



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Gépészmérnöki Kar Doktori Tanácsa  
Doktori téziszfüzet**

**Készítette:**

**Kassai Miklós**

**Klímaközpontok energiateljesítményének elemzése  
valószínűségelméleti alapon**

**című témakörből,**

**amellyel a Ph.D. fokozat elnyerésére pályázik.**

**Témavezető:**

**Dr. Kajtár László Ph.D.  
egyetemi docens**

**Budapest  
2011**

## 1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYE

Magyarország energiateljesítményének közel 40%-át a lakosság, illetve a lakosság által használt épületek (lakóépületek) energiateljesítménye adja. Ez az arány az Európai Unió tagállamaiban is hasonló, és ha figyelembe vesszük az iparban és a közlekedésben lévő hasonló rendeltetésű épületeket is (pl. irodák), ez az érték megközelíti az 50%-ot [Alan J. Zajac, 1997]. Ezen belül meghatározó hányadot jelent a klímatisztítás energiateljesítménye. A klímatisztítók energiateljesítménye két módon határozható meg. Az üzemelő levegőkezelő központok esetén a tényleges fogyasztási adatok mérésével pontosan meghatározhatók. A 2002/91/EK direktíva alapján a tervezés fázisában is meg kell tudni határozni az épület várható éves energiateljesítményét. A kutatási téma aktualitását is mutatja, hogy a jelenleg rendelkezésre álló szakirodalmi számítási módszerek és adatok csupán a klímatisztítók energiateljesítményének hozzávetőleges becslését teszik lehetővé. Nincsenek pontos, egyértelmű módszerek. A jelenlegi számítási eljárások főbb célja elsősorban a minősítés, és nem veszik figyelembe a vizsgált klímatisztító beépítési körülményeit, tekintettel a kiszolgált tér igényére, annak hőmértékére, hő és nedvességterhelésére.

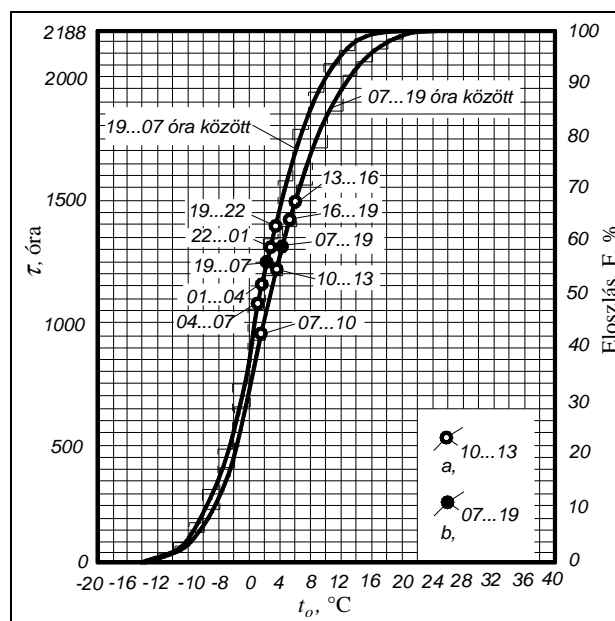
## 2. CÉLKITŰZÉSEK

Napjainkban világjelenség a légtechnikai rendszerek és ezen belül a klímatisztítók rendszerek robbanásszerű elterjedése. Segítségükkel az épületek helyiségeiben olyan légállapotot hoznak létre, mellyel biztosítható a bentlakozók kellemes hőérzete, vagy a telepített technológia problémamentes működtetése. Korábban, illetve napjainkban is élő gyakorlat az, hogy a légtechnikai rendszerek tervezésére és kivitelezésére kiírt tender pályázatok elbírálásának fő szempontja a beruházási költség. A nemzetközi gyakorlatban egyre nagyobb teret hódít az energiateljesítményes üzemvitel és a minőségbiztosítás. Ugyanis a beruházási költség leszorításának egyik módja a járulékos költségek elhagyása, a silány minőségű anyagfelhasználás, az olcsóbb elemek beépítése. Mindezek növelik az energiateljesítményt és gazdaságtalan üzemvitel felé sodorják a megvalósuló rendszert. A nem kívánt jelenség visszaszorítása érdekében ún. „életciklus-költség” („Life Cycle Cost” = LCC) szempontot vesznek figyelembe a pályázati tenderek elbírálásakor. Ennek lényege az, hogy a beruházási és üzemeltetési költségeket együttesen veszik figyelembe, a berendezés (rendszer) teljes működési (tervezett használati) időtartamára. Az üzemeltetési költségek tartalmazzák a levegő kezelésének energiaköltségeit, az üzemeltetési és karbantartási költségeket, az állagmegóvási költségeket és a tőkéhez kapcsolódó (annuitási) költségeket. Ebben az esetben a minőségbiztosítás és az energiateljesítményes üzemvitel nagyobb súllyal jelentkezik, mint a beruházási költség kizárólagos alkalmazásakor. Különösen fontos ennek a szemléletmódnak az elterjedése, mivel a közeljövőben előtérbe kerülnek az „alacsony energia felhasználású épületek”, a „szuper alacsony energia felhasználású épületek”, és a „passzív épületek” iránti igények.

Továbbá a statisztikai adatok azt bizonyítják, hogy az országban egyre szélesebb körben alkalmazzák az otthonok és a középületek aktív hűtését. Ezeknél az épületeknél jelentősen megnő a szellőzés részaránya a teljes energiateljesítményben. Hasonló problémával kell számolni az utólagosan hőszigeteléssel ellátott épületek üzemeltetésekor is. Ebben az esetben a szellőzés energiaszükséglete relatívan nagyobb hányadot képvisel az épület teljes gépészeti rendszerének energiateljesítményében [Magyar Tamás, 2003; Mikko Nyman, Carey J. Simonson, 2005; Kjell F., William L., 2005]. Itt kapcsolódik ehhez a témakörhöz a kutatómunkám, amelyben egy általánosított, a gyakorlatban előforduló lehetséges esetekre jól és hatékonyan alkalmazható módszer kidolgozását tűztem ki célul, a klímatisztítók energiateljesítményének a meghatározására.

### 3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Az épületenergetikai számítások során értékelni kell az épületet és a kiszolgáló épületgépészeti rendszereket. Meg kell határozni többek között a központi klímatechnikai rendszerek energiafelhasználását is. A feladat megoldását nehezíti, hogy az energiafelhasználás az év során folyamatosan változik. Emiatt egyszerű összefüggések nem használhatók. A kutatómunkámban a klímaközpontok valós energiafelhasználásának a meghatározására törekedtem, melyhez az épületenergetikai kutatásokban már alkalmazott valószínűségelméleti módszert alkalmaztam, mert ez az eljárás veszi figyelembe kellő pontossággal a külső légállapot változását az év során, mely változás határozza meg a legfőképpen épületeink és a bennük üzemelő épületgépészeti berendezések éves energiafogyasztását. A gyakorlatban előforduló jellegzetes felépítésű levegőkezelő központok energiafelhasználásának a meghatározásához új fizikai és matematikai modelleket dolgoztam ki, melyhez a külső levegő hőmérséklet és entalpia tartamdiagramját használtam fel (1. ábra). Az általam kidolgozott módszer helyességét három épületegyüttes két különböző évben mért fogyasztási adataival (összesen hat adatsorral) igazoltam, melyben a klímaközpontok energiafelhasználása része az épületek teljes energiafogyasztásának.



1. ábra A külső levegő hőmérsékletének tartamdiagramja októbertől márciusig terjedő időtartamban (Budapest 1964-1972 évek átlaga) [Kiss Róbert, 1980]

## 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

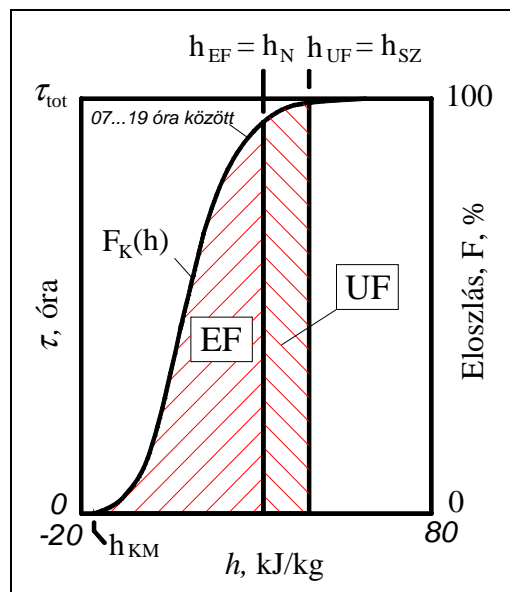
### - 1. Tézis -

**Kidolgoztam a különböző levegőkezelő központfajták energiafelhasználásának a meghatározására alkalmas új fizikai modelleket.**

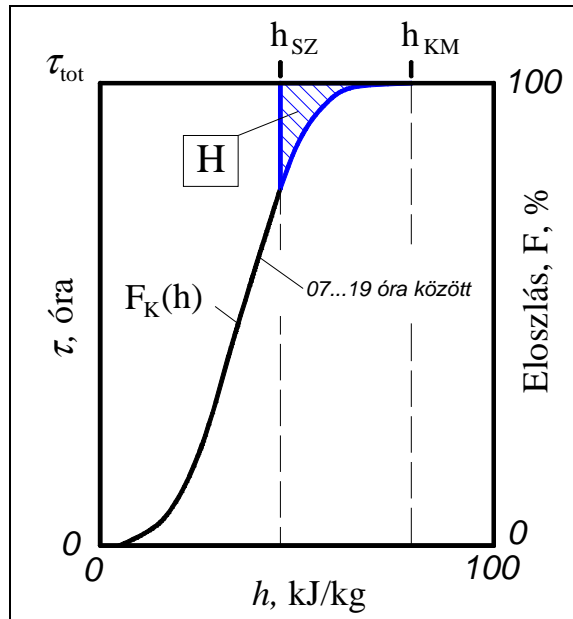
A külső légállapot változását a légállapot jellemzők tartamdiagramja alapján vettem figyelembe. A kidolgozott új módszer alkalmas az előfűtőt, utófűtőt, hűtőkalorifert, hővisszanyerőt, visszakeverő elemet, adiabatikus nedvesítőt, gőzbeporlasztót tartalmazó levegőkezelő központ energiafelhasználásának a meghatározására. A módszer lehetővé teszi, hogy a levegőkezelő elemek tetszőleges kombinációjából összeállított klímaközpont éves vagy havi energiafelhasználását meghatározzuk folyamatos üzem, nappali (07-19 óra között) és éjszakai üzem (19-07 óra) során.

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P2, P3, P4, P6, P8, P10]

Frisslevegős levegőkezelő központ fizikai modelljét fűtési időszakra mutatja a 2. ábra, hűtési időszakra a 3. ábra.

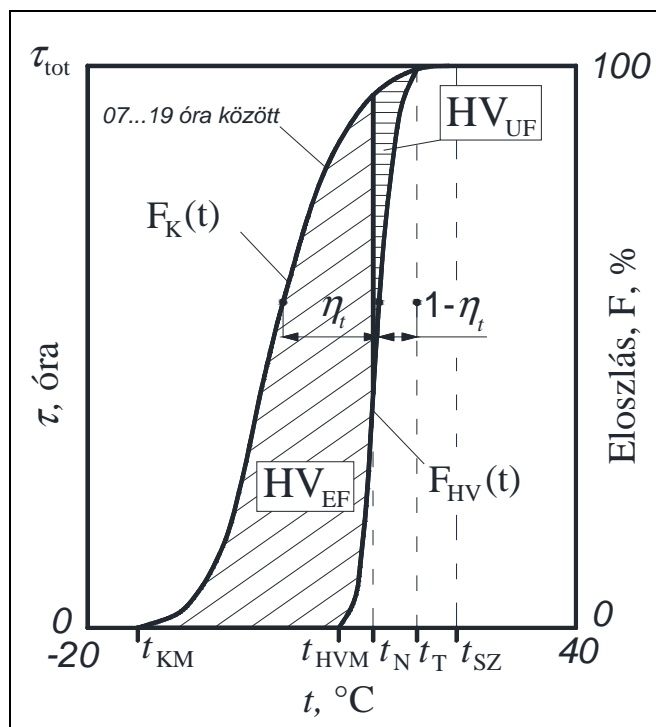


**2. ábra** Az elő- és utófűtő energiafelhasználásával arányos területek a külső levegő entalpia tartamdiagramján

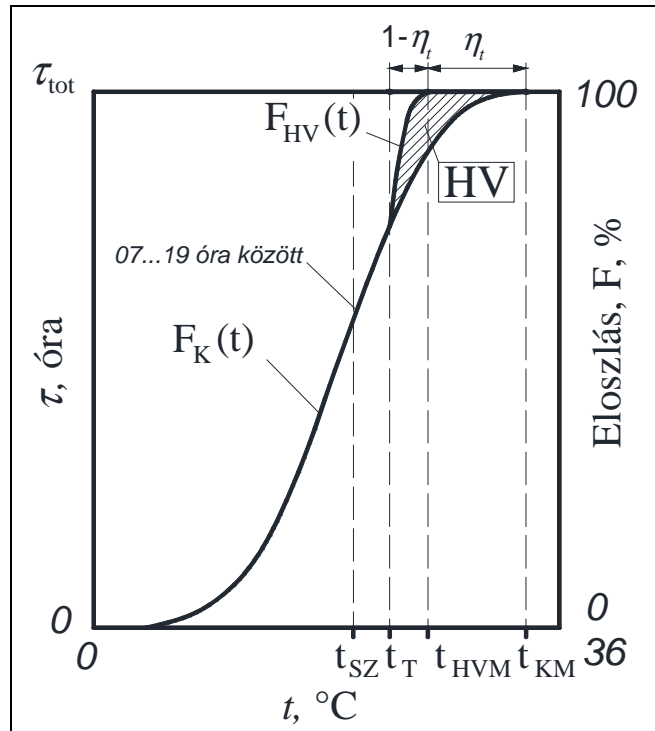


3. ábra A hűtés folyamata a külső levegő entalpia tartamdiagramján

A csak hőátvitelre alkalmas hővisszanyerővel üzemelő rendszer esetén a hővisszanyerő energiamegtakarításának fizikai modelljét fűtési időszakra mutatja a 4. ábra, hűtési időszakra az 5. ábra.

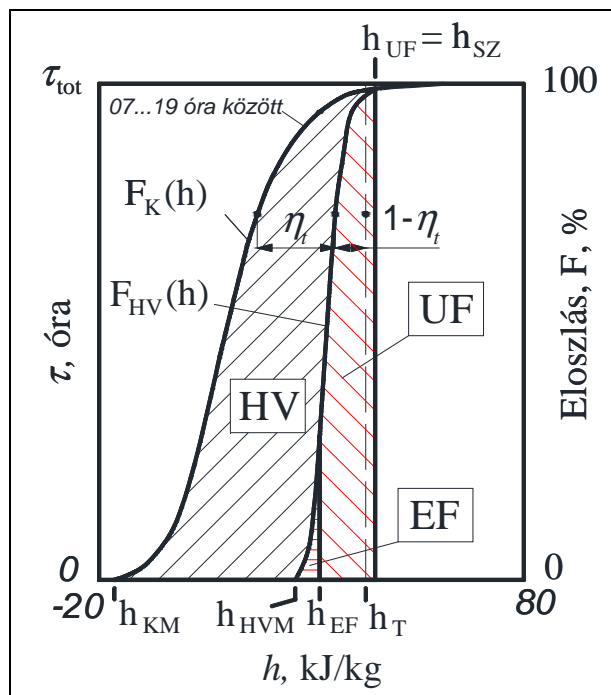


4. ábra A csak hőátvitelre alkalmas hővisszanyerő fűtési energiamegtakarításával arányos területek a külső levegő hőmérsékletének tartamdiagramján

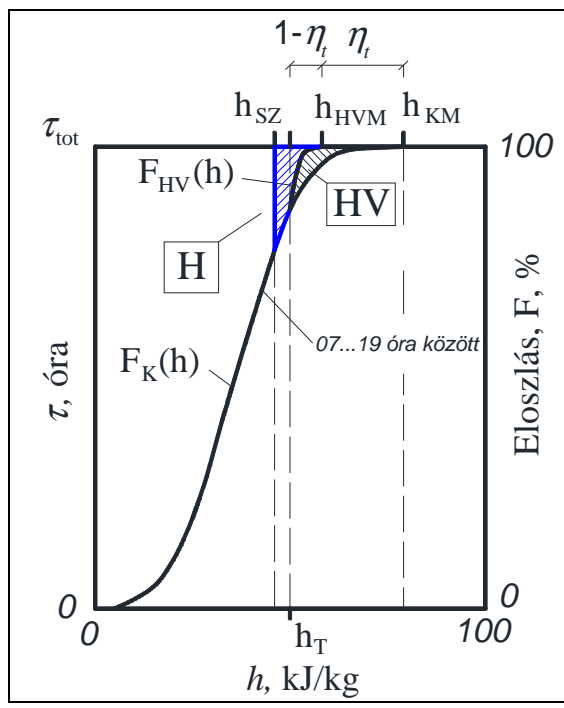


**5. ábra** A csak hőátvitelre alkalmas hővisszanyerő hűtési energiamegtakarításával arányos terület a külső levegő hőmérsékletének tartamdiagramján

A hő- és nedvességátvitelre alkalmas hővisszanyerővel üzemelő rendszer energiafelhasználásának fizikai modelljét fűtési időszakra mutatja a 6. ábra, hűtési időszakra a 7. ábra.

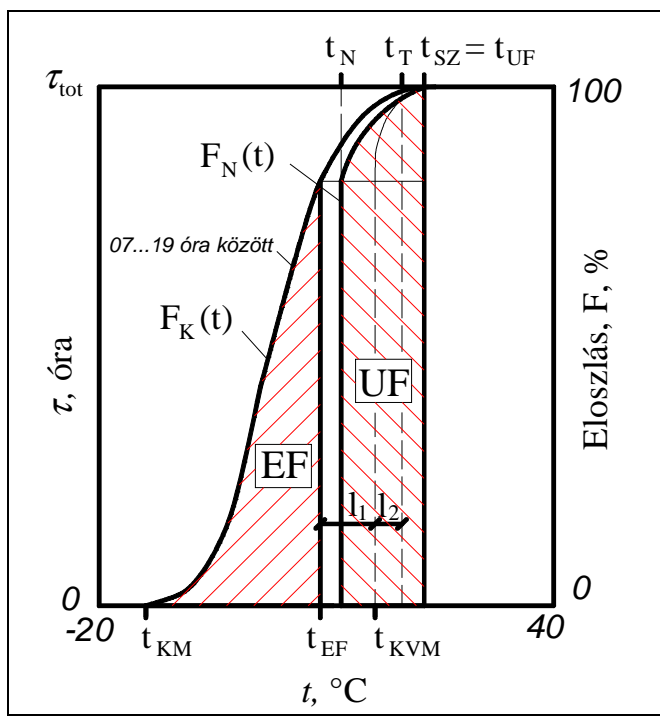


**6. ábra** A hő- és nedvességátvitelre alkalmas hővisszanyerővel üzemelő frisslevegős klímaközpont elemeinek energiafelhasználásával arányos területek az entalpia tartamdiagramon

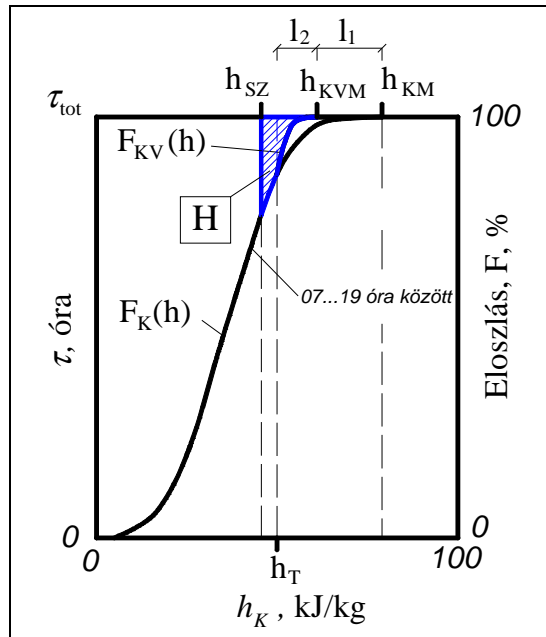


**7. ábra** A hűtés energiafelhasználásával arányos területek, hő- és nedvességátvitelre alkalmas hőviszanyerővel üzemelő klímaközpont esetén az entalpia tartamdiagramon

A visszakeveréses klímaközpont energiafelhasználásának fizikai modelljét fűtési időszakra mutatja a 8. ábra, hűtési időszakra a 9. ábra.



**8. ábra** A fűtési energiafelhasználással arányos területek, visszakeveréses klímaközpont a hőmérséklet tartamdiagramon



**9. ábra** A hűtés energiafelhasználásával arányos terület, visszakeveréses klímaközpont esetén az entalpia tartamdiagramon

**- 2. Tézis -**

**A fizikai modellek alapján kidolgoztam a különböző levegőkezelő központfajták energiafelhasználásának a meghatározására alkalmas új matematikai modelleket.**

A külső légállapot tartamdiagramjain az adott klímaközpont fűtési és hűtési energiafelhasználásával arányos területek meghatározásához közelítő matematikai eljárást alkalmaztam (spline-interpoláció segítségével), majd az így meghatározott területek alapján fölírtam a vonatkozó matematikai egyenleteket. A matematikai modelleket elkészítettem az összes fizikai modellek alapján.

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P13, P14, P15]



## Frisslevegős levegőkezelő központ energiafelhasználásának matematikai modellje:

**Az előfűtő energiafelhasználása:**

$$Q_{EF} = \rho \cdot \dot{V}_{EF} \cdot \int_{h_{KM}}^{h_{EF}} F_K(h) dh \quad [\text{kJ/év}] \quad (1)$$

**Az utófűtő energiafelhasználása:**

$$Q_{UF} = \rho \cdot \dot{V}_{UF} \cdot \int_{h_{EF}}^{h_{UF}} F_K(h) dh \quad [\text{kJ/év}] \quad (2)$$

**A hűtőkalorifer energiafelhasználása:**

$$Q_H = \rho \cdot \dot{V}_H \cdot \int_{h_{SZ}}^{h_{KM}} [1 - F_K(h)] dh \quad [\text{kJ/év}] \quad (3)$$

A hűtési energiafelhasználás ismeretében a kompresszorok elektromos energiafelhasználása számítható:

$$W_H = \frac{Q_H}{SEER} \quad [\text{kJ/év}] \quad \text{illetve} \quad [\text{kWh/év}] \quad (4)$$

## A csak hőátvitelre alkalmas hővisszanyerővel üzemelő rendszer energiafelhasználásának matematikai modellje:

**Az előfűtő energiafelhasználása:**

$$Q_{EF} = \rho \cdot \dot{V}_{EF} \cdot \int_{h_{KM}}^{h_{EF}} F_K(h) dh - c_{pl} \cdot \rho \cdot \dot{V}_{EF} \cdot \left[ \int_{t_{KM}}^{t_N} F_K(t) dt - \int_{t_{HVM}}^{t_N} F_{HV}(t) dt \right] \quad [\text{kJ/év}] \quad (5)$$

**Az utófűtő energiafelhasználása:**

$$Q_{UF} = \rho \cdot \dot{V}_{UF} \cdot \int_{h_{EF}}^{h_{UF}} F_K(h) dh - c_{pl} \cdot \rho \cdot \dot{V}_{UF} \cdot \left[ \int_{t_N}^{t_T} F_K(t) dt - \int_{t_N}^{t_T} F_{HV}(t) dt \right] \quad [\text{kJ/év}] \quad (6)$$

**A hűtőkalorifer energiafelhasználása:**

$$Q_H = \rho \cdot \dot{V}_H \cdot \int_{h_{SZ}}^{h_{KM}} [1 - F_K(h)] dh - c_{pl} \cdot \rho \cdot \dot{V}_H \cdot \left[ \int_{t_T}^{t_{KM}} [1 - F_K(t)] dt - \int_{t_T}^{t_{HVM}} [1 - F_{HV}(t)] dt \right] \quad [\text{kJ/év}] \quad (7)$$

Az (5-7) egyenletek jobb oldalán a negatív előjelű tag a hővisszanyerő által megtakarított fűtési illetve hűtési energia mennyiséget jelenti. A hűtési energiafelhasználásának a vizsgálatánál a kompresszor elektromos energiafogyasztásának számítása a már ismertetett (4) összefüggés segítségével végezhető el.

## A hő- és nedvességátvitelre alkalmas hővisszanerővel üzemelő rendszer energiafelhasználásának matematikai modellje:

**Az előfűtő energiafelhasználása:**

$$Q_{EF} = \rho \cdot \dot{V}_{EF} \cdot \int_{h_{HVM}}^{h_{EF}} F_{HV}(h) dh \quad [\text{kJ/év}] \quad (8)$$

**Az utófűtő energiafelhasználása:**

$$Q_{UF} = \rho \cdot \dot{V}_{UF} \cdot \int_{h_{EF}}^{h_{UF}} F_{HV}(h) dh \quad [\text{kJ/év}] \quad (9)$$

**A hűtőkalorifer energiafelhasználása:**

$$Q_H = \rho \cdot \dot{V}_H \cdot \left[ \int_{h_{SZ}}^{h_r} [1 - F_K(h)] dh + \int_{h_r}^{h_{HVM}} [1 - F_{HV}(h)] dh \right] \quad [\text{kJ/év}] \quad (10)$$

A kompresszor elektromos energiafogyasztásának számítása a (4) összefüggés által ismertetett módon végezhető el.

## A visszakeveréses klímaközpont energiafelhasználásának matematikai modellje:

**Az előfűtő energiafelhasználása:**

$$Q_{EF} = c_{pl} \cdot \rho \cdot \dot{V}_{friss} \cdot \int_{t_{KM}}^{t_{EF}} F_K(t) dt \quad [\text{kJ/év}] \quad (11)$$

**Az utófűtő energiafelhasználása:**

$$Q_{UF} = c_{pl} \cdot \rho \cdot \dot{V}_{SZ} \cdot \int_{t_N}^{t_{UF}} F_N(t) dt \quad [\text{kJ/év}] \quad (12)$$

**A hűtőkalorifer energiafelhasználása:**

$$Q_H = \rho \cdot \dot{V}_H \cdot \left[ \int_{h_{SZ}}^{h_r} [1 - F_K(h)] dh + \int_{h_r}^{h_{KVM}} [1 - F_{KV}(h)] dh \right] \quad [\text{kJ/év}] \quad (13)$$

A kompresszor elektromos energiafogyasztásának számítása a (4) összefüggés által ismertetett módon végezhető el.

### A gőzbeporlasztás energiaigényének matematikai modellje:

$$m_g = \rho \cdot \dot{V} \cdot \int_0^{\tau} [x_{ki} - x_{külső}(\tau)] d\tau = \rho \cdot \dot{V} \cdot \int_0^{\tau} [x_{ki} - \bar{x}_{külső}] d\tau \quad [\text{kg/év}] \quad (14)$$

Amennyiben a gőzbeporlasztáshoz érkező levegő nedvességtartalma nem azonos a külső levegő nedvességtartalmával (pl. visszakeverés miatt):

$$m_g = \rho \cdot \dot{V} \cdot \int_0^{\tau} [x_{ki} - x_{be}] d\tau \quad [\text{kg/év}] \quad (15)$$

### A gőz előállításához szükséges energia:

$$Q_G = m_g \cdot h_g = m_g \cdot (r_o + c_{pg} \cdot t) \quad [\text{kJ/év}] \quad (16)$$

### A ventilátor energiafelhasználásának matematikai modellje:

$$W_{vent} = \int_0^{\tau} \frac{\dot{V}_{vent} \cdot \Delta p_{\ddot{o}}}{\eta_{vent} \cdot \eta_{mot}} d\tau \quad [\text{kWh/év}], \quad (17)$$

### A szivattyú energiafelhasználásának matematikai modellje:

$$W_{sziv} = \int_0^{\tau} \frac{\dot{V}_{sziv} \cdot H}{\eta_{sziv} \cdot \eta_{mot}} d\tau \quad [\text{kWh/év}], \quad (18)$$

## - 3. Tézis -

**A kidolgozott új tudományos módszert üzemelő klímaközpontok mért fogyasztási adatai alapján ellenőriztem. Az ellenőrzéshez két szálloda épületegyüttes és egy irodaépület elkülönített évek (2002, 2005 és 2006) fogyasztási adatait használtam fel. A kiválasztott években a szállodák és irodaépület üzemmenete, leterheltsége az épülettípusra vonatkoztatva átlagosnak mondható volt. Az alapul vett hat független fogyasztási adatsor alapján a tényleges fogyasztás és az elméleti úton meghatározott energiafelhasználás eltérése -11,7 és +11,7 % között volt. Az ellenőrzés során összesen 30 db különböző levegőkezelő központ adatait használtam fel.**

A tézispontozhoz kapcsolódó saját publikáció: [P7, P9, P13]

Az energetikai értékelések során az elméleti úton meghatározott energiafelhasználást összehasonlítottam a három épületegyüttes elkülönített évek mért energiafogyasztási adataival.

	Mért érték	Számított érték	Eltérés [(SZ-M)/M]
	[kWh/m <sup>2</sup> év]	[kWh/m <sup>2</sup> év]	[%]
Irodaház (2002)	426	476	11,7
Irodaház (2005)	539		-11,7
Szálloda 1 (2005)	437	455	4,1
Szálloda 1 (2006)	444		2,4
Szálloda 2 (2005)	441	422	-4,3
Szálloda 2 (2006)	418		0,9

**1. táblázat** A mért és az elméleti úton meghatározott energiafelhasználás

Az 1. táblázatban látható, hogy az alapul vett hat független fogyasztási adatsor alapján a tényleges fogyasztás és az elméleti úton meghatározott energiafelhasználás eltérése -11,7 és +11,7% között van. Az energetikai értékelés során, az elméleti módon meghatározott eredmények és a mért fogyasztás szerinti értékek összevetése igazolja a valószínűségelméleti alapon kidolgozott, a klímaközpontok energiafelhasználásának a meghatározására vonatkozó számítási módszer helyességét.

#### - 4. tézis -

**A valószínűségelméleti alapon kidolgozott új, tudományos módszer alkalmas különböző felépítésű klímaközpontok összehasonlító energetikai vizsgálatára és a megtakarított energiamennyiség meghatározására is. Így lehetőség adódik a tervezés fázisában is összehasonlító energetikai elemzést, energetikai optimalizációt végezni az épületgépész tervezőmérnök által kidolgozott különböző koncepciók esetében.**

A kidolgozott új, tudományos módszerrel értékelni lehet az üzemeltetés költségét, az egyes energiamegtakarítási módszereket és azok által megtakarított energia mennyiségét. Az így kapott eredmények nemcsak a tervezőmérnök számára fontosak - tekintettel az energiatudatos tervezésre és az épület energetikai tanúsítványának készítésére - hanem a beruházó számára is elengedhetetlenül fontos adatok, hiszen az üzemeltetés költsége befolyásolja a bérleti költséget. A beruházási és üzemeltetési költségek alapján mód van arra, hogy életciklus költségek alapján tudjunk értékelést végezni. A légkezelő központok esetében az éves energiafelhasználást az eddigi tudományos eredmények alapján csak közelítőleg lehetett megbecsülni, így életciklus költségek vizsgálatára sem volt mód.

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P11, P12]

#### - 5. Tézis -

**A hazai gyakorlatban a klímaközpontokra vonatkozóan az alkalmazott energetikai elemző módszert értékeltem. Elemeztem a módszer által meghatározott energiafelhasználást. Az általam kidolgozott új tudományos eredmények alapján meghatároztam a szükséges korrekciós tényezőket ( $k_1$ ;  $k_2$ ). Így a korrigált méretezési eljárás az alábbi:**

$$E_{h\ddot{u}} = \frac{Q_{h\ddot{u}} \cdot k_1 \cdot e_{h\ddot{u}}}{k_2 \cdot A_N} ; \text{ [kWh/m}^2 \text{ év]}$$

ahol:

- $k_1$  [-] a totális hűtőteljesítmény és az érezhető hőterhelés viszonyát kifejező érték ( $k_1 = \dot{Q}_{total} / \dot{Q}_{érezhető}$ ); értéke függ a klímatechnikai rendszer fajtájától, az adott klímarendszerre vonatkozóan pontosan meghatározható (általában: 1,2-1,5 között).
- $k_2$  [-] a hűtőgép szezonális hűtési teljesítménytényezője (SEER tényező); értéke függ a klímatechnikai rendszer fajtájától, az adott klímarendszerre vonatkozóan pontosan meghatározható (általában: 2,5-4,5 között).

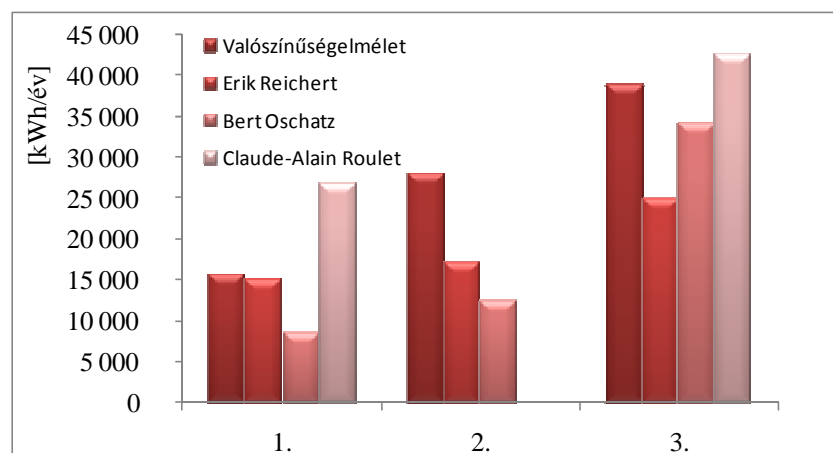
A két tényező számszerű értéke az alkalmazott klímaberendezés esetében pontosan meghatározható. Az így kapott energiafelhasználás csupán 0,25-0,6-szorosa a hazai gyakorlatban jelenleg alkalmazott számítási eljárás szerint meghatározható értéknek. Látható, hogy az eltérés lényeges.

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P5, P7]

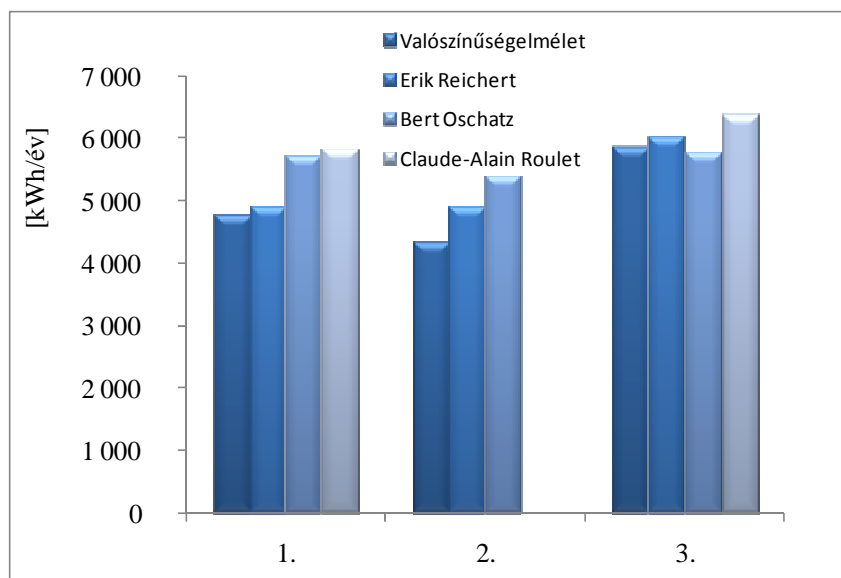
## - 6. Tézis -

**Az új, tudományos módszerrel meghatározható energiafelhasználást összevettem más külföldön alkalmazott energetikai elemző eljárásokkal. A kapott eredmények azt igazolták, hogy az alkalmazott külföldi módszerek csak bizonyos esetekben alkalmasak az energiafelhasználás meghatározására.**

A tézisponthoz kapcsolódó saját publikáció: [P1, P5]



**10. ábra** A nettó fűtési energiafelhasználás



**11. ábra** A nettó hűtési energiafelhasználás

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS, AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

Kutatómunkám során egy általánosított, a gyakorlatban előforduló lehetséges esetekre jól és hatékonyan alkalmazható valószínűségelméleti módszert dolgoztam ki a klímaközpontok energiafelhasználásának a meghatározására. Tekintettel arra, hogy a levegőkezelő központok felépítése, és a bennük lejátszódó levegő állapotváltozási folyamat igen összetett, kidolgoztam a folyamatot pontosan leíró fizikai és matematikai modelleket. Az új valószínűségelméleti módszert alkalmaztam 30 db üzemelő különböző levegőkezelő központ esetében. A tényleges fogyasztási adatokkal összevetve igazoltam az új elméleti módszer pontosságát, majd végül az új módszer alapján javaslatot dolgoztam ki levegőkezelő központok esetében a hazánkban jelenleg alkalmazott eljárás pontosítására.

Az általam kidolgozott energetikai elemző eljárással már a tervezés fázisában pontosan meg lehet határozni a levegőkezelő központ éves energiafelhasználását. A kidolgozott valószínűségelméleti módszer alkalmas különböző felépítésű klímaközpontok energiamegtakarításának a vizsgálatára is. A különböző változatok energetikai értékelése, összehasonlítása még a beruházás megvalósulása előtt elvégezhető. A tervezés fázisában az energetikai szempontok figyelembevétele alapján ily módon helyes döntés hozható. A legkisebb energiafelhasználású klímaközpont választásával a rendszer teljes élettartalma során jelentős (30-60%-os) energiamegtakarítást érhetünk el.

Továbblépési lehetőség: a kutatómunkám során a klímaközpontok energiafelhasználásának a meghatározására kidolgozott számítási eljárás alkalmazásának felgyorsítása érdekében készült egy PC szimulációs program, melyet Gräff József mérnökmatematikus, tudományos munkatárs és Dr. Kajtár László egyetemi docens dolgoztak ki. A program az általam kidolgozott fizikai és matematikai modellek segítségével határozza meg a különböző felépítésű klímaközpont változatok energiafelhasználását, mely alkalmazásával az energetikai értékelés gyorsan, pontosan és hatékonyan elvégezhető. A PC szimulációs program piacképes változatának elkészítése után az alkalmazás valamennyi tervezőmérnök számára lehetővé válik.

## **A tézispontokhoz kapcsolódó saját tudományos közlemények listája:**

### **a. Idegen nyelvű lektorált Web of Science vagy Scopus adatbázisban szereplő folyóirat cikk:**

- [P1] László Kajtár - Miklós Kassai: A new calculation procedure to analyse the energy consumption of air handling units. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering, ISSN: 0324-6051 (2010). (A cikk közlésre elfogadva, szerkesztés alatt áll, igazolás mellékelve.)
- [P2] László Kajtár - Miklós Kassai: Analysis of energy consumption of air handling units based on probability theory. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering, ISSN: 0324-6051, 52/2, p. 61-66. (2008).

### **b. További lektorált idegen nyelvű folyóirat cikk:**

- [P3] László Kajtár - Miklós Kassai: Analýza potreby energie pre centrálnu klimatizačnú jednotku. TZB HAUSTECHNIK, 2010/6, ISSN 1210-356X, p. 32-35. (2010).
- [P4] István Barótfi, László Kajtár, Miklós Kassai,: Calculation Method for Energy Consumption of Air Handling Units. Mechanical Engineering Letters, Szent István University, HU ISSN 2060-3789, Vol. 3, p. 209-221. (2009).

### **c. Publikáció magyar nyelven:**

- [P5] Kajtár L. – Kassai M.: Levegőkezelő központok energiateljesítményének elemzése hazai és külföldi eljárások alapján. Magyar Épületgépészet, 2010/12. szám, 3-8 o., HU ISSN 1215-9913 (2010).
- [P6] Kajtár L. – Kassai M.: Passzívház szellőztetési rendszerének energetikai elemzése. Magyar Installateur, ISSN: 0866 6024, 46-49.o. (2010).
- [P7] Kajtár L. - Kassai M.: Klimatizált épületek energetikai elemzése. Magyar Épületgépészet, HU ISSN 1215-9913, 2008/7-8. szám, 3-7.o. (2008).
- [P8] Kajtár László - Kassai Miklós: Levegőkezelő központ energiateljesítményének elemzése valószínűségelméleti módszerrel. Magyar Épületgépészet, 2007/4. szám, HU ISSN 1215-9913, 3-7 o. (2007).

### **d. Idegen nyelvű publikáció, mely nemzetközi konferencia kiadványban megjelent:**

- [P9] L. Kajtár, J. Gräff, M. Kassai, J. Szabó: New Calculation Method for Energy Consumption of Air Handling Units, The 12<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Austin, USA, (2011). (A cikk közlésre elfogadva, igazolás mellékelve.)
- [P10] Kajtár L., József G., Kassai M.: Energetic analysis of ventilation system of passive house. 16<sup>th</sup> "Building Services, Mechanical and Building Industry Days", International Conference, Debrecen, ISBN 978-963-473-121-5, pp. 5-11. (2010).
- [P11] L. Kajtár - M. Kassai: Energy Consumption of Air Handling Units. Clima 2010 – 10th REHVA World Congress, Antalya, ISBN 978-975-6907-14-6, pp. 37-39. (2010).
- [P12] L. Kajtár - M. Kassai: Analysis of energy consumption of air-conditioning systems. Gépészet 2010 Konferencia, Budapest, ISBN 978-963-313-007-0, pp. 439-450. (2010).

- [P13] L. Kajtár - M. Kassai: Analýza spotreby energie Hotelov. 18. medzinárodnej konferencie VYKUROVANIE 2010, Pozsony ISBN 978-80-89216-32-1, s. 473-477. (2010).
- [P14] Kajtár L. - Kassai M.: Analysis of air treatment equipment using the probability theory. 14<sup>th</sup> "Building Services, Mechanical and Building Industry Days", International Conference, Debrecen, ISBN 978-963-473-124-5, pp. 127-134. (2008).
- [P15] László Kajtár - Miklós Kassai: Evaluation of energy demand of air-conditioning systems based on probability theory. The 6th IASME/WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment, Rhodos, ISSN 1790-5095, ISBN 978-960-6766-97-8, pp. 266-270. (2008).

## IRODALOMJEGYZÉK A TÉZISFÜZETBEN

- [1] Kiss Róbert: *Légtechnikai adatok*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, ISBN 963 10 3152 7, 197./207-208. o. (1980).
- [2] Magyar Tamás: *Légcsatorna rendszerek tervezési és alkalmazási irányelvei*, 3./23-24.o (2003).
- [3] Mikko Nyman, Carey J. Simonson: *Life cycle assessment of residential ventilation units in a cold climate*, Building and Environment, p.15-27. (2005).
- [4] Kjell Folkesson and William Lawrance: *Calculate ventilation Life Cycle Cost and Count on Savings*, Business Briefing: Hospital Engineering & Facilities Management, (2005).



## JELÖLÉSJEGYZÉK A TÉZISFÜZETBEN

$c_{pg}$ [kJ/kgK]	a levegőben lévő vízgőz fajhője állandó nyomáson,
$c_{pl}$ [kJ/kg°C]	a levegő állandó nyomáson mért fajhője,
$EF$ [-]	az előfűtő jele,
$UF$ [-]	az utófűtő jele,
$F_{HV}(h)$ [-]	a hővisszanyerő utáni légállapot vonala, mely a megvalósulási fok, a helyiséget elhagyó távozó levegő entalpiája, valamint a külső levegő entalpiájának tartamdiagramja alapján szerkeszthető,
$F_{HV}(t)$ [-]	a hővisszanyerő utáni levegő hőmérsékletének a vonala, mely a megvalósulási fok, a helyiséget elhagyó távozó levegő hőmérséklete, és a külső levegő hőmérsékletének tartamdiagramja alapján szerkeszthető meg,
$F_K(t)$ [-]	a külső levegő hőfokgyakorisági görbéje,
$F_{KV}(h)$ [-]	a kevert levegő entalpiájának a vonala a tartamdiagramon, mely a visszakeverési arány, a távozó levegő entalpiája és a külső levegő tartamdiagramja alapján szerkeszthető meg,
$F_N(t)$ [-]	az előfűtött, kevert és nedvesített levegő hőmérsékletének a vonala tartamdiagramon,
$h_{EF}$ [kJ/kg]	a levegő entalpiája az előfűtő után,
$h_{HVM}$ [°C]	a levegő entalpiája a hővisszanyerő után méretezési állapotban,
$h_{KM}$ [kJ/kg]	a külső levegő entalpiája méretezési állapotban,
$h_{KV}$ [kJ/kg]	a kevert levegő entalpiája,
$h_{KVM}$ [kJ/kg]	a kevert levegő entalpiája méretezési állapotban,
$h_N$ [kJ/kg]	a levegő entalpiája az adiabatikus nedvesítő kamra után,
$h_{SZ}$ [kJ/kg]	a szellőző levegő entalpiája,
$h_T$ [kJ/kg]	a távozó levegő entalpiája,
$h_{UF}$ [kJ/kg]	a levegő entalpiája az utófűtő után,
$H$ [Pa]	a szivattyú emelőmagassága,
$H$ [-]	a hűtőkalotifer jele,
$HV$ [-]	a hővisszanyerő jele,
$k_1$ [-]	a totális hűtőteljesítmény és az érezhető hőterhelés viszonyát kifejező érték,
$k_2$ [-]	a hűtőgép szezonális hűtési teljesítménytényezője,
$l_1$ [mm]	a kevert levegő és az előfűtött levegő hőmérsékletkülönbségével arányos kar,
$l_2$ [mm]	a kevert levegő és a távozó levegő hőmérsékletkülönbségével arányos kar,
$r_o$ [kJ/kg]	a víz párolgáshője, értéke $t = 0$ °C hőmérsékleten $r_0 = 2501$ [kJ/kg],
SEER [-]	a folyadékűtő szezonális hűtési teljesítménytényezője,
$t_{EF}$ [°C]	a levegő hőmérséklete az előfűtő után,

$t_{HVM}$ [°C]	a levegő hőmérséklete a hővisszanyerő után, méretezési állapotban, értéke a megvalósulási foktól, a helyiséget elhagyó távozó levegő állapotától, valamint a külső légállapottól függ ( $t_{HVM} = t_{K'}$ ),
$t_{UF}$ [°C]	a levegő hőmérséklete az utófűtő után,
$t$ [°C]	a levegő hőmérséklete,
$t_{HVM}$ [°C]	a levegő hőmérséklete a hővisszanyerő után, méretezési állapotban,
$t_{KM}$ [°C]	a külső levegő hőmérséklete méretezési állapotban,
$t_N$ [°C]	az adiabatikus nedvesítés utáni levegő hőmérséklete,
$t_T$ [°C]	a helyiséget elhagyó távozó levegő hőmérséklete,
$t_{SZ}$ [°C]	a szellőző levegő hőmérséklete,
$\dot{V}_{friss}$ [m <sup>3</sup> /h]	a klímaközpontba beérkező, az előfűtőn átáramló levegő térfogatárama,
$\dot{V}_{EF}$ [m <sup>3</sup> /h]	az előfűtőn átáramló levegő térfogatárama,
$\dot{V}_{UF}$ [m <sup>3</sup> /h]	az utófűtőn átáramló levegő térfogatárama (frisslevegős klímaközpont esetén megegyezik az előfűtőn átáramló levegő térfogatáramával ( $\dot{V}_{EF}$ )),
$\dot{V}_H$ [m <sup>3</sup> /h]	a hűtőkaloriferen átáramló levegő térfogatárama,
$\dot{V}_{SZ}$ [m <sup>3</sup> /h]	a keverés utáni, az utófűtőn átáramló szellőző levegő térfogatárama,
$\dot{V}_{sziv}$ [m <sup>3</sup> /s]	a szivattyú szállítása,
$\dot{V}_{vent}$ [m <sup>3</sup> /s]	a ventilátor légszállítása,
$x_{be}$ [g/kg]	a gőzbeporlasztóba belépő levegő abszolút nedvességtartalma,
$x_{külső}$ [g/kg]	külső levegő abszolút nedvességtartalma. Az átlagos értéke október-március időszakra vonatkozó átlagérték a tartamdiagram alapján éjjel, illetve nappal egyaránt $\bar{x}_{külső} = 2,99$ gr/kg,
$x_{ki}$ [g/kg]	a gőzbeporlasztó utáni levegő abszolút nedvességtartalma,
$\Delta p_{\bar{o}}$ [Pa]	a ventilátor össznyomásemelése,
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	a levegő sűrűsége,
$\eta_{mot}$	a motor (ventilátor, szivattyú) hatásfoka,
$\eta_{sziv}$	a szivattyú hatásfoka,
$\eta_t$	a hővisszanyerő hatásfoka,
$\eta_{vent}$	a ventilátor hatásfoka,
$\tau$ [h]	a szivattyú és a ventilátor üzemideje.