



Lakóépületek teljes életciklusra vetített környezetterhelése

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a PhD fokozat követelményeinek részleges teljesítéseként benyújtott disszertáció rövid összefoglalója

Szalay Zsuzsa

okl. építészmérnök

Témavezető:

Dr. Zöld András

Konzulens:

Barbara Nebel, Ph.D.

Professor Gerd Wegener

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék

Budapest
2007

1 A TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA

“Az építésznek prófétának kell lennie...prófétának a szó igazi értelmében...ha nem lát legalább tíz évre előre, akkor nem érdemli meg az építész nevet.”

Frank Lloyd Wright

A ma meghozott építészeti döntések akár évszázadokig kihathatnak a gazdaságra, a társadalomra, a városképre, de a világ energiagazdálkodására és a környezetre is. *Európában az éves bruttó energiafelhasználás 40 százaléka az épületekhez köthető és ezzel arányos a szennyezőanyag kibocsátás is* [EPBD, 2002]. Az épületek energiafogyasztásának csökkentése ezért kulcskérdés. A legutóbbi jelentős előrelépés, az új európai uniós épületenergetikai irányelv (EPBD) célja az épületek energiahatékonyságának növelése, illetve közvetve a széndioxid-kibocsátás csökkentése volt.

Az irányelv és az erre épülő nemzeti szabályozások az épületet az összesített energetikai jellemzővel minősítik. Az energetikai jellemző magában foglalja a fűtés, melegvíz készítés, világítás, illetve az esetleges légtechnika és hűtés primer energiában kifejezett energiaigényét. Ez az alapja a követelményeknek, illetve az energetikai tanúsításnak is [EPBD, 2002]. Az eddiginél jóval összetettebb megközelítés azonban még mindig csak az épületek üzemeltetésével foglalkozik, és figyelmen kívül hagyja az egyéb életciklus szakaszokat: az építőanyagok előállítását, szállítását, az épületek építését, karbantartását és bontását.

Több tanulmány kimutatta, hogy a használati fázis domináns az épületek élete során. Ugyanakkor, mivel az utóbbi évtizedekben a jobb hővédelem miatt csökkent a fűtésre fordított energia mennyisége, megnövekedett az építés fontossága. A jobb hővédelem akár pénzben, akár energiában kifejezett ráfordításainak növekedése és ezeknek az üzemeltetéshez viszonyított arányainak megváltozása miatt egyre gyakrabban vetődik fel az a – tényekkel alá nem támasztott – vélekedés, hogy a “túlzó” hővédelem energiában kifejezett következményei kedvezőtlen végeredményhez vezetnek. Mivel az épületek átlagos élettartama 50-100 év, a rendszeres karbantartásához és az épületelemek cseréjéhez szükséges energia szintén jelentős.

Az 1970-es évek olajválsága ráébresztette az embereket arra, hogy a fosszilis üzemanyagok végesek. Az energiatakarékosság és az alternatív, megújuló energiaforrások keresése fontos üggyé vált. Ebben az időszakban léptek érvénybe az épületek hővédelméről szóló első szabályok. Ma a környezetvédelem, valamint a politikai és tudományos viták középpontjában a klímaváltozás áll. Sok állam ratifikálta az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséről szóló Kyotói Egyezményt. Bár nehéz tudományosan bizonyítani, hogy az antropogén kibocsátások milyen mértékben járulnak hozzá a globális felmelegedéshez, a kockázat ennek ellenére olyan magas, hogy sürgős lépésekre van szükség.

Az épületek nemcsak az energiaforrások kimerítéséhez, de egyéb környezeti problémákhoz, mint például a klímaváltozáshoz vagy a savasodáshoz is hozzájárulnak. *A környezetterhelés vizsgálatának és optimalizálásának le kell fednie az épületek teljes életciklusát és figyelembe kell vennie különböző környezeti indikátorokat is.* Ma a termékek környezeti szempontú értékelési módszerei közül a legelfogadottabb, tudományosan is leginkább elismert az életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment-LCA). Az elemzés számszerűsíti a termékhez köthető környezetterhelést, figyelembe véve minden hatást és a teljes élettartamot a “bölcsőtől a sírig”. Ezzel kiküszöböli a problémák áthárítását az egyik életszakaszból, földrajzi helyről vagy környezeti közegből a másikba. Fontos ugyanakkor megjegyezni, hogy az épületek megítélésének nagyon sok szempontja van. A környezetterhelés lényeges és egyelőre elhanyagolt indikátor, de nem zár ki vagy helyettesít más jellemzőket, mint például a statikai, akusztikai, páratechnikai, hőérzeti vagy tűzvédelmi szempontokat. A környezetterhelés vizsgálatának célja nem az, hogy az épületeket “jó” és “rossz” kategóriákba sorolja, hanem hogy az építészeti döntésekben további szempontot kínáljon.

2 AZ ÉRTEKEZÉS CÉLJA

Az értekezés célja a lakóépületek teljes életciklusra vetített környezetterhelésének meghatározása, különös tekintettel a jellemző építési rendszerekkel épített új épületekre és az építészeti tervezés felelősségére. Részletesen feldolgoztam az életciklus-elemzés módszertanára vonatkozó szakirodalmat és az épületekre vonatkozó elérhető adatbázisokat, szoftvereket, valamint esettanulmányokat. Ezek alapján a következő célokat fogalmaztam meg:

- *Megfelelő adatbázis kifejlesztése.* Mivel az életciklus-elemzéshez sok és jó minőségű adatra van szükség, a megfelelő adatbázis kiválasztása kulcsfontosságú. Az adatbázisnak a regionális különbségeket is tükröznie kell. Mivel jelenleg nincs ilyen magyar adatbázis, meg kell vizsgálni az európai adatbázisok megfelelőségét, és szükség szerint azokat adaptálni kell a honi viszonyokra vagy ki kell egészíteni őket.
- *Az épületgeometria hatását figyelembe vevő módszer kidolgozása.* Az irodalomban fellelhető esettanulmányok egy vagy néhány konkrét épületre, "típusházakra" vonatkoznak, ami megkérdőjelezi a levont következtetések általános érvényességét.
- *Az épület és a használók szerepének meghatározása.* Az esettanulmányok többnyire az összes az épülethez köthető környezeti hatást vizsgálták és ez képezte az optimalizálás alapját. A hatásoknak csak egy része függ magától az épülettől, nagyon sok múlik a használón, illetve az igényeket lefedő épületgépészeti rendszerek milyenségén. A cél természetesen a teljes környezetterhelés csökkentése, ami csak az építész és az épületgépész együttműködésével és megfelelő használói magatartással valósulhat meg. Amikor azonban az építész lehetőségeit vizsgáljuk és magának az épületnek az optimalizálása a cél, külön kell választani az elsősorban az épülettől és az elsősorban a használatól függő összetevőket.
- *Az épület határolószervezeteihez és az egyéb szerkezetekhez kötődő terhelések elemzése.* Az épület bizonyos épületszerkezetei – a lehülő felületet határoló szerkezetek – közvetlenül befolyásolják az üzemeltetési energiaigényt, míg az épület egyéb szervezetei, például a belső falak, födémek vagy az alapozás csak közvetve vagy egyáltalán nincsenek rá hatással. Az épülethatároló szerkezetek kialakításánál döntő szempont az energetikai minőség, az egyéb szerkezetek esetén viszont más, például funkcionális, szerkezeti, akusztikai és tűzvédelmi szempontok dominálnak. Energetikai célú intézkedések megítélésénél elegendő elsősorban a határolószervezeteket figyelembe venni.
- *Az üzemeltetéshez és az egyéb életciklus szakaszokhoz kapcsolódó környezetterhelés nagyságának és arányának vizsgálata* különböző szerkezeti rendszerek és épülettípusok esetén.
- *Az épülethez köthető környezeti hatásokat önmagában is jól jellemző indikátor kiválasztása.* Az életciklus-elemzés különböző hatásértékelési módszereket és számtalan indikátort használ a környezeti problémák jellemzésére. Az eredmények azonban gyakran ellentmondanak egymásnak és értelmezésük nehéz.
- *Különböző paraméterek elemzése érzékenységvizsgálat segítségével.*
- *A meglévő épületek energetikai célú felújítására vonatkozó további szempontok kidolgozása.*
- *Javaslat kidolgozása arra, hogyan lehet az életciklus minden szakaszát figyelembe venni a jelenlegi épületenergetikai szabályozás szelleméhez is illeszkedve.*

Az értekezésben felvetett módszertani kérdések általános érvényűek, a számszerű eredmények Magyarországra, a jellemző építési és épületgépészeti rendszerekkel épített új lakóépületekre vonatkoznak.

3 A KUTATÁSI MÓDSZEREK ÉS FELTÉTELEZÉSEK

Az épületek környezetterhelését hat épülettípus, négy építési rendszer és tíz környezeti indikátor figyelembevételével, típusonként 1000 db véletlenszerűen generált épületgeometriára számítottam ki. Az eredményeket matematikai statisztikai módszerekkel elemeztem, minden esetben meghatároztam a minta várható értékét, szórását és konfidencia intervallumát.

A vizsgálat funkcionális egysége egy lakóépület volt, 50 éves élettartam alatt, Magyarországon. Az eredményeket minden esetben egy négyzetméter fűtött alapterületre és egy évre vetítettem. Az épülethez kapcsolódó környezetterhelést három szinten adtam meg:

- az épület határolószerkezetei;
- a határolószerkezetek és az egyéb szerkezetek, azaz a teljes épület;
- az épület és a használatától függő tételek, azaz a teljes épület és a teljes épületgépészet.

Az adatbázis

Az elérhető adatbázisok elemzése után a svájci ecoinvent adatbázis használata mellett döntöttem. Ez a legátfogóbb és legjobb minőségű európai adatbázis: több mint 2500 termék és szolgáltatás harmonizált környezeti leltáradatait tartalmazza. Mivel az adatok forrása elsősorban a svájci, illetve a német ipar, a hazai gyártású építőanyagok esetén bizonyos változtatásokra volt szükség. Mivel a svájci és a magyar villamosenergia-termelés energiahordozó struktúrája, illetve a földgáz származási helye jelentősen különbözik, ezeket a modulokat magyarra cseréltem. Néhány hiányzó termék esetében a termék összetételének alapján új modullal egészítettem ki az adatbázist. (Ez a munka az OTKA T/F 046265 kutatás keretében indult.)

A kumulatív exergiaigényt az ecoinvent-re épülő eXoinvent szoftver [De Meester, Dewulf, 2006] segítségével számítottam ki.

Az ecoinvent adatbázis használhatóságát három hazai téglagyárban végzett kérdőíves felméréssel verifikáltam. Tudomásom szerint ez volt az életciklus-elemzés első hazai alkalmazása az építőanyagok területén (a Magyar Téglás Szövetség kutatási megbízása keretében).

A geometria

Eljárást dolgoztam ki nagyszámú épületminta véletlenszerű generálására. A minta nem a jelenlegi épületállomány statisztikai adatain alapul, hanem a "technikailag lehetséges" épületek tartományát fedi le. Ehhez meghatároztam az épületek geometriáját leíró paramétereket és ezek reális tartományait. A tartományok határait építészeti és funkcionális megfontolásokból vezettem le. A paraméterek a beépített alapterület, a szintszám, a kerület-terület arány, a szomszédos fűtött épülettel érintkező falak aránya, az üvegezési és a keretarány, valamint a belső térosztás sűrűsége. Hat épülettípust vizsgáltam: az egy- és kétszintes családi házak, az egy- és kétszintes sorházak, az alacsony társasházak, valamint a középmagas társasházak kategóriáját.

A geometriai paraméterek segítségével kiszámítottam az egyes épületszerkezeti elemek területét, valamint az épületek méretét és tömegformálását jellemző felület-térfogat arányt ($\Sigma A/V$). A számításokhoz Excel-alapú saját modult fejlesztettem.

Az alapszcenárióban fűtetlen padlóval és pincével épített épületeket vizsgáltam. Az ablakarány a homlokzatfelület 10-30 %-a volt, a tájolást rögzítettem: az üvegezés 10 %-a északi, 30-30-30 %-a pedig déli, keleti és nyugati tájolású, az üvegezéseket a fűtési idényben részlegesen benapozottnak feltételeztem. A paraméterek hatását érzékenységvizsgálattal elemeztem.

Építési és épületgépészeti rendszerek

A számításokban a Magyarországon jellemző, a jelenlegi energetikai követelményeket kielégítő építési és épületgépészeti rendszereket vettem figyelembe. Ezek a hőszigetelő égetett kerámia falazat kerámia béléstesttes födémrel; a pórusbeton falazat és födémrendszer; kiegészítő EPS hőszigeteléssel ellátott B30-as téglafalazat előregyártott vasbeton gerendás-béléstesttes födémrel; illetve a könnyűszerkezetes favázás építési mód. A favázás építési módot csak a családi házak kategóriájában vizsgáltam. A négy szintnél magasabb épületek monolit vasbeton oszlopokkal és vasbeton födém tartószerkezettel épülnek kitöltő falazattal.

Fűtésre és használati melegvíz készítésre a TNM 7/2006. rendelet szerinti referencia rendszert: alacsony hőmérsékletű gázkazánt tételeztem fel, indirekt fűtésű melegvíz tárolóval. Mechanikus szellőztetés lakóépületekben nem jellemző. Mesterséges hűtést nem feltételeztem.

Életciklus-szakaszok

Az épület életciklusát négy szakaszra osztottam:

- Építés: az építőanyagok gyártása, szállítása és az épület kivitelezése. A geometriai adatok alapján számítottam a beépített tömeget, majd hozzárendeltem az ecoinvent modulokat.
- Karbantartás: kisebb javítások és az elemek cseréje azok hasznos élettartamának végén. Az elemek várható élettartamát irodalmi források alapján becsültem. Három scenáriót állítottam fel: ritka, átlagos és gyakori karbantartás esetére.
- Üzemeltetés: a fűtés, melegvíz készítés és világítás energiaigénye. Az épülettől függő fűtési energiaigényt a fűtési idény energiamérlege alapján számítottam, a használatól függő tételekhez a TNM 7/2006. rendeletben előírt "szabványos lakó"-t tételeztem fel, a gépészeti rendszer veszteségeit és segédenergiaigényét szintén a rendelet alapján vettem fel. A primer energia váltószámok az ecoinvent adatbázisból származnak.
- Bontás: az épület bontása, az anyagok válogatása, szállítása és a hulladékkezelés (újra használat, anyagában történő vagy energetikai hasznosítás, lerakás). Minden szerkezetre egy valószínű hulladékkezelési scenáriót tételeztem fel.

Minden folyamatot a megelőző folyamatokkal együtt vettem figyelembe, a villamosenergia környezetterhelése például tartalmazza a szükséges energiahordozók kitermelését, szállítását, az erőművi kibocsátásokat, a rendszerveszteségeket, de a szükséges infrastruktúra kiépítését is.

Hatáskategóriák

A környezeti problémákat négy fajta hatásértékelési módszerrel vettem figyelembe. Ezek a kumulatív energiaigény, a CML-módszer, az eco-indicator 99 és a kumulatív exergiaigény. Ezek nemzetközileg elfogadott és széles körben használt módszerek. Az exergia még viszonylag új, egyelőre ritkán alkalmazott az életciklus-elemzésben. Nem vettem figyelembe olyan módszereket, illetve olyan indikátorokat, amelyek megítélése tudományosan vitatott. A vizsgált indikátorokat az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A vizsgált hatáskategóriák

Kumulatív energiaigény:	Eco-indicator 99:
nem megújuló kumulatív energiaigény	ökoszisztéma minősége
	emberi egészség
CML-módszer:	erőforrások használata
globális felmelegedési potenciál	
savasodás	Kumulatív exergiaigény:
ózonréteg vékonyodása	nem megújuló kumulatív exergiaigény
fotokémiai oxidáció	
eutrofizáció	

4 AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

0. tézis

Az épületek és épületszerkezetek által okozott környezetterhelést a teljes életciklusra kell vizsgálni. Az életciklus részei az építés, a karbantartás-felújítás, az üzemeltetés és a bontás.

1. tézis

Az építőanyagok beépített energiatartalmával és a gyártással-építéssel összefüggő szennyezőanyag kibocsátással számos nemzetközi kutatás foglalkozik.

Kritikai elemzéssel feldolgoztam és összehasonlítottam a szakirodalomban található módszereket és feltártam több adatbázis adatait. A legmegfelelőbbnek talált adatbázist a hazai energiahordozó struktúra és primer energia adatok figyelembe vételével magyarországi viszonyokra adaptáltam, illetve kiegészítettem. Tekintettel arra, hogy a hazai gyakorlatban a téglát a legelterjedtebb falazóelem, a téglatermékekre vonatkozó környezetterhelést három hazai gyárban végzett kérdőíves felmérés alapján is meghatároztam. Igazoltam, hogy a magyar és az adaptált európai adatok között nincsen lényeges különbség, az adatbázis alkalmazható Magyarországon.

2. tézis

2a.

Építészeti és funkcionális megfontolások alapján meghatároztam a “technikailag lehetséges” épület geometriáját leíró paraméterek reális tartományát és összefüggéseit. Ezek a beépített alapterület, a szintszám, a kerület-terület arány, a szomszédos fűtött épülettel érintkező külső falak aránya, az üvegezési és a keretarány, valamint a belső térosztás sűrűsége.

2b.

Eljárást dolgoztam ki nagyszámú épületminta véletlenszerű generálására a geometriát leíró paraméterek alapján. Az épületek környezetterhelését hat épülettípus, négy építési rendszer és tíz környezeti indikátor figyelembevételével, típusonként 1000 épületgeometriára számítottam ki. Az eredményeket matematikai statisztikai módszerekkel elemeztem, minden esetben meghatároztam a minta várható értékét, szórását és konfidencia intervallumát.

2c.

Illeszkedésvizsgálattal bizonyítottam, hogy az adott paraméter- és elemszám mellett a hipotézisnek megfelelően a centrális határeloszlás tétele teljesül.

3. tézis

Az épület üzemeltetési energiafelhasználásának számos olyan tényezője van, amely nem függ közvetlenül az épülettől. A használati melegvíz készítést például a használók száma, a világítást főként a helyiségek funkciója befolyásolja. A fűtési energiaigény összetevői közül a szellőzési veszteség csak abban az esetben tekinthető épületfüggőnek, ha az épület légzárása különösen gyenge, a csomóponti kialakítások nem megfelelőek, illetve ha a belső felületek káros anyag kibocsátása megemelt légcserét indokol. Kellő légtömorségű épületekben a szellőzési veszteség általában nem tekinthető épületfüggő tényezőnek, hiszen azt a használók száma és tevékenysége határozza meg.

3a.

Megállapítottam, hogy helytelenek azok az eljárások, amelyek az építészeti kialakítás környezetterhelésének optimalizálási kísérletei során a nem épülettől függő energiaáramokat is figyelembe veszik. Az üzemeltetési energiaigény felosztható az elsősorban az épülettől függő összetevőkre, ilyen az épülethatároló szerkezetek transzmissziós veszteségeit és a hasznosított napsugárzás algebrai összegét fedező fűtési igény, illetve az elsősorban a használótól függő tényezőkre, mint a szellőzési veszteségek és a belső hőnyereségek algebrai összegét fedező fűtés; a melegvíz készítés és a világítás energiaigénye.

3b.

Átlagos egyszintes családi házak esetén az összes környezetterhelés mintegy 64 %-a magától az épülettől, 36 %-a pedig a használótól függ. Ez az arány kb. 50-50 % társasházak esetén. Míg az épülettől függő fajlagos fűtési energiaigény csökken az épület dimenzióinak növelésével, a használótól függő fajlagos tételek közel állandóak maradnak, így relatív jelentőségük nagyobb. Ez megerősíti azt a megállapítást, hogy magának az épületnek az optimalizálásakor az eredmények félrevezetőek lehetnek, ha nem kezeljük külön az épülettől függő és az attól független összetevőket.

4. tézis**4a.**

Statisztikai módszerekkel kimutattam, hogy a hazai fő építési és épületgépészeti rendszerek, valamint lakóépület típusok esetén az épülethatároló szerkezetekhez kapcsolódó nem megújuló kumulatív energiaigény 14-20 %-a az építéshez, 6-13 %-a a karbantartáshoz, 68-77 %-a az üzemeltetéshez és 1-2 %-a a bontáshoz kötődik.

4b.

A fajlagos fűtési energiaigényt erősen befolyásolja az épület felület-térfogat aránya (abszolút méret, tömegformálás), valamint a szomszédos fűtött épülettel érintkező külső falak aránya.

Igazoltam, hogy az építés és a karbantartás határolószerkezetekhez köthető fajlagos környezetterhelése függ a felület-térfogat aránytól, de kisebb mértékben mint a fűtés. A határolószerkezethez kapcsolódó teljes életciklusra vetített fajlagos nem megújuló kumulatív energiaigény a kétszintes családi házakhoz viszonyítva társasházak esetén 40-50 %-kal alacsonyabb. Ugyanez az adiabatikus falak miatt sorházak esetén 17-22 %-kal alacsonyabb.

4c.

Családi házak esetén az épület nem megújuló kumulatív energiaigényének 80 %-a az épülethatároló szerkezetekhez, 20 %-a az egyéb szerkezetekhez (belső falak, födémek stb.) kötődik. Ez az arány 70 %- 30 % társasházak esetén. Mivel az egyéb szerkezetek az üzemeltetési igényt nem vagy csak közvetve befolyásolják, ezeket az épület energetikai optimalizálásában nem szükséges figyelembe venni. A teljes épület minősítésénél, környezeti címkézésénél természetesen ezek a tételek is fontosak.

5. tézis

Az életciklus-elemzés szabványosított módszere az egyes szennyezőanyagok külön-külön a környezetre gyakorolt hatásának megítélése helyett a kibocsátások potenciális környezeti problémák szerinti csoportosítását, hatáskategóriákhoz rendelését javasolja. A nagyszámú hatáskategória értelmezése azonban nehézkes, az eredmények gyakran egymásnak ellentmondóak.

A technikailag lehetséges épületek mintáján megvizsgáltam a nem megújuló kumulatív energiaigény és az egyéb környezeti indikátorok összefüggéseit. Megállapítottam, hogy a nem megújuló kumulatív energiaigény alkalmas indikátor az épületek környezetre gyakorolt hatásának jellemzésére. Jellemző építési rendszerek és energiahordozók esetén a nem megújuló kumulatív energiaigény jól korrelál a globális felmelegedési potenciállal, az eco-indicator 99 szerinti erőforrás használattal és a nem megújuló kumulatív exergiaigénnyel. A többi hatáskategória eredmény normalizálása, azaz referenciaértékkel való összevetése (egy évre vetített Nyugat-Európai kibocsátások) azt mutatta, hogy az olyan indikátorok, mint a savasodás, ózonréteg vékonyodása, fotokémiai oxidáció és az eutrofizáció relatív jelentősége jóval kisebb, mint a globális felmelegedése.

6. tézis

Érzékenységvizsgálattal értékeltem a különböző paraméterek hatását az eredményekre.

6a.

Az alapszenárióban az épület élettartamát 50 évnél feltételeztem, de az épület tényleges élettartama ennél jóval hosszabb is lehet, ami befolyásolhatja az eredményeket. Az épület élettartama alatt lényeges, az épület energetikai minőségét érintő felújítást nem tételeztem fel.

Kimutattam, hogy az élettartam 75 évre való növelése az épülethatároló szerkezetekhez kapcsolódó egy évre vetített nem megújuló kumulatív energiaigényt 6-8 %-kal csökkent minden építési rendszer és épülettípus esetén. Ekkor a környezetterhelés 78-83 %-a a fűtésből származik. Ha ennél is hosszabb, 100 éves élettartamot feltételezünk, a megnövekedett karbantartási igények miatt az egy évre vetített értékek nem csökkennek tovább jelentősen. Hosszú távon a karbantartás meghaladja az építés által okozott környezetterhelést.

6b.

A határolószerkezetek hőszigetelésének növelése a transzmissziós veszteségeket és ezzel a fűtési energiaigényt hatásosan csökkenti. A hőszigetelés növelésével ugyanakkor nő az építéssel és a felújítással bevitt beépített energiataralom.

Megvizsgáltam, hogy a határolószerkezetek hőszigetelésének vannak-e energiaracionalizálási szempontú korlátai. Kimutattam, hogy expandált polisztirol külső hőszigetelésű téglafalak esetén a teljes életciklusra vetített nem megújuló kumulatív energiaigény határhaszna 20 cm hőszigetelés vastagság fölött elenyésző.

6c.

Igazoltam, hogy a transzparens szerkezeteken át bejutó sugárzási hőnyereség jelentősen csökkentheti a fűtési energiaigényt. Átlagos kétszintes családi házak esetén – ahol a tervezői szabadság általában kevésbé korlátozott – a sugárzási hőnyereség $\pm 8\%$ -kal befolyásolja az épülethatároló szerkezetekhez kapcsolódó környezetterhelést (teljes árnyékolás vagy teljes benapozottság). Kedvező tájolás és jó benapozottság esetén a csökkenés 14% -ot is elérhet.

Ezek a megállapítások a fűtési idényre vonatkoznak, a nyári túlmelegedés kockázatát megfelelő építészeti eszközökkel csökkenteni kell.

6d.

Kimutattam, hogy az üzemeltetés által okozott környezetterhelés megújuló energiaforrások alkalmazásával jelentősen csökkenthető. Átlagos kétszintes családi házak esetén a napkollektoros melegvíz készítéssel elérhető megtakarítás 13% a teljes épületet és épületgépészetet figyelembevéve.

A technológiai adottságok miatt a megújuló erőforrások alkalmazási lehetőségei az építés (gyártás) és felújítás szakaszában jóval korlátozottabbak.

7. tézis

Jelentős épületfelújítás esetén a környezeti szempontból optimális megoldás sok tényező függvénye.

Az épületfelújítás környezeti szempontú megítélésének alapja nem kizárólag a felújítás által befektetett energia és az üzemeltetési energiaigény csökkenése. Ezek mellett mérlegelni kell a felújítás esetleges élettartam növelő hatását, az eredeti beépített energiatartalom megőrzését, a karbantartási igények csökkenését, valamint a bontás és az új építés kitolódását.

8. tézis

A 2006-ban hatályba lépett európai uniós épületenergetikai irányelv az épület teljes üzemeltetési energiaigényét minősíti, de nem veszi figyelembe az életciklus egyéb szakaszait.

Javaslatot fogalmaztam meg a jelenlegi épületenergetikai szabályozás követelményrendszerének az épület teljes életciklusra vetített energiamérlegét figyelembevevő bővítésére.

5 A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI ÉS A JÖVŐBENI KUTATÁSI FELADATOK

Az itt létrehozott adatbázis, az életciklus-szakaszok számítására és a környezetterhelési indikátorok kiválasztására tett javaslatok felhasználhatók konkrét épületek környezeti szempontú megítéléséhez és optimalizálásához.

A nagy épületminta generálására kifejlesztett eljárás segítségével referenciaértékek dolgozhatók ki épületek minősítéséhez, környezeti címkézéséhez, de egy jövőbeni szabályozás alapjaként is szolgálhat. A módszer felhasználható különböző fűtési energiahordozók, például a fatüzelés és különböző energiahatékonysági intézkedések vizsgálatára. Ebben az értekezésben átlagos, a jelenlegi energetikai követelményeknek megfelelő épületeket elemeztem, de érdemes lenne vizsgálni például a különleges üvegezéseket, az épületbe integrált fotovoltaikus rendszereket vagy a hővisszanyerős szellőzést. Az épületminta segítségével különböző scenáriók és egyes intézkedések országos hatásai is elemezhetők.

A felújításról szóló megállapítások egy döntéstámogató eszköz alapját képezhetik.

Az értekezésben a jövőbeni környezeti hatások elemzésénél statikus megközelítést alkalmaztam. Feltételeztem, hogy az alapanyag- és energiatermelés, stb. hatásai hosszú távon is változatlanok maradnak, így a jelenlegi és a jövőbeni hatásokat egyenlően súlyoztam. A közgazdaságtanban elterjedt, ennél árnyaltabb módszerek, így a jelenértékszámítás vagy a diszkontálás használatával a mai és a jövőbeni hatások közös nevezőre hozhatók. A diszkontálást leggyakrabban a pénzügyben használják, de alkalmazható lenne az energiafelhasználás és a károsanyag-kibocsátás elemzésére is. A kérdés csupán az, hogy a mai vagy a jövőbeni eseményeket súlyozzuk erősebben, ugyanis mindkettő mellett szólnak érvek. Környezetvédelmi szakértők szerint az emissziók elodázása már önmagában segíthet a környezeti problémák, mint például a klímaváltozás elleni harcban. Emellett az energiaforrások kiaknázásának határkölsége növekszik, míg a jövő technológiai várhatóan alacsonyabb kibocsátással járnak majd. Ezek az érvek a mai hatások nagyobb súlya mellett szólnak. Ugyanakkor a fosszilis energiahordozók végessége amelltt szól, hogy az energia a jövőben értékesebbé válik. A diszkontálási technikák alkalmazása további szempontokkal bővítené az építési döntéseket.

6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik bármilyen formában hozzájárultak ahhoz, hogy ez a munka megvalósulhatott. Külön hálával tartozom elsősorban témavezetőmnek, Dr. Zöld Andrásnak, konzulenseimnek, Dr. Barbara Nebel-nek és Dr. Gerd Wegenernek, kollégáimnak, Medgyasszay Péternek és Zorkóczy Zoltánnak, Dr. Jo Dewulfnak, a Genti Egyetem professzorának, Dudás Juditnak, a MATESZ ügyvezető titkárának, Tóth Balázsnak, a Wienerberger zRt. termékfejlesztési vezetőjének, az Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék minden dolgozójának, különösképpen Dr. Kontra Jenő tanszékvezetőnek, Dr. Csoknyai Tamásnak, Viczai Jánosnak, Tyukász Ildikónak és Szabó Jilek Juditnak, és végül, de nem utolsósorban férjemnek, Gergely Andrásnak. Köszönöm a BAYHOST és az OTKA támogatását (OTKA F046265).

7 HIVATKOZÁSOK A TÉZISFÜZETBEN

DE MEESTER, BRAM; DEWULF, J.; VAN LANGENHOVE, H. (2006): eXoinvent. The exergy of ecoinvent reference flows, version 1.0, software tool. University of Gent.

ECOINVENT (2005): ecoinvent data v1.3 and final reports ecoinvent 2000. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CD ROM.

EPBD (2002): Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Communities.

7/2006. (V.24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról.

8 AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

1. Zöld, A.; Szalay, Zs.: *What is missing from the concept of the new European Building Directive?* Building and Environment (IF 2005 = 0,676), 42 (2007), pp. 1761-1769.
2. Szalay, Zs.: *Timber Structures as Potential Carbon Storage*. Bulletin, BME, Építész Kar, 2004, ISSN 1785-9565, pp. 177-184.
3. Szalay, Zs.: *Embodied Energy of Timber Buildings*. Proceedings, 4th International Seminar on Environmentally Compatible Structures and Structural Materials (ECS), IASS, Prága, 2003 június, ISSN 80-01-02955-7, pp. 46-50.
4. Szalay, Zs.; Zöld, A.: *Kohlenstoffspeicherung von Holzbauten*. Wissenschaftliche Mitteilungen der 16. Frühlingsakademie, München- Wildbad Kreuth, 2004. május 19-23., ISBN 963 86697 0 5, pp. 104-107.
5. Szalay, Zs.: *The Role of Timber Buildings in Carbon Storage*. Proceedings, CD-ROM, XXXII IAHS World Congress, Trento, 2004. szeptember 21-25., 8 o.
6. Szalay, Zs.: *Ecological building retrofit*. Proceedings, CIB W70 Trondheim International Symposium, 2006 június 12-14, ISBN 82-7551-031-7, pp. 168-177.
7. Szalay, Zs.; Nebel, B.: *Life Cycle Assessment in Architectural Design*. Proceedings, CD-ROM, XXXIV IAHS World Congress, Nápoly, 2006. szeptember 20-23, ISBN 88-6026-030-2, 6 o.
8. Zöld, A.; Szalay, Zs.; Csoknyai, T.: *Energy performance and major renovation*. Proceedings, EPIC 2006, The 4th European Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings, Lyon, Franciaország, 2006. november 20-22, pp. 267-272.
9. Nebel, B.; Szalay Zs.: *The Exemplar House – a generic LCA model for houses in New Zealand*. Proceedings, SETAC 13th Case Study Symposium, poszter, 2006. december 7-8., pp. 165-166.
10. Szalay, Zs. *Faszervezetű épületek életcikluselemzése*. Konferenciakiadvány, Tavasz Szél Országos Doktorandusz Konferencia, Sopron, 2003. május, ISBN 963-210-376-9, pp. 177-180.
11. Szalay, Zs. *Ökobilanz für das “micro-compact home”- Vorstudie*. Holzforschung München, 2005. szeptember.
12. Szalay, Zs.; Nebel, B.: *Analysis of Currently Available Environmental Profiles of Building Products*. TE200 riport, Beacon Pathway Limited, Új-Zéland, 2006 április.
13. Szalay, Zs.; Nebel, B.: *Life Cycle Assessment of a New Zealand house*. Scion riport, Új-Zéland, 2006 június.
14. Tiderenczl, G.; Medgyasszay, P.; Szalay, Zs.; Zorkóczy, Z.: *Épületszerkezetek építésökölógiai és építésbiológiai értékelő rendszerének összeállítása az építési anyagok hazai gyártási/előállítási adatai alapján*. Kutatási beszámoló, OTKA T/F 046265, Budapest, 2006.
15. Szalay, Zs.; Medgyasszay, P.; Zorkóczy, Z.: *Tégla termékekre vonatkozó életciklus elemzés - A téglagyártási környezetterhelése*. Kutatási jelentés, MATÉSZ, Budapest, 2007.