

A szellőzéstechnikában visszanyerhető hő vizsgálata különböző éghajlatokon

Dr. Kassai Miklós Ph.D.¹

Abstract

The aim of this research study was to investigate the energy recovery potentials in ventilation systems under different climatic conditions. The well-known heating degree-day from the literature was updated using the weather data of cities with different climates from the past 40 years. As the novelty of this research with the developed procedure drawn up in this study, the energetic possibilities of heat recovery under various climate and operating conditions may be examined in more detail and more realistically than with the methods and available information of current engineering practices. To achieve this long-term and high definition weather data of several cities are processed in order to evaluate the possibilities of heat recovery on a daily and annual basis.

1. Bevezetés

A korszerű mérnöki gyakorlat egyik alapelve az energiahatékony tervezés és üzemeltetés. A szellőztető berendezésekben jelentős energia-visszanyerésre van lehetőség megfelelő készülékválasztás, és üzemeltetés esetén. A hővisszanyerő berendezések kiválasztása során kulcsfontosságú a gazdasági megtérülés időtartama, ugyanis hővisszanyerő berendezések a szellőzéstechnikai rendszerbe történő beépítésére csak megfelelő energiamegtakarítás mellett válik indokoltá [1-2]. Fontos ezért minél pontosabb méretezési adatok használata a tervezés folyamán, hogy az adott éghajlati viszonyok mellett a legjobb becslést tudja szolgáltatni a tervező a várható energia-megtakarításra vonatkozólag [3].

A tervezési munka fázisában a méretezett hővisszanyerő berendezések energia-megtakarítására nehéz pontos becslést tenni, hiszen sok paraméter befolyásolja a teljesítményüket. Különböző típusú hővisszanyerő egységek, eltérő hatásfokkal üzemelnek a különböző klimatikus feltételek mellett, pontos karakterisztikájuk üzemeltetési paramétereiktől való függése is ritkán ismert gyártói adat. A gyakorlatban az épületgépészeti tervezési során a hővisszanyerő készülékek kiválasztása legtöbbször a gyártói katalógusban, illetve szabványokban megadott adatok alapján történik, a legtöbb esetben azonban a tervező szűk adatszolgáltatással áll szemben, mely meghiúsítja a pontos energetikai számításokat.

A kutatómunkában kidolgozott eljárással a mérnöki gyakorlatban jelenleg alkalmazott módszerek és rendelkezésre álló adatszolgáltatáshoz képest jóval részletesebben, és a

valóságot jobban megközelítő módszerrel vizsgálhatók a hővisszanyerésben rejlő energetikai lehetőségek különböző éghajlati és üzemeltetési viszonyok mellett.

A szellőzéstechnikában egységnyi nedves légtömeg fajlagos energiataralmát a teljes fajlagos entalpia h_T [J/kg] segítségével jellemezzük. A fajlagos entalpia – továbbiakban entalpia – segítségével számítható egységnyi tömegű nedves levegő energiataralma fizikai paramétereinek függvényében.

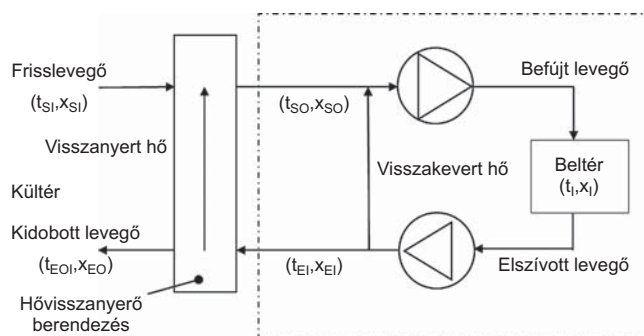
A nedves levegő teljes entalpiája a következőképpen írható fel [4]:

$$h_T = h_S + h_L = c_{p1} \cdot t + x \cdot (c_{pvg} \cdot t + r_0) = (c_{p1} \cdot t + x \cdot c_{pvg} \cdot t) + x \cdot r_0 \text{ [J/kg]} \quad (1)$$

Az (1) egyenlet szerint a nedves levegő teljes (h_T) vagy totális entalpiája a szenzibilis (h_S) és a látens (h_L) összetevőkből áll, a c_{p1} a levegő fajhője [J/(kg°C)], c_{pvg} a levegőben lévő vízgőz fajhője [J/(kg°C)], x az abszolút nedvességtartam [kg/kg], és r_0 a fázisváltás hője [kJ/kg]. A különböző entalpiájú nedves légáramok kölcsönhatása során szenzibilis (termikus), vagy termikus és látens hőcsere jöhet létre.

A hővisszanyerő berendezések – továbbiakban HRU – két eltérő entalpiával rendelkező nedves légáram közötti termikus, vagy termikus és látens hőcsereát hivatottak biztosítani a lehető legnagyobb hatásfokkal. A HRU-k szellőzéstechnikában való alkalmazásával lehetséges a fűtési időszakban előmelegíteni, vagy hűtési időszakban előhűteni a kintről beáramló frisslevegőt a légkidobásra szánt levegő hővesztésének visszanyert részével. Ezzel jelentős mértékben csökkenthető az adott esetben indokolt, a kiszolgált tér belső légállapotát biztosító, kiegészítő fűtő/hűtő kaloriferek energiafelhasználása.

A továbbiakban a VDI 2071-ben [5] szereplő definíciók szerint értelmezzük a hővisszanyerő rendszer elemeket, az **1. ábra** szerint, mert ez a szabvány nagyon részletesen összefoglalja a szellőztetőekben alkalmazható hővisszanyerők típusait és műszaki tulajdonságait. A levegő visszakeverése, illetve a hulladékhővel való hűtés/fűtés nem számít hővisszanyerésnek [5] értelmezésében.

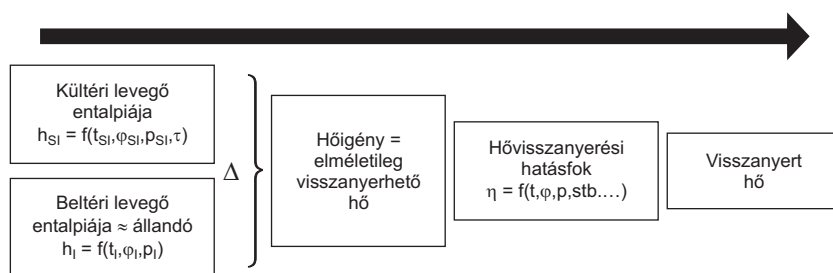


1. ábra. A hővisszanyerés folyamatának vázlata [5]

¹ egyetemi docens,

BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás-
technika Tanszék





2. ábra. A hővisszanyerés folyamatábrája

A visszanyert hőmennyiség a 2. ábrában is szemléltetett módon, elsősorban a külső és belső levegő hőtartalmától, valamint a hővisszanyerés hatásfokától függ.

Minél nagyobb a hőmérséklet és a páratartalom különbség – entalpiakülönbség – közöttük, annál több hőenergia visszanyerésre van lehetőség. A hővisszanyerés időintervallumának elhelyezkedése az adott napon belül szintén kulcsfontosságú, hiszen a külső levegő entalpiatartalma adott éghajlatra jellemzően változik a napszak függvényében. A HRU-k hővisszanyerési hatásfoka változik az üzemeltetési körülmények (térfogatáram, hőmérséklet, páratartalom, dobfordulat, fagyás, kondenzáció stb.) függvényében. A gyártók által megadott hatásfokok kitüntetett üzemiállapotokra érvényesek, azoktól eltérő esetekben kevésbé alkalmazhatók. Az ismeretlen gépkarakterisztika következtében éves átlagos hővisszanyerési hatásfokkal történik a berendezések méretezése, kiválasztása, energetikai besorolása. Szimulációs program alkalmazásával lehetséges csupán a folyamatosan változó körülmények figyelembevételével, így a külső légállapot hatásának vizsgálata ismert gépkarakterisztika esetén.

2. A kutatás célja

A kutatás során a hővisszanyerésben rejlő lehetőségeket vizsgáljuk nagyfelbontású időjárásadatok feldolgozásával. A végső cél a hosszú távú energetikai becslésre is használható tervezői műszaki segédletek szerkesztése, amelyekkel szemléltethető a szellőztető berendezésekben elméletileg visszanyerhető hő változása az üzemeltetési paraméterek, úgymint belső léghőmérséklet (\approx távozó léghőmérséklet), üzemeltetési időintervallum, az időjárásal szembeni várakozás hatása. A kiértékelte időjárásadatok segítségével cél az elméletileg visszanyerhető várható szenzibilis, látens és teljes energia meghatározása az előbb leírt változók függvényében. A kutatómunkában asszisztált *Poleczky László* Bsc hallgató, munkájából egy kiváló minőségű szakdolgozat született [6].

A vizsgált városok kiválasztása éghajlati diverzitásuk szerint történt, a Wolfram Alpha adatbázis által kínált lehetőségekben belül. A következő olalon bemutatott 3. ábra színezésén látható a vizsgált városok Köppen-féle [7] éghajlati övezetek szerinti elhelyezkedése. Az ábrán feltüntetett éghajlati övezetek közül nem minden éghajlat került lefedésre.

3. A kutatás során alkalmazott eljárás

A kutatás során a 2. ábrán bemutatott összetevők közül a külső levegő hőtartalmának hónap, és napi óra szerinti kiérté-

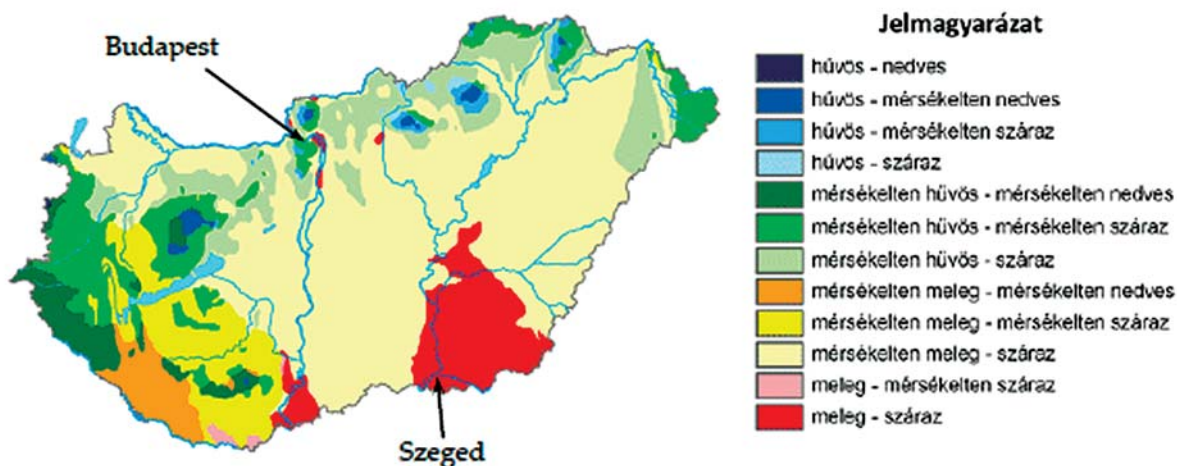
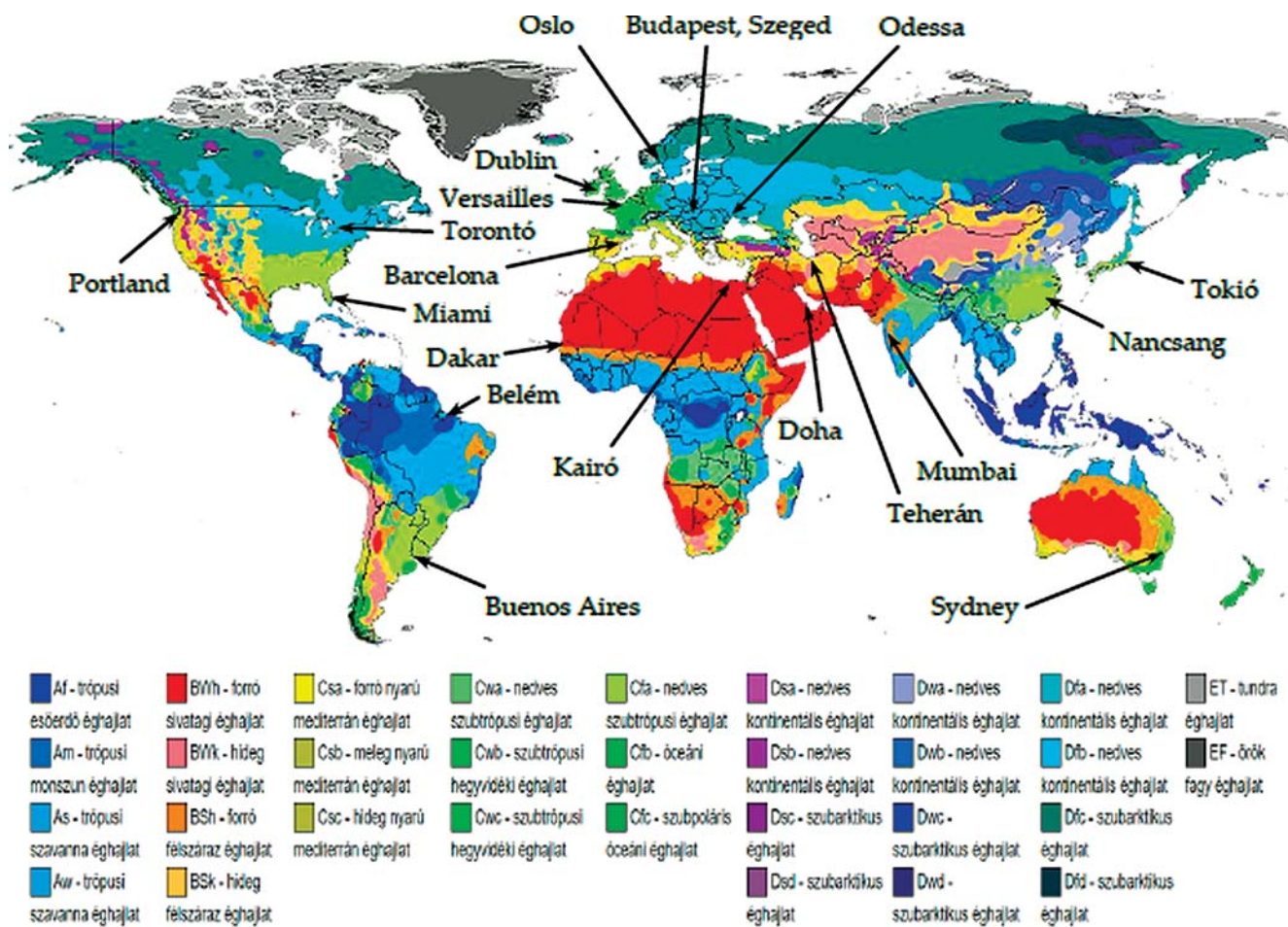
kelésére a következő elgondolás alapján történt. Az elméletileg visszanyerhető maximális hő a külső levegő entalpiagörbéje és a belső levegő entalpiagörbéje alatti terület-összegek (integrálok) különbsége a vizsgált időszakokra vonatkoztatva. A rendelkezésre álló külső légállapotjelzők azonban eltérő mértékben szakaszosan hiányosak, így csak korrekció vagy egyszerűsítések/általánosítás után váltak használhatóvá az időpontfüggő integrálösszeg meghatározására.

Első megközelítésként a hiányzó értékek helyettesítésével próbálkoztunk javítani a helyenként hiányos adatsorokat, ám ez jelentősen torzította az eredeti mintát. Második megközelítésként a hiányos részek elhagyásával kisebb számú mintát kaptunk, ám ezek az adatok eredetiségük miatt jobban leírták a vizsgált jelenségeket. Az adatsorok azonos napi időpontra elvégzett átlagolásával és minimális korrekcióval elhanyagolható mértékben változnak az adatok eloszlásai, középértékei.

A kiértékelési módszer alapelve a következő volt. Tegyük fel, hogy egy berendezést egy évben csak egy óráig üzemeltetünk minden évben január 1-én 1:00 és 2:00 óra között. Ebben az időpontban minden évben eltérők a külső levegőt jellemző paraméter értékek. Sok évre egyenként kiszámolva, majd összegezve a külső levegőt jellemző paramétereket, egyszerű átlagolással kiszámítható, hogy átlagosan mennyi az adott paraméter várható értéke standard normális eloszlást feltételezve. Ugyanezzel az elgondolással átlagos napok is felépíthetők ezen elemi órákból minden hónapra a következőképpen: a hónapra jellemző átlagos nap minden órája az összes év azonos hónapjaiban szereplő napok azonos időpontban mért értékeinek középértékével. Vagyis a kutatásban alkalmazott módszerrel ezekből az átlagos napokból egy olyan átlagos hónapokat és évet lehet felépíteni, amelyek a vizsgált évek alapján adott órához, vagy adott hónaphoz köthető energetikailag felhasználható becslést adnak. A becslés során kiválasztható, hogy az adott órához tartozó értékek növekvő sorrendjéből melyik tartomány határát vesszük mértékadónak.

A 10 részre történő felosztással decilis határértékeket határoztunk meg. Így minden hónap átlagos napjához tartozó órához 10 érték került rögzítésre. Ezen decilis sorozat alsó és felső határa az előforduló minimum és maximum értékek, középső eleme az átlagos érték. A kiértékelés további részében a középértéktől eltérő decilis értékekből szerkesztett adatsorok felhasználásával lehetséges az időjárás átlagostól eltérő értékeinek hatását is figyelembe venni. Ez nagyon fontos, hiszen a HRU-k munkapontjai a már korábban említettek szerint ebben a tartományban mozoghatnak. Vagyis nemcsak az átlagos energetikai jellemzés válik lehetővé, hanem a várható minimális és maximális üzemeltetési körülmények, hővisszanyerési értékek tartományának meghatározása is.

Kutatásunk során a Wolfram Mathematica 11.0 szoftvercsomagban [8] megírt letöltő és kiértékelő programok segítségével Budapesten 40 év, 19 db eltérő éghajlatú területen fekvő városban 20 év időjárásadatai kerültek feldolgozásra, mely alkalmazás használatának oka a Wolfram Alpha meteorológiai adatbázissal történő rugalmas kompatibilitás volt.



3. ábra. A vizsgált városok Köppen-féle éghajlati területek szerinti elhelyezkedése [7]

A kiértékelés során a cél az egy hónapra vetített átlagos napi hőmérséklet, relatív páratartalom, nyomás és teljes/szenzibilis/látens entalpia értékek meghatározása volt, paraméterként 10 decilis görbéhez. Az adott decilis értékhez tartozó adatok jelölése: i -edik decilis érték $\rightarrow (i - 1)100$ [%]. Vagyis az első decilis 0%, az utolsó 100% jelzést kapott. Ennek jelentése az, hogy kijelenthető a kiértékelés korábbi módszere alapján, hogy az adott időponthoz rendelkezésre álló adatosságának 0%-a helyezkedik el az első decilis alatt, és 100%-a az első és a tizedik decilis között. Az így kapott [%] mérték-

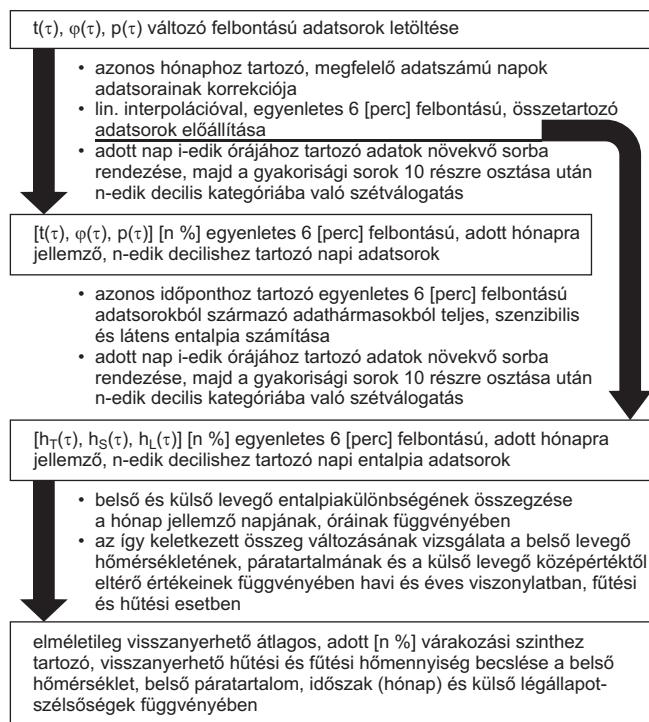
egységű decilis görbék jelentése tehát a múltban mért adatok alapján megszerkesztett tartomány, amelyen belül a méretezéshez felhasznált adatokat érdemes kiválasztani. Az átlagos várható érték az 50% jelzésű decilis görbével megegyezik, a maximális és minimális várható érték a 100% és 0% jelzésű görbéken található.

Az így készített energetikai becslés hosszútávra érvényes, rövidtávú bontásban a külső levegő hőtartalma ingadozik az 50%-os decilis adatsor körül, a 0 és 100%-os decilis tartományon belül. Hosszú távon azonban az ingadozás átlagos ér-

téke energetikailag is értelmezhető az 50%-os decilis görbék figyelembevételével. Ez a módszer tehát pontosan kizárólag hosszú táv becslésre használható, rövidtávon pedig megmutatja, hogy várhatóan milyen intervallumban mozoghatnak az értékek a múlt eseményei alapján.

Az entalpiagörbék meghatározása során nem az átlagos napi meneteket használtuk fel, hanem az eredeti adatsor összetartozó értékhármait. Ez nagyon fontos, ugyanis az értékhármak ilyen szempontból nem kezelhetők független változókként. Az adott entalpiamenetek így tartalmazzák az összetartozó $(t - \varphi - p)$ értékhármak átlagos együttes eredményét, ami nem azonos a változók egyenként vizsgált átlagos értékeivel az adott időpontban, hiszen az entalpia nem lineáris eredménye a paramétereinek. Az entalpiasorozatokból a korábban leírt módon szintén adott időponthoz tartozó decilis adatsorokat hoztunk létre.

A korábban bemutatott decilis görbékre a továbbiakban várakozásként utalok, hiszen az átlagtól eltérő decilisű adatsorok használatával egy pozitív vagy negatív várakozással élünk a külső levegő átlagostól eltérő hőtartalmával szemben. A kiértékelés elvi menetét a **4. ábra** segítségével mutatjuk be.



4. ábra. A kiértékelés módjának folyamatábrája

A Wolfram Alpha tudás- és adatbázis világszerte számos időjárás mérőállomás adatait egy felületen teszi elérhetővé. Az általunk a Wolfram Mathematica 11.0-ban megírt letöltőprogram segítségével Budapest esetében az 1977.01.01. 00:00 – 2017.01.01. 00:00, a többi 19 városnál az 1997.01.01. 00:00 – 2017.01.01. 00:00 közötti időszakban töltöttük le az elérhető legnagyobb felbontásban a külső hőmérséklet, relatív páratartalom és légnyomás értékeit. Az adatokat minden esetben az adott városhoz legközelebb eső repülőtéri adatgyűjtő állomáson rögzítették (**1. táblázat**).

1. táblázat. Az időjárás adatgyűjtő állomások adatai

Város-név	Az adatgyűjtő állomás neve	Az adatgyűjtő állomás kódja	Távolság a város-tól [km]
Barcelona	Barcelona International Airport	LEBL	16
Belém	Val de Caes International Airport	SBBE	7
Budapest	Budapest Ferihegy International Airport	LHBP	16
Buenos Aires	Aeroparque Jorge Newbery	SABE	7
Dakar	Dakar-Yoff-Leopold Sedar Senghor International Airport	GOOY	2
Doha	Doha International Airport	OTBD	7
Dublin	Dublin Airport	EIDW	11
Kairó	Cairo International Airport	HECA	17
Miami	Miami International Airport	KMIA	11
Mumbai	Chhatrapati Shivaji International Airport	VABB	15
Nancsang	Changsha Huanghua International Airport	ZGHA	266
Odessza	Odessa International Airport	UKOO	5
Oslo	Oslo Airport (Gardermoen)	ENGM	37
Portland	Portland International Airport	KPDX	7
Sydney	Sydney International Airport	YSSY	9
Szeged	Szeged Airport	LHUD	6
Teherán	Mehrabad International Airport	OIII	11
Tokió	Tokio International Airport	RJTT	13
Torontó	Toronto Airport	CXTO	2
Versailles	Toussus-Le-Noble Airport	LFPN	7

A kidolgozott adatgyűjtő letöltő program az adott napon elérhető legnagyobb felbontásban kéri le a napi adatokat, majd a kettőzött és hiányzó értékek törlése után exportálja az adott város havi adatsorait. Minden adatpont az abszolút idővel van felcímkézve, így a későbbi kiértékelés során egyértelműen elhelyezhető az idővonalon. Ez fontos, hiszen az entalpiavizsgálat során egyidejű $t - \varphi - p$ értékekre van szükség. Az abszolút idő az 1970.01.01. 00:00 óta eltelt másodpercet jelenti.

Ezzel az időformátummal kiküszöbölhetővé válnak a szökőévek, időzónák és eltérő naptárak zavaróhatásai a kiértékelés során.

A megfelelő sűrűségű adatokból származó megbízható havi átlagos $t - \varphi - p$ grafikonok előállításához szükség volt feltételeket szabni a napi adatsorok kiértékelése előtt. A vizsgált városok esetében minden olyan nap adatsora kimaradt a ki-

értékelésből, ahol nem teljesült a következő két feltétel az adott napi $t - \varphi - p$ listák valamelyikére:

- 1) Napi minimum 6 mérési elvárással biztosítható, hogy átlagosan ne lehessen 4 óránál távolabb egymástól két szomszédos adat. Ez az entalpiaszámításhoz szükséges interpoláció miatt fontos elvárás. Vagyis minimum 6 rögzített adat kell, hogy rendelkezésre álljon minden adatsorban.
- 2) Az adott napi első és utolsó adat maximum 4 óra távolságban lehet a nap elejétől/végétől, így megbízhatóan interpolálható vagy helyettesíthető az esetlegesen hiányzó 0. és 24. órai hiányzó érték.

A kutatási munka során frisslevegős rendszer melletti állandó belső operatív hőmérsékletet és páratartalmat feltételeztünk. Az elszívott, elhasznált távozó légállapotot a belső légállapottal azonosnak vettük közelítés gyanánt. Figyelmen kívül hagytuk továbbá az év során a fagyás, kondenzáció, karbantartás stb. üzemidő csökkentő hatásait.

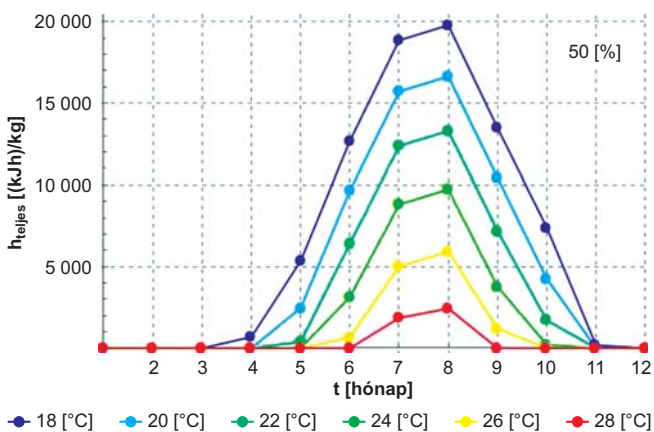
4. A kutatási eredmények

A kutatási vizsgálatainknál a visszanyerhető hőmennyiség külön összegeztük hűtési és fűtési üzemmódokra, ugyanis így külön vizsgálható a hűtőkalorifer, illetve a fűtőkalorifer energiaszükségletének csökkenése adott hónapban. A bemutatott grafikonok egy hónapjához tartozó visszanyerhető hő az adott hónapra jellemző átlagos nap értékeinek a hónap napjainak számával felszorozott összegzett eredménye.

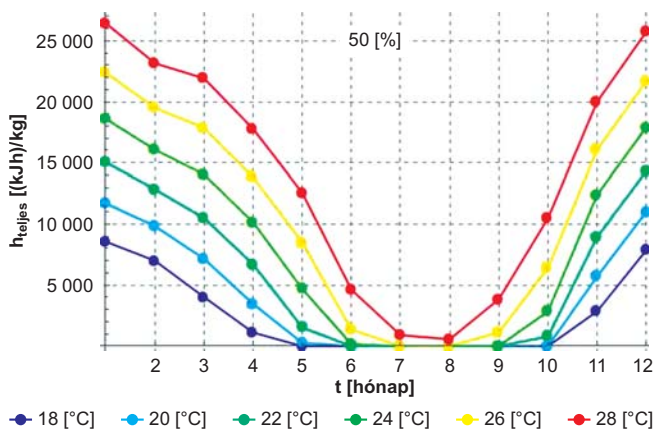
Az összes visszanyerhető energia százalékos várható értékét 50%-os várakozással 22 °C és 50% távozó levegő légállapotra számítottuk ki minden hónapra. A hónapokra érvényes hőmennyiségeket az éves hőmennyiség százalékában tüntettük fel, hogy szemléletes legyen az éves visszanyerhető hőmennyiség megoszlása a hónapok között.

A grafikonok felső részén olvasható százalékkérték a felhasznált decilis sorozat jelölését mutatja meg, a °C érték az állandónak vett távozó léghőmérséklet értékét adja meg. A távozó levegő páratartalmát minden esetben 50%-nak vettem. Tekintettel a cikk terjedelmi korlátaira a vizsgált városok közül Barcelonát választottuk a részletes kutatási eredmények bemutatására (5. – 9. ábrák).

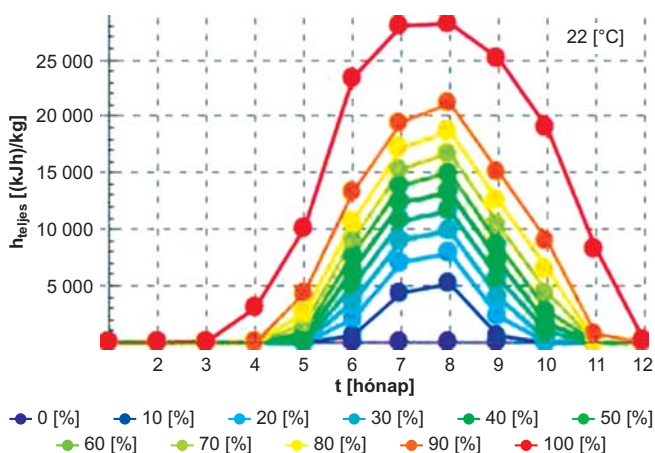
A kiértékelés végén egy diagramon vetem össze mind a 20 város éves várható visszanyerhető hőenergiáját.



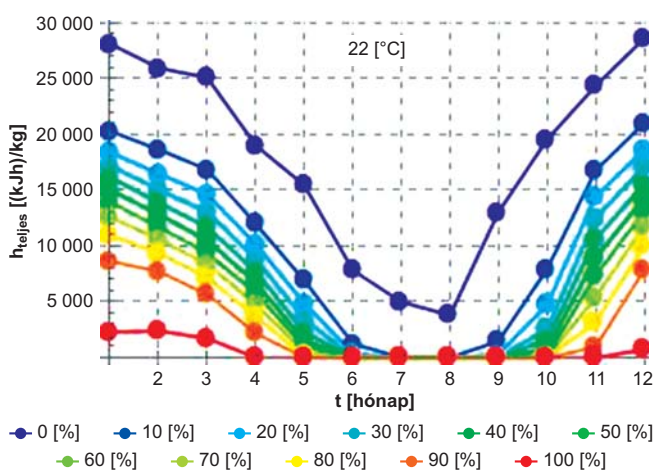
5. ábra. A visszanyerhető várható havi hűtési teljes entalpia-óra a távozó léghőmérséklet függvényében



6. ábra. A visszanyerhető várható havi fűtési teljes entalpia-óra a távozó léghőmérséklet függvényében



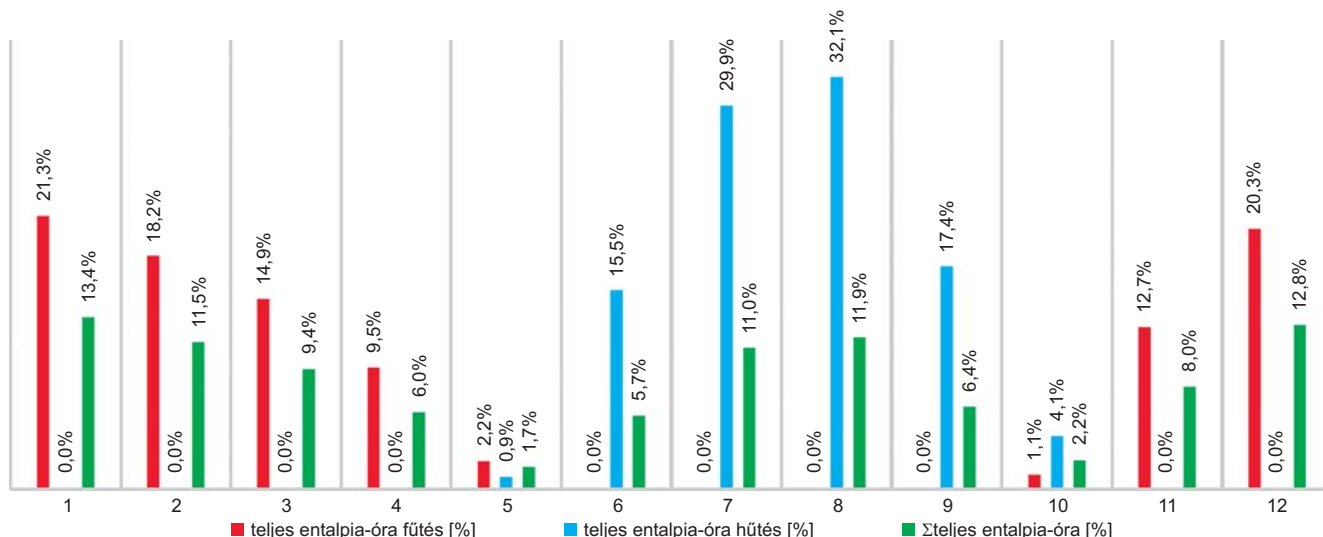
7. ábra. A visszanyerhető várható havi hűtési teljes entalpia-óra a várakozás függvényében



8. ábra. A visszanyerhető várható havi fűtési teljes entalpia-óra a várakozás függvényében

(A 9. ábrát lásd a következő oldalon.)

Az 5-9. ábrákról leolvasható, hogy a hűtési hővisszanyerés jelentős része június és október között zajlik. A távozó léghőmérséklet nagymértékben befolyásolja az átmeneti időszakban (május és október) várható visszanyerhető hőmennyiséget.

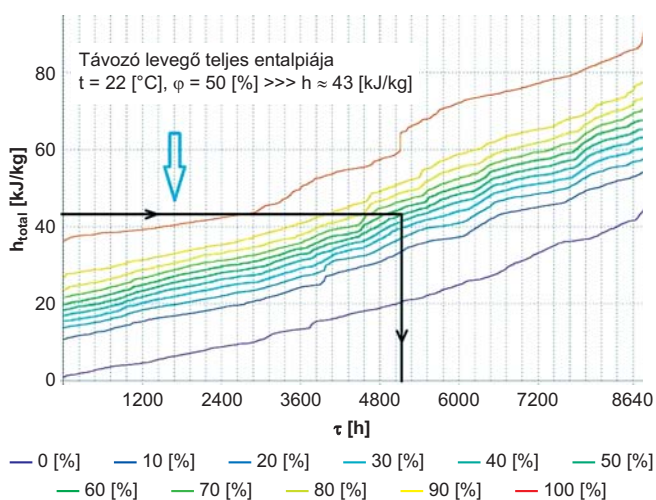


9. ábra. Barcelona esetében a várható éves teljes visszanyerhető entalpia-óra eloszlása a hónapok között az elmúlt 20 év alapján, 50%-os várakozással

Az éves várható teljes, szenzibilis és látens entalpiagyakorisági diagramról (10. ábra) leolvasható a távozó levegő teljes, szenzibilis és látens entalpiáinak ismeretében, hogy évente várhatóan hány órát üzemel a hővisszanyerős szellőztető berendezés fűtési, illetve hűtési üzemmódban 50%-os várakozás mellett.

Ezen időtartamok és a visszanyerhető teljes/szenzibilis/látens hőmennyiségek ismeretében előre kiválasztható a feladatra leginkább alkalmas hővisszanyerő pontos típusa a becsült éves szenzibilis és látens hatások értékei ismeretében. A kiválasztási metódus kidolgozása lesz a kutatási munkánk folytatása.

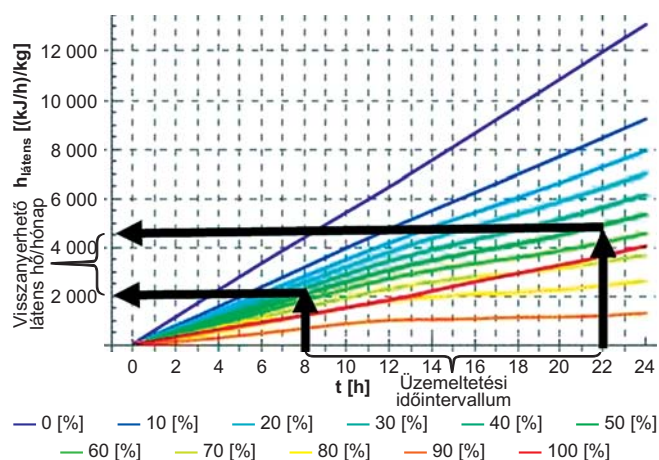
A többi városnál is az itt bemutatott módon olvasható le az időszakok hosszát, területi korlátok miatt azonban csak a Barcelonára vonatkozó entalpiagyakorisági diagramot mutatom be. Az összes városra leolvasott értékeket tartalmazó összesítő diagram – 14. ábra – az eredmények részénél található.



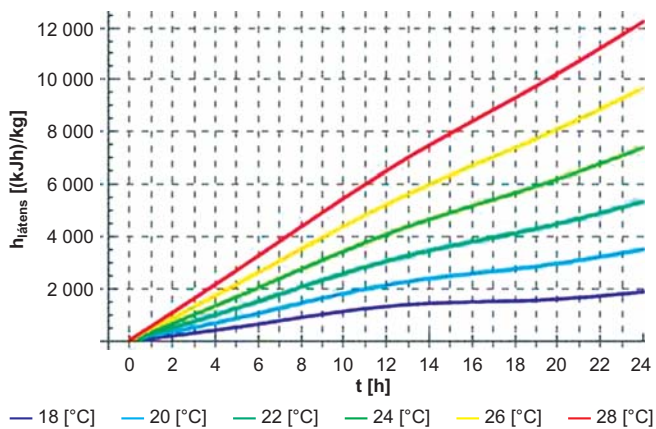
10. ábra. A várható éves totális entalpiagyakorisági diagram

4. A távozó levegő hőmérsékletének és az üzemeltetési időintervallumnak a hatása a várható havi visszanyerhető hőenergiára

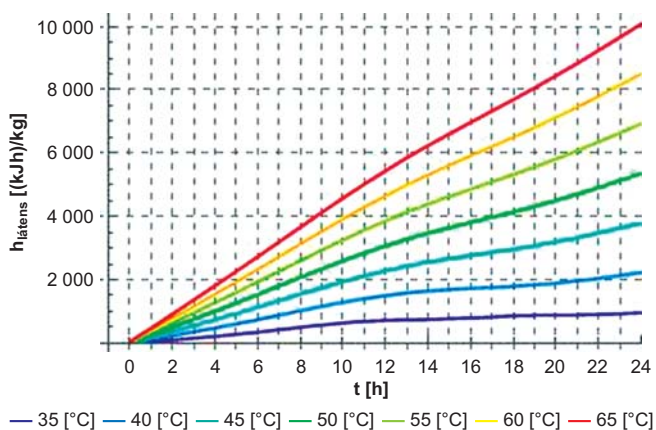
Az üzemeltetési időintervallum hatásának vizsgálata összetett feladat. Az adott hónapra meghatározott átlagos várható napi időpontfüggő visszanyerhető hőenergia meghatározását a következő módon végeztük el. Adott hónap átlagos napi entalpiamenetei segítségével félóránként meghatároztuk az adott óráig visszanyerhető hőt úgy, hogy a távozó levegő entalpiáját a távozó levegő légállapotjelzőinek függvényeként adtuk meg. Így a 3. fejezetben közölt kifejlesztett algoritmus (4. ábra) segítségével elvégeztük az átlagos havi napok félóránkénti időpontjaihoz hozzárendelhető visszanyerhető hőenergia kiszámítását a várakozás (decilisgörbe), távozó légállapot hőmérsékletének és páratartalmának függvényében. A 11. - 13. ábrákon a várható havi visszanyerhető látens hőmennyiség értékei láthatóak Barcelona városban, decemberben.



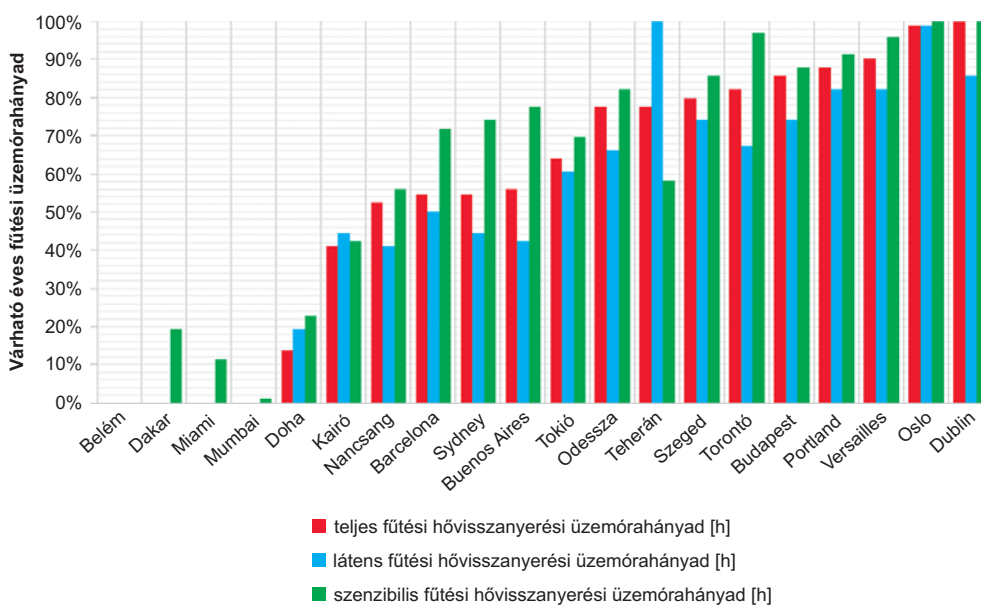
11. ábra. A várható havi visszanyerhető látens hőmennyiség a várakozás és az üzemeltetési időintervallum függvényében



12. ábra. A várható havi visszanyerhető látens hőmennyiség a távozó léghőmérséklet és az üzemeltetési időintervallum függvényében



13. ábra. A várható havi visszanyerhető látens hőmennyiség a távozó levegő páratartalmának és az üzemeltetési időintervallumnak a függvényében



14. ábra. Éves várható fűtési hővisszanyerési üzemóráhányad városonként

Az így megszerkesztett diagram (11. ábra) egy adott hónapra érvényes, vízszintes tengelyén az üzemeltetési időintervallum, függőleges tengelyén az adott időpontig visszanyerhető hőenergia szerepel az adott távozó légállapot paraméterek függvényében, adott várakozás mellett. Az üzemeltetési időintervallum meghatározása után, a megfelelő görbék függőleges tengelyének értékeinek különbsége adja az adott intervallumban visszanyerhető hőmennyiséget.

A korábbi ábrák alapján levonható a tanulság, hogy a távozó levegő entalpiájának csekély megváltoztatása jelentős mértékben is megváltoztathatja a hővisszanyerés szempontjából még számottevő hűtési/fűtési időszakok hosszát. Ez a megállapítást a korábbi ábrák alapján (5. - 8. ábrák), valamint a városokhoz tartozó entalpiagyakorisági diagramok alapján tehető meg. A 11. ábra alapján látható, hogy a havi várható visszanyerhető hőmennyiség a távozó levegő megváltozására érzékenyen reagál, akár 10-szeres eltérést is mutathat a havi összesítésben. Ennek az érzékenységnak a változása városonként és időszakonként eltérő az előállított grafikonok szerint, de minden esetben jelentős. A pontos megismerése jövőbeni kutatás tárgyát képezi.

5. A fűtési/hűtési üzemórák várható átlagos száma

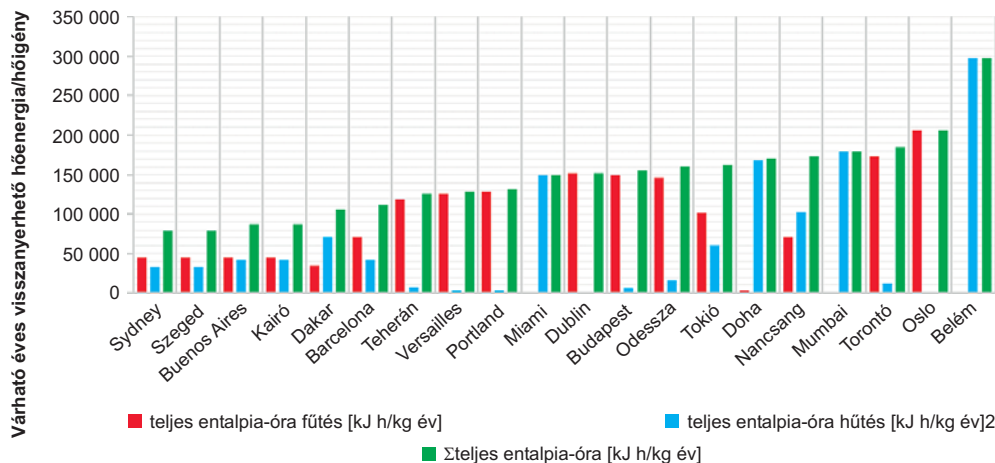
Barcelona esetében bemutatott módon minden városra meghatároztuk az entalpiagyakorisági diagramokról a várható teljes, szenzibilis és látens fűtési/hűtési időszakok hosszát. Az értékek, és azok éves százalékos részaránya a **14. ábra** alapján összehasonlítható. Az összes üzemóra természetesen a fűtési és hűtési üzemórák összege, vagyis a 100%-ig tartó üres rész minden oszlop felett a hozzá tartozó hűtési hővisszanyerési üzemóráhányad százalékában.

A 14. ábra értékei felhasználhatók a megfelelő típusú hővisszanyerő egység kiválasztásához. Ennek a kiválasztásnak a metodikája jövőbeni kutatás tárgyát képezi.

6. Eredmények és következtetések

A vizsgált városok várható visszanyerhető éves hőenergia-ájának összehasonlítása alapján sorrendbe állítható az összes várható visszanyerhető hőenergia szerint, amelyből meglepő hasonlóságok állapíthatók meg, amelyek nem feltétlenül következtethetők ki a városok klimatikus zónáiból (**15. ábra**, lásd a következő oldalon).

A 15. ábra alapján látszik, hogy Budapest kedvező helyen áll a sorrendben, és a várható hővisszanyerés nagy része fűtési időszakban fordul elő.



Jelmagyarázat

c_p [J/kg K]	– fajhő
h [J/kg]	– fajlagos entalpia
n [%]	– várakozási szint
p [Pa]	– nyomás
R [J/kg K]	– specifikus gázállandó
T [K]	– abszolút hőmérséklet
t [°]	– hőmérséklet
x [kg/kg]	– abszolút páratartalom

15. ábra. A várható éves visszanyerhető teljes, szenzibilis és látens hőenergia városokként

A többi város közül Belém kiemelkedő, ahol a hűtési időszakban történő hővisszanyerés felülmúlja a többi városban tapasztalható éves értékeket. Legkevesebb energiát Sydney-ben lehet megtakarítani, ám ennek nagysága ott sem elhanyagolható.

Látszik az energetikai hasonlóság Sydney, Buenos Aires, Kairó, Dakar és talán Barcelona illetve Nanchang között, mely városoknál egy nagyságrendbe esik a fűtés és hűtési időszak alatt várható visszanyerhető hőmennyiség.

Szintén egy csoportba sorolható Portland, Dublin, Budapest, Odesa, Torontó és Oslo, amely városoknál a fűtési időszakban visszanyerhető várható hőmennyiség jócskán felülmúlja a hűtési időszak alatti várható hőmennyiséget.

Miami, Doha, Mumbai és Belém esetében az ellenkező igaz, itt a hűtési időszakban jelentős a várható hővisszanyerés mértéke.

A fenti megállapítások állandó 22 °C hőmérsékletű és 50% relatív páratartalmú elhasznált, elszívott távozó levegő mellett érvényesek. A kiértékelő programban a távozó levegő entalpiája függvényként szerepel, amely később tetszőlegesen függővé tehető bármilyen környezeti, vagy beltéri paramétértől.

A cikkben bemutatott, a kutatási munkánk során kidolgozott módszerekkel nagyszámú időjárásadaton alapuló, tervezéshez is használható segédtablázatok (11. - 13. ábrák) hoztunk létre, amelyekkel bármelyik városban becsülhető a tervezett szellőztető berendezésben realizálható energiamegtakarítás mértéke tetszőleges hónapban, tetszőleges üzemeltetési időintervallumokban a távozó levegő hőmérséklete és relatív páratartalma ismeretének függvényében, adott várakozás – decilisgörbe adatsor használata – mellett.

Támogatók

Ez a kutatási munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával az NKFI Alapból [azonosítószám: NKFIH PD_18 127907] valósult meg, valamint a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatásával készült, Budapest, Magyarország.

Görög betűk

ρ [kg/m ³]	– sűrűség
τ [s]	– idő
φ [%]	– relatív páratartalom

Indexek

si	– frisslevegő (supply in)
so	– befűjt levegő (supply out)
ei	– elszívott levegő (exhaust in)
eo	– kidobott levegő (exhaust out)
S	– szenzibilis (termikus)
L	– látens (rejtett)
T	– teljes (totális)

Felhasznált irodalom

- [1] Laverge, J., Janssens A., Heat recovery ventilation operation traded off against natural and simple exhaust ventilation in Europe by primary energy factor, carbon dioxide emission, household consumer price and energy Energy and Buildings, 50 pp. 315–323., 2012.
- [2] Maclaine-Cross, I. L., A theory of combined heat and mass transfer in regenerators Ph.D. Dissertation in Mechanical Engineering, Monash University, Australia, 1974.
- [3] Klein, H., Klein, S.A., Mitchell, J.W., Analysis of regenerative enthalpy exchangers International Journal of Heat and Mass Transfer, 33, pp. 735-744., 1990.
- [4] Dr. Menyhárt József főszerk., *Az épületgépészet kézikönyve*, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1977.
- [5] Verein Deutscher Ingenieure, *Heat recovery in heating, ventilation and air conditioning plants VDI 2071-Richtlinien*, Düsseldorf, 1997.
- [6] Poleczky László, A szellőzéstechnikában visszanyerhető energia vizsgálata különböző éghajlatokon BSc. szakdolgozat, BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás Technika Tanszék, 2018.
- [7] J. Dr. Bartholy, *Éghajlatlan EDUTUS Főiskola*, 2012.
- [8] Wolfram Mathematica® Tutorial Collection, Notebooks and Documents, ©2008 Wolfram Research, Inc., USA, 2008