

Egy optimális céltárgytartó konfiguráció Seebeck-effektuson alapuló termoáram keltéséhez

Varga Zoltán,^{1,2} Dr. Rácz Ervin³

¹Óbudai Egyetem, Alkalmazott Informatika és Alkalmazott Matematika Doktori Iskola (PhD hallgató) 1034 Budapest, Bécsi út 96/B, varga.zoltan@uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Villamosenergetikai Intézet, 1034 Budapest, Bécsi út 96/A, varga.zoltan@uni-obuda.hu

³Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Villamosenergetikai Intézet, 1034 Budapest, Bécsi út 96/A, racz.ervin@uni-obuda.hu

Absztrakt: Napjainkban a villamosenergia-fogyasztás az elmúlt évtizedekből fogvasztáshoz képest jelentős mértékben megnövekedett. A klímaváltozás következményeképpen az emberiség energiaszükséglete folyamatosan növekszik. Az energiafelhasználás a fejlettségi indexben is megmutatkozik, mégpedig, a kutatók kapcsolatot találtak az egy főre jutó villamosenergia-fogyasztás és az emberi fejlettségi index (angolul Human Development Index (HDI)) között. Azokban az országokban, ahol az egy főre jutó villamosenergia-fogyasztás magas, ott nagy a valószínűsége, hogy a HDI érték is magas [1]. A fentiek okán a rendelkezésre álló villamosenergia-rendszerek hatásfokának javítása indokoltá válik. Ilyen rendszerek hatásfok-javításának egyik lehetséges módszere a rendszerben termelődött „maradék hő” felhasználása, pl.: villamosenergiává való átalakítása Seebeck-effektus segítségével [2]. A Seebeck-effektus egy olyan termoelektromos jelenség, amelynek során két különböző anyagi minőségű fém két végpontján való összekapcsolásakor létrehozott zárt vezetőkörben, a kapcsolódási pontok különböző hőmérsékleten tartása esetén, a körben villamos áram folyik [3]. Ebből merítve az ötletet, a villamos rendszerben még megjelenő/meglévő hő és a Seebeck-effektus párosítása által a rendszerből villamos áram révén villamosenergia nyerhető. Mindezek alapján célul tűztük ki, hogy kísérleti úton demonstráljuk a Seebeck-effektust hűtőbordák és Peltier-elem felhasználásával. A kísérletek elvégzése során elsődleges célunk tartottuk olyan megoldás keresését, amely a környezetben előforduló („élet közeli”) és alacsony villamosenergia befektetéssel jár (pl.: hűtőborda vízzel vagy széllel való aktív vagy passzív hűtése). Ennek érdekében először különböző hűtőbordák hőelvezetésének kísérleti úton való vizsgálatát végeztük a célból, hogy feltérképezzük, vajon melyik hűtőborda esetén idézhető elő a legjobb hőelvezetés, és ezáltal a céltárgy testen elérhető legnagyobb hőmérséklet-különbség. A kísérletek során a felület melegítéséhez reprodukálható működésű infravörös (IR) lámpát alkalmaztunk. Munkánk következő lépései a kísérletek piszkozati, majd pontos, reprodukálható végrehajtása, a kísérleti adatok begyűjtése, az adatok feldolgozása, majd az eredmények értékelése volt követve a kísérletezés tradicionális útját. Az eredményekből az látható, hogy a Peltier-elem

két oldalának 20 °C hőmérséklet-különbsége esetén, akár 35 mA villamos áram is kinyerhető a villamos körben a Seebeck-effektus felhasználásával.

Keywords: Seebeck-effektus, hűtőborda, Peltier-elem, villamos áram

1. Bevezetés

Napjaink energiafogyasztása drasztikus növekedésen ment keresztül, amely magával vonzza a megnövekedett károsanyag kibocsátást, köztük pl. a szén-dioxid kipufogatását a környezetbe. Az energiafelhasználás a fejlettségi indexben is megmutatkozik, mégpedig: a kutatók kapcsolatot találtak az egy főre jutó villamosenergia-fogyasztás és az emberi fejlettségi index (angolul Human Development Index (HDI)) között. Azokban az országokban, ahol az egy főre jutó villamosenergia fogyasztás magas, ott nagy a valószínűsége, hogy a HDI érték is magas [1]. A korábbi évtizedekben megfelelőnek tartott, villamosenergia-termeléshez alkalmazott megbízható rendszerek mára erősen környezetszennyezőnek mutatkoznak és az általuk magas koncentrációban kibocsátott szén-dioxid miatt szigorú következményeket, előírásokat vezettek be

[4]. A villamosenergia-növekedés és más paraméterek (pl.: társadalmi, környezeti, gazdasági) együttes és egymásra ható okának eredményeképpen az egyes villamosenergia-termelő rendszerek hatásfokának növelésére kellően magas figyelmet fordítanak a kutatók. Mindazonáltal, a kutatások homlokterében áll a hibrid, sokoldalú rendszerek bevezetése a lehető legoptimálisabb kihasználásuk érdekében.

A fentiek okán a rendelkezésre álló villamosenergia-rendszerek hatásfokának javítása indokoltá válik. Ilyen rendszerek hatásfok-javításának egyik lehetséges módszere a rendszerben termelődött „maradék” hő felhasználása, pl.: villamosenergiává való átalakítása Seebeck-effektus segítségével [2]. A Seebeck effektus egy olyan termoelektromos jelenség, amelynek során két különböző anyagi minőségű fém két végpontján való összekapcsolódásakor létrehozott zárt körben, a kapcsolódási pontok különböző hőmérsékleten tartása esetén a körben elektromos áram folyik. A Seebeck-effektust szokás inverz Peltier-effektusnak is nevezni, mert villamos áramot vezetve két különböző anyagi minőségű fémből készült zárt körben, a kapcsolódási pontokon eltérő hőmérsékletek jelennek meg (az egyik csatlakozási pont lehül, a másik felmelegszik az áram irányától függően)

[3] [5]. A jelenséget 1821-ben Thomas Johann Seebeck demonstrálta. Habár, a jelenség elég régre visszavezethető, de a témában jelentős kutatás folyik, amely nem csak felhasználói szintű eszközök létrehozását, hanem űrtechnológiában használatos eszközök fejlesztését is magával vonzza. Az ilyen megemlítésre érdemes eszköz, a radioizotrópos termoelektromos generátor, amely a radioaktív izotópok természetes bomlásából származó hőt hasznosítja villamos áram keltésére Seebeck-effektus segítségével [6]. A korábban említett inverz Seebeck-effektuson alapuló eszközök is elérhetőek, mégpedig, Peltier-elem formájában. Az eszközt egy francia fizikusról nevezték el, Jean Peltier, aki a jelenséget 1834-ben figyelte meg.

A Peltier-elemeket széleskörben alkalmazzák termoelektromos generátorként vagy hűtésre, vagy fűtési célokra. Ilyen típusú hűtési alkalmazással a számítógépek processzorainál vagy kis teljesítményű hűtőszekrényeknél lehet találkozni. A járműiparban egyik lehetséges alkalmazása a különféle járművekben képződő kipufogógáz hőjének hasznosítása [7] [8]. Cikkünkben egy Peltier-elem termoelektromos alkalmazását használjuk ki villamos áram keltéséhez.

Korábbi cikkek taglalják a termoelektromos eszközök potenciális alkalmazhatóságát villamos áram keltésére. Ezek a tudományos cikkek egyértelművé tették, hogy az előrelépések az anyagokban és az anyagfeldolgozásban magasabb elméleti és gyakorlati termoelektromos hatásfokot eredményezett [9], [10], [11].

Bodnár és társa egy hűtőegységet terveztek Peltier-elemekből laboratóriumi mérésekhez. Ebben a koncepcióban a Peltier-elem Peltier-hatását használták [7], [12]. Tehát áramot vezetve a körbe a Peltier-elem két felülete között hőmérséklet-különbséget hoztak létre. Szauter és társai kísérleti célú duális funkciójú berendezéseket mutatnak be cikkükben, melyhez a hűtési és fűtési célokat Peltier-elemekkel végzik. A cikkben látható, hogy a felület hőmérséklet-változtatására a Peltier-elemek megfelelően mutatkoznak [13]. Casano és társa kísérleti úton vizsgálták a Peltier-elemek termoelektromos hatékonyságát. A kísérleteiket több, különböző értékű ellenállás felhasználásával végezték, valamint a hűtőborda hűtésére folyadékot használtak, amelyet egy szivattyú segítségével keringettek. A kísérleteikből azt találták, hogy a termoelektromos modul biztató a maradék hő eredményes felhasználásához [14].

Mindezek alapján **célul tűztük ki, hogy kísérleti úton demonstráljuk a Seebeck-effektust hűtőbordák és Peltier-elem felhasználásával. A kísérletek elvégzése során elsődleges célnak tartottuk olyan megoldás keresését, amely a környezetben előforduló („élet közeli”) és alacsony villamosenergia befektetéssel jár.**

2. Kísérletek

2.1. Tervezés folyamata

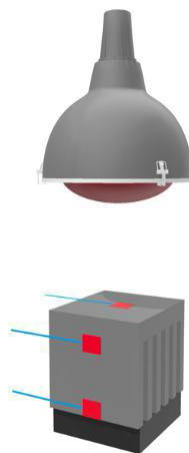
A kísérletek elvégzéséhez az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Intézet Alternatív Energiaforrások Tudásközpont laboratóriumában (OE KVK VEI AET) rendelkezésre álló műszerparkot használtuk. A laboratóriumban elérhető hűtőbordák közül három darab került kiválasztásra. A szelektálásnál figyelembe vettük a hűtőbordák hosszmereteit, tömegét, alakját és felületük simaságát. Az 1. táblázat mutatja a hűtőbordák technikai adatainak leírátát.

1. táblázat: Kiválasztott hűtőbordák technikai adatai

Hűtőborda jelölése	méretek		
	magasság [cm]	szélesség [cm]	hosszúság [cm]
A	2,8	11,5	12
B	4,5	7	7,5
C	5	7	10

A hűtőbordák összehasonlításához szükséges kísérlet elvégzéséhez a hűtőbordákra egymástól egyenlő távolságokra 3 darab K-típusú hőelemet helyeztünk fel (lásd az ábra piros jelöléseit), amely az adatlapi leírás alapján 0 °C és 100 °C között nagy pontossággal képes hőmérséklet mérésre. A hőmérséklet monitorozására Voltcraft K204 digitális datalogger hőmérőt alkalmaztunk, amely a monitorozás mellett az adatok mentésére is képes. A műszer a mért adatokhoz időpillanatokat rendelt, így a hőmérséklet pillatanyi értékeit időben ábrázolhattuk, majd az egyes hűtőbordákhoz tartozó értékekkel összehasonlíthattuk.

Az összehasonlításból további következtetéseket vontunk le a Seebeck-effektus méréséhez alkalmazandó hűtőborda kiválasztásánál.



1. ábra: Hűtőborda vizsgálati elrendezése, ahol a megvilágító fény IR és a hűtőbordákon 3 db K-típusú hőelem került elhelyezésre, amelyet az ábrán a piros színű téglalapok szemléltetnek.

Az összehasonlítás során kiderült, hogy mindegyik hűtőborda (A, B és C jelű) képes a 60 °C-os hűtőbordát szobahőmérsékletűre visszahűteni viszonylag azonos időállandóval, azonos hűtési technika mellett. A hűtőbordák jóságának megállapítása és a nekünk megfelelő hűtőborda eredményes kiválasztása érdekében egy olyan csoportosítási szempontot hoztunk létre és olyan vizsgálati szempontrendszert definiáltunk magunknak, amelyeknek segítségével kiválaszthattuk a kísérlet következő szakaszához megfelelőnek mutató hűtőbordát. E szempontrendszer:

- gyorsan hűljön le azonos hűtési technika mellett
- nagy hőmérséklet-különbség alakuljon ki a hűtőborda teteje és az alja között azonos hűtési technika mellett
- a hűtőborda felső sík felülete valóban sima legyen

E paraméterek figyelembevételével a hűtőbordákat a 2. táblázatban csoportosítottuk.

2. táblázat: Megfelelőnek mutató hűtőborda szempontok

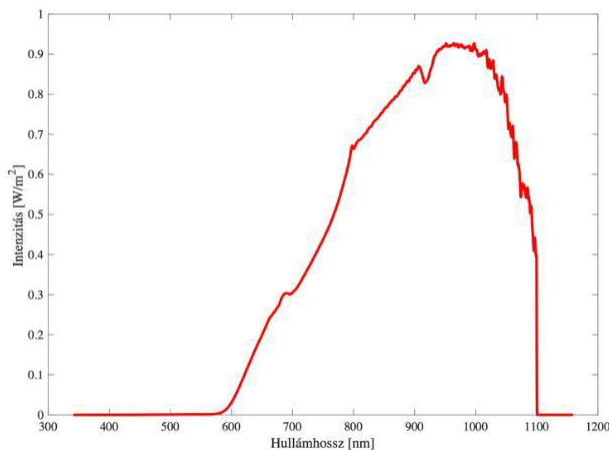
Hűtőborda jelölése	Hűtés gyorsasága	Hőmérséklet-különbség	Felület simasága
A	122 s	27 °C	Nem elég sima
B	126 s	31,7 °C	Sima
C	126 s	37,3 °C	Sima

A 2. táblázat alapján látható, hogy mindegyik hűtőborda közel azonos idő alatt képes a hűtőborda tetejét lehűteni azonos hűtési technika alkalmazásával. A hűtőborda legfelső és a legalsó „oldallapjai” között létrejövő hőmérséklet-különbséget vizsgálva, a legjobbnak a C-jelű hűtőborda mutatkozik, amelynek másik előnye, hogy a felülete sima. Tehát a három hűtőborda közül a 2. táblázatban szereplő értékek miatt a legalkalmasabbnak a C-jelű hűtőbordát találtuk a kísérletek további szakaszának elvégzéséhez.

Mielőtt a kísérlet további szakaszát bemutatnánk, röviden ismertetjük a kísérlethez alkalmazott eszközöket.

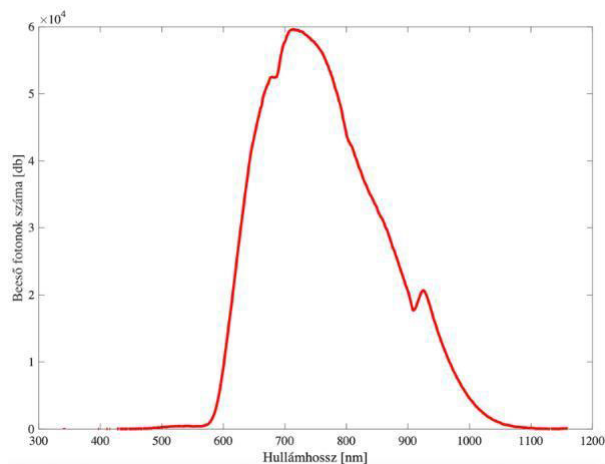
A termoelektromos áram vizsgálatához Peltier-elemet használtunk, amelynek anyaga alumínium-oxid (Al_2O_3) (másnéven timföld) és érintkező anyaga BiSn. A Peltier-elem termoelektromos generátor feladatát lát el a kísérletben, mivel elektromos áram indukálódik az elem kimenetén, ha az elem két oldala különböző hőmérsékletű. A két oldal között létrejött hőmérséklet-különbség nagysága határozza meg az indukált elektromos áram nagyságát.

A kísérletekhez egy olyan jól definiált hőszugárzás előállítására képes eszközre volt szükség, amely megfelelő hőszugárzónak mutatkozik. A mérések során a felület melegítéséhez reprodukálható működésű, infravörös (IR) lámpát alkalmaztunk. Az IR lámpa intenzitás-hullámhossz spektrumát a 2. ábra, a lámpa foton beütésszám-hullámhossz spektrumát a 3. ábra mutatja.



2. ábra: Kísérlethez alkalmazott infravörös lámpa intenzitás-hullámhossz spektruma.

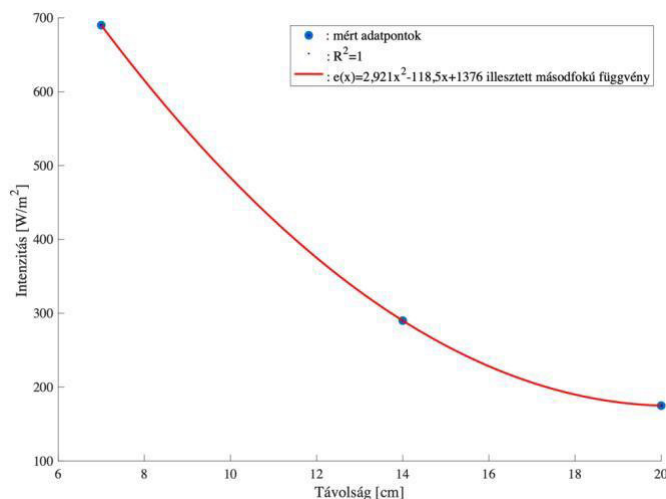
Jól látható az IR lámpa intenzitás-hullámhossz spektrumáról, hogy a vörös és az infravörös tartományban lévő hullámhosszakon mutat magas intenzitás értékeket.



3. ábra: Kísérlethez alkalmazott infravörös lámpa foton beütésszám-hullámhossz spektruma.

A 3. ábra szemléletei a foton beütésszám-hullámhossz spektrumot, amely megtekintésekor ugyancsak megfigyelhető, hogy a vörös és az infravörös tartományban nagy foton beütésszám értékek vannak. A rövidebb hullámhosszú tartományokból nem érkezik foton a Peltier-elem felületére (~570nm-től teljesen levág).

A kísérlet során alkalmazott IR lámpa használatával kezdetben egy alapvető megválaszolatlan kérdés az volt, hogy az IR lámpa által megvilágított felület mekkora fényintenzitás, pontosabban sugárzási intenzitás éri. Ennek érdekében a megvilágított felületen mért spektrális intenzitás értékeket ábrázoltuk a sugárzási forrás felülettől vett távolsága függvényében. Az intenzitás-távolság inverz négyzetes törvénye illetve függvény alapján, a sugárzási intenzitás fordítottan arányos a távolság négyzetével ($I \sim 1/x^2$). Ennek értelmében, a mért adatpontokra ilyen másodfokú függvényt illesztettünk. A 4. ábráról kiderül, hogy az illesztett másodfokú függvény ($e(x)=2,921x^2-118,5x+1376$) grafikonja tökéletesen illeszkedik a mért adatpontokra ($R^2=1$).



4. ábra: IR lámpa intenzitás-távolság értékek, ahol késsel a mért adatpontok, pirossal a mért adatpontokra illesztett másodfokú egyenlet látható. Az illesztés hibája $R^2 = 1$.

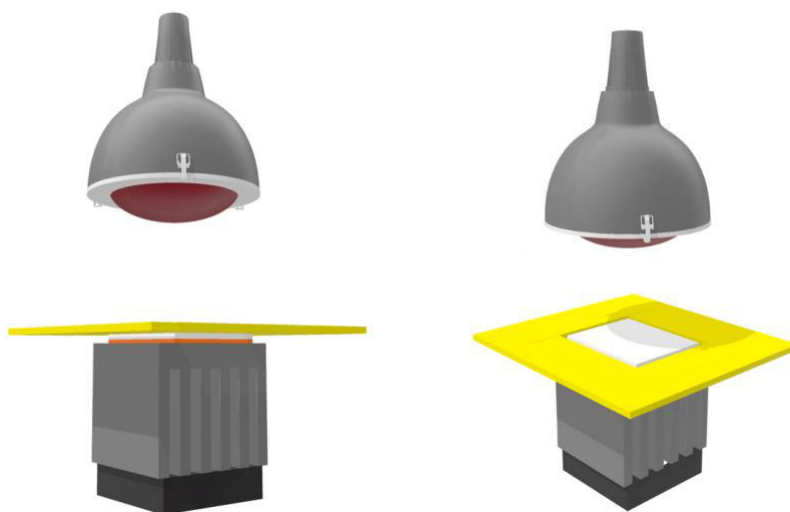
A Peltier-elem felületét ért sugárzási intenzitás mellett az elem felületének hőmérséklete is változik a távolság függvényében, mégpedig az intenzitással arányosan. Amennyiben a Peltier-elem felülete és a lámpa közötti távolság 7 cm, a felület hőmérséklete elérheti a 60 °C-ot. Amennyiben a távolságot már 14 cm-re állítottuk, az elem felülete csak 50 °C, és 20 cm távolság esetén pedig a felületi hőmérséklet maximálisan már csak 40 °C. Tekintettel arra, hogy a természetben a

környezeti - és így a felületi - hőmérséklet nem éri el a 60 °C fokot, érdemes volt a kísérletek további szakaszaiban a távolságot 14 cm-re állítani.

Az alkalmas hűtőborda kiválasztását követően a Peltier-elemet felhelyeztük a hűtőborda tetejére olyan konfigurációban, hogy a hideg oldala érintkezett a hűtőbordával, a meleg oldala az IR lámpa közvetlen infravörös sugárzásának volt kitéve.

3. Kísérleti eredmények értékelése

Az eszközök és a hűtőborda kiválasztásának bemutatását követően, ebben a fejezetben kitérünk a Seebeck-effektus vizsgálatára, amelyhez egy termoelektromos generátort, azaz Peltier-elemet használtunk. A fejezetben a keltett elektromos áram és a hőmérséklet-különbség kísérletből származó adatokat ábrázoltuk, értékeltük.



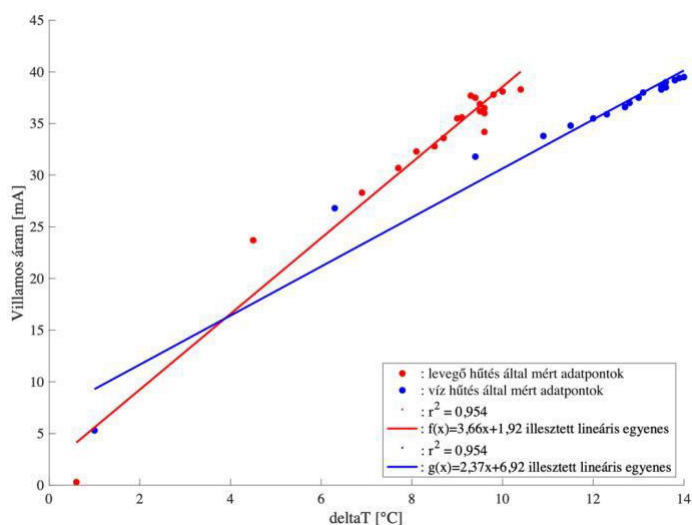
5. ábra: Seebeck-effektus demonstrációjára alkalmazott kísérleti elrendezés 3D-s ábrája. A bal oldali ábra 45°-os oldalnézetből, míg a jobb oldali ábra felülnézetből mutatja a kísérleti elrendezést.

Az 5. ábra szemlélteti a Seebeck-effektus demonstrációjára alkalmazott kísérleti elrendezést 3D-s ábra módszerével, ahol fentről a Peltier-elem felületét (fehér négyszög az 5. ábrán) IR lámpa világítja meg. A Peltier-elem hátoldala a hűtőbordához ezüst hővezető paszta érintkező felületekre való felvitelével került rögzítésre. Az IR lámpa jelentős hőszugárzásából adódóan a Peltier-elem hűtőbordához csatlakozó oldalát és a hűtőbordát hőszigetelő extrudált polisztirol habbal (XPS) választottuk le. A hővezető paszta érintkező felületekre való felvitelének fontossága nagy, hiszen ez által biztosítható, hogy a csatlakozó oldalakon jó hővezetés alakuljon ki. Az ezüst hővezető paszta alkalmazása a rendszer

mechanikai stabilitását is növelte, a két felület között kialakuló felületi feszültség miatt.

Az illetéknéppen megépített céltárgyrendszer tesztelését két különböző hűtési technika összehasonlítása mellett végeztük el. Egyik hűtési módszer az egy oldali szélcsatorna hűtés, és a hűtőborda állóvízben való hűtésének alkalmazása. Tekintettel arra, hogy célként olyan hűtési technika kidolgozását, felhasználását tűztük ki, amely a környezetben előforduló tehát „élet közeli”. Ezért pl. az intenzív közvetlen hűtések, úgy mint pl. a szárazjég vagy a folyékony nitrogén használata nem felel meg.

A céltárgyrendszer megépítését és a hűtési technikákat alkalmazva a Seebeck-effektus kísérleteket elvégeztük. A Peltier-elem két lapján hőmérséklet-különbséget hoztunk létre a fentebb leírt módszerrel. A hőmérséklet-különbség hatására elektromos áram folyt illetve elektromos áram volt detektálható a zárt villamos áramkörben. A Seebeck-effektus tehát működött. A kísérletek után a mérési adatokat begyűjtött, feldolgoztuk, értékeltük és ábrázoltuk. Az adatok feldolgozására és értékelésére a MatLab célszoftvert alkalmaztuk.



6. ábra: Hőmérséklet-különbség (ΔT) és a keletkező termo villamos áram kapcsolata a Seebeck-effektus esetén, a mért adatpontokra illesztett elsőfokú függvény görbéjével és az illesztési pontossággal.

A 6. ábra szemléletesen mutatja a hőmérséklet-különbség és a villamos áram kapcsolatát a Seebeck-effektus esetén. A mért villamos áram adatpontokra lineáris egyenest illesztettük, mert a Seebeck-effektuskor a keletkezett termoáram és a hőmérséklet-különbség közötti kapcsolat lineáris ($I/\Delta T = \text{állandó}$). A piros színű elektromos áram adatpontokra az arra illesztett szigorúan monoton növekvő lineáris függvényt és annak egyenletét látjuk $f(x) = 3,66x + 1,92$ a levegő hűtés esetén. Mindemellett, a kék

színű adatok a vízűtés során mért termoáram adatpontokat prezentálják. A vízűtés esetén mért adatpontokra is a lineáris függvényt illesztettük, amely esetén az illesztett egyenes egyenlete: $g(x) = 2,37x + 6,92$.

Az eredményekből elsősorban trend jellegű változás mutatkozik, ugyanis, minél nagyobb a hőmérséklet-különbség, várhatóan annál nagyobb a generált villamos áram (az elmélet alapján ez várható is). Továbbá az is látszódik, hogy a vízűtés esetén nagyobb hőmérséklet-különbséget lehet elérni ugyanazon hűtőbordával, ennek eredményeképpen magasabb a termoelektromos áram. Végezetül mindkét hűtésnél megfigyelhető, hogy az illesztett lineáris függvények ($f(x)$ és $g(x)$) jól lefedik az adatpontokat, amelyet az r^2 értéke is bizonyít (pl.: $r^2 = 0,954$ és $0,954$).

4. Összefoglalás

Célul tűztük ki, hogy kísérleti úton demonstráljuk a Seebeck-effektust hűtőbordák és Peltier-elem felhasználásával. A kísérletek elvégzése során elsődleges célnak tartottunk olyan hűtési megoldás keresését, amely a környezetben előforduló, „élet közeli” és alacsony villamosenergia befektetéssel jár. A cél elérése érdekében a kísérlet során alkalmazni kívánt, az OE KVK VEI AET laboratóriumában elérhető eszközöket teszteltük, úgymint a reprodukálható működésű IR lámpát, a termoelektromos generátort és hűtőbordákat. A hűtőbordák közül volt legjobb, nevezetesen a C-jelű hűtőbordát kiválasztottuk a Seebeck-effektus demonstrációjának céljára. Választásunk indokaként hozható fel a C-jelű hűtőborda sima felülete és az, hogy magasabb hőmérséklet-különbség érhető el a hűtőborda két oldala között más hűtőbordákhoz képest, azonos hűtési technika alkalmazásával. Megvizsgáltuk az IR lámpa foton beütésszám-hullámhossz spektrumát, intenzitás-hullámhossz spektrumát és az intenzitás-távolság közötti kapcsolatot. A piszkozati mérésekből és a fentebb említett kísérletekből levont következtésekből megépítettük a céltárgyunkat (lásd 5. ábra). A céltárgy megépítését követően két fajta hűtési technika mellett teszteltük és demonstráltuk is a Seebeck-effektust.

Az elvégzett kísérletek alapján látható, hogy a Seebeck-effektus termoelektromos generátor segítségével kimutatható. Valamint láttuk, hogy minél nagyobb a hőmérséklet-különbség a termoelektromos generátor két oldallapja között, annál nagyobb a generátor kapcsairól kinyerhető villamos áram. A mért adatpontokra a lineáris függvényt illesztettük, egyenes illesztéskor az illesztés pontosságát is meghatároztuk mind a két hűtési technika esetén. Továbbá, a 6. ábráról látható elektromos áram adatpontok tükrözik, hogy a két hűtési technika alkalmazható. Tekintettel arra, hogy azonos hűtési vizsgálat mellett a vízűtés esetén magasabb hőmérséklet-különbség és ebből adódóan magasabb villamos áram nyerhető ki a rendszerből, a vízűtés mutatkozik a előnyösebb hűtési technikának, amelyet célunk további vizsgálatoknak is alávetni és a hűtést a természetesség elvének megtartásával továbbfejleszteni. Érdemes itt Casano és társai publikációját megemlíteni, akik ugyancsak a vízűtés mellett vizsgálták a Seebeck-effektust [14].

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Intézetének Alternatív Energiaforrások Tudásközpontjának a támogatását és az eszközök kísérleteink elvégzésére való rendelkezésre bocsátását. Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. A szerzők köszönik az Óbudai Egyetem Alkalmazott Informatika és Alkalmazott Matematika Doktori Iskolájának a támogatását is.

Hivatkozások:

- [1] A. Luque and S. Hegedus, Eds., *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Hoboken, NJ: Wiley, 2003.
- [2] L. Yan, M. Shao, H. Wang, D. Dudis, A. Urbas, and B. Hu, ‘High Seebeck Effects from Hybrid Metal/Polymer/Metal Thin-Film Devices’, *Adv. Mater.*, vol. 23, no. 35, pp. 4120–4124, Sep. 2011, doi: 10.1002/adma.201101634.
- [3] V. A. Drebuschak, ‘The Peltier effect’, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 91, no. 1, p. 311, 0 2007, doi: 10.1007/s10973-007-8336-9.
- [4] X. Li, H. Liao, Y.-F. Du, C. Wang, J.-W. Wang, and Y. Liu, ‘Carbon dioxide emissions from the electricity sector in major countries: a decomposition analysis’, *Environ Sci Pollut Res*, vol. 25, no. 7, pp. 6814–6825, Mar. 2018, doi: 10.1007/s11356-017-1013-z.
- [5] Z. Conka, P. Hocko, M. Novak, M. Kolcun, and M. Gyorgy, ‘Impact of renewable energy sources on stability of EWIS transmission system’, in *2014 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Krakow, May 2014, pp. 75–79. doi: 10.1109/EEEIC.2014.6835840.
- [6] Nagy I., ‘Légköri gázokkal táplált ionhajtóművek’, *Repüléstudományi Közlemények*, vol. 31, no. 1, pp. 213–222, 2019, doi: 10.32560/rk.2019.1.17.
- [7] Bodnár I. and Koós D., ‘Peltier-elemes hűtőberendezés tervezése és megvalósítása napelemcella hűtésére’, *MDT*, vol. 9, no. 2, pp. 50–55, Dec. 2019, doi: 10.35925/j.multi.2019.2.8.
- [8] F. Bognár and P. Benedek, ‘A Novel Risk Assessment Methodology – A Case Study of the PRISM Methodology in a Compliance Management Sensitive Sector’, *ACTA POLYTECH HUNG*, vol. 18, no. 7, pp. 89–108, 2021, doi: 10.12700/APH.18.7.2021.7.5.
- [9] S. B. Riffat and X. Ma, ‘Thermoelectrics: a review of present and potential applications’, *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, no. 8, pp. 913–935, Jun. 2003, doi: 10.1016/S1359-4311(03)00012-7.

- [10] L. E. Bell, ‘Cooling, Heating, Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems’, *Science*, vol. 321, no. 5895, pp. 1457–1461, Sep. 2008, doi: 10.1126/science.1158899.
- [11] T. Kajikawa, ‘Approach to the Practical Use of Thermoelectric Power Generation’, *Journal of Elec Materi*, vol. 38, no. 7, pp. 1083–1088, Jul. 2009, doi: 10.1007/s11664-009-0831-2.
- [12] I. Bodnár, D. Koós, P. Iski, and Á. Skribanek, ‘Design and Construction of a Sun Simulator for Laboratory Testing of Solar Cells’, *ACTA POLYTECH HUNG*, vol. 17, no. 3, pp. 165–184, 2020, doi: 10.12700/APH.17.3.2020.3.9.
- [13] Ferenc S., Ádám S. J., Zoltán S., Gábor S., Huba S., and Szabolcs K. S., ‘Dual Function Solar Cell and Panel Testing Equipment for Experimental Purposes’, p. 9.
- [14] G. Casano and S. Piva, ‘Experimental investigation of the performance of a thermoelectric generator based on Peltier cells’, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 35, no. 4, pp. 660–669, May 2011, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2010.12.016.