

Hőmérséklet érzékelők sebességének és pontosságának vizsgálata, valamint alkalmazása hősziget mérésre

Szerző: Szekeres György,
mérnökinformatikus hallgató

TDK dolgozat

Neumann János Egyetem,
GAMF Műszaki és Informatikai Kar,
Informatikai Tanszék

Témavezetők: Dr. Drenyovszki Rajmund, Dr. Görbe Mihály

Tartalom

1.	A projekt bemutatása	3
1.1.	A dolgozat célja	3
1.2.	A hőmérsékletmérésről	3
2.	Tervezés	3
2.1.	A rendszerről	3
2.2.	Mikrovezérlő kiválasztása a mérésekhez	3
2.2.2.	Összehasonlításuk	6
2.2.3.	Kiválasztott mikrovezérlő	7
2.3.	Szenzorok	7
2.3.1.	Szenzorok típusai	7
2.3.2.	Kiválasztott szenzorok	11
2.3.3.	Szenzorok összehasonlító mérése	13
3.	Megvalósítás	14
3.2.	Kapcsolási terv	16
3.3.	Mikrovezérlő programozása	17
3.4.	Adatok tárolása	20
3.5.	Szenzorok kalibrálása	20
3.6.	Tesztelés	20
4.	Adatok gyűjtése, feldolgozása	20
4.1.	Mérési terv készítése	20
4.2.	Mérés megvalósítása.....	21
4.3.	Adatok feldolgozása	21
4.4.	Adatok kiértékelése, ábrázolása	22
4.4.1.	Hűtős mérések	22
4.4.2.	Fagyasztós mérések.....	23
5.	Gyakorlati alkalmazási példa	28
5.1.	Hőszigetek	28
5.2.	Mérési terv	29
5.3.	Adatgyűjtés	29
5.4.	Adatok feldolgozása, ábrázolása	29
6.	Források	31
6.1.	Irodalomjegyzék	31
6.2.	Ábrák, grafikonok.....	31

1. A projekt bemutatása

1.1. A dolgozat célja

A dolgozat célja, hogy mélyebben megismerjem és bemutassam a hőmérséklet szenzorok működési elvét, a fizikai jellemző elektromos jellé alakítását és a jelfeldolgozás menetét, továbbá hősziget mérésen keresztül ismertessem a hőmérsékletmérés hasznosságát. A dolgozat során szeretném bemutatni az általam megtervezett, elkészített, és felprogramozott rendszer működését, és a különböző szenzorok pontosságra, és gyorsaságára vonatkozó méréseket és eredményeket. A dolgozat második részében a mért adatok, és a megszerzett tapasztalat alapján egy, a gyakorlatban is alkalmazható és hasznos hőmérsékletmérési eljárást mutatok be, nevezetesen a hősziget mérést.

1.2. A hőmérsékletmérésről

A hőmérsékletmérés során több tényezőre is figyelni kell, mint például a szenzor feldolgozási gyorsasága, pontossága, működési tartománya. Ezek mind befolyásolják a mérés pontosságát, és részletességét. A probléma a hőmérsékletmérés során, és amire keresem a választ is, hogy létezik-e kellően gyors, és nagyon pontos hőmérsékletszenzor? Mivel ennek a két tényezőnek a közös metszete kicsi, így vagy nem létezik ilyen szenzor, vagy pedig nehezen lehet ilyet találni. A gyártói adatlapok bár jó viszonyítási alapot tudnak nyújtani, de nem mindig hitelesek, mivel kutatásom, és a tesztek során többször is előfordult, hogy az adott szenzor mégsem az ígért tartományban, vagy a leírt pontossággal dolgozott. Néhány szenzornál a szükséges felhúzóellenállás pontossága is befolyásolja a mérés pontosságát.

2. Tervezés

2.1. A rendszerről

A hőmérőrendszer alapját egy mikrovezérlő adja, amely ellátja a szenzort feszültséggel, és a szükséges beállításokat elküldi számára. A legnagyobb szerepe azonban beérkező jelek feldolgozásában van, mivel enélkül nem kapnánk számunkra is értelmezhető jelet.

2.2. Mikrovezérlő kiválasztása a mérésekhez

A tervezés során több lehetséges mikrovezérlőt is figyelembe vettem, és megvizsgáltam annak lehetőségét, hogy melyik lenne a legalkalmasabb a számomra. A következő pontokban látható mikrovezérlőket vizsgáltam.

2.2.1.1. *Arduino Uno*

Az Arduino Uno az Arduino család egyik leggyakrabban használt tagja, mely egyszerűsége, és ára miatt kiváló a kezdők számára. Az Uno-n számomra kevés láb található, így ez a vezérlő nem alkalmas erre a feladatra. 6 analóg bemenettel rendelkezik és 14 digitális lábbal, amelyből 6 PWM-re képes. Egy I²C, egy SPI és egy UART található meg rajta.



1. ábra: Arduino Uno alaplap

2.2.1.2. *Arduino Due*

Az Arduino Due az Uno-hoz képest jelentősen több csatlakozóval rendelkezik. Az egyik különlegessége az, hogy két USB csatlakozó található rajta, amelyből az egyik a programozáshoz van, a másik pedig natív USB támogatással rendelkezik, így beviteli eszközként is lehet használni PC-hez. 12 analóg bemenettel rendelkezik, és 54 digitális pinnel, melyből 12 PWM képes. 4 UART, 1 SPI és 1 I²C található meg rajta.



2. ábra: Arduino Due alaplap

2.2.1.3. *Arduino Mega*

Az Arduino Mega a Due-hoz hasonlóan sok csatlakozóval van ellátva. A Due-val ellentétben nem rendelkezik natív USB támogatással. Az Uno után ez a második legelterjedtebb fejlesztőpanel. 5V logikai bemenettel rendelkezik, így a legtöbb eszköz szintillesztő nélkül használható vele. 16 analóg bemenettel, és 54 digitális pinnel rendelkezik, melyből 15 képes a PWM jel előállítására. 4 UART, 1 SPI és 1 I²C csatlakozóval rendelkezik.



3. ábra: Arduino Mega alaplap

2.2.1.4. *Arduino Micro*

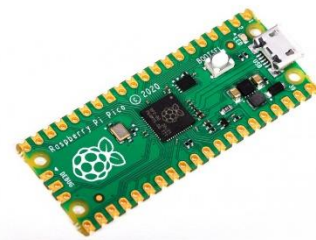
Az Arduino Micro egy eléggé kis méretű, de tudásban annál nagyobb mikrovezérlő. Méretéből adódóan a legtöbb projektben könnyedén dobozolható, elrejtendő szem elől. 12 analóg bemenettel és 20 digitális lábbal rendelkezik. Ezek közül 7 képes a PWM jel generálására. Található rajta egy UART, egy SPI és egy I²C csatoló is.



4. ábra: Arduino Micro alaplapp

2.2.1.5. *Raspberry Pi Pico*

A Raspberry Pi Pico a Raspberry család első mikrovezérlője, amelynek mára már megjelent WiFi képes változata is. Méretét tekintve az Arduino Micro-hoz hasonló. Az eddig bemutatott mikrovezérlőhöz képest az RP2040 processzor két ARM Cortex-M0+ magot tartalmaz, és a legtöbb memóriája is ennek van. 3 analóg bemenettel rendelkezik, és 26 digitális pinnel, melyből 16 PWM képes. 2 UART, 2 SPI és 2 I²C csatoló található meg rajta. 8 egyénileg programozható lábbal is rendelkezik.



5. ábra: Raspberry Pi Pico alaplapp

2.2.1.6. *ESP8266*

Az ESP8266 az ESP család egyik legismertebb tagja. WiFi-val szerelt mikrovezérlő, melynek 1 analóg bemenettel rendelkezik, továbbá 11 digitális lábbal, amelyből 3 PWM jelet képes létrehozni. Egy UART, egy SPI és egy I²C csatolóval van ellátva. Az ESP család legtöbb tagja I²S csatolóval is fel van szerelve, így akár a hang digitális jelként való kezelését is könnyebben meg lehet valósítani, szemben egy Arduino-val, amelyhez plusz modulokra van szükség.



6. ábra: ESP8266 alaplapp

2.2.1.7. ESP32

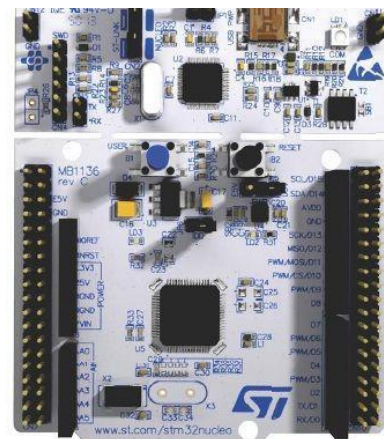
Az ESP32 az egyik leggyakrabban használt mikrovezérlő, amelynek processzora két maggal van ellátva, és emellett van egy harmadik mag, amely csak önmagában képes működni, ez a mag felel a mélyalvásért. Támogatja a WiFi-t, és a Bluetooth-t. 25 programozható láva van, amelyből az összes PWM képes, továbbá 15 lábon van analóg konverter, és 2 lábon pedig digitális-analóg konverter. 3 UART, 2 SPI, 1 I²C és 1 CAN csatoló található rajta.



7. ábra: ESP32 alaplap

2.2.1.8. STM32F103RBT6

Az STM32F103RBT6 az STM mikrovezérlő család tagja. Bár sok ki- és bemenettel rendelkezik, de programozása kissé bonyolult az előzőkéhez képest. Erre a mikrovezérlőre a képen is látható külön programozóval lehet feltölteni csak a kódot, nem rendelkezik integrált USB-TTL chippel az áramkörén.



8. ábra: Nucleo 64 alaplap

2.2.2. Összehasonlításuk

Tulajdonságok	Arduino				Raspberry Pi	ESP		STM32
	Uno	Due	Mega	Micro	Pico	8266	32	F103RBT6
Feszültség	3,3 5	3,3 5	3,3 5	3,3 5	3,3	3,3	3,3	3,3 5
Lábak	20	68	70	32	26	12	25	62
Analóg be	6	12	16	12	3	1	15	6
Analóg ki	-	2	-	-	-	-	2	-
Digitális	14	54	54	20	26	11	25	56
PWM	6	12	15	7	16	3	25	9
WiFi	-	-	-	-	-	Van	Van	-
Bluetooth	-	-	-	-	-	-	Van	-
I ² C	1	1	1	1	2	1	1	2
SPI	1	1	1	1	2	1	2	2

UART	1	4	4	1	2	1	3	3
CAN	-	-	-	-	-	-	1	1
Egyénileg programozható lábak	-	-	-	-	8	-	-	-

2.2.3. Kiválasztott mikrovezérlő

A választás az ESP32 mikrovezérlőre jutott, mivel ez rendelkezik WiFi, és Bluetooth kapcsolódási lehetőséggel is, így egyszerűbben debugolható, illetve az adatokat kilehet írni egy statikus weblapra, amelyet a mikrovezérlő hosztol.

2.3. Szenzorok

2.3.1. Szenzorok típusai

A hőmérsékletszenzorok különböző módokon csoportosíthatóak. Ilyen csoportosítás lehet a működési elvük alapján (ez alapján csoportosítottam a szenzorokat), gyorsaság, pontosság vagy mérési tartomány alapján. Ez alapján a következő csoportok szerint lehet a szenzorokat elemezni: InfraRed (későbbiekben IR) hőmérő, termisztorok, hőelemek és digitális hőmérők.

2.3.1.1. *InfraRed – IR – hőmérő*

Az IR hőmérő, azaz infravörös hőmérő gyors reakció idejű, és nagy pontosságú hőmérő típus. Mérési tartományát tekintve elég nagy, mivel -40°C -tól egészen 1000°C -ig is képesek mérni. Működése a testek infravörös kisugárzásán alapszik. Minden testnek van infravörös kisugárzása, amely hőmérséklete nagyobb mint $-273,15^{\circ}\text{C}$, azaz nagyobb, mint az abszolút nulla. Ezt az infravörös sugárzást feketetest-sugárzásnak is nevezik. A feketetest-sugárzás az x.y ábrán is látható módon az összes hullámhosszon sugároz, az összes hőmérsékleten, amely nagyobb, mint az abszolút nulla. Ez alapján kijelenthető, hogy a feketetest-sugárzás folytonos. Az általunk használt infravörös hőmérők a következők: Melexis MLX90640 kis- és nagylátószögű optikával, és a Heinmann HTPA80x64d.

Alkalmazása sokrétű, de a levegő hőmérsékletének mérésére közvetlenül nem alkalmas. Ah-hoz, hogy tudjuk a levegő hőmérsékletét mérni, szükséges egy közvetítő anyag, amelynek a hővezető képessége nagy, és a vastagsága kicsi, mivel így hamar átveszi a levegő hőmérsékletét, ezáltal már, például egy ezüst lemez segítségével meg tudjuk mérni a levegő hőmérsékletét. Másik alkalmazási példa a fűtési rendszerek környezetében megjelenő hőmérsékletek

mérése, kiemelve a gyorsan mozgó légtömegek hőmérsékletét. Egy egyszerű példa az, amikor nem a szobák hőmérsékletét mérjük, hanem a kazánból kimenő csövek felületi hőmérsékletét vizsgáljuk, ezáltal hamar képet kapunk arról, ha a kazán feleslegesen nagy teljesítményen dolgozik. További alkalmazási példa lehet a jelenlét érzékelése, amikor egy helyiségben a jelenlévők számát szeretnénk megállapítani egy hőkamera vagy hőszensor mátrix* segítségével, felül- vagy oldalnézeti hőképek alapján. A feladat nehézségét az adja például, ha az helyiségben tartózkodó személy jó hőszigetelő képességű (pl. téli kabát) öltözetben van, akkor a szenzor csak a szabadon maradt testrészek, például fej, kéz alapján tudja érzékelni a jelenlétet.

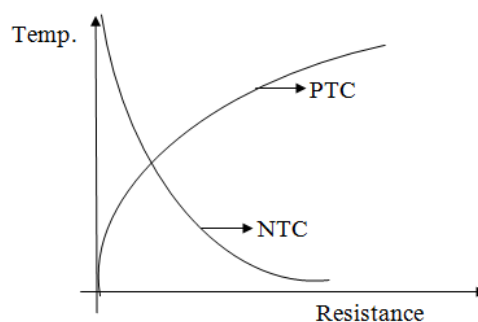
Fontos előnye ennek a típusú szenzornak, hogy reakció, és válaszideje rendkívül alacsony, és viszonylag nagy pontossággal képesek mérni, de a mérés pontossága függ a mérési tartománytól, mivel minél nagyobb, vagy minél kisebb a mérési tartomány, annál pontatlanabb lesz a mérésünk.

2.3.1.2. Termisztorok

A termisztorok olyan áramköri elem, amely a hőmérsékletváltozásra úgy reagálnak, hogy megváltoztatják ellenállásukat. Két fő típusa van a termisztoroknak, az NTC azaz negatív hőmérsékleti együtthatójú áramköri elem, a másik típusa a PTC, azaz pozitív hőmérsékleti együtthatójú áramköri elem.

Az NTC termisztor negatív hőmérsékleti együtthatójú áramköri elem, amely a hőmérséklet változására ellentétesen reagál. Ha csökken a hőmérséklet, akkor nő az ellenállása, ha nő a hőmérséklet, akkor pedig csökken az ellenállása. A grafikonja, és a hőmérséklet-ellenállás változása általában nem lineáris.

A PTC termisztor pozitív hőmérsékleti együtthatójú áramköri elem, amely a hőmérséklet változása szerint reagál. Ha csökken a hőmérséklet, akkor csökken az ellenállása, ha nő a hőmérséklet, akkor pedig nő az ellenállása. A grafikonja, és a hőmérséklet-ellenállás változása egy szűk hőmérsékleti tartományban exponenciális. Az NTC termisztor gyakori alkalmazási területe, például a ragasztópiszolyokban a fűtőszál kapcsolása, amely, ha eléri a ragasztó olvadási pontját, akkor lekapcsolja a fűtőszálát. A PTC termisztor gyakori alkalmazási területe a belsőégésű motorokban keresendő, mivel a



9. ábra: NTC és PTC ellenállás változása
a hőmérséklet függvényében

motorokat a túlmelegedéstől hűtéssel védik, és ennek a hűtőközegnek a hőmérsékletét általában PTC-vel szokták mérni. Azért jobb ilyen feladatra a PTC, mivel az exponenciális reakciója miatt jobban megadható a hőmérsékletérték.

2.3.1.3. *Hőelemek*

A hőelemek működésüket tekintve a feszültség különbséget használják ki. Ez úgy működik, hogy két különböző tulajdonságú fémeket összekapcsolnak, és az így kialakuló feszültségkülönbséget mérik, amely a hőmérséklet függvényében változik. Nyolc féle hőelemet különböztetünk meg összetételük, és méréstartományuk szerint. Ezek közül a leggyakrabban használtak a J, K, T, E hőelemek. A hőelemek kialakítását tekintve háromfélet különböztetünk meg, ezek a földelt, földeletlen, és a szabadon álló.

A földelt hőelemek csatlakozói a védőburkolathoz vannak csatlakoztatva, így hamarabb átveszi a környezet hőmérsékletét. A földeletlen hőelemek csatlakozói a védőburkolattól elkülönítve állnak, így a közvetlen kapcsolat hiánya miatt a reakcióideje nagyobb, mint a földelté, de ennek is megvannak az előnyei, mint például az elektromos szigetelés. A szabadon álló hőelem a védőburkolatból ki van vezetve, így ennek a legjobb a reakcióideje, a másik kettőhöz képest, viszont itt nem valósul meg az elektromos szigetelés és a fizikai védelem sem.

A megfelelő hőelem kiválasztásakor fontos, hogy milyen fizikai feltételeknek kell, hogy megfeleljen, például elektromos szigetelés, erre a földeletlen hőelem a legalkalmasabb. Fontos a kémiai megfelelés is, hogy savas, lúgos vagy korrozív a mérendő anyagunk, erre a földelt hőelem a legalkalmasabb. A szabadon álló hőelemet, például a levegő hőmérsékletének megállapítására lehet hatékonyan felhasználni.

A hőelemek típusait tekintve van B, E, J, K, N, R, S, és T típusú hőelem. Ezek tulajdonságait a következő táblázat részletezi.

Betűjel	Összetétel	Hőmérséklet tartomány
B	Platina – 30% - Platina – 6% Ródium	0 °C – 590 °C
		600 °C – 1190 °C
		1200 °C – 1810 °C
E	Chromega® – Konstantán	-260 °C – 340 °C
		350 °C – 990 °C
J	Vas – Konstantán	-200 °C – 490 °C
		500 °C – 1190 °C
K	Chromega® – Alomega®	-260 °C – 290 °C
		300 °C – 840 °C
		850 °C – 1370 °C
N	Nikkel króm ezüst ötvözet – Nikkel ezüst ötvözet	-260 °C – 490 °C
		500 °C – 1290 °C
R	Platina – 13% Ródium – Platina	-40 °C – 540 °C
		550 °C – 1140 °C
		1150 °C – 1760 °C
S	Platina – 10% Ródium – Platina	-40 °C – 540 °C
		550 °C – 1140 °C
		1150 °C – 1760 °C
T	Réz – Konstantán	-260 °C – 390 °C

2.3.1.4. Digitális hőmérők

A digitális hőmérők, olyan hőmérők, amelyek az előbbi kategóriába pontosan nem sorolhatóak be, mivel egyéb kiegészítő elektronikával, dekódolókkal, memóriákkal vannak felszerelve. Ezek a hőmérők többségében digitális jelet adnak vissza. Néhány digitális hőmérő saját mikroprocesszorral van felszerelve, és akár saját protokollt, vagy pl. ModBus-t használ a kommunikációhoz. Ilyen hőmérők például a DS18B20, vagy a MeteoTemp RH+T+P. Előbbi EEPROM-mal, one-wire átalakítóval, és ADC átalakítóval van felszerelve, utóbbi saját mikroprocesszorral rendelkezik, amely feldolgozza az adatokat, és RS485 ModBus kommunikációt használva elküldi azokat a feldolgozó egység fele.

Előnyei közé tartozik, hogy többnyire egy egyszerű digitális jelet kell feldolgozni, de pont ez lehet a hátránya is, mivel a fentebb említett MeteoTemp szenzornak a kommunikációs protokolljához szükséges egy plusz átalakítót is használni, hogy értelmezni lehessen a jelet.

2.3.2. Kiválasztott szenzorok

2.3.2.1. IR hőmérők

Az IR hőmérők közül háromfélét is volt szerencsém kipróbálni, és összehasonlítani. A tesztelt szenzorok között szerepel a Melexis MLX90640BAB, a Melexis MLX90640BAA és a Heinmann HTP80x64d.

Mint az alábbi táblázatban is látható, a Heinmann szenzorra több mint 6,5-szer nagyobb felbontással rendelkezik, mint a Melexis szenzorjai. Ebből az következik, hogy sokkal részletgazdagabb képet kaphatunk. A mérési tartomány is sokkal nagyobb, de ez alapján természetesen a hőmérséklet jelentős növekedésével a pontosság arányosan csökkenni fog.

Tulajdonság	MLX90640 BAB	MLX90640 BAA	HTPA80x64d
Pixelszám	32x24		80x64
Látószög	55° x 35°	110° x 75°	120° x 90°
Mérési tartomány	-45° C – 85 °C		-20 °C - >1000 °C
Mérési sebesség (full)	0,5 Hz – 60 Hz		2 Hz – 60 Hz
Mérési sebesség (negyed)	-		8 Hz – 240 Hz
Pontosság			
-40 °C – 0 °C	-	± 2 °C	
0 °C – 50 °C	± 1 °C	± 1 °C	
50 °C – 85 °C	-	± 2 °C	



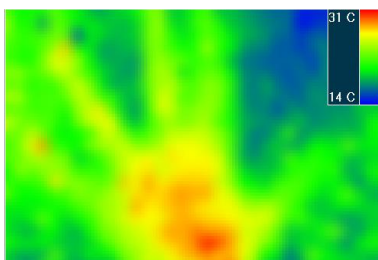
12. ábra: MLX90640 BAB



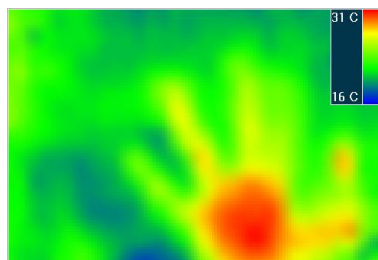
11. ábra: MLX90640 BAA



10. ábra: HTPA80x64d



14. ábra: MLX90640 BAB képe



13. ábra: MLX90640 BAA képe

2.3.2.2. Termisztor

A mérések során 5 féle NTC-t használok. Az NTC-k között 2db 100 kOhmos, egy 15 kOhmos, egy 10 kOhmos és egy 5 kOhmos ellenállású található. Ezek bekötése a feszültségosztás törvénye szerint működik, mindegyik NTC egy a saját értékének megfelelő ellenállást kapott. Az NTC-k rendelkeznek egy Beta számmal, és egy ellenállás értékkel, amely megmutatja, hogy mekkora a szenzor ellenállása 25°C-on.

2.3.2.3. Hőelem

Két „K” típusú hőelemet választottam a jobb összehasonlíthatóság miatt. Az egyik a KMI/1.5X150 (IEC), a másik pedig az Omega K típusú hőeleme. Mint a képeken is látható a KMI/1.5X150 hőelem kapott egy tokozást, amely befolyásolhatja a mérés pontosságát, mivel a tokozás lassítja a hőátadást a szenzor felé. A másik szenzornak ez az előnye, mivel ott a szenzor szinte azonnal át tudja venni a környezet hőmérsékletét, ezáltal gyorsítva az adatok feldolgozását, illetve javítva azok pontosságát.



15. ábra: K típusú hőelem



16. ábra: K típusú hőelem

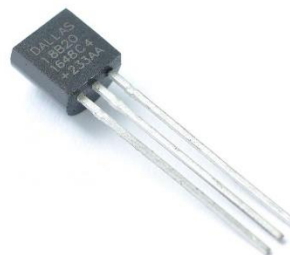
2.3.2.4. Digitális hőmérő

Digitális hőmérők közül több típus használata is felmerült. Ezeknek a hőmérőknek az alkalmazása nem mindig egyszerű, mint például a Barani MeteoTemp szenzorja, amely ModBus RS485 kommunikációt használ, amelyhez szükséges plusz konvertáló használata is. A mérések során használok egy DS18B20, egy HTS221 és egy DHT22 digitális hőmérőt.



17. ábra: MeteoTemp szenzor

A DS18B20 egy komplex szenzor, amely felépítését tekintve tartalmazza a szenzort, egy EEPROM-ot, egy 1-wire átalakítót és egy feszültség szabályozót. Pontosságát meghatározza a felhúzó ellenállás pontossága is. Általában $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pontossággal rendelkeznek ezen szenzorok. A mérés pontosságát és gyorsaságát tovább rontja



18. ábra: DS18B20 szenzor

a szenzor körül található acélhüvely, amely a vízállóságot adja neki.

A HTS221 egy jobb pontossággal bíró hőmérő. Ez már $\pm 0,5$ °C pontosságot kínál, és emellett 1 Hz-től 12,5 Hz-ig állítható a mintavételezése. Ezen szenzor esetén, ha csak közelítjük a kezünket felé, már láthatóan lekezd megemelkedni a hőmérséklet. Méretéből adódóan nagyon hamar reagál a hőmérséklet változására. Hátránya, hogy a körülötte lévő áramkör megzavarhatja a mérést, ugyanis annyi hulladékhő keletkezik, hogy a későbbi ábrákon feltűnően romlik a gyorsasága és pontossága.



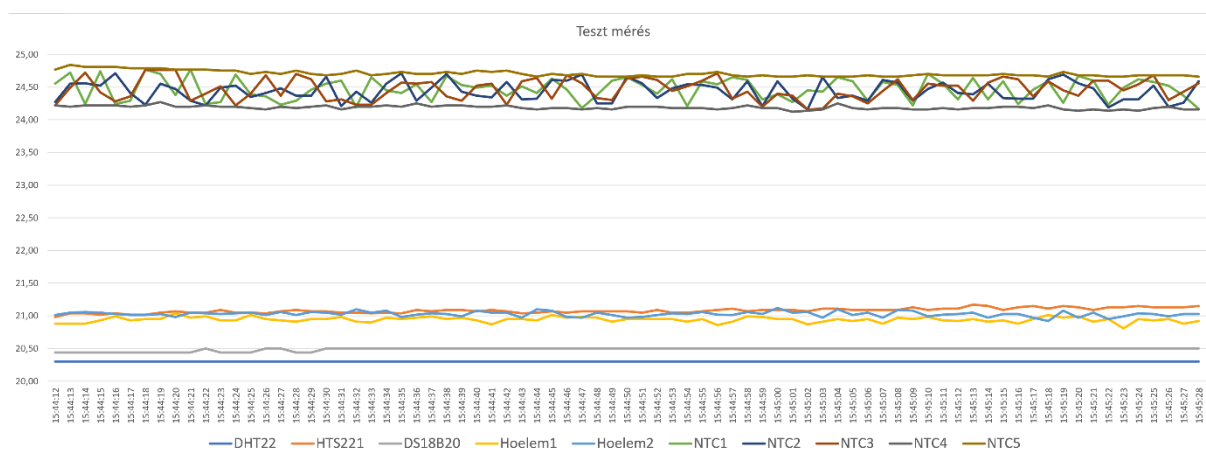
19. ábra: HTS221 szenzor

A DHT22 szenzor a DHT szenzor család egy fejlettebb darabja. A DHT11-gyel szemben ez 2 tizedes pontossággal képes mérni a környezeti hőt, 2 °C pontossággal. Itt megemlíti az adatlap, hogy a pontossága 25 °C-on 2 °C, de az ismételhetőség az 0,2 °C, ami azt jelenti, hogy két egymás utáni mérés esetén ilyen pontossággal képes a szenzor ugyanazt a hőmérsékleti értéket visszaadni. A gyártó ajánlása szerint a mérés gyakoriságának nagyobb-nak kell lennie, mint 2 másodperc, ugyanis ennyi idő szükséges ahhoz, hogy kimutatható legyen a változás.



20. ábra: DHT22 szenzor

2.3.3. Szenzorok összehasonlító mérése



21. ábra: Teszt mérés grafikonja

A teszt mérés során a szenzorokat egy szobában leraktam, és hagytam őket mérni. Ennek az volt a célja, hogy kapjak egy képet arról, hogy körülbelül mekkora a szórás állandó hőmérsékleten.

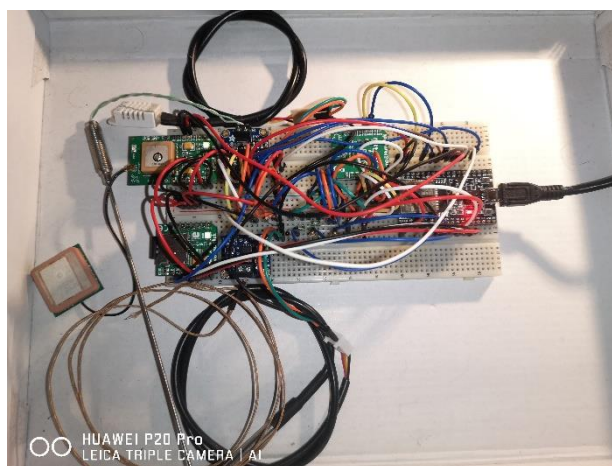
Idő	DHT22	HTS221	DS18B20	Hő- elem1	Hő- elem2	NTC1	NTC2	NTC3	NTC4	NTC5
15:45:00	20,30	21,09	20,50	20,95	21,12	24,39	24,59	24,40	24,18	24,66
15:45:01	20,30	21,09	20,50	20,95	21,05	24,27	24,32	24,37	24,12	24,66
15:45:02	20,30	21,07	20,50	20,87	21,06	24,45	24,16	24,16	24,14	24,68
15:45:03	20,30	21,11	20,50	20,91	20,97	24,43	24,65	24,17	24,16	24,66
15:45:04	20,30	21,11	20,50	20,95	21,10	24,65	24,33	24,40	24,25	24,66
15:45:05	20,30	21,09	20,50	20,92	21,01	24,59	24,37	24,36	24,18	24,66
15:45:06	20,30	21,09	20,50	20,95	21,05	24,29	24,29	24,25	24,16	24,68
15:45:07	20,30	21,09	20,50	20,88	20,97	24,58	24,61	24,44	24,18	24,66
15:45:08	20,30	21,09	20,50	20,97	21,09	24,53	24,57	24,62	24,18	24,66
15:45:09	20,30	21,13	20,50	20,95	21,08	24,22	24,29	24,30	24,16	24,68
15:45:10	20,30	21,09	20,50	20,98	20,99	24,70	24,47	24,55	24,16	24,70
15:45:11	20,30	21,11	20,50	20,93	21,02	24,55	24,57	24,52	24,18	24,68
15:45:12	20,30	21,11	20,50	20,92	21,03	24,31	24,41	24,52	24,16	24,68
15:45:13	20,30	21,17	20,50	20,95	21,05	24,64	24,39	24,29	24,18	24,68

Ahogy a táblázatban, és a grafikonon is látható, a DHT22 és a DS18B20 szenzorok kis érzékenységgel rendelkeznek, és a digitális jel miatt tudott a teszt során konstans értéket mutatni a két érzékelő. A HTS221 egy nagy felbontású szenzor, és elég pontos. Ezt bizonyítja az is, hogy 2 százados eltérések figyelhetők meg többnyire. A két hőelem esetében szintén pár százados ugrálás figyelhető meg. Az NTC-k esetében már jelentősebb az értékek között a változás, mivel ezek a szenzorok analóg jelet adnak vissza, így több minden is bezavarhat a mérés során, mit például a vezetékek ellenállása, az elektromos zajok.

A grafikon az is megfigyelhető, hogy az analóg szenzorok a többihez képest átlagosan 3-4°C-kal is melegebbet mutatnak, aminek okai lehetnek az ellenállások pontossága, a mikrovezérlő ADC pontossága, illetve a kerekítési hibák is egyaránt.

3. Megvalósítás

A mérőszigetből több verzió is készült. Az első verzióban a GPS modul és egy microSD modul egy ESP32-re lett kötve. Ez mentette az időt, és a koordinátákat is. Volt egy második ESP32 is, amely pedig szintén egy microSD-re mentette a rácsatlakoztatott szenzorok adatait. Mivel a második ESP nem kapott időbélyeget, így csak arra tudtam hivatkozni, hogy ha egyszerre indítom el, akkor körülbelül egyszerre rögzíti a két mikrovezérlő az adatokat.



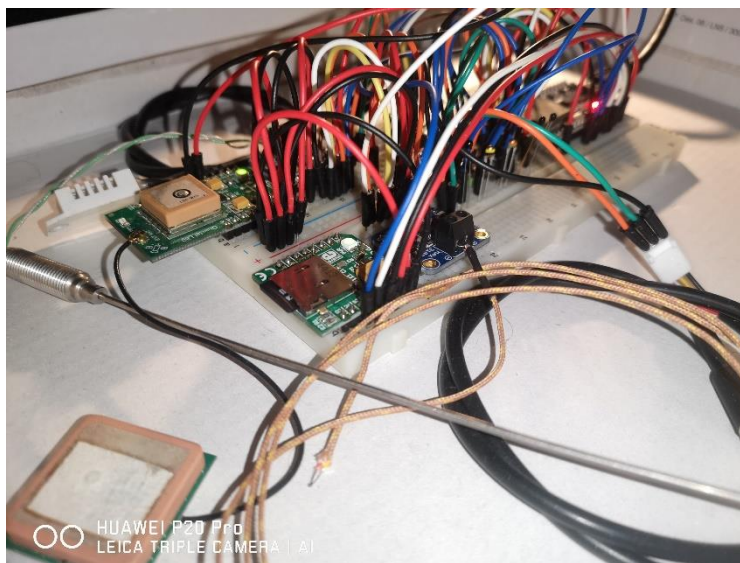
22. ábra: Összerakott eszköz

Ezt követte a második változat, ahol már a két mikrovezérlő WiFi-n kommunikáltak egymással, így már mindkét eszköz által mentett fájlban megvolt a segítséget nyújtó időbélyeg.

Ennek segítségével már pontosabban tudtam vizsgálni a szenzorok válaszüdejét, de még mindig nem volt tökéletes a rendszer, mivel amíg nem voltak reális adatok a GPS-től, addig a másik eszköz el sem indult, vagy pedig hibára futott az adatok lekérdezése során. Ennél a verziónál az segített ezen hibák kiküszöbölésében, hogy amíg nem voltak hiteles dátum-idő adataim, addig nem kapcsoltam be a szenzoros eszközt.

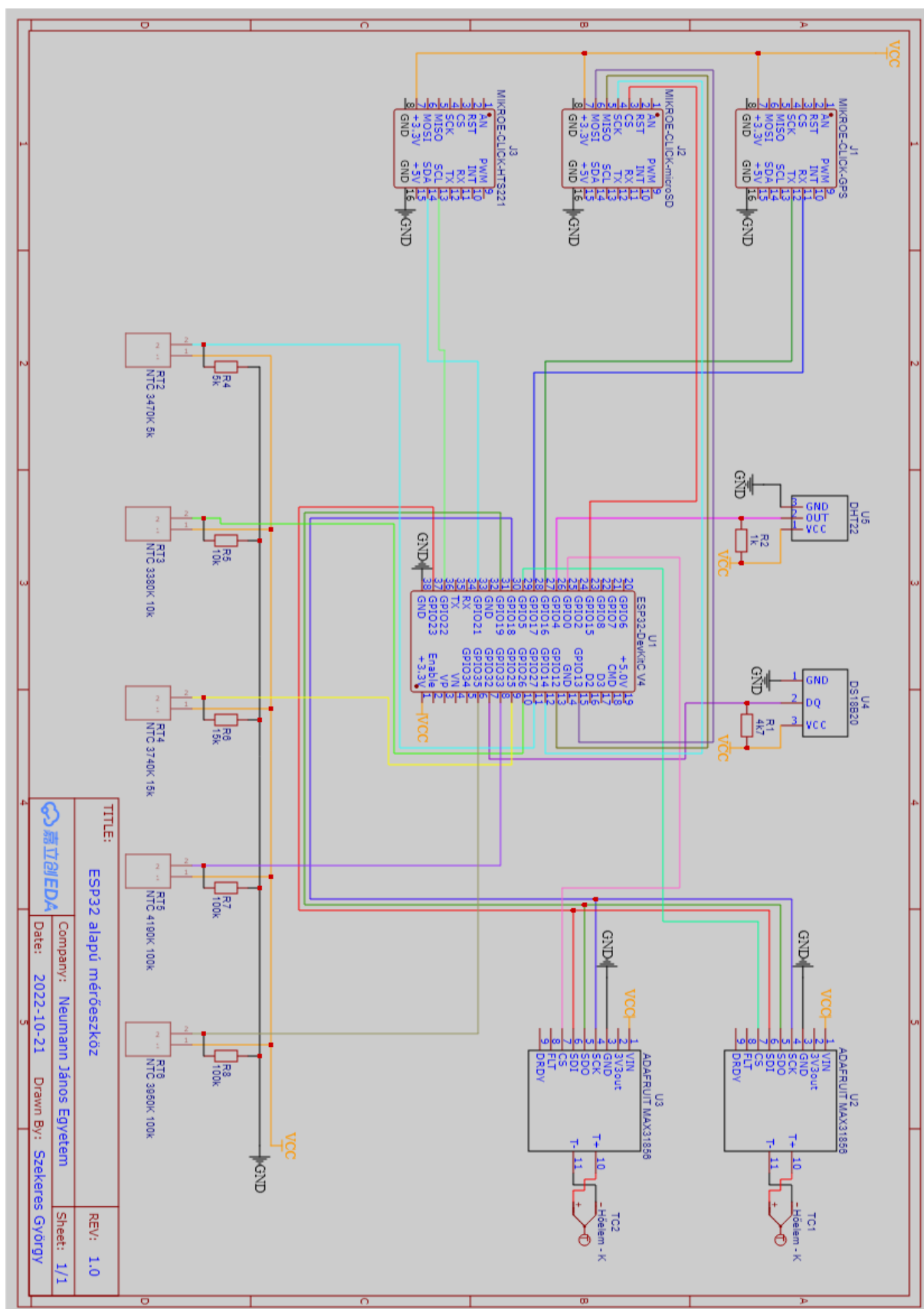
A harmadik verzióban teljesen újraépítettem az eszközt. Már csak egy ESP32-t használok, mivel az összes szenzor és a GPS is erre az egy vezérlőre lett csatlakoztatva. Az adatok mentése továbbra is microSD-re történik. A második verzióban felhasznált WiFi kapcsolatot ebben a verzióban is használtam, így az ESP egy statikus weboldalon jeleníti meg a mért adatokat, ezáltal kontrollálható a mérés folyamata.

Végül a negyedik verzióban még kiegészítettem az adatgyűjtőt 5 darab NTC-vel is, így még pontosabb képet kaphatok a szenzorok működésével kapcsolatosan.



23. ábra: Összerakott eszköz

3.2. Kapcsolási terv



24. ábra: Eszközök bekötési rajza

3.3. Mikrovezérlő programozása

A mikrovezérlő kódjában különböző mások által előre elkészített könyvtárakat is használók a könnyebb kezelhetőség érdekében. Ilyen például a WiFi, a webszerver, a GPS és a különböző szenzorok könyvtárai.

Az ESP32 WiFi-jét konfigurálom, ezáltal létrejön a TDK nevű hálózat, és erre csatlakozva elértem mért adatokat, a 80-as porton keresztül. Ezután definiálom az SD kártya olvasó aktiváló lábát, továbbá azt, hogy a HSPI lábakat használja a mikrovezérlő. Ezután definiálom a GPS modul kommunikációs sebességét, és példányosítom a korábban meghívott könyvtárból a *TinyGPS* osztályt. Ezt követően létrehozom a szükséges változókat az adatok tárolásához. Ezt követően definiálom az egyes szenzorok lábait, és az általuk használt egyéb könyvtárak osztályait példányosítom.

A *setup*-ban beállítom az alap kommunikációs sebességet, amellyel a soros monitort lehet olvasni. Létre hozom a korábban definiált adatokkal a WiFi elérési pontot, majd pedig a web szervert is létrehozom, és a *readAdatok()* függvénnyel pedig kiírom a csatlakozó eszközre az aktuális adatokat. Ezt követi az SD kártya beállítása, és előkészítése. Ha gond van a kártyával, akkor azt kiírja a soros monitorra, és megáll a program futása. Amennyiben az *adatok.txt* még nem létezik, akkor a szükséges fejléccel létrehozza azt. Majd ezután beállításra kerül a GPS modul és különböző szenzorok.

A *loop()*-ban amennyiben a GPS modul elérhető, és válaszol, akkor elkezdődik a program futása, és a *displayInfo()* függvény a GPS adatait, a *homerok()* a hőmérők adatait gyűjti össze és tárolja a korábban létrehozott változóban. Az *adatRogzites()* függvény elmenti az adatokat az SD kártyára.

```
void loop()
{
    while (Serial2.available() > 0)
    {
        if (gps.encode(Serial2.read()))
        {
            displayInfo();
            homerok();
            adatRogzites();
            delay(1000);
        }
    }
}
```

```

    }

}

if (millis() > 5000 && gps.charsProcessed() < 10)
{
    Serial.println(F("Nem talalhato GPS modul!"));
    while(true);
}
}

```

A következő függvények végzik el az SD kártyára való írást, hozzáfűzést.

```

void writeFile(fs::FS &fs, const char * path, const char * message)
{
    Serial.printf("Fajlba iras: %s\n", path);
    File file = fs.open(path, FILE_WRITE);
    if(!file)
    {
        Serial.println("Nem sikerult megnyitni az irando fajlt");
        return;
    }
    if(file.print(message))
    {
        Serial.println("Sikeres fajlba iras");
    }
    else
    {
        Serial.println("Sikertelen fajlba iras");
    }
    file.close();
}

void appendFile(fs::FS &fs, const char * path, const char * message)
{
    Serial.printf("Fajlhoz fuzes: %s\n", path);

```

```

File file = fs.open(path, FILE_APPEND);
if(!file)
{
    Serial.println("Nem sikerult megnyitni az irando fajlt");
    return;
}
if(file.print(message)) {
    Serial.println("Sikeres hozzafuzes");
} else {
    Serial.println("Sikertelen hozzafuzes");
}
file.close();
}

```

A *displayInfo()* függvény végzi el az adatok lekérését a GPS modultól, és menti el a *pozicio*, valamint *datum* változókba.

Az *adatRogzites()* nevezetű függvény írja fel a kártyára az eltárolt adatokat.

```

void adatRogzites()
{
    adatok = datum + " " + ido + " " + pozicio + " " + homerseklet + "\r\n";
    char cuzenet[adatok.length()];
    adatok.toCharArray(cuzenet, adatok.length());
    appendFile(SD, "/adatok.txt", cuzenet);
}

```

A *readAdatok()* függvény a már korábban említett szerver felületre szolgáltatja az adatokat.

3.4. Adatok tárolása

Az adatok egy szöveges (txt) fájlba kerülnek mentésre, amelyhez az új adatok hozzá vannak fűzve, így egy folyamatos adatfolyamot kapok. A fájl fejlécében fel van tüntetve, hogy az első adat a koordináta (0.000000-0.000000 formátumban), a második a dátum (2022. 09. 21 formátumban), a harmadik az idő (19:20:21 formátumban), majd ezt követik a szenzorok által mért értékek a következő sorrendben: DHT22, HTS221, DS18B20, Hőelem (fém tokozású), Hőelem (tokozás nélküli), NTC1, NTC2, NTC3, NTC4, NTC5. Az adatok új sorba kerülnek, az értékek pedig szóközzel vannak elválasztva.

3.5. Szenzorok kalibrálása

A mérés során használt eszközök, szenzorok közül a legtöbb kalibráltan érkezett. Ide tartoznak a hőkamerák és a Barani MeteoTemp szenzora. Az NTC-ket, és a PTC-t kellett kalibrálni, amelyhez a MeteoTemp-et használtam, és ez alapján állítottam be a termisztorok ellenállását. A különböző digitális hőmérséklet szenzorok, és a hőelemek kalibrálása csak szoftveresen oldható meg, azaz egy offsetet alkalmazva, el kell tolni az értékét annyival, hogy a valós hőmérséklet adatot kaphassam meg.

3.6. Tesztelés

A szenzorok tesztelését kétféleképpen végeztem el. Az első esetben a cél az volt, hogy a szenzorok felvetgyék a szoba hőmérsékletét, majd pedig behelyezve a hűtőszekrényét, 15 perces várakozással. Miután letelt az idő, kivettem, és megvártam, hogy mennyi idő alatt veszik fel újra a szoba hőmérsékletét. Itt a szenzorok a hőelemek kivételével megfelelően működtek. A két hőelem, amikor bekerülte a hűtőbe, illetve kivettem onnan, akkor látszólag meghibásodtak, és nem kaptam vissza értéket egyikőtől sem, amíg újra nem indítottam a teljes rendszert. Az újraindítást követően már lehetett látni a mért adatokat, és a felmelegedés gyorsaságát.

A második tesztelés szinte teljesen megegyezett az elsővel, csak annyiban tért el, hogy a mélyhűtőbe helyeztem el a szenzorokat. A már korábban említett HTS221 itt feltűnően lassan vette fel a hőmérsékletet egy idő után, mintha a modul elkezdett volna ellen dolgozni a fagyasztónak, és fűtve azt. A két hőelem a már fentebb leírtakat ennél a tesztnél is produkálta.

4. Adatok gyűjtése, feldolgozása

4.1. Mérési terv készítése

Szerettem volna a lehető legkülönbözőbb módokon tesztelni a szenzorokat. A mérések során fontos volt, hogy minden szenzor felvegye a környezetének a hőmérsékletét, és a mérést

csak utána kezdem el. A hűtős és fagyasztós teszt során is figyeltem, hogy a szenzorok egységes hőmérsékletről kerüljenek be a hidegre. A teszteket kétszer-kétszer elvégzem, és az így kapott értékeket átlagolva, és összevetve tudok következtetést levonni a különböző szenzorok működésével kapcsolatosan. Ezen próbákon felül még egy autós tesztet is el kívánok végezni, amely során a menetszél hatását próbálom vizsgálni.

Ezen két teszten felül szerettem volna gyakorlatiasabb méréseket is végezni, amelynek során egy gépjárműre rögzítve, és elvégezve a mérést megkaphatom, hogy mennyire változik a menetszél által a mért érték. A méréseket az egyetem parkolójában végeztem el. Az autós mérés ellenőrzésére többször is megtettem ugyanazt az utat, és próbáltam ugyanakkora sebességet is elérni, és tartani minden körben.

4.2. Mérés megvalósítása

A hűtőben a mérés úgy zajlott, hogy minden mérés előtt megvártam, amíg felveszik a szoba hőmérsékletét a szenzorok, majd ezután kétszer egy papír tálcán helyeztem el a szenzorokat a hűtőben. A mérések során figyeltem arra, hogy a szenzorokat ne, vagy a lehető legrövidebb ideig érintsem, a mérés befolyásolásának elkerülése érdekében.

A fagyasztóban végzett tesztek során ugyanez volt a sorrend, kétszer egy papír tálcán, lettek elhelyezve a szenzorok. Ez esetben is megvártam, hogy felmelegedjenek a szenzorok, illetve próbáltam a lehető legkevesebbet kontaktálni velük a befolyásolás elkerülése érdekében.

Az autóval végzendő mérés során fontos volt a tartós rögzítés, hogy a menetszél ne tudja levinni a járműről a szenzorokat. Az autós mérés során a tokozás nyújtotta előnyöket és hátrányokat szerettem volna megvizsgálni, hogy a menetszél mennyire befolyásolja a mérés eredményét, és mennyire függ össze ez a tokozás méretével vagy meglétével.

4.3. Adatok feldolgozása

A hűtőben lefolytatott mérések során többször is belefutottam abba, hogy a hőelemek megállnak, és amíg nem indítom újra ezeket, addig érvénytelen értékeket adnak vissza. Erre a hibára nem sikerült rájönni, hogy mi okozza, de minden alkalommal sikerült reprodukálnom azt. A mérési eredményekből látható, hogy a szenzorok tokozása, illetve NYÁK-ra való integrálása nagyban befolyásolja a mérés gyorsaságát, és pontosságát is, mivel a minél kisebb a tokozás, annál könnyebben veszi fel a környezetének hőmérsékletét.

A fagyasztóban lefolytatott tesztek során is hasonló tapasztalatokat kaptam, mint a hűtőben elvégzett mérések során. A fagyasztó esetében feltűnő, hogy van-e a szenzorok alatt tálca, vagy pedig közvetlenül érintkeznek a hideg felülettel.

Az autóval végzett két mérés során készült adatsoron látható, hogy a menetszél milyen mértékben befolyásolja a mérés pontosságát. Továbbá az is látható, hogy mely szenzorokat milyen mértékben befolyásolja a menetszél, amely összefüggésbe hozható a tokozással, azaz, hogy mekkora külső burkolata van az adott szenzornak, és az milyen anyagból készült.

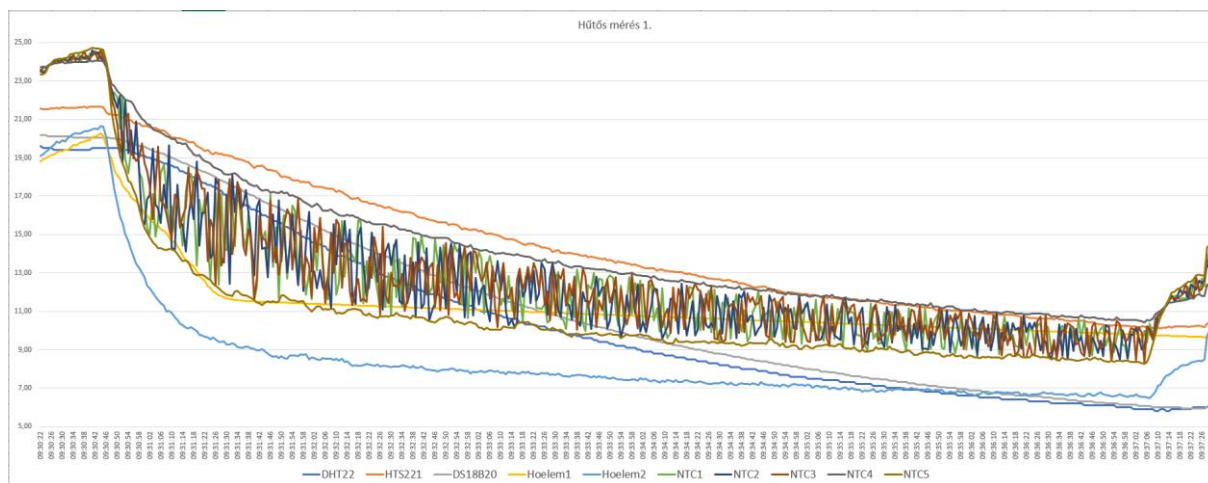
A biciklis mérés során megerősítést kaptam az autós mérésnél felvetett problémára, hogy a menetszél a tokozás méretétől és anyagától függően mennyire befolyásolja a mérést.

4.4. Adatok kiértékelése, ábrázolása

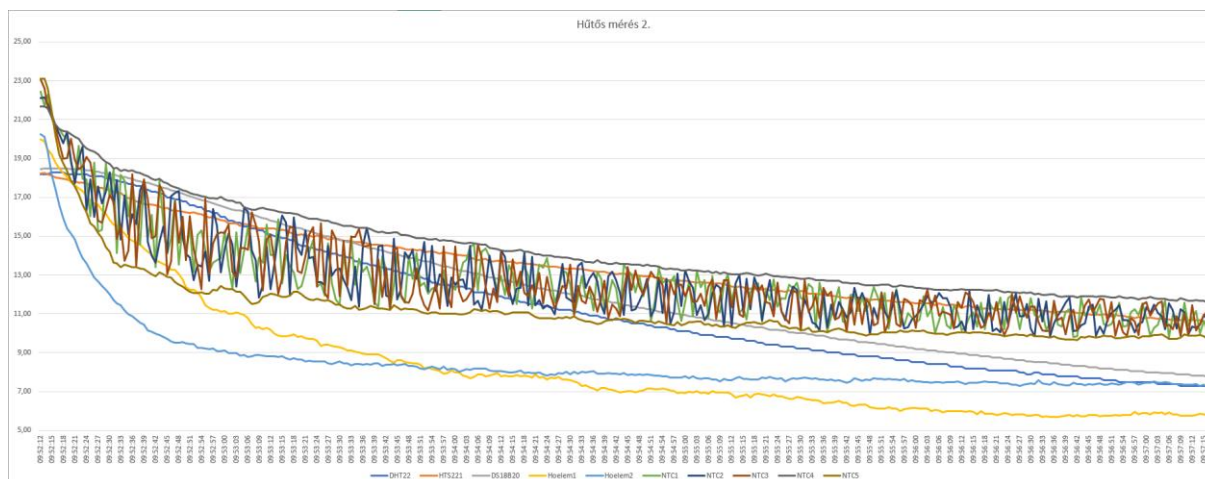
4.4.1. Hűtős mérések

A hűtős mérések során megfigyelhető, hogy a digitális szenzorok, és a hőelemek szépen felveszik a hőmérsékletet, illetve a grafikonokon is szépen látszik ez. Az NTC-k az analóg jel miatt rendelkeznek ekkora szórással.

Az első mérés végén látható hőmérséklet megugrás a hűtő ajtajának kinyitása miatt következett be. Szépen látható, hogy a nagyobb tokozással rendelkező szenzorok lassabban veszik fel a hűtő hőmérsékletét. A NYÁK-ra ültetett HTS221 esetében megfigyelhető az őt körülvevő áramkör fűtése, amely befolyásolja a mérést.



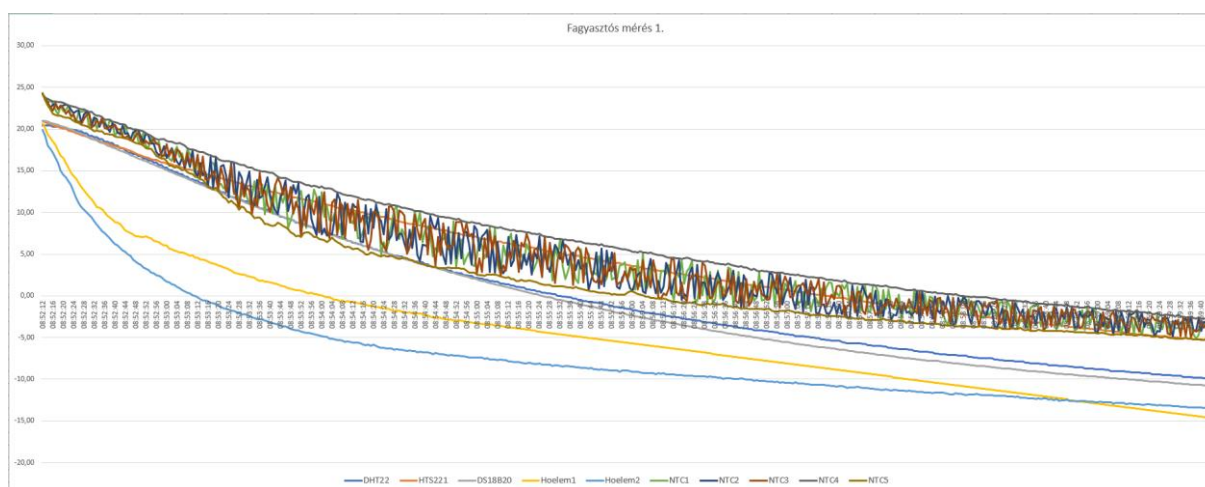
25. ábra: Első hűtős mérés



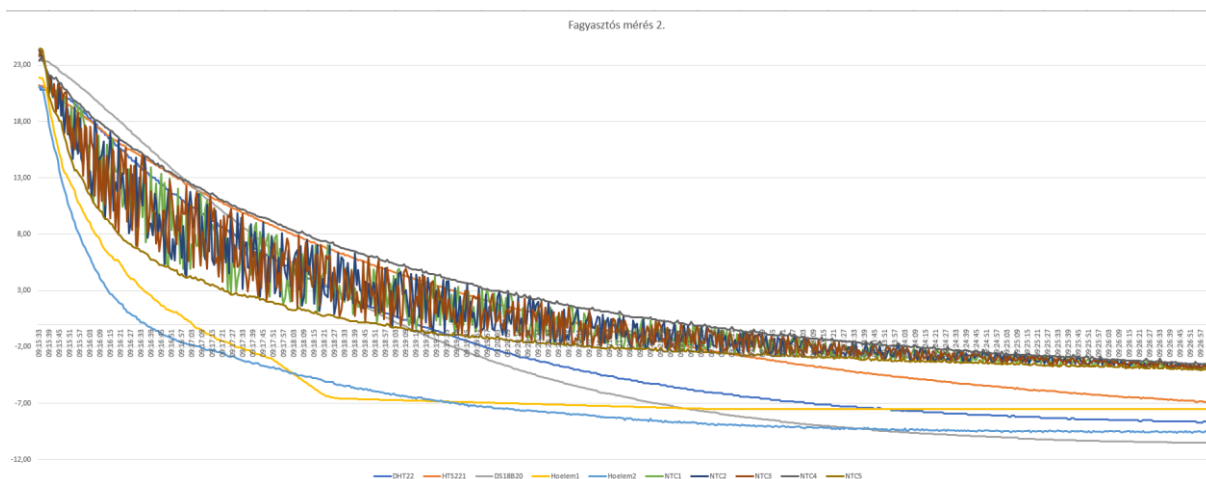
26. ábra: Második hűtős mérés

4.4.2. Fagyasztós mérések

A fagyasztós mérést összevetve a hűtős mérésekkel, látható, hogy a hőelemek sokkal meredekebben, azaz gyorsabban veszik fel a környezetük hőmérsékletét. A digitális szenzorok egy darabig az NTC-kel együtt haladnak, de egy adott hőmérséklet után a termisztorok beállnak egy mondhatni konstans értékre, amennyire azt az analóg jel engedi, de a digitális szenzorok által küldött érték továbbra is csökken. A termisztorok szórása a 0 °C-hoz közeledve jelentősen csökken. A második mérés grafikonja is jól szemlélteti ezt a jelenséget.



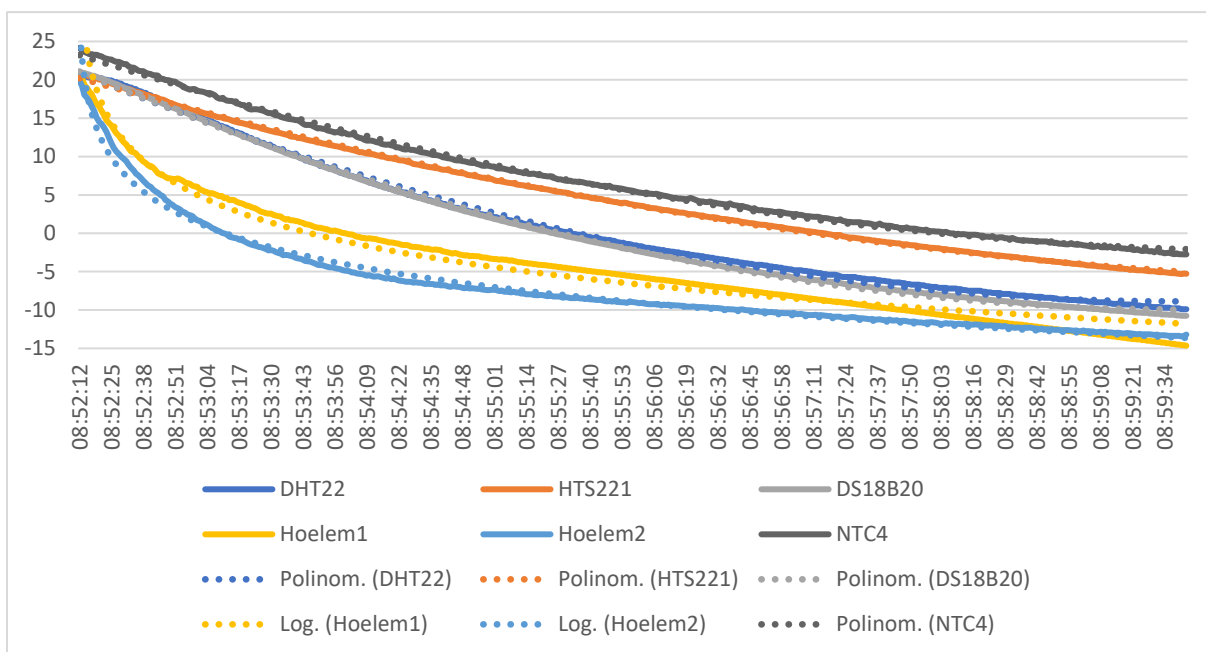
27. ábra: Első fagyasztóban végzett mérés eredménye



28. ábra: Második fagyasztóban végzett mérés eredménye

4.5. Matematikai modell illesztése a mért adatokra

A mérések elvégzése után azt vizsgáltam meg egyszerű eszközökkel (Excel trendvonal illesztés), hogy lehet-e jól illeszkedő függvényt megadni az egyes mérési eredményekhez. Erre a célra a fagyasztóban végzett mérések eredményeit vettem alapul, mivel ekkor történtek a legnagyobb változások a legnagyobb hőmérséklet tartomány.



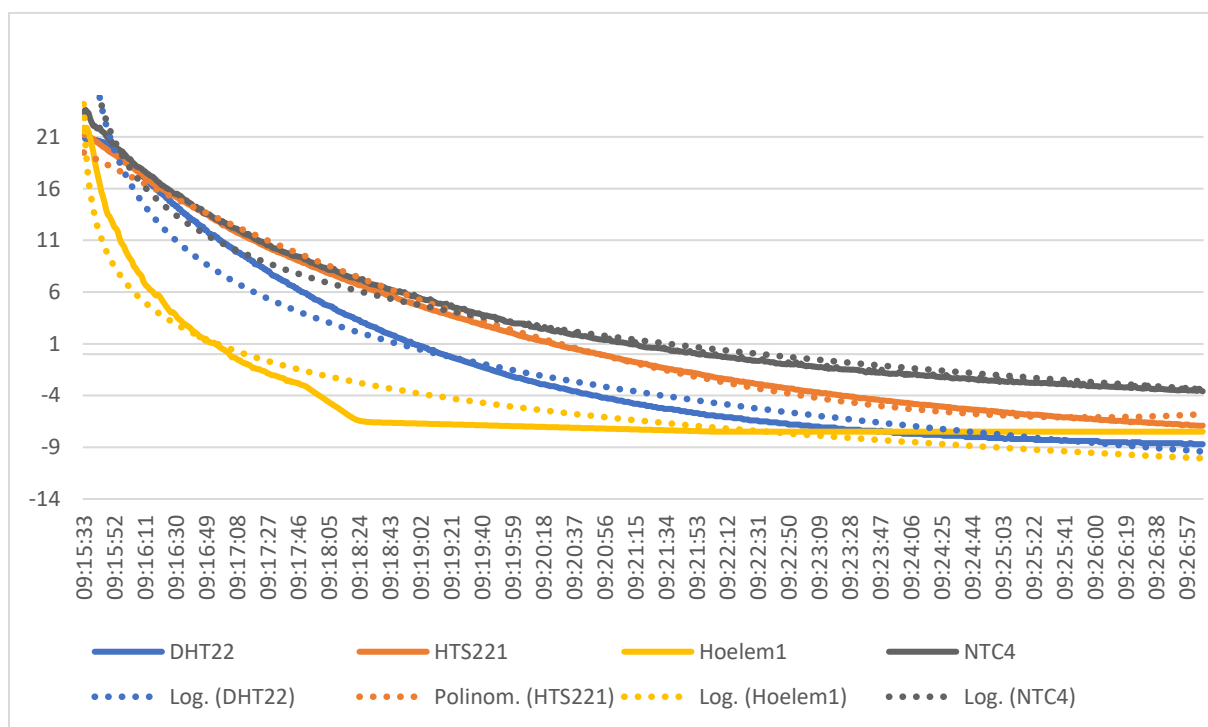
29. ábra: Matematika modell illesztése

A 29. ábrán az első fagyasztós mérések közül a nem túl nagy hullámzást mutató mérési eredményeket (folytonos vonal) ábrázoltam a legjobban illeszkedő függvényvel (szaggatott

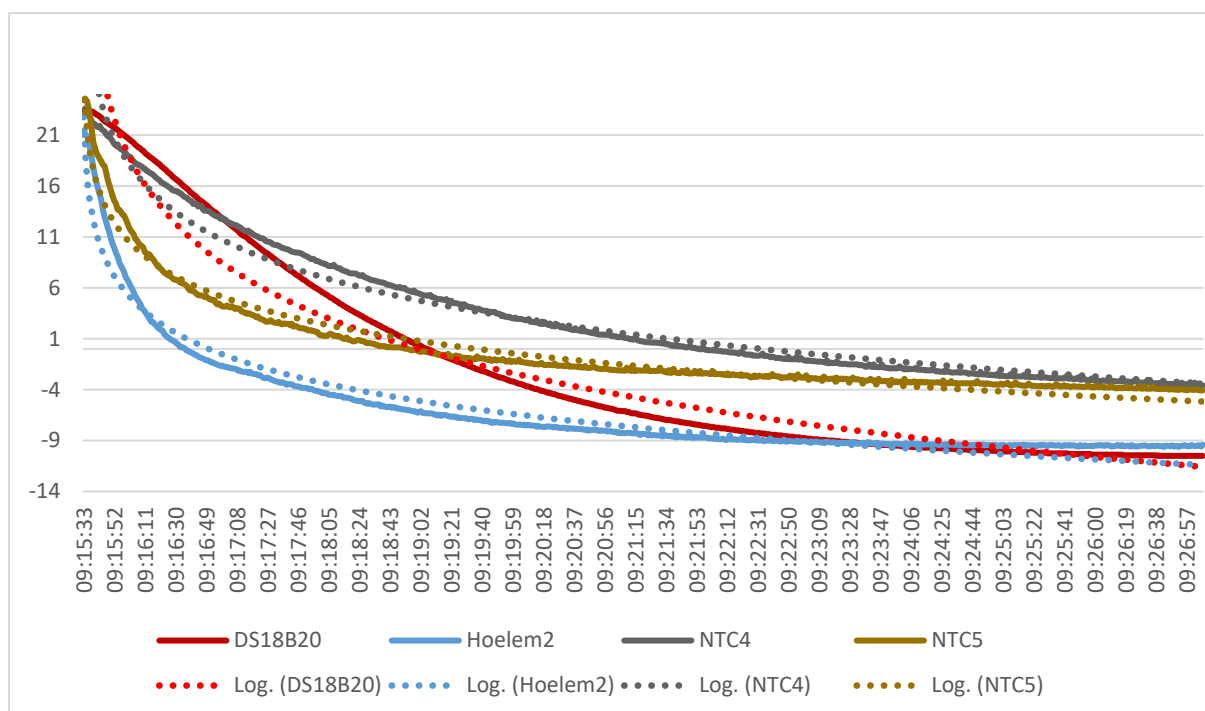
vonat). A következő táblázat tartalmazza az ábrázolt hőelem típusokat, a hozzájuk megadott egyenletet és az illeszkedés mértékét.

típus	trendvonal egyenlete	illeszkedés (R^2)
NTC4	$y = 0,0001x^2 - 0,1021x + 23,316$	0,998
HTS221	$y = 8E-05x^2 - 0,091x + 20,309$	0,999
DHT22	$y = 0,0002x^2 - 0,1375x + 21,21$	0,999
DS18B20	$y = 0,0001x^2 - 0,1337x + 21,089$	0,997
Hoelem1	$y = -7,561 \cdot \ln(x) + 34,429$	0,962
Hoelem2	$y = -6,761 \cdot \ln(x) + 27,71$	0,988

Az első négy esetben polinom, a többi esetben logaritmusos függvény illeszkedett a legjobban a mért adatokra, de ellenőrizni szeretnénk volna a másik mérések alapján az eredményeket. A jobb olvashatóság kedvéért a következő két ábrán figyelhetők meg a második fagyasztós mérési adatai és azokra illesztett függvények.



30. ábra: Illeszkedő függvények



31. ábra: Illeszkedő függvények

Az alábbi táblázat tartalmazza a legjobban illeszkedő függvényeket és az illeszkedés mértékét. Itt már csak egyetlen esetben kaptam polinom függvényt (HTS221), azonban a függvényillesztési próbálkozások során a polinom függvényeknél megfigyelhető volt a jobb szélén, ami a 30. ábrán a HTS221-hez mért és illesztett (szaggatott) vonal közötti, egyre nagyobb eltérés. További precízebb, ha lehetséges hőkamrában elvégzett mérések szükségesek a pontosabb modellek meghatározáshoz.

típus	trendvonal egyenlete	illeszkedés (R^2)
NTC4	$y = -6,783\ln(x) + 40,996$	0,955
NTC5	$y = -4,949\ln(x) + 27,227$	0,967
HTS221	$y = 7E-05x^2 - 0,0821x + 19,573$	0,995
Hoelem1	$y = -5,232\ln(x) + 24,162$	0,881
DHT22	$y = -8,231\ln(x) + 44,446$	0,938
Hoelem2	$y = -5,221\ln(x) + 22,787$	0,950
DS18B20	$y = -9,623\ln(x) + 51,403$	0,928

4.6. Fizikai modell illesztése a mérési eredményekre

Az előző pontban matematikai modell illesztésével próbálkoztam, de ha figyelembe vesszük a hőmérsékletmérés háttérben meghúzódó jelenséget, akkor valójában arról van szó, hogy egy szenzor, mint anyag lehűlésére vagyunk kíváncsiak. Ezt a jelenséget Newton-féle lehűlési törvénnyel, differenciálegyenlet formájában is modellezhetjük. Ez a törvény szerint

egy test hőmérsékletváltozásának a sebessége arányos a test és a környezete közötti hőmérsékletkülönbséggel:

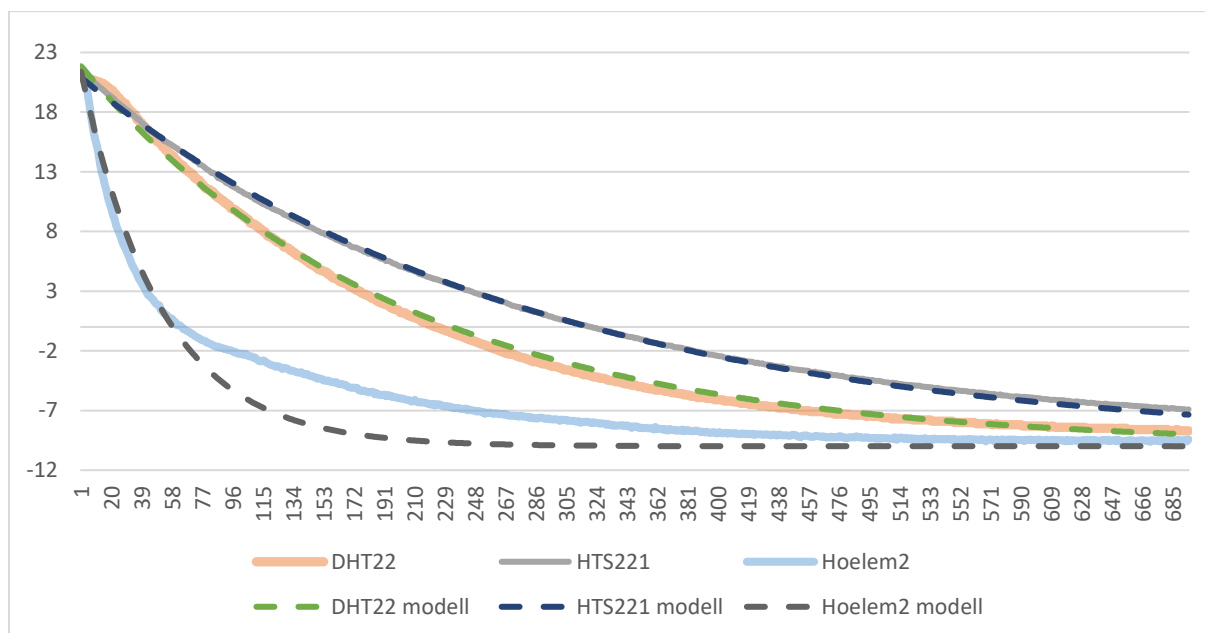
$$\frac{dT}{dt} = k(T - T_{\text{hűtő}})$$

ahol T – a szenzor pillanatnyi hőmérséklete, $T_{\text{hűtő}}$ – a hűtőben lévő hőmérséklet.

Ennek az elsőrendű közönséges differenciálegyenletnek a megoldása:

$$T(t) = C * e^{-kt} + T_{\text{hűtő}}$$

A C és k paraméterek megfelelő megválasztásával kapjuk a szenzor hőmérsékletét és vélhetően a szenzor által mért hőmérsékletét is. A következő ábrán három mérési adatsort és az azokra illesztett, próbálgatással meghatározott C és k paraméterekkel megadott modell görbék láthatók. A Hoelem2 mérési adatsorára nem (további vizsgálat tárgya), de a másik kettőre szinte tökéletes az illeszkedés, bár ennek a mértékét a későbbiekben szeretném számszerűsíteni is.



32. ábra: Fizikai modell illesztése

A paramétereket a következő táblázat tartalmazza.

C	k	$T_{\text{hűtő}}$
32	0,005	-10
31	0,00355	-10
32	0,02	-10

5. Gyakorlati alkalmazási példa

5.1. Hőszigetek

Az eddig ismertetett hőmérsékletmérés gyakorlati bemutatására a hőszigetmérést választottam. A hőszigetek mérése a városok meleg pontjainak megállapítására is alkalmas. Képet kapunk, hogy a különböző építmények, és domborzati felületek hogyan változtatják a környezet hőmérsékletét. Általános megállapítás, hogy akár 2-3°C-kal is felmelegítheti a levegő hőmérsékletét a nagyon beépített terület, például a tömbházak környéke, ahol a többnyire fekete tetők sugározzák vissza az elnyelt hőt, és a betonelemek is ontják magukból a hőt. Az is fontos továbbá, hogy mekkora az árnyékos terület aránya az aszfaltfelületekhez képest.

Már léteznek alacsony hőelnyelő, és hőkisugárzó képességű szilárd burkolatok, amelyek jelentősen csökkentik a környezet hőterhelését.

Miért is fontos a városi hőszigetek mérése? Legfőképpen azért, mert a megemelkedett hőmérséklet egészségügyi kockázatot jelent az idősekre, fiatalokra, és a betegekre. Ráadásul a hőszigetek kialakulásával nő az energiaszükséglet is, mivel a felmelegedett épületeket hűteni kell. A hőszigetek hatással vannak a levegő minőségére is, amely újabb egészségügyi kockázatot jelent. Gyakran az éjszakai hőmérséklet nagyobb kockázattal lehet, mint a reggeli

Ahhoz, hogy felderítsük a városi hőszigeteket, nem elég egy-két pontban mérni, hanem minél több pontban kell egyszerre megállapítani a hőmérsékletet, ezáltal kaphatunk csak valós képet. Továbbá lényeges az is, hogy ne csak a város beépített területein mérjünk, hanem egy időben a város különböző pontjain, beépítettség és domborzat (magasság) szerint, és a külterületeken, zöldterületeken. Így kaphatjuk meg a városi hősziget térképét.

A levegő hőmérséklete a talajtól a lombkorona vagy az épületek tetőjéig értendő. A felületi hőmérséklet a talaj és az épületek által kisugárzott hőt jelenti.

Ahhoz, hogy minél több adatunk legyen minél nagyobb területről, de lehetőleg legrövidebb időn belül, több lehetőségünk van. Mérhetjük a felületi hőmérsékleteket drónnal a magasból, aminek kivitelezése nehézkes, engedélyhez kötött és nagy felbontású hőkamerát igényel. Ekkor a levegő hőmérsékletéről nem kapunk információt. Másik lehetőség, hogy sok helyre helyezünk ki egyszerű hőmérőket, amikkel közvetlenül a levegő hőmérsékletét mérjük. Ehhez a megoldáshoz használhatunk olcsó mérőegységeket, de így is nagy számban lenne rájuk szükség, ami szinte kivitelezhetetlenné teszi ezt a megoldást. Egy további lehetőség még, hogy például egy (vagy több) járműre szerelt mérőeszközzel rövid időn belül minél több helyen mérünk.

Ehhez biztosítani kell olyan szenzort, ami a levegő hőmérsékletét tudja mérni és a jármű sebességét a szenzor érzékelési sebességéhez kell igazítani. Mivel megfelelő, járműre szerelhető mérőeszközzel még nem rendelkezek, a továbbiakban a hőszigetelés egy részfeladatával foglalkozok, nevezetesen a felületi hőmérsékletek megállapításával.

5.2. Mérési terv

Városi hősziget mérés során a várost több homogén területre kell osztani, és a levegő hőmérsékletének mérése mellett fontos az épületek falainak a monitorozása is, hogy mely épület mennyi hulladékhőt bocsájt ki, illetve tárol el nyáron. Az szigetelés nélküli, és korszerűtlen épületek a téli időben jelentős mennyiségű hőt bocsájtanak ki a környezetüknek, amely ezáltal kárba vész, így növelve a fenntartás költségét.

5.3. Adatgyűjtés

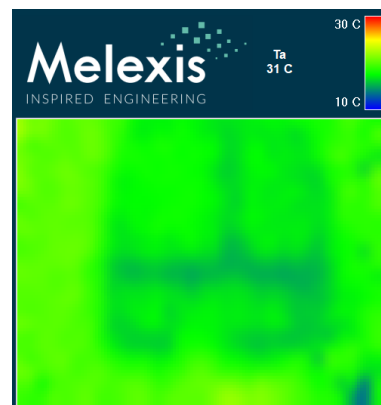
A hőkamerás adatgyűjtést a Melexis MLX90640BAA szenzorral, és a mikrovezérlős adatgyűjtővel valósítottam meg. A mérések az egyetem épületén zajlottak kültéren és beltéren egyaránt. A mérések során az ablakok és ajtók szigetelési képességét, és hőáteresztését vizsgáltam. Az vizsgált ablakok alumíniumból készültek, az ajtó pedig fából. Ez az eredményeken jól kivehető, mivel a tokozás kitűnik a környezetéből a képeken.

5.4. Adatok feldolgozása, ábrázolása

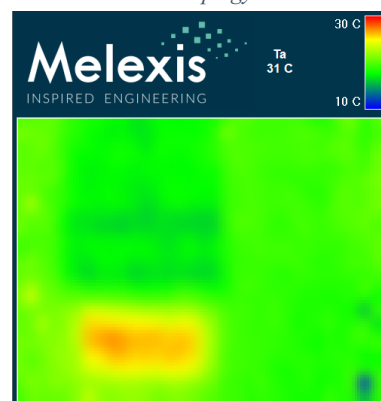
Az alábbi képen látható az ablakkeret belülről, hogy milyen szinten engedi át a hőt a kültér és beltér között. A skála szerint megközelítőleg 16 °C-os az ablakkeret, és a környező falak 18-20 °C-osak.

A lenti táblázatban látható a mikrovezérlő által mért eredmények átlaga. A táblázatban 100 mérés átlaga látható, és ehhez viszonyítva a levegő és a falak hőmérsékletét, megfigyelhető, hogy a legjobban a digitális szenzorok értéke közelíti meg az IR szenzor által mért értéket.

A következő képen látható az előzővel megegyező ablakkeret, és egy radiátor. A radiátor elzárt állapotban is 26 °C-os, ami így leadja környezetének a hőt. Közvetlen felette helyezkedik el az ablak, ahol viszont 16 °C körüli hőmérséklet van, így a radiátor az általa kibocsájtott hőt az ott érkező hideg levegő kompenzálására fordítja.



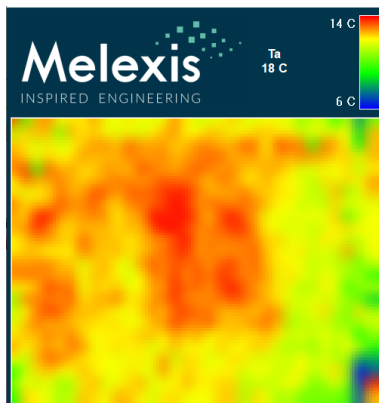
33. ábra: Beltéri kép egy ablakkeretről



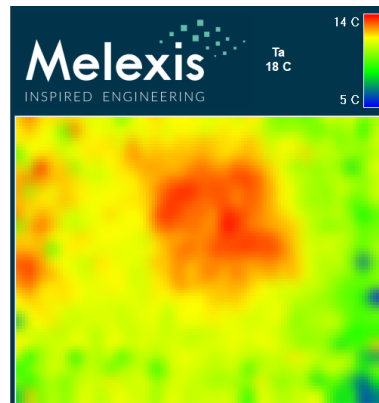
34. ábra: Beltéri kép egy radiátorról és egy ablakkeretről

Dá-tum	Idő	DTH 22	HTS221	DS18 B20	Hő-elem 1.	Hő-elem 2.	NTC 1	NTC 2	NTC 3	NTC 4	NTC 5
2022. 11.05	08:55:30	22,73	21,87	20,87	24,70	21,35	24,69	24,71	24,69	24,38	25,02

Az épületet kívülről vizsgálva is a nyílászáróknál található a gyengepont, mivel itt szökik el a meleg télen, a hideg pedig nyáron. A következő két képen látható, hogy az ajtó és az ablak esetében jelentős a hőki-bocsátás a falakhoz képest. Amíg a falak 7 °C körüliek, ad-dig az ablakok, ajtók 12-14 °C-osak.



36. ábra: Ajtó hőképe kintről



35. ábra: Ablak hőképe kintről

Dá-tum	Idő	DTH 22	HTS221	DS18 B20	Hő-elem 1.	Hő-elem 2.	NTC 1	NTC 2	NTC 3	NTC 4	NTC 5
2022. 11.05	11:55:30	18,10	19,39	19,68	19,84	17,04	19,83	19,82	19,87	20,84	18,86

Ez a táblázat is a mikrovezérlő által gyűjtött adatok átlagából készült el. Jelen esetben is 100 adatot átlagoltam, és így kaptam meg az eredményeket. Jól látható, hogy a skála csak 14 °C-ig terjed. Ennek az az oka, hogy az IR szenzor nem képes a levegő hőmérsékletét mérni, csak a tárgyak, épületek hőmérsékletét. Továbbá az is befolyásoló tényező, hogy az épület fala nem melegszik fel olyan gyorsan, mint a levegő.

6. Összefoglalás, további kutatási tervek

Dolgozatomban a hőmérsékletmérés feladatát jártam körül. Megvizsgáltam különböző fizikai elven működő érzékelőket, adatgyűjtő rendszert építettem a hőmérséklet adatok mentésére és elemeztem a mérések eredményeit. Az adatgyűjtő rendszerhez kiválasztottam a megfelelő alkatrészeket, mikrovezérlőt és szenzorokat, valamint programot készítettem az adatok fogadására, mentésére. A mérési adatokból kiindulva lehetőség adódott matematikai és fizikai modell meghatározására, amik már a későbbi vizsgálatokhoz alapot adnak. Kitértem egy speciális hőmérsékletmérési feladatra, a hősziget mérésre, ami a városokban nagy jelentőséggel bíró alkalmazási terület.

A további, alapos méréseket kontrollált körülmények között szeretném elvégezni, lehetőség szerint hőkamra segítségével. Az adatgyűjtő rendszer saját áramkörként tervezem megépíteni, leváltva a kevésbé hordozható és ezáltal nem megbízható jelenlegi protoboard-os változatot. A jelenlegi munkámra támaszkodva, meg tudom határozni, hogy melyik érzékelő a legalkalmasabb az egyes alkalmazásokhoz, pl. a gyors mintavételezést igénylő hősziget

méréshez, valamint az adatokból és a megállapításokból kiindulva lehetőségem lesz megfelelő, mozgó járművön is használható mérőeszköz megtervezésére és elkészítésére.

7. Források

7.1. Irodalomjegyzék

1. <https://media.melexis.com/-/media/files/documents/datasheets/mlx90640-datasheet-melexis.pdf> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 10.)
2. https://cdn.website-editor.net/s/156d2965ff764637aeea150903bb0161/files/up-loaded/Heimann-Sensor-Overview-Datasheet-HTPA_80x64d_Rev16.pdf (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 10.)
3. <https://www.heimanssensor.com/80x64> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 10.)
4. <http://hu.thermal-controller.com/info/what-s-the-difference-between-the-ptc-and-the-23047190.html> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 10.)
5. <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-3/szenzorok/ellenallasos-atalakitok> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 11.)
6. Varga Antal - Tomcsányi Péter - Szalóki Dezső - Rácz Mihály - Markovits Tibor - Gulyás János - Honyek Gyula: Fizika – Modernfizika, kiadó: Műszaki könyvkiadó, ISBN: 9789631622720
7. <https://www.muszeroldal.hu/assistance/hoelemekfajtai.html> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 11.)
8. <https://www.tckft.hu/thermocouple-information/thermocouple-information.html> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 11.)
9. <https://www.epa.gov/heatislands/measuring-heat-islands> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 11.)
10. <https://climatekids.nasa.gov/heat-islands/> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 11.)
11. <https://www.epa.gov/heatislands/climate-change-and-heat-islands> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 11.)
12. <http://nimbus.elte.hu/kutatas/varosklima.html> (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 11.)
13. https://www.met.hu/omsz/palyazatok_projektek/uhi/ (Utolsó megtekintés: 2022. 05. 11.)

6.2. Ábrák, grafikonok

1. ábra: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0438/4735/2471/products/A000066_03.front_1000x750.jpg
2. ábra: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0438/4735/2471/products/A000062_00.front_643x483.jpg
3. ábra: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0438/4735/2471/products/A000067_00.front_1000x750.jpg
4. ábra: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0438/4735/2471/products/A000053_03.front_1000x750.jpg
5. ábra: <https://www.rpibolt.hu/img/15922/RPI-SC0915/RPI-SC0915.jpg>
6. ábra: https://hu.mouser.com/images/espressifsystems/hd/ESP-WROOM-02D_t.jpg
7. ábra: https://hu.mouser.com/images/espressifsystems/hd/ESP32-WROOM-32D_t.jpg
8. ábra: <https://hu.mouser.com/images/stmicroelectronics/lrg/NUCLEO-L053R8.jpg>
9. ábra: <https://www.researchgate.net/profile/Kufre-Jack/publication/309267235/figure/fig1/AS:418904481517578@1476886019947/The-thermistor-temperature-characteristic-curve-In-Figure-1-the-thermistor-temperature.png>

10. ábra: <https://www.thanksbuyer.com/image/cache/data/201907/62181/1562386700-1-750x750.jpg>
11. ábra: <https://img.tttcdn.com/product/xy/500/500/p/gu1/E/7/E14637/E14637-1-a160-ALvC.jpg>
12. ábra: <https://www.e-komponent.com/80x64dr21105-sicaklik-nem-termopil-ir-heimann-sensor-14492-17-B.jpg>
13. ábra: Saját készítésű média
14. ábra: Saját készítésű média
15. ábra: https://hu.farnell.com/productimages/standard/en_GB/42421128.jpg
16. ábra: https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/000/364/medium800/temperature_thermocouple_LRG.jpg
17. ábra: <https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/597dc443914e6bed5fd30dcc/1520522545533-S8O3DY9LJPRYXP7VY0WJ/MeteoTemp2018.jpg>
18. ábra: http://www.malnasuli.hu/wp-content/uploads/2018/04/DS18B20_featu-red_image3.jpg
19. ábra: https://res.cloudinary.com/rsc/image/upload/b_auto,c_pad,dpr_1.0,f_auto,h_715,q_auto,w_1275/c_pad,h_715,w_1275/R1360755-01
20. ábra: <https://m.media-amazon.com/images/I/51xgARcQu5L.SL1000.jpg>
21. ábra: Saját készítésű grafikon
22. ábra: Saját készítésű média
23. ábra: Saját készítésű média
24. ábra: Saját készítésű média
25. ábra: Saját készítésű grafikon
26. ábra: Saját készítésű grafikon
27. ábra: Saját készítésű grafikon
28. ábra: Saját készítésű grafikon
29. ábra: Saját készítésű grafikon
30. ábra: Saját készítésű grafikon
31. ábra: Saját készítésű grafikon
32. ábra: Saját készítésű grafikon
33. ábra: Saját készítésű média
34. ábra: Saját készítésű média
35. ábra: Saját készítésű média
36. ábra: Saját készítésű média