

## Az intelligens jelzőfej koncepciója: vezeték nélküli, elosztott rendszerű jelzőlámpás forgalomirányítás

A bemutatott módszer a közúti közlekedésben, de leginkább a lakott területen kívüli jelzőlámpás csomópontok forgalomirányításában alkalmazható, növelve a közlekedésbiztonságot úgy, hogy egyben költségcsökkentéssel is jár.

**Tamaskovics Gergely – Dr. Tettamanti Tamás – Dr. Varga István**

BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

MSc hallgató

adjunktus

docens és dékán

e-mail: gergely.tamaskovics@gmail.com, tettamanti@mail.bme.hu, ivarga@mail.bme.hu

### BEVEZETŐ

A közúti forgalomirányító berendezés és a kapcsolódó jelzőfejek elsődleges feladata a keresztesződésnél megjelenő igényforgalom biztonságos átvezetése. Másfelől természetesen a járműforgalom minél hatékonyabb irányítása is a cél, azaz a kapacitási maximum biztosítása. Ennek megfelelően a klasszikus jelzőlámpás irányítás kialakításakor a kezdetek óta mindent a fenti szempontoknak vetnek alá. Ez kialakított egy központi irányítási struktúrát, amely költséges, különös tekintettel a kábelezés és alépítmény építésére.

Egy jelzőlámpás közúti keresztesződés – legfőbb elemeit tekintve – hagyományosan egy központi gépből (forgalomirányító berendezésből), jelzőfejekből, kommunikációs és tápkábelekből áll. Ez a klasszikus koncepció gyakorlatilag a jelzőlámpás forgalomszabályozás megjelenése óta, azaz több mint 100 éve működik. Ehhez képest a ma elérhető technológiák egy ettől merőben eltérő koncepciót is lehetővé tesznek. A fejlődő ipari irányítástechnika a közúti forgalomirányító berendezéseket sem hagyta érintetlenül. Az irányítástechnika területén egyre nagyobb a különböző elosztott rendszerek térnyerése. Az elosztott irányítórendszerek alapja az egységek között kialakított gyors és megbízható kommunikációs csatorna. Korábban a különböző soros adatátviteli módszerek voltak egyeduralgok,

de mára az Ethernet alapú megoldások kerültek előtérbe. Ennek megfelelően elosztott működési módú, csomóponti forgalomirányítás alakítható ki, amelyben a központi vezérlőberendezés helyett a jelzőfejekbe telepíthető intelligencia végzi el a feladatokat. Az elosztott, internet alapú irányítási koncepcióról hazánkban először Dr. Varga István értekezett [1]. Cikkünkben egy olyan elosztott struktúrájú rendszert ismertetünk, amely a korszerű technológiáknak megfelelően vezeték nélküli (wireless) kommunikációs kapcsolattal működik. Az újfajta kiépítés célja a telepítési és üzemeltetési költségek minimalizálása. Így a koncepció egyik fontos eleme, hogy az energiaellátás a közüzemi elektromos hálózattól függetlenül, fotovoltaikus (napelemes) eszközök segítségével megvalósítható.

Fontos megjegyezni, hogy az ismertetett koncepció természetesen kibővíthető akár hangolt jelzőlámpás irányításhoz is, de leghatékonyabban (az elérhető költségmegtakarítást tekintve) az egyedi működésű csomópontoknál lehetne felhasználni. Ilyenek jellemzően a lakott területen kívüli útkereszteszűdészek, amelyekből országos szinten nagyon sok van.

Egy ilyen új technológia alkalmazásának feltetele alapvetően, hogy a közúti forgalomirányítási szabványoknak megfelelően működjön és legalább ugyanakkora biztonsággal tudjon üzemelni, mint a hagyományos rendszerek.

Cikkünkben ezekre a kérdésekre adunk választ. Ennek megfelelően a 2. fejezetben a forgalomirányító berendezések szabvány szerinti követelményeit foglaljuk össze.

A 3. fejezetben az intelligens jelzőfej alapvető koncepcióját ismertetjük a hibakezelési eljárásra fókuszálva.

## 2. A FORGALOMIRÁNYÍTÓ BERENDEZÉSEK KÖVETELMÉNYEI

A közúti forgalomirányító berendezések működésbiztonsági követelményeit az MSZ EN 12675 [2] magyar szabvány írja elő, amely teljesen megegyezik az EN 12675:2000 európai szabvánnyal.

*„Ennek az európai szabványnak a célja a közúti fényjelzők vezérlésére használt közúti fényjelzők vezérlőberendezései működésbiztonsági követelményeinek meghatározása. Vonatkozik a közúti forgalom és minden, ezzel összefüggő, jelzőlámpával szabályozott forgalmi mozgás fényjelzéseinek vezérlésére. Az elsődleges cél a személyes tárgyak megvédése a közúti forgalomra veszélyes jelzések kockázataitól.*

*A figyelembe veendő kockázatok tartalmazzák a következő lehetséges jelzőhiba típusokat, de nem korlátozódnak azokra:*

- a közúti forgalom számára szóló piros jelzők valamelyikének hibája;
- az összeférhetetlen forgalmak számára zöld jelzés kijelzése;
- a forgalom számára helyes jelzéssorrend kijelzésének hibája;
- a forgalom számára helyes időtartamok hibája.

*A védendő személyek:*

- a fényjelző készülékkel szabályozott közúti forgalomban résztvevők, a járművek vezetői és utasai (beleértve a közösségi közlekedést is), a gyalogosok, a kerékpárosok és a lovasok, a testi fogyatékos személyek;
- a karbantartó és a feljelyelő személyzet.”

A szabvány definiál egy ún. **hibamódot**:

*„a közúti fényjelzők vezérlőberendezései nem üzemműködés állapota, amelyben a forgalmat ve-*

*szélyezett hiba a szabályos üzemmódot sárga villogó üzemmóddal vagy a jelző sötétre kapcsolt állapotával helyettesíti”.*

A szabvány a hibaállapotok kezelését tehát két csoportra osztja: a forgalmat veszélyeztető, valamint a forgalmat nem veszélyeztető hibákra. A lényeges különbség a kettő között, hogy az első esetben le kell állítani a működést, amíg a nem veszélyeztető állapotban a vezérlőberendezés megváltoztathatja a vezérlési módot, de működését tovább kell folytatnia. A berendezésnek a hibák felismerése után tehát a megfelelő hibamódba kell kerülnie. A szabvány különféle forgalom-meghatározások szerint csoportosítja a hibákat, amelyek a következők lehetnek:

- **Hiányzó kijelzés:** Tervezett jelzés, amelynek fényerőssége nem felel meg a HD 638:1999 szerinti „BE” jelzésnek [3].
- **Összeférhetetlen zöld:** Egymást veszélyeztető forgalmi mozgásokat megengedő zöld jelzések egyidejű megjelenése.
- **Összeférhetetlen jelzőcsoportok:** Két vagy több jelzőcsoport, amelyek egyidejű működtetés esetén összeférhetetlen forgalmi mozgásokat okoznának.
- **Forgalmat veszélyeztető hiba:** Olyan hiba, amelynek hatására a forgalomirányító jelzőrendszernek a nemzeti követelményekben meghatározott biztonságos üzeme nem szavatolható.
- **Forgalmat nem veszélyeztető hiba:** A nemzeti követelményekben meghatározott, a forgalmat nem veszélyeztető olyan hiba, amelyet azonosítani kell, és fel kell jegyezni.
- **Nemkívánatos fényjelzés:** Nem tervezett jelzés, amelynek fényerőssége nem teljesíti a HD 638:1999 szerinti „KI” jelzés követelményeinek feltételeit.

Ezen hibák közül természetesen nem kell mindet egyidejűleg ellenőrizni, hiszen az a csomópont geometriájától és tulajdonságaitól függ, hogy éppen melyik forgalom-meghatározás vonatkozik rá.

A hibák megfelelő felismerése mellett a közúti forgalomirányításra általánosan az alábbi definíciók és funkcionális követelmények érvényesek:

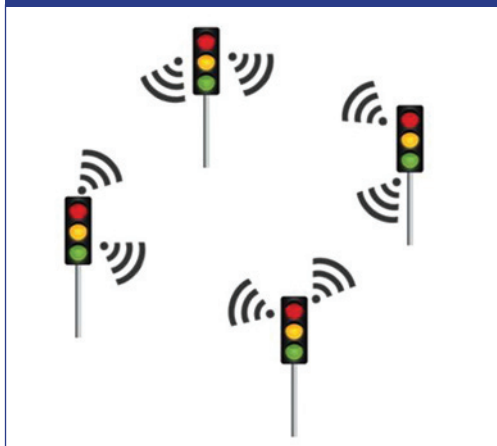
- **Forgalomirányítás:** A közúti forgalom szabályozása fényjelző készülékekkel vagy közúti jelzőtáblákkal.
- **Központi vezérlés:** Rendszer a forgalomirányító fényjelző berendezések hálózatának vagy csoportjának összehangolására és ellenőrzésére, központi számítógép vagy azzal egyenértékű berendezés és adatátviteli rendszerek alkalmazásával.
- **Forgalomirányító berendezés:** A vezérelt fényjelző készülékekkel és a csatlakozó illesztőberendezésekkel együtt működő közúti fényjelzők vezérlőberendezése.
- **Üzem mód:** A közúti forgalomnak kijelzett jelzések vezérlésére használt közúti fényjelzők vezérlőberendezéseinek bizonyos állapota. Például: készenléti üzemmód, kézi üzemmód, szabályos üzemmód, hibamód.”
- **Figyelés:** A közúti fényjelzők vezérlőberendezéseiről való információgyűjtés módszere, a hibák felfedezésére használt diagnosztikai ellenőrzést is beleértve.
- **Nemzeti jelzési szabályozás:** A közúti forgalom számára a nemzeti követelményekben előírt jelzési képek sorrendje és megjelenése.
- **Nemzeti jelzéssorrend:** A közúti forgalom számára adott, a sajátos nemzeti feltételeket és/vagy alkalmazásokat kielégítő jelzési képek sorrendje és megjelenése (pl. a jelzők bekapcsolási sorrendje).
- **Áramellátás:** Aktív eszköznek vagy áramkörnek energiát szolgáltató erőforrás.
- **Biztonsági idők:** Az olyan időbeállítások, amelyek hiba esetén képesek a közúti fényjelzők vezérlőberendezéseinek működésbiztonságát megvalósítani.
- **Fényjelzés:** Dinamikus fényjel az úthasználók számára.
- **Jelzőcsoport:** A fényjelző készülékek csoportja, amely mindig azonos fényjelzést ad.
- **Fényjelző készülék:** Egy vagy több, a készülékházat is magában foglaló optikai egységet – beleértve a tartókegyeleket, rögzítőket, árnyékolókat, ellenzőernyőket és háttérpajzsokat – tartalmazó eszköz, amelynek feladata az úthasználók számára vizuális üzenet közvetítése.
- **Időbeállítások:** Az adott csomópontban működő közúti fényjelzők vezérlőberendezéseire vonatkozó összes időadat.

A fentieknek megfelelően az elosztott rendszerű intelligens jelzőfej koncepcióban a fő cél a szabvány szerinti feltételeknek való megfelelés. A megvalósításban a fő különbséget természetesen a központi vezérlést helyettesítő elosztott struktúra és a vezeték nélküli kiépítés jelenti.

### 3. AZ INTELLIGENS JELZŐFEJ KONCEPCIÓJA ÉS HIBAKEZELÉSE

Az intelligens jelzőfej koncepciójának lényege, hogy a lámpafej nem csak az irányító jelzések megjelenítésének eszköze, hanem saját intelligenciát is kap. Az adott csomópontban telepített jelzőfejeket felszerelik intelligens kártyákkal (gyakorlatilag egy speciális célú számítógéppel), amelyek képesek az irányítási feladatok elvégzésére és az egymás közötti kommunikációra.

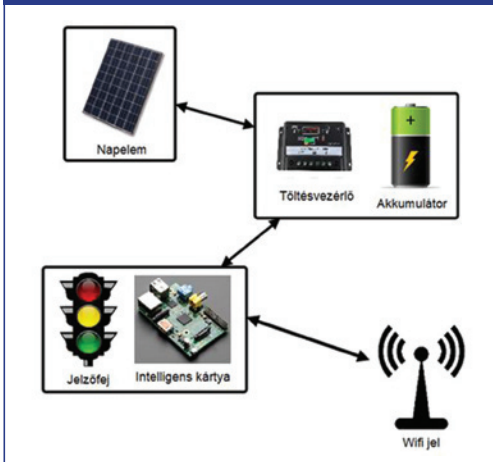
1. ábra: Vezeték nélküli, elosztott rendszerben működő jelzőfejek



A kommunikáció az eddig használatos kábeles összeköttetés helyett wifi-n keresztül valósul meg (1. ábra). Ezt is a jelzőfejekbe szerelt intelligens egységek teszik lehetővé.

A koncepcióban egy szigetüzemű napelemes rendszert építenek ki, ahol a tápellátás napelemmel és akkumulátorokkal biztosított. A jelzőfej és a beszerelt intelligens kártya az akkumulátorokról nyerhető energiának köszönhetően üzemel. A feltöltés és használat elkülönítéséért a töltésvezérlő felel. A rendszer-koncepciót szemléletesen a 2. ábra mutatja be.

2. ábra: Szigetüzemű rendszer



A vezeték nélküli, elosztott rendszer hibakezelése kritikus kérdés a megvalósíthatóság szempontjából. Ennek megfelelően a következőkben tételesen áttekintjük a hibakezelési eljárásokat.

## Hálózati hiba kezelése

Ez a legkritikusabb hiba. Amennyiben a kommunikáció nem valósul meg az egyes jelzőfék között, az balesetveszélyes állapotot hozhat létre. Ennek elkerülése érdekében a kommunikációs csatorna helyes működését minden jelzőféj ellenőrzi. Hiba esetén minden lámpa önállóan indítja a sárga villogó üzemet, amennyiben nem lép fel olyan hiba, amely ezt a lehetőséget kizárja (hiányzó sárga jelzés valamely fényponton). Adódik a kérdés, hogy ilyen hiba esetén miként jut el minden jelzőféjhez az információ, hogy sárga villogó üzembe kell kapcsolni. Ha alapvető hálózati hiba lép fel, azaz a jeladó hibásodik meg, akkor minden jelzőféj számára egyértelmű a hiba, hiszen ellenőrzi a kapcsolat meglétét. Amennyiben két lámpa között szakad meg a kapcsolat, akkor a hibát észlelő egység küldi a megfelelő hibai üzenetet minden más jelzőféjnek, amelyek továbbítják az üzenetet. Ilyen módon kellően rövid időn belül minden jelzőféj eljut a megfelelő állapotba.

## Hiányzó kijelzés

Valamely fénypont működésének hiányában különféle biztonsági eljárások alkalmazandók, valamint az ellenőrzés módja is más. A piros izzóhibát az átfolyó áram, míg a zöld fénypont működését

a feszültség mérésével kell ellenőrizni. Nem megfelelő működés esetén a csomópont sárga villogó üzemmódba kapcsol, és egészen addig e szerint működik, amíg külső beavatkozással a hiba javítása meg nem történik. Sárga jelzés hibája esetén nem használható a fent említett fail-safe stratégia, hanem a rendszer sötét üzemre vált.

## Nemkívánatos fényjelzés

Ez a hiba tulajdonképpen az előző ellentéte. Az ellenőrzési metódus ugyanaz, a feldolgozása különbözik, hiszen ebben az esetben olyan fénypontok működése lép fel, amelyeknek nem kellene világítani.

## Összeférhetetlen zöld

Minden jelzőféjbe épített kártya programjában szerepel a sajátját kizáró irányokat szabályozó többi jelzőféj azonosítója. Így ezen egységek között folyamatos az ellenőrzés. Amennyiben mindkét (esetleg több) kizáró irányú jelzőlámpán egyidejűleg zöld jelzés van érvényben, azonnal megtörténik valamely hibamód kapcsolása.

## Összeférhetetlen jelzőcsoportok

Az összeférhetetlen jelzőcsoportok hibadektálása és kezelése nagyon hasonló az előbb taglalt összeférhetetlen zöld hibához. Ebben az esetben is a jelzőféj azonosítása és felismerése a kulcskérdés.

## Forgalmat veszélyeztető hiba

A korábban felsorolt hibák közül forgalmat veszélyeztető hiba a hálózati hiba, az összeférhetetlen zöld, az összeférhetetlen jelzőcsoportok, valamint bizonyos esetekben a hiányzó és nemkívánatos kijelzés is. Az ilyen hibák fellépésekor a korábban leírt módokon (sárga villogó, sötét üzem) kell beavatkozni.

## Forgalmat nem veszélyeztető hiba

Ebbe a kategóriába tartozhat bizonyos esetekben a hiányzó kijelzés. Például egy kiegészítő jelzőn nem működő piros jelzés nem veszélyezteti a forgalmat. A hibát fel kell jegyezni és minél hamarabb ki kell javítani.

## A rendszer újraindítása

A kommunikáció sajátossága miatt a rendszer újraindításáról is speciálisan kell gondoskodni. Amíg a hagyományos forgalomirányító

gépnel ez egy központilag kiadott eljárást jelent a megfelelő bekapcsoló program lefuttatásával, addig az elosztott rendszerben csoportvezérlő egység alkalmazása szükséges. Ez programozható valamely jelzőfej kártyájába is, de akár külön egységként is alkalmazható.

## Redundancia a biztonságos működtetéshez

A klasszikus forgalomirányító berendezések esetén általában redundanciával biztosítják a megfelelő jelzésvezérlést. Ezt leggyakrabban egy független CPU kártyával valósítják meg. Ehhez hasonlóan az elosztott rendszer esetében is szükséges redundancia alkalmazása. Ezt értelemszerűen az okos jelzőfej áramkör-től független egységnek kell végeznie. Mivel a koncepcióban napelemes akkumulátor hajtja meg a lámpákat, kézenfekvő megoldásként adódik a töltésvezérlő áramkör alkalmazása e célra. Amennyiben ezt a vezérlő egységet felruházzuk plusz intelligenciával, képes a redundáns ellenőrzés szerepét ellátni. Ez a gyakorlatban úgy valósulhat meg, hogy a töltésvezérlő is képes a jelzőfejek wifi hálózatra kapcsolódni. Ha pl. egy intelligens jelzőfej teljesen „lefagy” (azaz nem tudná magát lekapcsolni, se a többi jelzőt értesíteni a meghibásodásról) a töltésvezérlő áramkör áramtalanítaná magát, és képes lenne ezt az utasítást a többi töltésvezérlő egységnek továbbítani.

## 4. ELOSZTOTT IRÁNYÍTÁSI STRUKTÚRA TESZTELÉSE PLC-VEL

Az elosztott architektúra fejlesztésének első lépéseként az intelligens jelzőfejek megvalósítása történt meg, még kábeles kommunikációs kapcsolattal. A vezetékek hossza, darabszáma és maga a forgalomirányító berendezés nagymértékben befolyásolja egy adott csomópont kiépítésének összköltségét. Ezek csökkentése úgy érhető el, hogy a lámpafejekbe egy logikai modul építünk, ezáltal eliminálva a rendszerből a vezérlő gépet és csökkentve a kábelek számát. Az ötlet teszteléséhez egy Siemens LOGO PLC (Programmable Logic Controller) eszközt alkalmaztunk, amely segítségével a jelzőlámpák fénypontjainak direkt kapcsolását lehet megoldani. Ezek a programozható logikai vezérlők relés kimenettel rendelkeznek, így alkalmasak a feladat elvégzésére. Tehát minden jelzőfej egy PLC-vel kiegészítve kap-

csolatban áll a forgalomirányító berendezéssel. Az azonos jelzéseképet mutató jelzőfejek esetében elegendő egy vezérlő egységet alkalmazni. Mivel ez a fénypontokhoz közel helyezkedik el, kis mennyiségű vezeték is elég a rendszer működtetéséhez. A kommunikációt egy UTP kábel segítségével lehet megvalósítani a PLC modulok között. A koncepciót laborkörülmények között teszteltük jelzőcsoportos tesztcsomópontot kialakítva [4]. Amennyiben egy router eszközzel kiegészített rendszer áll rendelkezésre, az elosztott kábeles koncepció továbbfejleszhető vezeték nélküli hálózati rendszerrel.

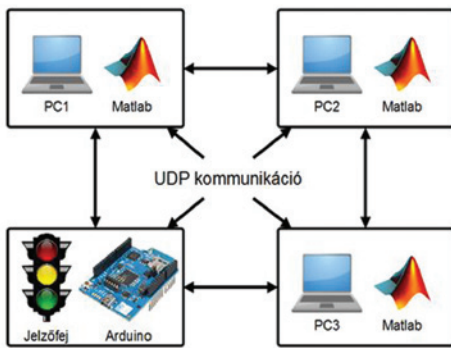
## 5. VEZETÉK NÉLKÜLI, ELOSZTOTT IRÁNYÍTÁSI STRUKTÚRA TESZTELÉSE MATLAB-ARDUINO PLATFORMON

Az Arduino tulajdonképpen egy kisméretű számítógép, amely különféle elektronikai és automatizálási feladatok végrehajtására tökéletesen alkalmas. Kis mérete miatt könnyedén beépíthető a jelzőfejek házába, ahol a külső káros hatásoktól is megfelelő védelmet kap. Nagy előnye, hogy könnyen programozható és előre elkészített csatlakozókkal rendelkezik, így nem kell külön nyomtatott áramkört tervezni [5]. Azért is az Arduinora esett a választás, mert ez egy egyszerűen programozható eszköz, amely tökéletesen alkalmas a fejlesztési feladatok megoldására. Egy későbbi, valós kialakítás során természetesen már jobban megéri saját tervezésű áramkörök alkalmazása a jelzőfejekben.

A koncepció vizsgálatához tesztrendszer építettünk fel a BME Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék laborjában egy egyszerű, négy jelzőlámpás csomópont szimulálásaként. A tesztrendszer tartalmaz PC-eket is, amelyekben a MATLAB képezi a virtuális valóságot (egy PC = egy jelzőfej). Ezáltal három szimulált és egy valós (Arduinoval fejlesztett) intelligens jelzőfej együtt modellezik a teszt-csomópont működését. Egy tetszőleges jelzésterv futtatása közben a lehetséges hibák észlelésére és kiküszöbölésére van lehetőség. A helyes hibadetektálás megfigyelését könnyítik a beépített, manuálisan létrehozható hibák. Ilyen például a tetszőlegesen bekapcsolható zöld jelzés, amellyel könnyedén lehet zöld együttégés hibát generálni, majd tesztelni a rendszer választását a hibára.

A tesztrendszerben az adatátvitel UDP protokoll segítségével történik, amely jóval gyorsabb kommunikációt képes biztosítani a TCP/IP protokollal szemben. Megbízható UDP kapcsolat megvalósítására a kommunikációban érintett felek (programok) megfelelő programozásával van lehetőség. Azaz a küldő és fogadó feleknek kell az üzenetek megfelelőségét vizsgálni felsőbb szintű protokollrétegekben. Mivel az UDP protokoll önmagában nem szavatolja az adatsomagok elvesztésének ellenőrzését, ezt a szoftver fejlesztésekor kell orvosolni (3. ábra).

**3. ábra: A vezeték nélküli, elosztott jelzőlámpás tesztrendszer felépítése**



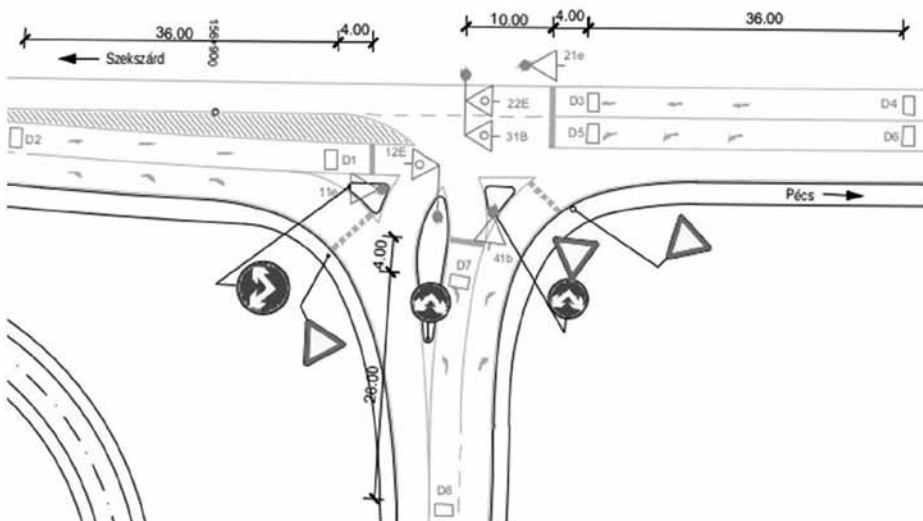
## 6. A FEJLESZTETT RENDSZER KÖLT-SÉGHATÉKONYSÁGA

A rendszer fejlesztésének fő motivációja a költségek csökkentése a megfelelő biztonsági szint megtartása mellett.

Általános érvényű nyereségszámítást ugyan nem lehet végezni (hiszen minden csomópont más és más tulajdonságokkal rendelkezik), ugyanakkor egy átlagosnak mondható, valós csomóponton most mégis megpróbáljuk szemléltetni a költségek változását. A kiválasztott helyszín a 6. sz. főút 156,9 km szelvényénél található (4. ábra) jelzőlámpás csomópont, amelyet 2015 tavaszán építettek meg újonnan.

Ebben a csomópontban hat jelzőfejes forgalomirányítás került kiépítésre. A fejlesztett rendszer kiépítésének költségeit főként ezek száma határozza meg, hiszen az új technológia a jelzőlámpákkal kapcsolatos építési munkát könnyíti. A cikkben bemutatott koncepciónak köszönhetően rengeteg költséges és időigényes munkafolyamat eltűnhet egy jelzőlámpás csomópont kiépítésekor (vagy akár a felújításakor).

**4. ábra: Jelzőlámpás csomópont terve a 6. sz. főút 156,9 km szelvényénél (forrás: Unitef-Szalamandra Mérnöki Iroda Kft.)**



Tekintsük először végig a legfontosabb általános költségteleket a hagyományos jelzőlámpás csomópont kiépítésekor:

- kutatógödör és kábelárok ásás, homokágy készítés;
- útátfúrás védőcső behúzással;
- kábelcsatorna, kábelakna kiépítés fedőlappal;
- kábel behúzás;
- kábel tartószerkezetre rögzítés;
- gépalap készítés betonozással;
- PVC / KGEM PVC csövek;
- horganyzott acélvezeték;
- kábel anyagok;
- forgalomirányító berendezés;
- az áramszolgáltatás engedélyeztetése és kiépítése.

Ugyancsak a fentebb bemutatott csomópontot figyelembe véve most tekintsük át a vezeték nélküli rendszer kiépítésének legfontosabb költségteleit:

- napelemek, akkumulátorok és töltésvezérlők;
- relék;
- az Arduino Uno és Arduino Wifi Shield eszközök vagy azzal egyenértékű (saját fejlesztésű) nyomtatott áramköri elemek;
- wifi router;

A fentiekhez megjegyzésként fűzzük még hozzá, hogy természetesen felmerülnek még további olyan tételek és költségek, amelyek jelen vannak mindkét rendszerben, pl. fázisidőprogramok tervezése, jelzőlámpák, jelzőoszlopok, geodéziai bemérés, hurokdetektorok. Ezek költségei azonban azonosak mindkét kiépítés esetén, így a tétellistákban nem szerepeltettük.

Látható, hogy a fejlesztett rendszer tétellistája eleve rövidebbre adódik. Ráadásul lényegesen kevesebb munkával jár ez a fajta kiépítés, hiszen nincs földmunka és kábelezés. Az elosztott, wireless rendszer költsége szerelési díj és jelzőlámpa nélkül, hat jelzőfejre vonatkoztatva mindössze 500 000 forintra adódik a minta-keresztvezetés esetén.

Ahhoz, hogy tápellátás nélküli csomópontot lehessen kiépíteni, úgynevezett szigetüzemű vagy hálózatfüggetlen napelemes rendszert kell alkal-

mazni. Az önálló rendszerben való működést fotovoltaiuk elemek használatával lehet biztosítani. A felépítéshez szükséges egy napelem, akkumulátor, töltésvezérlő és a fogyasztó. A fogyasztó ebben az esetben a jelzőfej lesz. Egy ilyen rendszer megbízható akkumulátoros működtetéséhez szükség van az akkumulátor méretezésére. Ennek részletei a Melléklet fejezetben olvashatók.

A cikk terjedelmi korlátaiból adódóan a részletes költségelemzéstől eltekintünk. Végeredményként azonban rögzíthető, hogy a fejlesztett rendszer alkalmazásának költsége nagyjából 55%-a a hagyományos rendszerben kiépített csomópont költségének. Figyelembe véve, hogy egy jelzőlámpás csomópont kiépítésekor több millió forint nagyságrendről beszélünk, kijelenthetjük, hogy a vezeték nélküli kiépítéssel jelentős költségmegtakarítás is elérhető (akár milliós nagyságrendű).

A kiépítés költsége mellett fontos megemlíteni az üzemeltetéshez kapcsolódó várható előnyöket is. A vezeték nélküli rendszer kiküszöböli a beázás veszélyét, amely a klasszikus kiépítésnél egy gyakori probléma. Szélsőséges időjárás esetén az alépítményben futó elemek gyakran beáznak. Továbbá a napelemes üzem miatt nincs szükség elektromos szolgáltató hálózatához való kapcsolatot kiépítésére (amely önmagában jelentős tétel), és természetesen az áramfogyasztás költsége sem merül fel.

## 7. KOCKÁZATELEMZÉS

Alapvetően két feltevéssel kell számolni, amelyek teljesülése nélkül a további megállapítások nem lennének érvényesek:

- az abszolút biztonság vagy kockázatmentesség nem érhető el;
- a biztonság számára rendelkezésre álló pénzügyi források korlátozottak.

Az első feltételezés többek között azzal indokolható, hogy a komplex rendszerek soha nem hibamentesek, legalábbis hibamentességük nem bizonyított.

A második feltételezést is sokszorosan alátámasztja a gyakorlat. A balesetek után a politi-

ka szintjén gyakran bizonygatják, hogy a pénz nem játszik szerepet, ha a biztonságról van szó, később azonban, amikor a biztonságot szolgáló beruházásokról van szó, a helyzet gyakran egészen másként néz ki. A második feltevés magába foglalja a korlátozottan alkalmazható eszközök optimalizálását, azaz a kockázat optimalizálását adott peremfeltételek figyelembevételével [6].

Új rendszerek elfogadásakor vagy meglévő rendszerek lényeges felújításakor a GAMAB elv kockázat-elfogadhatósági kritériumkénti alkalmazása javasolt. A GAMAB a francia *Globalement Au Moins Aussi Bon* kifejezésből kialakított betűszó. Jelentése: „Globálisan legalább olyan jó”. Az elv teljes megfogalmazása a következő: „Minden új kötöttpályás rendszer globálisan legalább

olyan biztonsági szintet kell, hogy nyújtson, mint bármely meglévő egyenértékű rendszer”. Természetesen ez a megközelítés a közúti forgalomirányító rendszerek esetében is hatékonyan alkalmazható. A jelenleg tárgyalt rendszer is ezen elv alapján került kidolgozásra. A cikkben ismertetett vezeték nélküli, elosztott forgalomirányító rendszer tehát nem lehet kevésbé biztonságos, mint a jelenleg is működő klasszikus csomóponti forgalomirányítás.

A megfelelés ellenőrzésére egy FMEA [7] (Failure Mode and Effects Analysis), azaz hibamód és -hatás elemzés készült, amely a csomóponti forgalomirányítás során jelentkező hibák hatását és az elosztott, vezeték nélküli rendszer hibakezelését foglalja össze (1. táblázat).

**1. táblázat: A vezeték nélküli, elosztott forgalomirányító rendszerre vonatkozó FMEA elemzés**

Hiba megnevezése	Hiba hatása	Üzem megszakítása?	Biztonsági kockázat	Hibakezelés az elosztott vezeték nélküli rendszerben
Hálózati hiba	Kommunikáció megszűnik, teljesen hibás működés.	Igen	Igen	Több úton terjed a hibaüzenet (jelzőfejek vagy az attól független töltőáramkörök segítségével), ami a sárga villogó vagy sötét üzemet kapcsolja.
Hiányzó kijelzés	Valamely jelzőfej izzóhibája miatt nincs megfelelő jelzésekép, a forgalom nem teljesen irányított. Nem minden esetben veszélyes, mivel kiegészítő jelzők hibája esetén a főjelző még megfelelően működik.	Igen/Nem	Igen/Nem	Sárga villogó vagy sötét üzemet beavatkozásig.
Nemkívánatos fényjelzés	Szintén izzóhiba okozza, csak ez esetben nem kiegészítő. A hiba hatására értelmetlen jelzésekép jelenhet meg.	Igen/Nem	Igen/Nem	Sárga villogó vagy sötét üzemet beavatkozásig.
Összeférhetetlen zöld	Egymást tiltó irányokban együttes zöld jelzés esetén fokozott balesetveszély van érvényben.	Igen	Igen	A jelzőfejek egymást ellenőrzik és döntenek a biztonsági funkció bekapcsolásáról.
Összeférhetetlen jelzőcsoportok	Két vagy több jelzőcsoport, amelyek egyidejű működés esetén összeférhetetlen forgalmi mozgásokat okoznának.	Igen	Igen	A jelzőfejek egymást ellenőrzik és döntenek a biztonsági funkció bekapcsolásáról.
Forgalmat veszélyeztető hiba	Olyan hiba, amelynek hatására a forgalomirányító jelzőrendszernek a biztonságos üzeme nem szavatolható.	Igen	Igen	A jelzőfejek döntenek a beavatkozás szükségességéről és típusáról.
Forgalmat nem veszélyeztető hiba	Olyan hiba, amely a forgalom lefolyására nem veszélyes, nem okoz közvetlen veszélyhelyzetet.	Nem	Nem	A hiba feljegyzésre kerül az adott jelzőfejben, de nem történik beavatkozás.

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben a közúti forgalomirányítás vezetékek nélküli és elosztott forgalomirányítási koncepcióját mutattuk be. Az újszerű megközelítés fő eredménye a költségsökkenés, amely közel 50%-ot is elérhet a hagyományos irányításhoz képest. A fejlesztett rendszerben az alkalmazott eszközök száma és a kiépítési munkák is csökkennek, mivel se földmunka, se kábelezéssel kapcsolatos feladatok nincsenek. Sőt a napelemeknek köszönhetően gyakorlatilag egy környezetbarát rendszer valósítható meg.

Jövőbeli kutatásunkban az intelligens jelzőfejek és a járművek közötti interakcióval és annak lehetőségeivel tervezünk foglalkozni. A legtöbb mai új járműben már megjelenik valamilyen kommunikációs rendszer is, amely más járművekkel vagy a környező infrastruktúrával képes kapcsolatot létesíteni. Ezek az ún. V2V (Vehicle to Vehicle, azaz járművek közötti) és V2I (Vehicle to Infrastructure, azaz jármű és infrastruktúra közötti) kommunikációs technológiák. Az intelligens jelzőfej például képes lehet a közeledő jármű számára megmondani az optimális sebességet vagy azt, hogy lassítson, mert már biztos nem ér át. Az autonóm járművek gyorsuló fejlődésével ennek a típusú V2I kapcsolatnak egyre nagyobb jelentősége lesz, és ez egyúttal a bemutatott koncepció kibővítését is jelenti.

## 9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk az adatok és tervek biztosításáért a FOR-VID Forgalmotechnikai Kereskedelmi és Szolgáltató Kft-nek, valamint az Unitef-Szalamandra Mérnöki Iroda Kft-nek.



A cikk továbbá az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-16-4-III. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

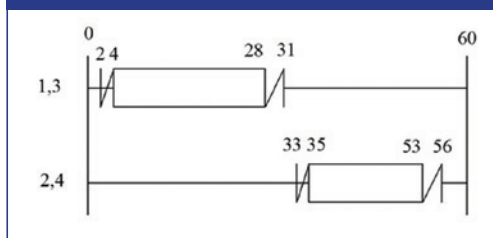
- [1] Varga István: Közúti jelzőlámpák vezérlése hálózaton keresztül, Városi Közlekedés, Vol. 49(5), pp. 282-285., 2009
- [2] MSZ EN 12675:2002 ICS 93.080.30
- [3] CENELEC HD 638:1999
- [4] Tamaskovics Gergely: Vezeték nélküli, elosztott rendszerű jelzőlámpás forgalomirányítás, BME, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, BSc szakdolgozat, 2015
- [5] <https://www.arduino.cc/>
- [6] dr. Tarnai Géza: Vasúti biztosítóberendezések tanúsítási eljárásának harmonizálása, 2005
- [7] Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA), International standard, IEC60812, 2006

## MELLÉKLET

Az akkumulátorok méretezéséhez el kell dönteni, hogy csak nyári hónapokban vagy egész évben kell-e a rendszernek működnie. Ennek legegyszerűbb módja a méretezési faktor használata, amely ugyan pontatlan, de kis teljesítményeknél nagyon jól használható. A nyári méretezési faktor értéke kontinensenként eltérhet. Közép-Európában 4, Európa déli részén 5-6, illetve Afrikában vagy egyéb napos területeken 5-6 a használatos érték. Télen ez legfeljebb 2 lehet.

A rendszer megfelelő felépítéséhez először tisztázni kell a napi energiafelhasználást. Ezután következik a napelemek méretezése, valamint az akkumulátor kapacitásának meghatározása. A méretezés bemutatása a következő jelzésterv alapján történik (5. ábra). A program hajnali 02 órakor indul és éjjel tizenegy órakor áll le.

5. ábra: Minta jelzésterv



Az első jelzéseképet mutató jelzőfejhez kapcsolódó számítások:

$$t_{z\ 1,3} = 24\ s ; t_{p\ 1,3} = 33\ s ; t_{s\ 1,3} = 5\ s$$

2. táblázat:

Fogyasztó	Teljesítmény	Üzemóra/nap	Napi fogyasztás
Piros	5 W	~10 óra	50 Wh
Sárga	5 W	~4,5 óra	22,5 Wh
Zöld	5 W	~7 óra	35 Wh
			Σ 107,5 Wh

A második jelzéseképet mutató jelzőfejhez kapcsolódó számítások:

$$t_{z\ 2,4} = 18\ s ; t_{p\ 2,4} = 39\ s ; t_{s\ 2,4} = 5\ s$$

3. táblázat:

Fogyasztó	Teljesítmény	Üzemóra/nap	Napi fogyasztás
Piros	5 W	~12 óra	60 Wh
Sárga	5 W	~4,5 óra	22,5 Wh
Zöld	5 W	~5,5 óra	27,5 Wh
			Σ 110 Wh

A napelem kiválasztásához a téli méretezési faktort kell alkalmazni, hiszen a jelzőlámpás forgalomirányítás egész évben működik. Ennek megfelelően a méretezési faktor 2 legyen. A két példából látható (2. táblázat és 3. táblázat), hogy a jelzőfejek jó közelítéssel azonos fogyasztásigényűek. Ebben a példában ez 110 Wh. Felhasználva a kiválasztott méretezési faktort, adódik, hogy az alkalmazandó napelem 55W teljesítményű legyen.

Az akkumulátor kiválasztásához ismert adatok: az energiafogyasztás 110 Wh napon, az átlagos akkumulátor feszültség 12V, valamint az elvárt autonóm (töltés nélküli) működési igény három nap. Így az akkumulátor elvárt kapacitása a következő képlettel számítható ki:

$$\frac{110Wh}{12V} \cdot 3\ nap \cdot 2 = 55Ah$$

Az utolsó kettes szorzóra azért van szükség, mert az akkumulátorok hosszabb élettartamának megőrzése érdekében csak 50%-ra meríthetők le.



## The concept of intelligent signal heads: wireless traffic management with a distributed traffic control system

The elements of traditional road and intersection traffic light control (traffic control equipment, signal heads) are constantly evolving. However, the basic concept of the structure of control systems has practically been the same from the beginning. This means that in an intersection, any given number of traffic lights have always been controlled by a central machine through directly connected cables. Although wireless technologies have recently come into general use, in the area of road traffic management, their advancement is still to come. This paper presents this approach so that not only the wireless concept is introduced but also the possibility of its implementation in a distributed system.



## Das konzept des intelligenten signalkopfes: drahtloses verkehrsmanagement durch verteiltes verkehrsleitsystem mit verkehrampeln

Die Elemente der traditionellen Straßen- und Verkehrsknotensteuerung (Verkehrsleittechnik, Signalköpfe) entwickeln sich ständig weiter. Das Grundkonzept der Steuerungssysteme ist jedoch von Anfang an das gleiche: dies bedeutet, dass an einer Kreuzung eine gegebene Anzahl von Ampeln immer durch eine zentrale Maschine über direkt angeschlossene Kabel gesteuert wird. Obwohl heutzutage die drahtlosen Technologien überall in den allgemeinen Gebrauch geraten sind, im Bereich des Straßenverkehrsmanagements ist ihre Verbreitung noch abzuwarten. In diesem Artikel es wird dieser Ansatz vorgestellt, so dass nicht nur das drahtlose Konzept, sondern auch die Möglichkeit seiner Implementierung in einem verteilten System beschrieben wir.