



A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építészmérnöki Kar

Dr. Magyar Zoltán
okleveles gépészmérnök

A légforgalom/légcsere az épületek energiamérlegében és állagvédelmében

**- különös tekintettel az épületek hőenergia-
fogyasztásának minimalizálására a megfelelő
komfort feltételek biztosítása mellett**

PhD értekezés tézisei

Budapest
2008

1. Bevezetés

Épületeink többnyire esztétikai élményt is nyújtanak, de ahhoz, hogy az adott épületben tartózkodó ember a környezetével, a komfortjával elégedett legyen - azaz jól érezze magát - megfelelő épületet és épületgépészeti rendszert kell kialakítani. Figyelembe kell vennünk azonban az energia-megtakarításra vonatkozó világszintű törekvéseket is. Az Európai Unió célul tűzte ki az energiafogyasztás csökkentését. Ennek figyelembe vételével fogadták el a tagállamok az épületek energiafelhasználásáról szóló 91/2002/EK irányelvet és készítették el a közös energiapolitika hosszú távú célkitűzéseit, valamint az Európai Unió energiatermelésének akciótervét (2006. október).

A magas spontán légcsere következménye nem csak a többlet energiafogyasztás, hanem a fűtési és a légtechnikai rendszer szabályozási problémái: a zárt tér előírt komfort paraméterei (hőmérséklet, páratartalom, légcsere) nem tarthatók. A spontán légcsere csökkentésének állagvédelmi, biztonsági és egészségügyi kockázatai is vannak. Ha a túlságosan légtömör épület nem tudatos fogyasztói magatartással párosul, akkor ez állagkárosodáshoz vezethet. Az egyre jobban hőszigetelt falszerkezetekkel és nyílászárókkal rendelkező épületek esetében a minimális légcsere és a zárt térben tartózkodó emberek komfortérzetének biztosításához szükséges fűtési és légtechnikai rendszereket úgy kell kialakítani, beszabályozni és üzemeltetni, hogy a megfelelő komfortparaméterek biztosítása a legkevesebb energia felhasználása mellett történjen. A jól beszabályozott légtechnikával többet lehet tenni a spontán légcsere ellen, mint a határoló szerkezetek légzárásával. A légtechnikai rendszer elektromos fogyasztása ellenére is energiatakarékosabb, mint a spontán légcsere. A szabályozatlan és kontrolálatlan légáramlás következtében a komfortkövetelményeket nem tudjuk kielégíteni, ugyanakkor az épület energiafelhasználása lényegesen nagyobb lehet az elvártnál. Az épületgépészeti rendszerek hidraulikai és légtechnikai beszabályozásával, energetikai optimalizálásával is jelentősen csökkenhet az épületállományunk éves energiafelhasználása. A beszabályozott és megfelelően üzemeltetett épületgépészeti rendszer jelentősége összemérhető a gondos méretezéssel.

Az épületek energiafelhasználásának megismeréséhez energetikai auditot kell készíteni, melynek célja az alkalmazott energiahordozók és költségeik meghatározása, majd az energiafelhasználás csökkentésre érdekében javaslatok kidolgozása, műszaki és gazdasági értékelése. Az audit tartalmazza a meglévő állapot elemzését, valamint javaslatot az energia-megtakarítás csökkentésére.

2. Az értekezés célja, probléma felvetés

Az értekezés tárgya kapcsolódik az Európai Unió 91/2002/EK direktívájához. Az épületek energiafelhasználásának számításánál az összesített energetikai jellemzőt határozzuk meg, amely az épület rendeltetészerű használatának feltételeit biztosító épületgépészeti rendszerek egységnyi fűtött alapterületre vonatkozó, primer energiában kifejezett, kWh/(m²·a) mértékegységű éves fogyasztása. Az összesített energetikai jellemző tartalmazza az épület fűtési, légtechnikai, melegvízellátási és a világítási rendszereinek fogyasztását, beleértve e rendszerek hatásfokát és önfogyasztását. Az aktív szoláris, fotovoltaiikus, rendszerekkel és az épület saját rendszereként üzemeltetett kapcsolt energiatermeléssel nyert energia az összenergiafelhasználásból levonható.

Új épületekre, illetve a meglévő épületek lényeges felújítására követelményértékeket fogalmaz meg az Európai Unió 2002/91/EK direktívája alapján a 7/2006 TNM rendelet. A rendelet alapján meghatározhatjuk a vizsgált épület energiafelhasználását. A 2002/91/EK irányelv azonban előírja a meglévő épületek minőségtanúsítását is. A tanúsítás az előírások alapján elvégezhető, az épületek besorolhatók, tehát így egymással össze lehet hasonlítani. A tanúsítás azonban a standard körülményekre vonatkozik, ami nem veszi figyelembe a felhasználói szokásokat, a ténylegesen elkészült épület beszabályozását, a szabályozók tényleges beállítását, az épületfelügyeleti rendszer paramétereit és sok egyéb tényezőt, ami az adott konkrét épület tényleges energiafelhasználását meghatározza. Épületeinknél alapvetően meghatározandó, hogy az adott épületben tartózkodó ember jól érezze magát, környezetével, komfortjával elégedett legyen. A komfort és az energiafelhasználás azonban kapcsolatban van egymással. Egy adott paraméter, például az operatív hőmérséklet egy szűkebb tartományban tartása más épületgépészeti kapcsolást, más szabályozási módot igényel.

Az értekezésemben két különböző, de egymáshoz logikailag kapcsolódó területen kívánom téziseimet megfogalmazni, és azokat igazolni. A bemutatott vizsgálatok a különböző hidraulikai kapcsolások, légtechnikai és hidraulikai beszabályozások jelentős szerepet töltenek be az épületek energiamérlegében, valamint befolyásolják az épület légforgalmát, légcserejét. Az épületek energetikai auditálása során olyan módszer kidolgozása volt a célom, ami nem csak az épületek tanúsítására alkalmas, hanem annál pontosabban határozza meg a konkrét épület energiafelhasználását, figyelembe veszi az épületben tartózkodó emberek igényeit a belső légállapot és a komfort vonatkozásában. A meglévő épületek energiafelhasználásának pontos ismerete önmagában is fontos, de az energiafelhasználás csökkentési lehetőségeinek a feltárása, a jobb komfort körülmények biztosítása nem csak a tudományos kutatás, hanem a gyakorlati implementáció számára is meghatározó. Az értekezésben kidolgoztam az energetikai audit lépéseit, esettanulmányokon keresztül mutattam be a meglévő középületek éves energiafelhasználását, valamint épületszerkezeti, épületgépészeti és világítástechnikai javaslatokat tettem az energiafelhasználás csökkentésére és a belső légállapot, valamint a komfort paraméterek javítására. Külön fejezetben vizsgáltam a kórházépületek energiafelhasználását, energetikai auditját.

3. Az új vizsgálati módszer

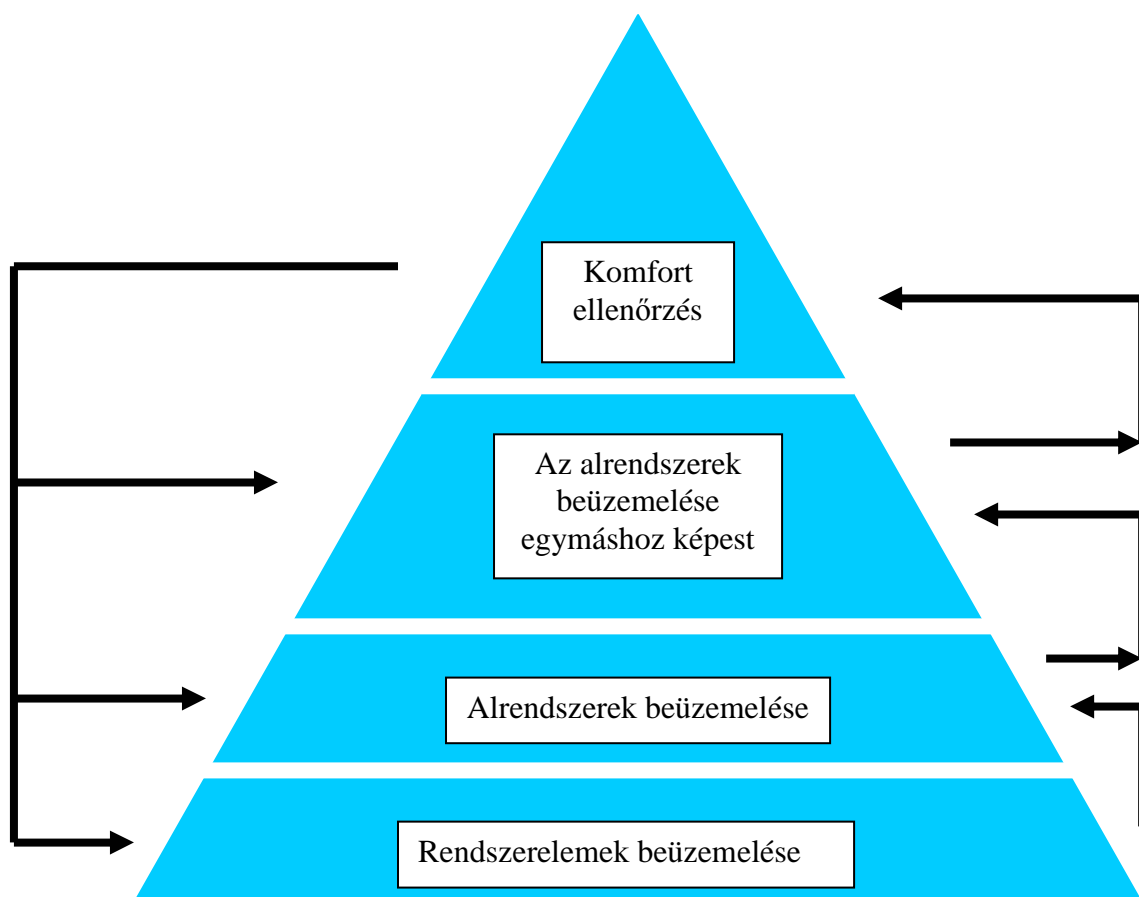
Az elmúlt 12 évben az épületek belső légállapotának és komfort paramétereinek a biztosítására nagyszámú méréseket végeztem, fűtési-, hűtési- és légtechnikai rendszerek tömeges beszabályozásait hajtottam végre, valamint az utóbbi 5 évben több mint 100 épületenergetikai auditot készítettem. Az elmúlt évek tapasztalatát felhasználva kifejlesztettem egy új vizsgálati módszert, amely tartalmazza az épület komplett beüzemelését, energetikai audit készítésének menetét és energetikai optimalizálását.

Elkészítettem a beüzemelés alapmodelljét (1. ábra), melyet korábban több hazai és külföldi szakirodalomban már publikáltam.

A beüzemelés során az első lépés mindig az egyes rendszerelemek pl. kazánok, hűtőgépek, folyadékűtők, szelepek, szivattyúk beállítása. A nagyobb elemek beüzemelését többnyire a szállító szakszervezetek, vagy a velük szerződéses kapcsolatban lévő szerviz cégek végzik el.

Ezután történik az egyes alrendszerek beüzemelése. Ide tartozik a fűtési rendszer, a használati melegvíz ellátó rendszer, a hűtőrendszer és a légtechnikai rendszer beszbályozása. A beszbályozás egy olyan folyamat, amely során az előbbieken beállított szelepek, szivattyúk, zsaluk és ventilátorok olyan állásba kerülnek, hogy a csöveken, légcsatornákon a tervezett tömegáramok haladjanak át. A nem megfelelően beszbályozott rendszer a méretezési állapotban sem tudja biztosítani a megkívánt belső légállapotot, ugyanakkor energiafelhasználása is nagyobb az optimálisnál. Gyakori probléma, hogy a helyesen kiválasztott elemekből összeállított alrendszer a beszbályozás hiánya miatt nem megfelelően működik.

Egy épületgépészeti rendszer több alrendszert is tartalmazhat. Egy alrendszer pl. a fűtési hálózat, egy másik alrendszer pl. a használati melegvíz hálózat. A két alrendszer közös eleme a hőtermelő, amelynek mind a fűtési, mind a melegvíz igényt is ki kell elégítenie. A klímarendszer egyik alrendszere a légcsatorna hálózat, melynek eleme a légkezelőben lévő fűtési és hűtési hőcserélő. Ezek a hőcserélők viszont a fűtési, illetve a hűtési hálózatnak is elemei. A beüzemelés során az egyes alrendszerek beüzemelése után el kell végezni az alrendszerek egymáshoz képest történő beüzemelését, a közös elemek ellenőrzését.



1. ábra
A beüzemelés modellje

Amikor az alrendszerek, majd a teljes rendszer beüzemelése elkészült, a tervezési értékeknek megfelelő belső légállapot értékeket ellenőrizni kell. Ide tartozik a helyiségben a hőmérséklet, a páratartalom, a megvilágítás, a zaj, a tartózkodási zónában a légszennyezettség (huzat) mérése. Amennyiben a tervezéskor kiválasztott kategóriának megfelelő megadott értékhatárok között valósult meg a belső légállapot, a beüzemelést elvégeztük. Ellenkező esetben iterációs folyamat kezdődik, amíg el nem érjük a koncepció során megfogalmazott kategóriának megfelelő paramétereit. A beüzemelés modellje egy piramis, mivel a folyamat során mindig az alsó szintről haladhatunk feljebb, az egyre bonyolultabb fázisok felé. Amennyiben szükséges, vissza kell térnünk az alsóbb szintekre is.

A beüzemelés modelljében részletesen megvizsgáltam az alrendszerek beüzemelését is. A fűtési- és hűtési rendszerek tömegárama befolyásolja a hőleadást. Számításokkal határoztam meg a fűtőtest teljesítményének változását a tömegáram függvényében. Bebizonyítottam, hogy hidraulikai beszabályozással a belső légállapot javítása mellett energia-megtakarítást is el lehet érni.

A fűtési- és a hűtési rendszerben lévő szivattyút a tervező a méretezés során választja ki, határozza meg a munkapontját. Bebizonyítottam, hogy az optimális munkapont csak a hidraulikai beszabályozás után, mérésrel határozható meg. Az optimális munkaponton üzemelő szivattyú energiafelhasználása így minimális.

Az energetikai auditok készítése során összegyűjtött tapasztalatok alapján meghatároztam azokat az általános intézkedéseket, amelyekkel energia-megtakarításon kívül jobb belső légállapotot lehet elérni.

4. Az értekezés új tudományos eredményei, tézisei

1. Tézis

Kifejlesztettem és a vonatkozó szakirodalomban elsőként publikáltam az épületek megfelelő belső légállapotát biztosító beüzemelés új modelljét és modell alkalmazási módját (Értekezés 6. pont), amely bemutatja a folyamat célját, lényegét és az egyes szintek kapcsolódását. A tézisponthoz kapcsolódó publikáció: [2],[4],[12].

A beüzemelés új modellje és a modell alkalmazási módja az értekezés vizsgálati módszere, de egyben tudományos eredménynek is tekintem.

A beüzemelés során az első lépés mindig az egyes rendszerelemek beállítása. Az adott elem működését funkciója szempontjából ellenőrizni kell. A rendszerelemek egy rendszert alkotnak, amely azonban a teljes épület szempontjából egy alrendszernek tekinthető. A beüzemelés következő lépése ezeknek az alrendszereknek a beüzemelése.

Amikor az alrendszerek, majd a teljes rendszer beüzemelése elkészült, a tervezési értékeknek megfelelő belső légállapot értékeket ellenőrizni kell. Amennyiben a megadott értékhatárok között valósult meg a belső légállapot, a beüzemelést elvégeztük, ellenkező esetben iterációs folyamat kezdődik, amíg el nem érjük a koncepció során megfogalmazott kategóriának megfelelő paramétereit. A beüzemelés modellje egy piramis, mivel a folyamat során

mindig az alsó szintről haladhatunk feljebb, az egyre bonyolultabb fázisok felé. Amennyiben szükséges, a 3. ábrán bemutatott módon vissza kell térnünk az alsóbb szintekre is.

2. Tézis

Az épület megfelelő komfort körülményeit biztosító rendszerek sokszor azért nem működnek helyesen, mert a tervező nem a megfelelő hidraulikai kapcsolást alkalmazza. Az általam vizsgált hidraulikai kapcsolások előfordulnak fűtési és hűtési rendszerekben, a légtechnikai és a légkondicionáló rendszerek légkezelőinél a folyadék oldalon, a megújuló energiák alkalmazásánál hőszivattyús és napkollektoros rendszereknél. A szakirodalomban fellelhető, és az általam kifejlesztett kapcsolásokat alkalmazási feladatok szerint csoportosítottam, bemutattam működési elvüket, valamint az alkalmazásuk során elkövetett gyakori hibákat. A mindenkori feladatnak megfelelő kapcsolat használata a helyesen működő rendszer alapfeltétele.

Kidolgoztam a szabályozó körök tervezéséhez összeállított kapcsolások gyűjteményét, és módszert adtam a különböző feladatokhoz és az elvárt belső légállapothoz szükséges – az energiafelhasználás szempontjából optimális - kapcsolat alkalmazására. (Értekezés 7.1. pont).

Az 1. tézisben ismertetett beüzemelés modelljében a komfort ellenőrzés során vizsgáljuk az adott épület - MSZ CR 1752 szabványnak megfelelő – belső légállapotát. Ahhoz, hogy a modellt használni tudjuk, vagyis az ismertetett iterációval el tudjuk érni a kívánt belső légállapot paramétereinek az adott tartományban történő tartását, szükséges feltétel a megfelelő hidraulikai kapcsolat alkalmazása.

Az elmúlt évtizedekben végzett tervezői és szakértői munkáim során rendszeresen tapasztaltam, hogy az épületben fellépő panaszok - a nem megfelelő belső hőmérséklet, a friss levegő hiánya, az épület szerkezetének károsodása - és a vártnál lényegesen magasabb energiafelhasználás gyakran nem az adott feladathoz szükséges hidraulikai és szabályozási kör kialakítására vezethetők vissza. A szakma elvárásainak megfelelően a tervezők a „jól bevált” kapcsolatokat használják az új technológiák pl. hőszivattyúk alkalmazásakor is.

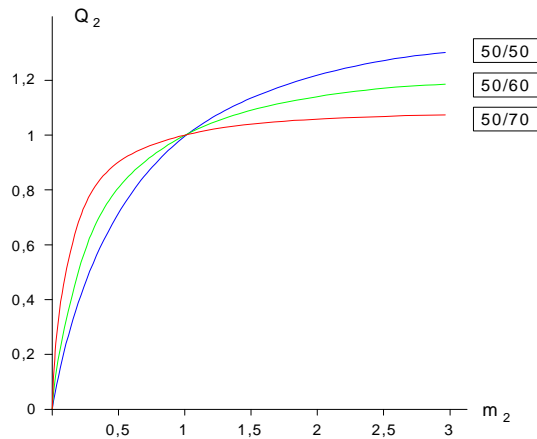
Az MSZ CR 1752 szabvány egyértelműen megfogalmazza, hogy az adott belső környezet kategóriának megfelelően az egyes paramétereket milyen intervallumban kell tartani. Ugyanolyan hidraulikai kapcsolással és azonos szabályozási kör alkalmazásával nem lehet megvalósítani a különböző követelményeket. Az igények függvényében a szabályozó körök kialakításához és tervezéséhez készített segédlet az épületek gépészeti rendszerének kialakításában hiányt pótol.

3. Tézis

3/a Meghatároztam a radiátor hőteljesítményét a tömegáram függvényében. A számításnál iterációs módszert, a legkisebb négyzetek módszerét és spline interpolációt (pontonkénti harmadfokú közelítést) alkalmaztam. Meghatároztam a radiátor exergetikai hatásfokát a tömegáram függvényében (Értekezés 7.2.pont).

3/b Bebizonyítottam, hogy a hidraulikai beszabályozással nem csak a megfelelő belső légállapotot lehet biztosítani, hanem energia-megtakarítás is elérhető. Az elméleti számításokon kívül két esettanulmány alapján is illusztrálja a hidraulikai

beszabályozással elérhető energia-megtakarítást (Értekezés 7.3.pont). A tézisponthoz kapcsolódó publikáció: [1],[3],[5],[6],[7],[8],[9],[10],[11].



Az épületgépészeti rendszer beüzemelésének modellezésében a rendszer elemek beüzemelését követő szint az alrendszerek beüzemelése (1. ábra). Az alrendszerek közül először részletesen vizsgáltam a hidraulikai beszabályozást. A hidraulikai beszabályozás során minden fogyasztóhoz el kell juttatni a méretezési állapotban meghatározott folyadék térfogatáramot a teljesen nyitott szabályozó szelepek és a maximális fordulatszámú szivattyúüzem mellett.

2. ábra

A leadott hőteljesítmény a tömegáram függvényében

Az (1) nem-lineáris egyenletről a $m_a \rightarrow \infty$ esetben azt kapjuk (2), hogy Q_a értékei nem haladhatnak meg egy szintet, vagyis a tömegáram növelésével a hőleadás csak egy meghatározott értékig nő.

$$Q_a = \left(\frac{Q_a \ln \left(\frac{t_{e0} - t_{b0}}{t_{v0} - t_{b0}} \right)}{m_a \ln \left(\frac{t_{e0} - t_{b0}}{-\frac{Q_a (t_{e0} - t_{v0})}{m_a} + t_{e0} - t_{b0}} \right)} \right)^{(1+M)} \quad (1)$$

ahol:

- Q_a - leadott(pillanatnyi)/méretezési hőteljesítmény
- t_{e0} - méretezési előremenő fűtővíz hőmérséklete ($^{\circ}\text{C}$)
- t_{b0} - méretezési helyiség hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)
- t_{v0} - méretezési visszatérő fűtővíz hőmérséklete ($^{\circ}\text{C}$)
- m_a - pillanatnyi/méretezési tömegáram
- M - radiátor kitevő

$$\lim_{m_a \rightarrow \infty} Q_a = \left(\frac{t_{e0} - t_{b0}}{t_{v0} - t_{b0}} \right)^{\left(\frac{1+M}{2} \right)} \quad (2)$$

A 2. ábra úgy készült, hogy az (1) nem-lineáris egyenlet numerikus megoldását iterációs módszerrel határoztam meg a Maple számítógépes algebrai rendszer segítségével az $m_a = [0,3]$ intervallum 100 egyenlő részre osztásával. A 2. ábrán felrajzolt grafikonok numerikus számításai során kapott (m_a, Q_a) értékpárokat felhasználva az illesztendő függvényt a (3) alakban kerestem.

$$f(m_a) = \frac{-1 + (1 + A m_a^2)^B}{((1 + A)^B - 1) m_a^{(2B)}} \quad (3)$$

A számítás eredményeként meghatároztam analitikus formában a radiátor hőteljesítményét a tömegáram függvényében. Például 80/60 °C-os fűtési rendszerrel 20 °C helyiség hőmérséklet mellett a közelítő függvény egyenlete:

$$f(m_a) = \frac{0.31891002305067170578 (-1 + \sqrt{1 + 16.103854740397040026 m_a^2})}{m_a} \quad (4)$$

Általában mindig az energia-megtakarításról és energiafelhasználásról beszélünk, de valójában nem az energiáról, hanem az exergiáról kellene beszélnünk. Az energia két részből tevődik össze. Az egyik rész az exergia, a másik pedig az anergia.

$$\text{Energia} = \text{exergia} + \text{anergia}$$

Az exergia az energiának azon része, mely átalakítható bármilyen energiaforrássá. Az anergia az energia azon része, mely nem alakítható át. Az exergia a rendszer tényleges munkavégző képessége, a maximális reverzibilis munka.

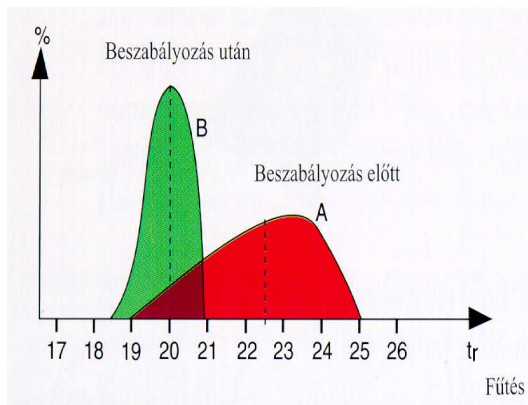
A belső hőmérséklethez viszonyítva az exergetikai hatások a mindenkori tömegáram függvényében:

$$\eta^x = \frac{Q_a \left(1 - \frac{t_b}{\frac{Q_a (t_{e0} - t_{v0})}{m_a} + t_e} \right)}{1 - \frac{t_b}{t_{e0}}} \quad (5)$$

A 80/60 °C-os fűtési rendszer példájánál maradván 20 °C helyiség hőmérséklet mellett az exergetikai hatások összefüggése a tömegáram függvényében:

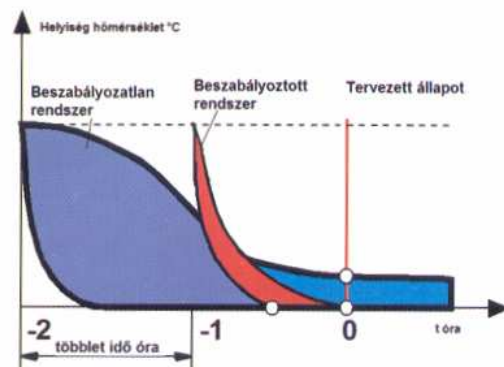
$$(\eta^x)(m_a) = \frac{4 Q_a(m_a) (Q_a(m_a) - 3 m_a)}{3 (Q_a(m_a) - 4 m_a)} \quad (6)$$

A hidraulikai beszabályozás alapvető célja, hogy a 2. ábrán látható módon a 100 %-os tervezett térfogatáram mellett a rendszer leadja a tervezett teljesítményt, így biztosíthatók az épületben a belső légállapot elvárt paraméterei. A hidraulikai beszabályozás energia-megtakarításra gyakorolt közvetlen hatását korábban nem vizsgálták, a fő célkitűzés a megfelelő belső légállapot elérése volt. A hidraulikai beszabályozás elemzését az exergia szemlélet alapján végeztem, amely új megközelítést jelent.



3. ábra

Helyiség hőmérséklet alakulása hidraulikai besabályozás előtt és után



4. ábra

Szakaszos üzennél elérhető energia-megtakarítás

A hidraulikai besabályozás elvégzése után a helyiség belső hőmérsékletét $\pm 1\text{ C}^\circ$ - on belül tudjuk tartani (ez megfelel az MSZ CR 1752 szabvány „A” kategóriájának), ezáltal az egész épület átlaghőmérsékletét csökkenteni lehet. Az esettanulmányok alapján az épület átlaghőmérsékletének 1 C° - kal történő csökkentése 6 – 7 % energia-megtakarítást eredményez. A vizsgált épületeknél a belső hőmérséklet $2\text{ – }3\text{ C}^\circ$ -os csökkentését lehetett elérni.

Esettanulmány bizonyítja, hogy a Budapest, IX. Bornemissza tér 8-9. sz. alatti 20 lakásos épület esetén a hidraulikai besabályozás után az épület energia-megtakarítása 19 % volt. A Budapest, IX. Kérő u. 18-20. sz. alatti 130 lakásos épület esetén a hidraulikai besabályozás elvégzése után 14 %-os energia-megtakarítást lehetett elérni. Az energia-megtakarítást a Budapestre vonatkozó 50 éves külső hőmérsékletek átlagára vonatkoztatva adtam meg.

4. Tézis

Egy helyiségben a megfelelő komfort körülmények eléréséhez szükséges a légsebesség és az operatív hőmérséklet olymértékű eloszlásának a biztosítása, hogy a tartózkodási zóna minden pontjában kialakuljanak az elvárt mikroklíma paraméterek. A fentieket csak a légtechnikai besabályozással lehet biztosítani. Kidolgoztam a légtechnikai besabályozás új menetét. Módszert adtam a légtechnikai besabályozás során lépésről-lépésre elvégzendő feladatokra. (Értekezés 7.4.pont). A tézisponthoz kapcsolódó publikáció: [15],[16].

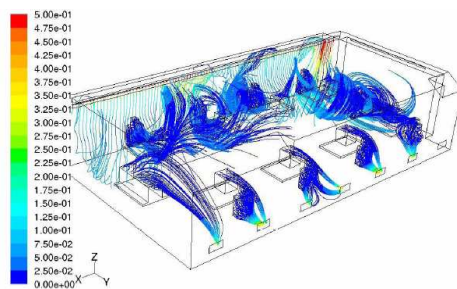
A folyamat célja, hogy a zárt térben tartózkodó ember a mindenkori igényeinek megfelelő komfort körülmények között éljen, dolgozzon, végezze az adott tevékenységét. A légtechnikai besabályozás menete eltér a hidraulikai besabályozástól, a nagyszámú légbevezetők miatt sokkal bonyolultabb.

A légtechnikai besabályozásra szükség van

- az előírt és elvárt komfort paraméterek (operatív hőmérséklet, légsebesség a tartózkodási zónában, belső levegő minőség) biztosítása;
- az energiaköltségek csökkentése;
- a beteg épület szindróma megelőzése érdekében.

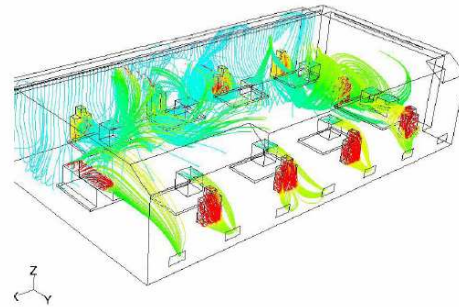
Kidolgoztam, és részletesen megadtam a légtechnikai beszállítás menetét, melynek alapja az arányossági törvény.

Esettanulmány szintjén vizsgáltam meg egy adott helyiség komfort paramétereit. A méréseket CFD szimulációval ellenőriztem és meghatároztam a vizsgált helyiségben a légsebesség és a hőmérséklet eloszlását. Az általam kidolgozott légtechnikai beszállítás elvégzése után a CFD szimulációt ismételtelen elvégezve látható, hogy a komfort paraméterek nagymértékben javultak, eloszlásuk egyenletessé vált.



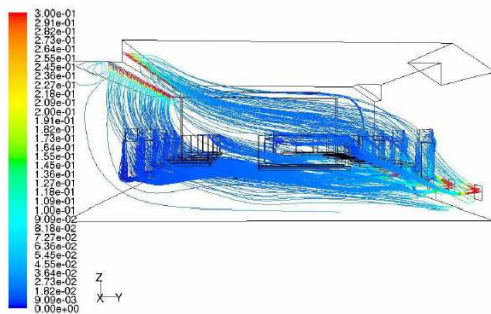
5. ábra

Légsebesség eloszlása a beszállítás előtt



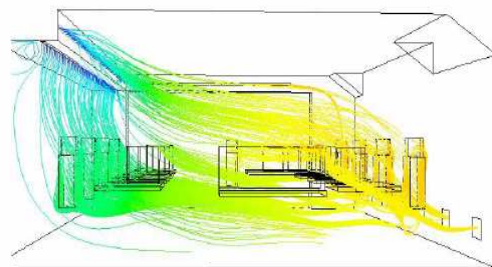
6. ábra

Hőmérséklet eloszlása a beszállítás előtt



7. ábra

Légsebesség eloszlása a beszállítás után



8. ábra

Hőmérséklet eloszlása a beszállítás után

5. Tézis

Az adott belső tér komfort paramétereinek a meghatározása a nagyszámú megoldási lehetőségek miatt szakértői rendszer igénybevételével célravezető. Kifejlesztettem egy algoritmust és annak alapján elkészítettem egy tudásbázisú rendszert, amely bemutatja mely bemenő paraméterek, illetve azok milyen kombinációjának a változtatásával lehet biztosítani a kívánt komfort szintet (Értekezés 7.5 pont). A tézispontozóhoz kapcsolódó publikáció: [17], [23].

Egy adott komfort szint (PMV, PPD érték) elérése több paraméter együttes értékeinek hatására történik. Amennyiben a vizsgált helyiség nem éri el az elvárt szintet, akkor ezt valamelyik paraméter, vagy paraméter-kombinációk megváltoztatásával lehet biztosítani. Az

általam kidolgozott algoritmus és számítógépes program egy olyan szakértői, azon belül tudásbázisú rendszer, amely megmutatja a felhasználónak a hőkomfort szempontjából lehetséges megoldásokat.

Készítettem egy kísérleti rendszert a helyiségben kialakuló belső levegő minőségének a vizsgálatára. A számítógépes támogatás célja a különböző kritériumok között jelentkező konfliktusok megoldása, a különböző szakértők, így az építész, az épületgépész- és villamosmérnök munkájának összehangolása, különféle hipotézisek felállítása és azok következményeinek vizsgálata. A logikai programozás szemléletének másik előnye a tudásábrázolás alapja, ami gondoskodik az automatikus problémamegoldás képességéről, a logikus, jól leírt problémákért, magába foglalva a kutatást az összes alternatív megoldásokkal.

6. Tézis

Az Épületenergetikai Direktíva (EPBD) hatására minden EU országban, így hazánkban is be kell vezetni azokat a jogszabályi feltételeket és követelményrendszereket, amelyek az épületek szabályozására, tanúsítására, valamint a kazánok, fűtési és klímatechnikai rendszerek felülvizsgálatára vonatkoznak. A 7/2006 TNM rendelet meghatározza azokat a követelményeket és számítási algoritmust, amellyel a hazai vizsgálatot el kell végezni. A követelményértékek között szerepel a fajlagos hőveszteségtényező elvárt értéke, amely független az épület rendeltetésétől.

6/a. Számos kórházépület energetikai vizsgálata alapján meghatároztam általában a kórház jellegű épületek tényleges fajlagos hőveszteségtényezőit. Az eredményeket összehasonlítottam a követelményértékekkel és megállapítottam, hogy a vizsgált kórházépületek esetén a tényleges fajlagos hőveszteségtényező értékei átlag 68 %-kal rosszabbak a követelményértékeknél. A kórházépületek tényleges fajlagos hőveszteségtényezői a $q = 0,0717 + 0,9189 (\Sigma A/V)$ összefüggéssel adhatók meg.

A tézispontozhoz kapcsolódó publikáció: [19],[20],[21],[22],[24].

A fajlagos hőveszteségtényező a transzmissziós hőáramok és a fűtési idény átlagos feltételei mellett kialakuló (passzív) sugárzási hőnyereség hasznosított hányadának algebrai összege egységnyi belső – külső hőmérsékletkülönbségre és egységnyi fűtött térfogatra vetítve. Ez a tényező az épületre és csak az épületre jellemző adatoktól függ és így az épület rendeltetésétől független. A fajlagos hőveszteségtényező megengedett legnagyobb értéke a felület/térfogat arány függvényében a 7/2006 TNM rendelet alapján a következő összefüggéssel számítandó:

$$\Sigma A/V \leq 0,3 \quad q_m = 0,2 \quad \text{W/m}^3\text{K} \quad (7)$$

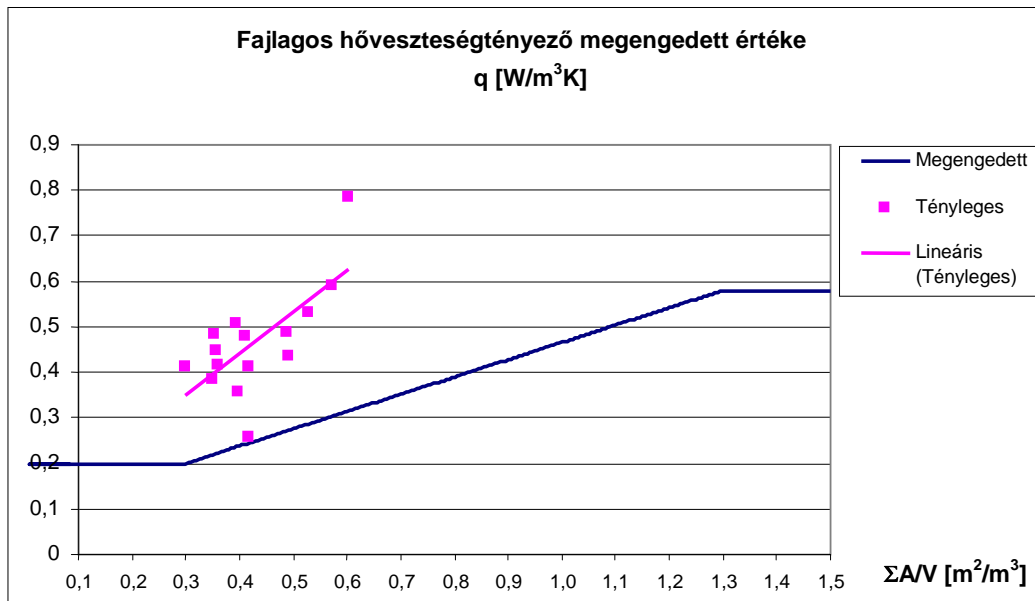
$$0,3 \leq \Sigma A/V \leq 1,3 \quad q_m = 0,086 + 0,38 (\Sigma A/V) \quad \text{W/m}^3\text{K} \quad (8)$$

$$\Sigma A/V \geq 1,3 \quad q_m = 0,58 \quad \text{W/m}^3\text{K} \quad (9)$$

ahol ΣA = az épülethatároló szerkezetek összfelülete
 V = fűtött épülettérfogat (fűtött légtérfogat)

A vizsgált kórház jellegű épületek esetén meghatároztam a tényleges fajlagos hőveszteségtényező értékét, a kapott pontokra regressziós görbét fektettem. A kapott egyenlet a következő:

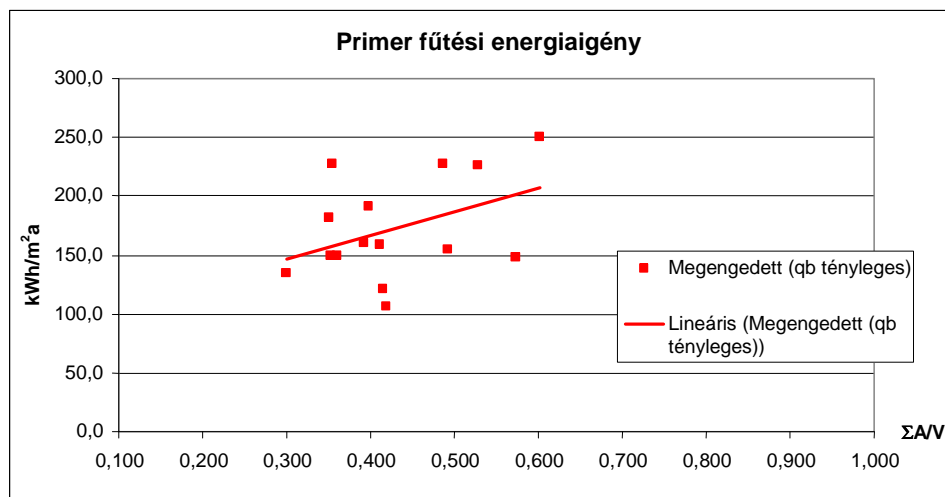
$$q = 0,0717 + 0,9189 (\Sigma A/V) \quad \text{W/m}^3 \text{K} \quad (10)$$



9. ábra

Épületek fajlagos hővesztéstényezőjének követelménye, illetve a vizsgált kórházépületek esetén a tényleges fajlagos hővesztéstényezők értékei

A fogyasztási adatok alapján meghatároztam a kórház jellegű épületeknél a tényleges belső hőnyereség értékeit. Ezekkel az adatokkal meghatároztam a primer fűtési energiafelhasználás megengedett értékét a TNM rendeletben megadott épületet és épületgépészeti rendszert figyelembe véve.

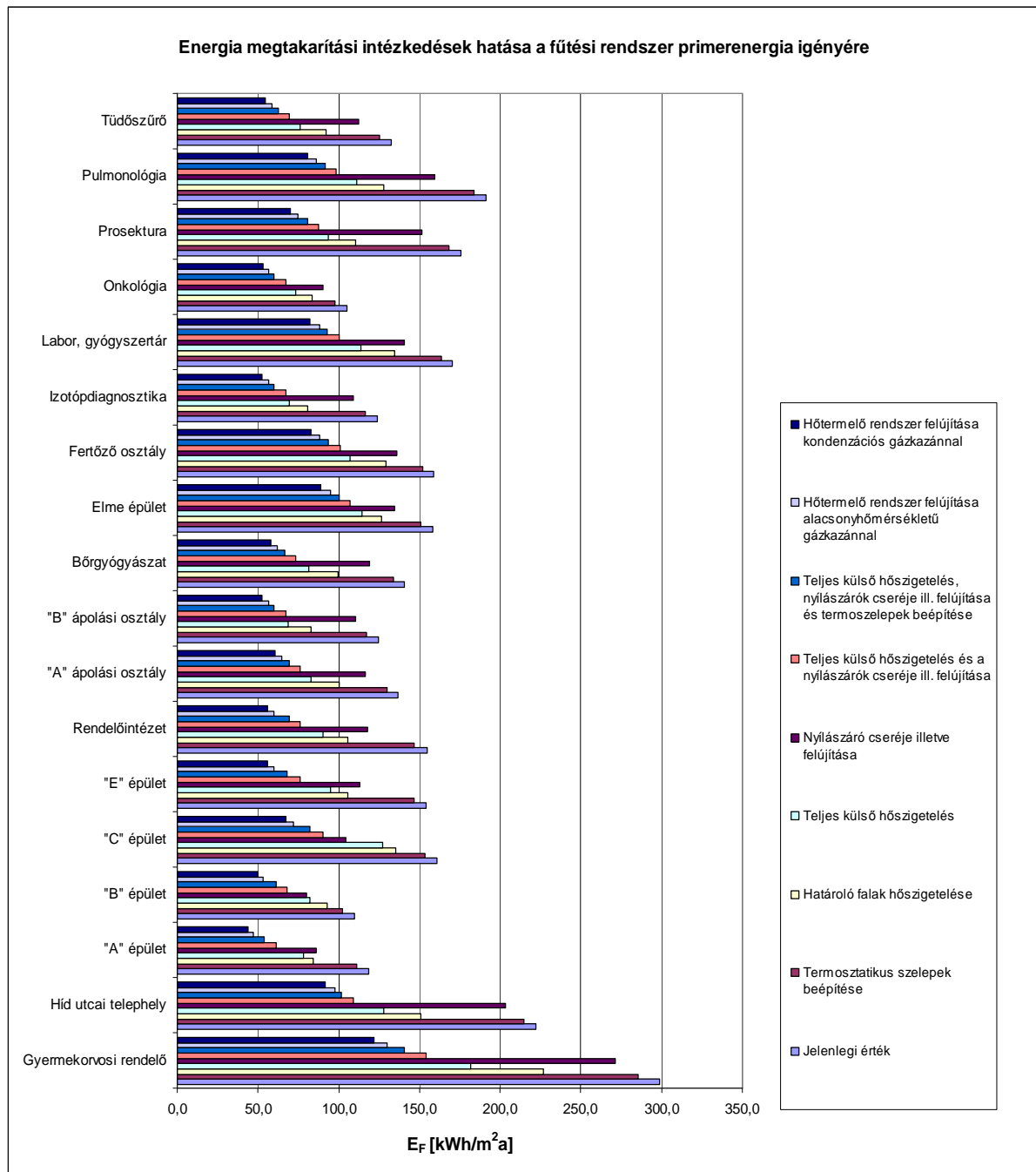


10. ábra

A vizsgált épületek primer fűtési energia igénye

6/b. Megvizsgáltam számos kórházépület tényleges fűtési energiafelhasználását. A közüzemi számlák alapján vettem figyelembe a felhasználótól függő tényezőket, az adott épületgépészeti rendszert, a különböző alrendszerek önfogyasztását, valamint az egyéb energiafelhasználással kapcsolatos tényezőket. A szükséges korrekciók elvégzése után javaslatot tettem az elsődlegesen, majd a másodlagosan javasolt átalakításokra, meghatároztam azokat a jellemző átalakításokat, amelyeket 8 éves megtérülési időt figyelembe véve célszerű végrehajtani.

A vizsgált kórház jellegű épületek épületenergetikai auditjánál megvizsgáltam a különböző intézkedések hatását a fűtési rendszer primerenergia igényére. Az intézkedések egy része az épület szerkezetét érintette (külső hőszigetelés, határoló falak hőszigetelése, nyílászárók cseréje, felújítása), másik része pedig az épületgépészeti rendszerrel foglalkozott (termosztatikus radiátorszelepek beépítése, hidraulikai beszabályozás, kazáncsere alacsonyhőmérsékletű, illetve kondenzációs kazánra). A 11. ábra mutatja a javasolt intézkedések hatását a fűtési rendszer primerenergia igényére.

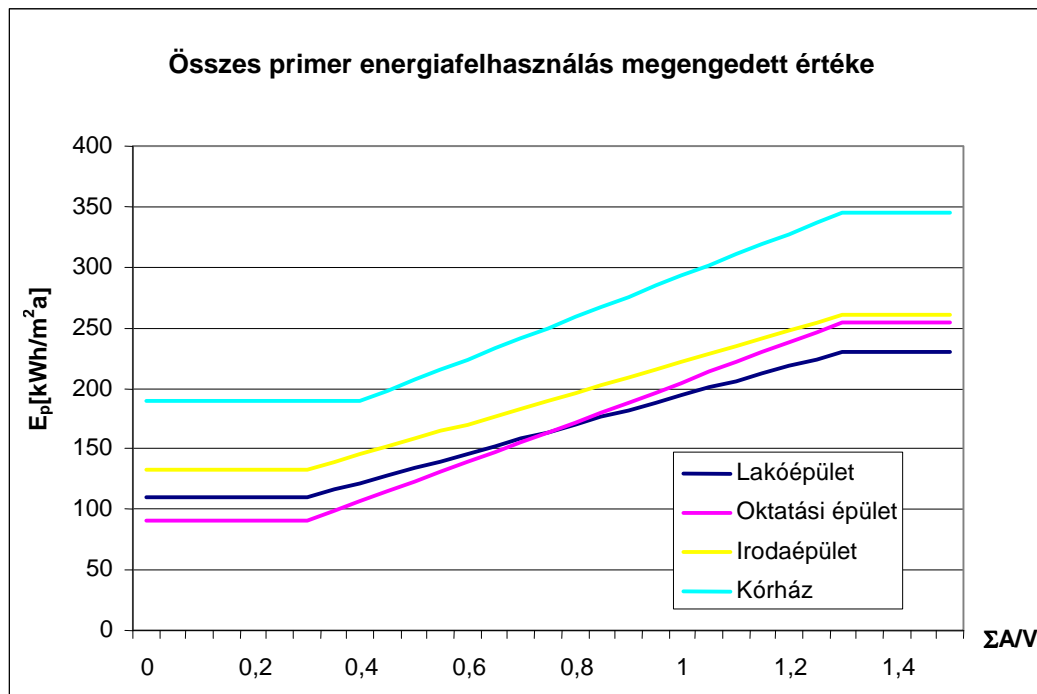


11. ábra
A vizsgált kórházépületek fűtési rendszerének primerenergia felhasználása különböző javasolt átalakítások után

Célkitűzésem - a vizsgált épületek energetikai auditjának elvégzése után - a kórház jellegű épületek összes primer energiafelhasználás megengedett értékének a meghatározása volt. Az eredményt a TNM rendeletben más funkciójú épületekhez hasonló módon adtam meg, illetve összehasonlítottam az ott közölt eredményekkel (12.ábra).

6/c. Számos kórházépület energetikai vizsgálata alapján a tényleges belső hőnyereség mérése és az épületre elvárt hőtechnikai követelmények alapján meghatároztam a kórház jellegű épületekre javasolt összesített energetikai jellemző követelményértékét. A kutatás eredménye a kórházépületek összesített energetikai jellemzőjének követelményértéke:

$$\begin{array}{llll} \Sigma A/V \leq 0,3 & E_p=189 & \text{kWh/m}^2 \text{ a} & (11) \\ 0,3 < \Sigma A/V \leq 1,3 & E_p=173 \cdot \Sigma A/V + 120 & \text{kWh/m}^2 \text{ a} & (12) \\ 1,3 < \Sigma A/V & E_p=345 & \text{kWh/m}^2 \text{ a} & (13) \end{array}$$



12. ábra

Kórházak összes primer energiafelhasználásának javasolt megengedett értéke és annak kapcsolata más funkciójú épületekkel

5. Az értekezés eredményeinek hasznosítási lehetőségei

1. Kidolgoztam a szabályozó körök tervezéséhez összeállított kapcsolások gyűjteményét, és módszert adtam a különböző feladatokhoz és az elvárt belső légállapothoz szükséges – az energiafelhasználás szempontjából optimális - kapcsolat alkalmazására. Ilyen gyűjtemény korábban az épületgépész tervezőknek nem állt rendelkezésére.
2. Egy helyiségben a megfelelő komfort körülmények eléréséhez szükséges a légsebesség és az operatív hőmérséklet olymértékű eloszlásának a biztosítása, hogy a tartózkodási zóna minden pontjában kialakuljanak az elvárt mikroklíma paraméterek. A fentieket csak a légtechnikai beszabályozással lehet biztosítani. Módszert adtam a légtechnikai beszabályozás során lépésről-lépésre elvégzendő feladatokra, amely a gyakorlatban közvetlenül hasznosítható.
3. A 7/2006 TNM rendelet meghatározza azokat a követelményeket és számítási algoritmust, amellyel a hazai vizsgálatot el kell végezni. A megadott rendeltetések között nem szerepelnek a kórházépületek, ezeket jelenleg az „egyéb funkciójú épületek” közé lehet sorolni. Kidolgoztam a kórházépületek összes primer energiafelhasználásának javasolt megengedett értékét, melyet a tervezési és a tanúsítási folyamatban a mérnökök közvetlenül használhatnak.

6. Hivatkozások a téziszfűzetben

1. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December on the energy performance of buildings, Official Journal of the European Communities, 4 January 2003. pp. 65-71.
2. TMN rendelet 7/2006. (V. 24) Az épületek energetikai jellemzőinek a meghatározásáról, Magyar Közlöny, 2006/62. szám, pp. 5134-5175
3. Maple számítógép algebrai rendszer; 10. verzió
<http://www.maplesoft.com/>

7. Az értekezés témakörében készült publikációk jegyzéke

1. **Magyar Z. – Petitjean, R.: Energy Saving of District Heated Flats from the Recondition of the Heating System in Hungary**
ASHRAE, Atlanta, USA, Transaction 2002, Volume 108. Part 2.
Web of Science adatbázisban szereplő folyóiratban megjelent cikk
2. Magyar Z.: Épületgépészeti rendszerek beüzemelése, energetikai optimalizálása
Magyar Épületgépészet, 2002. 12.sz.
3. Magyar Z.: A hidraulikai beszabályozás, mint az épületek, létesítmények beüzemelésének és üzemeltetésének szükséges része, 14. Fűtés- és Légtechnikai Konferencia, Budapest, 2001.

4. Magyar Z.: Commissioning and Balancing of Hydronic System ASHRAE, Singapore Chapter, Singapore, 2002.
5. Magyar Z.: Total Hydronic Balancing Technical Seminar on „Development in Refrigeration, Air Conditioning & Ventilation Systems”, ASHRAE Malaysian Chapter, Kuala Lumpur, 2003.
6. Magyar Z. – Barna L.: A hidraulikai beszabályozás szükségessége 1. Magyar Épületgépészet, 1998. 1.sz. p.21-23.
7. Magyar Z. – Barna L.: A hidraulikai beszabályozás szükségessége 2. Magyar Épületgépészet, 1998. 3.sz. p. 29-31.
8. Magyar Z. – Barna L.: A hidraulikai beszabályozás szükségessége 3. Magyar Épületgépészet, 1998. 4.sz. p. 7-8.
9. Magyar Z. – Barna L.: A hidraulikai beszabályozás szükségessége 4. Magyar Épületgépészet, 1998. 7.sz. p.8-10.
10. Magyar Z.: Hydraulic Balancing of Heating and Colling Systems IV. International Building Installation, Science and Technology Symposium Istanbul, Turkey, 2000. Transaction p. 281 – 288.
11. Magyar Z.: Hydronic Balancing in Theory and in Practice Clima 2000 Conference, Napoly, Italy, 2001.
12. Magyar Z.: Épületgépészeti rendszerek beüzemelése, Építési Évkönyv, Budapest, 2003, p. 138 – 141.
13. Magyar Z.: Épületek energiafelhasználása, európai uniós előírások és követelmények, 16 Fűtés- és Légtechnikai Konferencia, Budapest, 2004.
14. Magyar Z.: Épületgépészeti rendszerek beüzemelése, Magyar Installateur, 2004/4.
15. Magyar Z.: Légtechnikai hálózatok mérése, beszabályozása I. , HKL Hűtő-, Klíma- és Légtechnikai Épületgépészeti Szaklap 2004/11-12. p.2-5, Budapest, 2004.
16. Magyar Z.: Légtechnikai hálózatok mérése, beszabályozása II. , HKL Hűtő-, Klíma- és Légtechnikai Épületgépészeti Szaklap 2005/1-2. p. 2-5, Budapest, 2005.
17. Kovács – Magyar – Bánhidi: Knowledge-based Computer Support to Thermal Environment Design, Krakow, Poland, 1994, Roomvent’94 Conference, Vol. 1. p. 639 – 652.
18. Energia-megtakarítás a szivattyú szállítómagasságának optimalizálásával Magyar Épületgépészet, 2001. 3.sz. p. 13-14.
19. Magyar Z.: Az Épületenergetikai irányelv és a belső környezet kapcsolata, Magyar Épületgépészet, 2006/1. sz. pp. 1-2.
20. Magyar Z.: Achieving Energy Savings in Europe Through the Energy Performance Directive (EPBD), REHVA Journal, 2/2006. pp. 8-13.
21. Magyar Z. – Leitner A. Better Indoor Climate with Less Energy (European Energy Performance of Building Directive, EPBD), ICEBO 2006 International Conference for Commissioning, 2006, Shenzhen, China
22. Magyar Z.: Achieving Energy Savings through the energy Performance of Building Directive, Internatioanal HVAC Conference, Sinaia, Romania, 2006.
23. Magyar Z. – Kovács L.: Knowledge-based Computer Support to Indoor Air Quality Engineering with Special Respect to Office Buildings Healthy Buildings Conference, Budapest, 1994, vol. 2. p. 419-425.
24. Magyar – Leitner – Berényi: Egészségügyi intézmények energetikai auditja, Magyar Épületgépészet, 2007/10.sz. pp. 3-6. (lektorált cikk)