

NKO

## Napkollektor működésének vizsgálata

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 üdítős- 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.

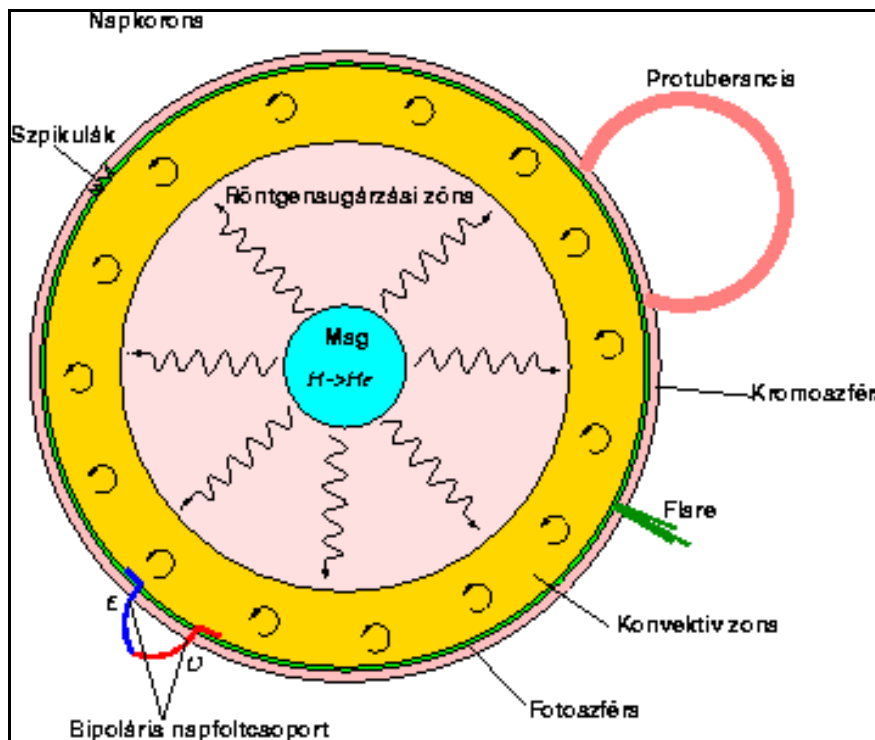
Ezt a köznyelven „sörkollektornak” nevezett szerkezetet készítettük el és azt vizsgáltuk, hogy valóban használható-e fűtéskiegészítőként. Továbbá azzal is foglalkoztunk, hogy növelhető-e a berendezés hatásfoka, ha változtatunk a fizikai paramétereken vagy a rendszer összetételén. Emellett célunk, hogy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

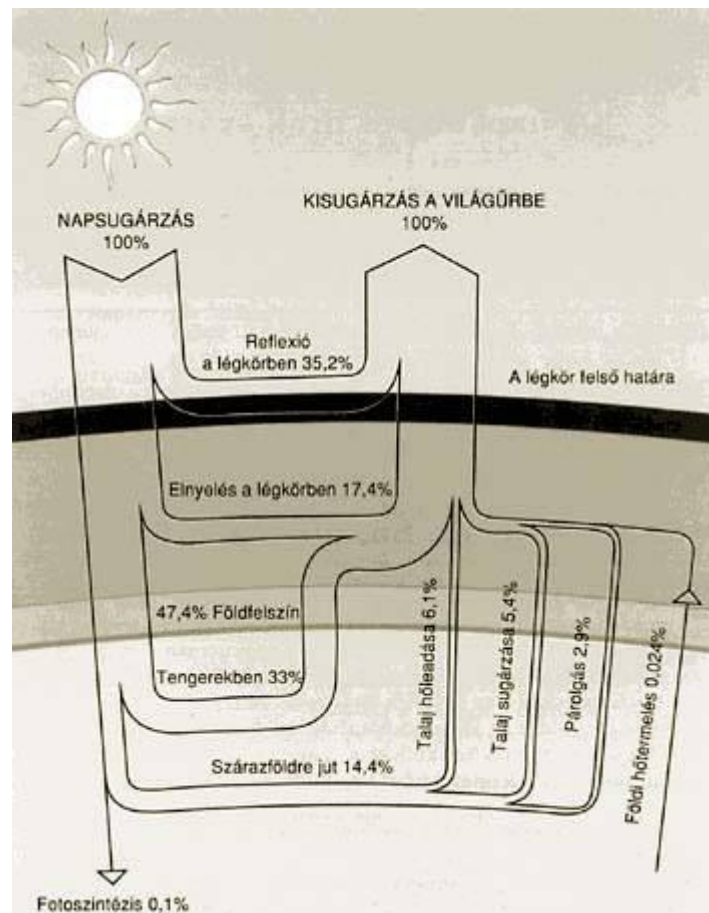
A Nap a Naprendszer legnagyobb tagja, tömegének 99,87 százaléka koncentrálódik benne. Gáz halmazállapotú, közepében helyezkedik el a mag, itt folyik a termonukleáris fúzió, amely a Nap energiáját termeli. Ennek folyamán a csillagfejlődésnek abban a fázisában, amelyben a Nap tart, hidrogén atommagokból 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 Naptól 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)

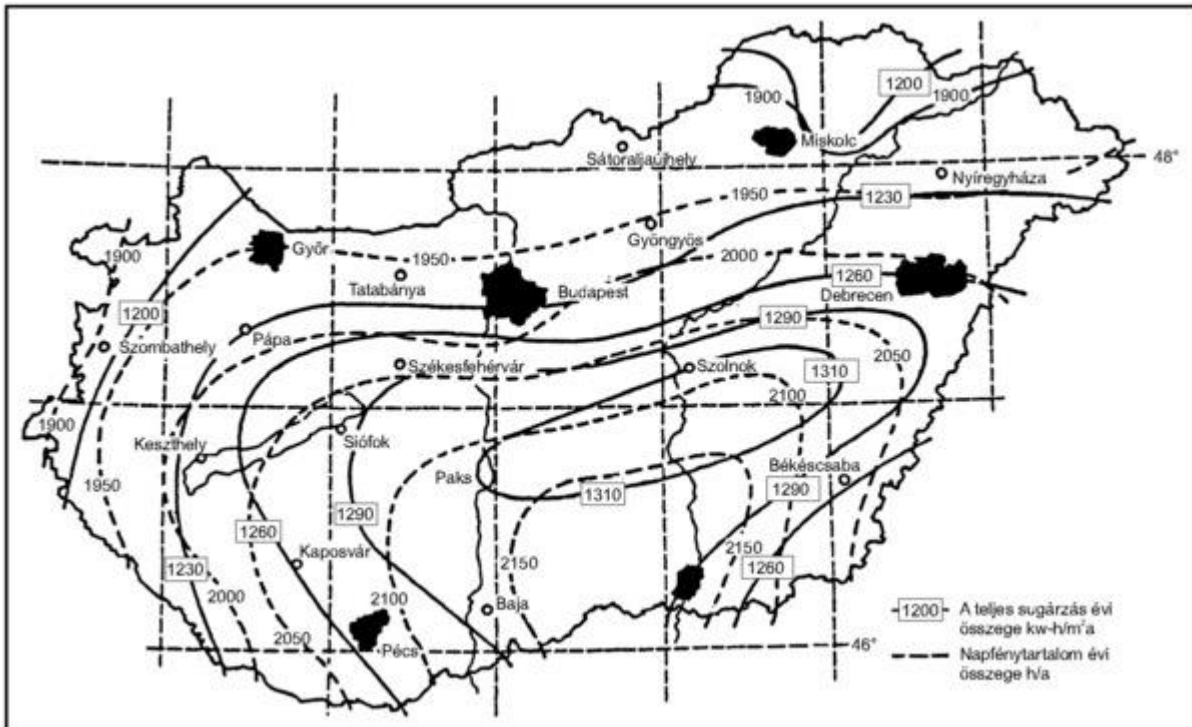


2. ábra: A Földre jutó napsugárzás megoszlása  
(<http://www.okotaj.hu/szamok/22/mas4.html>)

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 hasznosítjuk jelentősebb mértékben.

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

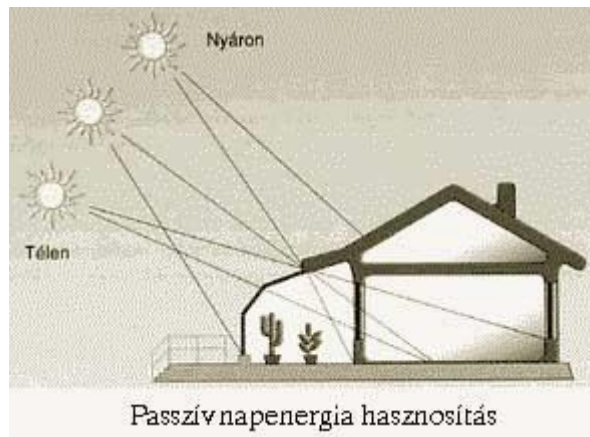


3. ábra: Magyarország napsugárzási mérlege ([www.hik.hu/.../site/books/b108/kepek/1-4.jpg](http://www.hik.hu/.../site/books/b108/kepek/1-4.jpg))

## 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, kéthéjú 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 szélerőművekben 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.

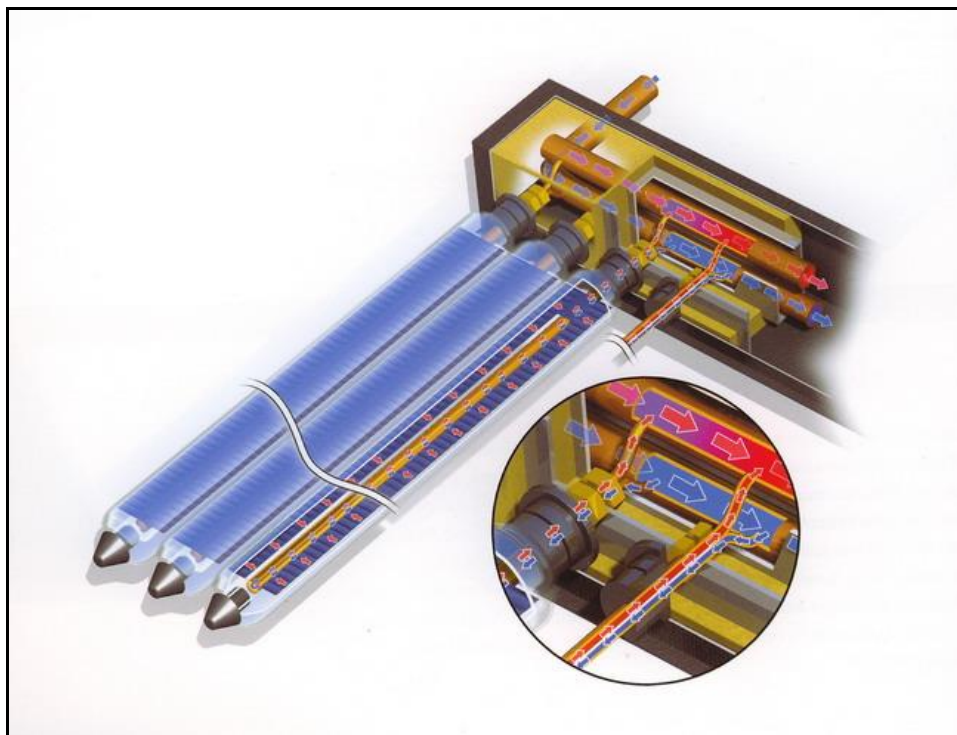
A napenergia *direkt* felhasználása a napsugárzás energiáját napelemekkel alakítja másodlagos energiahordozóvá.

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.

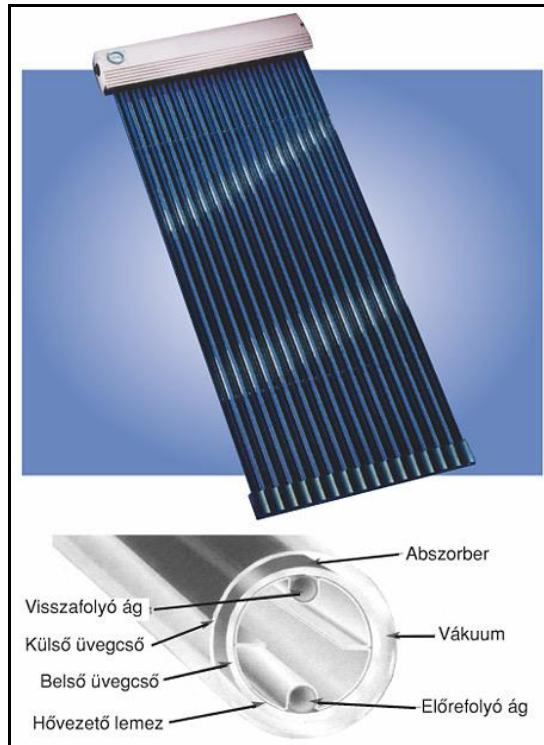
Ennek egy továbbfejlesztett változata a parabolatányér alakú napkollektor, ami az egyik legjobb hatásfokú napkollektor, általában „naperőművekben” használják (7. ábra). Szinte veszteségmentes energiaátadást tesz lehetővé a hőcserélő közeg felé, mivel a Nap sugarait bármilyen irányból is érkezzenek a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



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

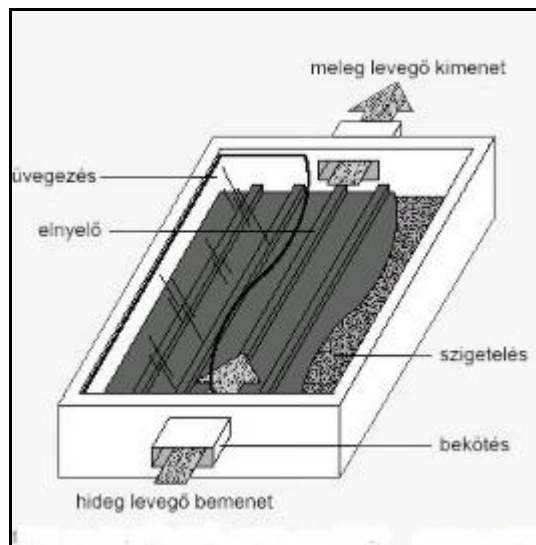
Egy másik típus a vákuumcsöves napkollektor (8. ábra), aminek a legújabb generációja még csak pár éve került a piacra. Ez a napkollektor több vákuumcsővel veszi fel a Nap hőenergiáját, ez azért előnyös, mert ezek a csövek sokkal jobban vezetik a hőt, mint például a rézcsövek, amikben valamilyen folyékony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

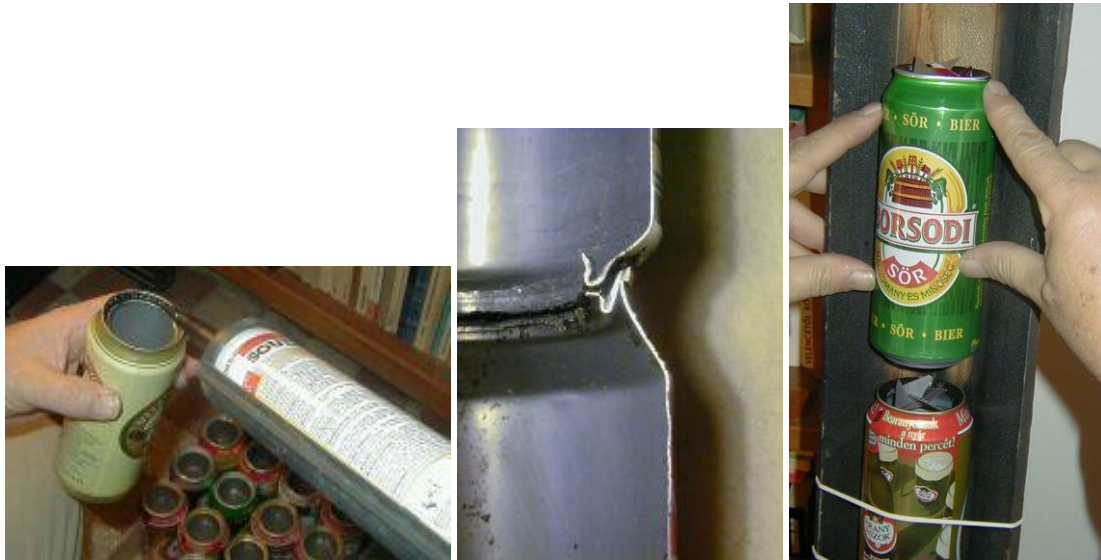
A „fűrt” és a „sima” változat esetében csak a dobozok alját, a „perdítősnél” pedig a tetejét is ki kell vágni. Ehhez egy 44 mm átmérőjű körkiszúró szerszámra van szükség és egy alacsony fordulatra leszabályozható kézfűrógépre. (12. ábra)



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 sziloplasztal 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 befűvás 125 mm-es légtechnikai csővel lett megoldva és ugyanekkora 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 hatásfok 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  $A = 0,4554 \text{ m}^2$ .

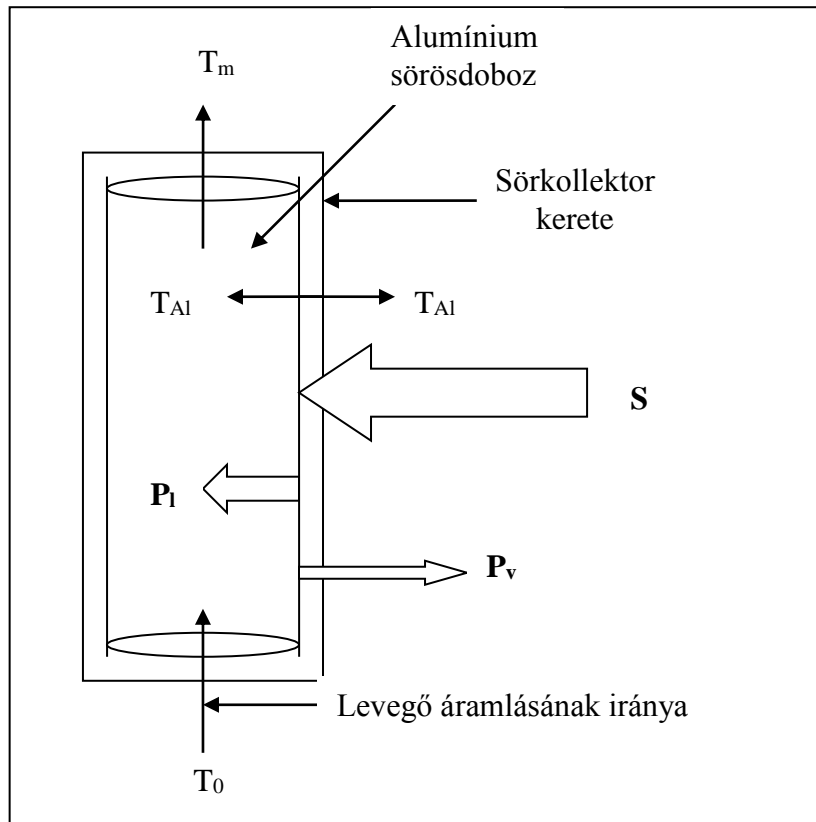
Anyag	Mennyiség	Ár
víziszta légkamrás polikarbonát (80% fényáteresztő)	1,58 m <sup>2</sup>	1 556 Ft
alumínium lemez (1mm vastag)	0,84 m <sup>2</sup>	2 400 Ft
szellőzőcső (Ø 125 mm)	1db	1 800 Ft
sziloplaszt	1db	1 200 Ft
kinyomópisztoly sziloplaszthoz	1db	340 Ft
csatlakozó kezdő a szellőzőcsőhöz	2db	2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

*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  $\Delta t$  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  $\Delta t$  idő alatt átadott energiát  $\Delta Q$ -val jelöljük, és a  $\Delta Q/\Delta t = P_l$  jelölést használjuk a levegő felmelegítésének pillanatnyi teljesítményére. A veszteség irányában átadott energia  $\Delta t$  idő alatt a  $\Delta W$  jelölést kapta, és a veszteség pillanatnyi teljesítménye  $\Delta W/\Delta t = P_v$ .

Egy  $\Delta t$  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  $\Delta T_{Al}$ -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 könnyebb.)

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 ( $\Delta Q$ ) hőmennyiséget vesz fel a

levegő  $\Delta y$  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  $T_\infty$ -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  $\Delta t$  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:

$$T_m = (T_0 - T_{Al})e^{-Hy} + T_{Al} = T_0e^{-Hy} + T_{Al}(1 - e^{-Hy}) = T_0q + T_{Al}p \quad (4)$$

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  $\Delta t$  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.

#### Mérési feladatok

1. Mérd meg hogyan melegszik fel a napkollektorban a levegő egy állandó fényerejű lámpa megvilágítása hatására! Illessz megfelelő függvényt erre az időbeli adatsorra, és határozd meg a felfutás gyorsaságát meghatározó  $k$ -értéket!
2. Vedd fel a lehülési görbét szobahőmérsékletű környezet esetén! Illesztéssel határozd meg a  $k$ -értéket erre az esetre is.
3. Mérd meg a melegedési görbét nem állandó intenzitású természetes napsugárzás hatására. (Napsütéses időjárás esetén.)
4. Mérd ki a lehülési görbét szabad levegőn.
5. Mérd ki a felmelegedett levegő hőmérsékletét az átáramló levegő sebességének függvényében!
6. Határozd meg a felmelegedési görbét több sebességnél, és értékeld az illesztéssel meghatározott  $k$ -értékeket.
7. Számold ki a napkollektor teljesítményét néhány esetben! Értelmezd a különbségeket!
8. Határozd meg a napkollektor hatásfokát a [www.naplopo.hu](http://www.naplopo.hu) napsugárzási adatai alapján. (Ez két-három nap késéssel az interneten megjelenik.)
9. Számold ki a te mérési eredményeid alapján mennyi idő alatt térülne meg egy ilyen napkollektor.