forgatókönyveinek modellezése és elemzése,” *Jövőtanulmányok*, kötet 25, 2011.
- [9] K. Molnárné Barna és T. Molnár, „A globális felmelegedésről,” *DETEUROPE - The Central-European Journal of regional development and tourism*, kötet 7, szám1, pp. 95-109, 2015.
- [10] O. M. Szolgálat, „Évi középhőmérsékleti adatok 1901-,” [Online]. Available: [https://met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/eghajlati\\_visszatekinto/elmult\\_evek\\_idoj\\_arasa/main.php?no=2&ful=bevezetes](https://met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idoj_arasa/main.php?no=2&ful=bevezetes). [Hozzáférés dátuma: 10 01 2022].
- [11] M. D. Z. A. E. D. W. Chen Zhou, „Greater committed warming after accounting for the pattern effect,” *Nature Climate Change*, kötet 11, pp. 132-136, 05 01 2021.
- [12] M. Zelinka és D. Andrew et al., „Paying for emissions we’ve already released,” 04 01 2021. [Online]. Available: <https://www.llnl.gov/news/paying-emissions-weve-already-released>. [Hozzáférés dátuma: 04 01 2021].
- [13] H. László, „Gázok a légkörben,” Országos Meteorológiai Szolgálat, [Online]. Available: [https://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2012/05\\_Haszpra.pdf](https://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2012/05_Haszpra.pdf). [Hozzáférés dátuma: 05 01 2021].
- [14] E. Parlament, „Üvegházhatású gázok kibocsátása az EU-ban (infografika),” Európai Parlament, 2018. [Online]. Available: [https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20180301STO98928/uvegha\\_zhatasu-gazok-kibocsatas-a-eu-ban-infografika](https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20180301STO98928/uvegha_zhatasu-gazok-kibocsatas-a-eu-ban-infografika). [Hozzáférés dátuma: 05 01 2021].



- [15] „Globális erdőhelyzet,” [Online]. Available: <https://108.hu/globalis-erdohelyzet>. [Hozzáférés dátuma: 07 06 2021].
- [16] K. P. szerk., „A magyar erdőgazdálkodás,” *Magyar Erdők*, pp. 9-17, 02 2019.
- [17] I. Erdélyi, „Az erdők szerepe életünkben,” *National Geographic*, 10 05 2017.
- [18] P. József, „Nagymegbízhatóságú Bioszféra védelmi rendszer kialakítása,” in *XXXIX. Kandó Konferencia*, Budapest, 2023.
- [19] K. A. Papp József, „Bioszféra védelmi rendszer kialakításának módszere”. Szabadalom száma: P1300560, 2013.
- [20] R. A. Butler, „Mongabay.com,” 23 07 2020. [Online]. Available: <https://rainforests.mongabay.com/deforestation/>. [Hozzáférés dátuma: 15 01 2021].
- [21] C. J. A. A. Y. Z. P. A. C. A. K. M. A.-K. M. .. & B. S. Murray, „Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019,” *The lancet*, kötet 396, szám 10258, pp. 1223-1249, 202.
- [22] A. A. A. Alkhatib, „A Review on Forest Fire detection Techniques,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, p. 12, 05 03 2014.
- [23] D. Guggenheim, „An Inconvenient Truth,” *Directed by Davis Guggenheim about former United States Vice President Al Gore's campaign [Documentary]*, 2000.
- [24] S. C. et.al., WWF living forests report: chapter 5, Saving forests at risk 2015, Svájc: World Wide Fund of Nature, 2015.
- [25] U. Sándor, *Komplex villamos rendszerek biztonságtechnikai kérdései, Doktori (Phd) értekezés*, Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2009.
- [26] E. Unió, 2006. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/environment/archives/forests/ffocus.htm>. [Hozzáférés dátuma: 03 01 2021].
- [27] M. McGrath, „BBC News,” BBC Corp., 18 12 2020. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/science-environment-55350185>. [Hozzáférés dátuma: 16 01 2021].
- [28] G. R. T. Leda N. Kobziar, „Science,” 370. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abe8116>. [Hozzáférés dátuma: 17 01 2021].
- [29] G. R. T. Leda N. Kobziar, „Wildfire smoke, a potential infectious agent,” *Science*, kötet 370, szám 6523, pp. 1408-1410, 2020.12.18 12 2020.
- [30] U. N. E. Programme, „UNEP Frontiers 2016 report emerging issues of environmental concern,” UNEP, [Online]. Available: [https://wesr.unep.org/media/docs/assessments/UNEP\\_Frontiers\\_2016\\_report\\_emerging\\_issues\\_of\\_environmental\\_concern.pdf](https://wesr.unep.org/media/docs/assessments/UNEP_Frontiers_2016_report_emerging_issues_of_environmental_concern.pdf). [Hozzáférés dátuma: 15 11 2017].
- [31] D. K. Péter, „StartUpdate,” [Online]. Available: <http://startupdate.hu/a-fejjel-lefele-modell/>. [Hozzáférés dátuma: 23 05 2016].
- [32] „Megoldás Most,” [Online]. Available: <http://megoldasmost.hu/top-5-lean-tevhit/>. [Hozzáférés dátuma: 23 05 2016].

- [33] D. B. Imre, Kutatásmódszertani alapismeretek, Pécs: Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar, 2015.
- [34] J. K. Bittó Zsófia, „Innovatív Generáció,” [Online]. Available: <https://innovativgeneracio.blog.hu/2014/03/21/validalas>. [Hozzáférés dátuma: 23 05 2014].
- [35] T. I. János, Környezetetika, Szeged: SZTE, BTK, Filozófia tanszék, 2013.
- [36] V. Gábor, Helyünk a bioszférában, Budapest: TypoTex, 2001.
- [37] U. István, Bevezetés a környezettudományba, Biológiai vonatkozások, Kolozsvár: Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Természettudományi és Művészeti Kar, 2007.
- [38] P. G. Moser Miklós, A környezetvédelem alapjai, Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 2006.
- [39] M. Szabvány, *MSZ EN 50126:2018; Vasúti alkalmazások. A megbízhatóság, az üzemképesség, a karbantarthatóság és a biztonság (RAMS) előírása és bizonyítása*, International Electrotechnical Commission, 2018.
- [40] D. G. László, Természet- és tájvédelem, Egyetemi tankönyv szerk., Veszprém: Pannon Egyetem - Környezetmérnöki Kar, 2012.
- [41] C. o. t. E. Union, „Protection of the community's forests against fire. Council regulation (EEC) no 2158/92,” *Official Journal of the European Union*, kötet 35 (L 217), pp. 3-7, 1992.
- [42] B. Iván, A tűzvizsgálat alapjai, Budapest: Fővárosi Tűzoltóparancsnokság, 2006.
- [43] S. A. Pervaze, B. F. Lucas és P. Kezee, „International Illegal Logging: Background and Issues,” *In Focus*, 2019.02.26.
- [44] „Erdőtűzek: Hogyan kezel egy égető kérdést a LIFE,” Magyar Fejlesztési Központ, [Online]. Available: <https://mfk.gov.hu/erdotuzek-hogyan-kezel-egy-egeto-kerdest-a-life.html>. [Hozzáférés dátuma: 16 02 2021].
- [45] C. S. T. D. o. F. a. F. Protection, „Mosquito Fire,” Department of Forestry and Fire Protection, 2022. [Online]. Available: <https://www.fire.ca.gov/incidents/2022/9/6/mosquito-fire/>. [Hozzáférés dátuma: 06 02 2023].
- [46] M. Reinke, „LA NACION,” Miembro de GDA. Grupo de Diarios América, [Online]. Available: <https://www.lanacion.com.ar/economia/campo/denuncian-que-los-incendios-son-intencionales-y-hacen-patrullajes-para-evitar-mas-focos-nid18022022/>. [Hozzáférés dátuma: 16 02 2023].
- [47] R. M., H. A., és T. A., „Forest Fire Detection, Prediction and Monitoring in Bhutan,” [Online]. Available: [https://www.academia.edu/8132930/Forest\\_Fire\\_Detection\\_Prediction\\_and\\_Monitoring\\_in](https://www.academia.edu/8132930/Forest_Fire_Detection_Prediction_and_Monitoring_in). [Hozzáférés dátuma: 01 05 2021].
- [48] L. Bryan, „Fire danger, fire risk, fire threat-mapping methods.,” in *EARSel, Int. Workshop on Remote Sensing and GIS Application to Forst Fire Management*, Ghent, Belgium, 2003.

- [49] J. Mika, „A globális felmelegedés regionális sajátosságai a Kárpát-medencében.,” *Időjárás*, kötet XIIC. évfolyam, pp. 178-189, 1988.
- [50] A. Bussay, „Az erdőtűz meteorológus szemmel.,” *Léggör*, kötet XL. évfolyam 2. szám, pp. 15-17, 1995.
- [51] Á. Restás, „Robot reconnaissance Aircraft.,” in *UAVnet 9th. Meeting*, Amszterdam, Hollandia, 2004.
- [52] E. Kührt és a. et, „Autonomous Early Warning System for Forest Fires Tested in Brandenburg (Germany),” *International Forest Fire News*, kötet 22, pp. 84-90, 200.
- [53] D. Viegas és a. et, „Gestosa fire spread experiments.,” in *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Rotterdam, Hollandia, Millpress, 2002.
- [54] Á. Restás, „Szendrő - type Integrated Vegetation Fire management - based on remote sensing modules, Wildfire Management Program from Hungary.,” in *5th. International Workshop on Remote Sensing and GIS Application to Forest Fire Management, EARSeL Forest Fire SIG Meeting*, Zaragoza, Spanyolország, 2005.
- [55] C. Fernandes és F. Linari, „Manual del Extintor de Explosión,” in *AIFEMA*, Granada, Spanyolország, 2004.
- [56] Á. Restás és a. et, „Wildfire Management at Aggtelek National Park, Hungary Integrated Vegetation Fire Management.,” in *IV. simposio Internacional sobre el Manejo Sostenible de los Recursos Forestales I Taller Internacional sobre manejo del Fuego*, Pinar del Río, Cuba, 2006.
- [57] D. Caballero és a. et, „Role of Internet in the decision-making sequence for wildland fire management in Europe: the E-FIS service,” in *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Rotterdam, Hollandia, Millpress, 2002.
- [58] Á. Restás, D. Nagy és S. Rózsa, „Wildland Fire Decision Support System in Aggtelek National Park,” in *2nd. Fire Behaviour and Fuel Management Conference*, Destin, Egyesült Államok, 2007.
- [59] C. Csaba, *Tűzjelző rendszerek. Amit a tűzjelzőkről tudni érdemes.*, Budapest: Florian Press Kiadó, 2001.
- [60] R. Ágoston, *Az erdőtűzek légi felderítésének és oltásának kutatás-fejlesztése Doktori (PhD) értekezés*, Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2008.
- [61] *57/2005. (XI. 30) BM rendelet a Riasztási és Segítségnyújtási Tervről, a hivatásos önkormányzati és az önkéntes tűzoltóságok működési területéről, valamint a tűzoltóságok vonulásaival kapcsolatos költségek megtérítéséről.*, 2005.
- [62] F. István, *Valószínűségszámítás és statisztika*, Debrecen: Debreceni egyetem, 2009.
- [63] T. Dániel, P. József és D. S. György, „Az intelligens vasúti rendszer megvalósításának elméleti és technológiai háttere,” in *Báthory-Brassai Konferencia, Óbudai Egyetem*, Budapest, 2015.
- [64] J. Ferenc, *Nagymegbízhatóságú folyamatirányító berendezés rendszertechnikai kialakítása; Egyetemi Doktori Disszertáció*, Budapest: BME, 1986.

- [65] T. D. és S. Gy., „I2 - Intelligent Infrastructure,” in *University of Economics in Bratislava*, Bratislava, 2015.
- [66] K. L. Bodnár László, „Erdőtűz megelőzési módszerek erdészeti megoldásai,” *Hadmérnök*, kötet 2, pp. 117-125, 07 2018.
- [67] S. Kaulfuss, „Waldwissen.net,” Forest Risk and Crisis Management Network Forestry Research, [Online]. Available: <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/waldbrand/waldbauliche-waldbrandvorbeugung>. [Hozzáférés dátuma: 02 10 2021].
- [68] D. S. Zoltán, „Őr és járőrszolgálat ellátása I. A szolgálati feladatellátás szabályai,” NSZFI, Budapest, 2008.
- [69] D. S. Gotthilf, „A védett objektumon belüli járőrszolgálat ellátása alapesetben,” NSZFI, 2008.
- [70] T. Luckhurst, „Fire lookouts: The US Forest Service lookouts watching for fires,” BBC Corp., [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-57626403>. [Hozzáférés dátuma: 12 11 2021].
- [71] „bitepito.hu,” [Online]. Available: <https://bitepito.hu/rejtveny/index.php?searchinput=heliogr%C3%A1f>. [Hozzáférés dátuma: 20 05 2022].
- [72] „simpsoncity.com,” [Online]. Available: <https://www.simpsoncity.com/hiking/firelookouts.html>. [Hozzáférés dátuma: 15 01 2021].
- [73] „hikingsdcounty.com,” [Online]. Available: <https://hikingsdcounty.com/los-pinos-peak>. [Hozzáférés dátuma: 15 01 2021].
- [74] „firelookout.com,” [Online]. Available: <https://www.firelookout.com/sd/lakotapeak.html>. [Hozzáférés dátuma: 15 01 2021].
- [75] „fotospot.com,” [Online]. Available: <https://fotospot.com/attractions/south-dakota/harney-peak-lookout-tower>. [Hozzáférés dátuma: 15 01 2021].
- [76] „palmspringslife.com,” [Online]. Available: <https://www.palmspringslife.com/tahquitz-canyon-to-the-peak/>. [Hozzáférés dátuma: 15 01 2021].
- [77] „Parks and Wildlife Service,” [Online]. Available: <https://exploreparks.dbca.wa.gov.au/site/gloucester-tree>. [Hozzáférés dátuma: 15 01 2021].
- [78] N. I. centrum, *Detection Synthesis of Good Practices*, Zvolen, Slovakia: EUFOFINET Project, 2014.
- [79] G. Hough, „Vision Systems for Wide Area Surveillance: Forest-,” *Wild-fire*, 2007.
- [80] P. E. J. H. S. Mathews, „Evaluation of Three Systems,” Bushfire Cooperative Research Centre, Australia, 2010.
- [81] „Uratek is a software for fire forest early detection,” Uratek, 2013. [Online]. Available: <http://www.uratek.com/applications.php?5..> [Hozzáférés dátuma: 11 05 2022].

- [82] P. Guillemant és J. Vicente, „Real-time identification of smoke images by clustering motions on a fractal curve with a temporal embedding method,” *Optical Engineering*, kötet 40, szám 4, 2001.
- [83] „Forest Fire Finder,” NGNS, 2013. [Online]. Available: <http://www.ngns-is.com/>. [Hozzáférés dátuma: 12 01 2023].
- [84] S. Matthews, A. Sullivan, J. Gould, R. Hurley, P. Ellis és J. Larmour, „Evaluation of Three Wildfire Smoke Detection Systems,” in *Bushfire CRC*, Ausztrália, 2010.
- [85] „Fire Hawk ForestWatch,” ALASIA Marketing, 2013. [Online]. Available: <http://www.firehawk.co.za/>. [Hozzáférés dátuma: 19 11 2022].
- [86] „An Early Warning System for Forest Fires, successfully in the global use,” FireWatch, 2013. [Online]. Available: <http://www.fire-watch.de/system->. [Hozzáférés dátuma: 08 06 2022].
- [87] F. A. P. Limited, „Australian National FireWatch Early Bushfire Detection Network Stage 2 Trial Proposal,” szeptember 2010. [Online]. Available: <http://firewatchaustralia.com/wp-content/uploads/2020/03/FireWatch-Stage2-Trial-Proposal.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 05 08 2020].
- [88] P. Arun, „An investigation over UAV based framework for forest fire monitoring and prediction in Bhutan,” India, 2014.
- [89] C. J. Tucker és A. Anyamba, „Historical Perspectives on AVHRR NDVI and Vegetation Drought Monitoring,” in *Goddard Space Flight Center Technical Report*, SP-351 , USA, 2011, pp. 309-345.
- [90] NASA, „MODIS Wep page,” NASA, [Online]. Available: <http://modis.gsfc.nasa.gov>. [Hozzáférés dátuma: 25 02 2017].
- [91] M. R. a. A. Himanshu, „Study and Comparison of Various Image Edge Detection Techniques,” *International Journal of Image Processing (IJIP)*, kötet 1, szám 3.
- [92] I. K. O. U. Y.E. Aslan, „A framework for use of wireless sensor networks in forest fire detection and monitoring,” *Computers, Environment and Urban Systems Journal*, kötet 36., szám 6., pp. 614-625, 2012.
- [93] H. A. N.Sazak, „The importance of Using wireless Sensor Networks for Forest Fire Sening and Detection in Turkey,” in *5th International Advanced technologies Symposium*, May 13-15, Karabut, Turkey, 2009.
- [94] Y. H. J. K. B. Son, „A Design and Implementation of Forest-Fires Surveillance System based on Wireless Sensor Networks for South Korea Mountains,” *International Journal of Computer Science and Network Security*, köte t6, szám 9, pp. 124-130, 2006.
- [95] K. Pripuzic, H. Belani és M. Vukovic, „Early Forest Fire Detection with Sensor Networks: Sliding Window Skylines Approach,” *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, pp. 725-732, 2008.
- [96] J. S. e. G. X. S. F. M. Antoine-Santoni, „Performance of a Protected Wireless Sensor Network in a Fire. Analysis on Fire spread and Data Transmission,” *Sensors*, kötet 9, szám 8, pp. 5878-5893, 2009.

- [97] D. Doolin és N. Sitar, „Wireless sensors for wildfire monitoring,” in *Proc. SPIE 5765, Smart Structures and Materials*, Kanada, 2005.
- [98] R. O. R. T. P. P. L. Bernardo, „A Fire Monitoring Application for Scattered Wireless Sensor Networks - A peer-to-Peer Cross-layering Approach,” in *Proceedings of the International Conference on Wireless Information Networks and Systems*, Barcelona, Spain, 2007.
- [99] M. Bahrepour, N. Meratnia és P. Havings, „Automatic Fire Detection: A Survey from Wireless Sensor Network Perspective,” *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2008.
- [100] M. H. A. Khadivi, „Fire Detection Using Wireless Sensor Networks,” in *SENSAPPEAL, LNICST 29*, 2010.
- [101] J. Zhang, W. Li, N. Han és J. Kan, „Forest fire detection system based on a Zigbee wireless sensor network,” *Frontiers of Forestry in China (Journal)*, kötet 3, szám 3, pp. 369-374, 2008.
- [102] M. B. M. Hefeeda, „Forest Fire Modeling and Early Detection using wireless Sensor Networks,” *Adhoc & Sensor Wireless Networks*, kötet 7, szám 3/4, pp. 169-224, 2009.
- [103] K. I. G. K. S. B. B. Kosucu, „FireSenseTB: a wireless sensor networks testbed for forest fire detection,” *Proceedings of the 2009 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing: Connecting the World Wirelessly*, 2009.
- [104] T. Celik, „Fast Efficient Method for Fire Detection Using Image Processing,” *ETRI Journal*, kötet 32, szám 6, pp. 881-890, 2010.
- [105] J. M. G. F. Reinhard Bischoff, „Wireless Sensor Network Platforms,” *Encyclopedia of Structural Health Monitoring Systems and System Design Sensor/Actuator Network Configuration*, 2009.
- [106] A. B. N. C. G. M. M. Z. F. Rosi, „Landslide Monitoring with Sensor Networks: Experiences and Lessons Learnt from a Real-World Deployment,” *International Journal of Sensor Networks*, kötet 10, szám 3, pp. 111-122, 2011.
- [107] V. V. M. B. M. Ď. M. P. M. Harvanová, „Detection of Wood Logging Based on Sound Recognition Using Zigbee Sensor Network,” in *Proceedings of International Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing*, Svájcc, 2011.
- [108] S. R. T. Soisonthorn, „Deforestation detection algorithm for wireless sensor networks,” 2007. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/251846103\\_Deforestation\\_detection\\_algorithm\\_for\\_wireless\\_sensor\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/251846103_Deforestation_detection_algorithm_for_wireless_sensor_networks). [Hozzáférés dátuma: 25 11 2018].
- [109] V. Miklós, „24.hu,” 21 11 2015. [Online]. Available: <https://24.hu/tudomany/2015/11/21/itt-egy-madar-ami-tokeletesen-utanozza-a-lancfuresz-es-az-autoriaszto-vagy-epp-emberek-hangjat/#>. [Hozzáférés dátuma: 21 09 2021].
- [110] B. S. Gnyegyenko, *A megbízhatóságelmélet matematikai módszerei*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1970.
- [111] D. F. H. J. S. A. T. J. G. V. B. W. Z. BÁNLAKI PÁL, *Járműgyártási folyamatok diagnosztikája*, Budapest: Akadémiai kiadó, 2019.

- [112] E. Dubrova, *Fault-Tolerant Design*, New York: Springer New York, NY, 2013.
- [113] F. C. Gärtner, „Fundamentals of fault-tolerant distributed computing in asynchronous environments,” *ACM Computing Surveys*, kötet 31, szám 1, pp. 1-26, 1999.
- [114] D. P. László, *Karbantartás elmélet*, Debrecen: Debreceni Egyetem, 2002.
- [115] M. Klára, „Markov-láncok modelljének matematikai háttere,” in *Markov-Modellek Elmélet, Becslés és társadalomtudományi alkalmazásaok*, Budapest, ELTE Regionális tudományi tanszék, 2008, pp. 151-189.
- [116] H. N. S. L. Kechar Bouabdellah, „Using Wireless Sensor Networks for Reliable Forest Fires Detection; In: The 3rd International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT 2013),” USA, 2013.
- [117] „Fire in Europe,” [Online]. Available: <https://www.planetoscope.com/forets/281-.html>. [Hozzáférés dátuma: 08 03 2022].
- [118] Y. X. a. b. J. G. a. L. S. a. d. J. G. c. Yahui Che a d, „Evaluation of the AVHRR DeepBlue aerosol optical depth dataset over mainland China,” *The ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 11 09 2018.
- [119] K. A. W. P. W. T. Papp József, „Rádiófrekvenciás azonosításon alapuló jelzőberendezés az erdőgazdálkodásban”. Szabadalom száma: 4138, 23 01 2012.
- [120] G. Gordos és P. Laborci, „Ambiens intelligencia alkalmazások – követelmények az infokommunikációs hálózatokkal szemben.” *Magyar Tudomány*, kötet 7, p. 910, 2007.
- [121] J. Kollár, „A kiterjesztett elme mint holonikus rendszer (Koestler és a kognitív tudomány)” ELTE, Budapest, 2008.
- [122] J. Papp, D. Tokody és F. Flamini, „From traditional manufacturing and automation systems to holonic intelligent systems,” *Procedia Manufacturing*, kötet 22, pp. 931-935, 2019.
- [123] L. Bakos, „Holonikus gyártórendszerek néhány elméleti és gyakorlati alkalmazásai.” in *Erdélyi Múzeum Egyesület*, Kolozsvár, 2003.
- [124] J. P. L. B. I. F. F. Daniel Tokody, „Complex, Resilient and Smart Systems,” in *Resilience of Cyber-Physical Systems: From Risk Modelling to Threat Counteraction Cham.*, Netherland, Springer Netherlands, 2019, pp. 3-24.
- [125] J. Papp, „Embedded Control System with Shared Logic for Railroad Transport,” *NNORAIL MAGAZIN*, Budapest, kötet 1, pp. 40-44, 2016.
- [126] C. S. A. -. k. Z. Alliance, „Connectivity Standards Alliance,” [Online]. Available: <https://csa-iot.org/about/>. [Hozzáférés dátuma: 31 05 2021].
- [127] D. H. Jenő, *Az erdők tűz elleni védelme, nagy kiterjedésű erdő- és vegetációtüzek Oltása*, Kaposvár: Somogy Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, 2011.
- [128] T. P. C.E. Van Wagner, *Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index system*, Ottawa: Government of Canada, The Canadian Forestry Service, 1985.

- [129] K. Finkenzerler, RFID Handbook 3rd edition, ISBN: 978-0-470-69506-7, Chichester, West Sussex: Wiley, 2010.
- [130] „Global Forest Watch,” [Online]. Available: <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/global/?category=fires>. [Hozzáférés dátuma: 21 03 2023].
- [131] B. Kovács és R. Vida, „A Zigbee technológia,” *Hiradástechnika*, kötet 58, pp. 9-12, 2004.
- [132] L. Csurgai-Horváth, Á. Danitz és R. I. , „Méréssel támogatott hálózattervezés ZigBee hálózaton,” *Hiradástechnika*, kötet 6, pp. 9-14, 2010.
- [133] K. Bányai, Z. Mándy és I. Prof Dr. Dudás, „Egy holonikus gyártórendszer struktúrája,” *Debreceni Műszaki Közlemények*, kötet 169, 2010.
- [134] J. Harsten, „BLUETOOTH – The universal radio interface for ad hoc, wireless,” *Ericsson Review*, kötet 3, 1998.
- [135] P. G. L. H. J. G. M. N. B. H. V. B. Ed Callaway, „Home networking with IEEE 802.15.4: A developing standard for low-rate wireless personal area networks,” *IEEE Communication Magazine*, kötet 8, pp. 70-77, 08 2002.
- [136] S. R. M. Mahlke, „Energy Supply Considerations for Self-sustaining Wireless Sensor Networks,” *Proceedings of IEEE Second European Workshop on Wireless Sensor Networks*, pp. 397-399, 2005.
- [137] D. T. S. H. Lisa Langer, „Fire danger warning communication in New Zealand: Summary of a study of Rural Fire Authority communications in Northland,” *Fire Technology Transfer Note*, kötet 38, 2009.
- [138] „Madárbarát kert,” Zalanatura Természetvédelmi Egyesület, [Online]. Available: [https://zalanatura.5mp.eu/web.php?a=zalanatura&o=LRavVB4\\_P0](https://zalanatura.5mp.eu/web.php?a=zalanatura&o=LRavVB4_P0). [Hozzáférés dátuma: 13 04 2015].
- [139] D. Pozar, Microwave and RF Design of Wireless Systems, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [140] L. a. t. Z. E. T. Göpfert, „A Fully-Integrated 900MHz CMOS RF Transceiver Including Digital Baseband for IEEE 802.15.4,” *ZigBee Application*, kötet 17, szám 2, pp. 283-292, 2006.



# A TÉZISPONTOKHOZ KAPCSOLÓDÓ TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

- [K1] **Papp József**, Kocsis András: „Bioszféra védelmi rendszer kialakításának módszere”. Szabadalom száma: P1300560, 2013.
- [K2] **Papp József**, Kocsis András, Wolf Péter, Wolf Tibor: „Rádiófrekvenciás azonosításon alapuló jelzőberendezés az erdőgazdálkodásban”. Szabadalom száma: 4138, 23 01 2012.
- [K3] **J. Papp**, D. Tokody és F. Flamini, „From traditional manufacturing and automation systems to holonic intelligent systems,” *Procedia Manufacturing*, kötet 22, pp. 931-935, 2019.
- [K4] **J. Papp**, „Embedded Control System with Shared Logic for Railroad Transport,” *INNORAIL MAGAZIN, Budapest*, kötet 1, pp. 40-44, 2016.
- [K5] T. Dániel, **P. József** és D. S. György, „Az intelligens vasúti rendszer megvalósításának elméleti és technológiai háttere,” in Báthory-Brassai Konferencia, *Óbudai Egyetem*, Budapest, pp 335-348. 2015.
- [K6] **P. József**, „Nagymegbízhatóságú Bioszféra védelmi rendszer kialakítása,” in *XXXIX. Kandó Konferencia*, Budapest, 2023.
- [K7] **Jozsef Papp**. L. B. I. F. F. Daniel Tokody, „Complex, Resilient and Smart Systems,” in *Resilience of Cyber-Physical Systems: From Risk Modelling to Threat Counteraction Cham.*, Netherland, Springer Netherlands, 2019, pp. 3-24.
- [K8] **P. József**, „Nagymegbízhatóságú Bioszféra védelmi rendszer kialakítása”, In: Molnár György; Temesvári Zsolt; Wühl Tibor (szerk.) XXXIX. Kandó Konferencia 2023 Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország 2023.11.09. - 2023.11.10. Budapest: Óbudai Egyetem, pp 238-247 (2024)
- [K9] **P. József**, „Nagy megbízhatóságú bioszféra védelmi rendszer rendszertechnikai kialakítása” In: Wühl Tibor (szerk.) KVK Habilitációs és PhD Workshop Minikonferencia : Kiadvány kötet Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország 2024.06.20. Budapest: Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, pp 98-104 (2024)

## ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Évi középhőmérséklet alakulása 1901 és 2020 között. [9] [10] .....	6
2. ábra: Évi középhőmérséklet alakulása 1970 és 2020 között. [9] [10] .....	7
3. ábra: A tűz fejlődés szakaszai. [59] .....	26
4. ábra: Kárérték-idő diagram nyílt tűzre vonatkoztatva. [60] alapján .....	27
5. ábra: Meghibásodások számának időfüggvénye. [64] .....	51
6. ábra: Egy komponens állapot-átmenetei. Szerző saját munkája .....	52
7. ábra: Két komponensű rendszer állapot átmenetei - <b>a</b> , javítás nélkül; <b>b</b> , javítással. A szerző saját munkája .....	55
8. ábra: Az FWI értékeinek megfelelő tűzveszélyességi osztályok. A [139] alapján a szerző fordítása .....	76
9. ábra: A BVR általános felépítése; [19] .....	86
10. ábra: A BVR elemeinek "csapdaszerű" elrendezése; [19] .....	88
11. ábra: A BVR elemeinek "kerítésszerű" elrendezése; [19] .....	90
12. ábra: A BVR elemeinek "teljes védelmi" elrendezése; [19] .....	91
13. ábra: Az alap kiépítés állapot-átmeneti diagramja. A szerző saját munkája .....	94
14. ábra: Kiegészítő redundanciával rendelkező rendszer állapot-átmeneti diagramja. A szerző saját munkája .....	95
15. ábra: Az intelligens holonikus és az Intelligens decentralizált rendszer jellemzőinek uniója. Szerző saját munkája .....	97
16. ábra: A Föld átlaghőmérsékletének emelkedése: 1986 és 2005 között, és a modellezett 2081 és 2100 között. [4] .....	120
17. ábra: Évenkénti fával borított területek (trópusi és egyéb) pusztulása évenként 2001 óta. (Az ábrán a 30%-nál nagyobb lombkorona borítású területek kerültek feltüntetésre). Fordítás: Szerző;[20] .....	121
18. ábra: 8. Nemzetközi Innovációs kiállítás és verseny (Kushan - Kína) - Aranyérem .....	122
19. ábra: Nemzetközi Innovációs kiállítás (Varsó - Lengyelország) - Bronzérem .....	123
20. ábra: A bioszféra védelmi rendszer RAMS jellemzőinek kapcsolata. [39] .....	128
21. ábra: A bioszféra védelmi rendszer környezetének hatása az RAMS jellemzőkre. [39] .....	128
22. ábra: A bioszféra védelmi rendszer megbízhatóságának feltételei. [39] .....	128
23. ábra: Los Pinos kilátó, Cleveland National Forest, San Diego CA; [73] .....	129

24. ábra: Harney-Peak kilátó torony; [75] .....	129
25. ábra: Tahquitz Peak kilátó torony; [76] .....	129
26. ábra: Lakota Peak kilátó; [74].....	130
27. ábra: South Mount Hawkins megfigyelő torony; [72].....	130
28. ábra: Gloucester-fa; [77] .....	130
29. ábra: Belső funkciók osztályozása. Szerző saját munkája .....	131
30. ábra: Együttműködés a rendszeren belül. Szerző saját munkája .....	131
31. ábra: A rendszer-elemek közötti lehetséges kommunikáció topológiája. A szerző saját munkája.....	131
32. ábra: Az elméleti jelzőegység sematikus felépítése. Szerző saját munkája.....	132
33. ábra: Madárodú, mint álcázó ház; [140] .....	132

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. Táblázat: A vizuális alapú felügyeleti rendszerek jellemzőinek összefoglaló táblázata. A Szerző saját munkája.....	43
2. táblázat: A kutatók becslése szerint az illegális fakitermelés aránya a legmagasabb az alábbi országokban. [130].....	129

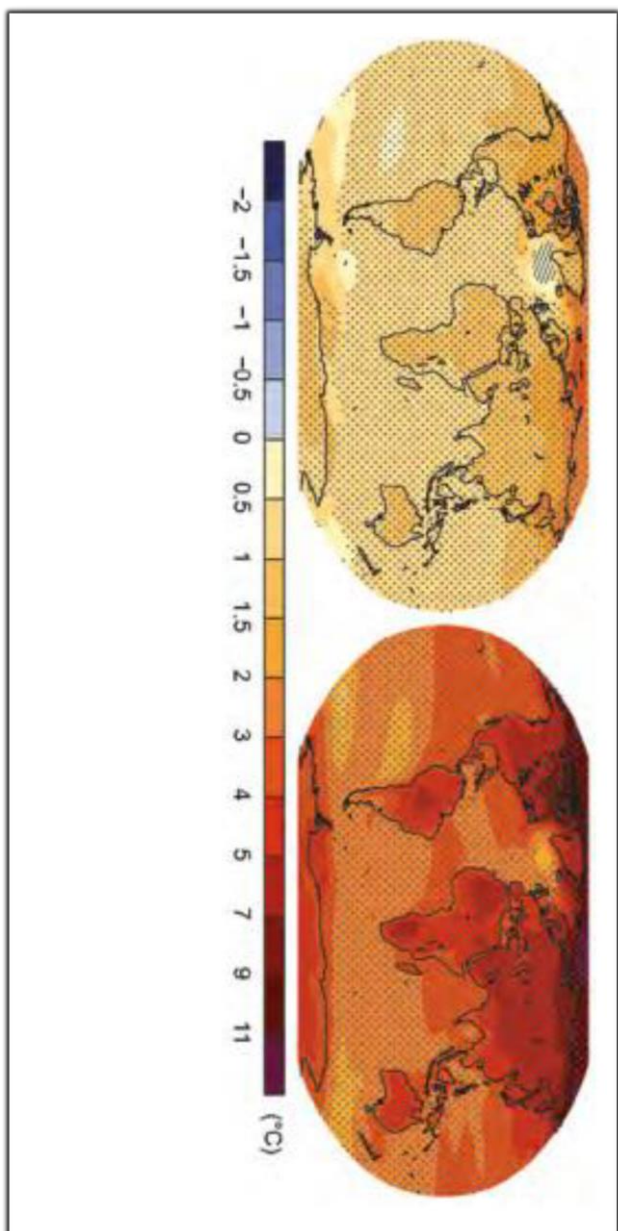
## RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

Rövidítés	Megnevezés	Magyar megnevezés
LLNL	Lawrence Livermore National laboratory	Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium
UCDC	United States Centers for Disease Control	Egyesült Államok Járványügyi központ
UNEP	United Nations Environment Programme	Egyesült Nemzetek Környezetvédelmi Program
BVR	Bioszféra Védelmi Rendszer	
RFID	Radio Frequency IDentification	Rádiófrekvenciás azonosítás
INTERPOL	International Criminal Police Organization	Nemzetközi Bűnügyi Rendőrség
FLEGT	Forest Law Enforcement, Governance and Trade	Az EU erdőre vonatkozó végrehajtási, irányítási és kereskedelmi cselekvési terve
ERCC	Emergency Response Coordination Centre	Vészhelyzet Válasz Koordinációs Központ
EFFIS	European Forest Fire Information System	Európai Erdőtűz Információs Rendszer
FWI	Fire Weather Index	Tűz időjárás index
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety	Megbízhatóság,
MTBF	Mean Time Between Failure	Hibák közötti átlagosan eltelt idő
IR	Infrared	Infravörös
LIDAR	Light Detection and Ranging	Lézer érzékelő
OSS	Optical Sensor System	Optikai Érzékelő Rendszer
BCRC	Bushfire Cooperative Research Centre	Erdőtűz Kutatási Együttműködési Központ
NSW	New South Wales	Új Dél-Wales
GPS	Global Positioning System	Globális Helymeghatározó Rendszer
QGIS	Quantum Geographic Information	Kvantum Digitális Térkép információs rendszer
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer	Moderált felbontású képspektrométer
ESA	European Space Agency	Európai Űrügynökség
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	Nemzeti Óceáni és Klimatológiai Intézet

VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite	Látható infravörös kép radiométer rendszer
WSN	Wireless Sensor Network	Vezeték nélküli érzékelő hálózat
IKT	Infokommunikációs Technológiák	
AmI	Ambient Intelligence	Környezeti Intelligencia
SD	Sensor Device	Érzékelő berendezés
DIAS	Decentralized Intelligent Autonomous System	Decentralizált Intelligens Autonóm Rendszer
HIS	Holonic Intelligent system	Intelligens Holonikus Rendszer
GSM	Global System for Mobile Communications	Globális rendszer mobil kommunikációhoz
GPRS	General Packet Radio Service	Csomagkapcsolt kommunikációs szolgáltatás
FFMC	Fine Fuel Moisture Code	Finom tüzelő-anyag nedvesség kód
DMC	Duff Moisture Code	Átlagos nedvesség tartalom kód
DC	Duff Code	Szárazság kód
ISI	Initial Spread Index	Kezdeti terjedési index
BUI	Build Up Index	Kombinációs index
RTC	Real Time Clock	Valós idő „generátor”
SCD	Sensor and Communication Device	Érzékelő és kommunikációs berendezés
MI	Mesterséges Intelligencia	

## MELLÉKLETEK

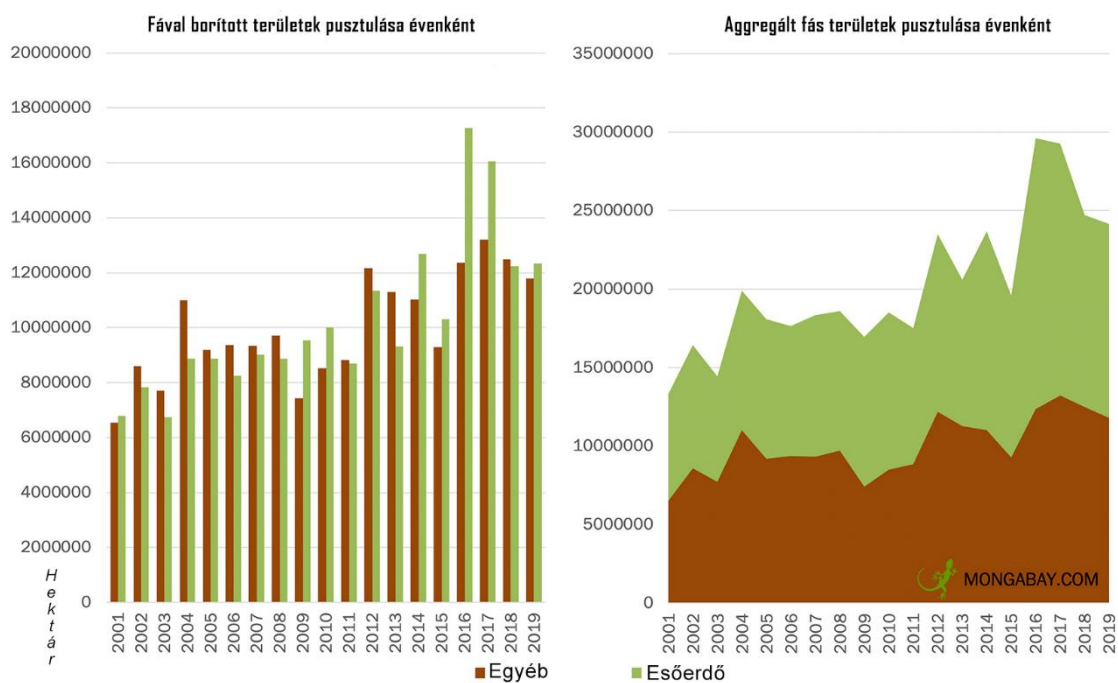
### 1. számú melléklet:



16. ábra: A Föld átlaghőmérsékletének emelkedése: 1986 és 2005 között, és a modellezett 2081 és 2100 között. [4]

## 2. számú melléklet:

### Évenkénti fával borított területek pusztulása 2001 óta



17. ábra: Évenkénti fával borított területek (trópusi és egyéb) pusztulása évenként 2001 óta. (Az ábrán a 30%-nál nagyobb lombkorona borítású területek kerültek feltüntetésre). Fordítás: Szerző;[20]





18. ábra: 8. Nemzetközi Innovációs kiállítás és verseny (Kushan - Kína) - Aranyérem



19. ábra: Nemzetközi Innovációs kiállítás (Varsó - Lengyelország) - Bronzérem

### 3. számú melléklet:

A környezeti kockázatok az alábbi kategóriákba sorolhatók [130] alapján:

- Fizikai kockázatok: Ezek közé tartoznak az olyan természeti veszélyekkel kapcsolatos kockázatok, mint az árvizek, viharok, földrengések és tüzek.
- Kémiai kockázatok: Ezek közé tartoznak a mérgező anyagok, például szennyező anyagok és növényvédő szerek környezetbe jutásával kapcsolatos kockázatok.
- Biológiai kockázatok: Ide tartoznak az invazív fajok, betegségek és kártevők terjedésével kapcsolatos kockázatok.
- Éghajlati kockázatok: Ide tartoznak az éghajlati minták változásával kapcsolatos kockázatok, mint például a tengerszint emelkedése, a csapadékmennyiség változása, valamint a gyakoribb vagy súlyosabb időjárási események.
- Társadalmi-gazdasági kockázatok: Ide tartoznak a környezeti változások emberi közösségekre és gazdaságokra gyakorolt hatásával kapcsolatos kockázatok, mint például a megélhetés elvesztése, kényszermigráció és társadalmi konfliktusok.
- Technológiai kockázatok: Ezek közé tartoznak az új technológiák bevezetésével és használatával kapcsolatos kockázatok, mint például egy atomerőmű meghibásodása vagy egy vegyi baleset.
- Geopolitikai kockázatok: Ide tartoznak a nemzetközi konfliktusok lehetőségei vagy az erőforrásokért folytatott verseny, az emberek elvándorlása és az államcsőd miatti törékeny államok.

### 4. számú melléklet:

Az erdőtüzek az alábbi országokban jelentenek súlyos problémát [130] alapján:

- Egyesült Államok: Az erdőtüzek gyakori probléma a nyugati államokban, különösen Kaliforniában, ahol a szárazság és az erős szél hozzájárulhat a tüzek terjedéséhez.

- Kanada: Kanada nyugati tartományai, például Brit Columbia, Alberta és Saskatchewan, a száraz körülmények és az erős szél miatt hajlamosak az erdőtüzekre.
- Ausztrália: A forró és száraz éghajlat Ausztrália számos részén hajlamossá teszi az országot a bozóttüzekre, amelyek jelentős károkat okozhatnak az erdőkben és az élővilágban.
- Oroszország: Oroszország nagy erdőterülettel rendelkezik, és a nyári hónapokban széles körű erdőtüzet tapasztal, amelyeket elsősorban a száraz, forró időjárás és az emberi tényező okoz.
- Brazília: A brazíliai Amazonas esőerdejét különösen a száraz évszakban fenyegeti tűzveszély, amelyet az emberi tevékenység, például az illegális fakitermelés és a mezőgazdaság, valamint a természeti okok is okozhatnak.
- Indonézia: Indonéziában az erdőtüzek jelentős problémát jelentenek, és gyakran emberi tevékenységek, például a mezőgazdasági célú területrendezés és az illegális fakitermelés okozza őket.
- Dél-Afrika: Az országban is előfordulnak erdőtüzek, főként a száraz nyári hónapokban, amelyeket villámcsapások és emberi tevékenység okoz. [130]

## 5. számú melléklet:

. Országok, ahol az illegális fakitermelés jelentős problémát jelent [130] alapján:

- Oroszország: Oroszországban az illegális fakitermelésről ismert, különösen Szibériában, ahol az olyan értékes fafajok, mint a szibériai vörösfenyő és a cédrus a célpontok.
- Indonézia: Indonézia trópusi erdeit közismerten veszélyezteti az illegális fakitermelés, amelyet az értékes keményfák, például a teak és a mahagóni iránti kereslet hajt.
- Peru és Brazília: Az illegális fakitermelés komoly problémát jelent a brazíliai Amazonas esőerdeiben, ahol az olyan értékes keményfákat, mint az ipe és a jatoba, valamint az erdők mezőgazdasági és szarvasmarha legelőként való kiirtását célozzák.
- Kongó-medence: A Kongó-medence erdeit, amely olyan országokat foglal magában, mint Kamerun, a Közép-afrikai Köztársaság, a Kongói

Demokratikus Köztársaság és Gabon, az illegális fakitermelés ismert veszélye fenyegeti.

- Mianmar: Az illegális fakitermelés komoly problémát jelent Mianmarban, ahol az értékes keményfákat, például a teakfát és a padaukot veszik célba.
- Fülöp-szigetek: Az illegális fakitermelés jelentős problémát jelent a Fülöp-szigeteken, ahol az értékes keményfákat, például az apitongot és a narrát veszik célba, valamint az erdők mezőgazdasági és urbanizációs célú kiirtása is jelentős. [130]

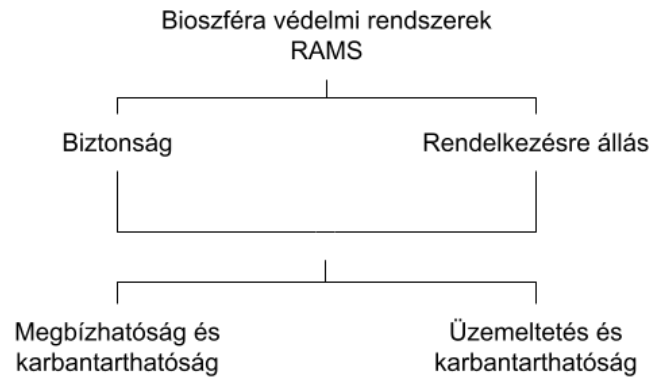
## 6. számú melléklet:

Az Egyesült Államokban keletkezett tüzek részletes adatai []:

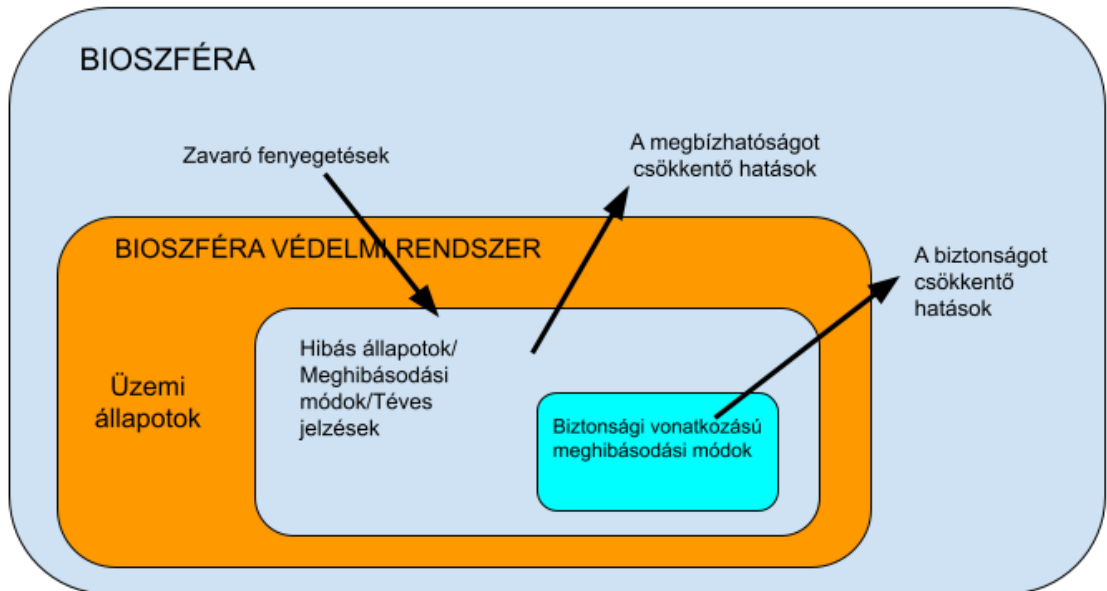
State	Postal	2021 pop.dens. Cap/sqmi	No. of fires		1992-2012
			Human	Lightning	
Alabama	AL	99,52	59216	1256	97,92%
Arizona	AZ	64,05	33982	26909	55,81%
Arkansas	AR	58,16	26031	2029	92,77%
California	CA	251,90	136259	23513	85,28%
Colorado	CO	56,08	7844	18212	30,10%
Connecticut	CT	744,96	4532	17	99,63%
Delaware	DE	514,82	143	10	93,46%
Florida	FL	406,34	59815	19576	75,34%
Georgia	GA	187,82	151769	7280	95,42%
Idaho	ID	23	8367	18586	31,04%
Illinois	IL	228,24	1879	30	98,43%
Indiana	IN	189,99	1944	28	98,58%
Iowa	IA	57,16	789	8	99,00%
Kansas	KS	35,89	1348	118	91,95%
Kentucky	KY	114,18	18172	118	99,35%
Louisiana	LA	107,04	22555	2832	88,84%
Maine	ME	44,49	5234	292	94,72%
Maryland	MD	635,25	2558	100	96,24%
Massachusetts	MA	895,36	397	20	95,20%
Michigan	MI	177,80	8287	471	94,62%
Minnesota	MN	71,69	39781	911	97,76%

Mississippi	MS	62,87	64913	497	99,24%
Missouri	MO	89,76	15134	157	98,97%
Montana	MT	7,59	17797	15791	52,99%
Nebraska	NE	25,56	5287	926	85,10%
Nevada	NV	28,64	4604	10176	31,15%
New Hampshire	NH	155,16	1967	78	96,19%
New Jersey	NJ	1 260,15	22862	195	99,15%
New Mexico	NM	17,44	13042	16694	43,86%
New York	NY	420,91	61703	4102	93,77%
North Carolina	NC	217,02	82029	1775	97,88%
North Dakota	ND	11,23	12685	378	97,11%
Ohio	OH	288,32	1855	14	99,25%
Oklahoma	OK	58,11	24243	1373	94,64%
Oregon	OR	44,24	25385	27146	48,32%
Pennsylvania	PA	289,77	6258	136	97,87%
Rhode Island	RI	1 059,58	312	0	100,00%
South Carolina	SC	172,62	52270	1865	96,55%
South Dakota	SD	11,81	21868	5086	81,13%
Tennessee	TN	169,16	27459	415	98,51%
Texas	TX	113,04	108182	6037	94,71%
Utah	UT	40,61	5356	15083	26,20%
Vermont	VT	70,04	186	8	95,88%
Virginia	VA	218,83	18606	1008	94,86%
Washington	WA	116,46	19583	8212	70,46%
West Virginia	WV	74,17	19401	260	98,68%
Wisconsin	WI	108,87	28855	636	97,84%
Wyoming	WY	5,96	4783	5801	45,19%

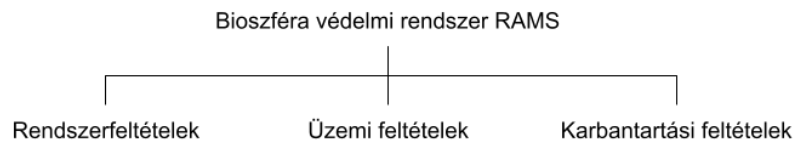
## 7. számú melléklet:



20. ábra: A bioszféra védelmi rendszer RAMS jellemzőinek kapcsolata. [39]



21. ábra: A bioszféra védelmi rendszer környezetének hatása az RAMS jellemzőkre. [39]



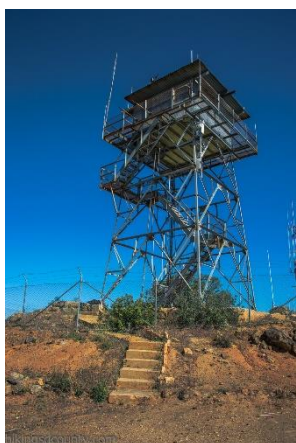
22. ábra: A bioszféra védelmi rendszer megbízhatóságának feltételei. [39]

## 8. számú melléklet:

Ország	Becsült illegális fakitermelés a fakitermelés százalékában:
Brazília	50%
Kamerun	50-65%
Demokratikus Kongói Köztársaság	90%
Ghána	34-70%
Indonézia	60-80%
Laosz	35-80%
Malajzia	35%
Pápua Új-Guinea	70%
Peru	80-90%
Kongói Köztársaság	70%
Oroszország	10-15%

2. táblázat: A kutatók becslése szerint az illegális fakitermelés aránya a legmagasabb az alábbi országokban. [130]

## 9. számú melléklet:



23. ábra: Los Pinos kilátó, Cleveland National Forest, San Diego CA; [73]



24. ábra: Harney-Peak kilátó torony; [75]

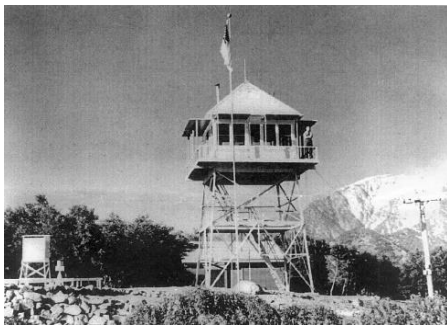


25. ábra: Tahquitz Peak kilátó torony; [76]





26. ábra: Lakota Peak kilátó;  
[74]

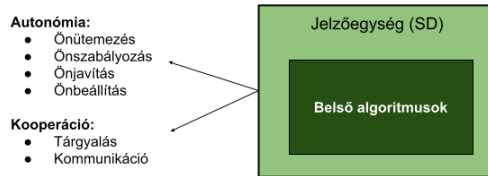


27. ábra: South Mount Hawkins megfigyelő  
torony; [72]

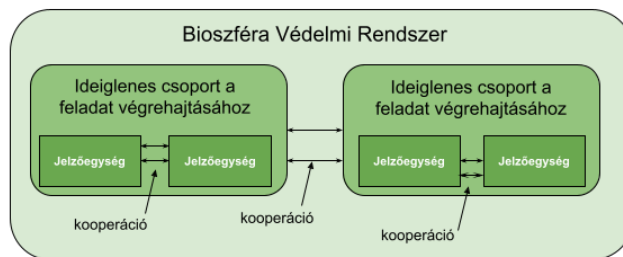


28. ábra: Gloucester-fa;  
[77]

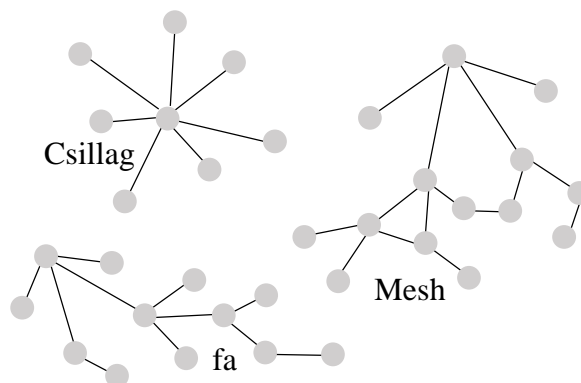
## 10.számú melléklet:



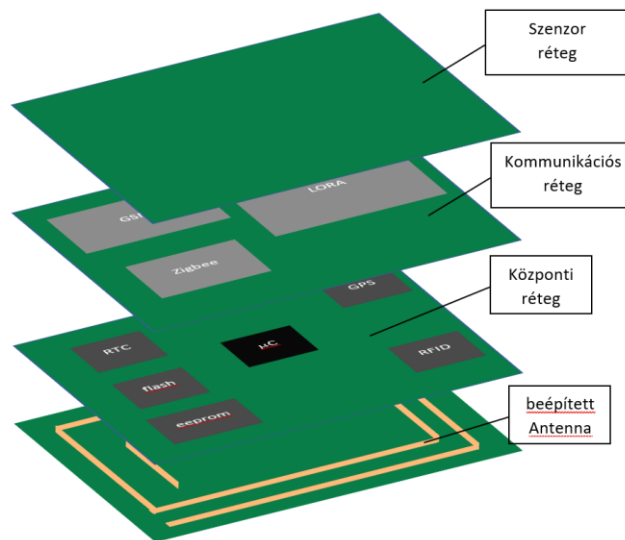
29. ábra: Belső funkciók osztályozása. Szerző saját munkája



30. ábra: Együttműködés a rendszeren belül. Szerző saját munkája



31. ábra: A rendszer-elemek közötti lehetséges kommunikáció topológiája. A szerző saját munkája



32. ábra: Az elméleti jelzőegység sematikus felépítése. Szerző saját munkája



33. ábra: Madárodú, mint alcázó ház; [140]

## 11.számú melléklet:

A rádiófrekvenciás azonosítás valójában nem számít újdonságnak, hiszen már a II. világháborúban is használatban volt a barát-ellenség meghatározására - repülőgépeknél. Manapság a legkülönbözőbb területeken találkozhatunk RFID<sup>11</sup> alkalmazásokkal, mint például a gépjárművek indításgátlója, az áruházi lopások elleni rendszerek, vagy a nagyvárosok tömegközlekedési eszközeinek e-jegy rendszere. Az RFID technológia azonban a termelő vállalatok (főként autógyárak) által használt „Just In Time” elvű gyártási folyamatban is sikerrel alkalmazható az automatikus azonosításra. A szélesebb körű gazdasági célú alkalmazást azonban sok tényező gátolta eddig, mint például a

<sup>11</sup> Radio Frequency Identification

technológiai korlátok és magas előállítási költségek. Azonban az EPC<sup>12</sup> (Elektronikus Termék Azonosító) kialakítása és a fokozatosan csökkenő előállítási árak hatására az RFID technológia egyre inkább elterjedt és hasznos azonosítási és nyomkövetési megoldásokat nyújt raktárakban, kereskedelmi egységekben, gyártósorokon és minden olyan helyen, ahol azonosításra és nyomkövetésre van szükség. [131]

Az RFID vagy rádiófrekvenciás azonosítás, egy olyan technológia, amely automatikusan azonosítja az - előzetesen speciális markerekkel ellátott - objektumokat rádióhullámok segítségével. Az azonosításnak számos módja létezik, azonban a leggyakoribb, hogy a tárgy egyedi sorszáma egy mikrokontrolleren kerül tárolásra, amelyet RFID „transzponder”-nek, „tag”-nek, vagy címkének nevezünk, és amely az antenna segítségével továbbítja az azonosító adatokat az olvasó felé. Az RFID címkék használata lehetővé teszi az elemek azonosítását, és az olvasásukhoz nem szükséges közvetlen rálátás vagy megvilágítás. Az RFID-címkék több információt hordozhatnak, mint a vonalkódok, és az egyedi sorozatszám lehetővé teszi az egyes tételek nyomkövetését. A különböző típusú címkék különböző távolságról olvashatók és a felhasználásuk is ennek megfelelően változik. [131]

A címkéket a működés és az ebből következő felépítés szerint három csoportra oszthatjuk:

Passzív:	A passzív transzponderek nem rendelkeznek beépített áramforrással, az energiát mind a memóriából való olvasáshoz, mind pedig a kommunikációhoz az olvasó által gerjesztett elektromágneses mezőből nyerik. (A passzív elnevezés onnan ered, hogy ezek az adathordozók az író/olvasó sugárzási tartományán kívül nem működnek, nem bocsátanak ki jelet.)
	<u>előnyei:</u> alacsonyabb költség, hosszabb élettartam, rugalmasabb mechanikai kialakítás  <u>hátrányai:</u> korlátozott olvasási távolság (max. 4-5 m), szigorú helyi előírások!
Semi-passzív:	A semi-passzív transzpondereknek van saját áramforrásuk, de ezt csak a memóriaegység működtetéséhez használják, az adatok továbbításához az olvasó által gerjesztett elektromágneses mező szükséges, de ezek használatával akár 100 méteres távolságból is lehetséges az adatforgalom.
Aktív:	Az aktív transzponderek beépített áramforrással és adókészülékkel rendelkeznek, így akár kilométerekről is képesek adatot továbbítani.

<sup>12</sup> Electronic Product Code

	<p><u>előnyei</u>: nagyobb olvasási távolság, egybeépíthető különböző szenzorokkal (pl. hőmérséklet, nedvességtartalom mérésére)</p> <p><u>hátrányai</u>: az akkumulátornak és a tartósabb bevonatnak köszönhetően magasabb az ára, nem tudható előre, hogy meddig kész a kommunikációra</p>
--	--

## 12.számú melléklet:

### *Mi a Zigbee?*

A Zigbee technológiát a Zigbee Alliance szervezet (melynek többek között olyan jelentős ipari cégek a tagjai, mint a Honeywell, Ivensys, Mitsubishi, Philips, Motorola) fejlesztte. [131]

A Zigbee specifikáció a magas szintű kommunikációs protokollok egyike. Alacsony energia igényű, rádiósugárzáson, az IEEE 802.15.4-2003 szabványon alapul, mely a fizikai illetve adatkapcsolati réteget definiálja.

„A Zigbee modul használatának elsődleges céljai a következők:

- nagyon alacsony energiafelhasználás,
- olyan független frekvencia tartomány használata, amely nem engedélyköteles,
- egyszerű telepíthetőség és rendszerfejlesztés,
- alacsony ár,
- magas adatbiztonság a kommunikáció során.” [132]

A vezeték nélküli mesh hálózatokat eredetileg katonai célokra fejlesztették ki. Az elmúlt évtizedben a rádiósugárzás előállításához szükséges méret, költség és energiaigény jelentősen csökkent, így több rádióegység hálózatba kapcsolására nyílt lehetőség. A vezeték nélküli mesh hálózatot ad hoc hálózatnak is nevezik. Az egymással összekapcsolt csomópontok teljesen összekapcsolt hálózatot alkotnak. Az IEEE 802.15.4 szabvány szerint három különböző frekvenciatartományban működik: a 2,4 GHz-es ISM-sávban, az Egyesült Államokban engedélyezett 915 MHz-es ISM-sávban és az európai 868 MHz-es sávban.

	Sáv	Lefedettségi	Adat sebesség (kbps)	Csatornák száma	Modulációs eljárás	Chip sebesség (kchip/s)	Szimbólum sebesség (ksymbols/s)
2,4 GHz	ISM	Világ	250	16	O-QPSK	2000	62,5

868 MHz		Európa	20	1	BPSK	300	20
915 MHz	ISM	Amerika	40	10	BPSK	600	40

Az IEEE 802.15.4 frekvencia tartományai

A rendszer jellemzően a 2,4 GHz-es ISM-sávhoz kapcsolódik, bár a Zigbee szabvány specifikációja az európai 868 MHz-es és az amerikai 915 MHz-es ISM-sávot is tartalmazza. A Zigbee rendszerek meghatározott csatornákon kommunikálnak, és nem használják a teljes ISM spektrumot a kommunikációra (ellentétben a Bluetooth vagy WLAN rendszerekkel). A modul által használt 2,4 GHz-es sáv - amelynek pontos tartománya 2400-2483,5 MHz - 16 csatornát tud fogadni. Az előző két frekvenciával ellentétben BPSK helyett O-QPSK modulációt használ. Ez a moduláció 250 kbit/s-ra növeli az elérhető adatátviteli sebességet. [132] „A fizikai szintű adatátviteli sebesség ugyan 250 kbps-ig terjed, amely valójában maximum 128 kbps információs sebességet eredményez. Az interferenciák ellen a modul direkt szekvenciális spektrumszórás (DSSS<sup>13</sup>) alkalmaz védekezési eljárásként. A 250 kbps-os sebesség eléréséhez 62,5 k szimbólum váltás történik másodpercenként, 1 szimbólum pedig 4 bitet reprezentál. A DSSS 1 bitet 4 chip segítségével igyekszik meghatározni.” [131]

„A Zigbee modulok minden adás előtt vivőjel érzékeléses, többszörös hozzáférést kezelő, ütközést elkerülő (CSMA/CA<sup>14</sup>) algoritmus alkalmazásával győződnek meg arról, hogy adásaik ütközés nélkül fognak lezajlani.” [131]

„A rendszer maximális hatótávolsága 10 és 75 méter közé esik, de leggyakoribb esetben 30 méter körül alakul. A protokoll lefoglalt időrésekkel tudja garantálni az időkritikus alkalmazás számára az alacsony késleltetésű adatátvitelt, az adatsomagok célba érkezését pedig kézfogásos algoritmussal biztosítja.” [131]

A Zigbee-szabványt úgy tervezték, hogy az alacsony energiafogyasztás és az alacsony költségek legyenek a fő célok, ezért mind a protokollcsomagot, mind annak működését ennek megfelelően optimalizálták. Működés közben a Zigbee modul két állapotban lehet: aktív és alvó. Az üresjárat állapot percekig vagy akár órákig is eltarthat. Egy eszköz csak akkor lép aktív állapotba, ha a rajta futó alkalmazás(ok) ezt igénylik. Ez azt jelenti, hogy átlagosan a működési időnek csak 0,1%-át tölti aktív üzemmódban, ami jelentős energiamegtakarítást jelent. A Zigbee protokoll stack implementációja két változatban áll

<sup>13</sup> Direct Sequenced Spread Spectrum

<sup>14</sup> Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

rendelkezésre a hálózati funkcióknak megfelelően. A több funkciót tartalmazó verzió mindössze 32 Kb-ot igényel, míg az egyszerű csomópontok számára készült verzió körülbelül 8 Kb-ot. Természetesen a hálózatkezelőknek is szükségük van további memóriára, mivel egy csomóponti adatbázist, egy tranzakciós adatbázist és egy párosítási táblázatot kell fenntartaniuk. [131]

„A parancsok, „beacon” üzenetek és visszaigazolások titkosítására a modul MAC szintű titkosítást használ, egy ugrásnyi (hop) távolságnál nagyobb esetben azonban a felsőbb rétegek biztonságára támaszkodik. A MAC szint a továbbfejlesztett titkosítási szabványban lefektetett (<sup>15</sup>AES) kriptográfiai algoritmust használja, és sok különböző biztonsági csomagot definiál, melyek az AES algoritmusra épülnek. Ezek a biztonsági csomagok támogatják a MAC keretek bizalmasságát, integritását és hitelességét. Habár a biztonsági feldolgozást a MAC szint végzi, a felsőbb rétegek állítják elő a biztonsági kulcsokat és határozzák meg az adott esetben használandó biztonsági szinteket. Amikor a MAC szint továbbít (fogad) egy titkosított csomagot, megnézi a keret célcímét (forráscímét), leellenőrzi a címhez hozzárendelt kulcsot, majd eme kulcsot használja a keret feldolgozásához, a kulcshoz rendelt biztonsági csomag alapján. A keretekben egy bit jelzi a titkosítás használatát.” [131]

*Röviden a LORA kommunikációs interfészről.*

A LORA rövidítés a "Long Range" kifejezésre utal, és egy vezeték nélküli kommunikációs technológia megnevezése, amely kifejezetten nagy távolságokra biztosítja az adattovábbítást. A LORA technológia egyik előnye az energiatakarékosság, ami lehetővé teszi az akkumulátoros működést akár évekig is. A LORA alapja az ún. Chirp Spread Spectrum (CSS) moduláció, amelyet az üzenetek digitális átalakítása során használnak. A CSS moduláció olyan, mint az FM rádió, ahol az üzenetek frekvenciáját változtatják, hogy az információ átvitele megbízhatóbb legyen. A LORA technológiát alkalmazó berendezés az üzeneteket nagyon alacsony bitsebességgel küldi el, ami lehetővé teszi a nagy hatótávolságot és az energiatakarékosságot. Az üzeneteket LORA chip-ek továbbítják, majd azokat a LORA vevők érzékelik és feldolgozzák. Az üzenetek a szabadban akár 15 km-re is átvihetőek. A LORA technológia használata terjedőben van, mivel számos előnye van a hagyományos vezeték nélküli technológiákkal szemben. Ezek közé tartozik az energiatakarékosság, a nagy hatótávolság, az alacsony bitsebesség és a

---

<sup>15</sup> Advanced Encryption Standard

megbízhatóság. A LORA technológia alkalmazásai között megtalálható a Smart City projektek, mezőgazdasági alkalmazások, ipari automatizálás, biztonsági rendszerek és sok más terület.

*Röviden a GSM/GPRS kommunikációs interfészről.*

A GSM<sup>16</sup> és a GPRS<sup>17</sup> két különböző mobiltelefon-hálózati szabvány, amelyek lehetővé teszik a mobiltelefonok számára a hang- és adatkapcsolatok létesítését.

A GSM egy digitális mobiltelefon-hálózati szabvány, amelyet az Európai Unióban fejlesztettek ki az 1980-as években. A GSM rendszer több szolgáltatást kínál, beleértve a hanghívásokat, a szöveges üzeneteket, a multimédiás üzeneteket és az internet-hozzáférést. A GSM működése azon alapul, hogy az adatokat kis darabokra bontja, majd ezeket a darabokat digitális jelek formájában sugározza a mobiltelefonból a bázisállomás felé. A bázisállomás a digitális jeleket fogadja és átalakítja őket analóg jelekké, majd a hagyományos telefonvonalon keresztül továbbítja az adatokat a célállomás felé.

A GPRS egy kiterjesztése a GSM szabványnak, amely lehetővé teszi az adatátvitelt a berendezések között. A GPRS egy olyan „csomagkapcsolt” adatátviteli szolgáltatás, amelyben az adatokat kisebb csomagokra bontják, majd ezeket a csomagokat külön-külön továbbítják az interneten keresztül. Az adatokat továbbító csomópontokat GPRS-kapuknak nevezik, amelyek segítségével az adatokat a berendezések és az internet között továbbíthatják. A GPRS-nél az adatátvitel sebessége általában 56-114 kbit/s, de lehet akár 171,2 kbit/s is.

A GSM és a GPRS tehát lehetővé teszik a jelzőberendezések számára a hang- és adatkapcsolatok létesítését. A GSM az alapvető hanghívásokat és a szöveges üzeneteket támogatja, míg a GPRS lehetővé teszi a mobiltelefonok számára az internet-hozzáférést és az adatátvitelt. Mindkét szabvány nagy sebességű, megbízható és széles körben elérhető az egész világon.

---

<sup>16</sup>Global System for Mobile Communications

<sup>17</sup>General Packet Radio Service



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenekelőtt szeretném megköszönni témavezetőmnek, *Dr. Schuster György* professzor úrnak, aki több éven keresztül nagy szakértelemmel és türelemmel irányított. Szakmai munkámat mindvégig figyelemmel kísérte és ahhoz tanácsaival, észrevételeivel támogatást nyújtott. Köszönöm segítőkész támogatását és az értekezés alapos és kritikus átolvasását. Köszönöm *Prof. Dr. Rajnai Zoltán* dékán úr és *Prof. Dr. Kovács Tibor*<sup>18</sup> támogatását.

Szeretném megköszönni *Dr. Hassan Elsayed* professzor úrnak szíves iránymutatását, aki nélkülözhetetlen szakmai tanácsokkal, önzetlen támogatásával alapvetően hozzájárult szakmai fejlődésemhez és a sikeres munkához.

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni mindazoknak, akiknek a segítségével nem jöhetett volna létre ez az értekezés: *Németh Levente* és *Horváth Balázs* kollégáknak, akik a prototípus fejlesztésében segítségemre voltak, *Kocsis Andrásnak*<sup>19</sup>, aki mindig készen állt a segítségnyújtásra, és bármikor zavarhattam kérdéseimmel.

Köszönöm a Doktori Iskola adminisztrátor hölgyeinek – *Farkasné Hronyecz Erikának* és *Lévay Katalinnak* –, hogy segítettek és koordinálták tanulmányaimat.

Továbbá szeretném köszönetemet kifejezni mindazoknak, akik munkám feltételeinek megteremtésében és az értekezés elkészítésében segítséget nyújtottak.

Budapest, 2024. október 11.

.....  
Papp József

---

<sup>18</sup> Tanárom, mentorom, kollégám 2022-ben elhunyt.

<sup>19</sup> Feltaláló társam 2017-ben elhunyt.