

ZÁRÓDOLGOZAT

Lukács Tamás

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Agrár- és Élelmiszergazdasági Intézet

**Nagyvállalati versenyképességet elemző szakirányú
továbbképzés**

**Az M3-as metróvonal energiahasználata a rekonstrukció
figyelembevételével**

Belső konzulens:

Név: Dr. Ladányi Márta

beosztás: egyetemi tanár

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:**

Matematika és Természettudományi Alapok Intézet

Alkalmazott Statisztika Tanszék

Tartalomjegyzék

Bevezetés	5
Célkitűzés	6
Szakirodalmi áttekintés	7
Energiahatékonysági törekvések a közlekedésben	7
Nemzetközi példák: Rekuperációs rendszerek és energia-visszanyerés	8
Ukrajnai helyzet és technológiai kihívások	9
Technológiai újítások az M3-as metróvonalon	9
Jövőbeli kutatási irányok	9
Kutatási hipotézisek	10
A rekonstrukció hatása	10
Az új rendszerek hatása	10
A rekuperációs technológia	10
A vizsgálat alanyai	10
Vizsgálati anyagok	11
Metrószerelvények:	11
Vonalszakaszok	11
Módszerek	13
Fókuszcsoportos vizsgálat	13
Rekuperációs vizsgálat	14
Teljes vonalas vizsgálat	15
Eredmények	15
Fókuszcsoportos interjú eredményei és megállapításai	15
Rekuperáció vizsgálatának eredményei és megállapításai	17
Teljes vonalas vizsgálat eredményei és megállapításai	18

Következtetések és javaslatok	20
A rendelkezésre álló adatok korlátai	20
A felújítás szakaszosságának hatása az elemzésre	20
Elemzési módszerek és azok korlátai	21
Javaslatok a jövőbeni adatgyűjtésre és elemzésre	21
A rekuperációs rendszer hatása és elemzési eredmények	21
A napi szintű adatok fontossága	21
Mesterséges intelligencia és gépi tanulás alkalmazása	22
A valós idejű monitoring rendszerek szükségessége.....	22
Összegzés és következtetések.....	22
Összefoglalás	23
Fókuszcsoportos interjú eredményei és megállapításai.....	23
Adatelemzés eredményei és megállapításai	24
Irodalomjegyzék	25

Bevezetés

A vonal építéséről szóló döntés 1968-ban született meg, amikor a Fővárosi Tanács úgy határozott, hogy az észak-déli tengelyen haladó metróvonal enyhíti majd Budapest közlekedési terhelését. A kivitelezés az 1970-es években kezdődött, és 1976-ban megnyílt az első szakasz a Deák Ferenc tér és a Nagyvárad tér között. 1980-ban déli irányban meghosszabbították Kőbánya-Kispestig, majd 1990-ben az északi végállomás Újpest-Központig tolódott ki, így a metróvonal elérte a teljes, 17,3 kilométeres hosszát. Bár a gyors fejlesztés akkor korszerűnek számított, a szovjet technológia és az infrastruktúra tervezése rövid távra szólt, és az évtizedek múlásával egyre több problémát okozott.

A metróvonal, amely az 1970-es években épült, az évtizedek során elavulttá vált, és egyre növekvő karbantartási igényekkel, valamint technológiai elmaradásokkal szembesült. A 2000-es évek elejére a vonal állapota kritikussá vált. A szerelvények előregedtek, rendszeres meghibásodások és több kisebb tüzeset is előfordult, amelyek komoly biztonsági kockázatot jelentettek. Az állomások burkolatai jelentősen megkoptak, és a vonal nem felelt meg a modern akadálymentesítési elvárásoknak, ami különösen a mozgáskorlátozottak számára okozott gondot.

Az alagutak szigetelése szintén súlyosan elhasználódott, így több helyen vízszivárgás nehezítette az üzemelést, különösen a mélyebben fekvő szakaszokon, mint például a Nagyvárad tér és a Klinikák környékén. Ezen felül a fékezési energiát nem hasznosították újra, mivel a vonal nem rendelkezett rekuperációs rendszerrel, ami jelentős energiafogyasztással és magas működési költségekkel járt. A rekonstrukció szükségessége 2014-ben került hivatalosan napirendre, amikor a Fővárosi Közgyűlés Tarlós István főpolgármester vezetésével döntött a teljes felújításról.

A cél a vonal korszerűsítése és a biztonságos, fenntartható működés biztosítása volt. A tervezési és közbeszerzési eljárások 2015 és 2016 között zajlottak, és 2017 februárjában végleges jóváhagyást kapott a projekt. A kivitelezéshez szükséges 217 milliárd forintos költségvetést több forrásból, köztük az Európai Unió Kohéziós Alapjából, a Magyar Kormány támogatásából és a fővárosi költségvetésből biztosították.

A rekonstrukció három szakaszban zajlott, hogy minimalizálják a közlekedési fennakadásokat. Az északi szakaszon, amely Újpest-Központ és Lehel tér között húzódik, 2017 és 2019 között végezték el a munkálatokat. A déli szakasz, Nagyvárad tér és Kőbánya-Kispest között, 2019 és 2020 között újult meg. Végül a középső, belvárosi szakasz felújítása, amely a legnagyobb kihívást jelentette, 2020-tól 2023 júniusáig tartott.

A munkálatok során a teljes infrastruktúrát korszerűsítették: megújultak az állomások, új szellőzőrendszereket és energiatakarékos világítást telepítettek, valamint felvonókat és ferdelifteket építettek ki a mozgáskorlátozottak számára. Az új metrószerelvények már alkalmasak a rekuperációs rendszer alkalmazására, amely a fékezési energiát visszatáplálja a hálózatba, ezzel csökkentve a működési költségeket és a környezeti terhelést.

A felújításban számos kivitelező vett részt, köztük a Swietelsky Vasúttechnika Kft., amely a pálya és az alagutak felújítását végezte, valamint a Strabag és a Hídépítő Zrt., amelyek az állomások modernizálását és akadálymentesítését valósították meg. A projektet a Budapesti Közlekedési Központ (BKK) és a BKV Zrt. felügyelte, biztosítva a határidők betartását és a munkálatok megfelelő ütemezését.

A 2023-ban befejezett rekonstrukció nemcsak a metróvonal biztonságát és megbízhatóságát állította helyre, hanem jelentős mértékben növelte annak energiahatékonyságát is. A korszerűsítéseknek köszönhetően a szolgáltatás színvonala emelkedett, az üzemeltetési költségek csökkentek, és a környezeti terhelés is mérséklődött.

Célkitűzés

Mivel fontosnak tartom a környezetvédelmet és a CO₂ kibocsátás elleni küzdelmet ezért a kutatásom célja, hogy részleteiben elemezzem tíz év energiafelhasználási adatait, különös tekintettel a rekonstrukció előtti és utáni időszakra. Kíváncsi vagyok, hogy technológiai újítások mennyiben járultak hozzá az energiatakarékossághoz és a vállalat céljaihoz. A technológiai fejlesztések mellett a fenntarthatósági célokkal való összhang is kiemelt fontosságú. Felmerül a kérdés, hogy ezek a beruházások mennyire fenntarthatóak hosszú távon, és hogyan illeszkednek Budapest városfejlesztési és közlekedéspolitikai stratégiájába. A beruházások költség-haszon arányát és megtérülését is érdemes vizsgálni, hiszen a társadalmi elvárások és környezeti szempontok egyre nagyobb szerepet kapnak a közlekedési

projektek értékelésében. Külön figyelmet szeretnék fordítani arra vonatkozóan, hogy az újonnan telepített felvonók és ferdeliftek mennyiben befojásolják az energia költségeket. Továbbá a metrószerelvények rekuperációs folyamatára is külön figyelmet szentelek.

A kutatás célja tehát

- (1) az M3-as metróvonal teljes havi energiafogyasztásának elemzése a 2013 és 2024 közötti időszakban. A vizsgálat során kiemelten foglalkozom az energiafogyasztás változásaival a rekonstrukció előtti, alatti és utáni időszakban, hogy feltárjam, milyen hatást gyakoroltak a felújítási munkák a fogyasztási mintákra.
- (2) Fontos eleme a kutatásnak annak meghatározása, hogy a felújítás során beépített új felvonók és ferdeliftek energiaigénye mekkora arányban járul hozzá a rekonstrukció utáni összes energiafelhasználáshoz.
- (3) Emellett külön figyelmet fordítok a metrószerelvények rekuperációs folyamatának vizsgálatára, hogy felmérjem, milyen mértékben segíti a visszatáplált energia a metró energia hatékonyságának növelését.

Szakirodalmi áttekintés

Energiahatékonysági törekvések a közlekedésben

Magyarország az Európai Unióval összhangban 2050-re tűzte ki a klímasemlegesség elérését (BKV Zrt., 2022). E cél elérése jelentős reformokat követel a közlekedési szektorban, amely 2018-ban az ország teljes üvegházhatású gáz (ÜHG) kibocsátásának 22%-áért felelt (Levegő Munkacsoport, 2006). Az energiahatékonyság növelése és az alternatív technológiák bevezetése ezért alapvető fontosságú.

Sebestyén Szép, T. (2013) rámutat, hogy az energiahatékonyság fokozása alapvető eszköz a fenntartható fejlődés biztosítására, különösen az olyan nagy energiaigényű ágazatokban, mint a közlekedés. Az energiahatékonysági intézkedések nemcsak környezeti előnyöket eredményezhetnek, hanem hozzájárulnak a gazdasági fenntarthatósághoz is. Perecsenyi (2022) kiemeli, hogy az energiahatékonysági fejlesztések jelentősen csökkenthetik a működési költségeket és mérsékelhetik az ÜHG-kibocsátást, ezért a közlekedési ágazat átalakítása mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontból prioritást élvez.

A magyarországi törekvések kiemelkedő példája az M3-as metró rekonstrukciója, amely évi 18 GWh energiát és 6569 tonna szén-dioxid kibocsátást takarít meg (BKV Zrt., 2022). Az ilyen közlekedési beruházások szabályozása és ösztönzése alapvetően hozzájárulhat a közlekedési szektor átalakításához, egy fenntarthatóbb, gazdaságilag és környezetileg is kedvezőbb rendszer kialakításához.

Nemzetközi példák: Rekuperációs rendszerek és energia-visszanyerés

A regeneratív fékezési technológia alkalmazása egyre elterjedtebb a városi közlekedésben, és számos város törekszik a visszanyert energia újrafelhasználására. Rahman (2018) tanulmányában a New York-i metróhálózat regeneratív fékezési energiájának elektromos buszok töltésére történő felhasználását vizsgálja. A kutatás szerint a fékezésből visszanyert energiát hatékonyan lehetne tárolni és átcsoportosítani az elektromos közlekedési rendszerek, különösen a buszok számára. A modellezési eredmények alapján a rendszer évente jelentős üzemanyag-megtakarítást és szén-dioxid-kibocsátás-csökkenést eredményezhetne. Rahman (2018) kiemeli, hogy ez a megoldás költséghatékony és környezetbarát alternatívát nyújt a városi közlekedés számára. A tanulmány eredményei szerint a visszanyert energia hasznosítása jelentősen mérsékelhetné a városi tömegközlekedés energiaigényét, hozzájárulva az üzemeltetési költségek és a környezeti terhelés csökkentéséhez.

Tokióban napelemeket telepítettek a metróállomások fölé, emellett a hidrogénalapú üzemanyagcellák bevezetését is vizsgálják, hogy csökkentsék a fosszilis energiahordozók iránti függőséget (Tokyo Metropolitan Government, 2022). Faridudin (2022) tanulmánya a DC harmadik sín rendszerek fejlesztésére összpontosít, amelyek az energiavisszanyerés révén jelentősen növelik a városi közlekedési hálózatok energiahatékonyágát. Az ilyen technológiák nemcsak az energiafelhasználást optimalizálják, hanem hosszú távon az üzemeltetési költségeket is csökkentik.

Kunmingban, Dél-Kína Yunnan tartományának fővárosában mesterséges intelligencia-alapú megoldásokat, például az XGBoost algoritmust alkalmaznak az energiafogyasztás optimalizálására (Fang et al., 2021). Az ilyen rendszerek képesek pontos előrejelzéseket nyújtani a napi csúcsidőszakokra, amelyek révén akár 10%-os energiafelhasználás-csökkenést is elértek, elősegítve ezzel a fenntarthatóbb üzemeltetést.

Ukrajnai helyzet és technológiai kihívások

A háború sújtotta Ukrajnában a metróhálózatok téli működtetése különös kihívásokkal jár. Az energiaellátás bizonytalansága miatt generátorokat és alternatív energiaforrásokat kellett telepíteni, hogy biztosítsák a metrók működését és azok menedékhelyként való használatát (International Energy Agency, 2024). A metrók energiaigénye ilyenkor jelentősen megnő, különösen a fűtés és világítás folyamatos biztosítása miatt, ami pénzügyi és logisztikai nehézségeket is okoz. Az Energetikai Szakkollégium (2024) jelentése hangsúlyozza, hogy a metrók energiaellátása nemcsak technikai, hanem szervezési és gazdasági kihívásokat is jelent, főként válsághelyzetekben. A kritikus infrastruktúra működésének fenntartása a legnagyobb energiaigényű időszakokban elengedhetetlen, hogy elkerüljék a közlekedési rendszer leállását.

Technológiai újítások az M3-as metróvonalon

Az M3-as metróvonal rekonstrukciója során jelentős modernizációs intézkedéseket hajtottak végre, mint például az új, energiahatékony LED-világítás telepítése, amely a biztonság növelését is szolgálja (Metró Felújítási Projekt Iroda, 2023). Az új ferde liftek szintén energiahatékonyabb működést biztosítanak, mivel ellensúlyos rendszerük csökkenti az energiafelhasználást (Liczkay, 2023).

Jövőbeli kutatási irányok

A jövőben részletesebb energiafogyasztási adatgyűjtésre lenne szükség, amely lehetővé tenné a gépi tanulási technikák, például az XGBoost vagy neurális hálózatok alkalmazását a karbantartási igények előrejelzésében és az energiafogyasztás optimalizálásában (Fang et al., 2021). Az ilyen technológiák nemcsak a költségek optimalizálásában, hanem a fenntarthatóság növelésében is szerepet játszanak.

Birol (2015) *Energy Efficiency: Towards the End of Demand Growth* című munkájában az energiahatékonysági trendek globális hatásait elemzi, különös tekintettel a keresletnövekedés lassulására. A szerző az IEA (International Energy Agency) adataira támaszkodva bemutatja, hogy az energiahatékonyság növelése miként segíti a fenntarthatósági célok elérését és a szén-dioxid-kibocsátás csökkentését. Külön hangsúlyozza, hogy az energiahatékonyság növelése a gazdasági növekedésre is pozitív hatással lehet, miközben mérsékli az

energiaigényt. Birol szerint az energiahatékonyságba történő befektetések alapvető fontosságúak a globális fenntarthatósági célok eléréséhez és az energiaigény stabilizálásához.

Kutatási hipotézisek

A rekonstrukció hatása: A rekonstrukció és az infrastruktúra korszerűsítése szignifikánsan csökkenti az M3-as metróvonal energiafelhasználását, különösen a modernizált berendezések és technológiák bevezetésének köszönhetően. A fejlesztések nemcsak az energiahatékonyság növelését szolgálják, hanem a fenntartható üzemeltetést is elősegítik.

Az új rendszerek hatása: Az újonnan beépített felvonók és ferdeliftek energiafogyasztása költséghatékony, és hozzájárul a metróvonal teljes energiafelhasználásának csökkentéséhez, noha korábban ilyen technológiák nem álltak rendelkezésre.

A rekuperációs technológia: A metrószerelvények rekuperációs technológiájának bevezetése és fejlesztése jelentős mértékben hozzájárul az energiafelhasználás csökkenéséhez, mert a rekuperáció hatására kevesebb energiát emésztnek fel a metrószerelvények.

A vizsgálat alanyai

A vizsgálat alanyai a BKV Zrt. munkatársai, akikkel fókuszcsoportos interjúkat készítettem az M3-as metró rekonstrukciójának tapasztalatairól. A fókuszcsoportos vizsgálatban négy fő vett részt, akik eltérő szakmai háttérrel rendelkeznek, így változatos nézőpontokkal gazdagították a beszélgetést az M3-as metró energiahatékonyságáról és a rekonstrukciós tapasztalatokról.

Moderátor

A beszélgetést egy moderátor vezette, aki 13 éve dolgozik a társaságnál, és jelenleg a metró forgalom előkészítő csoportnál tevékenykedik. A moderátor feladata volt a beszélgetés koordinálása, a releváns témák mentén való haladás biztosítása, valamint a résztvevők közötti interakciók elősegítése.

Első résztvevő

15 éve dolgozik a társaságnál, jelenleg a DBR metróprojekt igazgatóságán projektvezető mérnökként dolgozik. Feladata az M4-es metró megvalósítása és üzemeltetése. Szabadidejében aktív pihenést választ.

Második résztvevő

2018 februárja óta dolgozik a társaságnál, és BKV-s családból származik, ahol a családi beszélgetések is gyakran értekezletekbe torkollnak. Feladata az ISO szabványok és az integrált irányítási rendszerek kezelése, amelyet rendkívül élvez, mert úgy érzi, hogy rendet teremt a rendszerben.

Harmadik résztvevő

A villamos Üzemigazgatóságnál dolgozik immár három éve, ahol az Üzemigazgató által delegált feladatokat fogja össze. Saját magát „mindenesnek” nevezi, aki széles körű operatív feladatokat lát el a mindennapokban.

Negyedik résztvevő

Összesen tíz éve dolgozik a társaságnál, 2020 óta a Műszaki és Koordinációs osztályon tevékenykedik. Pályafutását a HÉV-nél kezdte járműműszaki és energetikai feladatokkal, majd a szolgáltató központban folytatta. Jelenlegi munkájában ügyviteli teendőket lát el, valamint tájékoztató anyagokat készít a vezetőség számára.

Vizsgálati anyagok

A vizsgálati anyagot az M3-as metróvonal különböző energiafogyasztási adatai képezik, amelyek segítségével elemeztem a rekonstrukció előtti és utáni energiafelhasználást, valamint a technológiai újítások hatásait.

Metrószerelvények:

Az energiafogyasztási adatok elemzése a rekonstrukció előtti és utáni időszakban történt, különös figyelemmel a rekuperációs technológia hatékonyságára. A cél annak vizsgálata, hogy a rekuperáció bevezetése mennyiben járult hozzá az energiafelhasználás csökkentéséhez.

Vonalszakaszok:

A különböző vonalszakaszok energiafelhasználási adatai havi bontásban kerülnek vizsgálatra. Az adatok a vonali mérőállomásokból származnak, és külön figyelmet kapnak a rekonstrukció során lezárt, majd újra megnyitott szakaszok – az északi, déli és középső szakaszok – energiafogyasztásának változásai.

A kutatáshoz szekunder adatok állnak a rendelkezésemre a BKV.Zrt központi energetikai osztálytól, valamint a metró forgalmi főmérnökségtől. Az elemzéshez rendelkezésemre állnak

az M3-as metróvonal havi bontású energiafelhasználási adatai, amelyek 2013 januárjától 2024 szeptemberéig terjednek. Az adatok 12 évnyi energiafogyasztási információt tartalmaznak kWh-ban mérve, lehetőséget adva az időbeli változások és trendek részletes vizsgálatára. Az alábbiakban bemutatom azokat az adatokat, amelyekkel a dolgozatomban az elemzést végzem.

Az első adatok, ahogy az 1. ábrán látható, az M3-as metró teljes vonali energiafelhasználási adatait mutatják be havi bontásban, az évek (2013-2024) szerint. Az értékek kilowattórában (kWh) vannak megadva, és különböző színekkel jelzik az egyes felújítási szakaszokat.

A sötétzöld a felújítás előtti állapotot mutatja, míg a szürke az északi szakasz lezárásának időszakát, a sárga a déli szakasz lezárását, és a világoszöld a középső szakasz lezárását jelöli. A kék szín a rekonstrukció utáni, teljes vonali átadást követő adatokat jeleníti meg. Tehát a szürke rész (északi szakasz) lezárása alatt a közlekedés Kőbánya-Kispest és Lehel tér metróállomás között volt. A sárga rész (déli szakasz) lezárásával párhuzamosan az északi szakasz átadásra került.

A közlekedés ebben az esetben Újpest-központ és Nagyvárad tér között volt. A világoszöld rész esetében (középső szakasz lezárása) a közlekedés Kőbánya-Kispest és Nagyvárad tér, valamint Lehel tér és Újpest-központ között volt. A teljes rekonstrukció alatt Nagyvárad tér és Lehel tér végállomásként üzemelt.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	7 151 319	7 068 296	7 104 795	7 626 903	7 994 445	4 495 549	4 582 987	5 701 294	4 822 589	4 197 901	4 492 070	5 247 407
2	6 502 603	6 470 869	6 524 581	7 300 349	7 195 288	4 074 464	4 019 351	5 067 986	3 717 701	3 736 495	4 197 265	4 784 083
3	6 994 638	7 069 983	7 245 358	7 623 331	7 826 838	4 757 626	4 717 516	5 080 988	3 908 770	4 145 849	5 118 246	4 850 469
4	6 839 469	6 951 877	6 973 892	7 441 573	7 234 637	4 293 540	5 670 636	4 495 108	4 123 953	3 876 954	5 304 294	4 730 805
5	7 147 422	7 160 928	7 098 706	7 694 359	7 770 721	4 412 309	5 433 293	4 616 698	4 279 766	4 082 027	5 963 698	
6	6 662 866	6 984 418	7 063 796	7 574 567	7 493 122	4 105 056	5 050 847	4 760 874	4 155 452	3 355 292	6 175 915	
7	6 802 452	6 886 084	7 167 467	7 380 486	7 654 596	4 189 974	5 015 095	4 875 455	3 954 075	2 574 285	5 095 541	
8	6 794 145	6 984 234	7 131 734	7 560 324	7 654 432	4 553 197	4 867 727	4 905 870	3 238 455	3 447 762	5 094 956	
9	6 977 445	7 039 229	7 630 806	7 539 991	7 482 378	4 022 558	5 119 035	4 902 342	4 169 205	3 902 259	5 008 040	
10	7 121 260	7 266 474	7 774 232	7 997 800	7 317 477	4 448 657	5 210 686	5 311 034	4 288 963	4 118 957	5 062 033	
11	6 936 294	7 042 066	7 550 667	7 571 754	4 723 847	4 535 717	4 742 831	4 817 795	4 257 785	3 870 815	4 883 177	
12	6 782 493	7 067 738	7 502 396	7 583 905	4 743 094	4 774 557	5 570 195	4 470 523	4 240 919	4 470 560	5 053 136	

1. ábra teljes vonali fogyasztás

A második adatsor, amely a 2. ábrán látható az M3-as metró vontatási energiafogyasztásának változásait mutatja a rekuperáció hatására, havi bontásban, 2023 novemberétől 2024 szeptemberéig. A táblázatban három fő mutató szerepel: a fajlagos energiafogyasztás, a teljes energiafogyasztás (kWh), valamint a megtett kocsikilométerek. A fajlagos fogyasztás segít

megérteni, hogy egy kilométer megtételéhez mekkora energiára van szükség, és így hatékonyan tükrözi a rekuperációs rendszer hatását. Az M3-as metró egy szerelvénye 6 kocsiból áll, és csúcsidőben általában 22-25 ilyen szerelvény közlekedik a vonalon, a forgalmi igényekhez igazodva. A nap különböző időszakaiban a forgalomban lévő vonatok száma változik: csúcsidőn kívül jellemzően 10-15 szerelvény is elegendő lehet a zavartalan üzemhez. Hétvégéken és ünnepnapokon szintén kevesebb vonat közlekedik. Ez az adat fontos az energiafogyasztás elemzése szempontjából is, hiszen a szerelvények száma és a kocsikilométerek nagymértékben befolyásolják a teljes energiafelhasználást.

Hónap	Fajlagos M3	Fogyasztás M3	Kocsikm M3
2023. nov.	1,898	3 168 802	1 669 921
2023. dec.	1,858	3 022 114	1 626 733
2024. jan.	1,833	3 139 540	1 713 083
2024. febr.	1,876	3 081 386	1 642 557
2024. márc.	1,825	3 051 121	1 671 507
2024. ápr.	1,699	2 822 231	1 661 204
2024. máj.	1,909	3 292 380	1 724 825
2024. jún.	3,081	5 049 656	1 639 095
2024. júl.	2,342	3 783 360	1 615 535
2024. aug.	1,919	3 109 772	1 620 512
2024. szept.	1,891	3 165 573	1 673 939

2. ábra vontatási energiafogyasztás

Módszerek

Fókuszcsoportos vizsgálat

A fókuszcsoportos kutatás célja az volt, hogy alapos és mélyreható képet kapjunk az M3-as metró energiahatékonyásával kapcsolatos tapasztalatokról, valamint a felújítás eredményeiről és kihívásairól. A módszer lehetővé tette a résztvevők közötti interakciókat és eltérő szakmai perspektívák ütköztetését, ezáltal hozzájárult a kutatásban megfogalmazott kérdések átfogóbb megválaszolásához.

Kérdéskörök

1. *Otthoni energiahatékonyság:* Milyen lépéseket tesznek az energiafogyasztás csökkentésére, és milyen eszközöket használnak?

2. *Megújuló energiaforrások alkalmazása:* Milyen megoldásokkal találkoztak, és milyen tapasztalataik vannak a megtérüléssel kapcsolatban?
3. *Az M3-as metró használata:* Hogyan és milyen gyakorisággal használják az M3-as metró, és milyen benyomásaik vannak a felújítást követően?
4. *Az M3-as metró energiahatékonysága:* Milyen változásokat tapasztaltak a rekonstrukció óta, és milyen hatást érzékelnek a mindennapi üzemeltetésben?
5. *Hiányosságok és fejlesztési lehetőségek:* Milyen további javításokat tartanának szükségesnek a metróval kapcsolatban?
6. *Érzelmi benyomások:* Milyen érzéseket váltott ki bennük a metró felújítása, és mennyire elégedettek az új kialakítással?

Lebonyolítás és adatgyűjtés

A beszélgetést egy alkalommal, csoportos formában, strukturált kérdések mentén vezettük le. A moderátor feladata volt, hogy biztosítsa a beszélgetés gördülékeny menetét, és minden releváns kérdés terítékre kerüljön. A barátságos légkör megteremtése segítette, hogy a résztvevők nyíltan megosszák véleményüket és tapasztalataikat. A résztvevők közötti interakció lehetőséget adott arra, hogy különböző nézőpontok kerüljenek felszínre, és a felmerült kérdések mélyebb elemzést kapjanak.

A beszélgetés teljes egészében hangfelvétel formájában került rögzítésre, majd ezt követően részletesen elemeztük és kódoltuk az adatokat. A kódolás során azonosítottuk a főbb témákat, trendeket és különbségeket a válaszok között. Ez a módszer biztosította, hogy a kutatás eredményei megbízható alapot nyújtsanak a felújítással kapcsolatos következtetések levonásához és a jövőbeli fejlesztések tervezéséhez.

Rekuperációs vizsgálat

A módszertan az M3-as metró vonatkozásában alkalmazott rekuperációs rendszer hatásának elemzésére épült a fajlagos energiafogyasztás tekintetében. A vizsgálati időszak során a rekuperációs technológia különböző állapotaiban (teljesen bekapcsolt, részlegesen bekapcsolt és kikapcsolt) gyűjtöttük az adatokat. Az elemzés célja annak megállapítása volt, hogy a rekuperációs rendszer működése milyen mértékben befolyásolja az energiahatékonyságot.

A módszertan részeként először a Shapiro-Wilk tesztet alkalmaztuk, amely a fajlagos fogyasztási adatok normál eloszlását vizsgálta, hogy megfelelnek-e a további statisztikai tesztek követelményeinek.

A normál eloszlás feltételének teljesülése után egymintás t-próbát végeztünk, melynek célja annak meghatározása volt, hogy a bekapcsolt állapot átlagos fajlagos energiafogyasztása szignifikánsan eltér-e a rekuperáció nélküli és a részlegesen bekapcsolt állapotok referenciaértékeitől.

Ezen statisztikai elemzési módszerek segítségével ellenőriztük, hogy a rekuperációs technológia aktív működése valóban jelentős hatással bír-e az energiahatékonyság javításában.

Teljes vonalas vizsgálat

Az M3-as metró rekonstrukció előtti és utáni energiafogyasztási adatok összehasonlításához egymintás Student-féle t-próbát végeztünk. A rekonstrukció utáni időszakban a fogyasztásra vonatkozó mintaelemszám 8 volt (2024 novemberétől 2025 áprilisáig, valamint 2024 augusztusában és szeptemberében a rekuperáció teljes hónapban, míg a rekonstrukció előtti időszakban az M3 fogyasztásáról minden hónapban 4 megfigyelés állt rendelkezésünkre. A kis mintaelemszám miatt a normalitásvizsgálat kevésbé megbízható, de ez a Shapiro-Wilk-próba alapján teljesült a rekonstrukció utáni fogyasztási adatokra, amikor a rekuperáció üzemelt ($W(8) = 0.84$, $p = 0.08$). Másfelől, a rekonstrukció előtti 11 hónap esetében (májusra nem volt adatunk) a Shapiro-Wilk normalitásvizsgálat január és február kivételével szintén teljesült ($W(4) > 0.81$, $p > 0.13$). Január és február esetében az eredmények ($W(4) = 0.75$ és 0.68 , $p < 0.05$ és $p < 0.01$) normálistól eltérő eloszlást mutattak, de a ferdeség és a csúcosság abszolútértéke mindkét esetben 2, illetve 4 alatt maradt, így elfogadhatónak tekintettük a t-próba alkalmazását.

Az elemzés során IBM SPSS v29 (Armonk, NY, 2023) szoftvert használtam.

Eredmények

Fókuszcsoportos interjú eredményei és megállapításai

A kutatásomat egy fókuszcsoportos interjúval egészítettem ki, hogy mélyebb és árnyaltabb képet kapjak az M3-as metró felújításának hatásairól és az energiahatékonysági intézkedések

gyakorlati eredményeiről. A résztvevők tapasztalatai és véleményei értékes kiegészítést nyújtanak a metrófelújítás utáni működés megértéséhez. A felújítás során ugyan számos újítás történt, mint a rekuperációs rendszer és a ferde liftek bevezetése, a résztvevők mégis úgy vélték, hogy ezek az új technológiák jelentős energiaigénnyel járnak, és akadnak kihívások a hatékonyság növelésében.

A résztvevők kiemelték, hogy a klímaberendezések fejlesztésére nagy szükség lenne, különösen a nyári időszakokban, mivel a jelenlegi rendszerek nem biztosítanak megfelelő komfortot. Megfogalmazták, hogy az energiahatékonyságot nemcsak a rekuperáció bevezetése, hanem az olyan kiegészítő rendszerek fejlesztése is javítaná, mint a klíma vagy a világítás optimalizálása. A mozgólépcsők működésének optimalizálása szintén kulcsfontosságú kérdésként merült fel. Az üzemidő szabályozásával nemcsak energia takarítható meg, hanem a rendszer élettartama is növelhető.

A résztvevők rámutattak, hogy a havi bontású energiafogyasztási adatok nem elegendőek a pontos elemzésekhez, mivel az üzemeltetés összetettségét és a forgalom ingadozásait nem tükrözik megfelelően. Az iskolai időszakokban például több szerelvény közlekedik, ami magasabb energiafogyasztást eredményez, míg a szünetek alatt a kocsikadás csökken, ami alacsonyabb fogyasztást von maga után. A résztvevők javasolták, hogy a fogyasztási adatokat ne csak havi, hanem napi és kocsinkénti bontásban is gyűjtsék, hogy pontosabb képet kaphassanak az energiafelhasználás alakulásáról.

A beszélgetések során többen hangsúlyozták a valós idejű monitoring rendszer bevezetésének fontosságát, amely lehetővé tenné a fogyasztási minták azonnali követését, és a rekuperációs rendszer hatékonyságának folyamatos optimalizálását. Egy ilyen rendszer lehetőséget biztosítana arra, hogy az esetleges rendellenességeket gyorsan észleljék, és az energiahatékonyság érdekében azonnali beavatkozások történhessenek.

A résztvevők szerint az energiahatékonysági intézkedések sikerességéhez elengedhetetlen lenne egy jól működő visszajelzési rendszer, amely ösztönözné a dolgozókat a tapasztalataik megosztására. A rendszeres visszajelzések nemcsak a problémák korai felismerésében segítenének, hanem lehetőséget biztosítanának arra is, hogy a fejlesztési javaslatokat a vezetőség figyelembe vegye a döntéshozatal során. A dolgozók szerint ez a kétirányú kommunikáció kulcsfontosságú lehet az energiahatékonysági projektek sikerességének

biztosításában. A résztvevők általánosan pozitívan értékelték a metrófelújítást, különösen a tisztaságot és a világosabb környezetet. Többen kiemelték, hogy a megállók világítása jelentősen javult, ami hozzájárult a komfortérzet növeléséhez. Ugyanakkor voltak, akik kritikával illették az új design-t, amelyet nem mindenki talált vonzónak vagy megfelelőnek a metró arculatához. A ferde liftek használatát a legtöbb résztvevő hasznosnak találta, bár egyesek lassúnak ítélték őket. Az utastájékoztató fejlesztését is pozitívként említették, ami hozzájárult a felhasználói élmény javításához. A beszélgetésekből kiderült, hogy a dolgozók úgy érzik, a rendszerek javításához szükséges idő még nem telt el, és további tapasztalatok gyűjtésére van szükség az energiahatékonyság teljeskörű kiértékeléséhez.

Összességében a résztvevők megállapították, hogy a felújított metróvonal előrelépést jelent az energiahatékonyság terén, de a további fejlesztések elengedhetetlenek a hosszú távú fenntarthatóság biztosításához. A beszélgetések alapján egyértelmű, hogy a dolgozók számára fontos, hogy bevonják őket a döntéshozatalba, és aktívan részt vehessenek az energiahatékonysági projektek kialakításában és finomhangolásában. A megfogalmazott javaslatok alapján egyértelműen szükséges a folyamatos adatgyűjtés, a monitoring rendszer fejlesztése és a visszajelzési folyamatok erősítése annak érdekében, hogy a metróvonal energiafogyasztása tovább csökkenthető legyen.

Rekuperáció vizsgálatának eredményei és megállapításai

A t-próba eredményei alapján megállapítottuk, hogy a rekuperáció bekapcsolt állapotában a fajlagos havi energiafogyasztás szignifikánsan alacsonyabb volt, mint amikor a rendszer ki volt kapcsolva ($t(7) = -50,55$; $p < 0,001$) vagy részlegesen volt bekapcsolva ($t(7) = -11,31$; $p < 0,001$). A bekapcsolt állapotban mért átlagos fajlagos fogyasztás 1,85 kWh/kocsikilométer volt, míg a kikapcsolt állapotban 3,08 kWh/kocsikilométert, a részlegesen bekapcsolt állapotban pedig 2,13 kWh/kocsikilométert mértünk.

Ezek az eredmények egyértelműen alátámasztják a hipotézist, miszerint a metrószerelvények rekuperációs technológiájának bevezetése és fejlesztése jelentős mértékben hozzájárul az energiafelhasználás csökkentéséhez. A statisztikai elemzés alapján a különbségek megbízhatóak, és világosan mutatják a rekuperációs rendszer előnyeit az energiahatékonyság optimalizálásában, így segítve a fenntartható üzemeltetést.

Teljes vonalas vizsgálat eredményei és megállapításai

Az 1. számú táblázat az M3-as metró rekonstrukció utáni havi energiafogyasztási adatainak statisztikai elemzését mutatja be. Minden hónapban a rekonstrukció utáni tesztértékek és a hozzájuk tartozó t-próbák eredményei találhatók. A tesztértékek a rekonstrukció utáni referenciaértékek, amelyekkel az egyes hónapok rekonstrukció előtti energiafogyasztása lett összehasonlítva. Az „Átlagok különbsége” oszlop a rekonstrukció előtti és utáni havi átlagos fogyasztás közötti eltéréseket mutatja, **kWh-ban**, kiemelve a megtakarítás mértékét.

Az Egyoldalú p és Kétoldalú p értékek a statisztikai szignifikanciát jelzik, mindegyik hónap esetében <0,01. 9 esetben pedig <0,001, ami erős bizonyítéka a jelentős csökkenésnek.

A januári hónapban a legmagasabb t-érték (15,217) és az átlagkülönbség (1990421,22) figyelhető meg. Az áprilisi hónap is kiemelkedik a 17,418-as t-értékével, amely szignifikáns megtakarítást mutat. A júniusi hónapban a t-érték alacsonyabb (4,743), de a p-érték még mindig szignifikáns. Az összes hónapban a rekonstrukció után mért energiafogyasztás jelentősen alacsonyabb, mint a korábbi évek havi átlagai. Az elemzés rávilágít a rekonstrukció sikerére, amely nyilvánvalóan csökkentette a metró energiafelhasználását.

Hónap	Tesztérték(kWh)	t	df	Egyoldali p	Kétoldali p	Átlagok különbsége(kWh)
Január	5247407,03	15,217	3	<0.001	0.001	1990421,22
Február	4784082,98	9,551	3	0.001	0.002	1915517,37
Március	4850469,23	16,995	3	<0.001	<0.001	2382858,06
Április	4730805,45	17,418	3	<0.001	<0.001	2320897,16
Június	6175915,2	4,743	3	0.009	0.018	895496,57
Július	5095540,8	14,814	3	<0.001	<0.001	1963581,64
Augusztus	5094956,48	12,413	3	<0.001	0.001	2022652,8
Szeptember	5008040,1	13,617	3	<0.001	<0.001	2288827,8
Október	5062032,68	11,966	3	<0.001	0.001	2477908,52
November	4883177,25	14,359	3	<0.001	<0.001	2392017,87
December	5053135,5	11,576	3	<0.001	0.001	2180997,79

1. táblázat Az M3-as metró rekonstrukció utáni havi energiafogyasztás statisztikai elemzése

A 2. számú táblázat a rekonstrukció előtt mért havi energiafogyasztási adatokat prezentálja az M3-as metróvonal vonatkozásában. Minden hónapban négy megfigyelés (N) történt, amely

lehetővé tette az átlagos fogyasztás és annak statisztikai mutatóinak, például a szórásnak és a standard hibának a kiszámítását.

Az átlagos energiafogyasztás januárban a legmagasabb, 7,237,828.24 kWh volt, míg februárban a legalacsonyabb, 6,699,600.34 kWh értéket mutatta. A szórás, amely a havi értékek ingadozását jelzi, a februári hónapban (401,105.31 kWh) volt a legnagyobb, jelezve a fogyasztás nagyobb variabilitását, míg a júliusi hónapban (265,100.84 kWh) a legalacsonyabb volt.

A standard hiba, amely az átlag megbízhatóságát tükrözi, szintén változó volt, és tükrözi a mintavételi eljárás szűk korlátait. A megtakarítási arányok a rekonstrukció előtt eltérőek voltak, a legmagasabb áprilisban (32.94%) mutatkozott, míg a legalacsonyabb júniusban (12.66%) jelentkezett.

Hónap	N	Átlag (kWh)	Szórás (kWh)	Standard hiba (kWh)	Megtakarítás %
Január	4	7237828	261598,86	130799,43	27,5
Február	4	6699600	401105,31	200552,66	28,59
Március	4	7233327	280417,19	140208,6	32,94
Április	4	7051703	266496,65	133248,32	32,91
Június	4	7071412	377580,5	188790,25	12,66
Július	4	7059122	265100,84	132550,42	27,82
Augusztus	4	7117609	325890,73	162945,36	28,42
Szeptember	4	7296868	336170,49	168085,24	31,37
Október	4	7539941	414167,7	207083,85	32,86
November	4	7275195	333184,22	166592,11	32,88
December	4	7234133	376816,13	188408,07	30,15

2. táblázat Havi energiafogyasztási adatok összehasonlítása az M3-as metró rekonstrukciója előtt és után

A két táblázat összegzése világosan rámutat arra, hogy a rekonstrukció jelentős hatással volt az energiafogyasztásra, és az adatok alapján a metróvonal energiahatékonysága javult az új rendszer bevezetése után. A rekonstrukciót követően az átlagos energiafogyasztás csökkent, ami a megtakarítások növekedését is tükrözi, különösen az első néhány hónapban.

Az eltérések statisztikai szempontból is szignifikánsak voltak, ami azt jelzi, hogy a felújítás nem csupán ideiglenes javulást hozott, hanem tartós változást eredményezett az energiafelhasználás hatékonyságában.

Következtetések és javaslatok

A rendelkezésre álló adatok korlátai

A jelenlegi elemzést korlátozta, hogy csak havi bontású és összesített adatok álltak rendelkezésre. Ezek nem tükrözik az üzemeltetés összetettségét és az energiafogyasztás időbeli változásait. Napi szintű, kocsinkénti adatokra lett volna szükség, hogy pontosabb képet kaphassunk az egyes rendszerek (pl. rekuperáció) hatékonyságáról. A hiányzó adatok miatt a regressziós és klaszterelemzések alkalmazása csak részleges eredményeket adott volna.

Az M3-as metró energiafogyasztásának teljes körű elemzése során a célom az volt, hogy idősor-elemzéssel tárjam fel a hosszú távú trendeket, szezonális hatásokat és kiugró értékeket. Azonban a jelenlegi, havi szintű és összesített adatok nem biztosítanak kellően részletes betekintést. Szükség lenne napi szintű, sőt kocsinkénti mérésekre is, hogy jobban megértsük az energiafelhasználás pontos mintázatait. Az adatok mérési helye és a mérések konzisztenciája sem mindig egyértelmű, ami tovább korlátozza az elemzések megbízhatóságát és a technológiai újítások hatásának pontos értékelését.

A felújítás szakaszosságának hatása az elemzésre

A felújítás három szakaszra bontása szintén megnehezítette az energiafogyasztási trendek azonosítását. Az egyes időszakokban történő lezárások miatt nehéz volt meghatározni, hogy a fogyasztás csökkenését a rekonstrukcióval járó technológiai újítások vagy a csökkentett forgalom okozta-e. Az üzemszünetek torzító hatása miatt csak napi és állomásomként adatgyűjtés tenné lehetővé az elemzések pontosítását. Az északi szakasz lezárását követően rögtön elkezdődött a déli szakasz munkálata, majd a középső szakasz felújítása folyt 2020-tól 2023-ig. Ezen átfedések miatt az energiafogyasztás időszakos változásainak összehasonlítása nem volt pontosan kivitelezhető. A kérdés továbbra is fennáll: vajon az új infrastruktúra és a rekuperációs rendszer bevezetése valóban csökkentette-e az energiafelhasználást, vagy csupán a lezárások és forgalomcsökkenés eredményezte a fogyasztás változásait?

Elemzési módszerek és azok korlátai

A különböző statisztikai módszerek alkalmazása – A regresszióanalízis és a klaszterelemzés lehetőségeit jelentősen korlátozták a hiányos adatok. Pontos eredményeket csak akkor lehetett volna elérni, ha rendelkezésre állnak napi és eszközszintű adatok, valamint részletes információk az utasszám alakulásáról és a külső tényezők (pl. utasforgalom) hatásairól. Ezek nélkül a jelenlegi eredmények csak közelítő jellegűek. A klaszterelemzéssel például az energiafelhasználás mintázatait lehetne csoportosítani, azonban eszköz- és állomásszintű adatok nélkül ezek az eredmények pontatlanok maradnak. Az ANOVA segítségével megvizsgálhatnánk, hogy a különböző időszakok energiafogyasztása között van-e szignifikáns eltérés, de a havi adatok miatt nem lehet megfelelően elkülöníteni az üzemidő és az üzemszünet hatását.

Javaslatok a jövőbeni adatgyűjtésre és elemzésre

A jövőben elengedhetetlen a napi szintű és eszközönkénti adatgyűjtés bevezetése. Ezzel részletesebb elemzést végezhetnénk a technológiai fejlesztések – például a mozgólépcsők, felvonók és rekuperációs rendszerek – energiafogyasztására. Az ilyen típusú adatok segítenének azonosítani a szezonális és napi ingadozásokat, valamint lehetőséget biztosítanának a fogyasztási mintázatok pontosabb értékelésére. A részletes adatok birtokában energiafelhasználási stratégiákat lehetne kialakítani, amelyek hosszú távon biztosítják a fenntartható működést.

A rekuperációs rendszer hatása és elemzési eredmények

A 2023 novembere és 2024 szeptembere közötti időszakban végzett elemzés rávilágított arra, hogy a rekuperáció kikapcsolása jelentősen növelte a fajlagos energiafogyasztást. Például 2024 júniusában a rendszer teljes kikapcsolása miatt a fajlagos fogyasztás 3,081 kWh/km-re emelkedett, ami jól mutatja a rendszer energiahatékonysági szerepét. Azonban a rekuperáció pontos hatásának megértéséhez további részletes adatgyűjtés szükséges.

A napi szintű adatok fontossága

Az utasforgalom is jelentős befolyással van a metró energiafelhasználására. A reggeli és délutáni csúcsidőszakokban több szerelvény közlekedik, míg hétvégéken és ünnepnapokon kevesebb. Ezt az ingadozást azonban a havi összesített adatok nem mutatják ki megfelelően.

Napi bontású adatokra lenne szükség, hogy pontosan elemezni lehessen, hogyan hat az energiafelhasználásra a különböző időszakokban közlekedő vonatok száma.

Mesterséges intelligencia és gépi tanulás alkalmazása

Az MI-alapú rendszerek, mint például az XGBoost algoritmus, lehetőséget adnának az energiafelhasználási minták pontosabb előrejelzésére és a karbantartási igények előrejelzésére. Az ilyen rendszerek nemcsak az üzemzavarok minimalizálását segítenék, hanem a kocsiadás optimalizálásában is fontos szerepet játszanának. A Kunming metróhálózat példája megmutatta, hogy a gépi tanulás jelentősen hozzájárulhat a fenntartható és költséghatékony üzemeltetéshez.

A valós idejű monitoring rendszerek szükségessége

A jövőben elengedhetetlen lesz a valós idejű monitoring rendszer bevezetése, amely folyamatosan nyomon követi az energiafogyasztást és a rekuperáció hatékonyságát. Napi szintű és kocsinkénti adatgyűjtés szükséges ahhoz, hogy az üzemeltetési döntések pontosabb elemzésekkel támogathatók legyenek, és az energiafelhasználás hosszú távon is optimalizálható legyen. Az ilyen rendszer lehetővé tenné a rekuperáció hatékonyságának folyamatos nyomon követését, valamint a problémák korai felismerését. Integrálni lehetne az utasforgalmi adatokat is, így pontosabb előrejelzések készülhetnének a működés optimalizálására.

Összegzés és következtetések

Az M3-as metró energiafogyasztásának elemzése során a legnagyobb kihívást a részletes adatok hiánya és a felújítás szakaszossága jelentette. Az eddigiek alapján látható, hogy a rekuperációs rendszer fontos szerepet játszik az energiahatékonyság növelésében, de a pontos elemzésekhez elengedhetetlen a részletes adatgyűjtés. A modern technológiák, mint az MI és a gépi tanulás, új lehetőségeket kínálnak a közlekedési rendszer optimalizálására, és elősegítik a fenntartható üzemeltetést. Egy átfogó, valós idejű monitoring rendszer bevezetése biztosítaná, hogy a technológiai újítások teljes mértékben kihasználhatók legyenek, így nemcsak az energiafogyasztás, hanem a működési költségek is csökkennének.

Ez az integrált megközelítés biztosítaná a fenntartható, költséghatékony és rugalmas üzemeltetést, amely hosszú távon növeli a budapesti metróhálózat versenyképességét és hatékonyságát.

Összefoglalás

Fókuszcsoportos interjú eredményei és megállapításai

A kutatásomat egy fókuszcsoportos interjúval egészítettem ki, hogy mélyebb és árnyaltabb képet kapjak az M3-as metró felújításának hatásairól és az energiahatékonysági intézkedések eredményeiről. Az interjú célja az volt, hogy feltárja a felújított metró működésével kapcsolatos gyakorlati tapasztalatokat és az energiafogyasztásra gyakorolt tényleges hatásokat. A beszélgetés során az M3-as metró használatának különböző aspektusait vizsgáltam, beleértve az utasok elégedettségét, a felújított rendszerek működését, valamint az energiahatékonyság alakulását. A résztvevők kiemelték az új technológiák hatékonyságát, de hiányosságokat is jeleztek, például a klímaberendezések fejlesztésének szükségességét a nyári hónapokban.

A fókuszcsoport tapasztalatai rávilágítottak, hogy a munkatársak bevonása és a hatékony visszacsatolási rendszer kialakítása kulcsfontosságú lehet az energiahatékonysági stratégiák sikeres megvalósításában. A résztvevők javasolták, hogy a BKV jobban reagáljon az üzemeltetés során felmerülő kihívásokra, és javítsa a kommunikációt a dolgozók és a vezetőség között. A felújítás utáni időszakban nem minden rendszer működött a tervek szerint, és az energiahatékonysági intézkedések gyakorlati előnyeit sem minden esetben érzékelték egyértelműen.

Az interjúk során kiderült, hogy a fogyasztási adatok nem tükrözik mindig a valóságot, különösen az üzemidőben tapasztalható ingadozások fényében. Az utasforgalom és a közlekedési intenzitás szoros összefüggést mutat az energiafogyasztással, ami azt jelenti, hogy a havi bontású adatok nem adják vissza a napi üzemmenet összetettségét. A résztvevők hangsúlyozták, hogy a karbantartási szünetek és üzemzavarok is torzíthatják a havi elemzéseket, ezért fontos lenne a fogyasztási adatok kocsinkénti és napi bontásban történő követése.

Összességében a fókuszcsoporthoz tartozó interjú tapasztalatai fontos kiegészítést nyújtanak a számszerű elemzésekhez, mivel rávilágítanak arra, hogy a felújított rendszerek hatékonyságát nemcsak a statisztikai adatok, hanem a mindennapi használat során szerzett tapasztalatok alapján is érdemes értékelni.

Adatelemzés eredményei és megállapításai

Az M3-as metró energiafelhasználásának elemzésében a következő eredmények és tanulságok fogalmazhatók meg. Az elemzés során figyelembe kellett venni a kedvező és kedvezőtlen tapasztalatokat is. A kedvező tapasztalatok közé tartozik a rekuperációs rendszer bevezetése, amely jelentős energia-megtakarítást eredményezett a felújított szerelvényeknél. Ugyanakkor a havi bontású fogyasztási adatok korlátozottak, mivel nem tükrözik a napi ingadozásokat és a különböző terhelési időszakok hatásait, ami a pontos következtetések levonását nehezíti.

A kutatásom során javaslatokat fogalmaztam meg az adatgyűjtésre vonatkozóan, azzal a céllal, hogy a rekuperációs rendszer hatékonyságának mértékét pontosabban meghatározhassam, és a napi és eszközönkénti adatok révén a valós energiafogyasztási mintázatok feltárhatóak legyenek. Így a hipotézisek helyessége eldönthető lesz, mivel normálisan elkülöníthető adatok állnak rendelkezésre az energiafelhasználás változásairól, valamint az újonnan beépített felvonók és ferdeliftek energiafogyasztásáról.

Ezen adatok alapján a felújítás hatásaira vonatkozó kérdések megválaszolhatóak, lehetővé téve a rekonstrukció és az új technológiák energiahatékonysági hatásainak alaposabb vizsgálatát. Emellett fontosnak tartom, hogy a jövőbeni elemzések során figyelembe vegyünk az utasforgalom és a közlekedési intenzitás hatásait is, amelyek szoros összefüggést mutatnak az energiafogyasztással.

A jelenlegi adatok és a hiányosságok alapján a jövőbeni fejlesztések célja, hogy a metró fenntartható üzemeltetése érdekében egy olyan monitoring rendszer jöjjön létre, amely valós idejű adatokat nyújt, és lehetővé teszi a rekuperációs technológiák és más energetikai fejlesztések hatásainak pontosabb értékelését.

Irodalomjegyzék

1. IBM Corp. Released 2023. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 29.0.2.0. Armonk, NY: IBM Corp.
2. BKV Zrt. (2022). A fenntarthatóság környezetvédelmi vonatkozásai a BKV Zrt. működésében – a Társaság 2022. évi fenntarthatósági jelentése. Letöltve: 2024. május 13., https://static.bkv.hu/ftp/ftp/kozadat/fenntarthatosag/f_2022.pdf
3. Mohamed, A. A. A., Ahmad, R., Singh, J., & Rahman, A. S. (2023). Optimal planning of hybrid renewable energy infrastructure for urban sustainability: Green Vancouver. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 6(5), 127-139. Letöltve: 2024. május 19., <https://www.mdpi.com/2624-6511/6/5/127/pdf>
4. Optimal planning of hybrid renewable energy infrastructure for urban sustainability: Green Vancouver. (2018). *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 95, 254-264. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.037> Letöltve: 2024. május 19.
5. Perecsenyi, M. (2022). Az energiahatékonyság növelése, mint az energetika kiemelt lehetősége. Pázmány Péter Katolikus Egyetem. Letöltve: 2024. május 19., https://ias.jak.ppke.hu/20224sz/05_PerecsenyiM_IAS_2022_4.pdf
6. Sebestyén Szép, T. (2013). Energiafelhasználás és energiahatékonyság. *Energiagazdálkodás*, 54(4), 5-15. Letöltve: 2024. május 20., <https://www.academia.edu/5438227>
7. Metró Felújítási Projekt Iroda. (2023). InnoRail M3 különszám. Letöltve: 2024. május 20., <https://m3felujitas.hu/sites/default/files/dokumentum/InnoRail-M3kulonszam.pdf>
8. Licskay, P. (2023). One-of-a-kind elevators in Hungary installed in metro line 3 upgrade. *Daily News Hungary*. Letöltve: 2024. október 16., <https://dailynewshungary.com/one-of-a-kind-elevators-in-hungary-installed-in-metro-line-3-upgrade/>
9. Levegő Munkacsoport. (2006). Az energiahatékonyság nemzetgazdasági lehetőségei a közlekedésben. Letöltve: 2024. október 20., https://www.levego.hu/konyvtar/olvaso/energiahat_kozl.pdf
10. KTI – Közlekedéstudományi Intézet. (2021). Verseny és szabályozás 2021. Letöltve: 2024. október 20., https://kti.krtk.hu/wp-content/uploads/2022/01/vesz2021_teljes-1.pdf
11. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. (2018). The impacts of transportation infrastructure on sustainable development: Emerging trends and challenges, 15(6), 1172. <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/6/1172>
12. Energetikai Szakkollégium. (2024). Metróhálózat energiaellátása – beszámoló. Letöltve: 2024. május 20., https://www.eszk.org/attachments/v195/besz/metrohalozat_energiaellatas_beszamolo.pdf
13. Rahman, A. S. (2018). A Quantification Analysis on Potential Use of Recuperated Regenerative Braking Energy from NYCT Subways into Charging Electric Buses. *Master's*

- thesis, City College of New York, New York, NY. Elérhető: https://academicworks.cuny.edu/cc_etds_theses/890/
14. International Energy Agency. (2024). Ukraine's Energy Security and the Coming Winter. Letöltve: 2024. október 16., <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter>
 15. Fang, W., Zhang, W., Wang, Z., & Liu, Y. (2021). Energy-saving design and implementation in metro weak current systems: A case study of the Kunming metro system. *Urban Rail Transit*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s40864-021-00158-3>
 16. Tokyo Metropolitan Government. (2022). Tokyo Environmental Master Plan. Letöltve: 2024. október 16., <https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/en/index.html>
 17. Li, S., Wu, S., Xiang, S., Zhang, Y., Guerrero, J. M., & Vasquez, J. C. (2020). Research on Synchronverter-Based Regenerative Braking Energy Feedback System of Urban Rail Transit. *Energies*, 13(17), 4418. <https://doi.org/10.3390/en13174418>
 18. Zhang, H., Zhang, J., Zhou, L., Xiong, P., & Zhao, Z. (2023). Hierarchical Operation Optimization for Regenerative Braking Energy Utilizing in Urban Rail Traction Power Supply System. *Energies*, 16(21), 7268. <https://doi.org/10.3390/en16217268>
 19. Siti Farhana Binti Faridudin. (2022). Development of Energy Recuperation System for the DC Third Rail System. *Master of Engineering (Electrical) Thesis*, Universiti Tunku Abdul Rahman. Letöltve: 2024. október 16., http://eprints.utar.edu.my/4994/1/Project_FYP_Siti_Farhana_Final_correction.pdf
 20. Birol, F. (2015). *Energy Efficiency: Towards the End of Demand Growth*. International Energy Agency, IEA. Elérhető: <https://books.google.hu/books?id=Mv-JeNm-zVIC>

NYILATKOZAT

a záródolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Lukács Tamás
A Hallgató Neptun kódja:	KHZA4E
A dolgozat címe:	Az M3-as metróvonal energiahasználata a rekonstrukció figyelembevételével
A megjelenés éve:	2025
A konzulens intézetének neve:	Matematika és Természettudományi Alapok Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Alkalmazott Statisztika Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítotam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: Budapest év november hó 5. nap



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

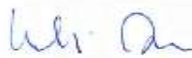
Lukács Tamás, Neptun azonosító: KHZA4E konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz:

igen nem

Kelt: Budapest év november hó 5. nap



belső konzulens