



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet

Mikroelektronikai és Technológia Tanszék

SZAKDOLGOZAT

OE-KVK
2022.

Hallgató neve: Harányi Ádám

Hallgató törzskönyvi száma: T009216/FI12904/K

Budapest, 2022



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Mikroelektronikai és Technológia Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Harányi Ádám

Szaktervezési száma: SZD22032812546948

Törzskönyvi száma: T009216/FI12904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: világítástechnikai szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Megvilágításmérő érzékelő fej külső termosztálása.

A dolgozat címe angolul: Thermostat for Lux meter.

A feladat részletezése: A dolgozat témája olyan elv, majd eszköz kidolgozása, amely lehetővé teszi a megvilágításmérő érzékelőjének hőfokfüggésének jelentős csökkentését. A cél, hogy a Magyarországon előforduló éjszakai hőmérséklet tartományon belül, a környezeti hőmérséklet elhanyagolhatóan kis mértékben befolyásolja a mérési eredményeket. Végezze el az ehhez szükséges háttérkutatót, vonja le a következtetéseket, amelyeket a szükséges számításokkal igazol. Dolgozza ki a külső termosztáló tervét, tegye lehetővé az eszköz hőmérsékletének szabályozását. A tervek alapján készítse el az eszközt. Végezzen hűtőkamrás méréseket és ellenőrizze, hogy az eszköz valóban képes-e a hazai hőmérséklettartományok mellett jelentősen csökkenteni a megvilágításmérő hőfokfüggését. Tegyen javaslatot a további fejlesztésre.

Intézményi konzulens neve: Molnár Zsolt

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 06. 30.

Beadási határidő: 2022. 05. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 03. 30.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

.....
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet
Mikroelektronikai és Technológia Tanszék

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022. 05. 10.

Kandó Kálmán
.....
hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

1.	Bevezetés	6
2.	Elmélet.....	8
2.1	Belső fotoelektromos hatás	8
2.2	Fényelem	9
2.3	Megvilágítás	9
2.4	Megvilágítás mérés	11
3.	Megvilágításmérő bemutatása	12
4.	Első lépések	15
5.	Fűtött doboz.....	17
6.	Fűtőpanelek	19
6.1.	Ellenállás huzalok	20
6.2	Fűtőszál elrendezés	20
6.2.1	Alsó panel	20
6.2.2	Oldalsó panel	22
6.3	Elektromos szigetelés.....	24
6.4	Elektromos csatlakozás	25
7	Hőmérséklet mérése	27
8	Áramkör.....	30
8.3	Feszültség referencia	31
8.4	Komparátor	33
8.5	Logikai Kapu.....	34
8.6	Kapcsoló tranzisztor.....	35
8.7	Állapot visszajelzés.....	36
8.8	Tápellátás	37
8.9	Hőmérséklet kijelzés	37
9	Termosztáló burkolata	38
9.1	3D nyomtatás	38
9.1.1	Nyomtatási eljárások.....	38
9.1.2	Műanyagok	39
9.2	3D nyomtatott burkolat	40

10	Mérések.....	44
10.1	Mérési összeállítás	44
10.2	Megvilágításérték hőmérséklet függése	44
10.3	Termosztálás stabilitása	51
10.4	Eredmények értékelése.....	54
11	Fejlesztési lehetőségek.....	55
11.1	Elektronika	55
11.2	Mechanika	55
12	Összefoglalás	56
13.	Summary	57
14.	Mellékletek / függelék	58
15.	Irodalomjegyzék	61
16.	Táblázat-és Ábrajegyzék.....	63

1. BEVEZETÉS

A világítástechnika területén is igen fontosak a megbízható és reprodukálható mérések, például kész projektek, beruházások műszeres ellenőrzése. A leggyakoribb fénytechnikai mennyiség, amelyet mérni kell, az a megvilágítás. A tervezés során, a tervező a szabványoknak megfelelő megvilágítási szintet tervez. A kész beruházás átadása előtt a tervezett és a valós értékeket össze kell hasonlítani. Bizonyítani kell méréssel, hogy teljesültek a feltételek, és ha nem jó, akkor az átadás előtt (amennyiben ez lehetséges) korrigálni kell, máskülönben meghiúsul az átvétel. Ezért fontos a megfelelő tervezés és a pontos mérés.

Az én feladatomban az volt, hogy egy kalibrált megvilágításmérő műszert termosztáljak. Ez azt jelenti, hogy a műszert egy előre meghatározott hőmérsékleten kell tartani a lehető legpontosabban, ezáltal a benne lévő megvilágításmérő szenzor (fényelem) környezeti hőmérséklettől való függése kiküszöbölhető.

A műszer kalibrációs mérését a kalibráló labor hőmérsékletén végezték el, és ezen a hőmérsékleten (vagy annak közelében) szeretnénk tartani a megvilágításmérő szenzort, hogy a mért eredmények a lehető legpontosabbak legyenek. Felhasznált műszert 20.7 Celsius fokon kalibrálták.

Kétfajta termosztálási lehetőség lehetséges. Direkt fűtés esetében a műszeren belül a fényeletet direkt módon fűtjük. Ez a módszer előnyös, hiszen nem kell először a házat és a benne lévő levegőt felfűteni, tehát gyorsabban, kisebb teljesítménnyel lehet felmelegíteni a fényeletet a kívánt hőmérsékletre. A műszer megbontása és átalakítása nélkül ez nem lehetséges, ehhez a megoldáshoz gyárilag kell kialakítani a fényelet alsó oldalán a fűtést. Ezért számomra maradt az indirekt mód, tehát az egész műszert mindenestől fűtöm.

Vannak olyan műszerek, amelyek külön mérőfejjel vannak ellátva. A fej egy kábelen keresztül csatlakozik a műszerhez. Ebben az esetben kisebb a különbség a két melegítés között, hiszen a szenzort kevesebb levegő veszi körül a burkolaton belül.

Általánosságban elmondható, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható termosztált műszerek drágábbak, illetve ha mégis találunk olcsóbbat, az nem olyan pontos. Pontosság alatt értem a skálázhatóságot, $V(\lambda)$ illesztettséget és a linearitást. Azt tapasztaltam, hogy nem túl gyakori a termosztált megvilágításmérő műszer.

Célom a dolgozattal az, hogy a megvalósult konstrukciónak nemcsak elméletének, tervezésének és készítésének leírása, hanem dokumentációja is legyen.

2. ELMÉLET

2.1 BELSŐ FOTOELEKTROMOS HATÁS

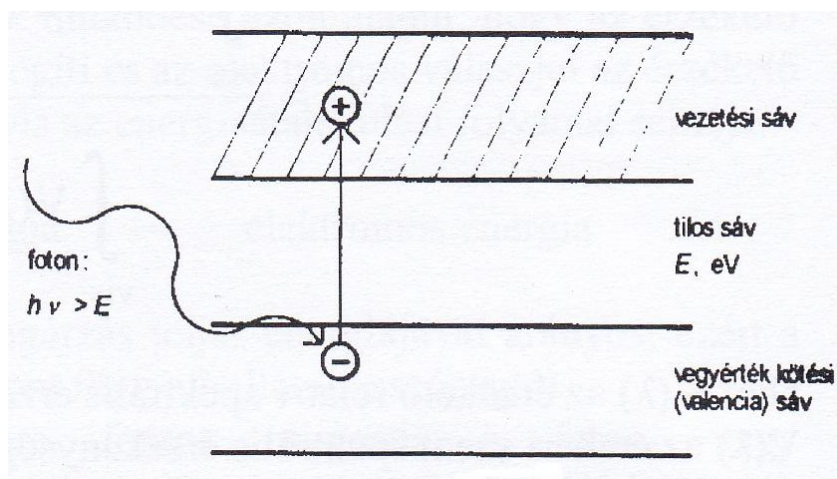
Félvezető anyagot két kivezetéssel látunk el, majd áramkörbe kapcsolva a szabad töltéshordozó koncentrációjától és a töltéshordozók mozgékonyaságától függő áramot kapunk. Érdekes tény, hogy a cellát sötétbe helyezve is folyik áram, ez sötétáramnak nevezzük. A félvezető anyag tiltott sávjának a szélességénél nagyobb energiájú fotonnal sugározzuk be, akkor töltéshordozók válnak szabaddá, amelyek a külső tér hatására elmozdulnak, és a besugárzás intenzitásával arányos áramerősség növekedést hoz létre. [1]

$$E = h\nu$$

E = Tiltott sáv szélessége [eV]

h = Planck állandó

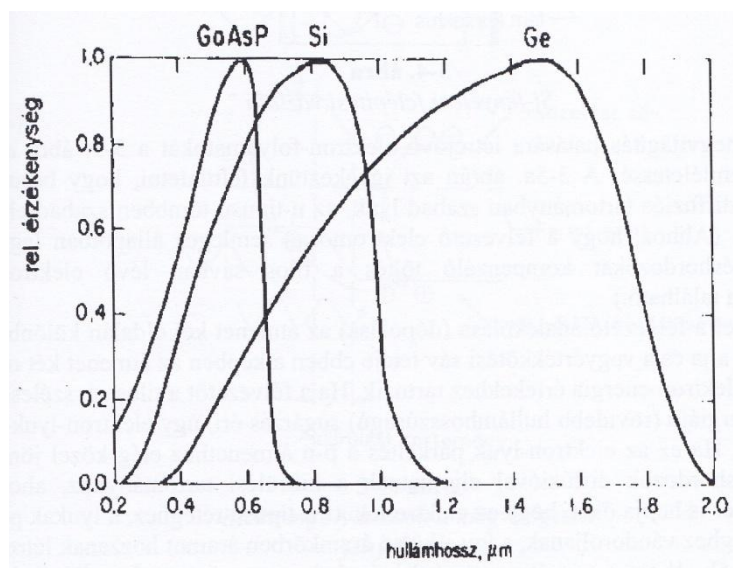
ν = Foton frekvenciája [Hz]



1. ábra. Fotovezető anyag egyszerűsített sávképe [1]

2.2 FÉNYELEM

A fényelem olyan fényelektromos átalakító, amely a záróréteges fényelektromos hatáson alapul. Gyakorlatilag egy félvezető dióda, amelyet úgy alakítanak ki, hogy optikai hatásfoka a lehető legjobb legyen. Szilíciumból készülnek a fénymérésre használatos fényelemek, mert a teljes látható színek tartományban érzékenyek. [1]



2. ábra. Fényelemek spektrális érzékenysége [1]

2.3 MEGVILÁGÍTÁS

„A megvilágítás egy felület adott pontjában az adott pontot tartalmazó felületelemre eső fénysűrűség és a felületelemnek a hányadosa.” [2] Jele: E. [2]

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

„Ha a felület átlagos megvilágítását jellemezzük, ebben az esetben a képet:” [2]

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

A = felületelem nagysága

Φ = fénysűrűség

„Valóságban a felületek különböző pontjaiban más és más megvilágítási értékeket mérhetünk.” [2]

„A megvilágítás mértékegysége a lux [lx]. 1 lux megvilágítás egy 1 m²-es felületen, ha arra egyenletesen 1 lumen fényáram esik.” [2]

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}$$

Azért hogy el tudjuk képzelni, hogy egy lux érték mit is jelent a gyakorlatban, szeretnék néhány példával szolgálni. A telihold derült időben körülbelül 1 lx megvilágítást hoz létre. Közvilágítás esetében néhány tíz lx, irodai munkához 300-500 lx ajánlott a világítási feladattól függően. Finommechanikai és elektronikai szereléshez 1000 lx feletti megvilágításra van szükség. [2]

Ezen felül szeretném még megemlíteni a **fotometriai távolságtörvényt**.

$$E = \frac{I}{R^2}$$

Ez azt jelenti, hogy a fényforrástól távolodva, a megvilágítás csökken a távolság négyzetével (R^2) arányosan. (I a fényforrás fényerőssége) Ez abban az esetben igaz, ha a fénysugarak merőlegesen érkeznek az érzékelő felületére. [2]

Ha a beeső fénysugár nem merőlegesen érkezik, akkor az eltérés cosinusával kell szorozni a fényerősséget. [2]

$$E = \frac{I * \cos \gamma}{R^2}$$

„A cosinus-függvény magyarázata az, hogy a fényerősség-vektornak a felületre merőleges összetevőjét vesszük figyelembe. Minél távolabb vagyunk a fényforrástól, a távolságtörvény annál pontosabban érvényesül, hiszen ekkor a fényforrás egyre jobban pontszerűnek tekinthető.” [2]

2.4 MEGVILÁGÍTÁS MÉRÉS

Mérés kapcsán beszélhetünk horizontális és vertikális megvilágítás mérésről. Horizontális esetben a megvilágításmérő műszert a vízszintes síkkal párhuzamosan helyezzük el, lehetőleg legközelebb a mérendő felület síkjához, és a rá felülről érkező fényt mérjük. A cos korrekció segít a szögben érkező sugarak begyűjtésében.

Vertikális esetben általában valamilyen előre meghatározott (például szabvány szerinti) magasságban, függőlegesen helyezzük el a mérőeszközt.

A mérés során a mérő személynek vagy személyzetnek ügyelnie kell a véletlen fény kitakarásra, hiszen, ha a mérést végző személy beárnyékol a műszernek, akkor a valóságostól kisebb megvilágítás értéket fog mérni.

Belső téri (munkahelyi) mérések esetében az MSZ EN 12464-1 szabvány szerint végezhetőek a mérések, kültéri munkahelyek esetében pedig az MSZ EN 12464-2 alapján.

Közvilágítás esetén az MSZ EN 13201 szabvány alapján kell a méréseket elvégezni. A szabvány tartalmaz út osztályokat (motorizált terület {M}, konfliktus terület {C}, lassú járművek, gyalogosok, parkolók területe {P}), amelyek alosztályokra (például: M1 - M6) vannak bontva. Néhány útosztállynál a megvilágítás helyett fénysűrűséget kell mérni. Fontos a megvilágítás egyenletessége is!

A szabványok tartalmazzák a megfelelő megvilágítási értékeket, a mérőháló meghatározását, fogalmak definícióit.

3. MEGVILÁGÍTÁSMÉRŐ BEMUTATÁSA

A **Minilux** nevezetű megvilágításmérő műszert a PHONON KFT rendelésre készíti. Hordozható, beépített Lithium-Polymer akkumulátorral rendelkezik, amit mikro USB-n keresztül lehet kétfajta üzemmódban tölteni. Az akkutöltő elektronika a processzor kártyára van integrálva (NRF52840 alapú lap a Nordic-től). A kijelzője 2.23” méretű, 128x32 pixelű OLED, kék háttérvilágítással, ami külön ki- és bekapcsolható. Kijelzőről leolvasható a mért érték lx-ban, az akkumulátor töltöttsége %-ban, a mérés módja és a Bluetooth kapcsolat állapota.



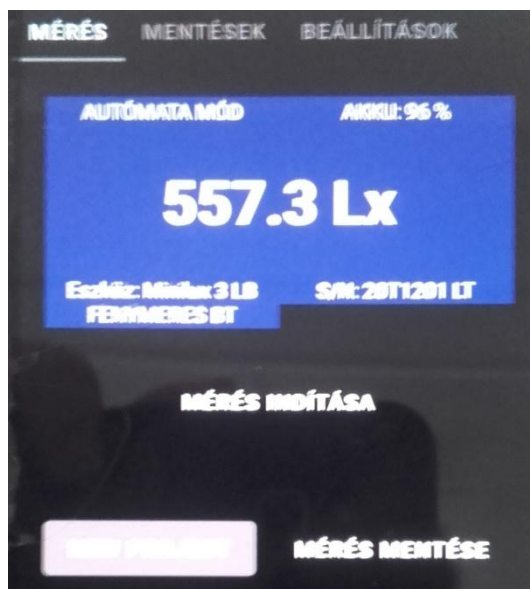
3. ábra. Minilux műszer

A fényérzékelője nagyérzékenységű szilícium fényelem (Hamamatsu S1133), amely a CIE $V(\lambda)$ görbéhez lett igazítva. A $V(\lambda)$ illesztettség eredménye, hogy a használat során nincs szükség korrekciós tényezőre, egyaránt kül- és beltéren, mesterséges fényforrások mellett. A pontos cos korrekció lehetővé teszi, a ferdén

beérkező sugarak esetén is azt, hogy optimális eredményt kapjunk és olvashassunk le a kijelzőről.

A készülék 5 különböző méréshatárral rendelkezik. Legalsó méréshatárban 0.01 lx mérhető. Legfelső méréshatárban 450-500 klx képes mérni, de a gyártói ajánlás szerint hosszú távon nem érdemes ekkora intenzitású fénynek kitenni, mert a fényelem károsodásához vezethet. Műszaki adatok alapján 250 klx biztonsággal mérhető.

Van lehetőség mobil applikáción keresztül mérésre, BLE (Bluetooth Low Energy) kapcsolaton, UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) kommunikáción keresztül. Ebben az üzemmódban a mérések alatt lecsökkent az üzemidő. Csatlakozás után az applikációban el tudjuk indítani a mérést, ezután megjelenik a mért érték, amely bizonyos időközönként (körülbelül 1 s) frissül. A mért értékeket el tudjuk menteni. Ezen felül megtalálhatjuk az akku töltöttségét jelző számot is. A beállításokban többek között lehetőség van a kijelző és a csipogó kikapcsolására.



4. ábra. Minilux applikációja

A műszerbe kérésünkre a gyártó által beépítésre került kettő darab analóg hőmérő IC (LM35). Az egyik a fényelem tartójára került, a másik a műanyag ház alá.

A készülék homloklapjának jobb alsó sarkába került a hőszensorok csatlakozója.
A 4 pólusú jack csatlakozó bekötése:

1. táblázat. Csatlakozó bekötése

pin (kivezetés)	1	2	3	4
	fej szenzor	ház szenzor	Föld	Tápfeszültség
vezeték színe	fehér	sárga	kék	piros

Műszaki adatok:

Maximálisan mérhető megvilágítás 250 klx

Minimálisan mérhető megvilágítás 0.01 lx

Hőmérsékleti együttható **0.1 %**

A $V(\lambda)$ illesztés hibája $f_1' < 1.5 \%$

UV érzékenység $u < 0.1 \%$

Infravörös érzékenység $r < 0.1 \%$

Térbeli érzékelés hibája $f_2 < 0.1 \%$

Linearitási hiba $f_3 < 0.1 \%$

Kijelző hibája $f_4 < 0.6 \%$

Fáradás $f_5 < 0.1 \%$

Méréshatár váltás hibája $f_{11} < 0.5 \%$

Alsó határfrekvencia $f_a = 40 \text{ Hz}$

Felső határfrekvencia $f_f = 10^5 \text{ Hz}$

Méretei 145 x 85 x 30 mm

Bluetooth hatótáv 5 – 25 m

A műszer használata +5 °C és +50 °C között ajánlott.

A műszer minősítése: L kategória (0-3 %).

4. ELSŐ LÉPÉSEK

A tervezés kezdeti szakaszában kollégámmal elméleti síkon gondoltuk át a feladatot, majd elindultam a fűtés kérdésén, hogy hogyan is lehetne megvalósítani. Szóba került a peltier modulok használata, amiről azt tudtam, hogy áram hatására az egyik oldala elkezd melegedni, a másik oldala viszont lehűl. Ennek alkalmazását azért vetettem el, mert a lehűlt részen páralecsapódás keletkezne, ami rá is fagyhat a felületére. Következő probléma az egyenletes hő leadás, a modul adott mérete miatt, és viszonylag drága is.

A következő lehetőség az egyszerű fűtőszál (bővebben: 6.1 fejezet), amiből rendelkezésre állt néhány fajta. Először azt gondoltam ki, hogy a fűtőszálat milyen elektromosan szigetelő és hőálló lapkára szereljem fel. Először bakelitre gondoltam, de később jobbnak láttam erre a célra az üvegszál erősítésű nyomtatott áramköri lapot (NYÁK). Próbaképpen egy használt NYÁK lapon megrajzoltam egy kezdetleges mintát, amit egy kézi csiszoló segítségével picit (néhány tized milliméter mélyen) bele martam a felületbe. A fűtőszálat elhelyeztem és kétkomponensű ragasztóval több helyen is megragasztottam, hogy ne tudjon elmozdulni. Ragasztó kötése után ráhelyeztem egy alumínium lapot, amit ilyen módon megpróbáltam felfűteni. A kettő réteg közé elektromos szigetelésként egy papírlapot helyeztem, a gyulladáspontja jóval 100 Celsius fok fölött van, és mivel laboratóriumi tápegységről tápláltam meg, a fűtőteljesítményt finoman tudtam vezérelni. Az alumínium lemez elkezdett melegedni. Szétszedve minden rendben találtam, nem égett meg a papír a fűtőszál mentén, látszódott, hogy működőképes a konstrukció.

A fűtőszál vezérlését három módon lehetne megoldani. Amennyiben rendelkezésre áll több fűtőfeszültség, a beállított értéktől való eltérés alapján választható lenne a kívánt feszültség, ezáltal teljesítmény. Ez a módszer nehezen kivitelezhető, mert fix feszültségű akkumulátor állt rendelkezésre. Abban az esetben, az akkumulátor például 18650-es cellákból magam építem, akkor lehetőség lenne a cellafeszültségenként lépkedni, de azt a problémát okozná, hogy a cellák nem lennének kiegyenlítettek, ezért lennének olyanok, amelyek az intenzívebb használat miatt lemerülnének.

Második mód az áramgenerátoros meghajtás. A szálon áthaladó árammal arányos lesz a fűtőteljesítmény, amit lineárisan lehetne változtatni. Ennek a hatásfoka nem lenne jó, mert a felesleges teljesítmény az áteresztő tranzisztoron fűtődne el.

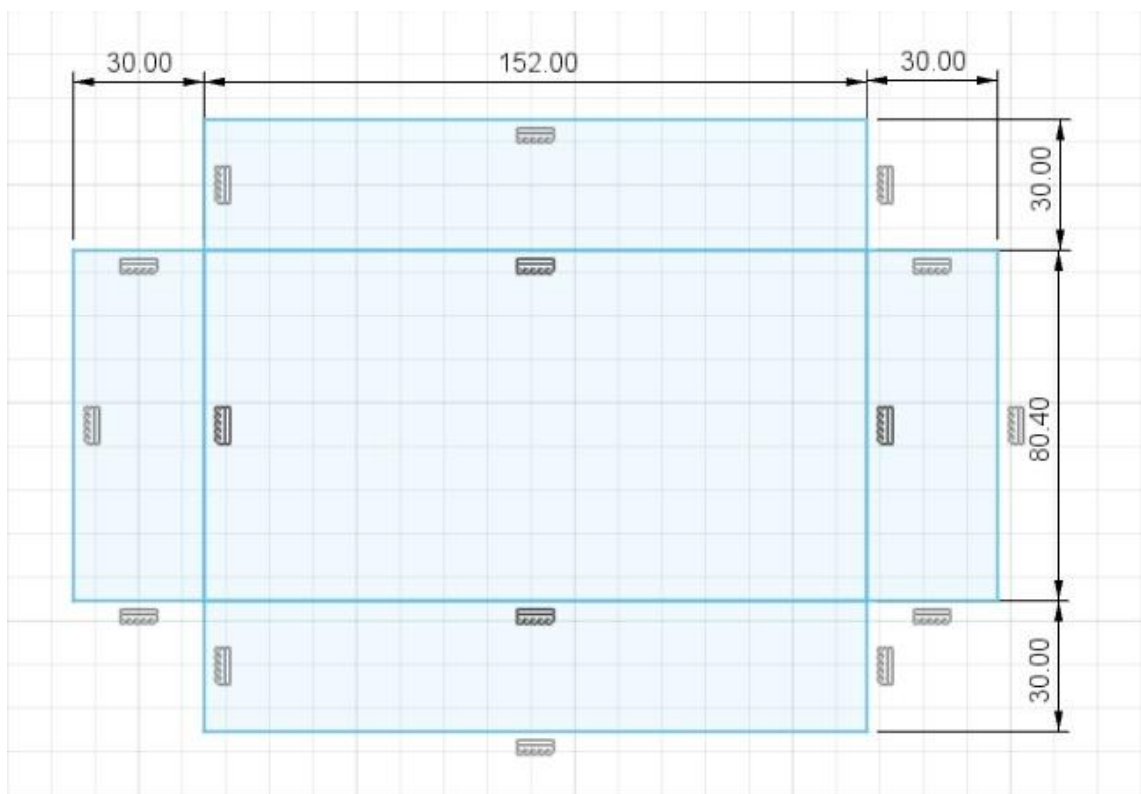
Harmadik megoldás az időosztásos ki-be kapcsolgatás. Ebben az esetben a doboz a bekapcsolt és a kikapcsolt állapottal arányosan melegszik.

$$k = \frac{t_{be}}{t_{be} + t_{ki}} 100 [\%]$$

Ez a legegyszerűbb és legjobb hatásfokú, mert az aktív elemet kapcsolóként használom, a lehető legkevesebb kapcsolási veszteséggel, ezért ezt a megoldást választottam.

5. FÜTÖTT DOBOZ

A Minilux műszer fizikális külső méreteit tolómérővel lemértem, ezután megrajoltam a doboz 2 dimenziós tervét méretpontosan. Ez egy felülről nyitott doboz, tehát csak öt oldala van. Azért nem zárt, hiszen a műszer érzékelőjét szabadon kell hagyni illetve annak a környezetét is a cos korrekció miatt. A doboz anyaga alumínium, ami jól vezeti a hőt, könnyen vágható és hajlítható. A méretek milliméterben megadva a következő ábrán láthatóak.



5. ábra. Alumínium doboz méretei

Feljelöltem a lemezre a vágási és hajlítási pontokat. A méretre vágást úgy oldottam meg, hogy a vonal mentén bekarcoltam amennyire csak tudtam, majd a lemez két oldalára fát helyeztem, pontosan a vonal mellé. Szorítókkal összefogtam, ezáltal a lemez a fák között nem tudott elmozdulni, sem deformálódni. Ezután a leesendő darabot elkezdtem hajlítani ide-oda, majd a karcolás mentén eltört. Meglepő módon nagyon egyenes és szép eredményt kaptam, amit egy reszelővel még finomítottam. Lemezvágó

ollóval a vágás során deformálódott volna a lemez, és azzal nehéz pontosan és egyenesen vágni. Ezután az oldalak felhajtása következett. Szerencsére van, egy kisméretű házi gyártmányú hajlítóm, amivel sikerült a művelet. Kis reszelés, finomhangolás, és készen volt a doboz. A sarkokban nem lapolódnak egymásra az oldalak, csak éppen összeérnek. Az első változat jól sikerült, de a műszer lötyögött benne, ezért egy milliméterrel kisebb doboz kellett, amit szintén elkészítettem. Abba már a műszer szépen passzolt, könnyen kivehető, de nem mozog benne.



6. ábra. Fűtendő alumínium doboz

A környezet felé való hődisszipáció nem elhanyagolható. Természetesen a műanyag burkolat rossz hővezetése miatt valamilyen szinten már ez is hőszigetelést jelent, de ez nem kellő mértékű. A hőveszteség csökkentése érdekében a későbbiekben kétfajta hőszigetelő anyagot alkalmazok. Az egyik az úgynevezett zártcellás, a másik pedig hőtükörrel van ellátva. A két anyag használata növeli a rendszer hatásfokát, ezáltal a fűtés üzemidejét. A rétegrendje az oldalaknak egyforma. A hőtükör fólia van közelebb a belsejéhez, és utána kerül rá a zártcellás anyag.

6. FŰTŐPANELEK

A kezdeti kísérlet után ki kellett találni, hogy milyen méretű (átmérőjű) fűtőszálat, milyen ellenállásút, milyen kialakításban használjak, mekkora legyen a fűtőteljesítmény, ezáltal a tápfeszültség, és ezek egymástól függő kérdések.

Először eldöntöttük, hogy a műszert egyenletesen a hosszú oldalak mentén és alul lenne érdemes fűteni. A két rövid oldal nem jelent akkora felületet, és ha azt is fűteni szeretném, akkor harmadik féle panelt kellene tervezni és készíteni. Ebből adódott, hogy csak kétfajta panelt készítettem. Az egésznek mozgathatónak kell lennie, ezért tápforrásnak Lithium-Polymer akkumulátorban gondolkoztam. Cellák darabszámától függően ismeretes a kapocsfeszültsége három esetben. Lemerült ($U_{\min}$), nominál ($U_{\text{nominál}}$) és teljesen feltöltött ($U_{\max}$) állapotban. A kiválasztott cellaszám a 6 volt. Kiemeltem zöld színnel kiemeltem a kiválasztott cellaszámhoz tartozó értékeket.

2. táblázat. Az akkumulátor cellafeszültségei

Cella [db]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{\max}[\text{V}]$	4.2	8.4	12.6	16.8	21.0	25.2	29.4	33.6	37.8
$U_{\text{nominál}}[\text{V}]$	3.6	7.2	10.8	14.4	18.0	21.6	25.2	28.8	32.5
$U_{\min}[\text{V}]$	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0

6.1. ELLENÁLLÁS HUZALOK

Az ellenállás huzalok nem olcsók, és sajnos kis mennyiségben ($n \cdot 10 \text{ m}$) nem nagyon lehet vásárolni. Nekem manganin és kantál ellenállás huzalok álltak rendelkezésemre.

A manganin huzal egy réz-mangán-nikkel ötvözet. Amelyek nekem voltak, azok szigetelő réteggel vannak ellátva, illetve túl vékonyak, ezért nem használtam őket. [12]

A másik lehetőségem a kantál huzal volt, ami vas-króm-alumínium ötvözet. Olvadáspontja 1425°C . Egy hátránya van, hogy tartalmaz alumíniumot, ezért a felületén oxidréteg tud kialakulni, ami rossz villamos kapcsolatot jelent. Az érvéghüvelyes megoldás eléggé a fémfelületéhez szorítja a vezetékét, ezáltal az oxidon áthatol, és jól érintkezik. Későbbiekben sem tapasztaltam érintkezési problémát. Átmérőben szerencsére találtam megfelelőt, amin külön szigetelés nem volt. [13]

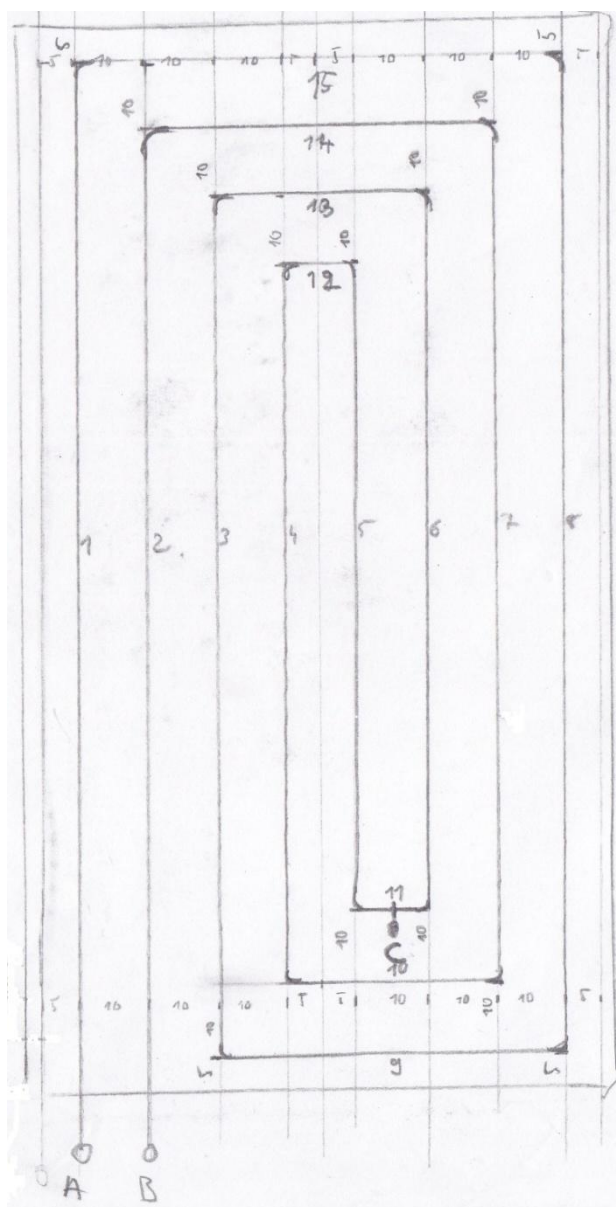
Egyéb lehetőségként utólag felmerült, hogy egy NYÁK lemezen cikk-cakkban kialakítva a rajzolatot, például kémiai módon kimarva (mintha áramkört készítenék), a sáv szélességével és hosszával be lehet állítani annak ellenállását.

6.2 FŰTŐSZÁL ELRENDEZÉS

Kiválasztottam a megfelelő huzal, ami a kantál lett. Az átmérője 0.25 mm , az ellenállása $29.8 \Omega/\text{m}$. Ezután következett a panelek tervezése. Volt egy elképzelésem, hogy milyen fűtőszál elrendezést lenne érdemes megvalósítani. Ezen az úton indultam el. Mivel a fűtendő doboz már kész volt, így a fűtőpanelek mérete adott volt. Papíron készítettem sablonokat. A későbbiekben módosítottam rajta.

6.2.1 ALSÓ PANEL

Pontosan kétszer akkora fűtőteljesítményt szolgáltat, mint egy oldalsó panel. Ennek oka az, hogy a két szélső panelt sorba kötve, egy az alsó panel teljesítményével megegyező panelt kapunk. A felületek közel megegyeznek, ezáltal a doboz egyenletesebben melegszik.

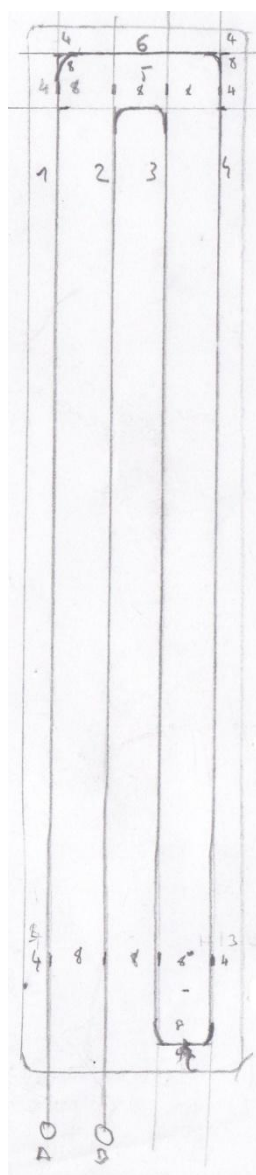


7. ábra. Alsó fűtőpanel sablonja

Panel közepét a TO-92 toknak megfelelő méretűre fűrtam, majd reszeltem. Ezután kétkomponensű ragasztóval beragasztottam az LM35 hőmérő szenzort. Az alumínium doboz alsó hőmérsékletét fogja mérni. Vékony vezetékot forrasztottam a lábaira, amelyet a forrasztásnál zsugorcsővel szigeteltem. Ez a vezeték az alsó hő szigetelésen keresztül jut a műanyag doboz és az alsó szigetelés közé, majd továbbvezetve oldalt egy furaton keresztül jut el az elektronikához.

6.2.2 OLDALSÓ PANEL

A kettő darab panel megegyezik, de a rajzolat egymás tükörképe, így van jobbra és balra való. A kivezetéseik közül a közös rögtön forrasztásra került a szigetelés és a műanyag doboz között, a többi furatokon keresztül jut ki az áramkörhöz. A csatlakozásokat és a cserét megkönnyítse, a fűtés csatlakozói bontható hármas Wago sorkapocsba mennek, ott történik az alsó és az oldalsó panel párhuzamosítása, onnan megy tovább két vezeték az áramkörbe.



8. ábra. Oldalsó fűtőpanel sablonja

A rajzolatok hosszából és a huzal méterenkénti ellenállásából ki tudtam számolni a panel teljes ellenállását, és a rákapcsolt feszültségek függvényében a teljesítményeket is. A következő táblázatban foglaltam össze a számítási eredményeket.

3. táblázat. Számítási eredmények

	m	ohm	R_huzal (ohm/m)	Vmin	A	Wmin	Vmax	A	Wmax
alsó (A-B)	1,232	36,96	30	18,0	0,49	8,8	25,2	0,68	17,2
alsó (A-C)	0,616	18,48	30	18,0	0,97	17,5	25,2	1,36	34,4
alsó 2*(A-C)	0,308	9,24	30	18,0	1,95	35,1	25,2	2,73	68,7
1 db oldalsó (A-B)	0,610	18,30	30	18,0	0,98	17,7	25,2	1,38	34,7
1 db oldalsó (A-C)	0,305	9,15	30	18,0	1,97	35,4	25,2	2,75	69,4
2 db oldalsó (A-B)	1,220	36,60	30	18,0	0,49	8,9	25,2	0,69	17,4
2 db oldalsó (A-C)	0,61	18,30	30	18,0	0,98	17,7	25,2	1,38	34,7

A tervezésnél a középső részen is készítettem kivezetést (C pont), hogy a két ellenállás szakaszt párhuzamosan is be lehessen kötni (illetve a panelek egyes részeit tetszőlegesen lehessen egymással kapcsolni), ezáltal az ellenállás értéke feleződik, az áram duplázódik, tehát ugyanazon a tápfeszültség mellett a teljesítmény is duplázódik. A későbbiekben ezzel a lehetőséggel nem éltem, mert túlfűtést eredményezne.

A tervek alapján elkészültek a panelek:



9. ábra. Elkészült panelek

6.3 ELEKTROMOS SZIGETELÉS

Az alumínium doboz és a fűtés közé olyan jó hővezető anyagot kellett elhelyezni, ami jó elektromos szigetelő. Erre a célra úgynevezett thermal pad-et alkalmaztam. Az általam használt anyag, az ARTIC APT2560. Vastagsága 0.5 mm, könnyen vágható, puha, így a fűtőszál egyenetlenségeit felveszi. A felülete nagyon sima, ezáltal a doboz felületére helyezve rátapad.

A tapasztalatom az, hogy ez az anyag nagyon puha. Ez első sorban előnyös, mert könnyen felveszi az egyenetlenségeket, de rendkívül sérülékeny is. A végleges verzió szerelése közben sajnos az alsó panel valahol a pad szigetelésén keresztül hozzáért az alumínium dobozhoz. Ez nem feltétlen jelent problémát, hiszen törpefeszültség kerül rá, és a megvilágításmérő műanyag dobozban van, de ha az érintkezés nem csak egy

ponton történik, akkor a fűtőpanelem egyes részein nagyobb áram folyna át, mert rövidre zárna egy szakaszt, ami helyi túlmelegedéshez vezetne. Ennek elkerülése céljából még egy réteget alkalmaztam.

ARTIC APT2560 Specifikációja:

Mérete: 145 mm * 145 mm * 0.5 mm

Színe: kék

Hővezetése: 6.0 W/6 mK

Ellenállása: 10^{12} ohm

Folyamatos üzemi hőmérséklet: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $(+200)\text{ }^{\circ}\text{C}$

Hőállósága: UL 94 V-0

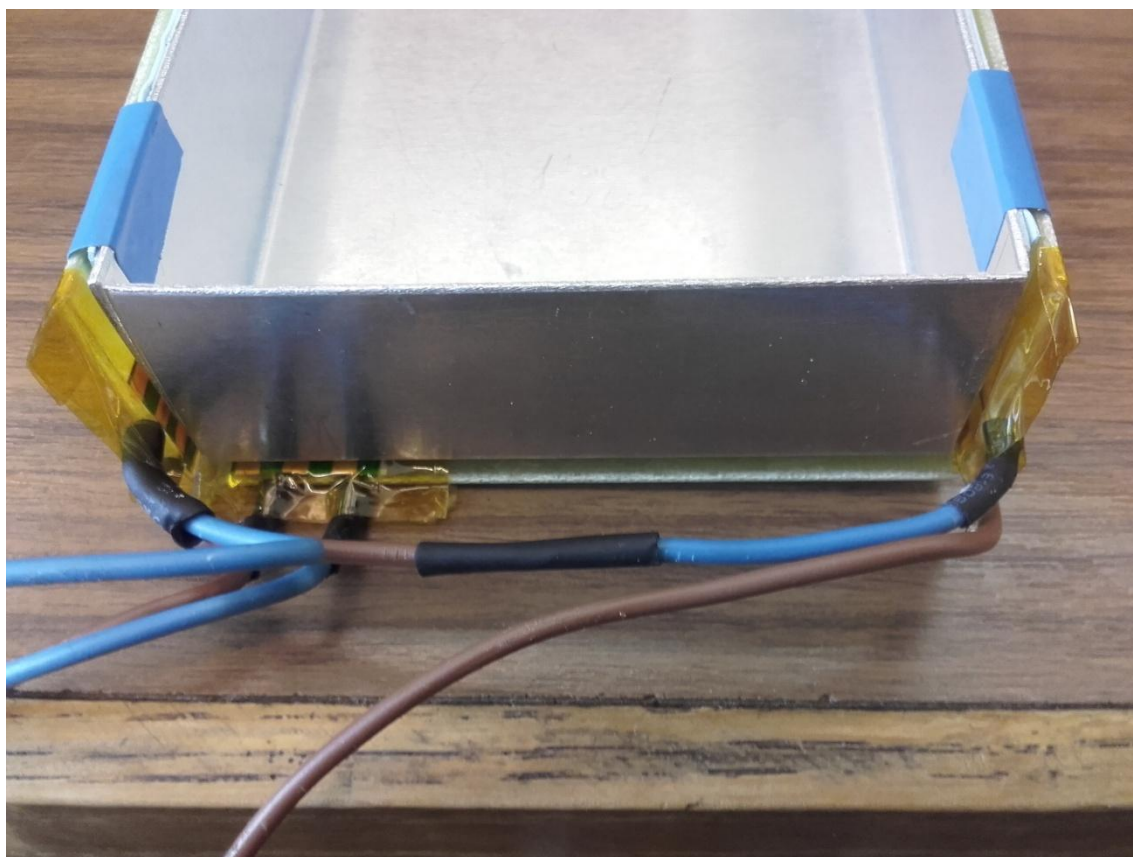
6.4 ELEKTROMOS CSATLAKOZÁS

Kantál huzal nem forrasztható, ezért érvéghüvelyt használtam. A műanyag részét leszedtem, és a fémhüvelybe az egyik oldalról 0.75 mm^2 sodrott rézvezeték (melegedés és áramterhelhetőség szempontjából elegendő lenne vékonyabb, például $0.35 - 0.5\text{ mm}^2$), a másik végéről pedig a fűtőszálat helyeztem, majd krimpeltem, ami azt jelenti, hogy egy speciális fogóval összeszorítottam, rároppantottam a hüvelyt. Akkor még a csatlakozás a nyákon található furaton keresztül volt kivezetve, de így nem volt megfelelő a mechanikai tartása. Sajnos az egyik panel kivezetése a próbák alatt el is tört, ezért azt továbbfejlesztettem. A nyák szélétől befelé kis koronggal készítettem 1-1 bevágást, ezután a résbe belenyomtam a krimpelt csatlakozást, és kétkomponensű ragasztóval beragasztottam. A ragasztó megkötése után stabil és erős volt. Ahol letört a vezeték, ott az érvéghüvely teljes hossza beragasztásra került a panelba, és a vezeték szigetelése is néhány milliméter hosszan. Későbbiekben az összeszerelésnél úgy találtam, hogy ez jobb megoldás annál, mint amikor az érvéghüvely kicsit kilóg, és a vezeték csak a préselés tartja a hüvelyben. Vezeték törése elleni védelemként zsugorcsovet kapott.

A prototípus fűtőpanelekkal, (akkor még tél volt, és a műhelyben csak pár Celsius fok volt) végeztem néhány kísérletet. Milyen gyorsan melegszik fel a doboz, különböző

feszültségeken, egyáltalán elegendő-e a teljesítmény. Kísérlet eredményeképp fel tudtam fűteni az alumínium dobozt 50 °C-ra, ami számomra jó hír volt.

A végleges verziónál kapton szalaggal (hőálló és nagyon jó elektromos szigetelő szalag, sárgás színű és félig áttetsző) pluszba körbetekertem a kivezetéseket. Erre azért volt szükség, mert először összerakva és a 3D nyomtatott burkolatba szorítva, az alumínium doboz és a panelek kivezetéseit ellenállásmérővel vizsgálva rövidzárlatot találtam. Akkor még nem tudtam pontosan, hogy a pad sérült meg, vagy máshol keletkezett a zárlat, ezért minden oldalról kapott még egy thermal pad réteget. Megsérült részeket kitöltöttem a leeső részből megmaradt anyaggal. Az álaga olyan, mint a gyurma, így szépen össze lehetett dolgozni. A panelek összekötését és a vezetékeket a doboz körüli szigetelésben vezettem el.



10. ábra. Megerősített kivezetések

7 HŐMÉRSÉKLET MÉRÉSE

Hőmérséklet mérésére TO-92-es tokban megvásárolható, analóg, LM35DZ nevezetű félvezető hőmérsékletérzékelőt alkalmaztam. Elsősorban azért választottam ezt a szenzort, mert analóg a kimenete, könnyen illeszthető analóg áramkörhöz, és nagyon egyszerűen lehet vele hőmérsékletet mérni. Például: 236 mV a kimeneti lábán (OUT) megfelel 23.6 °C -nak és természetesen -236 mV megfelel -23.6 °C -nak. Nincs szükség hozzá külön korrekciós táblázatra. Tápfeszültség ingadozására nem érzékeny, és széles 4–20 V feszültség tartományban használható. Tápfeszültséget az 1. lábán kapja (+V_s). Közös földpontja a 3. láb (GND). Nem elhanyagolható szempont a beszerezhetősége, és az ára. A mostani helyzetben, amikor ez a dolgozat íródik, a félvezetők árai emelkednek, sőt sok esetben már készlethiány is fennáll. Ez a szenzor nem speciális, tehát széleskörűen alkalmazzák, így remélhetőleg utánpótlása a jövőben sem jelent problémát. Ha a jövőben igény merülne fel a digitalizálására, akkor tudom ajánlani a DS18B20 digitális szenzort. Szintén 3 lába van, tokozása megegyezik az általam használtéval. [6]

Az adatlap alapján LM35 tulajdonságai [6]:

Tápfeszültség: 4 –20 V

Működési hőmérséklet (LM35DZ): 0 - (+100) °C

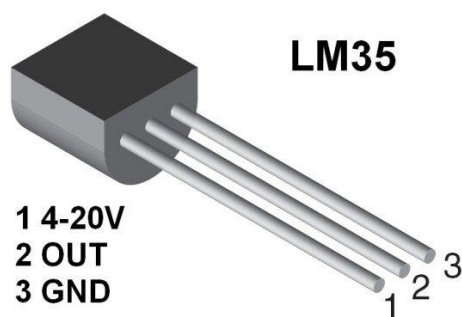
Kiadott analóg feszültség érték/°C: +10,0 mV/ °C

Pontosság: 0,5 °C

Nem – linearitás: 0,25 °C

Önfűtés: 0,08 °C

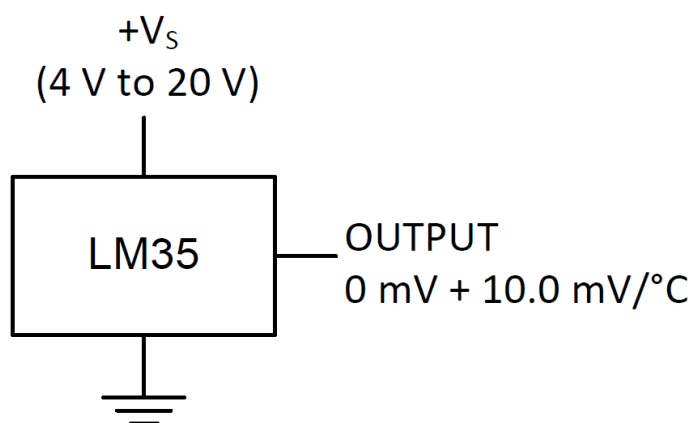
ESD: 2,5 KV



11. ábra. LM 35 lábkiosztása [6]

Szenzor az 7. ábrán látható bekötés alapján csak nulla foknál nagyobb hőmérsékletet képes mérni. Az áramkörömben ezt a kapcsolást valósítottam meg. [6]

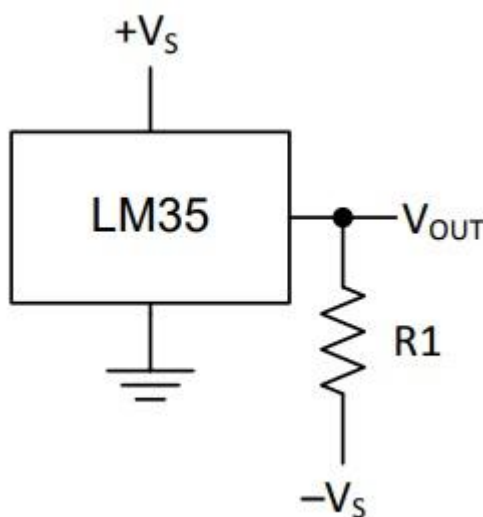
Az adatlap alapján a szenzor bekötése:



12. ábra. LM35 bekötése_1 [6]

Az adatlap szerint lehetőség van nulla fok alatti hőmérséklet mérésére, de abban az esetben, a kimenetet elő kell feszíteni egy meghatározott ellenálláson keresztül. Úgy véltem, hogy nincs szükség a nulla fok alatti mérésre, ha a külső hőmérséklet fagypont alatti, abban az esetben nullát fog mérni, tehát így is fűteni fog. Nem kell tudnunk pontosan, hogy mennyire van alatta, ezért az áramkört nem készítettem fel a negatív hőmérséklet mérésére, mert ahhoz a műveleti erősítőt kettős tápegységről kellene meg táplálni.

A hőtani tesztek és mérések során mérnem kellett a fej nulla fok alatti hőmérsékletét. Ezért alkalmaztam a következő kapcsolást.



13. ábra. LM35 bekötése_2 [6]

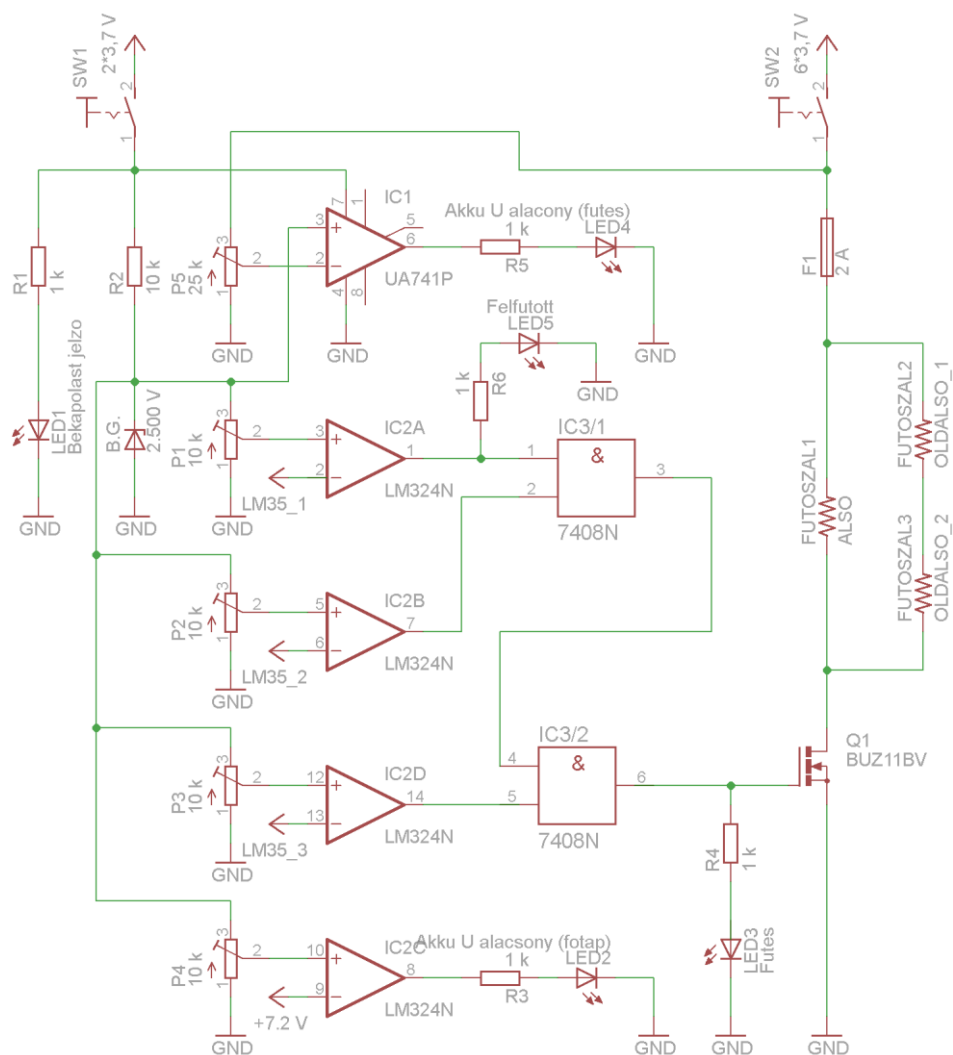
Méretezés az adatlap alapján [6]:

$$R = \frac{U_s}{50 \mu A}$$

A számítás eredménye 5.1 V esetén: 102 k Ω . Lemértem több ellenállást, és ami a legközelebb állt a 100 k Ω és a 2 k Ω értékhez, azt a kettőt sorba kötöttem (forrasztottam, ez a hőkamrán kívül volt), majd a segéd táp negatív pontjára forrasztottam. Bekötöttem a földelést és az ellenállás szabad végét a megfelelő bontható Wago csatlakozóba.

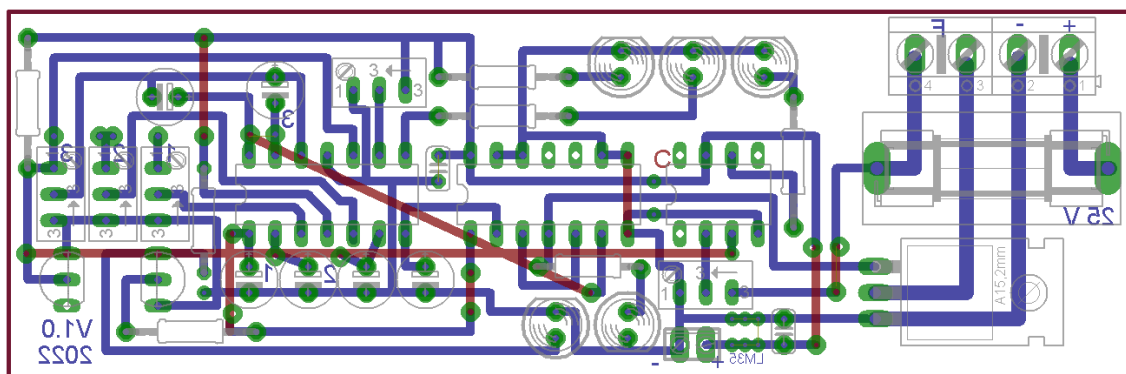
8 ÁRAMKÖR

Az áramköröm kapcsolási rajza a 9. ábrán látható. Tervezésnél törekedtem az egyszerűsége. Szempont volt, hogy az áramkör amennyire lehet, analóg legyen. Használtam digitális kaput, de az idő nagyobb részében statikusak a kimeneti és bemeneti feszültségei. Erre azért volt szükség, mert a fényelem nagyon érzékeny a zavarokra. Érdekességképen megemlítem, hogy a védőkupak (nem volt tömítve, így minimális fény bejuthat a fényelemhez) rajta volt a műszeren, rátettem a kezemet, nem hogy még kisebb értéket jelzett (hiszen még jobban takartam), hanem picivel nagyobbat, ami szerintem azért lehet, mert a kezemmel zajt vittem a szenzor közelébe.



14. ábra. Kapcsolási rajz

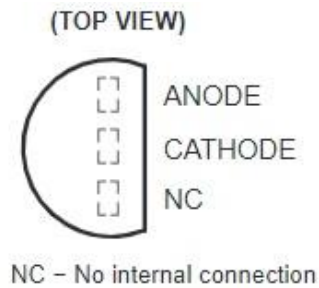
Az áramkör prototípusát először próbapanelen raktam össze, a fejlesztés folyamán többször változtattam, kiegészítettem. Amikor minden előre definiált kívánalmat teljesített és jól működött a kapcsolás, megterveztem a nyomtatott áramkört. Ehhez a német Cadsoft Eagle 4.16 programot használtam. A tervezésnél cél volt a lehető legkevesebb átkötés használata. A piros sávok jelölik a NYÁK-on az átkötéseket. Ha kétoldalasra tervezem, akkor nem lesz átkötés, de házi gyártás révén egyszerűbb volt az egy oldalas megoldás, és így csupán néhány átkötés van. Azok nagy részét vagy $0\ \Omega$ ellenállással, vagy egy alkatrészlábbal a beültetési oldalon megoldható. Csupán egy van külön a forrasztási oldalon, amit egy megfelelő hosszúságú UTP kábel egy érével oldottam meg. A NYÁK vasalásos technikával egy oldalon készült el.



15. ábra. Nyomtatott áramkör

8.3 FESZÜLTSG REFERENCIA

Az elektronika laborban, a labormérésen használt LMX85-2.5 típusú (band gap) feszültség referenciát használtam. Szintén TO-92-es tokozású, mint az LM35. Lábkiosztása a következő ábrán felülnézetből látható.



16. ábra. LMX85 lábkiosztása [7]

A külső (T_a) működési hőmérséklet tartománya különböző típusoknál:

0 – 70 °C //LM385 [7]

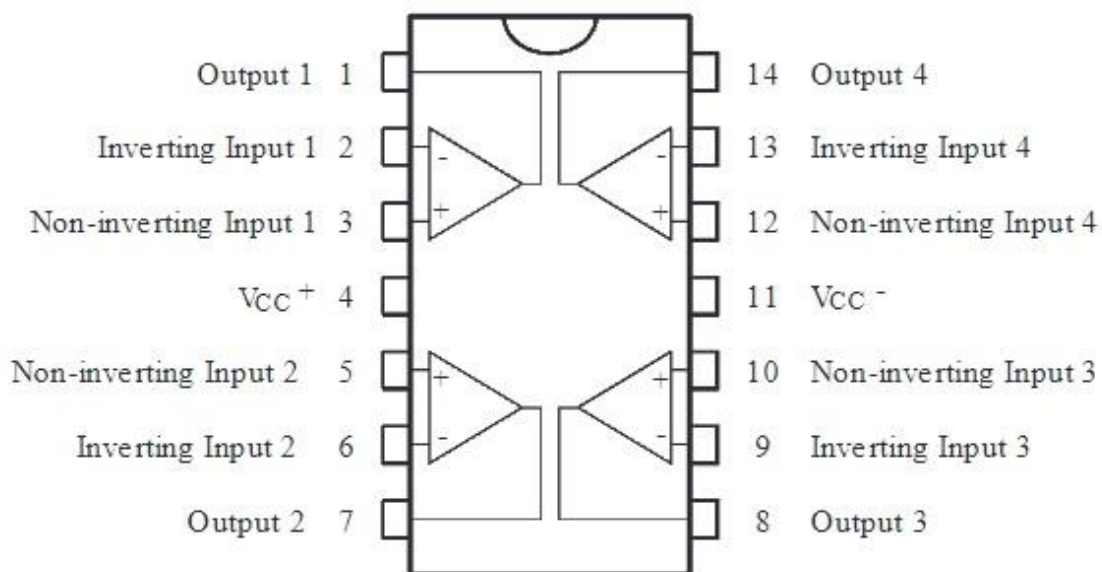
-40 – (+85) °C //LM285 [7]

Nagyon kis fogyasztású, a működtetési áram 20 μ A és 20 mA között kell megválasztani. Nem célszerű tervezésnél megközelíteni a 20 mA, mert önfűtéshez vezethet. A dinamikus ellenállása maximum 1.5 Ω . Feszültség stabilitása típustól függően 1,5 és 3 %. [7]

A referenciát úgy kell bekötni és használni, mintha egy zener dióda lenne. Az anód kivezetés a földre van kötve, a katód pedig egy ellenálláson keresztül a tápfeszültségre. A katód ellenállás csomópontjában a tápfeszültség bekapcsolása után megjelenik a 2.5 V-os referencia feszültség. Ezt több helikális (többfordulatú és panelba ültethető) potenciométerrel a kívánt értékre osztottam. Egy referenciát használtam és négy potenciométert, ezáltal négy tetszőlegesen beállítható, pontos feszültséget kaptam. Ezek lesznek a beállított, stabil feszültség értékek.

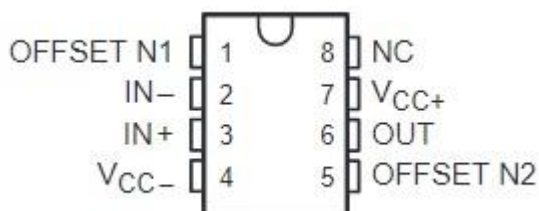
8.4 KOMPARÁTOR

A beállított értékeket páronként összehasonlítom a hőszenzorok által szolgáltatott analóg jellel, amelyet nevezzünk visszacsatolt jelnek. Ezt az összehasonlítást egy darab LMX24N integrált áramkörrel valósítottam meg. Következő ábrán látható a lábkiosztása.



17. ábra. LMX24N lábkiosztása [8]

Ez az IC egy tokban 4 darab műveleti erősítőt tartalmaz, amelyből hármat használok a hőmérsékletek és egyet az akkumulátor töltöttségének a figyelésére. Ezen felül használok még egy $\mu A741$ -es műveleti erősítőt, amit a fűtőfeszültség figyelésére használok. Az offset null lábakat nem használom.

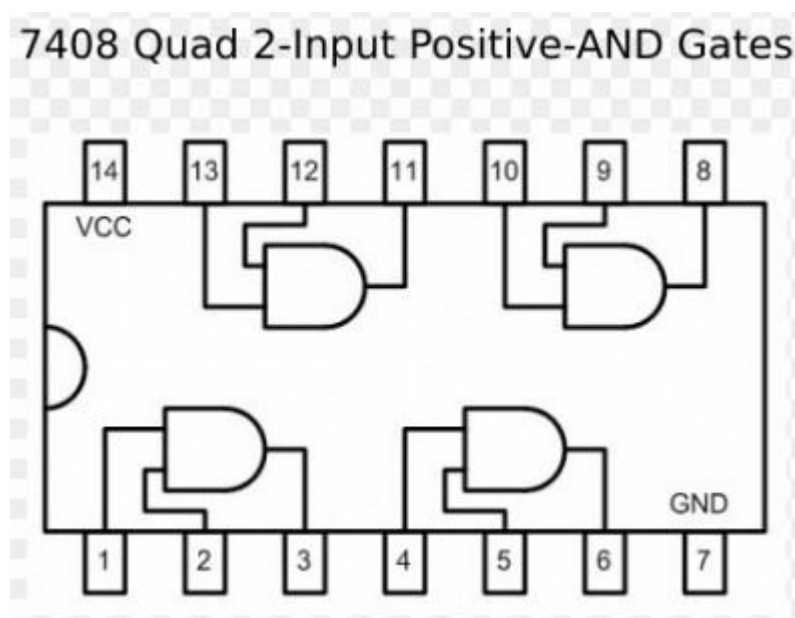


18. ábra. $\mu A741$ lábkiosztása [9]

8.5 LOGIKAI KAPU

Az LMX24N kimenete fogja megadni, hogy az előre beállított feszültség értéket, ezáltal a hőmérséklet határértéket elértük-e. Ha a kimenet tápfeszültséghez közeli, akkor nem értük el az előre beállított limitet, ha közel nulla, akkor elértük. Ekkor a túlfűtés (és túlmelegedés) megakadályozása érdekében a fűtést ki kell kapcsolni. A kimenetek összessége fogja megadni, hogy mikor lehet fűteni. A három kimenet közül, az, amelyik a fényelemnél található hőmérséklet érzékelőre van kötve, fogja meghatározni azt, hogy felfűtöttünk-e, amit egy zöld LED jelez.

Erre a feladatra ÉS kapukat alkalmaztam. A74XX sorozatot megnézve a 7411 tartalmaz három darab három bemenetű ÉS kaput, ebből csak 1 db lenne használva. Célszerű lenne ezt használni, de rendelkezésemre a 7408-as IC állt, ami tartalmaz négy darab két bemenetű ÉS kaput, és ugyanúgy tökéletes a feladatra. Mivel csak két bemenetű, ezért kettő kaput használok. Az egyes kapu kimenetét visszavezetem a kettős kapu bemenetére, ami mellé jön a harmadik műveleti erősítő kimenete.

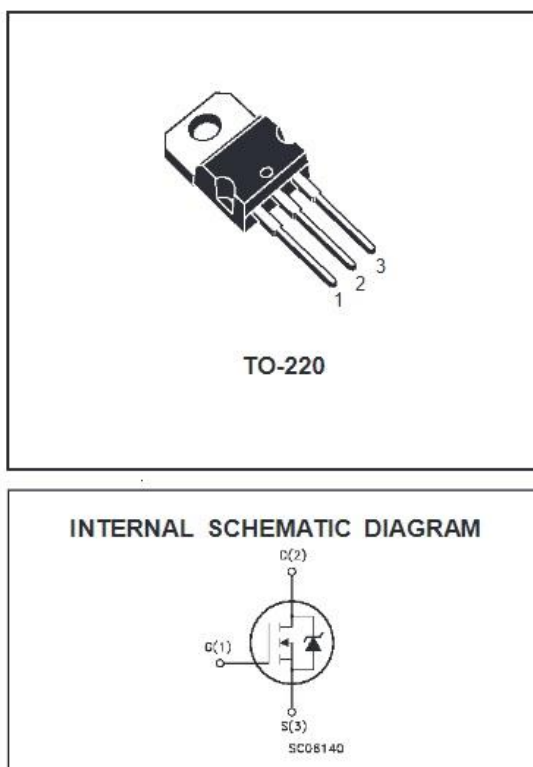


19. ábra. 7408 lábkiosztása [10]

8.6 KAPCSOLÓ TRANZISZTOR

A második kapu kimenetére csatlakozik a kapcsoló tranzisztor (BUZ11) gate lába. Katalógus alapján a tranzisztor $R_{ds(on)}$ értéke $<0.04 \Omega$. [11] Számomra az volt a fontos, hogy ez az érték minél kisebb legyen, ezáltal a tranzisztoron disszipált teljesítmény is kicsi lesz, ezért hűtőborda nélkül sem melegszik túl a tranzisztor. Azért ezt a FET-et használtam, nem pedig bipoláris tranzisztort, mert kisebb veszteségekkel lehet vele kapcsolni. Térvezérlésű, tehát a gate lábán statikus üzemben nem folyik áram.

A következő ábrán a lábkiosztása és a rajzjele látható, ahol egy védődióda is be van rajzolva Drain Source közé. Ezt gyárilag tartalmazza a tranzisztor. Mivel ohmos ellenállást használok (tehát a terhelés nem induktív, vagyis elhanyagolhatóan kicsi), a védődióda nélküli változat is jó lenne, de ha mégis induktív terhelést kapcsolunk rá, akkor ez a dióda megvédi a kikapcsolás pillanatában a tranzisztort a túl nagy feszültség tüsskéktől. [11]



20. ábra. BUZ11 lábkiosztása [11]

A gate csomópontba csatlakozik egy előtét ellenállás és egy vele sorba kötött piros LED. Amikor világít, akkor a tranzisztor bekapcsolt állapotban van, és aktív a fűtés. A fűtőkörben található egy olvadó biztosíték. (5x20 mm méretű, 2 A, normál)

8.7 ÁLLAPOT VISSZAJELZÉS

Az állapotok visszajelzéséhez fényt kibocsájtó diódákat használtam (LED). A fogyasztásuk elhanyagolhatóan kicsi.

Piros LED a kapcsolótranzisztor gate kivezetésére van kötve. Visszajelzi, hogy mikor van bekapcsolva a fűtés.

Zöld LED a megvilágítás mérő szenzorhoz csatlakozó komparátor kimenetére csatlakozik. Amikor világít, akkor elértük a kívánt hőmérsékletet.

Kék LED Bekapcsolást visszajelző.

Sárga LED az áramkörömet tápláló akkumulátor komparátorának a kimenetén van. Amikor világít, akkor az áramkört tápláló akkumulátor lemerült. A másik sárga a fűtést tápláló akkumulátor komparátor ($\mu a741$) kimenete hajtja meg. Amikor világít, az azt jelenti, hogy a fűtést tápláló akkumulátor töltöttsége túl alacsony.

Ha világít a:

4. táblázat. LED állapotok

piros	zöld	kék	sárga_1	sárga_2
Fűtés folyamatban.	A megvilágítás mérő szenzor hőmérséklete elérte a beállított értéket.	Bekapcsolást jelző.	Akku (fűtés) lemerült.	Akku (áramkör) lemerült.

8.8 TÁPELLÁTÁS

A Minilux műszer saját Lithium-Polimer akkuval rendelkezi, amelyet USB-n keresztül lehet tölteni. A gyártó szerint a töltési idő, kímélő üzemmódban 4-5 óra, gyorsöltési módban körülbelül 1 óra. Mérések folyamán azt tapasztaltam, hogy ha a bluetooth be van kapcsolva, kikapcsolt kijelző mellett is az akkumulátor néhány óra alatt lemerül. Érdeemes lenne nagyobb kapacitásúra cserélni!

Az áramköröm 2 db 18650 méretű, egyenként 3800 mAh és 3.7 V-os, egymással sorba kötött Lithium-Ion akkumulátorról üzemel. Egy feltöltéssel több napnyi folyamatos mérés végzésére elegendő. Ezek a cellák akkutartóban foglalnak helyet. A bal oldali fedő kupak eltávolítása után a tartókból kipattinthatóak, és pótolhatóak másik, feltöltött cellákkal.

A fűtés külön, egy nagy Lithium-Polymer akkumulátorról üzemel. Töltése külön balansz (figyeli a cellafeszültségeket, és a cellák egyenetlen töltését képes kompenzálni) töltővel történik, ami nem része az elektronikámnak.

Az áramköröm nem kapott külön feszültség stabilizátort (például: 7805), mert a tápfeszültség csökkenése nem befolyásolja (elhanyagolható) sem a digitális részt, sem pedig az analóg rész működését.

8.9 HŐMÉRSÉKLET KIJELZÉS

Nulla fok alatti környezetben való mérés esetén előállhat azon eset, hogy a szenzort nem tudom felfűteni az előre beállított értékre. Ebben az esetben a zöld LED nem fog világítani, de a fűtés ki-be fog kapcsolni, attól függően, hogy az alumínium doboz és a megvilágításmérő műszer háza elérte-e a hőmérséklet határt. Tehát van elegendő fűtőteljesítmény, de a műszer belsejében levő levegő, rossz hővezető. A sugárzott hő elhanyagolható. Ebben az esetben szeretnénk pontosan tudni, hogy a fényelem milyen hőmérsékletű. Erre a célra egy feszültség modult lehet felhasználni, amely a szenzor kimeneti feszültségét méri millivoltban. Az eredményt osztani kell tízzel, és megkapjuk a hőmérséklet értékét. Ez a modul a műanyag házba süllyesztve szerettem volna elhelyezni, de számára nem maradt elég hely, illetve a modul nem volt kellően pontos.

9 TERMOSZTÁLÓ BURKOLATA

A termosztáló burkolatának több szerepe is van, egyrészt összefogja a komponenseket, fűtőpaneleket a helyére szorítja, esztétikusabbá teszi a végeredményt, minimálisan hőszigetel és elektromosan szigetel (habár a dobozon belül minden törpefeszültségről üzemel). Műanyag dobozokat elektronikai boltokban több méretben árulnak, de egyedi igényeket nem tudnak kiszolgálni. Jelen esetben szükségessé vált a saját tervezés és nyomtatás.

9.1 3D NYOMTATÁS

Manapság igen elterjedt a 3D nyomtatás. Ennek több oka is van. Elsősorban a technológia eléggé kiforrott (de folyamatosan fejlődik), bárki számára elérhető, hiszen viszonylag olcsón hozzá lehet jutni egy jól használható (de nem ipari minőségű) nyomtatóhoz. Megkönnyíti a prototípus gyártását. Az interneten körülnézve rengeteg oldalt és videót találni, amik foglalkoznak a témával. Vannak gyűjtőoldalak, ahol mások által megtervezett modelleket lehet akár ingyenesen letölteni és nyomtatni.

Ahhoz, hogy valamit ki tudjunk nyomtatni, egy tervet kell készíteni. Ez történhet 3D tervező szoftverrel, ahogy én is tettem, de ha egy már meglévő tárgyat szeretnénk reprodukálni, akkor lehetőség van tapintófejjel vagy optikai úton is beolvasható. Természetesen az átlag felhasználó számára az utolsó két lehetőség elérhetetlen.

A továbbiakban a teljesség igénye nélkül, csak ízelítésként nézünk bele ebbe a világba, hiszen a 3D nyomtatás egy külön dolgot is megérdemelne, ezért a témáról bővebben a források között található linkeken találhatunk több információt.

9.1.1 NYOMTATÁSI ELJÁRÁSOK

Először az eljárást a 80-as évek végén mutatták be, és főleg a járműgyártás (autóipar, repülőipar) területén használták. A technológia a 2009-es évben vált a többség számára is kereskedelmileg elérhetővé. [14]

Az **FDM (Fused Deposition Modeling)** szálhúzásos technológia nyitott utat az asztali 3D nyomtatóknak. A nyomtatás során a felfűtött fejet mozgatja egy mechanika,

ami lényegében egy CNC (Computer Numeric Control) gép. Ezen a fejen keresztülhalad a filamentnek nevezett műanyag szál, amelyet megolvaszt. Ez az olvadt anyag kerül a tárgyasztalra, amit szintén szoktak fűteni. Ahogyan a rétegek egymásra kerülnek, úgy azok összeolvadnak, majd megszilárdulva egy egységet alkotnak. Ezt az eljárást additív (anyag hozzáadásos) gyártásnak hívják. [14] Ezt az eljárást használtam fel. Következőekben néhány érdekesebb nyomtatási eljárást szeretnék megemlíteni.

Sztereolitográfias nyomtatás (SLA) Ez egy érdekes eljárás, mert ebben az esetben, a munkatérben fotopolimer műgyanta található, amit irányított lézersugárral rétegről-rétegre megkötnék. [14]

Binder jetting eljárással a rétegeket por alapanyagból építik fel. Festékkel kevert ragasztóanyaggal kötik meg a port. [14]

Szelektív lézeres szinterezés (SLS) Hasonló, mint az SLA, de ebben az esetben porréteget szór a gép a munkaterületre egy bizonyos vastagságban, majd lézersugár segítségével megkötnék a kívánt minta szerint. Ha kész van egy réteg, a nyomtatóállvány tovább áll egy szinttel, és a folyamat ismétlődik. [14]

9.1.2 MŰANYAGOK

Nyomtatás során alkalmazható műanyag típusa sokféle lehet. A látókörömbe került anyagok néhány tulajdonságaik, amely közül választanom kellett:

ASA (Akril – Sztírol Akrilnitril): Hasonló, mint az ABS (alternatívája). Hőtürése 94 °C körül van. Iparban használják. Kültéri használatra is ajánlják, mivel a napsugárzásnak jól ellenáll. A felülete utólag kezelhető acetonnal. [15]

ABS (Akrilnitril - Butadién - Sztírol): Hőtürése: 103 °C körül van, tehát magasabb hőmérsékleten is alkalmazható. Az iparban gyakran használják elektromos berendezések burkolatának. Felület kezelhető acetonnal. Nyomtatási hőmérséklete: 210-250 °C. Nehéz nyomtatni és nem UV álló. [15]

Nylon: Lágy, vetemedik, áttetsző. [15]

PLA (Polylactic Acid): Általános felhasználási célú műanyag. Hő türése alacsony, csupán 55 °C. Nyomtatási hőmérséklete: 180–220 °C. [15]

PET-G (Polietilén Tereftalát Glikol): 80-90 °C-ig használható, fölötte elkezd lágyulni, olvadni. Víz-tömör és ütésálló. [15]

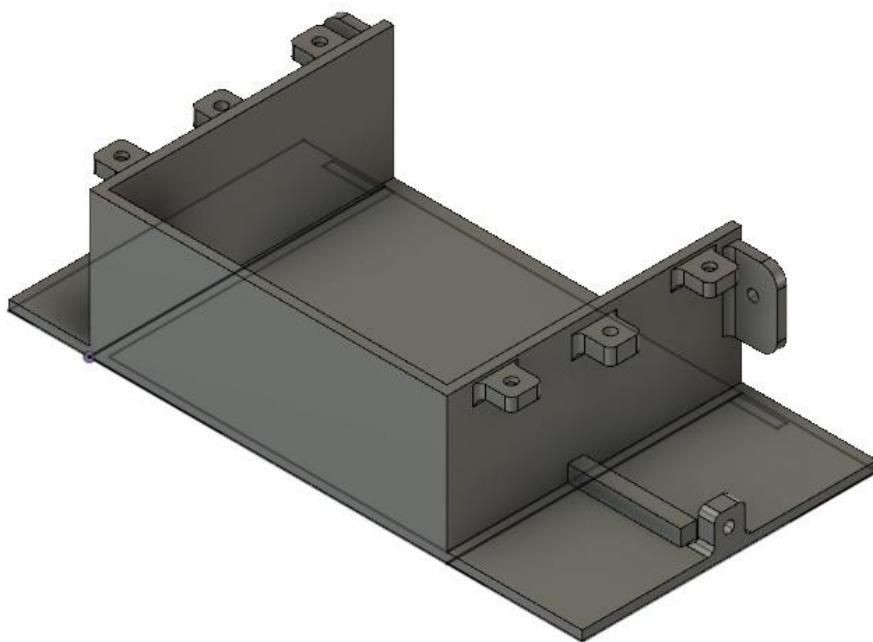
Választott műanyagfajta PET-G. Azért választottam, mert magas a hőtürése, könnyebben nyomtatható, mint például az ABS. A színe fekete, ami pont ideális számomra. A felsorolt műanyagokon kívül rengeteg egyéb fajta is létezik.

9.2 3D NYOMTATOTT BURKOLAT

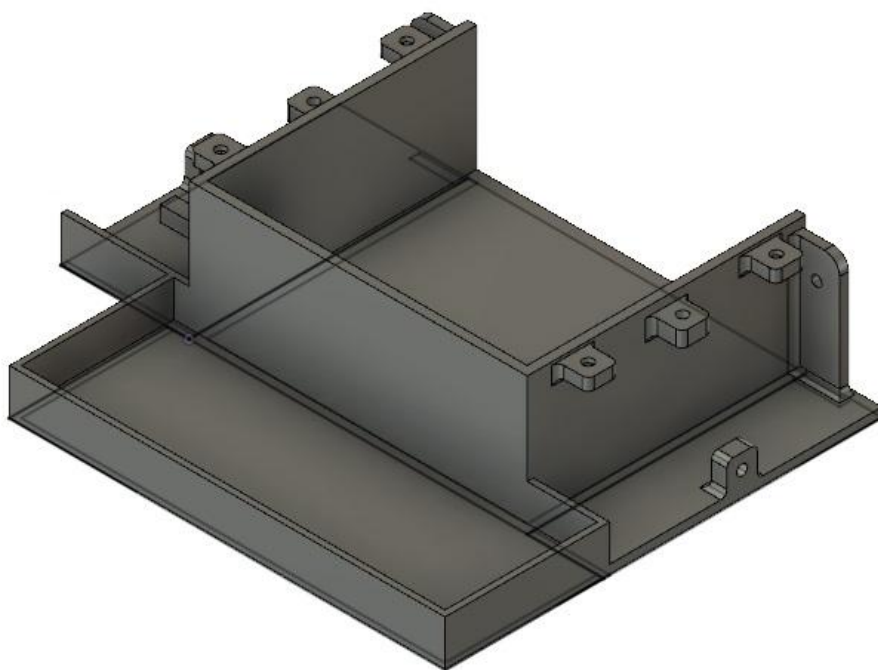
A 3D tervet az Autodesk Fusion 360 szoftverében rajzoltam meg. Előnye, hogy felhő (cloud) alapú, tehát a világ bármelyik pontjáról bejelentkezve a cloudból letölthetőek a tervek, és tovább szerkeszthetőek. Természetesen a bejelentkező gépen kell, hogy a program telepítve legyen.

A prototípus lényegében csak az aludoboznak és a fűtésnek biztosított helyet, a hőszigetelésnek nem, de az első kísérletekhez megfelelő volt. Későbbiekben egyre összetettebbé vált a terv, és több kiegészítő darabot is terveztem. Ilyen például a felső szigetelés lefogató és a két oldalsó takaróelem.

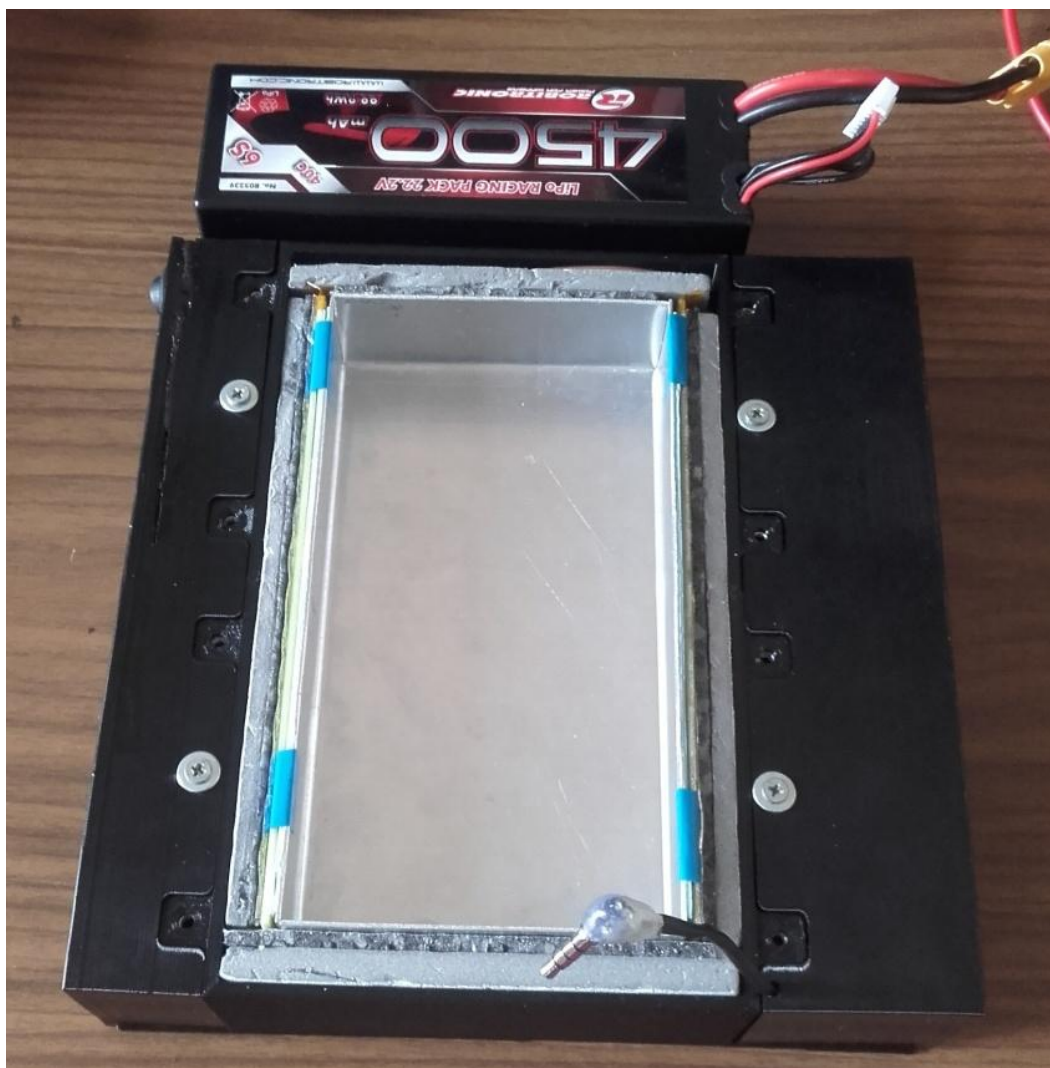
A ház alapja két részből áll. Egyrészt a készítés technológiája miatt egyben túl nagy lenne a nyomtatónak, illetve a széleknél elvetemedik, és még a szerelhetőség érdekében. A részeket középen csavarok segítségével lehet összehúzni. A csavarok meghúzása közben a belső részek (fűtőpanel, szigetelés) a nyomóerő hatására a helyükön rögzülnek. A doboz bizonyos pontjain találhatóak fülek, amelyek a kiegészítő rögzítő és takaró elemek felcsavarozása érdekében vannak. A két alap nem csere szavatos egymással, egyrészt a jobb és a bal oldali rész nem egyforma szélességű, másrészt az egyik alapon kapott helyet egy akkumulátor tálcá is.



21. ábra A oldal



22. ábra B oldal



23. ábra Elkészült termosztáló

Jobb oldalt (szélesebb rész) kapott helyet az elektronika, amelyet 4 db M3-as csavarral lehet rögzíteni. A rögzítése annyi trükköt igényel, hogy az alap összehúzatása után lehetséges az, mert az áramköröm olyan hosszú (ellenben keskeny), hogy mindkét alapon helyet foglal. A fedőlapon oldalt található egy billenő kapcsoló, amivel a fűtés áramkörét lehet megszakítani. Abban az esetben, ha a kapcsolótranszisztor zárlatos lenne, akkor a fedőlap levétele és a csatlakozó széthúzása nélkül is tudjuk áramtalanítani a fűtőkört.

Baloldalon kapott helyet a kisebb akkumulátor, és a fedőlapon oldalt a bekapcsoló.

A jobb és baloldal fedele 4 db M3-as csavarral rögzül. A csavarok alá alátét került, a nyomóerő eloszlása érdekében. A fém szerelvények (alátétek, csavarok) fekete festést kaptak (az ábrán még nem). Felfogató fülek 1 mm sugarú letörést kaptak. Ez nemcsak esztétikus látványt nyújt, hanem erősíti is azokat, illetve a szerelés közben nehezebb megsérülni. A csavaranyák fülekbe vannak préselve. Ez úgy lehetséges, hogy a 3D tervben a csavarral megegyező geometriájú testet vontam ki, így keletkezett az anyacsavar számára egy fészek.

A fűtés körül a falvastagságot 4 mm-re választottam, egyrészt mechanikai stabilitás érdekében, másrészt a nyomtatásnál van olyan lehetőség, hogy a belsejét térhálósan nyomtassa ki a nyomtató, ezáltal a belseje levegővel telített, ami kis mértékben, de plusz hőszigetelést jelent. A többi rész falvastagsága 2 mm, de tömören nyomtatva. Úgy véltem, hogy ez kellő merevséget biztosít.

A végleges terv nyomtatási ideje több mint 36 óra volt.

A kábelátvezetések a doboz falán fűrt furaton keresztül történik.

10 MÉRÉSEK

Kétfajta mérést végeztem az egyetemen található világítástechnika laborban. Megvizsgáltam a megvilágításmérő műszer hőfokfüggését, és a termosztáló készülékem stabilitását. Az eredményeket excel táblába rögzítettem és felhasználva a beépített függvények segítségével számoltam.

10.1 MÉRÉSI ÖSSZEÁLLÍTÁS

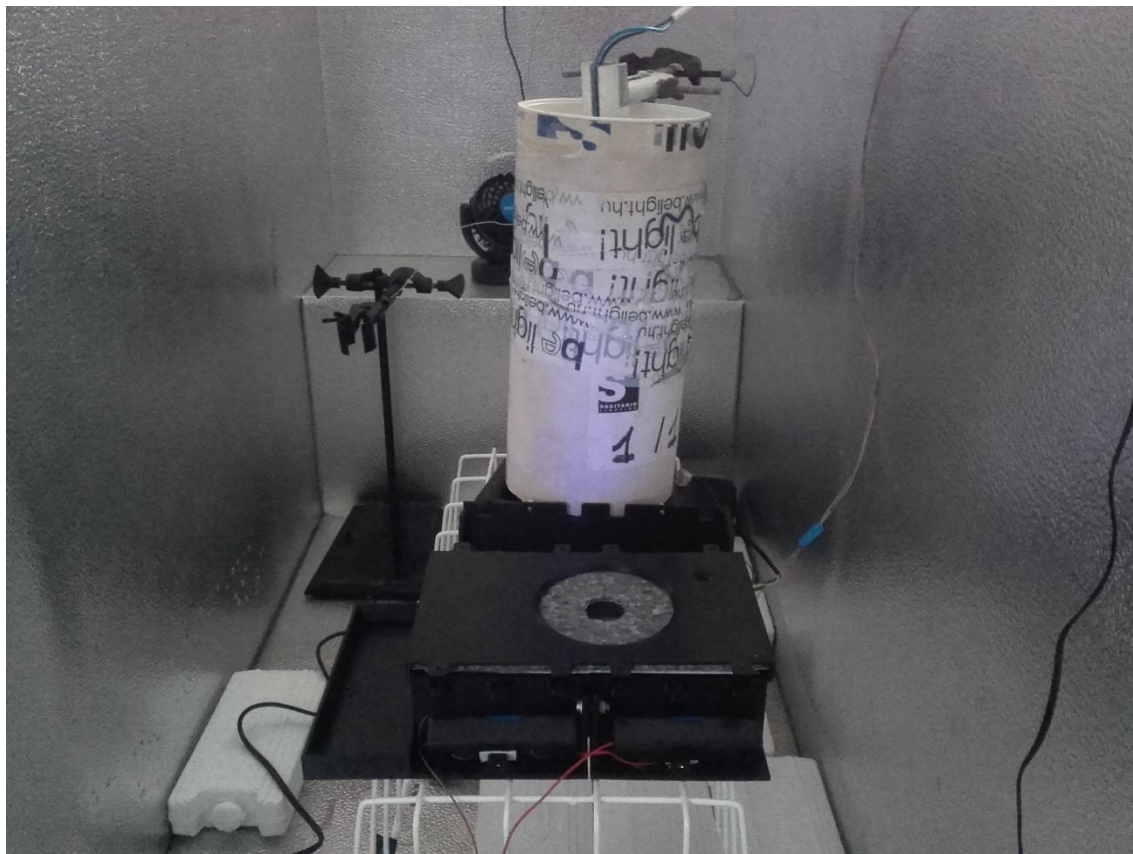
Méréseim során a hőkamra egy Lehel márkájú fagyasztóláda volt, amelyet az alján jégakkukkal is el tudtam látni, hogy nagyobb legyen a kamra hőtehetetlensége. A belső levegőt ventilátorok keringették. Egy nagy teljesítményű (2000 W) fűtőtest is helyet foglalt benne, amihez egy ipari PID (Proporcionális Integráló Differenciáló) hőszabályzó, (saját hőmérőjével) csatlakozott. Fűtést csak nulla fok körül és felett használtam impulzusszerűen, amit a PID szabályzó végzett.

A kamra hőmérsékletét K típusú hőelemmel, és a hozzá csatlakoztatott kalibrált műszerrel mértem. Típusa: KVDTC301. A hőelem vége középmagasság alatt volt elhelyezve, nem ért hozzá a kamra oldalfalához. A fal sokkal hidegebb tud lenni, mint a belső levegő, ezért nem szabad, hogy hozzá érjen, vagy túl közel legyen hozzá. A hőmérséklet értékeit tized fok pontossággal rögzítettem. A Miniluxban, és a termosztálóban található szenzorok feszültségeit multiméterekkel mértem millivoltos nagyságrendben, majd átalakítottam Celsius fokba.

10.2 MEGVILÁGÍTÁSÉRTÉK HŐMÉRSÉKLET FÜGGÉSE

A mérést úgy végeztem, hogy a megvilágításmérőt vízszintesen elhelyeztem a fagyasztóládaiban található rácsra (tároló rekesz fejjel lefelé fordítva), levettem a szenzort védő kupakot, majd fölé alulról és felülről nyitott csövet helyeztem, aminek a felső részébe került a fényforrás, amit egy állvány tartott. A papírcső azért kellett, hogy a kamra oldalfali reflexiója ne befolyásolja a mérést. A papír reflexiója kevésbé változik a mérés folyamán, mint a hűtő fém felülete, mert a levegőből a pára a hideg falakra lecsapódik, ezáltal más lesz a reflexiója, főleg ha időközben rá is fagy. Ebben a

mérésben először nem volt szerepe a termosztálónak (hozzánk közelebb látható a képen), de a későbbiekben a fej hőmérsékletének a méréséhez használok.



24. ábra. Mérési összeállítás

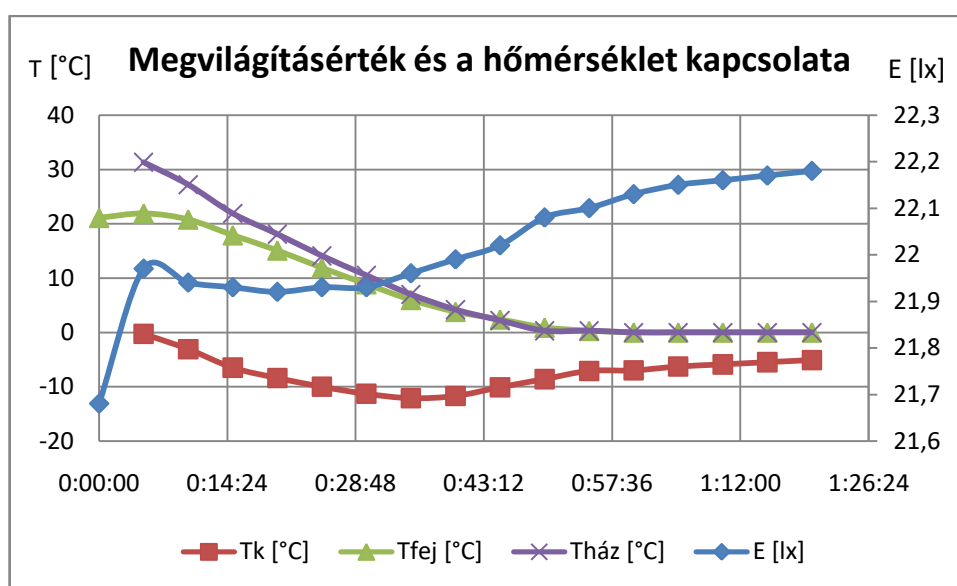
A mérések során használt jelölések és műszerek összefoglaló táblázata:

5. táblázat. Jelölések és felhasznált műszerek

T_k	[°C]	hőkamra hőmérséklete (hőelem)	KVDTTC301 hőmérő
T_{fej}	[mV] -> [°C]	fényelem hőmérséklete (LM35)	UNI-T UT804 multiméter
$T_{ház}$	[mV] -> [°C]	Minilux alsó hőmérséklete (műanyag házon belül, alul van elhelyezve az LM 35)	TTi 1906 multiméter
T_{alu}	[mV] -> [°C]	alumínium doboz (LM35)	UNI-T UT131D multiméter
E	[lx]	megvilágítás értéke	Minilux appból
I	[mA]	izzó tápegysége áramgenerátoros üzemben	UNI-T UTP1305

A mérést egy törpefeszültségű izzóval (12 V, 21 W) végeztem el, amit áramgenerátorosan labor tápegységről hajtottam meg. Sajnos a mérés folyamán a Minilux műszer akkumulátora 20 % alá csökkent, az ott mért adatok elkezdtek nagyobb különbséget mutatni, feltehetőleg az alacsony akkufeszültség miatt. Amikor a kamra hőmérséklete már -12 °C volt, kikapcsoltam a hűtést és a környezet elkezdett melegedni. Ez látható a piros karakterisztikán. A következő ábrán az idő függvényében ábrázoltam a kapott eredményeket.

Fényforrást meghajtó tápegység paraméterei: $I = 1.05 \text{ A}$ és $U = 4.1 \text{ V}$ ($P = 4.3 \text{ W}$)

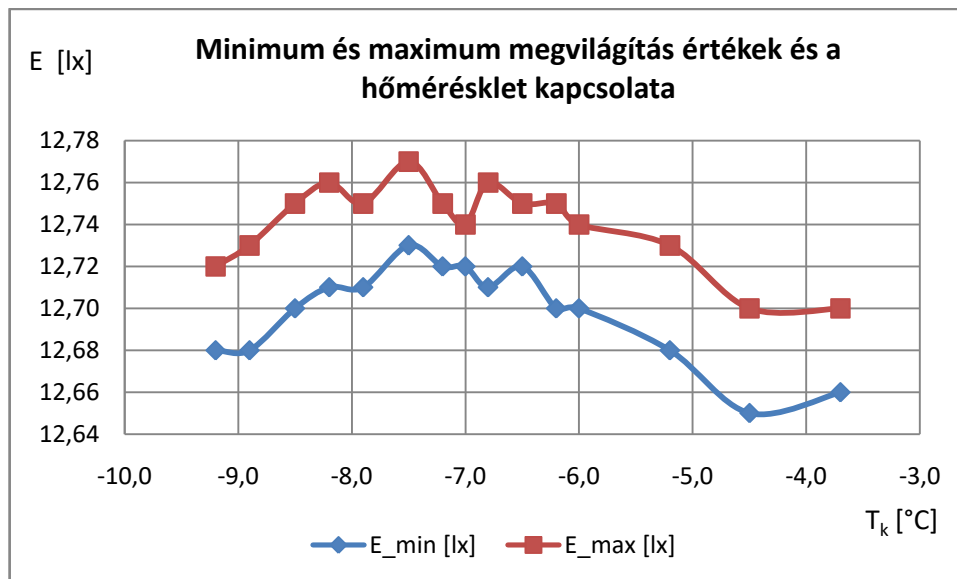


25. ábra. Megvilágítás és a hőmérséklet kapcsolat_1

A baloldali függőleges tengelyen a hőmérséklet Celsius fokban, jobboldalin a megvilágítás értéke luxban olvasható. A vízszintes tengelyen az idő található. Látható, hogy a fej és a ház hőmérséklete 0 °C-on stagnált, a valóságban tovább hűltek. Ez az áramköröm miatt volt, mert itt még nem állt rendelkezésemre a segédáramkör.

Tanulva az előző mérés hibájából, feltöltöttem az akkumulátort és újból elvégeztem a mérést. Itt már rögzítettem a minimum és a maximum megvilágítás értékeit is. Leolvasásnál, először a felsőre koncentráltam, és néhány másodperc alatt a legnagyobb kijelzett értéket vettem mérési értéknek. Hasonlóképpen jártam el a minimum értéknél

is. Ebből fakad, hogy a két érték nem pontosan ugyanabban az időpillanatban lett feljegyezve.



26. ábra. Megvilágítás és a hőmérséklet kapcsolat_2

A minimum és a maximum értékek eléggé együtt futnak.

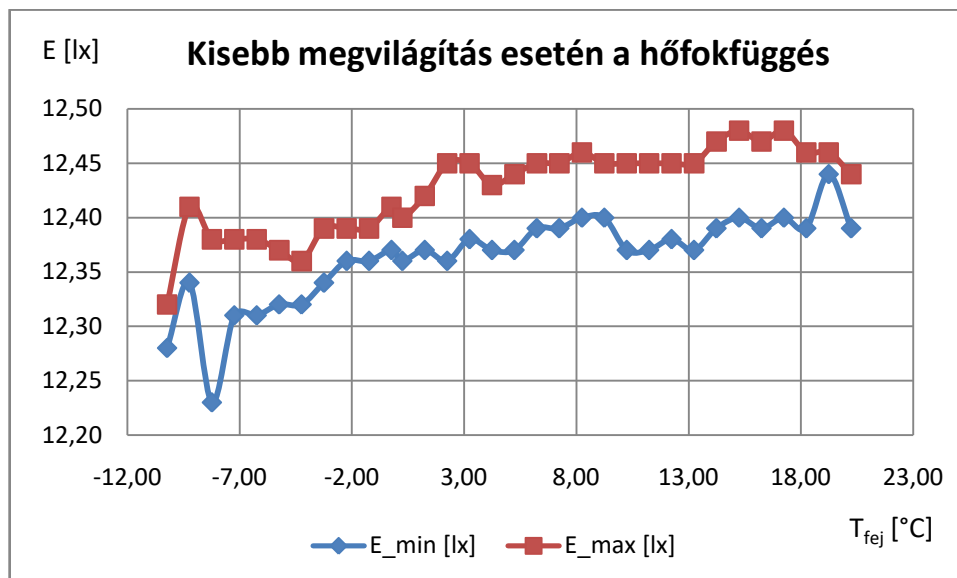
Összességében az látható, hogy a hőmérséklet csökkentésével a mért megvilágítás értékei emelkednek. A karakterisztika körülbelül -8 °C eléréséig növekszik, majd stagnál, sőt elkezd csökkenni. Feltehetőleg a hőelem nem érte el a kamra hőmérsékletét.

Volt egy nem elhanyagolható probléma, mégpedig az, hogy a kamra hőmérsékletét vettem alapul, mert az áramköröm önmagában nem képes fagypont alatt hőmérsékleten értéket szolgáltatni. A műszer működéséhez nem kell, de a mérés sokkal pontosabb, ha pontosan tudom a fényelem hőmérsékletét. Ezért kiegészítettem a mérés során az áramkört ellenállással, és egy segéd táppal (bővebben: 7. fejezet, hőmérséklet mérése).

Következőkben megvizsgáltam, hogy van-e különbség a kisebb és a nagyobb megvilágítás hőfokfüggése között. Ezeket a méréseket vettem alapul, ezért először itt számolok hőfokfüggést.

Először a néhány tíz lux környékén végeztem mérést.

Tápegység paraméterei: $I = 1.00 \text{ A}$ és $U = 3.8 \text{ V}$ ($P = 3.8 \text{ W}$)



27. ábra. Kisebb megvilágítás esetén a hőfokfüggés

Kiszámoltam minden egyes mérési pont ingadozását ($E_{\max} - E_{\min}$), amit nevezzünk leolvasási hibának. A kapott eredmény oszlop értékei közül kikerestem a minimum és a maximum eltérés nagyságát. Van egy kiugró eredmény a karakterisztikán -8.2 °C -on.

6. táblázat. Leolvasási hiba

	minimum	maximum	különbség
kiugró eredmény nélkül	0.02 lx	0.09 lx	0.07 lx
kiugró eredmény figyelembe véve	0.02 lx	0.15 lx	0.13 lx

A hőmérséklet növekedésével a mért megvilágítás érték nőtt. A mérésből a fénylelem hőfokfüggése az alábbi képlettel számolható:

$$\frac{\Delta E [\text{lx}]}{\Delta T [\text{°C}]}$$

Nagyon kicsik a különbségek, és ingadozóak az eredmények, ezért nehéz pontosan számolni.

Soronként a mért maximum és a minimum értékeket összeadtam, majd elosztottam kettővel, így kaptam egy átlag oszlopot. Két távoli pont megvilágítás és hőmérséklet értékét kivontam egymásból, és elosztottam őket egymással (fenti képlet szerint).

Ebben az esetben a hőfokfüggés eredménye $0.004 \text{ lx}/^{\circ}\text{C}$.

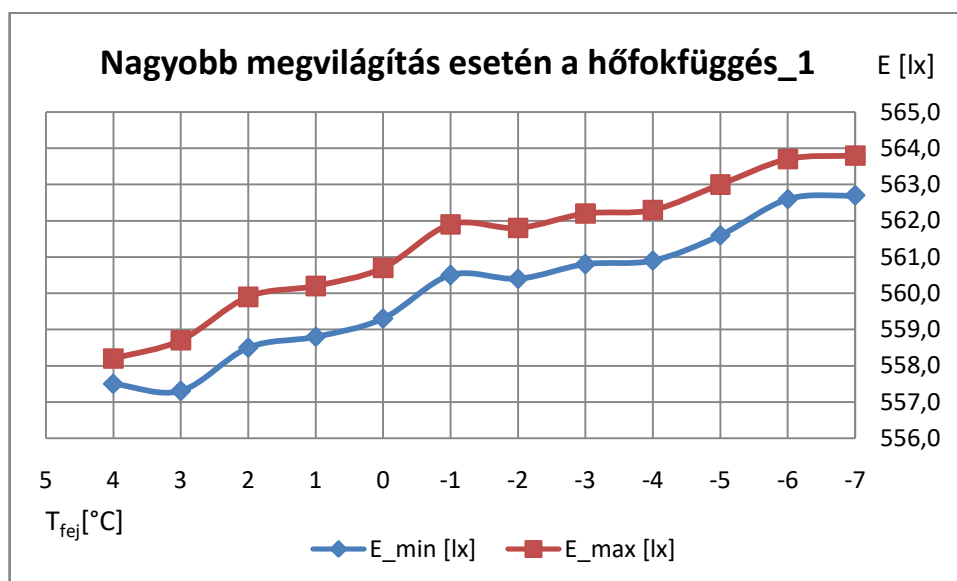
Ezután a minimum és a maximum értékekkel is elvégeztem a számítást.

Minimum értékekkel számítva: $0.005 \text{ lx}/^{\circ}\text{C}$.

Maximum értékekkel számítva: $0.003 \text{ lx}/^{\circ}\text{C}$.

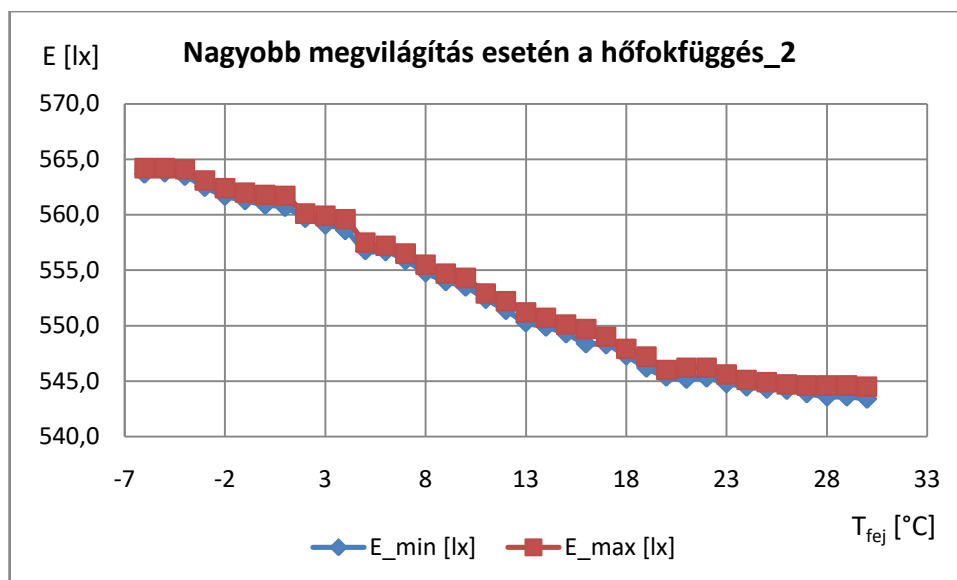
Ezután következett a nagyobb, néhány száz lux esetén a vizsgálat. Az adatokat két külön grafikonon ábrázoltam. Kezdetben gyorsabban hűlt, majd ez a folyamat lelassult. A kamra minimum hőmérsékletét biztonsági okokból -15°C alá nem mertem hűteni. Így a kívánt -10°C fényelem hőmérsékletet nem sikerült, csak -7°C -ot tudtam elérni. Ez azért lehetséges, mert a referencia fényforrásom izzó volt, ami hőmérsékleti sugárzó, ráadásul a papír cső sem segít a helyzeten.

A fényforrást meghajtó táp paraméterei: $I = 1.50 \text{ A}$ és $U = 8.59 \text{ V}$ ($P = 12.885 \text{ W}$).



28. ábra. Nagyobb megvilágítás esetén a hőfokfüggés_1

A hőmérséklet csökkenésével emelkedett a mért megvilágítás érték. A maximum és a minimum értékek szépen együtt futnak, a kicsi ingadozás oka lehet a mérés pontatlansága.



29. ábra. Nagyobb megvilágítás esetén a hőfokfüggés_2

A második szakaszon az látható, hogy kikapcsoltam a hűtést és elkezdett melegedni a fényelem. Nulla fok közelében lelassult a melegedés, ezért hőszigetelést használtam, amivel megpróbáltam egyenletes sebességgel fűteni a kamrát. Ez többé-kevésbé sikerült. Azért van jelentősége, mert ha gyorsan fűtöm, akkor a fej mért hőmérséklete kevesebb lehet, mint a fényelem hőmérséklete, az LM35, a ragasztás és a fényelem fűszek hő tehetetlensége miatt.

Az előbbieken alapján a leolvasási hiba minimum 0.4 lx és maximum 1.4 lx.

7. táblázat. Megvilágításmérő hőfokfüggése

	átlag értékek alapján	min. értékek alapján	max. értékek alapján
4°C -(-7°C) (1)	0.491 lx/°C	0.473 lx/°C	0.509 lx/°C
-7°C -(+20°C) (2)	0.522 lx/°C	0.522 lx/°C	0.522 lx/°C

Hiszterézis mértéke kisebb, mint 1 lx.

Az előző mérés esetén a beállított megvilágítás a néhány száz lux (560 körül) volt. Tipikusan belsőterek mesterséges megvilágítása esetén mérhetünk ebben a nagyságrendben.

Észrevettem, hogy a hőmérséklet csökkenésével drasztikusan csökkent a műszer által jelzett akkumulátor töltöttségi szint. Amikor újra melegedett a műszer, mintha regenerálódott volna, és elkezdett emelkedni a kijelzett százaléérték. Természetesen egy idő után megfordult, és tovább merült.

10.3 TERMOSZTÁLÁS STABILITÁSA

Megvizsgáltam, hogy a készülékem mennyire képes a fényeletet az előre beállított értéken tartani. Először a kamrát lehűtöttem mínusz tíz fok köré, majd a Minilux műszert beletettem a termosztálóba, csatlakoztattam a jack aljzaton keresztül a mérővezetékeket, lerögzítettem a felső szigetelést a nyomtatott lefogatóval. Bekapcsoltam az áramköröm és a fűtést. Multiméterek segítségével monitoroztam a hőmérsékleteket.

Az UNI-T UT 131D az aludoboz hőmérsékletét, az UNI-T UT 804 a fényelet hőmérsékletét és végül a TTi 1906 a Minilux alsó rész hőmérsékletét mérte. Összefoglalva táblázatban:

8. táblázat. Hőmérsékleti határok

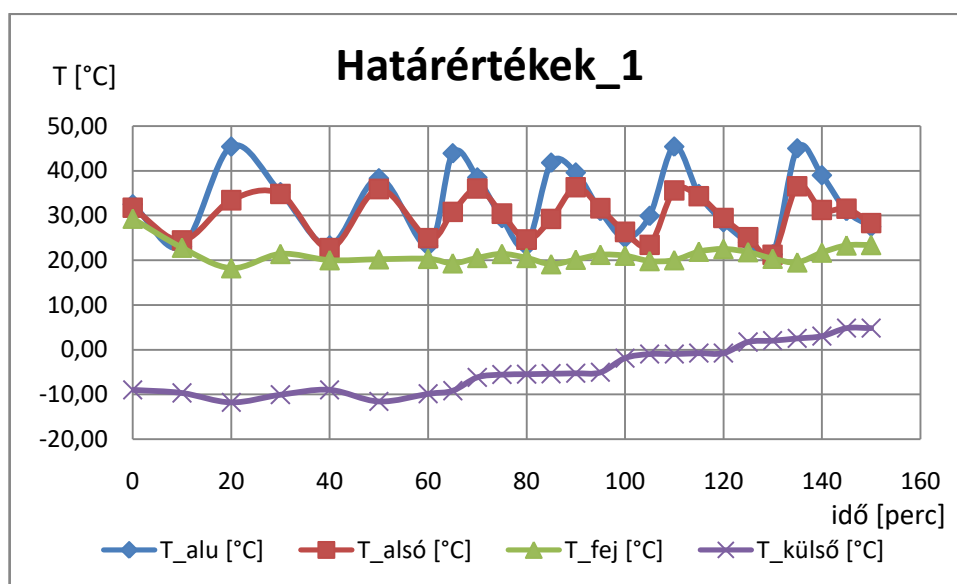
Műszer	UNI-T UT 131D	UNI-T UT 804	TTi 1906
Mit mér?	Aludoboz (T_{alu})	Fényelet (T_{fej})	Minilux alsó rész ($T_{\text{alsó}}$)
Határértékek_1	35.5 °C	45.3 °C	20.2 °C
Határértékek_2	35.3 °C	40.3 °C	20.2 °C

A következő táblázatban összegyűjtöttem a felhasznált műszereket.

9. táblázat. Jelölések és felhasznált műszerek

T_k	[°C]	hőkamra hőmérséklete (hőelem)	KVDTC301 hőmérő
T_{fej}	[mV] -> [°C]	fényelem hőmérséklete (LM35)	UNI-T UT804 multiméter
$T_{alsó}$	[mV] -> [°C]	Minilux alsó hőmérséklete (műanyag házban belül, alul van elhelyezve az LM 35)	TTi 1906 multiméter
T_{alu}	[mV] -> [°C]	alumínium doboz (LM35)	UNI-T UT131D multiméter

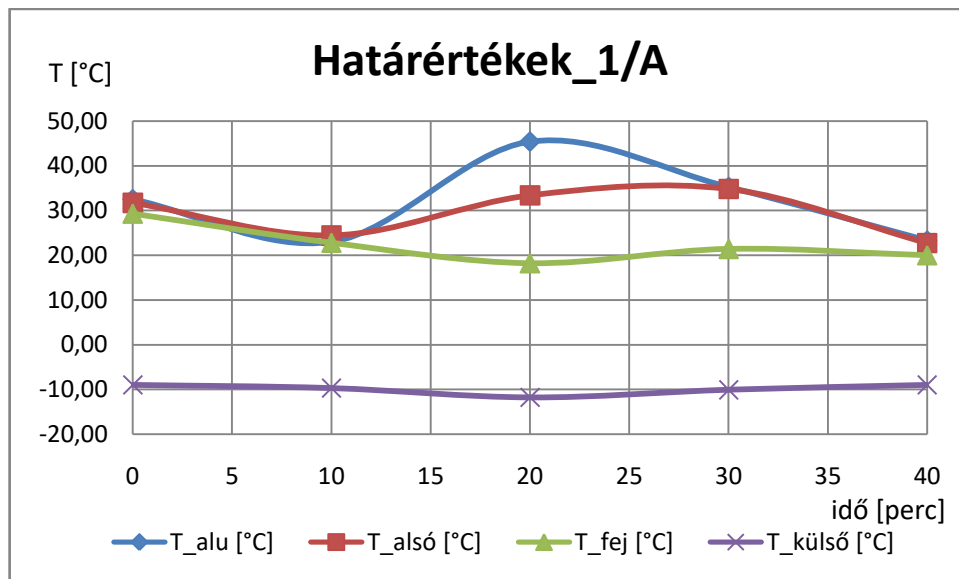
A hűtést kikapcsoltam, és a kamra szépen lassan elkezdett melegedni. ($T_{külső}$)



30. ábra. Stabilitás vizsgálat határértékek_1 esetén

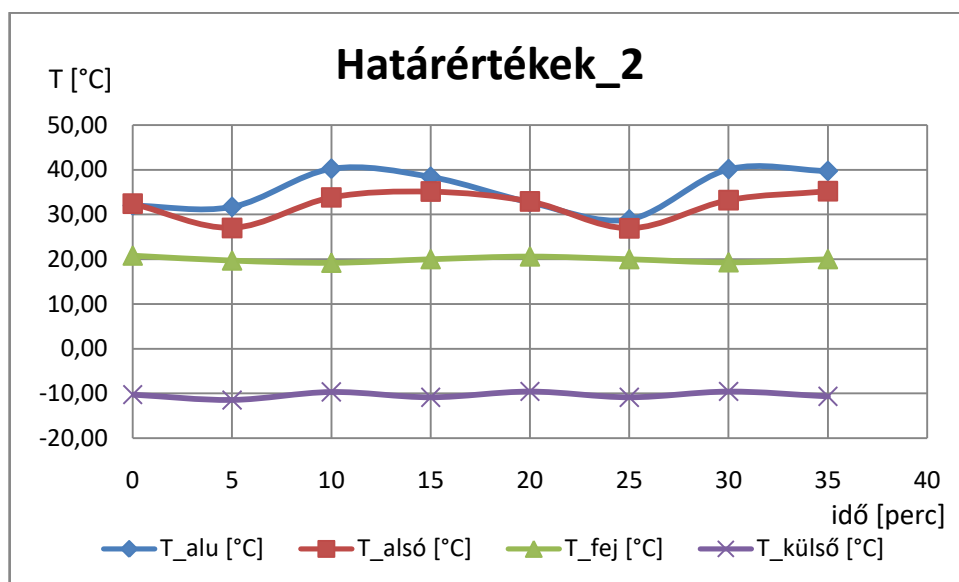
A kék és a piros karakterisztikákról az olvasható le, hogy az áramköröm ciklikusan kapcsolgatta a termosztáló fűtését. 20 °C környékén (5.2 Celsius fokon belül) tartotta a fej (hőelem) hőmérsékletét.

Ez egy igen hosszú mérés volt. Hogy össze tudjam hasonlítani a két beállítás eredményeit, a hosszú mérésből az első 40 perc adatát külön ábrázoltam.



31. ábra. Határértékek_1/A

Ezután változtattam a hőmérséklet határokon.



32. ábra. Stabilitás vizsgálat határértékek_2 esetén

Második esetben jobban együtt futott az aludoboz az alsó hőmérséklettel. A fej hőmérséklete kevésbé ingadozott, amelynek értéke $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt.

10.4 EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Kisebb megvilágítás mérés esetén a hőfokfüggés két nagyság rendel kisebb.

Kisebb megvilágítás mérés esetén nem indokolt, de több száz vagy ezer lux esetén indokolt a termosztáló használata.

Magasabb megvilágítás esetén a hőfokfüggés $0.522\text{ lx}/^{\circ}\text{C}$ alatt volt, amihez még hozzájön az ingadozás (leolvasási bizonytalanság) is, 1.4 lx alatt volt. A hiszterézis mértéke kisebb, mint 1 lx .

A megvilágításmérő szenzort a termosztáló néhány fok pontossággal a műszer kalibrálási hőmérsékletén tudja tartani. A hőmérséklet határértékek finomhangolásával javítható a szabályzás pontossága.

11 FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Tapasztalatok alapján továbbfejleszthető az eszköz. A továbbiak alapján:

11.1 ELEKTRONIKA

Elektronikai szempontból a nyák méretcsökkentés érdekében furatszerelt alkatrészek (THD / THT Through Hole Device / Through Hole Technology) helyett felületszerelt (SMD / SMT Surface Mount Device / Surface Mount Technology) alkatrészekre (ellenállások, ic-k, stb). Természetesen a fejlesztés alatt csak a furatszerelt alkatrészek jöhettek szóba, hiszen a próbapanelbe a felületszerelt alkatrészt önmagában nem tudom behelyezni.

A visszajelző LED-eket külön panelre kell helyezni.

A szenzorok csatlakozását máshogyan oldanám meg. Jelenleg ipari sorkapcsokat használok. Ez olyan csatlakozás, ami széthúzható (apa-anya rész), önmagától nem képes szétcsúszni (kis fülek rögzítik), fordítva nem lehet összedugni (speciális forma) és csavar kötéssel lehet hozzárögzíteni a vezetékeket. Előnye a robosztussága, a csavar alatt sok hely van, akár több vezeték behelyezhető. Hátránya a mérete. Ehelyett kisebb, raszteres kialakítású, egysorosat, a nyák szélére kivezetve.

Az áramkörömet megtápláló 2 db Li-Ion cella helyett használhatnék egy Li-Po akkumulátort. Azért került bele, a két darab 18650-es cella, mert moduláris, könnyen tölthető.

A fényelem direkt fűtése, amely teljesen új koncepció. Ezt a megoldást azért nem alkalmaztuk, mert a jelenlegi műszer nem úgy lett a gyártó által elkészítve. A jelenlegi megoldás előnye, hogy más, gyári műszert is képes befogadni, ami a jelenlegi műszer méretével megegyezik, vagy kisebb. Hátránya a sok energiát igénylő fűtés.

11.2 MECHANIKA

A jelenlegi szigetelés helyett úgynevezett aerogél használata. Előnye hogy nagyon könnyű, nagyon jó hőszigetelési képesség. Hátránya a magyarországi beszerezhetősége és az ára.

12 ÖSSZEFOGLALÁS

A feladatom az volt, hogy végezzek irodalomkutatást, majd tervezek és építsek meg egy termosztáló kiegészítő berendezést egy megvilágításmérő műszernek. Ezután végezzek termikus méréseket, és ezekből vonjak le következtetéseket. A kitűzött célt sikerült teljesítenem. Végeztem irodalomkutatást, amelyben megismerkedtem a fényelemmel és a világítástechnikai alapfogalmakkal illetve a megvilágítás mérés menetével. Feladat megoldása közben volt néhány technikai probléma, például a fűtőpanelek elektromos és mechanikai csatlakozásai, méréstechnikai probléma, amiket sikerült megoldanom. Elkészült a saját tervezésű elektronika, a fűtőpanelek és az egészet összefogó 3D nyomtatott burkolat. A komponenseket egybeépítettem és megfelelő villamos és hőszigeteléssel elláttam. Méréseket az egyetlen található hűtőkamrában végeztem, és a kapott eredményeket kiértékeltem. Mérések alkalmával megismerkedtem a termikus mérések folyamatával és nehézségeivel. Több mérést végeztem. Mértem a megvilágításmérő műszer hőfokfüggését több megvilágítási szintnél. Vizsgáltam a termosztáló hőfokfüggését. Mérési eredményeim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a Magyarországon előforduló jellemző kültéri éjszakai hőmérséklet viszonyok mellett jól használható az általam készített berendezés. Ugyanis -10 Celsius fok és 20 Celsius fok között a megvilágításmérő szenzort közel a műszer kalibrálási hőmérsékletén tudja tartani. A dolgozat végén javaslatokat tettem a termosztáló továbbfejlesztésére. A készülék használatra kész.

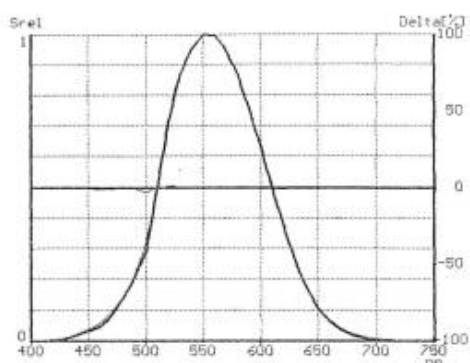
13. SUMMARY

My task was to do a literature search and then design and build a thermostat accessory for a lux meter. My task also included thermal measurements and drawing conclusions from them. I managed to achieve my goal. I carried out a literature search, in which I got acquainted with the photocell and the basic concepts of lighting technology, as well as the process of lighting measurements. While solving the task, I had some technical problems, such as the electrical and mechanical connections of the heating panels, measurement problems, which I managed to solve. The self-designed electronics, heating panels and 3D printed cover have been completed. I integrated the components and provided them with adequate electrical and thermal insulation. Measurements were performed in a cooling box at the university and the results obtained were evaluated. During the measurements I got acquainted with the process and difficulties of thermal measurements. I took several measurements. I measured the temperature dependence of the illuminance meter at several illumination levels. I examined the temperature dependence of the light meter. Based on my measurement results, I came to the conclusion that the equipment I made can be used well under the typical outdoor night-time conditions in Hungary. This is because between -10 degrees Celsius and 20 degrees Celsius can keep the illuminance sensor close to the instrument's calibration temperature. At the end of the dissertation I made suggestions for the further development of the thermostat. The device is ready for use.

14. MELLÉKLETEK / FÜGGELÉK

A Minilux megvilágításmérő műszer kalibrációs dokumentumai:

PHOTON KFT. BUDAPEST
Detector-test



Sample: Minilux 3 LB 20T1201LT

Wavelength range: 400.0 nm 750.0 nm 10.0 nm

Target: VLAMBDA

Measured: 01/12/2020

Lambda	Srel	Delta	Lambda	Srel	Delta	Lambda	Srel	Delta
400.0nm	0.0000	0.0004	520.0nm	0.7250	-0.0114	640.0nm	0.1740	0.0019
410.0nm	0.0000	0.0012	530.0nm	0.8710	-0.0046	650.0nm	0.1092	-0.0017
420.0nm	0.0027	0.0014	540.0nm	0.9556	0.0032	660.0nm	0.0657	-0.0044
430.0nm	0.0083	0.0033	550.0nm	1.0000	0.0000	670.0nm	0.0378	-0.0056
440.0nm	0.0200	0.0031	560.0nm	0.9996	0.0004	680.0nm	0.0209	-0.0038
450.0nm	0.0332	0.0050	570.0nm	0.9539	0.0029	690.0nm	0.0112	-0.0029
460.0nm	0.0488	0.0115	580.0nm	0.8690	0.0054	700.0nm	0.0058	-0.0017
470.0nm	0.0818	0.0097	590.0nm	0.7572	0.0036	710.0nm	0.0030	-0.0009
480.0nm	0.1415	-0.0018	600.0nm	0.6318	0.0023	720.0nm	0.0015	-0.0004
490.0nm	0.2044	0.0047	610.0nm	0.5020	0.0036	730.0nm	0.0008	-0.0003
500.0nm	0.2960	0.0287	620.0nm	0.3754	0.0075	740.0nm	0.0004	-0.0001
510.0nm	0.5043	0.0012	630.0nm	0.2640	0.0024	750.0nm	0.0002	-0.0001

F1' = 1.27 %

F1(Z)_{ave} = 0.37 %

F1(Z)_{max} = 0.44 % Lamp = High pressure Sodium



www.lumilab.hu

Ügyiratszám: 2022/01/21/1

Bizonyítványszám: LUMI-2022/01/21/1

Budapest, 2022. január 21.

+36-30/337-2120 info@lumilab.hu



A NAH által NAH-2-0363/2021 számon akkreditált kalibrálólaboratórium.

A mérésnél alkalmazott etalonok és mérőeszközök:

A BFKH Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Főosztály Elektromos, Hőfizikai és Optikai Mérések Osztályában (volt OMH) leszármaztatott nagypontosságú megvilágításmérő.

Megnevezés	Gyártó	Típus	Azonosító szám	Bizonyítvány
Univerzális megvilágításmérő, hőmérséklet stabilizált precíziós V(λ) korrigált Si fényelemmel	PHOTON	MINILUX UNIVERSAL	MLU-1 L12C02	OPT-0107/2021
Digitális multiméter	KEITHLEY	DMM6500	4482916	PC4K132JS5D
Digitális hőmérő	TESTO	174T	10000 9232	215116
Tolómérő	HOREX	analog	1406114221	2011/ 7040 /1
Táralámpa	OSRAM	1000W	-	-
Táralámpa	OSRAM	50W	-	-
DC tápegység	STATRON	3256.4	1210008	-
DC tápegység	STATRON	3256.4	1210009	-
Fotométerpad	LUMILAB	-	-	-

A mérési eredmények a nemzeti etalonra visszavezetettek.

A kalibrálás módja:

A kalibrálást a KE-1- 2020 számú eljárás alapján végeztük.

A fenti műszert az (5 + 3500) Lx megvilágítás tartományban merőlegesen megvilágítva táralámpa segítségével hasonlítottuk össze referencia etalonunkkal.

A mérés körülményei:

A méréseket 20.7 °C környezeti hőmérsékleten végeztük.

Mérési eredmények:

A mérési eredményeket az alábbi táblázat tartalmazza, ahol feltüntettük a helyes és a műszerrel mért megvilágítás értékeit. A hiba a műszerrel mért érték és a pontos megvilágítás érték különbsége. A százalékos hiba e különbség és a pontos érték hányadosának százszorosa.

2 / 3

Jelen bizonyítvány csak teljes formájában és terjedelmében érvényes és másolható!
KE-1-2020 2k-3r (2021.10.12.)



LUMILAB

www.lumilab.hu

Ügyiratszám: 2022/01/21/1

Bizonyítványszám: LUMI-2022/01/21/1

Budapest, 2022. január 21.

+36-30/337-2120 info@lumilab.hu



A NAH által NAH-2-0363/2021 számon akkreditált kalibrálólaboratórium.

Megvilágítás (Lx)	Műszerrel mért érték (Lx)	Hiba (Lx)	Relatív hiba (%)	Abszolút relatív hiba (%)
5,00	4,98	-0,02	-0,40	0,40
10,00	9,99	-0,01	-0,10	0,10
20,00	20,02	0,02	0,10	0,10
50,0	50,12	0,12	0,24	0,24
100,0	100,5	0,50	0,50	0,50
200,0	200,3	0,30	0,15	0,15
300	300,3	0,30	0,10	0,10
500	495,0	-5,00	-1,00	1,00
1000	990	-10,00	-1,00	1,00
2000	1980	-20,00	-1,00	1,00
3500	3465	-35,00	-1,00	1,00
A megvilágításmérő legnagyobb skálapontossági hibája: -1,00%				

Mérési bizonytalanság:

$U = 1,8 \%$

A közölt kiterjesztett mérési bizonytalanság a standard bizonytalanságnak a kiterjesztési tényezővel szorzott értéke ($k = 2$), amely normális (Gauss) eloszlás esetén közelítőleg 95 % - os fedési valószínűségnek felel meg.

A standard bizonytalanság meghatározása az EA-4/02 (Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration) kiadványnak megfelelően történt.

Minősítés:

L kategória (0 ÷ 3) %	A kategória (3 ÷ 5) %	B kategória (5 ÷ 10) %	C kategória (10 ÷ 20) %
x	—	—	—

A DIN 5032-7: 2016 megvilágításmérők minősítésére vonatkozó ajánlása szerint a mérési eredmények a skálapontosság vonatkozásában az ajánlás **L** kategóriájának

MEGFELELNEK.

Megjegyzések:

A mérőeszközön LUMILAB 0069 azonosító számú bélyeget helyeztünk el.

A bizonyítványban megadott értékek a mérőeszköznek a mérés idejére és körülményeire jellemző adatai.

Kertész Tibor
LUMILAB

Kalibráló Laboratórium Kft.
1028 Budapest, Géza fejedelem útja 57.
Adószám: 12885323-1-41
Bsz.: 12100011-10618763-00000000

3 / 3

Jelen bizonyítvány csak teljes formájában és terjedelmében érvényes és másolható!
KE-1-2020 2k-3r (2021.10.12.)

15. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Poppe Kornélné – Dr. Borsányi János: Világítástechnika I., ÓE KVK 2024, Budapest, 2010
- [2] Dr. Borsányi János: Világítástechnika Villamos energetika szakos hallgatók részére, 41/2007, Budapest, 2010
- [3] Arató András – Dr. Borsányi János – Dr. Kovács Károly- Dr. Majoros András – Molnár Károly: Világítástechnika II., BMF KVK – 2018, Budapest, 2003
- [4] Zsom Gyula: Digitális Technika, Óbudai Egyetem, Budapest 2010
- [5] Dr. Szentiday Klára – Dr. Dávid Lajos: Mikroelektronikai szenzorok és alkalmazástechnikájuk, Marktech Kft, Budapest 2000
- [6] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>(2022. 05. 10)
- [7] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/597547/TI/LM385-2.5.html>
(2022. 05. 10)
- [8] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22756/STMICROELECTRONICS/LM324N.html> (2022. 05. 10)
- [9] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/96584/TI/UA741.html>
(2022. 05. 10)
- [10] <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=6B8Cqb%2bX&id=CA8441B997F8DC78A504C16B5C1D1E6A7E5B91EE&thid=OIP.6B8Cqb-XaH4SFwo3ztwEaAAAA&mediaurl=https%3a%2f%2favelectronics.cc%2fwp-content%2fuploads%2f2018%2f09%2f7408-1-416x416.png&cdnurl=https%3a%2f%2fth.bing.com%2fth%2fid%2fR.e81f02a9bf97687e12170a37cedc0468%3frik%3d7pFbfmoeHVxrwQ%26pid%3dImgRaw%26r%3d0&exph=416&expw=416&q=7408&simid=608026043527620190&FORM=IRPRST&ck=774736C04059516435CD086C81FEF551&selectedIndex=2&ajaxhist=0&ajaxserp=0>
(2022. 05. 10)

- [11] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22129/STMICROELECTRONICS/BUZ11.html> (2022. 05. 10)
- [12] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Manganin?msclkid=4319cbd2cf9211ecb34941ceeaec1d85>
(2022. 05. 10)
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/Kanthal_\(alloy\)?msclkid=09dbf963cf9311ecb7baf3ad1ca9335a](https://en.wikipedia.org/wiki/Kanthal_(alloy)?msclkid=09dbf963cf9311ecb7baf3ad1ca9335a) (2022. 05. 10)
- [14] <https://www.cnc.hu/2020/05/minden-amit-a-3d-nyomtatásról-tudni-kell/>
Eredeti forrás: <https://www.rocheindustry.com/3d-printing-ultimate-guide/>
(2022. 05. 10)
- [15] <http://kreativ3d.hu/3d-nyomtatás-alapanyagai> (2022. 05. 10)

16. TÁBLÁZAT-ÉS ÁBRAJEGYZÉK

1. ÁBRA. FOTOVEZETŐ ANYAG EGYSZERŰSÍTETT SÁVKÉPE [1]	8
2. ÁBRA. FÉNYELEMENK SPEKTRÁLIS ÉRZÉKENYSÉGE [1]	9
3. ÁBRA. MINILUX MŰSZER.....	12
4. ÁBRA. MINILUX APPLIKÁCIÓJA.....	13
1. TÁBLÁZAT. CSATLAKOZÓ BEKÖTÉSE	14
5. ÁBRA. ALUMÍNIUM DOBOZ MÉRETEI.....	17
6. ÁBRA. FŰTENDŐ ALUMÍNIUM DOBOZ	18
2. TÁBLÁZAT. AZ AKKUMULÁTOR CELLAFESZÜLTSGEI.....	19
7. ÁBRA. ALSÓ FŰTŐPANEL SABLONJA	21
8. ÁBRA. OLDALSÓ FŰTŐPANEL SABLONJA.....	22
3. TÁBLÁZAT. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK.....	23
9. ÁBRA. ELKÉSZÜLT PANELEK	24
10. ÁBRA. MEGERŐSÍTETT KIVEZETÉSEK	26
11. ÁBRA. LM 35 LÁBKIOSZTÁSA [6].....	28
12. ÁBRA. LM35 BEKÖTÉSE_1 [6]	28
13. ÁBRA. LM35 BEKÖTÉSE_2 [6]	29
14. ÁBRA. KAPCSOLÁSI RAJZ.....	30
15. ÁBRA. NYOMTATOTT ÁRAMKÖR	31
16. ÁBRA. LMX85 LÁBKIOSZTÁSA [7]	32
17. ÁBRA. LMX24N LÁBKIOSZTÁSA [8]	33
18. ÁBRA. μ A741 LÁBKIOSZTÁSA [9]	33
19. ÁBRA. 7408 LÁBKIOSZTÁSA [10].....	34
20. ÁBRA. BUZ11 LÁBKIOSZTÁSA [11]	35
4. TÁBLÁZAT. LED ÁLLAPOTOK	36
21. ÁBRA A OLDAL	41
22. ÁBRA B OLDAL	41
23. ÁBRA ELKÉSZÜLT TERMOSZTÁLÓ	42
24. ÁBRA. MÉRÉSI ÖSSZEÁLLÍTÁS	45
5. TÁBLÁZAT. JELÖLÉSEK ÉS FELHASZNÁLT MŰSZEREK.....	45
25. ÁBRA. MEGVILÁGÍTÁS ÉS A HŐMÉRSÉKLET KAPCSOLAT_1	46
26. ÁBRA. MEGVILÁGÍTÁS ÉS A HŐMÉRSÉKLET KAPCSOLAT_2	47
27. ÁBRA. KISEBB MEGVILÁGÍTÁS ESETÉN A HŐFOKFÜGGÉS	48
6. TÁBLÁZAT. LEOLVASÁSI HIBA.....	48
28. ÁBRA. NAGYOBB MEGVILÁGÍTÁS ESETÉN A HŐFOKFÜGGÉS_1	49
29. ÁBRA. NAGYOBB MEGVILÁGÍTÁS ESETÉN A HŐFOKFÜGGÉS_2	50
7. TÁBLÁZAT. MEGVILÁGÍTÁSMÉRŐ HŐFOKFÜGGÉSE	50
8. TÁBLÁZAT. HŐMÉRSÉKLETI HATÁROK.....	51
9. TÁBLÁZAT. JELÖLÉSEK ÉS FELHASZNÁLT MŰSZEREK.....	52
30. ÁBRA. STABILITÁS VIZSGÁLAT HATÁRÉRTÉKEK_1 ESETÉN.....	52
31. ÁBRA. HATÁRÉRTÉKEK_1/A	53
32. ÁBRA. STABILITÁS VIZSGÁLAT HATÁRÉRTÉKEK_2 ESETÉN.....	53