

# ROBOSZTUS ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLAT EGY ÉPÍTÉSZETI ADATBÁZISON

## ROBUST SENSITIVITY ANALYSIS OF AN ARCHITECTURE DATABASE

Vincze Nándor<sup>0000-0001-6792-9664 1,2 \*</sup>

<sup>1</sup> Szegedi Tudományegyetem, Juhász Gyula Pedagógusképző Kar, Informatika Alkalmazásai Tanszék

<sup>2</sup> Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Alaptudományi Tanszék

<https://doi.org/10.47833/2024.3.CSC.001>

### Kulcsszavak:

épületszimuláció  
érzékenységelemzés  
Morris Elementary Effect módszer  
robosztusság

### Keywords:

building design simulation  
sensitivity analysis  
Morris Elementary Effect method  
robustness

### Cikktörténet:

Beérkezett 2024. június 23.  
Átdolgozva 2024. július 10.  
Elfogadva 2024. július 15.

### Összefoglalás

Egy családi házhoz, mint építészeti feladatosztályhoz korábban előállított épület-szimulációs adatbázist vizsgálunk. Az adatbázisból a különböző épületkonfigurációkhoz tartozó bizonyos bemeneti változókat, továbbá a konfigurációkhoz tartozó éves hőenergia-igényeket, mint kimeneti értéket tekintjük. A változók érzékenységvizsgálatát a Morris módszer több továbbfejlesztett változatával végezzük el, vizsgálva a változók fontosságát, a megoldás robosztusságát. Az érzékenységvizsgálattal azonosított fontosabb változók halmaza minden vizsgált esetben azonos.

### Abstract

A building simulation database previously created for a family house as an architectural task class is under review. From the database, we consider certain input variables for the different building configurations, as well as the annual heat energy requirements as the output value. The sensitivity analysis of the variables is carried out using several improved versions of the Morris method, examining the importance of the variables and the robustness of the solution. The set of the most important variables identified by the sensitivity test is the same in all examined cases.

## 1. Bevezetés

Az energiagazdálkodás célja, hogy a társadalom és a gazdaság számára létfontosságú energiával ellássa a különböző felhasználói szektorokat [1]. A kiotói egyezmény következtében az Európai Unió tagországainak mára egységes energia-hatékonysági kalkulációkkal kell rendelkeznie. Jelen szempontból megemlítendő, hogy mára megállapítható ezek alapján, hogy Európa elsődleges energia felhasználásának körülbelül 40%-a különböző épületek létrehozására és azok üzemeltetésére vezethető vissza [2]. Fontos tény az is ezzel párhuzamosan, hogy az épített környezet energiaigénye is nagymértékben növekedett az elmúlt időszakban [3]. Mindezek alapján nyilvánvaló az az igény, hogy a jelenlegi épületek tervezési szokásait megváltoztassuk. Ezt a változást sok oldalról lehet támogatni. Támogatás érkezik például a jogi szabályozás oldaláról, ahol az energiahatékonysággal kapcsolatosan olyan új szempontok is megfogalmazásra kerülnek a jogalkotó részéről, amelyek korábban nem szerepeltek. Ide sorolható például az Európai Parlament és Tanács 2012/27/EU irányelve az energiahatékonyságról (EED), és a kapcsolódó hazai, ún. Magyarország Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terv dokumentumok, melyek közül a legfrissebb a 2030. évek

\* Kapcsolattartó szerző Email: [vincze.nandor@nje.hu](mailto:vincze.nandor@nje.hu)

vonatkozásában érhető el, kitekintéssel 2040-ig, vagy a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia, melynek aktuális verziója 2015. februárjából származik. A szabályozási háttér kérdései tekintetében hazánkban meghatározóak a MEKH (Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal) kapcsolódó intézkedései, dokumentumai stb. Ezekhez szorosan kapcsolódik a 2011-ben bevezetett ún. EN ISO 50001 Energiairányítási rendszerszabvány is, amely az EU Energetikai Irányelveivel átfedésben van: ez a gyakorlatban már azt jelenti, hogy aki a szabvány szerint működik, az megfelel a direktíva előírásainak is. Fontos megjegyezni, hogy a fenti EU irányelvet 2018-ban módosították (2018/2002/EU). A szabvány korszerűsített változata az ISO 50001:2019, melyet az angol nyelvű kiadás után a Magyar Szabványügyi Testület 2019. áprilisában már magyar nyelven is közzétett.

A változás ugyanakkor támogatható beruházói oldalról is, hiszen a tulajdonosi oldalon megjelenő elvárásoknak való mindenkori megfelelés alapvető kritérium a tervezési folyamat során. Amennyiben a jogszabályozási háttér alakításán túlmutató tulajdonosi nyomás a fenntarthatóbb és gazdaságosabban üzemeltethető épületek tervezése irányába az építészre nagyobb mértékben hat, úgy az egyre szigorúbb építési épületenergetikai szabályoknak megfelelő, egyre energiatakarékosabb házak, akár passzív házak tervezése és megvalósításukra irányuló beruházások mind-mind hozzájárulhatnak az energiafelhasználás optimális szintjéhez és egy fenntarthatóbb és élhetőbb jövőhöz. Ebben a vonatkozásban az épületek energiaérzékeny tervezésének folyamata, a tervezők számára megfelelő és hatékony eszközök és számítási technikák biztosítása elengedhetetlen. Olyan új eszközök és módszertanok kialakítására van ezért tehát szükség, amelyek már az építészeti tervezési során is alkalmazhatóak és támogatni tudják a tervezőket a megépítendő épület leendő teljesítményét nagymértékben befolyásoló tényezők megfelelő sorrendiségének meghatározásában.

Tudományos oldalról történő támogatás tekintetében elmondható, hogy számos tanulmány született az elmúlt években, amelyek bizonyos részrendszerek tervezésére és/vagy üzemeltetésére, vezérlésük megfelelő szinten tartására esetlegesen optimalizálására vonatkozik. A szakirodalomban megtalálhatók olyan tudományos értekezések is, amelyek rendszerezik az energiahatékony épülettervezési kutatást az alkalmazható optimalizálási algoritmusok, az építési területek, a tervezési változók valamilyen választott szempontjából. Ezen megközelítések többsége a szerzők által kitűzött optimális megoldást az adott vizsgálat tárgyát képező alkalmazott hűtő-, fűtő-, légcserélő rendszernek (ún. Heating, Ventilation, Air Conditioning, továbbiakban HVAC), valamint az épület falszerkezetének és a felhasználás jellegének változtatásával kívánják elérni.

Érdeemes megjegyezni, hogy [4] kiterjedt tanulmányban foglaltak szerint egészen napjainkig nem volt található olyan átfogó kutatási irány nemzetközi szinten sem, amely az épületgeometriát, mint építészeti tervezési változót tekintené és vizsgálná annak hatásait az épületenergia-tervezés optimalizálásában. Ez a helyzet azért is kimondottan érdekes, hiszen már a 2000-es évek eleje óta ismert, hogy igen jelentős, akár közel 80%-os energia megtakarítás is elérhető lehet az épülettervezéskor átfogó passzív tervezési koncepció alkalmazásával, nevezetesen a forma, konfiguráció, térszervezés stb. a tervezés első pillanatától kezdődő tudatos optimalizálásával [5].

Elsősorban ebből az alapvetésből indult útjára az Energia Design tervezési módszer [6], amely rangos Gábor Dénes-díjban részesült. A módszer kombinatorikus szempontból még erősen korlátozott számú, döntően 3-5, heurisztikus példaépületet tekint, amelyhez energetikai és egyéb, például komfort szimulációkat készítenek. Az iteratív tervezési folyamat előrehaladtával a kiválasztott tervezési koncepciók egyre nagyobb részletességgel kerülnek kibontásra. Elmondható, hogy ez a módszer már javíthatja a megtervezett épületek energiaigényét és komfort szintjét a hagyományos tervezési gyakorlathoz képest, de még nem tartalmaz teljes körű vizsgálatokat és nem foglalkozik az optimalitás kérdéskörével.

Ennek az Energia Design tervezési módszer kiterjesztésének tekinthető egy olyan új megközelítés, amely a módszer szerves részeként tekint az esetgenerálásra, azaz a szintézis lépéssel kiegészítve, szigorú matematikai eszközökkel vizsgál feladatosztályokat. Ezt nevezzük Energia Design Synthesis (EDS) módszernek. Az eredeti ötlet a gyártási folyamatoknál már széles körben alkalmazott módszertanokból merítkezik, ami részletesen megismerhető például [7], [8], [9], [10] munkákban. Jelenleg az EDS egy olyan egyedülálló technika, amely különböző vizsgált feladatosztályok tekintetében optimális épületeket biztosít a legmagasabb energiahatékonyság és a legjobb komfortérzet mellett. A módszertan kickoffjának tekinthetően egy családi ház mintapéldája került részletes kibontásra. Ennek első lépéseként irodaházak épülettopológiai vizsgálata történt [11]. Építészeti szempontból másik kiindulópontot az jelentette, amikor a családi ház 6 egyforma építőelemből, ún. blokkból kerül felépítésre [12], meghatározott geometriai generálási szabályok alapján. Ezek a generálási szabályok úgy kerültek meghatározásra, hogy általuk létre lehessen hozni az összes építészetiileg megvalósítható és potenciálisan optimális épületformát, amely az adott vizsgált tárgyat képező

családi ház osztályba esik. A keresési tér lehatárolása után, melybe a fenti blokkokból álló moduláris épületforma megfelelően elhelyezhető, építész szakértők olyan alapvető szabályrendszert határoztak meg, amely szabályok minden lakható családi házra vonatkoztathatók matematikai szigorúsággal. Ezek között található az az alapvető elvárás, hogy a generálás eredményként előálló épület feleljen meg egy átlagosnak nevezhető családi háznak, azaz a földön álljon és ne legyen toronyház jellege (3 blokknál nem lehet magasabb). A generálás folyamatához szervesen illeszkedik egy építészeti egybevágóság vizsgálat is, így mindösszesen 167 elfogadott épületforma jelent meg. Ezen épületformákat, geometriákat konfigurációnak nevezték. A kiválasztott 167 épületkonfigurációkat valós családi ház-modellek előállítására használták. Összesen 5010 épületmodell esetet vizsgáltak, melyek a konfigurációk tekintetében továbbá szerkezetükben, üvegezésükben, tájolásukban tértek el egymástól. Az épületmodelleken dinamikus energetikai és komfort számításokat végeztek IDA ICE 4.8 szimulációs szoftver segítségével. Az időigényes és komplex energia és komfort szimulációs eljárások kiváltására különböző modelleket is felépítettek [13], [14].

A jelen vizsgálat tárgya ezen épületenergetikai szimulációs adatbázisból indul ki, a tanulmányban ezen szimulációs adatbázis részleteit vizsgáljuk. Az adatbázison belül az éves fűtési hőenergiaigényt, mint vizsgált kimeneti paramétert választottuk. Ennek alapvetően az az oka, hogy a statisztikák alapján egyértelmű a fűtési hőenergia dominanciája: a lakossági energiafelhasználás legnagyobb része, körülbelül 75%-a a fűtési hőigény fedezésére szolgál. Mindez annak ellenére tény, hogy az évnek csupán egy részében van szükség hazánk klímaviszonyai között fűtésre. A fennmaradó résznek nagyobb mértékben a használati melegvíz előállítását, további része a háztartások főzés energiaigényét fedezi. Jelen vizsgálatunk nem tért ki arra a napjainkban igen népszerű kérdésre, amely ezen hőigények előteremtésével kapcsolatos, azaz ezt az igényt elérhetőnek tekintettük. Vizsgálataink bemeneti változóiként a fent bemutatott épületkonfigurációk építész szakértők által meghatározott leíróit, továbbá a szerkezetet, WWR arányokat és a tájolási irányokat tekintettük. Hasonlóan a [15] és [16] eredményeihez, a szimulációk eredményeiből kiindulva a jelen vizsgálat alapján azonosíthatóak a leginkább befolyásoló paraméterek és azok függőségei.

## 2. Érzékenységvizsgálat

### 2.1. Megközelítések

Az érzékenységvizsgálatok (továbbiakban SA) különböző módszerei alkalmasak annak a vizsgálatára, hogy mely bemeneti paraméterek tekinthetők jelentősebbnek, továbbá milyen az egyes bemeneti változók együttes hatása a kimenet vonatkozásában. Azaz a vizsgálatok során arra kaphatunk választ, hogy a modell kimenetében lévő bizonytalanság hogyan osztható fel a modell bemenetében lévő bizonytalanság különböző forrásaival. Az előző fejezetben említett építészeti modellek esetében az érzékenységvizsgálat során az egyes tervezési változók hozzájárulása, a változók dinamikája és a változók fontossági sorrendje is vizsgálható.

A One-At-a-Time elnevezésű módszerek, mint pl. [17], során a vizsgálati mintapontok között egy bemeneti változó értéke kerül változtatásra csupán (a többi változó értéke nem változik). Ez a tárgyalt építészeti probléma esetén azt jelenti, hogy két egymás mellett levő modell-szimuláció között csupán egy bemeneti paraméterérték változik, és a kimenet kiértékelése ennek megfelelően kerül vizsgálatra. Az építészeti vizsgálatok során széles körben alkalmazott Morris módszer (lásd [18]), melynek alapja az ún. elemi effektusok (továbbiakban EE) meghatározása, azaz a mintában lépésenként egy-egy bemeneti változó értékének megváltozásának hatását tekintjük; a változók sorából felépülő trajektória, és a trajektóriákból kirajzolódó hiperkocka vizsgálata során. Nehézséget okozhat, hogy a módszer a bemeneti változók egyenletes eloszlását igényli, ami sok esetben nem teljesül, mert a változók diszkrét, vagy más eloszlásokat követnek. Erre és hasonló problémákra ad lehetséges megoldást [19], de ilyen az ún. Sampling for Uniformity (lásd [20]), és továbbfejlesztése az Enhanced Sampling for Uniformity (lásd [21]). Az érzékenységvizsgálatok során foglalkoztak azzal a nehézséggel, amit a változók skalázásának problémája okoz az input változók elementary effektus alapján történő hatásereőségének mérésében [22]. Épületek energetikai vizsgálatánál [23] vizsgálták az elemi effektusok átlagánál robosztusabb medián mértéket is, amely kevésbé érzékeny a kiugró értékekre. Vizsgálatainkhoz ezen módszereket használjuk.

Emlékeztetőül, ha  $y(x_1, x_2, \dots, x_k)$  egy kimeneti paraméter, az  $x_1, x_2, \dots, x_k$  bemeneti paraméterek függvényében, akkor a Morris féle elemi effektusok az egyes változókra differenciahányadosként definiáltak a változók mintabeli változásának mértékével meghatározva. Az érzékenység mértéke az elemi effektusok  $\mu_i$  mintaátlaga, míg az elemi effektusok abszolút értékének  $\mu_i^*$  mintaátlaga, amely a  $\mu_i$  mintaátlag korrekciójaként is tekinthető. Nyilvánvaló, ha az elemi hatások eloszlása pozitív és negatív elemeket is tartalmaz, akkor az

egyes hatások kiolthatják egymást, így még egy fontos változó esetén is alacsony  $\mu$  értéket adnak. Az abszolút várható érték magas értéke jelzi a bemeneti változónak a kimenetre gyakorolt jelentős hatását.

## 2.2. Modell input paraméterek

Folytatva [15] és [16] bemutatott munkát, a 14+1 épülettervezési változót vizsgáltunk, mely egyaránt tartalmaz épülettervezési paramétereket (szerkezet, fal ablak arány, tájolás), a különböző épületkonfigurációkhoz kapcsolódó bemeneti paramétereket (tetőfelület, talajhoz kapcsolódó felület stb.), és az építészeti által kiválasztott összetett leíró (A/S arány).

## 3. Eredmények

Az elemi effektusok és érzékenységi mutató általánosan jó tulajdonságainak vizsgálata következtében merült fel a kérdés, miszerint integrálhatók-e a fent bemutatott mutatók azok jó tulajdonságainak megtartásával, azok lényeges megváltoztatása, illetve új mutató bevezetése nélkül. Ehhez a jelen dokumentumban alkalmazott módszerként az eloszlások vágását tekintettük, amikor az eloszláshoz tartozó adatok közül mindkét szélen azonos arányú adathalmazt vágunk le. Más szóval az interkvantilis terjedelmet vizsgáljuk, amely a gyakorlati jellegű vizsgálatoknál szintén széles körben elterjedt módszer.

A tekintett adatbázis esetén vizsgálatunk fő kérdése, hogy a módszer ad-e a különböző vágási értékeknél az érzékenységi mértékek tekintetében olyan változást, amely az input paraméterek hatásának sorrendiségében jelentős átrendeződést eredményez. A kapott EE adatokon azt vizsgáljuk, hogy az abs(EE) eloszlás mindkét oldalán azonos %-os arányú adatok levágásával (amely esetünkben 5%-os arányú adatvágás) hogyan változik az érzékenységi mutató, az átlag, illetve az interkvantilis közép. Megjegyezzük, hogy a szakirodalomban az interkvantilis átlag széles körben, használatos, ugyanakkor az vizsgált építészeti adatbázis ilyen szintű vágása már lényegesen befolyásolná az adatok jellemzőinek viselkedését, ezért ettől a jelen vizsgálat során eltekintettünk. Az adatoknál összehasonlítjuk a kapott interkvantilis közép értékeket az abs(EE) mediánal is. A medián értéke nyilvánvalóan nem fog változni, ha az adatok felső és alsó azonos %-át vágjuk. Az abs(EE) eloszlás vágásának vizsgálata során elsődleges motivációnk az volt, hogy mivel az EE értékek eloszlásának vágásánál a legnagyobb hatásokat kűszöbölénk ki, ily módon az input változó hatásának megállapításánál a vágások esetében olyan hibát véthetünk, amely eredményeképpen a hatás nagyságát nem mérjük teljes erősségében. Ugyanakkor az abs(EE) eloszlásának vágásánál mind a nagyon nagy, mind a nagyon kis hatások egyszerre történő kikűszöbölésével dolgozunk, ily módon az input változó hatásának erősségét az output változóra az input változó átlagosan erős hatásértéke felé mozdítjuk el. Ezzel a módszerrel természetesen a kiugró értékek kikűszöbölése is részben vagy teljesen megtörténhet.

Vizsgálataink során meggyőződhetünk arról, hogy az abs(EE) abszolút eloszlásának ezzel a módszerrel végzett vágása után előálló érzékenységi mérték nem lesz olyan érzékeny az esetlegesen kiugró (vagy nem kiugró, de mértékében nagy) hatáserősségekre a mediánhoz hasonlóan. Ezen túlmenően, mivel ezt a mértéket is átlagként képezzük, megőrzi a korábban ismert  $\mu_i^*$  érzékenységi mérték jó tulajdonságait is.

A nem egyenletes eloszlású változók átskálázása szükséges a kvantilisok alapján ahhoz, hogy a fent tárgyalt Morris módszer alkalmazható legyen. Továbbá az átskálázás mellett a [0,1]-re transzformálást is el kell végezni, ha a változó [0,1]-en kívüli értékeket is felvehet. Egy ilyen használható transzformáció:

$$x'_i = \frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i}$$

Ehhez hasonló transzformációk a matematika más területein, mint például a döntéelméletben, is széles körben ismertek. Ott a döntéelmélet logikája alapján más transzformációk is használatosak a változók normalizálására. A transzformációk végeredményeként az input változók értékei dimenziómentes arányszámok lesznek. Ahhoz, hogy az eredeti értelmezési tartományban lehessen az eredményeket értelmezni, visszaskálázás a következő transzformációval lehetséges:

$$x_i = x'_i(\max_i - \min_i) + \min_i$$

Ekkor úgy mérhetünk hatáserősséget, illetve olyan érzékenységi mértéket használhatunk, melyet dimenziómentes paraméterekre vezettek be. Wang és szerzőtársai egy globális normalizált érzékenységi mértéket adtak meg dimenziómentes input paraméterek hatásának vizsgálatára, [24]. Ha  $k$  változónk van, akkor képezzük első lépésben a  $j$ . trajektórián belül az

$$a_i = |EE_i^j| / \sum_{m=1}^k |EE_m^j|$$

értékeket, majd a paraméterenként a kapott értékek átlagát tekintve az  $r$  trajektóriára:

$$\tau_i = \left( \sum_{j=1}^r a_i \right) / r$$

A továbbiakban azt vizsgáltuk, hogy adatbázisunkban a fentiek szerinti mértéknek a hatása hogyan jelentkezik a paraméterek rangsorolásában. Vizsgálataink összefoglalását a „Structure 1” változó értékei vonatkozásában az 1. ábra tartalmazza, míg „Structure 2” változó vonatkozásában a 2. ábra mutatja.

Paraméterek	$\mu^*$	Paraméterek	$\mu^* \cdot 5\%$	Paraméterek	med*
a_negative_edge	849.8	a_negative_edge	823.7	orientation	725.8
orientation	822.1	orientation	796.6	a_negative_edge	710.9
g_edge	598.8	g	583.7	g	595.6
g	595.7	g_edge	577.3	g_edge	564.9
r	518.9	r	496.8	r	490.2
r_positive_edge	438.5	r_positive_edge	412.0	b	368.5
window_rate	409.0	window_rate	368.0	window_rate	358.0
b	366.1	b	352.8	a_positive_air_positive_vertex	311.1
a_positive_air_positive_vertex	356.6	a_positive_air_positive_vertex	321.3	r_positive_edge	309.5
g_positive_positive_vertex	343.5	g_positive_positive_vertex	274.7	a_positive_edge	248.6
a_positive_edge	279.3	a_positive_edge	257.2	g_positive_positive_vertex	223.3
a_per_s	261.3	r_negative_edge	211.5	r_negative_edge	157.4
r_negative_edge	232.0	a_per_s	159.0	a_per_s	102.0
w	143.4	w	117.1	w	82.7

Paraméterek	$\tau$	Paraméterek	$\tau - 5\%$
orientation	17.5%	orientation	20.6%
a_negative_edge	12.2%	a_negative_edge	14.5%
window_rate	11.0%	window_rate	12.8%
b	9.7%	b	11.6%
r_negative_edge	7.5%	r_negative_edge	8.0%
a_positive_edge	6.6%	a_positive_edge	7.9%
r	6.5%	r	7.0%
g_positive_positive_vertex	5.9%	g_positive_positive_vertex	6.9%
g	5.9%	g	6.7%
r_positive_edge	5.1%	r_positive_edge	6.0%
g_edge	4.5%	g_edge	5.4%
a_positive_air_positive_vertex	3.6%	a_positive_air_positive_vertex	4.4%
w	3.2%	w	2.9%
a_per_s	1.2%	a_per_s	1.2%

1. ábra. A bemeneti változók osztályozása hatásuk szerint – „Structure 1” változó alapján.

Paraméterek	$\mu^*$	Paraméterek	$\mu^* \cdot 5\%$	Paraméterek	med*
orientation	661.0	a_negative_edge	629.7	orientation	603.6
a_negative_edge	650.1	orientation	621.2	r	599.0
r	590.3	r	576.7	a_negative_edge	596.1
g	422.8	g	407.6	g	389.7
g_edge	421.3	r_positive_edge	394.2	r_positive_edge	363.0
r_positive_edge	417.8	g_edge	390.4	window_rate	326.0
window_rate	336.7	window_rate	333.1	b	301.5
b	316.9	b	309.4	g_edge	299.3
a_positive_air_positive_vertex	293.8	a_positive_air_positive_vertex	273.1	a_positive_air_positive_vertex	262.3
r_negative_edge	245.2	r_negative_edge	217.4	r_negative_edge	214.6
g_positive_positive_vertex	231.8	g_positive_positive_vertex	214.8	g_positive_positive_vertex	180.3
a_positive_edge	213.9	a_positive_edge	197.0	a_positive_edge	152.1
a_per_s	120.3	a_per_s	100.3	w	79.3
w	105.1	w	92.3	a_per_s	69.9

Paraméterek	$\tau$	Paraméterek	$\tau - 5\%$
orientation	17.6%	orientation	20.0%
a_negative_edge	13.7%	a_negative_edge	16.8%
b	8.4%	b	10.0%
window_rate	7.8%	r_negative_edge	9.3%
r_negative_edge	7.8%	window_rate	9.0%
a_positive_edge	6.9%	a_positive_edge	8.3%
r	6.7%	r_positive_edge	7.4%
g	6.2%	g	7.1%
g_positive_positive_vertex	6.1%	r	6.5%
r_positive_edge	6.1%	g_positive_positive_vertex	6.5%
a_positive_air_positive_vertex	4.9%	a_positive_air_positive_vertex	6.3%
g_edge	3.8%	g_edge	4.4%
w	3.2%	w	3.7%
a_per_s	2.7%	a_per_s	2.4%

2. ábra. A bemeneti változók osztályozása hatásuk szerint – „Structure 2” változó alapján.

## 4. Következtetések

A vizsgált építészeti adatbázisra használt érzékenységi mértékek közül a  $\mu_i^*$  és  $med^*$  hagyományos mértékekre elmondható, hogy a „Structure 1” és „Structure 2” értékekhez tartozó adatokon a legfontosabb 9 változó sorrendiségében ugyan történik változás, de a módszer screening jellege változatlan marad, azaz az első 9 helyre ugyanazon változókat sorolja.

A dimenziómentes adatokra adott  $\tau$  mutató esetében is a vágással a sorrendiségben okozott változás olyan mértékű, mely miatt a Morris módszer screening jellege változatlan marad: itt „Structure 1” és „Structure 2” értékekhez rendre az a hagyományos mutatók által a hatásosság szerinti sorrendben első 9 változóból 6 illetve 7 változót sorol a legfontosabbak közé. A fentiek alapján elmondható, hogy a Morris modell és különböző változatai a vizsgált építészeti adatbázison a módszer screening jellegét tekintve stabil.

## Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.ksh.hu/energiagazdalkodas>, megtekintve 2023.11.25.
- [2] European Communities, “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, vol. 46, no. L1, pp. 65–71, Jan. 2003.
- [3] X. Cao, X. Dai, and J. Liu, “Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade,” Energy Build, vol. 128, pp. 198–213, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2016.06.089.
- [4] I. Kistelegdi; K. R. Horváth; T. Storcz; Z. Ercsey. Building Geometry as a Variable in Energy, Comfort, and Environmental Design Optimization—A Review from the Perspective of Architects. Buildings 2022, 12, 69. <https://doi.org/10.3390/buildings12010069>
- [5] G. Hausladen, M. de Saldanha, P. Liedl, and C. Sager, Climate Design : Solutions for Buildings that Can Do More with Less Technology. Basel: Birkhäuser Verlag, 2005.
- [6] B. Baranyai, B. Póth, and I. Kistelegdi, “Planning and research of smart buildings and constructions with the ‘Energydesign Roadmap’ method,” Pollack Periodica, vol. 8, no. 3, pp. 15–26, Dec. 2013.
- [7] F. Friedler, A. Orosz, J. Pimentel Losada: P-graphs for process systems engineering: Mathematical models and algorithms. Cham, Svájc : Springer-Verlag (2022) , 261 p. 978-3-030-92215-3
- [8] Frits, Marton; Bertok, Botond: "Routing and scheduling field service operation by P-graph," Computers & Operations Research vol. 136, pp. 105472, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.cor.2021.105472
- [9] Ercsey, Zsolt. Process network solution of a clothing manufacturer’s problem. POLLACK PERIODICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES 12 : 1 pp. 59-67. , 9 p. (2017) <https://doi.org/10.1556/606.2017.12.1.5>
- [10] Z. Ercsey; A. Nagy; J. Tick; Z. Kovács. Bus Transport Process Networks with Arbitrary Launching Times. ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 18 : 4 pp. 125-141. , 17 p. (2021). <https://doi.org/10.12700/APH.18.4.2021.4.7>
- [11] D. N. Androsics-Zetz, I. Kistelegdi, Z. Ercsey. Algorithmic Generation of Building Typology for Office Building Design. BUILDINGS 12 : 7 Paper: 884 , 25 p. (2022) <https://doi.org/10.3390/buildings12070884>
- [12] T. Storcz; Z. Ercsey; K. R. Horváth; Z. Kovács; B. Dávid; I. Kistelegdi. Energy Design Synthesis: Algorithmic Generation of Building Shape Configurations. Energies 2023, 16, 2254. <https://doi.org/10.3390/en16052254>
- [13] T. Storcz, G. Várady, I. Kistelegdi, Z. Ercsey. Regression Models and Shape Descriptors for Building Energy Demand and Comfort Estimation. ENERGIES 16 : 16 Paper: 5896 , 20 p. (2023) <https://doi.org/10.3390/en16165896>
- [14] Storcz, Tamas; Kistelegdi, István; Horváth, Kristóf Ronald; Ercsey, Zsolt. Applicability of Multivariate Linear Regression in Building Energy Demand Estimation. Mathematical Modelling Of Engineering Problems 9 : 6 pp. 1451-1458. , 8 p. (2022) <https://doi.org/10.18280/mmep.090602>
- [15] N. Vincze, K. R. Horváth, I. Kistelegdi, T. Storcz, Z. Ercsey, “Morris method supporting building optimisation” Pollack Periodica, 19:1 pp. 124-129. 6 p. (2024), <https://doi.org/10.1556/606.2023.00752>
- [16] N. Vincze, T. Storcz, I. Kistelegdi, Z. Ercsey. Érzékenységvizsgálat az építészeti tervezés támogatásában. GRADUS 10 : 2 Paper: 2023.2.CSC.011 , 7 p. (2023) <https://doi.org/10.47833/2023.2.CSC.011>
- [17] F. Campolongo, J. Cariboni, and A. Saltelli, “An effective screening design for sensitivity analysis of large models,” Environmental Modelling & Software, vol. 22, no. 10, pp. 1509–1518, Oct. 2007, doi: 10.1016/J.ENVSOFT.2006.10.004
- [18] M. D. Morris, “Factorial sampling plans for preliminary computational experiments,” Technometrics, vol. 33, no. 2, pp. 161–174, 1991.
- [19] Saltelli et al., Global Sensitivity Analysis. The Primer. John Wiley & Sons, Ltd, 2007
- [20] Y. P. Khare, R. Muñoz-Carpena, R. W. Rooney, and C. J. Martinez, “A multi-criteria trajectory-based parameter sampling strategy for the screening method of elementary effects,” Environmental Modelling & Software, vol. 64, pp. 230–239, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.envsoft.2014.11.013
- [21] J. Chitale, Y. Khare, R. Muñoz-Carpena, G. S. Dulikravich, and C. Martinez, “An Effective Parameter Screening Strategy for High Dimensional Models,” Nov. 2017. doi: 10.1115/IMECE2017-71458
- [22] Rutjens RJL, Band LR, Jones MD, Owen MR (2023) Elementary effects for models with dimensional inputs of arbitrary type and range: Scaling and trajectory generation. PLoS ONE 18(10): e0293344. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293344>
- [23] Menberg K, et al. Sensitivity analysis methods for building energy models: Comparing computational costs and extractable information. Energy and Buildings. 2016; 133:433–445. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.005>

- [24] Wang L, et al. Sensitivity analysis of the Chaohu Lake eutrophication model with a new index based on the Morris method. *Water Supply*. 2018; 18(4):1375–1387. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.204>