Hőszigetelés és a hőszivattyús technika¹

KOMLÓS FERENC ■ komlosf@pr.hu

Heat insulation and heat pump systems

With the continuous increasing of energy prices in Hungary, energy saving gains more and more importance. There are many technical solutions to decrease energy consumption and emission reduction. As a matter of course reducing the energy consumption of buildings is necessary also because of the need for improving the energy balance of Hungary and for reducing urban (community) air pollution. The passive house standard embodies the ultra-efficient use of heat either in new or in refurbished residential buildings. The heat pump is the most energyefficient heating and cooling technology, the key tool in energy saving and in reducing carbon dioxide emission as known significant worldwide. Related to the technology of today - and of tomorrow - it is important to mention as well, that not only the heat source but also running of the heat pump and the input energy can originate from non-fossil sources.

Mottó

„Ha azt kérdezik, hogy nem késtünk-e el, hogy visszafordítható-e még az a rombolás, amit az emberiség ejtett a természetben, a válaszom az, hogy nem késtünk el. Amíg él az akarat, addig sosincs késő. Ha pedig az emberek közösen akarnak valamit, akkor azt meg is teszik, ezáltal érvén el céljukat, bármi is legyen az.”

Teller Ede

Bevezetés

Világosan kell látnunk, hogy jövőnkét hosszútávon csak a fosszilis energiák teljes körű kiváltásával leszünk képesek megőrizni, és rövidtávon is szükséges növelni az energiahatékonyságot a fosszilis energia ésszerűbb hasznosításával. Hazánk energetikai és építőipari fejlődését a hagyományos technikákhoz ragaszkodó gazdasági érdekcsoportok meghatározó ereje gátolja. Az energiahatékonyság és az externáliák befolyásolására az államnak jelentős jogi, piacsabályozási eszközei vannak. A hatékonyság javításának ösztönzése tisztán piacpolitikai eszköz, a rászoruló támogatása pedig szociálpolitika. A kettő aránya országonként és időszakonként eltérő. Magyarországon ez az arány még nem jelzi azt, hogy itt az energiahatékonyság ügye a politika és a közgondolkodás homlokterében lenne. Jelenleg nagyobb a fogyasztás támogatása, mint az energiamegtakarításé. Piacgazdasági keretek között a váltást a piaci feltételek kényszerítik ki. A feltételek részbeni meghatározásával az állam befolyásolhatja a piaci szereplők döntéseit. Napjainkban minőségi fordulat érlelődik a világban az energia forrásainak és hordozóinak hatékonyabb hasznosítása érdekében.

Jogszabályi állapot

Az épületek jelentős befolyást gyakorolnak a hosszútávú energiafogyasztásra. Jelenleg a lakások és az ún. tercier ágazat fogyasztása, amelynek meghatározó részét az épületek jelentik, a végső energiafelhasználás 40%-át képezik az EU-ban, és hazánkban is hasonló ez az arány [1]. Az EU az épületek szén-dioxid-kibocsátás csökkentése érdekében irányelvet (direktívát)

Komlós Ferenc

(1943) okl. gépészmérnök, épületgépész (BME) ny. minisztériumi vezető-főtanácsos
2005-ben kidolgozza, és szakmai körökben ismerteti a "Heller László terv, egy munkahelyteremtő kezdeményezés" című országos viszonylatú programjavaslatát. Jelenleg a Hőszivattyúzás c. kiadványnak a jelentős bővítésén és megjelenésének feltételein dolgozik.
Terve, hogy magyar-angol kétnyelvű könyv legyen az oktatási segédanyagként használható, időszerűsége és célközönsége miatt nemzetközi érdeklődésre is számítható könyv.

készített. Országos energiámérlegünk javítása és környezetünk kímélése egyaránt szükségessé teszi épületeink energiafogyasztásának mérséklését.

A vonatkozó 2002/91/EK EU-irányelv honosításához, bevezetéséhez több jogszabály tartozik. Eddig két jogszabály jelent meg: az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet, valamint az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról szóló 176/2008. (VI. 30.) Korm. rendelet. A szén-dioxid-kibocsátás csökkentése érdekében az új épületek néhány kivételtől eltekintve 2008-tól csak energiatanúsítvánnyal kaphatnak használatbavételi engedélyt. A meglévő épületek, lakások pedig 2009-től ill. 2012-től – szintén néhány kivételtől eltekintve – csak energiatanúsítvánnyal adhatók el vagy adhatók bérbe.

Ezek a magyar jogszabályok az épületek energiatanúsításához szükséges számításokat és határértékeket tartalmazzák, továbbá az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról megadják a tanúsítvány formai és tartalmi követelményeit, valamint azt is, kik és mennyiért lesznek jogosultak azt elkészíteni. A TNM rendelet szerint az épület által termelt energia is beszámít, így a hőszivattyús rendszer által bevitt energia is, amely elősegíti a jobb minőség elérését (1. ábra). Ma még kérdés, hogy a jobb minőségnek mi lesz a későbbiekben a piaci értéke.

1. ábra Hőszivattyús rendszer elvi vázlata (ún. zöldhő a hőforrás)

Fig. 1. Schematic diagram of the heat pump system (the heat source being the so called 'green heat')

A rendelet szerint vizsgálni szükséges annak lehetőségét, hogy műszaki és gazdasági szempontból alkalmazható-e megújuló energiaforrás és hőszivattyú stb. Mivel feltűnő, hogy

¹ A VI. Nemzetközi Perlit Konferencia és Kiállítás (Budapest, 2008) kiadványában megjelent cikk közlése.

az energiatakarékosság mennyire lényeges szempont lett a magyarországi gázemelkedések miatt a mindennapi ember számára, meglátásom szerint egy ilyen jellegű igazolás tovább javítja a hőszigetelések és a hőszivattyúk versenyképességét. Fontos, hogy megértsük a tanúsítás környezeti és költségmegtérülési hatását, mert ez az irányelv komplex épületenergetikai szemléletet tükröz. Sajnálatos, hogy az irányelv teljes hazai bevezetése várhatóan hat évet csúszik az eredeti határidőhöz (2006. január) viszonyítva. Ezáltal a meglévő épületeink energiaszükségletének csökkentését is későbbre tolja.

Jelentős pénzügyi akadályát jelenti a passzív épületek és a hőszivattyús rendszerek hazai elterjedésének a kémény és a tartalékkémény problémája. Ezek megépítéséhez az anyag- és építési költség is jelentős. Így a kötelező kémény nagymértékben fékezi a korszerű épületek és a korszerű hőtermelő berendezések elterjedését. Magyarországon a hőtermelő eszközök piacán is mielőbb azonos feltételeket kell biztosítani technikai felzárkózásunk érdekében. A versenyhelyzet megteremtéséhez a földgázár támogatását meg kell szüntetni, ugyanakkor hőszivattyús ártarifával (villanyárral és földgázárral) is ösztönözni szükséges az új technológia elterjesztését. Az ilyen árpolitika a földgázimportot és az energiapiacatlást csökkentené. Ne feledjük, hogy egy napjainkban kivitelezett épület 100 évig hatással van Magyarország energetikai és ökológiai állapotára! A hosszú élettartam is indokolja a hőszigetelési követelmények szigorítását, és hogy a fűtési rendszert kishőmérsékletű fűtőberendezéssel meg lehessen valósítani. A hőszigetelés javítása a fűtés, a hűtés és a légszennyezés-csökkentés szempontjából is előnyös. A hőszivattyús rendszerek elterjedését is elősegítené a kisebb hőmérsékletből adódó, hamarabb megtérülőbb alkalmazás.

2. ábra Jellemző típusú hőszivattyúk elvi vázlatai (az ún. zöldhő a hőforrás)
Forrás: a rajz Handbauer Magdolna grafikus munkája

Fig. 2. Schematic diagrams of characteristic heat pump types (the heat source being the so called 'green heat').

3. ábra Levegő-levegő hőszivattyú elvi vázlata (környezeti levegő, az ún. zöldhő a hőforrás)

Forrás: Villavärmepumpar, Energimyndigheten sammanställning av värmepumpar för småhus

Fig. 3. Schematic diagram of an air/air heat pump (the heat source being the so called 'green heat' i.e. the ambient air).

4. ábra Passzívház szellőztetése ill. távozólégvegő-levegő hőszivattyú elvi vázlata [hulladékhő (távozólégvegő), az ún. zöldhő a hőforrás]

Forrás: ÉTK TS

Fig. 4. Ventilation of a passive house and schematic diagram of an exhaust air/air heat pump [The heat source is the waste air (exhaust air) the so called 'green heat'].

Miután a hőszivattyú megújuló energiahordozó (vagy hulladékhő) felhasználását teszi lehetővé, környezetvédelmi és energiagazdálkodási szempontból kedvező a hatása (2., 3. és 4. ábra). Ugyanakkor fontos kiemelten hangsúlyozni a gazdaságilag is indokolt alkalmazást. A konkrét megtérülési mutató (évek száma) a beruházás megtérülési idejének szokásos számításával megkapható, és ma már célszerű EU átlagárakkal (€) is kiszámolni. Itt jelezem, hogy a környezeti levegőből (a légkör troposzféra rétegéből), a felszíni vizekből (állóvizek, vízfolyások) vett hőenergia a vonatkozó jogszabályok alapján hőmérsékletkorlát nélkül, és a földhő- (geotermikusenergia-) hasznosítás költségmentes (ingyenes), ha a hőszivattyú hőforrásoldali csőcsomóján a hőhordozó közeg hőmérséklete a 30 °C-ot nem haladja meg.

A legutóbbi svédországi hőszivattyú statisztikát az alábbi oszlopdiagram mutatja be (5. ábra).

5. ábra Svédország hőszivattyú statisztikája
Forrás: Svéd Hőszivattyú Társaság (SVEP)
Fig. 5. Heat pump statistics of Sweden

A statisztikáról egy megjegyzés: a népességi adatok arányában összevetve ma Magyarországon 1 000 000 db hőszivattyúnak kellene lennie!

A passzívház és a hőszivattyús statisztikát is rendkívül fontosnak tartom, jogszabályban szükséges rögzíteni a hazai bevezetését, és javasolni kellene Kormányunknak EU-s irányelvben is rögzíteni a tagállamok részére mielőbbi bevezetését. Az EU által támogatva a CEPHEUS program keretében 2001-ben Európa több országában, és eltérő klimatikus viszonyok között sikerrel valósultak meg passzívházak [2].

Nemcsak Magyarországon, hanem az EU szintjén is szükség lenne hőszivattyús tarifa bevezetésére, külön mérőeszközzel erre a célra. Ha ez a hőszivattyús tarifa kedvezőbb lenne a jelenleginél, akkor a régi és az új fogyasztók is bejelentene a hőszivattyújukat, mert ez anyagilag kedvező lenne számukra.

A vezéreltnél kedvezőbb tarifára gondolok. Célszerű lenne a gázfogyasztásra is kiterjeszteni, nemcsak az áramfogyasztásra. A villamos hőszivattyú mellett terjed a gázüzemű hőszivattyú is, de ennek nagyságrendje sokkal kisebb. Minél nagyobb a rendszer $COP_{\text{ÉVES}}$ értéke, annál kedvezőbb lenne a tarifa. Ezzel ösztönöznénk a megújulóenergia-felhasználás növelése mellett a korszerű hőszivattyús rendszerek létesítését is. Országunknak (energia)politikai szempontból előnyös lenne, ha az EU-ban ezt a szabályozást először mi vezetnénk be. Ezáltal statisztikailag követhető lenne a megújulóenergia-felhasználás, és -növekedés is az egyik évről a másikra. A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS) törvényünk példamutató lett, ez a szabályozás is lehetne hasonló, a szakemberek itt is rendelkezésre állnak. Jelenleg a 2008–2020 közötti időszakra vonatkozó, energiapolitikáról szóló 40/2008. (IV. 17.) OGY határozat sajnálatos módon nem tartalmazza a decentralizált energiatermelés és a hőszivattyús technológiák fontosságát, a *Heller-tervben* foglaltakat [3,4]. (Legközelebb két év múlva lesz lehetőség az OGY határozat felülvizsgálatára és e hiányosság pótlására a határozat 12. pontjának t) bekezdése értelmében.)

Az összehasonlításra igazi alapot a $COP_{\text{ÉVES}}$ [kWh/kWh] értékek adnak, hiszen pl. fűtés közben a pillanatnyi COP -értékek a puffertartály, a talaj és a fűtési előremenő víz hőmérsékletétől függően változhatnak. Ennek megállapítása az adott helyre érvényes paraméterekkel elvégzett számításokkal lehetséges.

A számítás figyelembe veszi a hőszivattyú és a hőnyerési oldal paraméterein kívül az átlagos külső hőmérsékleti adatokat is. Ezzel a módszerrel – helyálló bevitt paraméterek esetén – igen jól megközelíthetők a később gyakorlatban megvalósuló értékek [5].

A megvalósult rendszerek $COP_{\text{ÉVES}}$ értékének meghatározása a rendszerbe épített hőmennyiségmérővel és a hőszivattyúhoz szerelt villa-

mos almérővel lehetséges a fűtési/hűtési időszak mérési átlagának értékelése alapján. Tehát a teljesítménytényező egy meghatározott időtartam alatti középértékének számításához a leadott hőmennyiséget egy hőmennyiségmérővel, az összes felvett villamos energiát pedig villamos almérővel mérjük. A kapott mennyiség elfogadott nemzetközi jele **SPF** (angol nyelven Seasonal Performance Factor), és egy bizonyos időszakhoz kötött teljesítménytényezőnek nevezzük.

A csúcsidőszakban fogyasztott/vásárolt áram villamos-energia-termelésünk önköltségét növeli, mert az áramot a legdrágábban termelő erőművekben állítják elő. A völgyidőszakban fogyasztott/vásárolt áram viszont jelentősen olcsóbb, mert az áramot a legolcsóbban termelő erőművekben állítjuk elő. Ne felejtjük, a pénz a gazdaság legjobb szabályzó eszköze. A vezérelt hőszivattyús rendszerek, amelyek fűteni és hűteni is tudnak, alkalmasak az ún. „csúcsfaragásra”, az épületek hőkapacitásának segítségével, különösen melegvízüzemű berendezéseknél. A technológiaváltáshoz, amely nélkül nem lehet évtizedes lemaradásunk felszámolását megkezdeni, kezdetben valamennyi támogatás is szükséges.

Kis (alacsony) energiafelhasználású épületek

Az építész az épület tájolásával, tömegalakításával, hőszigetelésével, légtömörségével, hőtároló képességével, üvegezésével, árnyékolásával, a különféle rendeltetésű helyiségek épületen belüli elhelyezésével jelentősen befolyásolni tudja az épület energiaigényét. Minél tudatosabb és szakszerűbb a tervezés, annál kevésbé van szükség a nem megújuló energiaforrások felhasználására. Az építész, a statikus, az energetikus, a hidrológus, a geológus és az épületgépész alkotó együttműködésével olyan építmény hozható létre, amelynél a megújuló energia fűtésre és hűtésre (a felsoroltakon kívül többek között szellőztetésre, száritásra és nedvesítésre is) felhasználható.

Az emberiség nem mond le a technika áldásairól ill. a kényelemről (a komfortról), ugyanis a nagy részéről nem is mondhat le, de a káros mellékhatásokat fokozatosan csökkenteni szükséges, és amennyire lehet, kiváltással megszüntetni. A nyári hűtési igény hazánkban is egyre nő. Főleg irodaházaknál, szolgáltató épületeknél, könnyűszerkezetes épületeknél és tetőtér-beépítéseknél jelentkezik a nyári hűtési energiaigény. A 3. ábra levegő/levegő hőszivattyúja kiegészítő hőforrásként is alkalmazható pl. a meglévő radiátoros, padló-, fal- és

mennyezetfűtésekhez amelle, hogy esetleg a nyári időszakban még hűteni is tud. Enyhe időben pedig önállóan is elláthatja feladatát, ekkor nem kell a melegvízüzemű központi fűtést bekapcsolni (pl. estéként a tv nézéséhez a nappali- vagy a nagyszobában).

Az első energiaválságkor 1974-ben Németországban kísérleti célból felépített Philips-ház már a második generációs alacsony energiafelhasználású épületek csoportjába, az ún. ultraházak csoportjába tartozott. Az átlagos családra tervezett családi ház alapterülete 116 m², a fűtött légtérfogata 290 m³. Fűtésére hőszivattyú került beépítésre, amelynek éves villamosenergia-felhasználása 3200 kWh volt [6].

Energiatakarékos házaknak nevezzük az átlagostól jobb hőszigetelésű, kis energiafelhasználású, és az ún. passzívházakat [7]. Az energiatakarékos házakat energiafogyasztásuk 1,0 m² alapterületre vetített éves (jele: a) fűtési igényük alapján határozzák meg. Szokásos elnevezésük alapja történelmi okból a fájlagos olajfogyasztás. Jó közelítéssel:

1 liter tüzelőolaj fűtőértéke ~ 1 m³ földgáz fűtőértéke
~ 10 kW h/(m² a)

- Kis energiafelhasználású ház, Svájcban Minergiehaus-nak nevezik: max. 60 kW h/(m² a)
- 3 literes ház, vagy Ultrahaus, vagy Minergie-Plus Haus (Svájcban): max. 30 kW h/(m² a)
- Passzívház: max. 15 kW h/(m² a)

A kis energiafelhasználású ház hőátbocsátási tényezőinek részletezése:

- külső fal: $U = 0,3-0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
- földem: $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
- ablak: $U = 0,8-1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

Ultraházak: legfeljebb 3 l/m²-es tüzelőolaj-felhasználású házak a kis energiafelhasználású házak után jöttek, majd megjelent a passzívház.

Passzívház: legfeljebb 15 kWh/m²a – ez más néven a „1,5 l-es ház”

Összehasonlításképpen:

- hagyományos téglaház: 250–300 kWh/(m² a)
- blokk téglaház: 160–180 kWh/(m² a)
- mai magyar előírás: 100–120 kWh/(m² a) (Energiatanúsítvány szerinti „C” fokozat)
- mai német előírás: 70–80 kWh/(m² a) (hamarosan további szigorítása következik)

Az épület fűtési hőszükséglete és a szellőztetés mértéke az ún. filtrációs hőszükséglet igen szoros kapcsolatban van egymással. Környezetvédelmi okokból a külső transzmissziós energiaáram aránya jelentősen csökkenő tendenciájú. A megnövekedett légcsere következtében a távozó levegő hulladékhője már ma gazdaságosan hasznosítható hőszivattyús rendszerrel.

A passzívház

A passzívházak jellemzője a rendkívül csekély, 1,5 l/m² éves tüzelőolaj-felhasználás – ami legfeljebb 15 kWh/m² energiafelhasználás évente. A másik jellemző – ami az előzőekből következik –, a hővisszanyerővel kialakított szellőzőberendezés mellett a hagyományos fűtőberendezés hiánya. Így a passzívházban a kellemes hőérzet aktív fűtési és hűtési rendszer nélkül is biz-

tosítható. A passzívház nem egy márkanév, hanem egy építészeti koncepció, amely mindenki előtt nyitva áll. A német passzívház intézet végzi el a vizsgálatot, és erről tanúsítványt állít ki.

A passzívház-elméletet Wolfgang Feist német professzor dolgozta ki az 1980-as évek végén. Az 1991-ben a németországi Darmstadt-Kranichstein-ben épített első passzív házban elvégzett mérések azt igazolták, hogy a fűtési terhelés a leghidegebb napokban sem haladja meg a 6,0 W/m²-t, ami egy 15 m²-es hálószoba esetében 90 W csúcshővesztéséget jelent!

A passzívház tervezési alapelvei

A passzívház elv egyszerűnek tűnik, de gondos tervezést és a részletekre való odafigyelést igényel.

Az energiavesztések csökkentése:

- a környezeti adottságok figyelembevétele (terep, növényzet),
- megfelelő tájolás,
- alaprajzi kialakítás,
- kompakt tömegformálás (sokszor nehéz feladat),
- szinte hőhídmentes szerkezetek tervezése, kivitelezése (pl. erkélynél, nyílásoknál),
- légtömorség biztosítása (filtrációs hővesztés csökkentése),
- extra hőszigetelésű határoló szerkezetek (alap, padló, fal, tető, nyílászárók stb.),
- energetikailag szabályozott szellőztetés,
- nyári hővédelem biztosítása.

Hulladékhő és passzív energiaforrások:

- megfelelő tájolással a téli napsugárzás hasznosítása,
- az épületben működő berendezések hulladékhőjének hasznosítása (tv, számítógép, hűtőgép, világítás stb.),
- a technológiából származó hulladékhő hasznosítása (mosogatás, vasalás, sütés-főzés stb.),
- emberi hőleadás,
- a szellőző levegő hőjének visszanyerése (hőcserélő, hőszivattyú),
- a földhő passzív hasznosítása szellőzőlevegő előmelegítésre, hűtésre.

A PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket) számítás: részletes ellenőrző és igazoló számítás, hogy a tervezett épület megfelel a passzívház feltételeknek.

Külső határoló szerkezetek. Itt a legnagyobb a hővesztés, ezért vegyük körbe az épületet légzáró, hőszigetelő szerkezetekkel:

- hőszigetelés,
- hőhídmentesség,
- légtömorség.

Hőátbocsátási tényezők részletezése:

- padló szerkezet 0,15 W/(m² K) vagy ennél kisebb [~20 cm hőszigetelés];
- falszerkezet 0,12 W/(m² K) vagy ennél kisebb [~30 cm hőszigetelés];
- mennyezet, földem 0,10 W/(m² K) vagy ennél kisebb [~30 cm hőszigetelés];
- nyílászárók 0, W/(m² K) vagy ennél kisebb.

Három rétegű bevonatos hőszigetelt üveg gáztöltéssel és minél több nem nyitható ablak kialakítása.

Hőhídmentes szerkezet nem létezik, de a mértékét lehet csökkenteni. A csomópontot akkor nevezzük hőhídmentesnek, ha a hőhídvesztesség kisebb mint $0,01 \text{ W/(m K)}$.

A hőhidak káros következményei:

- energiavesztés,
- a lehűlt belső felület,
- „szellemvonalak”,
- párakicsapódás,
- a felület vizesedése,
- penészedés.

Légtömörség. Az épülethez megszakítás nélküli légtömör épületburkot kell készíteni. Vizsgálatát az ún. „Blower-Door” eljárással végzik. Az épületen belül 50 Pa túlnyomást hoznak létre, majd így vizsgálják a légcseré menységét.

A passzív ház követelmény: $n_{50} \leq 0,6 \text{ l/h}$

Légtömörség szükséges:

- a szerkezeti keresztmetszeten (rétegrendi kialakítás),
- a csomópontoknál,
- a gépészeti és egyéb áttöréseknél.

A tömörtelenség káros következményei. A nem elég légtömör szerkezeti elemeken keresztül meleg, nedves levegő áramlik belülről kifelé. Ekkor a hideg szerkezeti elemeken jelentős párakicsapódás jön létre. Épületek jellemzője, hogy az épületkárok elkerülése szempontjából kellőképpen nem légtömör, a szükséges szellőzéshez viszont kevés a beáramló levegő.

Összehasonlításképpen:

- egyszintes épület légtömörősége
 - tömítetlen ablakok esetén: $1,2 \text{ l/h}$
 - tömített ablakok esetén: $0,8 \text{ l/h}$
- 20 szintes épület légtömörősége
 - tömítetlen ablakok esetén: $2,0 \text{ l/h}$
 - tömített ablakok esetén: $1,3 \text{ l/h}$

Passzív házak jellemző épületgépészeti megoldásainak felsorolása [8]:

- talajhőcserélő a szellőző levegő téli előfűtésére,
- egyedi lakásszellőző berendezések hővisszanyerővel és anélkül,
- központi lakásszellőző berendezések,
- napkollektoros berendezések hmv-termelésre és fűtési kiegészítésre,
- kompakt hőszivattyús berendezések a szellőző levegő felmelegítésre és hmv-termelésre,
- fa- vagy pellettüzelésű kandallók.

A 4. ábra a passzív ház gépi szellőztetésének hőszivattyús megoldású elvét mutatja be. Itt a távozó levegő hulladék hője hőszivattyús rendszerrel hasznosul, előmelegíti a friss levegőt.

Passzív házak használati meleg víz előállításának jellemző eszközei:

- napkollektor,
- ellenáramú hőcserélő,
- hőszivattyú.

A Carnot-féle (idealizált) körfolyamat

A hőszivattyú elvi alapjai a termodinamika második főtételéhez kapcsolódnak. A második főtétel kimondja, hogy a hő és a mechanikai munka átalakításának a feltétele, hogy a hő két különböző hőmérsékleten álljon rendelkezésre, vagyis a hőnek mechanikai munkára való átalakításához hőmérsékletkülönbségre van szükség. A hőszivattyú az átalakítás fordítottját hajtja végre: mechanikai munka befektetésével hőt termel, a hőtermeléshez pedig olyan hőmérséklet-különbséget hoz létre, amelynél az alsó hőmérsékletet a környezet – a „hőforrás” – a nagyobb hőmérsékletet pedig a hőnyeléshez szükséges ún. hasznosítható hő határozza meg.

Hőszivattyú alkalmazásakor mindig több hőt (Q_C hőt) kapunk a felső hőfokszinten, mint amennyit mechanikai munka (W) formájában befektetünk:

$$Q_C = W + Q_0$$

Ez az egyenlet nem mond ellent az energiamegmaradás elvének, mert a Q_0 felvett hőt nem szükséges átalakítani, csupán nagyobb hőmérsékleti szintre kell emelni (6. ábra). A körfolyamatok egyes állapotváltozásait és a körfolyamatok egészét leginkább a T - S , azaz a hőmérséklet-entrópia ($[K] - [W/K]$) gőzdiagramokból ismerhető fel. A gyakorlatban elterjedt (egykomponensű munkaközeggel működő kompresszoros) hőszivattyú munkafolyamata az idealizált Carnot-féle körfolyamathoz hasonlít, ezért ezt ismertetjük. A hőszivattyú elméleti működését a Carnot-féle termodinamikai körfolyamat (a körfolyamat az óramutató járásával ellentétes irányú) ábrázolja, amely négy megfordítható (reverzibilis) állapotváltozásból áll.

6. ábra A Carnot-féle körfolyamat
[Két izotermikus (elpárolgás, kondenzáció) és két izentropikus (expanszió, kompresszió) állapotváltozás]
Forrás: MSZ EN 14511

Fig. 6. The Carnot cycle
[Two isotherm (evaporation, condensation) and two isentropic (expansion, compression) changes of state]

A hőszivattyú itt bemutatott Carnot-körfolyamata reverzibilis ideális körfolyamat azaz veszteségmentesen megfordítható elvi körfolyamat, azaz a munkafolyamatot határoló görbék egyenes vonalakból állnak. Ha a körfolyamat ideális, akkor adott hőmérséklet határok között (pl.: T_C és T_0) a Carnot-

féle körfolyamatnak van a legnagyobb hatásfoka (η), ill. teljesítménytényezője (ε , COP). Azonos hőteljesítmény eléréséhez ez a körfolyamat használja fel a legkevesebb energiát. Az ideális (*Carnot-féle*) körfolyamat hatásfoka, illetve teljesítménytényezője csupán az ún. két hőtartály (hőforrás és hőelnyelő, illetve a hőszolgáltatás) abszolút hőmérsékletétől (T_c és T_0) függ, ahol

$$T [K] = t [^{\circ}C] + 273$$

A hőszivattyúra jellemző elméleti ún. COP_{CARNOT} a kondenzátor és az elpárolgató hőmérsékletadataiból kiszámolható:

$$COP_{CARNOT} = T_{KONDENZÁTOR} / (T_{KONDENZÁTOR} - T_{ELPÁROLOGTATÓ})$$

Illetve a 6. ábra jelölésével:

$$COP_{CARNOT} = T_c / (T_c - T_0)$$

A COP_{CARNOT} azt jelenti, hogy egységnyi kompresszormunkával mekkora hőmennyiséget lehet az alsó hőmérsékletéről a felsőre szállítani („szivattyúzni”). A gyakorlati érték kb. az elméletinek (maximálisnak) a 45–65%-a, de ez elsősorban a kompresszorok rohamos fejlődése következtében állandóan javul. A kisebb értékek kisebb berendezésekre és nagyobb hőmérséklet-különbségekre, a nagyobb értékek pedig a nagyobb berendezésekre és kisebb hőmérséklet-különbségekre vonatkoznak.

A gyakorlatban elérhető teljesítménytényező értéke függ az elpárolgási hőmérséklettől, amelyet a hőforrás hőmérséklete határoz meg, a véges hőmérséklet-különbségek nagyságától az elpárolgatónál és a kondenzátornál, az alkalmazott gép hatásfokától, a segédberendezések energiaszükségletétől stb. Természetesen az elpárolgás feltétele, hogy a hőforrás hőmérséklete a munkaközeg forráspontjánál nagyobb legyen.

A hőszivattyúzás rövid története és Heller László

A hőszivattyú olyan gépi berendezés, ill. készülék, amely alacsony hőmérsékletű hőt von ki általában a levegőből, földből vagy vízből, és azt nagyobb hőmérsékleten bevezeti az épületbe. Mondhatnánk: környezetből a hőt – külső energia befektetése árán – „szivattyúzza” jól használható hőmérsékletre. Energetikai szempontból kiemelendő, hogy a hőszivattyúk alkalmazhatók építményekben a használati melegvíz ellátására, fűtésre és hűtésre.

Sok helyen – szinte mindenütt – van alkalmas környezeti hőforrás, amelyet csak hőszivattyúval lehet energetikailag kedvezően hasznosítani. A hőszivattyúk a megújuló és a hulladék energiák hasznosításával jelentősen elősegítik a fosszilis tüzelőanyagok gazdaságosabb felhasználását.

Az angol James Joule és William Thomson (Lord Kelvin) 1852-ben alkotta meg a hőszivattyú elvét. Az osztrák Peter Ritter von Rittinger a francia Carnot termodinamikai írásait tanulmányozva, megalkotta a világ első ipari hőszivattyúját [9]. 1938-ban, Zürichben létesült az első tartósan hőszivattyúval

fűtött épület (a zürichi városháza). Az épület hőforrása a Limmat folyó vize lett.

A hőszivattyú múltjának magyar vonatkozásával kapcsolatban jelezni kell, hogy 1948-tól a Heller László (7. ábra) közreműködésével kidolgozott kompresszoros hőszivattyú átörözt jelentett e technológia történetében.

7. ábra Heller László magyar gépészmérnök, feltaláló, egyetemi tanár, akadémikus, a terv névadója (1907. augusztus 6. Nagyvárad – 1980. november 8. Budapest)
Fig. 7. László Heller, Hungarian mechanical engineer, inventor, university professor, academician, eponym of the plan named after him

Heller László Nagyváradon kezdte meg elemi iskoláit, majd középiskolai tanulmányait Budapesten folytatta. 1927-ben beiratkozott a Zürichi Műszaki Főiskolára (Eidgenössische Technische Hochschule [ETH]). Heller László 1931-ben szerzett gépészmérnöki oklevelet az ETH-n. Végzését követően Henri Quiby professzor mellett dolgozott tanársegédként, miközben szilárdságtani kutatómunkát is végzett. Hazatérte után, az első országos jelentőségű feladatot 1940 és 1942 között kapta, amikor az Egyesült Izzó Rt. Ajkai Timföld és Alumínium Gyárának energetikai tervezése napirendre került. A legkorszerűbb, nagynyomású, kényszeráramlású kazán és elvételes-kondenzációs gőzturbina bevezetésével új korszakot nyitott a magyar erőműiparban.

Heller László az Ajkai Erőmű hűtővízproblémáinak a megoldását keresve dolgozta ki azt az új eljárást, amely lehetővé teszi, hogy vízhiányos területeken a kondenzátor hűtését víz helyett tisztán levegővel lehessen megoldani. Ez a találmánya az „indirekt léghűtésű kondenzáció”, amely az erőművi szakmában „Heller System” néven vált ismertté az egész világon. Találmányát szabadalmaztatta, majd 1950-ben Londonban a Word Energy Conference keretében nyilvánosan is közzétette. Az ipari megvalósítást Forgó László hőcserélő szabadalmának a felhasználásával együtt dolgozták ki, ezért a megoldást Heller-Forgó-féle erőművi hűtőrendszernek hívják, amit napjainkban is alkalmaznak.

Az ipari energetika kínálókozó lehetőségei és a hőszivattyúval kapcsolatos zürichi élményei is (a városháza fűtése hőszivattyúval) arra ösztönözték, hogy a hőszivattyú területén is új megoldásokat keressen. 1948-ban védte meg doktori disszertációját, amelynek témája a hőszivattyúk alkalmazásának technikai, gazdasági feltételei volt (Heller L.: Die Bedeutung der Wärmepumpe bei thermischer Elektrizitätserzeugung Universitätssdruckerei, Budapest, 1948). A hőszivattyú múltjának magyar vonatkozásával kapcsolatban jelezni kell, hogy 1948-tól a

Heller László közreműködésével kidolgozott kompresszoros hőszivattyú áttörést jelentett e technológia történetében [10].

Megemlítem, hogy közel öt éve (2003. november 3-án), a Tudomány Napján felavatták Kő Pál Kossuth-díjas szobrászművész *Tudósok fala* című alkotását a Nyugati pályaudvar melletti West End City Center sétányon. A szobron Heller László tudós neve is megtalálható. A hőenergetikával foglalkozó iskolateremtő professzor elképzelései között szerepelt Európa második legnagyobb folyójával a Parlamentünk és Műegyetemünk fűtése is. A hőszivattyúk világméretű terjedésével napjainkban igazolodnak gondolatai.

A hőszivattyú előnyös tulajdonsága, hogy megújuló energiaforrással és minden hazánkban található energiahordozóval együttesen működtethető (1. táblázat).

A kompresszormotor hajtása	A működtető energia
Villamos motor	Fosszilis eredetű
	Atomenergia
	Megújuló energia
Belső égésű motor	Fosszilis eredetű
	Megújuló energia
Külső égésű motor (Stirling-motor)	Fosszilis eredetű
	Megújuló energia

1. táblázat Kompresszoros hőszivattyú motorhajtásának lehetséges energiaforrásai
Table 1. Energy sources for the engine drive of compressor based heat pumps

Egy 1997-es felmérés szerint a hőszivattyúk globálisan 6% CO₂-csökkenést eredményeztek. A felmérést végző hőszivattyús nemzetközi szervezet programjában 2010-re 16%-os várható

értéket közöl. Nemcsak lokális, hanem még nagyobb globális jelentőségű környezetvédelmi hatás jön létre, ha a hőszivattyú működtetése, illetve a bevezetett energia is megújuló energiahordozótól származhat, ami az energiaellátás új útjai között szerepel. A megújuló energiahordozók felhasználásának növelése pedig nemzeti energiastratégiánk fontos eleme (8. ábra).

8. ábra A hőszivattyú hőforrásainak (az ún. zöldhőnek) csoportosítása
Fig. 8. Classification of heat resources (the so called 'green heat') of the heat pump

Az energiaválság a fejlett országokban már korábban kikényszerítette az épületek hőszigetelésének és tömörségének a fokozását, az energiatakarékos hőszivattyú alkalmazását, és ezáltal elsősorban az emberközpontú, kis hőmérsékletű, melegvízüzemű központi fűtéseket, az ún. felületfűtéseket (9. ábra):

- a nagyfelületű radiátoros fűtést (a radiátor hőfoklépcsői: 55/45 °C, majd 40/30 °C, a korábbi 90/70 °C, és 75/60 °C helyett),
- a padló-, a fal- és a mennyezetfűtést/mennyezethűtést,
- az épületszerkezet temperálását (fűtés és hűtés).

Jelzem, hogy a ventilátoros konvektort („fan-coil”-t) nem tartalmazza a 9. ábra. Ez olyan széles körben alkalmazott fűtő/hűtő készülék, amelynek a hőátadás elősegítésére ventilátort használnak. Klímakonvektornak is nevezik. A levegőoldali hőcserélőjének felülete többszöröse egy hagyományos radiátorhoz képest. A levegőoldali nagy hőcserélőfelület és a ventilátorral segített hőátadás miatt a készülék nemcsak fűtésre használható, hanem hűtésre is, ha a meleg víz helyett hideg vizet keringtetünk a hőcserélő vízoldalán.

Korszerű nagyfelületű radiátoros fűtésnél a fűtővíz előremenő

9. ábra Kompresszoros hőszivattyús rendszer napkollektorral társítva
Az ábra jobb oldali felső részében napjaink átlagos hőszivattyús rendszerének energiafolyam-ábrája (egy egységet fűt, de négy egységért a fogyasztó)

Fig. 9. Compressor based heat pump system integrated with a sun collector
In the upper right corner of the figure - energy flow-chart of an average heat pump system of our days

hőmérséklete legfeljebb 45 °C, egy körön belül a kétcsöves fűtés esetében ez a hőmérséklet minden radiátornál azonos. A hőlépcső a különböző helyiségekben általában változó, mivel a radiátort a hőérzeti és belsőépítészeti szempontok figyelembevételével kell kiválasztani.

A fűtési időszakban hosszabb vagy rövidebb ideig a kishőmérsékletű fűtés gyakorlatilag megvalósul Magyarországon elterjedt melegvízüzemű hőelosztó rendszerek mindegyikével, ha az előremenő fűtővíz hőmérsékletét a külső hőmérséklet vezérli.

A hőszigetelés jelentős javítására az épület hőforgalma csökken (hatására "nyáron nem jön be, télen nem megy ki a meleg"), ami a hűtés, a fűtés, a környezet terhelése szempontjából is hasznos, lerövidíti a hűtési és fűtési időszakot (csökken az üzemeltetési idő csökkenés). Kellemesebbé teszi a hőérzetet télen és nyáron egyaránt. A külső határoló felületek belső hőmérsékletének változtatott értékei, a hőérzetet javítja.

Összefoglalás

Napjainkban műszakilag elhasználódott belvárosok, belső kerületek teljes körű újjáépítését és felújítását végzik a nagyvárosokban és a kisebb településeken. Megújulnak az egyes lakó- és középületek. Fel kell készülnünk, elsősorban a környezetkímélő, ún. passzív építészeti eszközök megismerésére, elterjesztésére és használatára. A passzív eszközök lényege, hogy az épületet megvédjük a külső hatásoktól, és csak elkerülhetetlen végső esetben alkalmazzunk gépészeti eszközöket fűtésre illetve hűtésre [11].

Közismertek azok a veszélyek, amelyek a természet biológiai egyensúlyának megbomlásából adódóan a mai, de még inkább a jövő nemzedékeket fenyegetik. A megújuló energiák használatának eszközei, így a hőszivattyús rendszerek is, decentralizálhatók, autonóm kistérségek és autonóm építmények alakíthatók ki velük. A hőszivattyú energiatakarékos és környezetbarát gép, beépítése megteremti az építés és környezet harmóniáját, csökkenti a káros légszennyezést és alkalmazásával emberbarát fűtési és hűtési rendszerek valósíthatók meg.

A hőszivattyús technika alapvetően nem új, mégis a különböző országok energiaellátási politikájában az első energiaválságig alárendelt szerepet játszott, és számos helyen eddig jelentéktelennek tekintették. Napjainkban azonban egyre több országban nő a korszerű hőszivattyúkra és a különböző hőszivattyús rendszerekre alapozó energiaellátási megoldások száma a passzív házaknál is.

Az Európai Hőszivattyú Szövetség (EHPA) a következő kérdést modellezte azért, hogy adatokat kapjon a hőszivattyúk elterjesztésének hasznáról. A kérdés az volt, hogy a GHG mekkora emissziócsökkenése lenne elérhető, ha Európa összes új és felújított egy lakásos családi házát hőszivattyúkkal szerelnék fel 2008-tól 2020-ig? Az eredmény: a hőszivattyúknak a fűtést szolgáló széleskörű felszerelése 2020-ig közel 70 millió installált hőszivattyút jelentene. Az összes felszerelt egység az EU GHG-csökkentési céljához 2012-ben 20,5%-kal, 2020-ban pedig 21,5%-kal járulna hozzá. 2020-ban a hőszivattyúk a megújuló energiából több, mint 770 TWh-t termelnének. Ez

az EU céljának kb. 30%-a, és a primer energiából több, mint 900 TWh-t takarítanak meg.

A hőszivattyú alkalmazása szakmai szempontból nagy kihívást jelent. Adott esetben általában egyedi igényt kell kielégíteni, adott helyszínhez, a rendelkezésre álló energiaforráshoz, az építmény és az építető speciális igényeihez igazodó, optimális megoldást kell találni. Az építményfűtés, a használati melegvíz előállítás, a szellőzés és klimatizálás megoldását a természetes (napenergia, geotermális energia), vagy az értékes hulladékenergia-forrás oldalától a hőleadás oldaláig teljes körben, rendszerszemléletben kell átgondolni, mérlegelni, és utána megtervezni, beszabályozni, üzemeltetni és karbantartani.

A hőszivattyúzás olyan innovatív technológia, amelynek magyarországi elterjesztésére nagy szükség van. A nyugati fejlett technológiák hazai átvétele önmagában nem biztosítja a hatásos működést (eltérőek pl. a hidrológiai, geológiai, meteorológiai viszonyaink, épületeink hőszigetelése, központi fűtése). Így piaci lehetőség van a hazai viszonyokra méretezett rendszerek kifejlesztésével máshol is versenyképes technológiákat kialakítani, amelyeket exportálni is lehet. A technológia területén már ma is vannak magyar szabadalmak, és Heller Lászlóra utalva, a magyar szakma történelmileg is megalapozott.

A tervezők, a beruházók és az építetők általában elvétve terveznek jobb hőszigetelést, kevesebb energiafogyasztást egy új, vagy egy felújításra kerülő épülethez, mint a hatályos jogszabályok kötelezővé tesznek, ezért a hőszivattyús rendszerek hosszú távú alkalmazására fel kell készülnünk [12].

Szakterületünkön jelenleg az értékrend átalakul: csökken a rövid távú, és növekszik a hosszú távú érdek érvényesítésének szerepe, de napjainkban, sajnos, még csak a rövid távú érdekek érvényesülnek. A legnehezebb feladatot gondolkodásunk megváltoztatása jelenti, és ezáltal az energiatudatos, környezetbarát magatartásra, a fenntartható építés útjára való áttérés (10. ábra).

Ezúton őszinte örömmel szeretném megköszönni azt a megtiszteltetést, hogy *Hőszigetelés és a hőszivattyús technika* című dolgozatomat a VI. Nemzetközi Perlit Konferencia és Kiállítás (Budapest, 2008. szeptember 12–13.), mindenekelőtt dr. Rudnyánszky Pál aranydiplomás okl. építészmérnök, c. egyetemi docens Úr jóvoltából Önök elé tárhattam.

10. ábra A fenntartható fejlődés útja: az emberhez méltó környezet létrehozása
Forrás: a rajz Handbauer Magdolna grafikus munkája

Fig. 10. Way to a sustainable development, creation of an environment which is worthy of humans

Irodalom

- [1] Komlós Ferenc: *Hőszivattyús rendszerek 6. rész, 8.1. fejezet*. Az építészeti-műszaki tervezés aktuális előírásai. Gyakorlati tanácsadó. Verlag Dashöfer Szakkiadó Kft. és T. Bt. A vonatkozó CD-ROM kiadása: 2008. augusztus.
- [2] Dr. Vajda József: *Az Európai Unió CEPHEUS projektje a passzívházak létesítésének támogatására*, „Környezetvédelem és Európai Uniós Csatlakozás Konferencia” Siófok, 2002. november 5–6., pp. 77–80
- [3] F. Komlós: *Heller Programme, Utilisation of Renewable Energy Sources with Heat Pumps* pp. 89-94. 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAT ENGINES AND ENVIRONMENTAL PROTECTION May 28–30, 2007 Hotel Uni, Balatonfüred, Hungary (<http://epiteszforum.hu/node/6037>)
- [4] Mádlné Dr. Szőnyi Judit: *A geotermikus energia*, Készletek, kutatás, hasznosítás. Grafikon Kiadó, Nagykovácsi, 2006.
- [5] Komlós Ferenc – Fodor Zoltán – Kapros Zoltán – Vaszil Lajos: *Hőszivattyúzás*, Energia Központ Kht. „csináljuk jól!” energiahatékonysági sorozatának 22. számú kiadványa, 2008. (http://www.mek.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=564&Itemid=52)
- [6] Dr. Vajda József: *Terjeszkedőben az alacsony energiafelhasználású épületek*, Megawatt 12. évf. 2002/3. p.16 (Pécsi Erőmű gyári lapja) http://www.pert.hu/main.php?apps=4&pos=1&pos1=3&a=10&cikk_id=3370
- [7] Janurik Csaba: *Alacsony energiafelhasználású és passzívházak című vetítettképes előadás* (Szeged, 2008. június 10.) a HORIZONT építéstechnológiáról.
- [8] Dr. Vajda József: *A passzívházak épületgépészeti rendszerei és a megújuló energiaforrások alkalmazásának lehetőségei* „ENERGOREP 2002.” Konferencia Siófok, 2002. november 12–14. pp. 114–117.
- [9] Stróbl Alajos: *Energiatakarékos környezetkímélés hőszivattyúkkal*. OMIKK, Környezetvédelmi Füzetek, 1999/8. szám.
- [10] Korényi Zoltán – Tolnai Béla: *Az áramlás- és hőtechnika nagyjai*. Életrajzi gyűjtemény, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007.
- [11] Dr. Zöld András: *Az épületek nyári felmelegedése elleni védekezés természetes lehetőségei*, Tervezési Segédlet, OLÉH/VÁTI Kht. 2006.
- [12] Mádlné Dr. Szőnyi Judit PhD, egyetemi docens ELTE, FFI, AAF (témavezető szerző) – társszerzők: Lenkey L., Rybach L, Hámor T. és Zsemle F.: *A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon*. Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre és háttér tanulmány (kézirat, Budapest, 2008. március 31.). Megbízó: Magyar Tudományos Akadémia Elnöki Titkárság.