

Sümeghy Péter, Energotrade Kft.

INCREASING OF EFFICIENCY OF HEATING AND COOLING USING TERRESTRIAL HEAT

Summary

Many types of terrestrial heat usage is known for heating and cooling. Now I'm studying it's the effect on ventilation system of low energy buildings, because in extremely high or low outdoor temperature it is necessary to keep the indoor temperature and in the same time to arrange the specified fresh air quantity. Putting the ground exchanger in the ventilation system it can be used during the wintertime for the preheating of fresh air increasing the efficiency of heat recovery, while in summertime it can carry out the cooling of the supply air. Through this exchanger not only the design criteria for indoor environment can be improved, but considerable energy saves can be realized both in heating and cooling.

AZ ÉPÜLET FŰTÉS/HŰTÉS HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE FÖLDHŐVEL

Összefoglalás

A talajhő fűtési és hűtési felhasználásának több formája is ismert. Jelen írásban az alacsony energiájú épületek szellőztetési rendszerének fűtési/hűtési hatékonyságára gyakorolt hatását vizsgálom, mivel extrém magas illetve alacsony külső hőmérsékletek esetén is biztosítani kell az épület belső hőmérsékletét, ezzel egyidőben gondoskodni kell az előírt frisslevegő ellátásról is. A talajhőcserélő a szellőztető rendszerbe illesztésével a téli időszakban a beszívott levegő előfűtésére használható fel, növelve a hővisszanyerés hatékonyságát, míg nyáron ugyanezen levegő hűtése valósítható meg. Ennek révén nemcsak a belső terek komfortérzete növelhető, hanem jelentős energiamegtakarítást eredményez mind a téli fűtés, mind a nyári hűtés esetén.

AZ ÉPÜLET FŰTÉS/HŰTÉS HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSE FÖLDHŐVEL

1. BEVEZETÉS

A meglévő épületek fűtési energiafogyasztásának csökkentését az utóbbi években jellemzően a külső hőszigetelés és a nyílászáró csere révén valósították meg. A falazatokon és a nyílászárókon jelentkező transzmissziós és a réseken történő filtrációs veszteségek adják az épület hőfogyasztásának gerincét. Ezek felújításával – épülettől függően – akár 50%-os megtakarítás is elérhető, de a felújítást körültekintően a teljes rendszerre vonatkozóan kell elvégezni. Amennyiben a meglévő fűtési és szellőzési rendszert nem igazítják a megváltozott körülményekhez, akkor a felújítás nem kellő mértékben váltja be a reményeket, sőt akár üzemviteli neheztségek is felléphetnek. A korábbi nyílászárók a frisslevegő utánpótlást az ablak résein biztosították. Az ablakrések a felújítás során, a légtömör zárás következtében megszűnnek. A frisslevegő a helyiségekben tartózkodó személyek komfortérzetének alapvető igénye. Hiányában egészségügyi problémák léphetnek fel. Ha a felújítás során légtömör nyílászárók kerülnek beépítésre a levegő utánpótlás történhet a klasszikus ablaknyitás révén, vagy gépi szellőztetéssel.

Az épületek felújítását energiatudatosan kell elvégezni. Arra kell törekedni, hogy eredménye kiváló belső komforttal rendelkező alacsony energiájú épület legyen.

2. SZABÁLYOZOTT SZELLŐZTETÉS

A szellőztetéssel a belső terekkel szemben támasztott komfortparamétereket kell biztosítani (1. táblázat). A légcserre javasolt értékeit a 2. táblázat tartalmazza.

1. táblázat - Hő és páratartalommal szemben támasztott követelmények [1]

Jellemző	jelölés	fűtési időny		nyári időny	
		optimális	megengedett	optimális	megengedett
léghőmérséklet	t_b [°C]	20,8+/-0,8	18-24	26+/-0,5	22-28
rel. páratartalom	ϕ_b [%]	30-55	20-70	-	-
légssebesség	u [m/s]	<0,15	<0,2	<0,15	<1
CO ₂ konc	ppm	1200 ("C" egészségügyi minőségi osztályra)			

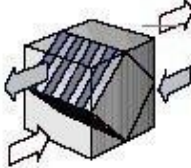
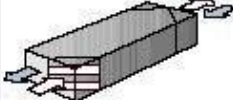
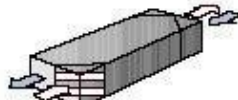
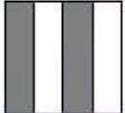
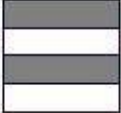
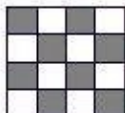
2. táblázat - Helyiségek javasolt frisslevegő igénye [1]

Helyiség megnevezése	Szellőzőlevegő mennyisége
Hálószoba 2 főre	40 m ³ /h
Gyerekszoba 1 főre	30 m ³ /h
Gyerekszoba 2 főre	50 m ³ /h
Konyha önálló helyiségként	60 m ³ /h
Nappali konyhával egybeépítve (min. 100 m ³ /h)	25 m ³ /h×fő
Nappali önálló helyiségként	25 m ³ /h×fő
Dolgozószoba	30 m ³ /h
Egyéb helyiség	10 m ³ /h

A belső komfortparaméter kielégítése mellett a szabályozott szellőztetés biztosítja az egészségügyileg ajánlott 40-60%-os relatív páratartalmat, ezáltal megakadályozza a penészképződést, gátolja a mikroorganizmusok és atkák megjelenését, elejét veszi az asztmás megbetegedéseknek. A szellőztető rendszerbe épített szűrőegység pormentesíti a helyiségekbe befűjt levegőt, és abban az esetben, ha pollenszűrő kerül beépítésre, akkor kiszűrhetővé válnak az allergiás reakciókat kiváltó gombaspórák, pollenek, valamint további allergének.

A szabályozott szellőztető rendszerek nem pusztán kifűvő és beszívó ventilátorokból állnak. A hatékonyabb energiafelhasználás nagyon fontos eleme a hővisszanyerő, amely a helyiségekből elszívott meleg levegő hőtartalmának 80-90%-át hasznosítja.

A hővisszanyerő típusokat (vázlatát, áramlási keresztmetszetét) az 1. ábra mutatja.

Hővisszanyerő elvi vázlata			
Áramlási keresztmetszet			
Hővisszanyerő típusa	Keresztáramú-lemezes hőcserélő	Ellenáramú-lemezes hőcserélő	Ellenáramú-csatornás hőcserélő
Hővisszanyerés hatásfoka	50-70%	70-80%	85-99%

1. ábra - Hővisszanyerő típusok [2]

Hővisszanyerő hatásfoka valamint a külső és belső hőmérséklet ismeretében meghatározható a hőhasznosítás mértéke. Ez abból adódik, hogy a távozó levegő hőjének hasznosítása által külső hőbevitel nélkül felmelegedik a beszívott frisslevegő.

A hővisszanyerés hatásfoka [3]:

$$\eta_{hv} = \frac{t_r - t_k}{t_{el} - t_k}, \text{ ahol } t_r - \text{hővisszanyerés utáni léghőmérséklet } [^{\circ}\text{C}]$$

vagy $t_k - \text{külső, friss levegő hőmérséklete } [^{\circ}\text{C}]$

$$\eta_{hv} = \frac{t_{el} - t_{ki}}{t_{el} - t_k} \quad t_{el} - \text{elszívott levegő hőmérséklete } [^{\circ}\text{C}]$$

$t_{ki} - \text{kidobott levegő hőmérséklete } [^{\circ}\text{C}]$

Hőhasznosítás révén a hőmérsékletemelkedés:

$$\Delta t^* = t_r - t_k$$

A hővisszanyerő hatásfokának függvényében a külső frisslevegő hőmérsékletének (t_k) ismeretében számíthatóak a hővisszanyerést követő léghőmérséklet (t_r), a kidobott levegő hőmérséklete (t_{ki}) és a hőhasznosított hőmérsékletemelkedés (Δt^*), mely eredményeket a 3. táblázat tartalmaz.

3. táblázat - Hőmérsékletek a hővisszanyerés hatásfokának függvényében

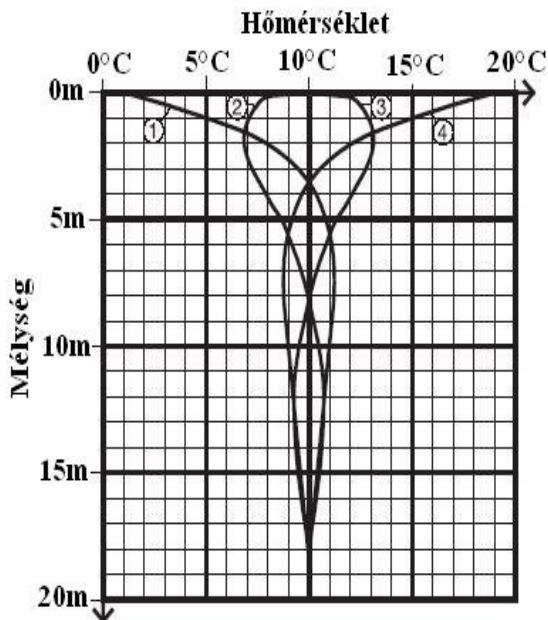
$t_{el}=22^{\circ}\text{C}$	$t_k=-15^{\circ}\text{C}$			$t_k=-5^{\circ}\text{C}$			$t_k=5^{\circ}\text{C}$		
η_{hv}	t_r	t_{ki}	Δt^*	t_r	t_{ki}	Δt^*	t_r	t_{ki}	Δt^*
[%]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]
70	10,9	-3,9	26	13,9	3,1	19	16,9	10,1	12
80	14,6	-7,6	30	16,6	0,4	22	18,6	8,4	14
90	18,3	-11,3	33	19,3	-2,3	24	20,3	6,7	15
99	21,6	-14,6	37	21,7	-4,7	27	21,8	5,2	17

3. TALAJHŐ HASZNOSÍTÁS

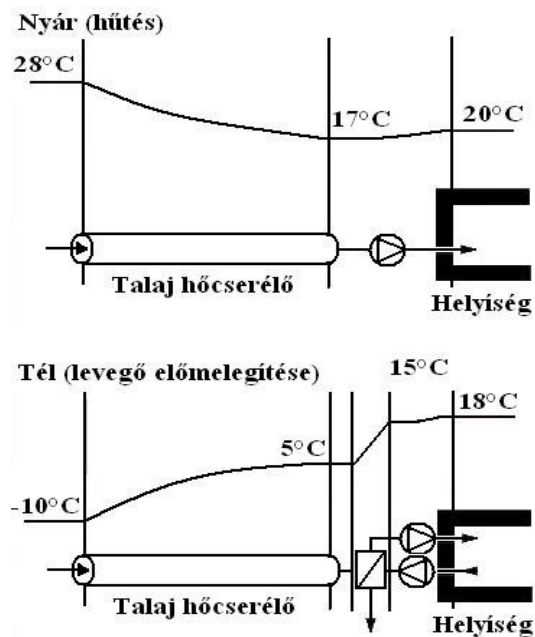
Ha a külső hőmérséklet fagypont alá kerül, akkor egyre nagyobb a hővisszanyerőn a párakicsapódás és a fagyás veszélye. A 3. táblázatban látható, hogy -5°C esetén már a kidobott levegő is lehet fagypont alatti hőmérsékletű, ez esetben várható, hogy a hővisszanyerő csatornáiban jégkristályok jelennek meg, mely végül lefagyásához vezethet, leállítva a szellőzést.

A fentiekben vázolt fagyveszély elkerülhető elektromos vagy melegvízes előfűtő alkalmazásával. Továbbá elkerülhető egy földbe fektetett, kellő hosszúságú csővezeték (talajhőcserélő) a földhő hasznosításával is. A talajhőcserélőn keresztül a nyári időszakban kellemesen hűs levegő juttatható a szellőztetett térbe. Ezáltal csökken a külső zajok zavaró hatása, mely a klasszikus ablaknyitós szellőztetés útján jut a helyiségbe.

A talajhőcserélő elve azon alapul, hogy a talajhőmérséklet a földfelszíntől mért 1,5-2 méteres mélységben közel állandó, az év során 7 és 13°C között változik (2.ábra). A tapasztalatok alapján egy levegő-talaj hőcserélővel télen $15-20^{\circ}\text{C}$ -kal meg lehet emelni a beszívott levegő hőmérsékletét, nyáron pedig közel $11-12^{\circ}\text{C}$ -kal lehet azt csökkenteni (3.ábra).



2. ábra Hőmérséklet lefutási görbe [4]



3. ábra Talajhőcserélő működési elve [5]

A talajból kinyerhető hő mennyiségét a fektetési mélységben uralkodó hőmérsékleti viszonyokon kívül a talajréteg termikus tulajdonságai is befolyásolják (4. táblázat).

4. táblázat - Különböző talajtípusok termikus tulajdonságai [6]

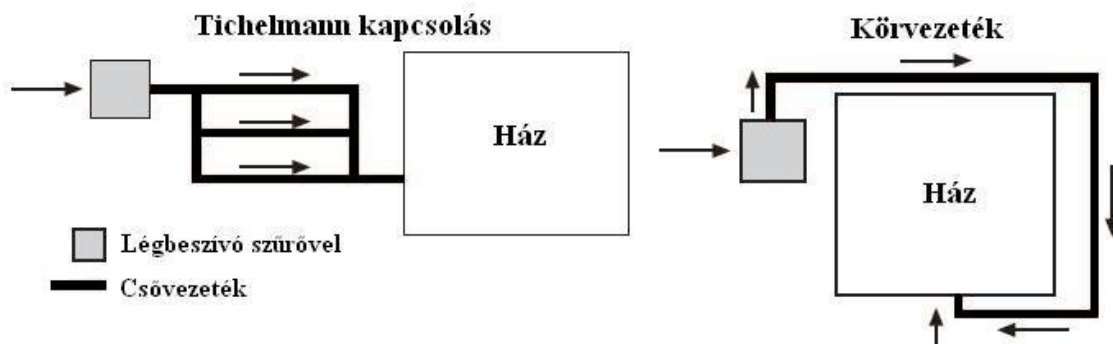
Talajtípus	hővezetési tényező	sűrűség	fajhő	hőfokvezetési tényező
	λ_T [W/mK]	ρ_T	c	a [(m ² /s)*10 ⁻⁷]
		[kg/m ³]	[kJ/kgK]	
durva kavicsos talaj	0,52	2000	1,84	1,41
mészartalmú föld	0,71	1670	2,23	1,92
homokos agyag	2,3	1650	2,85	4,89
nedves homokos agyag	1,49	1800	1,34	6,2
homok	0,93	1780	1,39	3,75
száraz homok	0,7	1500	0,92	5,07
homokos föld	1,24	1520	1,65	4,94
homokkő	1,87	2250	0,71	11,89
agyagos föld	1,28	1500	0,88	9,7

A talajhőcserélő anyagát tekintve a PVC vagy PP alapú csővezeték. Ezek hővezetési tényezője $\lambda_{PVC}=0,15$ W/mK és $\lambda_{PP}=0,22$ W/mK [6].

A talajhőcserélő kialakításakor az alábbi szempontoknak kell eleget tenni:

- a csőregiszter fektetési mélysége kb. 1,5-2 méter
- párhuzamos ágak esetén a fektetési távolság min. 1 méter
- a csőlejtés a kondenzátum elvezetés irányába kb. 1-2%
- minden esetben a kitermelt talajjal kerüljön betakarásra
- a csővezetékben a légsebesség ne haladja meg a 3m/s-ot

A talajhőcserélő csővezetékének fektetési módjait a 4. ábra mutatja.



4. ábra Talajhőcserélő csővezetékének fektetési módjai [7]

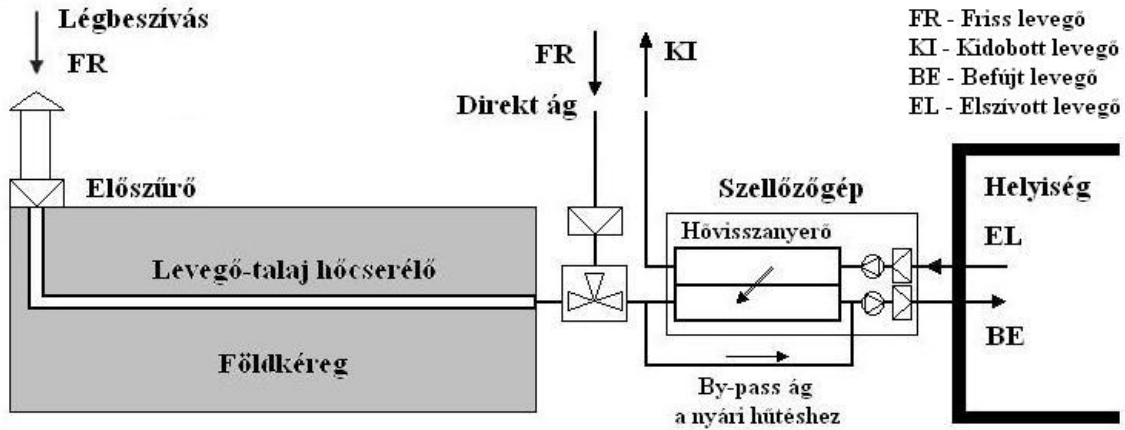
4. TELJES SZELLŐZTETŐ RENDSZER

A szellőztető rendszer elemei:

- légbeszívó elem előszűrővel
- talajhőcserélő
- keverőzsalu (talajhőcserélő/direkt ág)
- direkt légbeszívó elem előszűrővel
- hővisszanyerő

- by-pass ág
- befúvó és elszívó ventilátor
- szűrők a befúvó és elszívó ágakban
- befúvó és elszívó elemek

A szellőztető rendszer elvi vázlatát és rendszerelemeit az 5. ábra mutatja.



5. ábra A szellőztető rendszer elvi vázlata [8]

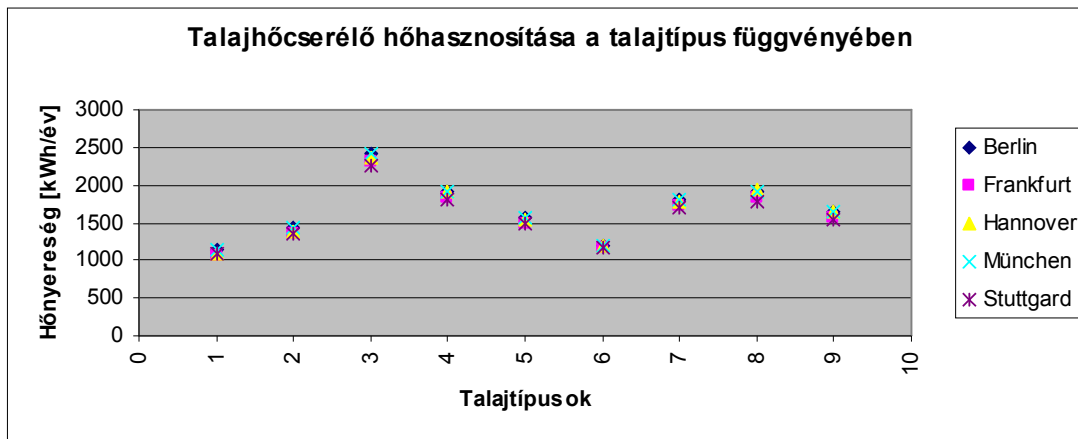
5. SZIMULÁCIÓ

A talajhőcserélő hőhasznosításának vizsgálatára a GAEA grafikus földhőcserélő modellező program [9] került felhasználásra. A szimuláció során a program kínalta németországi klimatikus adatok alapján az alábbi peremfeltételek felhasználásával 5 nagyvárosban került vizsgálatra eltérő talajtípusok mellett a talajból kinyerhető hőmennyiség mértéke.

Peremfeltételek:

- 30m hosszú, 2 párhuzamos ágú (közöttük 1m távolság), 200mm átmérőjű, 0,15 W/mK hővezetési tényezőjű, Tichelmann kapcsolású csővezeték 2m mélységben fektetve
- levegő térfogatárama 380 m³/h
- ventilátor hatásfoka 40%

A szimulációs eredményeket a talajtípusok feltüntetésével az 5. táblázat tartalmazza, és ezen adatokból készített diagram a 6. ábrán szerepel.



6. ábra - Talajhőcserélő hőhasznosítása a talajtípus függvényében

5. táblázat - Szimulációs eredmények a talajtípus függvényében

Vizsgált városok	Talajtípusok									
	1. durva kavicsos talaj	2. mésztartalmú föld	3. homokos agyag	4. nedves homokos agyag	5. homok	6. száraz homok	7. homokos föld	8. homokkő	9. agyagos föld	
Berlin	a	1264,5	1570,0	2491,1	2044,5	1719,1	1330,9	1938,3	2051,8	1771,4
	b	117,0	139,9	69,1	133,6	143,0	125,0	140,2	134,3	138,2
	c	1147,5	1430,1	2422,0	1910,9	1576,1	1205,9	1798,1	1917,5	1633,2
Frankfurt	a	1314,2	1649,8	2593,1	2141,0	1805,9	1427,2	2030,1	2147,1	1870,4
	b	245,3	293,6	276,5	317,8	315,2	262,8	317,6	306,5	302,7
	c	1068,9	1356,2	2316,6	1823,2	1490,7	1164,4	1712,5	1840,6	1567,7
Hannover	a	1189,5	1501,8	2441,9	2017,9	1683,5	1318,5	1906,6	2040,0	1771,3
	b	107,4	128,0	81,5	113,1	135,3	114,0	121,7	111,6	125,6
	c	1082,1	1373,8	2360,4	1904,8	1548,2	1204,5	1784,9	1928,4	1645,7
München	a	1264,5	1570,0	2491,1	2044,5	1719,1	1330,9	1938,3	2051,8	1771,4
	b	117,0	139,9	69,1	133,6	143,0	125,0	140,2	134,3	138,2
	c	1147,5	1430,1	2422,0	1910,9	1576,1	1205,9	1798,1	1917,5	1633,2
Stuttgard	a	1291,8	1592,9	2511,5	2073,1	1745,1	1373,6	1966,6	2071,3	1798,2
	b	215,4	244,6	254,6	280,2	263,6	216,4	278,9	280,8	264,2
	c	1076,4	1348,3	2256,9	1792,9	1481,5	1157,2	1687,7	1790,5	1534,0

a - Höfelvétel [kWh/év]

b - Hőleadás [kWh/év]

c - Hőnyereség [kWh/év]

Mint az a diagramon látható, az eltérő klimatikus viszonyok csekély mértékben befolyásolták a hasznosítható hő mennyiségét, mely jellemzően a talajviszonyoktól függ.

A talajhőcserélővel ellátott szellőztető rendszerek esetében, a korábban elmondottak alapján, 2-5°C hőmérsékletű külső frisslevegő érkezik a hővisszanyerő berendezéshez. A magasabb léghőmérséklet következtében már a fagyveszély teljes kizárásával történik az üzemeltetés.

A talajhőcserélővel rendelkező szellőzőberendezés hővisszanyerőjében uralkodó hőmérsékleteket a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat - Hőmérsékletek a talajhőcserélővel ellátott hővisszanyerős szellőzőgépben

η_{hv} [%]	$t_k = -15^\circ\text{C}, t_k' = 2^\circ\text{C}$				$t_k = -10^\circ\text{C}, t_k' = 5^\circ\text{C}$			
	t_{be} [°C]	t_{ki} [°C]	Δt_{uf} [°C]	Δt^* [°C]	t_{be} [°C]	t_{ki} [°C]	Δt_{uf} [°C]	Δt^* [°C]
70	16,0	8,0	6	31	16,9	8,0	5	27
75	17,0	7,0	5	32	17,8	7,0	4	28
80	18,0	6,0	4	33	18,6	6,0	3	29
85	19,0	5,0	3	34	19,5	5,0	3	29
90	20,0	4,0	2	35	20,3	4,0	2	30
95	21,0	3,0	1	36	21,2	3,0	1	31
99	21,8	2,2	0	37	21,8	2,2	0	32

t_k' – a talajhőcserélőből kilépő levegő hőmérséklete [°C]

Figyelembe véve, hogy az alacsony energiájú épületek éves hőfogyasztása megközelítőleg 9800 kWh/év (egy átlagos 140m²-es családi házat tekintve), akkor a

talajhőcserélő révén kinyerhető 1-2ezer kWh/év hőmennyiség ezen hőfogyasztás 10-20%-át teszi ki. A hővisszanyerés révén további 2-3ezer kWh/év hőmennyiség realizálható.

6. EREDMÉNYEK

A talajhőcserélős szellőztető rendszerrel elérhető 3-5ezer kWh/év hőmegtakarítás egy alacsony energiájú épület éves energiafelhasználásának akár 50 %-át is elérheti.

A energia-megtakarítás költség és szennyezőanyag-kibocsátás csökkentő hatása számszerűsíthető a fel nem használt földgázmennyiség alapján.

A 10000 kWh éves hőfogyasztás alapján a fűtésre fordítandó földgázfelhasználás mértéke 92%-os kazánhatásfokot és 34 MJ/m^3 fűtőértéket feltételezve:

$$B = \frac{Q_f [\text{kWh}] \cdot \eta_k [\%]}{H_a [\text{MJ/m}^3]} = \frac{10000 \cdot 3,6 \cdot 0,92}{34} = 974 \text{m}^3$$

50%-os megtakarítással számolva a földgázmennyiség megtakarítás: $B^* = 487 \text{m}^3$

A földgázköltség megtakarítás $54,5 \text{ Ft/m}^3$ áron [10] számolva:

$$K = B^* \cdot A = 487 \text{m}^3 \cdot 54,5 \text{ Ft/m}^3 = 26541,5 \text{ Ft}$$

A Szennyezőanyag-kibocsátás csökkenés a földgáz eltüzelésénél keletkező 53 g/MJ CO_2 tartalommal számolva:

$$C_{CO_2} = B^* \cdot k_{CO_2} [\text{g/MJ}] = \frac{487 \cdot 34 \cdot 53}{10^6} = 0.877 \text{t}$$

Tehát évente majd 27eFt költségmegtakarítás mellett (Ne feledjük, hogy az éves fűtési költség szintén 27eFt) 877kg CO_2 kibocsátásától kíméljük meg Földünket.

7. IRODALOM

- [1] MSZ CR 1752 Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment. CEN, Brussels, 1998.
- [2] Paul Warmerückgewinnung GmbH: Warmetauscher-typen. www.paul-lueftung.de
- [3] Recknagel-Sprenger-Schramek: Fűtés- és klimatechnika 2000. Dialóg Campus kiadó, Budapest, 2000.
- [4] Rehau: Rehau Rauego Technische Information 827.600.
- [5] AG Solar NRW: Luft-Erdwarmetauscher Teil 1: Systeme für Wohngebäude. 2002.
- [6] VDI Richtlinien: VDI Warmeatlas. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988.
- [7] Rehau: Rehau Awadukt Technische Information 342.100.
- [8] VDI Richtlinien: VDI 4640 Blatt 4: Thermische Nutzung des Untergrundes Direkte Nutzungen. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2002.
- [9] GAEA Graphische Auslegung von ErdwarmeAustauschern. Universität Siegen, FB Physik – Fachgebild Bauphysik und Solarenergie, 1999.
- [10] Főgáz Rt.: Gázdíjak. www.fogaz.hu
- [11] Zsebik A.: Épületgépészeti Energetika. Oktatási segédanyag, BME, 2002.