

Energiastratégiák – az energiatudatos építészet tükrében

Szűts András, Prof. Dr. Krómer István

*Óbudai Egyetem Alkalmazott Informatika Doktori Iskola
szuts.andras@phd.uni-obuda.hu, kromer.istvan@kvk.uni-obuda.hu*

Kulcsszavak: AHP, háztartások, energiahatékonyság, neurális hálózatok

1. Bevezetés

Magyarországon és az Európai Unióban a háztartási energiafogyasztás a teljes energiafelhasználás több mint egyharmadát adja, így kézenfekvő, hogy az energiaellátás biztonságának növelése céljából célszerű lenne a háztartások energiafogyasztását csökkenteni. A lakossági energiafogyasztás mérséklésére az Európai Unióban már több különböző stratégiát is kidolgoztak, amelyeket részben a téma aktualitásának megfelelően a későbbiek során fogunk ismertetni. A háztartási energiafogyasztással kapcsolatos energiahatékonysági problémák megoldására természetesen többféle módszer illetve módszerek kombinációja is alkalmas lehet. Ezek közül kutatásunkban a tervezői módszerek fejlesztésével, hatékonyságának növelésével foglalkozunk.

A mai magyarországi tervezői gyakorlatban sajnos az energiatudatosság csak viszonylag kis mértékben érvényesül, a tervezési folyamatban résztvevők általában csak a jogszabályok által előírt követelmények teljesítésére törekednek, eltekintve néhány példa értékű projekttől. Köszönhető ez a hiányos szabályozásnak, illetve a fogyasztók – Nyugat-Európai viszonyokhoz képest – kiemelkedően magas árérzékenységének. E megállapítások ismeretében célszerű lenne a tervezői módszerek fejlesztése, illetve a tervezési folyamat olyan irányú módosítása, amely alapján a tervező hatékonyan és kézzel foghatóan be tudja mutatni az általa készített alternatívák energiahatékonyságát és hosszú távú megtérülését. Hatékony tervezői módszerekkel elérhető lehet, hogy a megrendelőnek vagy a beruházónak ne okozzon túlságosan magas költségnövekedést, a tervezőnek pedig teljesíthetetlen feladatot a tervezés során az elérhető legmagasabb energiahatékonyságú épület kialakítása.

2. Energiapolitikai célok, a szektorban elérhető megtakarítási potenciál

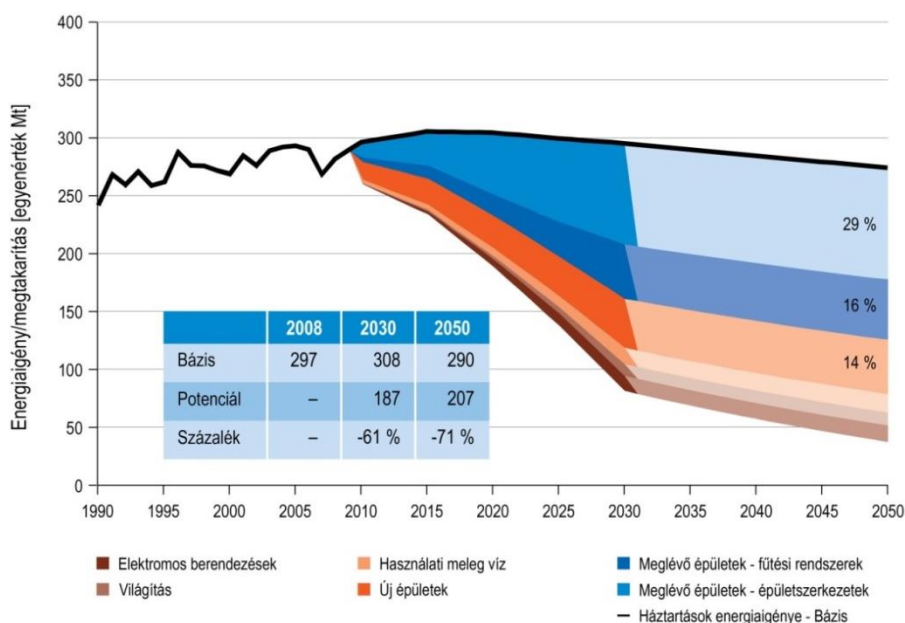
Az Európai Unióban a környezetvédelem és az energiatudatosság terén több célkitűzés is napvilágot látott az elmúlt években, évtizedekben. Az első, a témát érintő lényeges momentum a 20/20/20-as irányelv volt, amely szerint az 1990-es bázishoz képes 2020-ra 20%-kal csökkenjen az üvegházhatású gázok kibocsájtása, a teljes energiaigény 20%-át megújuló energiaforrásokból állítsuk elő, illetve az energiahatékonyság 20%-kal nőjön. Ezen irányelv folytatásaként jelent meg az a hosszú távú energiapolitikai stratégia, amely 2050-re 80-95%-os csökkenést irányoz elő az üvegházhatású gázok kibocsájtásának mértékében az 1990 évi bázishoz képest. Ezzel összhangban meg kell említeni, hogy az új építésű épületek esetén 2021-től alapvető elvárás, hogy közel nulla energiaszükségletű épületek legyenek. Önmagukban azonban új épületekkel szemben állított szigorú követelmények nem feltétlenül biztosítják az elérendő klíma- és energiapolitikai célt. Ebből következően érdemes megvizsgálni, hogy mekkora mértékű megtakarítási potenciállal rendelkezünk a meglévő valamint a jövőben készülő új épületek esetében, illetve az elérhető megtakarítások milyen arányban osztoznak a különböző felhasználási területeket figyelembe véve.

Kutatásunk során részletes vizsgálat alá vettük a háztartási energiafogyasztás szerkezetét és az abban rejlő megtakarítási potenciált. Az Európai Unióban készült elemzések alapján megállapítható, hogy a teljes háztartási szektorban a 2050-ig terjedő időszakra vonatkozóan 71%-os megtakarítási potenciál rejtőzik. A különböző területeken elérhető megtakarítások a következők:

- az új épületek építése (14%),
- a meglévő épületszerkezetek felújítása (29%),
- a fűtési rendszerek korszerűsítése (16%),
- a használati meleg víz ellátó rendszerek korszerűsítése (4%),
- világítás energiahatékonysága (4%)
- villamos berendezések energiahatékonysága (4%).

Az előbbieken alapján megállapítható, hogy az elérhető megtakarítási potenciál jelentős hányada a már meglévő épületek energiatudatos felújításához, átalakításához kapcsolódik. Ez alátámasztja azt az előzőekben tett megállapítást miszerint az új épületekre vonatkozó szigorú szabályozás önmagában nem lesz elegendő a kitűzött célok eléréséhez. Célszerű lenne a tulajdonosok ösztönzése olyan komplex energetikai

fejlesztések érdekében, amelyek során koncepcionálisan is javítanak az épületek energiahatékonyágán, nem csak bizonyos szerkezeteket vagy berendezéseket cserélnek ki, illetve újítanak fel. Kiemelendő még az a következtetés, miszerint a világítás energiaigényében 4%-os, míg az villamos berendezések hatékonyságának növelésével is 4%-os megtakarítást lehetne elérni, különösképpen annak figyelembevételével, hogy a ma hatályos jogszabályok szerint a világítás és a villamos berendezések energiaigényét nem kell a lakó és szállásjellegű épületek energiamérlegében szerepeltetni illetve a költségeket tekintve talán ezen a területen végrehajtott beruházások térülnek meg a leghamarabb.



1. ábra: Az Európai Unióban elérhető megtakarítási potenciál [forrás: Fraunhofer ISI]

3. Új, hatékony eszközök

Az elérhető megtakarítási potenciál ismeretében célszerű megvizsgálni egy háztartás energiafogyasztását befolyásoló tényezőket, amelyeket véleményünk szerint két egymástól független csoportra bonthatunk. Az egyik a fogyasztói magatartás, illetve a fogyasztói igények kérdése, amelyet a jelenlegi tervezési gyakorlat gyakorlatilag teljes mértékben figyelmen kívül hagy. A másik nagy csoport pedig a műszaki és egyéb

tervezési változók kérdése. Kutatásunkban törekedtünk arra, hogy a fogyasztói magatartásból eredő bizonytalanságokat legalább valamilyen mértékben kezelni tudjuk, így létrehoztunk egy olyan mesterséges neurális háló alapú következtető rendszert, amely az alábbi felsorolásban található tényezők alapján meg tudja határozni az adott háztartásra jellemző átlagos éves primer energiafogyasztást:

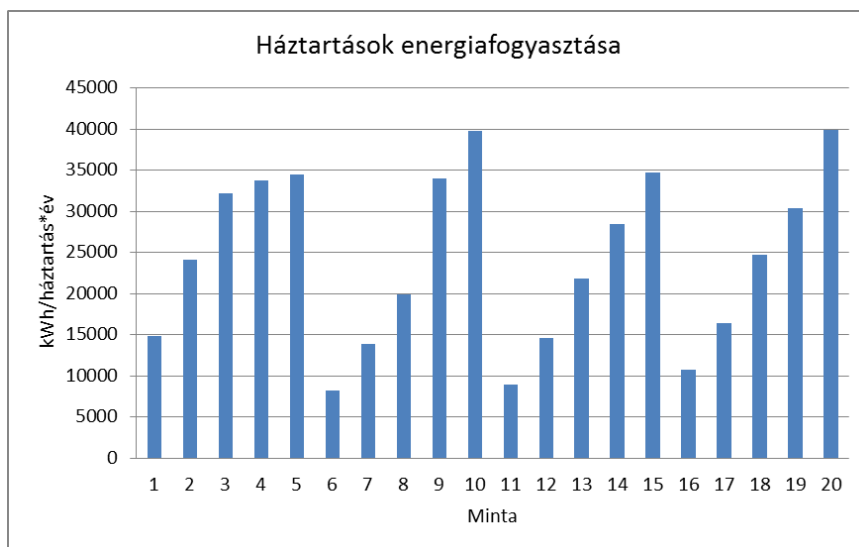
- a település nagysága,
- a lakhatás formája (tulajdonos, bérlő),
- a háztartásban élők száma,
- a háztartásban lakó gyerekek száma,
- a háztartásban lakó aktív dolgozók száma,
- a háztartásfő legmagasabb iskolai végzettsége,
- a háztartás jövedelmi viszonyait kifejező jövedelmi decilisbe való tartozás,
- a háztartás (lakás, épület) hasznos alapterülete,
- a háztartás (lakás, épület) típusa.

Egy mesterséges neurális háló alapú következtető rendszer megfelelő működéséhez természetesen szükséges egy betanító adatbázis létrehozása. Ezt az adatbázist a 2011-es népszámlálás adatai alapján állítottuk össze, ami a későbbiekben bővíthető akár meglévő akár új épületben található háztartás adataival, így pontosítva a modell számítási teljesítményét. A jövőbe tekintve az okos mérés elterjedésével együtt várható, hogy további adatok rendelkezésre állásával, gyűjtésével még pontosabb becsléseket és előrejelzéseket tehetünk majd a háztartások várható energiafogyasztásával kapcsolatban.

Egy ilyen jellegű következtető rendszerrel alkalmazásával megkönnyíthetjük a tervező dolgát, hiszen rendelkezésére áll egy kiindulási energiafogyasztási adat, amely leginkább a megrendelőtől függ. Ez az érték akár új épület tervezésénél, akár bővítésnél, de még felújításnál is hasznos lehet, ha a fogyasztó nem ismeri igazán pontosan a fogyasztási adatait. A modell kialakítása során a háztartás energiafogyasztásába minden fogyasztót, tehát a világítást is és a háztartási és egyéb berendezések energiafelhasználást is beszámítottuk, hiszen csak így kaphatunk reális képet a valós primer energia felhasználásáról. A kész modellel próbafuttatásokat is végeztünk, amelynek eredményei, egy 20 fiktív háztartást tartalmazó mintára, a következő táblázatban és diagramban láthatóak.

Minta száma	Település 1 = Budapest 4 = Közszég	Lakhatás formája 0 = bérlő	Lakók száma	Gyerekek száma	Dolgozók száma	Végzettség 0 = nincs 3 = felsőfokú	Jövedelmi decilis	Lakásméret [m ²]	Lakás típusa 0 = családi ház	Eredmények Fogyasztás [kWh/háztartás*év]
1	4	1	2	1	1	0	3	70	0	14831
2	4	1	3	1	1	0	4	70	0	24063
3	4	1	4	2	1	0	5	70	0	32188
4	4	1	5	2	1	0	6	90	0	33747
5	4	1	6	2	1	0	7	105	0	34447
6	3	1	1	0	1	1	3	45	1	8197
7	3	1	2	0	1	1	4	55	1	13876
8	3	1	3	1	1	1	5	55	1	19910
9	3	1	4	2	1	1	6	70	0	34026
10	3	1	5	2	1	1	7	70	0	39764
11	2	0	1	0	1	2	4	35	1	8988
12	2	1	2	0	1	2	5	35	1	14576
13	2	1	3	1	1	2	6	45	1	21842
14	2	1	4	2	1	2	7	45	1	28490
15	2	1	4	2	1	2	7	70	0	34716
16	1	1	1	0	1	3	6	25	1	10763
17	1	1	2	0	1	3	7	35	1	16442
18	1	1	3	0	1	3	8	45	1	24717
19	1	1	4	1	1	3	9	55	1	30343
20	1	0	5	2	1	3	10	70	1	39933

1. táblázat: 20 fiktív háztartás adatai



2. ábra: 20 fiktív háztartás primer energiafogyasztása

Megvizsgálva egy kiragadott példát, miszerint egy budapesti háztartás, ami egy 25 m²-es lakásban található, egy fő lakik benne, aki felsőfokú végzettséggel rendelkezik és dolgozik, éves szinten 10763 kWh primer energiát fogyaszt, ami nagyságrendileg reálisnak tekinthető, hiszen hazánkban az egy főre jutó éves energiafogyasztás 110 GJ, aminek az 1/3-a a példaként vett háztartás energiafelhasználása. Természetesen ez csak

egy kiragadott példa és nyilván található olyan szélsőséges eset, ahol a valóságtól nagymértékben eltérő eredményt kapnánk, azonban ez az adatbázis későbbi bővítésével és a neurális háló újratanításával kiküszöbölhető és a modell számítási teljesítménye az egyre bővülő adatbázisnak köszönhetően jelentős mértékben növelhető.

4. Műszaki és egyéb tervezési változók – a klasszikus Analytic Hierarchy Process (AHP) modell

Az előbbieket során említett műszaki tényezők és tervezési változók csoportját vizsgálva, kutatásunkban a tervezési folyamat elemzésére törekedtünk, különös figyelmet szentelve a tervezés során végbemenő döntési folyamatokra. A hazai gyakorlatot megvizsgálva a tervezés korai fázisaiban általában a döntéshozók gyakorlatilag tapasztalatukra hagyatkoznak, nem pedig tényekkel vagy döntéstámogató rendszerekkel alátámasztott adatokra. Ebből következően célszerű lenne egy olyan döntéstámogató rendszer kialakítása, amely segítené mind a tervezőt, mind pedig a beruházót már a tervezés korai szakaszában az energiahatékonyság szempontjából optimális változat kiválasztásában. A kidolgozandó döntéstámogató modellnek a hatékony alkalmazás tekintetében viszonylag alacsony erőforrás igényvel kell rendelkeznie, illetve gyors és nagy tömegre való alkalmazhatósága kívánatos. A napjainkban elterjedt tervezési gyakorlat során az energiatudatosság tekintetében alkalmazott egyszerű és részletes szimulációs modellek csak az összes műszaki és egyéb tervezési változó ismeretében használhatóak és adnak megfelelően pontos eredményt. Így a koncepcionális tervezés szakaszában alkalmazásuk mind pontosságuk, mind munkaigényességük, mind pedig hatékonyságuk tekintetében megkérdőjelezhető.

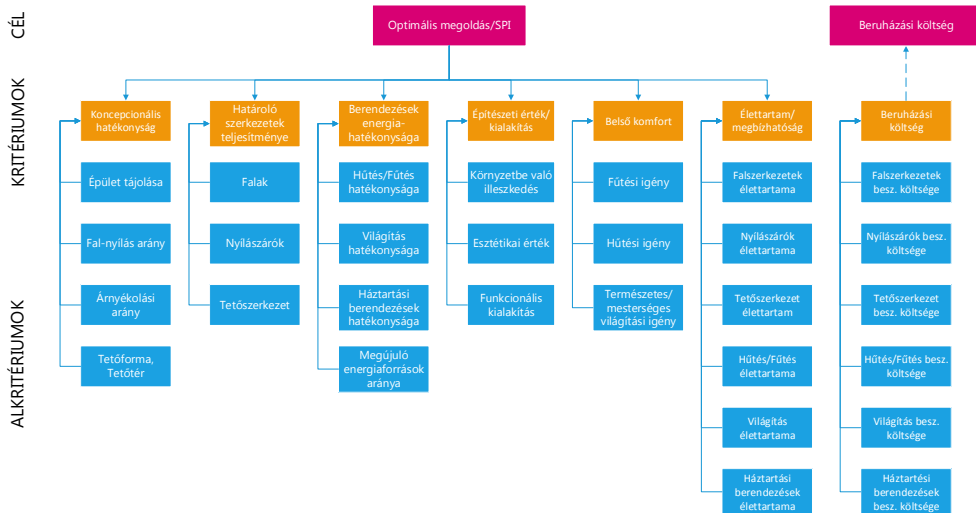
Munkánk során több nemzetközi, hasonlóan leírható döntési problémát megvizsgálva, a modell tekintetében a választásunk a több kritériumú döntési problémák esetében széles körűen alkalmazott klasszikus AHP modellre esett. A modell gerince a főbb tényezők, kritériumok és az alternatívák hierarchikus felépítéséből ered. A döntési folyamat során több szakértő együttes véleményét fejezi ki az optimális megoldás tekintetében. Ennek megfelelően meghatároztuk egy háztartás esetén az energiafogyasztást befolyásoló tényezőket és hierarchikus rendszerben csoportosítottuk őket.

A fő kritériumok a következők:

- Koncepcionális hatékonyság,
- Határoló szerkezetek teljesítménye,

- Berendezések energiahatékonysága,
- Építészeti érték, kialakítás,
- Belső komfort,
- Élettartam és megbízhatóság.

A koncepcionális hatékonyság tekintetében az alkritériumok: az épület tájolása, a falak és nyílások aránya, az árnyékolhatósági arány, a tetőforma és a tetőtér beépítés aránya. A határoló szerkezet teljesítménye alatt a különböző szerkezetek hőtechnikai tulajdonságait értjük. A berendezések energiahatékonyságának tekintetében a háztartásban alkalmazott összes berendezés és fogyasztó hatékonyságát, illetve a felhasznált energiában esetlegesen megtalálható megújuló energiaforrások arányát vesszük figyelembe. Az építészeti érték pedig nyilván mind a megrendelő, mind a tervező számára fontos tényező lehet, amelyben a környezetbe való illeszkedést, az építészeti értéket, illetve a funkcionális kialakítást szerepeltetjük, hiszen hiába lehet egy épület közel nulla energiaigényű, ha a megrendelőnek nem tetszik és másik alternatívát választ. A belső komfort a fűtési, hűtési és világítási igényre utal. Az élettartam és megbízhatóság tekintetében a többi fő kritériumnál figyelembe vett összes szerkezet és berendezés élettartamával, karbantarthatóságával foglalkozunk. Lényeges, befolyásoló kritérium még a beruházási költségek kérdése, azonban a kutatás jelenlegi szakaszában még nem integrálható a bemutatásra kerülő döntéstámogató modellbe. Ennek oka a hazai fogyasztók igen erős árérzékenysége, mivel az AHP hierarchiában ennek köszönhetően a beruházási költségek súlya extrém magas lenne a többi tényezőhöz képest, így jelentős mértékben befolyásolná és torzítaná az eredményeket. Így a költségek kérdését a későbbi fejlesztések során külön kezeljük majd az AHP modelltől. A felépített AHP struktúra a következő ábrán látható.



3. ábra: AHP struktúra

A klasszikus AHP módszer alkalmazása során a különböző alternatívákat a meghatározott kritériumoknak megfelelően a döntéshozók páros összehasonlítási mátrixok segítségével végzik. A páros összehasonlítások során az alapvető Saaty skálát alkalmazzunk, a köztes értékek kihagyásával, mivel 5 fokozatúnál szélesebb skála alkalmazása jelen probléma esetében nem megfelelő értékeléshez vezethet. A felhasznált skála elemei a következők:

- 1. egyformán fontos / előnyös,
- 3. mérsékelten fontosabb / előnyösebb,
- 5. sokkal fontosabb / előnyösebb
- 7. nagyon sokkal fontosabb / előnyösebb,
- 9. rendkívüli mértékben fontosabb / előnyösebb.

	A1	A2	A3	A4
A1	-	0,333	0,333	0,111
A2	3	-	1	0,111
A3	3	1	-	0,111
A4	9	9	9	-

4. ábra: Példa egy páros összehasonlítási mátrixra

A 4. ábrán látható minta páros összehasonlítási mátrix második sorában és első oszlopában található érték szerint az A2 alternatíva meghatározott tulajdonsága mérsékelten előnyösebb, mint az A1 alternatíváé. A harmadik sor második oszlopában található elemet tekintve pedig a megadott tulajdonság tekintetében az A2 és az A3 alternatíva megegyezik.

A modell megfelelő alkalmazásához elengedhetetlen a döntési problémában résztvevők meghatározása. Egy építési projekt folyamatát megvizsgálva, véleményünk szerint a koncepcionális tervezés szakaszában a következő döntéshozók figyelembe vétele szükséges:

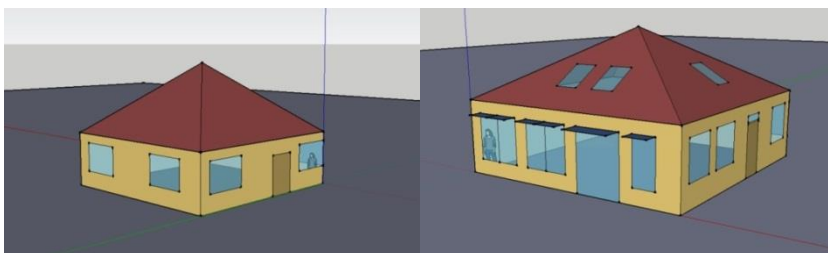
- beruházó/lakó,
- tervező,
- hatóság.

A páros összehasonlítások elkészítése után, a kritériumok és az alkritériumok súlyának meghatározásához, illetve a rangsor felállításához a nyílt forráskódú, java alapú „Priority Estimation Tool (AHP)” szoftvert alkalmaztuk, a sajátvektor módszerre építve.

A klasszikus AHP módszer alkalmazásával kapcsolatban azonban meg kell jegyezni, hogy esetünkben nem a különböző koncepciók energiafogyasztásának meghatározása a cél, hanem az alternatívák közötti rangsor felállítása és az energetikailag és egyéb szempontokból is optimális megoldás kiválasztása és továbbvitele az építési projekt során.

5. Eredmények

Az előbbieket során leírt modellt tesztelés érdekében elkészítettük négy, hazánkra tipikusan jellemző épület részletes energetikai szimulációját, illetve értékeltük őket a felállított klasszikus AHP modellel is. Az alternatívák részletes szimulációját a nemzetközi kutatások által is széles körben alkalmazott NREL által fejlesztett OpenStudio és EnergyPlus szoftverekkel végeztük. A modellezés során elkészítettük az épületek valóságnak megfelelő 3 dimenziós modelljeit, és a megadott kritériumoknak megfelelően elvégeztük az épület éves, valós meteorológiai adatokon alapuló energetikai szimulációját. A különböző alternatívák adatai a következő 2. számú táblázat tartalmazza.



5. ábra: Az A1 és A3 alternatívák 3 dimenziós modelljei (SketchUp, OpenStudio)

Kritérium	Alternatívák			
	A1	A2	A3	A4
Konceptcionális hatékonyság				
Épület tájolása	0	90	180	270 [fok] É - 0 fok
Fal-nyílás arány	0,18	0,18	0,25	0,43
Árnyékolási arány	0,00	0,00	0,52	1,00
Tetőforma	38,83	38,83	30,00	5,00 [fok]
Tetőtér beépítése	0,00	0,00	0,50	0,00
Határoló szerkezetek teljesítménye				
Falak teljesítménye	1,790	0,391	0,242	0,136 [W/m2K]
Nyílászárók teljesítménye	2,200	1,600	1,600	0,800 [W/m2K]
Tetőszerkezet teljesítménye	1,690	1,690	0,740	0,115 [W/m2K]
Berendezések energiahatékonysága				
Hűtés/Fűtés hatékonysága	0,80	0,80	1,00	1,50
Világítás hatékonysága	10,50	10,50	7,00	5,25 [W/m2]
Háztartási berendezések hatékonysága	3,45	3,45	2,30	1,80 [W/m2]
Megújuló energiaforrások aránya	0,00	0,00	0,10	0,20
Építészeti érték/kialakítás				
Környezetbe való illeszkedés	0,20	0,20	0,50	1,00
Esztétikai érték	0,20	0,20	0,30	0,80
Funkcionális kialakítás	0,50	0,50	0,40	0,60
Belső komfort				
Fűtési igény	22	21	20	21 [fok]
Hűtési igény	-	-	25	24 [fok]
Mesterséges világítási igény	13	13	11	8 [h]
Élettartam/megbízhatóság				
Falszerkezetek élettartama	10	15	25	50 [év]
Nyílászárók élettartama	5	10	10	25 [év]
Tetőszerkezet élettartama	5	15	25	25 [év]
Hűtés/fűtés élettartama	5	10	10	15 [év]
Világítás élettartama	2	2	5	10 [év]
Háztartási berendezések élettartama	10	10	5	10 [év]

2. táblázat: Alternatívák

A fent ismertetett alternatívák értékelését elvégeztük az általunk felállított klasszikus AHP modellel is. Az értékelés során az előbbieken meghatározott döntéshozók minden alternatíva és kritérium tekintetében elkészítették a páros összehasonlítási mátrixokat, majd a már említett szoftver segítségével felállítottuk a különböző alternatívák rangsorát, ami alapján már könnyen értékelhettük őket. Az értékelés során kapott eredményeket a 3. táblázat tartalmazza.

Szimulációs eredmények	A1	A2	A3	A4	
<i>Energiafogyasztás</i>					
HVAC (gáz)	1 093,08	798,46	647,71	0,00	[MJ/m ²]
HMV (gáz)	223,67	223,67	109,56	142,94	[MJ/m ²]
Összesen (gáz)	1 316,75	1 022,13	757,27	142,94	[MJ/m ²]
<i>Elektromos</i>					
HVAC (elektromos)	14,14	7,63	53,71	178,77	[MJ/m ²]
Világítás (elektromos)	108,72	54,36	71,22	45,77	[MJ/m ²]
Egyéb (elektromos)	71,58	37,35	47,72	37,35	[MJ/m ²]
Összesen (elektromos)	194,44	99,34	172,65	261,89	[MJ/m ²]
<i>Összesen (nettó)</i>	<i>1 511,19</i>	<i>1 121,47</i>	<i>929,92</i>	<i>404,83</i>	<i>[MJ/m²]</i>
Összesen (primer energia)	1 802,85	1 270,48	1 070,01	638,13	[MJ/m²]
<i>Energetika Pontszám</i>					
Energetika Pontszám	0,14	0,20	0,24	0,41	[normált pontszám]
Klasszikus AHP eredmények					
Eltérés az energia pontszámtól	-23,78	-30,17	-1,30	24,10	[eltérés %]

3. táblázat: Az alternatívák értékelése

6. Összefoglalás

Az elvégzett kutatás alapján megállapítható, hogy egy klasszikus AHP módszerrel alapuló döntéstámogató modell alkalmas a tervezés korai fázisaiban a különböző alternatívák értékelésére és rangsor felállítására. A módszer gyengeségét az ismertetett probléma alkalmazásában a viszonylag magas számú kritérium és alkritérium jelenti. A négy különböző alternatívát figyelembe véve, amely nem tekinthető kirívóan soknak a koncepcionális tervezés során, a három döntéshozónak összesen mintegy 90 db páros összehasonlítási mátrixot kell elkészítenie, ami a döntéshozás hatékonyságát tekintve nem tekinthető különösebben jónak. Ezért célszerű a kidolgozott módszer tovább fejlesztése az általánosabb és hatékonyabb alkalmazhatóság tekintetében. Véleményünk szerint egy hibrid Fuzzy-AHP rendszer már megfelelő lehet hatékonyság tekintetében,

mindemellett természetesen a beruházási költség integrálása is szükséges feltétel egy széles körben alkalmazható döntéstámogató modell kialakításához. Ebben jelenthet segítséget az általunk létrehozott neurális háló alapú következtető rendszer, amely eredményei támpontot nyújthatnak gazdasági számítások elvégzéséhez.

A háztartások, illetve épületek energiafogyasztásának csökkentése tekintetében azonban fontos megemlíteni, hogy pusztán a tervezői rendszerek fejlesztése, vagy akár egy épület energiahatékonyságának növelése önmagában nem elég a meghatározott Európai Uniói célkitűzések eléréséhez. Véleményünk szerint a megfelelő szabályozás és a hatékony tervezői módszerek mellett szükséges a fogyasztók (lakók, beruházók) érdekeltiségének növelése, az energiahatékonyságra való igényük ösztönzése, hiszen csak e három tényező kombinációjával érhetjük el a kívánt fordulatot az energiahatékonyság tekintetében.

Hivatkozások

- [1] Johnny K. W. Wong, Heng Li (2008) „Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems”, *Building and Environment*, vol. 43, pp. 108–125
- [2] Christina J. Hopfe, Godfried L. M. Augenbroe, Jan L.M. Hensen (2013) „Multi-criteria decision making under uncertainty in building performance assessment”, *Building and Environment*, vol. 69, pp. 81-90
- [3] Thomas L. Saaty (2008) „Decision making with the analytic hierarchy process”, *Int. J. Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83-98
- [4] G. Kanagaraj, Ashwin Mahalingam (2011) „Designing energy efficient commercial buildings - A systems framework”, *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 2329–2343
- [5] R. Ramanathan (2001) „A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment”, *Journal of Environmental Management*, vol. 63, pp. 27-35
- [6] YANG Yu-lan, TAI Hui-xin, SHI Tao (2012) „Weighting indicators of building energy efficiency assessment taking account of experts' priority”, *J. Cent. South Univ.*, vol. 19, pp. 803–808
- [7] Yu-Ting Lai, Wei-Chih Wang, Han-Hsiang Wang (2008) „AHP- and simulation-based budget determination procedure for public building construction projects”, *Automation in Construction*, vol. 17, pp. 623–632
- [8] Pablo Aragonés-Beltrán, Fidel Chaparro-González, Juan-Pascual Pastor-Ferrando, Andrea Pla-Rubio (2014) „An AHP (Analytic Hierarchy Process)/ANP (Analytic Network Process)-based multi-criteria decision

- approach for the selection of solar-thermal power plant investment projects”, Energy, vol. 66, pp. 222-238
- [9] R. Judkoff, D. Wortman, B. O’Doherty, and J. Burch (2008) „A Methodology for Validating Building Energy Analysis Simulations”, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-550-42059
- [10] Merih Aydinalp, V. Ismet Ugursal, Alan S. Fung (2002) ‘Modeling of the appliance, lighting, and spacecooling energy consumptions in the residential sector using neural networks’, Applied Energy, vol 71, pp. 87-110
- [11] Merih Aydinalp, V. Ismet Ugursal, Alan S. Fung (2004) ‘Modeling of the space and domestic hot-water heating energy-consumption in the residential sector using neural networks’, Applied Energy, vol 79, pp. 159-178
- [12] Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI: Policy Report, Contribution of Energy Efficiency Measures to Climate Protection within the European Union until 2050, 2012
- [13] Altrichter Márta, Horváth Gábor, Pataki Béla, Strausz György, Takács Gábor, Valyon József (2006) ‘Neurális hálózatok’, Panem
- [14] TMN rendelet 7/2006. (V. 24) Az épületek energetikai jellemzőinek a meghatározásáról