



Épületek hűtésének/fűtésének optimalizálása – adatok és költségek

A modern fűtő-hűtő-légkezelő rendszerek bonyolult felépítésűek, részegységeik összetett nemlineáris kölcsönhatásban állnak egymással. Az automatikák, szabályozók gyakran elfedik a problémákat, illetve a tünetek sokszor nem ott lépnek fel, ahol a hiba van. Az ilyen bonyolult rendszerek irányítása, diagnózisa csak a teljes rendszer adatainak komplex elemzésével oldható meg. A kölcsönös függések, kölcsönhatások a modellezés révén elemezhetőek hatékonyan. Az adatok részletes és pontos ismerete teljesen megváltoztatja a létesítmények üzemeltetésének munkamódszereit: a becslések, ökölszabályok helyét átvehetik az objektív tények, a hibajelenségek felfedhetőekké és kijavíthatóvá válnak. Összeállításunk mindezt egy amerikai kórház esettanulmánya alapján mutatja be.

Tárgyszavak: adattárház; légkondicionálás; modell; költségoptimalizálás.

A legtöbb létesítmény üzemeltetési személyzetének fogalma sincs arról, mi zajlik le pontosan az épületek működtetése során. Ennek az a fő oka, hogy az igazán informatív üzemelési adatoknak csak egy törtrészt látják. A fejlesztési, optimalizálási erőfeszítések általában csak egy-egy egységet vagy alrendszert érintenek, a részek együttműködését nem veszik figyelembe. Arra sem terjed ki a figyelem, hogy az egyik

részegységben megvalósított költségcsökkentő változtatás milyen hatással van a többire, és emiatt gyakran be is következik az, hogy másutt nőnek a költségek. Az időegységre jutó tényleges üzemeltetési költségek, vagy a szabályozók változtatásának, az időjárásnak vagy a helyiségekben tartózkodó munkatársak számának a hatása az összköltségre nem ismeretesek, illetve meghaladják a szakemberek képességeit.

A következő összeállítás konkrét kórházi esettanulmány alapján mutatja be azt, milyen drámaian változnak meg a költségoptimalizálási lehetőségek az üzemeltetési részleg számára pusztán attól, hogy minden fontos adat negyedórás időközönként mérve rendelkezésükre áll, egy nem túl bonyolult, Excel-alapú számítási algoritmus-rendszerrel, modellel kiegészítve. A modell és az adatok lehetőséget adnak korábban megmagyarázhatatlan jelenségek, többletköltségek okainak gyors felderítésére is.

A UPS példája

A UPS, a nagy amerikai eredetű nemzetközi csomagküldő szolgálat több millió dollárt megtudott takarítani, egyedül a szállítójárművek üzemanyag-fogyasztásának csökkentése révén. Évi 14 millió gallon¹ üzemanyagot tudtak megtakarítani, kizárólag a kiszállítási útvonalak térbeli és időbeli elemzésével és optimalizálásával. Ezt az tette lehetővé, hogy képesek voltak a járművek által megtett összes utat mintegy 100 millió mérfölddel² csökkenteni, pusztán adatok gyűjtése és elemzése útján!

Mi köze a UPS autóinak az épületek fűtéséhez és légkondicionálásához? Első ránézésre semmi, valójában azonban nagyon is sok:

- Mind a UPS, mind a létesítményüzemeltetési részleg szolgáltató vállalat. A UPS esetében ez nyilvánvaló, a létesítményüzemeltetésnél pedig kívánatos cél. Minél inkább önálló szolgáltató vállalatként működik és kezelik, annál jobb.
- Mindkettő magas szintű szolgáltatást igyekszik nyújtani a maga területén, ez pedig jelentős energiafelhasználással jár.
- Mindkettő fogyasztói, felhasználói elvárják a színvonalat és a megbízhatóságot, és alig érdeklik őket a felmerült költségek.
- Mindkettő mérnököket és technikusokat/műszerészeket alkalmaz a felszerelések (autók, illetve fűtő/hűtő berendezések) üzemeltetésére, és hasznuk származik abból, ha a személyzet hatékonyabban és kezdeményező módon dolgozik, élők munkát megtakarítva és a berendezések hasznos élettartamát meghosszabbítva.
- Mindkettő képes az üzemeltetési költségeket pusztán az adatok gyűjtése és elemzése révén optimalizálni, de a UPS ebben előbbre tart, mint a legtöbb létesítményüzemeltetési vezető.

Hát igen, az utolsó pont az iménti felsorolásban rámutat a különbségekre is. A legtöbb üzemeltető/energetikus nem rendelkezik elegendő adattal és adatfeldolgozó rendszerrel ahhoz, hogy megközelítse a UPS említett pél-

¹ 1 USA gallon = 3,785 liter

² 1 USA (szárazföldi) mérföld = 1,609 km

dáját. Adatok nélkül pedig csak találgatni lehet, igazi rendszeroptimalizálásra nincs mód. Adatok nélkül el kell fogadni a fennálló állapotot.

A PC-vásárlás példája

A fűtés- és hűtéstechnika általában kevés konkrétumon, sokkal több ökölszabályon, szakmai hagyományon alapul. Sok a becslés, kevés a mérés. Ezért is nagy a szerepe a gyakorlatnak, a tapasztalatnak. Sehol máshol nem hoznak beszerzési döntéseket olyan kevés konkrét adat alapján, mint itt.

Még olyan kis beszerzési döntések esetén is, mint egy személyi számítógép megvásárlása, több jellemzőt vesznek számításba. Olyan ez, mintha egy 2000 dolláros PC-t pusztán annak alapján vennének meg, hogy mekkora a processzor sebessége és a merev lemez (winchester) tárhelykapacitása. Senki nem vesz PC-t további adatok ismerete nélkül (az operatív memória nagysága, a képernyő mérete és típusa, asztali vagy hordozható kivitel stb.). Gyakran megeskik azonban, hogy olyan fűtési–hűtési beruházásokat igen kevés adat alapján döntenek el, amelyek pénzügyi hatása akkora, mintha naponta 100 db nem megfelelő PC-t vennének.

Minden adatot mindig ismerni kell

Minden adatot mindig ismerni kell, ez pedig nagy tárolókapacitást igényel. Az adatokat korszerű adattárházban célszerű tárolni, amely a megőrzésen túl számos más fontos funkciót is ellát (az adatok szűrése és aggregálása, hihetőségvizsgálat stb.) A korszerű épületautomatizálási rendszerekben több ezer mérési és beavatkozási pont van (nagyobb telepeken, mint pl. egyetemi campusok, ez a szám elérheti a 100 000-et), és mindnek az adataira szükség van, még hozzá viszonylag rövid időközönként mérve.

Az esettanulmányban szereplő kórház rendszerre 18 000 ellenőrzési pont adatait kezeli. Ezek több forrásból is származhatnak:

- az épületautomatizálási rendszer(ek)ből,
- a korszerű mérőrendszerekből,
- ember által leolvasott mérőhelyektől,
- a közműszámlákból (beleértve a tarifákat is),
- az időjárás adatai vagy a saját érzékelőktől (bár ezek gyakran hibásak), vagy meteorológustól, esetleg a közeli repülőtértől.

A kórházban 15 percenként, egymással összehangolt módon egyidejűleg érzékelik és juttatják el a központi adattárházba az adatokat. Az információk hosszú idejű (akár a berendezések sok éves élettartamára kiterjedő) tárolása lehe-

tővé teszi a lassú trendek érzékelését, illetve a múltbeli adatok segítenek a jelenbeliek értelmezésében. Ekkora mennyiségű adatot természetesen nem lehet asztali számítógépeken tárolni: a központi adattárház komoly szereven kapott helyet, a Microsoft SQL Server adatbáziskezelője a szoftvertechnológia alapja.

Az igazi optimalizáláshoz rendszerszintű információk és szemlélet kellenek

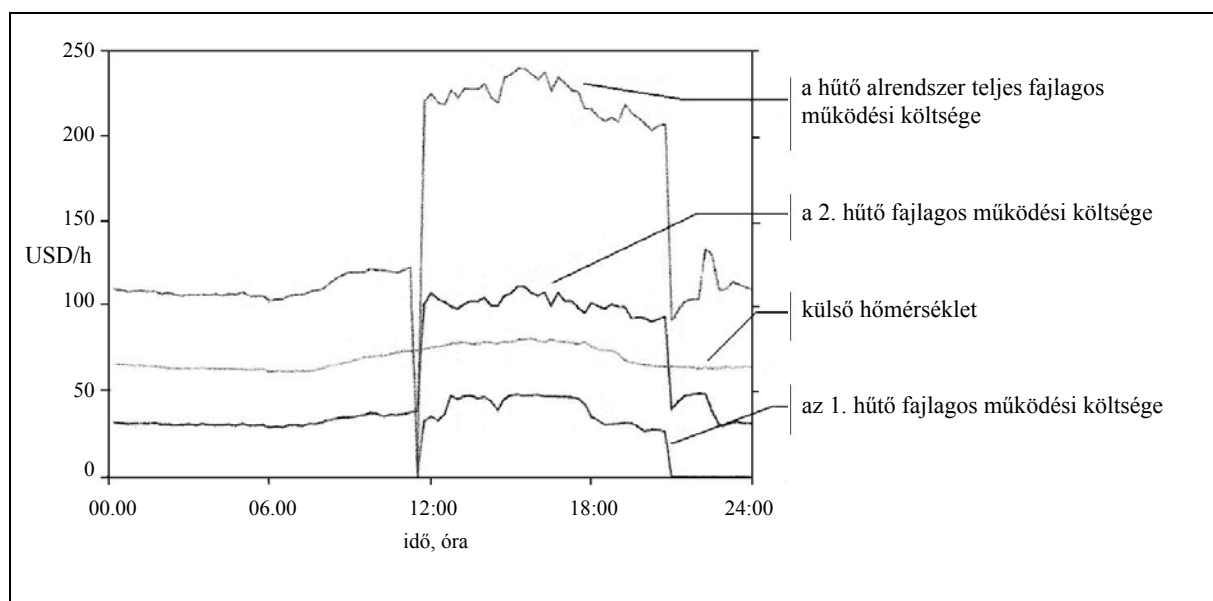
A fűtő, hűtő, légkezelő (HVAC) rendszerek részegységei fizikai összeköttetésben állnak egymással, így működésük a többitől is függ, általában bonyolult nemlineáris összefüggések alapján. Az adatokra alapozott rendszer bevezetése előtt a kórház üzemeltető szakemberei is az egyes elemek működését próbálták optimalizálni, a többire gyakorolt hatás elemzése, sőt ismerete nélkül. Így például a hűtőközpont költségoptimalizálása nem vezetett tényleges megtakarításhoz, ha a változtatások következtében például megnőtt a hűtőtornyok energiafogyasztása. Szükség van az egész rendszerre kiterjedő szemléletre és adatokra. Ezen felül olyan mérőszámokat is meg kell határozni, amelyek a nagyon különböző részegységekre egyaránt definiálhatóak, és jól leírják az energiafogyasztást, illetve annak költségét. A kórház főenergetikusa erre a célra az időegységre

jutó költséget (USD/óra), illetve az időegységre és szállított mennyiségre jutó költséget (USD/tonna-óra) határozta meg.

A költségek optimalizálásához először is folyamatosan ismerni kell a tényleges működési költségek alakulását. Ehhez a mért fizikai mennyiségekből kiindulva műszaki számításokkal, majd az aktuális tarifákat (a csúcsidőszak figyelembevételével) alkalmazva költség-számításokkal kell az USD/óra és USD/tonna-óra értékeket meghatározni, majd azokat a teljes létesítményre összesíteni.

Sebességmérő mutatja a pénzköltés mértékét

A kórház rendszerének egyik legfontosabb és leglátványosabb eleme a(z üzemeltetési) pénzköltés sebességét mutató „kilométeróra”. Ez diagram (*1. ábra*) és/vagy táblázat formájában mutatja az időegységre jutó üzemeltetési költségek alakulását részegységenként és összesítve. Az ábra a vízhűtő alrendszer példáján keresztül mutatja be a fajlagos költségek időbeli lefutását. A délelőtt megugró költségek a csúcsidőszaki tarifyanövekedés hatását mutatják. Az 1. hűtőt csak a csúcsidőszakban működtetik – ennek az az oka, hogy fajlagos üzemeltetési költsége kb. harmada a 2. hűtőnek.



1. ábra A hűtő alrendszer fajlagos működési költségei az idő függvényében egy májusi napon. A 2. elektromos működtetésű hűtő költsége jól mutatja a csúcsidejű és azon kívüli elektromos tarifák különbségét, az 1. gázüzemű hűtőt csak az elektromos csúcsidőszak idejére kapcsolják be. A teljes hűtő alrendszer fajlagos működési költségei a 100 USD/óra és 240 USD/óra sávban mozognak. A külső hőmérséklet görbéje csak tájékoztató jelleggel szerepel

Az imént említett műszaki számítások alapja a rendszer modellje, ennek futtatása egy-egy ciklusban (15 percenként) kb. 160 többé-kevésbé bonyolult képlet kiszámítását jelenti. A cél minden elemnél az aktuális fajlagos energiafogyasztás kiszámítása, mert erre lehet az energiaköltségek számítását alapozni.

Az adatok megvannak – mit lehet velük kezdeni?

Az adatokra és a modellre alapozva teljesen megváltozik a létesítmény üzemeltetése. Minden beavatkozás hatása tényleges adatokkal

mérhető, ellenőrizhető. Megalapozottan értékelhető a tervezők, az üzemeltető személyzet és az alvállalkozók munkája, a teljesítmény számon kérhetővé válik. A pénzügyi vezetés hozzáállása is kedvezően változik, ha tényeket látnak becslések helyett. A szolgáltatások színvonala emelkedik, az üzemeltetés renoméja javul a szervezeten belül. De vissza a szikár tényekhez, következzenek itt néhány olyan előny, amelyet a kórház a költségadatok és a pénzköltés sebességét mutató „kilométeróra” segítségével ért el:

- *Magas színvonalú teljesítménymutatók:* az üzemeltetési költségek folyamatos meghatározásával könnyen felfedezhetőek hirtelen

megugrások és anomáliák. Ezek addig nem ismert terhelésnövekedéseket, vagy az üzemeltetési körülmények váratlan megváltozását jelezhetik. A diagnózis könnyen felállítható az adatok kellő mélységű elemzésével.

- *A javító célú korrekciók hatásának gyors ellenőrzése:* bármely részegység szabályozásának módosítása szinte azonnal megmutatkozik, és nemcsak a megcélzott elemnél, hanem a többinél is, illetve a rendszer egészén is. A költségek alakulásán túlmenően az is vizsgálható, hogy a módosítás nem okoz-e instabilitást valahol a rendszerben. Orvosi nyelven szólva hamar kiderül, hogy a terápia elérte-e a kívánt hatást, és nincsenek-e mellékhatások.

Optimalizálni – de az egész rendszert

Ne optimalizálja senki a fűtő, hűtő és levegőkezelő berendezéseket. Badarság azt remélni, hogy az egyes berendezéseknél elért javulások szépen összeadódnak. Optimalizálni az egész rendszert kell, és mivel a pénz nagy úr, elsősorban az egész rendszer üzemeltetési költségeit célozva. Sok helyen ezt a fennálló szervezeti keretek is nehezítik, mivel a hőközpont személyzete teljesen elkülönül az épületek üzemeltetéséért felelős munkatársakétól, gyakran szinte semmi kapcsolatuk sincsen. Pedig

mint már korábban említettük, az objektumok műszakilag összekötetésben és kölcsönhatásban vannak egymással.

A következő rész egy konkrét probléma megoldását ismerteti az adatok ismeretére és a modellre alapozott rendszerben, az eset valóban megtörtént a kórházban. Már eleve a probléma megléte is csak a rendszeres adatgyűjtés megkezdése után derült ki. Észlelése után három órával már részletesen ismert volt a jelenség maga, költségkihatásai, az eredendő oka, és megszülettek az első javaslatok a probléma elhárítására. Mindehhez a szakemberek ki sem léptek irodájukból.

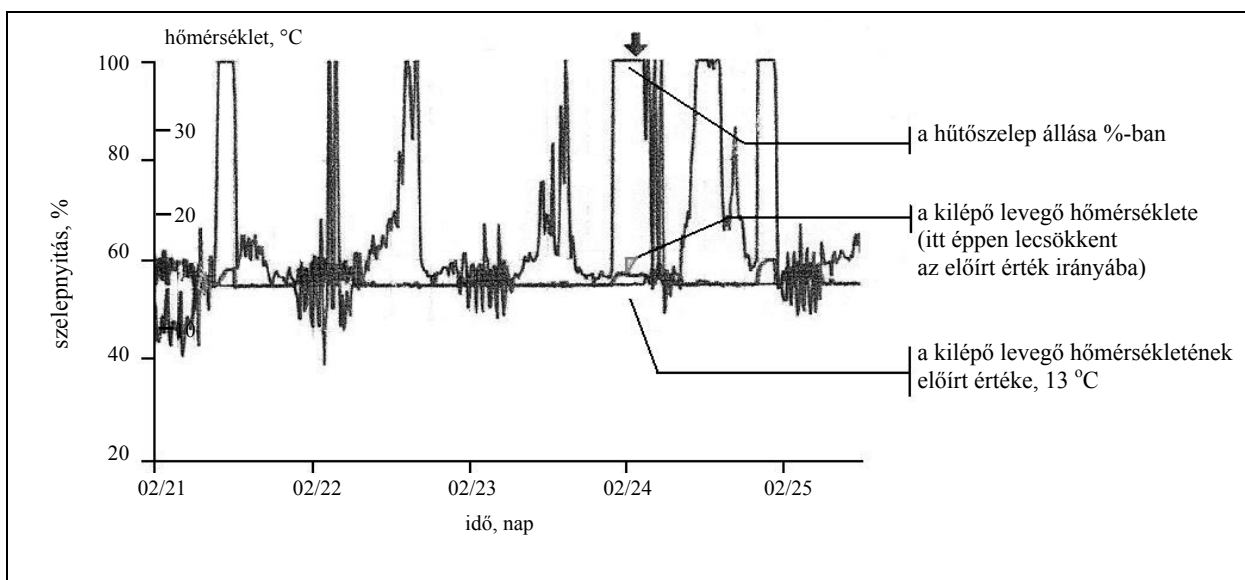
Egy hűtő kikapcsolásának esete

A dolog azzal kezdődött, hogy a kórház csökkenteni akarta a téli időszakban a hűtési költségeket. A helyiségek éjszakai hőmérséklete 15 °C körül volt, kevesen tartózkodtak bent. Indokoltnak tűnt ezért, hogy a szokásos kettő helyett egyetlen 1500 tonna/óra kapacitású hűtő is el tudná látni az épületeket. A költségek elemzése azonban egyáltalán nem a várt hatást mutatta. Arra számítottak ugyanis, hogy a költségek 33 USD/órával, a leállított hűtő fajlagos költségével csökkeni fognak. Ehelyett a hűtési költségek 66 USD/óráról csak 52 USD/órára mérséklődtek. A teljes hőközpont

összesített költségei csak 10 USD/órával csökkentek, sőt tonna-óra alpra vetítve 7%-kal nőttek. A megmaradó hűtő költségeinek emelkedésén kívül az abszorberéi is nőttek, még hozzá nagyobb mértékben, mint ahogyan a hűtőtornyoké csökkent, a szekunder kör szivattyúinak költségei pedig 25%-kal nagyobbak lettek.

A jelenségek oka az volt, hogy az egyik hűtő leállításakor a légkondicionálás primer körben csökkent ugyan az áramlás, viszont a szekunder körben megnőtt, és a primer átfolyás csökkenésének kompenzálására a megkerülő vezetékben megfordult a folyásirány, és megnőtt bennük az áramlás a szekunder kör igényeinek kielégítése érdekében. A szekunder kör szivattyúi maximális teljesítményüket leadva működtek. Az épületek hűtési igénye

valamiért megnőtt, és ez nap mint nap megismétlődött. A légkezelő egységek (air handling unit, AHU) megnövekedett mennyiségű hűtőközeget igényeltek, hűtőszelepük teljesen kinyitott, mivel a kibocsátott levegő hőmérséklete nem érte el (felülről) az előírt 13 °C-t (2. ábra). Ez pedig azért következett be, mivel a megkerülő vezetékben folyásirányának megfordulása és szállított mennyiségének növekedése miatt a visszatérő víz hőfoka 3–4 °C-kal megemelkedett, és ezt keverték a hűtő kimenő vizéhez, ezért a szekunder kör bemeneti hőmérséklete szintén megemelkedett 3–4 °C-kal. Az összesen 10 USD/óra költségmegtakarítás tehát a rendszer instabilitásához vezetett. Az viszont továbbra is kérdés volt, mi okozta a kibocsátott levegő hőmérsékletének 2. ábrán látható tuskéit, és mi volt az alapvető oka a nagy hűtési teljesítményigénynek?



2. ábra A kilépő levegő hőmérséklete és a hűtőszelep állása az idő függvényében

A szakértők közelebről megvizsgálták a légkezelőhöz tartozó változó légszállítású beltéri egységek (variable air volume, VAV box) működését. Azt tapasztalták, hogy mindegyiknél a kilépő levegő hőmérséklete végig az előírt fölött maradt, és ezen felül még rövid emelkedések, nagy tüskék is mutatkoztak benne. Ebből arra lehetett következtetni, hogy a fűtőkör is rendre rövid időre bekapcsolt, noha a hőmérséklet az előírt fölött volt. Ennek oka pedig a szabályozó algoritmus volt, amely időről időre megemelte a hőmérséklet alapjelét. Ez a járulékos fűtés okozta a hűtési igény növekedését. Összességében tehát a rendszer egyszerre fűtötte és hűtötte is a levegőt, ami nyilvánvalóan többletköltségekkel járt.

A probléma megoldásához néhány egyszerű lépés vezetett: megemelték a kilépő levegő túl alacsony előírt hőmérsékletét, és megváltoztatták a szabályozó beállítását, illetve a külső hőmérséklet mérésére alapozták azt. A helyiségek komfortja nem csökkent, a költségek annál inkább. Noha a változtatások egytől egyig az épületek szabályozóit érintették, a költségmegtakarítás mégis a hőközpontban jelentkezett.

A kórház összesen 115 légkezelőjének kb. egyharmadán el kellett végezni az imént leírt, vagy hasonló optimalizálási műveleteket. A

diagnózisok felállítása az egész rendszerre nem vett több emberi erőforrást igénybe, mint egyetlen szakértő három munkanapja. Az adatok alapján az irányítók megalapozott akciótervet tudtak készíteni, és meg tudták határozni a munkák prioritásait. A beavatkozások eredményeit is képesek voltak objektív módon értékelni, és szükség esetén korrekciókra kerülhetett sor. Még egyszer érdemes kiemelni, hogy az adatsorok nélkül legfeljebb csak sejtések és becslések lehettek a szakembereknek, a fennálló problémák megértésére és különösen elhárításukra esélyük se lett volna azok ismerete és elemzése nélkül.

Következtetések

Az adatgyűjtés nem elpocsékolta időt, viszont gyakran rengeteg elpocsékolta időt reprezentál. Ennek a látszólagos ellentmondásnak az a feloldása, hogy a megfelelő adatok állandó rendelkezésre állása felbecsülhetetlen értékű, a példaként imént bemutatott eset csak a jéghegy csúcsa. Ugyanakkor számos alkalmazásnál az adatgyűjtés – megfelelő automatizált rendszer hiányában – a vezető szakemberek rengeteg idejét, gyakran a szükségesnek 5-8-szorosát veszi igénybe. Ez persze az igazi szakmai munka, a műszaki elemzés elől veszi el az időt. Kulcsfontosságú tehát a megfelelő automatizált mérőrendszerek és jól kialakított adat-

tárházak, az adatbányászat módszereinek alkalmazása.

A korszerű fűtő-hűtő-légkezelő rendszerek bonyolult felépítésűek, részegységeik összetett nemlineáris kölcsönhatásban állnak egymással. Az automatikák, szabályozók gyakran elfedik a problémákat, illetve a tünetek sokszor nem ott lépnek fel, ahol a hiba van. Az ilyen bonyolult rendszerek irányítása, diagnózisa csak a teljes rendszer adatainak komplex elemzésével oldható meg. A kölcsönös függések, kölcsönhatások a modellezés révén elemezhetőek hatékonyan. A műszaki összefüggéseket keresztülvágó, rosszul meghatározott szervezetek és azok egymástól független menedzselése kontraproduktív, meggátolja a lehetséges maximális műszaki határfok és költségminimum elérését.

Az adatok részletes és pontos ismerete teljesen megváltoztatja a létesítmények üzemeltetésének munkamódszereit: a becslések, ökölszabályok helyét átvehetik az objektív tények, a hibajelenségek felfedhetőekké és kijavíthatóvá válnak.

Összeállította: Kis Miklós

Irodalom

- [1] Cmar, G.; Gnerre, W. P.: Optimizing building HVAC through data and costs. = Energy Engineering, 103. k. 4. sz. 2006. p. 19–41.
- [2] Cmar, G.; Gnerre, W. P., Rubin, L.: Diagnosing Complex System Interactions (from 1,000 miles away). = Proceedings of the 13th National Conference on Building Commissioning, New York, 2005. <http://intdatsys.com/publications-papers.htm>



Az összeállításban szereplő cégek és termékek internetes honlapjai, illetve a róluk szóló információk lapok, ismertetőik:

UPS csomagküldő szolgálat: <http://www.ups.com/>

Microsoft SQL Server: <http://www.microsoft.com/sql/default.msp>

HVAC: <http://en.wikipedia.org/wiki/HVAC>

VAV box: http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0BPR/is_12_19/ai_95763938

AHU: http://en.wikipedia.org/wiki/Air_handling_unit