



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
BME Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

# MODULÁRIS ÉPÜLETAUTOMATIZÁLÁSI TESZTKÖRNYEZET FEJLESZTÉSE

## TDK DOLGOZAT

SZERZŐK

Nagy Krisztina  
Pásztor Ákos

KONZULENS

Szabó Zoltán  
BME AUT

Budapest, 2014 október 21.

# Tartalomjegyzék

<b>Kivonat.....</b>	<b>4</b>
<b>Bevezető .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Rendszerkoncepció.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Elméleti áttekintés.....</b>	<b>11</b>
2.1 2,4 GHz Rádió.....	11
2.1.1 ISM .....	11
2.1.2 GFSK .....	12
2.1.3 RFM73P-S2 .....	14
2.2 UART – RS-485.....	16
2.3 KNX .....	18
<b>3. A megvalósított eszközök.....</b>	<b>26</b>
3.1 Központi egység.....	26
3.1.1 Tápegység .....	26
3.1.1.1 Kapcsolási rajz.....	27
3.1.1.2 Nyomatott áramköri terv .....	28
3.1.2 Központi panel .....	29
3.1.2.1 Kapcsolási rajz.....	31
3.1.2.2 Nyomatott áramköri terv .....	35
3.1.3 Képek a központi egységről.....	37
3.2 Kihelyezett egység .....	37
3.2.1 Kapcsolási rajz .....	38
3.2.2 Nyomatott áramköri terv.....	41
3.2.3 Képek a kihelyezett egységekről .....	42
3.3 Alumínium dobozok .....	42
<b>4. Szoftveres megoldások.....</b>	<b>44</b>
4.1 Elvárások.....	44
4.2 Központi egység szoftverének ismertetése .....	46
4.2.1 Inicializálás .....	46
4.2.2 Főképernyő .....	50

4.2.3 Státusz .....	50
4.2.4 Riasztások, értesítések .....	51
4.2.5 Dátum és Idő beállítása .....	52
4.2.6 Beállítások.....	53
4.2.7 Kommunikáció az eszközök között .....	55
4.2.8 Forráskód .....	56
4.3 Kihelyezett egységek szoftverének rövid ismertetése.....	56
<b>5. Továbbfejlesztési lehetőségek.....</b>	<b>57</b>
5.1 Kommunikációs lehetőségek bővítése .....	57
5.2 Egységek számának növelése .....	57
5.3 Mérési lehetőségek bővítése .....	58
5.4 Webes felület.....	58
5.5 Intelligens szoftver .....	58
<b>Összefoglalás.....</b>	<b>60</b>
<b>Ábrajegyzék.....</b>	<b>61</b>
<b>Irodalomjegyzék.....</b>	<b>63</b>
<b>Függelék.....</b>	<b>64</b>

# Kivonat

Az épületautomatizálás még mindig gyerekcipőben jár nemcsak Magyarországon, de a világ nagy részén is annak ellenére, hogy a hozzá szükséges technológia már régen a kezünkben van. Az újonnan épült magasabb kategóriájú iroda- és középületek valamilyen szintű automatizálása már gyakorlattá vált, azonban a magánlakások és házak megragadtak a kazánt vezérlő termosztát és a kézileg irányítható légkondicionáló berendezés szintjén. A pénzügyi korlátokat leszámítva ennek a legfőbb oka az, hogy nincs kialakítva egy olyan egységes automatizálási rendszer, amely a felhasználók igényeit, kívánságait, egészségügyi állapotát figyelembe véve vezérli az épületben és akörül található elektronikus berendezéseket. Bár a piacon már léteznek olyan eszközök, melyek a felhasználóval és egymással kommunikálva biztosítanak ilyen funkciókat, azonban ezek hátránya, hogy kizárólag a gyártó saját termékeivel kompatibilisek, így az eszközök egységes vezérlése nem megoldható.

A dolgozatban az egyes kommunikációs problémákra kitalált elméleti megoldások gyakorlati megvalósíthatóságát és működőképességét vizsgáljuk egy általunk megtervezett és megépített teljes értékű épületautomatizálási tesztkörnyezetben. A tesztkörnyezet egy központi egységből és több mérési és beavatkozó funkciókat ellátó panelből áll.

Az elvégzett munka magába foglalja a központi vezérlőegység teljes hardveres megtervezését és megépítését, valamint a működtető operációs rendszer szoftveres megírását. A központi egység egy LCD érintőkijelzőn jelez vissza a felhasználónak. A látványos megjelenésű érintőképernyőn kívül USB-n, Bluetooth-on, valamint a központi egység TCP szerverén keresztül vezérelhetjük a rendszert. A kihelyezett egységekkel 2,4GHz-s rádióon, illetve csavart érpáros buszon keresztül történhet a kommunikáció. A hardveren univerzális illesztőport került kialakításra, így tetszőleges kommunikációs interfészekkel bővíthető a rendszer. Fontosnak tartottuk, hogy az olyan elterjedt megoldásokon kívül, mint például az RS-485 interfész alkalmazása, viszonylag új, kifejezetten épületautomatizálásra kifejlesztett lehetőségeket is kipróbáljunk. Egy ilyen egyre nagyobb teret nyerő lehetőség a KNX, melynek megismerését és vizsgálatát megcélozva külön KNX kártyát terveztünk az egységhez. A központi egységet egy ARM Cortex-M4 magos mikrokontroller vezérli, a konfigurációs adatok tárolását pedig egy

microSD kártya biztosítja. A hardver közvetlenül 230V hálózati feszültségről működtethető, emiatt a hardver tápegység-rendszerének tervezésekor a szabvány által előírt érintésvédelmi módszereket alkalmazva kiemelten ügyeltünk a felhasználó biztonságára.

A központi egység mellé tervezett kihelyezett egységeken bővítő csatlakozókon keresztül lehet tetszőlegesen kombinálva gáz, CO, CO<sub>2</sub>, alkohol szenzorokat csatlakoztatni. A kényelmi funkciókért egy hőmérséklet és páratartalom mérő szenzor felel. A beavatkozást két, tetszőleges eszközt vezérlő relé végzi. A 2,4GHz-s rádióon kívül itt is egy univerzális illesztőport felel a kommunikációt biztosító kiegészítő panelek csatlakoztatásáért.

A dolgozat kitér az épületautomatizálási területen alkalmazható kommunikációs interfészek előnyeire és hátrányaira. Vizsgáljuk a modularitás és az egyszerű bővíthetőség kérdését, valamint kiértékeljük az elméleti megoldások gyakorlati megvalósításának lehetőségeit.

# Bevezető

Napjainkban akadályokba ütközik egy minden szempontból megfelelő, könnyen kezelhető épületautomatizálási rendszer kialakítása. A jelenleg piacon levő termékek csak nagyon kicsit vagy egyáltalán nem kompatibilisek egymással. Az automatizálás során felmerülő speciális igények kielégítése aligha jöhet szóba, mivel a jelenlegi rendszerek nehezen bővíthetőek, illetve sokszor a távoli beavatkozás sem biztosított.

Munkánk során feladatul tűztük ki egy teljes értékű épületautomatizálási tesztkörnyezet fejlesztését és megépítését. A hangsúlyt a modularitásra, bővíthetőségre, egyszerű kezelhetőségre és irányíthatóságra helyeztük. A környezet egy irányítási és vezérlési feladatokat ellátó központi egységből, valamint három darab kihelyezett egységből tevődik össze. A kihelyezett egységek végzik a mérési és beavatkozási feladatokat.

A végzett kutatómunka a kommunikációs lehetőségek megismerését célozta meg. Az opciók megismerése után döntöttünk a KNX rendszer alkalmazása mellett. Lefektettük az elvárásainkat a rendszerrel szemben, majd ezek alapján terveztük meg a hardvert. A hardver megépítése után felélesztettük a hardvereken található modulokat, áramköröket. Ezután kialakítottuk a hálózatot a központi egység és a kihelyezett egységek között. Sikeresen felélesztettük a különböző kommunikációs interfészeket, majd kialakítottuk a kommunikációs protokollt.

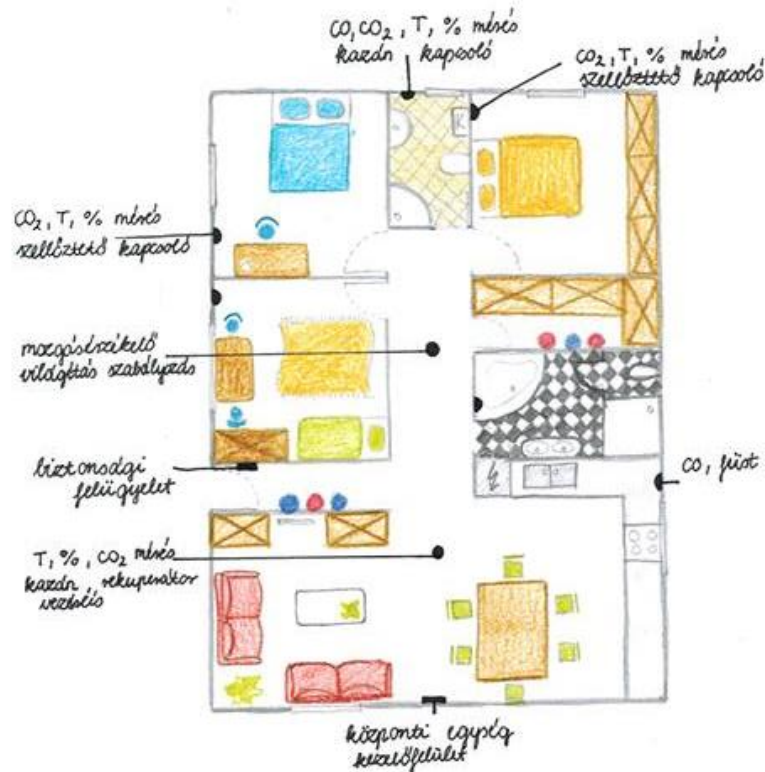
A továbbiakban megterveztük az egységek pontos működését, kialakítottuk a szoftverek vázait, majd az egyes hardverekhez elkészítettük a működtető függvény-könyvtárakat. Létrehoztunk egy ergonomikus és esztétikus kezelőfelületet a központi egységhez. Végül megírtuk a központi egység, valamint a kihelyezett egységek működtető szoftvereit.

Ezután elkezdjük tesztelni az egyes modulokat, kijavítottuk a hibákat. A tesztelés során vizsgáltuk, hogy mely kommunikációs formák milyen környezetben és feltételek mellett állják meg helyüket, melyeknél van a legkevesebb adatvesztés, illetve melyek alkalmasak leginkább egy megbízható hálózat kiépítésére. Az épített tesztkörnyezet adottságait bár már itt is kihasználtuk, ennél még sokkal több kommunikációs és adatgyűjtési lehetőség megismerése vált lehetővé az általunk fejlesztett tesztkörnyezettel.

Végezetül ellenőriztük, hogy a létrehozott rendszer mennyire felel meg a célkitűzéseinknek, illetve megvizsgáltuk a továbbfejlesztés és bővíthetőség kérdését is.

# 1. Rendszerkonceptió

Az elképzelt rendszer épületautomatizálási feladatokat lát el, moduláris, mégis egységes. A modulok az adott helyiségben ellátandó feladatoktól függően különböznek. Egy helyiségben mégsem kötelezően egy egység helyezkedik el, a cél az, hogy általános igényekhez igazítsuk az egységek funkciót. Igények lehetnek például az elterjedt légkondicionáló és kazán vezérlésén kívül a párologtató, fan-coilok, rekuperátorok (hőcserélős szellőztető) vezérlése. Bizonyos esetekben elvárás lehet a megújuló energiaforrásokat kiaknázó rendszerek – napkollektorok, kisebb szélérőművek, geotermikus hőszivattyú – vezérlése. Továbbá olyan életmentő funkciók integrálása is elvárás lehet, mely esetleges mérgező gázokat érzékel, majd ennek függvényében riaszt, és azonnal bekapcsolja a szellőztetőrendszert. Az életmentő funkciókat kiegészítik a vagyonsvédelemre vonatkozó követelmények, például riasztórendszer üzemeltetése vagy videós kaputelefon installálása. Egy modern rendszerrel szemben támasztott igény lehet mindezen funkciók akár több ezer kilométerről való felügyelete, az egyes vezérlési folyamatokba való beavatkozás is.



1.1. ábra: Épületautomatizálási felhasználás

Bizonyos esetekben viszonylag egyértelmű, hogy az elvárt funkciót hogyan valósítsuk meg. Például amennyiben a hőmérséklet a beállított érték alá csökken, a fűtőrendszert működésbe kell hoznunk. Kevésbé egyértelmű a forgatókönyv arra az esetre, ha azt szeretnénk, hogy a hőérzet legyen állandó. Azonos komfortérzetet érhetünk el alacsonyabb hőmérséklet és magasabb páratartalom kombinációjával, ezzel csökkentve a fűtési költségeket.

A lehetőségek végtelenek, rengeteg személyes preferencia beállítására, a szokások figyelésére és az optimumok meghatározására van szükség egy olyan rendszerhez, ami a felhasználó ténylegesen minden igényét kielégíti. Ez a magas szintű kifinomult vezérlés akkor tekinthető megvalósultnak, amikor a ház „okosabb”, mint a benne lakók, azaz hamarabb érzékeli azt, hogy fűledt a levegő, minthogy a felhasználó kinyitná az ablakot, hamarabb kapcsolja fel a folyosó világítását, minthogy az éjszakai vándorló a kapcsoló után nyúlna, hamarabb riasztja el a betörőt, minthogy felébrednénk az idegen neszekre.

Ilyen szinten kifinomult rendszer napjainkban nem létezik, annak ellenére, hogy minden háttértudásunk megvan hozzá, minden elektronikai eszköz biztosított. Dolgozatunkban mi sem egy minden igényt kielégítő rendszert mutatunk be, de próbáljuk feszegetni a lakásautomatizálási rendszerek határait. Azon kívül, hogy az említettek közül meglehetősen sok funkciót megvalósítottunk, egy működőképes tesztkörnyezetet építettünk az épületautomatizálási protokollok vizsgálatára. Az említett rendszer teszteléséhez mindenképpen szükséges több kommunikációs lehetőség implementálása is, hiszen így tudunk összehasonlításokat végezni.

Céljaink két pillérre illeszkednek. Egyrészt teljes értékű eszközöket kívántunk létrehozni, melyek hardveresen és szoftveresen is hibamentes működésre képesek. Másrészt fontosnak tartottuk, hogy a rendszer továbbfejleszhető legyen, illetve, hogy tanulási lehetőségeket is biztosítson. A tanulási célzatot a már jól ismert protokollok implementálása jelenthetné, míg a fejlődés újabb protokollok és funkciók integrálásaként valósulna meg. A legfontosabb fejlődési irányt a KNX épületautomatizálási szabvány megismeréseként határoztuk meg. Ennek érdekében egy olyan tesztkörnyezet került kialakításra, mellyel az adó-vevő egység működése monitorozható.

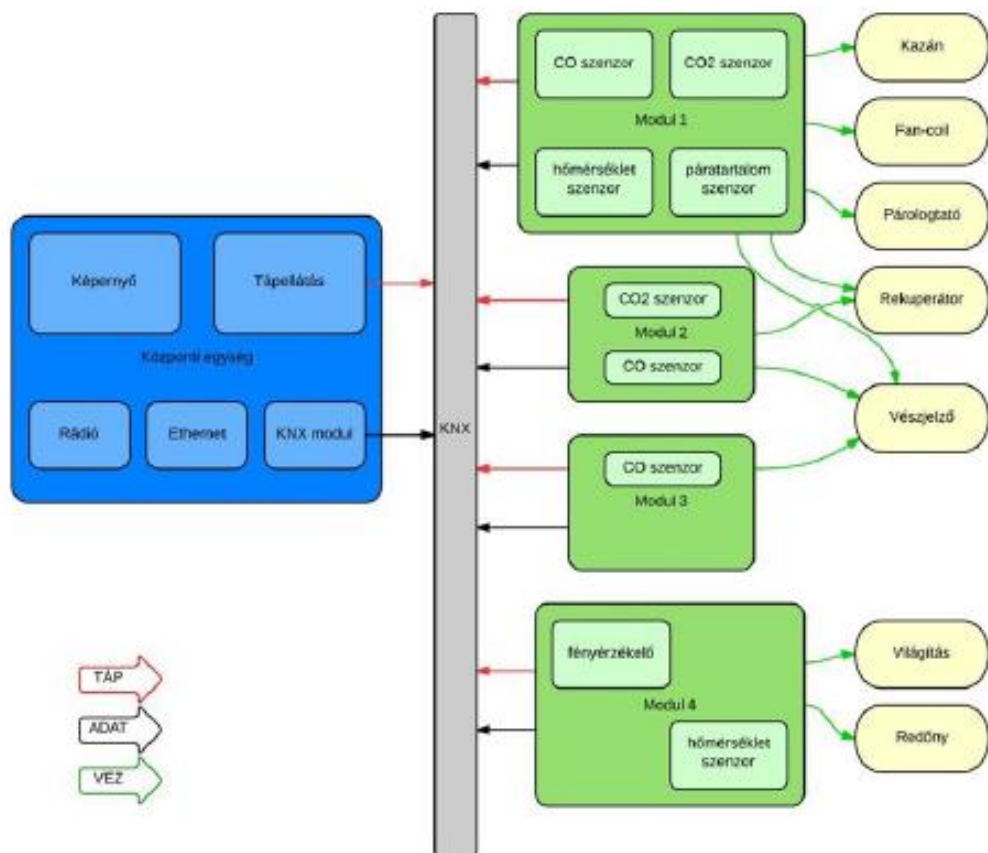
A tervezett rendszer kétféle eszközből épül fel: egyrészt a felhasználóval kommunikáló, magasabb szintű vezérlési feladatokat ellátó központi egységből, másrészt a mérési és beavatkozási funkciójú kihelyezett egységből áll. A központi egység nem feltétlenül kizárólagos vezérlő. Elképzelhető, sőt támogatott olyan rendszer létrehozása, mely több



központi egységet felhasználva elosztott rendszerként működik. Az elkészített kihelyezett egység rengeteg olyan funkciót tartalmaz, mely a felhasználás során biztosan nem egy eszközben helyezkedne el, redundáns például a kommunikáció kialakítása a központi egységgel, illetve rengeteg szenzor csatlakoztatható a panelekre.

A kommunikációs perifériák sokaságának, mint a vezetékes kommunikáció, a rádió, a Bluetooth, az USB és az Ethernet integrálásakor célunk az volt, hogy a gyakorlatban felmerülő fejlesztési igények a megépített készülékeinkkel kiszolgálhatóak legyenek

Egyforma panelek gyártásának a fejlesztési költségek csökkentése miatt van szerepe, azonos nyomtatott áramkörü tervek esetén így kikerülhetők a nyomtatott huzalozású lemez gyártásakor felmerülő egyszeri költségek többszörös kifizetése, valamint új perifériákkal való bővítéskor csak egy pár négyzetcentiméteres nyomtatott áramkör legyártása szükséges. Pillanatnyilag a kihelyezett egységek a beültetett alkatrészek függvényében differenciálhatók.



1.2. ábra: Rendszerkoncepció

Az 1.2. ábra szemlélteti az alegységek és a rajzon egyedüli központi egység kapcsolatát, illetve azok főbb funkcióit. Látható, hogy az egyes modulokban különböző célokra megfelelő érzékelők jelennek meg, az adott egységek pedig a hozzájuk logikailag kapcsolódó berendezéseket vezérlik.

A ténylegesen megvalósult hardver a koncepciótól lényegesen eltér a kibővített funkcionalitás és a különböző alegységekből egybeolvasztott egységes eszközök miatt. A differenciálásra vonatkozó esetleges igények felmerülésekor ez az állapot könnyen változtatható.

A tervezés során vezetékes és vezeték nélküli kommunikációs lehetőségeket is megvizsgáltunk. Alapvetően a vezetékes kommunikációs megoldásokat preferáljuk, mivel sokkal megbízhatóbb működést garantálnak, vagy a vezetékes kommunikáció alkalmanként egyedüli lehetőséggé válik azzal, hogy egy-egy épületen belül előfordulhatnak a rádió adásvételre alkalmatlan, leárnyékolt helyek. A rádió használatát sokszor az is hátráltatja, hogy a vasbeton technológia önmagában is komoly árnyékoló hatással bír a 2,4 GHz-es átvitel számára. A vezetékezés hátrányai közé tartozik a nehezített, költséges beépítés, illetve az eszköz helyhez kötöttsége. A negatív szempontokat figyelembe véve fontosnak tartottuk a vezeték nélküli kommunikáció lehetővé tételét is. Elképzelhető ugyanis olyan eszköz, melyet mozgatva szeretnénk működtetni, vagy éppen olyan helyen szeretnénk elhelyezni, ahol a közelben nincs kiépítve a vezetékes hálózat. Vezetékes kommunikációhoz a csavart érpárt, vezeték nélkülihez pedig a rádióhullámokat választottuk közvetítőnek.

## 2. Elméleti áttekintés

A tesztkörnyezet fejlesztése során több, számunkra eddig ismeretlen kommunikációs protokollt, és az ezeket támogató technológiákat ismertünk meg. A 2,4GHz-es ISM sávon működő rádió, az RS-485 fizikai rétegen megvalósított UART és a sodort érpáron üzemelő KNX lényegiekben eltérő kommunikációs módszerek. A következőkben az egységek közötti kommunikációs lehetőségeket protokoll és fizikai réteg szerinti vizsgáljuk.

### 2.1 2,4 GHz Rádió

#### 2.1.1 ISM

Az ISM sávok (Industrial, Scientific and Medical radio bands) az egész világon ipari, tudományos és orvosi célokra vannak fenntartva, tehát kifejezetten nem telekommunikációs feladatokat látnak el. Mivel bizonyos fenti célokat ellátó eszközök olyan nagy energiával sugározhatnak, hogy nagy távolságból is zavarhatnák a többi eszközt, így ezek az alkalmazások meghatározott frekvenciasávokra korlátozódnak. [1]

MHz	MHz	GHz
322 – 335.4	1718.8 – 1722.2	3.6 – 4.4
399.9 – 410	2200 – 2300	4.5 – 5.15
608 – 614	2310 – 2390	5.35 – 5.64
960 – 1240	2483.5 – 2500	7.25 – 7.75
1300 – 1427	2655 – 2900	8.025 – 8.5
1435 – 1626.5	3260 – 3267	9 – 9.2
1645.5 – 1646.5	3332 – 3339	9.3 – 9.5
1660 – 1710	3345.8 – 3358	10.6 – 12.7

2.1. ábra: ISM sávok

A hatóságok többnyire EIRP-ben adják meg a kisugárzott teljesítmény maximumát. Az EIRP (Effective Isotropic Radiated Power), azaz az izotróp antennához viszonyított kisugárzott teljesítmény értékét úgy kapjuk meg, ha az antennába bevezetett teljesítmény értékét megszorozzuk az antenna nyereség teljesítmény arányszámával.

Az EIRP számítását elvégezhetjük az elektromos térerősség és az adótól való távolság ismeretében is:

$$EIRP [dBm] = 10 \log \left( \frac{4\pi \times E^2 \times r^2}{0.377[V^2]} \right)$$

ahol  $E$  az elektromos térerősség és  $r$  az adótól való távolság.

Az ERP (Effective Radiated Power) az EIRP-hez hasonló mérőszám, mely a fél hullámhosszú dipólus antennához viszonyít, sokkal reprezentatívabb ugyanis egy valódi antennát egy fél hullámhosszú dipólussal összevetni, mint egy izotróp antennához viszonyítani annak működését. Az ERP tehát azt a teljesítményt fejezi ki, mellyel egy fél hullámhosszú dipólust kellene meg táplálni ahhoz, hogy adott a távolságban ugyanazt a térerősséget érzük el, mint amit a vizsgált eszköz biztosítana. Az antennanyereség gyakran az izotróp antennához képest decibelben van kifejezve (dBi), és fél hullámhosszú dipólusoknál legfeljebb 2,15 dBi lehet. Ezek alapján a maximális nyereség irányában az átszámítás a két mennyiség között:

$$ERP = EIRP - 2.15 \text{ dB}$$

Az Európai Unióban a nem licenz köteles eszközök adatait és a hatóságilag korlátozott maximális ERP értékeket a következő táblázat foglalja össze.

Frequency Band	Application	ERP	Duty Cycle	Channel Bandwidth
402 – 405 MHz	Ultra Low Power medical Implants	-16 dBm	No limits	25 kHz <sup>(1)</sup>
868.6 – 868.7 MHz	Alarms	+10 dBm	< 0.1%	25 kHz <sup>(1)</sup>
869.2 – 869.25 MHz	Social Alarms	+10 dBm	< 0.1%	25 kHz
869.25 – 869.3 MHz	Alarms	+10 dBm	< 0.1%	25 kHz
869.65 -869.7 MHz	Alarms	+14 dBm	< 10%	25 kHz
863 – 865 MHz	Radio Microphones	+10 dBm	No limits	200 kHz
863 -865 MHz	Wireless Audio Applications	+10 dBm	No limits	300 kHz
1785 – 1800 MHz	Radio Microphones	+7.85 dBm	No limits	200 kHz
2400 – 2483.5 MHz	Wideband data transmission	+17.85 dBm	No limits	No limits <sup>(2)</sup>
2446 – 2454 MHz	Railway applications	+24.85 dBm	No limits	No limits
2400 – 2483.5 MHz	Motion sensors	+11.85 dBm	No limits	No limits
2446 – 2454 MHz	RFID	+24.85 dBm	No limits	No limits
2446 – 2454 MHz	RFID	+33.85 dBm	< 15%	No limits

<sup>(1)</sup> The whole frequency band may be used as one channel for high speed data transmission

<sup>(2)</sup> Maximum power density  $\leq 7.85$  dBm/1 MHz for DSSS systems and  $\leq 17.85$  dBm/100 kHz for FHSS systems

2.2. ábra: ISM sávok felhasználási területei

## 2.1.2 GFSK

A GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) egy frekvencia modulációs módszer, mely Gauss szűrőt használ a bináris adatok váltakozásának simítására, ezzel csökkentve az átvitelhez szükséges sáv szélességet. A módszert olyan szabványok használják, mint például a Bluetooth, DECT és Wavenis.

Az átvitt jel  $s(t)$  egy állandó amplitúdójú,  $\omega_{IF}$  körfrekvenciájú, változó fázisú koszinuszként írható le.

$$s(t) = A \cos(\omega_{IF}t + \varphi(t))$$

$\varphi(t)$  a küldött bitekből az alábbi módon állítható elő:

$$\varphi(t) = h\pi \int_{-\infty}^t \sum_i a_i \gamma(\tau - iT) d\tau ,$$

ahol

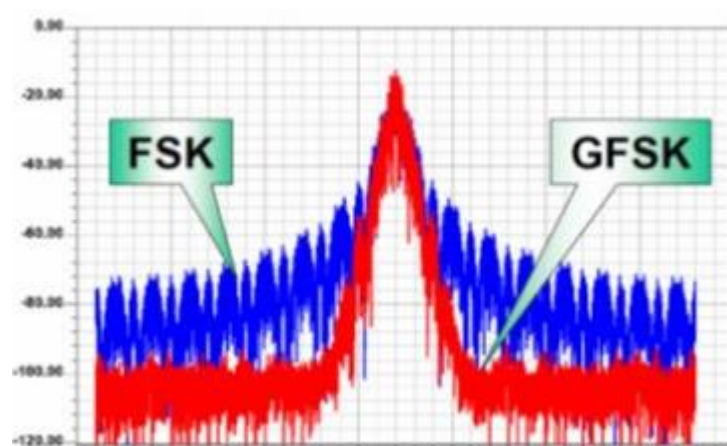
$h$  a modulációs mélység,

$a_i$  a küldött bitek értékétől függ, ha az  $i$ -edik bit 1-es, akkor  $a_i = 1$ , ha az  $i$ -edik bit 0, akkor  $a_i = -1$

$\gamma(t)$  a frekvencia pulzus. Ha nem alkalmaznánk Gauss Szűrőt, akkor a pulzus egy négyszögjel lenne a  $[0, T_s]$  intervallumon

Gauss szűrőnek olyan szűrőket nevezünk, melyek impulzusválasza egy Gauss függvény. Előnye, hogy egységugrásra, mely ez esetben a bitváltásokat jelöli, nincs túllövése, de a felfutási és lefutási időt mégis jelentősen csökkenti. A Gauss szűrő egyrészt simít a négyszögjelen, másrészt kiszélesíti a frekvencia pulzust, így az egy szimbólum-periódusnál szélesebb lesz. A négyszögjel simításával elkerüljük a nagyfrekvenciás komponensek megjelenését kapcsoláskor, ezáltal a frekvenciahullámzás  $\omega_{IF}$  körül kisebb, mint egyszerű FSK esetében, és ezáltal csökkentettük az átvitel sávszélességét.

[2]



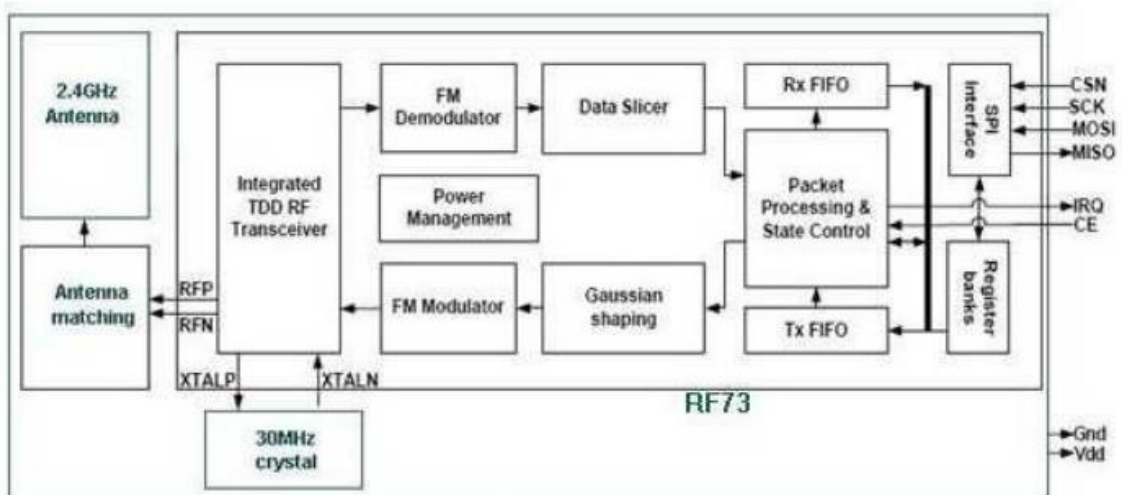
2.3. ábra: FSK ÉS GFSK moduláció sávszélessége

**Error! Reference source not found.**

### 2.1.3 RFM73P-S2

Az egységek közötti vezeték nélküli kommunikáció biztosítására a Hope Microelectronics RFM73P-S2 modulját választottuk. A kiválasztott rádiómodul 2,400 – 2,4835 GHz-es ISM frekvenciasávban működik GFSK modulációt használva.

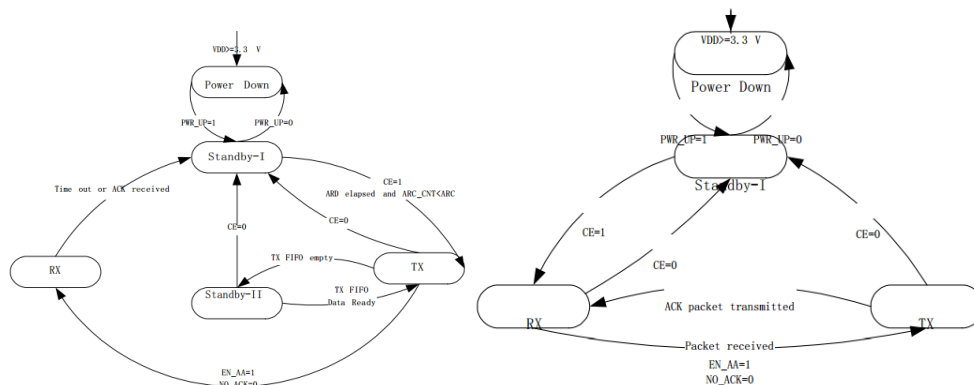
Az alábbi ábra szemlélteti a rádiómodul felépítését. A mikrokontrollertől SPI interfészen keresztül kapott adat regiszterbankokba íródik, majd egy FIFO tárolón áthaladva jut a csomagkezelő egységbe. Innen Gauss formálás és modulálás után csatolható az antennára a jelünk. Az adatok vétele is hasonlóan történik, demodulálás után az adatsorokat részekre vágjuk, majd a csomagkezelő egy FIFO tárolóba írja azokat. Innen az adatok a már említett regiszterbankokba kerülnek, ahonnan SPI-on keresztül olvashatók ki.



2.4. ábra: Rádiómodul funkcionális blokkvázlata

Az átviteli sáv közepét az RF\_CH regiszter segítségével állíthatjuk 1MHz-es felbontásban, ezáltal a vivőfrekvencia:  $F_0 = 2400 + RF\_CH(MHz)$ . A specifikáció szerint 1 vagy 2 Mbps küldési sebességre képes, a kisugárzott teljesítmény -5dBm és 20 dBm között állítható, a hasznos üzenet (payload) hossza ugyancsak tetszőlegesen 1 és 32 bájt között mozoghat.

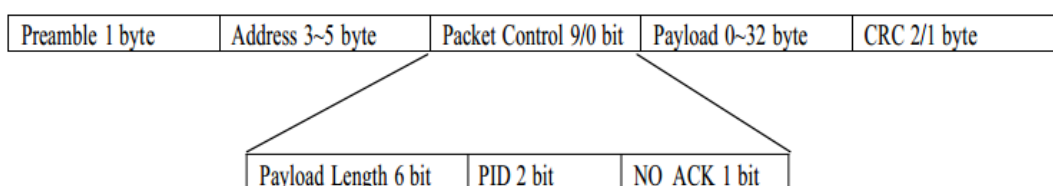
A modul állapotai között a megfelelő regiszterek állításával lépegethetünk. A működés szempontjából a legfontosabb a vevő és az adó állapot közti választás, mely a PRIM\_RX regiszter értékétől függ. Az adás megkezdése előtt a TR\_EN (transmit enable) lábat is egyes jelszintre kell húzni.



2.5. ábra: RFM73P rádió modul állapot-diagramja

A rádió modul egy darab adócsatornával és hat darab vevőcsatornával rendelkezik. Ezáltal könnyen kialakítható egy csillag topológiájú hálózat több modul között is. Figyelni kell arra, hogyha az automatikus nyugtázás funkció be van kapcsolva, akkor az adó és a nullás számú vevő csatorna címe meg kell, hogy egyezzen. Ezen funkció alkalmazásával tehát egy időben maximum 5 darab másik eszközzel tud egy rádió modul kommunikálni.

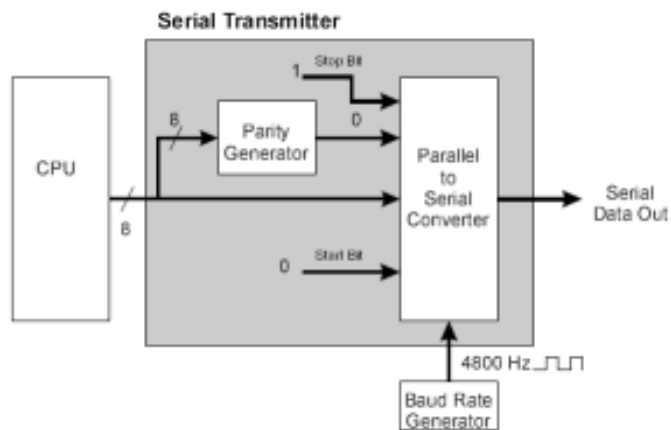
A kommunikációs csomag a továbbítani kívánt adatoknál sokkal több információt tartalmaz. A csomag egy szinkronizációt segítő bevezető bájtal kezdődik, mely a vevőegységnek segít a 0 és 1 bitek detektálásában. Ha a cím első bitje 1, akkor a bevezető bájt értéke 10101010, ha pedig a cím első bitje 0, akkor ez a bájt a 01010101 értéket veszi fel. Ezután következik a megcímzett vevőegység címének továbbítása, mely 3-5 bájton történik. Az üzenet következő egysége a vezérlőmező, mely csak akkor kerül továbbításra, ha dinamikusan változik a hasznos üzenet mérete. Ekkor 6 biten továbbítódik a hasznos üzenet hossza, 2 biten az üzenet típusát (új/ újraküldött) küldi az adó, majd 1 biten az automatikus ACK jelzés küldésének lehetőségét közli a vevővel. Ezután következik a maximum 32 bájt hosszú hasznos üzenet, ami a tényleges üzenetet tartalmazza. A csomagot a hibadetektálás céljára fenntartott CRC mező zárja. Ez a cím, a vezérlőmező és a hasznos üzenet adatai alapján, az  $X^8 + X^2 + X + 1$  szabály szerint kalkulált értéket tartalmazza 1 vagy 2 bájt területen.



2.6. ábra: Üzenetek felépítése

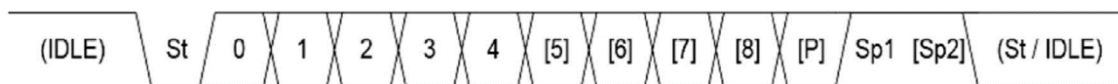
## 2.2 UART – RS-485

Az UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) egy pont-pont típusú aszinkron adatátviteli technika, mely tipikusan 110-115200bps sebességre képes. Az ábrán a kommunikációt megvalósító adóegység vázlatja látható. A modul a vezérlőegységtől kapott adatok alapján paritást számol, majd az adatokat egy keretbe foglalva küldi a beállított baudrate alapján.



2.7. ábra: UART adómodul blokkvázlata

A kommunikációt biztosító busz alapállapotban magas jelszinten van, így a kommunikáció a busz alacsony jelszintre húzásával kezdődik. Az átvitel aszinkron, azaz órajel továbbítása nem történik meg a kommunikáció során, a szinkronizáció a start bit lefutó élére történik. Ezután az egység LSB-vel kezdődően kiteszi a buszra az adatbitek, majd a kalkulált paritás bitet is elküldi, végül elengedi a buszt, mely a magas jelszintű dominancia miatt logikai egyes értéket vesz fel. A szabvány az adatbitek számát, a paritásbit jelenlétét, illetve a stop bitek számát nem specifikálja, így implementáláskor mindig le kell fektetni az adott kommunikációra vonatkozó adatokat (pl. 8E1: 8 adatbit, páros paritás, 1 stopbit vagy 9N2: 9 adatbit, nincs paritás, 2 stopbit).



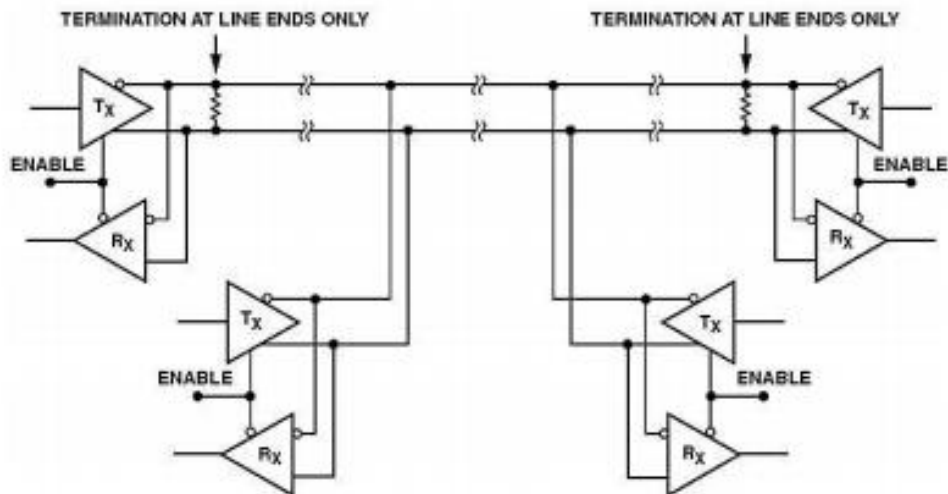
2.8. ábra: UART adatkeret felépítése



Az adatkeret felépítése tehát:

- 1 startbit, kötelezően 0 jelszint
- 5-9 adatbit
- 1 paritásbit, nem kötelező küldeni, küldése esetén vagy páros, vagy páratlan paritáshoz igazodik
- 1 / 1,5 / 2 stopbit, kötelezően 1 jelszint

Az RS-485 (Revised Standard 485) szabvány a széleskörűen elterjedt RS-232-nél sokkal gyorsabb differenciális kapcsolat kialakítására képes. A szabvány szerint ez a fizikai réteg félduplex multipont kapcsolatot alakít ki legfeljebb 32 adó és 32 vevő egység összekapcsolásával. Az eszközök párhuzamosan csatlakoznak a csavart érpár kialakítású buszrendszerre.



2.9. ábra: RS-485 fizikai réteg megvalósítása

Az RS-485 fizikai réteg preferálását az RS-232-vel szemben már az indokolja, hogy így több eszköz kapcsolható össze, mely esetünkben elengedhetetlen lesz, de a további kedvező paramétereket is ismertetjük egy összehasonlító táblázat segítségével. A számunkra legfontosabb paraméter a felsoroltak közül az áthidalható távolság mértéke, mely RS-485 esetén akár 1200 méter is lehet, ez pedig tökéletesen kielégíti az épületautomatizálási felhasználás által felállított igényeket.

	RS232	RS485
Differential	no	yes
Max number of drivers	1	32
Max number of receivers	1	32
Modes of operation	half duplex full duplex	half duplex
Network topology	point-to-point	multipoint
Max distance (acc. standard)	15 m	1200 m
Max speed at 12 m	20 kbs	35 Mbs
Max speed at 1200 m	(1 kbs)	100 kbs
Max slew rate	30 V/ $\mu$ s	n/a
Receiver input resistance	3..7 k $\Omega$	11 12 k $\Omega$
Driver load impedance	3..7 k $\Omega$	54 $\Omega$
Receiver input sensitivity	$\pm$ 3 V	$\pm$ 200 mV
Receiver input range	$\pm$ 15 V	-7..12 V
Max driver output voltage	$\pm$ 25 V	-7..12 V
Min driver output voltage (with load)	$\pm$ 5 V	$\pm$ 1.5 V

2.10. ábra: RS-232, RS-485 fizikai rétegek összehasonlítása

## 2.3 KNX

A Konnex Association 1999-ben három, épületautomatizálással foglalkozó egyesület, az EIBA (European Installation Bus Association), az EHSA (European Home Systems Association) és a BCI (BaltiBUS Club International) összefogásával jött létre. Az egyesülés célja egy széleskörűen használható, kényelmi, szórakoztatási, felügyeleti és egészség megőrzési célokat biztosító rendszer kialakítása volt. A Konnex Association, mely a KNX rendszerre épülő eszközök gyártóit tömöríti, a tulajdonosa a KNX világszabványnak. KNX rendszert használtak többek között a Bécsi Tudományegyetem új épületeinek automatizálásakor, illetve a Dubai Nemzetközi Reptér „A” csarnokának építésekor is.

Az épületautomatizálási rendszerek felé irányuló alapvető elvárások közé tartozik a felhasználó komfortérzetének növelése, az épület üzemeltetési költségeinek visszaszorítása, biztonsági funkciók integrálása, távfelügyeleti lehetőségek megteremtése. Mindezekon kívül a KNX rendszer megalkotásakor a tervezők egy olyan rendszer kialakítását tűzték ki célul, mely a különböző gyártók termékeinek kompatibilitását maximálisan biztosítja, továbbá magas fokú megbízhatóságot garantál, és az eszközök integrálását egyszerűen, képzett szakemberek segítségével teszi lehetővé.

A biztosított funkciók bár teljes mértékben összeegyeztethetők napjaink technológiai színvonalával, mégse tapasztaljuk azt, hogy az újonnan épült középkelet-középkategóriás házak tartalmaznának ilyen rendszereket. Még azt sem állíthatjuk, hogy ez egy új technológia, mely kellő tapasztalat hiányában még nem nyert teret a lakossági felhasználásban, hiszen a szabványt gondozó egyesület már 25 éve működik. Vajon miért nem hódít az épületautomatizálás területén egy olyan rendszer, melynek funkcióira mindenképpen lenne igény, hiszen minden háztartásban alapvető szempont a kiadások kordában tartása, és minden otthon a kényelem legmagasabb szintű megteremtésére törekszik? Az ABB csoport weboldalán közel 300 eurós listaáron szerepel a minősített KNX tápegység, a grafikus felülettel rendelkező vezérlőmodulért 1700 eurót kérnek, és még egy egyszerű hőmérséklet-szenzor is 37 eurós kiadást jelent. Ez bár csak egy gyártó néhány kiragadott eszközének példája, de a többi piaci szereplő is nagyságrendileg ebben az árkeletóriában értékesít. Feltételezhetjük, hogy a rendszer kiépítése nem csak egy szobát érintene, hiszen csak az egész lakótérre kiterjedő hálózat biztosíthatja az elvárt funkciókat. Így ez egy nagyjából 50 millió forintos építési költségű családi ház esetén bőven meghaladja azt a 1,5-2,5 millió forintos sávot, mely a szokásos költségét jelentené egy tetszőleges épületautomatizálási rendszernek. A hazai szereplők ugyanis ezt a 3-5%-os részesedést nevezik meg az épületinformatikai rendszer kiépítésének az összes építési költségre eső vetületeként.

A magas szintű minőségi követelmények, a kompatibilitás kiterjedtsége, és a rendszer kevésbé elterjedt volta miatt mindenképpen érdemes foglalkozni a szabvány megismerésével. A jelenleg elérhető eszközök ára aránytalanul magas a biztosított funkciókhoz képest, így egy hasonló rendszer kialakítása, vagy a KNX szabványt kezelő eszközök fejlesztése igencsak kifizetődő lehet. Azonban a KNX szabványnak megfelelő eszközök fejlesztése már az első lépéseknél akadályokba ütközik, ugyanis bár a szabvány elvileg nyílt, a dokumentációk több részletben, elszórva találhatóak csak meg, és az IC gyártók is nehezen működnek együtt magánszemélyekkel. Bár a KNX honlapon rengeteg információt szerezhethetünk a rendszerről, ezek mégis nehezen állnak össze egy teljes értékű dokumentációvá. Az említett transceiver IC-k beszerzése is nehézkes volt, a két gyártó (Onsemi, Elmos) egyike sem biztosít mintákat, és a kis példányszámú rendelés sem lehetséges. Végül az Elmos chip-jét sikerült beszereznünk a magyarországi képviselőtől. Az IC dokumentációja egy mintakapcsoláson és az alapvető tudnivalókon kívül nem sok

információt biztosít a felhasználás és programozás lehetőségeiről, és az IC-hez tartozó fejlesztőeszköz is 50 ezer forintért szerezhető csak be.

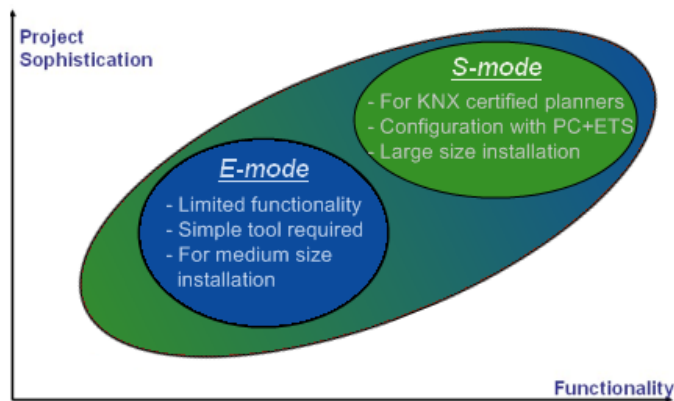
Az ismertetett hozzáférhetőségi problémák miatt a KNX egy meglehetősen zárt rendszernek számít. Pont a hozzáférés nehézsége és a rendszerben lévő lehetőségek sarkalltak minket arra, hogy részletesen foglalkozzunk azzal, így egy olyan rendszert hoztunk létre, melyben a KNX protokoll tesztelése, megismerése fontos szerepet kap. Bár a megépített eszközök nem kizárólag erre a rendszerre épülnek, mégis lehetővé teszik, hogy a szabvány hardveres környezetben is ténylegesen kipróbálható legyen, nem pedig csak a már kész piaci eszközök kommunikációját vizsgálva, vagy szimulációkat végezve vonjunk le következtetéseket. Az épített tesztkörnyezet így azon kívül, hogy teljes értékű, működőképes, az alapoktól saját erőforrásokból felépített rendszer, lehetőséget nyújt arra, hogy a jól ismert kommunikációkat, úgy, mint a rádiós elvű vagy RS-485 interfészen keresztül megvalósított kommunikációk, a gyakorlatban is összevessük egy magas szintű biztonságot ígérő protokollal.

A rendszer legfőbb funkciója az eszközök együttműködésének megteremtése. Ezt a magas szintű kompatibilitást a szabvány három alapelv betartásával biztosítja:

- Az együttműködés megteremtése érdekében minden eszköznek beszélnie kell a KNX nyelvet, azaz az analóg jeleket megfelelő bitek és bájtok sorozataként kell értelmeznie.
- Minden KNX védjeggyel ellátott eszköz konfigurálható egy gyártó-független fejlesztőeszközzel, az ETS programmal.
- Adott funkció implementálásakor csak a specifikációnak megfelelően programozhatjuk le a folyamatot. Ennek támogatására a KNX szabványosított egy sor saját adattípust.

A gyártók a két konfigurációs módnak megfelelő implementálási lehetőségek közül választhatnak. Ez meghatározza az eszközök későbbi konfigurálásának lehetőségeit.

- A könnyített konfigurálás (Easy Mode) nyomógombokkal és központi vezérlővel biztosított, csak korlátozott funkciók érhetők el, és kisebb projektek kivitelezésekor alkalmazható.
- A rendszerszintű konfigurálás (System Mode) számítógépes szoftverrel támogatott konfigurációs folyamat, melyet képzett tervezők végeznek az egységeken. Ez a módszer már nem korlátozza a funkciókat és akár hatalmas installációk üzembe helyezésére is alkalmas.



2.11. ábra: KNX konfigurációs módok

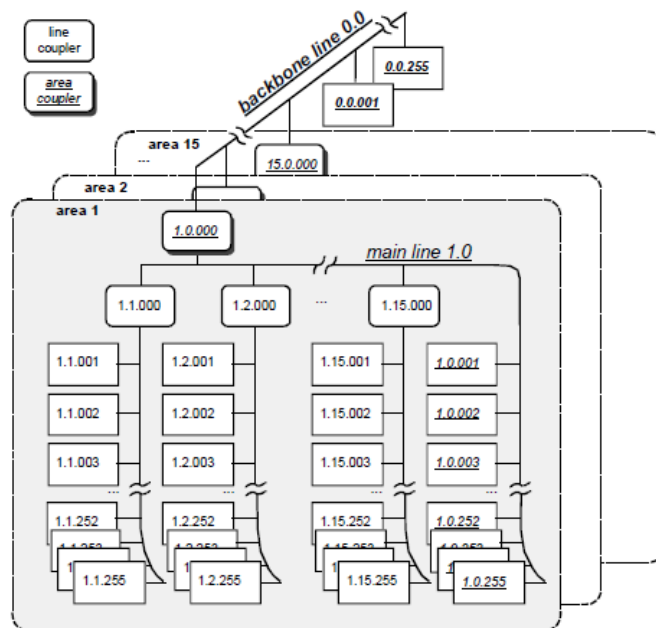
A KNX egy teljesen elosztott rendszer, mely a 16 bites címzési módnak megfelelően elméletben akár 65536 eszköz csatlakoztatását is lehetővé teszi. Ezen rengeteg eszköz csatlakoztatása csak szabályok betartásával, rendezett módon történhet. Tekintsük át a szabvány topológiai követelményeit! A rendszer legkisebb egysége a vonalszegmens, mely kötelezően egy tápegységből és maximum 64 buszrészrtvevőből áll. Legfeljebb négy vonalszegmens kapcsolódásából épül fel a vonal, mely összesen 255 egységet tartalmazhat, ennek a korlátnak későbbiekben tárgyalt interfészek miatt lesz szerepe. A vonalak csatolókkal (line coupler) kapcsolódnak egy fővonalra, mely legfeljebb 15 vonal összefogásával egy tartományt hoz létre. Maximum 15 tartomány kapcsolható a gerincvonalra, mely ezáltal összefogja az összes eszközt. Az ismertetett topológia alapján a KNX hálózat végegyiségeinek maximális száma:

$$n_{max} = (255 \cdot 15 \cdot 15) + (15 \cdot (64 - 15)) + (64 - 15) = 58159$$

A megadott képlet némi magyarázatra szorul. A fentiekben ismertetett topológia csak a rendszer felépítésének elvét ismerteti, azonban elképzelhetők olyan egységek, melyek csatolók nélkül közvetlenül a fővonalra illetve a gerincvonalra csatlakoznak. Ez mindaddig teljes mértékben megengedett, amíg egy vonalon a csatlakozó eszközök (akár végeszköz, akár csatoló) száma meg nem haladja a 64-et. Ezáltal fővonalanként és a gerincvonalon további  $64-15=49$  egység csatlakoztatása lehetséges.

A csatlakoztatható egységek (végegyiségek és csatolók) maximális száma:

$$m_{max} = 255 \cdot 15 \cdot 15 + 15 \cdot 64 + 64 = 58399$$



2.12. ábra: KNX hálózat felépítése

Ha ennél is több eszközt szeretnénk csatlakoztatni, arra a KNXnet/IP buszrendszer biztosít lehetőséget. A KNX alrendszerek IP-n keresztüli csatlakoztatása a buszrendszer és a LAN között csatolókkal oldható meg.

A KNX protokoll az üzeneteket keretezve, kiegészítő információkkal kibővítve továbbítja. Az üzenetek a rendszer szempontjából eltérő fontosságúak lehetnek, így az első bájttal, ami vezérlő feladatot lát el, tartalmazza az üzenet prioritását, illetve meghatározza, hogy a csomag normál vagy kiterjesztett formátumú. Ez után két bájttal a küldő címét, majd újabb két bájttal a megszólított eszköz címét tartalmazza. Több eszköz megszólítására is van lehetőség, ez esetben a broadcast üzenet tényét az ötödik bájttal tartalmazza, és ekkor a fogadó címe is egy csoportra utal. A hurkolódások elkerülése végett a routerek minden esetben eggyel csökkentik a keret ugrási számát (Hop Count), és a nullát elérve törlik a rendszerből az üzenetet. A hatodik és a hetedik byte a felsőbb rétegek számára (Transport Layer, Application Layer) tartalmaz információt, például tartós pont-pont kapcsolat felépítését kéri. A normál keretek ezután 14 bájttal, a kiterjesztettek pedig akár 255 bájttal adat továbbítását végzik. A küldött üzenet helyességét ellenőrizendő egy keret ellenőrző mező következik.

octet 0	1	2	3	4	5	6	7	8	...	N - 1	N ≤ 22
Control Field	Source Address		Destination Address		Address Type; NPCI; length	TPCI	APCI	data/APCI	data		FrameCheck

2.13. ábra: KNX adatkeret felépítése

A KNX eszközök közötti kommunikáció alapvetően négyféle fizikai rétegen keresztül valósulhat meg:

1. TP - Sodort érpár

Az EIB rendszer által kifejlesztett módszer alapján sodrott érpáros hálózaton 9600bps sebességű kommunikáció valósul meg. Az EIB KNX TP1 jelzéssel ellátott eszközök a kommunikációs buszra csatlakozva tudnak kapcsolatot tartani egymással.

2. PL – Powerline

Ugyancsak az EIB fejlesztette ki ezt a kommunikációs interfészt, mely 1200bps sebességű kommunikációt biztosít az eszközök között, ami az eszközöket megápláló hálózaton valósul meg.

3. RF – Rádió

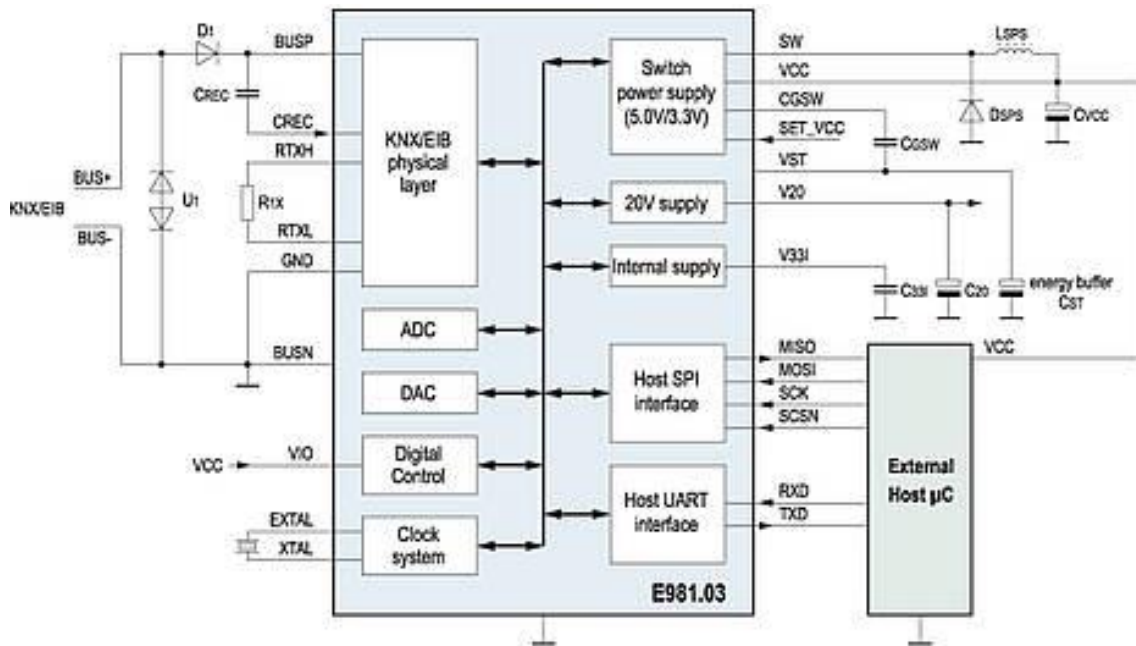
Azok az eszközök, melyek ezt a kommunikációs módot támogatják, rádióhullámokat használnak az üzenetek továbbítására. Az üzenetek küldésére a 868MHz-es frekvenciasávot használják, 16,384kbps sebességű üzenetküldést valósítanak meg, és maximum 25mW-os teljesítménnyel sugároznak.

4. IP – Ethernet

A KNX üzenetek IP csomagokba ágyazva is továbbíthatók a KNXnet/IP specifikációknak megfelelően, ezáltal LAN hálózatok illetve az Internet is biztosíthatja a KNX csomagok továbbítását.

Az alapvető elképzelésünk az volt, hogy a lehető legtöbb rendszerelem vezetékes kapcsolaton keresztül kommunikáljon egymással. Ez főként azért célszerű, mivel a tápellátást az eszközök túlnyomó többségénél mindenképpen hálózatról kell biztosítani, így a helyhez kötöttség miatt már nem jelent külön hátrányt a vezetékezés kialakítása. Az optimális eset pedig az lenne, ha a kommunikációt és a tápellátást is azonos vezeték/vezetékpár tudná biztosítani. Ez a lehetőség a sodrott érpáros KNX interfészekkel kialakítható. Ekkor a busz 30V-os egyenfeszültségű komponense biztosítja a modulok számára a tápfeszültséget, az erre szuperponált jelalak pedig az adatok átviteléért felel.

A fenti megfontolások miatt a német Elmos cég által gyártott E981.03-as KNX/EIB adó-vevő egységre esett a választásunk. [4] Az E981.03 modul TP1-256-os fizikai rétegen keresztül kapcsolódik a kommunikációs buszra. A TP1 csavart érpáron megvalósított, adat és energia továbbítására szolgáló fizikai réteg specifikáció, mely fél-duplex, kétirányú kommunikációt biztosít. A TP1-256 maximálisan 256 egység felfűzésére alkalmas, ez az alapja annak a topológiai szabálynak, hogy egy vonalon legfeljebb ennyi eszköz helyezkedhet el. [5]



2.14. ábra: E981.03 KNX modul felépítése

Az ábrán a BUSP a pozitív, BUSN a negatív buszfeszültséget jelöli. A pozitív feszültség egyenfeszültségű komponense 30V, a negatív feszültségű vezetékét leföldeljük. A javasolt alapkapcsolás szerint a felhasználónak kell gondosodnia a fordított polaritású bekötésről diódák elhelyezésével. A DC jel leválasztásáról az ábrán CREC névvel jelölt kondenzátor gondoskodik, a CREC bemenetre így már a tényleges kommunikációs jelek kerülnek. A kimeneti jelek létrehozásához az RTXH és az RTXL lábakat egy ellenálláson keresztül kell összekötnünk.

A mikrokontrollerrel a KNX kommunikációs IC tetszőlegesen UART-on, illetve SPI-on keresztül tud kapcsolatot tartani, a tervezett hardverekben minden esetben az UART kommunikációt használtuk.

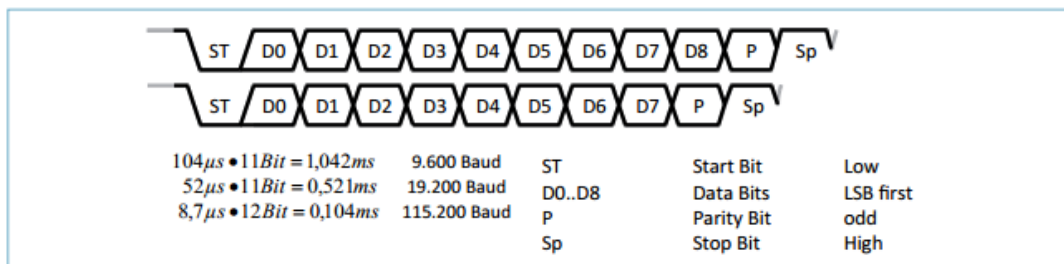


UART kommunikáció esetén az eszköz 9,6 / 19,2 / 115,2 kbps-os sebességre képes, mely két bitrate választó jellel (BS1, BS0) állítható. Nagyobb sebességek esetén opcionálisan CRC (Cyclic Redundancy Check) hibadetektáló kódolás is elérhető.

BS1	BS0	Description	CRC check useable	Remark
GND	VIO	9.6 k baud	No	
GND	GND	19.2 k baud	Yes	
VIO	GND	115.2 k baud	Yes	9-bit UART
VIO	VIO	Analog Mode	No	

2.15. ábra: Támogatott UART sebességek és elérhető funkciók

Az UART adó a feljebb tárgyalt módon az adatbitek egy keretbe foglalva csomagonként küldi a vevőnek. Az adott egységnél az adatbitek száma kilenc, a D8 bit határozza meg, hogy az adott üzenet milyen típusú. Amennyiben ennek a bitnek 0 az értéke, úgy adat bájtról van szó, logikai 1 esetén pedig az üzenet vezérlő feladatot lát el.



2.16. ábra: UART adatkeret

# 3. A megvalósított eszközök

## 3.1 Központi egység

A központi egység két, fizikailag is jól elkülöníthető részre osztható. Az egyik panel a tápfeszültség előállításáért felel, míg a másikon helyezkedik el minden vezérlő és kommunikációs elem. Ez az elkülönítés egyrészt helykihasználási okok miatt történt, hogy az eszköz illeszkedjen a kiválasztott esztétikus alumínium dobozba. Másrészt fizikailag is szerettük volna elkülöníteni a hálózati feszültség alatt levő komponenseket.



3.1. ábra: Az elkészült központi egység

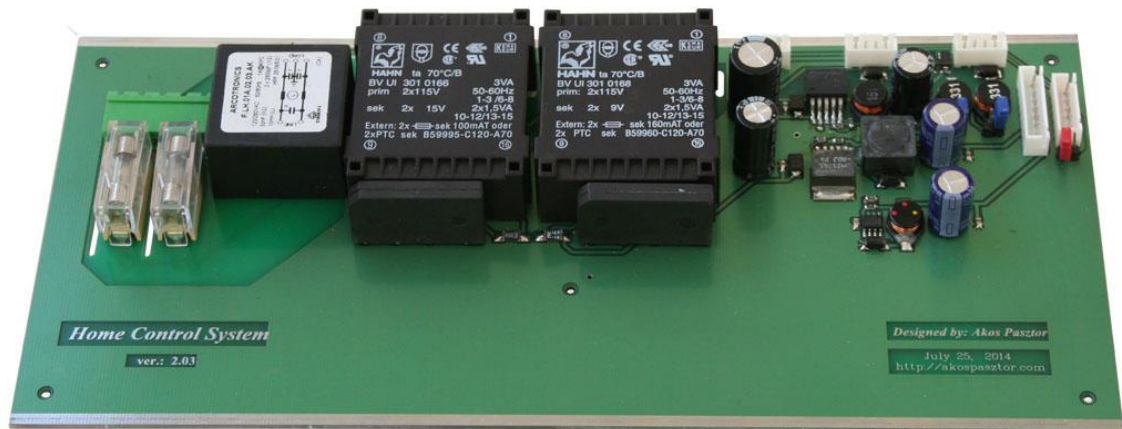
### 3.1.1 Tápegység

Az életszerűség és praktikusság miatt a központi egység közvetlenül 230V-os hálózati feszültségről megtáplálható. A 230V-ból a panel három feszültség szintet állít elő:

- 30VDC a KNX hálózatnak, mellyel így a hálózat megtáplálása is biztosított,
- 5VDC a központi egység panelén elhelyezkedő alkatrészeknek, pl. buzzer
- 3,3VDC a központi egység legtöbb alkatrészének.

A 230V-ról való táplálás külön odafigyelést igényel, nem csak az esetleges hálózati zavarok kiküszöbölésére, hanem az érintésvédelemre is figyelmet kell fordítani. A kapcsolási rajz elkészítésekor a zavarűrés, eszközvédelem a fontos szempont, majd

csak a nyomtatott áramköri huzalozás tervezésekor kell figyelembe vennünk az emberi élet védelmét szolgáló érintésvédelmi funkciókat.



3.2. ábra: Az elkészült tápegység panel

### 3.1.1.1 Kapcsolási rajz

A függelékben mellékeljük a tápegység panel kapcsolási rajzát. [Függelék I.]

A 230V nulla és fázis vezetéke először két, 100mA-es biztosítón halad át. A 230V, 100mA alapján meghatározott 23W elméleti maximális teljesítmény bőségesen elég lesz.

A jelek ezután egy hálózati zavaroszűrőre jutnak. Ennek célja, hogy kiszűrje az elektromágneses zavarokból eredő esetleges tüskéket. Akár villámlás, akár egy hálózatot leterhelő másik eszköz (például lépcsőházban lévő lift elindulása) komoly impulzusokat képes szuperponálni a hálózatra, így belső túlfeszültség és tranziensvédelem hiányában végigfutna az eszköz minden pontján és az így létrejött extrém feszültségek károsíthatják akár a teljes félvezetőkészletet.

A hálózati zavaroszűrő után a jelek két transzformátorra jutnak. Bár a transzformátorok leválasztanak galvanikusan, de átengedik az impulzusokat, így azok önmagukban nem védenek a hálózati zavarok ellen. Az egyik transzformátor a KNX hálózat üzemeltetéséhez szükséges 30V-ot, a másik pedig a kisebb feszültségek előállításához szükséges 9V-ot fogja előállítani. A használt transzformátorok mindkét oldalon (primer, szekunder) két-két kivezetést tartalmaznak. A 30V feszültség előállításához a primer oldalon és a szekunder oldalon is sorba kötjük a kimeneteket. Mivel az alkalmazott transzformátor bemenetenként 115V-osak, kimenetenként pedig 15V-osak, így a sorba kötéssel pontosan 230V bemenetet és 30V kimenetet kapunk. A másik transzformátor, mely a későbbiekben tovább osztandó 9V-os váltakozófeszültséget állítja elő,

bemenetenként maximum 115V-ot fogad, kimenete pedig 9V-os. A bemeneteket sorba kapcsolva itt is biztosíthatjuk a 230V-ot, a szekunder tekercseket párhuzamosan kapcsolva pedig biztosíthatjuk a nagyobb terhelhetőséget.

A transzformátorok után a jel egyenirányító Graetz-hídon halad át, így körülbelül 45V csúcsértékű egyenirányított váltakozófeszültséget kapunk.

A stabil egyenfeszültség előállítására kapcsolóüzemű tápegységeket használunk. A KNX hálózat 30VDC feszültségének előállításához nagyfeszültségű bemenetű tápot használunk, mely akár 60-70V-ot is elvisel. Nemcsak az 5VDC feszültség előállításához használtunk külön kapcsolóüzemű tápegységet, hanem a 3,3VDC előállításához is. Mivel aránylag magas a 3,3V-ról működő egységek száma, így célszerű közvetlenül előállítani a 3,3V-ot, nem pedig az 5V-ot tovább osztani, ezáltal nem terheljük le az 5V kapcsolóüzemű tápegységet. Az előállított 3,3V és 5V egyenfeszültséget így már közvetlenül a vezérlési feladatokat ellátó panelra vezethetjük.

A KNX számára előállított 30V egyenfeszültség még nem vezethető közvetlenül a buszra, a KNX szabvány megköveteli, hogy a tápegységnek nagyfrekvenciás szempontból szakadásként kell viselkednie a busz számára. Ezt két párhuzamosan kapcsolt tekercs biztosítja, melyek jumperekkel leválaszthatók a hálózatról, ha a fejlesztés során mégse lenne szükség rájuk. Továbbá egy harmadik jumper biztosítja a KNX föld és a rendszerföld közötti kapcsolat megteremtésének lehetőségét.

A táp panelen csatlakozók biztosítják annak a lehetőségét, hogy fejlesztés közben akár labortápról is biztosítani lehessen a 30VDC és 9VDC feszültségeket, a 230V-os hálózati feszültség okozta kényelmetlenségek elkerülése érdekében. Ez esetben nem kell komolyabb védelmet biztosítanunk, elég egy-egy védődióda elhelyezése.

Az elkészült eszközt labortápról üzemeltetve áramfelvételnként 12V-on 100mA-t mértünk, mely terhelés megoszlik az 5V-os és a 3,3V-os körökön, illetve egy része veszteség. A nagyobb áramterhelés miatt a tápfeszültség-vezetékeknél 20-30mil vezetékvezési szélességet használtunk.

### **3.1.1.2 Nyomtatott áramköri terv**

A függelékben mellékeljük a tápegység panel nyomtatott áramköri tervét. [Függelék III.]

Mivel az egész egységet úgy terveztük, hogy egy előre kiválasztott dobozban elférjen, így a tápegység esetén nem volt kritikus a helykihasználás, azonban az alumínium doboz

döntöttségéből eredő eltérő magasságok miatt ügyelni kellett a magasabb alkatrészek megfelelő elhelyezésére.

A tápellátást biztosító panel nyomtatott áramköri huzalozásának tervezésekor a hangsúly az érintésvédelmi szempontokra helyeződött. Tekintve, hogy az eszköz 230V-ról üzemel, így kritikus lehet a fenti szempontok figyelembevétele.

A biztonság érdekében minden 230V-os vezeték az alsó (bottom) oldalon helyezkedik el, az alsó oldalra pedig egy plexi réteg van erősítve, mely kellő szigetelést biztosít. A 230V-os huzalok közelében nincs rézkiöntés. Bár az alkalmazott FR4-es lemez nagyon jó szigetelési tulajdonságokkal bír a lemezttestben, azonban a felületen még így is kialakulhat áramkúszás, ha a rézkiöntés közel kerül a nagyobb feszültségű vezetékekhez. Azokon a területeken, ahol feltétlenül szükség lenne a rézkiöntés közelségére, illetve ott, ahol az alkalmazott pad-ek vagy furatok túlságosan közel vannak egymáshoz, mechanikai kimarásokat alkalmaztunk. A lemezfelület hiánya a kimarásoknál így kizárja a kúszás lehetőségét, a levegő szigetelőképessége pedig ilyen feszültségnél bőven elegendő.

A 230V a panellel vezetéken keresztül két alkalommal érintkezik: először a 230V csatlakoztatásával, másodsor pedig a KI/BE kapcsolóra való kivezetésnél. Az első esetben fázis, nulla, védőföld vezetékek érkeznek a dobozba, melyek nagyfeszültség-toleráns sorkapcsokkal vannak csatlakoztatva. A védőföld a fémdobozzal össze van földelve, a különböző feszültség-szintek pedig egy láb kihagyással csatlakoznak a sorkapocsra, ezzel biztosítva a megfelelő szigetelési távolságot. A másik kritikus helyen a fázis és nulla kapcsolásához szükséges négy kivezetésnél saruk biztosítják a csatlakoztathatóságot. Minden lehetséges helyen, ahol 230V-os vezeték csatlakozik, szigetelő zsugorcsoveket használtunk szigetelésre, így a panel érintésvédelmileg fejlesztési célokra tökéletesen megfelel.

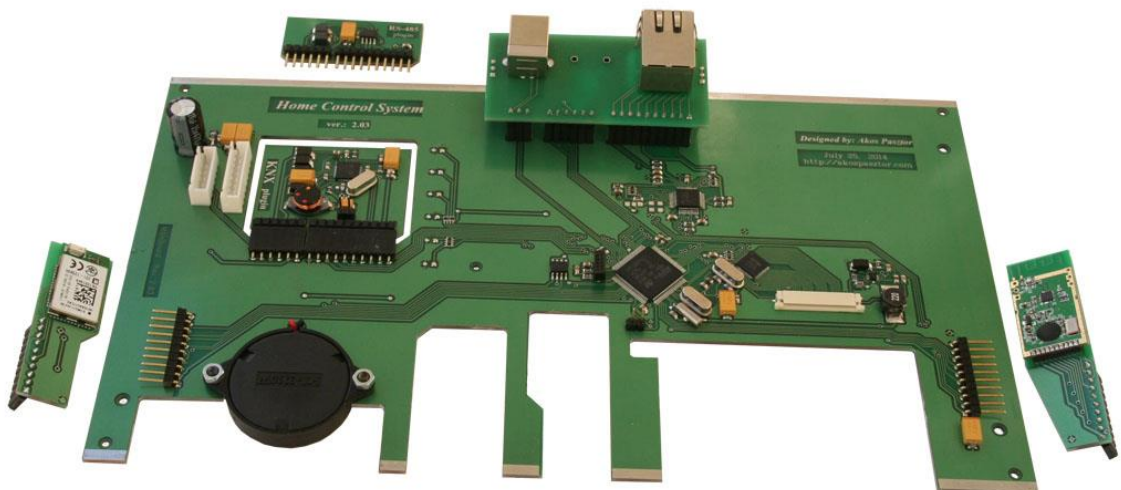
### **3.1.2 Központi panel**

A vezérlési és kommunikációs feladatokat a már említett főpanel biztosítja. Itt helyezkedik el a Cortex-M4 magos ARM mikrokontroller, az 5"-os érintőképernyős LCD kijelző, az USB csatlakozó, a microSD kártyát befogadó foglalat, a vészjelzést adó piezo hangszóró (buzzer), a Bluetooth, Ethernet, és rádió modulok.

Bár a fent említett kommunikációs interfészek már önmagukban szerteágazó lehetőségeket kínálnak a kommunikációra, azt mégis a kommunikációs kártyák

illesztésének lehetősége teszi teljessé. A fő panelen egy univerzális kommunikációs port került kialakításra, mely lehetővé teszi a különböző UART alapú kommunikációk megvalósítását. Jelenleg két kártya csatlakoztatható a panelhez ily módon: a KNX kommunikációt végző, illetve az RS-485 fizikai rétegen keresztül UART kommunikációt végző modul. Ezáltal a továbbiakban hasonló alapelvek épülő kommunikációs protokollok vizsgálata is lehetséges csatlakoztatható kártyák segítségével. A felhasználni kívánt interfész kiválasztása teljesen tetszőleges, és maximálisan gördülékenyen kezelhető. Szoftveresen megállapítható, hogy éppen melyik modul van csatlakoztatva, a csatlakozó egyik lába ugyanis a KNX modulnál földre van húzva, az RS-485 modulnál pedig a 3,3V-os tápra van csatlakoztatva. Ezáltal egy egyszerű feltételvizsgálattal lekezelhető, hogy pontosan melyik interfészt használjuk. Több kártya esetén a bővíthetőség egyszerűen megoldható: az egyes kártyákon különböző feszültség szinteket kell kialakítani a csatlakozó megfelelő lábán, például egy alkalmas ellenállás-osztóval. A processzor megfelelő lábát analóg módba konfigurálva beolvassuk a feszültség szinteket, így szoftveresen könnyen el lehet dönteni, hogy mely kártya van csatlakoztatva. Ezáltal biztosítani lehet számos kártya egyszerű megkülönböztetését.

A Bluetooth modul a rádióon kívüli újabb lehetőséget biztosít vezeték nélküli kommunikáció kialakítására a felhasználóval. Az Ethernet modul pedig lehetővé teszi TCP szerver kialakítását az eszközön, ezáltal Interneten keresztül távolról is hozzáférhetővé téve a rendszert.



3.3. ábra: Az elkészült központi panel

### 3.1.2.1 Kapcsolási rajz

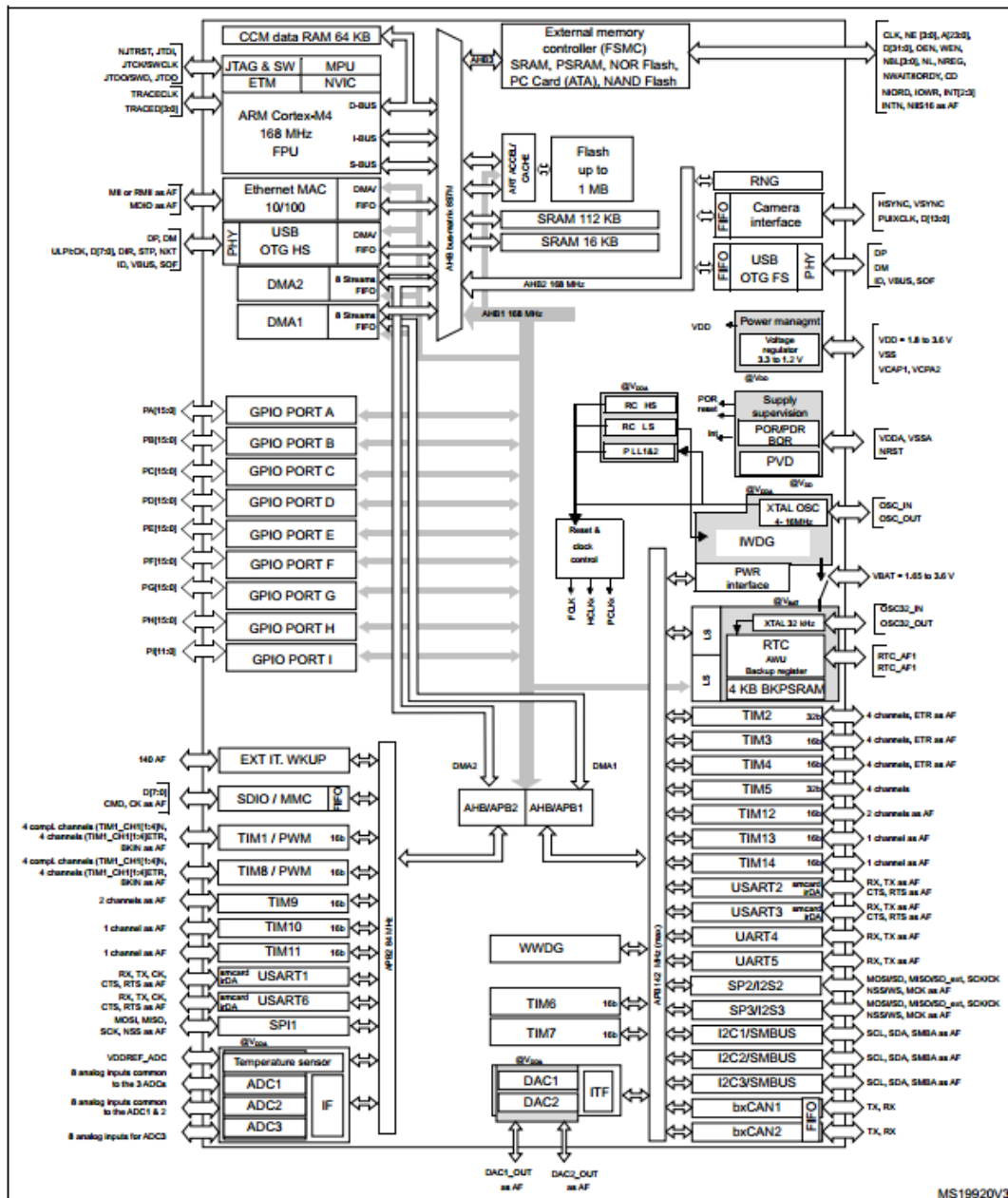
A függelékben melléeltük a főpanel kapcsolási rajzát. [Függelék II.]

Főbb alkatrészek, komponensek:

- ARM Cortex-M4 magra épülő mikrokontroller (STM32F407VG)
- FT800 grafikus processzor (FT800)
- 5” LCD érintőkijelző, 480x272 felbontással (TSA0233-5)
- Kijelző meghajtó step-up konverter (MIC2289-24YML)
- KNX transceiver (E981-03)
- RS-485 transceiver (MAX3485CSA)
- Ethernet transceiver (DP83848CVV)
- RJ-45 csatlakozó, beépített tekercsekkel (J0011D21BNL)
- 2,4GHz Rádió modul (RFM73P)
- Bluetooth modul (BTM511)
- microSD foglalat
- USB port
- Piezo hangszóró (KPE110 buzzer) + FET-es meghajtó (TC4425A)
- SWD debug port

#### *STM32F407VG mikrokontroller*

A kiválasztott mikrokontroller ARM alapú, Cortex M4-es magra épülő nagyteljesítményű eszköz. 168MHz-es működési frekvenciával, és az 1Mbyte-os belső flash memóriával akár bonyolult szoftverek kezelésére is alkalmas. A 100 lábás kivitel lehetővé teszi rengeteg eszköz csatlakoztatását, melyet a beépített 4 darab USART, 3 SPI, 3 I<sup>2</sup>C, 2 CAN interfész és három 12 bites ADC is támogat. A mikrokontrollernek a felsoroltakon kívül még számos funkciója van, melyet a mellékelt ábra mutat. Fontos megemlíteni az egyenként 16 lábat tartalmazó portokat, melyek A-tól maximum I-ig jelöltek, és melyek az eszköz és a külvilág közti kommunikációt biztosítják. Mivel a mikrokontroller 100 lábás kivitelét választottuk, így az ábrán felsorolt portok/interfészek nem mindegyike elérhető, azonban a feladat megvalósításához így is kényelmesen belefértünk a lábak száma által meghatározott korlátokba.



3.4. ábra: STM32F407VG mikrokontroller felépítése

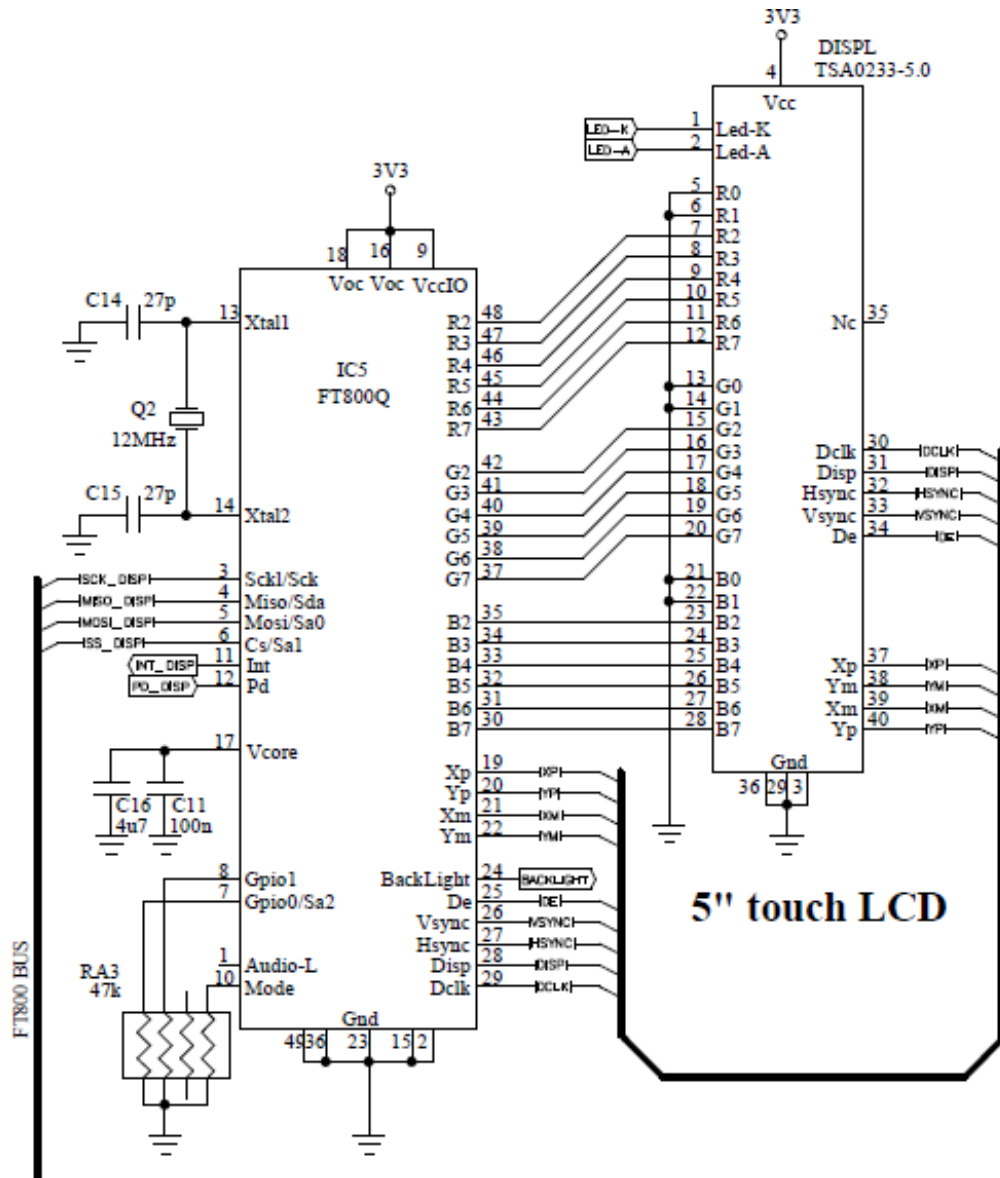
A modul számára az órajelet egy 8MHz-es kvarc oszcillátor biztosítja. Az egység belső busza 168MHz-es frekvencián működik, ez a kvarc frekvenciájának modulon belüli felszorzásával jön létre. A mikrokontroller minden tápláláshoz egy 100nF-os hidegítő kondenzátort helyeztünk el a zajok szűrésére.

### ***FT800 grafikus processzor, LCD érintőképernyő***

Az érintőképernyő grafikáját előállító FT800-as grafikus segédprocesszor SPI-on (Serial Peripheral Interface) keresztül tartja a kapcsolatot a mikrokontrollerrel. Bár a modul képes néhány egyszerűbb grafikus elemet önállóan is létrehozni, a mikrokontroller



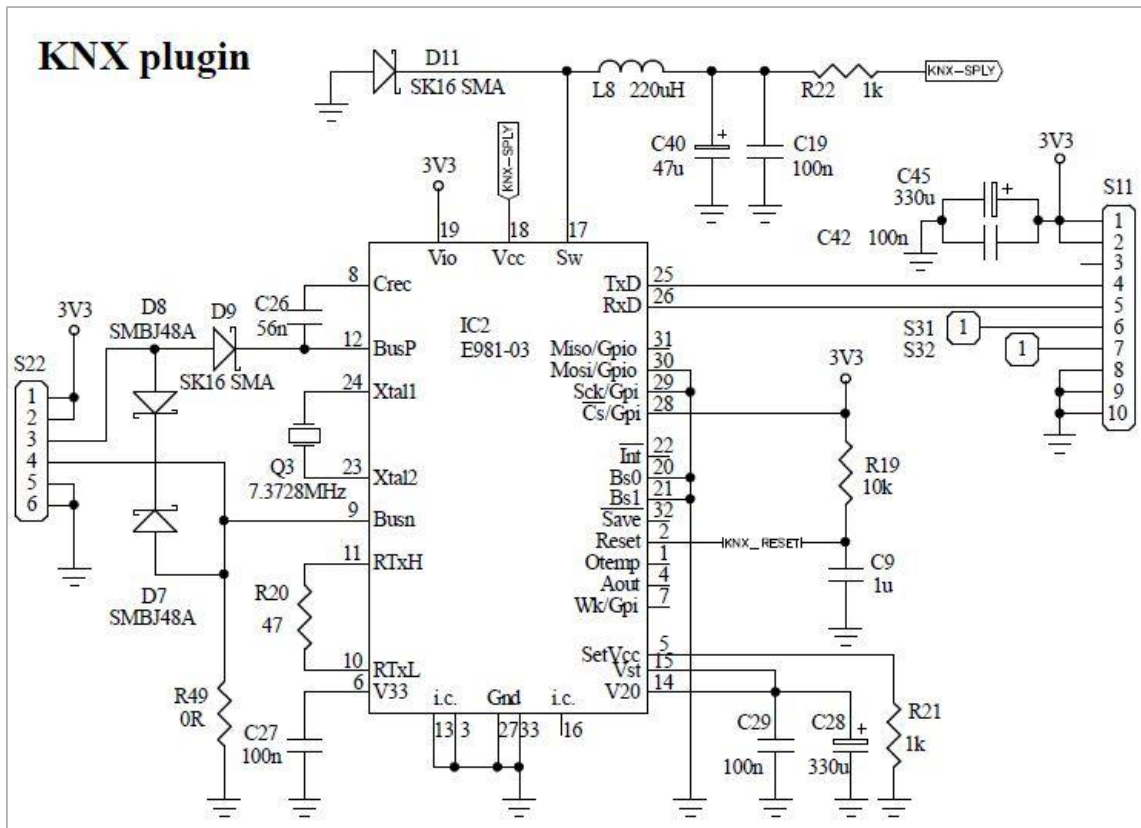
terhelését még így is kevéssé csökkenti. A chip lekezeli az érintőképernyő rezisztív elvű érintéseinek érzékelését, és a vizuális megjelenésért felel. A képernyő 5 inches, 480 x 272 pixeles felbontással akár 262000 szín megjelenítésére is képes.



3.5. ábra: LCD kijelző kapcsolása

### **KNX adó-vevő egység (E981-03)**

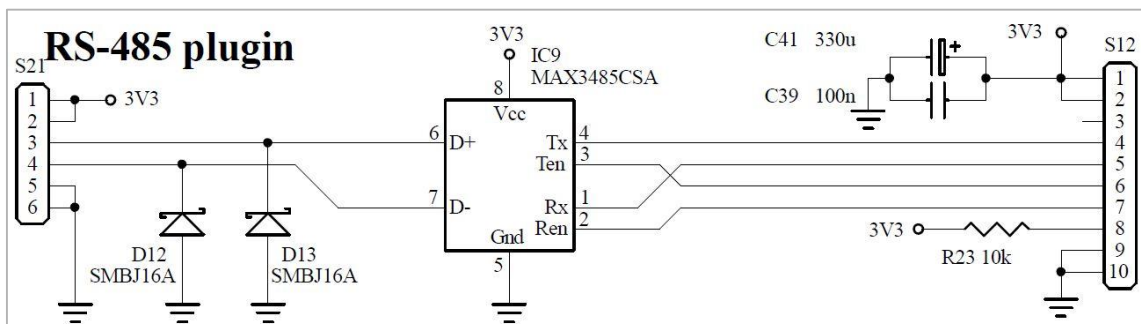
A KNX adó-vevő egység integrálásakor az ajánlott kapcsolás tulajdonságait implementálva a 3.6. ábrán látható kapcsolás született. Itt különösen odafigyeltünk rá, hogy minden kapcsolási ajánlást pontosan betartsunk, hiszen ez egy ismeretlen terület, itt nem éri meg kísérletezgetni.



3.6. ábra: KNX modul alkalmazott kapcsolása

### RS-485 átalakító

Az MAX3485CSA IC az egyszerű UART interfészt alakítja át két engedélyező jel segítségével az RS-485 fizikai rétegnek megfelelő differenciális jellé. A hosszú adatvezetékben esetlegesen indukálódó nagyfeszültségű impulzusok szűréséért egy-egy szupresszor dióda felel.



3.7. ábra: RS-485 modul kapcsolása

### 3.1.2.2 Nyomtatott áramköri terv

A függelékben mellékeljük a főpanel nyomtatott áramköri tervét. [Függelék IV.]

A főpanel tervezésekor végig fontos szempont volt a doboz adottságainak kihasználása. A csatlakozók, kapcsolók elhelyezése úgy esztétikus, ha egy oldalról illeszkednek a dobozhoz, ezért minden csatlakoztatni kívánt eszköz a doboz hátuljáról érhető el. A választott doboz enyhén döntött kivitelű, hogy a táp panel magasabb alkatrészei is elhelyezhetőek legyenek az egyik oldalon. A doboz felületének döntöttsége külön optimális a felhasználói alkalmazásra, sokkal ergonomikusabb így, mintha teljesen vízszintes lenne.

A másik fontos szempont a csatlakozók elhelyezésén kívül a kommunikációs modulok elrendezése. Mivel a doboz fém, így korlátozottak a lehetőségek a rádió és Bluetooth modul elhelyezésére. A doboz oldalai viszont műanyag borításúak, lehetővé téve az említett modulok alkalmazását. A minél kisebb árnyékolás érdekében a rádió és Bluetooth modulok a már említett kis paneleken kapnak helyet, és a táp panelre merőlegesen, a doboz oldalával párhuzamosan állnak, úgy, hogy a rádiós modul antennája, illetve a Bluetooth modul chipantennája a külvilág felé nézzen.

További kivehető kicsi paneleken helyezkednek el az USB és RJ-45 csatlakozók, illetve a microSD kártya foglalata. Ezek mind a doboz hátuljához illeszkedve helyezkednek el, így biztosítva a könnyű, mégis rejtett csatlakoztatást.

Mivel a hardver összeszerelt állapotában a főpanel fejjel lefele helyezkedik el, így a kijelző a panel hátoldalára van felerősítve. A kijelző szalagkábele egy, a kijelző alatt elhelyezkedő kimaráson keresztül került átvezetésre. Továbbá a LED-ek is a hátoldalra kerültek beforrasztásra.

A táp- és főpanel széleitől pár milliméterig nem található forrasztásgátló bevonat, így ezek a fém-csíkok a földkiöntés miatt föld-potenciálon vannak. Ezáltal az alumínium doboz tartósínjeibe becsúsztatva a paneleket, a síneken keresztül garantálódik a panelek és a doboz összeföldelése, valamint elektromosan vezető dobozoknál a külön megkövetelt csatlakoztatás miatt különálló kábel is biztosítja a doboz összeföldelését a védőfölddel.

A nyomtatott huzalozású lemez tervezése során már sokszor előfordult, hogy nagyon szűkös volt a felhasználható terület, néhol már a hidegítő kondenzátorok elhelyezése is nehézséget jelentett. Az Ethernet IC körül volt igazán kritikus a helyzet, így az adatlapok

által is megkövetelt nagyszámú kondenzátorok egy részét máshogy helyettesítettük. Amennyiben az IC alatt földkiöntés helyett tápfeszültségű (3,3V) kiöntést alkalmazunk az IC felőli oldalon, a másik oldalon pedig továbbra is földkiöntést használunk, a kondenzátorok száma csökkenthető. [6] Ekkor a VCC kiöntés az egyik oldalon, a földkiöntés a másik oldalon és a köztük lévő dielektrikum (FR-4-es lemez) egy nagykiterjedésű fegyverzettel rendelkező kondenzátort hoz létre, mely ugyanúgy képes szűrési feladatok ellátására, mint a kis kerámiakondenzátorok, csak azokkal szemben sokkal inkább elosztott paraméterekkel rendelkezik. [7] Nagyfrekvenciás tervezésnél is elfogadott ennek az elvnek a használata, azonban a megvalósítás más formában történik. A több, legalább négy rétegű lemezeknél, ahol külön rétegen helyezkedik el a tápfeszültség és a föld potenciál, a két egymás melletti réteg viselkedik fegyverzetként. Vizsgáljuk meg az általunk használt két rétegű lemez esetében a módszertől várható értékeket! A síkkondenzátorok kapacitása:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$$

ahol

$\varepsilon_0$ : a vákuum permittivitása, értéke  $8,854 \cdot 10^{-12} \frac{Vs}{Am}$

$\varepsilon_r$ : a közeg relatív dielektromos állandója, esetünkben értéke az FR4-es lemezre vonatkozóan 4,8

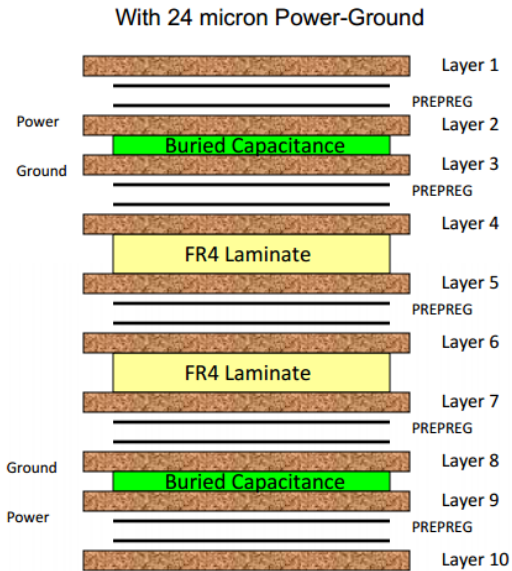
$d$ : a két fegyverzet távolsága, esetünkben a lemez vastagsága, kb. 1,5mm

$A$ : a fegyverzetek felszíne, esetünkben kb.  $50 \cdot 10^{-6} m^2$

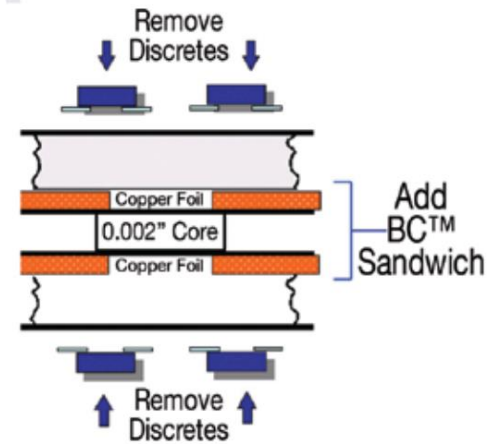
A becsült értékek alapján így a kondenzátor kapacitására 1,41pF adódik, ami nagyságrendekkel kisebb a várt értéknél. A gyakorlati tapasztalatok szerint ökölszabály, hogy ilyen felületnél két-három hidegítő kondenzátor felcserélése a fentiekben ismertetett kiöntésre, tökéletes zavarszűrést biztosít. Kíváncsiak voltunk, hogy az elméleti számításoknak ellentmondó ökölszabályok alkalmazása milyen következményekkel jár a gyakorlatban. Az általunk használt eszközöknél nem tapasztaltunk semmilyen zavarjelenséget, így amennyiben nem kritikus biztonságú, nagyfrekvenciás eszközről van szó, és hely szűkében vagyunk, a továbbiakban is használnánk ezt a módszert.

Nagyfrekvenciás esetekben bizonyos gyártók specifikus megoldásokat kínálnak az ismertetett módszer tökéletesítésére. [8] A kevésbé fejlett technológiák a két belső lemez

távolságát 0,002 inchre csökkentik ( $50,8\mu\text{m}$ ), de továbbra is FR4 típusú lemezeket használnak. A különösen kiforrott technológia pedig  $24\mu\text{m}$ -es távolságot használ, a két vezető közötti helyet speciális dielektrikummal kitöltve, ezáltal három nagyságrenddel megnövelve a kondenzátorként működő összeállítás kapacitását. [9]



3.8. ábra: FR4 lemezes eltemetett kapacitás



3.9. ábra:  $24\mu\text{m}$ -es eltemetett kapacitás technológia

### 3.1.3 Képek a központi egységről

A központi egységről készült képeket mellékeljük a függelékben. [Függelék VII.]

## 3.2 Kihelyezett egység

A kihelyezett egység egy alumínium dobozban elhelyezett panel, mely a központi egységgel az összes már említett módon képes kapcsolatot tartani. A nagyjából  $12 \times 10$  centiméteres területen egy mikrokontroller, rádió, KNX és RS-485 kártya csatlakoztatására alkalmas port, két relé, fejlesztőportok, LED-ek, különböző szenzorok és az ezek működését biztosító tápáramkör helyezkedik el.

Az eszköz számára kiválasztott doboz szigorú tervezési korlátozásokat vont maga után. Mivel fém dobozt választottunk, így nehézséget jelentett a vezeték nélküli kommunikáció kialakítása, illetve a doboz zártsága miatt a minél pontosabb mérési eredmények biztosítása.



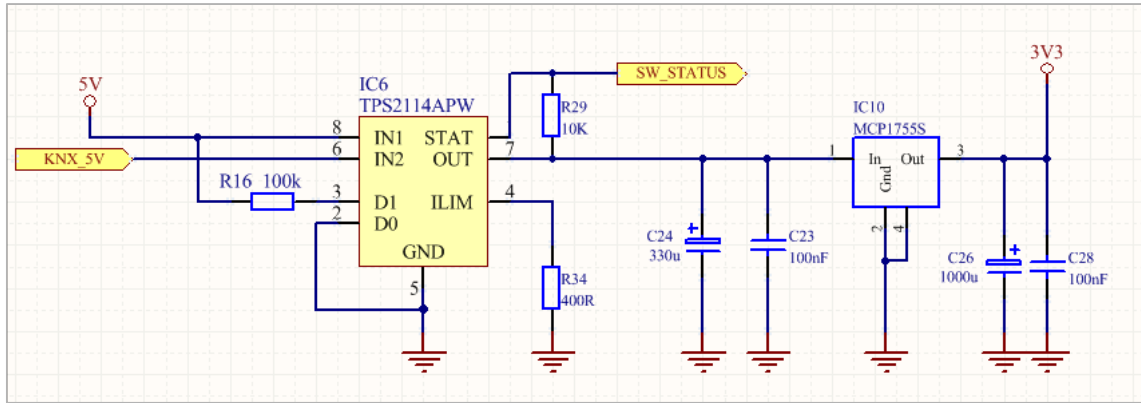
3.10. ábra: Az elkészült kihelyezett egységek

### 3.2.1 Kapcsolási rajz

A függelékben mellékeljük a kihelyezett egységek kapcsolási rajzát. [Függelék V.]

Az adatgyűjtést és beavatkozást végző eszközt egy ARM Cortex-M3-as mikrokontroller, az ST Microelectronics cég STM32F107VC terméke végzi. Az akár 72MHz-es működési frekvenciája és 256kByte integrált flash memóriája stabil alapot biztosít a fejlesztésre. A 12 bites AD konvertere lehetővé teszi az analóg szenzoradatok beolvasását, UART és SPI interfészei pedig elősegítik a főegységgel való kapcsolattartást. Bár az előre tervezett feladatra akár kisebb tudású vezérlőegység is elég lett volna, az erősebb modullal meghagytuk a lehetőségét a további fejlesztésnek.

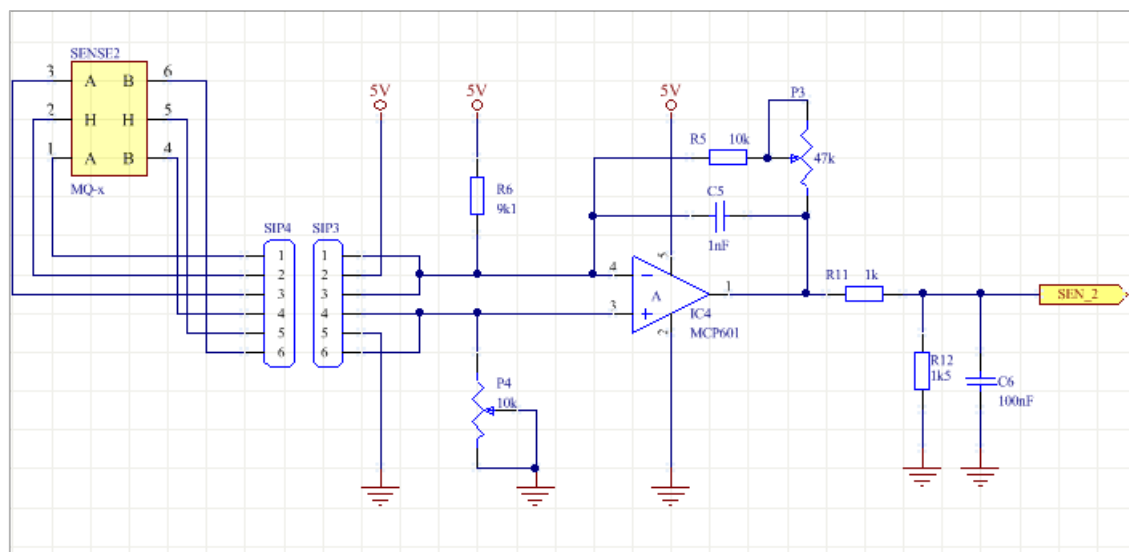
A panel tápellátása 10-30VDC feszültséggel vagy pedig a KNX hálózat által biztosított 30V egyenfeszültséggel történhet. A KNX IC a 30V-ból 5V egyenfeszültséget állít elő, így ezt a feszültséget már a tápegységhez hasonlóan kezelhetjük. Ugyanakkor ezzel még nem biztosított a panel energiaigényének biztosítása, hiszen nem tudhatjuk előre, hogy melyik lehetőség fog rendelkezésünkre állni. A probléma megoldásaként érdemes külön ilyen célra gyártott tápellátás kezelő (Power Management) IC-eket használni. Az általunk használt módszer a KNX rendszer jelenlétét részesíti előnyben, tehát amennyiben lehetőség van rá, a panel onnan kerül megtáplálásra. Az így kiválasztott 5V-os feszültséget már csak a kívánt 3,3V-ra kell csökkenteni. A stabil feszültség létrehozása, valamint a hatékonyság érdekében itt is kapcsolóüzemű tápot használtunk.



3.11. ábra: Tápválasztó IC kapcsolási rajza

A panelen egy digitális hőmérséklet- és páratartalom-érzékelő, illetve egy analóg elven működő szenzorcsalád gázérzékelő tagjai kapnak helyet. A páratartalom és hőmérséklet kiolvasás I<sup>2</sup>C interfészen keresztül történik. Az analóg szenzort a méréshez melegíteni kell, amit az eszközön átvezetett 5V biztosít, így különösen fontos a panelen az 5V-os feszültség szint létrehozása.

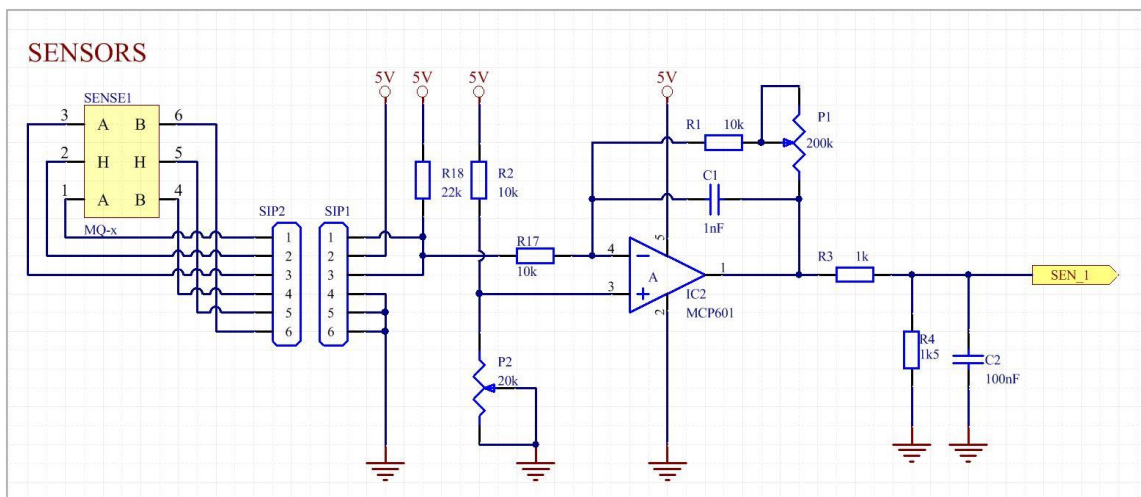
Az érzékelő jelét egy differenciális erősítő fogadja. Az erősítést a visszacsatoló körben lehet állítani egy potenciométer (P3) segítségével. Az erősítő kimenetének offsetje a P4 potenciométerrel állítható. A beállításnak úgy kell megtörténnie, hogy alapesetben a kimenet 0 közeli értéket vegyen fel, a riasztási szintnek pedig a tápfeszültséghez közel eső érték feleljen meg. Tekintettel arra, hogy az erősítő kimenete elvben 0V és 5V közötti értéket vehet fel, ezért kimeneti osztót kell alkalmaznunk, mivel a mikrokontroller maximum 3,3V feszültségű jelet tud fogadni. A zavarcsökkentés részben a kimeneten lévő kondenzátor, részben a visszacsatoló ágban lévő kondenzátor végzi.



3.12. ábra: Analóg szenzorok elsőre tervezett kapcsolása

Azonban ez a kapcsolás nem bizonyult működőképesnek, nagy érzékenysége miatt nem tudott stabil kimentet adni. Ezért átdolgoztuk az erősítő kapcsolást az alábbiak szerint.

Az 5V-os feszültséggel felfűtött gáz szenzorok érzékelő köre egy 22kOhm-os ellenálláson keresztül került +5V-os előfeszítésre, így a szenzor egyik pontja földön, a másik kb. fél tápfeszültségen, azaz körülbelül 2,5V-on áll. A szenzor jelét egy Microchip gyártmányú, kiszajú rail-to-rail műveleti erősítő erősíti és teszi az AD számára feldolgozhatóvá. Az MCP601-es tok aszimmetrikus, invertáló módban dolgozik. Az erősítő neminvertáló bemenete a 10kOhm-os ellenállás és a 20kOhm-os potenciométer segítségével tehető munkapontba úgy, hogy alapesetben a műveleti erősítő kimenete körülbelül 0,5V-ot adjon ki. A visszacsatoló ágban lévő potenciométerrel az erősítés állítható be, valamint az utána lévő osztó megakadályozza, hogy a 3,3V-os processzor Analog-to-Digital (AD) konverterének bemenetére 5V kerüljön. A C1-es kondenzátor jelentős AC visszacsatolása által az egység erősen aluláteresztővé, így nagymértékben zajtalaná válik. Ezt segíti elő még a kimeneti osztó alsó tagjával párhuzamos kondenzátor is. A kapcsolás a későbbiekben továbbfejleszhető azáltal, hogy a neminvertáló bemenet felső ágának a processzor egy DA képes lába biztosítaná a feszültséget. Ezzel megvalósíthatóvá válna az automatikus ofszet állítás, illetve kompenzálható lenne az érzékelő hőmérséklet változásából eredő feszültség driftje is.



3.13. ábra: Analóg szenzorok kapcsolása

A rendszer továbbfejlesztése esetén érdemes digitális potenciométerek alkalmazásával automatikusan kalibrálhatóvá tenni a szenzorokat az érzékelők ofszetjének valamint driftjének automatikus utánállításával.



### 3.2.2 Nyomtatott áramköri terv

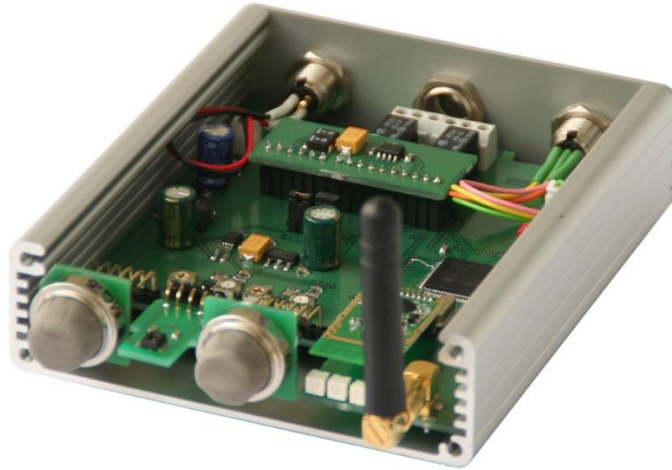
A függelékben mellékeljük az egységek nyomtatott áramköri tervét. [Függelék VI.]

A tervek készítése során itt is komoly határokat szabtak a munkának a doboz paraméterei. Mivel ez egy teljesen zárt alumínium doboz, itt elkerülhetetlen volt a rádió antennájának teljes, illetve a gáz és hőmérsékletmérő szenzorok részleges kivezetése a dobozból. A szenzorok kivétel nélkül cserélhető paneleken helyezkednek el, melyek hüvelysorokon keresztül csatlakoztathatók az egységre. Ezt a megoldást két szempont is alátámasztja. Egyrészt a geometriai paraméterek miatt csak így oldható meg, hogy az érzékelők a doboz mechanikailag megmunkálható oldala felé nézzenek. Másrészt pedig így biztosíthatjuk az eszköz funkcióinak bővítését, a kihelyezett egységek differenciálhatóságát és a modularitás megteremtését. Mivel a gázszenzorok tudatosan olyan alkatrészcsaládból kerültek kiválasztásra, ahol minden egység azonos módon csatlakoztatható, illetve a hőmérsékletszenzor is az általában ilyen célra használt I<sup>2</sup>C interfészt használja, így a további fejlesztések új főpanel tervezése nélkül is megvalósíthatók.

A huzalozásnál különös figyelmet fordítottunk a kommunikációs modulokhoz futó vezetékek nagyjából azonos hosszára, illetve ezekben az esetekben kerültük a viák alkalmazását. A lényegesen eltérő vezetékhozzok a nagysebességű adatátvitelkor komoly késéseket idézhetnek elő, mely a konzisztens adatok vételét veszélyezteti a vevő oldalon. A viákon való áthaladás során pedig olyan elektromágneses zavar érheti a jelet, mely felhalmozódva torzulást okozhat a jelalakban. Bár nem használunk olyan különösen nagy sebességű átviteleket, ahol ezek a problémák már várhatóan jelentkeznek, azonban az igényes tervezéshez az ismertetett szempontok figyelembevétele is hozzátartozik.

A nagyobb áramot átvivő vezetékeknel vastagabb, 20 mil széles vezetéket alkalmaztunk annak érdekében, hogy a vezetékeken átfolyó áram arányos legyen annak keresztmetszetével a nem kívánt feszültségesések elkerülése végett.

Mivel a kihelyezett egységek alumínium dobozai minden oldalról zártak, így a rádiós kommunikációhoz elengedhetetlen volt az antennát kivezetni. Ehhez a rádió modulon az integrált antenna leválasztásához ki kellett forrasztani az egyik ellenállást, majd megfelelő árnyékolt kábel alkalmazásával a nyomtatott huzalozású lemezre előzőleg rátervezett SMA pipához kellett csatlakoztatni a rádió modul antenna kivezetését. Az SMA pipához tetszőleges antenna csatlakoztatható.



3.14. ábra: A kihelyezett egységek belseje

### 3.2.3 Képek a kihelyezett egységekről

A kihelyezett egységekről készült képeket mellékeljük a függelékben. [Függelék VIII.]

## 3.3 Alumínium dobozok

A központi egységet a kezdetektől fogva egy erre alkalmas alumínium dobozba terveztük bele, mivel az épületautomatizálási eszközök sok esetben egyben lakberendezési tárgyak is, ahol az esztétikai szempontok az eszköz kiválasztásakor, megvásárlásakor döntő fontosságúak lehetnek. A doboz felső lapja enyhén döntött, így külön oda kellett figyelni a tervezésre és a magasabb alkatrészek pontos elhelyezésére.

A központi egységet úgy terveztük, hogy az összes csatlakozó a hátsó oldalon helyezkedjen el. Már a tervezéskor figyelembe kellett vennünk a doboz adottságait, és pontos tervet készítettünk arra vonatkozólag, hogy hol és mekkora lyukakat kell marni a doboz hátuljába annak érdekében, hogy a foglalatok és csatlakozók pontosan illeszkedjenek. Ezután megmértük a LED-ek, a riasztó buzzer, valamint a kijelző pontos elhelyezkedését, és tervet készítettünk arra is, hogy a fedőlapon milyen kimarásokat kell elvégeztetni.



3.15. ábra: Központi egység alumínium doboza

A kihelyezett egységeket is egy kompakt, elegáns alumínium dobozba terveztük bele, mely esztétikailag is megállja a helyét bárhol a lakásban.

Hasonlóan, a kihelyezett egységeknél is tervet készítettünk arra vonatkozólag, hogy miképp kell megmunkálni a dobozt, hogy a csatlakozók tökéletesen illeszthetőek legyenek a panelhoz. Külön figyelmet fordítottunk az érzékelőknél arra, hogy a számukra biztosított nyílásokba tökéletesen illeszkedjenek, ezáltal biztosítva azt, hogy ne a doboz belsejében levő levegőt, hanem a csakis a külső környezetet mérjék. Ez azért fontos, mert a doboz belsejében akár lényegesen eltérő hőmérséklet is kialakulhat a hődisszipáció miatt, valamint az esetleges káros gázok csak nagy időbeli késéssel jutnának el a szenzorokhoz.



3.16. ábra: Egy kihelyezett egység már megmunkált doboza

A mechanikai megmunkálás nem tartozik bele jelenlegi profilunkba, így a munkálatokat a saját terveink alapján egy mechanikai megmunkálással foglalkozó ismerős cég végezte el számunkra díjmentesen, ezzel is támogatva a munkánkat.

# 4. Szoftveres megoldások

## 4.1 Elvárások

A központi és kihelyezett egységekből álló rendszerektől alapvetően elvárt funkciókon kívül még néhány ezen túlmutató tulajdonság megvalósítását is célul tűztük ki. A főbb funkciókat vázlatpontosan foglaltuk össze, dőlt betűvel szedve az alapvető elvárásokat felülmúló jellemzőket.

- *Kommunikációs elv kiválasztása*

Tekintve, hogy a kommunikáció megvalósítására több lehetőségünk is van (Rádió, RS-485, KNX), így biztosítanunk kell a kommunikációs mód kiválasztását.

- Kommunikáció felépítése a modulok között

Az összes kommunikációs perifériát inicializáljuk, de a későbbiekben a működést a kiválasztott interfész alapján biztosítjuk.

- Adatok lekérdezése a kihelyezett egységektől

A kihelyezett egységek végzik az adatgyűjtést, így ezeket az adatokat a központi egység felé is továbbítani kell. Ennek megvalósítására az időzített lekérdezés mellett döntöttünk, tehát előre meghatározott időszakonként megszólítjuk a kihelyezett egységeket, majd azok az aktuális adatokat küldésével válaszolnak a központi egységnek.

- Adatok értelmezése

- Visszajelzés a kihelyezett egységnek vezérlőutasítás küldésével

A központi egység értelmezi a kapott adatokat, és azok alapján eldönti, hogy a vezérlésbe hogyan kell beavatkozni. Ilyen beavatkozás lehet a fan-coil beindítása, a redőnyök leengedése, vagy akár a vészjelző megszólaltatása.

- *Visszajelzés a felhasználónak*

A kihelyezett egységektől kapott adatokat a felhasználónak nem feltétlenül szükséges látnia, alapvetően elég, ha a háttérben zajlik a vezérlés.

Ugyanakkor az információközlés megnyugtató lehet, az esetleges hibák esetén könnyíti a javítást, és a távfelügyeletet is lehetővé teszi. Fenti szempontok biztosítása érdekében minden lényeges információt vizuálisan közlünk a felhasználóval. Amennyiben lényeges vezérlési feladat történt, vagy kritikus eseményt (pl. CO koncentráció növekedése) észleltünk, értesítést és figyelmeztetést küldünk a felhasználónak, bizonyos esetekben a vészjelzőt is kapcsoljuk.

- *Felhasználó beavatkozásának biztosítása*

Bár az egész vezérlési folyamat a háttérben is folyhatna, előre beállított határértékek alapján, mi nagyon fontosnak tartottuk a felhasználói interakció lehető legmagasabb szintű implementálását. Tehát a felhasználó bármikor, a rendszer háttérnek bármilyen szintű ismerete nélkül, átlátható, könnyen kezelhető vizuális felhasználói felületen tudja beállítani az általa ideálisnak tartott hőmérséklet- és páratartalom értékeket.

- *Távvezérlés lehetővé tétele*

Annak biztosítását is fontosnak tartottuk, hogy a felhasználó a távolból, internetkapcsolaton keresztül tudja vezérelni a rendszer működését. Tehát hosszabb távollét után a hazaérkezés előtt pár órával például arra utasíthassa a rendszert, hogy fűtse fel a lakóteret.

Az ismertetett jellemzők ilyen nagyságrendű alkatrészmennyiség esetén már előreláthatólag bonyolult szoftver implementálását vonják maguk után. Ezzel már a tervezési szakaszban is tisztában voltunk, így próbáltunk olyan rendszert teremteni, ami biztos alapokon áll, és így nem kell minden egyes funkció implementálásakor módosítani a program vázán. Az erre vonatkozó elvárásunk meglepően jól teljesült, a fejlesztési folyamat során a kezdetben implementált kiszolgálófüggvényeken csak leheletnyi finomításokat végeztünk, így az alkalmazási réteg kialakítása már gördülékenyen történt.

Bár jól átláthatónak értékeljük az elkészült szoftvert, annak szerteágazásán és bonyolultságán újra és újra meglepődünk. Az előzetes tervezés során nem gondoltuk, hogy kizárólag a központi egység perifériáinak kezeléséhez 17 darab c állományt fogunk implementálni, és hogy a csak saját kezűleg írt, csak a központi egységhez tartozó kódsorok száma több, mint 8000 lesz. A lefordított programkód több mint 70kByte-os mérete jól mutatja, hogy nagyságrendekkel túlléptünk korábbi projektjeink léptékét.

## 4.2 Központi egység szoftverének ismertetése

### 4.2.1 Inicializálás

Az eszköz bekapcsolásakor először az inicializáló függvényeket futtatja a program. Az inicializálás folyamán az megszakítások letiltásra kerülnek, hogy a program ezeket az alapbeállításokat mindenképpen elvégezze. Az megszakítás kezelő rutinok engedélyezése előtt a következő beállításokat végezzük el:

```
initSystem();
```

Beállítjuk a megszakításokra vonatkozó prioritásmodellt, és a legmagasabb prioritásként a belső időzítőt határozzuk meg. A belső időzítőt fogjuk minden ütemezett művelet alapjának venni, a megszakítások tehát időalapúak, nem pedig eseményvezéreltek. Azért döntöttünk emellett, mert ezáltal áttekinthetőbbé és skálázhatóvá válik a rendszer, míg esetleges bővítésnél az eseményvezérelt megszakítások kezelhetetlenné válhatnak, ha az addig felépített rendszer nem biztosítja maximálisan a bővítés lehetőségét.

```
initSysTimer();
```

Ez a függvény végzi az rendszerütemező időzítő beállítását és a kiválasztott prioritásmodell alapján a prioritások beállítását. Erre a feladatra a TIM2-es jelzésű integrált időzítőt választottuk. Az időzítőnél két értéket kell beállítanunk. Az előosztó (prescaler) azt adja meg, hogy a buszfrekvenciához képest milyen ütemben számoljon az időzítő, a periódus (period) pedig a számláló végértékét adja meg, ahol majd a megszakítás kérés fog generálódni. A két érték számításához a következő összefüggéseket használjuk fel [10]:

$$PRESCALER = \frac{bus\_clk}{TIM\_counter\_clk} - 1$$

$$PERIOD = \frac{TIM\_counter\_clk}{f} - 1$$

Mivel 1ms-onként szeretnénk megszakításokat generálni, így  $f = 1kHz$  működési frekvenciát szeretnénk létrehozni. Ehhez a  $Prescaler = 8399$  és a  $Period = 9$  értékek választása szükséges.

```
initRTC();
```

A Real Time Clock periféria engedélyezése. A központi egység mellé csatlakoztatott 3,3V-os elem biztosítja kikapcsolt állapotban is az óra működését.

```
initPWM();
```

A TIM4-es jelzésű időzítő a hangszóró hangerejéért felelő PWM (Pulse Width Modulation) vezérlését végzi.

```
initUSB(); SPI_init(); initBT(); initKNX(); RF_spi_init();
```

Az USB, SPI, Bluetooth, és rádió inicializálását elvégző függvények.

Az alapvető inicializálások után engedélyezzük a megszakításkérést, hogy a hátramaradt olyan perifériákat is inicializálni tudjunk, ahol már az alapbeállításoknál várakoznunk kell. Ez a várakozás megszakításokkal érhető el, mindaddig, míg azok le vannak tiltva, csak részlegesen tudjuk elvégezni a konfigurálást.

A képernyő felélesztése már csak ezek után végezhető el. A kiválasztott FT800-as modul a projekt indulásakor került a piacra, hiányos dokumentációval, bármilyen alapfunkciókat kezelő könyvtár nélkül. Így minden működtető függvény megírása saját kezűleg történt, regiszterek egyenkénti beállításával. Azóta a gyártó már elérhetővé tette a saját működtető könyvtárait, de mivel az általunk implementált függvények sokkal flexibilisebbek és jóval kompaktabbak, így a továbbiakban is azt használtuk. Úgy gondoljuk, hogy az ilyen saját erőforrások alapján írt könyvtárak még értékesebbé teszik a munkánkat. Nemcsak rengeteget tanultunk belőle, hanem arra is példával szolgálunk, hogy viszonylag nagy bonyolultságú eszközök is megszólaltathatók saját módszerek alapján. Nem feltétlen szükséges mindig a gyártó által biztosított keretet felhasználni, hiszen a mindenre kiterjedő funkciók nem biztos, hogy minden igényhez ugyanúgy illeszkednek. Így ha nehézkesnek ítéljük a gyártó könyvtárát, sokszor megérheti önállóan megírni a drivert. A kódot a dolgozatban közöljük.

Az inicializáló szekvenciák után a szoftver elindítja a kijelzőn a Start képernyőt, amit egy „OK” gomb megnyomásával hagyhatunk jóvá, ezzel indítva az SD kártya olvasásának folyamatát. Az SD kártyára az utoljára beállított preferenciák minden esetben kiírásra kerülnek, ezzel biztosítva, hogy ne kelljen minden bekapcsoláskor újra és újra beállítani az általunk meghatározott határértékeket. A kártyaolvasás sikertelensége esetén figyelmeztetést kapunk a hibáról, és az eszköz a szoftverbe égetett alapértelmezett értékek alapján fog működni.

A kártyán egy FAT fájlrendszer került kialakításra, annak érdekében, hogy a konfigurációs adatok PC-ről is olvashatóak illetve módosíthatóak legyenek. Az adatok egy config.txt nevű fájlban, az alábbi formátumban tárolódnak.

Mező típusa	Megjegyzés
<b>GLOBALIS</b>	
Beavatkozás típusa	HEATING/COOLING
Figyelmeztetés engedélyezése	ALERT_ENABLE/ALERT_DISABLE
<b>SZOBÁNKÉNT</b>	
Szoba neve	tetszőleges
Kommunikáció típusa	COM_RF/COM_TP/COM_OFF
Preferált hőmérséklet	°C
Minimum hőmérséklet	°C
Maximum hőmérséklet	°C
Maximális páratartalom	%
Minimális páratartalom	%
Maximális CO koncentráció	ppm
Maximális CO <sub>2</sub> koncentráció	ppm

Az adatok kiolvasása után megjelenik a főképernyő, mely az aktuálisan mért értékeket, és egyéb információkat tartalmaz. Majd rögtön egy végtelen ciklus gondoskodik arról, hogy az LCD állapotától függően mindig az aktuális menüt lássuk.

```

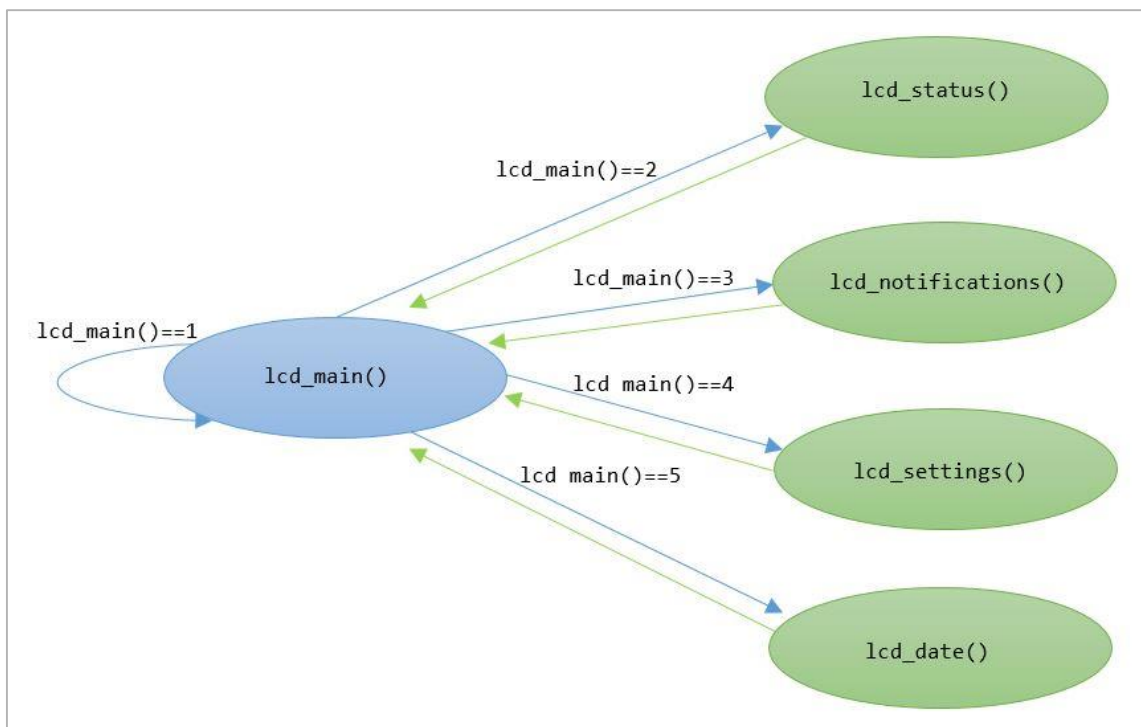
while(1)
{
    switch( lcd_main() )
    {
        case 2: lcd_status();          /* status menu */
                break;
        case 3: lcd_notifications();  /* notifications menu */
                break;
        case 4: lcd_settings();       /* settings menu */
                break;
        case 5: lcd_date();           /* set date&time menu */
                break;
    }
}

```

A kijelző kezelő chip minden érintés után tárolja az érintések adatait, amíg azok feldolgozásra nem kerülnek. Az lcd\_main() függvényben lekérdezzük ezeket, és attól függően, hogy a felhasználó milyen területet érintett meg, tudjuk, hogy melyik



képernyőhöz tartozó kezelőfüggvényt kell meghívni. Tehát ha a főképernyőn akár a Settings, a Notifications a Status vagy a dátum beállítása menüket választjuk, a függvény mindig az ezekhez tartozó kezelőfüggvényeket hívja meg. Ha egy újabb képernyő meghívása után a képernyőn bármilyen beállítást végzünk, akkor azt az `lcd_status()`, `lcd_notification()`, az `lcd_settings()` vagy az `lcd_date()` függvény kezeli le. Ezek ugyanúgy végtelen ciklusokat futtatnak, mint a `main` függvény. Ezáltal adott képernyőből a „Back” gomb megnyomásával tudunk visszatérni a különböző képernyőkezelő függvényekből, és így jutunk vissza a főképernyőre. Visszakerülünk a `main` függvény végtelen ciklusába mindaddig, míg a felhasználó újabb utasítása más képernyő meghívását nem vonja maga után.

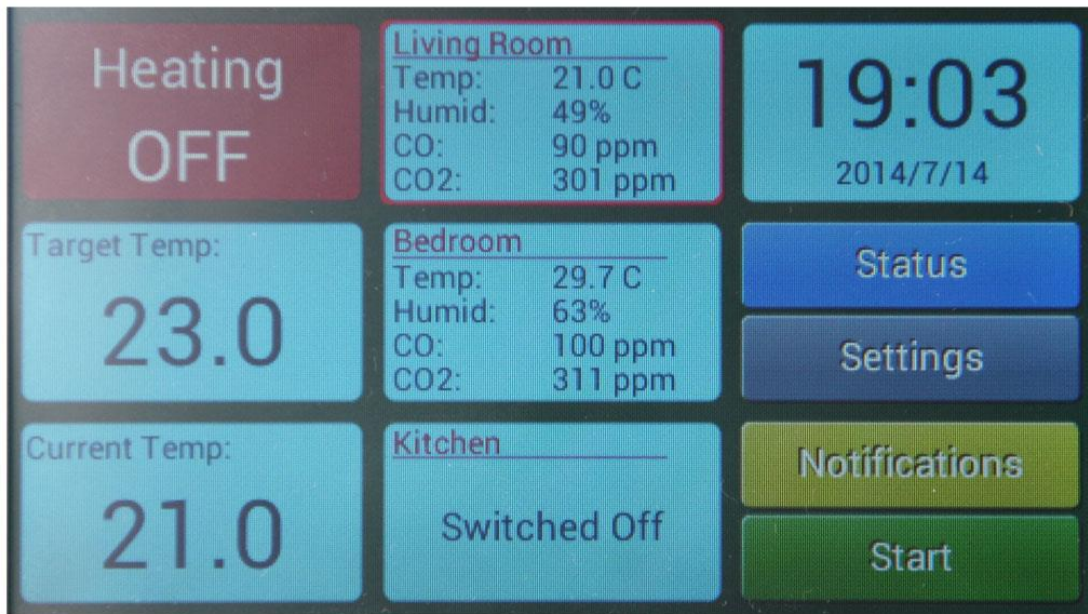


4.1. ábra: Képernyőkezelés

A következőkben szeretnénk némi betekintést nyújtani a felhasználó által érzékelt funkciókra. A tervezésnél odafigyeltünk arra, hogy minden gomb mérete biztosítsa annak ujjakkal való kiválasztását, ne kelljen sehol stylust használni, ezzel bővítve a felhasználói élményt. Tekintsük át az egyes képernyőket, és a rajtuk beállítható lehetőségeket!

## 4.2.2 Főképernyő

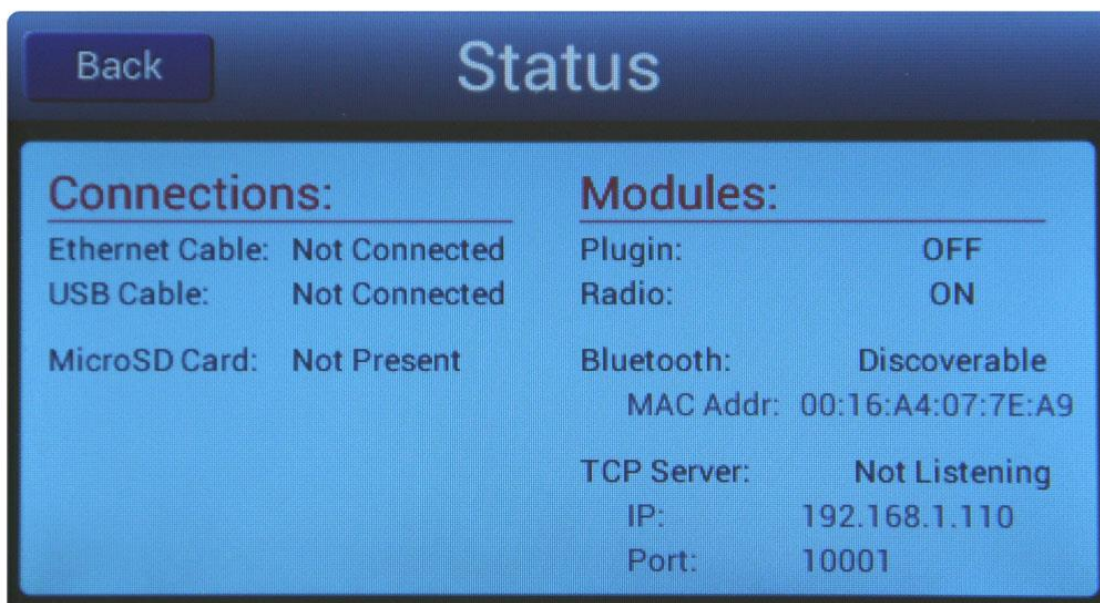
A főképernyő jeleníti meg a szobákban mért legfontosabb adatokat. A képernyő három oszlopra és három sorra van felosztva. A középső oszlopban látható három helyiség hőmérséklet, páratartalom, szénmonoxid és széndioxid adata. A szobák valamelyikét kiválasztva a baloldalon középen jelenik meg a helyiség preferált hőmérséklete, felül pedig az, hogy a szobában éppen történik-e hűtés vagy fűtés. A jobboldalon a dátum és időn kívül a többi képernyő előhívását segítő gombok jelennek meg.



4.2. ábra: Főképernyő

## 4.2.3 Státusz

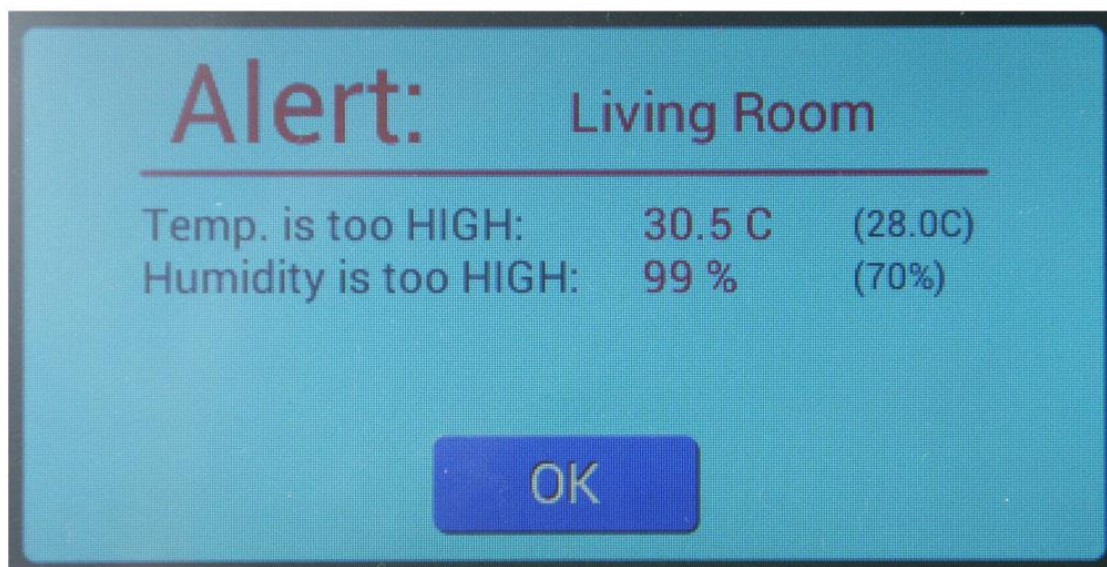
A státusz ablakban az egyes kommunikációs perifériák illesztettségére vonatkozó információk jelennek meg. Itt tudjuk ellenőrizni, hogy a rendszer pillanatnyilag milyen kommunikációs csatornák használatára képes.



4.3. ábra: Státusz képernyő

#### 4.2.4 Riasztások, értesítések

A rendszer minden beavatkozást igénylő esetben figyelmeztető üzenetet küld, melyek az értesítések képernyőn követhetők. A kritikusabb üzenetek külön egy felugró riasztás ablakban is megjelennek. A felugró ablakokat a beállításokban ki lehet kapcsolni.

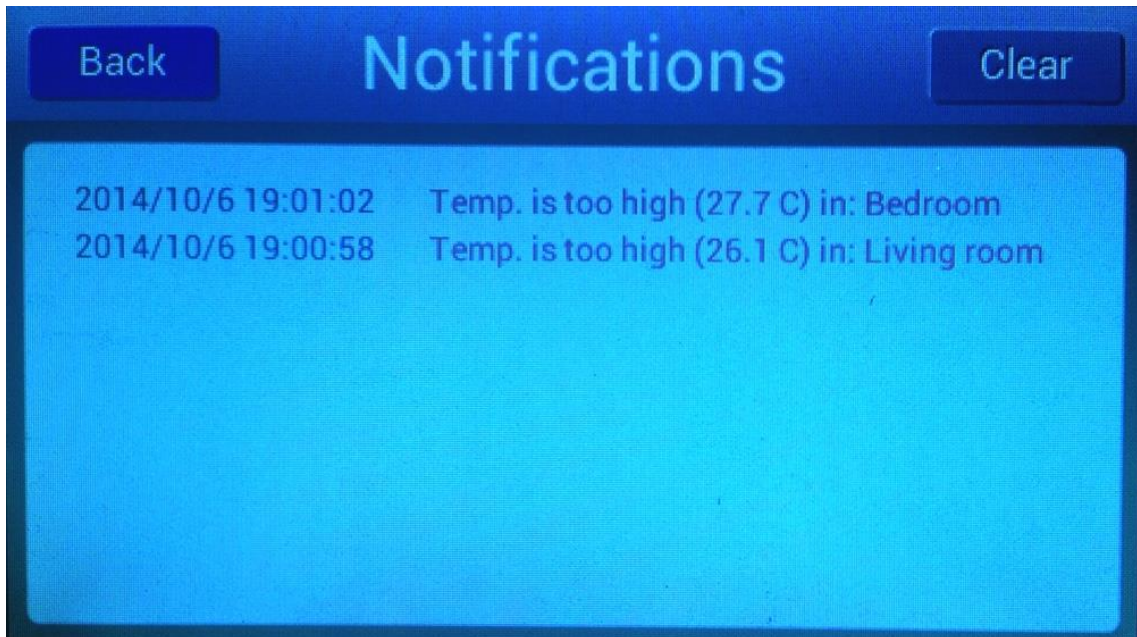


4.4. ábra: Riasztások képernyő

Az értesítések rendszerszinten láncolt listát használva tárolódnak, maximum kilenc értesítés felfűzésével. A tárolás FIFO elven történik, tehát mindig a legfrissebb üzenetek



kerülnek kijelzésre. A felhasználó a Clear gombbal önkényesen ürítheti a figyelmeztetések listáját.



4.5. ábra: Értesítések képernyő

#### 4.2.5 Dátum és Idő beállítása



4.6. ábra: Dátum és idő beállítása képernyő

## 4.2.6 Beállítások

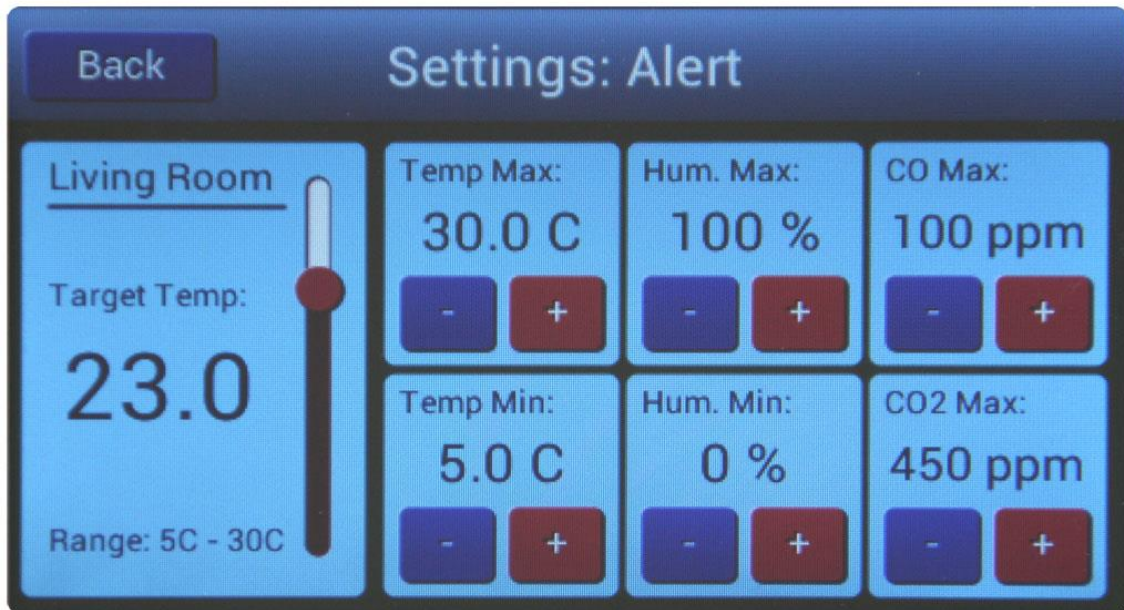
A főképernyőről elérhető Settings ablak szobánként további három beállítási lehetőséget kínál. Változtathatjuk az egyes kihelyezett egységek célhőmérsékletét, riasztási szintjeit, a kommunikációs konfigurációkat, illetve átnevezhetjük a helyiséget.



4.7. ábra: Beállítások képernyő

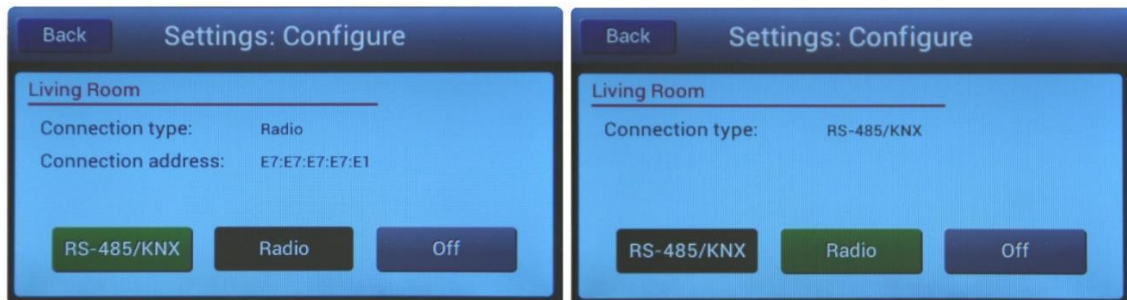
A hőmérsékleti beállításoknál beállíthatunk preferált hőmérsékletet, de azt is megmondhatjuk a rendszernek, hogy hőmérséklet, páratartalom és gázkoncentráció szempontjából miket tartson még elfogadható értéknek, és milyen esetekben küldjön figyelmeztetést. Például az ábrázolt beállítások alapján, ha 21°C a hőmérséklet, ami a beállított célhőmérsékletnél kisebb, de a veszélyességi tartományon belül van, akkor a rendszer bár utasítja a kihelyezett egységet a kazán relé meghúzására, de figyelmeztető üzenetet nem küld. Azonban ha a szén-monoxid koncentráció meghaladja a 100 ppm-et, akkor azonnal figyelmeztető üzenetet kapunk.





4.8. ábra: Figyelmeztetési beállítások képernyő

A konfigurációs beállításoknál kiválaszthatjuk, hogy a központi egység az elérhető kommunikációs csatornák közül melyiket használja az adatok továbbítására. Az ábra egy olyan esetet mutat, amikor a KNX kártya csatlakozik az univerzális kommunikációs porthoz.



4.9. ábra: Konfigurációs beállítások képernyő

A helyiség névváltoztatása külön ablakban történik, érintőképernyős QWERTY billentyűzet felhasználásával. Úgy tapasztaltuk, hogy ezek az apróságok nagymértékben képesek növelni a felhasználói élményt, teszteléskor mi is lelkesen nyomogattuk a billentyűzetet. A gombok kialakításakor külön figyeltünk azok egymástól való távolságára és elhelyezkedésükre, hogy ujjakkal is egyszerű legyen az adatbevitel.



4.10. ábra: Névváltoztató képernyő

## 4.2.7 Kommunikáció az eszközök között

A kihelyezett egységek megszólítása ütemezetten történik. Minden kihelyezett egység lekérdezése egy 4 másodperces időkereten belül valósul meg, így a rendszer jelenlegi állapota mellett egy teljes lekérdezési kör 12 másodpercből áll. Több egység integrálása esetén a lekérdezési kör hosszabb, a szoftver minimális módosítással az ilyen eseteket is tudná kezelni.

Az egységek a megszólításuk után a mért adataikkal válaszolnak a központi egységnek. Ha a központi egység nem kap választ a kihelyezett egységektől, akkor ezt a képernyőn az adatok mellett egy „Old” címke megjelenítésével jelzi. A megszólítás és válasz azonos üzenetkerettel történik.

Bevezető karakter	Címzett ID	Feladó ID	Relék <sup>(1)</sup> állapota	LED-ek <sup>(1)</sup> állapota	Mért <sup>(2)</sup> hőmérséklet	Mért <sup>(2)</sup> páratartalom	CO <sub>2</sub> <sup>(2)</sup> koncentráció	CO <sup>(2)</sup> koncentráció	Ellenőrző összeg	Lezáró karakter
-------------------	------------	-----------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	---	--------------------------------	------------------	-----------------

(1) Csak a központi egység által küldött üzenetek esetén értelmezettek ezek a mezők, mivel vezérlutasításokat tartalmaznak.

(2) Csak a kihelyezett egység által küldött üzenetek esetén értelmezett mezők, mivel a mért adatokat tartalmazzák.

A központi egység az említett 12 másodperces körön belül bármilyen időpontban elfogadja a kapott válaszokat. Tehát ha például az elsőként megszólított modul csak a kilencedik másodpercben válaszol, azt teljes értékű, érvényes reakciónak tekintjük. Ha egy modul kikapcsolt állapotban van, akkor nem kerül lekérdezésre.

## 4.2.8 Forráskód

A központi egység forráskódja megtekinthető, letölthető, vagy Git verziókövetéssel klónozható az alábbi linken: <https://github.com/akospasztor/homecontrol.git>

## 4.3 Kihelyezett egységek szoftverének rövid ismertetése

A kihelyezett egységek esetében az elsődleges szempontok a környezeti adatok mérése, kommunikáció a központi egységgel, majd a beavatkozási feladatok elvégzése.

A méréseket pár másodperces időközönként végzi el a szoftver. A központi egységtől kapott lekérdező üzenet valódiságának ellenőrzése után a kapott utasításokat végrehajtja (beavatkozókat és a LED-eket vezérli), majd ezután rögtön a fent leírt formában válaszol az eszköz a központnak a legfrissebb adatokkal.

A kommunikációnál a szoftver állandóan figyeli az összes kommunikációs interfész állapotát. Ezáltal biztosítjuk azt, hogy bármely interfészen keresztül kap adatot a központi egységtől, azonnal tud rá válaszolni ugyanazon az interfészen. Így nem okoz különösebb problémát az sem, ha egyszerre több központ kérdezi le a kihelyezett egység állapotát, akár eltérő kommunikációs interfészen.

Fontos megemlíteni, hogy a programkód univerzális, bármely kihelyezett egységbe betölthető, nincsen dedikált kód külön-külön az eszközök számára. Ezáltal biztosítjuk a modularitást, valamint az egyszerű bővíthetőséget is. A felhasználó a megfelelő kapcsoló segítségével tudja beállítani, hogy az eszköznek mi legyen a konkrét fizikai címe. Megjegyzendő, hogy ezáltal a felhasználó kötelessége ellenőrizni azt, hogy egy alhálózaton minden eszköznek különböző címet állítson be.



# 5. Továbbfejlesztési lehetőségek

A kialakított rendszer annak ellenére, hogy már mostani állapotában nagyon sok funkciót tartalmaz, még bőven tartogat kiaknázható lehetőségeket. Az eszközök tervezése során pont ez volt a célunk, így igyekeztünk a tulajdonságokat úgy kialakítani, az eszközöket úgy megalkotni, hogy a rendszer továbbfejlesztését annak integritását megőrizve garantálni tudjuk.

## 5.1 Kommunikációs lehetőségek bővítése

Az egyik fő irány a kommunikációs lehetőségek kiterjesztéseként határozható meg. Az egyes egységeken kialakított univerzális portok bármilyen UART alapú kommunikáció kiépítését biztosítják. Ha maga a kommunikáció nem ilyen alapokra épül, akkor a kártyán elhelyezett egyszerű UART átalakítóval tudjuk biztosítani a kompatibilitást. Ezáltal az elkészült hardver nem igényel semmilyen átalakítást, a módosítások csak az új kártyák tervezését érintik. Ez az univerzális kommunikációs megoldás teszi a rendszert teljes értékű tesztkörnyezetté, mellyel épületautomatizálási feladatokat láthatunk el.

## 5.2 Egységek számának növelése

Már a rendszer tervezésekor figyelmet szenteltünk a skálázhatóság megteremtésére. Nem csak azért tartottuk ezt fontosnak, hogy ténylegesen több eszköz csatlakoztatására legyen lehetőség, hanem azért is, hogy ismerkedjünk ezzel a szemlélettel, és megtanuljunk, hogyan kell ezt biztosítani mind hardveres mind szoftveres területen.

A kihelyezett egységek száma jelen állapotban a kommunikációs csatorna választásától függ. Több csatorna egyidejű alkalmazásakor ezek a számok összeadódnak, így nagyságrendileg 60 ezer egység összekapcsolására van lehetőség. A maximális eszközszámot bár nyilvánvalóan nem kívánjuk elérni, az igencsak fontos, hogy a rendszer által szabott limit nagyságrendekkel meghaladja a pillanatnyilag implementálni kívánt egységek számát, és így ne szabjon korlátot az esetleges újabb fejlesztési ötleteknek.

A bővítés nem csak a kihelyezett egységekre korlátozódhat, elképzelhető elosztott rendszer implementálása is. Ekkor a több központi egység egy sokkal kényelmesebben

kezelhető felületet biztosíthatna a felhasználónak. Az ilyen irányú továbbfejlesztés hardveresen teljesen mértékben támogatott.

### **5.3 Mérési lehetőségek bővítése**

A kihelyezett egységek szenzorkártyái rengeteg további gáz érzékelését teszik lehetővé, a csatlakoztatható I<sup>2</sup>C-s hőmérőpanel további lehetőségeket biztosít. Mint ahogy a kommunikációs kártyáknál már részleteztük, itt is bármilyen I<sup>2</sup>C alapokra épülő szenzor csatlakoztatása azonnal biztosított. Más protokollok esetén pedig itt is alkalmazhatunk átalakítót. Ez tovább fokozza a tesztkörnyezet funkcionalitását, modularitását és univerzitását.

### **5.4 Webes felület**

A központi egységen kialakítható TCP szerver lehetőséget ad távvezérlésre. A rendszer ezáltal a belső hálózaton üzemelő bármelyik számítógépről felügyelhető. Újabb továbbfejlesztési lehetőség az internetes kapcsolaton keresztüli vezérlés. Ez ugyan a biztonság megteremtésének kérdését is felveti, de ezek a problémák mind kezelhetőek. Az Interneten keresztüli kapcsolattartás teremti meg a tökéletes kényelmű funkcionalitást. Bekapcsolhatjuk a kerti öntözőrendszert, ha nyaralásunk alatt száraz az idő, vagy bekapcsolhatjuk a sütőt, hogy az étel pont akkorra legyen kész, mire hazaérünk a családi programról.

### **5.5 Intelligens szoftver**

A szoftver fejlesztésének talán legígéretesebb iránya egy olyan intelligens felügyelet kiépítése, mely tanulmányozza a szokásainkat és azokhoz igazodik, ezzel minél inkább optimalizálva saját működését. Ennek legegyszerűbb példája, hogy a rendszer megtanulja, hogy például csütörtökönként későn szoktunk hazaérni, mert akkor járunk sportolni, így csak későbbi időpontban biztosítja a kívánt hőmérsékletet, ezzel jelentős megtakarításokat elérve. Az intelligencia abban rejlik, hogy nem nekünk kell beállítani ezt a tulajdonságot, hanem a rendszer magától megtanulja rólunk ezeket az apróságokat. A fejlődési tendencia mindenképpen az intelligens eszközök elterjedésének irányába

mutat. Ezek a lehetőségek negatív következményeket is vonnak maguk után. A nagy szolgáltatók ijesztő mennyiségű adatot gyűjtenek a felhasználóról. Így különösen támogatjuk olyan kisebb intelligens rendszerek kialakítását, melyek nem kötődnek széles körben elterjedt, életünk minden részét behálózó nagyvállalatokhoz. Talán az általunk létrehozott rendszer is egyszer egy ilyen megbízható, ténylegesen a felhasználók igényeit kielégítő alkalmazássá nőheti ki magát.

# Összefoglalás

A dolgozat elején megfogalmaztuk napjaink legfőbb épületautomatizálási problémáit. Ezen problémák megoldására egy olyan rendszertervet dolgoztunk ki, amely megvalósítása után lehetőség van az egyes problémákra tett megoldási javaslatok kipróbálására.

Már a tervezés fázisában felmerült bennünk az igény, hogy az általunk megépítendő készülékek ne csak ormótlan laboratóriumi eszközök legyenek, hanem egy olyan működőképes rendszer darabjai, melyek ízléses és egyben használható eszközök. Ennek szellemében terveztük, majd építettük meg a hardvereket. A működtető szoftverek megírásakor külön ügyeltünk arra, hogy jól elkülönítsük az alacsony, illetve magas szintű függvényeket egymástól, ezáltal biztosítottuk a forráskód flexibilitását, hordozhatóságát, valamint továbbfejleszthetőségét.

A tesztkörnyezetet üzembe helyeztük és kialakítottuk a teszhálózatot. Ezután megvizsgáltuk az egyes kommunikációs formák előnyeit és hátrányait. Azt tapasztaltuk, hogy bár kényelmesebb a rádiós kommunikáció használata, azonban ha lehetőség van rá, célszerű alkalmazni a csavart érpáros megoldást. A rádiónak még külső antennával sem elég nagy a hatótávolsága, illetve a fizikai akadályok (pl. vasbeton fal) nagyban növeli a csomagvesztési valószínűséget. Ezzel szemben a csavart érpáros megoldás akár több száz méter távolságban is megbízhatóan működik.

A munkánk során elmondhatjuk, hogy rengeteget tanultunk és tapasztalatot szereztünk arra vonatkozólag, hogy miképp kell egy ilyen terjedelmű projektet nemcsak megtervezni, hanem meg is valósítani. Megtanultunk csapatban együtt dolgozni. Alaposan megismerkedtünk az összes alkalmazott perifériával és azok tulajdonságaival, működésével. Hasonló bonyolultságú hardvert már biztos kézzel tudunk tervezni, és az összetett, komplex valósídejű beágyazott szoftver fejlesztésétől sem riadunk vissza.

Végezetül nagyon jó érzéssel tölt el bennünket a működő hardver és szoftver látványa, amely arra sarkall minket, hogy még nagyobb, szebb és működőképes munkákat adjunk ki kezeink közül.

# Ábrajegyzék

1.1. ábra: Épületautomatizálási felhasználás .....	7
1.2. ábra: Rendszerkoncepció .....	9
2.1. ábra: ISM sávok .....	11
2.2. ábra: ISM sávok felhasználási területei .....	12
2.3. ábra: FSK ÉS GFSK moduláció sávszélessége .....	13
2.4. ábra: Rádiómodul funkcionális blokkvázlata .....	14
2.5. ábra: RFM73P rádió modul állapot-diagramja .....	15
2.6. ábra: Üzenetek felépítése .....	15
2.7. ábra: UART adómodul blokkvázlata .....	16
2.8. ábra: UART adatkeret felépítése.....	16
2.9. ábra: RS-485 fizikai réteg megvalósítása .....	17
2.10. ábra: RS-232, RS-485 fizikai rétegek összehasonlítása.....	18
2.11. ábra: KNX konfigurációs módok.....	21
2.12. ábra: KNX hálózat felépítése .....	22
2.13. ábra: KNX adatkeret felépítése.....	23
2.14. ábra: E981.03 KNX modul felépítése.....	24
2.15. ábra: Támogatott UART sebességek és elérhető funkciók .....	25
2.16. ábra: UART adatkeret.....	25
3.1. ábra: Az elkészült központi egység .....	26
3.2. ábra: Az elkészült tápegység panel .....	27
3.3. ábra: Az elkészült központi panel .....	30
3.4. ábra: STM32F407VG mikrokontroller felépítése.....	32
3.5. ábra: LCD kijelző kapcsolása .....	33
3.6. ábra: KNX modul alkalmazott kapcsolása.....	34
3.7. ábra: RS-485 modul kapcsolása.....	34
3.8. ábra: FR4 lemezes eltemetett kapacitás .....	37
3.9. ábra: 24 $\mu$ m-es eltemetett kapacitás technológia .....	37
3.10. ábra: Az elkészült kihelyezett egységek .....	38
3.11. ábra: Tápválasztó IC kapcsolási rajza.....	39
3.12. ábra: Analóg szenzorok elsőre tervezett kapcsolása.....	39
3.13. ábra: Analóg szenzorok kapcsolása .....	40

3.14. ábra: A kihelyezett egységek belseje .....	42
3.15. ábra: Központi egység alumínium doboza.....	43
3.16. ábra: Egy kihelyezett egység már megmunkált doboza.....	43
4.1. ábra: Képernyőkezelés .....	49
4.2. ábra: Főképernyő .....	50
4.3. ábra: Státusz képernyő .....	51
4.4. ábra: Riasztások képernyő .....	51
4.5. ábra: Értesítések képernyő .....	52
4.6. ábra: Dátum és idő beállítása képernyő .....	52
4.7. ábra: Beállítások képernyő.....	53
4.8. ábra: Figyelmeztetési beállítások képernyő .....	54
4.9. ábra: Konfigurációs beállítások képernyő .....	54
4.10. ábra: Névváltoztató képernyő .....	55

# Irodalomjegyzék

- [1] Matthew Loy, Raju Karingattil, Louis Williams: *ISM-Band and Short Range Device Regulatory Compliance Overview*  
Application Report, May 2005  
<http://www.ti.com/lit/an/swra048/swra048.pdf>
- [2] Sabih H. Gerez: *Implementation of Digital Signal Processing: Some Background on GFSK modulation*  
University of Twente, Department of Electrical Engineering, February 7, 2013  
<http://wwwhome.ewi.utwente.nl/~gerezsh/sendfile/sendfile.php/gfsk-intro.pdf?sendfile=gfsk-intro.pdf>
- [3] Khanh Tuan Le: *Preliminary Proposal for a Multi Regional Sub-GHz PHY for 802.15.4g*  
01 March, 2009  
[https://mentor.ieee.org/802.15/documents?o=0a&is\\_group=004g](https://mentor.ieee.org/802.15/documents?o=0a&is_group=004g)
- [4] Elmos KNX/EIB transceiver: *Production Data*  
Aug 8, 2013  
[http://www.elmos.com/fileadmin/2013/02\\_products/01\\_interface/02\\_knx/e981-03\\_elmos\\_is.pdf](http://www.elmos.com/fileadmin/2013/02_products/01_interface/02_knx/e981-03_elmos_is.pdf)
- [5] ISO Online Browsing Platform: *Home electronic system (HES) architecture*  
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:14543:-3-6:ed-1:v1:en>
- [6] Dr. Howard Johnson: *High-Speed Digital Design Online Newsletter: Vol. 2 Issue 03 – Bypass capacitor layout*  
1/23/1998  
[http://www.sigcon.com/Pubs/news/2\\_3.htm](http://www.sigcon.com/Pubs/news/2_3.htm)
- [7] Dr. Howard Johnson: *High-Speed Digital Design Online Newsletter: Vol. 9 Issue 07 – Bypass capacitor sequencing*  
10/4/2006  
[http://www.sigcon.com/Pubs/news/9\\_07.htm](http://www.sigcon.com/Pubs/news/9_07.htm)
- [8] Sanmina-SCI Corporation, PCB fabrication: *Embedded Passives – Buried Capacitance*  
<http://www.sanmina-sci.com/pdf/solutions/bc.pdf>
- [9] Richard Ulrich: *Ultra-Thin Embedded Capacitance Laminates and how they improve the PDN and can impact EMC*  
<http://ewh.ieee.org/r6/scv/emc/archive/012010Carter.pdf>
- [10] Dr. Tevesz Gábor – Szabó Zoltán: *Mikrokontroller alapú rendszerek*  
BME-AUT, Elektronikus jegyzet  
2014. március 14.

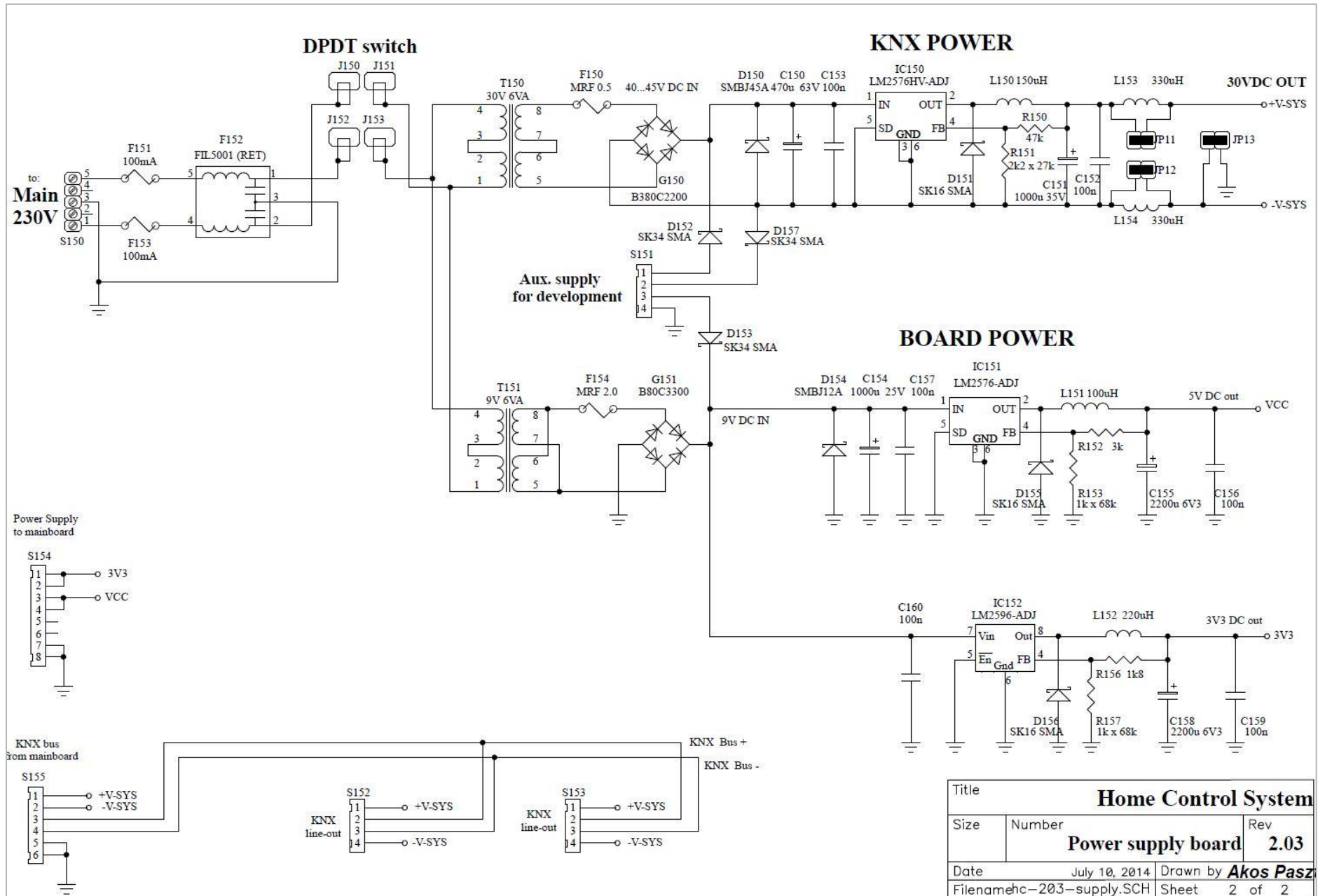
# Függelék

A függelék az alábbi dokumentumokat tartalmazza:

- I. Központi egység tápegység panel kapcsolási rajza
- II. Központi egység főpanel kapcsolási rajza
- III. Központi egység tápegység panel nyomtatott áramköri terve
  - a. Rézkiöntés nélkül
  - b. Top oldal, rézkiöntéssel
  - c. Bottom oldal, rézkiöntéssel
- IV. Központi egység főpanel nyomtatott áramköri terve
  - a. Rézkiöntés nélkül
  - b. Top oldal, rézkiöntéssel
  - c. Bottom oldal, rézkiöntéssel
- V. Kihelyezett egységek kapcsolási rajza
- VI. Kihelyezett egységek nyomtatott áramköri terve
  - a. Rézkiöntés nélkül
  - b. Top oldal, rézkiöntéssel
  - c. Bottom oldal, rézkiöntéssel
- VII. Képek a központi egységről
- VIII. Képek a kihelyezett egységről

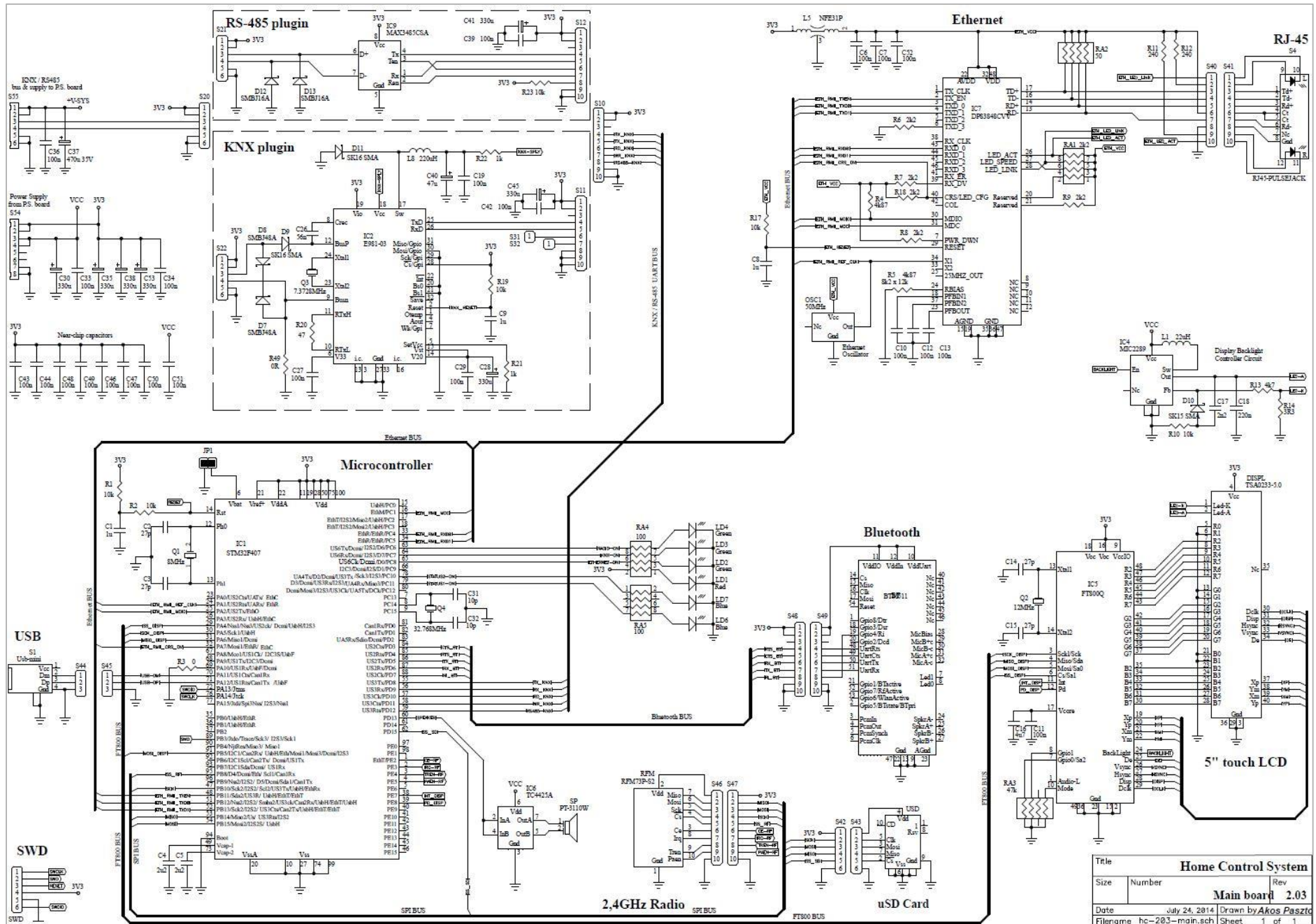


# Központi egység tápegység panel kapcsolási rajza

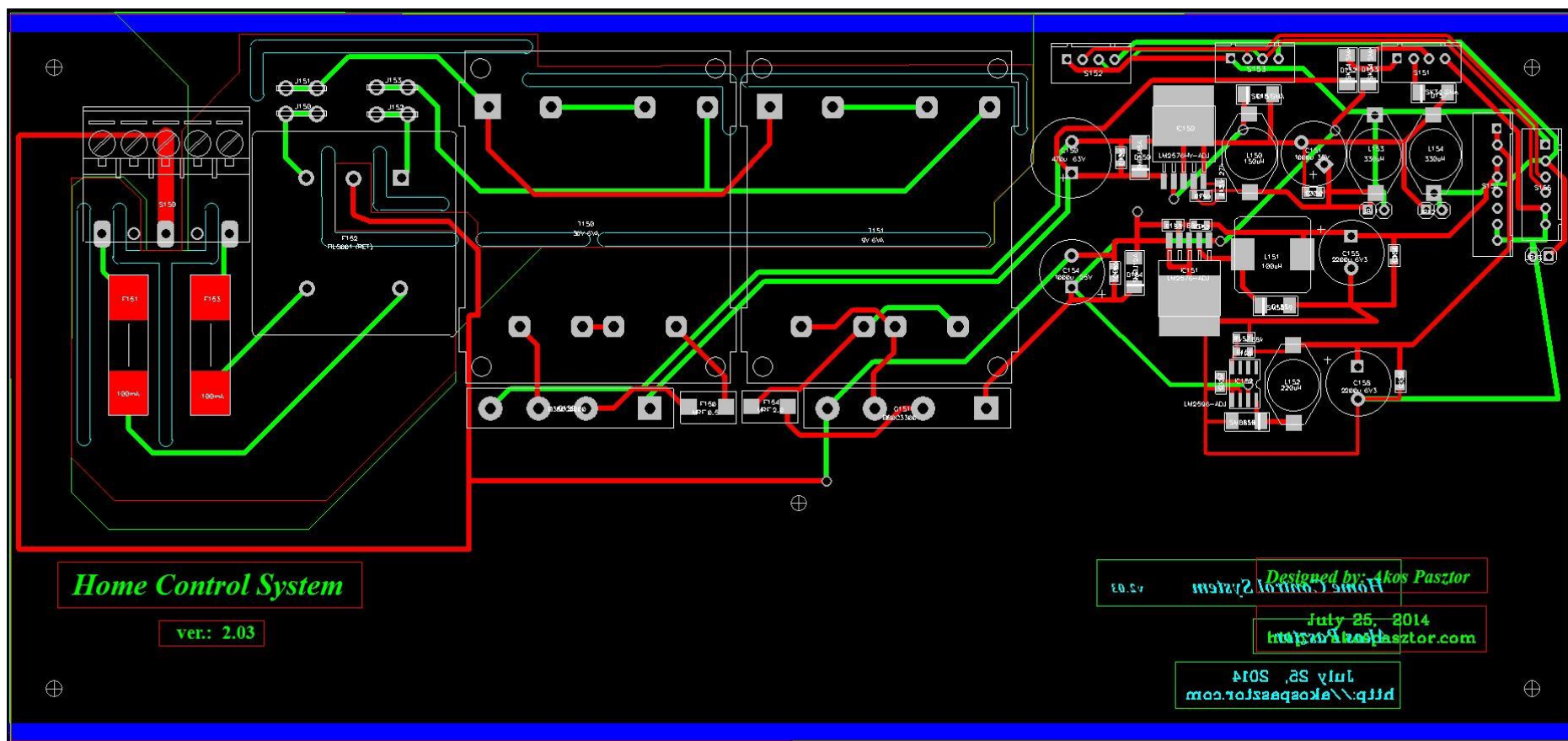


Title		
<b>Home Control System</b>		
Size	Number	Rev
<b>Power supply board</b>		<b>2.03</b>
Date	July 10, 2014	Drawn by <b>Akos Pasz</b>
Filename	hc-203-supply.SCH	Sheet 2 of 2

# Központi egység főpanel kapcsolási rajza

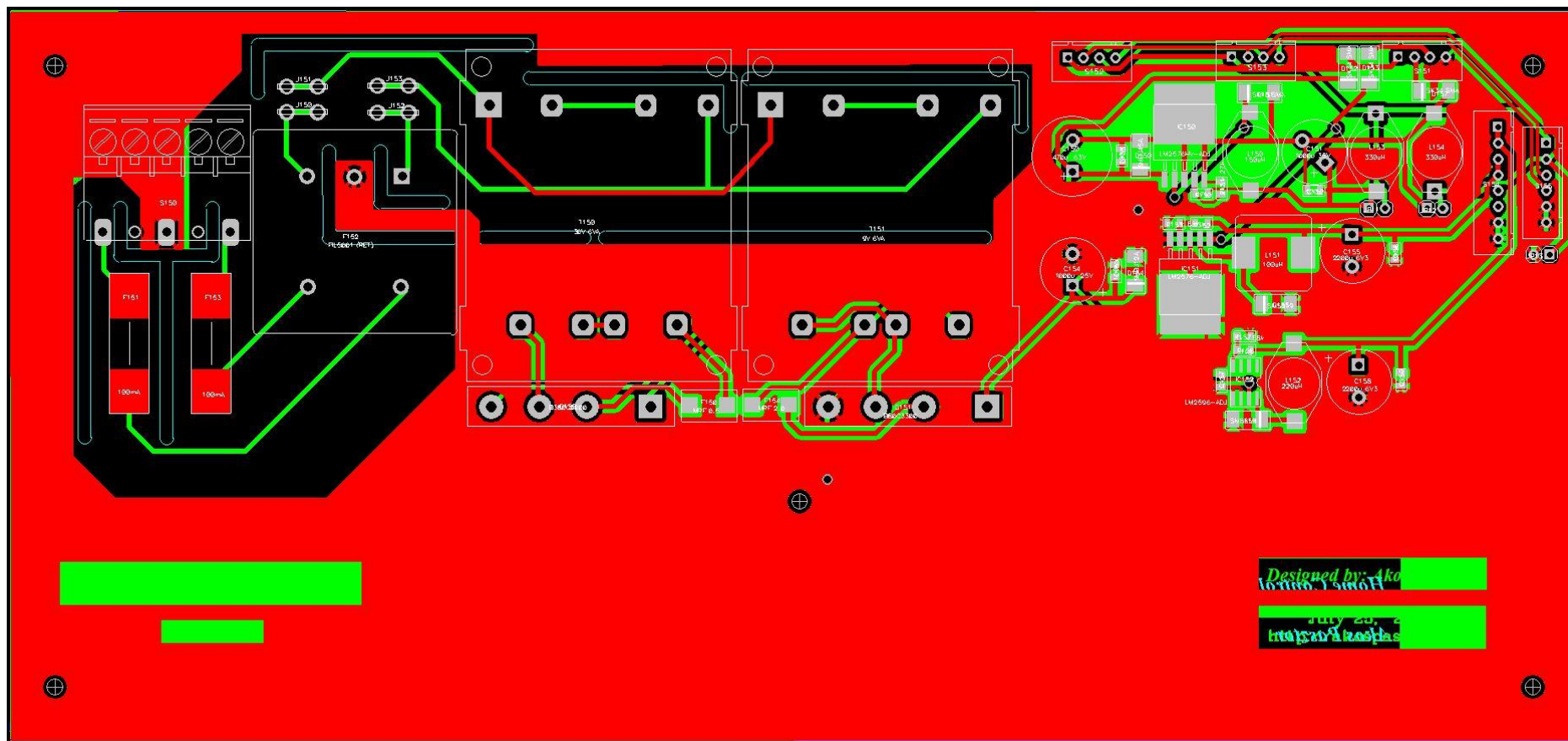


# Központi egység tápegység panel nyomtatott áramköri terve (rézkiöntés nélkül)

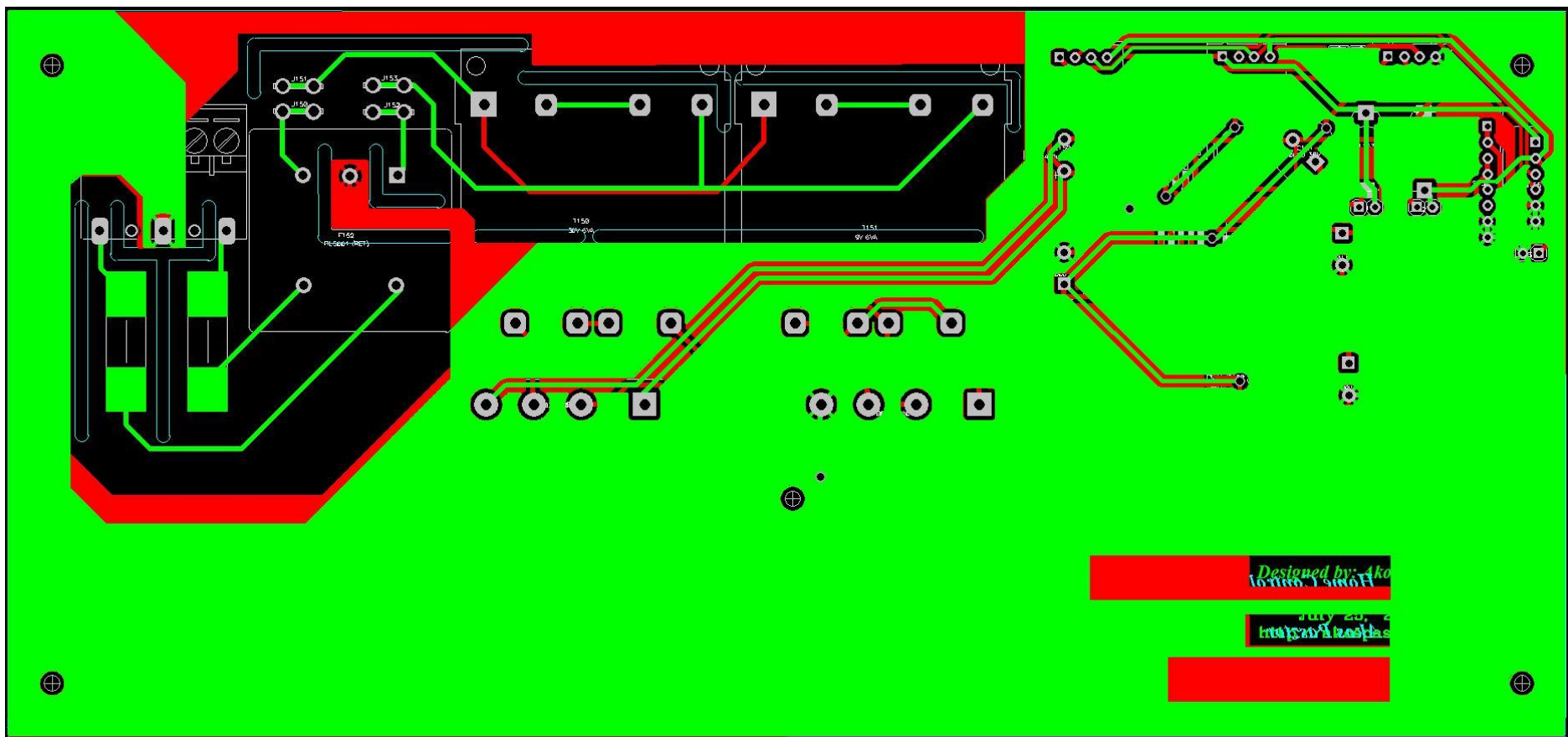




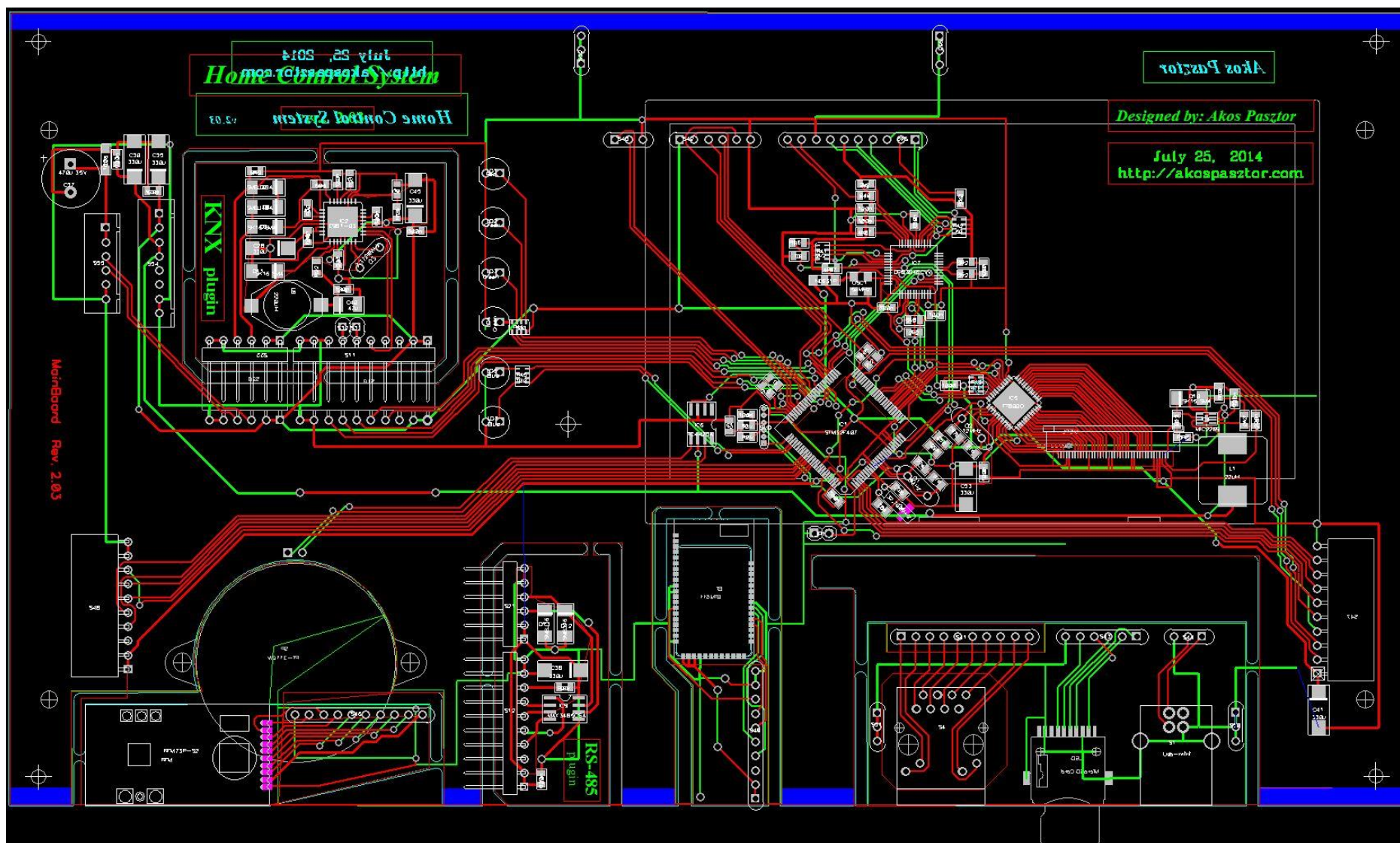
# Központi egység tápegység panel nyomtatott áramköri terve (top oldal)



# Központi egység tápegység panel nyomtatott áramköri terve (bottom nélkül)

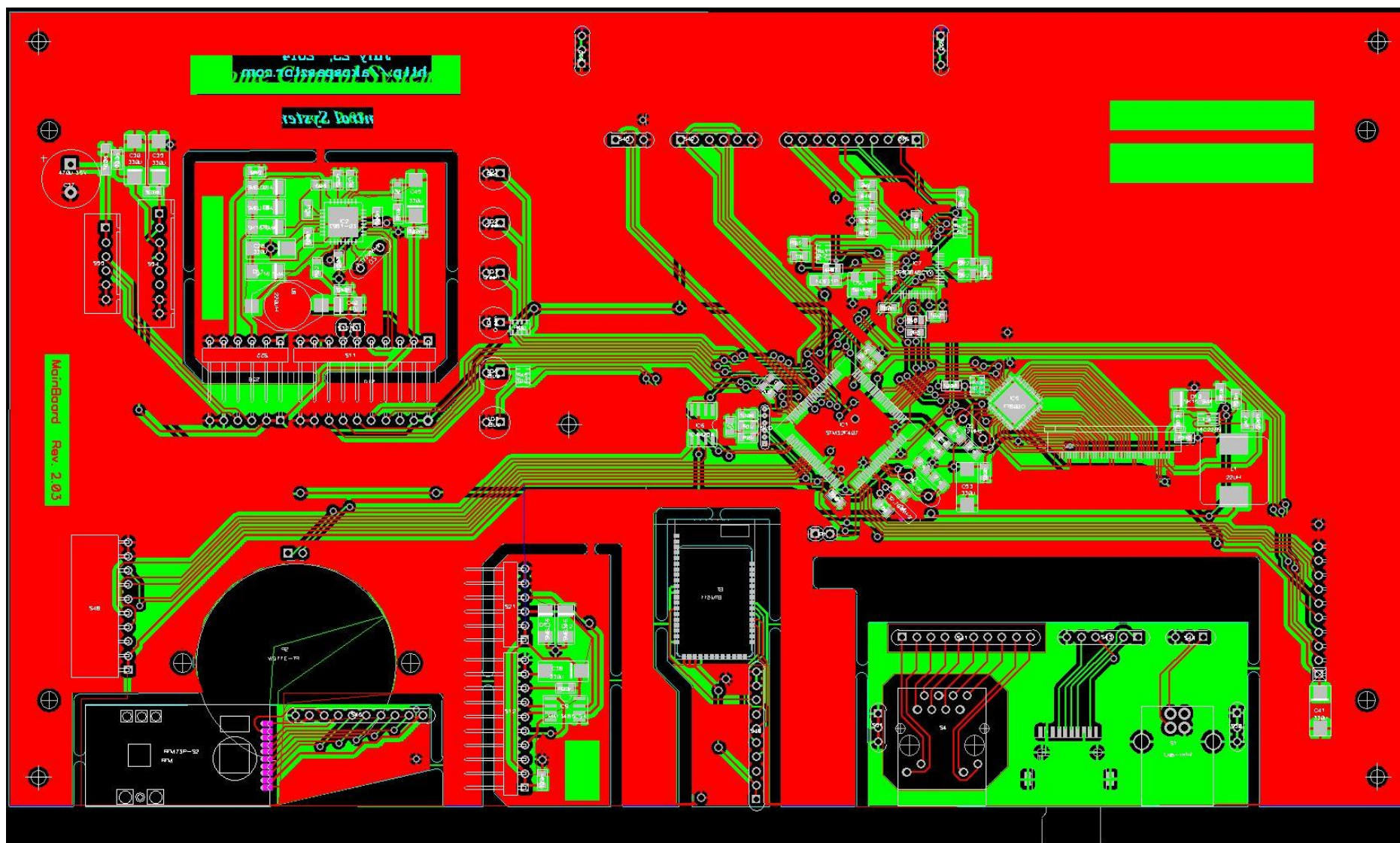


# Központi egység főpanel nyomtatott áramköri terve (rézkiöntés nélkül)

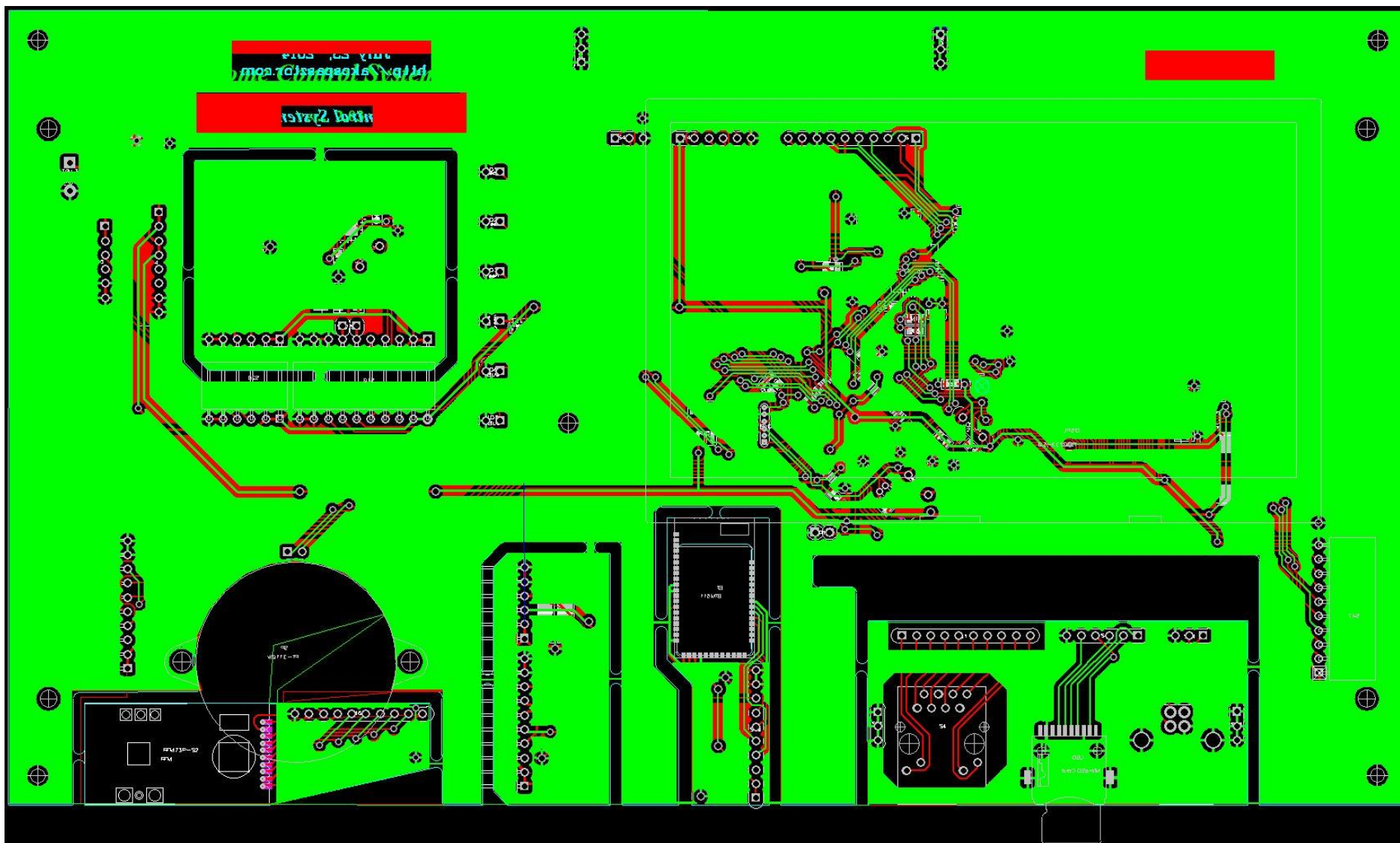




# Központi egység főpanel nyomtatott áramköri terve (top oldal)

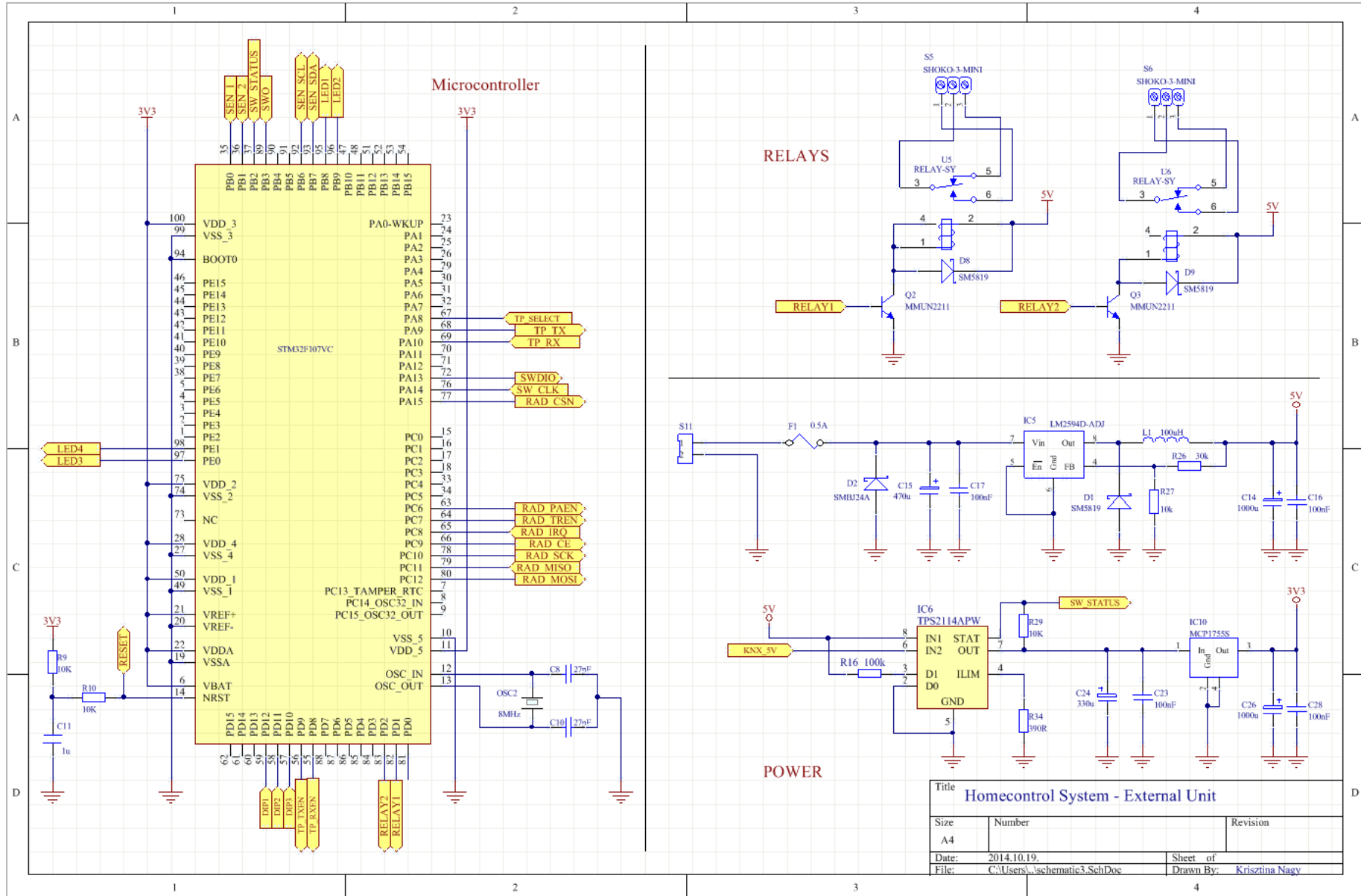


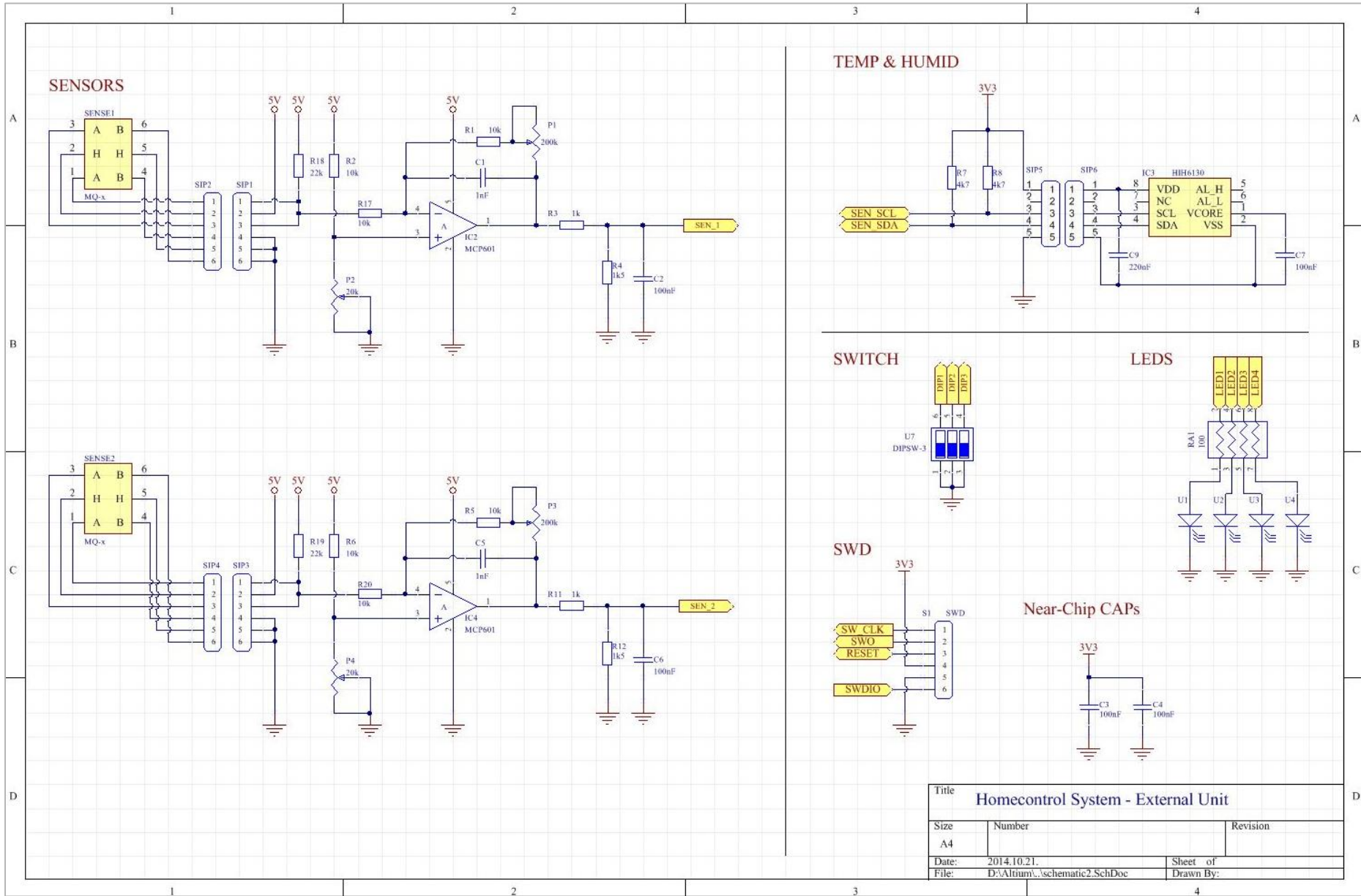
# Központi egység főpanel nyomtatott áramköri terve (bottom oldal)



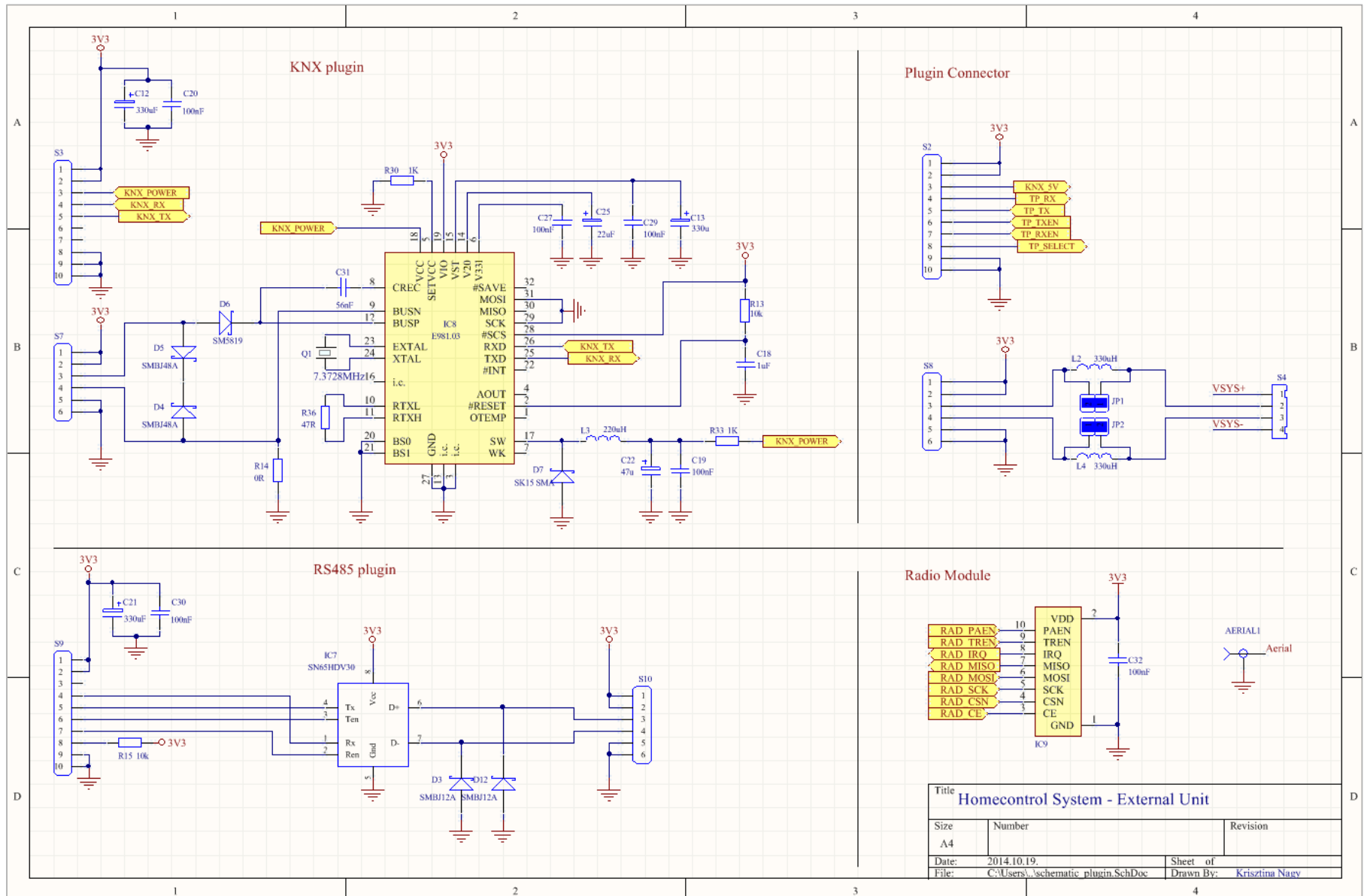


# Kihelyezett egységek kapcsolási rajza



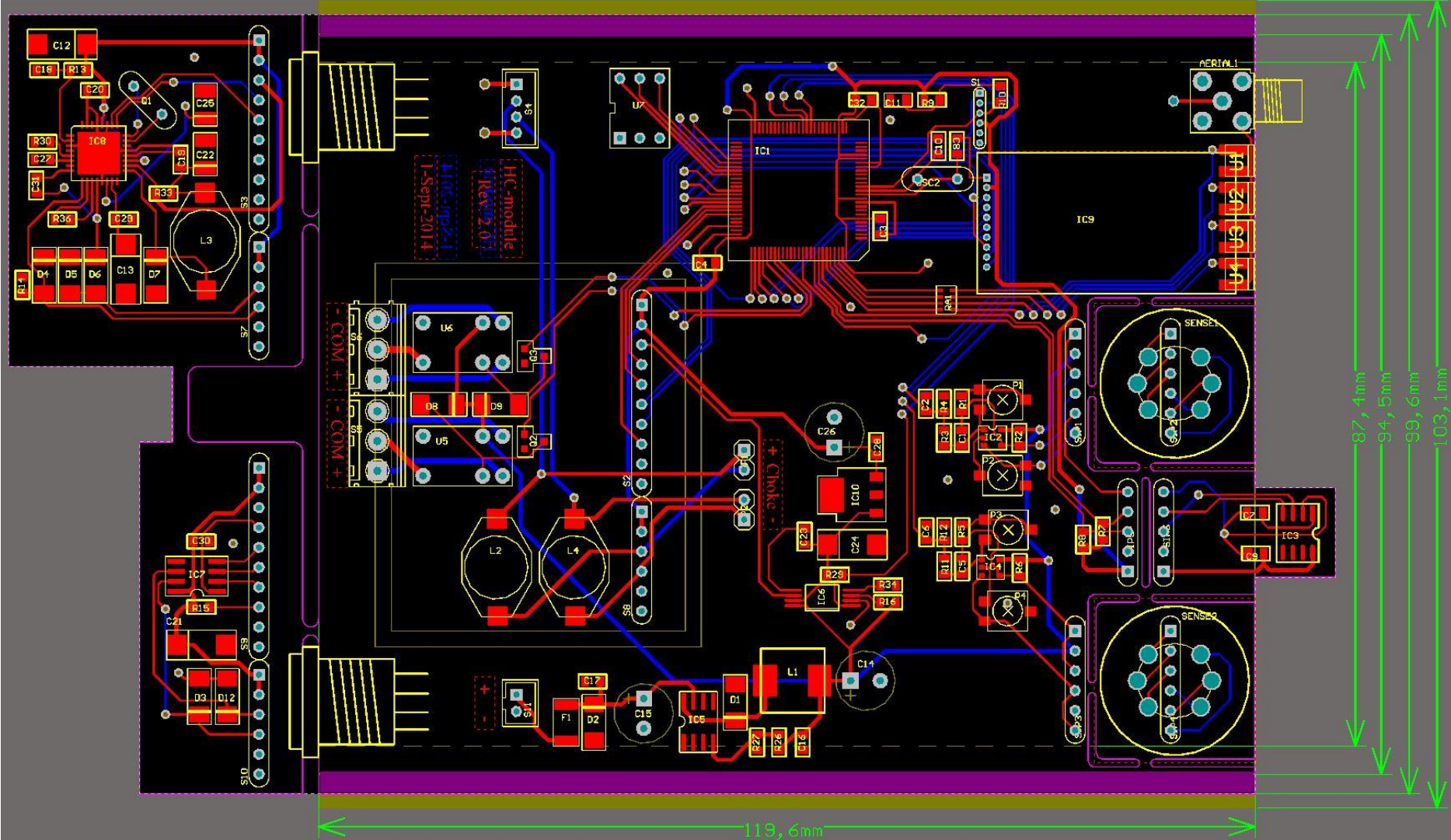


Title		
Homecontrol System - External Unit		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	2014.10.21.	Sheet of
File:	D:\Altium\...\schematic2.SchDoc	Drawn By:



Title		
Homecontrol System - External Unit		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	2014.10.19.	Sheet of
File:	C:\Users\...schematic_plugin.SchDoc	Drawn By: Kristina Nagy

# Kihelyezett egységek nyomtatott áramköri terve (rézkiöntés nélkül)



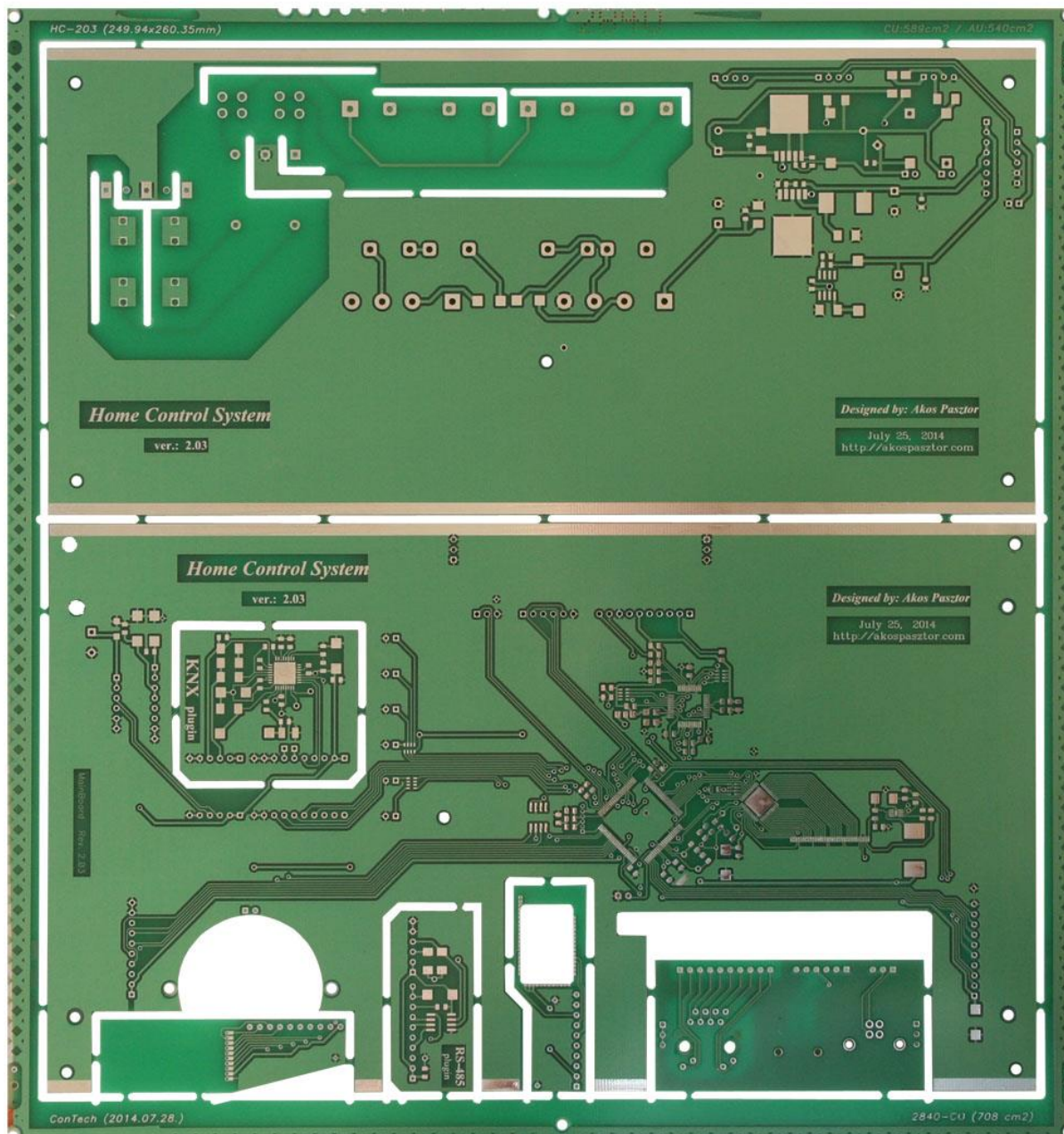




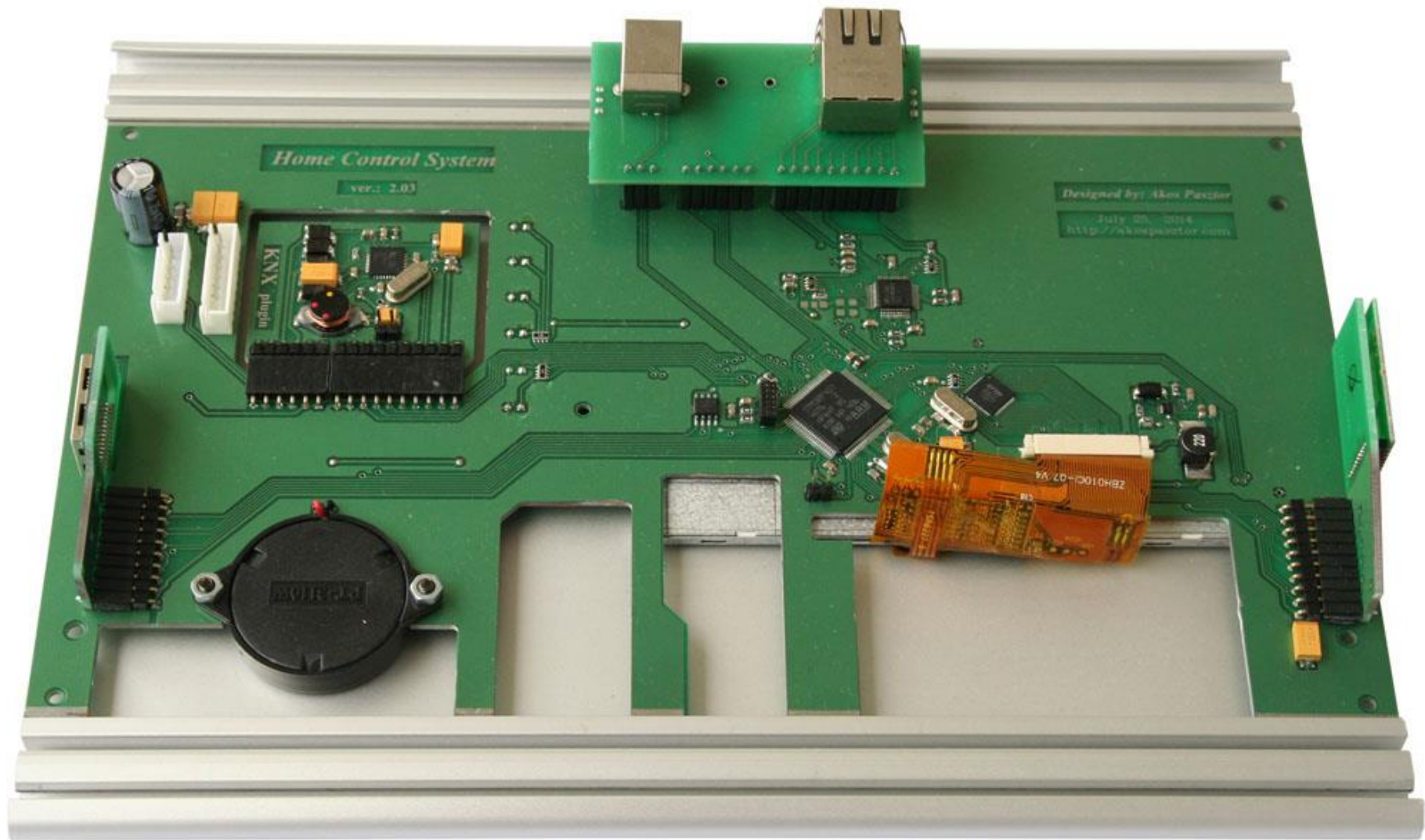




## Képek a központi egységről







Home Control System

ver.: 2.03

KNX plugin

Designed by: Akos Pasztor

July 28, 2014

<http://www.pasztor.com>

ZBH0100-07 V4

SWITCH





Heating OFF	Living Room Temp: 0.0 C Humid: 0% CO: 0 ppm CO2: 0 ppm	19:01 2014/7/14
Target Temp: 23.0	Bedroom Temp: 0.0 C Humid: 0% CO: 0 ppm CO2: 0 ppm	Status
Current Temp: 0.0	Kitchen Switched Off	Settings
		Notifications
		Start

- 
- 
- 
- 
- 
- 





# Képek a kihelyezett egységekről

