

Bírálat

Kalmár Ferenc „Optimális lokális mikrolíma kialakítása épületekben váltakozó irányú légáramokkal” című MTA doktori értekezéséről

A témaválasztásról

Társadalmunk életmódja, ennek következtében lakó- és munkakörülményei egyre nagyobb arányú belső terekben töltött időszakot vozanak magukkal. Az ennek következtében fokozatosan növekvő épületállomány energetikai (magas fosszilis forrás fogyasztás), komfortbeli (szinte kizárólag csak a hő- és légminőség komfort figyelembe vétele) és egészségügyi (pl. Sick Building Syndrome) igényei ugyanakkor még nem megoldott feladatként állnak előttünk. A nemzetközi fenntartható építőipari kutatási és fejlesztési szektor legújabb vizsgálatai az épületenergetika területén kivívott első eredményeikét és további célkitűzéseiket maguk mögött hagyva, a lényegesen fontosabb komfort témakör komplexebb értelmezésére valamint az ezzel szorosan összefüggő egészséges és a munkahatékonyságot növelő belső terek, épületek kialakítására kezdenek fókuszálni.

1

Kalmár Ferenc ezen aktuális tématerületen belül dolgozta ki kutatási 'portfólióját', ezen belül doktori disszertációját. A komfort tematika mellett ugyanakkor fontos kiemelni, hogy az épületenergetikai szabályozás nemzetközi szinten sem foglalkozik megfelelő mértékben az épületek nyári viselkedésével, a hűtési energetikájával, - anél inkább viszont a téli üzemeltetési szezon folyamán az épületburok hőátbocsátási tényezőjének javításával. Mindez iroda és középületekben fokozott termikus diszkomfortot, megnövekedett hűtési energiaigényt, valamint a hűtéstechikához jellemzően társuló magas primer energiafogyasztást, környezetkárosító (LCA) hatást vonz magával. Jelen dolgozat a komfortvizsgálatok folyamán az üvegezett helyiségek nyári üzemidőszakára koncentrál, mely az említett energetikai háttér miatt további dicséretet érdemel.

Az értekezés célkitűzése, az egyéni hőérzeti igények lehetőleg optimális kielégítése alacsony energiafelhasználás mellett, az optimális belső tér és épület, továbbá épületgépészeti rendszer vízióját vetíti előre.

Az összes tudományos közlemények hazai és nemzetközi idézettsége 424 db (<https://doktori.hu>); a jelen munkához közvetlenül kapcsolódó publikációk száma összesen 20, melyek között egy saját szabadalom is szerepel. A folyóiratok színvonala, az alkalmazott kutatási módszerek, számítások és (mérés)technológiák messzemenőleg kielégítik, sőt egyes esetekben (pl. saját szabadalmi fejlesztés) túltesznek a doktori eljárás követelményszintjén.

Formai szempontból történő értékelés

A dolgozat szerkezeti felépítése, a szöveg tagoltsága elősegíti a megértést, könnyen olvasható és értelmezhető. A képek, fotók, grafikonok és táblázatok szemléletesen kiegészítik, hangsúlyozzák a mondanivalót, jól értelmezhető és leolvasható minőségben lehetséges az eredmények, értékek ellenőrzése. A vizuális megjelenítés precíz. Az alább felsorolt kisebb konkrét illetve általános javítanivalóktól eltekintve a 115 oldalas dolgozat formai szempontból teljes mértékben megfelel az előírt követelményeknek.

2

A „Hőérzékelés” és az „Adaptáció vizsgálata...” című fejezetek mindketten ugyanazt a számozást kapták [3], mely elírás a megértést nem zavarja (ugyanakkor nyilvánvalóan javítandó). A szövegben több helyen is előfordul elírás, helyesírási hiba, mely ellenére az olvasás, megértés bár nem csorbul, a javítást azért javaslom elvégezni a doktori cselekmény lezárásáig.

A 10. oldalon az 1.1 ábra nem értelmezhető egyértelműen, de építészmérnök lévén részemről valószínű túl magas az elvárás a terek leírásával kapcsolatban (fogalmazhatok úgy is, hogy lényegi szinten az ábráról megérthető a laboratórium felépítése).

A 78. oldalon a 3. bekezdés első mondatából kimaradt a „nem” szó: „... amikor az ALTAIR berendezés **nem** működött ...”, - **ezzel a szóval helyesbítve**, mivel a mérés 1. szakasza az ALTAIR berendezés működtetése nélkül történt.

A 87. oldal legfelső sorában hiányzik az „irányú” szó: „... a váltakozó irányú légárammal ...”.

A 88. oldalon a 6.1 ábra címe két ábráról beszél, a dolgozatban viszont csak egy ábra szerepel.

Tartalmi szempontból történő értékelés

A szerző a bevezetés fejezetben tömören és lényegretörően felvezeti a témaválasztás és a kutatási cél indokait, egyben bemutatja a választott módszereket és alkalmazott kutatási infrastruktúrát (számítások, mérőműszerezettség, technikai háttér).

Lényegében a belső terek egyéni igényeknek megfelelő, magas szintű hő- és légminőség komfortjáról van szó, melyet jelenlegi épületgépészeti rendszerekkel a helyiségek minden egyes pontjában gyakorlatilag lehetetlenség előállítani – nos ha ezt a problémát kizárólag épületgépészeti megoldásokkal szándékozunk kezelni, akkor a gondolatmenet hibátlan. A jövő innovatív fenntartható épületeinek tekintetében itt megjegyzendő, hogy a komfort, illetve diszkomfort fizikai paramétereit közvetlenül maga az épület, illetve annak üzemeltetése, használata és közvetve a külső meteorológiai viszonyok okozzák. Ezeket egészíti ki a gépészeti rendszer működése, tehát az optimált épületklimatikai tervezéssel létrejött *épületet* és a térszervezést, épületburkot és belső szerkezeteket komplementer módon kiegészítő *gépészet* karöltve kellene, hogy minimálják az energiaigényt és maximálják a komfortot. Kalmár Ferenc dolgozatában ugyanakkor – helyes módon – a meglévő (régie és új), alacsony komfort és energetikai szinttel rendelkező épületállománnyal foglalkozik, ahol az 'utólagos segítségre, javításra' stratégiai jelentőséggel van szükség: a cél a gépészeti rendszer egy speciális módon történő megújításával történő „személyre szabott virtuális komfort-mikrotér” létrehozása. Ez az koncepció egyébként teljesen kompatibilis az említett innovatív jövőépítészeti törekvésekkel is, mivel pontosan ilyen, a terek adott pontjaiban különböző adaptív módon kialakítható építészettel és gépésuettel létrehozozott „komfort-buborékok” képesek az alacsony energia - magas komfort 'hányadost' létrehozni, mint épület performanciát.

A hideg termoreceptorok érzékenységet hasznosító kondicionálás a koncepció egyfajta 'csúcspontja' (kb. öt oldal terjedelemben a hőértékelés egyes fiziológiai aspektusaira is kitér a dolgozat), mely hipotézis a nagyobb légsebességekkel való konvektív hőleadást szándékozik hasznosítani. Ezzel a megoldással az épületet használók a melegebb környezetet elméletileg, szubjektív szinten hidegebbnek érzékelik, ugyanakkor a kutatás célkitűzése helyes módon az egyének komfort adaptációját valamint a huzatérzetet is figyelembe szándékozik venni.

Alkalmazott módszerek

A megválasztott kutatási módszerek *operatív hőmérséklet szimulációs számításokból* és különböző irodahelyiségek eltérő részeiben (pozícióiban) elvégzett *műszeres mérésekkel támogatott PMV meghatározásokból* állnak a tájolás, a hőtároló tömeg, a homlokzati üvegezési arány (magas üvegezési arány) és az árnyékolás figyelembe vételével. Az esetvizsgálatokban a várható és a mért értékek összevetésre kerülnek, majd a szerző kimutatja, hogy a nyári üzemidőszakban az U-érték gyakorlatilag nincs jelentős hatással az operatív hőmérsékletre, - ellentétben a g-értékkel, nagy üvegezési arány és kis hőtároló tömeg mellett (tipikus hátrányos irodaépület adottság).

Meleg környezetben a dolgozat vizsgálta a különböző éghajlattal rendelkező és gazdasági országokból származó egyének hőérzeti igényeit, a fiziológia adaptáció szemszögéből. A magyar nő, férfi, illetve török és nigériai férfi *alanyok segítségével végzett mért és szubjektív hőérzeti kísérletek* keretében kimutatta, hogy a különböző klíma- és gazdasági helyzettel rendelkező országokból származó egyének adaptációja különbözik egymástól, továbbá, az azonos országból származó, de különböző nemű egyének között is különbözik a hőérzet. Ez ellentmond Fanger megállapításával a különböző népcsoportok azonos hőérzeti adaptációjáról, mely felismerés forradalmi jelleggel újítja meg az eddigi komfortkutatásokat!

A „virtuális komfort buborék” kialakítását egy saját fejlesztésű személyi légvezetési rendszerrel (LVR) oldotta meg. Az ALTAIR nevű berendezés tesztelését a Debreceni Egyetem két különböző laboratóriumában végezte. A hipotézis szerint az arcon lévő nagyobb számú és az információt gyorsabban az agyba szállító hideg receptrok az intenzív légmozgást az arcon hűtőhatásként képesek regisztrálni, tehát gépi hűtés nélkül lehetséges a hűtőhatás elérése. Az első ALTAIR verzió élőalanyos méréssorozat igazolta, hogy alacsonyabb hőérzet érhető el meleg (28 °C ambiens hőmérsékletű) térben az új fejlesztésnek köszönhetően. Az arc különböző hőmérséklet-ingadozása meg képes akadályozni a nemkívánatos adaptációt, mely a fejlesztés hatását eliminálná bizonyos adaptációs időszak eltelte után. A második, továbbfejlesztett ALTAIR verzió egy gyakorlatban is alkalmazható irodai munkaállomás prototípusát valósította meg, integrált személyi LVR-el. Meleg környezetben bizonyítja a

váltakozó légáram irány segítségével a PMV és az AMV közötti különbségeket: a mért és számított PMV értéknél alacsonyabb AMV értékek születtek (a fiatal nők esetében). Ez a szubjektív hűtőhatást bizonyítja és energiamegtakarítási (hűtési energiafogyasztás csökkentés) potenciált vonz magával. Lényeges felismerés, hogy az egyének kora és neme különböző hőérzeteket indukál (ellentétben Fanger kijelentésével), továbbá, hogy az egymástól eltérő közérzeti értékeléseket az alanyok összekötik, pl. a hőérzet és a légminőség általában kapcsolt összérzetet generál.

Az utolsó élőalanyos mérési kísérletsorozat az aszimmetrikus sugárzás negatív hatását szándékozott semlegesíteni az ALTAIR technológiával, mely túlnyomórészt igazolásra is került. Jelentős AMV csökkenést ért el a kísérlet a PMV-hez képest, tehát a mért és számított hőérzet csökkenést (javulást) a valóságban az ALTAIR berendezés segítségével szignifikáns mértékben tovább csökkenti (szubjektív hűtőhatás, hőérzet), a légminőség szubjektív értékelését pedig növeli (kapcsolt szubjektív komfortérzet effektus). A huzathatás viszont diszkomfortot okozott, melyet a szerző az általa fejlesztett személyi légvezető betrendezés egyéni beállíthatóságával kompenzálhatónak ítél meg.

Tartalmi szempontból kiemelendő, hogy a vektor jellegű paraméter („periodikusan szabályozható frekvenciával változtatható irányú légsebesség”) bevezetése további újítást jelent a komfortelméleti kutatások terén, mivel a PMV számításban a légáram iránya nincs figyelembe véve.

Tézisek

Az 1. tézis az *operatív hőmérséklet szimulációs számítások* és különböző helyiség pozíciókban elvégzett *műszeres mérésekkel támogatott PMV meghatározások* eredményei alapján megállapítja, hogy üvegezett belső terekben nyáron „extrém forró lokális környezeti viszonyok alakulhatnak ki”, melyek javítása magas energiaigénnyel rendelkezik, a térbeli egyenlőtlenségek pedig nem küszöbölhetőek ki megfelelő mértékben. Ez a tézis még nem új tudástartalom, de lényeges kiindulópontként (érdekes számszerűsített részletekkel) szolgál a kísérletekhez, mintegy megalapozó hátteret nyújt a kutatási koncepciók összességének.

A 2. tézis az első *élőalanyos méréssorozatának esszenciája* jelenti az első új tudományos eredményt, mely 'frissíti' Fanger eddigi eredményét és következtetését: a „különböző termikus háttérrel rendelkező emberek fiziológiailag eltérő módon adaptálódnak”. Ez fűtési üzemidőszakban többlet energiafogyasztást, nyáron viszont hűtési energiafelhasználást képes megtakarítani. A korábbi kutatások sejtését a szubjektív hőérzet és szubjektív levegő minőség érzet közötti egyenes összefüggésről mintaszerűen igazolják az eredmények.

A 3. tézis az első *élőalanyos méréssorozat alapján* következtet. A gazdasági környezet meghatározza a preferált belső környezeti paramétereket, mégpedig rövid és hosszútávon eltérő módon. A rövidtávú adaptáció nem várt módon intenzíven érvényesült, az egyének a preferenciájukhoz képest viszonylag gyorsan adaptálódtak – ez új tudományos eredmény! Ezt kiegészítőleg a magasabb hőmérsékletek hosszútávú adaptációja érdekes hipotézisként került előrevetítésre.

A 4. tézis a doktori disszertáció leginnovatívabb, legértékesebb tétele: a váltakozó irányú légáramokkal működő és szubjektív hűtőhatást generáló, saját fejlesztésű AL-TAIR egyéni szellőző berendezés létrehozása és sikeres tesztelése. Az élőalanyos hőérzeti mérések eredményei sikeresen validálták a tézist, miszerint a berendezéssel kedvező alacsonyabb szubjektív hőérzeti hatást lehetséges meleg környezetben kieszközölni. A váltakozó irányoknak köszönhetően egy új tényezőt vezet be a szerző az épületfizikába: „a megfűvás irányát és periódikus változásának frekvenciáját”. Különböző élőalany csoportoktól függően 5,33 – 7,66-os faktorokkal kisebb hűtési villamos energiaigényt takarít meg a megoldás az adott kísérletsorozat peremfeltételein belül, - ezek a sokatígérő új eredmények jelentős hatékonyságnöveléssel kecsegtetnek jövőbeli kutatási lépésekhez, illetve épületekben való alkalmazáshoz.

Az 5. tézis az élőalanyos hőérzeti mérések segítségével Fanger megállapítását dönti meg, miszerint a nem és a kor nincs hatással a terek hőérzeti értékelésére. Ez a felismerés forradalmi jelleggel újítja meg az eddigi komfortkutatásokat! Egyébként a tézis részletei a 4. tézis új tudományos eredményeit támasztja alá, egészíti ki.

A 6. tézis a rövid és hosszúhullámú sugárzási asszimetria negatív hőérzeti hatásának csökkentését igazolja sikeresen az egyedi ALTAIR fejlesztéssel. A hőérzet hasonló módon javul, azzal a különbséggel, hogy az aszimmetrikus sugárzásból adódó diszkomfort az általános környezeti értékelésekben nem jelenik meg, ugyanakkor a külső szimulált 'szoláris sugárzás' oldala felől az alanyok a felületi hőmérsékletet gyakorlatilag túl melegnek értékelték.

Kritikai észrevételek

Egyes „Összefoglalás” és „Bevezetés” fejezetekben (pl. 3.6, 5.1, 6.1) a szerző ismét irodalom, illetve publikációk háttérinformációival segíti az adott fejezetben/témakörben a megértést. Bár a szándék jó, ugyanakkor az egész átfogó dolgozat megértéséhez véleményem szerint célszerű lenne a kapcsolódó és alátámasztó tudományos kutatási szakirodalom áttekintés mindegyik alkotóját a munka elején is bemutatni az átfogó megértés céljából.

Épületgépészeti szempontból a következő kijelentések nyilvánvalóan célratörőek a disszertáció témája tekintetében, ugyanakkor építészeti szempontból kiegészítésre szorúlnak. Fontos kiemelni, hogy jelen dolgozat **épületgépészeti szempontból** helyesen jár el, míg az alábbi, véleményem szerint elengedhetetlen **építészeti kiegészítések** pedig ráépülő, jövőbeli kutatásokra és innovációra irányulnak.

5. oldal:

„A zárt terekben, a végzett tevékenységhez illetszett környezeti paraméterek értékeit szinte kivétel nélkül gépészeti ... berendezésekkel biztosítják.”

6. oldal:

„A dinamikusan változó külső környezeti paraméterek hőérzetre gyakorolt hatását viszont hagyományos gépészeti rendszerekkel rendkívül nehéz úgy semlegesíteni, hogy a belső tér minden egyes pontjában az ott tartózkodó számára a kellemes hőérzetet biztosító környezeti paraméterek alakuljanak ki.”

„Még abban az esetben is, ha gépi szellőzést alkalmazunk, mely lehetővé teszi a szellőző levegő állapotjelzőinek a kívánt értékre való beállítását, valamint megfelelő

árnyékolást biztosítunk, mely kizárja a napsugárzás közvetlen hatását, a belső tér minden egyes pontjában azonos környezeti paraméterek kialakítása szinte lehetetlen feladat.”

7. oldal:

„Vannak továbbá olyan épületek, illetve terek, amelyekben a tartózkodási hely és pozitúra rögzített. Előfordul, hogy a benntartózkodók ruházattal kapcsolatos előírásokat is be kell tartaniuk. Ezekben az épületekben a megfelelő hőérzet kialakítása a tartózkodási zóna minden egyes pontjában hagyományos gépészeti rendszerekkel még nagy energiafogyasztás mellett sem lehetséges. Márpedig a hőérzeti diszkomfort és a rossz levegő minőség csökkenti a munka termelékenységét, sőt egészségügyi problémákhoz is vezethet.”

A dinamikus külső klimatikai behatásokra már 'késő' csupán épületgépészettel reagálni, nehéz kompenzálni a komfort értékektől való eltéréseket. Itt hiányzik az energetikai és komfort technikai kutatás építészeti szempontból történő kivitelezése, mely a belső tereket, mint klímazónákat szervezi össze, a tömegformálást és az épületburok szerkezeteket 'komponálja', igazítja oly módon, hogy a szélsőséges külső klimatikus hatásoknak már csak töredéke jelenkezik a belső térben, melyet a gépészet már lényegesen könnyebben kompenzálhat a komfortszintre. A kizárólag épületgépészettel kondicionált épületekben az SBS kialakulásának a veszélye magas, nehéz a komfortigényeket az épületben mindenhol és minden egyes egyén esetében teljes mértékben kielégíteni, továbbá az üzemeltetés nagyon magas energiafelhasználással rendelkezik. Összegezve tehát a jövő épületeiben nem az a célkitűzés, hogy minden komfortigényt a gépészeti rendszerrel legyen szükséges megoldani, csupán annak egy töredékét, mivel az épület komfort-klimatikai és energetikai szempontokat intenzív módon érvényesítő tervezése folyamán nem keletkezik nagymértékű komfort kompenzációs igény. Mindez az energiafelhasználás optimális (lehető legalacsonyabb) mértékét is magával vonzza.

100. oldal:

„... az energiafogyasztás és kibocsátás csökkentést célzó építészeti megoldások növelik az épületek túlzott nyári felmelegedésének és ezzel a termikus diszkomfortnak a kockázatát ...”

Alapos energetikai és klimatikai tervezés mellett ez a kijelentés de facto nem érvényes. Ugyanakkor valószínűsítem, hogy a szerző itt azokra a számos esetekre utal, amikor energetikai optimalizáció címszó alatt olyan tervezési megoldások születnek, melyek átgondolatlan megoldásaikkal (pl. túlzott méretű homlokzati üvegezési arány a téli szoláris sugárzásból adódó hőnyereségek hasznosítása céljából) a nyári üzemidőszakban nagyon magas hűtési energiafelhasználást okoznak.

Még egy kitekintő jellegű gondolat a rögzített munkahely, munkaállomás témájához. A legújabb nemzetközi irodaépítészeti trendek már az időben és térben flexibilis munkahely, pozitúra irányába fejlődnek, ahol nem feltétlenül elvárás, hogy mindenhol (adott egyénnek megfelelő) maximális komfortot biztosítsanak, mivel az időben változó komforttal rendelkező különböző helyiségeket, klímazónákat flexibilisen használik. Ebben a jövőkonceptióban ugyanakkor egy térben mozgatható személyi szellőző berendezés teljes mértékben stratégiai fontosságú szerephez juthat.

Kérdések

9

A továbbiakban elsősorban nem kritikai kérdések, hanem kitekintő jellegű hozzászólások, javaslatok következnek, melyek sokkal inkább a dolgozat minőségét támasztják alá:

A dolgozatban alapfelvetésként szerepel a nagyméretű üvegezéssel rendelkező épületek/helyiségek nyári diszkomfortja. A kísérletben egyelőre egy viszonylag kis/közepes méretű (90 x 120 cm) transzparens nyílászáró szerkezet került beépítésre a mérőlaborba. Tervezett további kísérlet nagyobb homlokzati üvegezési arányok kialakítása mellett?

A vektor jellegű paraméter („periodikusan szabályozható frekvenciával változtatható irányú légsebesség”) bevezetése lényeges újítást jelent a komfortelméleti kutatások terén, mivel a PMV számításban a légáram iránya nincs figyelembe véve. Ugyanakkor több helyen is taglalja a dolgozat a személyi szellőztető berendezés egyéni állíthatóságát légsebesség (térfogatáram), illetve légáram irány szempontjaiból. Itt hasznos továbblépésnek tartom ennek tényleges kísérleti (tovább)tesztelését, mivel

a légsebesség és az irány egyéni igény alapú változtatása és ennek hőérzeti hatása az egyéni igényekre még nem került kísérletekkel alátámasztásra (a dolgozatban leírt kísérletekben ez még nem került változtatásra). Ezek az egyéni igények szerinti változtatások elméletileg nyilvánvaló egyedi és magas szintű komfortkörnyezetet képesek létrehozni, de egy validáció egy további jövőbeli kutatásban biztosan erősítené a koncepciót.

Abban az esetben ha a hosszútávú adaptáció igazolásához, kísérleti alátámasztás is célkitűzés, akkor az előző pontban leírtak szerinti az ALTAIR állíthatóságának tesztelése folyamán a hosszútávú adaptáció is a vizsgálatok tárgyává válhatna.

Elképzelhetőnek tartja, hogy a disszertáció eredményeire alapozva komplex termikus, dinamikus épületszimulációkkal nagyobb felbontású energiamegtakarítás és PMV esetvizsgálatok kerüljenek kivitelezésre?

Van már tervezett további lépés az eredmények gyakorlatba való átültetéséhez, valószínűleg épületbe való beépítéséhez, hosszútávú monitorozásához?

Összefoglaló értékelés

A dolgozat egészét kiterjedésében és tartalmi minőségében tekintve a Magyar Tudományos Akadémia által megfogalmazott követelményrendszer előírásainak megfelelőnek tartom. A hat tézisből öt tézis nem csak új tudományos eredményekkel szolgál, hanem jelentős innovációt jelenthet egy jövőbeli építőipari/építészeti alkalmazás esetében. Hangsúlyozni szeretném, hogy a kritikai észrevételek, illetve a kérdések inkább konstruktív kiegészítésként, javaslatként fogalmazódtak meg a bírálóban, nem pedig tartalmi negatív kirtikaként.

A doktori disszertációt, tudományos eredményeit messzemenőleg elegendőnek tartom az MTA doktora cím megszerzéséhez és jelen formájában a nyilvános védésre alkalmasnak ítélem. A nyilvános védés kitűzését ennek függvényében javaslom, sikeres védés esetén a doktori mű mindenképpen érdemes a doktori fokozat elnyerésére.

Pécs, 2018.10.17.



Prof. Dr. habil Kistelegdi István DLA, Ph.D.