



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Ludman Levente

Villamos autók várható töltési igényének modellezése és vizsgálata a főváros és annak agglomerációja közti ingázási szokások alapján

Tudományos Diákköri Konferencia

KONZULENSEK

Dr. Hartmann Bálint

Dr. Mátrai Tamás

BUDAPEST, 2022

Összefoglaló

A legújabb hazai elektromobilitási stratégia, a Jedlik Ányos Terv 2.0 egyértelmű célkitűzéseket fogalmaz meg a szektorban várható és elvárt fejlesztéseket illetően, mind kormányzati, mind piaci szinten. Ez alapján a villamos autók további gyors terjedése várható. A villamos autók továbbra is magasabb bekerülési költsége és korlátozottabb hatótávja miatt, mint amivel a hagyományos, belső égésű motorral szerelt versenytársaikat jellemezhetjük, a főváros és annak környezetében várható a legdinamikusabb bővülése a villamos autó flottának. Ennek egy igen jelentékeny pozitív környezeti hatása is lehet a fővárosra, hiszen ha a budapesti agglomerációból naponta bejáró, ingázó felhasználói csoport hagyományos autója helyett villamos autóval végzi az említett napi ingázást, jelentős károsanyag-kibocsátástól kímélheti meg a fővárost és az ott élő embereket.

Energetikai szempontból az egyre növekvő számú villamos autó nyilvánvalóan egyre nagyobb és igen koncentrált töltési igényt támaszt az elosztóhálózat felé, melynek kezelése és megfelelő kiszolgálása nagy kihívást jelenthet az áramszolgáltatók számára. Ugyanakkor a dekarbonizációs törekvéseknek köszönhetően egyre nagyobb részarányt képviselnek az időjárásfüggő megújuló energiaforrások a teljes energiamixben. Ennek köszönhetően egyre inkább előtérbe kerülnek a hálózatra kapcsolható és vezérelhető tárolók, s az ezekkel megvalósítható rugalmassági szolgáltatások. Ezek egyik legkézenfekvőbb megoldása lehet a villamos autók akkumulátorával végzett szabályozás, mely az aggregátorok és energiaközösségek további elterjedésével már a közeljövőben fontos szerepet kaphat.

Dolgozatom első fejezetében nemzetközi tanulmányok alapján áttekintem a villamos autót használókról rendelkezésre álló adatokat. Ennek segítségével létrehozok egy előzetes profilt, mellyel a hazai környezetben azonosításra kerül azon felhasználói csoport, akik a legnagyobb eséllyel és leghamarabb váltanak villamos autóra. Ezután népszámlálási adatokra támaszkodva megvizsgálom a Budapest és annak agglomerációja közti ingázás főbb paramétereit, majd ezeket összevetve az előzetesen felállított profillal kijelölöm a leginkább releváns agglomerációs körzetet, mely a további vizsgálatok fő tárgyát fogja képezni. A harmadik fejezetben az összegyűjtött adatok alapján modellezem az ingázók által igényelt maximális töltési igényt a választott agglomerációs körzet esetén, majd össze is vetem a kapott eredményt rendelkezésre álló töltési adatokkal. Ezután megvizsgálom, milyen adattípusok mentén elemezhető tovább a jelentkező töltési igény az egyes töltési pontokon. Végül az utolsó fejezetben ezen adatdomének segítségével megvizsgálom, melyik és mekkora mértékben határozza meg a töltőpont fő paramétereit, mint a leadott töltési energia vagy a töltési idő.

Abstract

The latest Hungarian electromobility strategy, the Jedlik Ányos Terv 2.0, sets out clear objectives for the expected and anticipated developments in the sector, both at government and market level. This will continue to drive the rapid uptake of electric vehicles. The capital and its surroundings are expected to see the most dynamic expansion of the electric vehicle fleet, due to the still higher cost of ownership and more limited range of electric cars than their conventional internal combustion engine competitors. This could also have a very significant positive environmental impact on the capital city, since if the group of commuters from the Budapest agglomeration uses electric cars instead of conventional cars for their daily commute, this could save the capital city and its inhabitants significant emissions.

From an energy point of view, the growing number of electric vehicles will obviously place increasing and highly concentrated charging demands on the distribution network, which can be a major challenge for electricity suppliers to manage and serve adequately. At the same time, decarbonisation efforts are leading to an increasing share of weather-dependent renewables in the overall energy mix. As a result, grid-connected and controllable storage and the resilience services it can provide are becoming increasingly important. One of the most obvious solutions could be battery-based regulation of electric vehicles, which could play an important role in the near future as aggregators and energy communities become more widespread.

In the first chapter of my paper, I review available data on electric vehicle users based on international studies. This will be used to create a preliminary profile to identify the group of users in the domestic context who are most likely to switch to electric cars and who are most likely to do so soon. Then, using census data, I will examine the main parameters of commuting between Budapest and its agglomeration, and compare these with the preliminary profile to identify the most relevant agglomeration area, which will be the main focus of further analysis. In the third chapter, I will use the collected data to model the maximum charging demand of commuters for the chosen agglomeration district and compare the results with available charging data. I will then examine the data types that can be used to further analyse the reported charging demand at each charging point. Finally, in the last chapter, I will use these data domains to investigate which and to what extent they determine the main parameters of the charging point, such as the delivered charging energy or the charging time.

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	i
Abstract	ii
Tartalomjegyzék	iii
1 Villamos autók töltési igényének becslése a budapesti ingázási szokások alapján	5
1.1 Releváns fogyasztók és területek meghatározása	6
1.1.1 A releváns fogyasztói csoport feltérképezése	6
1.1.2 A releváns terület kiválasztása	8
1.2 Forgalmi teljesítmények meghatározása	12
1.2.1 módszer – 2011-es népszámlálás adatai	12
1.2.2 2. módszer – EFM adatok	15
1.2.3 Az alkalmazott módszerek összevetése és értékelése	19
1.3 A várható energiaigény meghatározása	20
1.3.1 A napi ingázás egységnyi energiaigénye	20
1.3.2 A megjelenő villamosenergia-igény várható nagysága	24
2 A villamosautó-töltőállomások paramétereit meghatározó szocio-ökonómiai tulajdonságok feltérképezése	25
2.1 Áttekintés	25
2.2 A potenciális paraméterek meghatározása	26
2.2.1 Nemzetközi szakirodalom áttekintése	27
2.2.2 Optimális töltőpont lehelyezéskor használt paraméterek	29
3 A potenciális paraméterek kiválasztása	32
3.1 Lakossági statisztikák	32
3.1.1 Egy főre jutó éves nettó jövedelem	32
3.1.2 Diplomások aránya	33
3.1.3 Népsűrűség	34
3.1.4 Lakókörnyezet index	35
3.2 Épülettípusok	36

3.2.1	Városközpont index.....	36
3.2.2	Beépítés jellege.....	37
3.2.3	Töltőhely elhelyezkedés (mikro).....	37
3.2.4	Töltőhely elhelyezkedés (makro).....	37
4	A töltőpontok területi analízise.....	38
4.1	A releváns töltéseket tartalmazó adatbázis létrehozása	38
4.2	A töltőket leíró adatbázis létrehozása.....	39
4.2.1	Magyarázó változók.....	39
4.2.2	Célváltozók	41
4.3	Lineáris regressziós modell megalkotása, futtatása.....	41
4.4	Szenárióelemzés	43
5	Konklúzió	45
6	Irodalomjegyzék	46
F1	Első módszer - A kapott minimális és maximális távolságok	1

1 Villamos autók töltési igényének becslése a budapesti ingázási szokások alapján

A villamos autókat egyértelműen környezetbarát tulajdonságai miatt választják a felhasználók [1]. Ezek közül is kiemelkedik a lokális zéró emisszió, azaz a villamos autó használata alatt nem bocsát ki CO₂-t és egyéb káros gázokat [2], [3]. Ez a tulajdonság az, ami a jelen és jövő meghatározó közlekedési eszközzé predesztinálja a villamos autókat. A világon szinte minden nagyvárosban szembesültek a túl sok hagyományos személygépkocsi okozta problémával, a légszennyezéssel. Statisztikailag egyértelműen látszik a kártékony hatás, egyre több felső légúti beteget regisztrálnak a nagyvárosokban [4], [5]. Ezért attól függetlenül, hogy teljes életciklusra vetítve még nem jelent jobb alternatívát a villamos autó a belső égésű motorral szerelt autókkal szemben, városi közlekedésre illetve napi ingázásra már most is egy sokkal jobb választás [6], [7], [8]. Az ingázás szerepe két ok miatt is különösen nagy ebben a kérdésben. Először is, az ingázók adják a nagyvárosi autós közlekedés igen jelentőshányadát. Ezen túl, a villamos autók nagyobb ütemű elterjedése szintén a nagyvárosokban és azok környékén várható. Ingázók alatt a továbbiakban a KSH definíciója [9] szerinti napi, ugyanarra a településre ingázókat értjük. Továbbá ingázónak tekintjük azon budapesti lakosokat is, akik lakhelyüktől eltérő területen dolgoznak és járnak oda rendszeresen.

A fentiek alapján a fejezetet a releváns fogyasztói csoport feltérképezésével kezdjük, ami után meghatároztuk a releváns fővárosi agglomerációs szektort. A következő alfejezetben megvizsgáljuk a fővárosi ingázáshoz kapcsolódó forgalmi teljesítményeket. Megállapítjuk az ingázók által megtett tipikus napi távolságokat, valamint meghatározzuk az ingázók számát minden ingázási szakaszon. Ezt két különböző módszer segítségével is megteesszük, a kapott eredményeket pedig összehasonlítjuk és értékeljük. A következő alfejezetben a várható energiaigény meghatározását mutatjuk be. Bemutatjuk a hazai villamos autó típusokra jellemző tipikus fogyasztási értéket, illetve ezek megoszlását a hazai piacon. Ezek segítségével már lehetőség nyílik meghatározni a különböző ingázási szakaszokhoz tartozó egységnyi, egy főre vonatkozó villamosenergia-igényt. Ezt összevetve az ingázók számával megkapjuk a teljes villamosenergia-igény nagyságát.

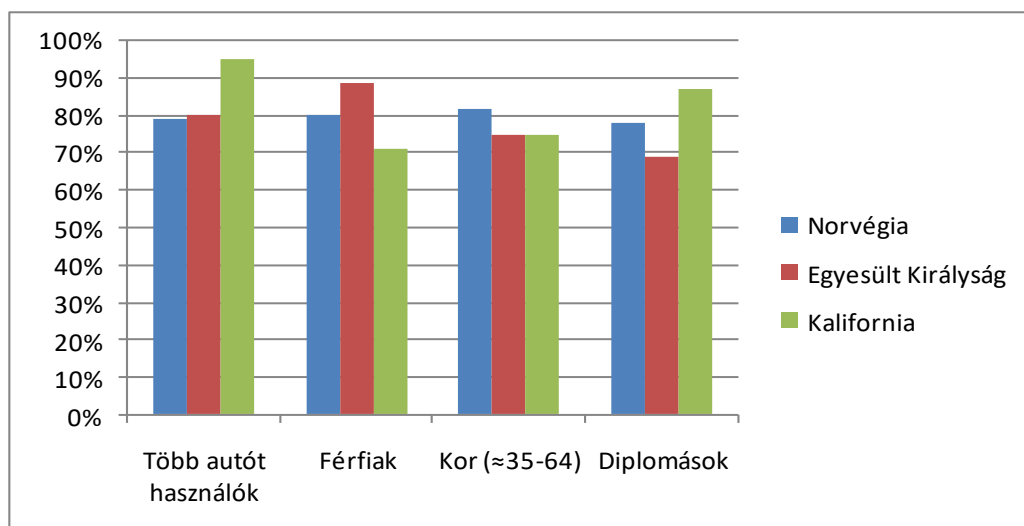
1.1 Releváns fogyasztók és területek meghatározása

Első lépésként a külföldi szakirodalom áttekintésének segítségével megvizsgáltuk, milyen tényezők alapján vizsgálhatóak érdemben a villamos autó tulajdonosok. Ezek kiválasztása után létrehoztuk a hazai környezetre adoptált profilt, mellyel azonosíthatóak lehetnek a vizsgálat szempontjából releváns területek Magyarországon. Ezt követően a hazai ingázás viszonyait elemeztük, majd összevetve a meghatározott profillal az itt kapott eredményeket, kiválasztottuk a kutatás szempontjából leginkább érdekes fővárosi agglomerációs körzetet.

1.1.1 A releváns fogyasztói csoport feltérképezése

Az általános vásárlói profilt alakító jellemző tulajdonságok három tanulmány nyomán kerültek meghatározásra [10], [11], [12]. Ezek norvég, egyesült királyságbeli és kaliforniai adatok alapján vizsgálták a téma különböző aspektusait. Ezen régiókban már szignifikáns villamos autó elterjedés látható, így egyre inkább mutatkozik egy általános vásárlói profil. Ugyanakkor az eredményeket mindenképp szükséges területi kontextusba is helyezni. Ezen túl, ahol több időszakot is vizsgáltak, a korábbi adatok felhasználása mellett döntöttünk, lévén a hazai elterjedtség arányaiban ehhez áll közelebb. A cikkek eltérő módon tárgyalják a villamos autók felosztását. Ahol rendelkezésre állt, a tisztán villamos hajtású akkumulátoros autókra (BEV – Battery Electric Vehicle) megadott adatokkal dolgoztunk, lévén ezek villamosenergia-tároló képessége - így relevanciája is - a legnagyobb a töltésigény vizsgálatokor.

Az 1. ábra a négy főbb paramétert mutatja, mely egyaránt rendkívül jellemző a villamos autó tulajdonosokra a vizsgált területeken. A kutatások alapján egyöntetűen az derült ki, hogy a villamos autót használók rendelkeznek egy vagy több másik, általában hagyományos, belső égésű motorral szerelt autóval. A felhasználók döntő része férfi, ami bár magas szám, nem túlzottan meglepő, hiszen az autósok nagyobb része még mindig férfi a vizsgált területeken is, valamint az átlagos keresetük is magasabb egyelőre. Korösszetételi mediánban voltak kisebb eltérések a mérési határoktól függően, ám általánosan elmondható, hogy a leginkább érintett korosztály a 35-64 évesek csoportja. A 35 éveseknél fiatalabbak egyelőre kevésbé fogékonyak a villamos autó vásárlás iránt, ez valószínűleg a magas bekerülési költség miatt lehet így. Végül, a felhasználók általánosan magasabban iskolázottak, gyakran diplomások vagy magasabb képzettséggel rendelkeznek.



1. ábra: A villamos autó tulajdonosok főbb, egyezést mutató szociológiai paraméterei a vizsgált külföldi szakirodalmakban [10], [11], [12]

A diagramban nincs feltüntetve egy szintén jelentős analóg paraméter, a jövedelem. Általános tény, hogy a villamos autók bekerülési költsége jóval magasabb hagyományos társaiknál, így jogos a várakozás, miszerint a tehetősebb, magasabb jövedelemmel rendelkező fogyasztók ruháznak be erre először. Ezen várakozást az adatok visszaigazolják. Kaliforniában kb. 75000 \$ (kb. 20 millió forint) volt a háztartások éves jövedelmének mediánja 2018-ban [13], míg egy 2012-es felmérés szerint a villamos autót használó háztartások több, mint felének (54%) 150000 \$ (kb. 33,8 millió forint) felett volt a jövedelme [12]. Hasonló a helyzet Norvégiában is, ahol az átlagos éves nettó fizetés kb. 500000 NOK (kb. 16,5 millió forint) volt 2019-ben [14], míg a 2016-os adatok alapján a felhasználók 51%-a keresett 1000000 NOK (kb. 33,5 millió forint) felett [10].

Két tanulmány a fentiekén túl foglalkozik a háztartások méretével is. A norvég tanulmány [10] eredményei szerint a BEV-vel rendelkező háztartásokban átlagosan 3,2 ember él, 56%-ában van gyermek, 38%-ában pedig kettő vagy több gyermek van. Emellett átlagosan 2,03 embernek van jogosítványa, tehát Norvégiában az a jellemző, hogy mindkét szülő használ autót. Az amerikai tanulmányban [12] hasonló számokat látunk a háztartások méretére. 52%-ukban van gyermek, míg 32%-ukban van kettő vagy több gyerek. Ezen túl a kaliforniai felhasználók 91%-a él önálló családi házban, szintén 91%-uk telepített töltőt otthonra, valamint 75%-uk parkol autójával garázsban. Az egyesült királyságbeli tanulmányban [11] az otthon töltők aránya még ennél is magasabb, 97%, továbbá ezen tanulmány az amerikai tanulmánnyal [12] egyetemben egyaránt mutatja, hogy az urbánus, városias területek és ezek vonzáskörzete a villamos autók elsődleges előfordulási helye, ami szintén illeszkedik várakozásainkhoz, hiszen a villamos autók hatótávja továbbra is igen korlátozott, ám városi közlekedésre teljesen alkalmas. A városi alkalmazás mellett szólnak még a villamos autók olyan tulajdonságai, mint a lokális károsanyag-kibocsátás mentesség, kvázi zajkibocsátás-mentesség illetve a visszanyerhető fékenergia. Egyúttal a töltő infrastruktúra több olyan országban is még elmaradott

országos szinten, ahol a villamos autók száma dinamikusabban nő, azonban a városokban ez az infrastruktúra már gyakran rendelkezésre áll.

Mindezek alapján a következő paraméterekkel rendelkező személyekre szűkítettük a fogyasztói csoportot (1. táblázat). 35-64 éves, magasan képzett, már autóval rendelkező férfi. Budapest és nagyjából annak 50 km-es körzete lehet a reális terület, ahol önálló családi házzal rendelkező háztartásokat keresünk, lehetőleg garázzsal ellátva. Elsősorban családos emberek esetében volt releváns választás a villamos autó. Végül, jellemző volt a relatív magas jövedelem. 2017-ben a leggazdagabb decilis (legfelső 10%) átlagos havi nettó jövedelme 3 112 583 forint volt [15].

1. táblázat: A fogyasztói csoport tulajdonságai

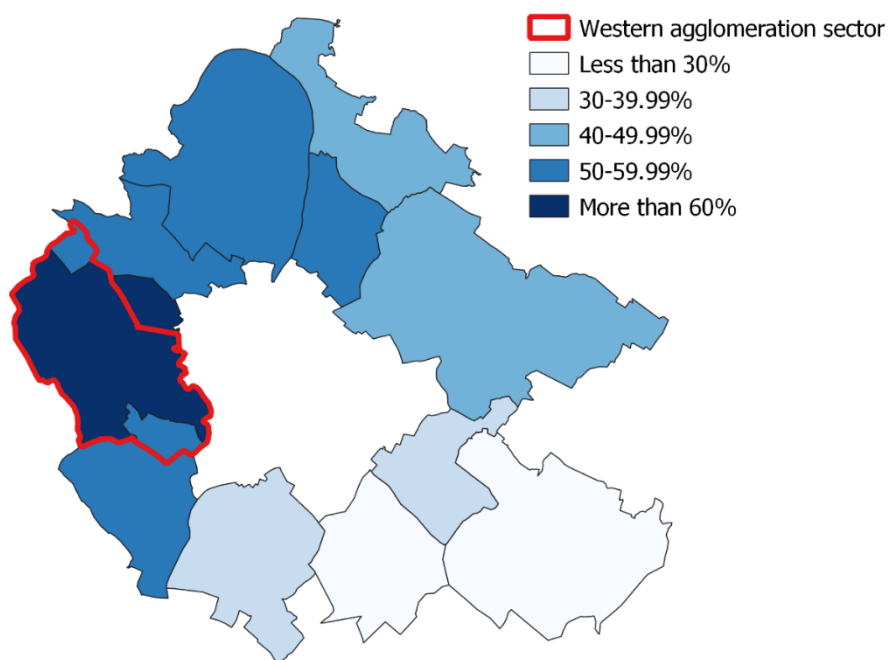
Nem	Férfi
Kor	35-64
Státusz	Családos
Végzettség	Legalább Bachelor diploma
Autók száma	Egy vagy több
Lakhely	Pest megye
Lakhely típusa	Önálló családi ház, garázzsal
Nettó havi jövedelem	3 000 000 Ft<

1.1.2 A releváns terület kiválasztása

A budapesti agglomerációban lezajló ingázás áttekintése kizárólag publikus adatok, leginkább a jelenleg legfrissebb, a KSH 2011-es népszámlálási és az ezt követő 2016-os Mikrocenzus adatai alapján készült. Ennek oka, hogy olyan nagy lélekszámú csoportot, mint az agglomerációban élő ingázók csupán ilyen módon lehet részletekbe menően, teljesskörűen megvizsgálni s felmérni. A felhasznált irodalmak ezen adatokat vizsgálták tovább és fejtették ki, melyek eredménye hasznosnak bizonyult jelen vizsgálatban is.

Érdeemes külön kitérni az ingázók közlekedési szokásainak megváltozására az elmúlt időszakban. A KSH 2011-es népszámláláshoz kapcsolódó tanulmányának [9] adatai alapján 1990 és 2011 között az autóhasználat az ingázók körében 11%-ról 48,1%-ra emelkedett. Ha számításba vesszük az ingázók számának emelkedését is az adott időszakban, egyértelműen látszik, milyen drasztikusan emelkedett a gépkocsi használat ebben a két évtizedben Budapest térségében. A szellemi foglalkoztatásúak között mindig is gyakori volt az autóhasználat, ám ez az arány is tovább nőtt. 2011-ben a vezető foglalkozású ingázók 75,8%-a, míg az értelmiségi foglalkozásúak 51,1%-a használt autót munkahelyének eléréséhez. Ezzel párhuzamosan az autóbuszt használók aránya jelentősen csökkent (53%-ról 23,8%-ra). Ha kerületcsoportra levetítve vizsgáljuk az agglomerációból ingázó munkavállalók foglalkozási csoportját, ismét a budai kerületek relevanciáját látjuk. Egy fővárosban és annak agglomerációjában való ingázással foglalkozó tanulmány [17] által bemutatott 2011-es adatok alapján Budán az ingázók 69%-a végzett szellemi munkát. A pesti oldalon két kerületcsoport, Észak-Pest, illetve Belső-Pest mutat hasonló értékeket, 69,9 és 71,4%-ot.

Áttérve az ingázók szociológiai paramétereire a következőket látjuk. Egy kizárólag az agglomerációs ingázással foglalkozó tanulmány [18] adatai alapján az ingázók között is a férfiak vannak többségben. A családszerkezetet vizsgálva az 1-2 gyermekes családok vannak a legtöbben (54%), ezután következnek azok, akiknek a háztartásában nincs gyermek (43%), majd azok, ahol 3 vagy több gyermek van a háztartásban (11%). Az agglomerációból Budapestre ingázó munkavállalók 46,5%-a rendelkezett felsőfokú végzettséggel, ugyanakkor a legtöbb diplomás munkavállaló az agglomeráció budai oldaláról érkezik a fővárosba. 60% feletti a diplomások aránya a Budakeszi járásból ingázók között, valamint 50% feletti az Érdi, Pilisvörösvári, illetve Szentendrei járásokban is (3. ábra).



3. ábra: A felsőfokú végzettséggel rendelkezők aránya a Budapestre ingázók körében, járásonként, 2016 [18]

Az átfogó áttekintés után Budapest nyugati agglomerációs szektorának elemzése mellett döntöttünk. Erre a szektorra jellemző leginkább a diplomások és szellemi foglalkoztatottak magas aránya, az autók használata a napi ingázás során, illetve a budai kerületekkel való erős kapcsolat az ingázásban. Ez azért is fontos, mert a budai oldalra - így az ott dolgozó ingázókra is - továbbra is érvényes, hogy jövedelmük az átlagnál jóval magasabb (leszámítva Pest belső kerületeit).

A szektor a két, agglomerációs ingázást leginkább taglaló tanulmányra [17], [18] támaszkodva kerül bemutatásra. A nyugati szektornak a legerősebb kapcsolata a szomszédos budai kerületekkel van. Az innen ingázók több, mint fele (51,9%) jár Budára dolgozni. Észak-Buda (I., II., III., XII. kerületek) a szektorból érkezők 28,2%-át, míg Dél-Buda (XI., XXII. kerületek) 23,7%-ukat fogadja. Kiemelkedik még Belső-Pest, ahova az ingázók 19,8%-a jár dolgozni.

A budai kerületek közül is kiemelkedik a XI. kerület, ahol a szektorból bejárók több, mint egyötöde dolgozott. A XI kerület a főváros egyik legnépesebb kerülete, ahol mindemellett a legtöbb munkavállaló is dolgozik, így ingázási képe igen színes. A nyugati agglomerációs szektor szempontjából jelentős a Budakeszi járásból ingázók szerepe, ami a járás Budapestre ingázóinak 21%-át jelenti. A II. és XII. kerületek ingázási képe igen hasonló. Itt is kimagasló a Budakeszi járás, a kerületekbe bejárók 6%-a innen érkezik.

A szektor két, ingázási szempontból kimagasló települése Budaörs és Budakeszi (2. táblázat). Míg Budakeszi esetében egyértelműen Észak-Budára járnak többen dolgozni (40,6%), Budaörs esetében már nincs ilyen markáns eltérés, innen Dél-Budára ingáznak többen (30,3%). Mint fentebb is láttuk, kerületekre lebontva főleg a II. és XII., valamint a XI. kerületek vannak szoros kapcsolatban a vizsgált szektorral.

2. táblázat: A Budaörsről és Budakesziről Budapestre bejárók megoszlása kerületcsoport szerint 2011-ben [%][17]

	Budaörs	Budakeszi
Észak-Buda	20,0	40,6
Dél-Buda	30,3	12,3
<i>Buda együtt</i>	<i>50,3</i>	<i>52,9</i>
Észak-Pest	8,9	9,9
Belső-Pest	21,3	20,9
Kelet-Pest, belső	6,4	6,8
Kelet-Pest, külső	3,7	3,2
Dél-Pest	9,4	6,4
<i>Pest együtt</i>	<i>49,7</i>	<i>47,1</i>
<i>Budapest összesen</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>

1.2 Forgalmi teljesítmények meghatározása

A releváns agglomerációs szektor azonosítása után első lépésként meghatároztuk a forgalmi teljesítményeket. A fejezetben két módszertant mutatunk be, melyekkel megvizsgáltuk, mekkora forgalmi teljesítmény várható a kiválasztott agglomerációs szektor és a főváros között. Az első módszer döntően a 2011-es népszámlálás adataira támaszkodik, míg a második módszer alapját a 2019-es Egységes Forgalmi Modell (EFM) [20] jelenti.

1.2.1 1. módszer – 2011-es népszámlálás adatai

A módszer alapját a 2011-es népszámlálásból származó adatok képezik. A forgalmi teljesítmények meghatározását két lépésben tettük. Először megbecsültük a különböző településekről naponta Budapestre ingázók számát, majd a települések és kerületcsoportok közötti távolságokra adtunk becslést.

1.2.1.1 A napi ingázók számának becslése

A számítás során a Budakeszi járásra vonatkozó, 2011-es népszámlálási adatokból ([9], [19]) indultunk ki. Ennek oka, hogy csak ebben a területi összevetésben állt rendelkezésre konkrét adat az ingázók számát illetően, agglomerációs szektoronként vagy településenként nem. Bár a nyugati agglomerációs szektor és a Budakeszi járás földrajzilag nagyrészt megegyeznek egymással, azonban apróbb eltérések előfordulnak a két felosztás között. Ezért a következő gondolatmenet alapján haladtunk. Mivel a járásra vonatkozó adatok állnak rendelkezésre, ezeket vettük kiindulási alapnak. Ennek alapján megbecsültük, hogy a járásban lévő településekről mennyien ingáznak. Ezután területi, közlekedési analógiák mentén becstük azon településeken élő ingázók számát, amelyek vagy a járás része, de nem az agglomerációé, vagy a járáshoz tartozik, de egy másik agglomerációs szektorhoz van hozzárendelve. Végül a rendelkezésre álló adatok alapján megbecsültük, ebből hányan ingáznak Budapestre.

A Budakeszi járás népessége 83 670 fő volt 2011-ben. E mellett ismert azon, a járásból naponta ingázók száma, akik ugyanarra a településre ingáznak nap mint nap. Az ő számuk 21 522 fő volt. Ahhoz, hogy meghatározhassuk a településről ingázók számát, a következő feltevessel éltünk. A vizsgált ingázók eloszlása a járás egészében településenként egyenletes, tehát minden településről egyforma arányban indulnak el a munkavállalók. A kisebb településekről nem csak Budapestre, hanem a járás egyéb ingázási központjaiba is jelentős számú ingázó jár nap mint nap. Ilyen járáson belüli központ maga Budaörs is, aminek ingázási egyenlege pozitív, tehát több munkavállaló érkezik, mint akik indulnak. Az egyes településekről ingázók és az ott lakók aránya tehát megegyezik a járásban lakó ingázók és lakosok arányával.

Mielőtt továbbmentünk volna, megvizsgáltuk Törökbálint, Tinnye, Nagykovácsi és Remeteszőlős helyzetét. Törökbálint és Tinnye nem a Budakeszi járás része, közigazgatásilag az Érdi és Pilisvörösvári járáshoz tartoznak, míg Nagykovácsi és Remeteszőlős az északnyugati agglomerációs szektor része. Ugyanakkor a

vizsgált kérdéskör tárgyalása az ingázási szokások alapján történik, aminek alapján Törökbálint a nyugati agglomerációs szektor része, csakúgy, mint a hozzá közel fekvő és közlekedési szempontból hasonló Biatorbágy és Budaörs. Ugyanez elmondható Tinnye esetében is, ekkor a Perbállal meglévő közlekedési analógiák alapján végezzük a becslést. Emiatt a Budakeszi járásra érvényes ingázási arányt alkalmaztuk Törökbálintra és Tinnyére is. Továbbá a vizsgálat szempontjából csupán a Budapestre ingázók száma a releváns, így még meg kellett vizsgálni, az ingázók hány százalékának célpontja a főváros. A nyugati agglomerációs szektorból naponta Budapestre eljárók a szektor összes eljárójának százalékában 67,3%-os részt képviselnek. Ez kicsivel magasabb arány, mint a fővárosi agglomeráció egészére érvényes 65,4%-os érték.

Ezek alapján meghatározható az egyes településekről naponta a fővárosba ingázók száma. Az eredményeket a 3. táblázat mutatja a számítás logikai sorrendjében.

3. táblázat: A naponta Budapestre ingázók száma a vizsgált településeken [9], [17], [19]

Település	Lakosság [fő]	Napi ingázók [fő]	Budapestre ingázók [fő]
Biatorbágy	12484	3211	2161
Budajenő	1687	434	292
Budakeszi	13502	3473	2337
Budaörs	26757	6883	4632
Herceghalom	2135	549	370
Páty	7009	1803	1213
Perbál	2046	526	354
Telki	3661	942	634
Tinnye	1607	413	278
Tök	1341	345	232
Törökbálint	12841	3303	2223
Zsámbék	5174	1331	896

A 2. táblázat megmutatja, hogy a Budaörsről és Budakesziről bejárók hány százaléka jár az egyes fővárosi kerületcsoportokba. Hasonló adatok a többi település esetében nem álltak rendelkezésre, így az ezekre vonatkozó adatokat ismét becsléssel határoztuk meg. A becslés analóg a fejezet korábbi részében látottal, tehát közlekedési analógiák mentén csoportosítjuk a településeket. A rendelkezésre álló adatok miatt két profilt hozunk létre, Budakeszi és Budaörs profilokat. Ezek a profilok mutatják meg, hogy az adott településről hány ingázó és melyik kerületcsoportba ingázik nap mint nap. Az említett analógia alapján, Budaörs közlekedési mintáit leginkább földrajzi fekvése miatt is három másik településre értelmeztük, ezek Biatorbágy, Herceghalom és Törökbálint. A többi település esetén a Budakeszire jellemző paramétereket alkalmaztuk. Ezt mutatja a 4. táblázat.

4. táblázat: A kialakított két csoportot jellemző ingázási eloszlás a kerületcsoportok között

Csoport	Észak-Buda	Dél-Buda	Észak-Pest	Belső-Pest	Kelet-Pest, belső	Kelet-Pest, külső	Dél-Pest
Budakeszi	40,6%	12,3%	9,9%	20,9%	6,8%	3,2%	6,4%
Budaörs	20%	30,3%	8,9%	21,3%	6,4%	3,7%	9,4%

Összevetve ezt a településenkénti Budapestre ingázók számával, meghatározhatjuk az egyes kerületcsoportokba naponta ingázók számát minden egyes településen (5. táblázat, 6. táblázat).

5. táblázat: Az egyes kerületcsoportba naponta ingázók száma, Budaörs csoport [fő]

	Észak-Buda	Dél-Buda	Észak-Pest	Belső-Pest	Kelet-Pest, belső	Kelet-Pest, külső	Dél-Pest
Biatorbágy	432	655	192	460	138	80	203
Budaörs	926	1403	412	987	296	171	435
Herceghalom	74	112	33	79	24	14	35
Törökbálint	445	674	198	473	142	82	209

6. táblázat: Az egyes kerületcsoportba naponta ingázók száma, Budakeszi csoport [fő]

	Észak-Buda	Dél-Buda	Észak-Pest	Belső-Pest	Kelet-Pest, belső	Kelet-Pest, külső	Dél-Pest
Budajenő	119	36	29	61	20	9	19
Budakeszi	949	287	231	489	159	75	150
Páty	493	149	120	254	83	39	78
Perbál	144	44	35	74	24	11	23
Telki	257	78	63	132	43	20	41
Tinnye	113	34	28	58	19	9	18
Tök	94	29	23	49	16	7	15
Zsámbék	364	110	89	187	61	29	57

1.2.1.2 A megtett távolságok számítása

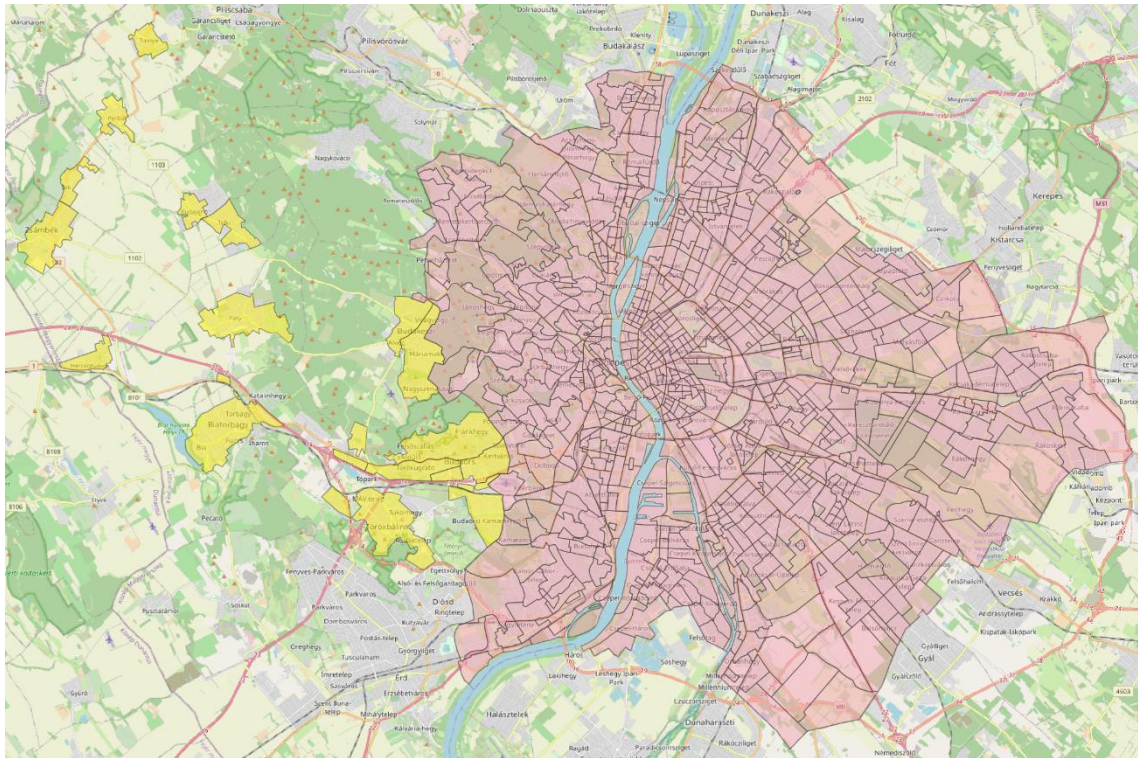
A távolságokat a vizsgált agglomeráció és a budapesti kerületcsoportok között vizsgáltuk, a Google Maps segítségével. Mind a települések, mind a kerületcsoportok esetén feltételeztük, hogy azokon belül az ingázók eloszlása egyenletes. A távolság várható értékének meghatározása a területi egységek súlypontja közötti, autóval legrövidebb távolsággal egyezik meg. Az ingázók eloszlásához hasonlóan a távolságok eloszlását is egyenletesként modellezzük. A szórás abból számítható, hogy a települések és kerületcsoportok területe alapján meghatározható egy sugár, mely ha a település vagy kerület területe teljesen kör alakú volna, pontosan jellemezné a szórást. Ebben a modellben ezzel a közelítéssel éltünk. Mindezen megfontolások után kaptuk a táblázatot, melyet az F1 függelék tartalmaz. A Budaörs-Dél-Buda szakasz alsó korlátja negatívra adódott (-0,23 km), így ott a nyilvánvaló 0 km-es alsó határt vettük be a modellbe.

1.2.2 2. módszer – EFM adatok

Az Egységes Forgalmi Modell [20] részletesen tárgyalja a főváros és annak agglomerációjában lezajló napi közlekedés kvalitatív és kvantitatív paramétereit. Ebből jelen kutatás számára a személygépkocsi egyéni közlekedés mátrix jelentett hasznos kiindulási alapot. Ebben a szerzők a napi átlagos személygépkocsi forgalmat modellezik minden egyes zóna között, mindkét irányban. Első lépésként tehát ezen mátrix vizsgálatát és releváns részeinek meghatározását végeztük el, majd a távolságok meghatározása is az EFM zónafelbontása alapján történt, a QGIS térinformatikai szoftver segítségével.

1.2.2.1 Az egyes szakaszokon ingázók számának becslése

A teljes személygépkocsi egyéni közlekedés mátrix számot ad minden olyan budapesti agglomerációban és fővárosban lezajló utazásról, melynek kezdő- és végpontja az említett területek uniójába esik. Figyelembe véve az EFM zónafelosztást, ez egy 1201x1201-es mátrixot eredményez. Ebből számunkra csupán azon szakaszok relevánsak, melyben vagy az indulás, vagy az érkezés a nyugati agglomerációs szektor egy településének zónája, illetve a szakasz másik végpontja egy budapesti zóna. A nyolc, nyugati agglomerációt alkotó település összesen 23 zónára van osztva, míg a főváros 923 zónára. Mindezek alapján a nyugati agglomerációs szektor és Budapest közti ingázást két mátrixszal jellemezhetjük. Egyrészt egy 23x923 méretű mátrixszal, mely az agglomerációból a fővárosba áramló forgalmi teljesítményt írja le, míg ennek párja, egy 923x23 méretű mátrix a fővárosból az agglomerációba áramló teljesítményt adja meg. Így minden egyes A-B szakaszt két forgalmi teljesítmény jellemez, az oda- és a visszairányú forgalmi teljesítmény, ahol A és B a szakasz két végpontja. Mivel kutatásunkban napi ingázást vizsgálunk, csak olyan utazások relevánsak, melynek megjelenik a visszairányú párja is. Ezen logika mentén összevetettük a két, előzőekben megkapott mátrixot, s a $23 \cdot 923 = 21229$ szakaszt jellemző $2 \cdot 21229 = 42458$ forgalmi teljesítményt, s minden szakasz esetén az azt jellemző minimumot vettük figyelembe a továbbiakban, tehát a két érték közül a kisebbet. Ezzel meghatároztuk az egyes szakaszokon naponta autóval ingázó utasok számát.

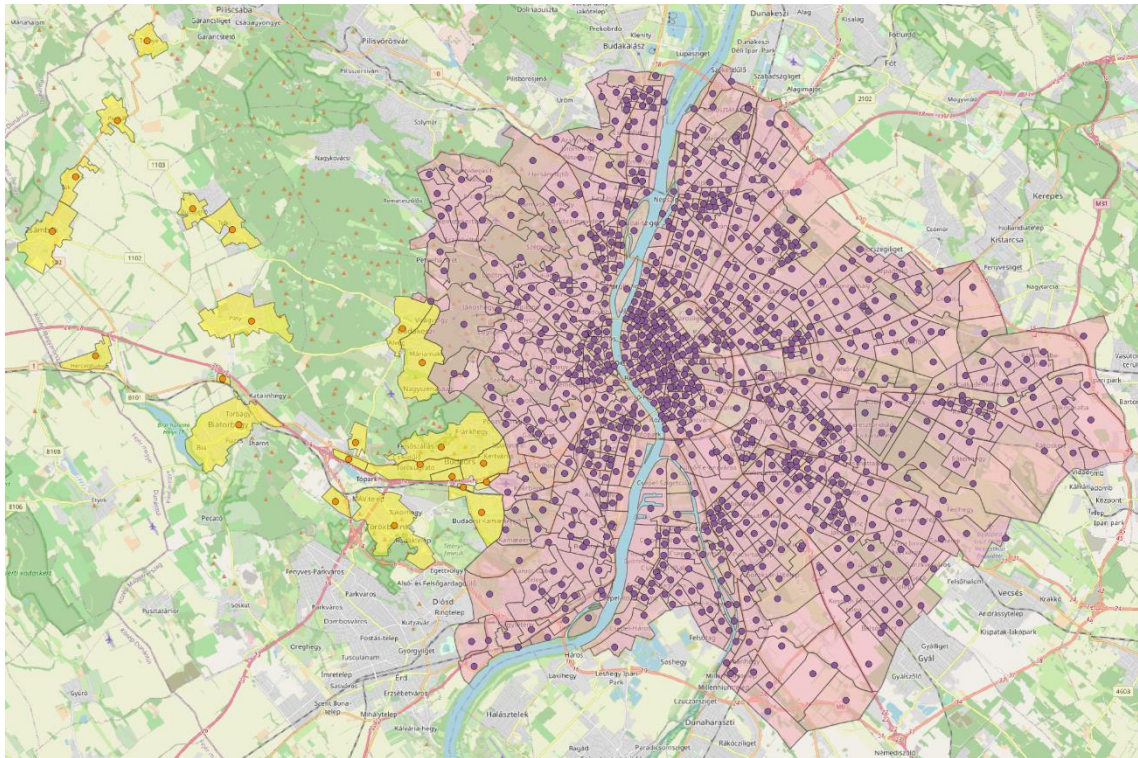


4. ábra: A vizsgált területek zónafelosztása [20]. Sárgával az agglomeráció, lilával a budapesti területek

Az Egységes Forgalmi Modell többek között kitér az átlagos utasszám szerepére is a vizsgálatban. Ezzel a számmal jellemzik, hogy egy autóban átlagosan hány utas tartózkodik egy utazás során. Mivel a kutatásban az autók számára, és nem az utasok számára vagyunk kíváncsiak, ezt a paramétert figyelembe kellett vennünk, s a kapott utasszámot leosztani vele minden egyes szakaszon, így megkapva minden egyes szakaszra a naponta ingázó autók átlagos számát. A fajlagos utasszámot az EFM alapján 1,2-nek választottuk.

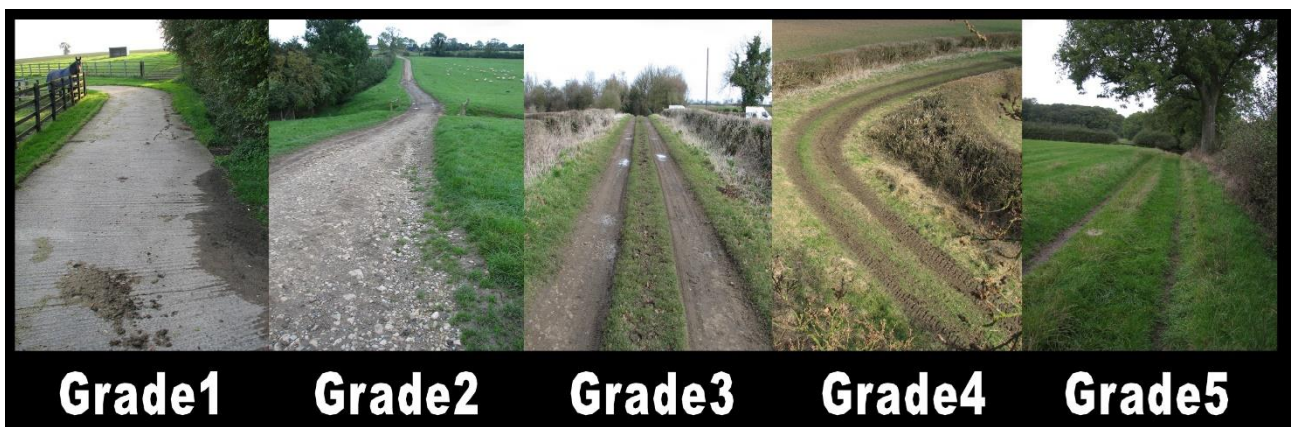
1.2.2.2 A megtett távolságok számítása

Az egyes szakaszokhoz tartozó távolságok kiszámításához ismét az EFM zónafelosztásából indultunk ki (4. ábra). A távolság várható értékének meghatározása a vizsgált zónák súlypontjai közötti, autóval legrövidebb távolsággal egyezik meg. A távolságok és az ingázók területi eloszlását ismét egyenletesként modelleztük. A szórás abból számítható, hogy a zónák területe alapján meghatározható egy sugár, mely ha a zóna területe teljesen kör alakú volna, pontosan jellemezné a szórást. Ebben a modellben is ezzel a közelítéssel éltünk. A súlypontok meghatározásához a QGIS beépített vektor adathalmaz elemző eszközét használtuk fel, míg a zónák területszámítása és ebből a szórást jellemző sugár érték a szoftverbe beépített mezőkalkulátor és annak beépített függvényeinek segítségével történt. A kapott pontthalmazt mutatja az 5. ábra.



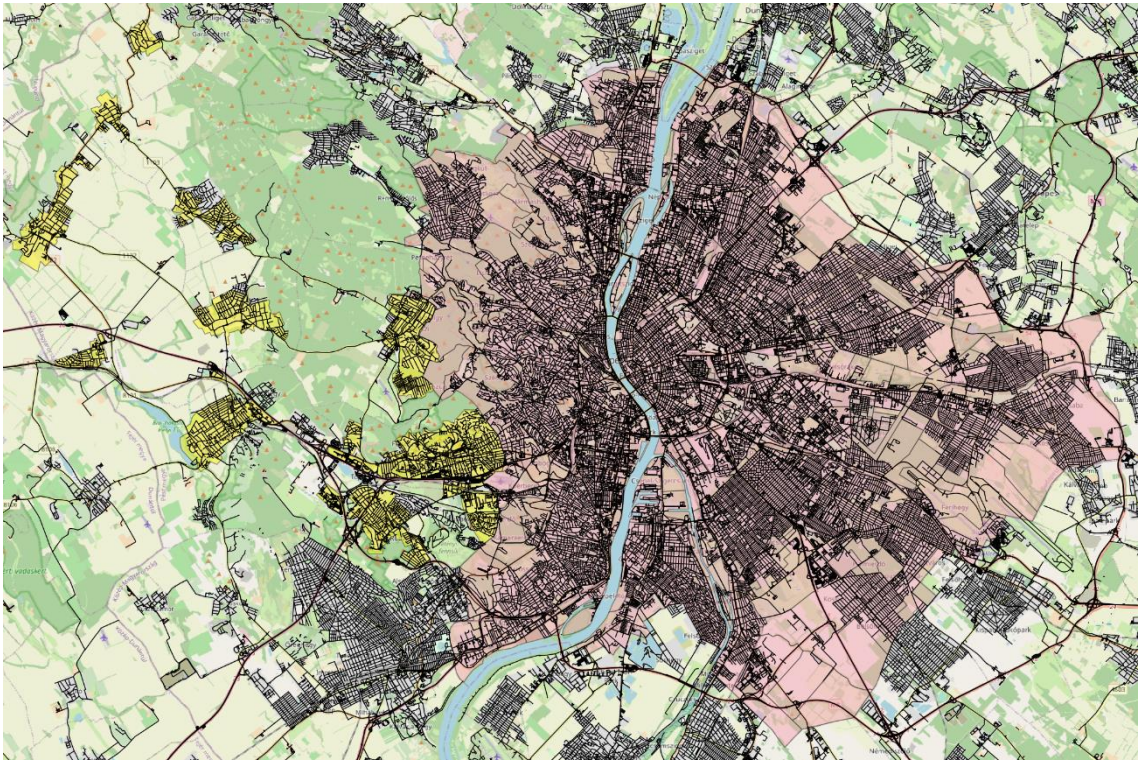
5. ábra: A vizsgált területek zónafelosztása s a zónák súlypontjai [20]. Sárgával az agglomeráció, lilával a budapesti területek

Ahhoz, hogy ezen pontok között lehetséges legyen közúti távolságot számolni a szoftverben, meg kell adni az úthálózat egy modelljét, melyen szimulálni szeretnénk az utazásokat az egyes pontok között. Ehhez a Geofabrik Magyarországra vonatkozó adatbázisát használtuk fel [21]. Vizsgálatunk a fővárosra és annak agglomerációjára korlátozódik, így az elkövetkező szimulációk gyorsításának érdekében az úthálózatot is erre a területre korlátoztuk. Továbbá eltávolítottunk olyan utakat, melyeken az autóval való közlekedés nem megoldható (például lépcsők), valamint olyanokat, melyeken kevésbé valószínű, hogy napi ingázás történne, lévén az út rossz minőségű. Ezt szemlélteti a 6. ábra.



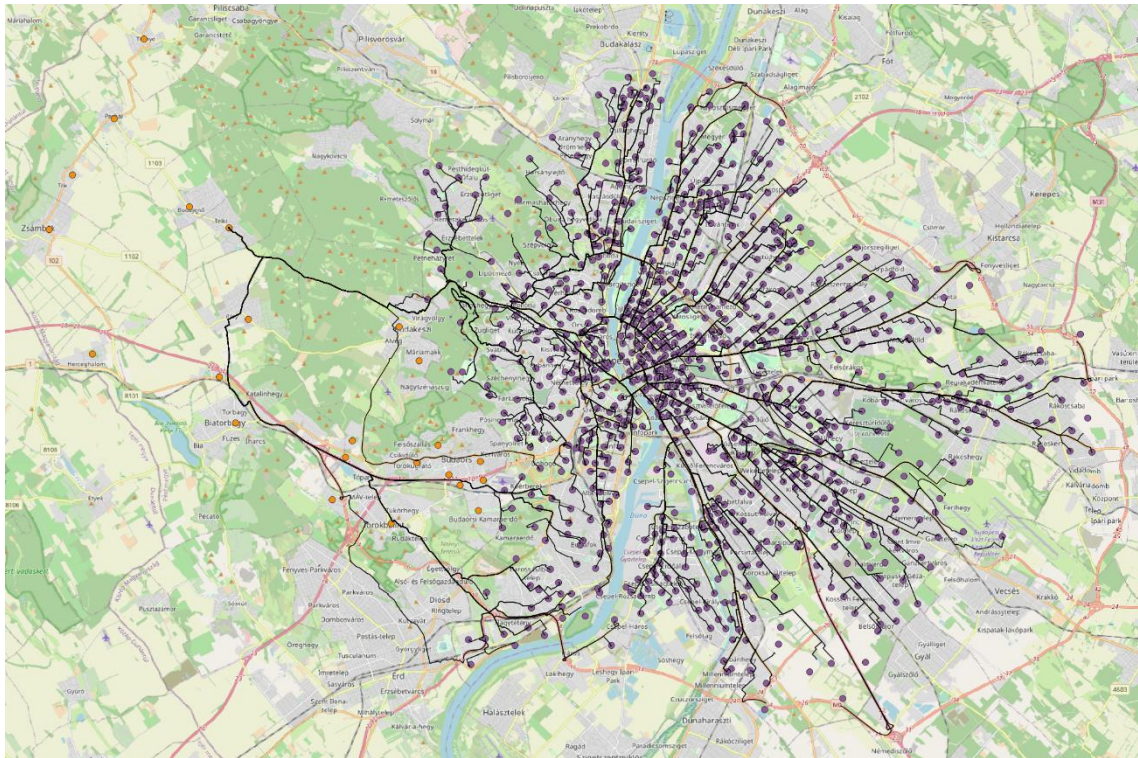
6. ábra: A különböző úttípusok szemléltetése [22]

Az öt típus közül egyedül az első, a Grade1 kategória jelent aszfaltozott utat, a többi négy kategóriában ilyenről nem beszélhetünk. Így a vizsgálatba egyedül ezt a típust vettük be. Az így kapott úthálózat modellt a 7. ábra mutatja.



7. ábra: A vizsgált területek zónafelosztása s az ezeket összekötő úthálózat modellje [20],[21]

A végpontok és az úthálózat segítségével már képesek voltunk szimulációkat futtatni a modellen. Ezt a QGIS Processing Toolbox Hálózat elemzés pontjának Legrövidebb útvonal (ponttól a réteghez) funkciójával végeztük. Ennek segítségével az egyes agglomerációs pontokból kiszámítottuk a legrövidebb útvonalat az összes budapesti ponthoz. A szimuláció beállításában lehetőség van megadni az utakhoz tartozó irányítás feldolgozását is, így modellezve az egyirányú utcákat. A szoftver ezen adatokból hoz létre egy irányított gráfot, a távolság szerint súlyozott éllel, s annyi csúccsal, amennyit a kezdőpont és a végpontokat tartalmazó réteg meghatároz. Esetünkben a célréteg 923 pontot tartalmaz, így a gráf $1 + 923 = 924$ csúcsból áll. A szimuláció eredményeképpen megkapjuk a meghatározott legrövidebb úthálózatot a vizsgált pontok között, valamint az ezekhez tartozó távolság értéket is. Egy ilyen szimulációval kapott legrövidebb úthálózatot mutat a 8. ábra. A visszairányú távolságok meghatározása a most bemutatott módszerrel analóg, annyi különbséggel, hogy ebben az esetben a Legrövidebb útvonal (rétegtől a ponthoz) funkcióját használtuk.



8. ábra: A szimuláció eredményeképpen kapott legrövidebb úthálózat, Telkiből [20]

Az adott szakaszon megtett napi ingázási távolság várható értékét az oda- és visszairányú szimulációk eredményének összegeként kaphatjuk meg. A jellemző szórás értékek a már említett körterületi analógia mentén kerültek bevezetésre a modellbe.

1.2.3 Az alkalmazott módszerek összevetése és értékelése

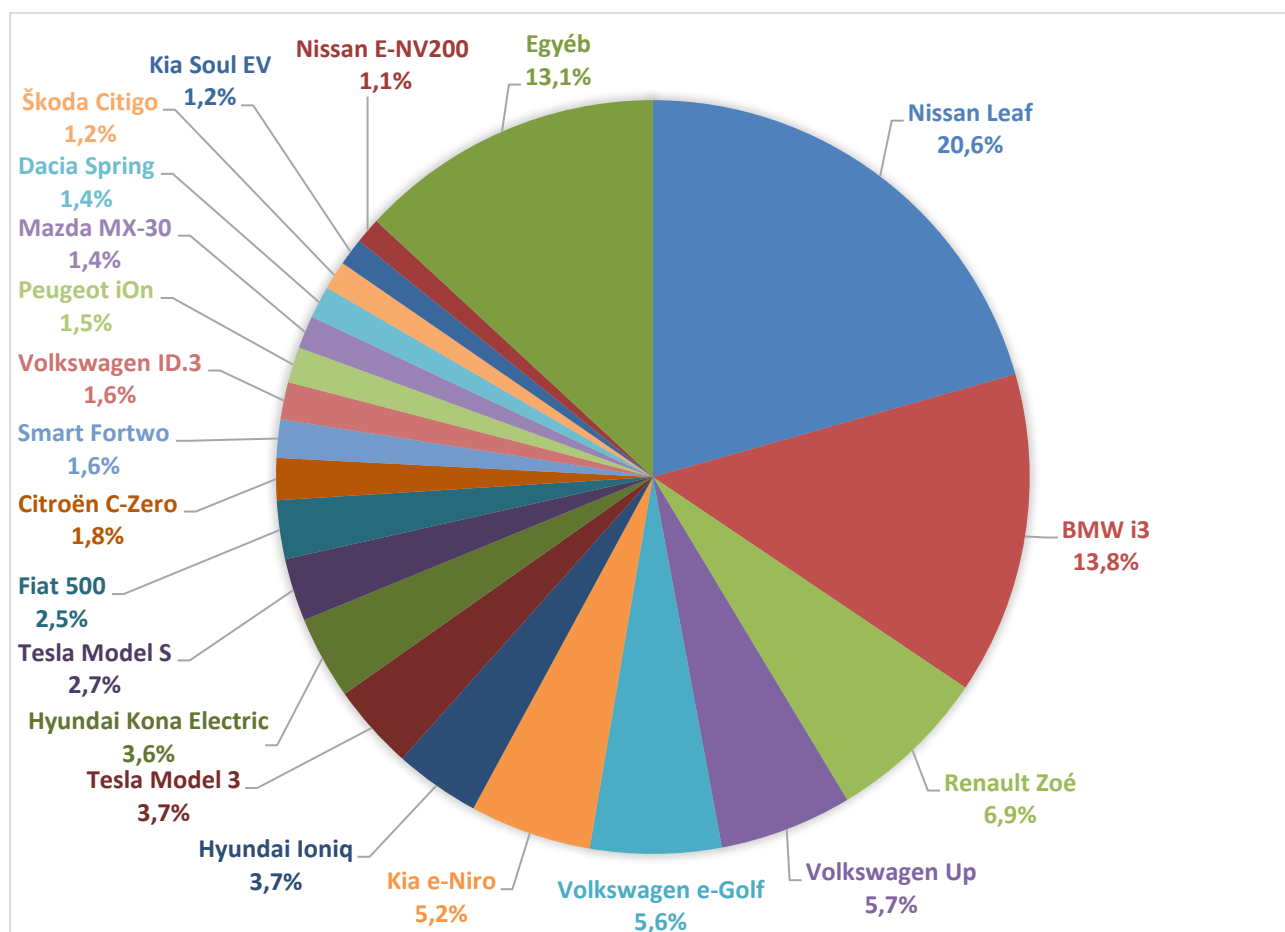
Mindkét alkalmazott módszer kapcsán elmondható, hogy több heurisztikával is éltünk a modellalkotás során. Ezekre azért volt szükség, hogy a hiányzó adatokat becsülni tudjuk. Az első módszer pozitívuma, hogy a népszámlálás az egyetlen olyan platform, amikor részletes adatokat tudhatunk meg az ingázók népcsoportjáról. Hátránya, hogy sok adat így sem publikus, illetve, hogy csupán tíz évenként kerül rá sor (amely 10 éves ciklusnak éppen a legvégén vagyunk), s így a változások rendszeres nyomon követése csak nagy időhorizonton lehetséges. A második módszerben az ingázók számát egyedül a forgalmi modell alapján becsültük. Itt nem állt rendelkezésre konkrétan az ingázókra vonatkozó adat, ugyanakkor mindenképp nagy előny volt az EFM zónafelosztás nagy felbontása. Míg az első esetben a népszámlálási adatok alapján a naponta ingázók átlagos száma 15628,58-ra adódott, a második módszerben ugyanez az érték 19372,90 lett. Figyelembe véve, hogy előbbi 2011-es, míg utóbbi 2019-es adat, illetve, hogy ez idő alatt továbbfolytatódott az ingázók számának növekedése, a kapott értékek összhangban vannak egymással. Megjegyezzük továbbá, hogy egyik módszertan sem foglalkozik a nem lakás és munka bázisú utakkal, így alulbecsli az utazások hosszát és számát is. A budapesti Egységes Forgalmi Modell [20] alapján elmondható, hogy a napi fajlagos utazásszám Budapesten közel 2,55 valamint az Egyéb – Egyéb típusú utak aránya majdnem 20%.

1.3 A várható energiaigény meghatározása

A számítás menete a következő. Először megállapítottuk a hazai villamos autó típusokra jellemző tipikus fogyasztási értéket. Ennek segítségével már lehetőség nyílt meghatározni a különböző ingázási szakaszokhoz tartozó egységnyi, egy főre vonatkozó villamosenergia-igényt az ingázási szakaszok távolságainak ismeretében. Ezt összevetve az ingázók számával az egyes szakaszokon kaptuk a teljes villamosenergia-igény nagyságát, amit meghatároztunk mind a két módszer által előállított ingázási modell esetén.

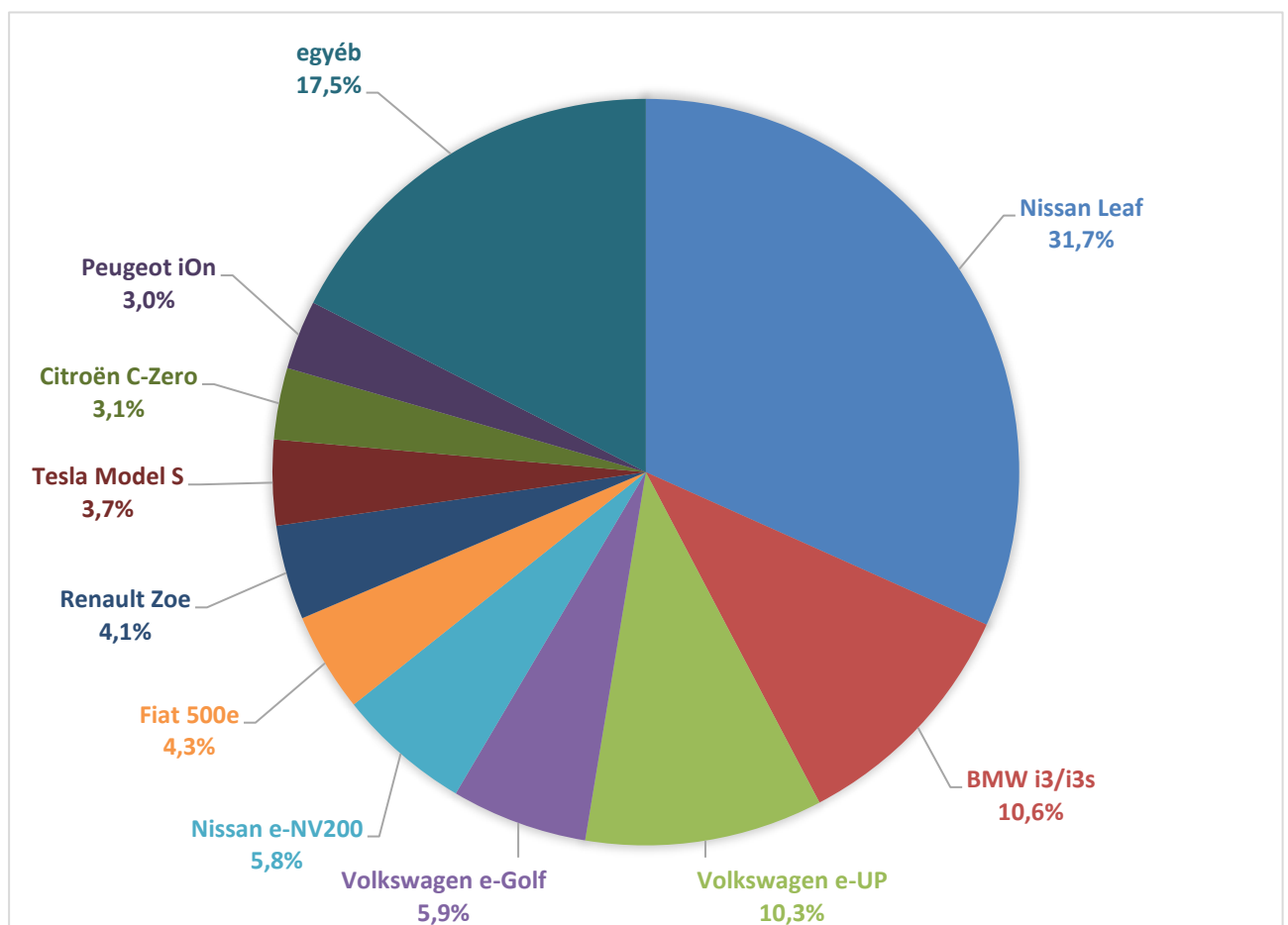
1.3.1 A napi ingázás egységnyi energiaigénye

A fogyasztási adatokat a jelenlegi, Magyarországon használt villamos autó típusok fogyasztása alapján becsültük. A hazai villamos autók típus szerinti megoszlása ismert [23], a különböző modellek részesedését a 9. ábra mutatja. Az öt legnépszerűbb modell, a Nissan Leaf (20,6%), a BMW i3 illetve i3s (13,8%), a Renault Zoé (6,9%), a Volkswagen e-UP (5,7%) valamint a Volkswagen e-Golf (5,6%) együtt több, mint a teljes flotta felét (52,6%) teszi ki.



9. ábra: A villamos autók típus szerinti megoszlása, 2021 [23]

Összehasonlításképpen megvizsgáltuk a 2019-es évből származó adatokat is [24]. Ekkor a három legnépszerűbb modell, a Nissan Leaf (31,7%), a BMW i3 illetve i3s (10,6%), valamint a Volkswagen e-UP (10,3%) volt (10. ábra). Ez a három típus adta a teljes hazai tisztán villamos autó flotta 52,6%-át ebben az évben. Látható, hogy a meghatározó típusok nagyrészt megegyeztek 2019-ben és 2021 végén, ugyanakkor részarányuk egyre kevésbé domináns. Ez jól mutatja, hogy a villamosautó-piac hazánkban is egyre sokszínűbb, egyre több modell közül van lehetőségük választani a felhasználóknak. A két vizsgálat között a tisztán villamos autók száma 5677-ről 18823-ra növekedett, ami számottevő növekedés, ám a teljes hazai személygépkocsi-állomány (~4 millió) 0,5%-át sem éri el egyelőre. Figyelembe véve a hazai villamos autók 2022. június 30-ai számát, mely 28102 darab volt [25], a várakozás továbbra is a flotta részarányának dinamikus növekedése a jövőben.



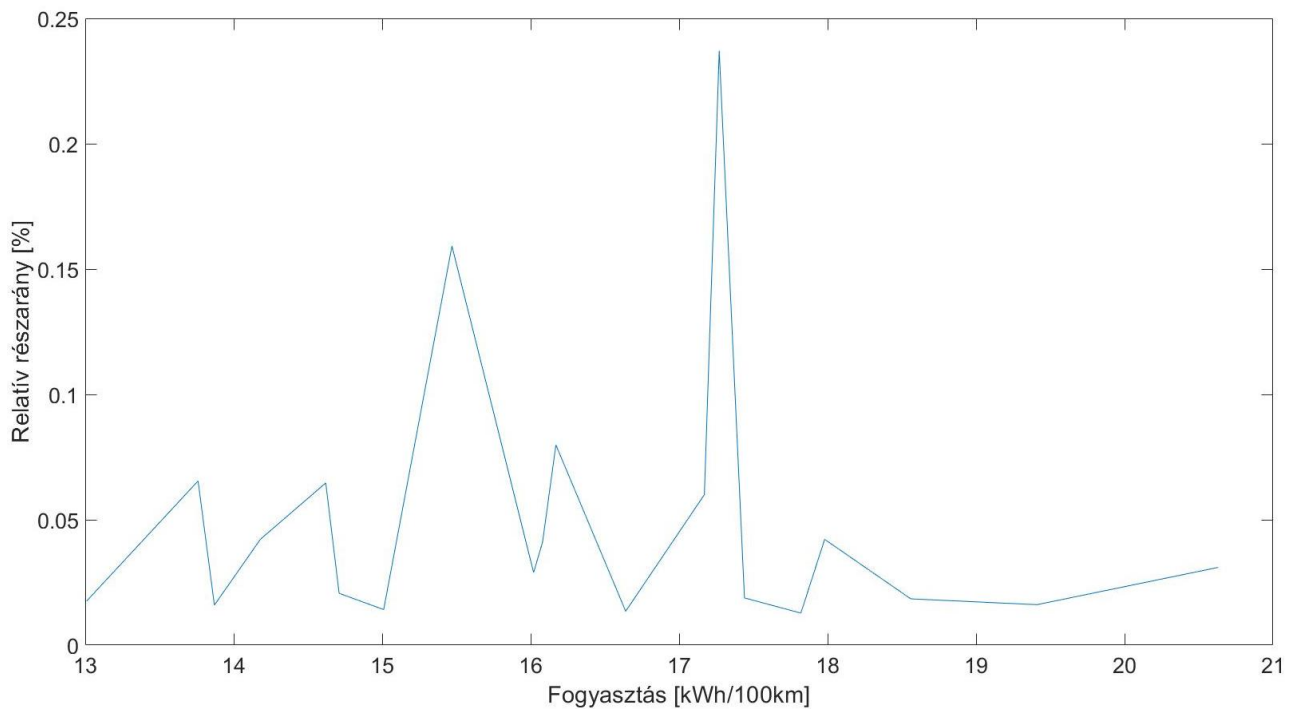
10. ábra: A villamos autók típus szerinti megoszlása, 2019 [24]

A villamos autók fogyasztását már egyre több adatbázis tárolja s vizsgálja, ebből mi a spritmonitor.de weboldal [26] adatait vettük a vizsgálat alapjául. Az eredményeket a 7. táblázat mutatja, melyben az előforduló autótípusok, ezek hazai részesedése a teljes flottában és 100 km-re vett fogyasztásuk került feltüntetésre.

7. táblázat: A vizsgált autó típusok hazai aránya és fogyasztása [23] [26]

Autó típus	Részesedés [%]	Fogyasztás [kWh/100km]
Nissan Leaf	20,60%	17,27
BMW i3	13,83%	15,47
Renault Zoé	6,94%	16,17
Volkswagen Up	5,69%	13,76
Volkswagen e-Golf	5,62%	14,62
Kia e-Niro	5,22%	17,17
Hyundai Ioniq	3,67%	14,18
Tesla Model 3	3,67%	17,98
Hyundai Kona Electric	3,56%	16,08
Tesla Model S	2,69%	20,63
Fiat 500	2,52%	16,02
Citroën C-Zero	1,80%	14,71
Smart Fortwo	1,64%	17,44
Volkswagen ID.3	1,60%	18,56
Peugeot iOn	1,53%	13,01
Mazda MX-30	1,40%	19,41
Dacia Spring	1,39%	13,87
Škoda Citigo	1,23%	15,01
Kia Soul EV	1,17%	16,64
Nissan E-NV200	1,11%	17,82
<i>Egyéb</i>	<i>13,11%</i>	

Mivel az *Egyéb* besorolásról nem állt rendelkezésünkre több adat, a továbbiakban ezt elhanyagoltuk a vizsgálatban. Az így kapott adatsort a 11. ábra szemlélteti grafikonon.



11. ábra: Valós fogyasztási adatok eloszlása [23],[26]

A meglévő adatok alapján a fogyasztást, mint valószínűségi változó írtuk le. Ennek várható értéke $\mu = 16,2526$ és szórása $\sigma = 0,9021$. Az eloszlás ismeretében meghatározhatjuk az egyes ingázási szakaszokhoz tartozó, egy főre levetített napi ingázáshoz szükséges energiaigényt. A számítás során feltesszük, hogy az ingázási távolság, illetve a használt villamos autó fogyasztása egymástól függetlenek, így az őket leíró valószínűségi változók is. Ebben az esetben teljesül a várható érték multiplikatív tulajdonsága, tehát a valószínűségi változók szorzatának várható értéke megegyezik a valószínűségi változók várható értékének szorzatával ((1). egyenlet).

$$\mathbf{E}(X \cdot Y) = \mathbf{E}(X) \cdot \mathbf{E}(Y) \quad (1)$$

1.3.2 A megjelenő villamosenergia-igény várható nagysága

Az eddigiek alapján meghatároztuk a keresett energiaértékeket. Az első módszer által számított érték 117,840 MWh-ra, míg a második módszer által számított energia nagysága 85,415 MWh-ra adódott. A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) legfrissebb adatai alapján 2022 második negyedében összesen 4887 MWh energiát töltöttek villamos autókba nyilvános töltőpontokon a felhasználók [25]. Ez egy napra levetítve 53,703 MWh energiát jelent. Ez az érték jóval kisebb, mint az általunk adott becslések, melyek csupán egy agglomerációs szektor és a főváros ingázásából származó igényt becsülnék, s azt is alulról. Ebből egyértelműen látszik, mekkora kihívás elé állítja az egyre növekvő elektrifikáció a közlekedésben az elosztóhálózat-üzemeltetőt. Ekkora többlet igény kiszolgálásához jelentős számú új töltőre lenne szükség, aminek viszont sokszor gátat szab a szűk keresztmetszeten érkező teljesítmény elégtelensége. Ezt mutatja az is, hogy a töltőpontok száma jóval lassabb ütemben növekszik, mint akár a villamos autóké, akár az általuk felvett energiáé [25].

A vizsgálat eredménye alapján tehát megbecsültük, mekkora villamosenergia-igény várható a vizsgált agglomerációs körzet ingázóinak teljes elektrifikációjával. E mellett mindezt igen jó földrajzi felbontás mellett, 21229 szakaszra lebontva tudjuk vizsgálni. Ez az információ jelentős segítséget nyújthat a jövőbeli publikus töltőállomások kiépítésében, hiszen alapvető alsó becslést adhat a szükséges villamos energia nagyságáról az egyes helyszíneken. Ugyanakkor a módszertan nem ad választ arra, hogy a számított, szakaszokra jellemző energiaigény vajon mekkora része lesz publikus, s mekkora privát, otthoni vagy munkahelyi töltéssel fedezve.

Mindezeket figyelembe véve a kutatás következő fejezetében megvizsgáljuk, milyen szocio-ökonómiai paraméterek alapján vizsgálható egy adott helyszínen elhelyezkedő publikus töltő. Összevetve ezt valós töltési idősorokkal különböző töltőpontokon, felállíthatunk egy általános modellt, mely a töltő környezete alapján ad becslést a várható töltési energia nagyságára. Ennek tudatában optimalizálható a töltőpontokhoz szükséges teljesítmény előteremtése az elosztó hálózaton, ezzel pénzt és időt megtakarítva az üzemeltetőnek.

2 A villamosautó-töltőállomások paramétereit meghatározó szocio-ökonómiai tulajdonságok feltérképezése

A fejezet első részében rövid áttekintést végzünk a téma kapcsán, majd megkezdjük a téma feldolgozását a rendelkezésre álló nemzetközi szakirodalom alapján. Ezek segítségével meghatározzuk azon potenciális paramétereket, melyekkel jellemezhetjük egy töltőállomás töltési idejét vagy a leadott energiát.

2.1 Áttekintés

Annak ellenére, hogy a villamos autók száma nőtt a piacon az elmúlt évtizedben, a technológia mégsem az előzetesen jósolt ütemben terjed. Ezen a ponton érdemes megvizsgálni a technológiai elfogadást motiváló és akadályozó tényezőket [27]. A fogyasztói elfogadásról szóló irodalom több olyan tényezőre összpontosít, melyek befolyásolják ezen alternatív technológiájú járművek elfogadását [28],[29],[30],[31],[32]. 2013-ban [28] kutatás arra a következtetésre jutott, hogy ezen technológiák még mindig nem olyan jól megalapozottak, mint a hagyományosak, elsősorban a fogyasztói aggályok miatt, melyek legfőképp a függetlenséggel és az újratöltési korlátozásokkal kapcsolatosak. Továbbá [33] kutatás kijelenti, hogy mivel a villamos autók hatótávja alacsonyabb, mint a hagyományos belső égésű motorral (Internal Combustion Engine - ICE) szerelt autóké, a töltési idő és a töltő elérhetősége is akadályozza a villamos autók elterjedését. Ezért szükséges feltárni az ingázás és a töltési igény közötti kapcsolatot.

Az európai elektromos járműflotta gyors bővülése megköveteli a meglévő infrastrukturális képességek részletes tanulmányozását, ami kulcsfontosságú a piac jövőbeli fejlődése szempontjából. Ebben az iparágban az infrastruktúra elsősorban a töltőállomások hálózatát jelenti, melytől nagyban függ az E-mobilitás is [6]. Figyelembe véve, hogy a töltő infrastruktúra jelentős akadálya a villamos autók nagyobb arányú piaci elterjedésének, valamint jelentős aggodalmat okoz a fogyasztóknak, amikor preferenciáik megváltoztatásáról van szó, a fenti követelmény különösen érvényes [34],[35],[36],[37],[38],[39],[40],[41].

[42] cikk arra a következtetésre jutott, hogy a villamos autók töltése egyszerűnek tekinthető, hiszen a dán autók 78%-ának töltési szükségleteit képesek kielégíteni a magánterületre telepített töltőkkel. Ennek eredményeként a villamos autó tulajdonosoknak ritkán kell otthonukon kívül tölteniük. Ugyanakkor a városi autótulajdonosok gyakran nem rendelkeznek ezzel a választási lehetőséggel, és a nyilvános töltőállomásokra kell hagyatkozniuk. [43] cikk egy módszert javasolt a jövőbeli villamosautó-flották töltési igényének meghatározására egy irodaépületekben sűrű területen. 2050-re 11 724-re becsülik a villamos autók számát a vizsgált területen. Egy ekkora flotta körülbelül 6 MW csúcsteljesítmény-igényt eredményezhet. Az ezen foratókönyv szerinti villamosautó-flotta töltésének lebonyolításához 857 töltőállomásra (Charging Station - CS) van szükség a vizsgált régióban 2050-re. Megjegyzik emellett, hogy nagy töltési igény várható 10:00 óra körül, valamint egy alacsonyabb csúcs délután, 16:00 óra körül. 2018-ban [44] kutatás szerzői egy vegyes

felhasználói egyensúlyi (Mixed User Equilibrium - MUE) modellt javasoltak cikkükben – amely magában foglalja a töltési viselkedést és a töltőállomásokat is – annak érdekében, hogy megvizsgálják a villamos autók alkalmazásának optimális stratégiáit. Eszerint a töltést igénylő villamos autóknak át kell haladniuk egy töltőállomáson az ingázási útvonalukon, és a legalacsonyabb kombinált utazási és töltési költségekkel jellemezhető útvonalakat kell választaniuk. Ezzel szemben a belső égésű motorral szerelt járművek, illetve a töltési igénytel nem rendelkező villamos autók egyszerűen a legalacsonyabb utazási költségekkel járó útvonalakat választják. Az eredmények azt mutatják, hogy a tisztán villamos autók (BEV) vezetőinek útvonalát és töltési preferenciáit befolyásolják az útvonal jellemzői, a villamos autóval kapcsolatos változók, a töltési jellemzők, továbbá szocio-ökonómiai tényezők. A hagyományos útvonaljellemzők, mint az útvonal utazási ideje és költsége, valamint a gyors töltéssel kapcsolatos változók, mint a töltési idő és a várakozási idő, meghatározó tényezők abban az értelemben, hogy bármelyik paraméter növekedése egy adott útvonalon negatívan befolyásolja az útvonalválasztás valószínűségét [45].

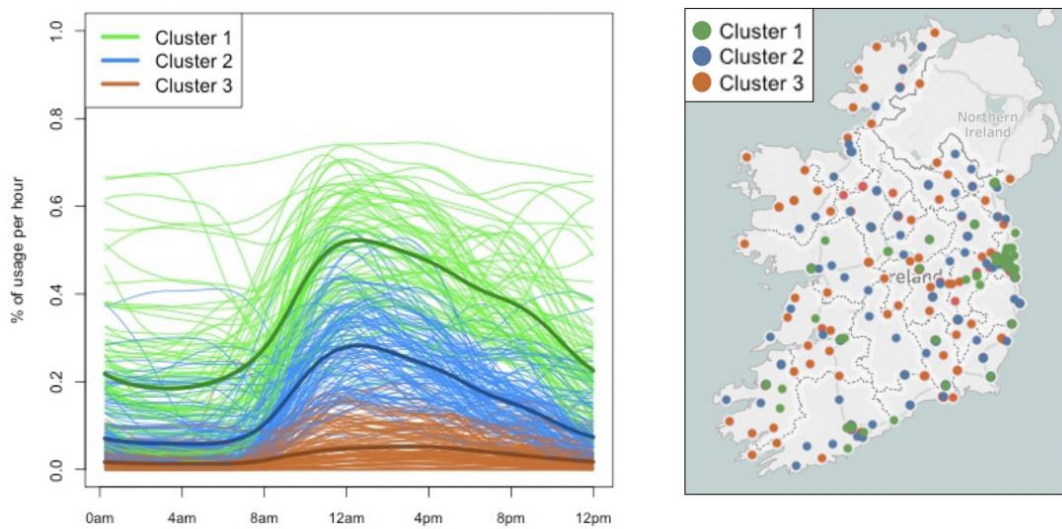
Egy másik fontos kérdés, mely szintén stratégiai jelentőséggel bír a témában a töltő infrastruktúra elhelyezkedése. A lakásban élő villamos autó tulajdonosok nagyobb mértékben támaszkodnak a munkahelyi illetve publikus töltőpontokra, mint azon felhasználók, akik családi házban élnek, hiszen ezekben gyakran található privát töltő. Így egy lehetséges stratégia a lakásban élő potenciális villamos autó vásárlók bevonására, ha egyre több töltőt helyeznek el olyan területeken, ahova viszonylag nagyszámú munkavállaló jár be dolgozni, illetve belvárosi lakóövezetekben [46],[47]. A töltésigény fennmaradó része, melyet az otthoni vagy munkahelyi töltés nem képes kielégíteni, jelentős mértékben fedezhető céltöltéssel, ahol a villamos autók a legtöbb időt töltik. Ilyen célhelyszínek közé tartoznak például a bevásárlóközpontok, szórakozóhelyek, illetve sportlétesítmények. Számításba véve az átlagos időt, amit egy autó ezen helyszíneken tölt egy hét alatt, reálisan megvalósítható a villamos autó egész hétre elegendő töltése, csupán az említett helyszíneken [42].

2.2 A potenciális paraméterek meghatározása

Első lépésként a nemzetközi szakirodalomban kezdtük meg a keresést, milyen eredményekre jutottak olyan országokban, ahol a villamos autó penetráció már szignifikáns, illetve ahol a publikus töltő infrastruktúra nagyobb területen is jól kiépített. Ilyen országok például az Egyesült Királyság, Norvégia, illetve megemlíthető még Kalifornia állam. Ugyanakkor jelen vizsgálat szempontjából releváns elemzés még nemigen lelhető fel a szakirodalomban, leszámítva két tanulmányt ([48],[49]), melyeket részletesebben be is mutatunk a következőkben. Az említett tanulmányokon túl megvizsgáltunk további cikkeket is, melyek kapcsán a következőképp gondolkodtunk. Olyan tanulmányokkal bővítettük a kutatás horizontját, melyek az optimális töltő elhelyezéssel foglalkoznak. Ezekben belül is olyan cikkeket kerestünk, melyekben kifejezetten villamos autó felhasználói paraméterek segítségével igyekeznek behatárolni az optimális területeket.

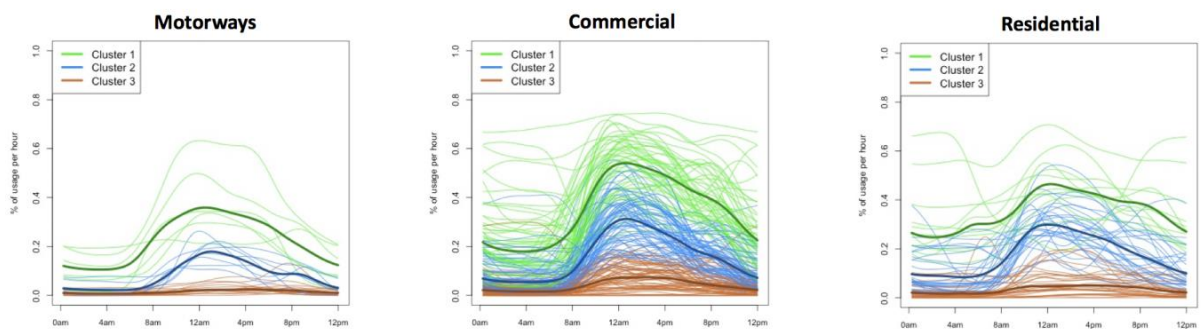
2.2.1 Nemzetközi szakirodalom áttekintése

Az első vizsgált tanulmány [48] célja, hogy felmérje a nyilvános töltő infrastruktúra elemzésének kereteit, figyelembe véve a villamos autók számának gyors növekedését. Mindezt egy ír esettanulmányon keresztül mutatták be a szerzők. A felhasznált fő paraméterek a töltő járművek száma töltő típusonként, valamint a töltési pontok elhelyezkedésük szerint. Kiindulásként a töltőket típusuk, illetve töltőteljesítményük szerint csoportokra osztották, továbbá minden egyes töltőhöz hozzárendelték annak földrajzi koordinátáit, illetve, hogy milyen területi egységbe esik (pl. városi, autópálya melletti stb.). Ezután nyilvános töltőponti mérési adatok alapján létrehozták az átlagos napi terhelési adatokat az egyes töltőtípusokra. Ebből k-közép klaszterezési eljárás segítségével kapták meg a töltési alcsoportokat, melyekből a Standard Type 2 típusú töltőkre vonatkozó eredményeket mutatja a 12. ábra. Az ábra egyaránt mutatja az adott típusú töltők kihasználtságát a nap folyamán, illetve a három klaszter területi megoszlását a térképen.



12. ábra: A klaszterezési eljárás eredménye a Standard Type 2 töltőtípusra, a kapott alcsoportok elhelyezkedése [48]

A Standard típuson belül három különböző töltőtípust különböztettek meg pozíciójuk szerint a szerzők, az autópálya melletti (Motorways), kereskedelmi (Commercial) és lakossági (Residential) töltőpontokat. Ezen alcsoportokra vonatkozó klaszterezési eredményeket mutatja a 13. ábra.

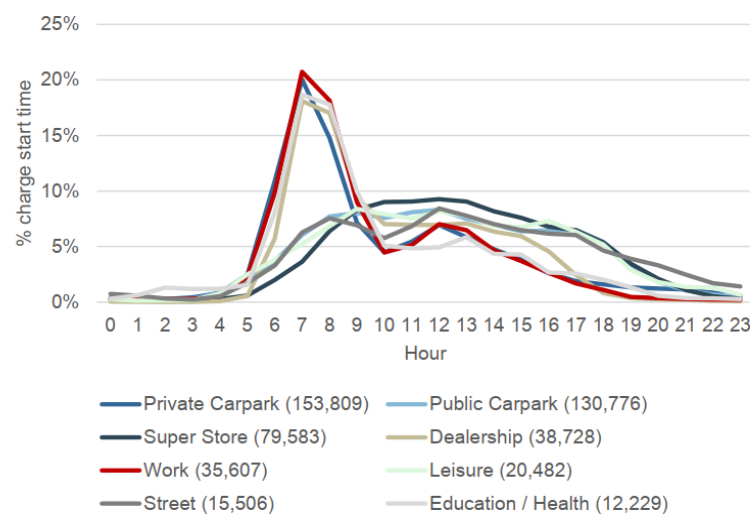


13. ábra: A klaszterezés eredménye a Standard típuson belüli három alcsoportra [48]

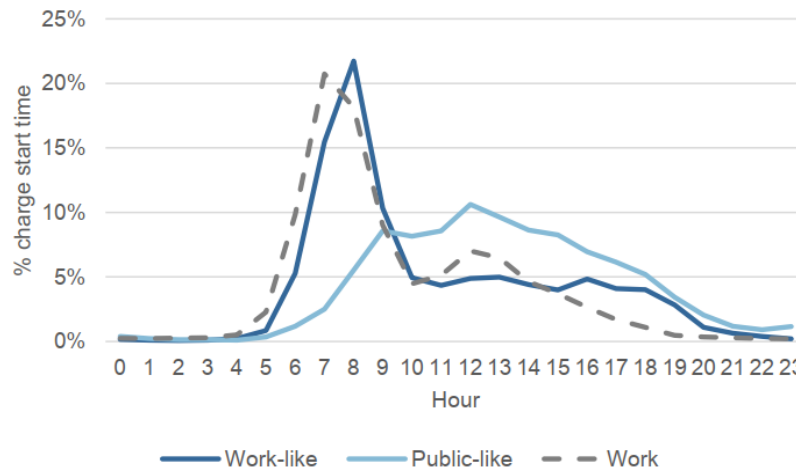
A második tanulmány [49] bemutatja az általuk készített éves töltési igény profilok készletének kidolgozását, egyesült királyságbeli adatok alapján. A töltési eseményeket itt négy különböző típusra különítették el:

- Lakossági (Residential): a villamos autó tulajok otthonában vagy annak közelében található töltőpontok. Ezek jellemzően 3-7 kW névleges teljesítményűek.
- Munka (Work): Munkahelyeken telepített töltőpontok, olyan alkalmazottak számára, akik villamos autóval járnak munkába. Ezek jellemzően 3-22 kW névleges teljesítményűek.
- Lassú/Gyors nyilvános (Slow/Fast public): Nyilvánosan elérhető töltőpontok, kivéve a "munka" vagy "lakossági" besorolásúakat, ≤ 22 kW töltési kapacitással.
- Villám nyilvános (Rapid Public): Nyilvánosan elérhető töltőpontok ≥ 43 kW töltési kapacitással.

A töltési adatok először egy tisztítási folyamaton mentek keresztül, melyben kiszűrték a fals illetve duplikált adatokat. A cikk a függelékében bővebben kitér az adatok feltárásának és feldolgozásának nehézségeire. Ez részint a négy felsorolt töltési esemény típusnak a némileg szerencsétlen definíciójából adódik, hiszen jól látszik, hogy ezek nem diszjunkt halmazok, így egy-egy esemény beazonosítása nem egyértelmű. Először 16 különböző helybesorolást alkalmaztak a töltési eseményekre, sajnos a cikk nem tér ki ebből mindre. Ugyanakkor bemutatja a 14. ábra segítségével, hogy végül miért is nem volt ennyire szükség. A töltési események kezdeti idejét vizsgálva a feltüntetett nyolc csoport rendkívül élesen elkülönül két nagyobb csoportra, melyeket a szerzők először Munka-szerű (Work-like) illetve Nyilvános-szerű (Public-like) csoportoknak neveznek. A hasonló csoportokat a vizsgálatban összevonják, egyként kezelik, így pl. a Munka típusú töltési események között szerepelnek mind az „Oktatás/Egészségügy” (Education / Health), mind a „Privát parkoló” (Private Carpark) típusú töltési események. A különböző típusú események összevonását a 15. ábra szemlélteti.



14. ábra: Az egyes órákban megkezdődő töltési események megoszlása az időben a töltési esemény típusa szerint [49]



15. ábra: Az egyes órákban megkezdődő töltési események megoszlása a publikus gyorsöltő-pontokon, összevetve a munka típusú töltési események megoszlásával [49]

A szerzők a továbbiakban az éves töltési profil szezonalitásaival foglalkoznak, megvizsgálják az időjárás hatását a profilra, az extrém időjárási események hatását, illetve stresszteszteknek vetik alá modelljüket. A töltők bővebb területi vizsgálatára nem térnek ki.

Mint látható, a bemutatott két tanulmány sem fedti le teljesen a problémakört, amivel foglalkozni szeretnénk. Ha el is jutnak valamiféle földrajzi alapú klaszterezéséhez a töltőállomásoknak, részletesebben nem vizsgálják azt. A következőkben ezért megvizsgálunk több olyan tanulmányt, melyben a szerzők az optimális töltési pont elhelyezéssel foglalkoznak. Mindezt azért tesszük, hogy minőségi képet kapjunk arról, mely tényezők befolyásolják a különböző földrajzi elhelyezkedésű publikus töltőállomások terhelését.

2.2.2 Optimális töltőpont lehelyezéskor használt paraméterek

A fejezetben röviden bemutatjuk a kiválasztott paramétereket, melyeket optimális töltőpont elhelyezési problémák során alkalmaznak, megindokoljuk relevanciájukat, illetve áttekintjük miképpen használták fel őket saját kutatásukban a vizsgált irodalmak.

2.2.2.1 Lakossági statisztikák

Ezek az adatok elsősorban a sűrűn lakott, városi területek vizsgálatokhoz hasznosak, hiszen azon villamos autó tulajok, akik nem rendelkeznek privát töltővel otthon, ugyanakkor lakhelyük közelében is szeretnék tölteni autójukat feltehetően ilyen töltő ponton fognak tölteni. A Bolzano városában készült esettanulmány [50] kiemeli ezen adatok lehető legnagyobb felbontásban való szerepeltetését a további vizsgálatokban. A villamos autót használók általános karakterisztikája főképp három tanulmány alapján került meghatározásra, ugyanazon norvég [10], egyesült királyságbeli [11] és kaliforniai [12] adatok alapján, mint amiket az első fejezetben is használtunk. Ahogy már említettük, ezeken a területeken már kellően nagy a villamos autók elterjedtsége, így alkalmasak arra, hogy általános jellemzőket keressünk a felhasználók között.

Kor

Kor alapján elsősorban a már villamos autót használó lakosok lakhelyét határozhatjuk be. A norvég [10], egyesült királyságbeli [11] és kaliforniai [12] elemzések egyöntetűen azt mutatják, hogy leginkább a 35-64 évesek korcsoportja használ villamos autót (a vizsgált felhasználók 82%-a illetve 75-75%-a esett megközelítőleg ebbe a korcsoportba az egyes területeken).

Nem

Az említett három tanulmány alapján a villamos autót használók döntő többsége férfi (80%, 89% illetve 71%). Ez nem túlzottan meglepő, hiszen az autósok nagyobb része még mindig férfi a vizsgált területeken is, valamint az átlagos keresetük is magasabb egyelőre.

Legmagasabb végzettség

A felhasználók jelentős része (78%, 69% és 87%) diplomás a vizsgált területeken. Ez alapján a diplomások aránya hasznos információ lehet az egyes lakott területeken. Annak oka, hogy ilyen magas a diplomások aránya a felhasználók között, vélhetően a korreláció a magasabb jövedelemmel, illetve összefüggésbe hozható a határozottabb törekvéssel a környezettudatosságra.

Autók száma

A megkérdezett villamos autót használók jellemzően kettő vagy több személygépkocsival rendelkeznek a három vizsgált területen (rendre 79%, 80% és 95%-uk). Ezek közül általában csak egy autó tisztán villamos meghajtású, a többi hagyományos belső égésű motorral szerelt gépjármű.

Népsűrűség

A sűrűbben lakott területeken összességében gyakoribbak lehetnek az éjszakai töltési események a közeli publikus töltőhelyeken.

Nettó jövedelem

Kaliforniában kb. 75000 USD volt a háztartások jövedelmének mediánja 2018-ban [13], míg egy 2012-es felmérés szerint a villamos autót használó háztartások több, mint felének (54%) 150000 USD felett volt a jövedelme [12]. Hasonló a helyzet Norvégiában is, ahol az átlagos nettó fizetés kb. 500000 NOK volt 2019-ben [14], míg a 2016-os adatok alapján a felhasználók 51%-a keresett 1000000 NOK felett [10]. Érdemes figyelembe venni a különböző országok vagyoni eloszlását a társadalomban. Norvégiára egy jóval egyenletesebb eloszlású függvény, míg Magyarországra egy jóval csúcsosabb, keskenyebb függvény a jellemző, tehát hazánkban jellemzően arányaiban nagyobb vagyon koncentrálódik a társadalom kisebb részében. A jövedelem adatok és ezek országos eloszlásának alapján Norvégiában a villamos autó vétel a két leggazdagabb vagyoni illetve jövedelmi decilisre jellemző, hazánkban ez várhatóan csupán a leggazdagabb decilisre lesz jellemző.

Háztartások mérete

A norvég tanulmány eredményei szerint a BEV-vel rendelkező háztartásokban átlagosan 3,2 ember él, 56%-ában van gyermek, 38%-ában pedig kettő vagy több gyermek van. Kaliforniában hasonló számokat látunk a háztartások méretére. 52%-ukban van gyermek, míg 32%-ukban van kettő vagy több gyerek.

2.2.2.2 Épülettípusok

A lakossági statisztikák mellett a második, elemzés szempontjából nélkülözhetetlen adatsor a különböző épületek csoportosítása rendeltetésük szerint. Az, hogy a felhasználók milyen típusú épület közelében, mikor és mennyi ideig hagyják villamos autóikat tölteni egyértelműen segít majd a különböző profilok meghatározásában.

Lakóhely típusa

A [10] és [12] tanulmányok egyaránt mutatják, hogy az urbánus, városias területek és ezek vonzáskörzete a villamos autók elsődleges előfordulási helye, ami illeszkedik várakozásainkhoz, hiszen a villamos autók hatótávja továbbra is korlátozott, ám városi közlekedésre teljesen alkalmasak.

Közintézmények

Kórházak, múzeumok, színházak, iskolák, egyetemek stb. Ugyanakkor fontos, hogy ezen típusokat sem lehet homogén csoportként kezelni, minden közintézmény típust külön-külön kell vizsgálni, hiszen egy általános iskola mellett vélhetően közel sem akkor és annyi időre hagyják átlagosan a felhasználók villamos autóikat, mint például egy múzeum mellett.

Bevásárlóközpontok, éttermek

Boltok, bevásárlóközpontok, áruházak, éttermek stb. Ugyanaz elmondható, mint közintézmények esetén, az egyes típusokat külön kell vizsgálni.

Irodaházak, foglalkoztatási centrumok

A munkavégzés alatt a felhasználók gyakran töltik autóikat, így a nagyobb foglalkoztatási centrumokban ez a fajta töltési profil meghatározóbb lehet.

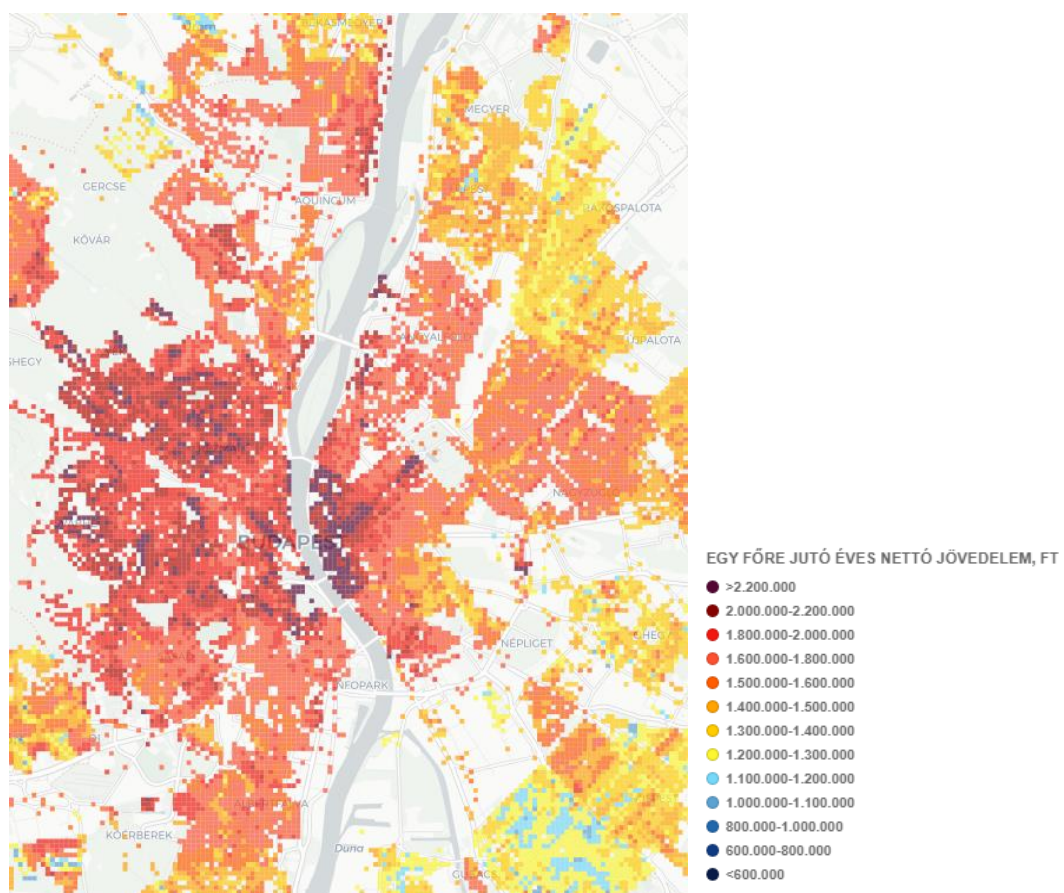
3 A potenciális paraméterek kiválasztása

A fejezetben megvizsgáljuk az előző részben bemutatott, Budapest térségében hozzáférhető paramétereket. Ezeket két csoportra osztottuk, lakossági statisztikák, illetve az épülettípusokra vonatkozó adatsorok mentén. Ezeket a geoindex internetes térképes adatbázis [51] segítségével elemezzük.

3.1 Lakossági statisztikák

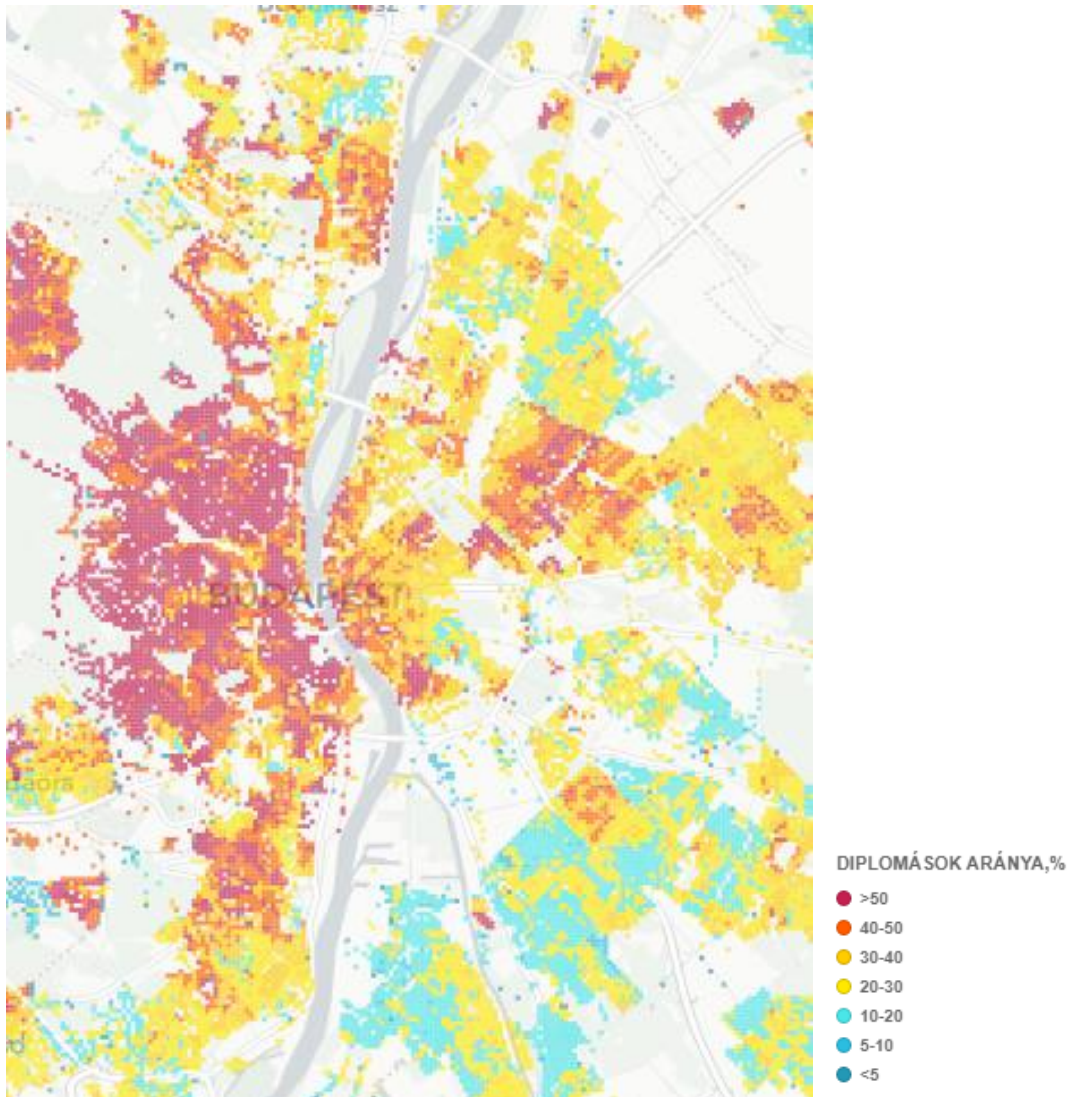
Mint ahogy azt az előző fejezetben is említettük, a lakossági statisztikák elsősorban az esti, publikus töltőkön végbemenő töltési események végett lehetnek hasznosak. Az említett geoindex térképes adatbázis segítségével megvizsgáltuk az egy főre jutó éves nettó jövedelem nagyságát, a diplomások arányát, illetve a népsűrűség nagyságát Budapest térségében. Ezen kívül a lakókörnyezet indexet is ebbe a csoportba sorolhatjuk, lévén a későbbiekben egyedül a kor szerinti megoszlást vizsgáljuk ezen kategória segítségével.

3.1.1 Egy főre jutó éves nettó jövedelem



16. ábra: Az egy főre jutó éves nettó jövedelem nagysága Budapest térségében [51]

3.1.2 Diplomások aránya

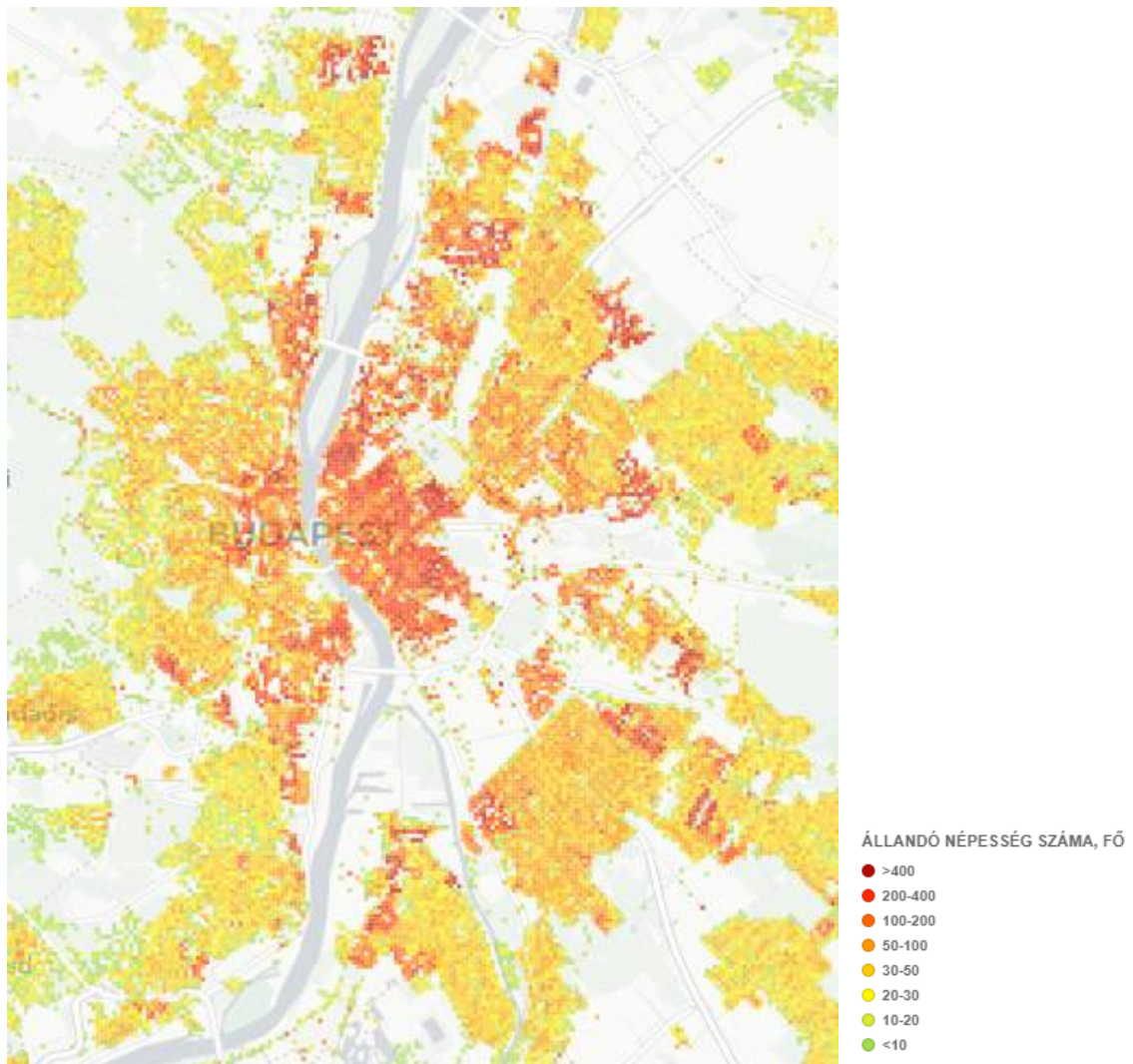


17. ábra: A diplomások aránya az egyes területeken Budapest térségében [51]

A 16. ábra és a 17. ábra jellegét tekintve közelítőleg megegyeznek. A legmagasabb keresettel rendelkezők jellemzően a budai oldalon, illetve Pesten a belső kerületekben összpontosulnak. Ezzel teljesen analóg, amit a diplomások eloszlásakor látunk, az említett területeken a legmagasabb a diplomások aránya a fővárosban. Ugyanakkor csak ezen két paraméter alapján még nem vonhatunk le messzemenő következtetéseket, hiszen a kerületek olyan jellemzőit, mint a lakóhely típusok, még nem vizsgáltuk. A budai területeken márpedig várhatóan jóval jellemzőbb lesz a kertesház illetve családi ház, mint Belső-Pesten. Ez azért fontos, mert ezzel jelentősen nő a valószínűsége annak, hogy a villamos autó tulajdonosok ezeken a területeken rendelkeznek házukban saját, privát hálózati töltővel, így jóval kisebb mértékben vannak rászorulva a publikus töltőpontok használatára, főleg az otthoni töltés szempontjából.

3.1.3 Népsűrűség

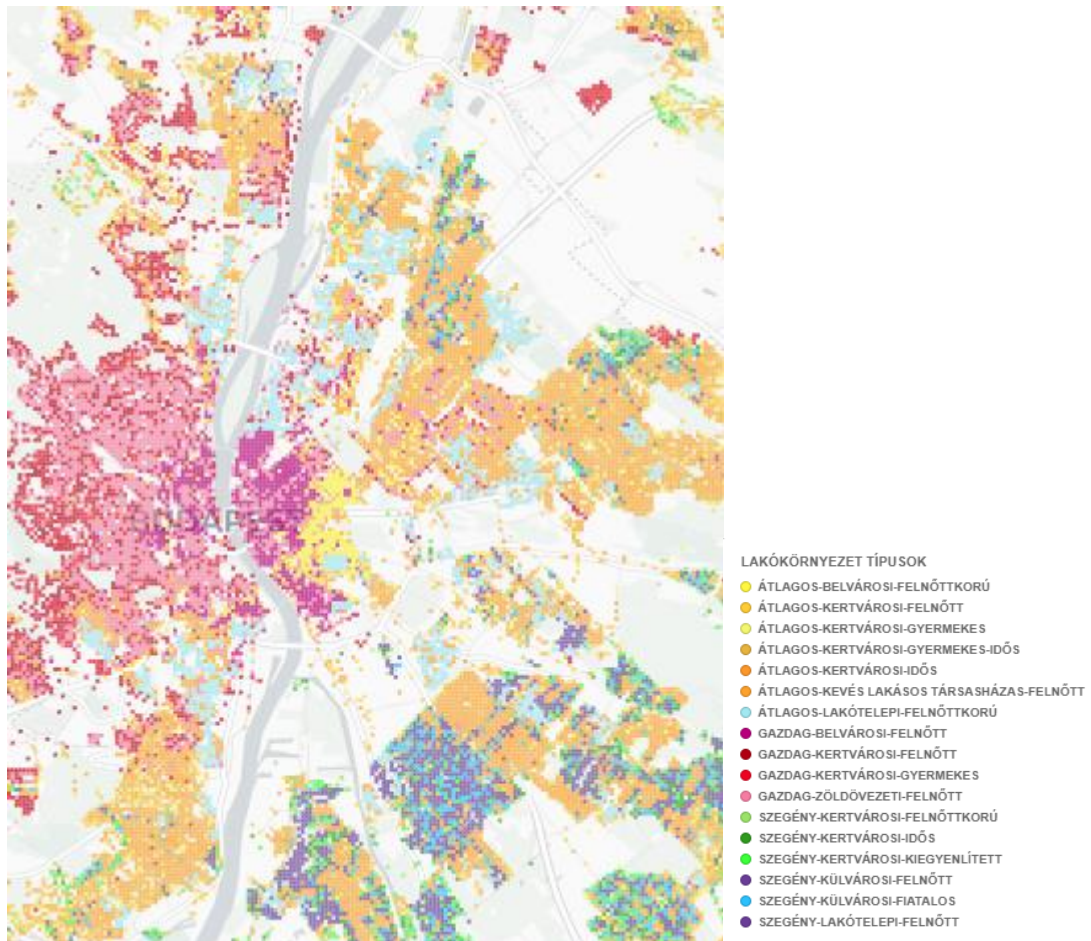
A népsűrűség budapesti eloszlását mutatja a 18. ábra. Az előbbi paraméterekhez hasonlóan, a népsűrűség adatokból az otthonhoz közeli töltési eseményekre vonhatunk le következtetéseket. A sűrűbben lakott területeken összességében gyakoribbak lehetnek az éjszakai töltési események a közeli publikus töltőhelyeken. Ez a térkép már valamelyest érzékelteti a külső budai területek kisebb relevanciáját a vizsgálatban, hiszen ott a népsűrűség jóval alacsonyabb Budapest belső kerületeihez képest. Összességében a népsűrűség adatok alapján Budapest belső területei relevánsak egészen a Hungária körgyűrűig, illetve a kisebb kerületi központok.



18. ábra: A népsűrűség nagysága Budapest térségében az egyes területeken [51]

3.1.4 Lakókörnyezet index

A lakókörnyezet index tizenhét különböző csoportba sorolja az egyes térkép elemeket. Ez egy összetett paraméter, melyet három paraméter együttes vizsgálatából származtattak a készítők. Ezek rendre a pénzügyi helyzet (jövedelem), lakókörnyezet fajtája (beépítés jellege) és a kor. Mivel az első két paramétert jó közelítéssel önmagában, függetlenül is bevonjuk a vizsgálatba, a lakókörnyezet típusok esetén úgy döntöttünk, egyedül a kor paraméterre fókuszálunk, melyet ebből a paraméterből származtatunk.



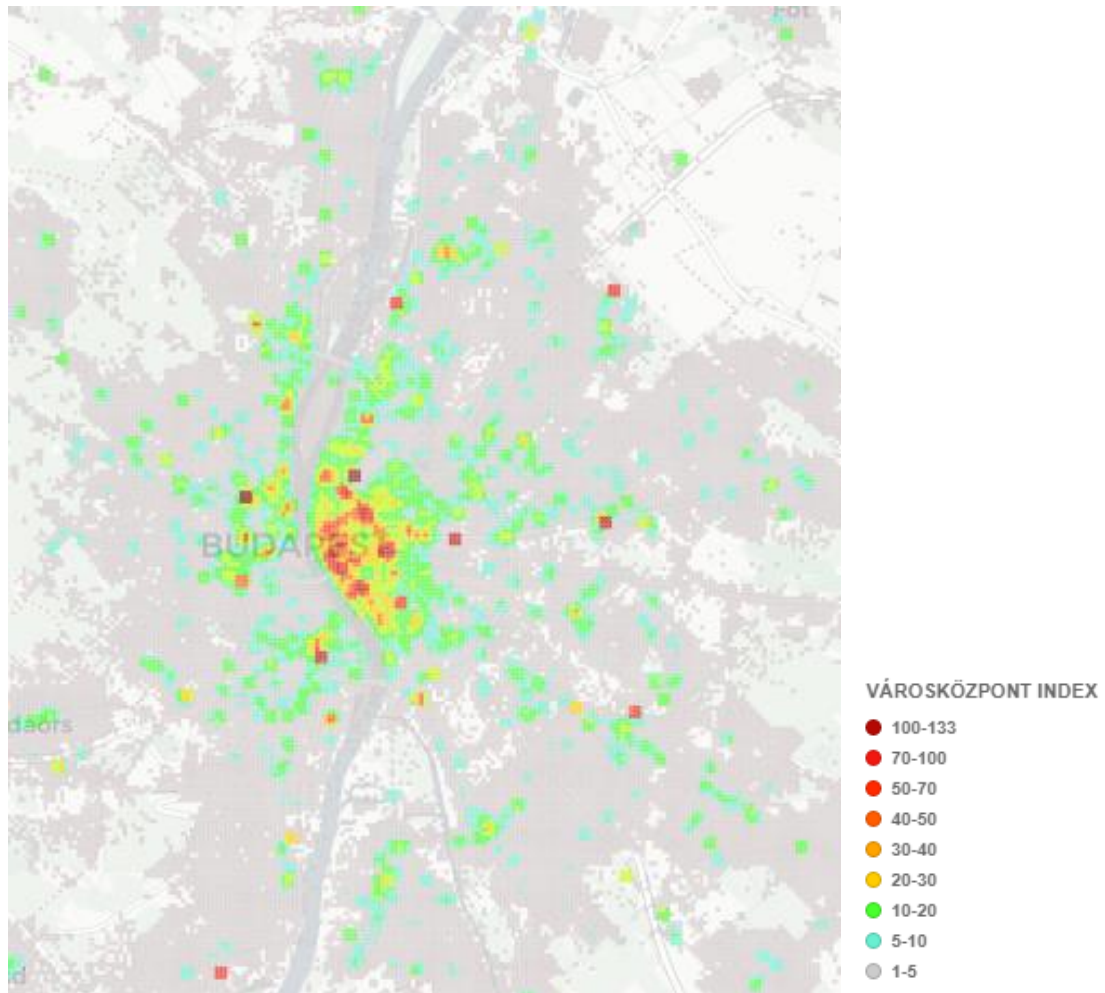
19. ábra: Lakókörnyezet index típusa Budapest térségében az egyes területeken [51]

3.2 Épülettípusok

Az épülettípusok kategóriából négy kategóriát vontunk be a számításba, a városközpont indexet, a területre jellemző beépítés jellegét, illetve két, a töltőállomás elhelyezkedésére vonatkozó jellemzőt. Ezen paraméterek segítségével lehetőségünk nyílt jellemezni a töltőt körülvevő épített környezetet, s ez alapján következtetni a későbbiekben a várható töltési paraméterekre.

3.2.1 Városközpont index

A népsűrűségi eloszlással némileg analóg, de jóval összetettebb paraméterű adatsort mutat a 20. ábra, melyen a Városközpont index értékek láthatók Budapest térségében. A városközponti funkció meghatározása során figyelembe vették a kereskedelmi, oktatási, egészségügyi, közlekedési és pénzügyi szolgáltatások, valamint turisztikai célpontok létesítményeinek elhelyezkedését 0.

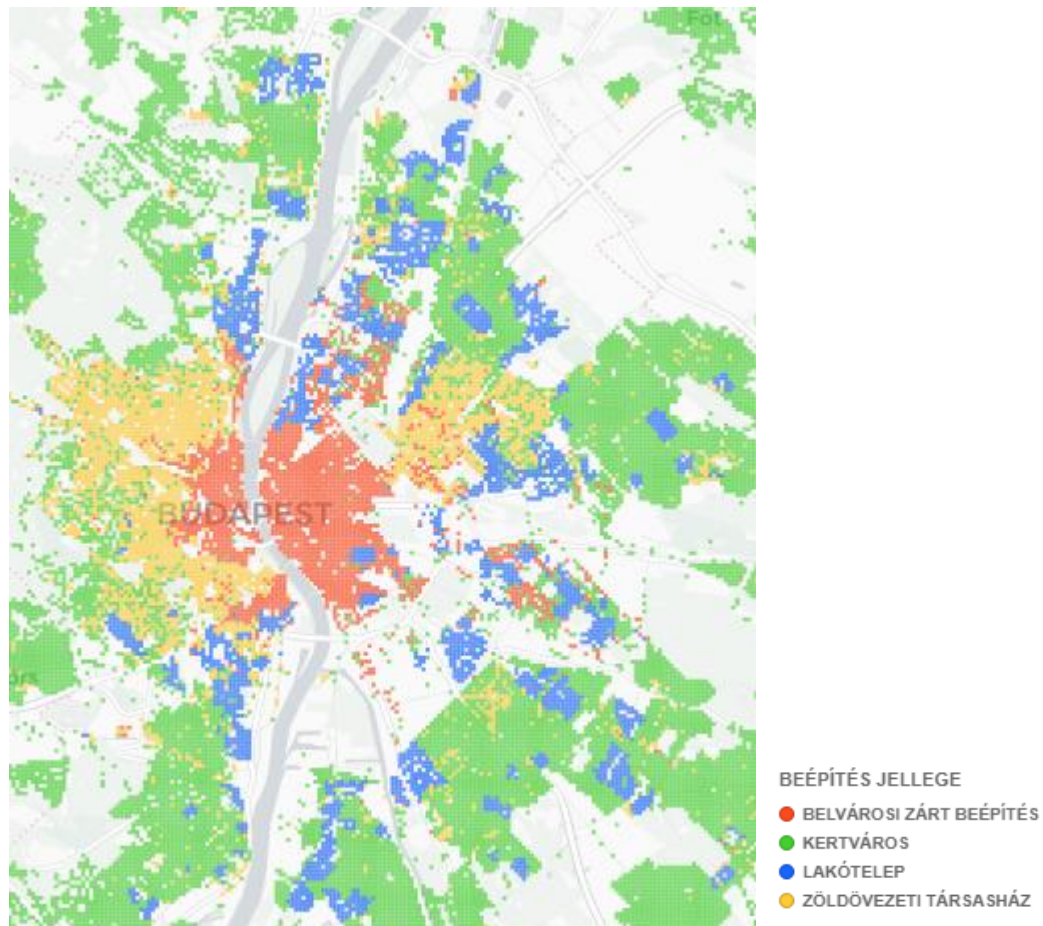


20. ábra: A városközpont index értéke a fővárosban és annak térségében [51]

Bár a felhasznált irodalomban nem találoztunk ezen paraméter felhasználásával, bevonása célszerű lehet, hiszen ha kategóriánként nem is, de összességében megmutatja a főváros ezen jellegű csomópontjait.

3.2.2 Beépítés jellege

A beépítés jellege megmutatja az adott területre leginkább jellemző lakóépülettípust. Ezt a paramétert már láttuk megjelenni a lakókörnyezet index kapcsán, ott azért is éltünk az egyszerűsítés lehetőségével, és szorítkoztunk egyedül a korra, mert itt külön vizsgáljuk a beépítéseket.



21. ábra: A beépítés jellege Budapest térségében az egyes területeken [51]

3.2.3 Töltőhely elhelyezkedés (mikro)

Olyan paraméter, mellyel azon földrajzi elhelyezkedését jellemezzük a töltőpontnak, hogy milyen településen helyezkedik el. Négy csoportot különböztettünk meg: Budapest, Budapest agglomeráció, Megyeszékhely, Egyéb település.

3.2.4 Töltőhely elhelyezkedés (makro)

Olyan paraméter, mellyel azon földrajzi elhelyezkedését jellemezzük a töltőpontnak, hogy milyen, településen belüli lokáción helyezkedik el. A felvett típusok: Lakókörnyezeti parkoló, Áruház/Bevásárlóközpont parkoló, Útszéli parkoló, Intézmény parkoló, Parkolóház.

4 A töltőpontok területi elemzése

A fejezetben az előző részben bemutatott paraméterek segítségével jellemezzük a vizsgálni kívánt töltőpontokat. Ennek első lépéseként egy töltési eseményeket tartalmazó adatbázis rendszerezése volt feladatunk. Miután kiszűrtük a hibás, valószínűtlen és duplikált adatokat, meghatároztuk, mely töltőket vizsgáljuk a továbbiakban. Ezt a halmazt később több esetben tovább szűkítette az elégtelen adat, mellyel jellemezni tudnánk a töltőt. Így végül 64 töltőpont került be a vizsgálatba, melyeknek meghatároztuk a fentebb kijelölt paramétereit, valamint a napi átlagos energiafelvételét, továbbá a napi átlagos töltési idejét. Célunk ez utóbbi két paraméter, mint célváltozó kifejezése a többi, bemenő paraméter segítségével, amit lineáris regresszió alkalmazásával végeztünk el.

4.1 A releváns töltéseket tartalmazó adatbázis létrehozása

A kiinduló adatbázis az E.ON által üzemeltetett 118 publikus töltőállomás 129109 töltési eseményét tartalmazta, 2020.04.20-a és 2022.02.13-a között. Az adatbázist a következő kritériumok alapján egyszerűsítettük a feldolgozás előtt. Mivel az ingázás tekintetében végezzük a vizsgálatot, egyedül a hétköznapokon bekövetkező töltési eseményeket vizsgáltuk. Kiszűrtük továbbá az ünnepnapokon bekövetkező töltési eseményeket is. Egyedül a 21-22 kW-os AC töltők csoportját vizsgáltuk, lévén ezek a leggyakoribb típusok, illetve új töltő elhelyezése kapcsán a nagyteljesítményű DC gyorstöltők továbbra is kis számban vannak jelen, hála a hálózati korlátoknak. A töltési események közül csak azokat vettük figyelembe, melyek átlagos töltési teljesítménye az 1000-22170 W intervallumba esnek, valamint a töltési idő legalább 300 s, azaz 5 perc. Továbbá kizárólag a 2021-es év töltési eseményeit vizsgáltuk. Ennek oka, hogy ez az egyetlen olyan év, amiről teljes egészében rendelkezésünkre állt adat, illetve feltételezzük, hogy a járvány hatása már kisebb befolyásoló tényezőt jelentett, mint a 2020-as évben. A 2022-es évből pedig csak nagyon kevés, bő két hónapnyi időtáv állt rendelkezésünkre. Továbbá csak olyan töltőpontot vizsgáltunk, ahol legalább 20 töltési esemény megfelelt a fenti kritériumoknak.

További kizáró ok volt az analízisből a töltőpontot jellemző bemenő paraméterek hiányos száma. Ezeket az adatokat a geoindex térkép [51] alapján határoztuk meg, oly módon, hogy megvizsgáltuk a töltőpont négyzete körüli 5x5-ös, 25 kis négyzetet tartalmazó négyzetet. Az itt található, számmal jellemezhető értékeket átlagoltuk, majd ezzel jellemeztük a töltőpontot. Azon paraméterek esetén, ahol nem számmal fejeztük ki az egyes kategóriákat, az adatsor móduszával, tehát leggyakoribb elemével jellemeztük a töltőt. A feltétel ebben az esetben az volt, hogy a 25 négyzetből legalább 10 négyzet tartalmazzon adatot.

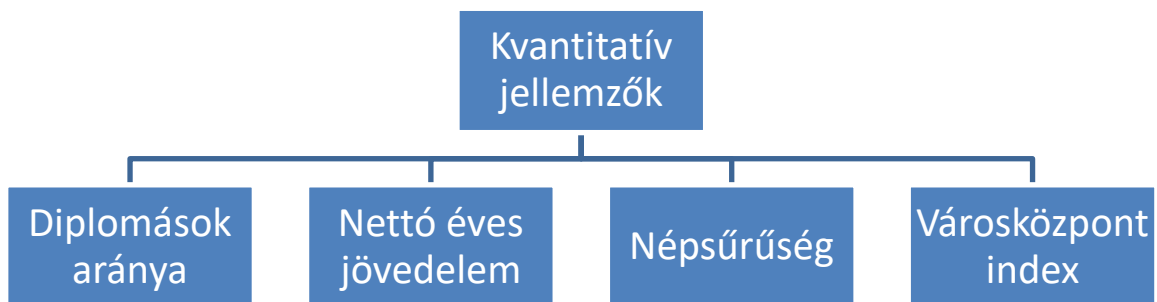
Mindezen kritériumokat figyelembe véve az adatbázis, melyen a vizsgálatot végeztük 9373 töltési eseményt és 64 különböző töltőállomást tartalmazott.

4.2 A töltőket leíró adatbázis létrehozása

Az adatbázist a bemenő, magyarázó változók és a kimenő, célváltozók alkotják. Előbbi számát a vizsgálat során határoztuk meg, míg célváltozóink ismertek, ezek a napi átlagos töltési idő és leadott energia. Ezek meghatározását tekintjük át a következőkben.

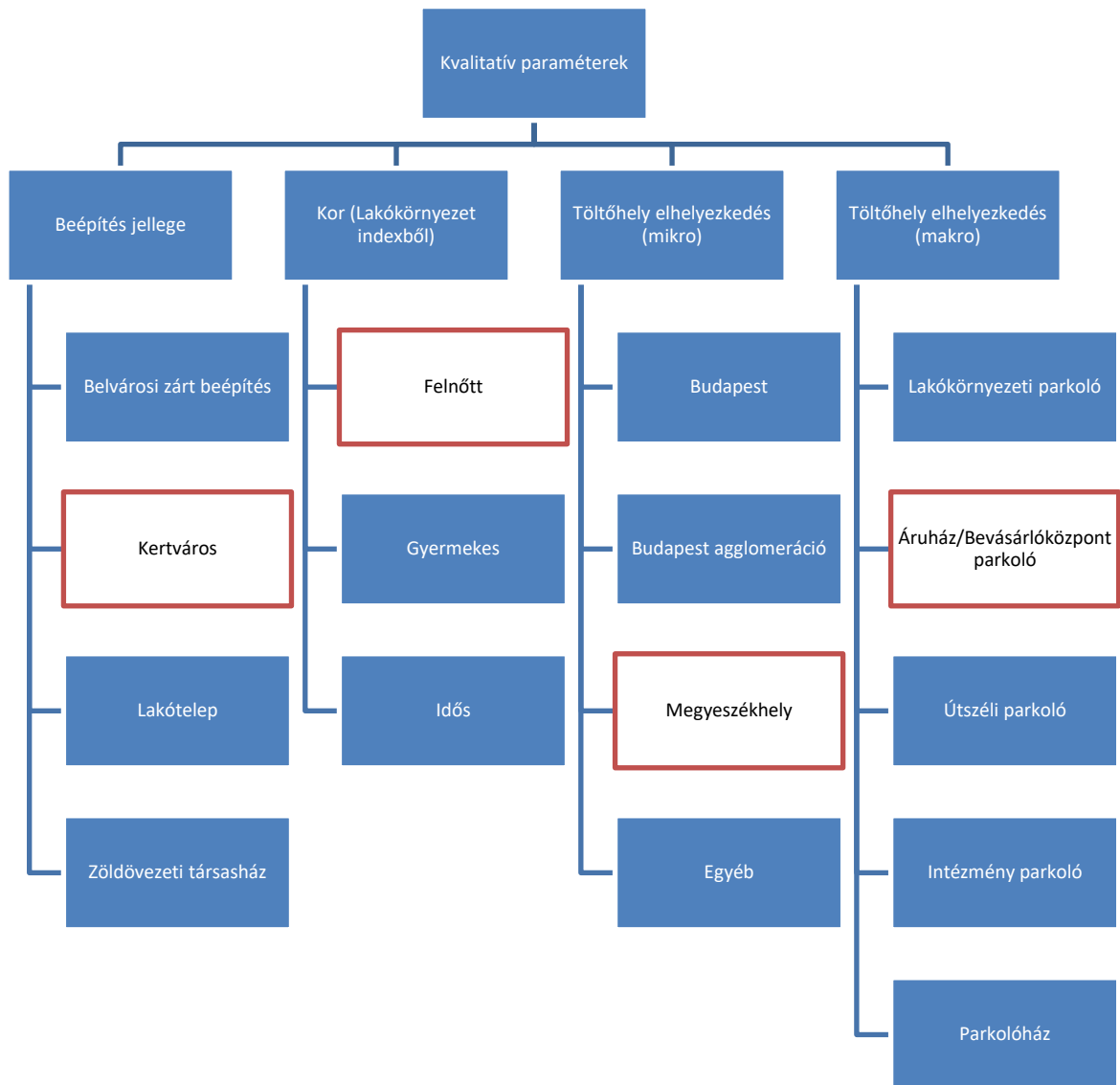
4.2.1 Magyarázó változók

A kritériumok alapján tehát 64 eltérő töltőpont került be a vizsgálatba. Ezekhez először meghatároztuk a bemenő változókat. A kvantitatív jellegű, szám jellegű paraméterekkel nincs különösebb feladat, ezek már önmagukban bevethetők a regresszióban. Ilyen változók a jövedelem, a népsűrűség, a városközpont index és a diplomások aránya (22. ábra).



22. ábra: Kvantitatív paraméterek

Más a helyzet a kvalitatív jellegű magyarázó változókkal. Ezekből a regresszió számára ún. dummy változókat hoztunk létre. Ez azt jelenti, hogy minden egyes, k értéket felvenni képes változót k darab különböző bináris változóval helyettesítjük a regresszióban. Egy kis egyszerűsítésre van lehetőség olyan módon, hogy a k darab új változó helyett csupán $k-1$ -et hozunk létre, s a kimaradó egy értéket tekintjük az általános esetnek. Éppen ezért érdemes a legtöbbször előforduló értéket választani ennek. Ilyen kvalitatív jellegű változóink a lakókörnyezet index, beépítés jellege, valamint a töltőhely elhelyezkedések. Mint már említettük, a lakókörnyezet index paramétert csak a kor jellemzésére használjuk, így a továbbiakban így hivatkozunk rá. A fentieket foglalja össze a 23. ábra. Piros kerettel jelöltük azon értékeket, melyek a leggyakrabban előforduló értékek a vizsgált 64 töltő esetén, így a regresszió során ezen paramétereket nem vezettük be külön.



23. ábra: Kvalitatív paraméterek

Mindezek alapján a töltőket leíró magyarázó paraméterek számát határozza meg a (2) egyenlet.

$$var_{num} = var_{quant_{num}} + var_{qual_{num}} = 4 + 3 + 2 + 3 + 4 = 16 \quad (2)$$

Tehát ez a 16 bemenő paraméter áll rendelkezésünkre, hogy kifejezzük a várható napi töltési időt és energiát minden töltőpont esetén. Ezeket a paramétereket vagy a geindex adatbázis [51] segítségével határoztuk meg, vagy egyszerű megfontolás útján, mint a különböző töltő elhelyezkedés paraméterek. A következő fejezetben bemutatjuk a célváltozók meghatározásának módszerét.

4.2.2 Célváltozók

A két célváltozó tekintetében a következőképp jártunk el. Minden egyes töltőre külön összegeztük, mekkora energiát adott le a vizsgált időszakban, majd ezt elosztottuk a vizsgált időszakot jelentő napok számával. Fontos kiemelni, hogy ezt az időszakot nem a teljes év, hanem az első töltési esemény és az utolsó töltési esemény közti időszak, és ott is kizárólag a hétköznapi munkanapok jelentik. Ennek oka, hogy némely töltő csak a 2021-es év közben került beüzemelésre. Hasonlóan jártunk el a töltési idők kapcsán. Ebben az esetben annyival volt bonyolultabb a számítás, hogy egy-egy töltőpont általában legalább két töltőfejjel rendelkezik, így a töltési események ideje sokszor átfedésben lehet, erre ezek összegzésekor különös figyelmet szenteltünk, lévén számunkra csupán a töltőállomás töltési ideje releváns, nem az egyes töltőfejeké.

4.3 Lineáris regressziós modell megalkotása, futtatása

A fentebb meghatározott paraméterek közti összefüggést lineáris regressziós modell létrehozásával vizsgáltuk meg. Ezt MATLAB-ban végeztük, az alábbi módon.

```
mdl_kwh_aic = stepwiselm(toltokuj_kWh, "linear", "Lower", "constant", "Upper",
"linear", "Criterion", "aic", "CategoricalVars", [3,4,6,7,8,9,10,11,13,14,15,16])
mdl_h_aic = stepwiselm(toltokuj_h, "linear", "Lower", "constant", "Upper",
"linear", "Criterion", "aic", "CategoricalVars", [3,4,6,7,8,9,10,11,13,14,15,16])
```

A stepwiselm() függvény létrehozza a lineáris modellt, oly módon, hogy a kritérium alapján hozzávesz a modellhez vagy eliminál abból egy változót. Ezt a kritériumot mi az Akaike információs kritériumnak (AIC) választottuk. Ez annyival több, mintha egyszerűen csak az R^2 értéket vizsgálnánk, hogy tartalmaz egy büntető tagot. Ezzel igyekszik megakadályozni, hogy további paraméterek hozzávételével túllillessük a modellt, hiszen az R^2 érték ezekben az esetekben tovább nő, de a modell egyre kevésbé lesz alkalmas további becslések alapjának. Ezen kívül megadtuk, melyek a dummy változók a modellben. A szimuláció eredményét az alábbi két táblázat (8. táblázat, 9. táblázat) mutatja.

8. táblázat: A releváns bemenő változók a leadott töltési energia, mint célváltozó esetén

Változók	Koefficiensek	Standard hiba	t érték	p-érték
Tengelymetszet	-14,589	8,609	-1,695	0,0956
loctype_Bpagglo	17,984	9,823	1,831	0,0724
loctype_egyeb	11,807	7,466	1,582	0,1193
beepjell_belvarosizartbeep	14,628	7,643	1,914	0,0607
diplomasokaranya	0,7096	0,295	2,402	0,0196
chargerloc_ut	45,307	12,036	3,764	0,0004
chargerloc_intezmeny	28,103	15,939	1,763	0,0832

9. táblázat: A releváns bemenő változók a töltési idő, mint célváltozó esetén

Változók	Koefficiensek	Standard hiba	t érték	p-érték
Tengelymetszet	-0,964	0,623	-1,547	0,1275
varoskornyezetindex	0,0567	0,027	2,104	0,0399
loctype_Bpagglo	1,402	0,688	2,037	0,0464
loctype_egyeb	0,719	0,537	1,340	0,1858
beepjell_zoldovezetitarsashaz	1,737	1,103	1,574	0,1212
diplomasokaranya	0,037	0,022	1,691	0,0964
chargerloc_ut	2,708	0,843	3,213	0,0022
chargerloc_intezmeny	2,478	1,116	2,222	0,0303

Mindkét esetben elmondható, hogy a p-értékek relatív magas értékek, tehát a változók kevésbé szignifikánsak a modellben. Ugyanakkor elhagyásuk információvesztéssel járna a modell szempontjából, ezt a használt Akaike információs kritérium garantálja. Szintén erős korlátot ad a regresszióknak a kevés megfigyelés, tehát esetünkben a töltőpontok száma, ami 64 darab csupán.

A változók elnevezésének feloldását mutatja a 10. táblázat.

10. táblázat: A modellekben használt változók magyarázata

Változó elnevezés	Jelentés	Változó típusa
beepjell_belvarosizartbeep	Beépítés jellege, belvárosi zárt beépítés	dummy (0/1)
beepjell_zoldovezetitarsashaz	Beépítés jellege, zöldövezeti társasház	dummy (0/1)
chargerloc_intezmeny	Töltőhely elhelyezkedés (makro), intézményi parkoló	dummy (0/1)
chargerloc_ut	Töltőhely elhelyezkedés (makro), útszéli parkoló	dummy (0/1)
diplomasokaranya	Diplomások aránya	folytonos
loctype_Bpagglo	Töltőhely elhelyezkedés (mikro), Budapest agglomeráció	dummy (0/1)
loctype_egyeb	Töltőhely elhelyezkedés (mikro), Egyéb	dummy (0/1)
varoskornyezetindex	Városkörnyezet index	folytonos

Mind az idő, mind az energia modelljében fontos szerepet kap 2-2 változó a töltőhely elhelyezések közül, illetve egy beépítés jellegére utaló változó. A felvett energia esetén ez a belvárosi zárt beépítés, míg a töltési idő esetén a zöldövezeti társasház. A további kutatások során érdemes lehet még inkább megvizsgálni ezen kategóriákat. Az, hogy ezen kategóriák többi dummy változója nem került be a modellbe azt jelenti, hogy nincs szignifikáns eltérés a kezdeti modellfeltevéstől (Áruház/Bevásárlóközpont parkoló – Megyeszékhely-Kertváros). Hasonlóan megjelent mindkét összefüggésben a diplomások aránya, úgy tűnik, ez a paraméter szorosan összefügg a töltőállomások jellemzésével (0,0196-os és 0,0964-es p-értékek). Végül a töltési idő kifejezésében szerepel a városközpont index is. Ebből arra következtethetünk, a töltési idő jobban függ a töltőállomást körülvevő speciális épületektől, mint a leadott energia.

Mindezek alapján a következő egyenleteket írhatjuk fel.

$$\begin{aligned} charging_{kWh} = & -14,589 + 17,984 \cdot loctype_{Bpagglo} + 11,807 \cdot loctype_{egyeb} + \\ & +14,628 \cdot beepjell_{belvarosizartbeep} + 0,7096 \cdot diplomasokaranya + \\ & +45,307 \cdot chargerloc_{ut} + 28,103 \cdot chargerloc_{intezmeny} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} charging_h = & -0,964 + 0,057 \cdot varoskozpontindex + 1,402 \cdot loctype_{Bpagglo} + \\ & +0,719 \cdot loctype_{egyeb} + 1,737 \cdot beepjell_{zoldovozetitarashaz} + \\ & +0,037 \cdot diplomasokaranya + 2,708 \cdot chargerloc_{ut} + 2,478 \cdot chargerloc_{intezmeny} \end{aligned} \quad (4)$$

4.4 Szenárióelemzés

A regresszió segítségével a modell elkészült, immár képesek vagyunk becsülni a különböző helyszíneken várható töltési igény nagyságának és hosszának napi átlagát. Kutatásunk ezzel elérte célját. Dolgozatom utolsó fejezetében záróképp bemutatjuk a kapott modell által szolgáltatott eredményeket öt, általunk választott helyszín esetén, ezzel demonstrálva a modell működését. A helyszíneket az első fejezetben számított ingázási energiaigények alapján választottuk ki, illetve igyekeztünk egymástól eltérő jellegű helyszíneket is bevonni a demonstrációba. Az öt helyszín a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér egyik parkolója, a Duna Pláza parkolója, egy Príma üzlet parkolója Budakeszin, a Schönherz Kollégium előtti parkoló, illetve az Október 6. utca 19. szám előtti útmenti parkolóhely. Ezeket a 11. táblázat mutatja.

11. táblázat: A kiválasztott öt helyszín és ezek bemenő paraméterei

Hely megnevezése	Reptér parkoló	Duna Pláza	Budakeszi Príma	Schönherz kollégium	Október 6. utca 19.
Latitude_num	47.4235	47.5499	47.5074	47.4733	47.5018
Longitude_num	19.2332	19.0734	18.9202	19.0528	19.0508
varoskornyezetindex	2,5	30,7	4,1	15,4	46
Loctype_Bpagglo	1	0	1	0	0
Loctype_egyeb	0	0	0	0	0
Beepjell_belvarosizartbeep	0	0	0	0	1
Beepjell_zoldovezetitarsashaz	0	0	0	0	0
diplomasokaranya	15	26,8181	43,3333	40	44,7727
chargerloc_ut	0	0	0	0	1
chargerloc_intezmeny	0	0	0	0	0

Felhasználva a két, regresszióból meghatározott egyenletet ((3) egyenlet, (4) egyenlet) meghatároztuk a célváltozókat. A kapott eredményeket a 12. táblázat szemlélteti.

12. táblázat: A célváltozók értékei a vizsgált öt helyszínen

Hely megnevezése	Reptér parkoló	Duna Pláza	Budakeszi príma	Schönherz kollégium	Október 6. utca 19.
charging_kWh	14,039	4,442	34,145	13,796	77,118
charging_h	1,138	1,777	2,284	1,400	6,021

Az utolsó helyszín esetén (Október 6. utca) extrém magas értékeket kaptunk, ez köszönhető a magas diplomások arányának és városközpont indexnek, valamint annak, hogy két faktor is egyes értékű volt. Budakeszi esetén a diplomások magas aránya és az agglomerációs faktor növeli meg jelentősen az energia igényt, a városközpont index ugyanakkor viszonylag alacsony, így a töltési idő értéke nem kiugró. A Duna Pláza esetén megfigyelhető, hogy míg energiaigénye alacsony (alacsony a diplomások aránya, nincs faktor), addig a töltési idő arányaiban jóval nagyobb (magas városkörnyezet index). A reptéri parkoló és a Schönherz Kollégium igen eltérő környezeti paraméterekkel rendelkeznek, ám végeredményben mégis igen hasonló eredményt kaptunk ezen két helyszín esetén. Mindezek tudatában már jóval pontosabb becslést adhatunk a jövőbeli publikus töltőhelyeken várható villamosenergia-igényről, mint azt önmagában az ingázás vizsgálatával tudtuk volna, ezzel segítve az elosztóhálózat-üzemeltetők jövőbeli hálózatfejlesztési munkáját.

5 Konklúzió

Dolgozatomat a tématerület relevanciájának megindoklásával kezdtem. Megmutattam, hogy a villamos autó a jelen és a jövő meghatározó egyéni közlekedési eszköze lesz, rámutatva lokális környezetbarát tulajdonságaira. Ezután megkezdtem a villamos autót használók profiljának megalkotását, nemzetközi példák alapján. Ennek, és a budapesti ingázás elemzésének segítségével kiválasztottam kutatásunk szempontjából a leginkább releváns szektort, a nyugati agglomerációs szektort. Ezután lépésről lépésre meghatároztam az ingázók számát, az ingázási szakaszok hosszát, majd az egy főre vetített átlagos fogyasztás nagyságát. Mindezt két, független módszer segítségével, melynek egyike a 2011-es népszámlálási adatokon alapult, míg a másik a 2019-es budapesti Egységes Forgalmi Modell adatait dolgozta fel. A három meghatározott paraméterből tevődött össze az agglomeráció és a főváros közti ingázás teljes napi energiaigénye. Ezt a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal legfrissebb adatai alapján helyeztem kontextusba. Láttam továbbá, hogy ezen módszertan önmagában nem képes nyilatkozni a publikus és privát töltések közötti megoszlásról.

Ennek megfelelően kutatásunk irányát a publikus töltőállomások felé vettük. Mivel a nemzetközi szakirodalomban nem találtunk hasonló problémafelvetést, a témához leginkább közel álló tanulmányok feldolgozásával gyűjtöttünk olyan szocio-ökonómiai és földrajzi paramétereket, melyek alapján jellemezhető egy publikus töltőállomás két legfontosabb paramétere, a töltési idő és a leadott töltési energia. Ebben a kutatásban a legnagyobb segítségünkre az optimális töltőelhelyezés problémakörét tárgyaló tanulmányok voltak.

A következő lépésként – felhasználva az előző fejezetben tett megállapításainkat – kijelöltük, mely paraméterek felhasználásával érdemes vizsgálni a hazai publikus töltőállomásokat. Két nagy csoportot különböztettünk meg, lakossági statisztikákat, valamint épülettípus jellemzőket, melyekkel a töltő körüli épített környezetet van lehetőségünk jellemezni.

Végül megalkottuk lineáris regressziós modellünket. Ennek első lépéseként egy töltési eseményeket tartalmazó adatbázis rendezése volt a feladat, majd a rendelkezésre álló töltési adatok és térképes adatbázis alapján a jellemezhető töltőállomások kiválasztása. Ezután ezen töltőállomások segítségével megalkottuk a már említett lineáris regressziós modellt, mely segítségével becsülhető egy tervezett töltőállomás átlagos napi töltési ideje és leadott energiája. A fejezet zárásaként ezt be is mutattuk, öt új virtuális töltőhely elhelyezésével, majd értékeltük a kapott eredményeket.

A kutatás további irányának egyik fő pontja a töltőállomások számának bővítése a vizsgálatban. Ezzel várakozásaink szerint jóval pontosabb modell megalkotására lesz lehetőségünk. Ehhez elsődlegesen további publikus töltőállomásokat leíró adatbázisok feldolgozására lenne szükség. További lehetőség a bemeneti paraméterek fejlesztése, hogy a lehető legpontosabban tudjuk leírni a keresett két célváltozót a vizsgálatban.

6 Irodalomjegyzék

- [1] R. Wolbertus, M. Kroesen, R. van den Hoed, and C. G. Chorus, “Policy effects on charging behaviour of electric vehicle owners and on purchase intentions of prospective owners: Natural and stated choice experiments,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 62, pp. 283–297, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.trd.2018.03.012.
- [2] G. Razeghi, M. Carreras-Sospedra, T. Brown, J. Brouwer, D. Dabdub, and S. Samuelsen, “Episodic air quality impacts of plug-in electric vehicles,” *Atmospheric Environment*, vol. 137, pp. 90–100, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.04.031.
- [3] S. Rangaraju, L. De Vroey, M. Messagie, J. Mertens, and J. Van Mierlo, “Impacts of electricity mix, charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: A Belgian case study,” *Applied Energy*, vol. 148, pp. 496–505, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.121.
- [4] B. Chiarini, A. D’Agostino, E. Marzano, and A. Regoli, “The perception of air pollution and noise in urban environments: A subjective indicator across European countries,” *Journal of Environmental Management*, vol. 263, p. 110272, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110272.
- [5] E. Guerra, “Electric vehicles, air pollution, and the motorcycle city: A stated preference survey of consumers’ willingness to adopt electric motorcycles in Solo, Indonesia,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 68, pp. 52–64, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.trd.2017.07.027.
- [6] S. Kara, W. Li, and N. Sadjiva, “Life Cycle Cost Analysis of Electrical Vehicles in Australia,” *Procedia CIRP*, vol. 61, pp. 767–772, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.procir.2016.11.179.
- [7] V. Nimesh, R. Kumari, N. Soni, A. K. Goswami, and V. Mahendra Reddy, “Implication viability assessment of electric vehicles for different regions: An approach of life cycle assessment considering exergy analysis and battery degradation,” *Energy Conversion and Management*, vol. 237, p. 114104, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114104.
- [8] S. Verma, G. Dwivedi, and P. Verma, “Life cycle assessment of electric vehicles in comparison to combustion engine vehicles: A review,” *Materials Today: Proceedings*, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.666.
- [9] Központi Statisztikai Hivatal, “2011. évi népszámlálás - 18. A foglalkoztatottak napi ingázása és közlekedése,” KSH, Budapest, 18, 2012.
- [10] E. Figenbaum and M. Kolbenstvedt, “Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users,” Institute of Transport Economics, Oslo, 1492/2016, 2016.
- [11] Brook Lyndhurst Ltd., “Uptake of Ultra Low Emission Vehicles in the UK - A Rapid Evidence Assessment for the Department for Transport,” Department for Transport, London, 2015.
- [12] Center for Sustainable Energy, “California Plug-in Electric Vehicle Owner Survey,” San Diego, 2013.

- [13] Datawheel and Deloitte, “California | Data USA,” 2021. <https://datausa.io/profile/geo/california>(accessed May. 22, 2022).
- [14] Trading Economics, “Norway Average Monthly Earnings | 1997-2020 Data | 2021-2023 Forecast | Historical,” 2021. <https://tradingeconomics.com/norway/wages> (accessed May. 22, 2022).
- [15] Központi Statisztikai Hivatal, “STADAT | 2.2.1.1. Az összes háztartás adatai jövedelmi tizedek (decilisek), régiók és a települések típusa szerint (2010–),” 2021. https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zhc014b.html?down=2343 (accessed May. 22, 2022).
- [16] Gulyás E., “Fejlesztések egyeztetés, agglomeráció jövőkép nélkül,” *Népszava*, Oct. 02, 2018. https://nepszava.hu/3010352_fejlesztsek-egyeztetes-agglomeracio-jovokep-nelkul (accessed May. 22, 2022).
- [17] Lakatos M. and Kapitány G., “Daily Mobility of Labour Force (Commuting) and Travel in Budapest and in the Metropolitan Agglomeration Based on Data of the Population Census. Part II,” *Ter. Stat.*, vol. 56, no. 2, pp. 209–239, 2016, doi: 10.15196/TS560206.
- [18] Koltai L. and Varró A., “Ingázás a Budapesti Agglomerációban,” *Új Munkaügyi Szemle*, vol. 3, no. 1, pp. 26–37, 2020.
- [19] “Magyarország népessége, népsűrűsége,” 2019. <http://nepesseg.com/> accessed May. 22, 2022).
- [20] Modell TERCETT Konzorcium, “Egységes Forgalmi Modell (EFM) - Budapest és Agglomerációjának Teljes Területére, Modellezési és Használati Útmutató,” BKK, Budapest, 2015.
- [21] ‘Geofabrik Download Server’. <https://download.geofabrik.de/europe/hungary.html> (accessed Oct. 31, 2022).
- [22] ‘Key:tracktype – OpenStreetMap Wiki’. <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:tracktype> (accessed Oct. 31, 2022).
- [23] ‘Itt a 100-as toplista Magyarország villanyautóiról | Vezess’. <https://www.vezess.hu/magazin/2022/03/25/toplista-magyarorszag-villanyautoi-elektromos-autok/> (accessed Oct. 31, 2022).
- [24] Antalóczy T., “A legnépszerűbb villanyautók Magyarországon,” *Villanyautósok*, Oct. 07, 2019. <https://villanyautosok.hu/2019/10/07/a-legnepszerubb-villanyautok-magyarorszagon/> (accessed May. 22, 2022).
- [25] Gábor S., ‘Gyorsabban nő a villanyautók száma, mint a nyilvános töltőké’, *Villanyautósok*, Oct. 28, 2022. <https://villanyautosok.hu/2022/10/28/gyorsabban-no-a-villanyautok-szama-mint-a-nyilvanos-toltoke/> (accessed Oct. 31, 2022).
- [26] Fisch und Fischl, “The most power efficient electric vehicles -,” *Spritmonitor.de*, 2021. https://www.spritmonitor.de/en/evaluation/most_economic_electric_vehicles.html (accessed May. 22, 2022).

- [27] M. E. Biresselioglu, M. Demirbag Kaplan, és B. K. Yilmaz, „Electric mobility in Europe: A comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 109. kötet, 1–13. oldal, 2018, doi: [10.1016/j.tra.2018.01.017](https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.017).
- [28] O. Egbue és S. Long, „Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions”, *Energy Policy*, 48. kötet, 717–729. oldal, 2012, doi: [10.1016/j.enpol.2012.06.009](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.009).
- [29] S. Carley, R. M. Krause, B. W. Lane, és J. D. Graham, „Intent to purchase a plug-in electric vehicle: A survey of early impressions in large US cities”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 18. kötet, 39–45. oldal, 2013, doi: [10.1016/j.trd.2012.09.007](https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.09.007).
- [30] A. F. Jensen, E. Cherchi, és S. L. Mabit, „On the stability of preferences and attitudes before and after experiencing an electric vehicle”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25. kötet, 24–32. oldal, 2013, doi: [10.1016/j.trd.2013.07.006](https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.07.006).
- [31] Z. Rezvani, J. Jansson, és J. Bodin, „Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34. kötet, 122–136. oldal, 2015, doi: [10.1016/j.trd.2014.10.010](https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.010).
- [32] Y. Zhang, Y. Yu, és B. Zou, „Analyzing public awareness and acceptance of alternative fuel vehicles in China: The case of EV”, *Energy Policy*, 39. kötet, 7015–7024. oldal, 2011, doi: [10.1016/j.enpol.2011.07.055](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.055).
- [33] S. Enyedi, „Electric cars — Challenges and trends”, *2018 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)*, Kolozsvár, 1–8. oldal, 2018, doi: [10.1109/AQTR.2018.8402776](https://doi.org/10.1109/AQTR.2018.8402776).
- [34] J. Axsen, C. Orlebar, és S. Skippon, „Social influence and consumer preference formation for pro-environmental technology: The case of a U.K. workplace electric-vehicle study”, *Ecological Economics*, 95. kötet, 96–107. oldal, 2013, doi: [10.1016/j.ecolecon.2013.08.009](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.08.009).
- [35] E. Azadfar, V. Sreeram, és D. Harries, „The investigation of the major factors influencing plug-in electric vehicle driving patterns and charging behaviour”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42. kötet, 1065–1076. oldal, 2015, doi: [10.1016/j.rser.2014.10.058](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.058).
- [36] S. Bakker és J. Jacob Trip, „Policy options to support the adoption of electric vehicles in the urban environment”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25. kötet, 18–23. oldal, 2013, doi: [10.1016/j.trd.2013.07.005](https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.07.005).
- [37] A. Barisa, M. Rosa, és A. Kisele, „Introducing Electric Mobility in Latvian Municipalities: Results of a Survey”, *Energy Procedia*, 95. kötet, 50–57. oldal, 2016, doi: [10.1016/j.egypro.2016.09.015](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.015).
- [38] R. Daziano és E. Chiew, „Electric vehicles rising from the dead: Data needs for forecasting consumer response toward sustainable energy sources in personal transportation”, *Energy Policy*, 51. kötet, 876–894. oldal, 2012, doi: [10.1016/j.enpol.2012.09.040](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.040).
- [39] K. Laurischkat, A. Viertelhausen, és D. Jandt, „Business Models for Electric Mobility”, *Procedia CIRP*, 47. kötet, 483–488. oldal, 2016, doi: [10.1016/j.procir.2016.03.042](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.042).

- [40] K. M. Tan, V. K. Ramachandaramurthy, és J. Y. Yong, „Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53. kötet, 720–732. oldal, 2016, doi: [10.1016/j.rser.2015.09.012](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.012).
- [41] J. Yang és mtsai., „Charging demand analysis framework for electric vehicles considering the bounded rationality behavior of users”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 119. kötet, 105952 számú cikk, 2020, doi: [10.1016/j.ijepes.2020.105952](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.105952).
- [42] A. Thingvad, P. B. Andersen, T. Unterluggauer, C. Træholt, és M. Marinelli, „Electrification of personal vehicle travels in cities - Quantifying the public charging demand”, *eTransportation*, 9. kötet, 100125 számú cikk, 2021, doi: [10.1016/j.etrans.2021.100125](https://doi.org/10.1016/j.etrans.2021.100125).
- [43] M. A. van den Berg, I. Lampropoulos, és T. A. AlSkaif, „Impact of electric vehicles charging demand on distribution transformers in an office area and determination of flexibility potential”, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 26. kötet, 100452 számú cikk, 2021, doi: [10.1016/j.segan.2021.100452](https://doi.org/10.1016/j.segan.2021.100452).
- [44] Cen, X., Lo, H.K., Li, L. és Lee, E. (2018) ‘Modeling electric vehicles adoption for urban commute trips’, *Transportation Research Part B: Methodological*, 117. kötet, 431–454. oldal, doi: [10.1016/j.trb.2018.09.003](https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.09.003).
- [45] P. Ashkrof, G. Homem de Almeida Correia, és B. van Arem, „Analysis of the effect of charging needs on battery electric vehicle drivers’ route choice behaviour: A case study in the Netherlands”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 78. kötet, 102206 számú cikk, 2020, doi: [10.1016/j.trd.2019.102206](https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.102206).
- [46] D. Chakraborty, D. S. Bunch, J. H. Lee, és G. Tal, „Demand drivers for charging infrastructure-charging behavior of plug-in electric vehicle commuters”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 76. kötet, 255–272. oldal, 2019, doi: [10.1016/j.trd.2019.09.015](https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.015).
- [47] J. H. Lee, D. Chakraborty, S. J. Hardman, és G. Tal, „Exploring electric vehicle charging patterns: Mixed usage of charging infrastructure”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79. kötet, 102249 számú cikk, 2020, doi: [10.1016/j.trd.2020.102249](https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102249).
- [48] F. Pallonetto, M. Galvani, A. Torti, és S. Vantini, „A Framework for Analysis and Expansion of Public Charging Infrastructure under Fast Penetration of Electric Vehicles”, *World Electric Vehicle Journal*, 11. kötet, 1 számú cikk, 2020, doi: [10.3390/wevj11010018](https://doi.org/10.3390/wevj11010018).
- [49] T. Dodson and S. Slater, „EV Charging Behaviour Study”, *Final Report*, 2019.
- [50] Gkatzoflias D, Drossinos I, Zubaryeva A, Zambelli P, Dilara P and Thiel C. Optimal allocation of electric vehicle charging infrastructure in cities and regions. EUR 27894. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2016. JRC101040
- [51] GEOX Kft., “100x100 adatbázis,” CARTO. https://geoxmap.carto.com/viz/fc6f49ac-d288-11e6-9805-0ee66e2c9693/public_map

Központi helyek Budapesten - adatkörök elemzéshez, *GeoIndex*, dec. 03, 2014.
<http://www.geoindex.hu/adatbazisok/kozponti-helyek-budapest-en-adatkorok-elemzeshez/>

F1 1. módszer - A kapott minimális és maximális távolságok

F1 13. táblázat: A kapott minimális és maximális távolságok [km]

		Kerületcsoportok													
		Észak-Buda		Dél-Buda		Észak-Pest		Belső-Pest		Kelet-Pest, belső		Kelet-Pest, külső		Dél-Pest	
Települések	Budakeszi	14,76	33,24	31,62	47,78	27,47	40,53	21,36	32,44	32,45	47,35	42,91	64,21	43,12	60,78
	Budajenő	38,36	53,94	51,37	64,63	52,61	62,79	45,36	53,54	25,05	68,10	73,92	92,32	65,02	79,78
	Páty	31,56	50,24	36,12	52,48	45,67	58,93	39,01	50,29	23,70	70,05	70,29	91,79	56,37	74,23
	Perbál	46,64	63,96	62,50	77,50	62,14	74,06	60,09	70,01	33,98	88,57	92,49	112,63	83,90	100,40
	Telki	35,27	50,53	48,23	61,17	49,28	59,12	42,72	50,58	23,56	64,64	66,41	84,47	66,99	81,41
	Tinnye	48,84	64,96	72,89	86,71	57,04	67,76	62,58	71,32	36,72	92,28	92,65	111,59	93,00	108,30
	Tök	54,34	71,56	56,45	71,35	72,80	84,60	66,19	76,01	35,58	91,62	91,55	111,57	76,81	93,19
	Zsámbék	50,93	69,07	51,28	67,12	67,53	80,27	60,92	71,68	32,71	87,29	94,88	115,84	71,54	88,86
	Budaörs	16,91	33,99	6,92	21,68	34,66	46,34	22,26	31,94	11,90	44,05	38,85	58,75	27,27	43,53
	Biatorbágy	40,90	60,00	27,61	44,39	53,45	67,15	40,75	52,45	20,64	64,56	73,60	95,52	48,01	66,29
	Herceghalom	57,87	72,53	44,63	56,97	70,27	79,53	57,57	64,83	30,26	77,14	74,46	91,94	63,33	77,17
Törökbálint	30,29	48,01	12,90	28,30	42,94	55,26	30,09	40,41	15,73	52,67	47,05	67,59	35,95	52,85	