

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék

**Beléptető kapu elhelyezési stratégia fejlesztése és
bemutatása néhány kiválasztott metróállomáson
keresztül**

TDK dolgozat

Készítette: Lukács József, közlekedésmérnöki (MSc)

Konzulensek: Esztergár-Kiss Domokos (PhD)

2014

Absztrakt

A hallgató a dolgozatban a budapesti metróhálózaton vizsgálja az elektronikus jegyrendszer bevezetéséhez kapcsolódóan a metróállomások beléptetőkapukkal történő lezárhatóságát és annak feltételeit. Továbbá a dolgozatban esetpéldákat hoz néhány állomás leendő kialakítására. A TDK dolgozat a hallgató Diplomamunkájának előzménye.

A metróállomások lezárhatóságának vizsgálata jelenleg Budapesten futó közlekedési projekt. A fővárosi alkalmazott rendszer hátránya, hogy az állomásokon a jegyellenőrzést élőszemélyekkel végezzük, mely nem hatékony a bliccelőkkel szemben, és jelentős munkaerő ráfordítást igényel. Az új rendszer ezt próbálja kiváltani, valamint számos egyéb előnyeit is ki tudjuk használni, mint például utasforgalmi statisztikai adatok nyerésére.

A hallgató a dolgozatban a BKV Zrt. technológiai feltételeit figyelembe véve sorbanállási modellt alkalmazva határozza meg az egyes állomásokon szükséges beléptető kapuk számát. E modell jól alkalmazkodik az utasforgalom leírásához, valamint a metró üzem számára fontos információkat, adatokat határoz meg vele. Ilyen például a beléptető kapuknál a várakozási idő, a sor hossza. Utóbbi a mozgólépcső teteje és a beléptetőkapukból álló sor közti területen lévők (rendszerben lévők) nagyságára ad információt tekintetben, hogy e puffertérületen lévők biztonságosan tudnak-e az állomásokról kihaladni és nem alakul-e ki torlódás a mozgólépcsők felé. A metró fokozottan veszélyes üzem ezért a hallgató ezt figyelembe tartva többször ellenőrző iteratív számításokat végez a biztonságos és egyben hatékony rendszer kialakításának érdekében.

Ezek után bemutatásra kerül néhány kiválasztott állomáson egy javasolt elrendezési lehetőség. A tervezésnél fontos, hogy a lehető legszélesebb keresztmetszeten helyezzük el a kapukat és legnagyobb puffertérületet biztosítsuk a biztonságos gyalogosáramlás érdekében. Továbbá szempont volt az is, hogy az állomások szerkezetéhez ne kelljen hozzányúlni, csak a kisebb beavatkozásokat végezzük el, például üzletek elbontása. Ennek érdekében ellenőrző utasszámlálást, állomási bejárást végzett a hallgató, valamint egyeztetett az illetékes felekkel, BKK, BKV.

A téma kapcsán elmondható, hogy az új jegyrendszerhez kapcsolódóan a metróállomásokon alkalmazandó technológia a fővárosi közösségi közlekedés minőségét, megítélését javítja. Üzemi és forgalmi szempontból pedig jelentős fejlődés a BKV Zrt. számára.

Kulcsszavak: metró, beléptető kapu, sorbanállási modell, kapuszám tervezés, metróállomás

Tartalom

1	Bevezetés	6
2	Beléptető kapuk működésének általános bemutatása	11
2.1	Jelenleg piaci forgalomban lévő kapuk.....	12
2.2	Alkalmazott példák	14
2.2.1	New York City Subway	14
2.2.2	London	15
2.2.3	Párizs.....	16
2.2.4	Budapest, egy megszűnt hazai rendszer	17
2.3	Technológiai kritériumok meghatározása	18
3	Matematikai modell bemutatása	27
3.1	Lisszabon vasúti példája	27
3.2	Egyesült Államok, reptéri kapuk.....	28
3.3	Választott modell	29
4	A kidolgozott módszer alkalmazása a beléptető kapu rendszerre a budapesti metróhálózaton.....	36
4.1	Utasszámlálási adatok elemzése	37
4.2	Előzetes kapuszám becslés a sorbanállási modell alapján	41
4.2.1	Astoria.....	43
4.2.2	Ferenciek tere.....	45
4.3	Ellenőrző számítások a jelenlegi technológia alapján.....	47
4.4	Az elhelyezhetőség vizsgálata az egyes vonalakon az állomási adottságok figyelembe vételével	50
4.4.1	Elhelyezhetőség vizsgálata az M2 vonalon	51
4.4.2	Elhelyezhetőség vizsgálata az M3 vonalon	58
4.5	Pufferterület ellenőrzése.....	66
5	Összefoglalás	69
	Források	71

Ábrajegyzék	73
Táblázatjegyzék	74

1 Bevezetés

A budapesti közösségi közlekedés egyik problémája évek óta a meglévő tarifarendszer rugalmatlansága, melynek javítására számos megoldási javaslat született, ezek közül néhányat meg is valósítottak, például a Budapest Egyesített Bérletet. [1] Ugyanakkor nem oldódott meg a rendszernek az a hiányossága, hogy az utasoknak nem használat arányosan kell fizetniük az igénybevett szolgáltatásért, holott erre a jelenlegi technológia (okostelefonok, chipkártyák stb.) rendelkezésre állnak és Nyugat-Európában alkalmazzák is azokat. A közlekedés során pedig lényeges szerepet kap a díj beszedésének módja, melynek egyszerűsítése a modern technológiák adta lehetőségekkel megoldható.

A főváros lakossága a KSH 2014 legfrissebb adatai alapján több, mint 1,7 millió fő[2], nagyságrendileg a napi utazások száma eléri az 5 milliót[3], beleértve a vidékről érkezőket is. A fővárosi lakók több mint 40%-a napi, 60%-a pedig heti többszöri rendszerességgel veszi igénybe a közösségi közlekedést. Tehát elmondható, hogy magas a tömegközlekedést használók aránya, illetve nagyszámú utazás bonyolódik le napi szinten, emiatt indokoltá vált egy új, modern tarifarendszer kialakítása. Erre kínál megoldást az elektronikus jegyrendszer bevezetése.

A közlekedési társaságok egyik legfontosabb célkitűzése közé tartozik az utazással arányos díjfizetés megvalósítása, ezáltal az érvényes értékszelvény nélkül utazók számának csökkentése. A ma alkalmazott rendszernek esetében nem szükséges technológiai eszközöket alkalmazni, nem kell azok karbantartására gondolni, illetve egyéb járulékos hatásai sincsenek (tűzvédelem, baleseti kockázat, biztonság, méret stb.). Ugyanakkor nagy hátránya, hogy az utazási jogosultság ellenőrzése igen nehezen oldható meg, nagyszámú ellenőrző személyt igényel a kezelt értékszelvények hatékony kontrolljához. Gyakori az állomásról történő kihaladás során jegyellenőri ellenőrzés. Az alkalmazott rendszer még mindig nem szűri ki a jogtalan használókat, az alkalmazottak számára pedig meghatározott összegű fizetést kell biztosítani.

Az elektronikus díjrendszer bevezetésével rugalmasan alakítható tarifarendszer, személyre szabott díjak, illetve hatékonyabb üzemeltetés érhető el. A felhasználók szempontjából a teljesítményarányos díjfizetés és a személyre szabott díjtermékek jelentenek előrelépést, míg az üzemeltetők szempontjából a felhasználói igényeket

kielégítő tarifarendszer bevezetésére, illetve a felhasználói szokások alapján statisztikák készítésére nyílik lehetőség. [4]

Ennek a fizetési módnak a bevezetésére lehetőséget ad a metróvonalak az állomásainak beléptető kapukkal történő zárttá tétele. A hálózat többi alágazatához képest itt zártabb formája itt egyszerűen lehetővé tenné az e-ticket rendszer bevezetését, ugyanakkor a legnagyobb infrastrukturális változtatásra is itt lesz szükség. A jelenlegi élőmunkával történő ellenőrzés is kimutatható változásokat eredményezett a bevétel kiesés csökkentésében, viszont ennek hatékonysága korlátozott. Ezért célszerű áttérni egy technikai eszközökkel zárt rendszerre, azaz az automatikus jegy-és bérletellenőrzés megvalósítására.

Az elektronikus díjrendszert használók azonosításának két lehetséges típusa van a metróhálózaton az utasok jogosultság ellenőrzésének módja alapján. Az első a CICO (Check-in/Check-Out), amikor az utasnak kell a kihelyezett terminálokra be-, illetve kijelentkeznie. Fontos, hogy a kijelentkezés is megtörténjen, mert így válik teljessé az utazás, amiből számítható az utazási díj is. A második a CI (Check-in), ekkor az utasoknak kizárólag a felszálláskor kell bejelentkezniük. Ez számukra egyszerűsíti a folyamatot, azonban nehezebbé válik az üzemeltető számára az utazások monitorozása. A budapesti metróhálózaton a CICO használata célszerűbb. [4]

A beléptető kapuk elhelyezésével és CICO elvű működtetésével az alábbi legfontosabb eredmények érhetőek el megrendelői és szolgáltatói szinten:

- a tarifarendszer átalakítása az utasok igényeihez alkalmazkodva teljesítmény arányosan (idő, távolság vagy leutazott megállók száma alapján)
- a járművek illetéktelen használóinak (bliccelők) a rendszerből történő eliminálása.
- személyzet hatékony elosztása, a beléptetés ellenőrzés gépiesítésével, a legkorszerűbb IT technológia mellett, ugyanakkor az állomási forgalmi személyzetek számának növelésével, mivel a feladatuk is nő.
- utazási szokások, adatok nyérése a rendszert használói felől.

2010-ben megalakult a Budapesti Közlekedési Központ (továbbiakban BKK), mely a Budapesti Közlekedési Zártkörűen Működő Részvénytársaság (BKV) fölött megrendelői szerepkörrel bír. Így a tarifarendszer megalkotása is a BKK feladata,

valamint az ehhez tartozó értékesítési pontok kijelölése és az ellenőrzés elvégzése. A BKV Zrt.-nek operatív, technológiai hatásköre van a metróállomások zárttá tételében. Ez azt jelenti, hogy a kapuk számának meghatározásában, elhelyezésében fontos szerepet kap. Ez utóbbi a forgalom technológia kialakításában fontos, valamint az állomások szerkezetének statikai vizsgálata miatt indokolt. A beléptető kapuk kiépítésével kapcsolatos részletes megvalósíthatósági tanulmányokat, vizsgálatokat már a BKK elkezdte több tervező cég bevonásával.

Jelenleg e projekt a második körös műszaki ajánlat szakaszában tart, és 2014. október elején a megrendelő aláírta az elektronikus jegyrendszer szállítói és üzemeltetői szerződését a német Scheidt&Bachmann-nal. [5] A BKV Zrt. a projekt életciklusában szervesen részt vesz, az alábbiakat kell megvizsgálnia a metróhálózatra vonatkozóan:

- az állomások statikai terhelhetősége a kapuk elhelyezése szempontjából, megvizsgálni az állomási födémek szerkezetét (építőmérnöki feladatkör),
- milyen építmények (újságárus, pékség, egyéb üzlet) akadályozzák a kapuk elhelyezését, szükséges-e az elbontásuk,
- az előrebecsült 600 +/- 20% kapuigény elegendő-e,
- pontos számot kell megadni állomásonként és kijáratonként a belépteőkapuk számára,
- állomásonként szükséges részletesen kidolgozni az elhelyezhetőséget,
- hány vezérlő számítógépre lesz szüksége a BKV Zrt.-nek az üzemeltetéshez.

A TDK dolgozatban csak a BKV Zrt. Metró Forgalmi Főmérnökségét érintő feladatokkal foglalkozom: melyek a következők: megvizsgálni a szükséges kapuk számát az utasszámlálási adatok alapján, ezeket összevetni a korábbi tervváltozatokban szereplő adatokkal, és javaslatot adni a kihelyezésükre. Továbbá felmérni az állomások áteresztő képességét, a szűk keresztmetszeteket és ezt összevetni a tervezendő kapuk számával, hogy milyen módon fér el a kívánt mennyiségű beléptető kapu. A négy metró vonalat külön kell megvizsgálni. Az M1, M2, M3 vonalakra a jelenlegi infrastruktúra alapján lehet elvégezni a számításokat, ugyanis a fejlesztési tervek nem vagy részlegesen állnak rendelkezésre és nem elégségesek még ahhoz, hogy tekintettel legyünk rájuk a tervezésnél. A három vonal közül a MILLFAV (M1)-et is külön kell megvizsgálni speciális technológiája, illetve szűk állomási kapacitása miatt, ugyanakkor még nem született végleges döntés a lezárhatóság terén (kapukkal, vagy csak leolvasókészülékekkel). A 2014-ben átadott DBR (M4) vonalra a szükséges kapuk

számát a kivitelezés során előzetesen meghatározták, de végleges tervek nem születtek e tekintetben. Ugyanakkor itt még nem készült keresztmetszeti utasszámlálás sem, ami a részletes tervezést nem teszi lehetővé. Ezért a TDK dolgozatban a beléptető kapuk tervezése a kelet-nyugati M2-re és észak-déli M3 metróvonalra korlátozódik. Későbbi tervezés során ez megfelelő alap lehet a projekt életciklusában, valamint a megfelelő döntések és forgalomszámlálások után a hiányzó számítások a többi vonalon is elvégezhetőek lesznek.

1. táblázat **Vonalak adatai**
(Forrás: BKV adatai alapján szerkesztve)

Vonal neve	Vonal utasszállítási hossza (menethossz) [km] ¹	Szélső peronok száma	Középperonok száma	Összes
M1 (MILLFAV)	8,4	11	0	11
M2 (K-Ny)	20,17	10	1	11
M3 (É-D)	32,89	10	10	20
M4 (DBR)	13,4	0	10	10
Összesen	74,86	31	21	52

A metróhálózaton telepítendő beléptető kapuk elhelyezésében kialakításában számos érintett van. A budapesti metróhálózaton elhelyezésre kerülő projekt keretén belül érintett a Fővárosi Önkormányzat, ezáltal a BKK is, mint megrendelő, a BKV Zrt, mint operátor, valamint a lakosság, mint a rendszer használói. A metró fokozottan veszélyesnek minősített üzem, ezért számos hatósági szerv bevonása is szükséges, mint az NKH-ra és a Tűzoltóságra. A társszolgálatok szervesen nem érintettek a metró üzem működésében, de közvetett módon igen, engedélyezési telepítési eljárás során figyelemmel fogják kísérni a projektet. A következő táblázatban az érintettek listáját bemutatom, melyből kiderül, hogy a tervezés során számos szervezetnek kell megfelelni, ami a feladat komplexitására utal.

2. táblázat **Érintettek bemutatása**
(Forrás: Saját szerkesztés)

Érintett	Projektben való érintettsége
----------	------------------------------

¹ Forrás: BKV belső adatok

Fővárosi Önkormányzat	vagyonkezelő, a közösségi közlekedést finanszírozó
	a helyi közösségi közlekedést megrendelő
Budapesti Közlekedési Központ	Projektgazda
	Koordináló szerepet tölt be
	A budapesti tarifarendszerért felelős szerv
	A szolgáltató fölött álló közösségi közlekedést megrendelő szerv
Budapesti Közlekedési Zártkörűen Működő Részvénytársaság	Közlekedési szolgáltató
	Metróüzem tulajdonosa, fenntartója
Nemzeti Közlekedési Hatóság	Hatósági engedélyező szerv.
Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság (Tűzoltóság)	Védelmi szerv, mivel a metróüzem fokozottan veszélyes üzem. Havarია esetén érintett.
Budapesti Rendőr Főkapitányság	Hatósági szerv, havaria esetén értesített. Lezárások kiürítések esetén felelős.
Lakosság	A közlekedési rendszer használói. Az érintett fővárosi és ide érkező utasok a rendszert használják, fizetnek az igénybe vett szolgáltatásért.

2 Beléptető kapuk működésének általános bemutatása

Nemcsak a közlekedésben, hanem a hétköznapiak számos tevékenysége során alkalmazunk beléptető kapukat. Ezek lehetnek manuális működtetésűek, elektronikus fotocellás vagy jogosultság ellenőrzés alapján nyíló ajtók. A nemzetközi piacon kapható kapuk univerzálisan alkalmazhatók (múzeumban, sportcentrumban, bevásárlóközpontban, valamint közlekedésben egyaránt). A közlekedési szektorban azok a kapuk terjedtek el, melyek jogosultságot ellenőriznek (van-e az utasnak érvényes jegye vagy bérlete). A gyártók azonban nem külön közlekedési célokra tervezett kapukat gyártanak, hanem olyan eszközöket, amelyek ebben a szektorban is alkalmazhatóak, a hozzátartozó specifikációkat elvégzik rajtuk, valamint a szoftveres hátterét is ennek megfelelően alakítják ki.

A legtöbb kapu felszerelhető LED-es kijelzőkkel, számlálókkal és hangjelzőkkel. A közlekedésben olyan kapukat célszerű használni, melyeknek ajtószárnyai (flap) gyorsan kinyílnak, check-in és check-out funkciókkal bírnak. A budapesti alkalmazásban prioritást élvez a funkció: olyan kaput kell rendelni, melynek az ajtószárnyai (flap) kb. 150 cm magas, hogy ne tudják alulról vagy felülről (átugrással) a kontrollt kikerülni. A méretek is nagyon fontosak a BKV számára, ugyanis a nagy utasforgalom miatt sok kaput kell elhelyezni a torlódások csökkentése miatt. Ezen felül a mozgólépcső technológiához (menetrendjéhez) is igazodni kell. További cél, hogy minél kisebb építészeti átalakításokat kelljen elvégezni különös tekintettel a szűk terű állomásokon.

2.1 Jelenleg piaci forgalomban lévő kapuk

A következő táblázatban néhány kaput mutatok be.



Full Height Turnstile



Tripod turnstile



Optical Turnstiles
(tolóajtós)



Optical Turnstiles
(lengőszárnyas)



Swing Barrier Gates



Intelligent Parking System



Access Control Turnstiles



Flap Gate Barrier



Pedestrian Turnstile

1. ábra Néhány jelenleg is létező kaputípus

(Forrás: [6])

A *Full height turnstile*-t jellemzően állomásokon, múzeumok pénztárainál, zárt parkok bejáratainál például állatkertekben vagy akár gyárak beléptető rendszerénél is alkalmazzák. Kétirányú kapu, anyaga acél. Átlagosan 30 főt képes átbocsátani percenként. Feszültségigénye 220 [V] váltakozó áram.

A *Tripod turnstile* valamennyivel nagyobb gyártói kapacitást ír elő: 30-40 fő átbocsátóképességet percenként. Gyakran alkalmazott forgóvillás beléptető kapu, mely általában 3 ágú (120°-os szöget zárnak be az ágak). A kar hossza 510 [mm] átmérője 38 [mm]. A kaputest 1200x280x290 [mm]. Ez is kétirányú, iskolákban, kiemelt biztonságú helyeken (pl. börtön), gyárakban, edzőtermekben, hotelekben terjedt el legjobban. A kártya leolvasása során hang- és fényjelzést ad, és figyelmeztet, ha érvénytelen kártyával rendelkező belépő haladna át.

Az *Optical turnstiles* típus terjedt el legjobban a közlekedés terén. Jellemzően a különbségek az ajtók kialakításában, méretében vannak. Létezik belőle normál kaputesttel: 1600x300x1000 és 1200x160x1000 kivitelben. Itt a legfőbb különbség a kaputest szélességében rejlik, mely a rendelkezésre álló hely kihasználtságát optimalizálja. 40 fő áteresztőképességű, kétirányú kapu, melynek súlya kb. 90 [kg]. A kártya leolvasása során hang- és fényjelzést ad, és figyelmeztet, ha érvénytelen kártyával rendelkező belépő haladna át.

A *Swing barrier gates* egy egyszerűbb szerkezet, jellemzően áruházak bejáratánál találkozunk vele. Manuális és automata (távvezérelt) kivitelben is működik. Utóbbit a mozgólépcsők lezárásához használják az M4-es metró teljes vonalán. Egy irányú kapu, ezért nem rugalmas.

Az *Intelligent parking system* nevéből adódóan parkolóházak, vagy parkoló terek beléptető rendszerét képzik. Hosszú, 3-6 [m] karhosszal rendelkezik, melynek súlya 5 [kg]. Magas nyitási ideje van (4 [s]), ezért korlátolt kapacitású adott időegységre vetítve. A kapuk az autó áthaladásán túl is nyitott állapotban vannak néhány másodpercig.

Szintén széleskörű közlekedési alkalmazási lehetőségeket nyújt az *Access control* Turnstiles, de irodaházakban, sportközpontokban is alkalmazzák. Előnye a kis mérete: 1400x100,280. A kártya leolvasása során hang- és fényjelzést ad, és figyelmeztet, ha érvénytelen kártyával rendelkező belépő haladna át.

A *Flap gate barrier* típus is elterjedt a metróhálózatokon. Gyors ajtónyitása miatt a kiszolgálási idő lerövidül, gyártók által megadott kapacitása akár 50 fő is lehet percenként.

A *Pedestrian turnstile* kapacitása jellemzően a gyalogosok sebességétől is függ. Mivel többnyire manuális kapuk ezért a használók lassíthatják. Ezért viszonylag alacsony az átbocsátóképessége. Gyakran nem kötött ellenőrzéshez (kijáratoknál). Parkokban, állatkertekben, gyalogos forgalom kivezetésére használt egy irányú kapu. [6]

2.2 Alkalmazott példák

A világ számos városában metróhálózatokon már alkalmazzák a beléptető kapuk rendszerét. A telepített eszközökkel lehetővé vált az utazási díjak használatarányosan történő fizetése. Az alábbi fejezetben néhány megvalósult példát mutatok be.

2.2.1 New York City Subway

A new york-i metró hálózaton (NYCS) 1953-ban került bevezetésre a beléptető kapu rendszer. A fizetőeszköz az úgynevezett token, mely egy előre 15 centért megváltható érme volt. Ezek a kapuk igen nagy helyigényűek (szélesek) különösen a géptest, ugyanakkor az átjáró szélessége minimális volt. A tokeneket az állomási pénztárakban, bódékban lehetett megváltani egészen 2003-ig. Ma már csak mágnescsíkos jegyek vannak forgalomban 1994 óta. A hálózat számos vonalán új RFID alapú leolvasókészülékkel felszerelt beléptető kaput helyeztek el, melynek köszönhetően az utasok a bankkártyájukkal utazhatnak. Az új kapuk mérete jóval kisebb lett, forgóvillás elven működnek, mely az átugrás ellen nem véd. A normál kapuk viszont a legtöbb helyen alkalmazott szélességű átjáróval rendelkeznek (kb. 60 cm).



2. ábra New York egyik metróállomásán lévő beléptető kapuk
(Forrás: [7])

2.2.2 London

Lengőajtószárnyal működő kapukat alkalmaznak a beléptetés során Londonban, melynek előnye a tolóajtókkal szemben, hogy az ajtók a géptestbe vagy annak síkjába simulnak be, ezáltal a ház szélessége kisebb lehet néhány cm-rel, mely akár plusz kapuk elhelyezését is lehetővé teszi egy állomáson. Továbbá eltolt rendszerű elhelyezést is lehet ezekkel alkalmazni a rendelkezésre álló állomástér jobb kihasználtsága érdekében. Az ajtók egyszerre kétirányú közlekedést tesznek lehetővé.



3. ábra Londoni beléptető kapu kártyaolvasója
(Forrás: [8])



4. ábra Londoni beléptetőkapuk
(Forrás: [8])

2.2.3 Párizs

1,5 m magas ajtajú kapu került Párizsban telepítésre. Ennek hátránya, hogy az állomási tér átláthatósága romlik. Ez az ott lévő állomási diszpécser munkáját is nehezíti, hiszen a kameraképeken az ő feladata az állomási terület megfigyelése is.

Jól látható helyen fel van tüntetve a kapukon az áthaladás iránya. Szükség esetén a Forgalmi szolgálattevő ezt megfordítja.



5. ábra A párizsi beléptető kapuk
(Kép forrása: [9])

2.2.4 Budapest, egy megszűnt hazai rendszer

Bár nem külföldi példa, de mindenképp említést kell tenni arról, hogy korábban már volt a fővárosban hasonló rendszer. 1 Ft-tal működő beléptető kapukat használtak a fővárosi metróhálózaton. A megnövekedett utasszám miatt később ezeket elbontották.



6. ábra Régi budapesti beléptető kapuk
(Forrás: [10])

Budapesten a bliccelők áthaladásának megakadályozása érdekében 1,1 vagy 1,5 m magas, átlátszó, plexi anyagú ajtót célszerű beépíteni. Fontos, hogy a kapuk magasságának optimálisnak kell lenniük, mert az alacsony belmagasságú tereket tagolják- (szűkítik) és az utasokban bezártság érzet hatását válthatnak ki, amely a biztonságérzetet csökkentheti. Erre egy jó példa Amsterdamban látható, ahol szintén lengőszárnyas kapukat alkalmaznak, ez a budapesti metróállomásokon is praktikus lenne, hiszen kevesebb helyet foglal el.



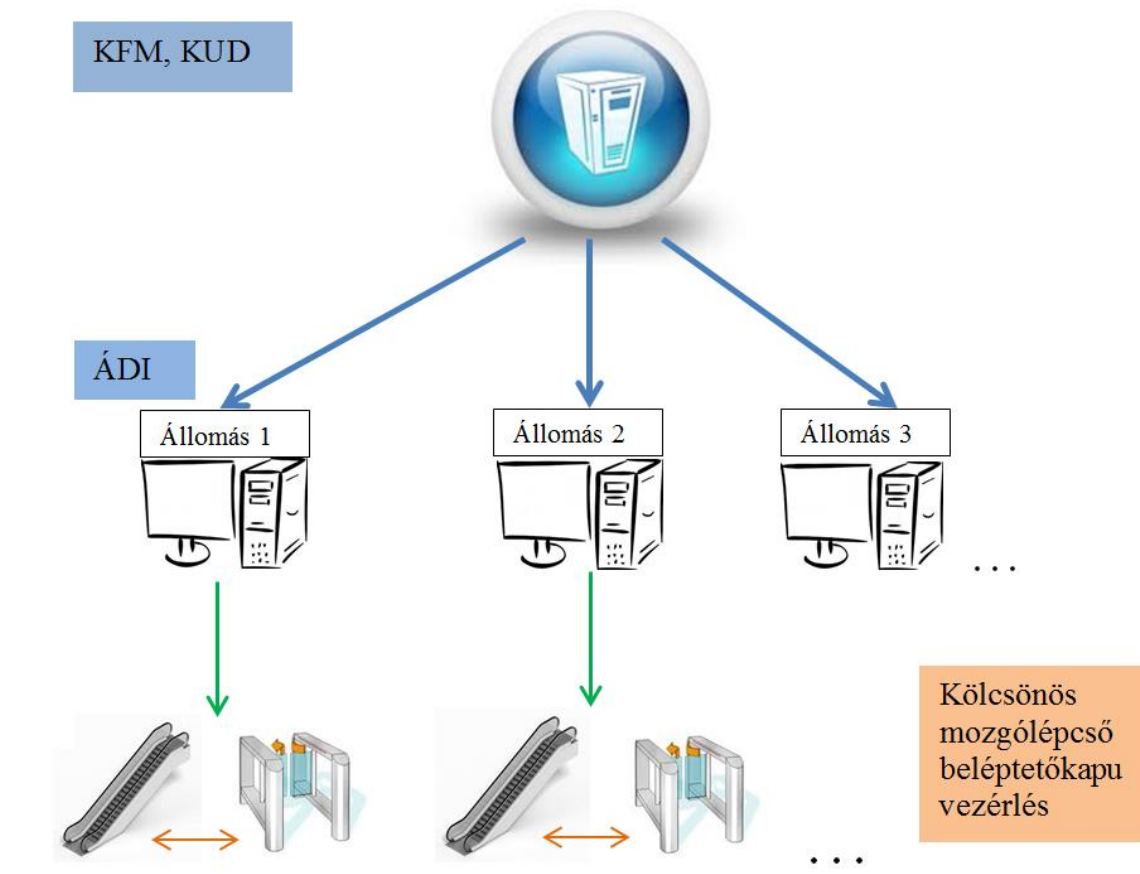
7. ábra Amszterdami kapuk 1
(Forrás: [11])



8. ábra Amszterdami kapuk 2
(Forrás: [12])

2.3 Technológiai kritériumok meghatározása

A beléptető kapuk elhelyezéséhez számos feltételt meg kell vizsgálni, ezek egy része a kapuk kiválasztásához kapcsolódik, ugyanakkor azok elhelyezhetőségének vizsgálatára is hangsúlyt kell fektetni.



9. ábra A mozgólépcső és beléptető kapu vezérlés működése
(Forrás: Saját szerkesztés)

A 9. ábrán látható topológia a beléptető kapuk és a mozgólépcsők vezérlését mutatja be. Alapesetben a kapuk működéséért minden állomáson egy-egy számítógép felel, mely a rendszer üzemállapotát vizsgálja, kameraképet mutat a peronról, valamint a kapuk irányát is itt lehet beállítani. A számítógép és a teljes beléptető rendszer felügyeletét az adott állomásokon az állomási diszpécser végzi (ÁDI), mivel az ő feladata az utasforgalom függvényében az állomási mozgólépcsők és a beléptető kapuk összehangolt irányítása. Ezért tervezést igényel, hogy a mozgólépcső irányváltásával a kapuvezérlés szinkronban legyen, valamint az peronon megjelenő utasok száma alapján a kapuk iránya automatikusan változtatható legyen. Összesen a teljes hálózaton tehát 52 állomási számítógépet kell telepíteni. Ezen felül viszont szükséges minden vonalon egy központi szerver is, ami még plusz négy számítógépet jelent. Így összesen a teljes hálózaton 56 egység kerülne kihelyezésre. A kameraképeket az ÁDI-n kívül a KUD (Központi utas-irányító diszpécser) is látja. Az állomási számítógépek meghibásodása

esetén a központi számítógép redundánsan átveszi a helyi feladatokat is, ehhez a KFM (Központi Forgalmi Menetirányító) felügyelete szükséges. Mivel a legtöbb állomáson viszonylag szűk helyen kerülnek elhelyezésre a számítógépek -és teljes üzemidőben, kb. napi 20 órát működnek, a helyiségek megfelelő levegővel ellátottságáról és a számítógépek hűtéséről gondoskodni kell. Különösképp fontos szempont ez az M1-es vonalon, ahol ezek a helyiségek igen alacsony alapterületűek.

A vázolt hálózati topológiához megfelelő infrastruktúrára van szükség, ahol az állomási adottságokat figyelembe kell venni, és a tervezéshez bizonyos ellenőrzéseket kell elvégezni. Ezt követően lehet a rendelkezésre álló hely függvényében a kapuk technológiai rendjét meghatározni.

- **Kábelezési csatorna kialakítása:** vizsgálata elengedhetetlen, hogy a szükséges energiaellátáshoz, telekommunikációs infrastruktúra berendezéseihez szükséges eszközöket, huzalozást elvégezhessek. Ez a telematikai rendszer megfelelő kiépítettségéhez szükséges.
- **Állomások mérete:** folyosókon a szükséges kapuk elférnek-e adott szélességben. Ez befolyásolja a kapuk elrendezését is (soros, fedésben lépcsőzetesen), továbbá kisméretű állomásokon esetlegesen alternatív ellenőrző rendszerek telepítésének lehetőségét. A gépházak elhelyezése mind a peronszinten, mind a felszínen jelentős utastorlódást okozhat (utóbbi első sorban nagyobb rendezvények esetén, ha nem tud annyi utas lejutni az állomásra, mint a peron kapacitása). Előfordulhat, hogy nem férne el annyi kapu, amennyi szükséges lenne, valamint az állomások teljes keresztmetszetében lévő kapusor például menekítés esetében tűz- és balesetvédelmi szempontból különös figyelem ráfordítást igényel.
- Meg kell vizsgálni az állomások, aluljárók átépítésének szükségességét is.

Az előzetes vizsgálatok tartalmazzák a kapuk elhelyezhetőségének fizikai felmérését. Minden állomásra meg kell állapítani, hogy hol vannak olyan akadályok, melyek elbontása szükséges lehet a kapusor beépítésének érdekében. Ilyen helyiségek például az újságárus vagy pékség. A be- és kijáratoknál elhelyezett elektronikus beléptető kapuk elhelyezésénél számos szempontot figyelembe kell venni:

- A keletkező utastömeg befolyásolja a felszín, aluljáró valamint metróállomások terhelhetőségét, azoknak adott kapacitásuk van.

- A metróállomásokról való kiszállítás prioritást élvez, hogy ott az (főleg csúcsórai) utasterhelés minél kisebb legyen, valamint a peronszint hamar kiürüljön. Ennek biztonsági okai vannak, azaz esetleges menetrendi eltérés során az utasok ne torlódjanak vissza az állomásokon. Ennek érdekében a hegymeneti mozgólépcsők száma nagy utasforgalom mellett kettő, ehhez megfelelően a kifelé irányú kapuk száma is több lesz.
- Ez a két befolyásolja a mozgólépcsők szállítóképességét. Egy **mozgólépcső** átlagos esetben **6500 fő/órának** megfelelő teljesítményre képes (katalógus adatok alapján, sebességfüggően akár 13500 fő elméleti kapacitással is bír óránként) [13]. A kritikus terhelést az állomások kiürítése, a beérkező szerelvényekről leszálló utasok által kifejtett lökészerűen mutatózó igény jelenti (tehát a csúcsidőszaki **utasforgalom mérése** során meghatározott legnagyobb utasforgalmat kell figyelembe venni) A mozgólépcsők szállítóképességének az adott állomás tényleges csúcsórai utasforgalmához kell igazodnia úgy, hogy egy esetleges meghibásodás, tervezett karbantartás esetén is biztonságosan és torlódás nélkül bonyolódjon le az utasforgalom. Torlódás akkor alakulhat ki, ha az előző szerelvény utasai nem hagyták el a mozgólépcsőkart és az érkező vonat utasainak kb. 15 másodpercet várniuk kell a lépcsőre lépés előtt. [13] [14]
- **Kapu súlya:** földem, állomási szerkezet elbírja-e. Statikai vizsgálatokat kell végezni, hogy megtudhassuk, hogy terhelhető-e az állomás a berendezéssel. Egy normál kapu kb. 275 kg, míg egy széles kb. 350 kg. Előbbi esetén átlagos méretet figyelembe véve (0,3 [m] x 2 [m]) 0,6 m²-en utóbbinál 0,9 m²-en (0,45 [m] x 2 [m]) oszlik el ez a súly. Nem csak a földem terhelése kérdéses, hanem a mozgólépcső gépházé, ugyanis előfordulhatnak olyan helyek a szűk keresztmetszetek miatt, hogy közel kerül a szerelvénytérhez a szerkezetsor.
- **Beléptető kapu mérete:** ajtók magassága, kaputest szélessége és hossza valamint a gyalogos nyílás szélessége.
A kaputest mérete szoros összefüggésben van az állomás méretével ugyanis ahhoz kell választani a kaput. Továbbá az is számít a tervezés során, hogy ne

legyen túlságosan elzárva vele a tér és átlátható maradjon, ne keltsen az utasokban bezártság-érzetet.

- Annyi kapu elhelyezése szükséges, ami a keletkező utasforgalmat torlódás nélkül átबocsátja, az áthaladókat nem kényszeríti késlekedésre.
- A kapuk számának a mozgólépcső szállítókapacitásával úgy kell összhangban kell lennie, hogy a peronszintről érkező utasszám ne legyen nagyobb, mint a beléptető kapuk kapacitása kifelé irányban.
- Az átlagos gyaloglási sebesség 1 m/s, ami a kapun történő áthaladással a kiszolgálási időt befolyásolja
- A normál kapu átjáró szélessége 55-60 cm + 16 cm kaputest (flap gate esetén), míg a széles kapu kb. 0,9-1 [m] széles
- A jegykezelő kapuk számát úgy kell előre meghatározni, hogy egy esetleges utasszám növekedés esetén is biztosítsa a megfelelő átबocsátóképességet.
- Hasonlóan a mozgólépcső tervezéshez a beléptető kapuknál is tekintettel kell lenni az üzemszerű karbantartásokra, de a felmerülő meghibásodásokra is. Ezért minden állomás minden lejáratahoz kell egy tartalékkaput tervezni kell.
- A kapuknak három féle üzemmódban kell működniük:
 - automata: az állomási és aluljárószinti forgalom alapján számítógép által vezérelve a kapuk irányítottsága dinamikusan a forgalom függvényében változik. A rendszer a mozgólépcső menetrendet is automatikusan befolyásolja. Az ÁDI csak felügyel.
 - fél-automata: az ÁDI-nak lehetősége van az utasforgalom szemrevételezése alapján meglévő programokból kiválasztani a kapuk irányítását és a hozzá tartozó optimális mozgólépcső menetrendet.
 - manuális: az ÁDI kézzel állítja be, hogy hány kapu legyen befelé illetve kifelé irányú. A mozgólépcsők felügyeletét is végzi előzetes menetrend alapján, szükség esetén kézzel beavatkozik.
- Minden kapu kétirányú mozgásra alkalmas, alap esetben zárt állású. Az irányok az utasforgalomhoz (mely a napi időszaktól függ) lesznek igazítva. Ahhoz, hogy

a CICO rendszer biztonságosan működjön, és legyen elegendő kapu mindkét irányban a tervezésnél a „hagyományos” check-in és check-out időnormákkal kell számolni.

A beléptető kapuk számának meghatározásához és technológiai működési rendjéhez ismerni kell a mozgólépcsők technológiáját. A mozgólépcső kapacitása jelentősen befolyásolja, hogy mennyi kifelé és befelé irányuló kaput kell tervezni.

A mozgólépcsők szállítóképességét az állomások csúcsórai utasforgalmához kell méretezni, úgy, hogy az egy mozgólépcső meghibásodása, vagy tervszerű megelőző karbantartása (TMK) esetén is torlódás nélkül lebonyolódjon. Nagyon gyakran az utasok lökésszerű hullámként jelennek meg a peronokon, ezáltal a mozgólépcsőkön. Ekkor torlódás keletkezhet, ami nem jelentős, ha várhatóan 90 [s] alatt leépül, azaz az állomási peron kiürül. A felszínen kevésbé okoz problémát a nagy utastömeg, hiszen ott az utasok visszatorlasztása a szabadban történik meg, ahol az később eloszlik. A torlódás jelentős, ha e 90 [s] időn túl épül le a tömeg, mely kialakulhat akár egy 10-15 [s]-os vonatkésés esetén is, ugyanis ilyenkor a csúcsidei követés során két vonat egyszerre érkezik meg a peron két oldalára. Alapvetően az a cél a menetrend tervezéskor, hogy ha tehetjük, két irányban közlekedő vonat lehetőleg ne egyszerre érkezzen be az állomásra, hanem eltolva egymáshoz képest, hogy a peronokon utastorlódás ne alakuljon ki, valamint a mozgólépcső menetrendnek megfelelően az utasáramlás folyamatos legyen. [13]

Egy mozgólépcső elméleti szállítóképessége (N) függ a mozgólépcső haladási sebességétől (v), a mozgólépcső-fokok közti osztás távolságtól (t), és az egy lépcsőfokon álló személyek számától (n, metrónál n=2 [fő/lépcső]). Ez alapján:

$$N = \frac{n \cdot v}{t} * 3600 \left[\frac{\text{fő}}{\text{óra}} \right] \quad (1)$$

ha n=2 [fő/lépcső]; v=0,75 [m/s] a legtöbb mozgólépcsőre igaz; t=0,4 [m]

akkor:

$$N = \frac{2 \cdot 0,75}{0,4} * 3600 = 13500 \left[\frac{\text{fő}}{\text{óra}} \right] \quad (2)$$

az elméleti szállítóképesség egy mozgólépcső esetén.[13]

Ugyanakkor a gyakorlati szállítókapa­citás ennél kevesebb, hiszen egymás mögötti lépcsőfokon közvetlen két ember nem áll, de egymás mellett sem mindig – itt érde­mes megjegyezni, hogy a mozgólépcsőkön a budapesti metróhálózaton a jobbra tarts elv érvényesül, azaz a bal oldalon a lépcsőn gyalogolók közlekednek – így kb. a gyakorlati szállítóképesség 50%-ra csökken. Ez azt jelenti, hogy kb. 6500 főt tud egy mozgólépcső elszállítani egy irányba egy óra alatt.

A minimálisan szükséges kapuszám általánosan az alábbiak szerint alakul lépcsős és mozgólépcsős állomásoknál (utóbbinál szem előtt tartva az ide vonatkozó technológiai paramétereket): [14]

- Minden be- és kijáráshoz szükséges a két iránynak megfelelően legalább egy-egy kapu.
- Szükséges továbbá egy darab széles (akadálymentes), valamint egy darab tartalékkapu.
- Opcionálisan tervezhető egy állomási személyzet által használt kiszolgáló kapu a forgalmi dolgozók gyors és akadálymentes közlekedése érdekében.

Ez 4 kaput jelent egy állomáson, ha nincs mozgólépcső (jellemzően a kéreg alatti állomásokon). Akadálymentes kapu telepítése csak a (legalább) két kijáráttal rendelkező állomások egyik kijáratnál hagyható el, hiszen a peron másik végén biztosított az akadálymentes lejutás (például: Forgách utca, Újpest-városkapu, Lehel tér, Puskás Ferenc Stadion). Szélsőperonos állomásoknál a minimálisan igényelt kapuk száma a kétszeresére változik a két peron miatt.

A kéreg alatti állomások esetén a beléptető kapuk számát a lépcsők kapacitása határozza meg. A Metró Tervezési Irányelv alapján a lépcsőkön egy óra alatt áthaladó utasszám kétirányú forgalmat feltételezve 2000 fő/óra. [15] 20 [fő/perc] kapu kapacitással méretezve, egy órára egy kapu 1200 [fő/óra] átbocsátóképességgel rendelkezik. Tehát 2000 fő/óra esetén 2 kapura van szükség a két irányra. Emellett szükséges továbbra is a tartalék és széles kapu is.

Ez alapján a kapuszámot meghatározó technológiai képlet:

$$K_l = k_{ki} + k_{be} + k_t + k_a \quad (3)$$

ahol:

K_l : lépcső technológia alapján igényelt minimális kapuszám

k_{ki} : kijáratok kapuk száma

k_{be} : bejáratok kapuk száma

k_t : tartalékkapu

k_a : akadálymentes (széles) kapu

Ez alapesetben az alábbiak szerint alakul:

$K_l = 1 (ki) + 1 (be) + 1 (tartalék) + 1 (akadálymentes) = 4$ db kétirányú kapu szükséges.

Ugyanakkor a metró üzemi technológia megköveteli, hogy növeljük a biztonságot annak érdekében, hogy az állomásokon utastömeg ne maradjon, és minél hamarabb kiürüljenek a peronok. Mivel nincs mozgólépcső, a csarnok kijáratoknál a lépcsőre lépés előtt nem torpannak meg az utasok, így a kihaladás folyamatos. Viszont a peron felé torlódás veszélyes állhat fenn ez esetben is, ami különös odafigyelést igényel, ha a két peron kijáratja közös, hiszen a vonatok egyszerre érkezésével számolni kell. Ez azt okozza, hogy a kijáratok kapuk számát irányonként eggyel növelni kell.

$$K_l^* = (k_{ki} + 1) + k_{be} + k_t + k_a \quad (4)$$

ahol K_l^* a korrigált lépcső technológia alapján igényelt minimális kapuszám. Ez alapján alapesetben:

$K_l^* = 2 (ki) + 1 (be) + 1 (tartalék) + 1 (akadálymentes) = 5$ db kétirányú kapu szükséges.

Minderre alapozva meghatározásra került a mozgólépcsők kapacitásával összehangolva a szükséges beléptető kapuk száma, mely az alábbi összefüggéssel számolható ki: [14]

$$K_m = 3 * m_h + 2 * m_l + k_t + k_a \quad (5)$$

ahol:

K_m : mozgólépcső technológia alapján igényelt minimális kapuszám

m_h : hegymeneti mozgólépcsők száma

m_l : lejtmeneti mozgólépcsők száma

k_t : tartalékkapu

k_a : akadálymentes (széles) kapu

Mivel a mozgólépcsők kapacitása lehetővé teszi, hogy egy lépcsőfokon két ember álljon, tehát ketten hagyják el azt egy időben, így az ő kiszolgálásukra kell egy-egy kapu. Továbbá a mögöttük lévő tömeg kiszámíthatatlan mozgása miatt szükséges, hogy harmadik kapu is segítse a mozgólépcsőt elhagyókat, a visszatorlasztó hatás minimalizálásának érdekében. Lefelé irányban ez nem érvényesül, ezért ott elegendő a két beléptető kapu.

Ez a gyakorlatban 3 mozgólépcsőkaros állomáson azt jelenti, hogy:

$$K_m = 3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 1(\text{tartalék}) + 1(\text{akadálymentes}) = 10 \text{ db kétirányú kapu szükséges.}$$

Négy mozgólépcsős állomási példát tekintve (3 hegymenetben, 1 lejtmenetben):

$$K_m = 3 \cdot 3 + 2 \cdot 1 + 1(\text{tartalék}) + 1(\text{akadálymentes}) = 13 \text{ db kétirányú kapu szükséges.}$$

3 Matematikai modell bemutatása²

A beléptető kapuk számának meghatározásához megfelelő modellt kellett találni. Fontos, olyan módszert választani, amivel a későbbiekben ellenőrző számításokat lehet végezni a telepítendő rendszer torlasztó hatása miatt. Ezért megvizsgáltam néhány külföldi példát, hogy milyen módszert alkalmaznak

3.1 Lisszabon vasúti példája

Lisszabon vasútállomásán – hasonlóan, ahogy dolgozatomban is szeretném – vizsgálatra került, ha a peronokon beléptető kaput telepítenek az utazási jogosultság automatikus ellenőrzése céljából milyen hatással lesz az a gyalogos áramlatra. [16] Esetük annyiban könnyebb, hogy e peronok a felszínen vannak, nincsen mozgólépcső technológia, amihez alkalmazkodni kell. Az általuk vizsgált kérdések a kapuk számán kívül a szolgáltatás színvonalára, a torlódás mértékre, átlagos gyaloglási időre stb. vonatkozott. Három állomáson vizsgálták az elhelyezést, melyhez egy gyalogos áramlási mikroszimulációs modellt, a NOMAD-ot választották. Ezzel különböző elrendezést és szituációt tudtak vizsgálni, valamint rálátást kaptak arra is, mi van, ha egy állomást evakuálni kell. E modell dinamikus módon reprezentálja a gyalogosok viselkedését. Annak érdekében, hogy a megfelelő magatartást szimulálják, definiálni kellett a szűk keresztmetszetet, vizsgálatra került a csoportosulás, torlódás kialakulása és egyéb természetes jelenségek, melyeket e program figyelembe tud venni.

A NOMAD az alábbi képleteket használja a számításnál:

- Ha útba esik az optimális kapu a kihaladáshoz:

$$i^*(t) = \arg \min D_i(t) ,$$

ahol feltételezett, hogy a gyalogosok rögtön t idő alatt döntenek a kihaladás irányáról, a kapu kiszolgálási ideje $i^*(t)$ és a várható kár (anyagi értelemben) a

² Forrás: http://www.sze.hu/~harmati/Sztochasztikus%20folyamatok/sztocha_08.pdf (Letöltve: 2014. július 22.)

kihaladás lassulása miatt a $D_i(t)$. Ez a kár felírható a $T_i(t)$ gyaloglási idő az i -dik kapu felé, az itt történő $W_i(t)$ várakozási idővel :

$D_i(t) = a T_i(t) + b W_i(t)$, ahol a és b pozitív egész konstans paraméterek, súlyok.

A várható várakozási idő az alábbi képlettel számítható:

$$W_i(t) = \frac{M+N}{K} \quad (6)$$

ahol M a kapu felé haladók, N a várakozók, K pedig a kapu kapacitása.

- A NOMAD input paraméterei a szimulációhoz az alábbiak:
 - a szimuláció hossza (hányszor végezze el a vizsgálatot),
 - hálózat topológiája (ajtók, oszlopok, akadályok stb.),
 - gyaloglási viselkedések (sebesség, siet-e valaki),
 - gyalogos célforgalmi mátrix (OD),
 - evakuálási idő,

Cais do Sodré állomásuk vizsgálata azért fontos e modellben, mert külön van metró szint és aluljáró szint is. A legtöbb utas 8:45 és 9:00 közt érkezik ide. A fő áramlat a 8:47-kor érkező vonat esetén van, ami kb. 700 utas áthaladását jelenti. 8:52-kor indul egy vonat az állomásról, ami kb. 120 utas a rendszerben. A NOMAD-dal történő szimuláció kimutatta, hogy az utasok szabályos alakzatban, nem szétszórva haladnak a kapuk felé, és a hosszú elosztócsarnokban pedig folyamatosan kihaladnak. A kapuk a vasúti peronoktól távol, arra merőlegesen a kijárat folyosónál kerültek elhelyezésre, ezért a torlódás nem közvetlen leszálláskor keletkezik. A különböző sebességgel haladó gyalogosok pedig így tudnak folyamatosan check-out után távozni. A metró szinten hasonlóan a leszállás pontjától távol tudták a kapukat elhelyezni, így a puffterületen eloszlott a tömeg.

3.2 Egyesült Államok, reptéri kapuk

Az Egyesült Államokban a reptéri iparban vizsgálták a beléptető rendszerek használatát, különös tekintettel három szempontra: kapu ellenőrzésre, automatikus ellenőrzésre, és kapu használatra a csúcsidőszakban. [17] Azt vizsgálták, hogy e három féle kapuhasználat milyen módon hat a szállítási hozamra.

A vizsgálathoz logit modellt használtak, mely során egy függő változóval írták le az állandó kapukat. A modellben 1-essel jelölték a kapu használatot, 0-val ha nem volt áthaladás rajta. Az analízis során több telephelyet vizsgáltak egy hosszabb perióduson keresztül, és vizsgálták a szállítók viselkedését, útválasztásának függvényét. A modell során a belépést és a termelési hozamot függvény formájában írták fel.

Belépés függvénye (f) az alábbi:

belépés = f (beléptető sorompó, az út karakterisztikája, belépés karakterisztikája)

A választott út karakterisztikája függ a beléptető rendszerek típusától, hiszen olyan helyre mennek, ahol gyorsan át tudnak haladni. A kezdeti becslések során kiderül, hogy a belépés karakterisztikája nem hoz szignifikáns eltéréseket az állandó beléptető rendszerek meghatározásában, ezért az egyenletet ezzel egyszerűsítették.

A továbbiakban a hozamot vizsgálták:

- elmaradt hozam az előző évekhez képest
- relatív hozam, mely az átlag hozam és várható hozam hányadosa
- a beléptető rendszer hatása a hozamra az alábbi (g) függvény modellel írható fel:

hozam = g (utas kereslet, beléptető rendszerek, útvonal jellemzők)

- a hozam itt az átlagos táv és az utazási távolság hányadosaként lett figyelembe véve.

A modell további részében ezt a g függvényt vizsgálták tovább az szállításokra vonatkozóan.

Jól látszik, hogy ez inkább logisztikai jelentőségű modell, bár közlekedési területen alkalmazható. Gyalogos szimulációra kevésbé alkalmas, valamint kapuszám meghatározására.

3.3 Választott modell

A két külföldi példa jól reprezentálja a beléptető rendszerek alkalmazhatóságát. A lisszaboni példa a dolgozat témájához közel áll. Jól alkalmazható modell. Hátránya, hogy hipotetikus, a kapuk számának meghatározására nem tér ki, első sorban szimulációs vizsgálatokra alkalmas.

A második modell, pedig gazdasági vonatkozású, nem a technológiai kérdéseket vizsgál. Ezért egy harmadik modellt kerestem, mellyel a budapesti metróállomásokon a szükséges kapuk száma vizsgálható

.

A beléptető kapuk számának meghatározásához sorbanállási modellt választottam. A sorbanállási (tömegkiszolgálási) modellek alkotják a közlekedési igénykeletkezés és kiszolgálás egyik legfontosabb területét. Ezekben a modellekben a rendszer állapotát a rendszerben tartózkodó igények száma adja. A sorbanállási modell pedig alkalmas a későbbi ellenőrző számításokra, a kialakuló sorhossz nagyságára, várakozók számára valamint a sorban eltöltött idejűkre vonatkozóan. Ezért ezt a teljeskörű számítási módszert használom a dolgozatban a kapuk elhelyezésével és annak hatásával kapcsolatban. Az egyes modellek leírásához sokféle jellemzőre van szükség:

- hogyan érkeznek az igények,
- milyen folyamat szerint történik a kiszolgálás,
- hány kiszolgálóegység van a rendszerben,
- mekkora a rendszer befogadóképessége,
- milyen protokoll szerint történik a kiszolgálás.

Általában feltételezzük, hogy az egyes igények beérkezései között eltelt idő független és azonos eloszlású, valamint az igények kiszolgálási ideje egymástól és az érkezési folyamattól is függetlenek.

A tömegkiszolgálási rendszereket kódsorozattal az úgynevezett Kendall-féle jelöléssel jellemezzük:

A/B/m/k/n/P

Ez a kódsor a következőt jelenti:

3. táblázat **Sorbanállási modell matematikája**
(Forrás: [18])

A	B	m	k	n	P
az egymást követő beérkezett igények között eltelt idő	Kiszolgálási idő	kiszolgálási egységek (szervek, ablakok, kapuk)	rendszer befogadóképessége (véges vagy végtelen)	igényforrások száma (véges vagy végtelen)	kiszolgálási protokoll

		száma)			
D: determinisztikus (konstans)	D: determinisztikus (konstans)	1: egy kiszolgáló egység			FIFO/LIFO általában FIFO
M: exponenciális (Poisson folyamat, beérkezés markovi)	M: exponenciális (Poisson folyamat, beérkezés markovi)	m: véges számú kiszolgáló egység			véletlenszerű
G: általános, tetszőleges	G: általános, tetszőleges	∞ : végtelen kiszolgáló			igény szerinti prioritás

A kiszolgálási folyamatot általánosan az alábbiakkal jellemezhetjük:

- kiszolgáló helyek száma (egy, véges sok, vagy végtelen). A kiszolgálás történhet sorosan (szalagszerűen), amikor az egyes munkafolyamatok végzése egymás után történik valamint párhuzamosan, amikor egyszerre több helyen történik kiszolgálás.
- A kiszolgálási idő nem függ a rendszerben lévők számától, az csak a kiszolgáló személyzet, vagy eszköz képességétől függ, ezért a folyamatot a kiszolgálási idő valószínűség függvénye jellemzi.

Jelölje t_i egy i -edik, t_{i+1} pedig a következő ügyfél megérkezésének időpontját, röviden $\{t_i\}_{i=0}^{\infty}$. Legyen $\Delta t = t_i - t_{i+1}$ közt eltelt idő. Az igénykeletkezési ráta (az érkezés gyakoriságát értelmezi adott időintervallumban) jele λ , mely értéke független a rendszerben lévők számától. Tehát a rendszer stacionárius. Átlagosan a beérkezés átlagos várható értéke $1/\lambda$ (idő dimenzióban), szórásnégyzete pedig $1/\lambda^2$. A kiszolgálási folyamat (az ügyfelek megérkezéséhez adódóan ez is időérték) is felírható sorozat formájában, általánosan: $s = (s_1, s_2, s_3, \dots)$, ahol s_k a k -adik ügyfél kiszolgálási idejét jellemzi. A beérkező folyamatot általában az egymás után beérkező igények közötti időintervallumok, mint valószínűségi változók eloszlásának segítségével jellemezhetjük: [18] [19]

$$\alpha(t) = P(\text{két egymás utáni beérkezési időköz} < t). \quad (7)$$

A másik sztochasztikus mennyiség, a beérkező igények által a csatornával szemben támasztott követelmények (munka) nagysága; ezt kiszolgálási időnek nevezzük és

valószínűségi eloszlását $\beta(x)$ -szel (x jelöli az egymást követő ügyfelek kiszolgálási idejét) jelöljük, azaz

$$\beta(x) = P(\text{kiszolgálási időköz} < x). \quad (8)$$

Jelölje $\chi(\alpha)$ az α esemény karakterisztikus függvényét, azaz:

$$\chi(\alpha) = \begin{cases} 1, & \text{ha } \alpha \text{ teljesül} \\ 0, & \text{ha } \alpha \text{ nem teljesül} \end{cases} \quad (9)$$

Továbbá jelölje $N(t)$ a t időpillanatban a rendszerben tartózkodó igények számát, és azt mondjuk, hogy a rendszer k állapotban van, ha $N(t) = k$. Mivel a fellépő valószínűségi változók exponenciális eloszlásúak, vagyis emlékezet nélküliek, az $N(t)$ folytonos idejű Markov-lánc lesz. Ha $N(t)=0$, a kiszolgáló tétlen egy adott t időpillanatban. Ekkor a rendszer időegységre eső kihasználtsága:

$$\frac{1}{T} \int_0^T \chi(N(t) \neq 0) dt, \quad (10)$$

ahol T egy elegendően hosszú időintervallum. Ha a $T \rightarrow \infty$ esetén a fenti mennyiségnek létezik határértéke, akkor a rendszer kihasználtságán egy U_s -el jelölt mennyiséget értünk [20]:

$$U_s = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \chi(N(t) \neq 0) dt = 1 - P_0 \quad (11)$$

ahol P_0 annak stacionárius valószínűsége, hogy a rendszer tétlen vagyis nincs utas a rendszerben [15] [20].

Az alkalmazott modellben M/M/m típusú sorbanállási rendszert használunk. Azaz a már ismertett jelölések szerint az igények Poisson folyamat szerint keletkeznek (M), a kiszolgálási idő is exponenciális (M), valamint a kiszolgálási egységek száma (melyet keresünk) $m=x$ véges érték. Az igénykezelési ráta (érkezési intenzitás) λ [fő/perc], a kiszolgálási ráta (intenzitás) μ szintén [fő/perc]. Ezek tehát az exponenciális (Poisson, markovi folyamat) sorbanállási modell alapparaméterei. M/M/1 rendszer esetében tehát a beérkezési folyamat λ paraméterű Poisson-folyamat (vagyis a beérkezési időközök λ paraméterű exponenciális eloszlású valószínűségi változók), a kiszolgálási idők pedig μ paraméterű exponenciális eloszlású valószínűségi változók, mely változók függetlenek egymástól [20].

Amennyiben:

$$\lambda_k = \lambda, k = 0, 1, 2, \dots \quad \text{valamint} \quad \mu_k = \mu, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

azaz az összes igénykeletkezési ráta λ , a kiszolgálási pedig μ értékkel azonosítható, feltételezve, hogy létre jöhet végtelen hosszúságú sor és az igények kiszolgálása FIFO elv alapján történik.

Ezt felhasználva jelölje P_k annak a valószínűségét, hogy a rendszer működése k -dik állapotban van (egy adott időponthoz, vagy vizsgált intervallumhoz tartozóan). Az igény keletkezése és kiszolgálása egyensúlyt kell, hogy alkosson, ami az alábbi formában írható fel:

$$\frac{\lambda_0 \dots \lambda_{i-1}}{\mu_0 \dots \mu_{i-1}} * P_0 \quad i = 1, 2, \dots \quad (12)$$

A képletet az alkalmazott λ és μ jelölésekkel zárt formában felírva a P_k állapot valószínűsége:

$$P_k = P_0 \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_i} = P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \quad k \geq 0. \quad (13)$$

A λ értéke független a rendszerben lévők számától, tehát a rendszer stacionárius. Ahhoz, hogy stacionárius megoldást kapjunk a P_k értéke nem lehet negatív, ehhez két feltételnek kell teljesülnie. Legyen S_1 az első feltétel, melynek értéke az előző egyenlet rendezéséből adódik minden k -ra összegezve:

$$S_1 = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_k}{P_0} = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k < \infty \quad (14)$$

A második feltétel az alábbi:

$$S_2 = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{\lambda \left(\frac{P_k}{P_0} \right)} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\mu}{\lambda} \right)^k = \infty \quad (15)$$

E feltétel akkor teljesül, ha $\lambda / \mu \leq 1$ azaz M/M/1 sor esetén $\lambda < \mu$. Mivel $\lambda < \mu$ fen áll, ezért:

$$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}. \quad (16)$$

A λ/μ összefüggés a rendszer kihasználtsági tényezője (intenzitása), értéke maximum 1 lehet a konvergenciából adódóan. Ahhoz hogy a stabilitás teljesüljön, az alábbi összefüggésnek fenn kell állnia:

$$0 \leq \frac{\lambda}{\mu} < 1, \quad (17)$$

A hányadost helyettesítve a kihasználtsági tényező jelölhető ρ -val, tehát:

$$0 \leq \rho < 1. \quad (18)$$

Ha $\rho > 1$ akkor a kiszolgálás intenzitása kisebb, mint az igények érkezése, a sor folyamatosan leépül. Alapesetben az ρ érték a fenti képletben $m=1$ kiszolgálási egységre vonatkozik (M/M/1 modell). Ebből következik, hogy ha a $\rho > 1$ áll fenn, addig kell az m értékét növelni, míg

$$\rho = \frac{\lambda}{m \cdot \mu} < 1, \text{ ahol } m > 1 \quad (19)$$

nem áll fenn (így jutunk el az M/M/m modellhez). Fontos, hogy az első olyan m értéktől, ahol az előbbi egyenlőtlenség teljesül minden további m -re is igaz lesz, tehát minden további kiszolgálási elem (beléptető kapu) elhelyezésével a sorhosszt csökkentjük, de az igényekhez képest túlkapacitást jelent, mely gazdaságosság szempontjából kihasználatlansághoz vezet [20].

A ρ kihasználtsági tényező tehát azt biztosítja, hogy $P_0 > 0$ teljesüljön. Ha P_0 értéke éppen 0 lenne, akkor a rendszer kihasználtsága 100%, ami azért nem célszerű, mert nincsen benne tartalék kapacitás, ha az igények száma emelkedne, vagy lökészerűen jelentkezne.

Ezek tehát a sorbanállási modell alap összefüggései. Meg kell jegyezni, hogy a modell számítása a FIFO (First In First Out) protokollra alapul, azaz az első kapuhoz érkező személy fog áthaladni rajta először. Ezzel a módszerrel az előzetes számítások, a szükséges kapuk számának első meghatározása elvégezhető, azonban a későbbiek során el kell végezni néhány ellenőrző számítást is. Ezek fogják alátámasztani az előzetes számításokat, vagy korrigálni azokat, ugyanis meg kell vizsgálni, hogy az állomásonkénti kapott értékek megfelelőek-e a kialakult sorhossz alapján. Ezért a továbbiakban néhány sorbanállási összefüggést mutatok be, a levezetés nélkül [17]. A következő összefüggések a korábbiakban már meghatározott kapuszámra vonatkozóan

megadják, hogy mekkora a telepítendő beléptető kapuk torlasztó hatása, azaz az átlagos sorhossz és az ehhez tartozó utasszám a rendszerben és az sorban eltöltött várakozási idő.

Rendszerben tartózkodók átlagos száma:

$$N_{\dot{a}} = \frac{\rho}{1-\rho} \quad (20)$$

Átlagos sorhossz:

$$N_s = \sum_{k=1}^{\infty} (k-1)P_k = \sum_{k=1}^{\infty} kP_k - \sum_{k=1}^{\infty} P_k = N_{\dot{a}} - (1 - P_0) = N_{\dot{a}} - \rho = \frac{\rho^2}{1-\rho}. \quad (21)$$

Mivel a rendszerben több kiszolgáló egység van (kapu), tehát m értéke nem egy, ezért ezt figyelembe véve az átlagos sorhossz és utasszám számítása az alábbiak szerint módosul:

$$N_s = \frac{P(0) \cdot \rho^{m+1}}{m \cdot m!} * \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{\rho}{m}\right)^2} \right]. \quad (22)$$

$$N_{\dot{a}} = \rho + N_s. \quad (23)$$

Ezek alapján az átlagos várakozási idő tehát:

$$t_v = \frac{N_{\dot{a}}}{\lambda}. \quad (24)$$

A metróállomásokon alkalmazott sorbanállási modell lényege, hogy az igénykeletkezés (keletkező utasszám), a beléptető kapuk áteresztőképessége (kiszolgálási intenzitás: hány fő/perc) meghatároz egy szükséges beléptető kapuszámot. A beléptető kapuk több, párhuzamos elven működő kiszolgálóhelyként állnak az utasok rendelkezésére, ahol a kiszolgálási idő a kapuk áteresztőképességétől függ. [20] [21]

4 A kidolgozott módszer alkalmazása a beléptető kapu rendszerre a budapesti metróhálózaton

A beléptető kapuk elhelyezésekor vizsgálni kell, hogy hány kiszolgáló egység szükséges. Ezt az adott metróállomáson keletkező utasszám befolyásolja. Az elhelyezést mindenféleképp szigorú követelmények alapján kell meghatározni, hiszen az utastömeg útjába kerülnek a kihelyezésre kerülő berendezések. Ez a menekülést is befolyásolja, azon túl, hogy a csúcsórai magas forgalmat, egy lökésszerű hullámot is ki kell szolgálnia. E szigorú feltételek miatt elengedhetetlen a megfelelő matematikai számítási háttér, melyhez teljeskörű utasforgalmi adatokra van szükség. Ezek tudatában az alábbi számításokat és feladatokat végeztem el:

- Korábbi utasszámlálási szekunder adatok áttekintése.
- Az előzetes utasszámadatok felülvizsgálata, ellenőrző mérések elvégzése a szükséges állomásokon.
- Előzetes kapuszám becslés számítása vonalanként, állomásonként, irányonként az utazást befejezőkre és kezdőkre külön-külön felhasználva a sorbanállási modellt (K_e).
- A mozgólépcső technológiai rend alapján a mozgólépcső kapuszám (K_m) meghatározása
- A K_m alapján a beléptető kapuk számának korrigálása, a K_p tervezett (planned) kapuszám meghatározása. (Az állomásonkénti kapuszám első korrekciója.)
- A metróállomások bejáratainak ellenőrzése helyszíni bejárással, fényképes dokumentációval, kiemelt tekintettel a puffterület nagyságára és az elbontásra kerülő létesítményekre.
- Állomások helyszínrajzainak aktualitásának ellenőrzése, javítása, kiegészítése, átrajzolása, szükséges méretezéseket elvégzése AutoCad környezetben.
- A beléptető kapuk elhelyezhetőségének vizsgálata: az állomási méretek és az előzetes számítások összevetése, figyelembe véve a technológiai előírásokat is. (Az állomásonkénti kapuszám második korrekciója.)
- Várható állomási rend megtervezése, a K_v várható végleges kapuszám, meghatározása.

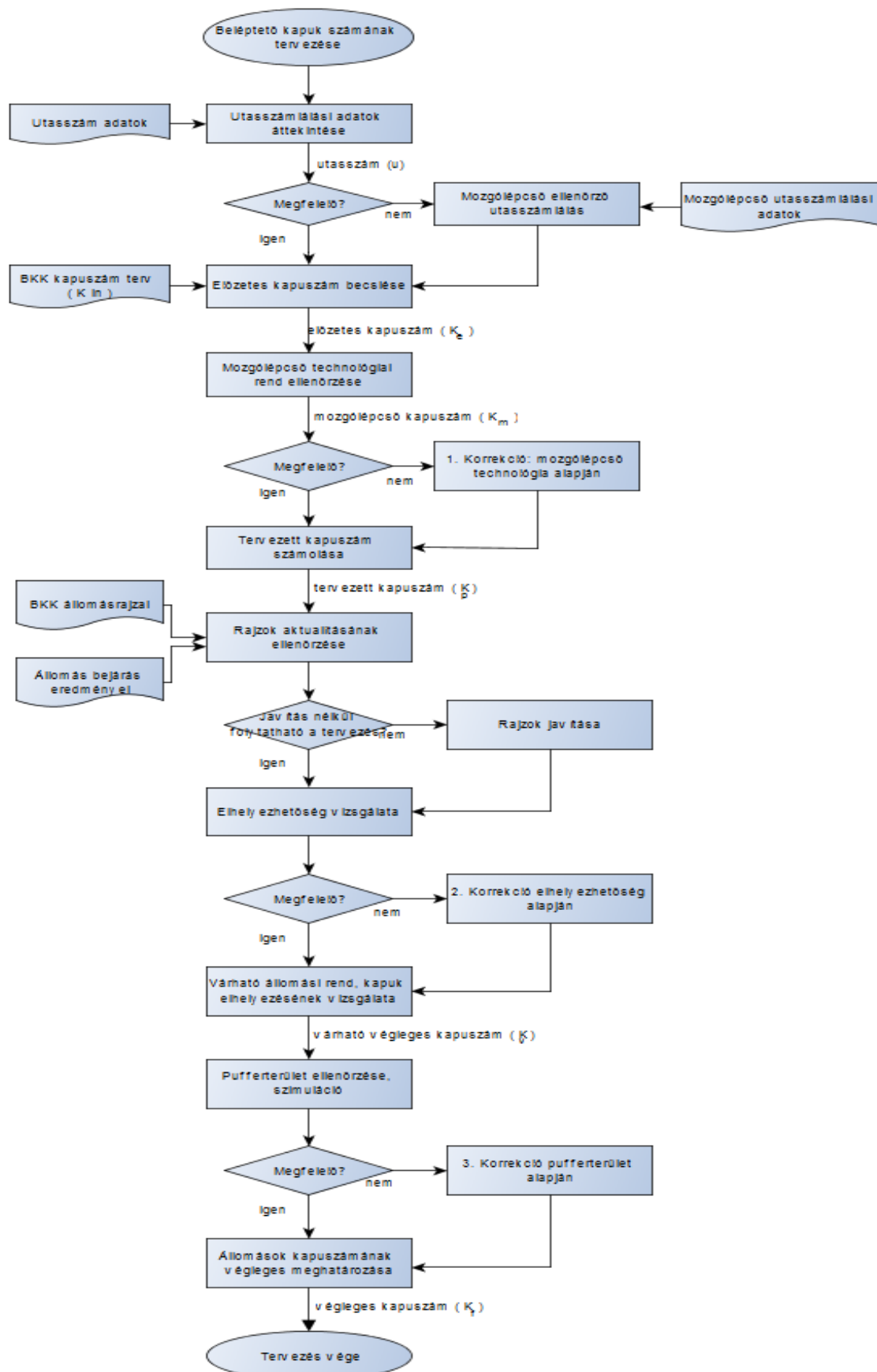
- Számítások és szimulációs vizsgálat a puffterületek kapcsán. Amennyiben szükséges az állomási puffterület alapján ismét korrigálni kell (harmadjára) a kapuszámot vagy az elhelyezhetőséget.
- Végleges állomási rend meghatározása a beléptető kapuk végleges (final) számával (K_f).

4.1 Utasszámlálási adatok elemzése

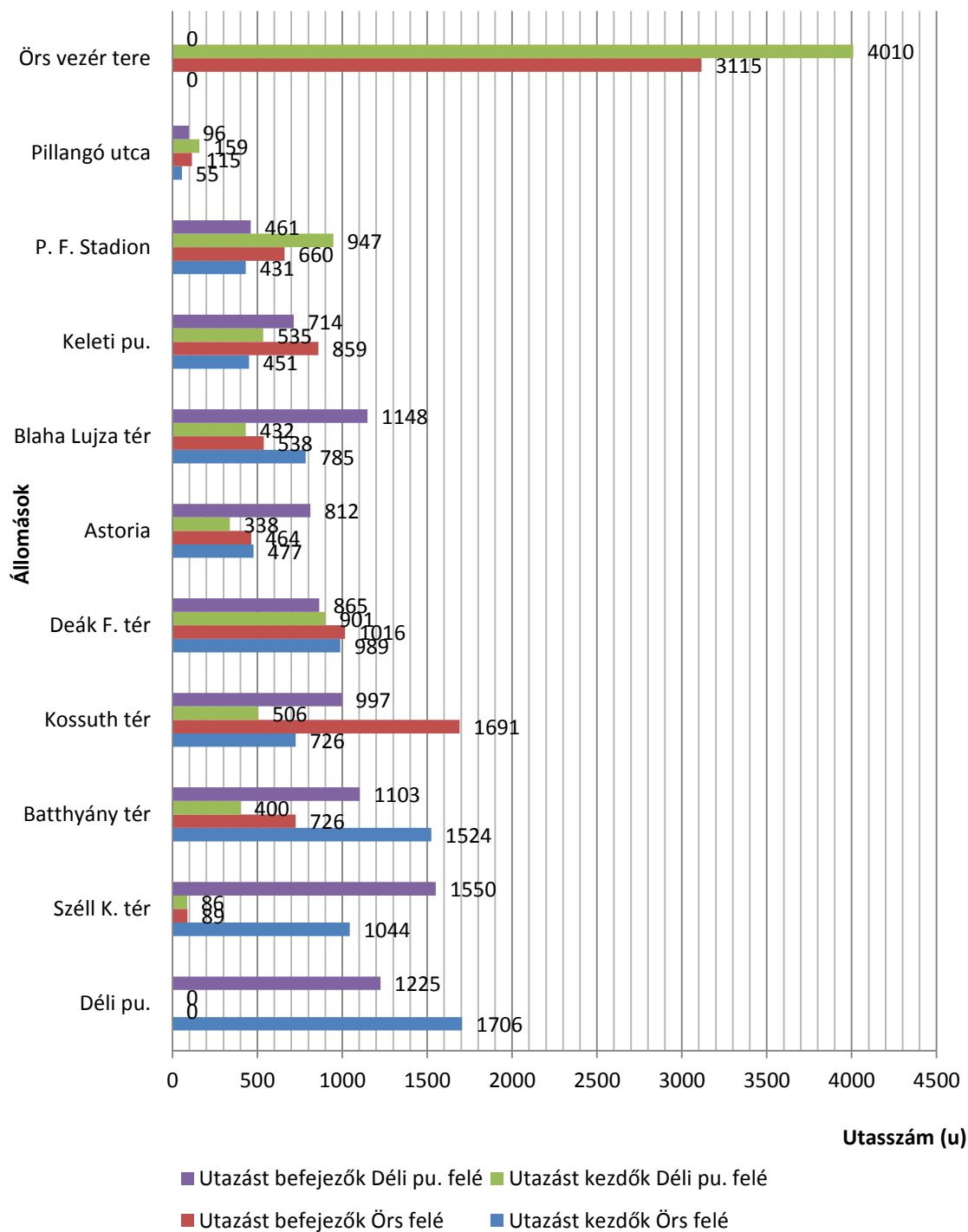
Keresztmetszeti utasszámlálást legutoljára 2012-ben végeztek Budapest metró-hálózatán, ahol irányonként rögzítve lett az utazást kezdők és befejezők száma. Tehát szekunder forrásadatokról számolok, melyek a BKV Zrt. korábbi felméréseiből is származnak. Az utasszámlálási adatok értéke óránkénti és negyedóránkénti bontásban került kiértékelésre, valamint utóbbiból számítva lett négy negyedórás úgynevezett görgetett utasforgalom is. A mérést teljes üzemidőben végezték, ezért az adattáblából a maximális értékeket kerestem ki, minden irányra. Ezek jellemzően a csúcsórai utasszámoknak felelnek meg. Mivel irányonként és utazás típusára vonatkozóan rendelkezésre állnak adatok így 4 értéket lehet minden állomásról kiolvasni:

- utazást kezdők kezdőpont felé
- utazást befejezők kezdőpont felé
- utazást kezdők végpont felé
- utazást befejezők végpont felé.

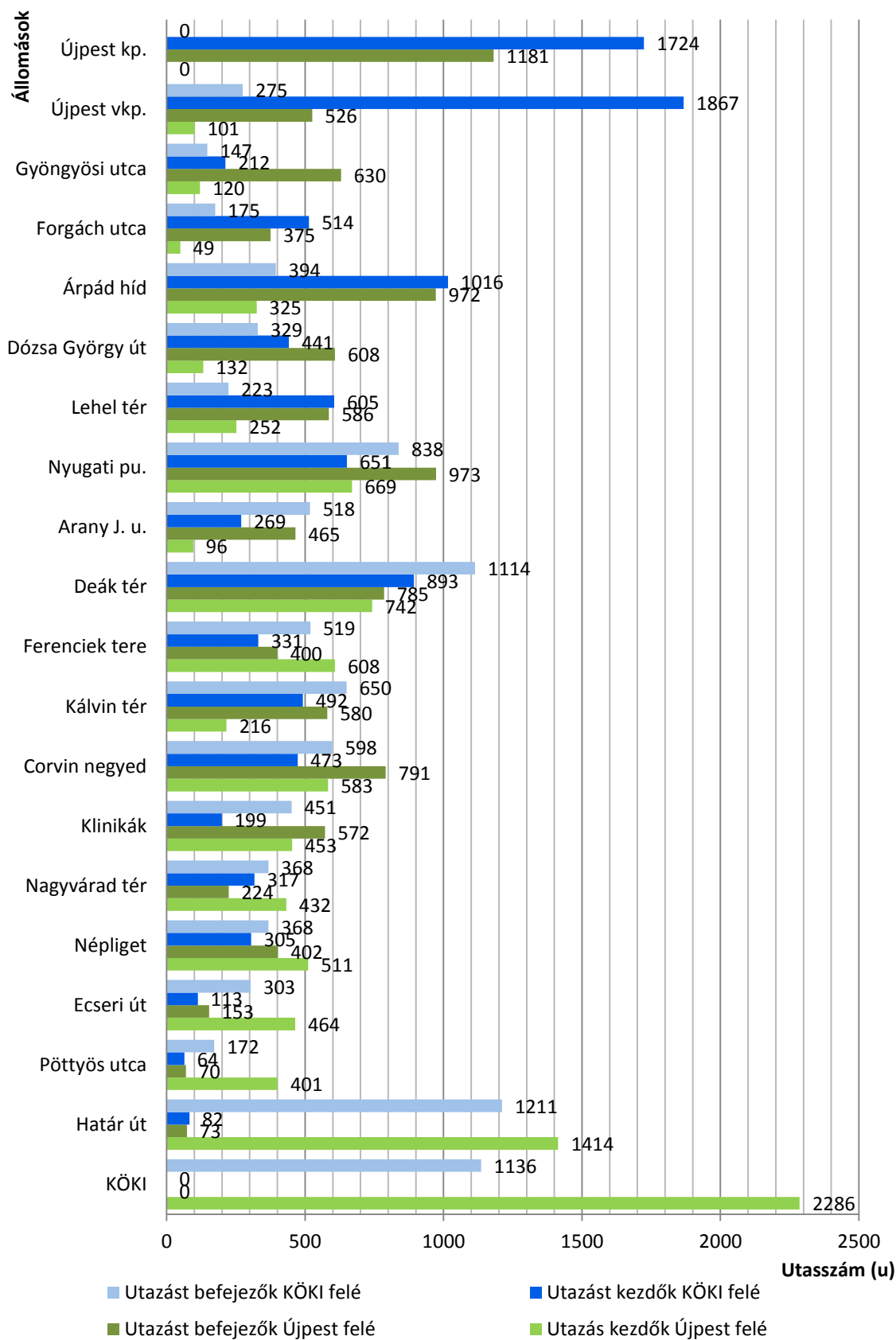
A rendelkezésre álló utasforgalmi keresztmetszeti eredmények alapján az M2 és M3 vonalon folytattam számításokat.



10. ábra A munkafolyamat ábrázolása
(Forrás: Saját szerkesztés)



11. ábra M2 vonal maximális utasforgalmi értékei
(Forrás: Saját szerkesztés, BKV Zrt. adatai nyomán)



12. ábra M3 vonal maximális utasforgalmi értékei
(Forrás: Saját szerkesztés, BKV Zrt. adatai nyomán)

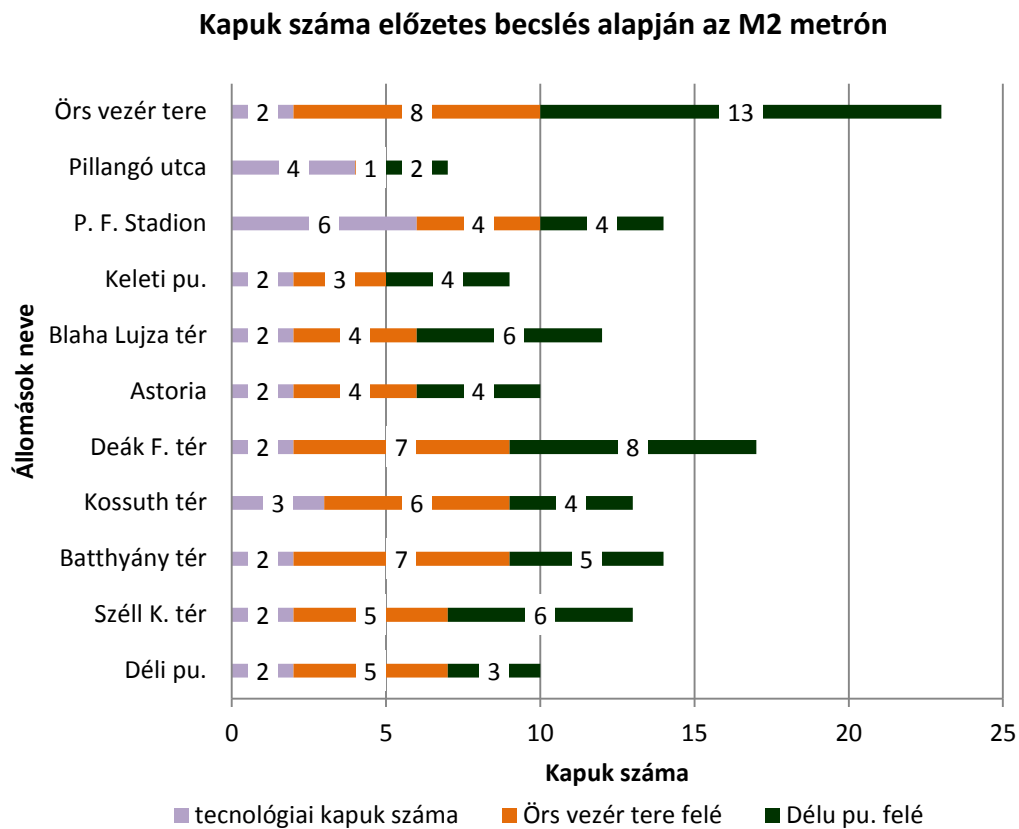
Az utasszámlálási adatok közül a legkisebb időegységre eső bontást választottam ki, ugyanis ezeknek az adatoknak a legkisebb a szórása, ezért ahol lehetett az állomási (érkező) utasok $[\lambda]$ = fő/negyedóra dimenzióban kerültek meghatározásra. Jelen esetben minden érték fő/negyedóra dimenzióban került meghatározásra.

4.2 Előzetes kapuszám becslés a sorbanállási modell alapján

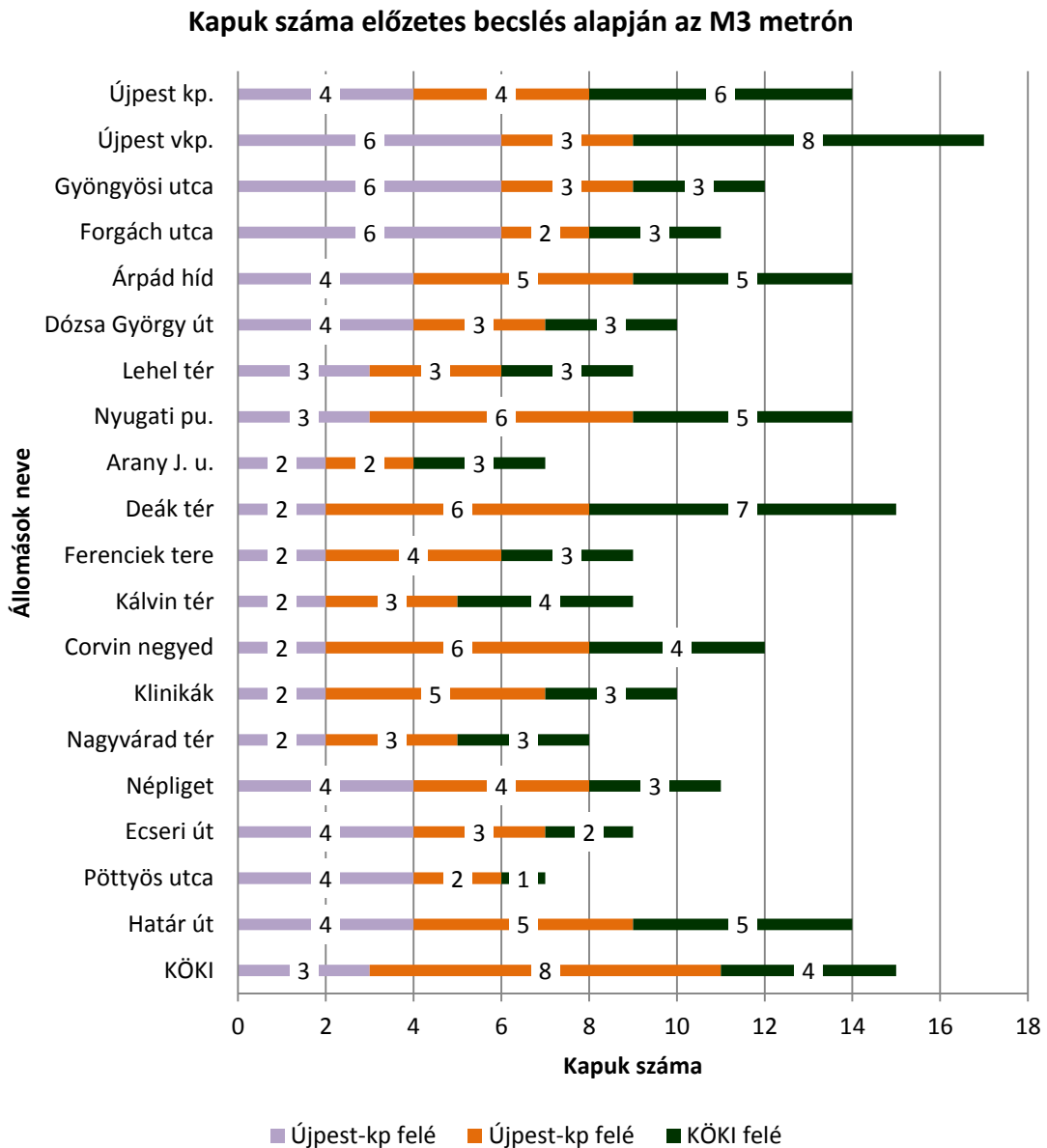
A gyártók által megadott elméleti átbocsátóképesség viszonylag magas, átlagosan 40 fő/perc. Figyelembe kell azonban venni azt, hogy egy kapu kiszolgálási ideje átlagosan 2 [s] (érvényesítés, ami áthaladás közben történik külön megállás nélkül, nyitás, áthaladás, zárás), amiből adódik, hogy 60 [s] alatt $60/2=30$ fő lehet egy reális átbocsátási képesség egy beléptető kapunak. Az előzetes számítások ellenben 15 fő/percben határozták meg ezt az értéket, mivel a kiépítést követően az utasoknak hozzá kell szokniuk a kapuk használatához. Ez esetben tartalékkapuvál a BKK által készített tervváltozatban nem számoltak, hanem ennek az értékét az alacsony átbocsátóképességbe építették be. Ugyanakkor a BKK által a Corvin negyed állomáson 2013-ban tesztelt kapuk azt mutatták, hogy átlagosan 25 fő percenként mindig átjut a kapun, pedig az nyomógommbal működött.

E tapasztalatok alapján 20 fő/perc elméleti kapacitásra (μ) határoztam meg az egyes állomások beléptetőinek számát.

A kihasználtság értékét minden megállóra, minden elméleti kapacitásra, minden irányra, valamint utazás kezdésre és befejezésre meghatároztam. Ezután minden esetben összegzésre kerültek állomásonként az igényelt kapuk száma.



13. ábra Kapuk számának megoszlása előzetes becslés alapján az M2 vonalon
(Forrás: Saját szerkesztés)



14. ábra Kapuk számának megoszlása előzetes becslés alapján az M3 vonalon
(Forrás: Saját szerkesztés)

Az alábbi példákon keresztül egy-egy állomás beléptetőkapu igényének számítását részletezem az M2 és M3 vonalon:

4.2.1 Astoria

A kiszolgálási ráta: $\mu = 20$ [fő/perc] = 300 [fő/negyedóra]

Maximális utazást kezdők Örs vezér tere felé $\lambda_1=790$ [fő/negyedóra]

Maximális utazást kezdők Déli pályaudvar felé $\lambda_2=322$ [fő/negyedóra]

Maximális utazást befejezők Örs vezér tere felé $\lambda_3=340$ [fő/negyedóra]

Maximális utazást befejezők Déli pályaudvar felé $\lambda_4=340$ [fő/negyedóra]

Írányonként összegezve: $\lambda_1 + \lambda_3 = 1130 = \lambda_{\text{Ö}}$

$$\lambda_2 + \lambda_4 = 1161 = \lambda_{\text{D}}$$

A kihasználtsági tényező számítása iránnyonként

$$\text{Az Örs vezér tere felé: } \rho_{\text{Ö}} = \frac{\lambda_{\text{Ö}}}{\mu} = \frac{1130}{300} = 3,77$$

Mivel $\rho > 1$ ezért a nevező értékét úgy kell növelni m értékkel, hogy $\rho < 1$ teljesüljön.

$$\rho = \frac{\lambda_{\text{Ö}}}{m_{\text{Ö}} * \mu} = \frac{1130}{4 * 300} = 0,942 < 1, \text{ tehát ez az érték jó.}$$

Így egyik irányban $m_{\text{Ö}} = 4$ kapu szükséges.

A számításokat a Déli pályaudvar felé is el kell végezni hasonlóan.

$$\text{Az Déli pályaudvar felé: } \rho_{\text{D}} = \frac{\lambda_{\text{D}}}{\mu} = \frac{1161}{300} = 3,87$$

Mivel $\rho > 1$ ezért a nevező értékét úgy kell növelni m értékkel, hogy $\rho < 1$ teljesüljön.

$$\rho = \frac{\lambda_{\text{D}}}{m_{\text{D}} * \mu} = \frac{1161}{4 * 300} = 0,968 < 1, \text{ tehát ez az érték jó.}$$

A másik irányban ez esetben szintén $m_{\text{D}} = 4$ kapu szükséges.

Ezek csak az utasszámokra épülő adatok, a technológiai kapuk számát (akadálymentes, tartalék) nem tartalmazzák. Mivel egy közös kijárat van ezért egy akadálymentes (k_a) és egy tartalék kapura (k_t) lesz szükség.

Összegezve a kapott eredményeket:

$$K = m_{\text{Ö}} + m_{\text{D}} + k_t + k_a = 4 + 4 + 1 + 1 = \mathbf{10 \text{ kapu tervezése indokolt.}}$$

4.2.2 Ferenciek tere

A kiszolgálási ráta: $\mu = 20$ [fő/perc] = 300 [fő/negyedóra]

Maximális utazást kezdők Újpest-központ $\lambda_1=608$ [fő/negyedóra]

Maximális utazást kezdők Kőbánya-Kispest $\lambda_2=331$ [fő/negyedóra]

Maximális utazást befejezők Újpest-központ $\lambda_3=400$ [fő/negyedóra]

Maximális utazást befejezők Kőbánya-Kispest $\lambda_4=519$ [fő/negyedóra]

Írányonként összegezve: $\lambda_1 + \lambda_3 = 1008 = \lambda_{\text{Ú}}$

$$\lambda_2 + \lambda_4 = 850 = \lambda_{\text{K}}$$

A kihasználtsági tényező számítása iránnyonként

$$\text{Újpest – központ felé: } \rho_{\text{Ú}} = \frac{\lambda_{\text{Ú}}}{\mu} = \frac{1008}{300} = 3,36$$

Mivel $\rho > 1$ ezért a nevező értékét úgy kell növelni m értékkel, hogy $\rho < 1$ teljesüljön.

$$\rho = \frac{\lambda_{\text{Ú}}}{m_{\text{Ú}} * \mu} = \frac{1008}{4 * 300} = 0,84 < 1, \text{ tehát ez az érték jó.}$$

Így egyik irányba $m_{\text{Ú}} = 4$ kapu szükséges.

A számításokat a Kőbánya-Kispest felé is el kell végezni hasonlóan.

$$\text{Déli pályaudvar felé: } \rho_{\text{K}} = \frac{\lambda_{\text{K}}}{\mu} = \frac{850}{300} = 2,83$$

Mivel $\rho > 1$ ezért a nevező értékét úgy kell növelni m értékkel, hogy $\rho < 1$ teljesüljön.

$$\rho = \frac{\lambda_{\text{D}}}{m_{\text{D}} * \mu} = \frac{850}{4 * 300} = 0,944 < 1, \text{ tehát ez az érték jó.}$$

Tehát a Kőbánya-Kispest relációban $m_{\text{K}} = 3$ kapura lesz szükség.

Ezek az csak az utasszámokra épülő adatok, a technológiai kapuk számát (akadálymentes, tartalék) nem tartalmazza. Mivel egy közös kijárat van ezért egy akadálymentes és egy tartalék kapura lesz szükség.

Összegezve a kapott eredményeket:

$$K = m_{\text{Ü}} + m_{\text{K}} + k_{\text{t}} + k_{\text{a}} = 4 + 3 + 1 + 1 = 9 \text{ kapu tervezése indokolt.}$$

Ezt a számítást alkalmazva a kelet-nyugati metró (M2) 142 az észak-délin (M3) pedig 227 [db] beléptető kapura van szükség. Összesen tehát a két vonalon 369 kapu telepítése indokolt az előzetes becslések alapján.

A kapott eredményeket összevetettem a BKK által előzetesen tervezett kapuszámmal, annak érdekében, hogy megvizsgáljam az esetleges eltéréseket, valamint azok okát. A BKK kapu-számítási módszere eltér annyiban, hogy külön terveznek nyitható szervizkaput. Tartalék kapuval nem számolnak, hanem helyette alacsonyabb, 15 fő/perc áteresztőképességet vettek alapul. Azonban a karbantartási szempontok miatt mindenképp fontos, hogy legyen külön tartalék kapu.

4. táblázat Eltérések vizsgálata a K-Ny-i vonalon

(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás neve	K _e : előzetes kapuszám	K _{in} : kapuszám terv (BKK rajz)	Abszolút eltérés
Déli pu.	10	12	-2
Széll K. tér	13	13	0
Batthyány tér	14	18	-4
Kossuth tér	13	12	1
Deák tér	17	9	8
Astoria	10	9	1
Blaha L. tér	12	13	-1
Keleti pu.	9	9	0
Puskás F. Stadion	14	18	-4
Pillangó u.	7	6	1
Örs vezér tere	23	27	-4
Összesen	142	146	26

5. táblázat **Eltérések vizsgálata a K-Ny-i vonalon**
(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás neve	K _e : előzetes kapuszám	K _{in} : kapuszám terv (BKK rajz)	Eltérés BKK-tól
KÖKI	15	20	-5
Határ út	14	14	0
Pöttyös utca	7	5	2
Ecseri út	9	9	0
Népliget	11	11	0
Nagyvárad tér	8	6	2
Klinikák	10	9	1
Corvin negyed	12	14	-2
Kálvin tér	9	9	0
Ferenciek tere	9	8	1
Deák tér	15	9	6
Arany J. u.	7	8	-1
Nyugati pu.	14	20	-6
Lehel tér	9	16	-7
Dózsa Gy. út	10	11	-1
Árpád híd	14	10	4
Forgách utca	11	10	1
Gyöngyösi utca	12	8	4
Újpest –városkapu	17	16	1
Újpest központ	14	17	-3
Abszolút eltérés	227	230	 47

Az eltérések száma igen magas, hiszen a legtöbb állomáson van valamilyen különbség. Jellemzően a BKK adatai csak az utasszámokra hagyatkoznak, az alapján kerültek meghatározásra a szükséges kapuk száma. Az eltérések oka mindenképp a tartalékkapura vezethető vissza, hiszen a számítás során minden állomási kijáráshoz terveztem egyet, ami egy négy kijáratos állomás esetén négy tartalékkapu.

4.3 Ellenőrző számítások a jelenlegi technológia alapján

Az előzetes számítások csak az utasszámok alapján mutatják meg az igényelt kapuk számát, de ezeket össze kell vetni a mozgólépcsők alapján meghatározott kapuszámmal is. Ez a mozgólépcső rend határozza meg a jelenlegi és jövőbeli technológiát.

Az ellenőrzésnél megvizsgáltam, hogy mely állomásokon van mozgólépcső. A normál lépcsővel ellátott állomásokat nem kell ellenőrző vizsgálatokat végezni, mivel nem áll

fenn a veszélye annak, hogy mozgó eszköz felé torlódnak vissza az utasok, hanem a gyalogos folyosók, lépcsők folyamatosan engedik ki a tömeget. A mozgólépcsős állomásokon azok száma alapján meghatároztam a minimális technológiai kapuszámot a K_m és K_l^* tervezési képlet alapján. Ezt az értéket az előzetes számításokban kapottal összevetettem a tervezett kapuszámmal, a kettő közti különbséget eltérő színnel jelölve különböztettem meg: pirossal, ha nem elegendő az utasszám alapján a tervezett kapuszám, zölddel, ha megfelelő. Ahol negatív érték szerepelt korábban a tervezetthez képest, ott növelni kellett a kapuk számát.

Legyen például a Ferenciek tere állomás, ahol három mozgólépcső van, ebből kettő hegymenet és egy lejtmenetben közlekedik.

Felhasználva a sorbanállási modellt az utasszámok alapján

$$K = m_{\text{Ü}} + m_K + k_t + k_a = 4 + 3 + 1 + 1 = 9 \text{ [db] kapu tervezése indokolt.}$$

Az igényelt kapuszám a mozgólépcsők alapján viszont:

$$K_m = 3 * m_h + 2 * m_l + k_t + k_a = 3 * 2 + 2 * 1 + 1 + 1 = 10 \text{ [db] kapu.}$$

A két eredmény tehát eltér egymástól. Az előzetes számítások alapján tervezett kapuszám kisebb, mint a technológiai, ezért a két érték közti eltéréssel korrigálni kell a kapott eredményt. A különbség 1, tehát egy kapuval emelni kell az beléptető kapuk számát. Ezt a rajzok elkészítésénél figyelembe kell venni.

M2 vonalon

A vonal összes alagúti állomásán van mozgólépcsős kijárat, a Puskás Ferenc Stadionnál viszont csak egy olyan kijárat van, ahol mozgólépcső található (egy darab) a Hungária körút felé. A felszíni állomások tehát most nem kerülnek vizsgálatra (Pillangó utca, Örs vezér tere).

Az első eltérés vizsgálatot az alábbi táblázat foglalja magában az M2 vonalon:

6. táblázat A kapuszám első korrekciója a 2-es metróon
(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás	Mozgó- lépcső?		K _m : mgl. kapuszám	K _e : Előz. kapu.	Eltérés ell.	K _p : terv. kapusz.
Déli pályaudvar	igen	3	10	10	0	10
Széll Kálmán tér	igen	4	13	13	0	13

Batthyány tér	igen	4	13	14	1	14
Kossuth tér	igen	3	10	13	3	13
Deák Ferenc tér	igen	3	10	17	7	17
Astoria	igen	3	10	10	0	10
Blaha Lujza tér	igen	4	13	12	-1	13
Keleti pályaudvar	igen	3	10	9	-1	10
Puskás Ferenc Stadion*	igen	1	10	14	4	14
Pillangó utca	nem					7
Örs vezér tere	nem					23

M3 vonalon

A vonalon vegyesen vannak olyan állomások, ahol van mozgólépcső. Jellemzően itt is a belvárosban a mélyvezetésű szakaszon, de Kőbánya Kispesten felszíni és Újpest-központban kéreg alatti végállomásokon is van irányonként egy-egy mozgólépcső. A kéreg alatti mozgólépcsővel nem ellátott állomások ellenőrzésére nem kerül sor.

Az első eltérés vizsgálatot az alábbi táblázat foglalja magában az M3 vonalon:

7. táblázat A kapuszám első korrekciója a 3-as metrón
(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás	Mozgó- lépcső?		K _m : mgl. kapuszám	K _e : Előz. kapu.	Eltérés ell.	K _p : terv. kapusz.
Kőbánya-Kispest	igen	2	8	15	7	15
Határ út	nem					14
Pöttyös utca	nem					7
Ecseri út	nem					9
Népliget	nem					11
Nagyvárad tér	nem					8
Klinikák	igen	3	10	10	0	10
Corvin negyed	igen	4	13	12	-1	13
Kálvin tér	igen	4	13	9	-4	13
Ferenciek tere	igen	3	10	9	-1	10
Deák Ferenc tér	igen	3	10	15	5	15
Arany János utca	igen	3	10	7	-3	10
Nyugati pályaudvar	igen	4	13	7	-6	13
		3	10	7	-3	10
Lehel tér	nem					9
Dózsa György út	nem					10
Árpád híd	nem					14

Forgách utca	nem					11
Gyöngyösi utca	nem					12
Újpest-városkapu	nem					17
Újpest-központ	igen	2	8	14	6	14

A beléptető kapuk elhelyezését az előzetes becslésen túl e két táblázat szükséges kapuszám adatainak figyelembe vételével kell meghatározni, a jelentkező állomási specifikációkon túl.

4.4 Az elhelyezhetőség vizsgálata az egyes vonalakon az állomási adottságok figyelembe vételével

A rendelkezésre álló lejárati keresztmetszetek alapján további vizsgálatok is szükségesek az előzetes számításokra alapozva. Egyrészt azt kell ellenőrizni, hogy a kapusor mekkora helyigényű, ez elfér-e a mozgólépcső előtt. Ehhez fognak tartozni átépítési javaslatok, amennyiben indokolt.

A kapuk méreténél az *Optical Turnstiles* típusú választottam. Ezt a típust széleskörűen alkalmazzák közlekedésben, ugyanis mind a kaputest méretében, mint pedig az ajtószárny kialakításban flexibilis. Itt található keskeny kaputestű eszköz, melynek szélessége 160 [mm], ami a budapesti keskeny folyosójú csarnokokban jól alkalmazható. Továbbá ennek a típusnak van lengőajtós változata is, ahol a „flap”-ek 90°-ban elfordulva a kaputestbe simulva nyílnak. Mivel a vizsgált katalógusban 1200x160x1000 méretű kapu volt ezért az előzetes számításoknál ezt a méretet vettem figyelembe. Fontos megjegyezni, hogy ennél kisebb méretű kaputestek is vannak: léteznek olyan berendezések, melyek gépháza egy kis átmérőjű oszlop, és az ajtószárnyak arra vannak felszerelve. Ez a típus háromágú forgóajtó formájában is létezik.

Az elhelyezhetőség vizsgálata során az alábbi számításokat végeztem el vonalanként és állomásonként:

- Lemértem a rendelkezésre álló területek keresztmetszetét.
- A tervezett keskeny kapuk figyelembe vétele mellett kiszámolom a technológiára szükséges helyigényt

- keskeny kapu szélessége: 760 [mm], melyből 600 [mm] az átjáró (Optical Turnstiles típus alapján)
- széles kaputest: 1160 [mm], melyből 1000 [mm] az átjáró (Optical Turnstiles típus alapján)
- Ezeket az értékeket szoroztam fel a szükséges kapuszámmal
- Hozzáadtam egy kaputestet az utolsó flap gate-hez
- Az utolsó két pontot összegzem
- Összevettem a kapott eredményt a rendelkezésre álló hellyel.
- Amennyiben problémát észleltem, javaslatot tettem más kialakításra.
- Külön nagyobb szélességű kaputesttel is elvégeztem a fent említett számítást, ahol a normál kapu 900 [mm] (melyből 600 [mm] az átjáró), a széles pedig 1450 [mm] (melyből az átjáró 1000 [mm]) méretű.
- Ezt is összevettem a rendelkezésünkre álló keresztmetszettel.

4.4.1 Elhelyezhetőség vizsgálata az M2 vonalon

A kelet-nyugati metróvonalon az állomások speciális kialakítása és hely szűke miatt nehezebben tervezhető a kapuk elhelyezése. Gyakran célszerűbb lenne olyan kaputípust választani, ami keskenyebb gépházzal rendelkezik, vagy számos állomás esetében alternatív javaslatokat kell tenni, például aluljáróban történő elhelyezés.

A következő táblázat az elhelyezhetőséget foglalja össze és azt vizsgálja hogy a tervezet változatban normál (300 [mm]) vagy keskeny (160 [mm]) kaputest mellett elfér-e a az adott állomáson. Ha nem, akkor egyéb megoldás szükséges. Ezt a következő pontban az M3 vonal állomásaira is megvizsgáltam.

8. táblázat **Az elhelyezhetőség problémáinak feltárása M2 vonalon**
(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás neve	építészeti jellemzője	normál kaputesttel	keskeny kaputesttel	egyéb megoldás
Déli pályaudvar	mélyvezetésű, aluljáró kijárat			
Széll Kálmán tér	mélyvezetésű, felszíni kijárat			

Batthyány tér	mélyvezetésű, aluljáró kijárat			
Kossuth Lajos tér	mélyvezetésű, felszíni kijárat			
Deák Ferenc tér	mélyvezetésű, aluljáró kijárat, M			
Astoria	mélyvezetésű, aluljáró kijárat szűk			
Blaha Lujza tér	mélyvezetésű, aluljáró kijárat szűk			
Keleti pályaudvar	mélyvezetésű, aluljáró kijárat, M			
Puskás Ferenc Stadion	közös kijáratú, kéreg alatti			
Pillangó utca	felszíni			
Örs vezér tere	felszíni			

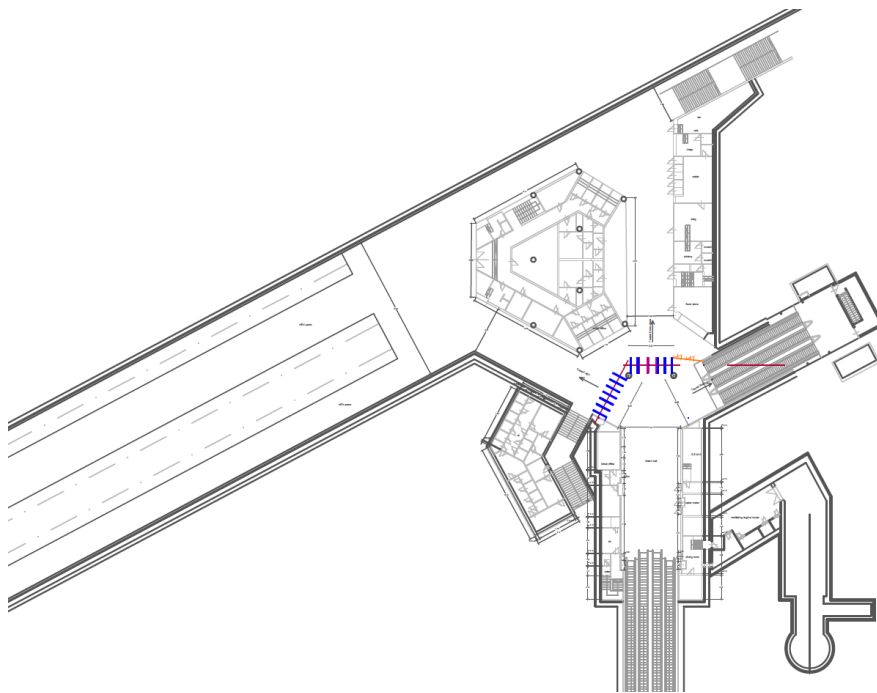
Az alábbiakban megvizsgáltam részletesen, néhány állomási példán keresztül, miként lehet elhelyezni a kapukat. A tervezett kapuszám elfér-e, valamint szükséges-e további korrekciója az állomási kialakítás, sajátosság miatt. Ez a két vizsgálat foglalja magában a kapuszám második, elhelyezhetőség vizsgálati korrekcióját.

Batthyány tér

A Batthyány téren a mozgólépcső kijárat az aluljáró. szintre vezet, innen három irányba lehet tovább haladni: a H5 HÉV, Duna-part, és a Batthyány tér (busz) felé további mozgólépcsőkön. Ezért a kapuk nem a peronszíni mozgólépcsők folyosójának végén egy sorban kerülnek majd elhelyezésre, hanem az aluljáró szinten a „körívben”, három csoportban az említett haladási irány metszéspontjában. A korábbi előzetes sorbanállási számításokkal ellentétben nem 14, hanem a HÉV felé 6,6 [m], keresztmetszeten 6 db, a Duna-part felé 5,9 [m] keresztmetszeten 5 db (ebből 2 db széles) kapu kerül az aluljáró adottságait figyelembe véve. Jobb oldali mozgólépcső felé nem lehet beléptető kaput helyezni, mivel a lefelé érkező gyalogos áramlat útjába kerül. Ezért további kapukat a felszínen lévő állomás bejárat épületének ajtajába célszerű elhelyezni oldalanként 3-3 db-ot. Így összesen 17 beléptető kapu lenne a Batthyány téren telepítve, melyek 160 [mm] és 300 [mm] kaputesttel számolva is elférnek.



15. ábra Batthyány tér állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



16. ábra Batthyány tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

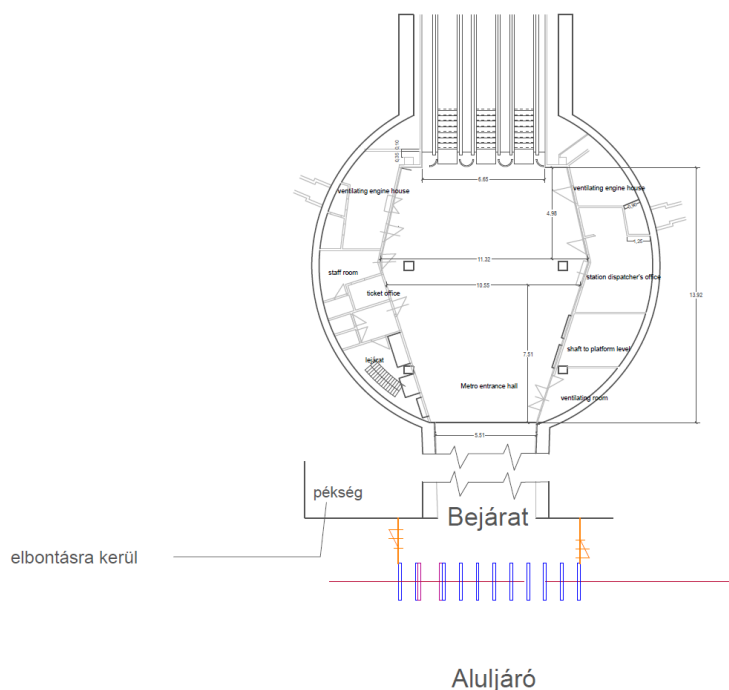
Astoria

A vonalon az egyik legszűkebb állomás az Astoria, melyet utólag építettek be a vonalra. A peronszintről három mozgólépcsőkar vezet az alujáró szintre, az itt rendelkezésre álló hely 6,65 [m], mely 11,3 [m] keresztmetszetig szélesedik, onnan szűkül. A tér „hatszög” alapterületű, legszélesebb két szemközti pontja közé viszont nem lehet beléptető kaput

telepíteni a jelenleg meglévő infrastruktúra miatt, melyek ezek nem bonthatóak el. Többek között ezért is a kijáráshoz közelebb egy 8,55 [m] széles keresztmetszeten kell elhelyezni a kapusort. Az előzetes kapuszám-becslés alapján legalább 10 kapu beépítésére van szükség, mely kapuk a 160 [mm]-es kaputest esetében sem férnek el. Ez a kapu-mennyiség pedig a mozgólépcső rendnek is megfelel (K_m), tehát indokolt beépíteni ennyi kaput. Ezért a beléptető kapuk elhelyezése az Astorián célszerűbb lenne az állomási bejáraton kívül, az aluljáró csarnokban. Ennek következménye, hogy üzemszünetben az aluljáróban ekkor biztonsági személyzetnek kellene tartózkodni a kamerás megfigyelés mellett, mely élőmunka igen költséges. Ez a későbbiekben az aluljáró bezárását is jelentheti üzemszünetben, hogy éjszaka ne rongálhassák meg a kapukat, ami miatt a felszíni forgalmi rendet módosítani kell, és a gyalogos átkelési lehetőséget biztosítani kell.



17. ábra Astoria állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



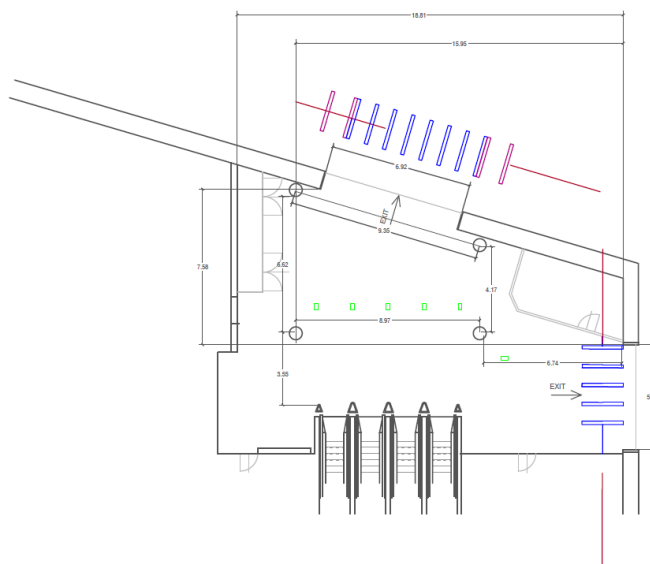
18. ábra Astoria tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Blaha Lujza tér

Az állomás területe két kijáratral rendelkezik közvetlen a mozgólépcsővel szemben és mellette, előbbi 9,2 utóbbi 5,12 [m] szélességű. Az előzetes sorbanállási számítások alapján 12, a mozgólépcső technológia alapján pedig 13 kapu telepítése szükséges 7 normál és a nagy utasforgalom miatt 2 széles a főbejáratnál, további 4 normál pedig az oldalsónál kerülne telepítésre. Utóbbi kijáratnál egy további tartalék is szükséges, mivel az állomás két kijáratral rendelkezik. Így összesen 14 kapu tervezése célszerű. A metró lejárata szűk, a mozgólépcső előtti tér a bejáratnál kicsi alapterületű, ezért a hosszabb kapusor az aluljárócsarnokban kerül elhelyezésre. Annak érdekében, hogy a kapukat üzemszünetben ne rongálják, az aluljáróban a rendszer megfelelő védelméről, megfigyeléséről gondoskodni kell. Ez akár az aluljáró lezárásához is vezethet, melynek következtében a felszíni forgalomtechnikai rendet módosítani kell (gyalogátkelőket kell kijelölni). 160 [mm] és 300 [mm] kaputesttel számolva is elférnek a csarnokban az új készülékek.



19. ábra Blaha Lujza tér állomás
(Forrás: *index.hu*)



20. ábra Blaha Lujza tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: *BKK, átszerkesztett*)

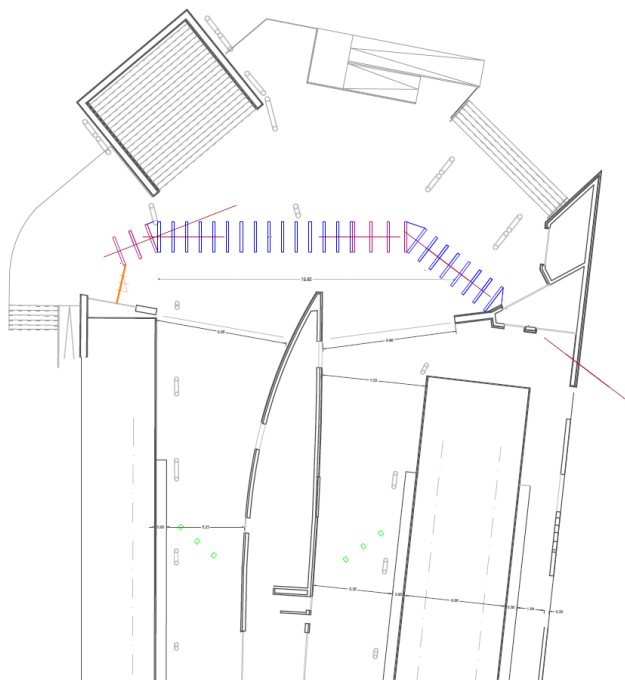
Örs vezér tere

Az Örs vezér tere jelenleg a vonal végpontja, itt található a kocsiszín is. Helyi és agglomerációs szinten (buszok, HÉV, távolsági járatok) fontos csomópont, intermodális funkciókkal. A végállomáson jelentős átszálló tömeg jelenik meg, és innen utaznak tovább a külső kerületek felé. Az előzetes kapuszám becslés alapján 23 eszközre lesz

szükség, azonban a tervezett kapuszám 27, melyből 5 lenne széles folyosóval a meglévő rámpák irányába (2 a Kerepesi út felé, 3 a Fehér út felé). Mivel a rendelkezésre álló tér kb. 27 [m] ezért a 160 [mm] és 300 [mm] kaputesttel számolva is elférnek a csarnokban az új készülékek. Az M2 metró H8/H9 HÉV összekötés után az állomás várhatóan az aluljáró szint alá kerül, mely miatt az állomási kapuk átépítésre kerülnek. Ezen felül a külső HÉV szakaszon is ki kell majd építeni a beléptető rendszert.



21. ábra Örs vezér tere állomás
(Forrás: wikipédia)



22. ábra Örs vezér tere végállomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

A tervezés alapján várhatóan szükséges kapuszám állomásonként:

9. táblázat **Várható kapuszám állomásonként**
(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás neve	Kijáratonként kapuk száma				Összes kapuszám	Ebből széles	Eltérés vizsgálat az előző korrekcióhoz képest	
	1. kijárat	2. kijárat	3. kijárat	4. kijárat			Szükséges kapuszám	Bekövetkezett eltérés
Batthyány tér	6	5	6		17	2	14	3
Astoria	10				10	1	10	0
Blaha Lujza tér	9	5			14	2	13	1
Örs vezér tere	27				27	5		

4.4.2 Elhelyezhetőség vizsgálata az M3 vonalon

Az M3-as metró vonalán a kapuk elhelyezhetősége valamennyivel könnyebb, mint az M2-n. Itt a hely kevésbé befolyásolja kapuk méretét, jellemzően ez annak is köszönhető, hogy több a kéreg alatti állomás. A szűkebb kijáratokkal rendelkező állomásokon célszerű keskeny kaputestet használni jellemzően: Klinikák, Ferenciek tere. Csak néhány állomáson kell alternatív megoldást találni, mely nem a kapuk méretéből fakad, hanem a számából, mely az állomás területén nem fér el. A következő táblázat ezt mutatja be:

10. táblázat **Az elhelyezhetőség problémáinak feltárása M3 vonalon**
(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás neve	Kijárat típusa	normál kaputesttel	keskeny kaputesttel	egyéb megoldás
Kőbánya-Kispest	felszíni			
Határ út	vágánykapcsolatos, közös bejáratú, kéreg alatti			
Pöttyös utca	közös kijáratú, kéreg alatti			
Ecseri út	kéreg alatti			
Népliget	közös kijáratú, kéreg alatti			
Nagyvárad tér	galériás			
Klinikák	mélyvezetésű, felszíni			

	kijárat			
Corvin negyed	mélyvezetésű, aluljáró kijárat			
Kálvin tér	mélyvezetésű, aluljáró kijárat			
Ferenciek tere	mélyvezetésű, aluljáró kijárat			
Deák Ferenc tér	mélyvezetésű, aluljáró kijárat			
Arany János utca	mélyvezetésű, felszíni kijárat			
Nyugati pályaudvar	mélyvezetésű, kétkijáratos (aluljáró)			
Lehel tér	galériás			
Dózsa György út	közös bejáratú, kéreg alatti			
Árpád híd	kéreg alatti			
Forgách utca	közös bejáratú, kéreg alatti			
Gyöngyösi utca	kéreg alatti			
Újpest-városkapu	kéreg alatti			
Újpest-központ	közös kijáratú, kéreg alatti			

Az továbbiakban részletesen megvizsgáltam, hogy az állomásokon miként lehet elhelyezni a kapukat, hasonlóan, ahogy a kelet-nyugati metró állomásain tettem. A vizsgálat során kiderül, hogy tervezett kapuszám elfér-e, valamint szükséges-e további korrekciója az állomási kialakítás, sajátosság miatt. Ez a két vizsgálat foglalja magában a kapuszám második, elhelyezhetőség vizsgálati korrekcióját ezen a vonalon is.

Határ út

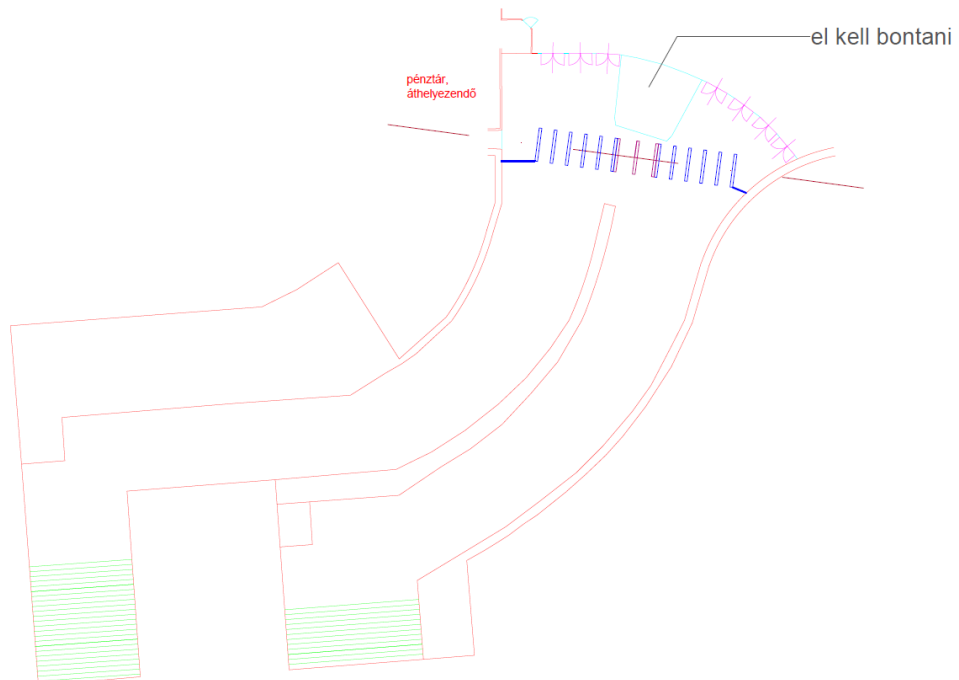
Határ út állomás is jelentős utasforgalmat bonyolít le, több helyi járat itt csatlakozik, hord rá a metróra (Kispest, Pesterzsébet stb. felől). Három vágány közül a középső fordító, valamint tároló vágány, a két szélsőn történik az utascseré. A két peronról egy-egy lépcsőn egy közös kijáraton át lehet az aluljárót megközelíteni. E kettő határára kerül elhelyezésre 16,8 [m] keresztmetszeten 12 normál és 2 széles kapu. 160 [mm] és 300 [mm] kaputesttel számolva is elférnek a csarnokban az új készülékek. A kijáratnál

lévő pékség elbontása szükséges az utasáramlás akadályozása végett, valamint a kapusor középvezetékében lévő BKK jegypénztárak áthelyezése is indokoltá válnak.

A képen jól látszik, hogy az újságos a kihaladás útjában van, valamint bal oldalon a pénztár elé kerül a kapusor.



23. ábra Határ út állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



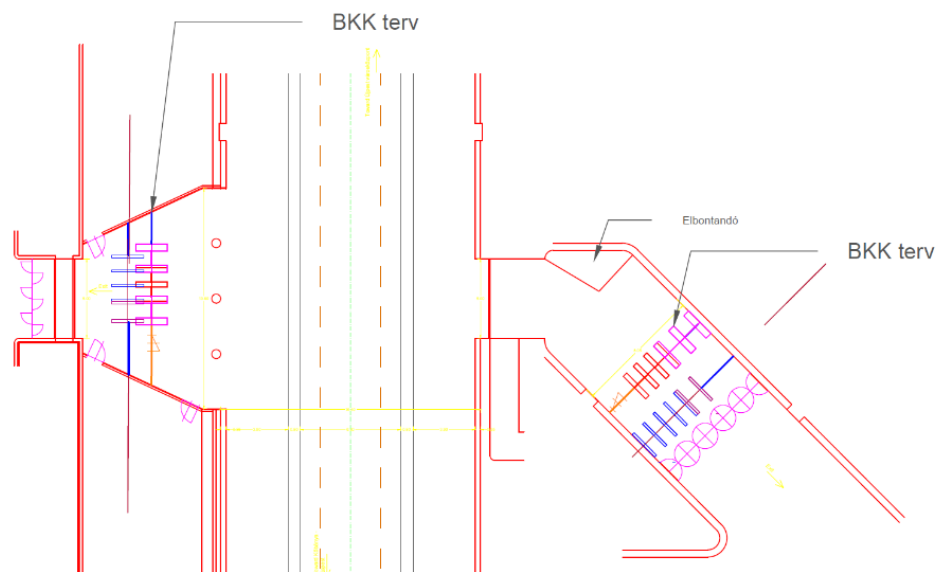
24. ábra Határ út állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztve)

Ecseri út

Szélső peronos állomás. Jobb vágányon 8,05 [m] szélességű helyen kerül elhelyezésre 4 db normál és 1 db széles kapu, a bal vágányhoz tartozó kijáraton pedig 5 [m] szélességben 3 db normál + 1 db széles. 160 [mm] és 300 [mm] kaputesttel számolva is elférnek a csarnokban az új készülékek. Áthelyezése az aluljáró más pontjában lehetséges. A jobb vágány kijáratánál a folyosón újságárus található, melyet célszerű lenne elbontani az utasáramlás akadályozásnak elkerülése érdekében. A jobb oldalon lévő újságos elbontása itt is szükséges, mivel a kapukon áthaladó utasok szabad áramlását akadályozza.



25. ábra Ecseri út állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



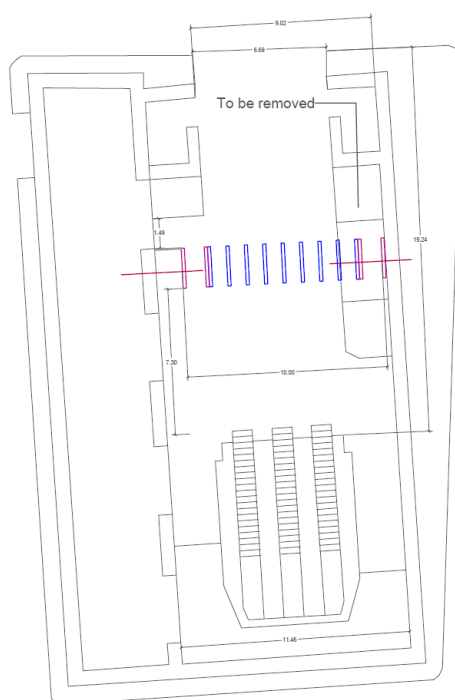
26. ábra Ecseri út állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztve)

Klinikák

A kórház miatt az állomáson több széles kapura lesz szükség. Tekintettel kell lenni kiemelten a mozgásukban korlátozottakra, nehezen haladó személyekre, valamint a vakokra és gyengénlátókra. Az állomási bejárat viszont szűk ahhoz, hogy kettőnél több széles kaput tervezzünk beépítésre: 9,2 [m] áll rendelkezésre és még szükséges lenne 8 normál méretű kapu beépítése is, ahhoz, hogy az utasforgalmat ne lassítsa. 160 [mm] szélességű keskeny kaputest esetén elégséges, normál, 300 [mm] széles kaputest esetén kevés a rendelkezésre álló hely. Mivel 3 mozgólépcső kar van az állomáson, ezért a 10 kapu elégséges. A kapusor az állomás legszélesebb keresztmetszetén kerül elhelyezésre a mozgólépcső lejárata és a pénztár közé eső szélesebb területen. Itt biztosítható csak a 9,2 [m], viszont ehhez a bejárat mellett baloldalon lévő üzleteket el kell bontani. A jobb oldali pékség előtt lesz a kapuk tengelyvonala, ezért rögzítés miatt a bolt bejáratát be kell falazni a rögzítés érdekében.



27. ábra Klinikák állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



28. ábra Klinikák állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztve)

Ferenciek tere

Ferenciek tere állomásra az előzetes modell számítás alapján 8 normál és 1 széles keresztmetszetű kaput kell tervezni, viszont a mozgólépcső karok számából (három) adódó technológia miatt szükséges 10 kapu telepítése. Az állomási aluljáró 2013-ban

lett felújítva, de a metró üzemi területét, az előcsarnokot ez nem érintette. Az előcsarnok folyosó ívelt, viszonylag szűk. Az aluljárószinten lévő pékséget el kell majd bontani, annak érdekében, hogy tágasabb tér jöjjön létre, valamint nagyobb puffterület legyen majd a kapuk és a mozgólépcső között. Célszerű lenne itt is az ajtóig eltolni a belépőkapukat, hogy a puffterület növekedjen, viszont itt szűkebb a keresztmetszet. A rendelkezésre álló terület az előtér közepén a legnagyobb, 10,41 [m], ahol 160 [mm] és 300 [mm] szelességű kapustestekből álló készüléksor is elfér. Kialakítható akár 8 normál méretű és 2 széles kapu is a két iránynak megfelelően. Az állomás területén lévő pékség elbontása szükséges.



29. ábra Ferenciek tere állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



30. ábra Ferenciek tere állomás beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztve)

A tervezés alapján várhatóan szükséges kapuszám állomásonként:

11. táblázat Várható kapuszám állomásonként az M3 vonalon

(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás neve	Kijáratonként kapuk száma				Összes kapuszám	Ebből széles	Eltérés vizsgálat az előző korrekcióhoz képest	
	1. kijárat	2. kijárat	3. kijárat	4. kijárat			Szükséges kapuszám	Bekövetkeztelt eltérés
Határ út	14				14	1		
Ecseri út	5	4			9	2		
Klinikák	10				10	2	10	0
Ferenciek tere	10				10	2	10	0

4.5 Pufferterület ellenőrzése

Az állomási pufferterület a mozgólépcső teteje (aluljáró szinten vagy felszínen) és a kapusor között kialakuló terület, mely a kapuk átbocsátó képessége miatt kialakuló kihaladás lassulása miatt alakul ki. E területen torlódhatnak fel az utasok, melyet el kell kerülni, ugyanis a visszatorlódás a mozgólépcső felé balesetet okozhat.

A 2.3 fejezetben ismertetett mozgólépcső technológiai rend számítása, a szállítókapacitása jelentősen meghatározza a mozgólépcső kijáratánál lévő torlódást a lépcsőkarok teteje és a kapusor közötti terület miatt. Itt ugyanis létrejön egy pufferterület, amit meg kell határozni az órás maximális utasforgalom alapján. Ezen a területen ugyanis nagy lökéshullám esetén az utasok feltorlódhatnak, a kapuk lassító hatása miatt. Átlagosan egy kapu átbocsátó képessége a gyártók katalógus adatai alapján [40 fő/perc], ami azt jelenti, hogy egy utas 1,5 [perc] alatt jut át a kapun. Ha a kapu hossza 2 [m], az utas gyaloglási sebessége 1 [m/s] akkor egyszerű sebesség képlet alapján:

$$v = \frac{s}{t}; t = \frac{s}{v} = \frac{2 \text{ [m]}}{1 \text{ [m/s]}} = 2 \text{ [s] alatt jut át egy utas a kapun.}$$

Egy perc alatt tehát $60/2=30$ fő átbocsátóképesség elvárható lehet. Így a korábbi számításaim ismét igazolva lettek: a tervezett 20 fő átbocsátóképesség tehát elfogadható átlag utasforgalom mellett. Elvileg ezekkel az értékekkel folyamatos haladást lehet biztosítani és a pufferterületen tömeg nem alakulhat ki. A tömeg kialakulása azért is veszélyes mert a visszatorlódás a mozgólépcsők elé, azokon át a peronszintre hat vissza, ahol folyamatos az érkező szerelvényekből a kihaladás, tehát a tömeg véges méretű területen torlódik fel. Ekkor korlátozni kell az állomásra való lejutást annak tiltásával, minden mozgólépcső hegymenetben közlekedtetésével és hozzákapcsolódóan minden kapu csak kifelé irányban enged, vagy teljesen nyitott állásban van. Ennek elkerülése érdekében fontos, hogy a pufferterület a lehető legnagyobb ($A_p \rightarrow \max$), a kapuk kiszolgálási ideje lehető legkisebb legyen ($T_{kiszolg.} \rightarrow \min$).

A pufferterület (A_p) mérete akkor ideális, ha a maximális öt perc alatt érkező utasszám ($L_{\max}^{5p}$) 4 [fő/m²] által elfoglalt területnél (A_L) sokkal nagyobb, azaz:

$$A_p \gg A_L$$

Néhány kiválasztott (jellemzően szűk keresztmetszetű) állomáson az alábbiak szerint alakul:

12. táblázat: **Pufferterületek méretének ellenőrzése a kritikus állomásokon**
(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás neve	$L_{\max}$ Max. utasszám (negyedórás)	$(L_{\max}^{5p})$ Max. utasszám (5 perces átlag)	A_p [m ²]	A_L Vizsgálat ($A_p \cdot 4$)	Értékelés ($A_p \cdot 4 < L_{\max}^{5p}$)
Astoria	1179	393	76,7	306,8	megfelelő, ha a kapuk az aluljáró csarnokban vannak
Blaha Lujza tér	1429	498	102,84	411,36	a kapuk szoftveres beállításával a terület kapacitását növelni kell
Klinikák	1023	341	73	292	a kapuk szoftveres beállításával a terület kapacitását növelni kell

Az értékelésnél már jól látszanak a kritikus állomások. A Blaha Lujza téren a kapuk az aluljáró csarnokban kerülnének elhelyezésre, ennek ellenére az 5 perces maximális utasszám mellett alacsony a pufferteület mérete. Ezért a kapukat szoftveresen úgy kell beállítani, hogy a check-out ideje minimális legyen. Ami azt jelenti, hogy a kártyaérvényesítés egymást követő utasok közt folyamatos is lehet, ez esetben a kapu ajtószárnya nem záródik vissza, hanem nyitva marad. Ezáltal a kihaladás folyamatos, csak a kiszolgálási idő (0,5 [s]) befolyásolja a torlódást. Ekkor a kapuk elméleti, gyártók által megadott kapacitása kihasználható. Hasonló a helyzet a Klinikák állomáson is, csak ott a kapuk az állomás területén belül lesznek elhelyezve. Az Astorián az aluljáróban történő elhelyezéssel a pufferterület problémája megoldható.

A pufferterület ellenőrzését a sorbanállási modell segítségével is vizsgáltam. A modell lehetővé teszi, hogy leellenőrizsem, hogy adott állomáson hány ember várakozik adott idő alatt és mekkora a várakozással eltöltött idő. Ha a rendszerben tartózkodóknak 15 [s]-nál kevesebbet kell várakozniuk, akkor nem alakul ki torlasztó hatás a mozgólépcsők, ezáltal a peron felé.

Legyen a bemutatott példa a Határ út állomás.

Utazást befejezők Újpest-központ és KÖKI felé:

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1211 + 73 = 1284 \text{ fő}$$

$$\rho_1 = \lambda_1 / \mu = 1211 / 300 = 4,04 \text{ tehát 5 kapu indokolt}$$

$$\rho_2 = \lambda_2 / \mu = 73 / 300 = 0,24 \text{ tehát 1 kapu indokolt}$$

Összesen $m=6$ kijárat kapu szükséges.

$$P(n=0) = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^m}{m! \left(1 - \frac{\rho}{m}\right)}} = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{4,28^n}{n!} + \frac{4,28^m}{m! \left(1 - \frac{4,28}{m}\right)}} = 0,012$$

Felhasználva a (22) képletet a sor nagysága $N_s = 0,89$ a (23) képlet alapján a várakozók száma $N_a = 5,17$ [fő]. A (24) képlet alapján a várakozási idő 3,6 [s], ami megfelel a kritériumnak, kisebb, mint 15 [s].

Ez alapján a többi állomáson az alábbiak szerint alakul az ellenőrzés:

13. táblázat Poisson számítás összefoglalása néhány állomáson
(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás neve	maximális kijárat kapuk száma [db]	N_a [m]	t_v [s]	vizsgálat
Határ út	6	5,17	3,6	megfelelő
Ecseri út	2	1,356	4,03	megfelelő
Klinikák	4	7,42	6,5	megfelelő
Ferenciek tere	4	4,81	4,71	megfelelő

Jól látható, hogy Poisson eloszlásra jellemző exponenciális függvény alapján a kapuk számának függvényében a várakozási idők minimálisak, átlagosan egy áthaladót kell megvárniuk az utasoknak, ami jónak minősíthető. Így a rendszer működőképes és megfelelő kapacitással rendelkezik.

5 Összefoglalás

A dolgozatban a budapesti metróhálózaton az elektronikus jegyrendszerhez kapcsolódóan a beléptető kapuk elhelyezhetőségének vizsgálatával foglalkoztam. Munkám során a BKV Zrt. munkáját is érintő technológiai kérdéseket vizsgáltam meg, különös tekintettel a metró üzemi technológiára, a mozgólépcsők rendjére és kapacitására, az állomások kiürítésére, kapukkal szemben támasztott működési követelményekre, továbbá a személyzet igényre, a rendszer felügyeletére.

E komplex követelményrendszer szem előtt tartásával olyan matematikai modellt kerestem, mely az állomásokon szükséges kapuszám számítására legjobban alkalmas, valamint további kalkulációra is használható a beépítendő kapusor visszatorlasztó hatása miatt. A számításokhoz sorbanállási matematikai modellt választottam. E módszer lényege, hogy a beérkezési ráta és a kiszolgálási ráta (intenzitás) alapján meghatároz egy szükséges kapuszámot minden állomáson. A beérkezési intenzitás esetünkben az utasszám negyedórás időegységre, a kiszolgálási intenzitás pedig ugyan ezen idő alatt a kapu átbocsátó képességét határozza meg. A modell lehetővé tette, hogy megvizsgáljam, hogy a kialakuló puffterületen mekkora sor alakul ki, hány fő fog a rendszerben várakozni, miután elhagyta a peront és leszállt a mozgólépcsőről. A dolgozatban a biztonság szem előtt tartásával a puffterületet úgy kellett megalkotni a végleges kapuszámmal, hogy a torlasztó hatás minimalizálódjon. A számítások során számos iteratív lépést kellett elvégezni. Azon túl, hogy meghatároztam a modell segítségével egy előzetesen becsült kapuszámot (K_e) a leírt mozgólépcső technológia alapján összevettem, hogy a kapott értékek megfelelnek-e annak. Ha szükséges volt, akkor növeltem a kapuszámot a mozgólépcsőkhöz igazítva, hiszen annak a rendje meghatározó az állomás biztonságos kiürítésének érdekében. Így megkaptam a tervezett kapuszámot (K_t). Az iteratív számítást ezután az állomások kialakítása alapján folytattam. Ehhez előzetesen fel kellett mérni minden állomást, a szükséges keresztmetszeteket meg kellett határozni, fel kellett mérni, hogy mely üzletek, épített egységek elbontása, áthelyezhetősége szükséges. Ennek tudatában a rendelkezésre álló keresztmetszetet és kijáratok számát méretét összevettem a kapusor méretével. Ha a helyszín vagy a kijáratok száma megkövetelte, további módosításokat végeztem el. Ezért állomásonként részletesen leírtam, milyen elrendezést javaslok. Ez adta K_v várható végleges kapuszám értéket.

Miután a részletes tervezést elkészítettem tudtam a puffterületen kialakuló torlasztóhatást vizsgáltam. Erre is alkalmas volt a sorbanállási modell, ugyanis ezzel a módszerrel lehetőség van olyan ellenőrzések végrehajtására, ami releváns eredményeket ad, mint például a sorban várakozók száma, várakozási idejük nagysága a rendszer jóságára vonatkozóan állomásonként. Beláttam végezetül, hogy a felállított modell alapján torlódás nem alakul ki a vizsgált állomásokon így a rendszer működőképes.

A dolgozat eredményeképpen meg tudtam határozni a kiválasztott metróvonalakon az egyes állomások specifikus szempontjait figyelembe véve a telepítendő beléptető kapuk számát.

Források

- [1]BKK Zrt. (2011). *BKK Elektronikus Jegyrendszer Megvalósíthatósági Vizsgálat*. Budapest.
- [2]KSH. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 31, forrás: <http://www.ksh.hu/interaktiv/terkepek/mo/nepesseg.html?mapid=WNT001>
- [3]BKK. (2014. szeptember 11). Forrás: www.bkk.hu: http://www.bkk.hu/wp-content/uploads/2014/09/KTE_Balatonfenyves_VD_20140811.pdf
- [4]Esztergár-Kiss Domokos, V. D. (2015). Elektronikus díjrendszer a magyar közösségi közlekedésben. *Közlekedéstudományi Szemle*, old.: 1-11.
- [5]www.bkk.hu. (2015.. október 08.). Letöltés dátuma: 2015. október 25., forrás: <http://www.bkk.hu/2014/10/alairtak-az-elektronikus-jegyrendszer-szallitoi-es-uzemeltetoi-szerzodeset/>
- [6]<http://www.turnstilesupplier.com/>. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 24., forrás: <http://www.turnstilesupplier.com/>
- [7]www.snapguide.com. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 23, forrás: <http://snapguide.com/guides/use-a-wide-aisle-gate-on-the-london-underground>
- [8]<http://www.goukaseishi.com>. (2011. 10 06). Letöltés dátuma: 2014. július 23., forrás: <http://www.goukaseishi.com/2011/10/06/trip-to-london-day-2-p3>
- [9]<http://mic-ro.com>. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 23., forrás: <http://mic-ro.com/metro/farecollection.html>
- [10]<http://mno.hu>. (2012. 11. 04.). Letöltés dátuma: 2014. július 23., forrás: <http://mno.hu/belfold/hamarosan-vege-a-bliccelesnek-1211041>
- [11]<http://citytransport.info>. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 23., forrás: Kép forrása: <http://citytransport.info/Fares2.htm>
- [12]<https://www.thalesgroup.com>. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 23., forrás: <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/transportation/press-release/amsterdam-thales-install-its-new-generation-ticket-gate-new>
- [13]István, B. (2000). *A budapesti metróközlekedés három évtizede*. Budapest: Aba Botond.

- [14]Füzesi L., H. L. (2009). *Előterjesztés a Budapesti Közlekedési Zártkörűen Működő Részvénytársaság vezetői értekezletére*. Budapest.
- [15]Vállalat, K. D. (1979). *Metró Tervezési Irányelvek*. Budapest.
- [16]S.P. Hoogendoorn, W. D. (2004). *Design Assesemen of Lisbon Transfer Stations using Microscopic Pedestrian Simulation*. Dresden.
- [17]Martin Dresner, R. W. (2002). Airport Barries to Entry in the US. *Journal of Transport Economic and Policy*, 389-404.
- [18]István, H. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 22., forrás: http://www.sze.hu/~harmati/Sztochasztikus%20folyamatok/sztocha_08.pdf
- [19]D. Reidel, M. N. (1994). *Mathematical Methods in Queuing Theory*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- [20]János, D. S. (2011). *A sorbanállási elmélet alapjai*. Debrecen.
- [21]Béla, D. D. (2013). *Tömegkiszolgálás, sorbanállás*. Budapest.

Ábrajegyzék

1. ábra Néhány jelenleg is létező kaputípus.....	12
2. ábra New York egyik metróállomásán lévő beléptető kapuk	15
3. ábra Londoni beléptető kapu kártyaolvasója	15
4. ábra Londoni beléptetőkapuk.....	16
5. ábra A párizsi beléptető kapuk.....	16
6. ábra Régi budapesti beléptető kapuk	17
7. ábra Amszterdami kapuk 1	18
8. ábra Amszterdami kapuk 2	18
9. ábra A mozgólépcső és beléptető kapu vezérlés működése	19
10. ábra A munkafolyamat ábrázolása.....	38
11. ábra M2 vonal maximális utasforgalmi értékei	39
12. ábra M3 vonal maximális utasforgalmi értékei	40
13. ábra Kapuk számának megoszlása előzetes becslés alapján az M2 vonalon.....	42
14. ábra Kapuk számának megoszlása előzetes becslés alapján az M3 vonalon.....	43
15. ábra Batthyány tér állomás	53
16. ábra Batthyány tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése	53
17. ábra Astoria állomás	54
18. ábra Astoria tervezett beléptető kapuk elhelyezése	55
19. ábra Blaha Lujza tér állomás	56
20. ábra Blaha Lujza tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése	56
21. ábra Örs vezér tere állomás.....	57
22. ábra Örs vezér tere végállomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése	57
23. ábra Határ út állomás	60
24. ábra Határ út állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése	60
25. ábra Ecseri út állomás	61
26. ábra Ecseri út állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése	62
27. ábra Klinikák állomás	63
28. ábra Klinikák állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése	63
29. ábra Ferenciek tere állomás	64
30. ábra Ferenciek tere állomás beléptető kapuk elhelyezése	65

Táblázatjegyzék

1. táblázat Vonalak adatai	9
2. táblázat Érintettek bemutatása	9
3. táblázat Sorbanállási modell matematikája.....	30
4. táblázat Eltérések vizsgálata a K-Ny-i vonalon	46
5. táblázat Eltérések vizsgálata a K-Ny-i vonalon	47
6. táblázat A kapuszám első korrekciója a 2-es metróon.....	48
7. táblázat A kapuszám első korrekciója a 3-as metróon.....	49
8. táblázat Az elhelyezhetőség problémáinak feltárása M2 vonalon.....	51
9. táblázat Várható kapuszám állomásonként.....	58
10. táblázat Az elhelyezhetőség problémáinak feltárása M3 vonalon.....	58
11. táblázat Várható kapuszám állomásonként az M3 vonalon.....	65
12. táblázat: Pufferterületek méretének ellenőrzése a kritikus állomásokon.....	67
13. táblázat Poisson számítás összefoglalása néhány állomáson.....	68