



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar  
**Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék**

Vezeték nélküli, elosztott rendszerű jelzőlámpás  
forgalomirányítás

**Tamaskovics Gergely**  
**IEWW3A**

Konzulens: Dr. Tettamanti Tamás

**2015**

## Tartalom

1.	Bevezetés.....	3
2.	Közúti jelzőlámpás forgalomirányítás .....	4
2.1.	A forgalom mérése .....	5
2.2.	Forgalomirányító berendezések követelményei .....	6
3.	Az okos jelzőfej.....	10
3.1.	Felhasznált eszközök .....	11
3.2.	Az UDP protokoll.....	15
3.3.	Az Arduino feladatai .....	19
3.4.	Hibaellenőrzés az elosztott rendszerben.....	20
4.	Matlab-Arduino tesztplatform a koncepció teszteléséhez.....	20
5.	Megvalósítási terv .....	22
6.	Összehasonlítás, értékelés .....	27
7.	Összefoglalás.....	28
	Felhasznált irodalom .....	29

## 1. Bevezetés

Egy jelzőlámpás közúti kereszteződés - 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 a gyakorlatban van. 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 világosabbá válik 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 egyeduralmúak, 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 először értekezett Dr. Varga István [1]. Ehhez képest a TDK munkában egy olyan elosztott struktúrájú rendszer kerül ismertetésre, amely a korszerű technológiáknak megfelelően drót nélküli (wireless) kommunikációs kapcsolattal működik. A koncepció megalkotásának célja a telepítési és üzemeltetési költségek minimalizálása. Így az energiaellátást is a közüzemi elektromos hálózattól függetlenül, napelemes eszközök segítségével lehet megvalósítani

## 2. Közúti jelzőlámpás forgalomirányítás

A városi járműforgalom közúti jelzőlámpával történő irányításának célja az egymást keresztező forgalmak időbeli szétválasztása. A jelzőlámpás forgalomirányítás alkalmazására akkor van szükség, ha a kereszteződésben a forgalombiztonság nem megfelelő, illetve a forgalomnagyság mértéke miatt csak így lehet hatékonyan lebonyolítani a járműáramlást. Városi hálózatban többféle módon lehet forgalomirányítást tervezni, kezdve az egyszerű, lokális, fix programos irányítástól, egészen a hálózati szintű, összetett, forgalomfüggő programokig.[1]

Jelen dolgozatban a csomópontok forgalmának lokális módon való szabályozásának egy új lehetősége került kidolgozásra. Ilyen esetben csak egy kereszteződés szabályozása a cél úgy, hogy az a lehető leghatékonyabban és legbiztonságosabban működjön.

A hálózati irányítás azt jelenti, hogy több kereszteződés összehangolt módon irányított. Ez valamilyen szempont vagy optimalizálási kritérium szerint történik. Gyakran alkalmazott esete a vonali irányítás, amikor a szomszédos csomópontok jelzésterveit szabályozzuk a zöldidő-összehangolás céljából. A hálózati irányítás megvalósításának lehetőségei nem képezik tárgyát a dolgozatnak, azonban kétség kívül kialakítható ilyen rendszer is a dolgozatban ismertetett eszközökkel.

A TDK munka során kidolgozott rendszer lehetővé teszi a fix programos vezérlés alkalmazását. Ebben az esetben előre definiált ciklus- és fázisidejű programok felhasználásával történik a forgalomirányítás. A fix programban semmilyen forgalomfüggő paraméter nem szerepel. Ellenben napszaknak, hónapnak, munkarendnek megfelelően kiválasztható a megfelelő program a szoftverbe beépített órapcsoló automatikával.

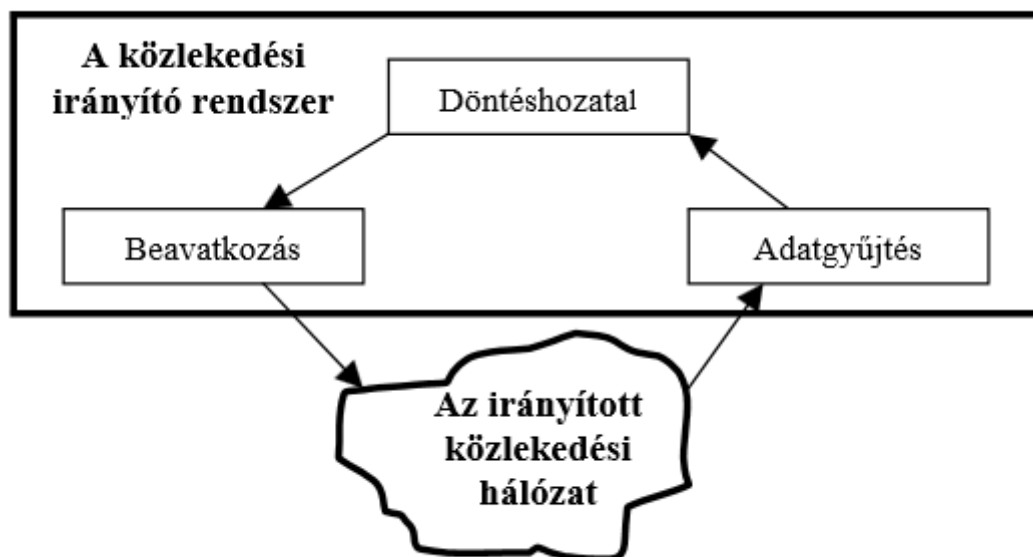
Ezen kívül megvalósítható forgalomfüggő irányítás is. Ehhez természetesen több hardveres eszközre van szükség, így ennek gyakorlati megvalósítására a TDK munkában nem került sor, azonban a szoftveres környezet adott a megfelelő programok megírásához.

A jelenleg is alkalmazott rendszerben szerepelnek a jelzőfejek, egy forgalomirányító berendezés és a jeleket továbbító átviteli közeg. A forgalomtól függő irányításhoz szükség van még hurokdetektorok telepítésére is. Gyakorlatilag a központi forgalomirányító gép végzi a csomópont szabályozását. A lámpafejek és hurokdetektorok a kimeneteket és a bemeneteket valósítják meg e rendszerben. Ezek működtetéséhez nagy mennyiségű kábel felhasználása szükséges, hiszen minden fénypontot össze kell kötni a központi vezérléssel.

A cél az, hogy a központi forgalomirányító berendezés szerepét átvegyék a jelzőfejek. Emiatt az új rendszert úgy kell kialakítani, hogy minden lámpaegység ugyanolyan „okos” legyen. Azaz a lámpafejek saját intelligenciával rendelkeznek és együttes működésükkel teljes mértékben kiváltják a központi gép szerepét. A fejlesztett struktúrában a lámpák külön-külön tartalmazzák a saját fázistervüket, ugyanakkor az ellenőrzések egy részét minden egyes jelzőfej elvégzi, így egyből detektálható a hibás működés. Vannak olyan ellenőrzések, melyeket minden jelzőfej csak magának végez el, például az izzóhibák.

## 2.1. A forgalom mérése

A jelenleg is működő forgalomirányító rendszerek egyik fő követelménye az adaptivitás. Ehhez a forgalmi paraméterek mérése szükséges. Ezek ismeretében van lehetőség a beavatkozásra, amellyel szabályozható az aktuális forgalom lefolyása. Ennek a szabályozó körnek a sematikus elrendezése látható az **1. ábra**.



**1. ábra:** Szabályozási kör  
(forrás [1] )

Megvizsgálandó tehát, hogy a mérés technika implementálható-e az újonnan kidolgozott rendszerbe. Az útkeresztmetszeten a következő paraméterek mérhetők: forgalom nagyság, követési időköz, járműsűrűség, sebesség, követési távolság. Az adatgyűjtő eszközök különféle lehetnek és eszközönként a kialakítástól függően más és más mérést szolgáltatnak. Tehát ezek kiépítése nem változik, mert az új rendszerben csak a feldolgozás eszköze más.

## 2.2. Forgalmirányító berendezések követelményei

A forgalom irányítása olyan feladat, melyet biztonságkritikus rendszer alkalmazásával kell megoldani. Fontos, hogy a bemutatott rendszer a hagyományosnak megfelelő biztonsági szinten működjön. A közúti forgalmirányító berendezések működésbiztonsági követelményeit az MSZ EN 12675 [3] magyar szabvány írja elő:

„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 tömegközlekedést is), a gyalogosok, a kerékpárosok és a lovasok, a testi fogyatékos személyek;
- a karbantartó és a felügyelő személyzet.”

A szabványban szereplő fogalmak a jelzőlámpás csomópontokhoz kapcsolódóan:

- **Központi vezérlés:** Rendszer a forgalmirányító fényjelző berendezések hálózatának vagy csoportjának összehangolására és ellenőrzésére, központi számítógép vagy azzal egyenértékű berendezés és adatátviteli rendszerek alkalmazásával.
- **Zöld jelzés:** a közúti forgalom számára kijelzett, az EN 12368 szerinti „zöld” színű jelzés.
- **Kézi üzemmód:** A közúti fényjelzők vezérlőberendezéseinek üzemállapota, amelyben kezelőszemély kézzel vezérli a közúti forgalom fényjelzőit.

- **Tárolómemória:** Eszköz az információnak a visszakeresést lehetővé tevő módon való tárolására.
- **Üzem mód:** A közúti forgalomnak kijelzett jelzések vezérlésére használt közúti fényjelzők vezérlőberendezéseinek bizonyos állapota. Például: készenléti üzem mód, kézi üzem mód, szabályos üzem mód, 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).
- **Szabályos üzem mód:** A közúti fényjelzők vezérlőberendezéseinek bármely, a hibamódtól eltérő működési állapota, különösen az az üzem mód, amelyben a jelzések a nemzeti jelzési szabályozással megegyeznek.
- **Gyalogosjelző:** Fényjelző készülék a gyalogos forgalom irányításának kizárólagos céljára a jelzőlámpával szabályozott helyeken.
- **Hordozható forgalomirányító berendezés:** Olyan vezérlőberendezés, amelyet ideiglenes alkalmazásra, és az egyik helyről a másik helyre könnyen szállíthatóra terveztek.
- **Áramellátás:** Aktív eszköznek vagy áramkörnek energiát szolgáltató erőforrás.
- **Tömegközlekedési jelző:** Fényjelző készülék a tömegközlekedési járművek irányításának kizárólagos céljára a jelzőlámpával szabályozott helyeken.
- **Piros jelzés:** A közúti forgalom számára kijelzett az EN 12368 szerinti „piros” színű jelzés.
- **Biztonsági idők:** Az olyan időbeállítások, amelyek hiba esetén képesek a közúti fényjelzők vezérlőberendezéseinek működésbiztonságát megvalósítani.
- **Útszűkületi jelzők:** Fényjelző készülék az olyan útszűkületben, ahol a forgalom mindegyik irányba csak váltakozva haladhat át.
- **Fényjelzés:** Dinamikus fényjel az úthasználók számára.
- **Jelzőcsoport:** A fényjelző készülékek csoportja, amely mindig azonos fényjelzést ad.
- **Fényjelző készülék:** Egy vagy több, a készülékház is magában foglaló optikai egységet – beleértve a tartókengyeleket, rögzítőket, árnyékolókat, ellenzőernyőket

és háttérpajzsokat – tartalmazó eszköz, amelynek feladata az úthasználók számára vizuális üzenet közvetítése.

- **Készenléti üzemmód:** A közúti fényjelzők vezérlőberendezéseinek üzemállapota, amelyben a nemzeti jelzési szabályozások megengedik (a sárga villogó jelzés vagy a jelző sötétre kapcsolt állapotát.)
- **Bekapcsolási jelzéssorrend:** Ha a közúti fényjelzők vezérlőberendezéseinek szabályos üzeméhez megkívánják, szükség lehet szabályozott bekapcsolási jelzéssorrendre, hogy az összes jelző sötétre kapcsolt vagy sárga villogó állapotból a szabályos üzemmódra váltson.
- **Időbeállítások:** Az adott csomópontban működő közúti fényjelzők vezérlőberendezéseire vonatkozó összes időadat.
- **Forgalomirányítás:** A közúti forgalom szabályozása fényjelző készülékekkel vagy közúti jelzőtáblákkal.
- **Közúti fényjelzők vezérlőberendezése:** A fényjelző készülékeket működtető berendezés.
- **Forgalomirányító berendezés:** A vezérelt fényjelző készülékekkel és a csatlakozó illesztőberendezésekkel együtt működő közúti fényjelzők vezérlőberendezése.
- **Sárga jelzés:** A közúti forgalom számára kijelzett az EN 12368 szerinti „sárga” színű jelzés.”

A szabvány különféle forgalommeghatározások szerint csoportosítja a hibákat, melyek a következők:

- **„Hiányzó kijelzés:** Tervezett jelzés, amelynek fényerőssége nem felel meg a HD 638:1999 szerinti „BE” jelzésnek.
- **Kerékpárosjelzés:** Forgalomirányító jelzés a kerékpáros-forgalom irányításának kizárólagos céljára a jelzőlámpával szabályozott helyeken.
- **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.



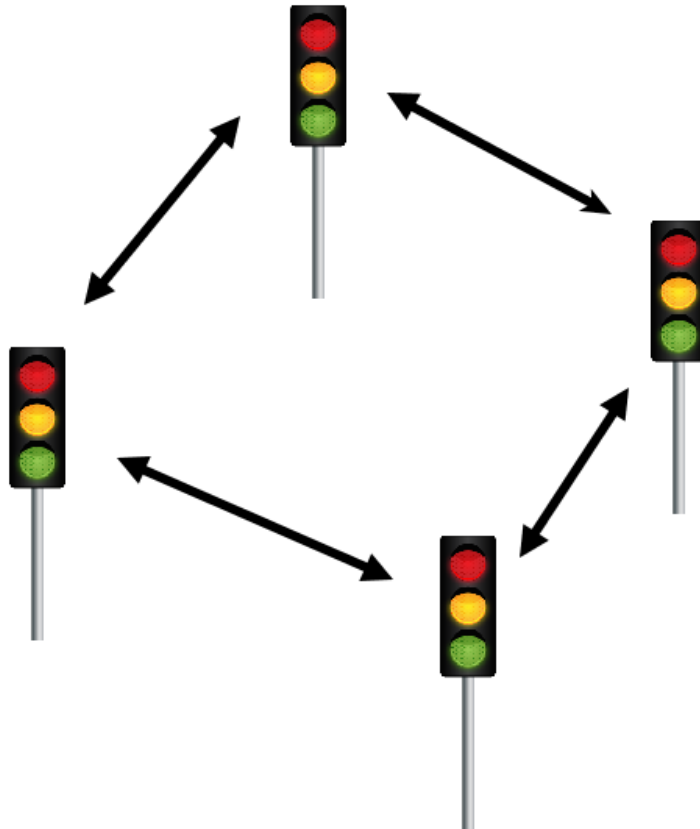
- **Hibamód:** A közúti fényjelzők vezérlőberendezései nem üzemkész állapota, amelyben a forgalmat veszélyeztető hiba a szabályos üzemmódot sárga villogó üzemmóddal vagy a jelző sötétre kapcsolt állapotával helyettesíti.
- **Forgalmat veszélyeztető hiba:** Olyan hiba, amelynek hatására a forgalomirányító 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 forgalommeghatározás vonatkozik rá. A szabvány kitér még a hibaállapotok kezelésére is. Két csoportra osztja őket, 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.

Jelen esetben a fejlesztett rendszer nagyon egyszerű mintára épül, ezért a felsorolt szabályozások közül sok nem vonatkozik rá. Azonban a cél komplexebb csomópontok létrehozása és működtetése, tehát célszerű észben tartani, hogy milyen feltételnek kell megfelelnie egy forgalmat lebonyolító és szabályozó rendszernek.

### 3. Az okos jelzőfej

Az intelligens jelzőfej koncepciója, hogy a lámpa nem csak eszköz az irányítási feladatok megoldása során. Az adott csomópontban telepített jelzőfejek fel vannak szerelve egy saját intelligens kártyával (egy speciális célú számítógéppel gyakorlatilag), melyek képesek az irányítási feladatok ellátására és az egymás közti kommunikációra. Ilyen módon a hagyományos központi forgalomirányító berendezés gyakorlatilag kiváltható.

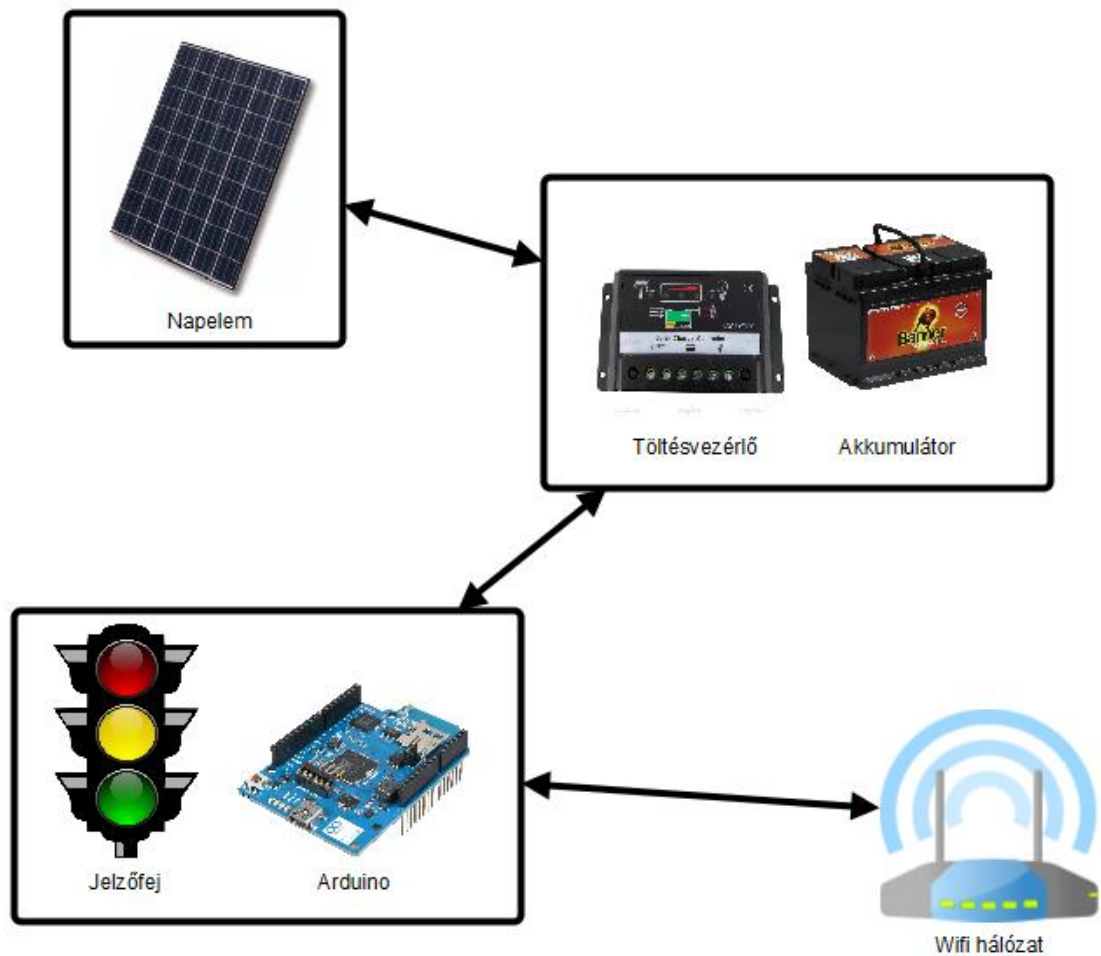


**2. ábra:** Elosztott rendszerben működő jelzőfejek

A kommunikáció kérdése fontos, hiszen az eddig használatos kábeles összeköttetés helyett Wifi-n keresztül történő kommunikáció valósul meg. Ezt a jelzőfejekbe szerelt Arduino egységek valósítják meg.

A koncepció nagyon egyszerű, egy szigetüzemű napelemes rendszer kerül kiépítésre, ahol a tápellátás napelemmel és akkumulátorokkal biztosított. A jelzőfej és egy beszerelt Arduino az akkumulátorokról nyerhető energiának köszönhetően üzemel. Ezt egy napelem tölt. A feltöltés és használat elkülönítéséért a töltésvezérlő felel. A **3. ábra** látható szemléletesen a rendszer. Azért az Arduino-ra esett a választás, mert ez egy egyszerűen

programozható eszköz, mely tökéletesen alkalmas a fejlesztési feladatok megoldására. A végleges jelzőfejeken már egyedi áramkörök lesznek üzembe helyezve.



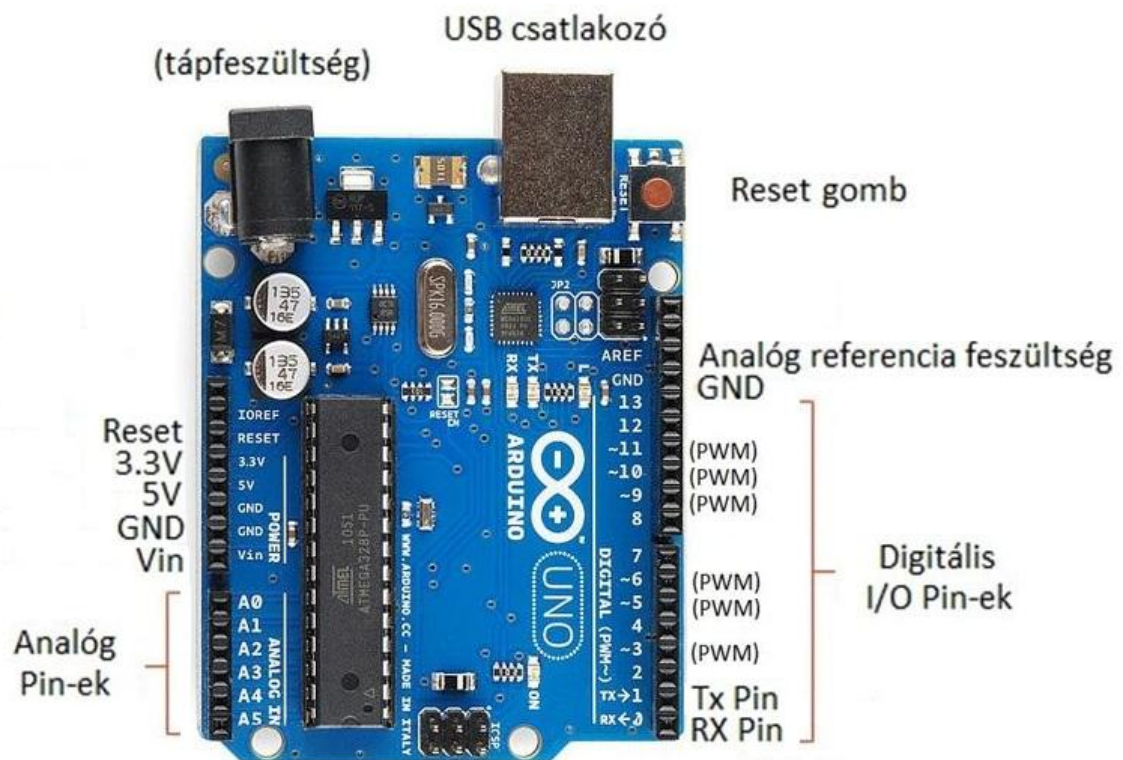
**3. ábra:** Szigetüzemű rendszer

### 3.1. Felhasznált eszközök

A legelterjedtebb az Arduino termékek közül az Arduino Uno panel. Ez az Atmel AVR ATmega328-as mikrokontroller épül. Az ATmega328-as egy 28 lábú mikrokontroller, ami 20 darab felhasználható kimenet vagy bemenet lábbal rendelkezik. Ebből a 20-ból 6 darab használható analóg bemenetnek, és ugyanennyi használható PWM kimenetnek ezen kívül két láb használható külső megszakításokhoz. Az Arduino panel a számítógéphez egy USB kábellel csatlakoztatható. Ezen keresztül történik a panel tápellátása, a mikrokontroller programozása és a számítógéppel történő kommunikáció. A panelen lévő mikrokontroller gyakorlatilag tetszőleges alkalommal újraprogramozható.

A panel tápellátása többféleképpen is megoldható. Alapvetően az USB kábellel a PC-re csatlakoztatva már rögtön használatra kész, de ezen kívül egy hálózati adapter és a megfelelő méretű jack bemenet használatával függetleníthető a számítógéptől. Ezen kívül elemmel is működtethető, ekkor a panelon lévő pineket (bemenetként és kimenetként funkcionáló egységek) kell használni.

Fontos megemlíteni, hogy az Arduino Uno rendelkezik EEPROM memóriával, ami a klasszikus forgalomirányításban a közbensőidők tárolására lett felhasználva. A végleges rendszerben a közbensőidő mátrix belekerül az EEPROM memóriába, mert a rendszer így a legbiztonságosabb. Azonban a fejlesztés alatt álló rendszerben még nem lesznek a memóriába égetve a közbensőidők értékei, mert a tesztelés folyamán ezek még változhatnak.



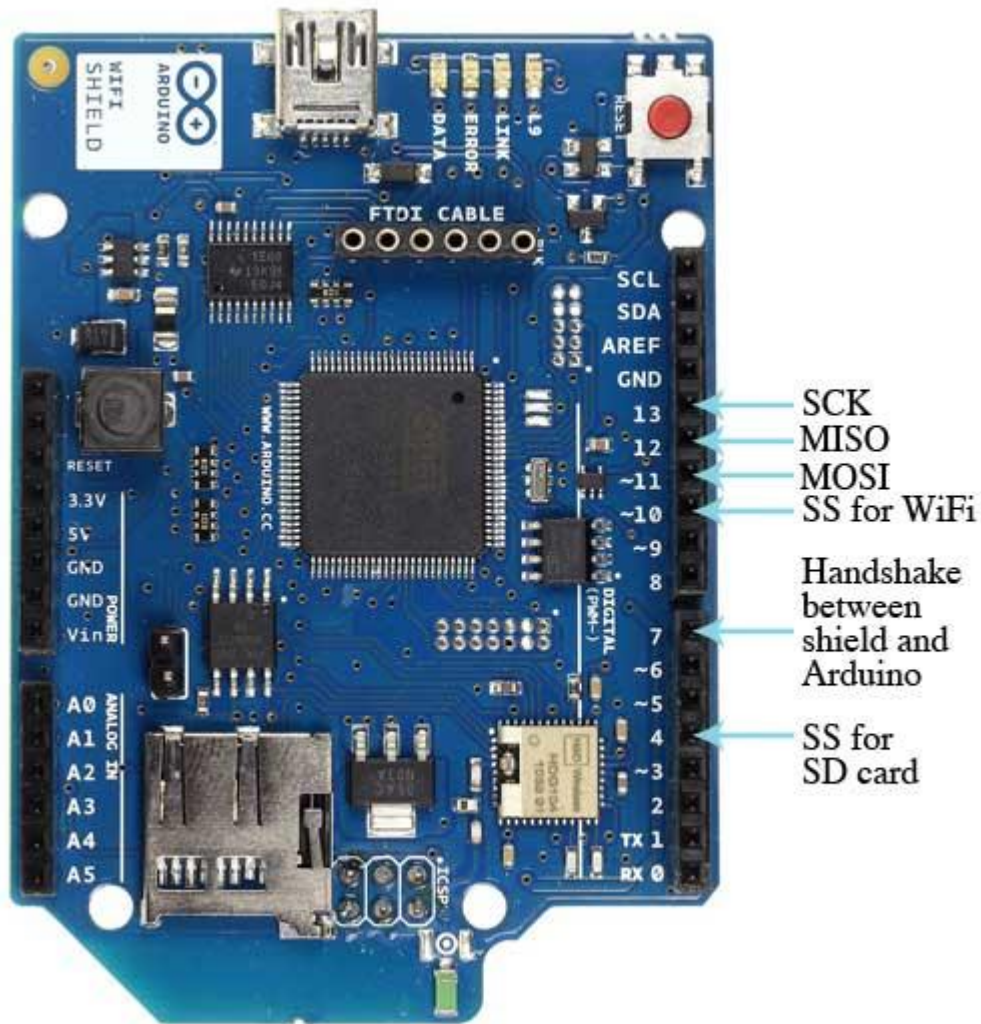
**4. ábra:** Arduino Uno

(forrás: <http://hobbyrobot.hu/content/arduino-kezdoknek>)

Az Arduino Wifi Shield lehetővé teszi, hogy az eszköz Wifi-n keresztül interneteléréssel rendelkezzen. Ez a panel önmagában nem működik, csak valamelyik alap panel segítségével. Például a dolgozatban használt Arduino Uno tökéletesen megfelel erre a célra, a Wifi Shield-en lévő kommunikációs tükorsort használva csatlakoztatni kell az Uno panelhez. Ilyen módon valamivel csökken a használható pin-ek száma, mert a két panel közti kommunikáció is itt bonyolódik. Ez korlátozza a használható kimenetek és bemenetek számát,

de a jelzőfejnek csak 3 kimenetre van szüksége, (piros, sárga és zöld fénypontokhoz) valamint a bemenetekből sincs szükség sokra.

Ez a kiegészítő magában foglal egy microSD kártya olvasót. Ennek kezelésére külön könyvtár áll rendelkezésre a szoftverben.

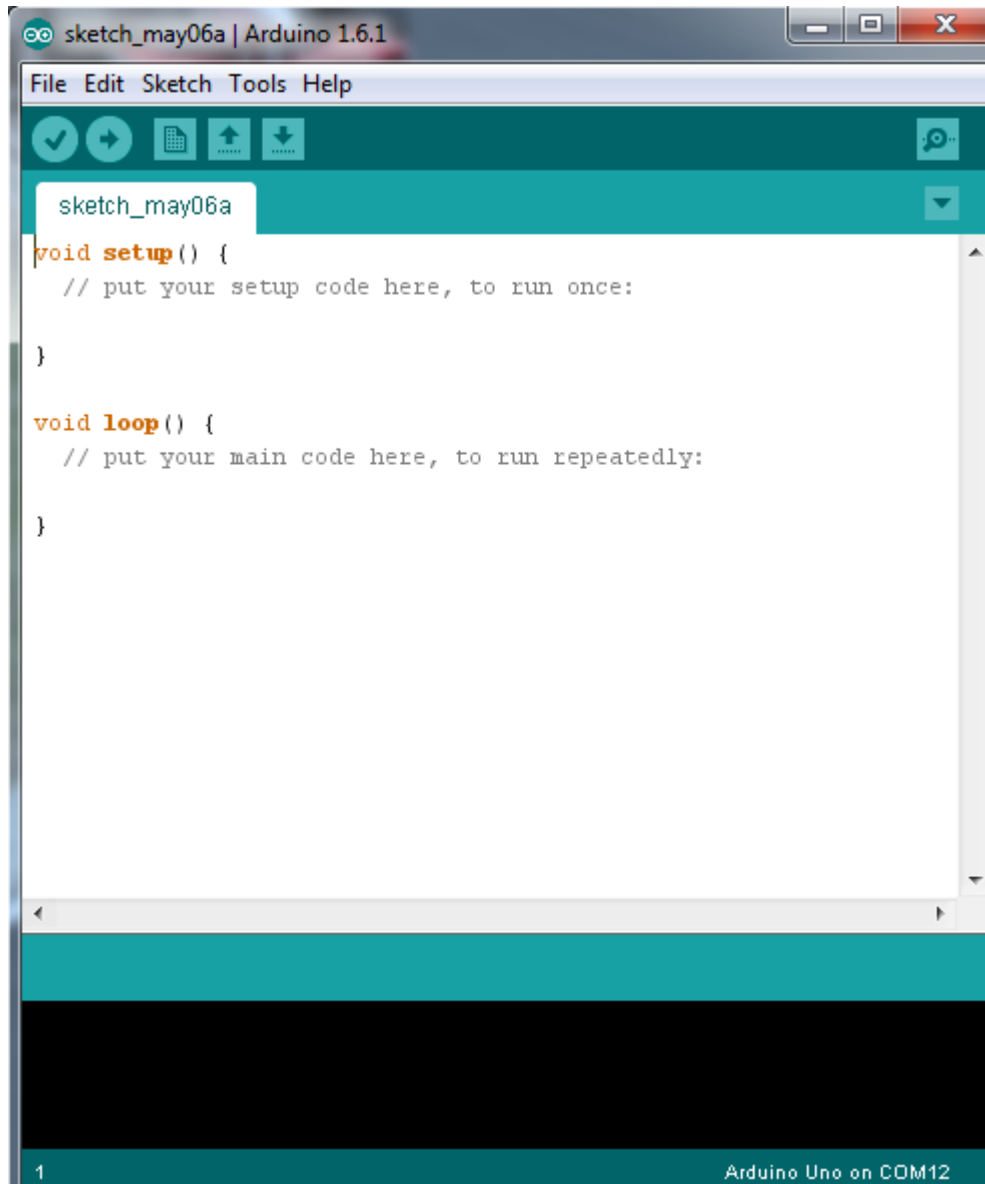


### 5. ábra: Arduino Wifi Shield

(forrás: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoWiFiShield>)

Az Arduino elnevezés nemcsak a hardvert takarja, hanem az egész fejlesztőkörnyezetet is magában foglalja. A PC-n futó Arduino nevű programmal könnyen programozható a mikrokontroller, ami lefordítás után az USB kábelén keresztül az Arduino panelre kerül. A fejlesztőkörnyezet által használt Arduino programnyelv a C++ egy egyszerűsített változata, amely rengeteg beépített könyvtárat tartalmaz. Ezek a bonyolultabb programozási feladatokat meglehetősen leegyszerűsítik. Az Arduino panel programozásához nem szükséges ismerni a rajta található AVR mikrokontroller részletes működését, mert a

fejlesztőkörnyezet elfedi előlünk a hardvert. Ez nagyon megkönnyíti a programozást, mert nem igényli a mikrokontrollerek és a bennük integrált perifériák működésének regiszter szintű ismeretét. A perifériák használata legtöbbször néhány egyszerű paranccsal megoldható.



**6. ábra:** Az Arduino szoftver

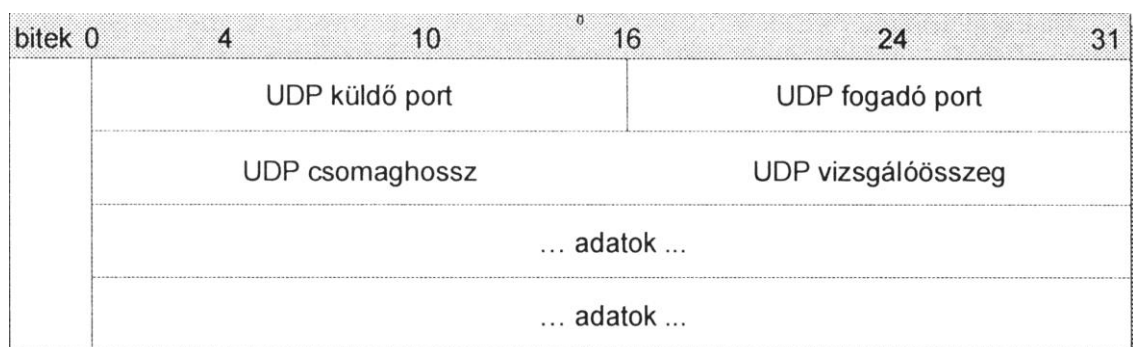
Felhasználásra került továbbá: a kommunikáció létrejöttéhez elengedhetetlen router, egy jelzőfej modell, LED-ekből és ellenállásokból forrasztva, a többi jelzőfej szimulációját ellátó számítógépek, Matlabban programozva.

### 3.2. Az UDP protokoll

Az UDP protokoll egy összeköttetés-mentes csomagküldésen alapuló kommunikációs kapcsolatot biztosít a kommunikáló partnerek között. Tulajdonképpen az Internet Protokoll elérését teszi lehetővé a transzport rétegből. Ezáltal a protokoll általános jellemzőjeként elmondható mindaz, ami az IP protokollról is. Tehát az UDP kisebb méretű adatsomagok átvitelére képes, viszont nem képes önmagában megbízható kommunikáció létrehozására.

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.

Az UDP által továbbított adatsomagok egyenként Internet Protokoll csomagokba lesznek beágyazva, így az UDP csomagok maximális méretét ez alapján lehet kiszámolni. Egy IP csomag maximális mérete 65535 bájt, mivel magában az IP-adatsomban a csomaghossz megadására egy 2 bájt hosszú mező áll rendelkezésre. Ebből kell levonni az IP és UDP protokoll protokollinformációinak a legalább 28 bájt hosszú méretét. Ezt tartalmaznia kell minden UDP csomagnak. Így határozható meg az UDP csomagokban elküldhető maximális adatmennyiség. Azonban itt csak egy elvi korlátról van szó. Gyakorlatban a korlát ennél jóval kisebb, mivel a hálózatba kapcsolt egységek nem minden alkalommal kezelik az 576 bájtnál hosszabb IP-adatsomagokat. Jelen esetben ez nem is baj, hiszen az Arduinoval felszerelt jelzőlámpák kommunikációjának megvalósulásához kis adatmennyiségek átvitele is elég. A gyakorlatban is használt protokollok egy IP csomagba ágyazott UDP csomagban legfeljebb 512 bájt felhasználói adatot szállítanak.

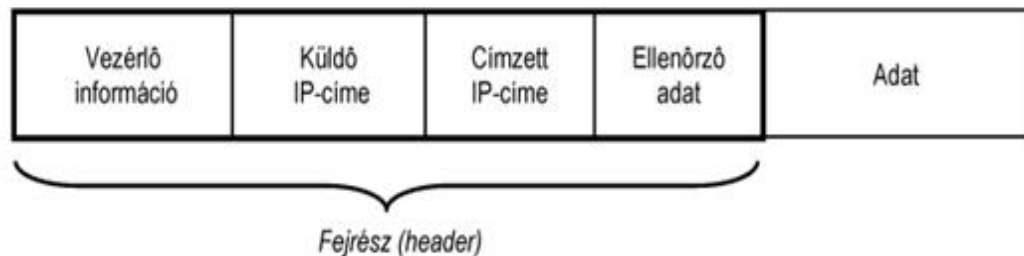


7. ábra: UDP csomag felépítése

(forrás: <http://www.vasynet.com/downloads/linux/traffic->

*managment%20iptables%20iproue%20ipchains%20ipmasq%20nat%20traffis\_shaper%20tc/iptables/iptables-tuzfal-1/iptables.html)*

A csomagmérettel kapcsolatban felmerülhet egy másik kérdés is. Amennyiben valamilyen oknál fogva nagyobb üzenet elküldése szükséges, mi történik azokkal a csomagokkal, amelyeknek a mérete nagyobb az alkalmazott hálózati csatolón maximálisan megengedett csomagméretnél? IP protokoll esetében a túl nagy csomagok töredécsomagokra lesznek bontva, ezeknek a mérete már kisebb az átvitelre használt hálózati csatolón megengedett maximális csomagméretnél. Ezek a töredécsomagok a célállomáson össze lesznek illesztve az eredeti IP-csomaggá. Az egy UDP csomagban elküldhető adatok méretét ez nem befolyásolja.



### 8. ábra: IP szegmensek

(forrás: <http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tkt/operacios-rendszerek/ch07s04.html>)

Szó esett az UDP protokoll megbízhatóságáról is. Itt olyan problémák merülhetnek fel, hogy az elküldött csomagok elveszhetnek, esetenként nem megfelelő sorrendben érkeznek meg a címzethez vagy esetleg több példányban jelennek meg a fogadó félen. Az IP és az UDP protokollok működése olyan, hogy mindent megtesz annak érdekében, hogy az elküldött csomagok eljussanak a címzethez, viszont a protokollok specifikációi ezt nem garantálják. Például az IP protokoll esetében a töredécsomagokra bontás során létrejött töredécsomagok a célállomáson lesznek összerakva. Ennek megfelelően, akár ha csak egyetlen töredécsomag is elveszik, akkor a töredécsomagokból nem lehet az eredeti üzenetet visszaállítani. Mivel egy töredécsomag újraküldését nem lehet kivitelezni, ezért ebben az esetben az egész IP csomag elvész.



bitek 0		4	8	16	19	31
verzió		fejléc-hossz(IHL)	szolgáltatás típusa		teljes hossz (max. 65 536 bájtt)	
azonosító				jelző-bitek	szegmens sorszáma	
élettartam (TTL)		protokoll		fejléc vizsgálóösszege		
küldő címe						
fogadó címe						
IP opciók					kitöltőbitek	
... adatok ...						
... adatok ...						

### 9. ábra: IP csomag felépítése

(forrás: [http://www.vasynet.com/downloads/linux/traffic-management%20iptables%20iproute%20ipchains%20ipmasq%20nat%20traffis\\_shaper%20tc/iptables/iptables-tuzfal-1/iptables.html](http://www.vasynet.com/downloads/linux/traffic-management%20iptables%20iproute%20ipchains%20ipmasq%20nat%20traffis_shaper%20tc/iptables/iptables-tuzfal-1/iptables.html))

Az UDP jellemzői közé tartozik, hogy az Internet Protokollal ellentétben, és a TCP-hez hasonlóan több kommunikációs végpont létrehozását teszi lehetővé. Ezen végpontok azonosításához 16-bites egész számok használatosak. Egy UDP kommunikációs végpontnak a hálózaton belüli egyedi azonosításához két információra van szüksége. Annak a hálózati csatlakozónak a címére, amelyhez az adott UDP port csatlakoztatva lett, ezen kívül pedig ismerni kell az UDP port azonosítóját. Ezt a transzport réteg biztosítja, ami egy 16 bites azonosító. Amennyiben egy számítógépben több hálózati csatlakozó is van, akkor lehetőség van arra, hogy egy adott azonosítóval rendelkező UDP port valamelyik másik hálózati csatlakozójához legyen hozzákötve. Ekkor egy másik UDP port létrehozása következik, ugyanolyan port-azonosítóval, de ez utóbbit nem kötjük hálózati csatlakozóhoz. Ebben az esetben, ha egy UDP üzenet érkezik a fent említett másik IP című hálózati csatlakozón, akkor az operációs rendszer azt az előbbi UDP portra továbbítja. Amennyiben bármelyik másik hálózati csatlakozón érkezik UDP csomag, akkor ez az utóbbi, hálózati csatlakozóhoz nem hozzárendelt UDP port számára lesz eljuttatva.

Az UDP egy összeköttetés-mentes protokoll. Ez azt jelenti, hogy az UDP alapú kommunikáció esetén nincs összeköttetés-felépítési, és összeköttetés-lebontási művelet. Az UDP alapú kommunikációval kapcsolatban az UDP specifikációja három alapvető műveletet különböztet meg:

1. UDP kommunikációs végpontot létrehozó és megszüntető művelet
2. adatcsomag elküldése egy UDP portról egy másik UDP port részére
3. UDP végponton az oda érkező adatcsomag fogadása

Az UDP jellemzőinek figyelembevételével felmerülhet a kérdés, hogy mikor érdemes UDP alapú kommunikációt használni. Az UDP protokoll megbízhatóságának hiánya nem jelent komoly problémát, mivel felsőbb szintű protokollrétegekben ez pótolható ott, ahol szükség van rá. A helyi hálózatoknál alkalmazott csomagátviteli technológiák mára már elég megbízhatóak. Azonban fontos szempont lehet az is, hogy az UDP az összeköttetés fogalmának hiánya miatt nem korlátozza kettőre egy kommunikációs kapcsolat résztvevőinek a számát, ahogyan azt a TCP teszi. Ez kiváltképp fontos tulajdonsága, hiszen egy csomópont működéséhez több jelzőfej folyamatos kommunikációjára van szükség. Az UDP protokoll segítségével egy üzenetküldési művelettel egy kommunikációs partnerhez lehetséges az üzenetküldés. Egy UDP portról bármely másik UDP portokra lehet üzenetet küldeni, valamint egy UDP-portra bármely másik UDP-portokról érkehetnek adatcsomagok. Ezért az UDP protokoll segítségével tetszőleges számú résztvevő kommunikációja lehetséges.

Összegezve tehát az UDP és TCP protokollok tulajdonságait: A TCP egy összeköttetés orientált protokoll, míg az UDP összeköttetés nélküli. A TCP protokoll megbízhatóbb, hiszen visszajelzést ad a szegmensek megérkezéséről. Ezzel ellentétben az UDP esetében nincs visszajelzés, ezért kevésbé megbízható. Pontosan az ellenőrző jellege miatt a TCP protokoll esetében lassú az összeköttetés létrehozása. Ezután az adatátvitel sebessége megfelelő, de az UDP használata gyorsabb, mert az összeköttetés megteremtése rövidebb idő alatt kivitelezhető, valamint az adatátviteli sebesség is jobb. Ezen kívül az UDP protokoll használatával elküldött üzenetek nem lesznek szegmensekre tagolva, ellentétben a TCP protokollal. Itt az adatfolyam szegmensekbe töredezik.

Összességében elmondható, hogy műszaki szempontból az UDP protokoll alkalmazása a megfelelő választás a vezeték nélküli, elosztott rendszerű forgalomirányítási koncepcióhoz.

### **3.3. Az Arduino feladatai**

Az Arduino tulajdonképpen egy kisméretű számítógép, 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 NYÁK-ot tervezni.

A csomópont minden jelzőlámpáját fel kell szerelni egy Arduino egységgel. Esetleg a kiegészítő jelzők nem igényelnek külön vezérlést, mert az azonos jelzést mutató jelzőfejek általában közel helyezkednek el egymáshoz, így könnyedén megoldható a szabályozásuk egy újabb Arduino panel felszerelése nélkül is. A csomópont számára biztosítani kell egy routert ami a Wifi szórást biztosítja. Ezen keresztül kommunikálnak a jelzőfejek, illetve a jelzőfejekbe épített Arduino panelek. A forgalomirányításhoz szükséges funkciók működéséhez ezt a kommunikációs csatornát használja az összes lámpafej. Az adatátvitel egyszerűsége és gyorsasága fontos követelmény, ezért a kommunikáció UDP protokoll segítségével bonyolódik le.

Alapvetően itt is minden jelzőfej csak a saját jelzést ismeri teljesen. Az ellenőrzéshez szükséges adatokat és változókat minden egység elküldi és fogadja. Ezután minden ciklusban feldolgozásra kerülnek ezek az adatok. Amennyiben valamely ellenőrzés során hiba lép fel, bármely gép kezdeményezheti a csomópontban futó program felülírását, sárga villogó valamint a sötét üzem megkezdését.

### **3.4.Hibaellenőrzés az elosztott rendszerben**

Korábban a 2.2 fejezetben szó esett a forgalomirányító berendezések követelményeiről és a csomópontokban, jelzőkészülékekben felmerülő hibákról.

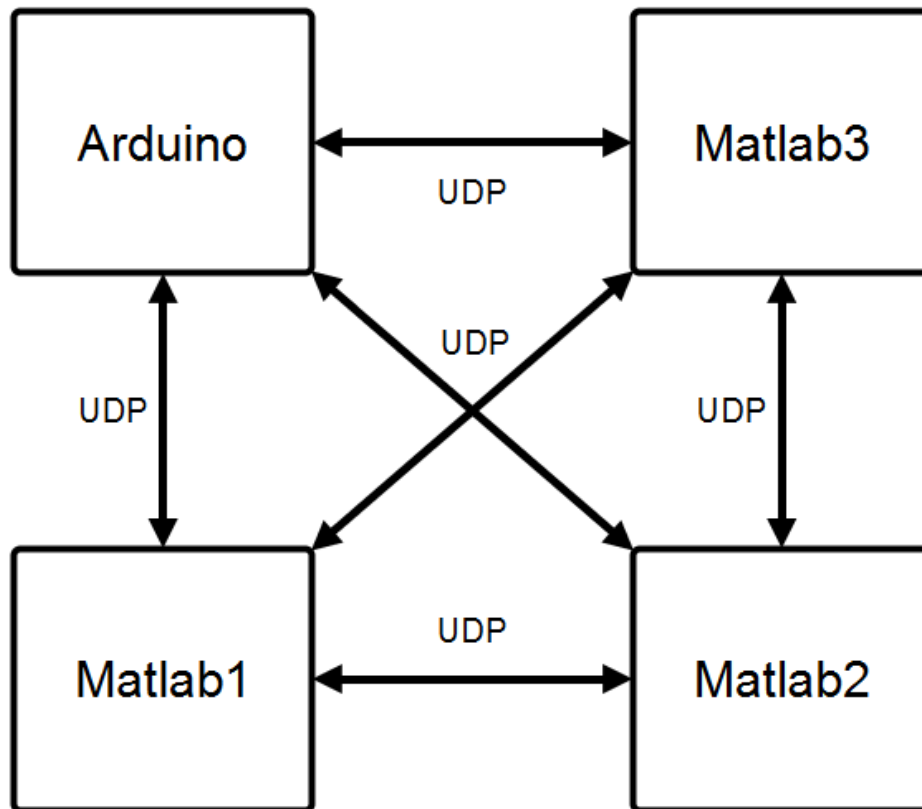
Eszerint ellenőrizni kell az összeférhetetlen irányokban a zöld jelzések időintervallumait a ciklusidőn belül. Ehhez a tiltásmátrix minden jelzőfej számára ismert kell, hogy legyen. A zöldidő kezdő- és végidejét valamilyen változóban kell megkapnia minden lámpának. Ezután történik az összehasonlítás. Ugyanígy minden jelzőfej részt vesz a közbensőidők ellenőrzésében. Itt szintén a zöldidő ellenőrzése történik, csak ebben az esetben a két kizáró irány két zöld jelzése között eltelt idő ellenőrzése történik.

A fénypontok nem helyes működésének ellenőrzését ellenben minden autonóm jelző el tudja végezni. A beavatkozáshoz minden jelzőfejnek jogosultsága van, így egy esetleges hiba detektálásakor bármelyik lámpa sárga villogó vagy sötét üzembe kapcsolhatja a rendszert.

A kommunikáció UDP protokoll segítségével jön létre. Ennek helyes működését is ellenőrizni kell. Amennyiben az üzenet nem érkezik meg egy adott (kellően rövid) időn belül, akkor szintén életbe lépnek a nem veszélyeztető üzemek.

## **4. Matlab-Arduino tesztplatform a koncepció teszteléséhez**

A gyakorlati megvalósítás modellezése labor körülmények között lett elvégezve. Egy egyszerű közúti csomópont működését szimulálja egy Arduino modul és három számítógépen futó Matlab program. Az Arduino pontosan ugyanúgy működik ebben az esetben, mint valós körülmények között csak az adatokat nem más okos jelzőfejeknek küldi, hanem a PC-ken futó Matlab alkalmazásoknak. Ezen alkalmazások tulajdonképpen az Arduino-ban futó programok megfelelői, azaz „virtuális Arduino-k”.

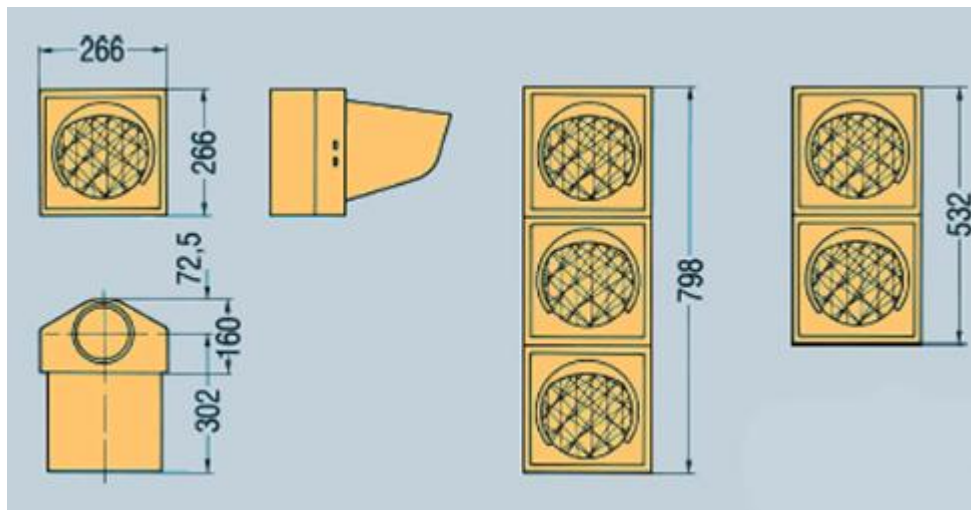


**10. ábra:** Matlab teszplatform

Matlab segítségével így létrehozott virtuális jelzőfejek a valós működésnek megfelelően viselkednek, azaz tökéletesen használhatók a fejlesztést elősegítő modellezéshez. A küldött és fogadott üzenetek sebessége és épsége ellenőrizhető. Ezen kívül fontos, hogy a programok helyessége, az ellenőrzések és biztonsági funkciók életbe lépése is szimulálható. Ilyen módon az esetleges hibák feltárása még a próbaüzem előtt megtörténik. Ezzel a módszerrel egyszerre tesztelhető az épített struktúra és készíthető egy teszplatform.

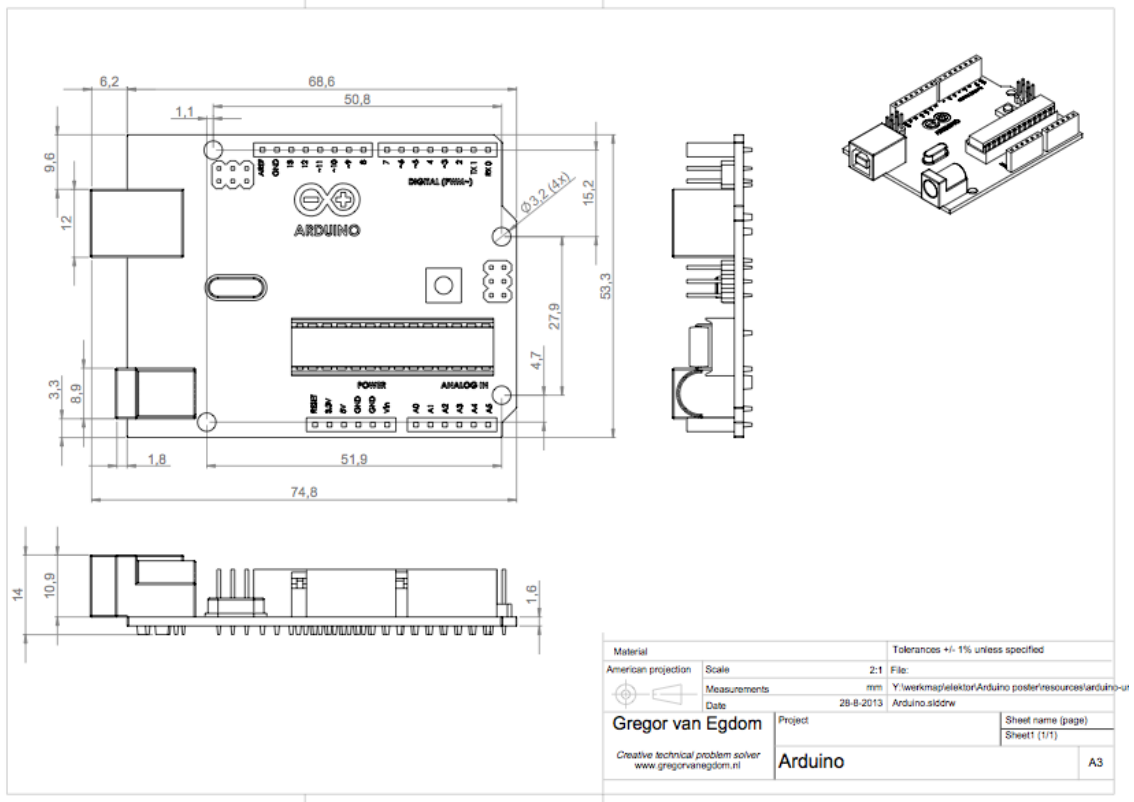
## 5. Megvalósítási terv

A jelzőfejek nem mennek át nagymértékű változáson. A tápellátás és ezáltal a vezérlő jel is más forrásokból lesznek elérhetők. A vezérlés már magában a jelzőfejben történik. A lámpatest belsejébe beépíthető a kisméretű Arduino modul. Mivel ez két Arduino egységből áll, ezért az egész beépítendő elem vastagsága a kétszeresére nő, de ahogyan az a **11. ábra** és a **12. ábra** méretein látszik, elegendő hely áll rendelkezésre. Ennek nagy előnye, hogy itt védelmet kap a környezeti hatásoktól, valamint a fénypontokhoz közel kerül, így kevés vezetékre van szükség. A jelzések szabályozása attól függ, milyen feszültségről és mekkora árammal működik az adott jelzőlámpa. A 230V vagy 40V feszültségű jelzőfejeknél a szabályozást végző Arduino és a fénypontok közé megfelelően méretezett reléket kell beépíteni.



**11. ábra:** Siemens jelzőfej méretei [mm]

(forrás: <https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/en/road-solutions/urban/infrastructure/signal-heads-for-road-traffic-en.pdf>)



**12. ábra:** Arduino Uno méretek [mm]

(forrás: <http://www.krekr.nl/content/arduino-uno-technical-drawing/>)

Ahhoz, hogy tápellátás nélküli csomópontot lehessen kiépíteni, úgynevezett szigetüzemű vagy hálózatfüggetlen napelemes rendszert kell alkalmazni. Az önálló rendszerben való működést napelemek használatával lehet biztosítani. Ilyen módon csak annyi energiát tud a rendszer felhasználni, amennyit megtermel. A felépítéshez szükséges egy napelem, akkumulátor, töltésvezérlő és természetesen a fogyasztó. A fogyasztó ebben az esetben a jelzőfej lesz.

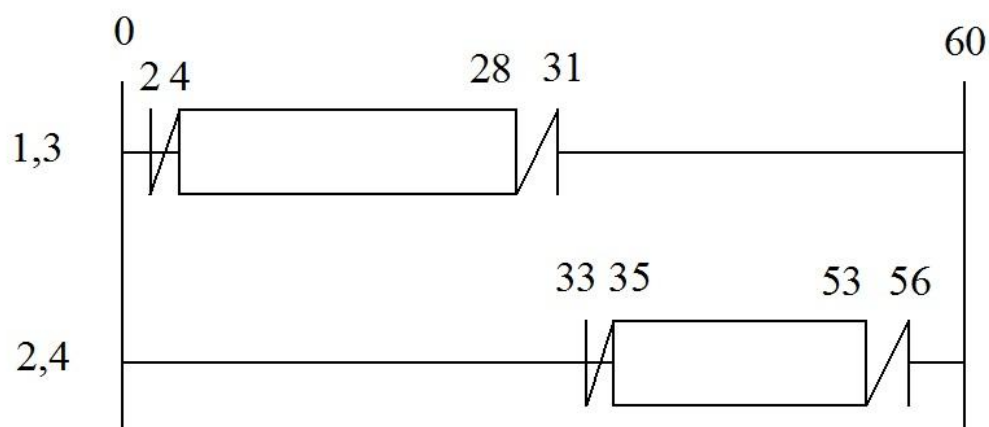


**13. ábra:** Napelemes villogó  
(forrás: *for-vid.hu*)

Az egész rendszer méretezéséhez el kell dönteni, hogy csak nyári hónapokban vagy egész évben kell-e a rendszernek működni. 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 részein 5-6 illetve Afrikában vagy egyéb napos területeken 5-6 a használatos érték. Télen ez legfeljebb 2 lehet.

A méretezés bemutatása a következő jelzésterv alapján történik (**14. ábra**). A program hajnali öt órakor indul és éjjel tizenegy órakor áll le.





**14. ábra:** Minta jelzésterv

A rendszer megfelelő felépítéséhez először tisztázni kell a napi energiafelhasználást. Ezután következik a napelemek méretezése valamint az akkumulátor kapacitásának meghatározása.

Az első jelzéképet mutató jelzőfejhez kapcsoló számítások:

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

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

**1. táblázat**

A második jelzéseképet mutató jelzőfejhez kapcsolódó számítások:

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

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

**2. táblázat**

A napelem kiválasztásához a téli méretezési faktort kell alkalmazni, hiszen a jelzőlámpás forgalomirányítás egész évben működik. Ennek megfelelően a méretezési faktor 2 legyen. A fenti két példából látható (**1. táblázat** és **2. 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 naponta, az átlagos akkumulátor feszültség 12V valamint az elvárt autonóm működési igény, ami 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.

## 6. Összehasonlítás, értékelés

A jelenleg is használatban lévő forgalomirányító rendszer jól működik és biztonságos. Ennek megtartására kell törekedni az új koncepció kidolgozásakor. Azonban van néhány szegmens, ahol lehetséges a fejlődés. Egy tetszőleges csomópont jelzőlámpás irányításának kiépítése költséges és időigényes folyamat. Jelenleg a földmunka és a kábelek behúzása mind időben, mind költségben nagy hányadát teszi ki a teljes folyamatnak. Minél komplikáltabb a csomópont annál nehezebb a kiépítés. Ezen kívül a munkafolyamatok optimalizálása is elengedhetetlen, hiszen a megelőző talajmunkák, csatornák kialakítását meg kell várni. A csomópont akkor lesz csak átadható, ha a munka befejeztével az aszfalt vagy térkő burkolat és minden épített elem a helyére kerül. Manapság számos példa igazolja, hogy ez nem mindig sikerül. Egy ilyen projekt jellemzően különféle alvállalkozásokon keresztül megy végbe, akik esetenként nem tudják ezt a folyamatoptimalizálást megoldani.

Erre a problémára részben megoldás lehet a dolgozatban kidolgozott rendszer alkalmazása, ugyanis a földmunka és a kábelezési feladatok minimálisak. Kevésbé áll fenn a veszélye annak, hogy már egy meglévő kábelcsatorna a talaj menti munkálatok során átvágásra kerül, mert csak a jelzőoszlop felállítása igényel földmunkát. Ugyanilyen logika mentén bizonyos szempontból a csomópont biztonságosabbá válik, hiszen nincs kiszolgáltatva az előbb tárgyalt veszélynek, kábelmentessége miatt. Ezen felül költségességi szempontból is előnyös az új koncepció. A jellemzően alkalmazott sok érrel rendelkező kábelek folyómétere igen drága és a földmunka is már egy egyszerűbb csomópont kivitelezésénél is jelentős költségekkel jár.

Tehát az új rendszer alapvetően ugyanazokat a funkciókat valósítja meg, mint az eddig használatban lévő rendszerek. A megvalósításhoz a biztonsági követelményeket szabványokhoz kell igazítani. Így ennek kidolgozása hosszú folyamat, de már a prototípus elkészítése közben világos, hogy a fejlesztett rendszer életképes, mivel sok előnnyel rendelkezik a korábbi verzióhoz viszonyítva.

## 7. Összefoglalás

A dolgozatban egy új forgalomirányító eljárás került kidolgozásra, alternatív eszközökkel. Nagy előnye, hogy a jelzőfejek autonóm módon működnek, az irányítási feladatokat el tudják látni és mindegyik képes elvégezni a biztonsági ellenőrzéseket is.

Ugyanakkor még mindig rengeteg fejlesztési lehetőség maradt a rendszerben. A továbbfejlődés iránya az lenne, hogy a jelzőlámpák teljesen külön, vezetékek nélkül kezelhető egységek legyenek. Ez az Arduino modulok telepítésével megoldható. Továbbá a csomóponti irányítás tökéletesítése után az Arduino technikát alkalmazó intelligens jelzőfejekből kialakított hálózati irányítás létrehozása a cél.

Az Arduino a koncepció kipróbálásához kiváló eszköz, könnyen programozható és tesztelhető a fejlesztett rendszer, de nem a legolcsóbb és leghatékonyabb megoldás. A valós csomópontokban valószínűleg valamilyen PIC mikrokontrollerrel ellátott egyedi áramkör kerül beszerelésre.

## Felhasznált irodalom

- [1] VARGA István: Közúti jelzőlámpák vezérlése hálózaton keresztül, Városi Közlekedés, Vol. 49(5), pp. 282-285., 2009
- [2] LUSPAY Tamás, TETTAMANTI Tamás, VARGA, István (2011)  
*Forgalomirányítás – Közúti járműforgalom modellezése és irányítása*, Typotex Kiadó
- [3] MSZ EN 12675:2002 ICS 93.080.30
- [4] HD 638:1999 Traffic signal controllers
- [5] MSZ EN 12368:2006 Forgalomirányító berendezések. Fényjelző készülékek