

T D K d o l g o z a t

Pálfi Gábor

2014.



SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
UNIVERSITAS SCIENTIARUM SZEGEDIENSIS
MÉRNÖKI KAR

***EMBERI TEST HŰTÉSÉRE ALKALMAS BERENDEZÉS
TERVEZÉSE***

TDK dolgozat

Pálfi Gábor

*IV. évfolyamos műszaki menedzser
hallgató*

Témavezető:

Péter Szabó István
adjunktus

SZEGED

2014.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	3
2.	Irodalmi áttekintés.....	4
2.1.	Komfortelmélet.....	4
2.1.1.	A hőérzetet befolyásoló tényezők.....	4
2.1.2.	Szubjektív hőérzeti skála	5
2.1.3.	Az emberi test hőtermelése.....	6
2.1.4.	Metabolikus hő	7
2.1.5.	Az emberi test hőleadó képessége	8
2.1.6.	Az emberi test hőcseréjének számításakor alkalmazott hőmérsékletértékek.....	9
2.2.	Hőközlés	12
2.2.1.	Hővezetés.....	12
2.2.2.	Hőáramlás (hőátadás)	12
2.2.3.	Hőátbocsátás	12
2.2.4.	Hőszugárzás.....	12
2.2.5.	Hőszigetelők	13
2.3.	Elektrotechnika	13
2.3.1.	Termoelektromos hűtés.....	13
2.3.2.	Akkumulátorok	16
2.3.3.	Napelemek	17
3.	Jelenlegi lehetőségek testhűtésre.....	19
3.1.	CoreControl™ vizsgálata	19
3.1.1.	Működési elve.....	19
3.1.2.	Felépítés	19
3.1.3.	Eredmények	20
4.	Saját tervezésű szerkezet.....	22

4.1. Prototípus.....	22
4.1.1. Felépítés	22
4.1.2. Mérések.....	23
4.2. Koncepció.....	29
4.2.1. Felépítés	30
4.2.2. Egyéb vizsgált verziók.....	31
4.2.3. Számítások.....	32
5. Összefoglalás.....	34
Irodalomjegyzék.....	35
Mellékletek	36

1. BEVEZETÉS

A világunkban a hőmérsékletszabályozásra több ezer éve ugyanazokat a megoldásokat használjuk: felmelegítjük vagy lehűtjük a környezetünket és ruharétegeket veszünk föl vagy le. Mi lenne, ha egy helyiség lehűtése helyett inkább magunkat hűtenénk egy személyi kiegészítővel?

A meleg okozta fáradtság munka közben nagyban befolyásolhatja a produktivitást, a tisztán gondolkodást és az életveszélyes helyzetek megelőzését. Továbbá, a meleg okozta állapotok (szellemi fáradtság, kimerültség) hőgutához vezethetnek. Ha egy munkással történik valami baleset, az a cégnek többszázezer forintjába kerülhet a kiesett munkaidőt, kompenzációt és orvosi ellátásokat tekintve.

A katonák és tűzoltók rendkívüli meleg feltételeknek vannak kitéve. A nehéz védőöltözetük akadályozza a hő eloszlását. Ez magasan kockáztatja hő által előidézett incidenseket, mint például a görcsbe rándulást, kimerültséget, szellemi fáradtságot és hőgutát.

Dolgozatom célja egy újszerű technológia bemutatása és arra épülő szerkezetek elemzése, illetve tervezése. Az RTX (Rapid Thermal Exchange – gyors hőcsere) alkalmazását vizsgálom meglévő és általam tervezett készülékekkel.

A szakirodalmi áttekintésemben részletezek egy néhány évtizedes múltra visszavezethető szaktárgyat, a komfortelméletet, azon belül a hőkomfortot. Komfortszámításokkal támasztottam alá az RTX készülék hatékonyságát. Röviden kitérek a hőközlés fajtáira. Ismertetem a termoelektromos hűtés, az akkumulátorok és napelemek működését.

Bemutatom Dr. Dennis Grahn és Dr. Craig Heller stanfordi kutatók által feltalált készülék, a CoreControl™ működési elvét és felépítését, valamint a hatékonyságát.

Dolgozatom fő részét képezi saját tervezésű szerkezetem ismertetése, melyben kitérek a prototípus felépítésére és mérési eredményeimre, továbbá a tervezéskor felmerülő problémákra, melyeket hogy küszöböltem ki, megkapva koncepcióimat.

Az első négy fizikai paraméter, míg az utóbbi kettő az emberi szervezet alkalmazkodóképességével függ össze.

Az emberi szervezet hőegyensúlya szempontjából apavető tényezők:

- az emberi test hőtermelése (elsősorban a végzett tevékenység függvénye, de bizonyos fokig befolyásoló tényező az egyén kora, neme – tehát ez műszakilag nem változtatható)
- az emberi test hőleadása (nagymértékben függ a ruházattól, valamint az első 4 műszaki paraméter hatásától) (www.uponor.hu)

2.1.2. Szubjektív hőérzeti skála

A szubjektív hőérzetet egyes országokban szabványok rögzítik, mégpedig az ún. kellemes hőérzetet, amely az ASHRAE (2009) 55-81 szabvány szerint a következő:

"... A kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejezi ki."

A hőérzet számszerűsítése az ún. Szubjektív hőérzeti skála alapján történik:

1. táblázat 7 pontos szubjektív hőérzeti skála

Forrás: ASHRAE (2009)

Forró	+3
Meleg	+2
Kellemesen meleg	+1
Semleges	0
Kellemesen hűvös	-1
Hűvös	-2
Hideg	-3

Ezen belül a +1, 0, -1 „tartomány” az úgynevezett kellemes zóna.

A különböző sugárzásintenzitások szubjektív hőérzeti – elsősorban a bőrön érezhető – reakciójára számos adat található a szakirodalomban. Ebből mutatom be ASHRAE táblázatos értékeit.

2. táblázat A hőreakció ideje különböző sugárzási intenzitások esetén

Forrás: ASHRAE 2009

Elnyelt hőmennyiség [W/cm ²]	Maximális hőmérsékletnövekedés [°C]	Hőérzet
0,1050	10 (2 perc alatt)	Elviselhetetlen fájdalomérzet
0,0150	6 (4-5 perc alatt)	Forróság, égésérzet az arcon
0,0035	3 (6-7 perc alatt)	Melegérzés
010012	0,1-0,4 (10-15 perc alatt)	Enyhe melegérzet

2.1.3. Az emberi test hőtermelése

Az emberi testben égési folyamat megy végbe és ennek során az átalakuló energia részben hő formájában szabadul fel, részben izommunka végzésére fordítódik. Ehhez az égéshez az emberi testnek oxigént kell felvennie, mely felvétel mértéke egyben meghatározza a végzett munka intenzitását. Nyugalmi állapotban lévő felnőtt ember oxigén-fogyasztása 0,25 l/min. Ennek elégeésekor felszabaduló hő 88W. Izommunka végzésével az oxigénfogyasztás a nyugalmi állapot sokszorosára nő. Átlagos ember esetében rövid időtartamra elérheti a nyugalmi érték 12-szeresét, tehát 3 l/min értéket, amely megfelelő 1060W értéknek. (zeus.nyf.hu)

Az anyagcsere során az ún. Hasznos munka hatásfoka 20 %. Emellett az anyagcsere állandó hőmérsékleten $37\pm0,5^{\circ}\text{C}$ -on megy végbe. Ez az alapvető eltérés az egyszerű égés, amelynek a hőmérséklete nem állandó, és az anyagcsere között.

Az átlagos munkavégző képességre csak megközelítő adatok vannak. Ezek szerint egy átlagos fiatalember oxigénigénye – rendszeres munkavégzés esetén – 1 l/min, amely 350W teljesítménynek felel meg. Ebből levonva az alapanyagcsere 88W értékét, 262W eredményt kapunk. Az emberi teljesítőképesség felső határát sportolók esetében mérték. Ezek szerint a maximális oxigénfogyasztás elérheti a 4-5 l/min értéket is, rövid időtartamra, amely 735-960W teljesítményt jelent.

Ha a munkaterhelés meghaladja az egyén teljesítőképességét, bekövetkezik a kimerülés állapota, még akkor is, ha a munkavégzéshez szükséges oxigénfelvételt lehetővé tettük. A kimerülés okai:

- a munkavégzés során termelt hő leadása elégtelen (hyperthermia), amely főleg meleg, nedves klímában végzett munka esetén következhet be;
- a szervezet szénhidrátkészletének kimerülése (hypoglykaemia);
- a szívműködés a túlzott igénybevétel miatt elégtelen lesz.

A hasznos munka energiaszükségletét a gyakorlatban az oxigénfogyasztásból határozzuk meg, mégpedig úgy, hogy a mért fogyasztásból levonjuk a nyugalmi (alapanyagcsere) oxigénfogyasztást. A különbség az adott munka energiaigénye, vagyis az az energiamennyiség, amelyet a szervezetnek az adott munkatípushoz kell termelnie.

A munkák osztályozása intenzitás szerint:

- Könnyű munkának nevezik azokat a tevékenységeket, amelyek során a teljes oxigénfogyasztás a nyugalmi állapot fogyasztásának kétszeresét nem haladja meg, tehát a 0,5 l/min – 175W értéknél kisebb (ide sorolhatók az ülő foglalkozások).
- Közepes nehézségű munka esetén az oxigénfogyasztás a nyugalmi érték 2-4-szerese, tehát 0,5-1,0 l/min = 175-350W, amelyből az alapanyagcsere 88W. Ide sorolhatók a nem gépesített házimunkák, kézműipari tevékenységek, stb.
- Nehéz munka esetén a teljes oxigénfogyasztás a nyugalmi érték 4-8-szorosa, tehát 1-2 l/min. Az időegységre jutó teljes energiafogyasztás 350-700W (-88W). Ide sorolható a nehézipari és mezőgazdasági munkák legnagyobb része. (zeus.nyf.hu)

2.1.4. *Metabolikus hő*

Az emberi testben végbemenő oxidációs folyamat során keletkező un. metabolikus hő két részből tevődik össze: a külső mechanikai munkából (W) és a belső hőszükségletből (H). A külső mechanikai munka úgy értendő, hogy az ember által végzett mechanikai munkához szükséges hőmennyiséget ugyancsak az emberi testben végbemenő oxidációs folyamat fedezi:

$$M = H + W \quad (1)$$

W pozitív akkor, ha a fizikai munkához az energiát az M értékből kell fedezni, viszont W negatív, ha lejtőn sétálunk lefelé.

A mechanikai munka hatásfoka kifejezhető:

$$\eta = \frac{W}{M} \quad (2)$$

Vagyis:

$$H = M \cdot (1 - \eta) \quad (3)$$

vagy egységnyi testfelszínre kifejezve:

$$\frac{H}{F_{Du}} = \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1 - \eta) \quad (4)$$

Az F_{Du} az emberi test úgynevezett DuBois felülete, amely figyelembe veszi az egyéni legfontosabb tulajdonságokat.

$$F_{Du} = 0,203 \cdot G^{0,425} \cdot L^{0,725} \quad (5)$$

Ahol:

- G – az egyén tömege [kg];
- L – az egyén magassága [m];

A különböző munkavégzés számszerű hőegyenértékének meghatározására a „met” egységet használjuk:

$$\frac{M}{F_{Du}} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (6)$$

3. táblázat Példák különböző munkavégzésekre

Forrás: ASHRAE 2009

Tevékenység:	W/m ²	met
Nyugodt ülés	58	1,0
Alvás	41	0,7
Labormunka	93	1,6
Tanár	93	1,6
Bevásárlás	93	1,6
Kosárlabda	440	7,6

2.1.5. Az emberi test hőleadó képessége

Az emberi test a benne fejlődő hőt 4 módon tudja leadni: konvekcióval; sugárzással; vezetéssel; párolgással. A gyakorlatban a vezetéssel (2,4%) és a konvekciós hőleadás értékét együttesen kezelik. Az első 3 hőleadási módot száraz, utóbbit nedves hőleadásnak is nevezik. A műszaki gyakorlatban, illetve a számítások során a komfortparaméterek tartományában az össz-hőleadásnak:

- a sugárzásos hőleadás 42-44%-a
- a konvekciós hőleadás 32-35%-a
- a párolgásos hőleadás 21-26%-a

Míg a sugárzás és a konvekció azonban lehet pozitív és negatív, azaz hőfelvétel és hőleadás is, a párolgás csak negatív, azaz csak hőleadás lehet.

Az atmoszférikus feltételek változása eltéréseket okozhat, és meghatározza, hogy a hőátadás melyik módja érvényesül. A levegőhőmérséklet csökkenése, a légáramlás sebességének növekedése következtében a konvekciós hőleadás mértéke nő, 30-34°C felett viszont a szervezet konvekcióval hőt vesz fel.

A verejtékezés 28-29°C környezeti hőmérséklet felett kezdődik és 34°C értéke felett a párolgás, illetve a verejtékezés a szervezet egyetlen hőleadási lehetősége. A határoló felületek hőmérsékletének csökkenésével a sugárzásos hőcsere törvényének megfelelően nő a sugárzásos hőleadás, viszont a levegő nedvesebb a test sugárzásából ez viszonylag többet nyel el. A párolgásos hőleadás mértéke a relatív nedvességtartalomtól függ. (zeus.nyf.hu)

2.1.6. Az emberi test hőcseréjének számításakor alkalmazott hőmérsékletértékek

1. **Az ambiens hőmérséklet (t_a)** a környezet azon hőmérséklete, amikor a levegő és a határoló felületek hőmérséklete azonos. Mérésére árnyékolt léghőmérőt alkalmaznak. (www.uponor.hu)
2. **A közepes sugárzási hőmérséklet (t_{KS})** - mint az emberi test sugárzásos hőcseréje szempontjából alapvetően fontos értéke - meghatározására általában a szakirodalomban több összefüggést találunk, ezekből kettőt ismertetek:

- a.) A legegyszerűbb a felületek nagyságának és hőmérsékletének átlagértékét figyelembe vevő

$$t_{KS} = \frac{F_1 \cdot t_1 + F_2 \cdot t_2 + \dots + F_n \cdot t_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} [^\circ\text{C}] \quad (7)$$

összefüggés, ahol:

- $F_1, \dots, F_n$ - a környező felületek területe [m^2],
- $t_1, \dots, t_n$ - az azonos indexű felületek hőmérséklete [$^\circ\text{C}$].

- b.) A következő az általánosan ismert

$$t_{KS} = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n \varphi_{EFi} \cdot T_{Fi}^4} - 273 [^\circ\text{C}] \quad (8)$$

összefüggés, amely már figyelembe veszi a sugárzásos hőcserében részt vevő testek közötti besugárzási tényezőt is.

- φ_{EFi} - a test súlypontjába helyezett függőleges felületelem és az egyes határoló felületek közötti besugárzási tényező,
- T_{Fi} - a környező határoló felületek hőmérséklete [K], mely figyelembe veszi a sugárzásos hőcserében résztvevő testek közötti besugárzási tényezőt

3. **Az operatív hőmérséklet (t_o)** a műszaki gyakorlatban általánosan alkalmazott hőmérsékletérték, amely a levegő és a környezet közepes sugárzási hőmérsékletének értékét egyaránt figyelembe veszi:

$$t_o = \frac{a_s \cdot t_{KS} + a_c \cdot t_l}{a_s + a_c} \quad (9)$$

- a_s - sugárzásos hőátadási tényező, ASHRAE szabvány szerint $3,98 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- a_c - konvekciós hőátbocsátási tényező (számolandó) $[\text{W/m}^2\text{K}]$

$$\text{Nyugvó levegőben: } a_c = 2,38 \cdot (t_{cl} \cdot t_l)^{0,25} \text{ ha } v_l < 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (10)$$

$$\text{Kényszeráramlás esetében: } a_c = 12,1 \cdot \sqrt{v_l} \text{ ha } 0,5 < v_l < 2,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (11)$$

Amelyik nagyobbra jön ki, azzal számolunk.

- t_l - a levegő hőmérséklete $[^\circ\text{C}]$ (ambiens hőmérséklet)

4. **Az eredő hőmérséklet (t_R)** a levegő és közepes sugárzási hőmérséklet számtani közepe, a konvekciós és sugárzási hőátadási tényezőket azonosnak tételezi fel.

$$t_R = (1 - R) \cdot t_l + R \cdot t_{KS} \quad (12)$$

$$R \approx 0,5$$

5. **A ruházat közepes hőmérséklete (t_{cl})** tulajdonképpen a ruházat és a ruházattal nem borított testfelületek átlagos hőmérséklete. Számszerű értéke a $21\text{-}26^\circ\text{C}$ közötti komforthőmérséklet-tartományban $\approx 28^\circ\text{C}$.

A különböző ruhaanyagok és fajták számszerű hőegyenértékének meghatározására a „clo” egységet használjuk:

$$1 \text{ clo} = 0,155 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad (13)$$

melynek szemléltetésére táblázatba foglaltam néhány ruha hőszigetelési értékét.

4. táblázat Ruhaneműk clo értéke

Forrás: ASHRAE 2009

Ruhák megnevezése	clo érték
Rövidujjú póló	0,19
Vastag pulóver	0,36
Rövidnadrág	0,08
Farmernadrág	0,15
Alsónemű	0,04
Zokni	0,03
Utcai cipő	0,03
Overál	0,30

6. A testhőmérséklet (t_E)

$$t_E = (1 - k) \cdot t_b + k \cdot t_{rc} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (14)$$

ahol:

- t_{rc} – a maghőmérséklet (36-38°C)
- k – 0,8-0,9 hőegyensúly és izzadás esetén vagy 0,67 hideg környezetben

7. A bőrhőmérséklet (t_b) meghatározható termovíziós felvételekkel, méréssel, számítással vagy diagramból.

a) Számítással:

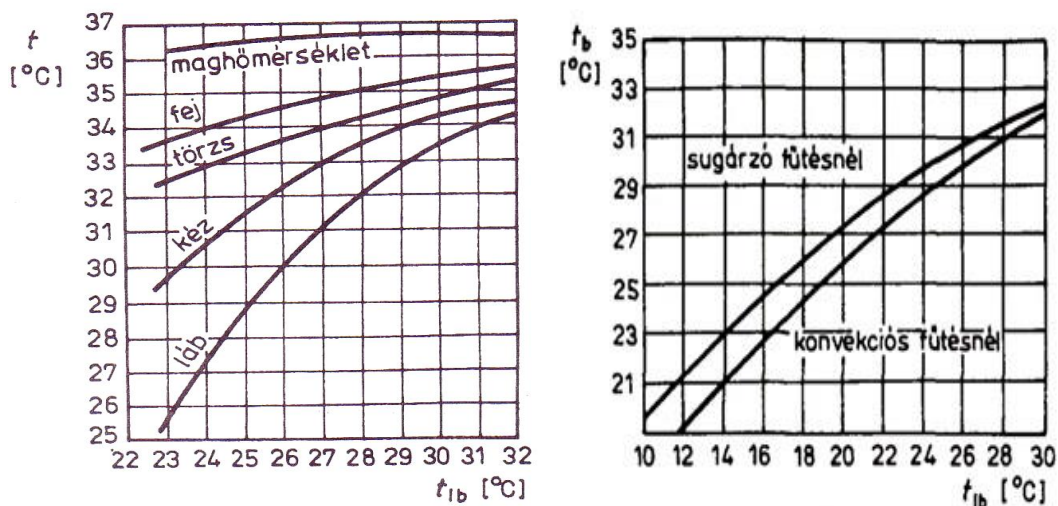
a. mezítelen emberre

$$t_b = 24,85 + 0,332 \cdot t_o - 0,00165 \cdot t_o^2 \quad (15)$$

b. 0,6-1,0 clo értékű ruházatot viselő emberre:

$$t_b = 25,8 + 0,267 \cdot t_o \quad (16)$$

b) A bőrhőmérsékletet diagramok alapján is meghatározhatjuk a levegő hőmérséklet függvényében.



2. ábra A test- és a bőrhőmérséklet összefüggése a levegő-hőmérséklettel

Forrás: ASHRAE 2009

A diagram megállapítható, hogy azonos léghőmérséklet mellett, ha a zárt térben konvekciós fűtés helyett sugárzó fűtést alkalmazunk, akkor a térben tartózkodó egyének bőrhőmérséklete nagyobb lesz. Ennek megfelelően azonos hőérzet eléréséhez kisebb léghőmérséklet is elegendő, ha sugárzó fűtést alkalmazunk, tehát úgy érünk el energiamegtakarítást, hogy a hőérzet megfelelő marad. (www.uponor.hu)

2.2. Hőközlés

„A hő önmagától nem megy át hidegebb testről melegebb testre anélkül, hogy munkát ne végezne. A hő természetes áramlásához is nem térbeli, hanem hőmérsékletesítés szükséges. Ha melegebb térből hő áramlik hidegebb térbe, a magasabb hőmérsékletű tér hőfoka csökken, az alacsonyabb hőmérsékletű tér emelkedik. Ha a hőmérsékletek kiegyenlítődtek, azonos hőmérsékletű terek között hőáramlás nincsen.” (Komondy és Halász, 1970)

2.2.1. Hővezetés

Vezetés útján csak anyagban terjed a hő, teljes vákuumban hővezetés sincs. A jó hővezetőben a hő gyorsan, a rossz hővezetőben lassan terjed. Jó hővezetők a fémek, közepesen vezetnek az építkezési anyagok, rossz hővezetők a szigetelőanyagok és a gázok. Hőszigetelőként olyan szilárd anyagokat használunk, amelyek lyukacsos, laza szerkezetűek. (Komondy és Halász, 1970)

2.2.2. Hőáramlás (hőátadás)

„A folyadékokban és gázokban a hő a közeg áramlása útján terjed. Az áramló folyadék vagy gáz magával „szállítja” a hőtartalmát, és ez számottevőbb lehet, mint a nyugalomban tartott közeg hővezetése. A hőátadás egyik módja a kényszeráramlás. Ez esetben a folyadékot vagy gáznemű közeget gépi úton (szivattyúval, ventilátorral) tartjuk áramlásban.” (Komondy és Halász, 1970)

2.2.3. Hőátbocsátás

A gyakorlatban a hőátadás és a hővezetés együttesen lép fel. A hűtőhelyiség külső falán a környező levegőből hőátadás, a falon és szigetelésen keresztül vezetés, a belső fal és a helyiség levegője között ismét hőátadás megy végbe. Hasonlóképpen a hűtőhelyiség levegőjéből hőátadás történik a hűtőtest felületére, a csőfalon belül vezetés, a belső csőfal és a hűtőközeg között ismét hőátadás van. A kondenzátorban a hűtőközezből a csőfalnak átadás, a csőfalon át vezetés, a másik oldalon a csőfal és a víz között ismét hőátadás megy végbe. A hő terjedésének ezt az összetett módját, amikor tehát egy folyékony vagy gáznemű hűtőközezből egy szilárd testen keresztül jut a hő egy másik gáznemű vagy folyékony közegbe, hőátbocsátásnak nevezzük. (Komondy és Halász, 1970)

2.2.4. Hősugárzás

A hősugarak egyenes vonalban terjednek, éppen úgy visszaverődnek és megtörnek, mint a fénysugarak. A fényes felületek a fénysugarakat visszaverik. A levegő a sugarakat

átbocsátja és megtöri. A testek a rájuk eső hősugarak egy részét elnyelik és hatásukra felmelegsznek. A sötét, durva felületű testek több hősugarat nyelnek el és többet is sugároznak ki, mint a világos, csiszolt felületűek. A kisugárzott energia a test hőmérsékletétől függ. A hősugárzásnak a hűtőtechnikában alig van jelentősége, ezért részletesen nem foglalkozok vele. (Komondy és Halász, 1970)

2.2.5. Hőszigetelők

Ilyen célra a lazaszövetű anyagok és a nyugvó levegő jönnek elsősorban figyelembe, mert ezek hővezető képessége nagyon kicsi. Az utóbbi esetében azonban gondosan ügyelni kell arra, hogy benne konvekciós áramlás ne alakulhasson ki, mert az áramlásban levő levegő már nem hőszigetelő. (Komondy és Halász, 1970)

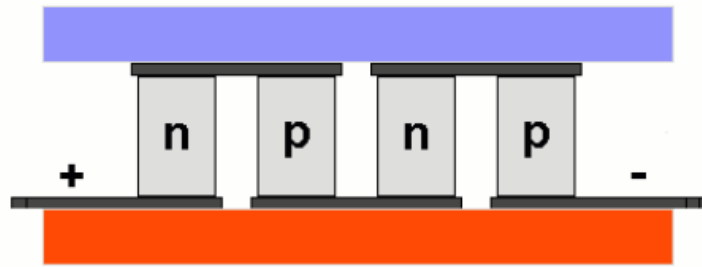
2.3. Elektrotechnika

2.3.1. Termoelektromos hűtés

A Peltier-elem egy félvezető alapú termoelektromos hűtőlap, amelynél ha egyenfeszültséget kapcsolunk a kivezetéseire, akkor egyik oldala felmelegszik, a másik pedig lehűl. Ezzel hőmennyiséget tud elvonni egy rendszerből, amit egy másik rendszernek átad.

Két, egymással mindkét végénél összeforrasztott vezetőből álló áramkörben elektromos feszültség keletkezik, illetve áram folyik, ha a forrasztási helyeket különböző hőmérsékleten tartják. Azt a feszültséget, amely 1 K hőmérsékletkülönbség hatására így létrejön (V/K), „termo-erő”-nek nevezik. Ha az előbbi áramkörbe áramot vezetünk, az egyik forrasztási hely hűl, a másik pedig melegedik. Ez azt jelenti, hogy az egyik forrasztási hely hőt tud felvenni, a másik pedig leadni. Ez a termoelektromos hűtés, illetve fűtés és hőszivattyú elve. Fémekből összeállított elempárokkal azonban csak igen kis hőmérsékletkülönbségeket lehet produkálni. Az összekapcsolásukból létrejövő „termoerő” ugyanis meglehetősen kicsi, a veszteségek pedig (pl. hővezetés) nagyok. A termoelektromos jelenséget nem is lehetett gyakorlati célokra hasznosítani a félvezetők feltalálásáig, illetve azok ipari előállításáig. Egy Peltier-elem azonban a rákapcsolt egyenfeszültség hatására már használható hűtőteljesítmény kifejtésére is alkalmas. (mono.eik.bme.hu)

A Peltier-elemek speciális félvezető anyagból készülnek, leggyakrabban bizmut-tellridből (Bi_2Te_3). Ezt gyakran ötvözik még szelénnel és antimonnal. Ebből bonyolult eljárással anizotróp termoelektromos tulajdonságú p- és n-típusú cellák készülnek.



3. ábra p- és n-típusú cellák szemléltetése

Forrás: mono.eik.bme.hu

A cellákat előre kialakított kerámialapok közé forrasztják, amelyek kellő szilárdságot adnak az eszköznek. Ha ezen a cellasoron egyenáramot vezetünk végig, akkor az elektronok az alacsony energiaszintű vezetési sávú, p-típusú cellából csak akkor tudnak átlépni a magas energiaszintű n-típusú sávba, ha közben energiát vonnak el a környezettől, azaz hűtik a csatlakozási pontot. A nagyobb teljesítmény érdekében elektromosan sorba, termikusan pedig párhuzamosan helyezik el ezeket a cellákat, illetve cellapárokat. Ezáltal a másik oldalon pedig hő fog felszabadulni. Ezért lesz a Peltier-elem tulajdonképpen egy mozgó alkatrészek nélküli félvezető hőszivattyú. A mai technikával a hatásfoka már megközelíti a kompresszoros hűtéssel elért értékeket is.

A Peltier-elem másik felhasználási módja a Seebeck-effektust használja ki, ami a Peltier-effektus inverze. Tehát a hőmérsékletkülönbség hatására a csatlakozási pontoknál feszültség keletkezik, amivel munkát lehet végezni. Ez természetesen inkább érdekesség, mint gyakorlati megvalósításra váró ötlet ugyanis a hatásfoka (max. 3-5%!) még a napelemektől (akár 50%) is elmarad ebben az üzemmódban.

A Peltier-elem működése több „tisztán” hőtani folyamatra vezethető vissza. Ez a Peltier-effektus, Seebeck-effektus, Joule-hő, Thomson-effektus és hővezetés:

a) Seebeck-effektus

Ha két különböző vezetőből zárt áramkört készítünk és az egyik forrasztási helyet T , a másikat pedig $T+dT$ hőmérsékleten tartjuk, akkor a körben:

$$U = dT \cdot a \quad (17)$$

Feszültség keletkezik. A képletben a az ún. Seebeck-együttható, amely a felhasznált anyagkombinációra jellemző, függ a hőmérséklettől, de a geometriától nem.

b) Peltier-effektus

Ez a Seebeck-effektus inverze. Ha ugyanezek a vezetőkön I áram halad keresztül, akkor a forrasztási pontokon áramiránytól függően hő nyelődik el vagy keletkezik. Ennek mértéke:

$$P = a \cdot T \cdot I \quad (18)$$

ahol:

- a - a Seebeck-együttható,
- I - az átfolyó áram és
- T - az adott oldal abszolút hőmérséklete.

c) Joule-hő

Egy R ellenállású izoterm vezetőben időegység alatt fejlődő hőmennyiségből származó hőteljesítmény, ha rajta I áram halad át.

$$P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \quad (19)$$

ahol:

- I az átfolyó áram erőssége,
- U a két pont között mért feszültség,
- R pedig a vezető ellenállása.

d) Thomson-effektus

Ha egy homogén vezető mentén hőmérséklet-különbséget hozunk létre, s ezen a vezető szakaszon I áram folyik keresztül a hőmérsékleti gradiens felé, akkor a vezetőn hő nyelődik el, illetve hő szabadul fel. Peltier-elelemnél egyszer hő nyelődik el másszor hő szabadul fel. Ezek kioltják egymást ezért ezt az effektust a tanulmányozás során nem kell figyelembe venni. (mono.eik.bme.hu)

e) Hővezetés

A hővezetés során a melegebb oldalról hőteljesítmény fűti a hidegebb oldalt, ami ellentétes a Peltier-effektussal, ezért rontja a hatásfokot. A hőteljesítmény értéke:

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{d} \quad (20)$$

ahol

- λ - a hővezetési együttható,
- dT - a különbségi hőmérséklet,
- A - a felület és
- d - a vastagság az adott elemnél.

Ezen képletekből ki lehet fejezni a Peltier-elem energetikai viszonyait a hűtött és fűtött oldalra nézve:

$$P_{fűtő} = 0,5 \cdot I \cdot U + a \cdot T_m \cdot I - \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{d} \quad (21)$$

$$P_{hűtő} = 0,5 \cdot I \cdot U + a \cdot T_h \cdot I - \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{d} \quad (22)$$

$$P_{Peltier} = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \quad (23)$$

2.3.2. Akkumulátorok

A mobil készülékek elengedhetetlen kelléke a hordozható áramforrás. Az akkumulátor energiatároló berendezés, amely töltéskor a bevezetett villamos energiát vegyi energiává alakítja át, vegyi energia formájában huzamosabb ideig tárolni tudja, majd kisütéskor villamos energiává alakítja vissza. Az akkumulátor közvetlenül csak egyenfeszültség tárolására, szolgáltatására alkalmas.

Az akkumulátorra fogyasztót kapcsolva (kisütés) az akkumulátor úgy működik, mint egy galvánelem; a töltésszétválasztó folyamat közben elektródáinak anyaga átalakul. Amikor ez a folyamat teljesen végbement, az akkumulátor kisütött állapotba kerül, a kezdeti feszültségértéke lecsökken.

A töltés során a kapcsaira adott feszültség hatására töltőáram alakul ki (ilyenkor az akkumulátor, mint fogyasztó energiát vesz fel), melynek hatására az előbbi vegyi folyamat fordított irányban megy végbe, és az elektródák anyaga eredeti állapotba kerül vissza. A folyamat végén az akkumulátor feltöltődött, és ismét képes energiát szolgáltatni.

Az akkumulátor kapocsfeszültsége a kisütés során folyamatosan csökken, a töltés során folyamatosan nő. Ha kisütés közben kapocsfeszültsége a típusától függő érték alá esik, az akkumulátor kisült, a kisütést be kell fejezni, mert a további terhelés az akkumulátor károsodását okozhatja. A töltést szintén be kell fejezni, amikor a kapocsfeszültség a töltésre megadott értéket eléri. A túltöltés ugyanúgy tönkretelheti az akkumulátort, mint a megengedettnél nagyobb kisütés. Fajtái:

- Nikkel-Kadmium (NiCd): hosszú élettartam és jó töltés-ürítési arány, jól bírja a hőmérséklet-ingadozást, mérgező fémeket tartalmaz - EU Akkumulátor Direktíva: csak ott használható, ahol helyettesítésük nem megoldható
- Nikkel-Metál-Hidrid (NiMH): több energiát szolgáltat a Nikkel-Kadmium akkumulátoroknál és nem tartalmaznak mérgező anyagokat, viszont hamarabb évnél el

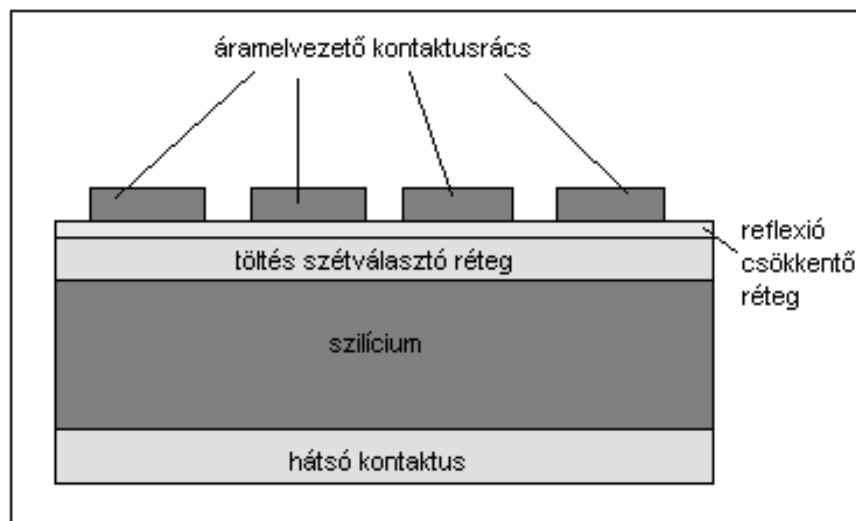
- Ólmos-savas: gyakorlatilag pótolhatatlanok azon iparágakban, ahol a nagy tömeg nem probléma
- Lítium-ion (Li-ion): kis tömeg mellett viszonylag sok energiát szolgáltatnak, emellett élettartamuk is hosszú, gyors újratöltés, kismértékű önkisülés, hátránya biztonsági berendezés igénye, hiányában túlmelegszik, netán fölrobbanhat (akkumlator.infobomba.hu)

Vizsgálataim alapján a legmegfelelőbb akkumulátornak Lítium-ion bizonyult saját tervezésű szerkezetemhez.

2.3.3. Napelemek

A napelemek a Napból érkező sugárzás energiáját töltésszétválasztás révén villamos energiává alakítják. Ismert, hogy a sugárzás adagos, az energiát a fotonok szállítják. Ahhoz, hogy egy fényvezető rétegben töltésmegosztás következhesen be, a beérkező fotonok energiájának bizonyos szintje szükséges. Ebből következik, hogy a napelemek a napfény spektrumnak csak egy bizonyos tartományában érkező sugárzást képesek hasznosítani.

A napelemek, amelyeket napjainkban tömegesen gyártanak és alkalmaznak, szinte mind kizárólag szilíciumból készülnek. A szilícium a Földön előforduló leggyakoribb ásvány, leginkább közismert megjelenési formája a homok. A szilícium alapanyagot megtisztítják, egykristállyá húzzák, vagy polikristályos szerkezetnél grafit, illetőleg kerámiaformába öntik, majd a szigetelés következik. Ezt követően kialakítják a töltés szétválasztó réteget, illetve szitanyomásos eljárással létrehozzák az áramelvezető kontaktusokat. (Gyurkovics, 1982)



4. ábra Napelemek elvi felépítése

Forrás: Gyurkovics 1982

Hogy megértsük a fotocellák működési elvét, meg kell ismernünk azok építő elemeit és a fény természetét. A szolár cellák két fajta anyagot tartalmaznak, ezeket p-típusú és n-típusú félvezetőknek nevezzük. Bizonyos hullámhosszú fény képes a félvezető atomjainak ionizációjára, ezáltal a beeső fotonok többlet töltéshordozókat keltenek. A pozitív töltéshordozók (lyukak) a p-rétegben, míg a negatív töltéshordozók (elektronok) az n-rétegben lesznek többségben. A két ellentétes töltésű réteg töltéshordozói habár vonzzák egymást csak egy külső áramkörön keresztül áramolva képesek rekombinálódni, a köztük lévő potenciál lépcső miatt.

Egy fotoelektromos cella teljesítményét a következő három dolog határozza meg:

- a típusa és mérete a szolár cella anyagának
- a fény intenzitása
- a fény hullámhossza

A szimpla szilícium kristály alapú szolár cellák például nem képesek a napsugárzás energiájának 20 %-nál többet elektromos árammá alakítani, mivel az infravörös tartományban a fénynek nincs elég energiája, hogy ionizálja a félvezető atomjait. Polikristályos szilícium szolár cellák hatásfoka 15 % körüli, az amorf szilícium celláké 5%. A leadott teljesítmény szinte egyenesen arányos a napsütés intenzitásával. Egy fontos tulajdonsága a szolár celláknak, hogy a cella feszültsége nem függ a méretétől, és nem befolyásolja a fény intenzitásának változása sem. Így a szolár cella áramerőssége szinte egyenes arányban van a cella méretével és a fény intenzitásával. (Kuhlmann, 2002)

3. JELENLEGI LEHETŐSÉGEK TESTHŰTÉSRE

Az emberek hőszabályozó képessége minimális energiafelhasználást követel egy viszonylag stabil belső hőállapotért, a környezeti feltételek és hőgenerálás variációinak ellenére. A test elsődleges hőcserélője speciális vaszkuláris területek, melyek megtalálhatóak a tenyerek, a talpak, a fülek és az arc alatt. A test a maghőt közvetetten tudja szabályozni speciális vaszkuláris testfelületein keresztül. (Grahn, Cao és Heller, 2005)

Az emberi test hűtésére számos eszközt használnak az orvoslásban. Belső és külső módszerekkel, gyógyszeres terápiával és egyéb intézkedésekkel történhet a testhűtés kivitelezése. Hűtött (4°C) infúziót adnak perifériás vénába, illetve a gyomorba jeges vizet töltenek. Az ütőerek feletti területet jeges pakolással hűtik, a koponyát speciális hűtőgéllal (cryo-gel) fedik.

3.1. CoreControl™ vizsgálata

A CoreControl™ az RTX technológiára épül. A test maghőjének visszahűtésére fejlesztették ki. A testhőmérséklet emelkedése akadályozza fizikai teljesítőképességünket. A CoreControl™ javítja ezt, továbbá segíti erőnk visszanyerését.

3.1.1. Működési elve

2009-ben felfedezték, hogy egy enzim, névszerint Muscle Pyruvate Kinaze (MPK) – izom piruvát kináz – melyre szükségük van az izmoknak kémiai energia előállítására, nagyon hőmérséklet-érzékeny. Normális testhőmérsékleten az enzim aktív, de hőmérsékletnövekedéskor elkezdenek inaktívvá válni. Az izmok amint elérik a 40°C-ot, az enzim működése teljesen leáll. Erre az a magyarázat, hogy izomműködéskor hő termelődik. Ha túl sokáig tart a hőtermelés, a sejtek elhalnának. Amikor az izmok visszahűlnek, az enzim is újra aktív lesz. (www.corecool.co.uk)

A CoreControl™ a test természetes hőszabályozását használja fel. A tenyérben található különleges érrendszer felel a hőleadásért. Ezek a test „radiátorai”, melyek közvetlenül a bőrfelszín alatt találhatóak meg. A CoreControl™ kis vákuummal közelebb hozza az ereket a bőrfelszínhez és lehűti a vért. A szerkezet belseje működtetéskor 15-17°C-ra hűl le, így még megakadályozva az erek összehúzódását. Csak ezzel a kombinációval érhető el látványos javulás teljesítőképességünkben. (Grahn, 2007)

3.1.2. Felépítés

A CoreControl™ két fő részből épül fel. Az egyik a hűtőtáska, a másik a kézhűtő tok. A táskában kapott helyett a víztartály, a vízszivattyú, a vákuumszivattyú, az akkumulátor és a

vezérlés. A táskából három cső csatlakozik a kézhűtő tokhoz, egyik a vákuumért felelős, a másik kettőn a hideg víz áramlik.



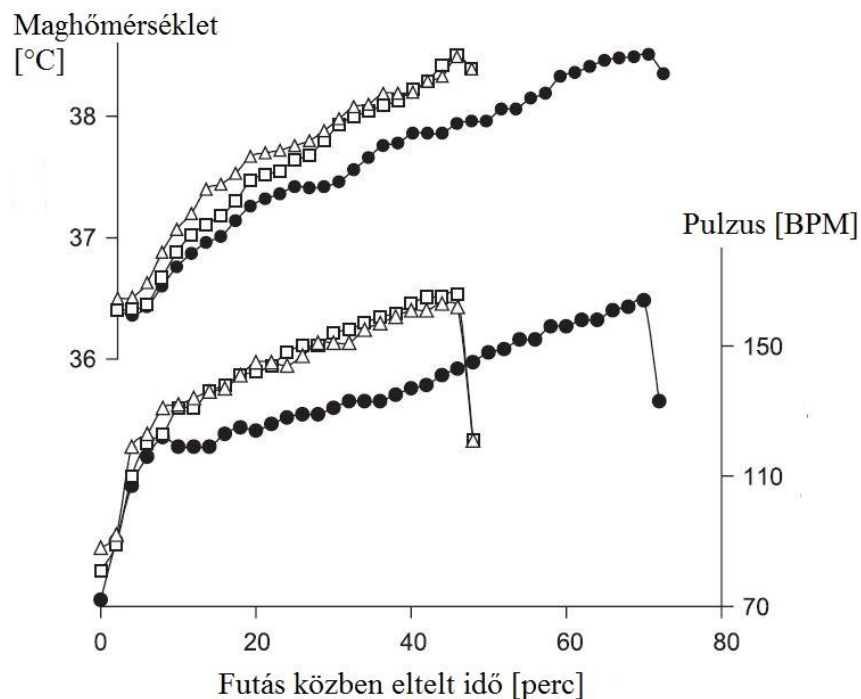
Vízkeringetéssel hűti a tenyeret vákuum alatt

5. ábra CoreControl™ működése (korábbi verzió)

Forrás: <http://www.corecool.com/>

3.1.3. Eredmények

A CoreControl™ hatékonysága vitathatatlan. A tenyér hűtésének és kismértékű vákuum alkalmazásának kombinációja valóban javít a teljesítményünkön.



6. ábra Futás közben maghőmérséklet és pulzus mérése idő függvényében

Forrás: Grahn, Cao, Nguyen, Liu és Heller, 2012

Az alany háromszor kimerülésig futott 6 km/h-val 40°C-os, 35% relatív páratartalmú környezetben egy futópadon. Első alkalommal maghűtés nélkül ($\square$), második alkalommal egyik kezén egy RTX készülékkel vákuum nélkül (Δ), harmadik alkalommal a vákuumot is bekapcsolták ($\bullet$). (Grahn és Heller, 2005)

Az első és második futás között nem látható nagy különbség, a harmadik kísérlet viszont egyértelműen mutatja, hogy vákuum alkalmazása a hűtés mellett elengedhetetlen a jobb teljesítmény érdekében. (Grahn, Cao, Nguyen, Liu és Heller, 2012)

4. SAJÁT TERVEZÉSŰ SZERKEZET

4.1. Prototípus

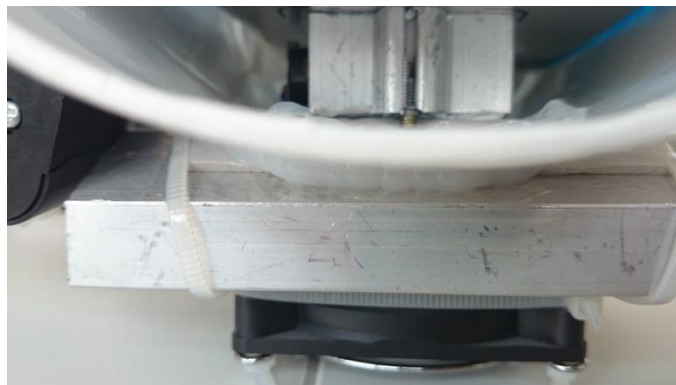
Elkészítettem egy olyan szerkezetet, mely ugyancsak a RTX technológiára épül (6. melléklet). A szakirodalom és a CoreControl™ vizsgálata után arra jutottam, hogy a céljaimnak legmegfelelőbb hűtésnek a termoelektromos elem bizonyult.

5. táblázat Alkatrészek

PVC csőidom $\varnothing 125\text{mm}$	Hűtőborda $130 \times 100 \times 30\text{mm}$	Számítógép Ventilátor $\varnothing 70\text{mm}$
PVC szűkítőidom $\varnothing 125/110\text{mm}$	Alumíniumtömb $40 \times 40 \times 30\text{mm}$	Peltier-elem $40 \times 40 \times 3\text{mm}$
Csőbilincs $\varnothing 125\text{mm}$	Alumíniumlap $150 \times 100 \times 0,6\text{mm}$	Vákuumszivattyú
Neoprén kesztyű	Jégzselé tasak	AC-DC konverter
PVC tömlő $\varnothing 6\text{mm}$	F.BS Szilikonragasztó	Kapcsolópanel
Fém tömlőcsatlakozó $\varnothing 6\text{mm}$	Szigetelőszalag	DC-DC konverter

4.1.1. Felépítés

PVC idomokból készítettem el a szerkezet vázát. A légmentes zárást és rögzítéseket szigetelő szivaccsal, szilikonragasztóval és neoprén anyaggal oldottam meg. A Peltier-elem egyik oldalára hűtőborda, a másik oldalára alumínium tömb került, melyeket csavarkötéssel rögzítettem egymáshoz, közrefogva a Peltier-elemet (6. ábra). Az alumínium tömb a váz belsejében kapott helyet. A tömbre csavaroztam alumíniumlemezt, arra került a jégzselé tasak.



6. ábra Közrefogott Peltier-elem

Vákuum létrehozására és fenntartására –mely az értáguláshoz szükséges– elektromos vákuumszivattyút használtam. A légnyomást gumicsövön keresztül csökkentettem a szerkezet belsejében egészen -35 mmHg nyomásig. A nyomás mérésére alsó csatlakozással ellátott mmHg beosztású vákuummérő órát használtam.

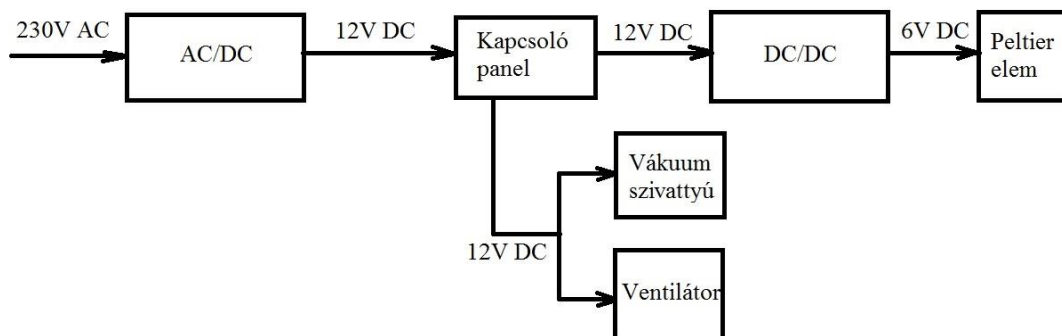
6. táblázat Vákuumszivattyú főbb jellemzői

Forrás: www.sparkfun.com

Teljesítmény	12-15 l/min
Végvákuum	-16 mmHg
Üzemi feszültség	12 V DC
Motorszerkezet	Olajozott vasmag
Működési hőmérséklettartomány	0-50°C

A szerkezet áramköre hat fő részből áll (7. ábra). AC/DC konverter átalakítja a váltakozóáramot egyenárammá, ugyanis a mérések során 230V hálózati feszültségről üzemeltettem a szerkezetet.

A kapcsolópanelen a Peltier-elem működését lehet állítani, hogy hűtsön vagy melegítsen. A panel továbbá áramellátást biztosít a vákuumszivattyú és a ventilátor számára. DC/DC konverter segítségével állítható a kimenő feszültség. Vizsgálataim alapján 6V elegendő a Peltier-elem számára a megfelelő hűtési tartomány fenntartására (15-17°C).



7. ábra A prototípus áramköri vázlata

4.1.2. Mérések

A méréseket a mérnöki kar D-épületének műszaki hőtan és folyamatmérnöki laborjában végeztem.

Az alábbi geometriai méretekkel rendelkező Peltier-elemmel végeztem méréseket:

- Szélesség: 40mm
- Hosszúság: 40mm
- Vastagság: 3mm

Mérés célja: Peltier-elemmel működtetett RTX készülék hatékonyságának vizsgálata.

A mérési berendezés a következőkből állt:

- egyedi tervezésű RTX szerkezet
- Testo 174 H mini hőmérséklet- és páratartalom adatgyűjtő

7. táblázat Testo 174 H főbb műszaki adataiForrás: www.testo.hu

Memória	16000 adat
Üzemi hőmérséklet	-40...+70°C
Elem típusa	2 db Lítiumelem
Páraérzékelő	
Méréstartomány	0-100 %rH
Pontosság	±3%rH (2-98%rH); ±0,03%rH/K
Felbontás	0,1%rH
Termisztor (Negatív karakterisztikájú)	
Méréstartomány	-20...+70°C
Pontosság	±0,5°C (-20...+70°C)
Felbontás	0,1°C

**8. ábra** Testo 174 H

- Voltcraft energy logger 4000 hálózati fogyasztás adatgyűjtő

8. táblázat Voltcraft Energy Logger 4000 főbb műszaki adatai

Forrás: www.conrad.hu

Kivitel	Dugaljhoz
Kijelzési tartomány	0,001-9999 kWh
Saját felhasználás	1,8 W
Pontossági osztály	$\pm(1\%+1 \text{ digit})$
Frekvencia	50 Hz
Feljegyzési tartam	4320 óra
Hatásos teljesítmény tartomány	1,5-3500 W
Üzemi feszültség	230 V/AC
Hatékony áramtartomány	0,01-15 A



9. ábra Voltcraft Energy Logger 4000

- Testo 177-T4 hőmérséklet adatgyűjtő

9. táblázat Testo 177-T4 főbb műszaki adatai

Forrás: www.testo.hu

Memória	48000 adat
Üzemi hőmérséklet	0...+70°C
Elem típusa és élettartama	Lítiumelem; >5 év
Érzékelő: T-típusú Cu-CuNi	-200...+400°C
Érzékelő: K típusú NiCr-Ni	-200...+1000°C
Felbontás	0,1°C
Érzékelő: J típusú FeCuNi	-100...+750°C



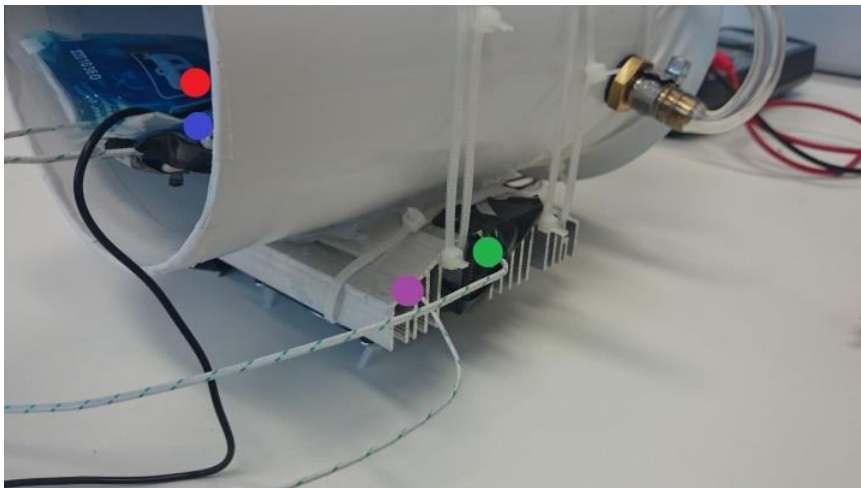
10. ábra Testo 177-T4

- 4 db K-típusú NiCr-Ni hőelem

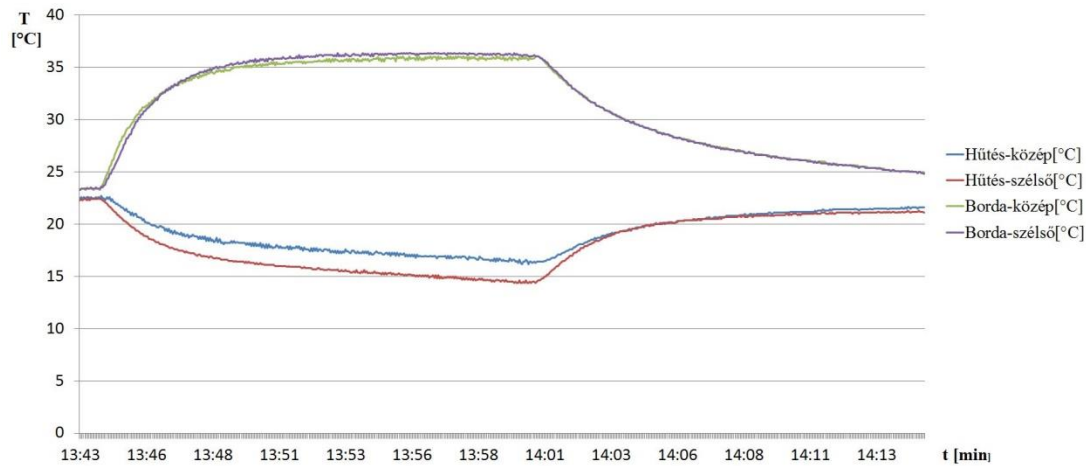
A mérési adatokat a mérőeszközhöz kapott szoftverekkel és Microsoft Excel táblázatkezelő programmal dolgoztam föl.

1. A mérések alatt a helyiség hőmérsékletéről és páratartalmáról gyűjtöttem adatot. A szobahőmérséklet $24,7^{\circ}\text{C}$, a páratartalom 54-55%rH volt, mely értékeket légkondicionáló segítségével tartottam.

2. Két hőelemet helyeztem el a hűtőborda szélső (lila) és középső (zöld) pontján valamint még kettőt az alumíniumlap szélére (kék) és közepére (piros).



11. ábra Alulap/borda hőmérés



12. ábra Alulap/borda hőmérés (1. melléklet)

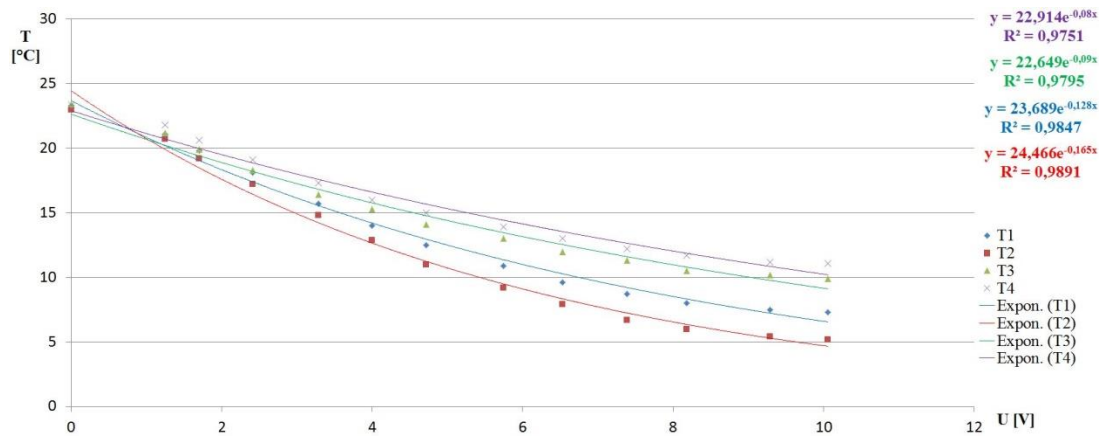
A szerkezetet 15 percen át (13:45-14:00) hagytam bekapcsolva. A hatásos hűtési hőmérsékletet a 10. ábrán láthatóan 3 perc után elérte és exponenciálisan tovább csökkent. A hűtőborda körülbelül 10 perc alatt érte el a küszöbértékét ($36,5^{\circ}\text{C}$) melyet kikapcsolásig tartott.

A következő 15 percben kikapcsolt állapotában mértem a kiindulási ponthoz való visszaállási időt, melyhez a diagram alapján több, mint 15 perc szükséges.

3. Négy darab hőelemet helyeztem el az alumíniumlapon belülről kifelé haladva (1.kék, 2.piros, 3.zöld, 4.lila). A kék ponton elhanyagolható eltérés volt tapasztalható, mivel középen három milliméterrel vastagabb a hűtött keresztmetszet szerkezeti felépítés miatt.



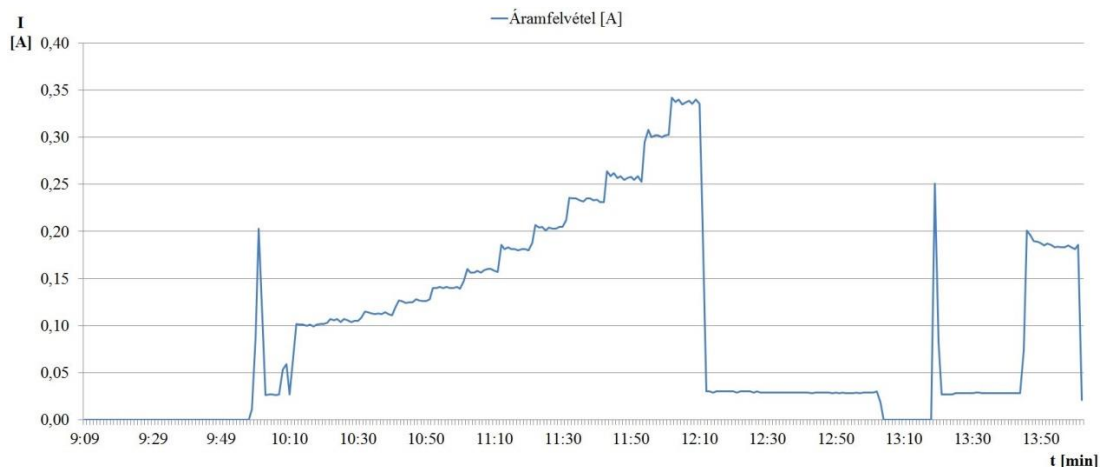
13. ábra Alulap négy pontos hőmérése



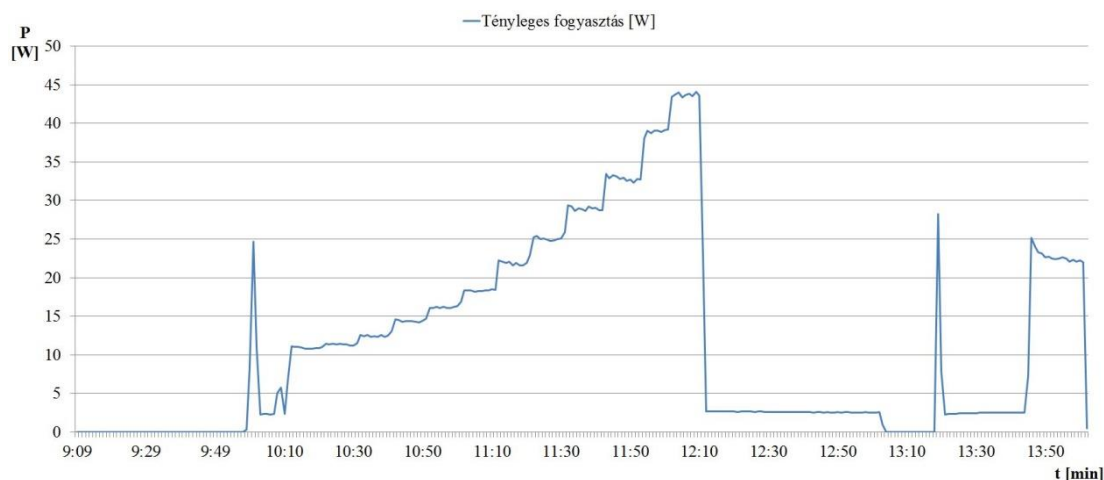
14. ábra Alulap négy pontos hőmérése (2. melléklet)

A mérés megkezdése előtt a minimális értékre tekertem le a DC-DC konverter potenciométerét ($\approx 2V$). Bekapcsoláskor 10 percig hagytam állandósulni a hőmérsékletet, majd fél fordulatot tekertem a potenciométeren és újra hagytam állandósulni a hőmérsékletet. Ezt a folyamatot ismételtam meg tíz alkalommal (fél fordulatonként $+0,5-1V$). Ennek eredményeként azt kaptam, hogy elméletileg végtelen ismétléssel a pontok által leírt exponenciális görbe folyamatosan közelítené a zérustengelyt. Gyakorlatilag felesleges 10V fölé vinni a feszültséget, mert bőven túllépte a meghatározott hatásos hőmérsékleti intervallumot ($15-17^\circ C$).

4. A hőmérések alatt Voltcraft mérőműszer jegyezte a szerkezet áramfelvételét és fogyasztását – további elhanyagolható paraméterekkel együtt. (15. és 16. ábra)



15. ábra A szerkezet áramfelvétele (3. melléklet)



16. ábra A szerkezet teljesítménye (3. melléklet)

A diagramokon látható első tüske kirajzolódásakor a szerkezetet állítottam be a potenciométeres méréshez (3.), majd üresjáratba kapcsoltam, hogy visszaálljanak hőelemes pontok szobahőmérsékletre.

A potenciométeres mérést 10 óra 10 perckor kezdtem, tíz percenként növeltem a Peltier-elemen áteső feszültséget 0,5-1V-tal, melyet a lépcsőzetes szakasz szemléltet. 12 óra 10 perckor lekapcsoltam üresjáratba, majd 13 órakor áramtalanítottam a szerkezetet. 13:15-kor bekapcsoltam, hogy előkészítsem a következő méréshez (2.). Miután beállítottam az optimális feszültségre (6V), megint üresjáratba kapcsoltam, hogy visszaálljon a hűtőborda és az alumíniumlap szobahőmérsékletre. 13:45-től 14 óráig volt bekapcsolva a szerkezet, utána áramtalanított állapotában vártam a mérés végét.

Értékelés: A szerkezet optimális beállításakor a következő paraméterek írhatók le:

10. táblázat A prototípus főbb műszaki jellemzői 6V egyenfeszültségen

Teljesítmény	23W
Hűtési tartomány	7,9-13,9°C
Hűtési tartomány elérési ideje	5 perc
Melegedési maximum	36,5°C

Használatakor figyelembe kellett vennem a jégzselé tasak lehűlési idejét, ezért állítottam a Peltier-elemre eső feszültséget 6V-ra, hogy a tasak hamar elérje a kitűzött 15-17°C-ot.

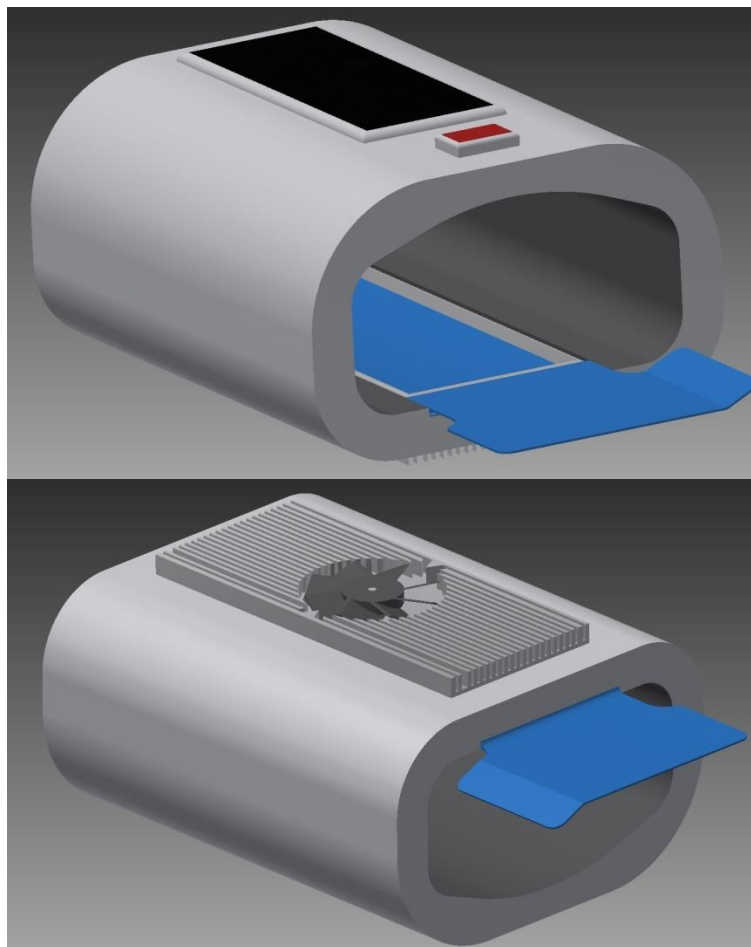
4.2. Konceptió

A prototípus mellett számítógépen elkészítettem az általam elképzelt verzióját az RTX készüléknek. Megvizsgáltam a CoreControl™ felépítését és működését, majd a hátrányait

kiküszöbölve Autodesk Inventor szoftver használatával megalkottam saját elképzeléseimet.

4.2.1. Felépítés

1. A nagyobb verzióba minden belekerült, ami a test maghőmérsékletének visszacsökkentéséhez szükséges. A kéken jelölt felületen helyezkedik el a csukló, illetve a tenyér egy része. A hűtést Peltier-elemekkel oldom meg. Vákuum létrehozására a ventilátort használok föl egy légsatorna felszerelésével, így a kiszivattyúzott levegővel lehet áramoltatni a levegőt a hűtőborda körül. A vákuum fenntartására keményvázú borítást terveztem a kéz és alkar körül neoprén szigeteléssel a végén. A tetején helyet kapott egy kisméretű napelem, mellyel napközben tölthető a Lítium-ion akkumulátora.



17. ábra RTX szerkezet koncepció

2. Terveztem egy diszkrétebb, kompakt verziót is, ami viszont nem a maghőmérséklet visszacsökkentésére szolgál. Felépítésben hasonlít az RTX verzióra. A csuklóra helyezhető készülék kéken jelölt felülete a kar belső oldalát hűti. Mivel nem hoz létre vákuumot és kisebb a teljesítménye is, „csupán” a komfortérzetünket hivatott javítani. Ha a testünk egyes részeit adott hideg eszközzel borítjuk (például hidegborogatás), az agyunk

a hűvös érzést az egész testünkre visszavetíti bizonyos komfortérzetet teremtve.



18. ábra Csuklólhűtő koncepció

4.2.2. Egyéb vizsgált verziók

A prototípus tervezésekor számos megoldást vizsgáltam meg, hogy mobilitás szempontjából a lehető legoptimálisabb végeredményt kapjam.

1. Folyadékkeringetés alkalmazása

Első elképzelésem szerint az RTX készülékem, hasonlóan a CoreControl™-hoz, folyadékhűtéssel működne. A folyadék viszont nem hidegvíz lenne –melyet folyton cserélni kell– hanem egy jó hővezető folyadékot keringetnék perisztaltikus szivattyúval a hűtött felület és a Peltier-elemek között. Viszont ez is helyigényesnek bizonyult.

2. Légmentes szigetelés

A prototípus készítésekor a vákuum megtartását és a kéz szabad használatát egyszerre lehetővé téve gumikesztyűt rögzítettem a kéz felőli oldalra. Tesztindításkor nem bizonyult megfelelőnek, mert a vákuum miatt a kesztyű zsibbadásig szorította a kezemet.

4.2.3. Számítások

1. Legyen a szituáció egy edzőterem, ahol alanyunk épp napi intenzív testmozgását végzi. A **közepes sugárzási hőmérséklet** meghatározására több összefüggés van, melyekből az egyszerűbb a felületek nagyságának és hőmérsékletének átlagértékét figyelembe vevő összefüggés:

$$t_{KS} = \frac{2 \cdot (100m^2 \cdot 18^\circ C) + 4 \cdot (30m^2 \cdot 18^\circ C)}{2 \cdot 100m^2 + 4 \cdot 30m^2} = 18^\circ C \quad (24)$$

A következő meghatározandó hőmérséklet érték a levegő és a környezet közepes sugárzási hőmérsékletének értékét egyaránt figyelembe vevő **operatív hőmérséklet**:

$$t_0 = \frac{3,98 W/m^2K \cdot 18^\circ C + 11,85 W/m^2K \cdot 22^\circ C}{3,98 W/m^2K + 11,85 W/m^2K} = 20,99^\circ C \quad (25)$$

Sugárzásos hőátadási tényező ASHRAE szabvány szerint $3,98 W/m^2K$, a konvekciós hőátadási tényező nyugvó levegőben:

$$a_c = 2,38 \cdot (28^\circ C \cdot 22^\circ C)^{0,25} = 11,85 W/m^2K \quad (26)$$

A **ruházat közepes hőmérséklete** $21-26^\circ C$ közötti komforthőmérséklet-tartományban $\approx 28^\circ C$. Adott személyünk edzőtermi viseletének számszerű hőegyenértékének meghatározására a „clo” egységet használom:

11. táblázat Tornaruha clo értéke

Ruhák megnevezése	clo érték
Rövidujjú póló és rövidnadrág	0,19+0,08
Zokni és Alsónemű	0,03+0,04
Utcai cipő	0,03
Összesen:	0,37

A **bőrhőmérséklet** számítással határozom meg:

$$t_b = 24,85 + 0,332 \cdot 20,99^\circ C - 0,00165 \cdot 20,99^\circ C^2 = 31,09^\circ C \quad (27)$$

Mivel a clo értékem 0,6 alatt van, mezítelen emberre használatos képletet alkalmaztam. Végül a testhőmérséklet határozom meg emelkedett maghőmérséklettel, izzadás esetén:

$$t_e = (1 - 0,9) \cdot 31,09^\circ C + 0,9 \cdot 40^\circ C = 39,1^\circ C \quad (28)$$

Újabb testhőmérséklet-számításba belekalkulálom az RTX készülék nyújtotta maghőmérséklet csökkenését 2 perc használata után:

$$t_e = (1 - 0,9) \cdot 31,09^\circ C + 0,9 \cdot (40^\circ C - 2,5^\circ C) = 36,86^\circ C \quad (29)$$

2. A következő példa legyen egy tűzoltó, aki egy kigyulladt irodaépületben végzi a feladatát. A közepes hősugárzási tényezőnk:

$$t_{KS} = \frac{2 \cdot (100m^2 \cdot 90^\circ C) + 4 \cdot (25m^2 \cdot 80^\circ C)}{2 \cdot 100m^2 + 4 \cdot 25m^2} = 86,67^\circ C \quad (30)$$

Az operatív hőmérséklet:

$$t_0 = \frac{7,96 W/m^2K \cdot 86^\circ C + 17,11 W/m^2K \cdot 45^\circ C}{7,96 W/m^2K + 17,11 W/m^2K} = 58,02^\circ C \quad (31)$$

Ehhez szükségem van konvekciós hőátbocsátási tényező kényszeráramlás esetében:

$$a_c = 12,1 \cdot \sqrt{2 m/s} = 17,11 W/m^2K \quad (32)$$

A ruházat közepes hőmérséklete 21-26°C közötti komforthőmérséklet-tartományban $\approx 28^\circ C$, amiről tűzoltáskor meg beszélhetünk, 35°C-ra becsülöm a tűzoltóruha közepes hőmérsékletét. Tűzoltónk viseletének számszerű hőegyenértékének meghatározására a „clo” egységet használom:

12. táblázat Tűzoltóruha clo értéke

Ruhák megnevezése	clo érték
Alsónadrág, rövidujjú póló, zokni	0,04+0,17+0,03
Bélelt tűzálló nadrág, kabát, csizma	0,3+0,36+1,0
Gázmaszk és sisak	0,28+0,2
Összesen:	0,97

A bőrhőmérsékletet számítással határozom meg. Mivel a clo értékem 0,6 és 1,0 közé esik, a következő képletet használom:

$$t_b = 25,8 + 0,267 \cdot 58,02^\circ C = 41,29^\circ C \quad (33)$$

Ezek alapján a tűzoltó testhőmérséklete:

$$t_e = (1 - 0,9) \cdot 41,29^\circ C + 0,9 \cdot 40^\circ C = 40,13^\circ C \quad (34)$$

40°C-ot meghaladó testhőmérsékletnél teljesen leáll az MPK enzim, mely jelentősen veszélyezteti a tűzoltó életét.

A következő számításba belekalkulálom az RTX készülék nyújtotta maghőmérséklet csökkenését,

$$t_e = (1 - 0,9) \cdot 41,29^\circ C + 0,9 \cdot (40^\circ C - 4^\circ C) = 36,53^\circ C \quad (35)$$

ugyanis az RTX szerkezet képes 5 perc használat után 4°C-kal csökkenteni a maghőmérsékletet.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az RTX technológia még újdonságnak számít, viszont már léteznek olyan készülékek, melyek hatékonyan használják fel a test természetes hőszabályozását. A tenyérben található különleges érrendszer felel a hőleadásért. Ezeken az RTX-et alkalmazva képesek vagyunk teljesítőképességünk túllépésére.

Szakirodalmi vizsgálataim után megterveztem és elkészítettem egy olyan szerkezetet, mely ugyancsak a RTX technológiára épül. Ezt később különböző mérési tesztek alá vettem. Az méréseket feldolgozva meglepően jó eredményeket kaptam. A készülék hatékonyságát hőkomfort-számításokkal támasztottam alá.

IRODALOMJEGYZÉK

- Gyurkovics L. (1982): *A naperengia hasznosítása az épületgépészetben*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 56.-60.
- N. Kuhlmann (2002): *Napenergia-hasznosítás, Napkollektoros, napelemes berendezések*, CSER Kiadó, Budapest, 30-31.
- Komondy Z., Halász L. (1970): *Hűtőgépek*, Tankönyvkiadó, Budapest, 386-397.
- ASHRAE (2009): Handbook – Fundamentals (SI Edition), www.ashrae.org, F09.1-9.20
- Dennis A. Grahn, Vinh H. Cao and Craig Heller (2005): Heat extraction through the palm of one hand improves aerobic exercise endurance in a hot environment, *Journal of Applied Physiology* 99:972-978
- Dennis A. Grahn, Vinh H. Cao, Christopher M. Nguyen, Mengyuan T. Liu, H. Craig Heller (2012): Work volume and strength training responses to resistive exercise improve with periodic heat extraction from the palm, *Journal of Strength and Conditioning Research*
- D. Grahn (2007): The thermodynamics of heat exchange across the palmar skin surface, www.avacore.com/scientific-research/
- <http://www.corecool.co.uk/science.htm> (2014.10.26.)
- <http://akkumlator.infobomba.hu/> (2014.10.26.)
- <http://mono.eik.bme.hu/~vanko/labor/kutato/NB.pdf> (2014.10.26.)
- http://www.uponor.hu/hu-hu/hirek/press/press-releases/press-releases-2013/installateur-2013/radiant_heating_part_1.aspx (2014.10.26.)
- http://zeus.nyf.hu/~jmgt/letolt/epulet/3_ea_2_emberi_test_hoerzete.pdf (2014.10.26.)
- <http://www.conrad.hu/conrad.php?name=Products&pid=125444> (2014. 10. 27.)
- http://www.testo.hu/termek_reszletek/0563+1774/testo-177-T4&searchquery=177+t4 (2014.10.26.)
- <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/Other/spec%20sheet.jpeg> (2014. 10. 27.)
- http://www.testo.hu/termek_reszletek/0572+6560/testo-174-H-Mini-homerseklet-es-paratartalom-adatgyujto (2014.10.26.)

MELLÉKLETEK

Készülék neve: testo175-177			2014.10.21. 13:59:13		
Indítási idő: 2014.10.17. 13:43:36		Minimum	Maximum	Középérték	Határértékek
Befejezési idő: 2014.10.17. 14:15:24	Hűtés-közép [°C]	16,2	22,7	19,146	-32766,0/32766,0
Mérőcsatornák: 4	Hűtés- szélső [°C]	14,4	22,5	18,112	-32766,0/32766,0
Mérési értékek: 637	Borda-közép [°C]	23,3	36,1	31,284	-32766,0/32766,0
C1: SN 01882547 / 007	Borda-szélső [°C]	23,3	36,4	31,41	-32766,0/32766,0

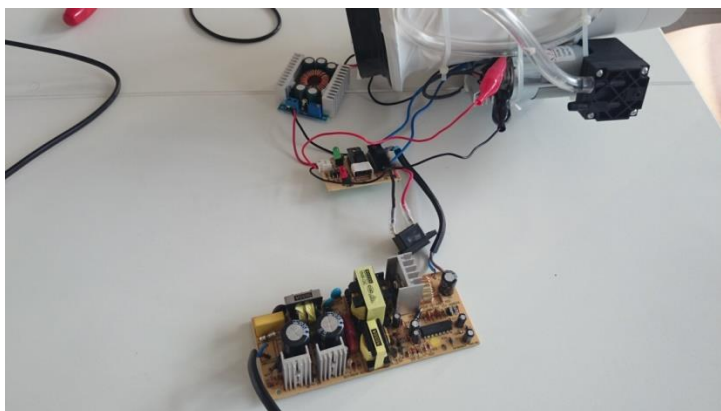
1. melléklet Hűtés/borda hőmérése

t	U	T1 k-k	T2 sz-k	T3 k-h	T4 sz-h		
10:08:00-10:09:59	0	23,3	23,0	23,4	23,3		átlag
10:10:00-10:19:59	1,252	21,1	20,7	21,2	21,8		min
10:20:00-10:29:59	1,705	19,8	19,2	19,9	20,6		min
10:30:00-10:39:59	2,412	18,1	17,2	18,3	19,1		min
10:40:00-10:49:59	3,287	15,7	14,8	16,4	17,3		min
10:50:00-10:59:59	4	14	12,9	15,3	16		min
11:00:00-11:09:59	4,72	12,5	11	14,1	15		min
11:10:00-11:19:59	5,75	10,9	9,2	13	13,9		min
11:20:00-11:29:59	6,53	9,6	7,9	12	13		min
11:30:00-11:39:59	7,385	8,7	6,7	11,3	12,2		min
11:41:00-11:51:59	8,185	8	6	10,5	11,7		min
11:52:00-11:59:59	9,29	7,5	5,4	10,2	11,2		min
12:00:00-12:09:59	10,06	7,3	5,2	9,9	11,1		min

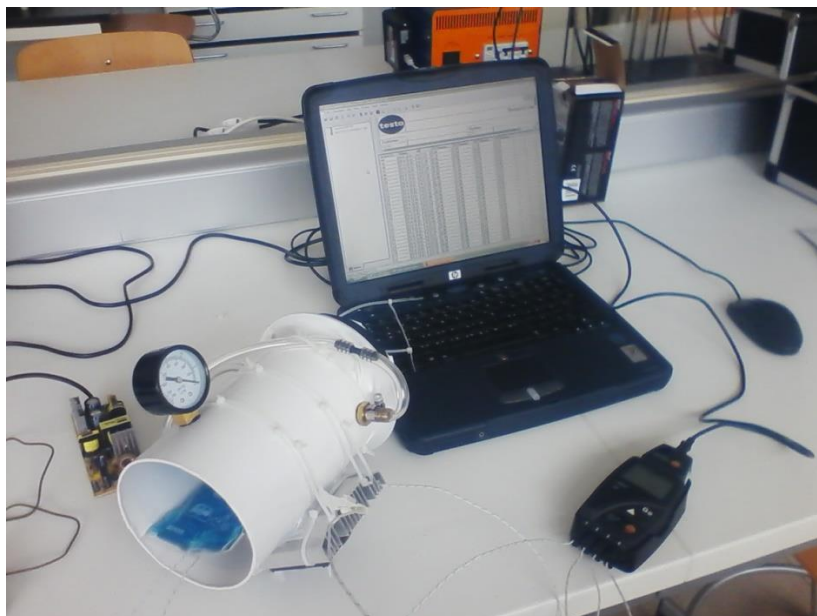
2. melléklet Potenciométeres mérés

	Feszültség [V]	Áramfelvétel [A]	Tényleges fogyasztás [W]	Látszólagos fogyasztás [W]
Minimum	237,10	0,00	0,00	0,00
Maximum	241,30	0,34	44,05	81,94
Átlag	239,17	0,10	11,57	23,48
Leggyakoribb érték	237,90	0,00	0,00	0,00
Középérték	239,40	0,03	2,66	7,20
Szórás	1,00	0,10	12,47	23,36

3. melléklet Voltcraft adatok az 1. és 2. melléklet méréseiről



4. melléklet A prototípus elektronikájának egy része: AD-DC konverter, kapcsolópanel, DC-DC konverter, vákuumszivattyú



5. melléklet A mérési összeállítás



6. melléklet A prototípus

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki mindazoknak, akiknek a segítségével idáig eljuthattam, és azoknak, akik mindvégig mellettem álltak. Elsősorban köszönöm Péter Szabó István témavezetőmnek a hasznos útmutatásokat és építő jellegű kritikáit. Köszönettel tartozom a családomnak és közvetlen környezetemnek, akik rengeteg türelmet tanúsítottak velem szemben és tanácsaikkal segítettek szakdolgozatom elkészítésében.