

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar

Tudományos Diákköri Dolgozat



Bádogdobozokból készült napkollektor működésének vizsgálata

Készítette: **Juhász Edina és Pongó Veronika**
Környezettudomány szak, V. évfolyam

Témavezető: **Horváth Ákos**
Egyetemi docens

Budapest, 2008. február

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	3
1. A NAPENERGIA	4
1.1. A NAPENERGIA KELETKEZÉSE	4
1.2. A NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSA	6
1.2.1. Napelemek	8
1.2.2. Napkollektorok	10
1.2.3. Természetvédelmi szempontok.....	13
2. A BÁDOGDÓBOZOS KOLLEKTOR	15
2.1. A KOLLEKTOR FELÉPÍTÉSE	15
2.2. A KOLLEKTOR KÖLTSÉGEI ÉS ANYAGAI	19
2.3. A MŰKÖDÉS FIZIKAI HÁTTERE.....	21
2.3.1. Energiaátadás számolása a kollektorban.....	21
2.3.1.1. A kollektor anyagának felmelegedése.....	22
2.3.1.2. A levegő felmelegedése a kollektorban	22
2.3.2. A mért hőmérséklet időfüggésének számolása	25
2.3.3. Hatásfok számítása.....	27
2.4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK	27
2.4.1. Légellenállás mérés	28
2.4.2. Teljesítmény mérések 1000 W-os lámpával.....	28
2.4.3. Mérések szabad ég alatt	34
2.4.3.1. Mérés fűrt csövekkel 2007.11.21.-én	35
2.4.3.2. Mérés a perditővel ellátott csövekkel 2007.11.21-én	37
2.4.3.3. Zajmérés.....	39
2.5. GAZDASÁGOSSÁG:.....	39
ÖSSZEFOGLALÁS	42
FÜGGELÉK	43
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	44
IRODALOMJEGYZÉK	45

Bevezetés

Felmérések szerint a lakosság energiafelhasználásának 70 százaléka fűtésre fordítódik. Bár a hagyományos energiahordozók egyre drágábbak és használatukkal szennyezzük környezetünket, mégis egyelőre nagyon kevesen próbálkoznak megújuló energiaforrásokkal kiváltani ezeket. Ennek fő oka, hogy akár a szél, akár a földhő vagy a Nap energiáját akarjuk hasznosítani, az erre szolgáló eszközök túl drágák egy átlagos háztartás számára, így megtérülési idejük kedvezőtlen.

Munkánk során egy olyan új alternatívával foglalkozunk, amely a napenergiát kívánja hasznosítani, de drága készülék beszerzése helyett házilag is elkészíthető. Mindössze üres alumínium üdítő- vagy sörösdobozokra és néhány könnyen beszerezhető barkácsárura van hozzá szükség. A berendezés lényege, hogy a szoba levegőjét az egymáshoz erősített dobozokon keresztül átáramoltatjuk ventilátor segítségével. Eközben a nap sugárzása felmelegíti az áramló levegőt és a szobába ez már magasabb hőmérsékleten jut vissza.

Ezt a köznyelven „sörkollektornak” nevezett szerkezetet készítettük el és azt vizsgáltuk, hogy valóban használható-e fűtéskiegészítőként. Továbbá azzal is foglalkoztunk, hogy növelhető-e a berendezés hatásfoka, ha változtatunk a fizikai paramétereken vagy a rendszer összetételén.

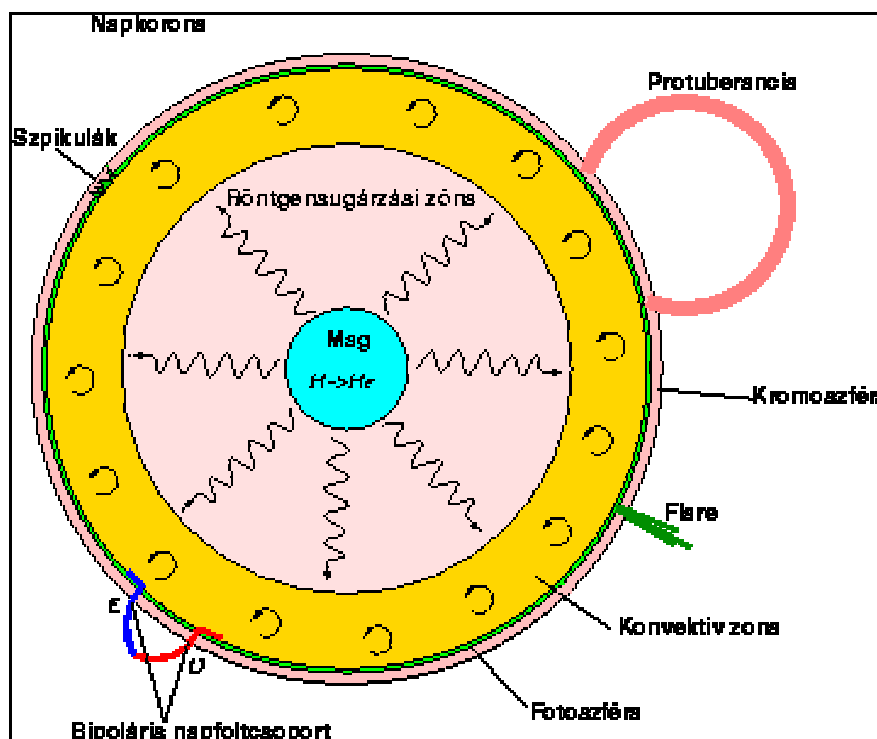
Emellett célunk, hogy olyan megoldást találjunk, amivel minél költséghatékonyabban elkészíthető a kollektor, a legegyszerűbb és legolcsóbb összetevőkből, de ez ne csökkentse a kinyert hőenergia mértékét. Ehhez több rendszert építettünk meg és azonos körülmények között mértük hatásfokukat.

Bár ezzel a rendszerrel egyelőre nem lehet majd teljességgel kiváltani a hagyományos fűtési rendszert, de méréseink célja, hogy megállapíthassuk megéri-e beruházni egy ilyen berendezés megépítésére, csökkentheti-e a lakásunk fűtésére szolgáló kiadásainkat, illetve ezáltal a légkörbe juttatott szennyező anyagok mennyiségét.

1. A NAPENERGIA

1.1. A napenergia keletkezése

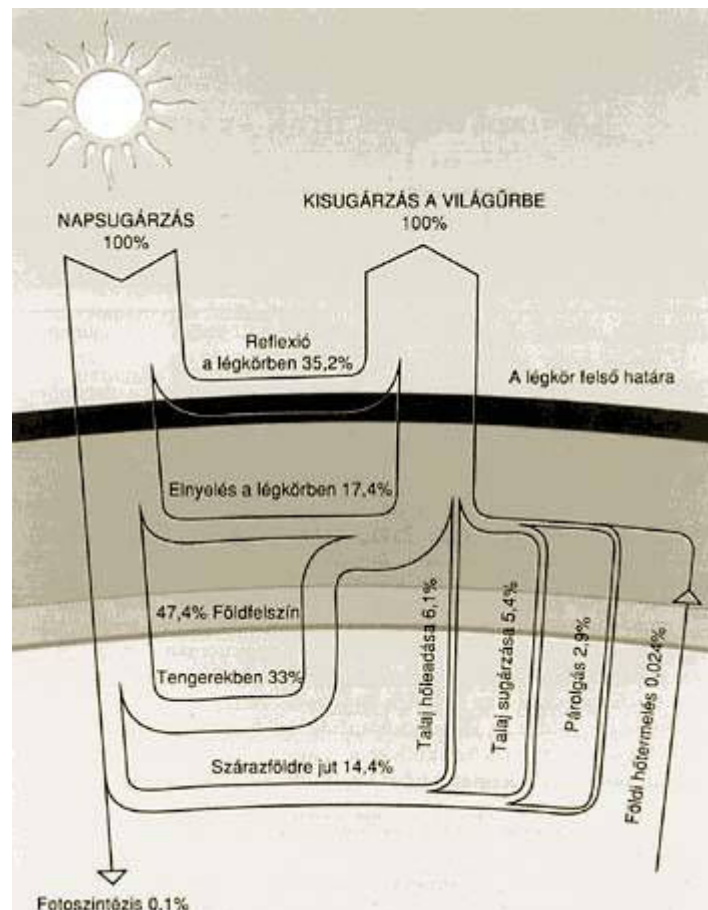
A Nap a Naprendszer legnagyobb tagja, tömegének 99,87 százaléka koncentrálódik benne. Gáz halmazállapotú, közepében helyezkedik el a mag, itt folyik a termonukleáris fúzió, amely a Nap energiáját termeli. Ennek folyamán a csillagfejlődésnek abban a fázisában, amelyben a Nap tart, hidrogén atommagokból hélium atommagok keletkeznek. Itt a hőmérséklet kb. 15 millió Kelvin. Ez a Nap térfogatának csak 10 százalékát adja, de tömegnek mintegy 40 százaléka itt található. Az energia gamma sugarak és neutrínók formájában keletkezik. Ez után található a kisugárzási öv, ahol a hőmérséklet 4 millió Kelvin közeli, sűrűsége kisebb a magénál. Ez a réteg továbbítja az energiát a konvektív zónához, ahonnan azután áramlások viszik azt el a felszínre. A Nap külső felszínének a hőmérséklete 5800 Kelvin. Azt a néhány 100 kilométer vastag öveget, amelyet a Napból látunk, amelyet a napsugárzás mintegy 99 százalékát kibocsátja, fotoszférának nevezik. E fölött helyezkedik el a kb. 1000 kilométer vastag kromoszféra, amelyben a hőmérséklet folyamatosan nő, és a fölötté elhelyezkedő koronában már több millió Kelvin értéket ér el (1. ábra).



1. ábra: A Nap szerkezete

(<http://astro.elte.hu/astro/hun/oktatas/jegyzetek/CsillelemeiJegyzet/node108.html>)

A Napból származó energia elsősorban közeli ibolyántúli, látható és infravörös sugárzás formájában hagyja el a csillagot, de emellett kisebb mennyiségben kibocsát gamma- és röntgensugarakat, illetve rádióhullámokat. A Napból másodpercenként kisugárzott energia teljes mennyiségét a Nap sugárzási teljesítményének nevezzük. Ez az érték $3,86 \cdot 10^{23}$ kW. Ennek legfeljebb tízmilliárdod része éri el a Földet. (2. ábra)

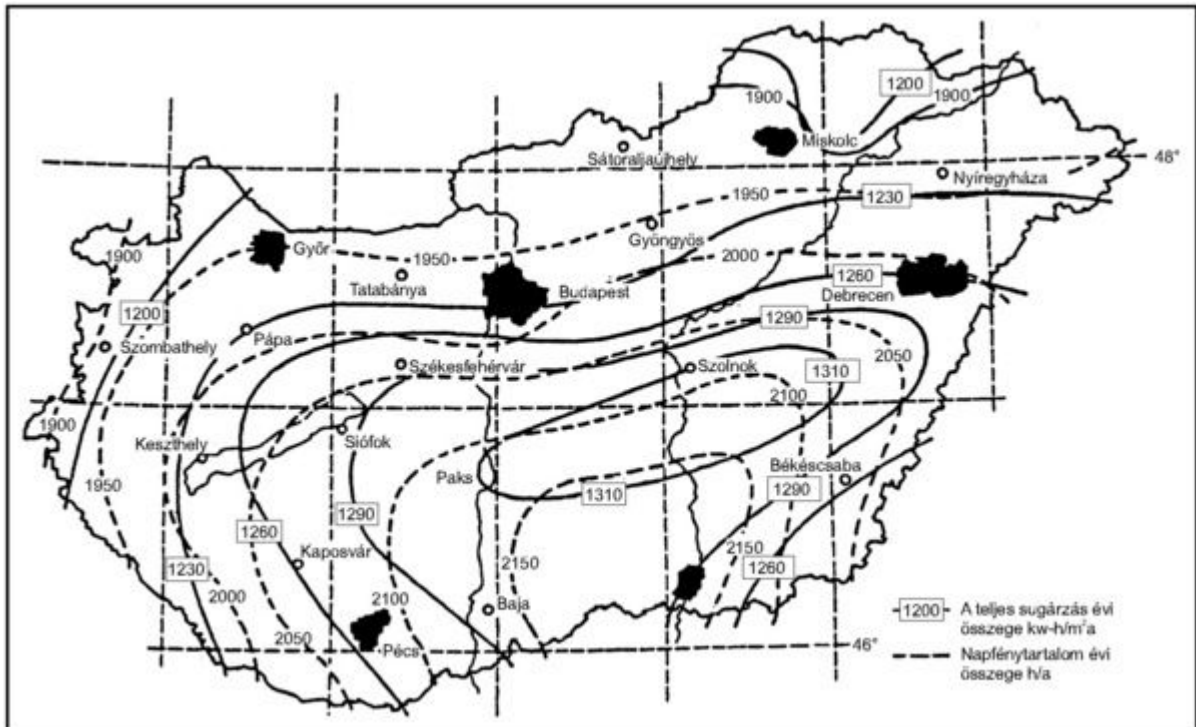


2. ábra: A Földre jutó napsugárzás megoszlása
(<http://www.okotaj.hu/szamok/22/mas4.html>)

A földi légkör 1 négyzetméterére merőlegesen beeső teljesítmény így 1370 W. Ezt nevezzük napállandónak. Ez megadja, hogy átlagos Föld-Nap távolságban (~150 millió kilométer), a légkör felső határán, a sugárzás haladási irányára merőleges egységnyi felületre időegység alatt mennyi energia esik.

Bár csak egy a több millió másik csillag közül, a Nap sugárzásának energiája elengedhetetlen volt a földi élet kialakulásához és az emberiség fejlődéséhez. Annak ellenére, hogy szinte minden általunk használt energiahordozó eredeti forrása a Nap, közvetlenül a belőle származó sugárzást mégsem használjuk jelentősebb mértékben.

Hazánkban a napsugárzás energiasűrűségének átlagértéke $1760 \text{ kWh/m}^2/\text{év}$, ami azt jelenti, hogy például kb. 21 km^2 -nyi területre hazánk körülbelül 40 TWh -nyi energiaszükségletével egyenlő mennyiségű energia érkezik. A napos órák száma 1900 - 2200 óra/év között változik (földrajzi fekvéstől függően) (3. ábra).

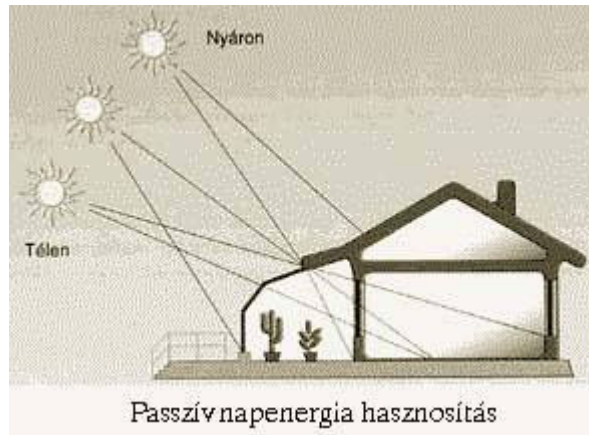


3. ábra: Magyarország napsugárzási mérlege (www.hik.hu/.../site/books/b108/kepek/1-4.jpg)

1.2. A napenergia hasznosítása

A fűtési költségek és a környezetet érő terhelés csökkentésének egyik lehetséges módja a napsugárzás energiájának fűtési célú hasznosítása. Ennek többféle módja van:

- Passzív hasznosítás: külön kiegészítő eszköz, berendezés nélkül lehet a napenergiát épületek fűtésére felhasználni azáltal, hogy az épület formájának, tájolásának, külső és belső szerkezeteinek, üvegezési arányának célszerű megválasztásával, ill. üvegházak, energiagyűjtő falak alkalmazásával azokat a szokásosnál több napsugárzás érje, lehetőleg minél hosszabb ideig. (4. ábra)



4. ábra (<http://www.okotaj.hu/szamok/22/mas4.html>)

- Aktív hasznosítás: valamilyen, külön erre a célra készített eszköz (kollektor, napelem, tárolótartály, szivattyú) segítségével alakítják át a Nap sugárzási energiáját hővé vagy villamos energiává. A fototermikus megoldás azt jelenti, hogy egy alkalmas eszközön (napkollektoron) folyadékot vagy levegőt áramoltatunk keresztül úgy, hogy közben minimálisra csökkentjük az áramló közeg által felfogott energiának visszasugárzás vagy hővezetés általi eltávozását a készülékből. A felmelegített folyadékot leggyakrabban meleg víz előállítására használjuk fel, de természetesen egyéb megoldások is előfordulnak a gyakorlatban.

A fotovillamos megoldás során napelem segítségével alakítjuk át a napenergiát közvetlenül villamos energiává. Az ily módon kapott 12 vagy 24 V-os egyenfeszültséggel közvetlenül lehet fogyasztókat (pl. világítás, szellőztetés) működtetni. Szükség esetén 220 V-os váltóáramú hálózati fogyasztók is működtethetők egy inverteres egység közbeiktatásával.

Mindkét esetben problémát jelent a begyűjtött hő- ill. villamos energia tárolása. Ennek oka az, hogy az energiát sokszor éppen akkor szeretnénk felhasználni, amikor az a napsugárzás hiánya miatt nem áll rendelkezésre, vagy fordítva, akkor van energiahozam, amikor nincs igény a felhasználásra. A folyadékkal működő kollektoros hasznosítás esetén a leggyakoribb megoldás egy megfelelő méretű szigetelt tartály alkalmazása. A napelemek által szolgáltatott villamos energiát legegyszerűbben akkumulátorokban tárolhatjuk.

- Hibrid hasznosítás: kollektorok, kéthéjű szellőztetett épületszerkezetek, légcsatornák és ventilátorok alkalmazása.

A napenergia felhasználása *direkt* és *indirekt* módon lehetséges. *Indirekten* akkor, ha szél-, biomassza, víz- és felszínközeli hő- vagy fosszilis energiát használunk.

A szél-erőművekben felhasznált energia a légkör hely szerint különböző mértékű felmelegedése után létrejövő nyomáskülönbség hatására kialakuló szél rendezett mozgási energiáját használja fel.

Tágabb értelemben a biomassza energetikai célú felhasználása is napenergia-hasznosítást jelent, hiszen a növények az asszimiláció során a napsugárzás segítségével alakítják át a szervetlen anyagokat szerves vegyületekké. Más szóval a növények kémiaiilag kötik meg a napenergiát, amit aztán a növényi rostok elégetése során hőenergiaként hasznosíthatunk.

A nem direkt napenergiák közé értendő a vízierőművekben felhasznált energia is, mert a vizet a tengerekből a napsugárzás párologtatja el a magasba, ahonnan csapadék formájában leesve helyzeti energiára tesz szert.

A biotömegben tárolt energia is a napsugárzás segítségével alakul ki, a biotömegeből alakulhatnak ki geológiai idők alatt a szénhidrogének.

A napenergia *direkt* felhasználása a napsugárzás energiáját napelemekkel alakítja másodlagos energiahordozóvá.

1.2.1. Napelemek

A napelemek, vagy más néven fotovillamos elemek a fotovillamos jelenséget hasznosítják (5. *ábra*). A Nap elektromágneses sugárzása a napelem alapanyagát képező félvezető kristályban szabad töltéshordozókat hoz létre, amelyek hatására a napelem fémelektrodáin feszültségkülönbség keletkezik. Ha a fémelektrodákat külső áramkörön keresztül összekapcsoljuk, akkor a napelem megvilágításának hatására a külső áramkörben azzal arányos mértékű egyenáram folyik. Az áram nagyságát a keletkezett szabad töltéshordozók száma határozza meg, a feszültség pedig az alapanyag jellegétől függ.



5. ábra: Napelem ([/www.intelligensepuletek.hu](http://www.intelligensepuletek.hu))

A jelenleg használt napelemek felülete néhányszor tíz-száz négyzetméter. Ezek kisléptékű napelemek. Alkalmazhatók házak fűtésére, lehet velük szivattyút meghajtani, vagy akkumulátorokat lehet feltölteni, amikkel elektromos gépeket működtethetünk. Egy napelem csak bizonyos időszakokban termel energiát, nappal, amikor van megfelelő mértékű napsugárzás. Így az energiafogyasztási igényekhez nem tud alkalmazkodni, ez a hátrány kiküszöbölhető úgy, hogy ha energiátárolókat töltünk fel velük, például akkumulátort.

A napelem drága energiaforrásnak számít. A félvezető lapok előállításához és az elektromos energia tárolásának megoldása nagy költségekkel jár. Amíg a hagyományos fűtés 1740 Ft/m^2 , addig napelemmel $5400\text{-}17500 \text{ Ft/m}^2$ értékek adódnak.

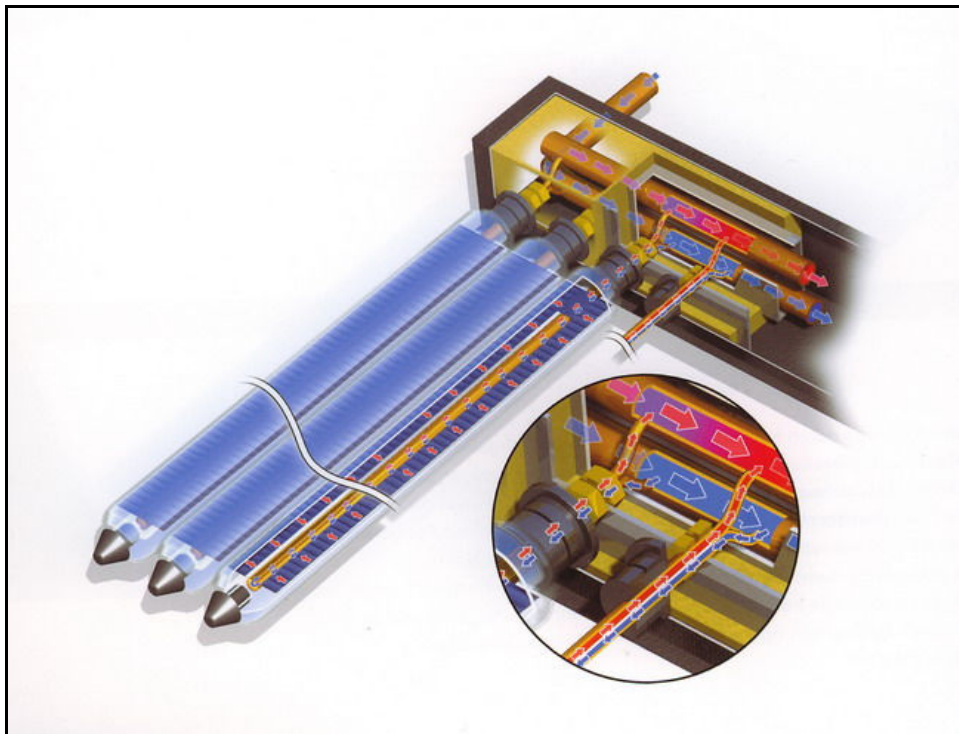
A direkt és indirekt napenergia, mint energiaforrás másik nagy hátránya, hogy nem koncentrált. A napelemek alkalmazása főleg a 35. szélességi fokig hatásos. Nagy sivatagokban, ahol sok a napsütés és nagy területek állnak rendelkezésre, ott elképzelhető az alkalmazásuk, de ez még nem jutott el a gyakorlati technika szintjére. [2.]

A napcellák azért tűnnek vonzó energiaforrásoknak, mivel működésük közben nem okoznak semmiféle szennyezést. Élettartamuk megfelelő anyagok alkalmazása esetén akár 20 év is lehet és nagyon kevés törődést igényel a fenntartásuk. A rá irányuló fejlesztések elsődleges céljai között szerepel az energia előállítási költségének radikális csökkentése, elsősorban a cellahatásfok, modulhatásfok növelésével, a modulok élettartamának és stabilitásának növelésével, valamint a felhasznált anyagok és technológiák előállítási költségének csökkentésével. Akkor lesz igazán versenyképes a fotovillamos energia ára, ha megnő rá a

piaci kereslet, így nőhet a gyártási kapacitás. Ez egy ördögi kört alkot, amiből csak megfelelő propaganda és állami támogatás segítségével lehetne kitörni. [3.]

1.2.2. Napkollektorok

A napenergia hasznosító berendezések másik típusa a napkollektor (6. ábra). Amelyet a Nap irányába kell tájolni. Ez beépíthető például tetőablakként, ami esztétikai szempontból előnyös, ugyanakkor hátránya a meghibásodás esetén jön elő, hisz nehéz megközelíteni őket. Rövidebb élettartamúak (kb. 15 év), valamint kisebb hatásfokúak, mint a napelemek.



6. ábra: Napkollektor felépítése (<http://www.intelligensepuletek.hu>)

A kollektorokban egy hőabszorber anyag a Nap hőenergiáját csövekben keringő hőcserélő folyadéknak adja át. Ennek a folyadéknak a hőmérsékletét figyeli egy automata berendezés, ami a megfelelően magas érték elérésekor beindít egy szivattyút. Ez a szivattyú a folyadékot egy bojlerbe keringeti, amiben a folyadék átadja a hőt a benne lévő víznek. Ebből a bojlerből lehet például a lakások melegvízellátását megoldani, ugyanígy a fűtésre szolgáló vizet is innen lehet vételezni. Létezik olyan egyszerűbb napkollektor is, amiben a hőcserélő folyadék szivattyú nélkül, egyszerűen a gravitáció segítségével cirkulál a rendszerben. A parabolacsöves napkollektor egy tükör félcsőből áll, valamint annak a fókuszpontjában lévő

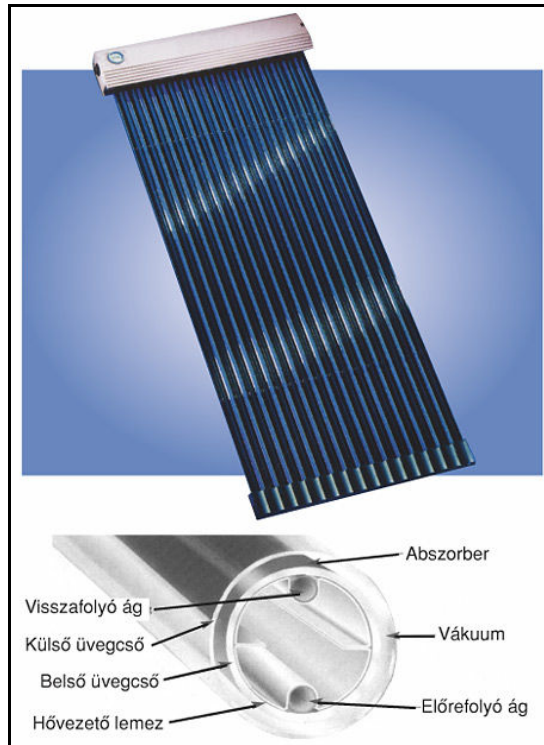
abszorber csőből. Ez a megoldás azért előnyös, mivel a tükör a félcső fókuszpontjába fókuszálja a napsugarakat, így sokkal nagyobb energiát tud felvenni az ott található abszorber cső, ami a fent leírtak szerint vezeti el a hőcserélő anyagot.

Ennek egy továbbfejlesztett változata a parabolatányér alakú napkollektor, ami az egyik legjobb hatásfokú napkollektor, általában „naperőművekben” használják (7. ábra). Szinte veszteségmentes energiaátadást tesz lehetővé a hőcserélő közeg felé, mivel a Nap sugarait bármilyen irányból is érkezzenek a parabolatányér tükrére, egyetlen egy pontba fókuszálja, ahol a berendezés hőcserélő közege egy csőben áthalad.



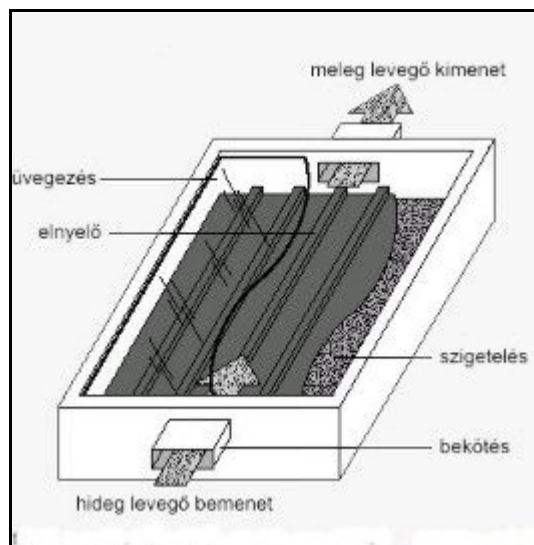
7. ábra: Naperőmű a Pireneusokban (<http://www.mozaik.info.hu>)

Egy másik típus a vákuumcsöves napkollektor (8. ábra), aminek a legújabb generációja még csak pár éve került a piacra. Ez a napkollektor több vákuumcsővel veszi fel a Nap hőenergiáját, ez azért előnyös, mert ezek a csövek sokkal jobban vezetik a hőt, mint például a rézcsövek, amikben valamilyen folyékony anyag van.



8. ábra: Vákuumcsöves napkollektor felépítése (<http://www.okokomfort.hu>)

Ezek mellett léteznek levegős napkollektorok (9. ábra), amelyekben a napenergiát közvetlenül a levegő veszi fel, ezt a levegőt használják fel például a lakások fűtésére. A levegős kollektorok alkalmazása a mezőgazdasági termékek szárításánál, gyümölcsök aszalásánál is elterjedőben van.



9. ábra: Levegős napkollektor felépítése (American Solar Energy Society)

A jelenlegi energiaárak növekedésének tendenciáját, az időjárást valamint a gazdasági folyamatokat figyelembe véve egy átlagos családi ház fűtésére felszerelt napkollektor árának megtérülési ideje 10-15 év, ami relatív sok időnek számít. Probléma az is, hogy a napkollektorok nem örökéletűek, élettartamuk általában 20-30 év, tehát ennek letelte után újabb befektetésekre van szükség a rendszer cseréjéhez.

1.2.3. Természetvédelmi szempontok

A megújulók bár a leginkább környezetbarát energiaforrások, ezek alkalmazása során is figyelembe kell venni a természetvédelmi szempontokat. Egyes feltételek figyelmen kívül hagyásával ugyanis még árthatunk is a természetnek. Ezért született hazánkban egy környezet- és természetvédelmi állásfoglalás a napenergia hasznosításáról:

„A magyar környezet- és természetvédő szervezetek kiemelten támogatják a napenergia széleskörű hasznosítását. Ezért erre a megújuló energiaforrásra is felállítottak egy követelményrendszert, amit az alábbiakban összegeztek:

- A passzív napenergia kihasználását az új épületek tervezésénél fokozottan figyelembe kell venni.
- A napenergia-berendezések (pl. napelem) gyártása során a lehető legkisebb környezeti ártalommal bíró technológiát kell alkalmazni, a gyártás során keletkező hulladékok kezelését megfelelően kell végezni.
- Fel kell mérni a termékek tervezett élettartamát és ennek lejártakor megfelelően kell kezelni az akár veszélyes hulladéknak is minősülő berendezést.
- Miután a hálózatra csak a 100 kW teljesítmény fölötti rendszereket lehet csatlakoztatni, így a kisteljesítményű napelemes rendszereknek (pl. lakossági alkalmazásoknál: családi házak) akkumulátorokat kell használniuk, amelyek igen környezetszennyezőek. Érdemes megvizsgálni, hogy mennyit lehet engedni a teljesítmény-határból és ezzel minimalizálni az akku-használatot.
- Napenergiát hasznosító berendezések felszerelése csak megfelelő energiahatékonyságú épületek esetén ajánlott.
- A berendezések gyártási folyamata során minimalizálni kell a hulladékok keletkezését, a természetre, illetve az emberi egészségre káros anyagok beépítését, valamint annak természetbe bocsátását. A berendezésekbe beépített veszélyes anyagokat az élettartam végén veszélyes hulladékként kell kezelni.

- Az energiatermelő berendezések gyártásához kapcsolódóan lehetőleg készüljön életciklus elemzés.
- A napelemekkel termelt villamos energia hasznosításának egyik leginkább környezetszennyező elemei az akkumulátorok. Ezen elemek kisebb mértékű alkalmazása érdekében szükséges a napenergiás rendszerek hálózati csatlakoztatása, valamint ezek technikai és jogi feltételeinek megteremtése.” [4.]

Decentralizált termelés: a megújulók előnye, hogy az ország legtöbb területén rendelkezésre állnak, ezért a termelési helyükhöz közel felhasználhatóak. Ez által nincs szükség – nagy veszteséggel – akár a villamos-, akár a hőenergia szállítására távoli fogyasztókhoz, valamint az alapanyagokat sem szükséges több száz, vagy több ezer kilométerről beszerezni. A megújuló energiaforrások kisléptékű, helyi hasznosítása esetén nem csak tisztább energiatermelés valósul meg, de csökken az importfüggőség, így az energiára fordított jövedelem is a helyi gazdaságot erősíti.

Pozitív energiamérleg: a fosszilis energiahordozók kiváltására olyan megoldásokat kell találnunk, amelyek egyben a befektetett és kinyerhető energia szempontjából is ésszerűek. Nem használnánk pl. szélturbinákat, ha kevesebb energiát termelnének, mint amennyit az előállításuk és működtetésük igényel. A megújuló energiaforrások hasznosításánál is az életciklus-szemléletet és vizsgálati módszereit kell alkalmazni. Az életciklus felöleli egy termék előállításához, felhasználásához, valamint életútja végén a hulladékhasznosításhoz szükséges energiát, költségeket, szennyező kibocsátásokat stb.

Hatékonyság: a megújulók alkalmazását egy lépésnek mindig meg kell előznie: a megfelelő energiahatékonyság biztosításának. Például a mai magyar biomassza erőművek az alacsony hatékonyságuk miatt feleslegesen sok tüzelőanyagot igényelnek. Hasonló elv miatt nem érdemes egy családi ház tetejére napkollektorokat szerelni, padlófűtését hőszivattyúval működtetni, amíg a ház rosszul szigetelt. Ilyenkor nem csak értékes energiát pazarolunk el, hanem a beruházás megtérülése is lassabb. Fontos, hogy a lehető legjobb hatásfokú technológiát a megfelelően előkészített környezetben használjuk!

Környezet- és természetvédelem: alapvető, hogy a megújuló energiaforrások felhasználásakor a lehető legkisebb környezeti kárt okozzuk. A környezetvédelem szempontjából legkritikusabb az általában intenzív mezőgazdaságot vonzó biomassza

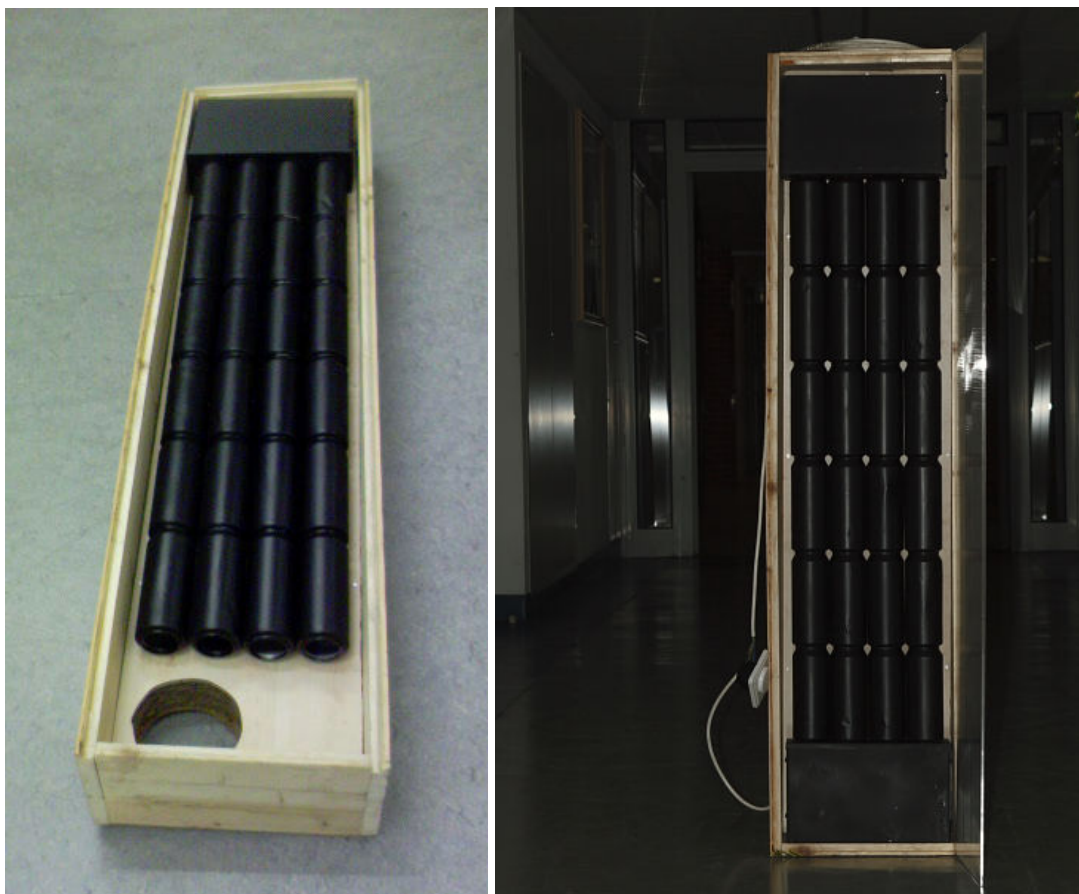
termelés, a madarak veszélyeztetése miatt a szélenergia, illetve minden olyan létesítmény, ami komoly környezeti átalakításokat igényel, pl. nagy vízierőművek, vagy a szivattyús energiatárolók. [5.]

2. A BÁDOGDÓBOZOS KOLLEKTOR

Az eldobált sörösdobozok újrahasznosítása ugyanúgy környezetvédelem, mint a szennyezés-kibocsátás nélküli kiegészítő fűtés. Ez a levegős kollektor mindkét dolgot egyesíti magában, arról nem is beszélve, hogy jelentős fűtésköltség megtakarításra tehetünk szert vele. Átmeneti időszakban a szoba fűtésére, télen a szoba hőmérsékletének megtartására alkalmas. Ha meleg levegő áramlik a szobába, a termosztát kevesebbszer fog bekapcsolni, így kevesebbet fogyasztunk az egyre dráguló gázból vagy más egyéb nem megújuló energiaforrásból.

2.1. A kollektor felépítése

A kollektor valójában egy fadóboz, amelynek előlapja egy átlátszó, 6 mm vastag, légkamrás víztiszta polikarbonát lemez (*10. ábra*). Ez tartalmazza a matt feketére festett abszorbert, amely alumínium sörösdobozokból összeragasztott csövekből áll. A dobozok mögött kőzetgyapotos szigetelés van. Alul egy elosztó, felül egy gyűjtő doboz található, amely 1 mm-es alumínium lemezből készült. A fűtendő helyiség levegőjét egy ventilátor egy szűrővel ellátott csövön át befújja a kollektor osztó dobozába. Ebből az osztóból a levegő a sörösdobozból kialakított csövekbe jut. Napsütés hatására a csövekben gyorsan felmelegszik a levegő, amely a gyűjtődobozból egy csövön keresztül visszaáramlik a helyiségbe. A helyiség levegője és a kollektor csöveiben áramló levegő zárt rendszert képez. Fontos, hogy a szoba levegője ne kerüljön a kollektor dobozába, mert a polikarbonát fedés belülről porosodhat, párosodhat, ami rontja a fényáteresztő képességét.



10. ábra: A kollektor (Szerző: Juhász Edina)

Az építést az üres dobozok gyűjtésével érdemes kezdeni, amelyeket célszerű minél hamarabb vízzel kiöblíteni a kellemetlen szagok elkerülése érdekében. Italosdobozok készülnek alumíniumból és vasból is, de ezek egy kis mágnessel könnyen szétválogathatók. Ha kellő számú doboz gyűlt össze, akkor a sörösdobozokból csöveket kell készíteni. Jelen munka esetében három különböző típusú csövet készítettünk (11. ábra). Az egyes változatok létrehozásával azt kívántuk vizsgálni, hogy a levegő előtt álló akadályokat variálva hogyan változnak az egyes mérési paraméterek.

A kísérleti kollektor típusonként 4 darab oszlopból áll, amelyek egyenként 6 darab sörösdobozból. A méret megválsztásánál szem előtt tartottuk, hogy a berendezés személyautóval szállítható legyen.



11. ábra: A háromféle csőtípus (Szerző:Juhász Edina)

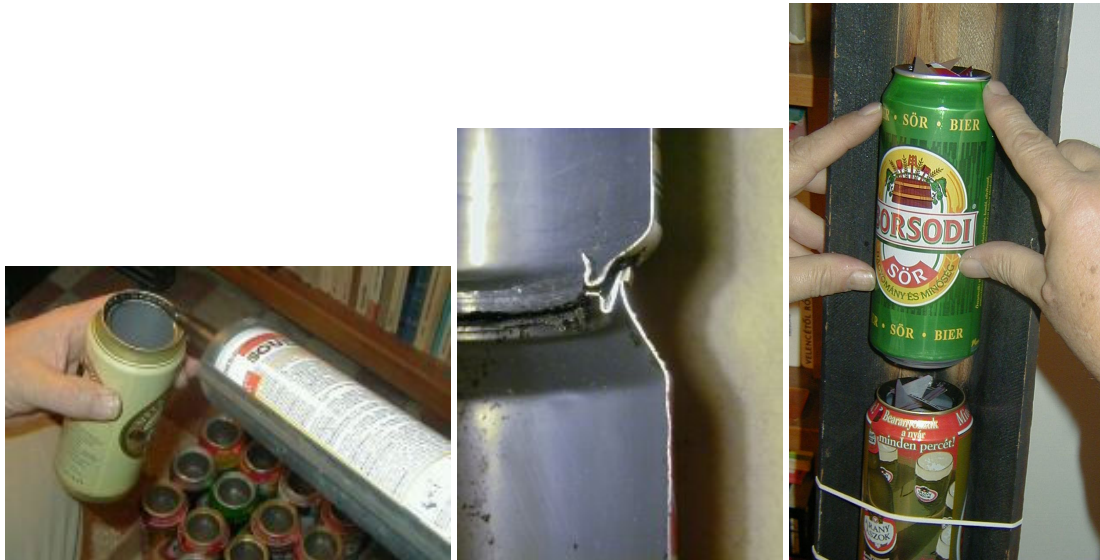
A „fűrt” és a „sima” változat esetében csak a dobozok alját, a „perdítősnél” pedig a tetejét is ki kell vágni. Ehhez egy 44 mm átmérőjű körkiszűrő szerszámra van szükség és egy alacsony fordulatra leszabályozható kézfűrógépre. (12. ábra)



12. ábra: A dobozok kifűrése (<http://napenergia.freeweb.hu/gyak/szp/sztgyi.htm>)

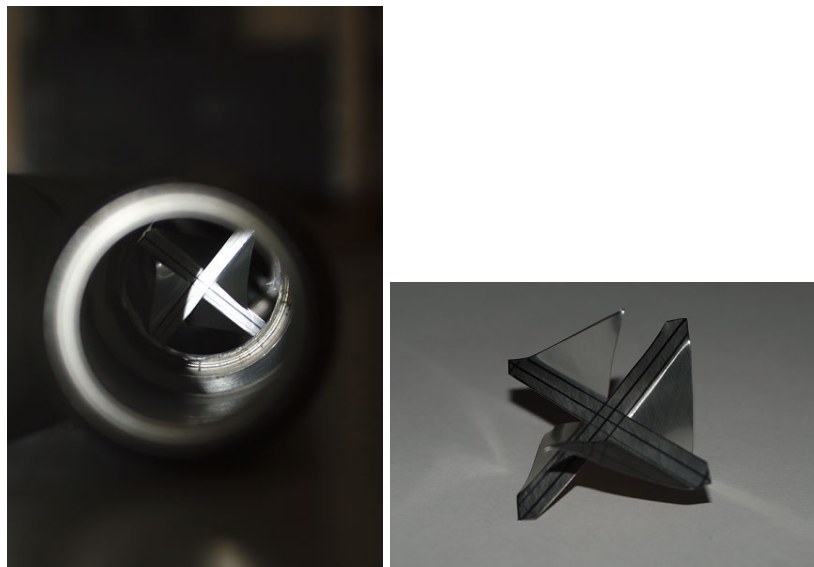
A „fűrt” és a „sima” típusú csövek esetében meghagytuk a dobozok fedelét, mindössze abban különböznek egymástól, hogy előbbibe 3 db, egyenként 5 mm átmérőjű lyukat fűrtünk. (11. ábra)

A dobozok 200 °C fokig hőálló sziloplasztval lettek összeragasztva úgy, hogy a fedelükön levő ivó nyílás mindig 180°-kal el legyen forgatva az alatta levő nyíláshoz képest. Ez az anyag rugalmas, de mégis biztos kötést ad (13. ábra).



13. ábra: A ragasztás (<http://napenergia.freeweb.hu/gyak/szp/sztgyi.htm>)

A „perdítős” cső esetében a mindkét végén kifűrt dobozok közé perdítő elemeket készítettünk szintén a sörösdoboz anyagából (14.ábra). Ezek szolgálnak a levegő terelésére, azáltal hogy turbulens áramlást hoznak létre.



14. ábra: Perdítő (Szerző: Juhász Edina)

Az oszlopokban felfelé áramló levegő a sörösdoboz szájánál felgyorsul, mivel az összeszűkül, majd a perdítőelemeken áthaladva kicsapódik a következő doboz palástjára és átveszi onnan a meleget. Ezek az oszlopok alul és felül egy-egy gyűjtődobozzal alkotnak közös légteret. A sörösdobozok, ill. a gyűjtődobozok matt feketére vannak festve hőálló festékkel, hogy jobban szívják magukba a meleget.

Az gyűjtődobozok 1 mm-es alumínium lemezből készültek (15. ábra), az éleknél a rések sziloplaszttal lettek tömítve. A dobozok fedelére 55 mm átmérőjű körkivágás készült.



15. ábra: Gyűjtődoboz (Szerző: Juhász Edina)

Mivel a csöveket a kísérlet során cserélgettük, azok végeit nem ragasztottuk oda a gyűjtődoboz fedeléhez sziloplaszttal. Helyette műanyag tömítést alkalmaztunk. Az alsó osztódobozba a befűvés 125 mm-es légtechnikai csővel lett megoldva és ugyanekkor a dobozból kivezető cső is. A doboz két nyílása átlósan helyezkedik el. Az alsó nyílásnál van elhelyezve a ventillátor, amely beszívja a kollektorba a levegőt. Ez a levegő bekerül a sörkollektor alsó gyűjtődobozába, és a söröslopokon keresztül megindul felfelé, miközben a Nap melegíti a dobozokat így a benne áramló levegő felmelegszik. A fenti gyűjtődobozban a felmelegedett levegő újból összegyűlik és a kivezető csövön át távozik.

2.2. A kollektor költségei és anyagai

A kollektor megépítésénél elsődleges szempont a költséghatékonyság, amelynek fő titka, hogy gyakorlatilag fémhulladékot dolgozunk fel. Emellett a további költségeket is igyekeztünk úgy alakítani, hogy minél kisebb összegből lehessen megépíteni a berendezést (1. táblázat). Utóbbiak tervezésénél azonban figyelniünk kellett, hogy ez ne váljék jelentősebben a határfok kárára.

A kollektor méretének tervezésekor figyelembe kell venni az épület méreteit, a rendelkezésre álló anyagok mennyiségét (nem mindig lehet kizárólag csak az elvben szükséges méretű anyagokat beszerezni), illetve az elhelyezés helyszínét is. Az alábbi anyagok egy 138x33x17 cm-es kollektorhoz elegendőek. Ennek felülete $A = 0,4554 \text{ m}^2$.

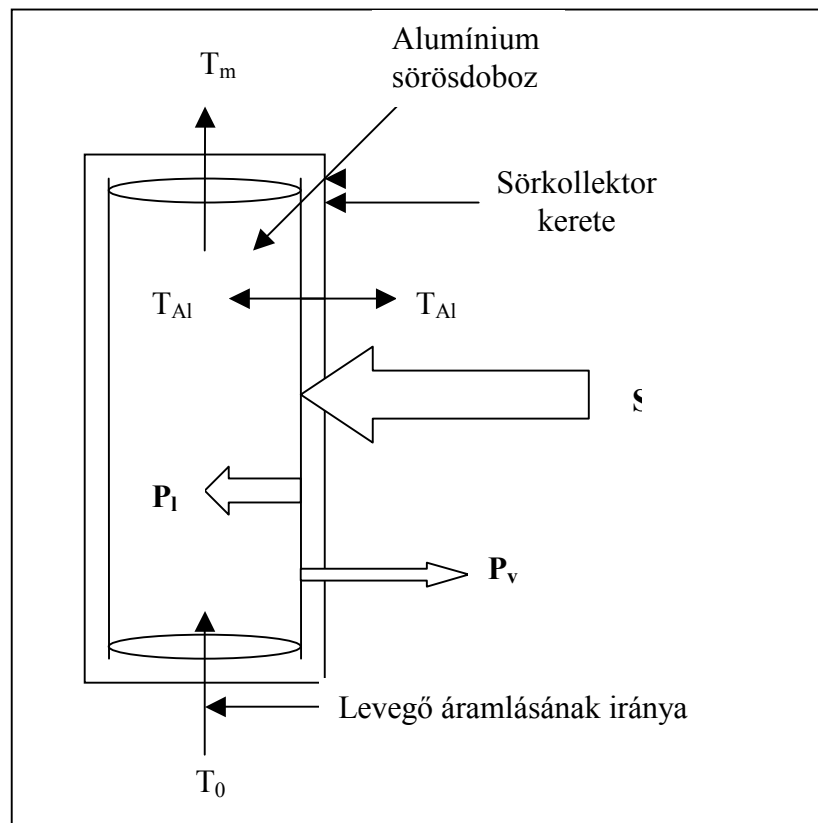
Anyag	Mennyiség	Ár
víziszta légkamrás polikarbonát (80% fényáteresztő)	1,58 m ²	1 556 Ft
alumínium lemez (1mm vastag)	0,84 m ²	2 400 Ft
szellőzőcső (Ø 125 mm)	1db	1 800 Ft
sziloplaszt	1db	1 200 Ft
kinyomópisztoly sziloplaszthoz	1db	340 Ft
csatlakozó kezdő a szellőzőcsőhöz	2db	2 000 Ft
Faust hőálló matt fekete szórófesték 400 ml/db	3db	4 200 Ft
dugóvilla a ventilátorhoz	1db	300 Ft
kőzetgyapot	1 m ²	576 Ft
farostlemez	0,9 m ²	432 Ft
faanyag a doboz kerethez	0,6 m ²	3 500 Ft
Ventilátor 15/14 W 50/60 Hz		12000 Ft
	összesen:	30 304 Ft

1. táblázat

Mivel kollektorunk ki lesz téve az időjárás viszontagságainak, az esőnek, a hónak és a napsugárzásnak egyaránt, ezért alkotórészei anyagainak kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy azok ellenállóak legyenek. Leginkább a burkoló doboznál fontos ez, hisz ezt éri a legtöbb károsító hatás, így a faanyagot ésszerű előzetes kezelésnek alávetni, hogy minél tovább kitartson. A tömítő anyagnak is vízállóknak kell lennie, illetve legalább 200 fokig hőállóknak, hisz hosszú időn keresztül éri majd a Nap közvetlen sugárzása, a belső részen pedig a külső hőmérséklethez képest már felmelegített levegő éri. Ilyen anyaggal lehet az alumínium dobozokat is összeragasztani. A dobozokat a kisebb albedó kedvéért festjük feketére, a festéknek is hőállóknak kell lennie, illetve jobb, ha mattabb színűt válasszunk, hogy ezzel is növeljük hőelnyelő képességét. [6.]

A kollektor zárt rendszerben keringeti a fűtendő szoba levegőjét így elkerülhetetlen, hogy a berendezés belseje porosodjon. Ennek mértéke függ attól, hogy mely helyiséget fűtjük vele. Ha ezt el akarjuk kerülni érdemes a ventilátorra egy szűrőt felszerelni és azt a szükséges időközönként tisztítani, kicserélni.

2.3. A működés fizikai háttere



16. ábra: A sörkollektorban lezajló fizikai folyamatok sematikus ábrája

2.3.1. Energiaátadás számolása a kollektorban

A 16. ábrán a levegős napkollektor nagyon leegyszerűsített vázlatát lehet látni. A bemenő levegő hőmérséklete T_0 , a kijövő levegő hőmérséklete T_m . T_m a mért hőmérsékletre utal, mert ezen a ponton fogjuk megmérni és monitorozni a levegő hőmérsékletét. A kollektor anyaga az alumínium, itt egy egyszerű csővel van ábrázolva. A cső tömege m_{Al} , fajhője c_{Al} . A kísérleteinkben a csőben keresztirányban is elhelyezkedett mindig az alumínium anyagának egy része, ennek szerkezete volt a három típus között a különbség, ez most azonban nincs feltüntetve az ábrán. S a napsugárzásnak az a teljesítménye, ami átjut a polikarbonát lemezen és eléri a sörösdobozokat, P_l az a teljesítmény, amit S -ből hasznosítani tudunk fűtésre, P_v pedig a haszontalan teljesítmény, ami nem tud végig végigáramolni a csöveken, mert a dobozok kapcsolódási pontjainál, a nem tökéletes szigetelés miatt kijut a dobozokból.

2.3.1.1. A kollektor anyagának felmelegedése

Az alumínium anyagára fogjuk felírni az energiamegmaradás törvényét. Egy adott Δt idő alatt az alumínium elnyel S energiát a napsugárzásból, ez felmelegíti. Ezzel szemben két módon veszít energiát: egyrészt átadja a csőben áramló levegőnek (ez számunkra hasznos), vagy a külső levegőnek adja át a polikarbonát lap szigetelési hibáin vagy a teljes lapon keresztül is, ez a veszteség számunkra. A levegőnek Δt idő alatt átadott energiát ΔQ -val jelöljük, és a $\Delta Q/\Delta t = P_l$ jelölést használjuk a levegő felmelegítésének pillanatnyi teljesítményére. A veszteség irányában átadott energia Δt idő alatt a ΔW jelölést kapta, és a veszteség pillanatnyi teljesítménye $\Delta W/\Delta t = P_v$.

Egy Δt időintervallumban az alumínium által felvett hő $\Delta E = (S - P_l - P_v)\Delta t$. Ez az energia az alumínium hőmérsékletét megemeli, ezt a hőmérsékletnövekedést jelöljük ΔT_{Al} -lel, és ezt a $Q = cm\Delta T$ összefüggés alapján számolhatjuk ki.

$$c_{Al}m_{Al}\Delta T_{Al} = \Delta E = (S - P_l - P_v)\Delta t$$

ebből következik az időfüggéseket meghatározó differenciálegyenlet:

$$c_{Al}m_{Al}dT_{Al}/dt = S - P_l - P_v \quad (1)$$

Mindkét oldal dimenziója W (watt), tehát az S a napsugárzás intenzitásának és a kollektor effektív felületének a szorzata. A jobb oldalon található teljesítmények mind az idő függvényei és bonyolult függvényalakok adódnak a valóságban. Az egyenleteket úgy próbáljuk megoldani, hogy egyszerű eseteket tételezünk fel, amik megragadják a jelenség lényegét. A méréseink során pedig kiválasztunk olyan időtartományokat, amikor az említett egyszerűsítések indokoltak. Például a stacionárius eset, amikor minden időben állandó, vagy az $S = \text{állandó}$ esete, ami szintén jó közelítés sok esetben.

2.3.1.2. A levegő felmelegedése a kollektorban

A $\Delta Q/\Delta t = P_l$ energiaátadás a csőben lévő teljes levegő- és teljes dobozmennyiségre értendő. Itt a nehézséget az okozza, hogy a cső elején a levegő hőmérséklete még kicsi, és ez a hőmérséklet monoton nő a csőben haladva. Ezért a cső egyes darabjait külön kell

megvizsgáljuk. Vegyünk egy kicsi "levegődarabot" (kicsiny csőrészlet a teljes keresztmetszettel) a csőben, és ennek útját követjük végig. A darab hossza a teljes hossz N -ed része legyen L/N , a cső keresztmetszete legyen A . A kicsi levegőelem térfogata így AL/N . A cső hossza mentén növekedő változó legyen: y .

A következő egyszerűsítéseket tesszük:

- az alumínium anyagán belüli hővezetés olyan gyors, hogy a dobozok hőmérséklete mindig azonos
- azalatt az idő alatt, amíg a levegő áthalad a kollektoron az alumínium anyaga csak kicsit melegszik fel, és minden részén azonos mértékben az előző feltétel alapján.

Mivel a T_{Al} igazából helytől kicsit függő paraméter, így esetünkben mindig konstans lesz.

Az adott levegőelem mozgása során az y -nal jelzett helyzetben van, és $\Delta\tau$ idő alatt felvesz valamennyi energiát, ezt jelöljük $\Delta Q(y)$ -nal. Ez mikroszkopikus szemléletben azért történik, mert a hidegebb levegő molekulái ütköznek az alumínium atomtörzseivel és energiát szereznek az ütközésben. Ez a $\Delta Q(y)$ átvett energia függ attól, hogy ez alatt a $\Delta\tau$ idő alatt hány molekula ütközött. Ezt több tényező befolyásolja:

- a levegő és az alumínium határoló felületének nagysága,
- a levegő áramlási sebessége,
- áramlási viszonyok.

(Kísérleteink egyik célja pont annak vizsgálata, hogy a három módon elkészített dobozrendszer hőátadása mennyire különbözik. Például, meg lehet-e spórolni a perdítőlemezek készítését, ami technológiailag biztosan könnyebbség.)

Az átadott $\Delta Q(y)$ energiát a következőképpen számoljuk:

$$\Delta Q(y) = w(T_{Al} - T(y)) \Delta\tau 2r\pi\Delta y\rho.$$

Itt w -t hőátadási együtthatónak nevezzük, $T(y)$ pedig a levegő helytől függő hőmérséklete. Ez az egyenlet azt jelenti, hogy a hőátadás legfontosabb paramétere a levegő és a doboz anyagának hőmérsékletkülönbsége, az ütköző molekulák száma arányos még a henger palástjának nagyságával ($r^2\pi\Delta y$) és a sűrűséggel. (A helyzet a valóságban ennél biztosan bonyolultabb, ezek w tényezőt befolyásolják majd.) Ennyi (ΔQ) hőmennyiséget vesz fel a

levegő Δy út megtétele alatt miközben felmelegszik $\Delta Q(y) = cm\Delta T$ -ből számolható módon, m a levegődarabunk tömege, c a levegő fajhője, amit állandónak veszünk (mivel változik a hőmérséklet, ez egy egyszerűsítést jelent). Ahogy halad a levegő a cső vége felé egyre kevesebb energiát vesz át, hiszen már egyre jobban felmelegedett.

$$cm (T(y+\Delta y)-T(y)) = c\rho r^2 \pi \Delta y (T(y+\Delta y)-T(y)) = w(T_{Al}-T(y)) \Delta \tau 2r\pi \Delta y \rho. \quad (2)$$

A levegődarab sebessége $v = \Delta y / \Delta \tau$, ebből adódik, hogy

$$\frac{dT(y)}{dy} = \frac{2w}{crv} (T_{Al} - T(y)) \quad (1)$$

Ez egy $\frac{dT(x)}{dx} = -KT(x) + Z$ alakú differenciálegyenlet, aminek megoldását a Függelékben részletezett módon számolhatjuk ki. Itt $x \rightarrow y$, és a kezdőfeltétel: $T(0) = T_0$

A megoldás $T(y) = Be^{-Ky} + \frac{Z}{K}$, és $B = T_0 - Z/K$. A Z/K állandó jelentése az $y = \infty$ -ben felvett

$T(y)$, ezt T_∞ -vel jelöljük. Azaz

$$T(y) = (T_0 - T_\infty)e^{-Hy} + T_\infty. \quad (3)$$

Az (1) egyenlettel összehasonlítva nyerjük az állandók jelentését: $H = w/crv$, $T_\infty = T_{Al}$.

Ez szemléletesen azt jelenti, hogy a levegődarab hőmérséklete exponenciálisan közelít az alumíniumfal hőmérsékletéhez. A cső azonban nem végtelen hosszú, ezért a kimenő T_m hőmérséklet ennél kisebb lesz. Ha túl kicsire tervezzük a kollektor csőhosszát, akkor T_m a T_{Al} -nél jóval kisebb marad.

Ez egy levegődarab hőmérsékletének változása, de ez írja le a teljes csőben egy adott pillanatban fennálló hőmérsékleteloszlást is, ha a T_{Al} időben állandó. Korábbi feltevésünk alapján azonban, a korábban használt Δt jóval nagyobb, mint a $\Delta \tau$, azaz a fal sokkal lassabban melegszik, mint a levegődarab, és így a $T(y)$ eloszlás (3) érvényes a teljes kollektorra.

Ebből a T_m , kiáramlási hőmérséklet:

$$T_m = (T_0 - T_{Al})e^{-Hy} + T_{Al} = T_0 e^{-Hy} + T_{Al}(1 - e^{-Hy}) = T_0 q + T_{Al} p \quad (4)$$

Ez a kezdeti és a fal hőmérsékletének súlyozott átlaga, minél hosszabb a cső, annál nagyobb súllyal esik a T_{Al} , azaz a p annál nagyobb.

A T_m meghatározása alapján meg tudjuk mondani, hogy a levegő mennyi energiát vesz fel a falból. Ismét felhasználjuk azt a közelítést, hogy az alumínium dobozok (fal) hőmérséklete lassan változik, közben a kollektor légtérfogatának többszöröse átáramlik rajta. Egy adott Δt idő alatt a T_{Al} még állandó, de sok levegődarab végigment a csövön, és felvett $cm(T_m - T_0)$ energiát. Amíg egy ilyen levegődarab elhagyja csövet, a rendszerből $cm(T_m - T_0)$ energiát veszünk ki, és a csőben a hőmérséklet eloszlása nem változott, a kis levegődarabok által felvett hő, és a csőben való haladás épp ugyanazt az állapotot állítják elő (T_{Al} =állandó). Ezért az alumíniumtól elvett energia $cm(T_m - T_0)$, és itt $m = \rho Av \Delta t$. Ezért

$$P_l = c \rho Av (T_m - T_0) \quad (5)$$

T_{Al} -t még természetesen befolyásolja, hogy az alumíniumra felírt energiamegmaradásnak (1) megfelelően mekkora a veszteség a külső levegő felé.

2.3.2. A mért hőmérséklet időfüggésének számolása

A $c_{Al} m_{Al} dT_{Al}/dt = S - P_l - P_v$ egyenletet kell ésszerű közelítések mellett megoldanunk. Az S bejövő intenzitást mindig időben állandónak tételezzük fel.

A külső levegőnek leadott veszteség teljesítményét a $P_v = c_{Al} m_{Al} k (T_{Al} - T_0)$ összefüggéssel számoljuk, ahol a k hőátadási konstansban benne van a kollektor és a külső levegő érintkezési felületének effektív területe is.

A $T_{Al}(t)$ függvényt átalakíthatjuk $T_m(t)$ függvényre az előzőekben meghatározott egyenletek alapján: $T_{Al}(t) = (T_m(t) - qT_0)/(1 - q)$

Az eredeti egyenlet

$$c_{Al}m_{Al} \frac{dT_{Al}(t)}{dt} = S - c\rho Av(T_m(t) - T_0) - c_{Al}m_{Al}k(T_{Al}(t) - T_0) \quad (6)$$

így alakul:

$$\frac{c_{Al}m_{Al}}{1-q} \frac{dT_m(t)}{dt} = S - c\rho Av(T_m(t) - T_0) - c_{Al}m_{Al}k\left(\frac{T_m(t)}{1-q} - \left(\frac{q}{1-q} + 1\right)T_0\right)$$

ebből:

$$\frac{dT_m(t)}{dt} = \frac{(1-q)}{c_{Al}m_{Al}} S - \frac{c\rho Av(1-q)}{c_{Al}m_{Al}} (T_m(t) - T_0) - k(T_m(t) - T_0).$$

$1-q=p$ -vel írva:

$$\frac{dT_m(t)}{dt} = -\left(\frac{c\rho Avp}{c_{Al}m_{Al}} + k\right)T_m(t) + \frac{c\rho AvpT_0 + pS}{c_{Al}m_{Al}} + kT_0 \quad (7)$$

Ez ismét egy $\frac{dT(x)}{dx} = -KT(x) + Z$ alakú differenciálegyenlet, aminek megoldását a

Függelékben részletezett módon számolhatjuk ki. Itt $x \rightarrow t$, és a kezdőfeltétel: $T(0)=T_i$

A megoldás $T(t) = Be^{-Kt} + \frac{Z}{K}$, és $B=T_i-Z/K$. A Z/K állandó jelentése a $t=\infty$ -ben felvett

hőmérséklet, amit jelöljünk $Z/K=T_r$ -vel (telítési hőmérséklet). Azaz

$$T(t) = (T_i - T_r)e^{-Kt} + T_r. \quad (8)$$

T_i kezdeti hőmérséklet melegítéskor megegyezik a külső hőmérséklettel, hűléskor pedig annál magasabb.

A K értékét (7)-ből leolvashatjuk: $K=c\rho Avp/c_{Al}m_{Al}+k$

2.3.3. Hatásfok számítása

A mérések során többször tapasztaltunk olyan időszakot, amikor a bejövő napsugárzás és a kollektorból kimenő levegő hőmérséklete is közel időfüggetlen volt. Ezen esetekben az (6) alapegyenlet stacionárius állapotnak megfelelően egyszerűsödik:

$$0 = -P_l - P_v + S$$

$$S = P_l + P_v = cv\rho A(T_m - T_0) + k \frac{c_{Al} m_{Al}}{p} (T_m - T_0)$$

Ahol P_l a hasznosított teljesítmény (watt), P_v a nem hasznosított teljesítmény (watt).

A sörkollektor hatásfoka a következőképpen számítható: $\eta = \frac{P_l}{S} = \frac{cv\rho A(T_m - T_0)}{IA_k}$

$S=IA_k$, alapján. Ahol I a napsugárzás intenzitása (W/m^2), A_k a kollektor effektív felülete.

2.4. Mérési eredmények

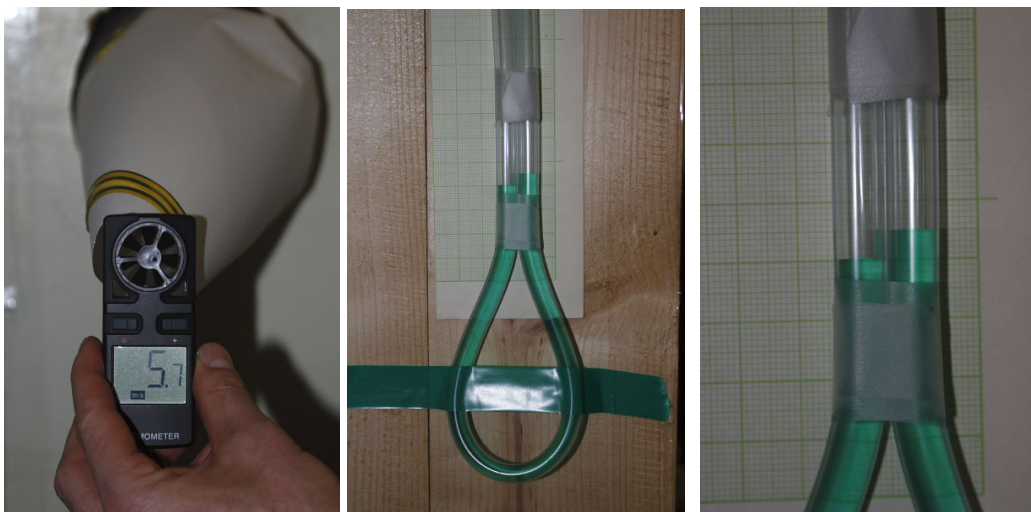
A hőmérséklet és a fényméréseket 1-1 Voltcraft VC-820 digitális multiméter segítségével végeztük, amelyek az adatrögzítő számítógép és a hőmérő, ill. a napelem között képeztek összeköttetést. (16. ábra)



16. ábra: A mérés (Szerző: Juhász Edina)

2.4.1. Légellenállás mérés

A kollektorból kiáramló levegő sebességének (v) megállapításához anemométert használtunk. A sebesség méréséhez a kollektor kimeneti nyílását egy papírkúppal leszűkítettük, hogy az anemométer mérőrészéhez igazodjon. Ekkor a kimenő nyílás felülete $A = 8,638 \text{ cm}^2$ volt. Egy átlátszó műanyagcsőből U csöves manométert szerkesztettünk, benne színezett vízzel, a cső végeit a kollektor bemenetéhez és kimenetéhez csatlakoztattuk. E két műszer által szolgáltatott adat ismeretében meg lehetett határozni a perdítő csöves kollektor légellenállását (R) (17. ábra).



17. ábra: Anemométer és U-csöves manométer (Szerző: Juhász Edina)

$$\Delta p = R(dV / dt)$$

$$\Delta p = 5 \text{ mmHg} = 50 \text{ Pa}$$

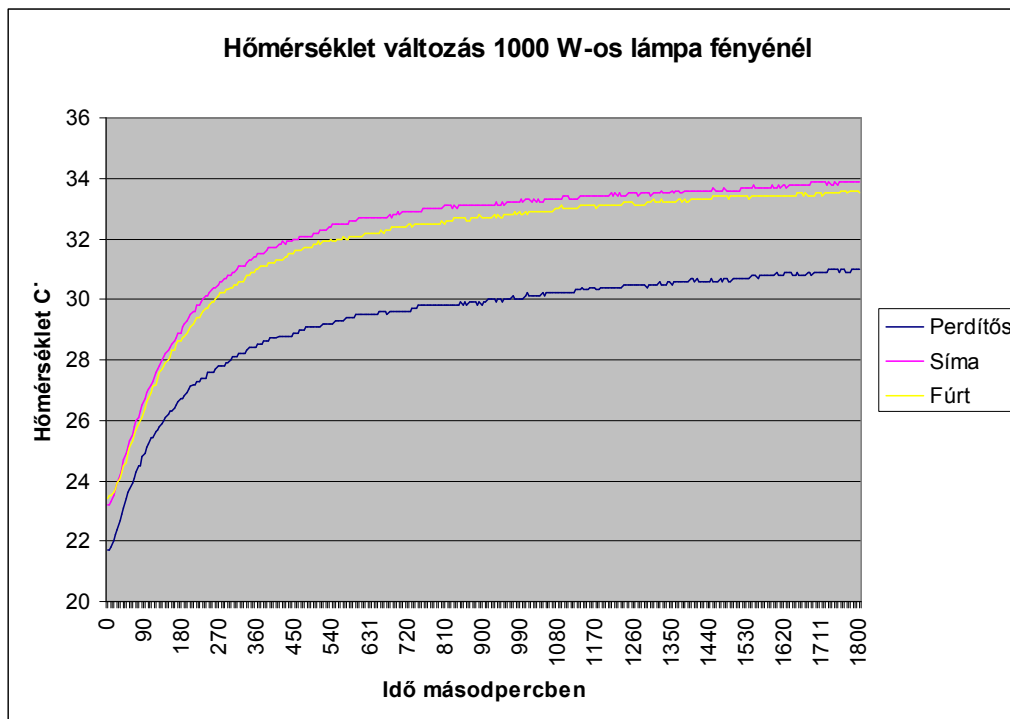
$$(dV / dt) = \rho v A = 21,76 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Tehát a nyomás különbség (Δp) 5 mmH₂O volt, amely 50 Pa-nak felel meg. A levegő 8,638 cm²-en áramlott ki 7 m/s sebességgel, ami átszámolva 21,76 m³/h-t jelent.

2.4.2. Teljesítmény mérések 1000 W-os lámpával

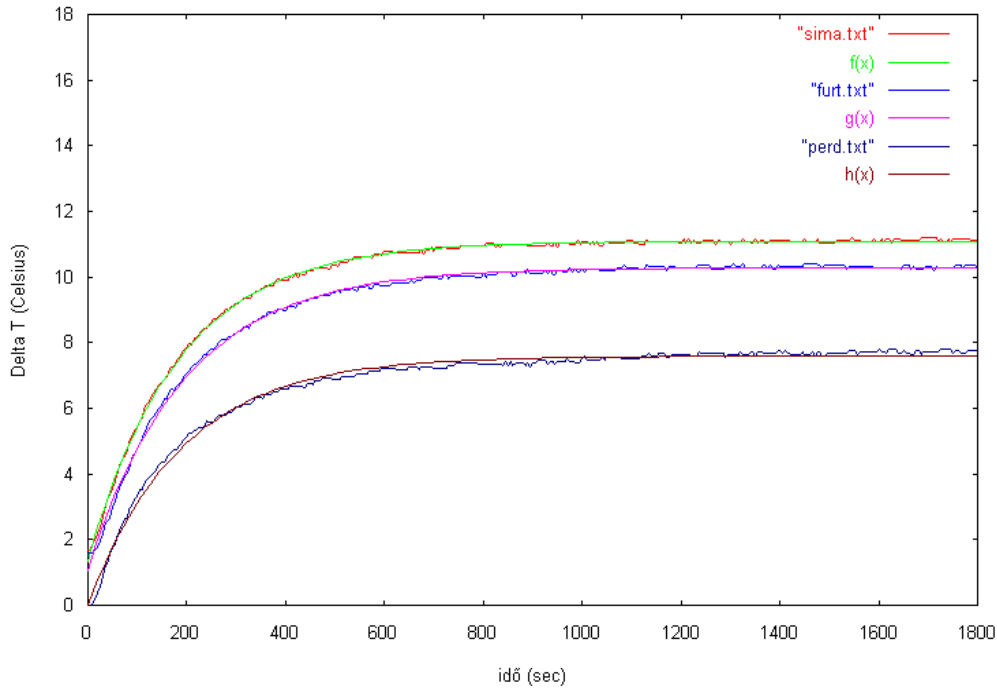
A három típusú kollektor teljesítményét és felmelegedési idejét időben állandó körülmények között megpróbáltuk tesztelni. Egy 1000 W-os lámpát 1m távolságra és 75 cm magasságban helyeztünk el a kollektor előtt, majd mindhárom típusú csővel kb. fél óráig monitoroztuk a kijövő levegő hőmérsékletét, valamint felírtuk többször a szoba levegőjének hőmérsékletét is.

Az eredményeket az 1. grafikon mutatja.



1. grafikon: Az 1000W-os lámpával felvett melegedési görbék

Mindhárom mérés azonos tendenciát mutatott, a korábban kiszámolt exponenciális telítődés igaz a kijövő hőmérsékletre. Látható, hogy a T_t telítődési hőmérséklet különböző a három esetben, valamint a kijövő levegő sebessége is. (A ventilátor teljesítménye a három esetben azonos volt.) A mérés során azonban emelkedett a szoba hőmérséklete, ezért a második méréskor a külső hőmérséklet nem annyi mint az elsónél. Ezért a mért hőmérséklet görbékből a feljegyzett szobalevegő-hőmérséklet adatokhoz illesztett egyenes szerinti hőmérsékleteket kivontuk. Így $T_m(t)-T_0$ görbéket kapunk, ahol igazából a T_0 időfüggő. A számolásainkban ez mindig konstans volt, de időfüggő külső hőmérséklettel indokolatlanul bonyolulttá válnának az egyenletek. (2. grafikon).



2. grafikon: A 1000 W-os lámpa használata során a $T_m - T_0$ különbségek időfüggése, és a hozzájuk illesztett görbék.

A 2. grafikonon a $T_m(t) - T_0 = T_n(t)$ mért értékek görbéi és a hozzájuk illesztett $\Delta T(1 - e^{-K(t-C)})$ függvények láthatók.

Az illesztési paraméterek a következőnek adódtak gnuplot szoftverrel történt illesztés alapján:

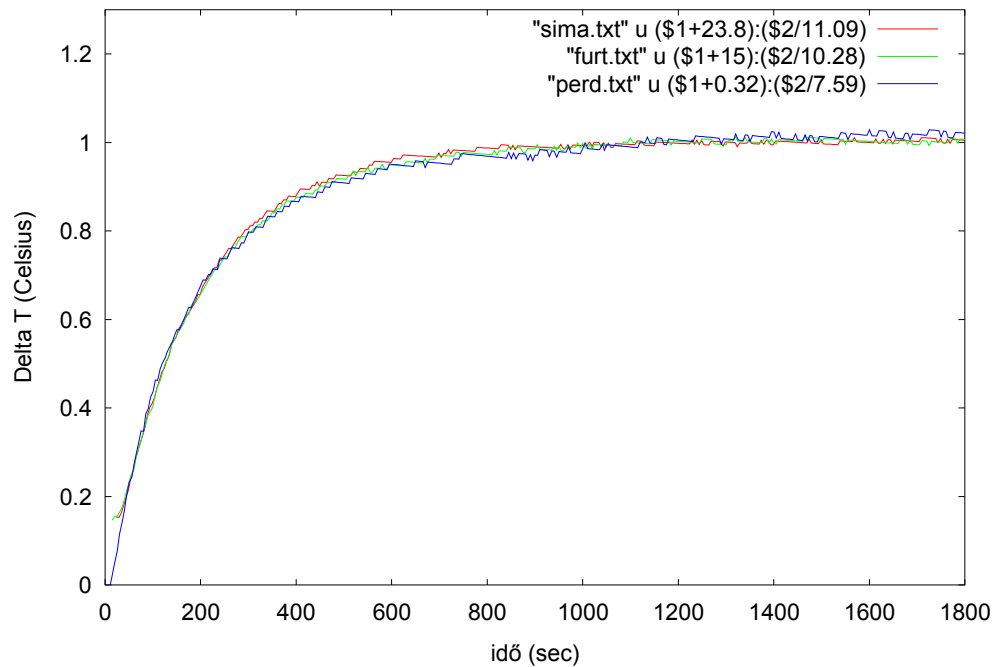
	ΔT (°C)	$\sigma_{\Delta T}$	K (1/s)	σ_K	C (s)	σ_C	v (m/s)
Perdítős	7,59	0,1%	0,00526	1%	0,3	1 s	7
Fürt	10,28	0,1%	0,0051	0,5%	15	2,8%	5,8
Sima	11,09	0,1%	0,0054	0,3%	24	1,8%	5,5

2. táblázat, A tesztmérés illesztési paraméterei

A meghatározott illesztési paraméterek hibáit jeleztük a σ oszlopokban. Ezek a statisztikus bizonytalanságra vonatkoznak, ezen felül vannak szisztematikus hibák is. Például a 2. grafikonon a perd.txt felirathoz tartozó adatsor nem telítődik vízszintesre, hanem kicsit lineárisan emelkedik. Ez szisztematikus hiba a külső hőmérséklet kivonása itt nem volt teljesen jó.

A görbék menetének összehasonlítása miatt a 3. grafikonon ábrázoltuk a $T_n(t)/\Delta T$ görbékét, időben C-vel visszatolva. Ekkor a három görbe szemre közel egymáson halad. Ez azt jelenti,

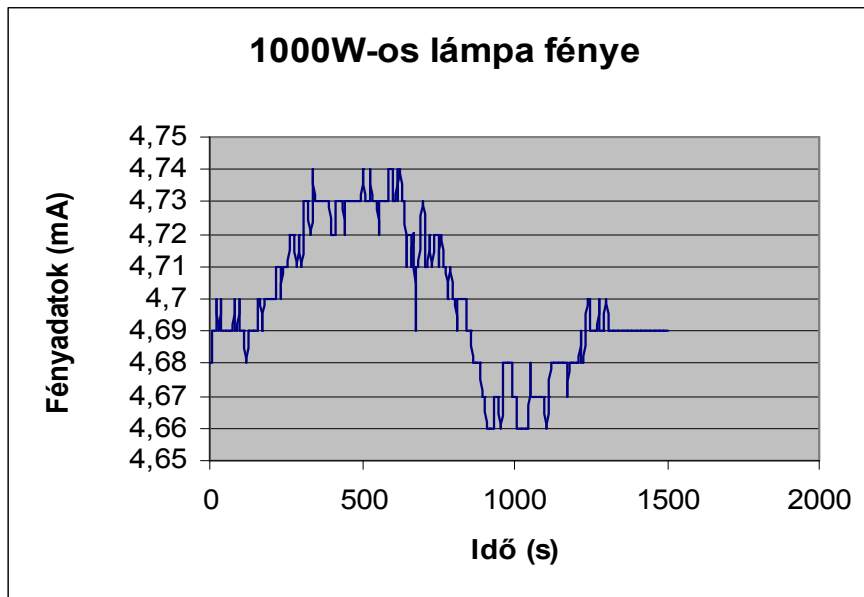
hogy bár a K paraméterekben van különbség, ez igazából elég kicsi. A három esetben az átáramló levegő sebessége jelentősen megváltozott, de a felfutási időállandó meglepően konstans maradt.



3. grafikon: A ΔT görbék összeskálázva.

A felmelegedés ΔT értékei is jelentősen különböznek a három esetben. A lassabb áramlást megengedő sima dobozos csövek esetében a hőmérséklet jobban felment, a levegőt hosszabb ideig melegítette a kollektor.

A lámpa besugárzása nagyjából egyenletes volt, egy napelem áramát mérve vizsgáltuk a fényerősséget. Az eredményeket a 4. grafikon mutatja. A relatív egységekben értendő ábráról az látható, hogy 0,03 mA szórás tartozik a 4,7 mA átlagértékhez. Ez 0,6%-os ingadozást jelent.



4. grafikon: 1000 W-os lámpa fényének napelem által mért adatai

A sörkollektorral elért teljesítményt úgy adhatjuk meg, hogy a t idő alatt kiáramlott levegő által átvett hőt kiszámoljuk a hőmérsékletnövekedésből (ΔT), ahogy a fentiekben is tettük:

$$P_l = \frac{Q}{t} = \frac{cm\Delta T}{t} = \frac{c\rho v t A \Delta T}{t} = c\rho v A \Delta T$$

$$M = c\rho A = 1012 \text{ J/kg}^\circ\text{C} * 7,065 * 10^{-4} \text{ m}^2 * 1,269 \text{ kg/m}^3 = 0,9073 \text{ J}^\circ\text{C}$$

Itt Q a dobozok anyagától átvett hőenergia, c a levegő fajhője ($1012 \text{ J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$), ρ a levegő sűrűsége (ami ezen a hőmérsékleten = $1,269 \text{ kg/m}^3$), v a levegő áramlásának mért sebessége, A pedig az a felület, amelyen a levegő kiáramlott (ez esetünkben egy $1,5 \text{ cm}$ sugarú kör. Ennél a mérésnél a levegő sebességét egy új papírkúppal végeztük, ezért módosult annak felülete.) Az Av szorzat az egész kollektort tekintve jó közelítéssel állandó, ha a levegő összenyomhatatlannak tekinthető. Az M állandó érték a három csőtípusú kollektorra nézve.

A teljesítmények az 1000 W -os lámpával történt méréseknél:

$$\text{Perdítős dobozokkal: } P_l = Mv\Delta T = 0,9 \text{ J}^\circ\text{C} \cdot 7 \text{ m/s} \cdot 7,59^\circ\text{C} = 47,8 \text{ W}$$

$$\text{Sima dobozokkal: } P_l = 0,9 \text{ J}^\circ\text{C} \cdot 5,5 \text{ m/s} \cdot 11,1^\circ\text{C} = 61,0 \text{ W}$$

$$\text{Fürt dobozokkal: } P_l = 0,9 \text{ J}^\circ\text{C} \cdot 5,8 \text{ m/s} \cdot 10,28^\circ\text{C} = 59,6 \text{ W}$$

Az időfüggések illesztéséből kapott K paraméterek (1. táblázat) meghatározzák azt az időt, ami alatt egyenletes besugárzás esetén a kijövő hőmérséklet 10%-os pontossággal felveszi a telítési hőmérsékletet ($T=ln10/K$). Ez alapján a három esetre 7,25 perc, 7,5 perc, 7 perc beállási idő adódik (ld. még 2. grafikon). A sörkollektor tehát gyorsan beáll.

A *sima* csöveknél volt a legnagyobb akadály a levegő útjában, tehát ebben az esetben haladt át leglassabban a csöveken, ennek következtében több időt töltött a kollektor belsejében, így több hőt tudott átvenni az alumíniumtól, ezért volt a kiáramló levegő ebben az esetben a legmagasabb hőmérsékletű. Azonban mivel a kollektor teljesítménye a kiáramló levegő sebességével is arányosan nő, és ebben az esetben volt a sebesség a legalacsonyabb, a teljesítmény értéke nem egyértelműen a legmagasabb. De a sebesség nem csökkent annyival, mint kellett volna a teljesítmény csökkenéshez.

Az előzőhöz képest nagyobb sebességgel áramolhatott át a levegő a *fürt* csövek esetében, mert itt nem csak a dobozok szája nyitott, mint az előbbi esetben, hanem emellett a 3 fűrt lyukon is átjuthatott a levegő. Itt alacsonyabb volt a kiáramló levegő hőmérséklete, a sebessége azonban magasabb. Mindezek ellenére - amint az az adatokból látható - nincs jelentős különbség a fűrt és a *sima* csöveknél sem a hőmérséklet, sem a levegő sebessége, sem a teljesítmény, sem a K között.

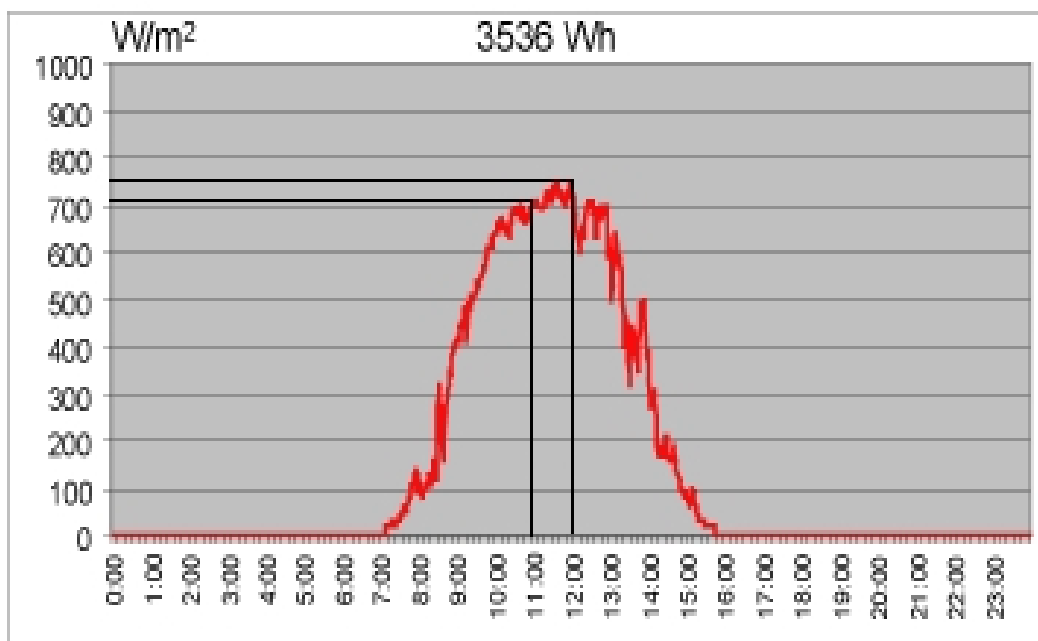
A mért hőmérséklet a *perditős* csöveknél volt a legalacsonyabb, mert itt állt a legkisebb akadály a levegő útjában, tehát itt haladhatott át leggyorsabban, vagyis az előzőeknél kevesebb ideig érintkezett az alumíniummal, így attól kevesebb hőt vett át. Azonban a mért teljesítmény kicsit a másik kettőé alatt maradt.

A három csőtípus összehasonlítása során tehát azt tapasztaltuk, hogy a fűrt és a *sima* csövek közti különbség elenyésző. Mivel azonban a kialakításkor a *sima* típusnál időt takarítunk meg azzal, hogy nem fűrünk rá lyukakat, a *sima* típus gazdaságosabbnak tekinthető a fűrtnél. Ezt támasztja alá az is, hogy a teljesítményük közel azonos, ugyanakkor a *sima*-nál magasabb a kiáramló levegő hőmérséklete, tehát gyorsabban melegszik fel a szoba.

2.4.3. Mérések szabad ég alatt

A megépített napkollektort 2007. november 21-én tesztelük a szabad ég alatt, az ELTE Lágymányosi Kampuszának Északi Tömb 2. emeleti teraszán.

A mérési naphoz tartozó napsugárzási adatok a www.naplopo.hu weboldalról származnak (5. grafikon), de mértük is a napsugárzás intenzitását a napelemmel. Ennek árama relatív egységben mutatja a napsugárzás intenzitásának változását, de az abszolút kalibrációhoz a weboldalon található adatokkal végeztünk összehasonlítást.

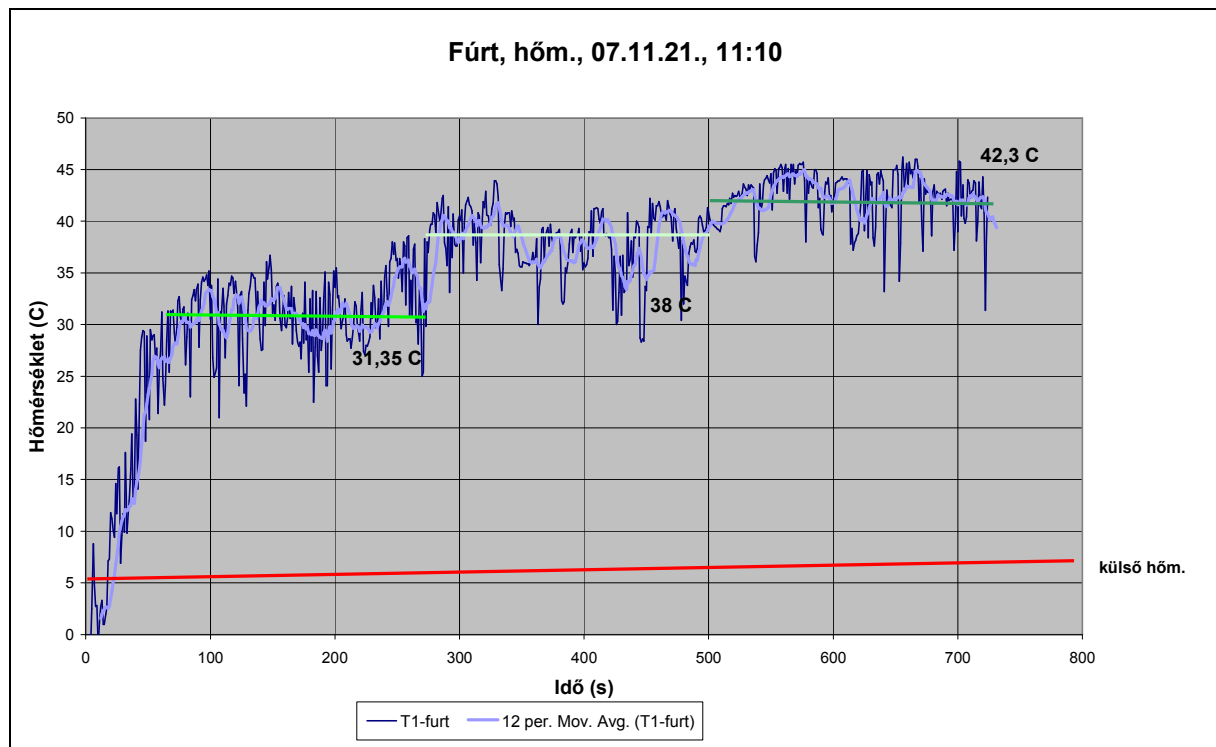


5. grafikon: Napsugárzási adatok: 2007.11.21. (www.naplopo.hu)

Eszerint a mérési időszakban 750 W/m^2 körül volt a napsugárzás intenzitása. Mivel kollektorunk felülete, $A = 0,4554 \text{ m}^2$, a beérkező napsugárzás teljesítménye:

$$S = IA_{koll} = 750 \text{ W/m}^2 * 0,4554 \text{ m}^2 = 341,55 \text{ W}$$

2.4.3.1. Mérés fűrt csövekkel 2007.11.21.-én



6. grafikon: 2007.11.21-ei 1. mérés hőmérsékleti diagrammja

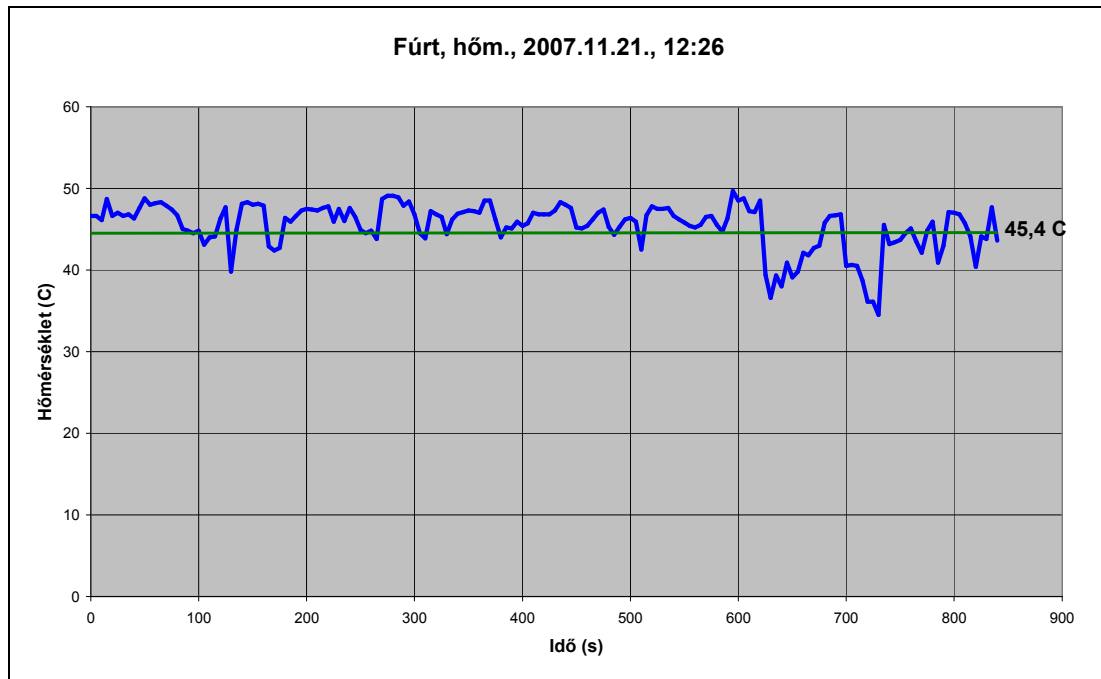
Az első mérés kezdetekor a külső hőmérséklet 5 °C volt. A ventilátor beindítása után a kiáramló hőmérséklet azonnal emelkedni kezdett. Eleinte azonban alacsonyabb volt, mint a külső hőmérséklet, hiszen a dobozok még nem melegedtek fel és a ventilátor lehűtött levegőt fűjt befelé. Hamarosan a ventilátor hűtő munkáját ellensúlyozta a napsugárzás melegítő hatása, nem sokkal később már a kiáramló levegő magasabb hőmérsékletű volt, mint a külső. Kb. 8 perc után kezdett beállni egy állandó hőmérsékleti érték, 30 °C-körül. 25 perc múlva ez az érték 40 °C-ra emelkedett, hisz nőtt a besugárzás mértéke. Eközben a külső hőmérséklet csak 1°C-ot emelkedett.

A sörkollektorral ekkor elért teljesítmény:

$$P_{f,1} = 0,9073 J / ^\circ C * 2,925 m / s * 42,9^\circ C = 113,8 W$$

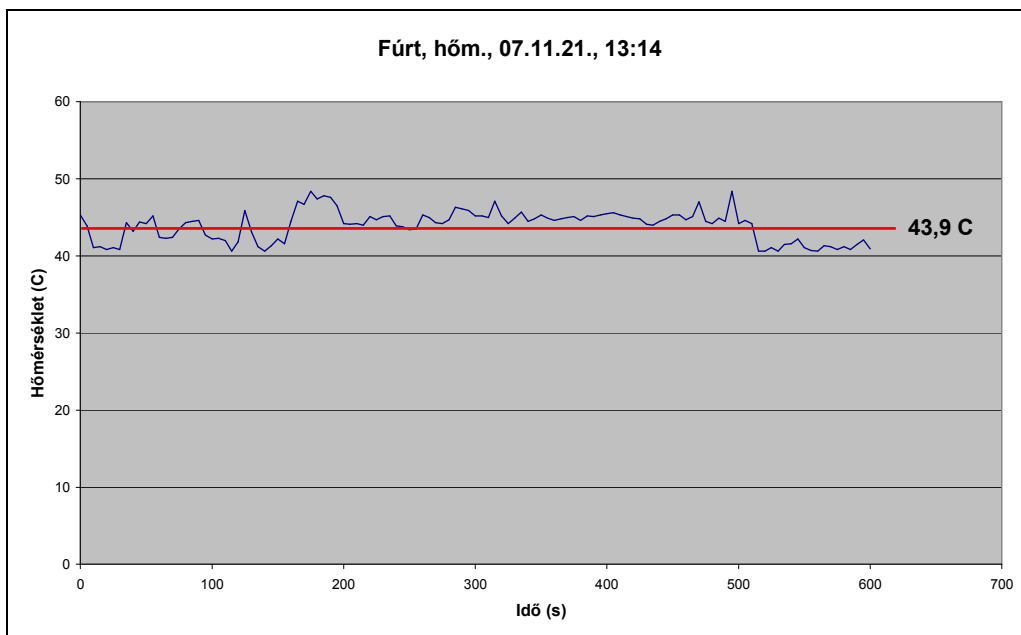
$$\text{Ekkor a kollektor hatásfoka: } \eta = \frac{P}{S} = \frac{113,8 W}{341,55 W} = 0,33$$

Mérések fűt csövekkel 2007.11.21.-én csökkentett fordulatszámmal (7., 8. grafikon)



7. grafikon: 2007.11.21-ei 2. mérés hőmérsékleti diagramja

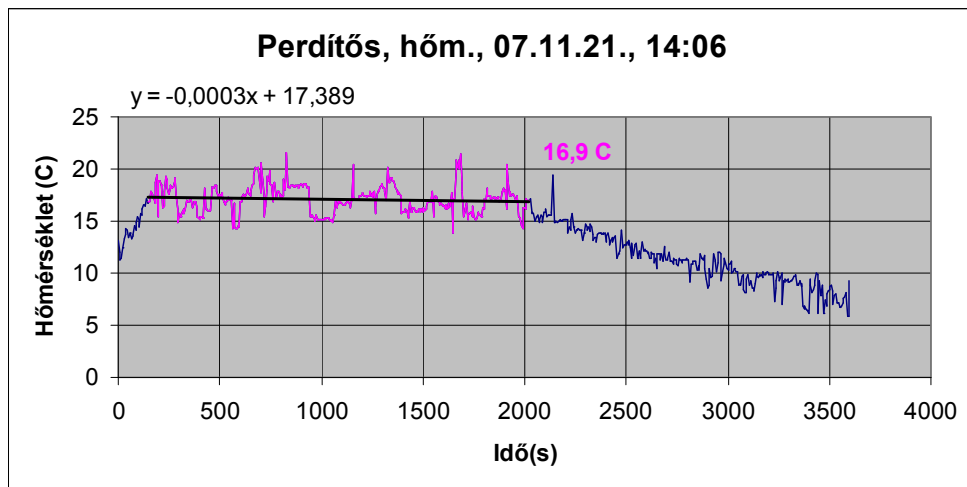
Ebben a mérésben csökkentettük a ventilátor fordulatszámát, így csökkent a kiáramló levegő sebessége (2,275 m/s). De ez nem befolyásolta jelentősebben a kiáramló levegő hőmérsékletét.



8. grafikon: 2007.11.21-ei 3. mérés hőmérsékleti diagramja

A harmadik mérésben (8. grafikon) tovább csökkentettük a ventilátor fordulatszámát, így a kiáramló levegő sebessége már csak 1 m/s volt. Ekkor már észrevehető mértékben csökkent a levegő hőmérséklete. Ennek lehetséges oka, a nem tökéletes hőszigetelés, aminek következtében hőveszteség lépett fel.

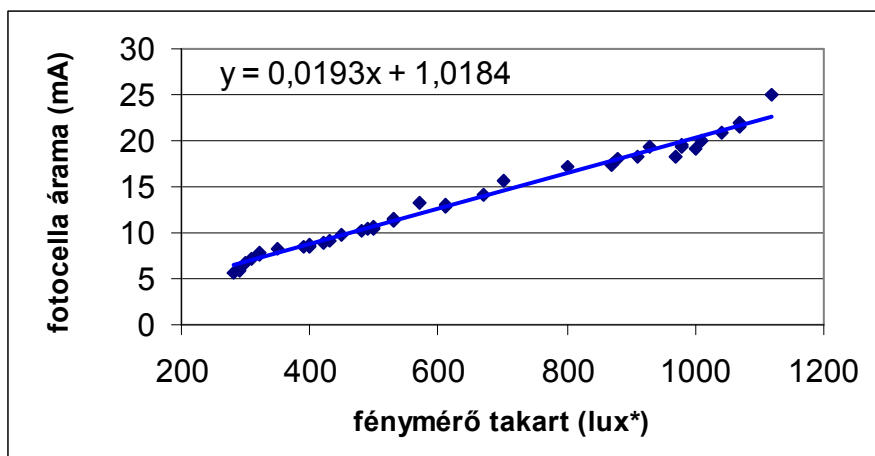
2.4.3.2. Mérés a perdítővel ellátott csövekkel 2007.11.21-én



9. grafikon: Perdítő grafikon: 2007.11.21-ei mérés hőmérsékleti diagrammja

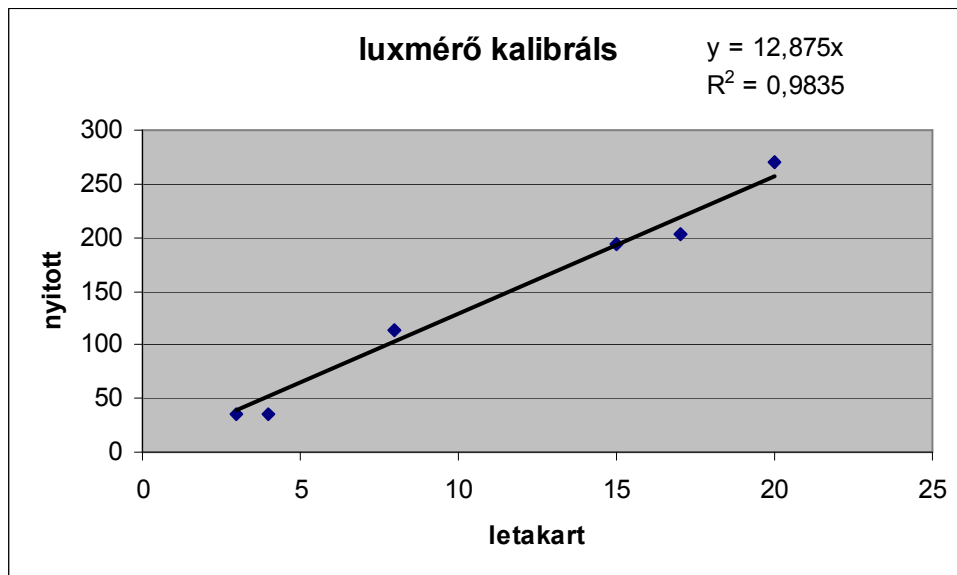
A 14:39 utáni adatok a napsugárzás fokozott gyengülése miatt már nem használhatók, ekkor a dobozok már hűlni kezdtek.

Amellett, hogy a napelemmel mértük a napsugárzás erősségét, egy megvilágításmérőt is használtunk, más néven luxmérőt. Ennek alkalmazásánál figyelni kell arra, hogy ne befolyásoljuk a mérést, például, hogy a mérő személy ne árnyékolja a készüléket, vagy a ruházata ne verje vissza a fényt. Az érzékelő tehetetlenségétől (jelkövetési sebességétől) függően ügyelni kell az érzékelő elhelyezése és az értékleolvasás közötti kivárára is. Mivel mérésünk időpontjában a napsugárzás értéke meghaladta a műszer méréstartományát, ezért az érzékelő részét el kellett takarnunk, hogy használható értékeket kapjunk. Ezeket az adatokat összevetve a mért áramerősséget (10. grafikon) láthattuk, hogy a két adatsor egymással párhuzamosan fut, tehát a napelemen mért értékek megbízhatóan tükrözik a napsugárzás erősségét.



10. grafikon: Lux mérő és napelem áramerősségének összehasonlítása

Emellett azt is ki kellett mérnünk, hogy milyen adatokat kaphattunk volna, ha megfelelő lett volna a berendezés méréstartományja. Ehhez épületen belül vettünk fel mérési pontokat, úgy hogy ugyanott felvettük a lefedett és a fedetlen készülék mérési adatait. A két érték között a következő összefüggést kaptuk: ha a mérő nincs lefedve 12,9-szeres értéket mutat a letakarhoz képest (11. grafikon).



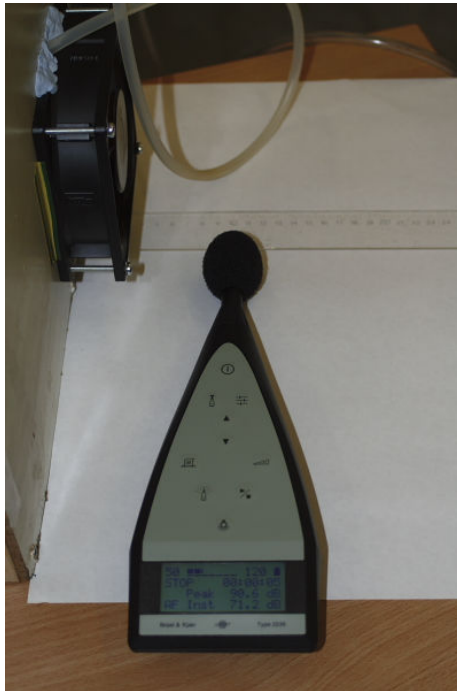
11. grafikon: Luxmérő kalibrálása

2.4.3.3. Zajmérés

Zajmérővel (18. ábra) kimértük a kollektor által okozott zajt is. A mért eredményeket a 3. táblázat mutatja:

Távolság (cm)	Összes zaj (dB)	Háttérzaj (dB)
10	90,6	65
27	80,9	65
32	79,5	65

3. táblázat



18. ábra: Zajmérés (Szerző: Juhász Edina)

2.5. Gazdaságosság:

A sörkollektor használatának gazdaságosságát a www.naplopo.hu-n található napsugárzási adatok, és a <http://napenergia.freeweb.hu/gyak/szp/sztgyi.htm> oldalon található kollektor paramétereire alapján vizsgáltuk.

Az utóbbi négy év fűtési időszakának napsugárzási adataiból számított átlag sugárzással számoltunk (4. táblázat).

Év	Hónap	Sugárzás (Wh/m ²)	Éves átlag	4 éves átlag
2004	1	58082	68565,6	
2004	2	83029		
2004	10	87641		
2004	11	71029		
2004	12	43047		
2005	1	70414	72895,6	
2005	2	76024		
2005	10	120724		
2005	11	52860		
2005	12	44456		
2006	1	53487	66896	
2006	2	67452		
2006	10	125755		
2006	11	50830		
2006	12	36956		
2007	1	55223	59832	67047,3
2007	2	59578		
2007	10	91698		
2007	11	64870		
2007	12	27791		

4. táblázat

Tehát 67047,3 Wh/m² volt az átlagos besugárzás.

Ebből egy 3,5 m² felületű, és 70%-os hatásfokú napkollektorral:

$$67047,3 \text{ Wh} / \text{m}^2 * 0,7 * 3,5 \text{ m}^2 = 164 \text{ kWh} = 590,4 \text{ MJ} \text{ hőenergiát használhatunk fel.}$$

Mivel a földgáz ára 2,4 Ft/MJ, a napkollektorral havi közel 1400 Ft-ot spórolhatunk meg a fűtésszámlánkból.

A fenti sörkollektor ára 90.000 Ft-volt, így ha évente 5 hónapban fűtünk, akkor 13 év alatt térülhet meg. Mivel a kollektor élettartama is ehhez közelít, így a beruházás nem térül meg. Tehát ahhoz, hogy a kollektor gazdaságos legyen csökkenteni kell az anyagköltségeket.

A fenti kollektor anyagköltségei a honlap szerint:

polycarbonát 1240x3050:	24 000 Ft
osztó/gyűjtő anyag+munkadíj:	15 360 Ft
faanyag:	10 489 Ft
festékek:	13 890 Ft
sziloplaszt:	2 796 Ft
faragasztó:	1 190 Ft
kötőelemek:	2 862 Ft
ALU idomok a PC lefogásához:	5 770 Ft
légtechn. cső+csőcsonkok:	1 555 Ft
PVC cső /védőcsőnek:	1 400 Ft
kifűvő rács:	1 590 Ft
hőm. különbség kapcsoló:	3 990 Ft
tömítés (EPDM E-profil):	1 796 Ft
ÖSSZESEN:	86 688 Ft

5. táblázat (<http://www.freeweb.hu/napenergia/gyak/szp/sztgyi.htm>)

Ebből megspórolhatjuk a 15.000 Ft-os munkadíjat, ha mi magunk készítjük el a kollektort, emellett ha az otthoni faanyagból dolgozunk, vékonyabb (10 mm helyett 6 mm-est) polikarbonát lemezt választunk, további megtakarításokat érhetünk el.

Így a megtérülési idő lecsökkenhet 7,3 évre, átlagos napsugárzási értékekkel számolva. [7].

Összefoglalás

A kollektoron végzett kísérletek eredményei alátámasztják korábbi elképzeléseinket, miszerint valóban hatékonyan szolgálhat a fűtéskiegészítésre. A dolgozat terjedelmének keretei nem tették lehetővé számunkra, hogy teljeskörű jellemzést adhassunk a berendezésről, mégis számos hasznos információval szolgálhatunk azoknak, akik belevágnának egy ilyen eszköz megépítésébe.

Úgy gondoljuk mindenképpen érdemes beruházni egy ilyen levegős napkollektorra, mert fűtési számlánk csökkentésével gyorsan behozza az árát, diszkrét megjelenésével az épületek látványát nem teszi élvezhetetlenné. Ráadásul alkalmazásával is hozzájárulhatunk a fosszilis tüzelőanyagok használatának, illetve az alumínium hulladék keletkezésének csökkentéséhez. Ez a berendezés is a megújuló energiák hasznosításának egy újabb lehetséges módja és talán az egyetlen, amivel szemben nem merülhetnek fel jelentősebb ellenvetések. Olcsó, egyszerű és környezetbarát megoldás.

A kollektor jónéhány korábban már ismertetett előnye mellett rendelkezik természetesen hátrányokkal is. Ilyen például az, hogy borús időben sajnos nem működik, ill. a hó tárolására nem képes. Kutatásunk további menete során ezekkel a kérdésekkel is szeretnénk mélyrehatóan foglalkozni.

Függelék

A $\frac{dT(x)}{dx} = -KT(x) + Z$ alakú differenciálegyenletek megoldása:

A megoldást $T(x) = Be^{-Kx} + \frac{Z}{K}$ alakban keressük. A fenti egyenletbe behelyettesítve igazoljuk, hogy tényleg megoldás:

$$-KBe^{-Kx} = -K\left(Be^{-Kx} + \frac{Z}{K}\right) + Z$$

A kezdeti feltételek $T(0)=T_0$, eszerint $T_0=B+Z/K$. Így $B=T_0-Z/K$.

A Z/K állandó jelentése az $y=\infty$ -ben felvett $T(y)$, ezt T_∞ -vel jelöljük. Azaz

$$T(x) = (T_0 - T_\infty)e^{-Kx} + T_\infty.$$

Ez az egyenlet felmelegedéskor exponenciálisan telítődő monoton növekvő függvény.

Lehűléskor x helyét az idő veszi át, és T_0 helyett a kezdeti hőmérséklet nem a külső hőmérséklet, hanem ami a legutolsó melegítés végeredményeként adódó T_t . Ilyenkor T_∞ értéke a külső hőmérséklet lesz (T_0).

$$T(t) = (T_t - T_0)e^{-Kt} + T_0$$

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani *Horváth Ákos* témavezetőnknek, hogy lehetőséget biztosított munkánk sikeres elvégzéséhez és dolgozatunk megírásához.

Hálásak vagyunk *Pávó Gyulának*, aki nélkülözhetetlen szakmai tanácsaival, önzetlen támogatásával alapvetően hozzájárult sikeres munkánkhoz.

Köszönetet mondunk *Niesz Lászlónak*, *Peres Norbertnek* és *Pirisa Józsefnek* hasznos tanácsaikért és segítőkészségükért.

Köszönjük mindkettőnk hozzátartozóinak a kivitelezési munkák során nyújtott segítséget.

Irodalomjegyzék

[2] <http://ludens.elte.hu/~akos/kt/ejegyz/kornyfi.htm>

[3] http://www.eet.bme.hu/publications/e_books/solar/sol1.html

[4] http://www.energiaklub.hu/hu/megujulok/kiadvanyok_iromanyok/

[5] <http://www.energiaklub.hu>

[6] <http://airsolar.ingenyweb.hu/keret.cgi?/anyagvizsg.htm>

[7] <http://www.freeweb.hu/napenergia/gyak/szp/sztgyi.htm>, <http://www.cansolair.ca>