



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki kar, Mechatronikai mérnöki szak

Mikrokontrolleres fűtés szabályzó

Wesely Norbert

Bsc első évfolyam

Tartalomjegyzék

Köszönetnyilvánítás	3
Előzmények	3
Környezettudatosság, komplex rendszerek	3
A kezdet.....	4
Célok	5
Megoldást keresve	6
Piacon kapható vezérlők/szabályzók	6
Arduino.....	6
Képes lehet-e leváltani a relét?	7
Hardverek	9
Érzékelők.....	9
Szenzor interfész	10
Tápegység.....	11
Doboz	12
Szoftverek.....	13
Szenzorkalibrálás	13
Környezetbarát logika	14
Tesztüzem.....	16
Soros port kommunikáció	17
Grafikus felhasználói felület	18
Fejlesztés alatt	21
Összefoglalás.....	21
Források.....	22

Köszönetnyilvánítás

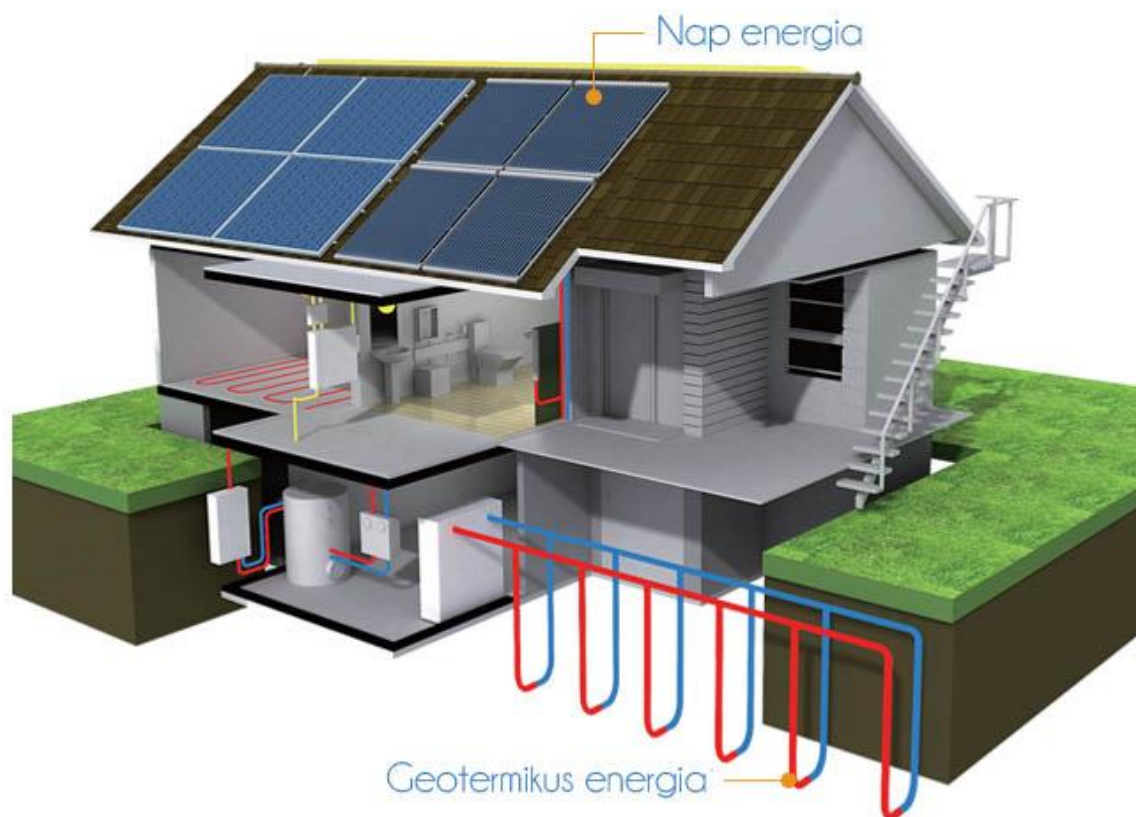
Elsősorban középiskolai fizika és informatika tanáromnak, Lang Ágotának, aki a soproni Széchenyi István Gimnáziumban töltött néhány év során az alapismeretek megtanításán túl, minden ötletem megvalósításában támogatott. Sokéves tapasztalatával és objektív kritikáival sokszor más nézőpontból mutatta meg a kérdéseimre a választ, és kitartásával átlendített minden holtpontra.

Másodsorban meg kell említenem a családom, illetve leginkább apukám segítségét, aki villamosmérnöki ismereteivel gyerekkorom óta terelget a mérnöki pálya irányába.

Előzmények

Környezettudatosság, komplex rendszerek

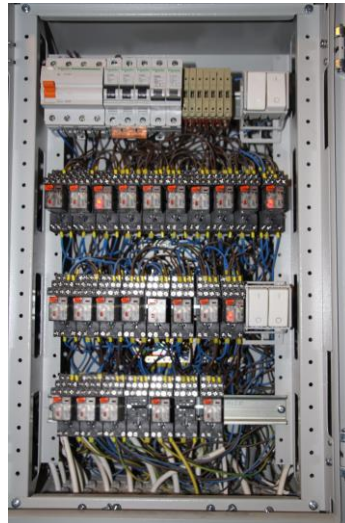
Manapság szemmel láthatóan terjed a környezettudatosság, az emberek számára fontossá vált a természet, illetve annak megóvása. Sokan a hulladékot gyűjtik szelektíven, vannak, akik kevésbé szennyező autót vásárolnak, de akad, aki a házat teszi energiatakarékosabbá. A falak és nyílászárók hőszigetelésén túl egyre többen döntenek megújuló energiák hasznosítása mellett. Megjelentek a tetőre szerelt napkollektorok, a hőszivattyúk, a pellet kazánok, illetve az ezekből felépülő összetett fűtésrendszerek.



1. ábra - környezetbarát ház - komplex rendszer

A kezdet

Kutatásomat egy személyes tapasztalat indította el. Nagybátyám háza tavaly épült, és a már említett energiatakarékosság fontos szempont volt a tervezés során. A 2000 literes puffer tartályt egy gázkazán mellett napkollektor, illetve vízteres kandalló is fűtheti. A rendszert a manapság legelterjedtebb, ám idejétmúltnak mondható hagyományos relés vezérlés irányítja. A tél beköszöntével kiderült, hogy egy rossz beállítás kapcsán a melegvizet a hideg kandallóba keringette a szivattyú, ahol a kéményen keresztül jelentős hőmennyiség távozott. Mivel a rokonom nem szakmabeli, kénytelen volt fűtészrelőre várni, ami tovább növelte a veszteségeket. Ekkor határoztam el, hogy felkutatok egy lehetséges alternatívát, mely könnyen áttekinthető beállítási lehetőséget ad a felhasználónak, és ezzel képes leváltani a ma már elavult relés vezérléseket.



2. ábra – nagybátyám összetett relés vezérlése

Célok

A már említett komplex, környezetbarát rendszerek ára egyre csökken, ezért egyre szélesebb társadalmi réteg számára válik elérhetővé ez a korszerű technika. Így a következő célokat tűztem ki:

- Ötletemmel ne csak egy specifikus esetet oldjak meg, hanem egy olyan rugalmas alternatívát nyújtsak, ami mindenki igényeit kielégíti
- Jelenleg Magyarországon a fogyasztók számára az egyik legfőbb szempont az ár, ezért kutatásom során én is ezt tekintettem első rendűnek. Egy drága eszköz nem lenne képes eljutni az átlagos háztatásokba, így a problémát se oldaná meg teljesen.
- Legyen maximálisan felhasználóbarát, tudja kezelni egy nyugdíjas is
- Legyen megbízhatóbb, mint egy relés vezérlés
- Fogasszon kevesebbet, mint egy relés vezérlés
- Legyen kisebb, mint egy relés vezérlés

Megoldást keresve

Piacon kapható vezérlők/szabályzók

Rövid internetes utánajárással kiderítettem, hogy vannak specifikus fűtésvezérlők. Nagy előnyük, hogy digitálisak, kicsi a helyigényük és képesek több fűtési kör irányítására. Kettő kritériumnak azonban nem felelnek meg. Egyrészt nem adnak lehetőséget a felhasználóknak, hogy fűtésüket egyéni igényeikre szabhassák, másrészt a leszűkült felhasználási terület következtében gyártásuk meglehetősen drága, áruk száz-ezer forintos nagyságrendű. Számomra tehát kiderült, hogy a piacon jelenleg még nem található olyan eszköz, mely az elvárásoknak megfelelne.



3. ábra - nem felhasználóbarát, drága vezérlő

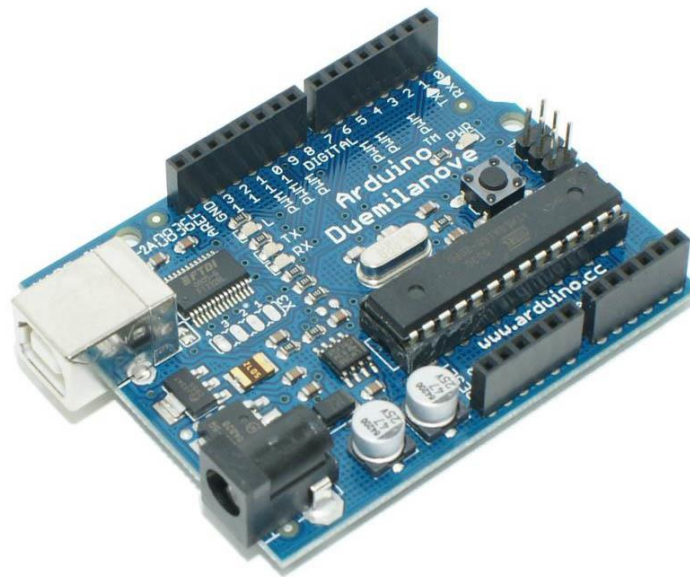
Arduino

Korábban kisebb kísérletekhez már használtam mikrokontrollereket, melyek közül hozzám leginkább az Arduino család áll közel. Ezekből a tapasztalatokból indultam el, hogy megépítsem a saját vezérlőmet. Választásom az Arduino Duemilanove platformra esett, mivel kereskedelemben kapható és rendkívül népszerű, így meglehetősen sok nyilvános tartalom állt rendelkezésemre. Fontos volt továbbá, hogy megfelelő számítási kapacitása legyen, rendelkezzen digitális kimenetekkel, és analóg bemenetekkel, mivel analóg hőmérséklet

szenzorokban gondolkodtam.

Specifikáció:

- ATmega168 16Mhz-es processzor
- 14 digitális I/O Pin
- 6 analóg bemenet
- Soros porton, USB-n keresztül programozható számítógépről
- 6-20V-os tápról működik



4. ábra - Arduino Duemilanove

Képes lehet-e leváltani a relét?

- A hagyományos vezérlés maximális fogyasztása kb. 18W. Ez abban az esetben fordul elő, ha mind a 23db relé behúzott állapotban van egyenként 0,81W-tal, azaz nagyon ritka, vagy egyáltalán nem fordul elő. Ebben az esetben elmondható, hogy fogyasztása körülbelül fele egy égve felejtett hagyományos izzónak, míg a kontroller ennek csak a töredékét, két nagyságrenddel kevesebbet kb. 0,2W-ot fogyaszt. (Az értékeket nagybátyám rendszerén mértem.)

- A házak tervezésekor igyekeznek a lehető legkisebb kazánházat létrehozni, mivel ez a rész a hasznos alapterületből vonódik ki. Egy összetettebb rendszer esetén előfordulhat, hogy a falon kigyózó csövek miatt a vezérlés csak egy nehezen elérhető helyen fér el. Míg egy relészekrény bőrrönd méretű (710 x 350 x 100mm), addig a kontroller elfér egy körülbelül 2 kártyapakli méretű dobozban (80 x 80 x 45mm).
- Véleményem szerint a digitális eszközök, mint például az Arduino, jóval megbízhatóbbak, mint a mechanikus elven működő relék. Míg a mikrokontrollerek egyetlen mozgó alkatrészt sem tartalmaznak, addig a relék behúzásakor egy elektromágnes rántja össze a belső érintkezőket. Az áramkör záródásakor azonban gyakran egy apró szikra keletkezik, és ez a kontaktusok megégéséhez vezethet. A felület sérülése, eloxidálódása hatására a vezetőképesség romlik, így ez a folyamat önmagát gerjeszti, és a rossz érintkezés miatt, szélsőséges esetben akár tűz is keletkezhet.



5. ábra - Égett relék

- Úgy gondolom, hogy fontos az alapbeállítások konfigurálásának lehetőségét a felhasználó kezébe adni, így fűtését saját igényeihez igazíthatja külső szakember bevonása nélkül. Ehhez csak egy számítógéptere illetve egy USB kábelre van szüksége.
- Végül, talán a legfontosabb szempont, az ár. Mivel a választott mikrokontroller nyílt forráskódú hardver, és felhasználási területe teljesen univerzális, távol keleten

nagytételben a gyártási költsége minimális. Internetes rendeléssel, légipostán 4-5 nap alatt érkezik meg, ára mindössze körülbelül 2000 forint. Egy relés vezérlés ára ennél jóval magasabb, összetettségtől függően, néhány tízezer forint.

Hardverek

Érzékelők

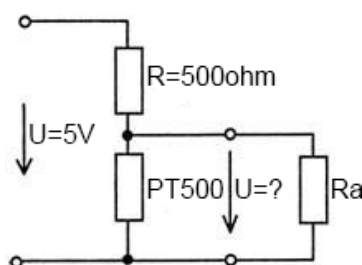
Természetesen egy Arduino beszerzése nem egyenlő a megoldással. További néhány ezer forintból, azonban megépíthető egy jól működő szabályzás. Ahhoz, hogy megtudjuk a rendszer különböző pontjainak hőmérsékletét, hőszensorokat kell használni. Először digitális hőmérőkben gondolkodtam, amiket egyetlen digitális ki/bemenetre fel lehet fűzni, és I2C kommunikáció segítségével kiolvashatóak az értékek, végül azonban analóg PT500-as platina alapú érzékelőkre esett a választásom. Döntésemet befolyásolta, hogy egy átlagos háztartásban nincs szükség több száz, vagy több ezer mérőre, így nem tudnám kihasználni a digitális technika nyújtotta előnyt. Szintén befolyásoló tényező volt, hogy PT500-asból találtam tartályzsebbe illeszkedő tokozott változatot. A gyártó szerint ezeket az eszközöket a fémborítás megvédi víztől, hirtelen hőhatásoktól, savtól, lúgtól, illetve mechanikai sérülésektől.



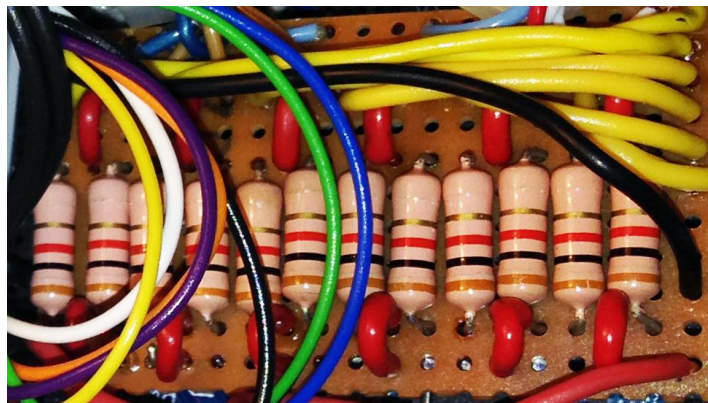
6. ábra - Tokozott PT500

Szenzor interfész

A szenzorok a hőmérsékletváltozások hatására az ellenállásukat változtatják, a kontroller azonban az analóg bemenetein csak feszültséget tud mérni. A megoldást feszültségosztó áramkörök jelentik, melyekből minden érzékelőhöz tartozik egy. A pontos mérések érdekében 500 ohmos ellenállást kellett használnom. Ezeket kettő darab 1Kohm-os alkatrész párhuzamos kapcsolásával hoztam létre. A párosítás nagy előnye, hogy figyeltem a névleges ellenállástól való eltérésekre, és olyan darabokat válogattam egymás mellé, melyek együtt a lehető legkisebb eltérést adják a kívánt rezisztenciához képest. Így egy 500 ohmos ellenállás és a Pt500-as ellenállása arányában változik a kontroller bemenetén mérhető feszültség. Ezt a panelt 100%-ban újrahasznosított alkatrészekből építettem meg. A tervezés során fontos szempont volt, hogy a kisméretű Arduino fizikai méreteit minél kevésbé növelje meg. A hat feszültségosztót egy shiledre építettem fel, mely a kontrollerre pattintható.



7. ábra - Feszültségosztó



8. ábra – Shield

Tápegység

A mikrokontroller vagy az USB stabil 5V egyenáramáról működik, vagy tápcsatlakozón keresztül 6-20V feszültséget vár, amit egy stabilizátor IC-n ejt 5V-ra. Mivel a fűtésrendszernek PC segítség nélkül is működnie kell, szükségem lett egy, a már említett paraméterekkel rendelkező tápegységre. Ehhez egy 12V-os mobiltelefon töltőt alakítottam át. Beépítettem egy indikátor LED-et, ami a tápfeszültség jelenlétét jelzi.



9. ábra - Tápegység

Doboz

Az áramkörök védelme érdekében borítást alkalmaztam. Választásom egy kisméretű 80x80x45mm-es Schneider dobozra esett, ami IP55 besorolással rendelkezik, azaz por és fröccsenő vízálló. További előnye, hogy felfogatási pontokkal rendelkezik.

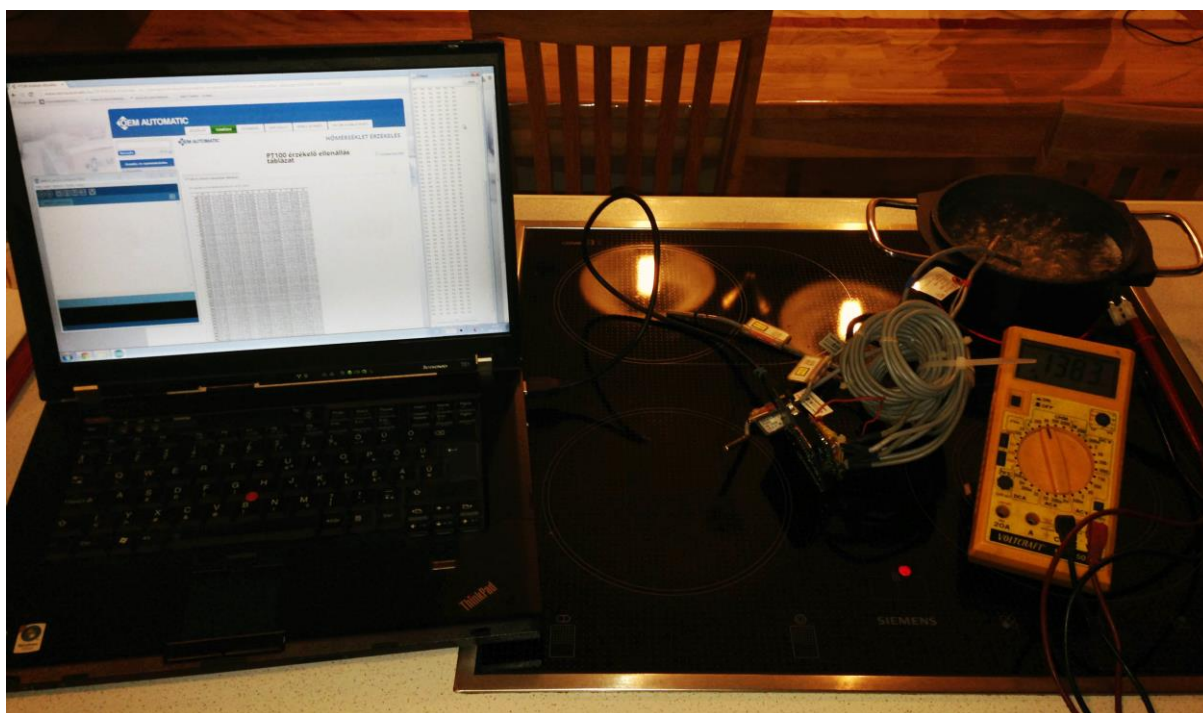


Szoftverek

Szenzorkalibrálás

Az Arduinokhoz a gyártó által biztosított freeware fejlesztőkörnyezetet használtam, amely segítségével programokat készíthetünk, tesztelhetünk, majd ezeket mikrokontrollerekre tölthetjük. Az ingyenes szoftver egy C/C++ alapú nyelvet használ, így korábbi programozási alaptudásomnak nagy hasznát vettem.

Először a szenzorok kalibrálását végeztem el. Egy tesztprogram segítségével analóg méréseket végeztem különböző hőmérsékletű vizekben, melyeknek a pontos hőmérsékletét műszerrel mértem. Az adatokat kiértékelve meghatároztam egy képletet, mely a 0-5V feszültségtartományon kiolvasott értékeket Celsius-fokokra váltja.



10. ábra - Szenzorkalibrálás

Környezetbarát logika

Az analóg értékek feldolgozása után a bemeneti értékek alapján megfelelő kimeneti jeleket kellett létrehoznom. A legfontosabb célom a környezettudatosság, vagy más nézőpontból, a spórolás volt. Az alapgondolat egyszerű, drága fosszilis energiaforrások helyett, amennyiben erre lehetőség van, egy alternatívát kell választani. Mivel a kutatásom nagybátyám problémájával indult, úgy döntöttem, hogy az eszközöm működését az ő rendszerének felépítésén keresztül mutatom be.

Meghatároztam néhány megváltoztathatatlan paramétert, ezek megszegése irracionális döntés lenne, illetve biztonsági kockázatot jelentene:

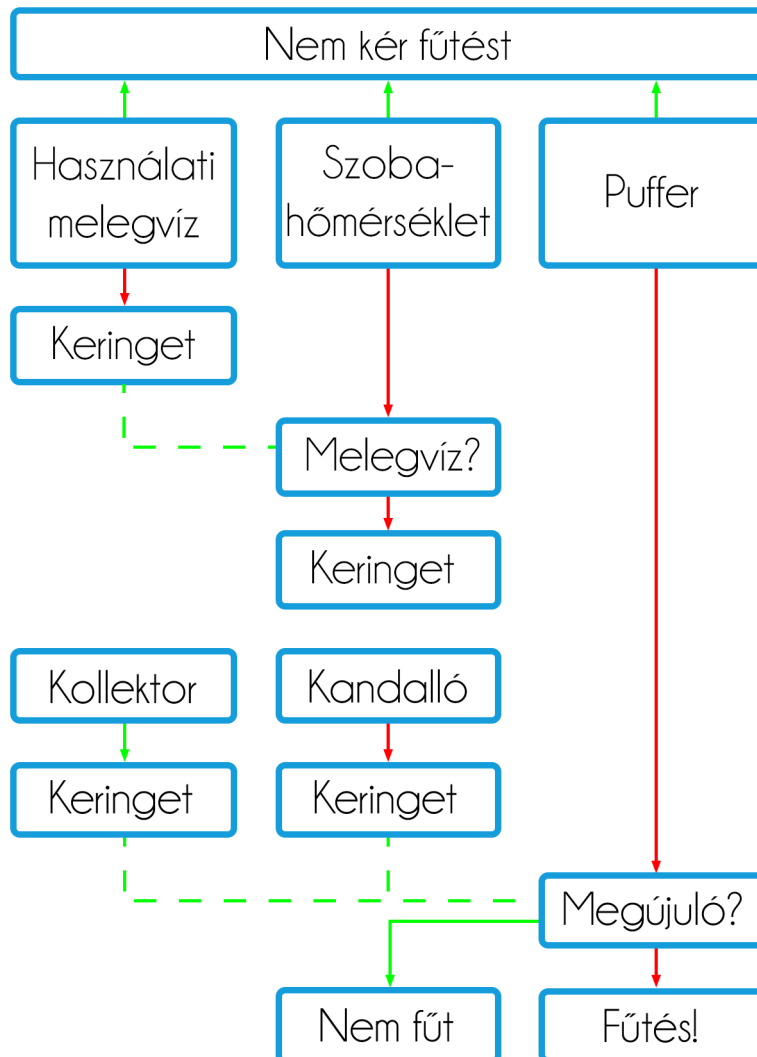
- puffer min: 40°C
- puffer min: felhasználó által megadott használati melegvíz célhőmérséklet
- napkollektor max: 98°C
- kandalló max: 98°C
- használati melegvíz max: 70°C

A szabályzó megkülönböztet irányítható (1.) és nem irányítható (2.) egységeket:

1. gázkazán vagy hőszivattyú
2. napkollektor, kandalló, használati melegvíz, szobahőmérséklet

Logikai kapuk segítségével, a vezérlés mindig a legkevésbé szennyező energia mellett dönt:

- ha melegvíz van a napkollektorban, akkor keringeti a folyadékot, ezzel melegítve a puffer tárolót
- ha melegvíz van a kandallóban, szintén keringeti a vizet, melegítve a puffert
- ha a felhasználó minden paramétere teljesült, akkor nem fűt
- ha a melegvíz hideg, vagy a ház hűlt ki, akkor a megfelelő kör keringet, elszállítva az energiát a tárolóból
- ha a puffer hideg, akkor melege van szükség
 - van termelő alternatív energiaforrásunk, ez esetben nem indul el a fűtés
 - nincs megújuló energia, kénytelen fűteni



11. ábra - Környezetbarát logika

A programom továbbá figyelembe tartja a használati melegvíz előnykapcsolását is. Erre akkor van szükség, mikor a ház már kihűlőben van, a pufferben kevés tárolt hő áll rendelkezésre, valaki azonban fürdeni szeretne. Ilyenkor előfordulhat, hogy a felhasználó nem jut a megfelelő hőfokhoz, ezért folytatja a langyos vizet. Ez az állapot hosszan elhúzódhat, hiszen elméletben akár a teljes ház felmelegedését is várhatja, miközben a víz folytatásával hűti a puffer tárolóban raktározott hőt. Tehát amellettt hogy, senki sem szeretne tíz percekig várni a zuhanyzóban, hatalmas víz és energiapazarlás, ami sem a környezetünknek, sem a

pénztárcánknak nem kedvez. A szabályzó ezt egy logikai kapuval küszöböli ki, azaz a ház légtérét csak abban az esetben melegíti, ha a használati melegvíz elérte a felhasználó által megadott célértéket.

Tesztüzem

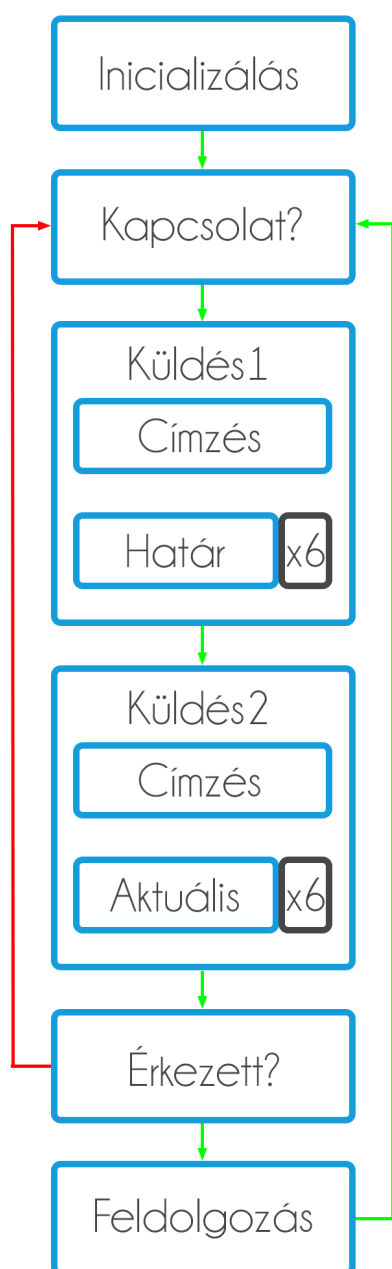
A házaknak tömegükből adódóan hatalmas hőtehetetlensége van. Mikor a szabályzás logikáján gondolkodtam, megfogalmazódott bennem egy ötlet, hogy jó lenne, ha ismernénk a házak tulajdonságait, hiszen ezzel sokat lehetne spórolni. Tegyük fel, hogy egy kihűlt ház célhőmérséklete 22°C . Ebben az esetben elkezd keringeni a forró víz, majd a határértéket elérve a szivattyú lekapcsol, de az előremenő víz továbbra is a csövekben marad, így a melegedés folytatódik. Egy túlfűtött ház, amellet, hogy energiapazarlás, még a komfortérzetet is csökkenti. Ahhoz, hogy tudjuk, hogy a szabályzás egy lépése pontosan milyen hatást vált ki, meg kellene ismerni az adott ház összes paraméterét, ami ha nem is lenne lehetetlen, de semmiképpen se lenne hatékony. Így azt a célt tűztem ki, hogy létrehozzak egy olyan tesztprogramot is, ami egy néhány órás mérés során megismer egy házat, és ha nem is tökéletesen, de bizonyos kereteken belül számol a tulajdonságaival. A házra jellemző paraméter az x változó, mely a következő képletből számolható ki:

$$\frac{\int_0^{t_1} T_E(t) - \int_0^{t_1} T_H(t)}{x(\text{avg}T_H + (18 - T_K))} = T_{\max} - T_0$$

A mérés során a ház valamilyen hőmérsékletű (T_0), és a szabályzás addig ad fűtés parancsot, amíg 2°C -os melegedést nem tapasztal. Ekkor a keringetés leáll (t_1), de a légtér hőmérséklete a csövekben maradt víz hatására tovább emelkedik, egészen a maximumig ($T_{\max}$). Tehát szükségünk van az időben változó előremenő víz hőmérsékletének görbéje ($T_{E(t)}$), és az időben változó ház hőmérsékletének görbéje ($T_{H(t)}$) közötti területre. Az integrált elosztjuk, ahol az osztó függ a ház hőmérsékletének t_0 és t_1 időintervallumon számolt átlagától, és a külső hőmérséklettől (T_K) (természetesen, csak ha van külső hőmérő is). Az eljárást ismételve mindig t_1 időket fűtve több x -et számolva egyre pontosabban ismerjük meg a házat. A

megszerzett tulajdonságok segítségével pedig leállíthatjuk a fűtést még a határértékek elérése előtt, hogy a csövekben maradt víz hatására a hőmérséklet pontosabban vegye fel a célértéket.

Soros port kommunikáció



Ahogy már említettem, egyik fő célom az volt, hogy a felhasználó kezébe adjam a beállítás lehetőségét. Manapság ez csak egy számítógépes felületen keresztül képzelhető el, ami USB kábelon kommunikál a beágyazott rendszerrel. Az első prototípusban, az aktuális adatok érdekében valós időben továbbítottam a hőmérsékletértékeket soros porton keresztül. A tesztelések során azonban kiderült, hogy változtatni kell a stratégián, mivel a másodpercenként küldött több száz mérési adat hibákat eredményezett. Ez a korai verzió csak adatokat tartalmazott, címzés helyett az értékeket meghatározott sorrendben küldtem, és a PC egymás után mentette őket a megfelelő változókba. A megoldást a következő prototípus jelentette, ahol már visszavettem a mintavételezés gyakoriságát másodpercenként 10-es nagyságrendűre. További előrelépést jelentett, hogy létrehoztam egy új kommunikációs protokollt, ami csomagokban küldi az adatokat. Ezekkel a módosításokkal a kommunikáció az egy hetes tesztelésen már teljesen üzembiztosnak bizonyult.

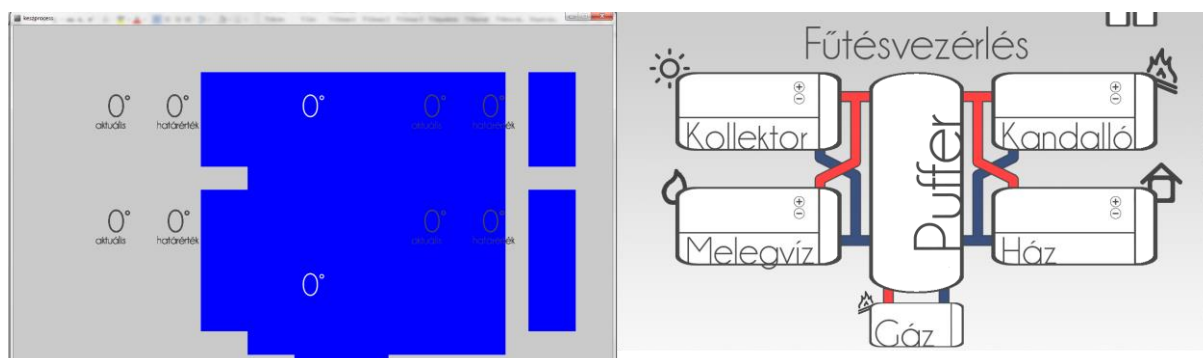
12. ábra - Soros kommunikáció

Grafikus felhasználói felület

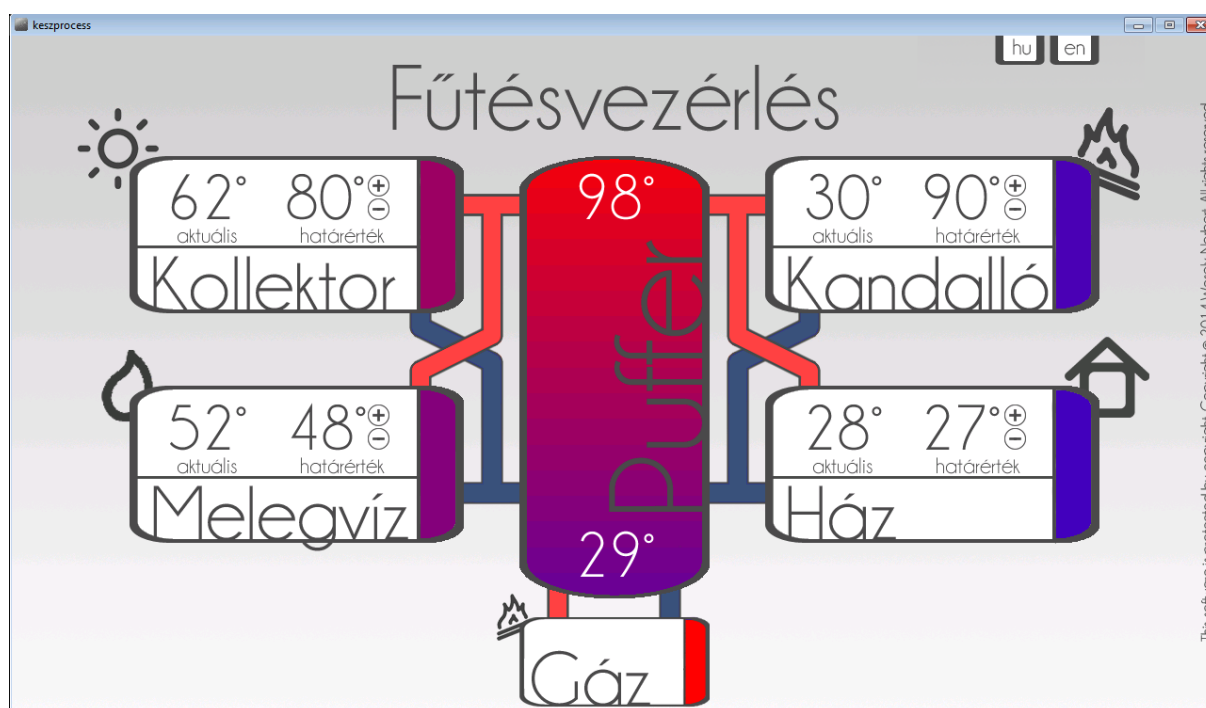
A számítógépen futtatható szoftvert úgy tervezése során szintén fontos szempont volt, hogy bárki számára könnyen kezelhető, egyszerűen megérthető legyen. Ez leginkább a grafikus felhasználói felület segítségével érhető el, amin egyszerűen áttekinthetjük fűtésünk stilizált modelljét. A programot Processing nevű nyílt forráskódú, ingyenes környezetben írtam. Azért esett a választásom erre, mivel C++-al már sokat foglalkoztam, de grafikus felületekkel még nem volt tapasztalatom. Ez a környezet pedig egy hibrid nyelvet használ, mely C és java keveréke.

A grafikai elemek döntő többségét Photoshop segítségével hoztam létre, ezek közül a leglényegesebb a háttér. Ez középen a puffer tartályt, körülötte keretekbe rendezve pedig a többi komponenst leegyszerűsített módon jeleníti meg. A tájékozódást a nagyméretű feliratok és adatok, illetve a dobozok sarkához illesztett piktogramok segítik. Minden box a fűtés egy egységének a beállításait tartalmazza, a bal oldali számokon az aktuális, míg jobb oldalon a kívánt határértékek olvashatóak. Személyes igényeinket a határértékek változtatásával állíthatjuk be, a plusz és mínusz gombok segítségével.

Miután elkészítettem a hátteret, unalmasnak és teljesen statikusnak éreztem, ezért igyekeztem látványossá tenni, javítva ezzel a felhasználói élményt. Animációkat készítettem a keretek megfelelő részeibe, valamit puffertartályra. Ezek a területek az aktuális mérési adatok alapján változtatják színüket, a piros értelemszerűen a meleget, míg a kék a hideget jelenti. A pufferben igyekeztem a fizikát és érzékeltetni, az alsó és felső érték alapján egy színátmenet mutatja a víz rétegződését. A grafikus elemeknél kihasználtam, hogy a szoftver kezeli a png kiterjesztésű képfájlokat, melyekbe akár átlátszó területeket is létrehozhatok. A megértést máshogy, de szintén segíti a nyelv átállítási lehetősége.



13. ábra - Az alul futó program, és a felül látszó skin



14. ábra - Könnyen áttekinthető GUI



15. ábra - Kész szabályzó

Fejlesztés alatt

A legújabb eszközöm Arduino Duemilanove helyett már Arduino Leonardo-ra épült. Áruk, illetve fizikai méreteik megegyeznek, de az újabb panel nagyobb tudással rendelkezik. Nagyobb a belső memóriája, de ami fontosabb, hogy 6 helyett 12 analóg bemenetet és 14 helyett 20 digitális kimenetet biztosít. További apró különbség, hogy USB-B helyett micro-USB aljzat található rajta. Ehhez a kontrollerhez egy Ethernet és MicroSD kártya modult is kapcsoltam, ami segítségével egy adathordozóra tudja menteni az adatokat, hogy azok később grafikonokon kiértékelhetőek legyenek. A kiegészítő panelen található RJ45-ös interfészen keresztül internethez kapcsolódik, és így a beállításokat online is elvégezhetjük. Az előnyt leginkább az jelentené, ha vezeték nélküli kapcsolaton keresztül változtathatnánk a paramétereken. Az erre képes okostelefon applikáció még nem valósult meg, jelenleg tervezés fázisában áll. Ennek segítségével a felhasználó bármikor, bárhol elérhetné fűtését.

Összefoglalás

Projektem egy izgalmas kihívásnak indult, úgy gondoltam néhány nap alatt megoldom nagybátyám problémáját. Ahogy egyre mélyebben ástam be magam a témába, egyre összetettebb ötleteket és elvárásokat fogalmaztam meg. A fejlesztéssel töltött utolsó középiskolás évem alatt rengeteget fejlődtem szakmailag, és talán emberileg is. Idő közben megváltozott bennem a munkáról és kitartásról alkotott kép, és hatalmas élmény volt új és új embereket megismerni, tanulni tőlük.

Úgy gondolom az alap problémát megoldottam, sőt sok időközben megfogalmazott célt is elértem. Sikertől belekóstolnom különböző tudományterületekbe, és felfedeztem, hogy mennyi izgalmas projekttel lehetne foglalkozni a jövőben.

Források

arduino.cc

processing.org

Getting Started With Arduino 2nd Edition

By Massimo Banzi

Maker Media, Inc October 2011, ISBN: 9781449309879

Make: Electronics (Learning by Discovery)

by Charles Platt ISBN: 978-0596153748

Processing: A Programming Handbook for Visual Designers

By Casey Reas and Ben Fry.

December 2014, The MIT Press, ISBN: 978-0262028288

Solar Heating Systems for Houses: A Design Handbook for Solar Combisystems

Werner W. Weiss, Earthscan 2003, ISBN: 9781849774000

Kamarás Péter - Vezérlések kiválasztása

Felvonó újság 2006-os száma