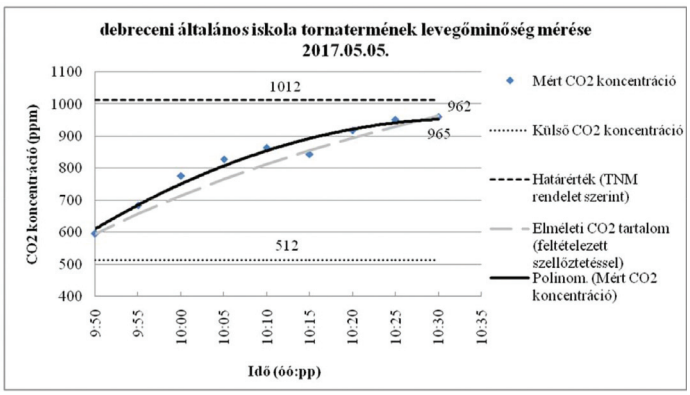
Az iskolaépületek szellőztetéséről
avagy mennyibe kerül az ablaknyitás, és mit érünk el vele?

A megfelelő gépészeti rendszer kiválasztása az épület funkciójától függetlenül, minden esetben körültekintést igényel, és az így tervezett rendszer a komfortkövetelmények maradéktalan teljesítése mellett gazdaságilag is optimális teljesítményt nyújt. Sajnos hanyagságból vagy pillanatnyi anyagi okokból ettől időnként hajlamosak eltekinteni a beruházók, ami komfort nélküli és pazarló megoldásokhoz vezet.

Ezek a megállapítások bármilyen típusú épület tervezésekor megállják a helyüket, de a jelen cikk egy iskola intézmény új szárnnyal történő bővítése kapcsán készített vizsgálat eredményeit fogja bemutatni, melyből diplomamunka is készült. A továbbiakban bemutatjuk az oktatáshoz kötődő, de egymástól nagyon különböző funkciójú terekben végzett mérések eredményeit, és azok korrelációját az elméleti számításokkal. Vizsgálat tárgya továbbá a jelenlegi gyakorlat és egy körültekintően megtervezett, az érvényben lévő rendeleteket, szabványokat teljesítő rendszerkialakítás, illetve, hogy mindez hogyan viszonyul egymáshoz komfort, egészség és gazdaságosság terén.

Mivel a bővítményben tornaterem és több tanterem is létesül, ezért kiindulásképp meglévő intézményekben, mindkét típusú térben CO_2-koncentráció és belső levegő hőmérséklet méréseket végeztünk. A mérőműszereket a Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszéke biztosította. Ezen mérésekből egy-egy jellemző adatsort vizsgálva képet kaphatunk a „hagyományos rendszerek" alkalmazásával elérhető belső légállapotról. A hagyományos rendszerek alatt a manapság legtöbb helyen tapasztalható megoldás értendő,



1. ábra. **Debreceni általános iskola, mért trend és számított trend összehasonlítása**

ami a gépészeti szellőztetés teljes hiányában és az ablakok nyithatóságában merül ki.

Kiemelt komfortparaméter egészségügyi vonzattal a CO_2-koncentráció. Nem csak azért, mert kiváló indikátora a belső levegő minőségének, hanem azért is, mert a bent tartózkodók aktivitási szintjüktől függően aránylag nagymértékben termelik ezt a gázt, így annak koncentrációja gyorsan növekszik, könnyen elérheti a kritikus értéket, amit egy tervezés során el kell kerülni.

Az *1. ábrán* egy ablaknyitással folyamatosan szellőztetett tornateremben mért értékek láthatók. A diszkrét mért értékek mellett felvételre került az adathalmaz trendvonala, és a benntartózkodók számából és a gravitációs szellőzés mértékéből becsült elméleti görbe. A várható terhelés meghatározásához segítségünkre van az MSZ CR 1752:1998 szabvány, amelynek A.6 táblázata tartalmazza a különböző aktivitású emberek szennyező anyag terhelési értékeit.

Ebben a teremben a mérést a diákok megérkezésével egy időben lehetett megkezdeni. A 12 darab 0,85/2,20 m méretű ablakból 6 darab volt bukóra nyitva. A 18x12 m alapterületű és 5,40 m belmagasságú teremben 16 fő hetedik osztályos tanuló tartózkodott. Felmentett tanulók nem voltak, azonban a rövid sorban állást és bemelegítést követően 4-4 elleni kosárlabda mérkőzések kezdődtek. A tornateremben töltött idő a diákok számára 10:30-kor véget ért, és az öltözők felé távoztak.

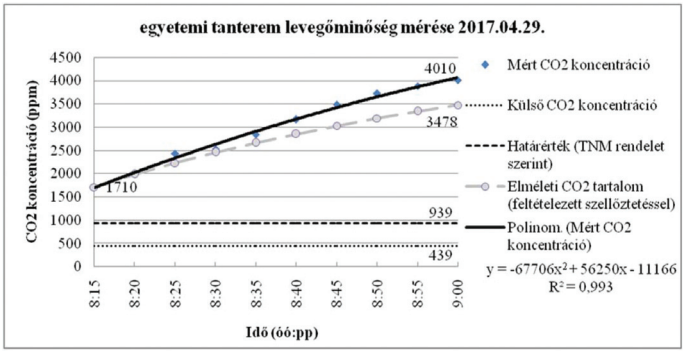
A kiértékeléskor látható, hogy a trendvonal és az elméleti görbe között erős a korreláció.

A *2. ábrán* egy szintén folyamatosan szellőztetett egyetemi tanterem mérésének eredményei láthatók a hasonlóképp feltüntetett trendvonallal és elméleti görbével.

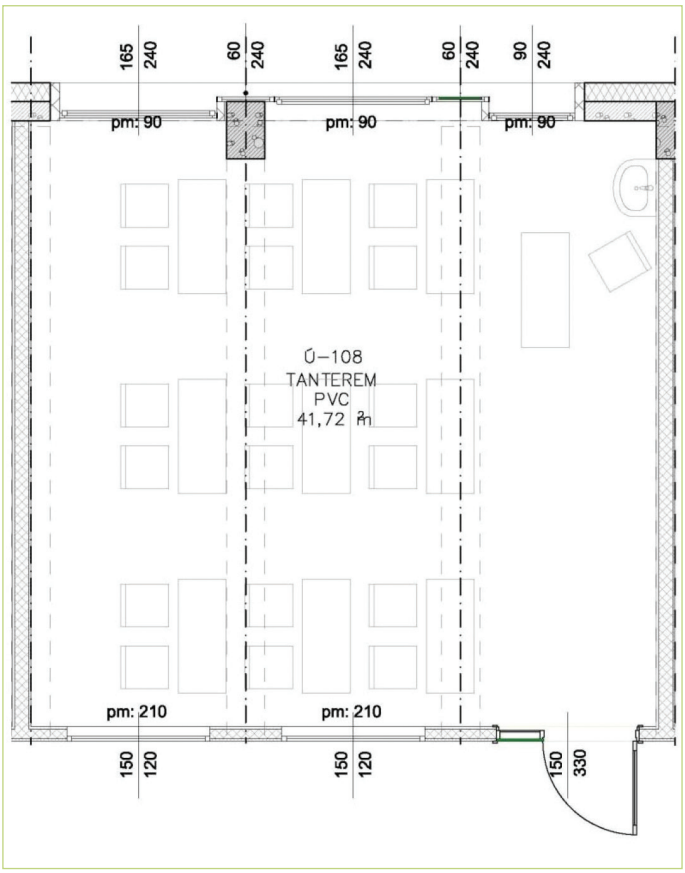
Az óra kezdetére, 8:15-re, 27 hallgató volt a 6x6,5 m alapterületű, 3,14 m belmagasságú teremben. A szellőztetést a 0,80x1,40 m tokméretű, bukóra nyitott ablakszárnnyal oldották meg. A folyamatos szellőztetés ellenére a kialakuló légállapotot 9:00-ig lehetett tolerálni, innen 10 perc szellőztetés következett 90°-ban kinyitott ablakkal és ajtóval, kereszthuzatban, ami egyben az eredetileg 90 percesre tervezett tanóra megszakításával is járt.

Ennél a mérésnél az látható, hogy a valós CO_2-koncentráció meghaladja az elmélet szerint várt értéket. Ennek valószínűsíthető oka, hogy a vastag falba épített, bukóra nyitott ablak légbeeresztő képessége elmarad a várttól. A nyíló/bukó ablakszárny eleve kisméretű, és a kialakuló légforgalom még az igen alacsony értékűre (75 m^3/h) becsülttől is elmarad.

Látható továbbá, hogy a szén-dioxid koncentrációt ábrázoló görbék kezdeti szakaszukban – főként az alacsony intenzitású szellőzés miatt – közel lineáris jelleget mutatnak, és meredekségük jelentős. Ebből következik, hogy



2. ábra. **Egyetemi tanteremben mért trend és számított trend összehasonlítása**



3. ábra. **A tervezett épület egy jellemző tanterme**

folyamatos terhelés és szellőztetés mellett beáll ugyan az egyensúlyi koncentráció, de jóval az elfogadható szint fölött.

A mérések kiértékelése során megállapítható, hogy az elmélet és a gyakorlat közel áll egymáshoz, a felhasznált összefüggésekkel modellezett tér a valóságban is hasonlóan fog viselkedni. Tanulságként levonható, hogy a csak becsülhető tulajdonsága miatt – pl. szélnyomás, változó külső hőmérséklet, és az esetlegesen kialakuló keresztuhuzat – a gravitációs szellőzést, mint alapszellőztetést használni némi kockázattal jár.

Észrevehető, hogy a tornatermekben nyitott nyílászárók mellett a CO_2-koncentráció nem emelkedik meg túlzott mértékben, csak amennyire az elmélet szerint is várjuk. Ezért nem is tűnik rossznak a helyzet, azonban ez csak olyan átmeneti időszakokra igaz – amilyenben a mérések is készültek – amelyekben ezt a külső hőmérséklet lehetővé teszi.

Akkor nem szükséges légtechnikai rendszer az iskolákba?

Ha úgy fogalmazunk, hogy nem kötelező, akkor mondunk igazat. Nincs ugyanis olyan rendelet, ami kötelezővé tenné a szabályozott, magas hatásfokú hővisszanyeréssel megvalósított légcserét az oktatási intézményekben. Ez azonban nem jelenti azt, hogy nincs is rá szükség.

Az ablaknyitásos szellőztetést egyszerűsége és olcsósága miatt széles körben alkalmazzák. Nézzük, hogy a látszólag legolcsóbb megoldások mibe is kerülnek valójában, és milyen kompromisszumokat kell kötnünk a levegőminőség kapcsán!

A különböző szellőztetési módok vizsgálatát - ami szükséges a tervezés során kiválasztandó rendszer meghatározásához – egy, a *3. ábrán* látható, jellemző terem kiragadásával és minden eset végigszámolásával folytatjuk. Az alábbiakban alapvetően négyféle szellőztetési stratégiát vizsgálunk:

1. Alapesetben zárt ablakok, szünetekben szellőztetés mindkét ablakot kitárva.
2. Folyamatos szellőztetés 1 ablak bukóra nyitásával.
3. Folyamatos szellőztetés 2 ablak bukóra nyitásával.
4. Folyamatos gépi szellőzés

Az idő függvényében kialakuló CO_2 koncentráció-növekmény értékek leolvashatók a *4. ábráról.*

Látható, hogy széndioxid-koncentráció szempontjából a 3. eset épp úgy megfelelt, mint a 4. eset, illetve az 1. esettel is „milyen friss lett a levegő” a szellőztetés után. Ezek azok a következtetések, amelyek önmagukban megállják a helyüket, és ha valaki csak ezek alapján választja ki a kiépítendő gépészeti rendszert, könnyen tévútra térhet. Vegyük észre azt is, hogy a legtöbbször alkalmazott szakaszos szellőztetés esetén ennél a zsúfoltnak nem mondható teremnél már a 10. perc után nem nevezhető jónak a levegő minősége, és egy hagyományos tanórából ilyenkor még további 35 perc hátra van!

Valóban jól szellőzik a sok bukóra nyitott, nagyméretű ablak, és tényleg friss lesz a levegő a hirtelen nagy intenzitású szellőztetés után, de milyen áron?

Az ablaknyitással történő szellőztetés nyilvánvaló energetikai problémája, hogy mindenféle hővisszanyerés nélkül kvázi kidobjuk a belső levegő hőenergiáját az ablakon. Szintén a szellőzés energiaigényéhez tartozik a szellőztetés végén kialakuló belső léghőmérséklet visszafűtése a parancsolt értékre. Ezek azok a tételek a fűtésszámlán, amelyek előtt adott esetben értetlenül állnak az előírásoknak megfelelően hőszigetelt, megfelelő légtömörségű nyílászárókkal szerelt létesítmények tulajdonosai. Az energetikai programban beállított – oktatási épületeknél 0,9 – átlagos légcsereszám és a műszaki leírásban megfogalmazott „szellőz-

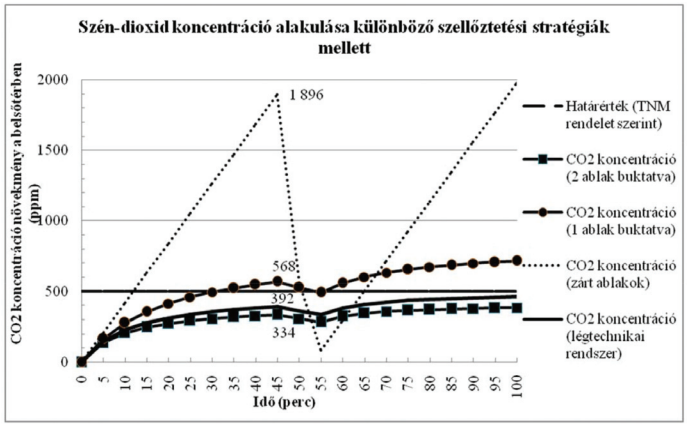
tetés ablaknyitással" koncepció nem feltétlenül lesznek összhangban.

Lássuk, hogy alakul a 42 m^2 alapterületű, 3,3 m belmagasságú, 2 db 1,65x1,20 m-es nyíló/bukó ablakkal felszerelt, jellemző teremben alkalmazott különböző szellőztetési stratégiák energiaigénye! A vizsgálathoz egy átlagos téli napot (t_k=4 °C), és egy külső hőmérsékletfüggő minőségi szabályzással üzemeltetett radiátoros rendszert vettünk alapul.

Az első vizsgált módszer a 10 percig tartó szünetekben történő szellőztetés, aminek hőmérséklet lefutását és energiaigényét az *5. ábra* mutatja.

Természetesen erős összefüggés fedezhető fel az aktuális belső levegő hőmérséklet és a filtrációs veszteség között. Láthatjuk, hogy az ablakok méretéből és a hőmérsékletkülönbségből számított, igen jelentős (~5.800 m^3/h) szellőző levegő térfogatárammal nem igazán bírnak a radiátorok mindamellett, hogy a hőleadásuk majdnem megháromszorozódik a hűvös környezetben, így az elméleti belső léghőmérséklet kicsivel 5 °C felett alakul a szellőztetés utolsó perceire. A terem újbóli használatbavételéhez innen kell visszafűteni a belső levegőt. A radiátorok teljesítménye már csak azért sem képes érdemben ellensúlyozni a beáramló külső levegő „hűtő" hatását annak előmelegítésével, mert a jól szigetelt épület kis teljesítményű radiátoros rendszert igényel, és az átlagos külső hőmérséklet (t_k=4 °C) nem indokolja magas hőmérsékletű fűtővíz keringtetését. Megjegyzendő, hogy az a tény, miszerint a falak hőtároló tömege segíti a visszafűtést, nem módosítja az energiaigény számítását, hiszen a falak is a fűtési rendszer által bevitt energiát tárolják el.

Felmerülhet, hogy ma már nem luxuscikk az ablaknyitás érzékelő, vagy a huzatérzékelővel ellátott termosztát, tehát ezt az esetet is érdemes vizsgálni. A *6. ábra* tanulsága szerint minimális megtakarítás érhető el ilyen rövid és intenzív szellőztetési stratégia mellett ezekkel a megoldásokkal, hiszen a legnagyobb veszteség ilyenkor a belső levegő energiájának elvesztése, nem pusztán az, hogy „az utcát fűtjük". Ezek a megoldások akkor hozhatnának jobb eredményeket, ha előre látnák, hogy mikor fog bekövetkezni a szellőztetés, és már korábban lekapcsolva csökkentenék a belső hőmérsékletet a még elfogadható értékre. A radiátorok, és a bennük lévő fűtővíz hőkapacitása miatt a kritikus első percekben gyakorlatilag úgy viselkedik a modellezett terem, mint az előző esetben.



***4. ábra.* Széndioxid-koncentráció alakulása különböző szellőztetési stratégiák mellett**

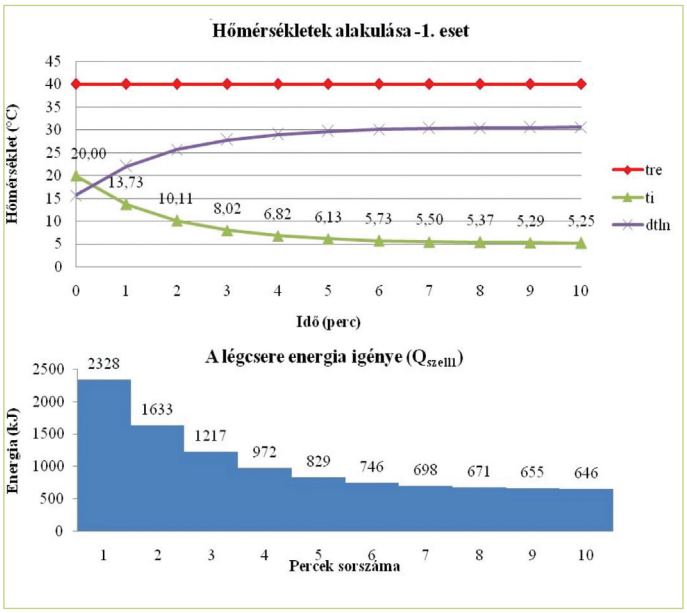
Az ablaknyitásos szellőztetések közül maradt még a folyamatosan bukóra nyitott ablak(ok)kal történő szellőztetés vizsgálata. Ebben az esetben a hőmérsékletek alakulását és az energiaigényt a *7. ábra* szemlélteti, amely az első 60 perc tranziens folyamatait ábrázolja, de hogy összehasonlíthatók legyenek az energetikai eredmények a korábbi pontoknál számításba vett 1 tanóra + 1 szünet időintervallumra – 45+10=55 percre – határoztuk meg ennek az esetnek is az energiafelhasználását.

Látható, hogy a tranziens jelenségek lecsengése után beáll egy egyensúlyi állapot, ami mellett kialakul egy egyensúlyi belső hőmérséklet, a légmennyiségek és a beépített fűtőteljesítmény függvényében. Ez a vizsgált terem esetén 14 °C körül adódik, ami – tekintve, hogy tartózkodási zónáról beszélünk – igen alacsony és jelentős diszkomforttal jár.

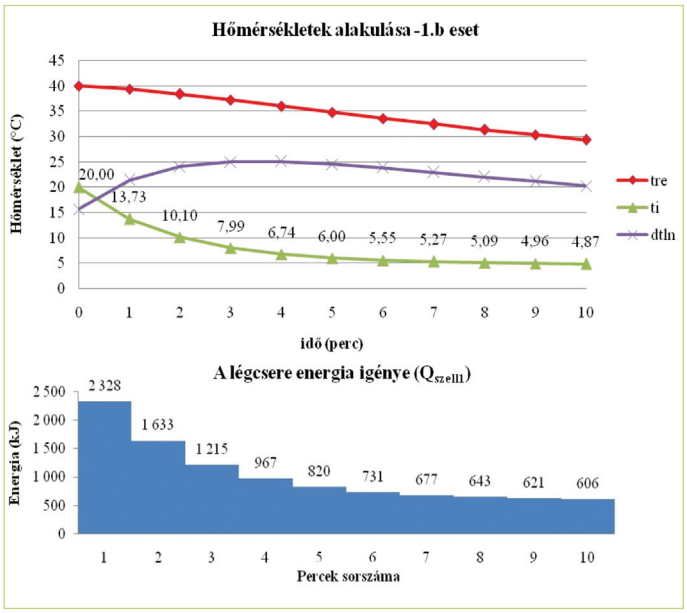
Az ablaknyitásos szellőztetések vizsgálata után lássuk a légtechnikai rendszer jellemzőit! A légtechnikai rendszer kiépítése mellett szól, hogy csak így lehet megfelelően szabályozni a belső tér légállapotát úgy, hogy az mind minőségében, mind hőmérsékletében megfeleljen az oktatási profil koncentrációt igénylő csoportos tevékenységeinek igényeihez. A befúvó és elszívó légtechnikai rendszer kötelező tartozéka a hővisszanyerő egység, ami egyben az energiatakarékos szellőztetés legfőbb eszköze is. A TNM rendelet megköveteli a legalább 65%-os

	1. eset: Csukott ablakok, szünetekben szellőztetés ablaknyitás érzékelő nélkül		1.b eset: Csukott ablakok, szünetekben szellőztetés ablaknyitás érzékelővel		2. eset: Folyamatosan szellőztetés 1 db bukóra nyitott ablakkal		3. eset: Folyamatosan szellőztetés 2 db bukóra nyitott ablakkal		4. eset: Folyamatos szellőztetés légtechnikai rendszerrel		
Egység:	hőenergia (kWh)	költség (Ft)	hőenergia (kWh)	költség (Ft)	hőenergia (kWh)	költség (Ft)	hőenergia (kWh)	költség (Ft)	hőenergia (kWh)	elektromos energia (kWh)	költség (Ft)
1 tanóra és szünet	3,63	**50,85**	3,61	**50,54**	2,34	**32,84**	3,65	**51,15**	1,1	0,1	**20,23**
1 terem / nap	21,78	305	21,64	303	14,06	197	21,91	307	6,6	0,61	121
1 terem / tanév	2 613,17	36 614	2 597,10	36 389	1 687,68	23 646	2 628,62	36 830	792,00	73,01	14 566
9 terem / tanév	*23 518,50*	*329 522*	*23 373,93*	*327 497*	*15 189,16*	*212 818*	*23 657,54*	*331 471*	*7 128,00*	*657,07*	*131 096*

***Táblázat.* Különböző szellőztetési stratégiák energiaigénye és annak költsége**



5. ábra. **Hőmérsékletek és energiaigények alakulása nyitott ablakok és folyamatos fűtés mellett**



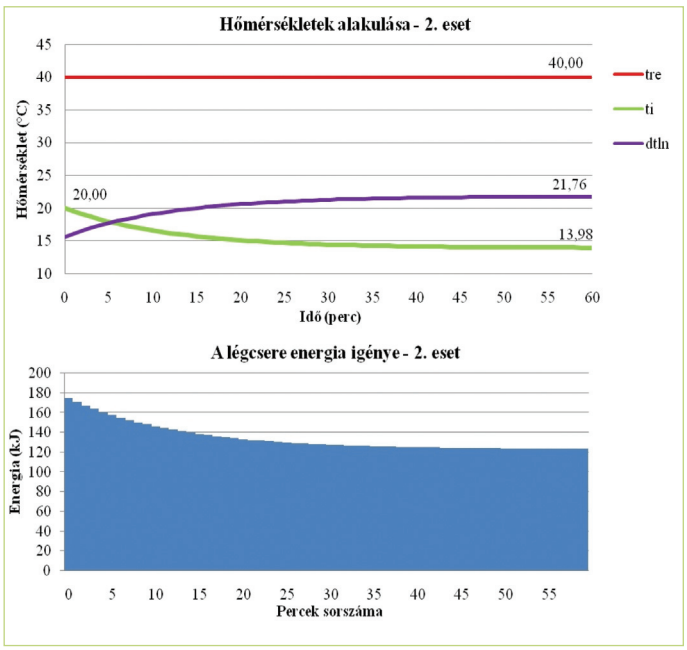
6. ábra. **Hőmérsékletek és energiaigények alakulása nyitott ablakok és „lezárt” fűtés mellett**

hővisszanyerési hatásfokot, amit a gyártók többnyire – helyesen – túlteljesítenek. A hővisszanyerő egység magas hatásfoka ellenére is utó kell fűteni a levegőt, ha el szeretnénk érni az áramlások szempontjából kedvező adiabatikus befúváshoz tartozó hőmérsékletet. Továbbá a befúvó és az elszívó oldalon is ventilátorok szállítják a levegőt, amiknek szintén van egy hatásfoka és áramfelvétele. Ezen tényezőket számításba véve meghatározható a légtechnikai rendszer üzemeltetésének energiaigénye.

A TNM rendelet előírásait teljesítő légkezelő ventilátorai a vizsgált tanterem szellőztetéséhez szükséges 730m^3/h szellőzőlevegőt, 150Pa nyomásesés mellett, ~55W elektromos energia felhasználásával szállítják. A 70%-os hatásfokkal rendelkező hővisszanyerő után ennél a térfogatáramnál 1,2 kW utófűtő teljesítményre van szükség. A vizsgált 55 perces időintervallumra tehát 0,101 kWh elektromos- és 1,1 kWh hőenergiát használ el a légtechnika.

Minden vizsgált szellőztetési módszerre igaz, hogy az energia árak ismeretében forintosítható és összevethető az energia költségük, ami esetünkben távhő hőforrást figyelembe véve a *táblázat* szerint alakul. A teljes bővítmény esetén, amire az elemzés készült, 9 tanterem egyenértékűséggel számolhatunk.

Látható, hogy messze a légtechnikai rendszer üzemel a leghatékonyabban, ebből fakadóan leggazdaságosabban is. Igaz ugyan, hogy járulékos költségeivel, és főleg bekerülési költségével nem tartozik az olcsó megoldások közé, üzemeltetésének energiaköltsége azonban jóval alulmúlja a korábban bemutatott egyéb megoldásokét. Ne feledjük, hogy a több aspektusból megvizsgált ablaknyitásos szellőztetési módok között nem volt olyan, amelyik a vizsgált paraméterek – CO_2 koncentráció és belső hőmérséklet – közül mindkettőnél elfogadható értéket produkált volna, sőt, inkább az volt a jellemző, hogy mindkét paraméter kívül esett az elfogadható zónán.



7. ábra. **Hőmérsékletek és energiaigények alakulása bukóra nyitott ablakkal**

Nekünk, épületgépészeknek leginkább a belső terekre vonatkozó egészségügyi, műszaki és komfort paramétereket kell szem előtt tartanunk, márpedig az oktatási épület egy olyan területe az épületgépészeti tervezésnek, ahol érdemes ezt a hosszútávra tekintő szempontrendszert érvényesíteni.

Bodó Béla, Vig Ferenc
konzulensek

KASUBA PÉTER
épületgépész mérnök
okl. létesítménymérnök

