

Távfűtött lakóépületek infiltrációjának matematikai szimulációja és helyszíni mérése

DR. MAJOROS IMRE — DR. UHRI LÁSZLÓ — DR. GARBAIL LÁSZLÓ

1. Bevezetés és célkitűzések

Hazánk újabb, nem kizárt, hogy az eddigi legnagyobb energiaválsága előtt áll. Egyre inkább körvonalazódik, hogy a meglévő források minden előzőtől eltérő, a megszokottól sokkalta ésszerűbb energiafelhasználási kényszere hat ránk. Sok egyéb mellett ezen a téren is újra kell gondolnunk az eddig követett utat. Nagyon valószínűsíthető, hogy jobban kell alapoznunk a hazai és nemzetközi kutatásokra. Magyarországon régóta és még hosszú időn keresztül távfűtési szempontból tipikusnak a többszintes, úgynevezett cellás típusú panelépületek tekinthetők. A közismert lakásnehézségek és rossz hagyományok következtében ezen lakásaink speciálisan terheltek. Nehézkesen definiálható ugyan, de mindenképp rögzíthető, hogy a terhelés a lakókra vonatkozó lakástérfogattal arányos. A bármikor benntartózkodó ember komfortigénye egy viszonylag szűk hőmérsékleti és nedvességtartalmi sávot határoz meg, ugyanakkor az ember hő és nedvességleadása és az életmódjából adódó környezeti hő, nedvesség, szag stb. felszabadulása az egyébként is „kielezetten” méretezett épületszerkezetre és fűtőberendezésre éppen a kritikus tartományban ró additív terhelést.

Az emberi tartózkodásra szánt zárt terek természetszerűleg nem izoláltak. A környezetével anyagtranszportban lévő helyiségek levegőegyensúlya többféle, nem is mindig determinisztikus hatás eredőjeként kialakuló nyomáskülönbség alapján alakul ki. A nyílászárók tömörtelenségein áthatolt légáram spontán vagy szervezeten keresztül. A zárt terek belsőtérszerű nyomása sem állandó de kis elhanyagolással csak helyfüggőnek tekinthető.

A légáramot beindító nyomáskülönbségek külső-téri eleme nemcsak a hőmérsékletkülönbségből következő gravitációs nyomás, de a szélből származó, az aerodinamikai jellemzőket is magába foglaló dinamikus nyomás is. A mértékadó nyomáskülönbség a fentiekből származó nyomások szuperpozíciójaként értelmezhető. Az ily módon, természetes úton kialakuló anyagforgalom egy időben hasznos és fölösleges is. Hasznossága abban nyilvánul meg, hogy az emberi tartózkodás céljából létesített zárt tér állagmegóvását és a higiénés követelmények kielégítését egy időben szolgálja. Annyiban azonban feltétlenül káros, hogy az anyagtranszport energiátanszporttal jár együtt, azaz nő a helyiség fűtési hőigénye. Lakóépületek esetében elsősorban a következő szellőztető rendszerek jöhetnek szóba:

- tisztán gravitációs,
- elszívó gépi szellőzés,
- kiegyenlített gépi szellőzés.

Dr. Majoros Imre — Budapesti Műszaki Egyetem I. Épületgépészeti Tanszék

Dr. Uhri László — Fővárosi Távfűtő Művek

Dr. Garbai László — Ipari Minisztérium

A felsorolás sorrendjében a berendezések egyre igényesebbek, azonban minden költségelemük (beruházási, üzemeltetési és karbantartási) sajnos szintén ebben a sorrendben növekszik.

A magyarországi távfűtéses lakóépületek esetében szinte kizárólagosan az elszívó gépi szellőztető berendezés üzemel. A szellőzés intenzitásának meghatározására régóta normatívák alakultak ki, a tervezést erre az értékre igyekeznek elvégezni. A normatívák nehezen, vagy alig tarthatók az előzőekben vázolt nyomásviszonyok esetén elszívó szellőztetéssel. Ebből is következik a lakóépületek szellőztetési kérdéseinek összetettsége. Más oldalról megközelítve a kérdést felmerül, hogy ez csak Budapesten több, mint 220 000 lakást érint.

Tanszékünk a Fővárosi Távfűtő Művek megbízására e tárgy körben átfogó kutatási munkát végzett. Vizsgálataink célkitűzése volt a távfűtött lakóépületek elszívó gépi és természetes szellőzése egymásra hatásának, együttműködésének vizsgálata; a kérdéskör komplex felülvizsgálata épület-energetikai, funkcionális és épületállagvédelmi szempontból. Javaslatot dolgoztunk ki a gépi szellőztetéssel elvesztett energia csökkentésére úgy, hogy az épületben a hőérzeti feltételek és az épület állaga ne romoljon, az épületben páralecsapódás ne keletkezzen.

Vizsgálatainkban nem foglalkoztunk a gépi szellőztető berendezés épületgépészeti, konstrukciós kérdéseivel. A gépészeti berendezéseket ezen vizsgálat keretében a szabványoknak, illetve a terveknek megfelelő technikai színvonalúnak tekintettük. Tanszékünk más kutatómunkája irányul a szellőztető berendezés gépészeti továbbfejlesztésére. A későbbiekben, más tanszéki kutatások befejezése után nyílik mód gépészetileg a kor színvonalán üzemelő berendezések és a meglévő épületek épületfizikai sajátosságainak összeillesztésére.

2. Nedvességterhelés a lakásokban

Mint a szakterületünk egyéb helyein, itt is probléma a nedvességterhelés tervezési értékeinek megállapítása, hiszen olyan dologról van szó, amely időben erőteljesen változik, nagyban függ a lakók számától, életmódjától, szokásaitól. Egy-egy lakótérben lökészerűen igen nagy nedvességterhelés léphet fel. (Pl. fürdés, mosás, szárítás stb.) Nem szabad azonban megfedkezni arról, hogy ez a nagymennyiségű nedvesség — éppen a lökészerű jellege miatt — nem mindig káros. Sok múlik etérén a határolószerkezet nedvességgel szembeni tűrőképességén, azon, hogy milyen gyorsan tudja elvezetni a nedvességet a szárazabb területek felé.

A belső felületek állagvédelmi szempontból mindenképpen káros foltosodásával, illetve a penészképződés kockázatával akkor kell számolnunk, amikor a belső felületképző rétegben, annak kapil-

lárisaiban kondenzáció alakul ki. A kondenzáció önmagában azonban még nem elegendő veszélyforrás. A foltosodás és a penészképződés akkor játszódik le, amikor tartósan kevesebb a felületről a nedvességvándorlás, mint a kondenzáció. A használatos felületképző anyagok szorpciós tulajdonsága folytán „kvázi-kondenzáció” játszódik mindaddig le, ameddig a határolószervezet képes a lecsapódott nedvességet elszállítani. A probléma akkor kezdődik, mikor ez az egyensúly felborul.

Mikológiai kutatások megállapítása szerint a szobahőmérséklet közelében a $\varphi=75\%$ -os relatív nedvességtartalom a felülettől távoli légtérben már okozhat gombanövekedést. Ez a légnedvességtartalom az a veszélyes határ, amelynél a mindenhol jelenlévő gombaspórák felélénküléséhez azonban folyadékállapotú víz szükséges. A túlhevített, azaz telítetlen belsőtéri levegőből a nedvesség csak a telítési állapoton keresztül válhat ki. Számtalan tapasztalat bizonyítja azonban, hogy a penészesedés akkor is észlelhető, amikor a fal felületi hőmérséklete még biztonságosan meghaladja a belső levegő telítési hőmérsékletét. Utalunk itt például a belső válaszfalakon tapasztalható penészesedésre.

A fizikai törvényeket azonban itt sem kerüljük ki a lejátszódó jelenségek. A folyamat hátterében ilyenkor az ún. kapilláris kondenzáció áll. A kicsiny méretű kapillárisokban az anyagszerkezetből következőleg olyan nagy a görbületgradiens, amely már akkora lokális nyomásgradienst kelt, amely mintegy „kipótolja” a távoli tér túlhevítési nyomáshiányát az ugyanezen hőmérsékletre tartozó telítési nyomáshoz képest. A kondenzáció lejátszódhat tehát ilyen speciális esetekben is. Ne téveszszük azonban szem elől, hogy mind a kapillárisok mérete, mind az anyag szorpciós tulajdonsága anyagonként változik.

Nincs abban tehát semmi különlegesség, hogy a hagyományos téglamészhabarcs rendszerekben a „hagyományos fizika” működött. Akkor volt penészesedés, amikor a fal belső felületi hőmérséklete nem érte el a levegő telítési hőmérsékletét és ez az állapot tartósan fennállott. A hagyományos fal nagyon sok kondenzálódott vizet volt képes elvezetni, hisz közismerten nagy a szorpciós képessége.

Választott témánk szempontjából a lakóterek nedvességforgalma azért lényeges kérdés, mert egyébiránt a szellőztető rendszer feladata a kezelt nedvesség elvezetése. A feladat azzal nehezített, hogy a belsőtéri relatív nedvességtartalmat is szűk sávban kell tartani. Az alsó korlát a kb. $\varphi=50\%$ -os humán komfort követelmény, míg a felső korlát a fentiekben taglalt $\varphi=75\%$ -os penészesedési határ.

3. Az épületek levegőforgalma

A többszintes, cellás épületek levegőforgalmánál meghatározó jellegű az a körülmény, hogy — a nyitott lépcsőházas épületektől eltekintve — egy épületen belül fordulnak elő szintmagasságú terek (pl. lakások, irodák) és épületmagasságú terek (pl. liftakna, lépcsőház), amelyek között légáteresz-

tó elemek (pl. előszobaajtók), azaz áramlástani kapcsolatok vannak.

A hőmérsékletkülönbségből származó felhajtóerő a magassággal arányos, ezért a különböző magasságú terekre különböző nagyságú felhajtóerő adódik. Az ebből eredő nyomáskülönbség következtében légáramok alakulnak ki a szintmagasságú és az épületmagasságú terek között is.

A szél hatására kialakuló nyomáskülönbség az épületben elsősorban keresztirányú légáramokat kelt. Megjegyzendő, hogy magasabb épületek esetében a környező terep érdességétől is függően önmagában a szél is előidézhethet függőleges áramlásokat azáltal, hogy a torlónyomás mind a szél felőli, mind a szél alatti oldalon a magasság függvényében változik.

A kiegészítő elszívó szellőzés hatása — jól be szabályozott és jól üzemeltetett rendszerek esetében — elvileg független az időjárástól. Valós körülmények között azonban — az elszívó ventilátorok jelleggörbe szerinti működése, a kifúvónyílás körüli nyomásviszonyok változása miatt — a gépi szellőzés légtömegárama is ingadozik.

Miután a cellás épület helyiségeit (a kevés és nem is jellemző kivételtől eltekintve) az épületen belül légáteresztő elemek (belső nyílászárók) kötik össze, az épületen belül számos, többszörösen is hurkolt áramkör alakulhat ki. A levegő mozgása ezeken az áramkörökön, a felsorolt három hatás szuperponálásából származó nyomáseloszlás függvényében realizálódik.

A levegőforgalom számításának módjai

Mivel az alkalmazott fizikai törvények közismertek, itt most csak röviden felidézzük azokat.

Ennek megfelelően a gravitációs nyomáseloszlást, illetve a légáramokat a túlhőmérsékletből fakadó sűrűségkülönbség alapján vettük számításba.

A szél — mint azt fentebb már említettük — „átfújja” a hézagos épületeket. A kialakuló légáramokat ez esetben is a nyomáskülönbségek határozzák meg. Az épület az áramlásba helyezett testek máshonnan már jól ismert törvényszerűségei szerint viselkedik. Ez azt jelenti, hogy a szél felőli oldalon az áramlás lefékeződik, a dinamikus nyomás adódik a szél alatti oldal statikus, tehát az áramlástól független értékéhez. Ez az elméleti számérték módosul a valóságot modellező, a burkolófelület mentén változó ún. aerodinamikai szorzótényezővel. Ezt az aerodinamikai tényezőt sok szempont mérlegelésével csak hosszú és alapos kísérletsorozat alapján lehet meghatározni. Magyarországon ezt a kísérletsorozatot az Építéstudományi Intézet végezte és végzi szinte folyamatosan. Modellünkénél a publikált adatsorukat vettük számításba. Mivel a nyomáseloszlás determinálja a légáramokat, a lehető pontos kiszámíthatóság érdekében a meteorológiai felmérések alapján a szél függőleges sebességprofilját is tekintetbe vettük. Tízszintes, tehát közelítőleg 30 m magasságú épületek esetében ez nem a túlhasznált pontosság kérdése.

A nyomáskép a gépi szellőztetés esetünkben az elszívó szellőztetés hatásával tehető teljessé.

4. A szimuláció számítógépi modellje

Az épület egészét, illetve annak valós légforgalmát magába foglaló eljárás ismertetése előtt tegyük a következő megfontolásokat. Ha a helyiségbe a gépi szellőztetéssel befűvott és elszívott légtömeg-áram megegyezik, akkor a gépi szellőztetés a helyiség nyomásviszonyait nem változtatja meg. Ha azonban a befűjt és elszívott légtömegáram nem egyenlő (szélsőséges esetben, ha a helyiséget vagy csak befűvő, vagy csak elszívó szellőztetéssel látják el), akkor a helyiség és a környezete közötti nyomáskülönbség megváltozik. Ha például a helyiség és környezete között csak egyetlen légáteresztő elem (nyílás) van, amelynek légáteresztési tényezője „ a ”, réshossza „ l ”, légáteresztő képessége ($a \cdot l$), a befűjt és az elszívott térfogatáram közötti különbség $\dot{V}$, akkor a — kontinuitás törvénye értelmében — a helyiség és a környezete között a légáteresztő elemen (nyíláson) át ugyancsak $\dot{V}$ nagyságú térfogatáram jön létre, amely a helyiség „mérleghiányát” kiegyenlíti. Ez a térfogatáram a helyiség és a környezete közötti ($p_b - p_k$) nyomáskülönbség hatására keletkezik és annál nagyobb, minél nagyobb a légáteresztő elem ($l \cdot a$) légáteresztő képessége:

$$\dot{V} = (l \cdot a)(p_b - p_k)$$

Az összefüggésből:

$$p_b - p_k = \frac{\dot{V}}{l \cdot a}$$

Ha a helyiségnek több légáteresztő eleme van, amelyek légáteresztő képessége elemenként ($l_j \cdot a_j$) és ezek esetleg különböző p_j nyomású terekhez csatlakoznak, akkor a helyiségben átáramló levegő térfogatárama:

$$\dot{V}_j = (l \cdot a_j)(p_i - p_j)^{n_j}$$

Ez utóbbi összefüggésből a helyiség és a környezete közötti nyomáskülönbség explicit módon csak akkor fejezhető ki, ha az n_j hatványkitevő értéke $n_j = 1$. Ha ez a feltétel nem teljesül (a hidraulika törvényszerűségei szerint ez természetes módon nem teljesül!), továbbá ha az egyes légáteresztő elemek ellenállása különböző n_j hatványkitevő szerint változik, akkor a helyiségekben kialakuló nyomás explicit módon az összefüggésből nem fejezhető ki.

Van ezeken túlmenően még egy lényeges szempont: Ha a befűvő- illetve elszívóventilátorok által létrehozott nyomáskülönbségek, továbbá a légcsatornahálózat ellenállása elvben változatlan marad miközben a helyiségben a felhajtóerő vagy a szél nyomása megváltozik, akkor változik a befűjt, illetve az elszívott térfogatáram is: ha a helyiségben a nyomás nő, a befűvott térfogatáram csökken, az elszívott nő. Ez a gyakorlatban azzal a következménnyel jár, hogyha a térfogatáramokat viszonylag állandó értéken kívánjuk tartani, akkor nagy befűvési (elszívási) nyomáskülönbséggel üzemelő rendszert kell kialakítani. Ha ugyanis a befűvési (elszívási) nyomáskülönbség nagy, a helyiségben kialakuló gravitációs vagy a szél által okozott nyomásváltozás a szellőztető rendszer üzemét nem érinti lényegesen.

Fentiek figyelembevételével szerkesztettük meg az épület teljes légforgalmát számító (szimuláló) matematikai modellt. Feladatunkat egy elosztott paraméterű hidraulikai hálózat modellezése képezte. Elvileg hasonló feladatok megoldása, topológiai leírása a gráfelmélet eszközeivel elvégezhető. Végig elemezve a különféle megoldások nyújtotta előnyöket és hátrányokat, a számítástechnikailag időigényesebb, de feltétlen gyors és biztos konvergenciát magában rejtő Almásy-féle módszert választottuk. Természetszerűleg ezen rövid szakmai közlemény keretében technikai részletek iránta kitérni nincs módunk. Mind az indoklás, mind a számítási módszer, mind annak algoritmus a tanszékünkön megtalálható.

5. Helyszíni mérési lehetőségek

A világnak minden olyan területén, ahol ezzel a kérdéssel a súlyának megfelelően foglalkoznak, valamilyen helyszíni mérési technikát alkalmaznak. Például a skandináv országokban az épületek műszaki átvételi procedúrájának része a teljes épület infiltrációjának minősítése. Erre a célra az ún. „állandó nyomásos” módszert alkalmazzák. Ennek az a lényege, hogy az összes nyílászárót zárva tartva a bejárati ajtón, egy mérőmaszkon keresztül egy ventilátor segítségével levegőt nyomnak be. A levegő térfogatáramát szabályozzák oly módon, hogy az épületben a túlnyomás egy névleges értékű — általában 50 Pa nagyságú — legyen. Az eljárás során mért légtérfogatáram egyenlő az épület egészére vett, globális infiltrációval. Az elmondottakból egyértelmű, hogy ez valójában exfiltráció. Ez az eljárás több országban, így például Svédországban is szabványosított módszer.

A másik, az általunk is használt mérési eljárás az ún. „nyomjelzőgáz” mérés-technika. Ennek a módszernek az a lényege, hogy az egészségre ártalmatlan, hordozható műszerrel jól detektálható gázt engedünk a mérendő helyiségbe és ennek az ún. nyomjelző gáznak mérjük a hígulását. Ez praktikus azt jelenti, hogy mérjük a helyiségbe engedett gáz koncentrációjának időbeni változását. Ez a változás értelemszerűen csökkenést jelent, hisz a mérőgáz megválasztásakor arra is tekintettel kell lenni, hogy a távoli környezetben annak koncentrációja elenyészően kicsiny legyen. Ez teszi ugyanis lehetővé, hogy a helyiségben keresztül áramolt, infiltrálódó levegő kellően képes legyen a belső tér hígítására. A koncentráció-idő regisztrátum jellegében exponenciális tulajdonságokat mutat. A szokványos regressziós eljárással a regisztrátum exponenciális függvénné alakítható. Az ily módon kapott függvény konstansai szerepelnek az infiltráció alábbi definiáló egyenletében:

$$C_i = C_h + \frac{f_i}{\bar{V}_i} \left[1 - \exp \left(- \frac{\bar{V}_i}{V_i} t \right) + C_{i,0} \exp \left(- \frac{\bar{V}_i}{V_i} t \right) \right],$$

ahol:

- C_i — a nyomjelzőgáz koncentrációja a helyiségben a „t” időpontban;
 C_h — a nyomjelzőgáz „hátterkoncentrációja” (gyakorlatilag zérus);
 f_i — a helyiségbe juttatott nyomjelzőgáz mennyisége;
 $\dot{V}_i$ — a helyiség légcseréje;
 V_i — a helyiség térfogata;
 $C_{i,0}$ — a nyomjelzőgáz koncentrációja a $t=0$ kezdő időpillanatban;
 $\frac{\dot{V}_i}{V_i}$ — a helyiség n_i légcsereszám;
 t — a mérés kezdetétől eltelt idő.

A fenti egyenlet segítségével a légcseré (n_i) értéke egyszerűen határozható meg.

6. Helyszíni méréseink

Az infiltrációs kérdések tisztázására kísérleti épületen folyamatos és szakaszos méréseket végeztünk. Az épületen folyamatosan regisztráltuk a meteorológiai, a fűtéstechnikai; a belső léghőmérsékleti adatokat, valamint esetenként megállapítottuk a lakott épület egyes lakótereinek pillanatnyi légcseréjét.

A kísérleti épület kijelölésénél igyekeztünk tipikus épületet találni, szerettük volna elkerülni a szélsőségeket. Alapos mérlegelés és a definíciók pontos tisztázása után azonban kiderült, hogy nem létezik „tipikus” épület. A kérdésfeltevés ilyen megközelítésben téves. Bennük élve, köztük járva tűnhetnek monotonnak lakótelepeink, azonban az infiltrációs és a hőtechnikai jellemzők szerint az épületek alaprajzi, telepítési és származási szempontból változatosak, nincs elég közös jellemzőjük a megfelelő tipizáláshoz. A jellemzők nagy számát figyelembe véve jutottunk arra a következtetésre, hogy a szintszámok szempontjából a tíz lakószintes házgyári épület tekinthető leginkább tipikusnak. Választásunk végülis Budapesten a Gazdagréti-lakótelep 1020-as jelű épületére, a Regös u. 8. számú lakóépületre esett. Az épület 11 szintes, tíz lakószintes sorház része, annak délnyugati végszekciója. Ebben a szekcióban 33 lakás van. Az épületet a Győr Megyei Állami Építőipari Vállalat a saját házgyári termékeiből építette 1984-ben. A terveket a Győri Tervező Vállalat

1981-ben készítette. Tekintettel arra, hogy az épület általános alaprajza elég bonyolult, ezt helyettesítendő az információk pontosítása végett az 1. ábrán a lakások kapcsolódásának sémáját közöljük. A szintenkénti lakásokat „A”, „B” és „C” megkülönböztető jelzéssel láttuk el.

Az épület szellőzése magyarországi társai tömegéhez hasonlóan elszívó gépi szellőzés. A függőleges szellőzővezetéseket a WC-k mögötti szerelőaknában vezetik. Lakásonként közös elszívása van a WC-nek és fürdőszobának, elkülönítve szívják a konyha légterét. A függőleges légcatornákat az épület tetején egyesítik. A három lakás-felszálló rendszer közösítve egy, TV—3 típusú, FÜTŐBER gyártmányú tetőszellőző ventilátor szívócsomájához csatlakozik. A ventilátor jellemző térfogatárama $\dot{V}=1900 \text{ m}^3/\text{h}$, a motor teljesítménye $P=0,25 \text{ kW}$, fordulatszáma $n=700 \text{ f/p}$. E helyen újra lényegesnek ítéltük meg leszögezni, hogy a szellőző rendszert és annak hidraulikai be-szabályozottságát nem vizsgáltuk. Mind a méréseknél, mind a számítások indításánál a rendszert beszabályozottnak tekintettük. Úgy vettük, hogy a szellőztető berendezés a méretezési $t_k=-15^\circ\text{C}$ állapotban a műszaki előírásokban rögzített $\dot{V}=50 \text{ m}^3/\text{h}$ térfogatáramú levegőt szív el lakásonként.

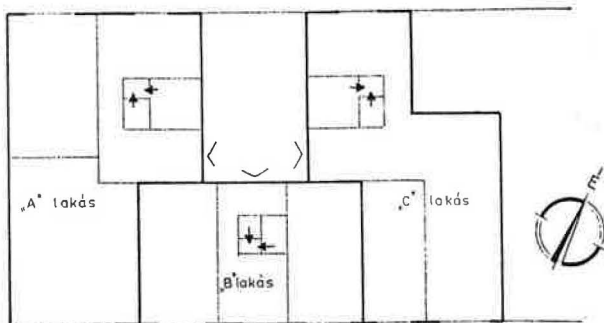
Folyamatosan regisztrált adatok

Látszatra a lakóteri belső hőmérsékletek mérésével csak a beépített fűtéstechnikai szabályozók működését ellenőrizzük, azonban tanszékünkön szerzett nagyszámú mérési és számítástechnikai tapasztalat szerint ez csak hosszabb időszakra és a szoba átlaghőmérsékletére igaz. A levegő hőmérséklete rövid időszakra eltérhet ettől a lassan változó értéktől. Ennek a jelenségnek a hátterében a határoló falak és berendezési tárgyak igen nagy, a levegőhöz képest nagyságrendekkel nagyobb hőkapacitása, valamint a rossz hőátadási viszonyok állnak. A beáramló hideg külső levegő ily módon képes egy kismérvű és gyors lefutású hőmérséklet-változást előidézni. Quantitativ ily módon a légcseré „kimutatható”. Mint látni fogjuk a szél sebességének és irányának egyidejű regisztrálásával ez valóban be is következett.

Számítógéppel vezérelt mérésadatgyűjtés

Nem a mindenáron erőltetett „korszerűség”, hanem a megbízhatóság és a szükséges és elégséges információ mennyisége követelte meg egy új mérési eljárás alkalmazását.

A hőmérsékletérzékelők Pt 100-as típusúak voltak, a szél sebességének és irányának érzékelésére megbízható, hitelesített érzékelőket dolgoztunk ki. A hagyományostól eltérő módszer az adatgyűjtés és regisztrálás módjában ismerhető fel leginkább. Célkészüléket, újfajta mérésadatgyűjtőt fejlesztettünk ki a többféle jel fogadására és az ellenálláshőmérők meghajtására. A geometriai távolságkülönbségekből esetlegesen adódó hibákat ún. négyvezetékes mérési elrendezéssel minimalizáltuk, majd ezt impulzusüzemben végrehajtott ellenállásidentifikációval teljesen ki is küszöböltük. A mérésadatgyűjtő interfészként mikro-



1. ábra. A lakások elvi elrendezése

számítógéphez csatlakozott, amely vezérelte a mérést és regisztrálta az adatokat. A vezérlő-program kialakításakor törekedtünk az adathalmaz minimalizálására. Egyenletes időközönként végzett regisztrálás kezelhetetlenül és áttekinthetetlenül sok adatot eredményez, az adatfeldolgozó program válik ezáltal bonyolulttá. Ennek szem előtt tartásával úgy jártunk el, hogy a leolvasást viszonylag sűrű, egyenletes időközönként végeztük, az adatok rögzítését azonban logikai feltételhez kötöttük. Az adatrögzítés akkor történt meg, amikor az előre definiált tartományból bármelyik adat kilépett. Ez esetben az összes csatornán regisztráltuk az adatokat. 60 napon keresztül folyamatosan történt az adatgyűjtés. A fentiek szerint tömörítettük és sűrítettük az adatokat, csak a változásra koncentráltunk; a „háló” sűrűségét mindig a „halhoz” igazítottuk. Ennek ellenére 33208 adat került mágneslemezre.

Helyszíni mérések a nyomjelzőgázás technikával

Ebben a vonatkozásban alapvető, hogy tudunk-e a helyiségben gyorsan elkeverni és keverékben tartani olyan gázt, amelyet megfelelő biztonsággal és ismétlési pontossággal detektálhatunk. Így látható, hogy a kérdés megoldását a megfelelő műszer megtalálása viheti előre.

A nyugati országokban hosszú évek óta meglévő OSHA egészségügyi ajánlások ellenőrző méréseinek sztenderd készüléke, a MIRAN 104 típusú infravörös gázelemző erre a célra tökéletesen megfelelt. Ez a készülék olyan mértékű szellemi és műszaki fejlesztési háttérrel bír, hogy kezelése igen biztonságosan, minden különösebb betanulási procedura nélkül elvégezhető.

A nyomjelzőgáz kiválasztásánál mind a hozzáférhetőségi, mind az egészségvédelmi, mind a MIRAN 104 gázelemzővel való detektálhatósági szempontokra tekintettel kellett lennünk. Fenti szempontoknak eleget téve N_2O (dinitrogén-oxid) gázt alkalmaztunk, amelyet mellesleg háztartásainkban habszifonpatronként használunk elterjedten. Lakásonként ebből egy patronát a légtérbe juttatva értük el a kb. 20 ppm koncentrációt. Az OSHA ajánlások akár 24 órás tartóssággal is engedélyezik a 30 ppm N_2O koncentrációt. A gázt a helyiségbe speciális diffúziós fejen keresztül engedjük. Ez az USA-ban a nagy irodaházak automatikus tűzoltórendszereinél alkalmazott fejhez hasonló.

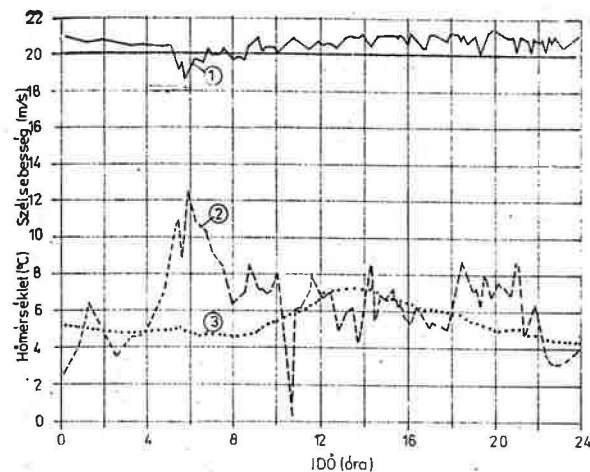
Méréseinknél a gázelemzőt analitikus kimenettel üzemeltettük. A regisztrálást nagy pontosságú X-T íróval végeztük.

7. Mért és számított eredmények

A dolog természetéből fakadóan ehelyen csak betekintést nyújthatunk a mért és a számított eredményeinkbe.

Jól nyomonkövethető a 2. és a 3. ábrán a külső hőmérséklet viszonylagos állandósága mellett a szélsébség és a belső léghőmérséklet együttmozgása.

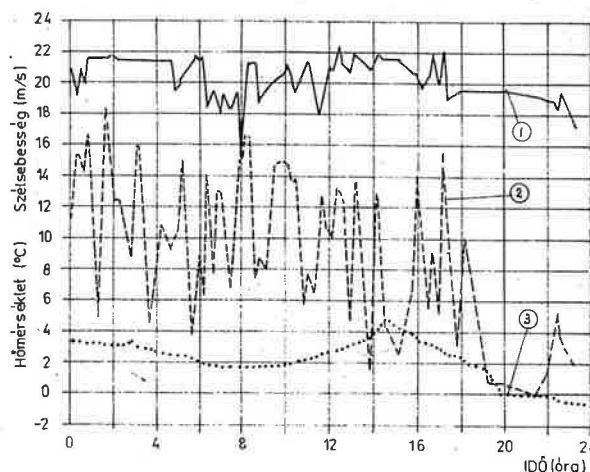
A helyi infiltrációs mérésekkel korrigáltuk a számítógépes programunkat, melyet nagyon sok esetre lefuttatunk. A futási tapasztalatok jellem-



2. ábra. A hőmérséklet és a szélsébség változása

Január 29. Földszíni 2.

1 szobahőmérséklet, 2 szélsébség, 3 külső hőmérséklet



3. ábra. A hőmérséklet és a szélsébség változása

Február 18. IX. emelet 30.

Jelölések a 2. ábra szerint

zésére mutatjuk be a meglehetősen gyakori meteorológiai szituációban végzett számításokat rendre az 1., 2. és 3. táblázaton. Leolvasható, hogy a tényleges levegőforgalom sem nem egyenletes, sem nem „névleges”.

1. táblázat

„A” lakás

A külső léghőmérséklet: 0 (°C)
A 20 méteren mért szélsébség: 5 (m/s)
Szélirány fokban: 90 fok

	el- szívás	Térfogatáramok (m³/h)			Hőáram (kW)
		szoba	konyha	1. ház	
1. szint:	58,3	15,490	11,196	31,587	0,321
2. szint:	57,6	15,136	10,503	31,948	0,313
3. szint:	56,9	14,690	9,841	32,322	0,304
4. szint:	56,1	14,203	9,192	32,702	0,296
5. szint:	55,3	13,695	8,551	33,085	0,287
6. szint:	54,6	13,172	7,915	33,470	0,278
7. szint:	53,8	12,639	7,282	33,856	0,269
8. szint:	53,0	12,099	6,652	34,243	0,260
9. szint:	52,2	11,554	6,025	34,630	0,251
10. szint:	51,4	11,004	5,399	35,018	0,242
Lépcsőház:				332,9	1,913
				Összesen:	4,733

2. táblázat

A külső léghőmérséklet: 0 (°C)
A 20 méteren mért szélesség: 5 (m/s)
Szélirány fokban: 90 fok

	el- szívás	Térfogatáramok (m³/h)	Hőáram (kW)
		szoba konyha 1. ház	
1. szint:	60,5	15,987 13,903 30,563	0,345
2. szint:	60,1	15,658 13,617 30,783	0,341
3. szint:	59,5	15,201 13,220 31,071	0,334
4. szint:	58,9	14,688 12,774 31,390	0,327
5. szint:	58,2	14,142 12,299 31,727	0,319
6. szint:	57,5	13,574 11,805 32,076	0,311
7. szint:	56,7	12,990 11,297 32,434	0,303
8. szint:	56,0	12,394 10,779 32,798	0,294
9. szint:	55,2	11,789 10,252 33,167	0,285
10. szint:	54,4	11,176 9,719 33,540	0,276
Lépcsőház:			1,836
		Összesen:	4,972

3. táblázat

„C” lakás
A külső léghőmérséklet: 0 (°C)
A 20 méteren mért szélesség: 5 (m/s)
Szélirány fokban: 90 fok

	el- szívás	Térfogatáramok (m³/h)	Hőáram (kW)
		szoba konyha 1. ház	
1. szint:	58,8	16,155 11,169 31,429	0,326
2. szint:	60,2	18,816 10,356 31,073	0,341
3. szint:	62,0	21,844 9,554 30,820	0,359
4. szint:	64,0	25,133 8,753 30,102	0,379
5. szint:	66,1	28,628 7,951 29,532	0,400
6. szint:	68,4	32,194 7,147 28,920	0,423
7. szint:	70,7	36,110 6,340 28,272	0,447
8. szint:	73,2	40,066 5,530 27,591	0,472
9. szint:	75,7	44,120 4,718 26,882	0,498
10. szint:	78,3	48,292 3,902 26,147	0,525
Lépcsőház:			1,670
		Összesen:	5,839

8. Összefoglalás

A Fővárosi Távfűtő Művek megbízása alapján végeztünk el egy átfogó, az infiltráció energetikai vonzatát érintő vizsgálatsorozatot. Egyidőben végeztük el a kiválasztott épület számítógépi szimulációját és annak mérésel történő „belővését”. A mérési eredmények birtokában alakítottuk át a számítógépes programot.

A mérési vizsgálatot két irányban végeztük. Számítógépes adatgyűjtő rendszerrel telepítettünk rá egy 10+1 szintes lakóépületre, amelyen folytonos és időszakos adatgyűjtést végeztünk.

Gyűjtöttük:

- az épület különféle szintjein, 7 lakásban a belső léghőmérsékletet;
- a külső hőmérsékletet;
- az épület tetején mérhető szélességet és szélirányt;
- a fűtési víz hőmérsékleteket.

Alkalmaztunk továbbá a tanszéken kifejlesztett eljárást, amely a nemzetközi szakmai gyakorlatban is ismert ún. nyomjelzőgázos technikán alapul.

A mérésekkel alátámasztott vizsgálataink végkövetkeztetései:

- Jelen kialakításában a lakóépületek elszívó szellőztetése nem láthatja el megfelelően feladatát.

Ennek legfontosabb okai:

- az épületszerkezetek légáteresztése nagyon változatos és szélsőséges;
- az épületen belül a légforgalom nincs kellően akadályozva, a közös lépcsőházból a nagy légáteresztésű bejárati ajtón keresztül a lakásokba jut a párás és szennyezett levegő;
- az állagromlást a folyamatosan üzemelő elszívó ventilátorokkal sem lehet mindig megakadályozni, hisz a kis össznyomású ventilátorok a jórészt besabályozatlan légcsatornarendszerrel együtt nagyon érzékenyek az épület változó nyomásviszonyaira.
- Felújítások alkalmával a szellőztető rendszert három szintenként zónázni érdemes;
- nagyobb teljesítményű és össznyomású ventilátorokat célszerű beépíteni;
- a légbeszívó szelepek konstrukcióját célszerű megváltoztatni, hogy azok nagyobb hidraulikai ellenállásúak és ezáltal hidraulikailag jobban besabályozhatók legyenek;
- a légtechnikai rendszert hidraulikailag be kell szabályozni;
- az elszívó ventilátorokat szakaszosan, program szerint vezérelve szabad csak üzemeltetni;
- az épületszerkezeti felújításoknál a bejárati ajtók légáteresztését legalább légszigeteléssel csökkenteni kell.

Fentiek, akár tárcaközi szintű megvalósításával csökkenthető a csak fővárosi viszonylatban évente felmerülő legalább 63 mFt villamos energia és a többlet hőigényből származó legalább 210 mFt energiaköltség. Az épületeink rossz állapota ugyanis már a mai árakon számítva is ezzel jár. Mindennek van ára, amit előbb-utóbb úgyis ki kell fizetni. Ha nem csinálunk semmit, az is pénzbe kerül.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Almásy B.: Csővezetékhalozatok számítása elektronikus digitális számítógépen. Doktori értekezés, Bp. 1966.
- [2] Busacker—Saaty: Véges gráfok és hálózatok. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1969.
- [3] Dietze, L.: Freie Lüftung von Industriegebäuden Berlin, 1988. VEB Verlag.
- [4] Fekete I.: Épületfizika kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, 1985.
- [5] Ivjanskij—Parlinova: Lakóépületek szellőztéstechnikai megoldásai a Szovjetunióban. ÉTE Konferencia, Budapest 1988.
- [6] Kornwall, J.: Airtightness — measurements and measurement methods. Swedish Council for Building Research. Stockholm, 1980.
- [7] Luoma M.: Lakóépületek szellőztetési megoldásai. ÉTE Konferencia, Budapest, 1988.
- [8] Majoros I.: Épületek légeseréjének mérése. Épületgépészet, 1983.
- [9] Majoros I.—Menyhárt J.: Eljárás a fűtött épületek hőegyensúlyát befolyásoló légcseré (infiltráció) mérés útján történő meghatározására. Találmányi bejelentés OTH T/32431/83.
- [10] Zöld A.: A lakások szükséges légcseréje és szellőzési hőigénye. ÉTE Konferencia, Budapest, 1988.
- [11] Walker, R. R.: Evaluation of a Simple Technique for Measuring Infiltration Rates. HI—85—40 N°4.