



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

DIPLOMATERV

**Állomási beléptető kapuk elhelyezésének vizsgálata a
budapesti metróhálózaton**

2015

Absztrakt

A hallgató a dolgozatban a budapesti metróhálózaton vizsgálja az elektronikus jegyrendszer bevezetéséhez kapcsolódóan a metróállomások beléptető kapukkal történő lezárhatóságát és annak feltételeit. Továbbá a dolgozatban esettanulmányokat hoz néhány állomás leendő kialakítására.

A metróállomások lezárhatóságának vizsgálata jelenleg Budapesten futó közlekedési projekt. A jelenleg alkalmazott rendszer hátránya, hogy az állomásokon a jegyellenőrzést személyzettel végzik, mely nem hatékony a bliccelőkkel szemben, és jelentős munkaerő ráfordítást igényel. Az új rendszer a munkaerő egy részét kiválthatja, és számos további előnnyel rendelkezik, mint például utasforgalmi statisztikai adatok nyelésére.

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 metróüzem számára fontos adatokat határoz meg vele. Ilyen például a beléptető kapuknál a várakozási idő és a sor hossza. A metró fokozottan veszélyes üzem ezért a hallgató ezt figyelembe véve többször ellenőrző iteratív számításokat végez a biztonságos és egyben hatékony rendszer kialakításának érdekében.

Ezek után bemutatásra kerül néhány kiválasztott állomáson a beléptető kapuk javasolt elrendezése. A tervezésnél fontos szempont, hogy a lehető legszélesebb keresztmetszeten helyezzük el a kapukat és legnagyobb puffterületet biztosítsuk a biztonságos gyalogosáramlás érdekében. További szempont volt az is, hogy az állomások szerkezetéhez ne kelljen hozzányúlni, csak a kisebb beavatkozásokat végezzük el, például üzletek elbontása.

Az új jegyrendszerhez kapcsolódóan a metróállomásokon alkalmazandó technológia a fővárosi közösségi közlekedés minőségét, megítélését javítja, üzemi és forgalmi szempontból pedig jelentős fejlődés a szolgáltató számára.

Köszönetnyilvánítás

A dolgozat képeinek elkészítése és az ellenőrző utasszámlálásban történő közreműködése kapcsán Gelencsér Ádám forgalmi vezénylőnek segítségét szeretném megköszönni. Az AutoCad fileok rajzolásában Szűcs Tibor forgalmi ellenőrnek közreműködését köszönöm. Továbbá a BKK Zrt. által rendelkezésre bocsátott anyagok kapcsán Győrváry Lászlót is köszönet illeti.

Tartalom

1	Bevezetés	5
2	Beléptető kapuk működésének általános bemutatása	10
2.1	Jelenleg piaci forgalomban lévő kapuk.....	11
2.2	Alkalmazott példák	13
2.2.1	New York City Subway	13
2.2.2	London	14
2.2.3	Párizs.....	15
2.2.4	Brüsszel.....	16
2.2.5	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	69
5	Pufferterület ellenőrzése	97
5.1	Szimulációs példa vizsgálat az Astoria állomáson.....	101
6	Összefoglalás	109
	Források	112
	Ábrajegyzék	114
	Táblázatjegyzék	117

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. [5]

Ennek a fizetési módnak a bevezetésére lehetőséget ad a metróvonalak az állomásainak beléptető kapukkal történő zárttá tétele. A hálózat többi alágazatához képest zártabb formája 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 bevételkiesés csökkentésében, viszont ennek hatékonysága korlátos. 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. [5]

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 mozgólépcső 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. [6] 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 beléptető kapuk számára,
- állomásonként szükséges részletesen kidolgozni az elhelyezhetőséget,
- hány vezérlő számítógépre lesz szüksége a BKV Zrt.-nek az üzemeltetéshez.

A 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.
- 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 legyek 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 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.

¹ Forrás: BKV belső adatok

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

Érintett	Projektben való érintettsége
Fővárosi Önkormányzat	vagyongazdálkodó, 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. Havarria 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 ábrán 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: [7])

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 korlátozott 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. [7]

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: [8])

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: [9])



4. ábra Londoni beléptető kapuk
(Forrás: [9])

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.

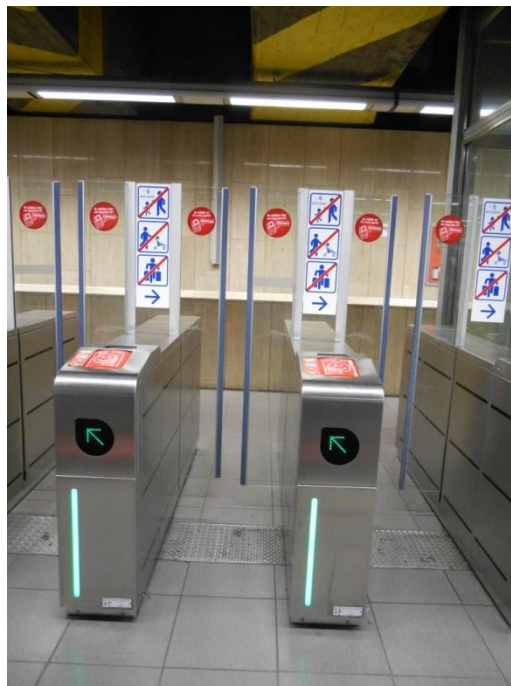
Jól látható helyen fel van tüntetve a kapukon az áthaladás iránya. Szükség esetén a Forgalmi szolgálattevő ezt megfordítja.



5. ábra A párizsi beléptető kapuk
(Forrás: [10])

2.2.4 Brüsszel

Belgium fővárosában számos helyen alkalmaznak beléptető kapukat, nemcsak metróállomásokon, hanem a földalatti villamos megállóiban egyaránt. A városban, csúszószárnyas kapukat alkalmaznak. Check-in művelet kötelező, minden kapu rendelkezik leolvasó készülékkel, bizonyos kapuk előtt hagyományos elektronikus jegykezelő készülék is található. A kihaladási művelet során check-out nincs, az ajtók fotocellás elven nyílnak. Átszállásnál csak az új viszonylatra történő felszállás előtt kell ismételtlen érvényesíteni. Több egymás után érkező utas esetén a kapuk nem záródnak teljesen, hanem visszanyílnak. Csoportos utazásnál (tarifarendszer függvényében) a csoport létszáma alapján a kapu addig tart nyitva, míg a létszámnak megfelelő utasszám át nem haladt. Az állomásokon saját tapasztalataim alapján (hétvégén) a belvárosi megállóiban a kapuk kihasználtsága alacsony, mivel minden kijáratnál több eszköz is telepítésre került. A kapuk közt lévő üvegfalak nyithatók, szervizkapuként is működnek.



6. ábra Brüsszel, Gare du Midi
(Forrás: Saját fotó)

2.2.5 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.



7. ábra Régi budapesti beléptető kapuk
(Forrás: [11])

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 bezártságérzet 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.



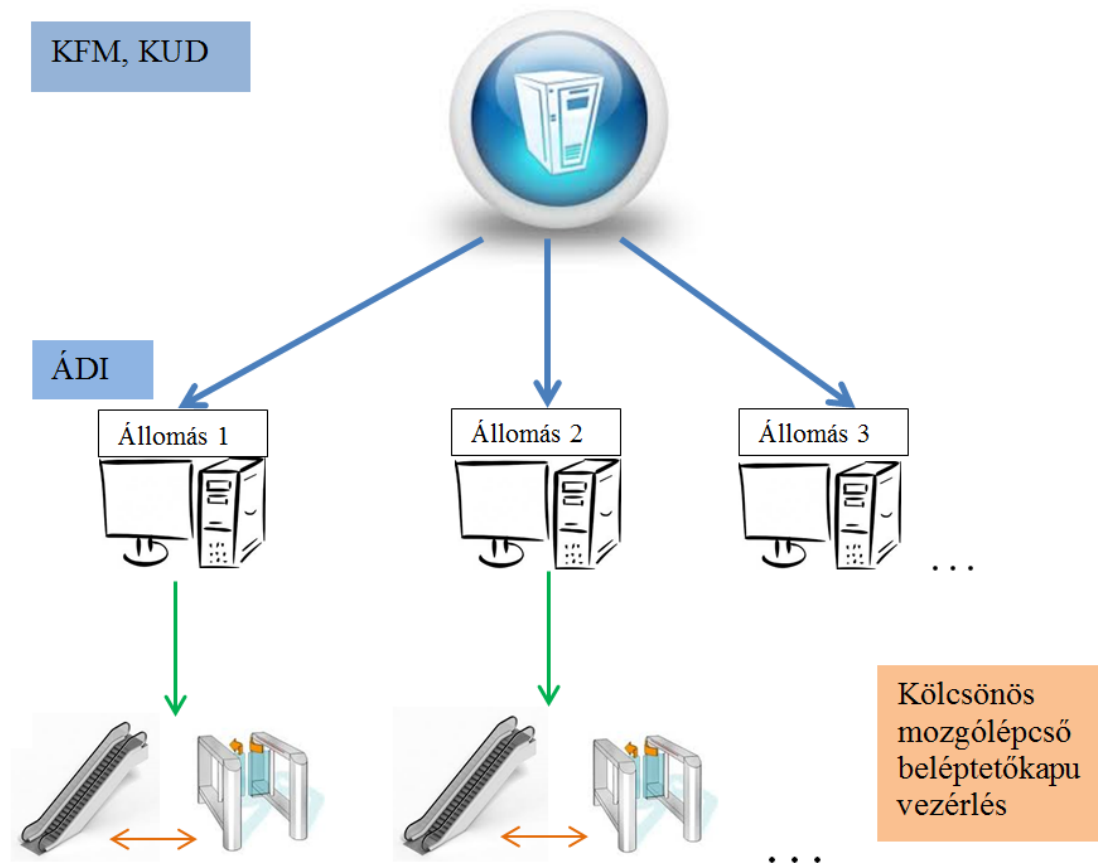
8. ábra Amszterdami kapuk 1
(Forrás: [12])



9. ábra Amszterdami kapuk 2
(Forrás: [13])

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.



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

A 9. ábrán látható topológia a beléptető kapuk s 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) [14]. A kritikus terhelést az állomások kiürítése, a beérkező szerelvényekről leszálló utasok által kifejtett lökészerűen mutakozó 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. [14] [15]
- **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 átbecsájtja, az áthaladókat nem kényszeríti késlekedésre.
- A kapuk számának a mozgólépcső szállítókapacitásával úgy kell összhangban 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 átbecsátóképességet.
- Hasonlóan a mozgólépcső tervezéshez a beléptető kapuknál is tekintettel kell lenni az üzemszerű karbantartásokra, de a felmerülő meghibásodásokra is. Ezért minden állomás minden lejáratahoz 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. [14]

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.[14]

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): [15]

- 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. [16] 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 kijárata 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 visszatörlesztő 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):

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

Fontos szempont, hogy a vágánykapcsolatos állomásokon, azaz amelyeken vonatfordítás történhet vágányzár vagy egyéb forgalmi zavar esetén, célszerű növelni a kapuk számát a technológiai előíráshoz képest, mivel ilyen esetben ezek az állomások végállomási funkciót látnak el, valamint itt történik meg a metrópótló autóbuszra történő átszállás. Ekkor nagy utastömeg jelenik meg minden irányban, ezért sokkal nagyobb odafigyelést igényel az utastájékoztatás is, a továbbutazási lehetőségekről, de a kapuk használatával kapcsolatban is, hogy ne torlódjanak a peronon az utasok. E tervezési szempontot az állomásokon az elhelyezés vizsgálatnál kell figyelembe venni.

3 Matematikai modell bemutatása

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. [17] Esetük annyiban könnyebb, hogy a 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. vonatkoztak. 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 a 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 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 folyosójánál 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 puffer területen 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. [18] 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 idejükre vonatkozóan. Ezért ezt a teljeskörű számítási módszert használok 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 idői 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: [19])

A	B	m	k	n	P
az egymást követő beérkezett igények között eltelt idő	Kiszolgálási idő	kiszolgálási egységek (szervek, ablakok, kapuk száma)	rendszer befogadóképessége (véges vagy végtelen)	igényforrások száma (véges vagy végtelen)	kiszolgálási protokoll
D: determini-	D: determini-	1: egy			FIFO/LIFO

sztikus (konstans)	sztikus (konstans)	kiszolgáló egység			általában FIFO
M: exponenciá- lis (Poisson folyamat, beérkezés markovi)	M: exponenci- ális (Poisson folyamat, beérkezés markovi)	m: véges számú kiszolgáló egység			véletlen- szerű
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: [19] [20]

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

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 [21]:

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

ahol P_0 annak stacionárius valószínűsége, hogy a rendszer tétlen vagyis nincs utas a rendszerben [20] [21].

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 [22].

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 [18]. 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. [21] [22]

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 puffertérület 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).

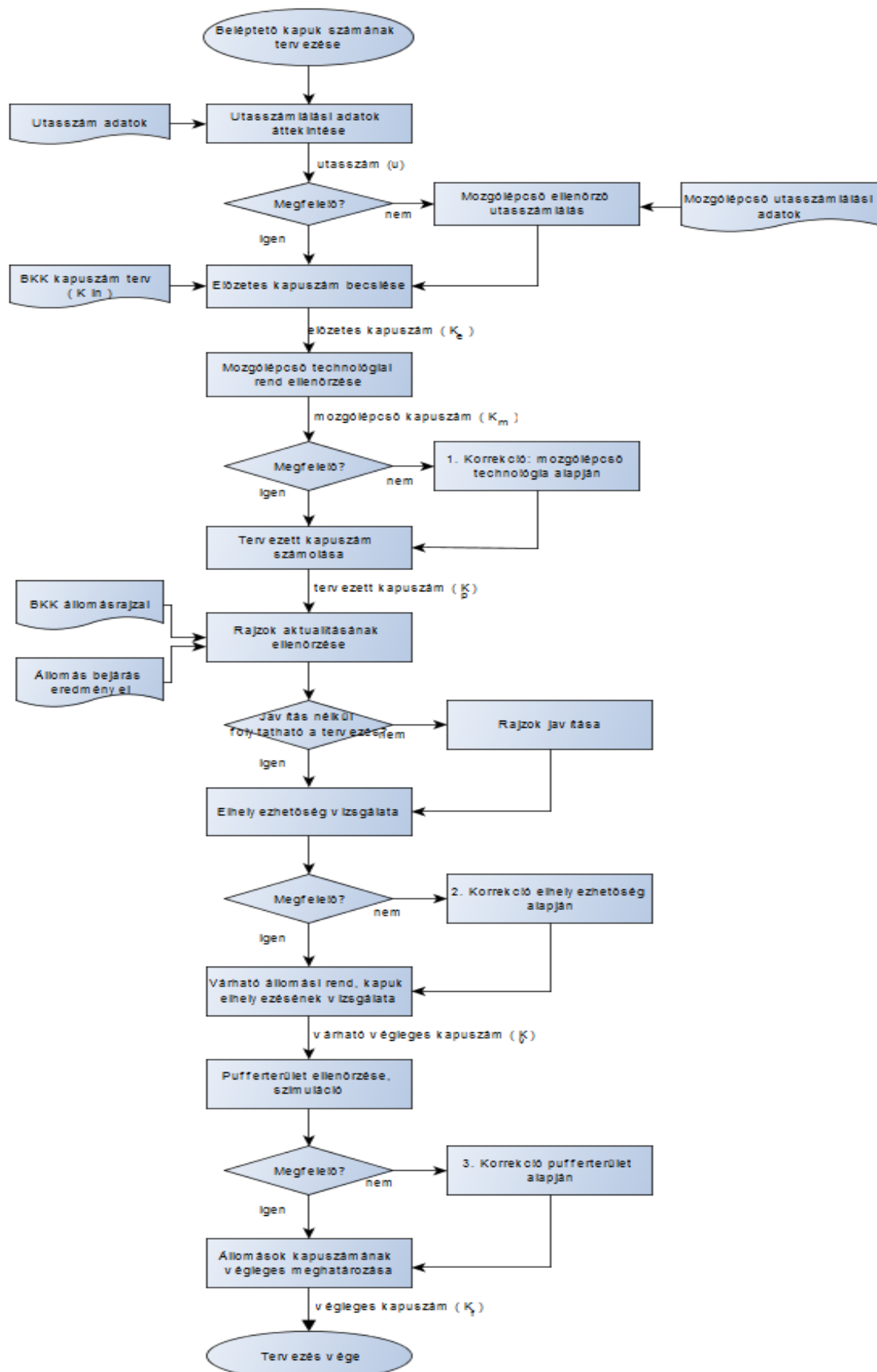
A teljes számítási eljárást a 10. ábra mutatja be.

4.1 Utasszámlálási adatok elemzése

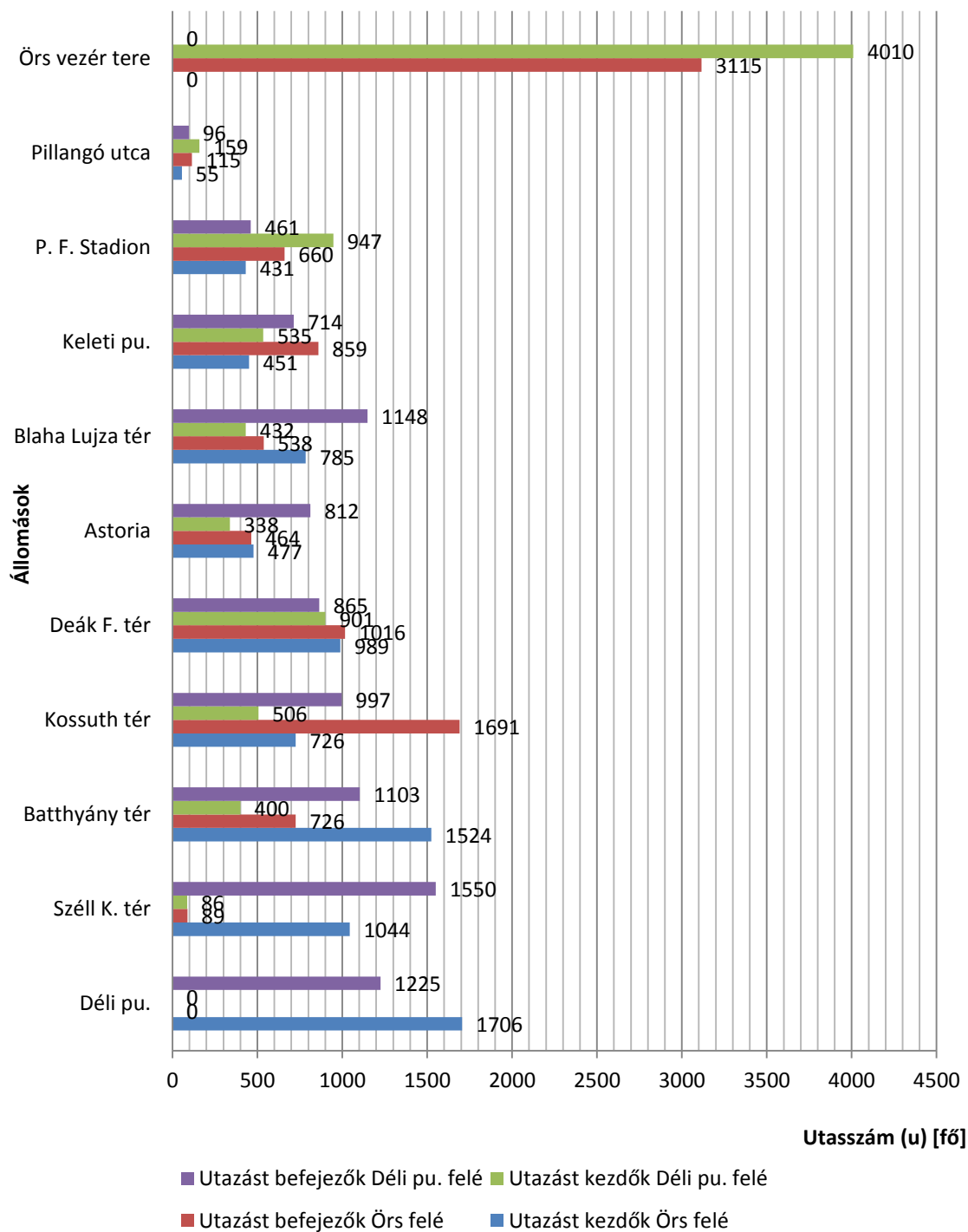
Keresztmetszeti utasszámlálást legutoljára 2012-ben végeztek Budapest metró-hálózatán, ahol irányonként rögzítve lett az utazást kezdők és befejezők száma. Tehát szekunder forrásadatokból számolok, melyek a BKV Zrt. korábbi felméréseiből is származnak. Az utasszámlálási adatok értéke óránkénti és negyedóránkénti 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.

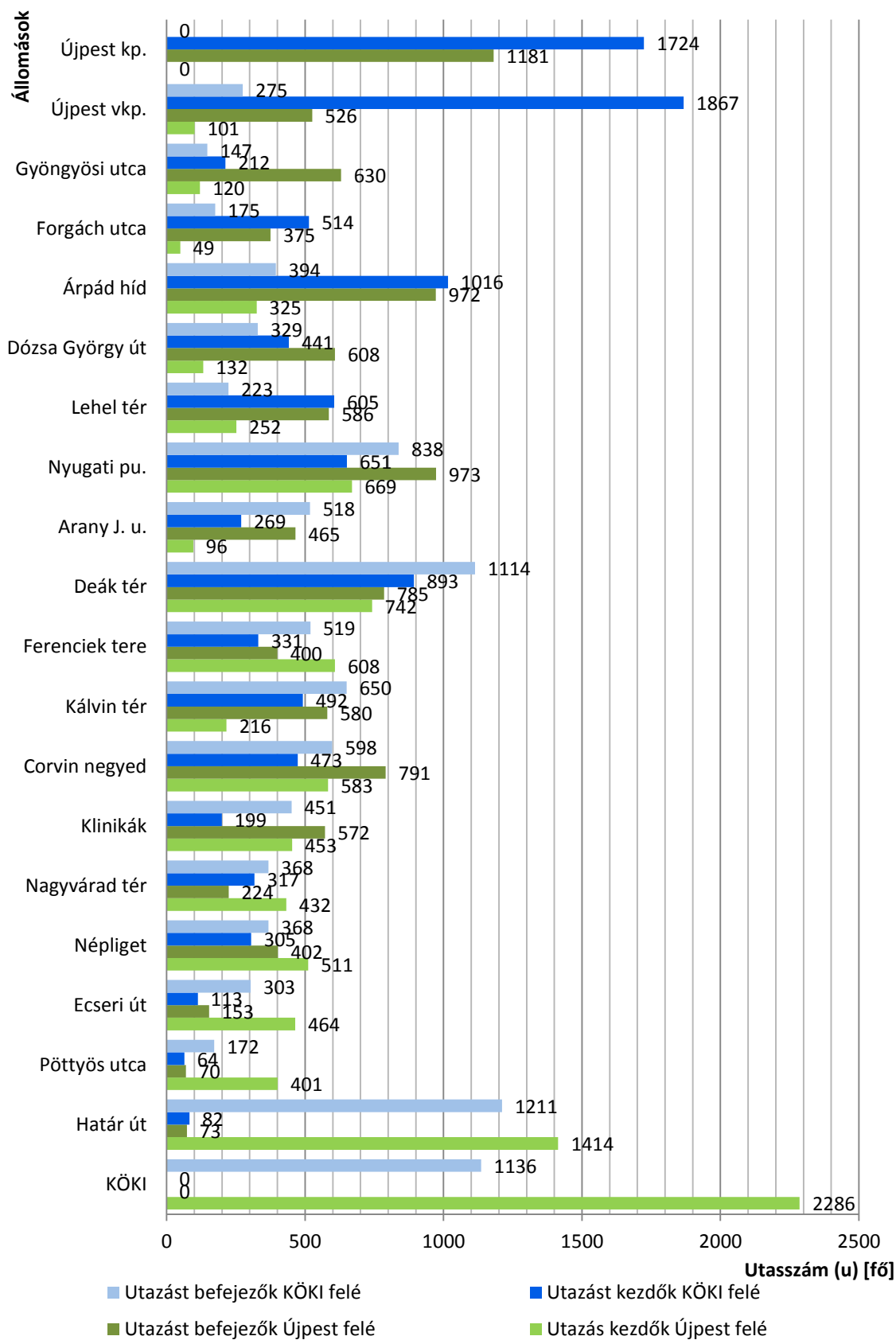
A rendelkezésre álló utasforgalmi keresztmetszeti eredmények alapján az M2 és M3 vonalon folytattam számításokat.



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



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



13. 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.

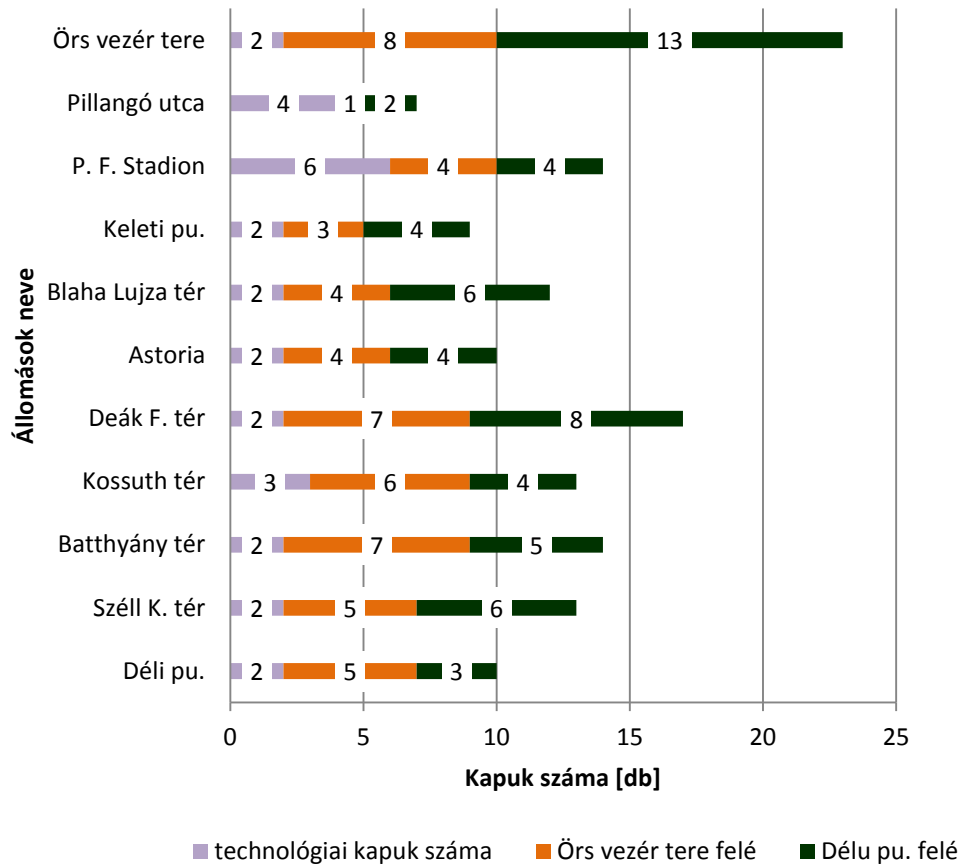
4.2 Előzetes kapuszám becslés a sorbanállási modell alapján

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.

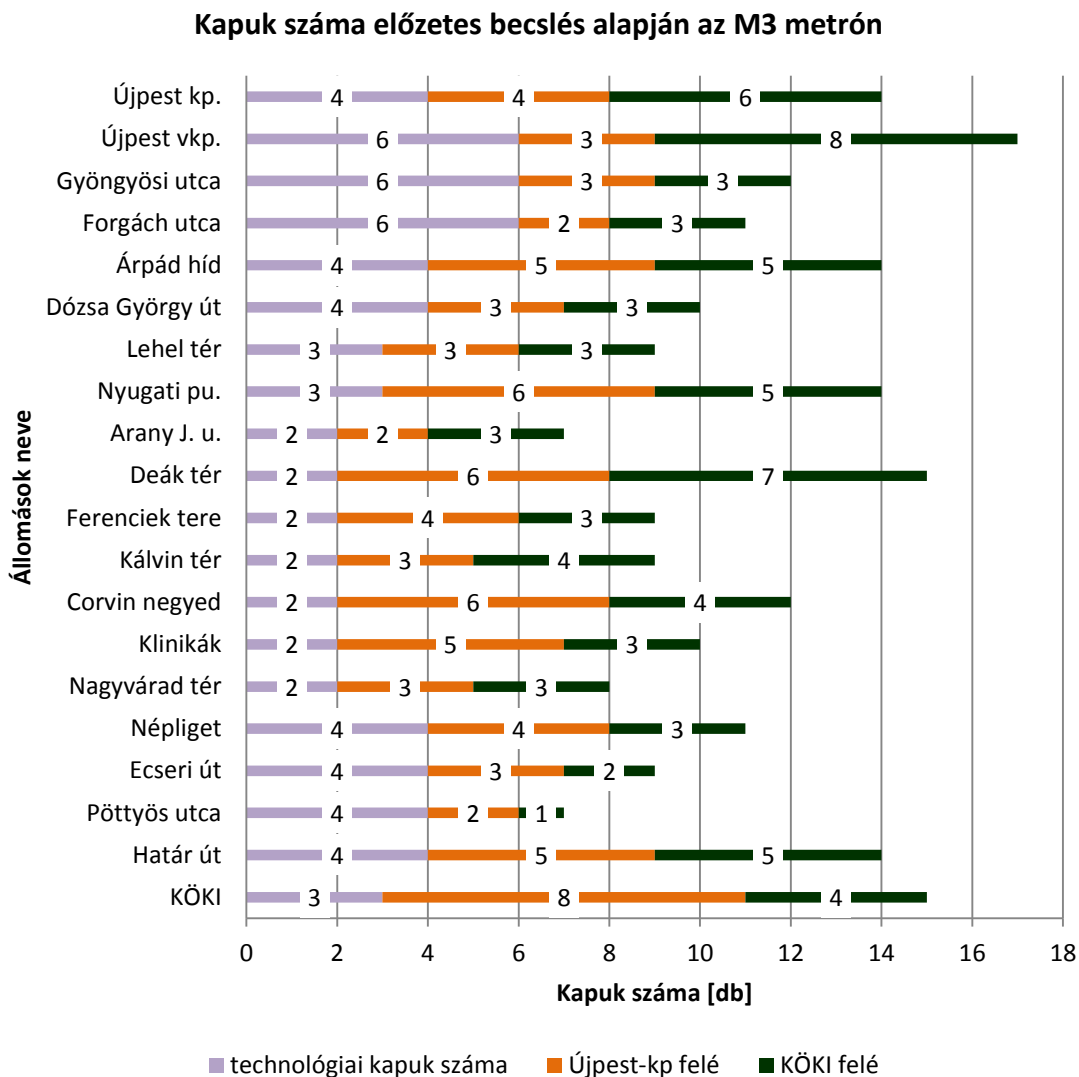
E tapasztalatok alapján 20 fő/perc elméleti kapacitásra (μ) határoztam meg az egyes állomások beléptetőinek számát.

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.

Kapuk száma előzetes becslés alapján az M2 metróon



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



15. 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:

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

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		14
Pöttyös utca	nem			7		7
Ecseri út	nem			9		9
Népliget	nem			11		11
Nagyvárad tér	nem			8		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		9
Dózsa György út	nem			10		10
Árpád híd	nem			14		14

Forgách utca	nem			11		11
Gyöngyösi utca	nem			12		12
Újpest-városkapu	nem			17		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 tartoznak átépítési javaslatok is, amennyiben indokolt.

A kapuk méretének számításához az *Optical Turnstiles* típusút választottam. Ezt a típust széleskörűen alkalmazzák közlekedésben, ugyanis mind a kaputest méretében, mint pedig az ajtószárny kialakításban flexibilis. A kínálatukban 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 kapu szélessége: 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 célszerű lenne olyan kaputípust választani, ami keskenyebb gépházzal rendelkezik, vagy számos állomás esetében alternatív javaslatokat kell tenni, például aluljáróban történő elhelyezésre.

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 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			

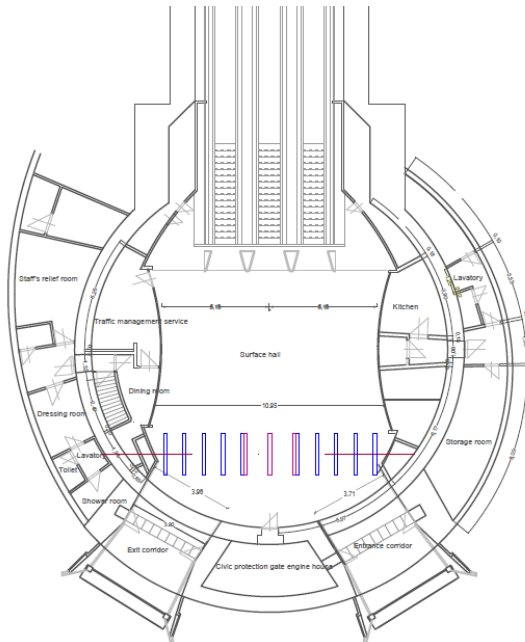
Az alábbiakban megvizsgáltam részletesen, néhány állomási példán keresztül, miként lehet elhelyezni a kapukat. A tervezett kapuszám elfér-e, valamint szükséges-e további korrekciója az állomási kialakítás, sajátosság miatt. Ez a két vizsgálat foglalja magában a kapuszám második, elhelyezhetőség vizsgálati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

Déli pályaudvar

A vonal kezdőpontja a Déli pályaudvar. Az utasterheltség a vonatok beérkezésétől függ, sztochasztikus. Az állomás a pályaudvar aluljáróból érhető el, szűk keresztmetszetű folyosón két passzázs ajtón keresztül. Ez a szűk keresztmetszet meghatározza a kapuk elhelyezhetőségét. Az utasszámok és a mozgólépcső technológia alapján $K_p=10$ kapu elhelyezése indokolt. A két bejárat rendre 3,71 és 3,96 [m], az állomás két legtávolabbi pontja között pedig 10,95 [m] keresztmetszet áll rendelkezésre. Az állomáson kettő széles kapu indokolt a csomaggal utazók miatt, ezen felül nyolc normál kapu elhelyezésére van lehetőség.



16. ábra Déli pályaudvar, végállomás
(Forrás: saját fotó)



17. ábra Déli pályaudvar tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

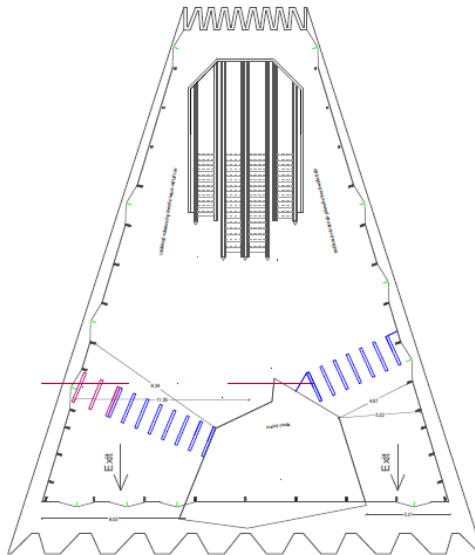
Széll Kálmán tér

A téren található utasforgalmi létesítményben (legyező alakú csarnok) érkeznek föl a metróállomásról az utasok, valamint innen haladnak le a peronszintre. A csarnok utcai szintjén a tér két részre oszlik a középső forgalmi szolgálati hely miatt, ezért két kijáratral rendelkezik ugyanazon irányba. A jobb oldali átlagosan 5-6 [m], míg a bal oldali kb. 10 [m] széles folyosó, az épület geometriájának függvényében. Az előzetes számítások alapján $K_p=13$ kapura van szükség, ez a mozgólépcső technológiának

megfelel (K_m). Az állomás osztott bejárata miatt a kapuk úgy lettek elosztva, hogy a jobb oldalra 6, a balra pedig 7 normál és 2 széles kapu kerül elhelyezésre. Mindkét oldalon be és kijáratirányú kapuk szükségesek. Összesen a várható kapuszám (K_v) 15, melyek 160 [mm] és 300 [mm] kaputesttel számolva is elférnek a csarnokban az új eszközök.



18. ábra Széll Kálmán tér állomás
(Forrás: Saját fotó)



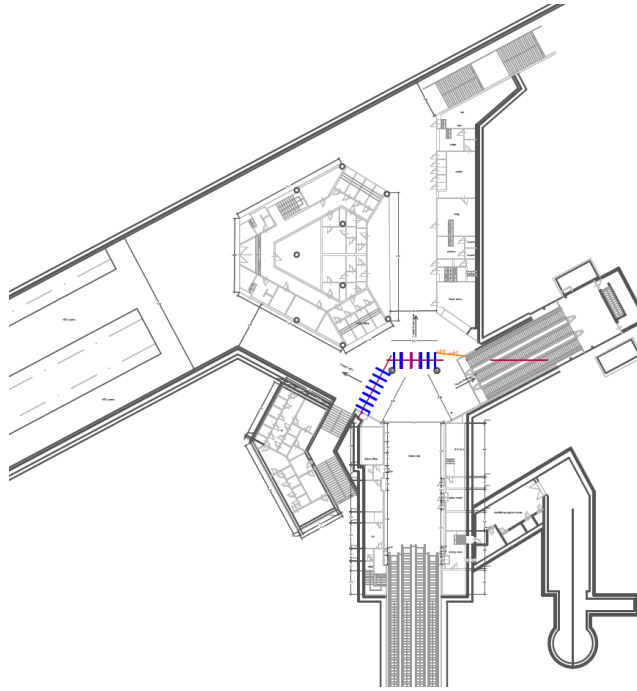
19. ábra Széll Kálmán tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

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 peronszinti 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. A 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 $K_v=17$ beléptető kapu lehetne a Batthyány téren telepítve, melyek 160 [mm] és 300 [mm] kaputesttel számolva is elférnek.



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



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

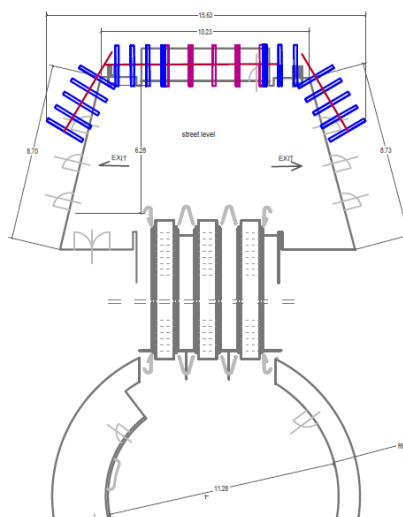
Kossuth tér

Az állomáson a korábbi tervek alapján a megrendelő 12 [db] kapu elhelyezését javasolja. A tervezett kapuszám viszont 13 kapu elhelyezését írja elő minimálisan. Az állomás két kijárattal rendelkezik. Mindkét kijárat oszloppal tagolt, mely meghatározza a rendelkezésre álló keresztmetszetet. Az ellenőrző utasszámlálás alapján a 2009. évi utasszámláláshoz képest az állomás forgalma jelentősen csökkent kb. 40 %-kal. Ez kevesebb kapuigényt is megenged a tervezett (K_p) értékhez képest, mindössze 8 kaput. Ugyanakkor ez az érték kevesebb a mozgólépcső technológia alapján előírt $K_m=10$ értéknél, mely minimálisan szükséges. Figyelembe véve, hogy a Kossuth tér turisztikai célpont, emellett számos rendezvénynek otthont adó helyszín az utasterheltség az állomáson időszakosan változik, kiugró is lehet. Ez alapján a villamos megálló és a Duna-parti kijárat felé is 5 normál és 1 széles, összesen $K_v=12$ kaput célszerű telepíteni. Utóbbinál a meglévő üzlet átépítése, elbontása szükséges.

kijárata az elosztó csarnokból a Sütő utca felé három mozgólépcsőn vezet a felszínre. Itt található egy üvegépület, mely a főváros tervei alapján felújításra fog kerülni, figyelembe véve a városépítészeti adottságokat. A tervekapszám $K_p=17$ az utasszám alapján. Ez túl nagy mennyiségű kapu ahhoz, hogy egy sorban kerüljön elhelyezésre, ezért trapéz alakban célszerű elhelyezésük, a tervezési irányelvek szem előtt tartásával 6 [m]-re a mozgólépcső tetejétől. Jobb és baloldalon 4-4 normál a mozgólépcsővel szemben (a Sütő utca irányába) pedig 5 normál és 4 széles keresztmetszetű kapu elhelyezése javasolt. Így összesen a tervekapszámnak megfelelően $K_v=17$ kapu telepíthető 15,63 [m] maximális szélességen.



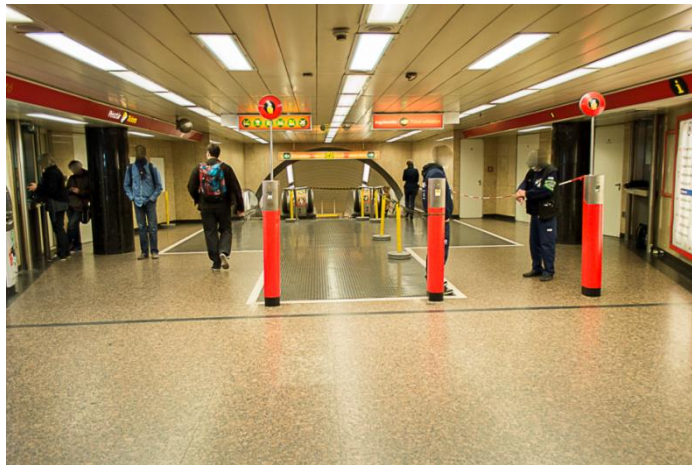
24. ábra Deák Ferenc tér állomás (Sütő utca kijárat)
(Fotó: Gelencsér Ádám)



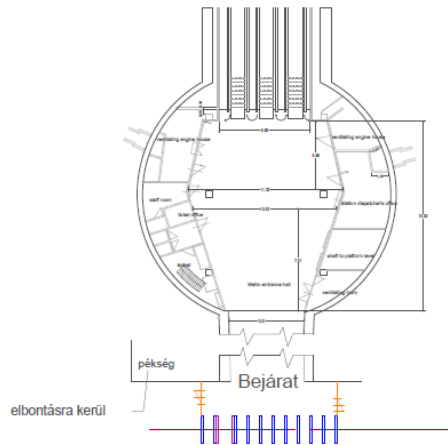
25. ábra Deák Ferenc tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

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 kijárat csarnok alapterülete hatszög geometriájú. A Metró Tervezési Irányelvek alapján a mozgólépcső tetejétől legalább 6 [m] távolságon belül telepített akadály nem lehet, így a kapuk elhelyezhetőségének vizsgálata a legszélesebb keresztmetszeten (11,3 m) történhet. Azonban e legszélesebb keresztmetszeten nem lehet beléptető kaput telepíteni az állomás építészeti adottságai miatt, melyek nem bonthatóak el. Többek között ezért is a kijáratához közelebb egy 8,55 [m] széles keresztmetszeten kell elhelyezni a kapusort. Az előzetes kapuszám-bebecslés alapján legalább 10 kapu beépítésére van szükség, mely kapuk a 160 [mm]-es kaputest esetében sem férnek el. Ez a kapumennyiség 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 alujáró csarnokban.



26. ábra Astoria állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



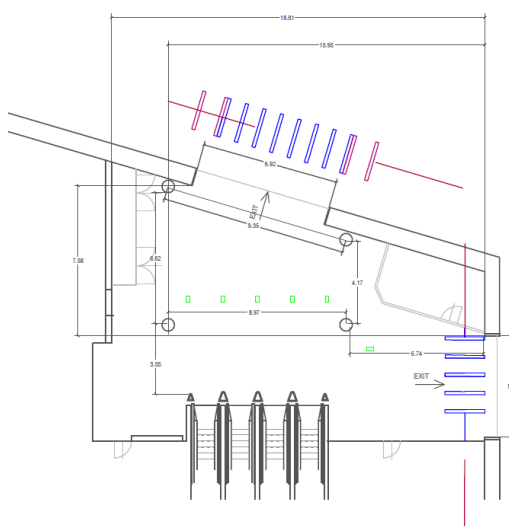
27. ábra Astoria tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

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 $K_p=13$ 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 $K_v=14$ 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 (kamerával, vagy biztonsági személyzettel). Ez akár az aluljáró lezáráshoz 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.



28. ábra Blaha Lujza tér állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



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

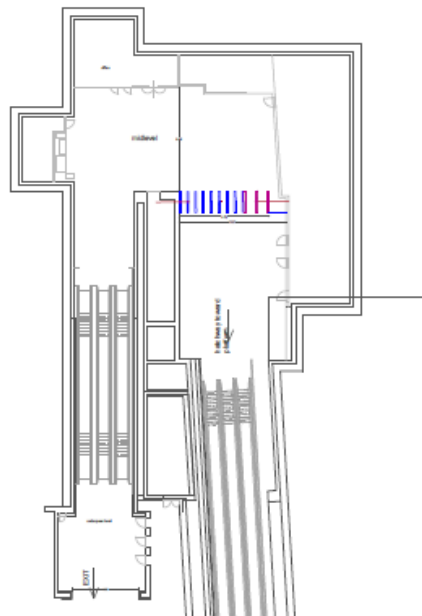
Keleti pályaudvar

Az állomás szerepe az M4-es metró átadásával változott, fontosabb átszállási csomópont lett, mint korábban, ugyanis nem csak a vonattal érkezők szállnak át, hanem az új DBR vonal beindításával Zugló és az Örs vezér tere felől érkezők, valamint arra felé utazók is. Az új metró megépítésével a tér szerkezete átalakult, számos lejárát épült az aluljáró szint felé. Az állomáson épült egy második kijárat az M4-es metró felé átszállók miatt, így az állomáson áthaladó utastömeg megoszlik a két kijáraton. Valószínű emiatt is csökkent le az állomás főbejáratán áthaladó utasszám mintegy 50%-kal, de a felszíni járatok kínálat bővítése is hozzájárult ahhoz, hogy az autóbusszal érkezők tovább utaznak Zugló felől illetve felé. Az előzetes utasszámlálások és a

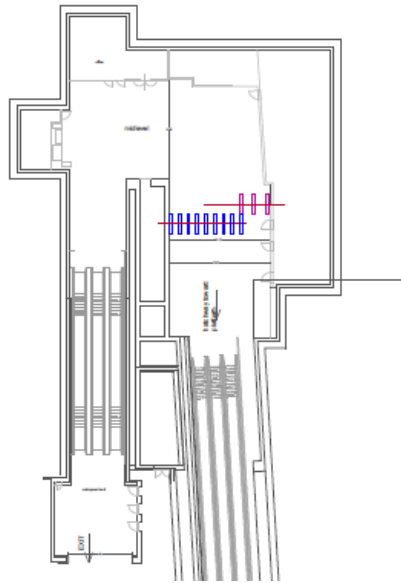
mozgólépcső technológia alapján az állomáson $K_p=10$ kapu elhelyezése indokolt. E kapuk a két mozgólépcső közötti úgynevezett galéria szinten kerülnek elhelyezésre az ÁDI szolgálati helyisége előtt 10,31 [m] keresztmetszeten. Itt a 10 kapu egy sorban csak akkor fér el, ha lengőszárnyas kapuk (flap gate) kerülnek elhelyezésre, amennyiben csúszóajtós, akkor a széles kapukat eltolva kell elhelyezni.



30. ábra Keleti pályaudvar állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



31. ábra Keleti pályaudvar tervezett beléptető kapuk elhelyezése 160 mm széles kaputest esetén
(Forrás: BKK, átszerkesztett)



32. ábra Keleti pályaudvar tervezett beléptető kapuk elhelyezése 300 mm széles kaputest esetén

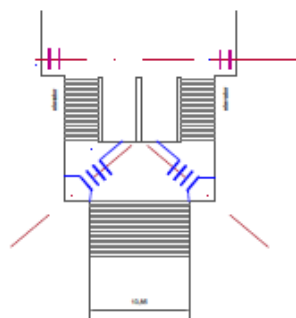
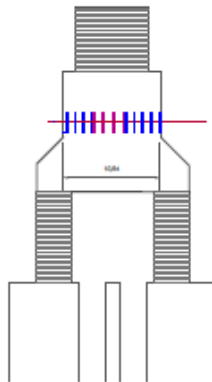
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Puskás Ferenc Stadion

Az állomás eredetileg a H8/H9 HÉV járatok végállomásául is szolgálna, ezért 4 vágánnyal rendelkezik. A metró jelenleg a két szélső vágányra érkezik, mindkettő mellett középperon található, melyek a „HÉV” vágányokkal határoltak. A belső vágányokat a forgalmi rend szerint csak fordításra vagy tárolásra használják. Ezért a számításnál két külön peronnal kellene számolni (mint a szélső peronos állomásoknál), viszont az érkező csarnok közös a két iránynak mind a két oldalon. Az állomás ezért vágányzár alatt ideiglenes végállomásként üzemel, mely funkciónak köszönhetően ez esetben az utasszám jelentősen megnő az adott időszakban. Az állomás két kijáratral rendelkezik: a nagyobb forgalmú a Hungária körút felé vezető kijárat 10,54 [m], a másik kisebb forgalmú a Dózsa György utcai 10,85 [m]. Így a tervezett $K_v=16$ kapu úgy kerül elosztásra, hogy a Hungária körút felé 7+3 széles, a Dózsa György út felé pedig 6 kapu kerül elhelyezésre. A nagyobb forgalmú Hungária körúti kijárat vezet az autóbusz állomás felé, ezért indokolt ott a több kapu, valamint a nagy csomaggal érkező utasok miatt több széles kapu is. 160 [mm] és 300 [mm] kaputesttel számolva is elférnek a csarnokban az új készülékek.



33. ábra Puskás Ferenc Stadion állomás
(Forrás: Saját fotó)



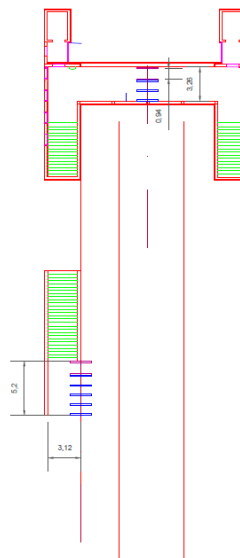
34. ábra Puskás Ferenc Stadion tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Pillangó utca

A megálló felszíni, szélsőperonos elrendezésű, a vonalon a legalacsonyabb utasforgalmú, jellemzően tömeg a peronokon nem alakul ki, nagy terheltségre nem kell számítani. A megálló közelében található a Kerepesi út felől a Róna utcai lakótelep, a jobb peron mellett viszont állandó utasvonzó létesítmény nincs. A jobb peronról felüljárón át lehet a lakótelep felé haladni. A felüljáró folyosója 3,26 [m] széles, ez szűknek mondható, ugyanis az irányonként egy-egy normál kapu mellett a széles kapu csak 0,9 [m] kapu átjáró szélesség esetén fér el. A bal peron melletti bejárat 5,2 [m] keresztmetszetű, itt négy normál kapu (ebből egy tartalék) és egy széles kapu elfér.



35. ábra Pillangó utca állomás
(Forrás: Saját fotó)



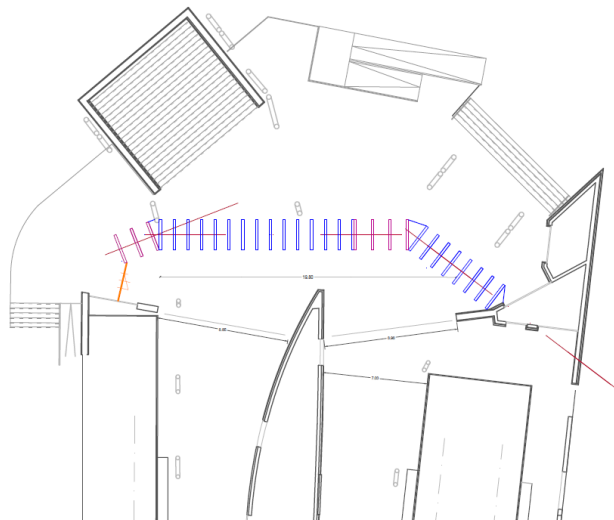
36. ábra Pillangó utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

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 várható 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.



37. ábra Örs vezér tere állomás
(Forrás: Saját fotó)



38. 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				Várható kapuszám	Ebből széles	Eltérés vizsgálat az előző korrekcióhoz képest	
	1. kijárat	2. kijárat	3. kijárat	4. kijárat			Terv kapuszám	Bekövetkezett eltérés
Déli pályaudvar	10				10	2	10	0
Széll Kálmán tér	9	6			15	2	13	2
Batthyány tér	6	5	6		17	2	14	3
Kossuth Lajos tér	6	6			12	2	13	-1
Deák Ferenc tér	17				17	4	17	0
Astoria	10				10	1	10	0
Blaha Lujza tér	9	5			14	2	14	1
Keleti pályaudvar	10				10	2	10	0
Puskás F. Stadion	10	6			16	3	14	2
Pillangó utca	3	5			8	2	7	1
Örs vezér tere	27				27	5	23	4

10. táblázat **BKK tervezet kapuszámának eltérése és kihasználtság vizsgálata az M2 vonalon**
(Forrás: Saját szerkesztés)

	Várható kapuszám K_v	BKK terv (K_{in})	eltérés	Kapacitás (K_v) alapján (fő/negyedóra)	Utasszám (intenzitás: λ)	Kihasználtság [%]
Déli pu.	10	12	-2	3000	2107	70,23%
Széll Kálmán tér	15	13	2	4200	2816	67,05%
Batthyány tér	17	18	-1	4800	3501	72,94%
Kossuth tér	12	12	0	3300	2611	79,12%
Deák tér	17	9	6	4500	4179	92,87%
Astoria	10	9	1	2850	2291	80,39%
Blaha Lujza tér	14	13	1	3900	2759	70,74%
Keleti pu.	10	9	1	2700	1785	66,11%
Puskás Ferenc Stadion	16	18	-2	4350	1861	42,78%
Pillangó utca	8	6	2	2100	504	24,00%
Örs vezér tere	27	27	0	7350	6173	83,99%

A kihasználtság meghatározása az igénykezelési ráta (λ) és a várható kapuszámból (K_v) adódó kapacitásérték hányadosa. Ez a K_v a kapuk időegységre vonatkoztatott áteresztőképességének szorzata. A kihasználtság %-os formában került meghatározásra. A számítás eredményébe a széles kapuk áteresztő képessége is bekerült. Korábban a BKK terveiben csak a normál kapuk alapján lett kihasználtság számolva, mely jelentős torzítás a végeredményeket illetően. A kihasználtság érték általában akkor elfogadható, ha 60% vagy annál nagyobb, mivel ez jelenti a gazdaságos üzemeltetést. Ennél alacsonyabb érték esetén nagy túlkapacitás van a rendszerben.

A K-NY-i vonalon a legtöbb állomás megfelel a 60%-os küszöbértéknek, ami azt jelenti, hogy a keletkezett utasszám alapján elfogadható a kapuk kihasználtsága. Alacsonyabb érték a Puskás Ferenc Stadion és a Pillangó utca állomáson van. Előbbinél a kapuigény azért magas, mert kétkijáratos és vágánykapcsolatos állomás. A két kijárat - melyeknél mozgólépcső és hagyományos lépcső is található - következtében a K_1^* és K_m technológiai rend következményében a kapuk száma kötött. Esetleges vágányzár esetén a kapuk magasabb kihasználtság értéket adnak. Így itt nem célszerű jelentős mértékben csökkenteni a kapuk számát, azért sem, mert a BKK által tervezett (K_{in}) kapumennyiséghez képest a sorbanállási modell alapján már így is 2 kapuval kevesebb került meghatározásra.

A Pillangó utca állomáson a kihasználtság kritikusan alacsony. Itt mindenképpen célszerű átgondolni a kapuk számát. Az akadálymentesítés a jobb peron felé liftekkel megoldott: a Kerepesi út felől az összekötő felüljárón keresztül érhető el második felvonóval a megálló. Emiatt a felüljárón szükséges széles kapu. A felüljárón, mivel az előzetes kapuszám alapján (K_e) elegendő egy kapu az Örs vezér tere felé, így a korábbihoz képest elegendő tartalék marad a rendszerben, ha egy normál és egy széles keresztmetszetű kapu kerül kihelyezésre. A bal peron mellett kettő kapu kellene K_e alapján, így ott úgy lehet csökkenteni a K_v értéket, hogy a normál kapuk száma 2-re módosul, természetesen a széles kaput megtartva. Így összesen 3 normál és 2 széles keresztmetszetű kapu maradna, melyek kapacitása összesen 1000 [fő/negyedóra]. Az utasszám alapján $\lambda=504$, így a hányados $504/1000=0,504$, tehát a kihasználtság 50,4% még így is alul maradt a 60%-os küszöbértéken. 90%-os küszöb érték fölött a csúcsidőszakban indokolt lehet a kapuk nyitva tartása a peron felől érkező utastömeg balesetmentes kihaladásának biztosítása érdekében. Erre csak egy állomáson, a Deák Ferenc téren kerülhet sor az utasszám alapján.

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 (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:

11. 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	✗	✗	✓

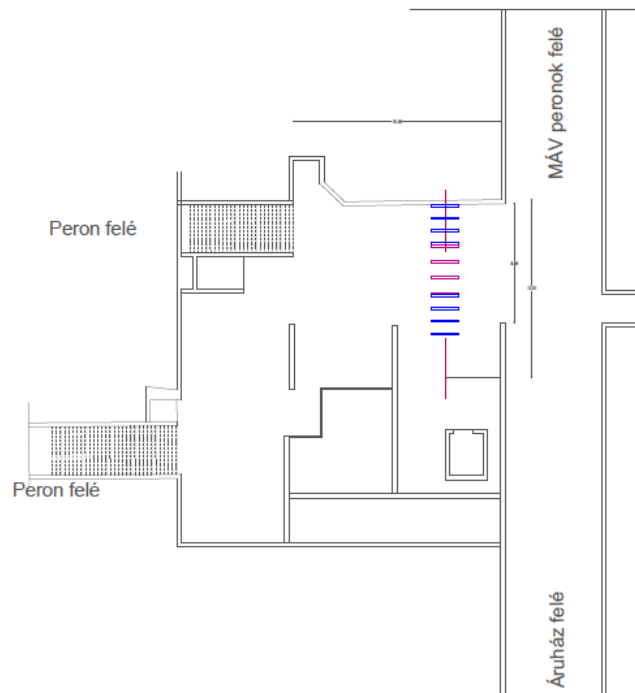
Az továbbiakban részletesen megvizsgáltam, hogy az állomásokon miként lehet elhelyezni a kapukat, hasonlóan, ahogy a kelet-nyugati metró állomásain tettem. A vizsgálat során kiderül, hogy tervezett kapuszám elfér-e, valamint szükséges-e további korrekciója az állomási kialakítás miatt. Ez a két vizsgálat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

Kőbánya-Kispest

A vonal kezdőpontja. Több kijáráttal rendelkezik, melyet egyenként le kell zárni. Egyik a vasútállomás épülete felé (jegypénztárak, vágányok felé), a középső az intermodális csomópontban a buszállomás felé (innen a bevásárló központ is megközelíthető), illetve a harmadik a P+R parkoló felé. Jól látszik, hogy KÖKI intermodális funkciókat lát el, itt szállnak át a helyi utasok, illetve az agglomerációból érkezők is az M3-as metróra. A vasútállomás felé 9 kapura van szükség: a mozgólépcsők miatt 5, szükséges, ezen felül 3 széles, hiszen sokan érkeznek vidékről csomaggal és 1 tartalék. Hasonlóan a középén lévő bevásárlóközponthoz vezető kijáraton is 9 kapu szükséges. Itt is nagy forgalom generálódik az autóbusz-állomás miatt. A P+R felé perononként 2-2 kaput szükséges telepíteni.



39. ábra Kőbánya - Kispest állomás (MÁV oldal)
(Fotó: Gelencsér Ádám)



40. ábra Kőbánya-Kispest végállomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése (MÁV állomás)

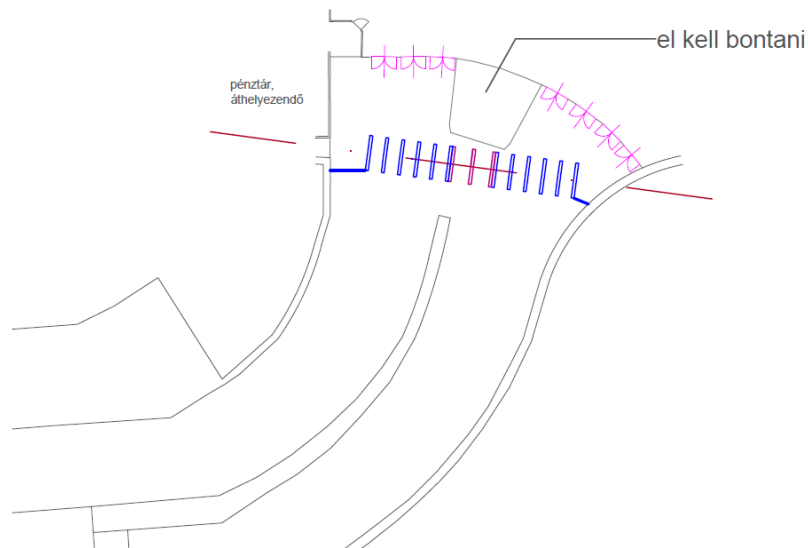
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

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.



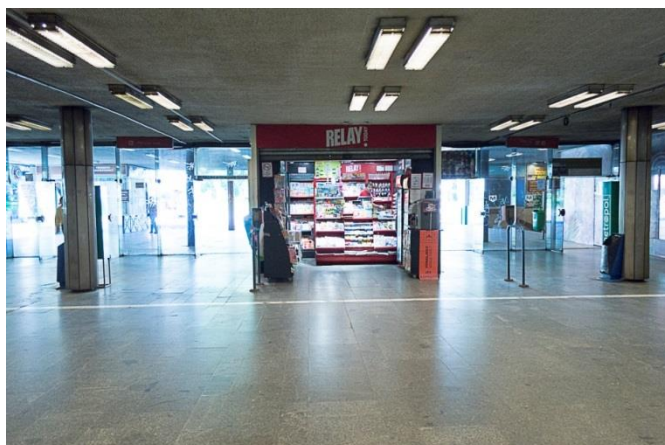
41. ábra Határ út állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



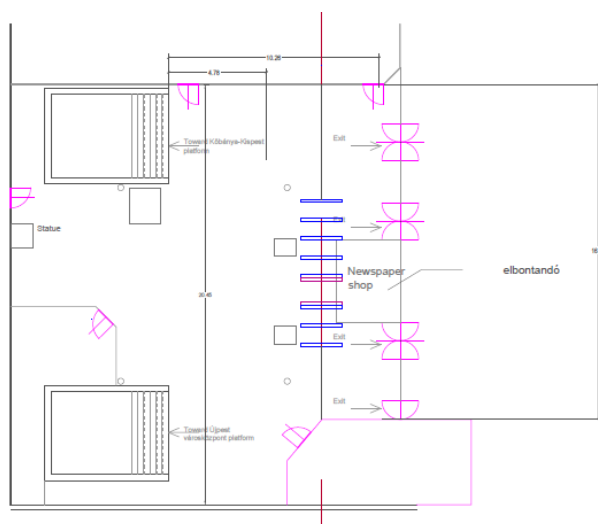
42. ábra Határ út állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztve)

Pöttyös utca

Újpest felé az utazást kezdők és befejezők alapján 3, KÖKI felé 2 kapu indokolt. Ezen felül egy tartalék és egy széles kapu szükséges. Várhatóan $K_v=7$ beléptető kapura lesz szükség, melyre 16,3 [m] áll rendelkezésre, mind a normál, mind a keskeny kaputest esetén van elegendő hely a kihelyezésre. A bejárat közepén az újságárust el kell bontani.



43. ábra Pötyös utca állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



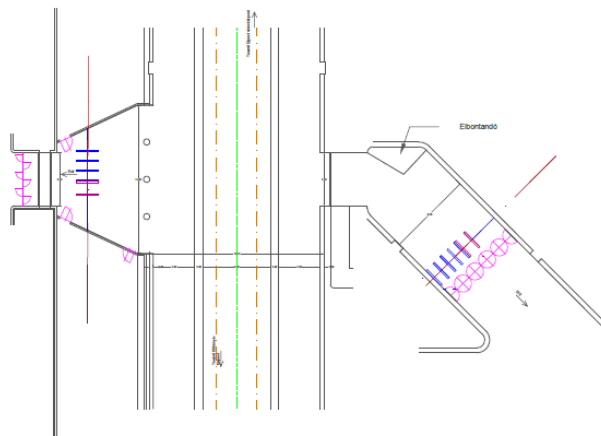
44. ábra Pötyös utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése (MÁV állomás)
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

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. Áthelyezésük az aluljáró más pontjában lehetséges. A jobb vágány kijáratánál a folyosón újságárus található, melyet célszerű lenne elbontani az utasáramlás akadályozásnak elkerülése érdekében.



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



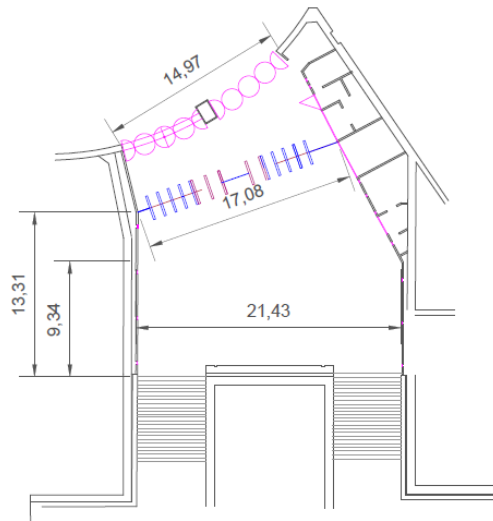
46. ábra Ecseri út állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztve)

Népliget

Népliget állomás elsődleges funkciója a távolsági autóbusszal érkezők kiszolgálása. Feladatkörét tekintve intermodális jellegű állomás, bár kialakításában ez nem tükröződik. A metró aluljáró szintről lépcsőn elérhető a buszállomás épületén kívül az 1, 1A villamos is. Ebből adódóan a peron lejárataánál elhelyezendő kapuk közül több széles méretűre lesz szükség. A lejárát előterében 21,28 [m] áll rendelkezésre a 7 normál és a 3 széles kapu számára, mely 160 [mm] vagy 300 [mm] méretű kaputest esetén is elegendő.



47. ábra Népliget állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



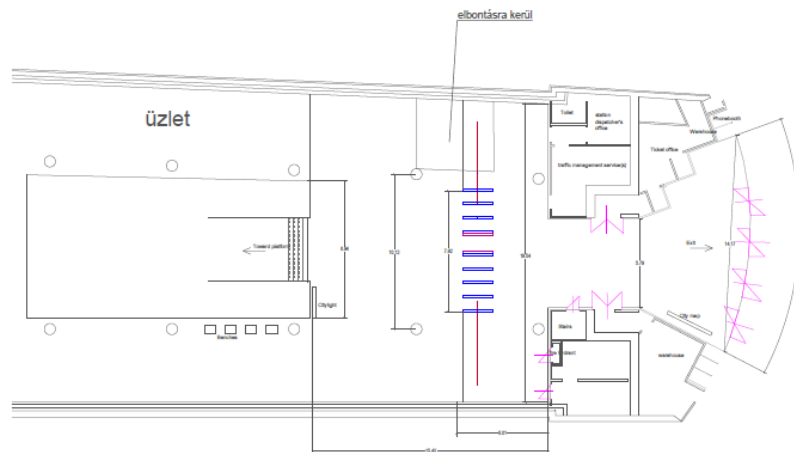
48. ábra Ecseri út tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Nagyvárad tér

Úgynevezett vágánykapcsolatos állomás; a peron a galériaszintről közelíthető meg, ide kerül elhelyezésre a lépcső elé az állomási bejáráshoz közel a 7 normál és a 1 széles méretű kapu. A rendelkezésre álló hely 19,54 [m] ezért 160 [mm] és 300 [mm] kaputesttel számolva is elférnek az új készülékek. A galériaszinten a kapusor tengelyében egy pékség van, ezért azt el kell bontani, mivel jobb oldalon a rögzítés útjába kerül.



49. ábra Nagyváradi tér állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



50. ábra Nagyváradi tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

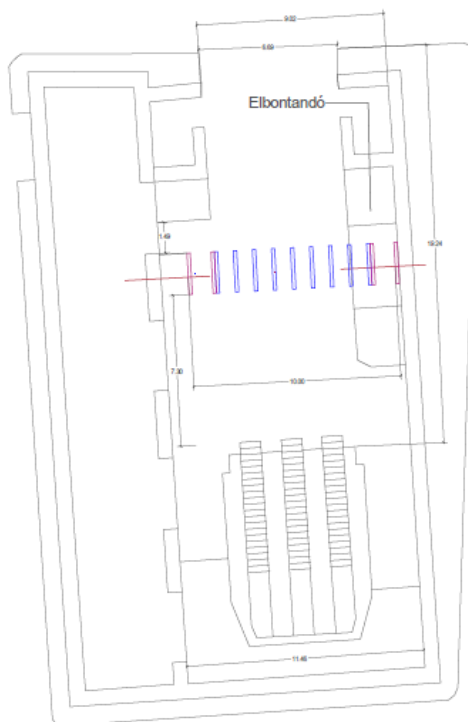
Klinikák

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 itt is szükséges.



51. ábra Klinikák állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



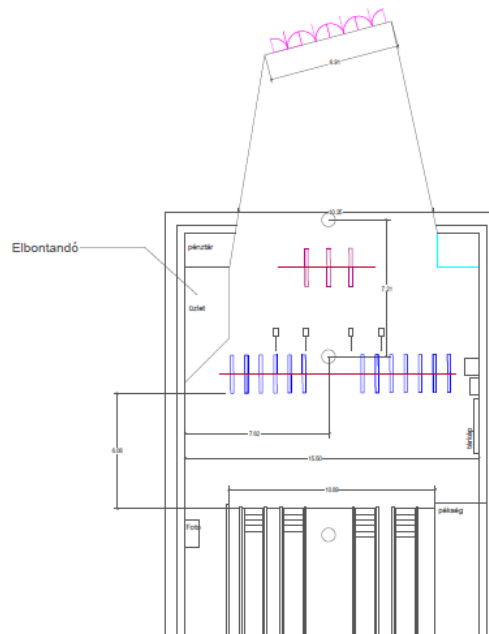
52. ábra Klinikák állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztve)

Corvin negyed

A tervekapszám értéke $K_p=13$. Az állomás megfelelő méretű bejárattal, csarnokkal rendelkezik, de középen oszlopok tagolják, melyek gátolják a szabad utasáramlást. A 13 kapu egy sorban történő elhelyezése megoldható lenne ennek ellenére is, de az utasok a szélső kapukat nem használnák szívesen, mert a mozgólépcsők vonalától távol esnének. Az állomás területén levő üzleteket célszerű lenne elbontani. Eltolt elhelyezést célszerű alkalmazni, középen 2 széles kapuval, két oldalt 5, illetve 6 normál kapuval, összesen a K_p értéknek megfelelően $K_v=13$ beléptető egység telepítése így megvalósítható.



53. ábra Corvin negyed állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



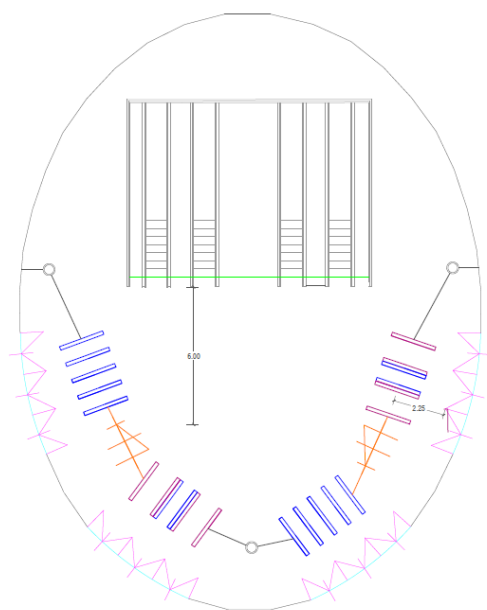
54. ábra Corvin negyed tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Kálvin tér

A Kálvin téri állomás átszállóhely a 4-es metróra. Ezért az utasszámok a 2012-eshez képest jelentősen változtak. Mivel a DBR-en még nem történt részletes keresztmetszeti- és célforgalmi vizsgálat ezért a pontos utasszámok nem állnak rendelkezésre. A 2009. évi adatok alapján elegendő lenne $K_e=9$ kapu, mely a négy mozgólépcső technológiája alapján $K_m=13$ -ra módosul. Viszont a csomópont szerepe az új metró beindulásával nőtt, ezért több kapura lesz szükség. Az állomás tere az alujáróban közepén, üvegfallal van leválasztva, nem rendelkezik külön bejáráttal. Ezért e kör geometriájú üvegfal mentén célszerű az állomási területen elhelyezni a kapukat a bejáratok mentén olyan távolságban, hogy az ajtószárnyak nyithatóak legyenek befelé. Ez bejáratok pontonként három vagy négy kaput jelent az átszállási irányok függvényében. Összesen 4 bejáratra vetítve $K_v=14$ kapu telepítése lehetséges.



55. ábra Kálvin tér állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



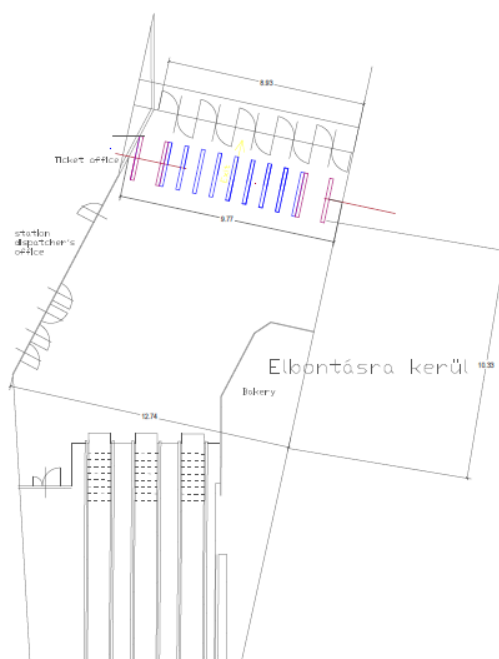
56. ábra Kálvin tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Ferenciek tere

Ferenciek tere állomásra az előzetes modell számítás alapján 8 normál és 1 széles keresztmetszetű kaput kell tervezni, viszont a mozgólépcső karok számából (3) 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 a kapuk és a mozgólépcső között. Célszerű lenne itt is a passzázs ajtóig eltolni a belépőkapukat, hogy a puffterület növekedjen, viszont itt szűkebb a keresztmetszet. A rendelkezésre álló keresztmetszet az előtér közepén a legnagyobb, 10,41 [m], ahol 160 [mm] és 300 [mm] szélességű kapustestekből álló készüléksor is elfér, de a szűkebb területen is 9,77 [m]-en. Kialakítható akár 8 normál méretű és 2 széles kapu is a két iránynak megfelelően.



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



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

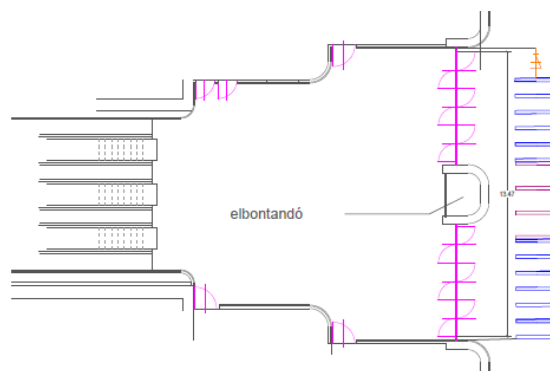
Deák Ferenc tér

Deák tér metróállomás teremt kapcsolatot az M1, M2, és M3 metróvonalak között. Továbbá az M2 és M3 vonal szempontjából vágánykapcsolatos állomásnak minősül, az összekötő alagút révén. Így itt nem egy metróvonal utasszám adataiból kell kiindulni. Noha a 2-es és 3-as metrók kijárata a felszín felé elkülönül, mégis van aluljárószinten

átjárás, hiszen a célforgalmi utazások alapján, akik például a villamosmegállóból érkeznek a metróba, azok a BKV Múzeum felőli lejáraton mennek le (ahonnan a 3-as metró is elérhető), majd továbbhaladnak a galériaszinten és a folyosó végén érik el a földalatti vagy a 2-es metró. Így az átszállási sajátosságok és a vágánykapcsolatból adódó technológiai funkciók - esetleges ideiglenes végállomási szerep - miatt a felszín felé vezető kijáratokhoz a lehető legtöbb kapu elhelyezése indokolt. Ez alapján $K_v=14$ kapu elhelyezése lehetséges az aluljáróban, az állomás bejárata előtt közvetlen, a volt jegypénztár helyiség elbontása mellett. A $K_p=15$ kapu helyett így eggyel kevesebb kapu elhelyezése lehetséges még úgy is, hogy az állomás területén kívül a legszélesebb keresztmetszeten 13,47 [m]-en vizsgáltam a kapuk elhelyezhetőségét. Ugyanakkor az állomási utasszám itt is csökkent, mely egyrészt az M4-es metró beindulásának köszönhető, valamint az átmérős viszonylatú 9-es autóbussznak is, mely a belvárosban a lokális közlekedési igények kielégítésére alkalmas. Így a végleges kapuszám értéke elfogadható.



59. ábra Deák Ferenc tér állomás (múzeum felől)
(Fotó: Gelencsér Ádám)



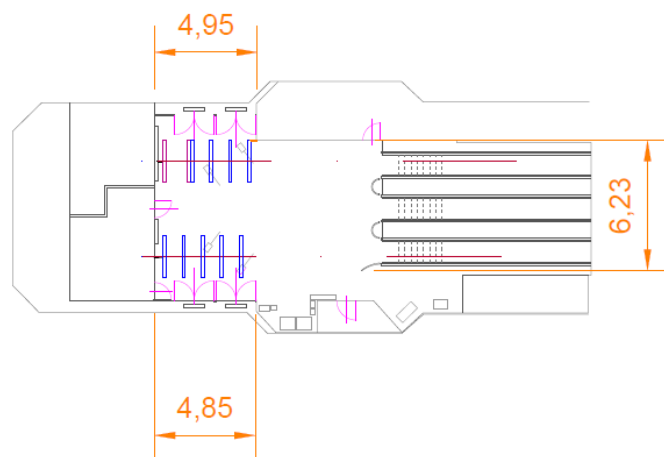
60. ábra Deák Ferenc tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Arany János utca

A metróállomás peronszintjéről közvetlen a felszínre vezet a mozgólépcső. Az előtérben két kijárat van: a keleti oldalon 4,95 [m], a nyugatin 4,85 [m] az ajtók szélessége. Az állomáson várható beléptető kapuk száma $K_v=8$, a nyugati oldalon 4 a keletin 3 normál és 1 széles kapu kerül telepítésre, mindegyik közvetlen az előtéri bejárat ajtóknál. Az állomáson a mozgólépcső technológia 10 kaput igényel, de hely hiányában csak 8 tervezhető. Ez elfogadható az alacsony utasforgalmi érték miatt, ugyan is az utazást befejezők száma nem éri el az 1000 főt sem (989 fő). Független attól, hogy 160 [mm] vagy 300 [mm] széles kaputestet sikerül beszerezni, ilyen elosztási rend mellett a gépek elférnek.



61. ábra Arany János utca állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



62. ábra Arany János utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Nyugati pályaudvar

Az egyik legfontosabb állomás, jellemzően a belváros elérhetősége miatt, a helyi átszállási kapcsolatok, valamint a vasúti kapcsolat jelentősen megnövelik az itt jelentkező utasszámot. Itt is, mint a többi pályaudvarokon, fel kell készülni arra, hogy egy-egy vonat beérkezésekor lökésszerűen nagy utastömeg jelenik meg. A nagy utasforgalom miatt 2 kijáráttal rendelkezik az állomás, 3 illetve 4 mozgólépcsőkkel. Az utasszámok alapján $K_p=23$ kapu elhelyezése szükséges a két kijáraton rendre 13 és 10 megoszlásban a mozgólépcsők számának függvényében.

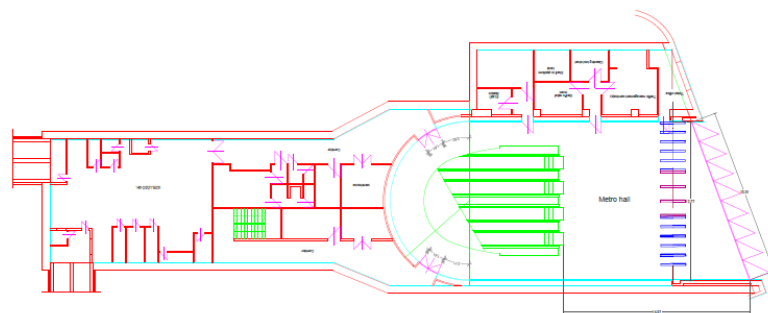
A főbejáraton a jegypénztárak felől 4 mozgólépcső vezet a peronszintre. Lengőszárnyas kapuk esetén a 13 kapu a mozgólépcső technológia alapján elfér, csúszószárnyas típus esetében (amikor a kaputest 300 [mm] széles) csak 12 kapu elhelyezése lehetséges. Az állomási bejárat bővítése mindkét esetben szükséges, a ma meglévő pénztár helyiség elbontásával.

A bevásárlóközpont felé 3 mozgólépcső vezet, ide $K_m=10$ kapu tervezése indokolt a technológia alapján. 10,89 [m] keresztmetszet áll rendelkezésre, melyen 10 kapu elhelyezése indokolt, viszont a bejárat 6,08 [m] mindössze. Így az állomás teljes szélességét nem célszerű kihasználni, ugyanis az utasok azoknál a kapuknál fognak sorban állni, ami a kijáratához valamint mozgólépcsőkhöz legközelebb esik. Továbbá számos szolgálati helyiség bejárata akadályozza a kapuk teljes állomási keresztmetszeten történő elhelyezését. Feltételezve, hogy a kihaladó utasok egyenesen közlekednek a legkisebb ellenállás (tehát legrövidebb távolság) felé haladva, a kapukat középre kell elhelyezni. Így viszont csak 8 kapu elhelyezése optimális.

Összesen tehát a Nyugati pályaudvaron keskeny kaputest esetén $13+8=21$, széles kaputest esetén pedig $12+8=20$ kapu elhelyezése lehetséges.



63. ábra Nyugati pályaudvar állomás (jegypénztárak oldal)
(Fotó: Gelencsér Ádám)



64. ábra Nyugati pályaudvar állomás beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztve)

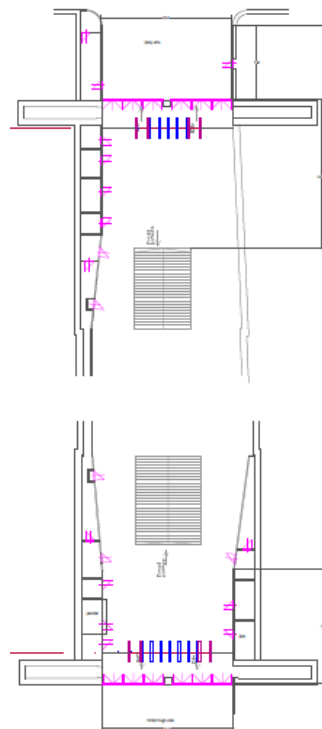
Lehel tér

Az állomás a 14-es villamos végállomásánál egy piac alatt található. Több XIII. kerületi autóbusz és trolibuszjárat is áthalad, ráhordást biztosít a metróra, továbbá vágánykapcsolatos kialakítású, fordításra alkalmas állomás. Középperonos, innen Újpest felé már csak szélsőperonos állomásokkal találkozhatunk. Két kijárata van a galéria szint felé, az északi 12,79 [m], a déli 13 [m] szélességű. Az utasszámok alapján 9 kapu elhelyezése indokolt a teljes állomáson, viszont figyelembe kell venni, hogy esetleges vágányzár alatt ennyi kapu el tud-e látni végállomási funkciót. A korrigált lépcső technológia előírja (K_l^*), hogy lehetőleg 5 kapu kerüljön beépítésre, mivel kettő kijárat van (északi és déli) mindkettőnél ezt a minimumot teljesíteni kell, tehát legalább 10 beléptető kapura lesz szükség. Ezen felül a délin az átszállás (akár metrópótlás esetén autóbuszra) biztosítása érdekében irányonként 1-1 normál, a piaci utasforgalom miatt pedig 1 széles kapu további elhelyezése szükséges. Az északi oldalon is szükséges

a piaci forgalom miatt további széles kapu tervezése. Összesen ez alapján $8+6=14$ kapu lenne az állomáson. A rendelkezésre álló hely bármilyen kaputípus esetén elegendő.



65. ábra Lehel tér állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



66. ábra Lehel tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

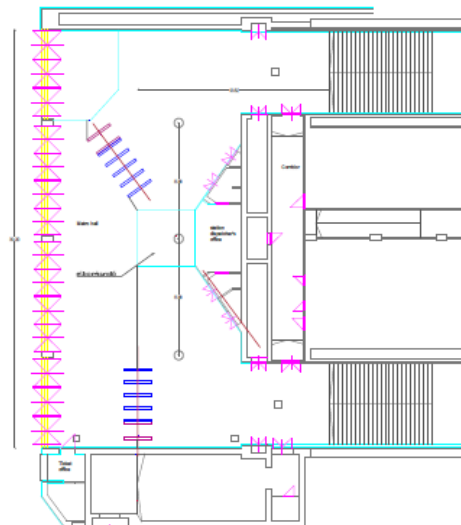
Dózsa György út

Az állomás szélsőperonos elrendezésű, de a két lépcső közös előcsarnokban végződik az aluljáró szinten. Itt egy sorban közepén, de külön-külön irányoknak megfelelően is

lehet a beléptető kapukat elhelyezni. A tervezés során az utóbbi megoldást választottam, így irányonként 3-3 forgalmi kapun kívül 1-1 tartalék és 1-1 széles kapu tervezése lenne szükséges, azaz összesen $K_v=10$ db beépítése javasolt.



67. ábra Dózsa György út állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



68. ábra Dózsa György út tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

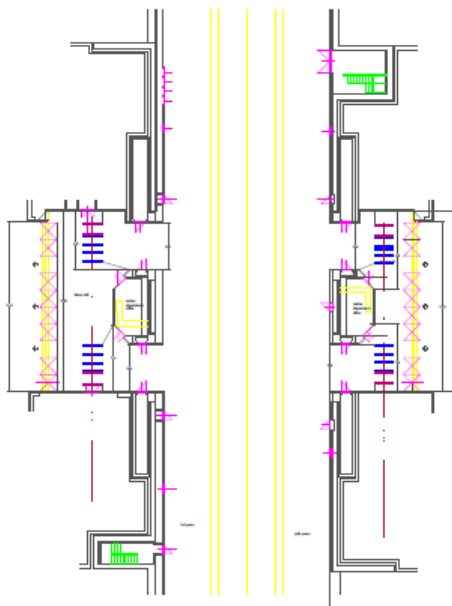
Árpád híd

Árpád híd állomás a XIII. kerület központi megállója, nemcsak a helyi kapcsolatok miatt (számos autóbuszjárat és villamos), de az elővárosi Volán autóbuszok is ide érkeznek. Szélsőperonos állomás, mindkét peron két ajtón, közelíthető meg. A peron és a bejárat közti hely viszonylag rövid, tagolt, ezért célszerű lenne a kapukat a bejáratához

minél közelebb helyezni. A jobb és bal peronon is 8-8 beléptető kapu kerül elhelyezésre, mindkét irányban 2-2 széles kapuval (a csomaggal érkezők könnyebb áthaladása érdekében került tervezésre további széles kapu).



69. ábraÁrpád híd állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)

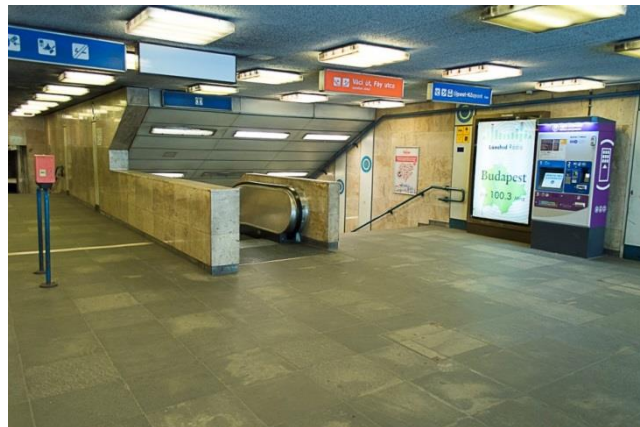


70. ábra Árpád híd tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

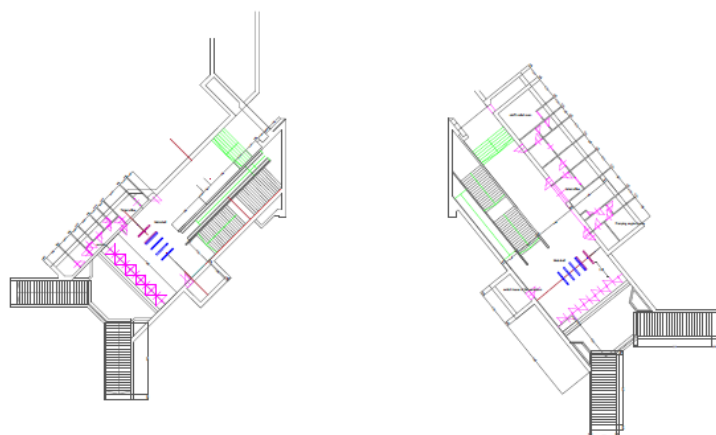
Forgách utca

Szintén szélsőperonos kialakítású állomás, viszont mindkét peron 2-2 kijáratral rendelkezik. Az utasszámok alapján 11 kapura van igény, melyet a 4 kijáraton kell

szétosztani. A déli kijáratok olyan elosztócsarnokban végződnek, melyekből mozgólépcsőn át a vágányok alatt át lehet haladni a másik peronra. Mivel viszonylag kevés kapu lenne egy-egy kijáratnál a technológiának megfelelően, ez a szám bővül 12-re, ugyanis minden kijáratához kell a két iránynak megfelelően egy-egy kapu. Ugyanakkor a gazdaságos üzemeltetés szempontjából – mivel az utasszám nem feltétlen igényel ennyi kaput – a tartalék kaput itt be lehet építeni a többlet kapuigénybe. Mivel szervizkapu elhelyezésére is van lehetőség felmerülő üzemzavar esetén azon kinyitásával biztosítható az állomás biztonságos elhagyása. Az állomás déli kijáratai szélesebbek (10,3 [m]) ezért itt kerülhetnek elhelyezésre a széles kapuk. Az északi kijáratok keskenyebbek, 3,82 [m] a jobb, 5,25 [m] a bal peronon, ezért mindkét irányban csak 3-3 kapu kerül elhelyezésre (két irány + széles). A kaputest méretétől függetlenül a tervezett kapuszám a rendelkezésre álló helyen elfér.



71. ábra Forgách utca állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



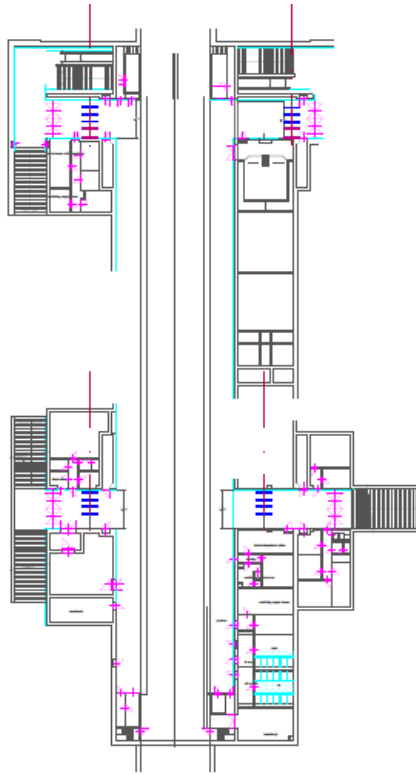
72. ábra Forgách utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Gyöngyösi utca

Utasforgalom alapján $K_p=12$, de a technológia miatt 18 kapu telepítése szükséges. Ugyanakkor a gazdaságos üzemeltetés szempontjából – mivel az utasszám nem feltétlen igényel ennyi kaput – a tartalék kaput itt be lehet építeni a többlet kapuigénybe. Mivel szervizkapu elhelyezésére is van lehetőség, felmerülő üzemzavar esetén azok kinyitásával biztosítható az állomás biztonságos elhagyása. A legtöbb kijárat kb. 5 [m] szélességű. A jobb és bal peronon szimmetrikusan kerülnek elhelyezésre a kapuk: az északi kijáratokon 3 normál és 1 széles, a délin csak 3 normál kerül elhelyezésre. A kapu méretekből adódóan itt is elférnek a berendezések a rendelkezésre álló helyen.



73. ábra Gyöngyösi utca állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



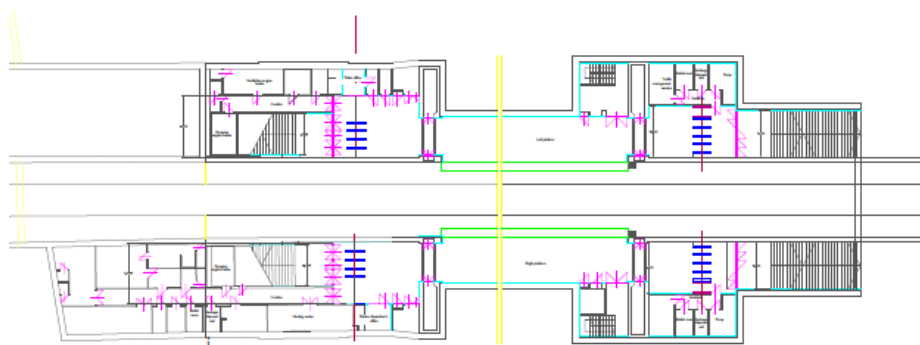
74. ábra Gyöngyösi utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Újpest-városkapu

Az állomás vasúti és helyi valamint helyközi autóbusz kapcsolattal is rendelkezik. A nagy utasforgalom az intermodális csomópont felől generálódik ezért az akadálymentes kapukat erre célszerű telepíteni. A két peron két-két kijáratral rendelkezik. Temesvári utca felől viszonylag kevés utas érkezik. A gazdaságosságot is szem előtt tartva a $K_v=16$ kaput javaslok maximálisan az állomáson elhelyezni.



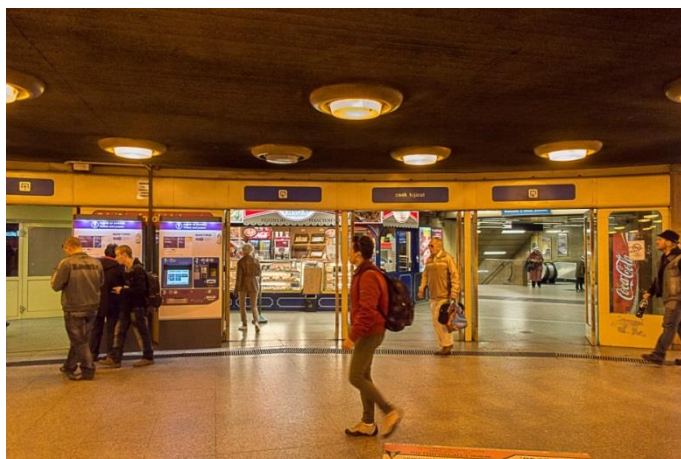
75. ábra Újpest városkapu állomás (MÁV peron, jegypénztár oldal)
(Fotó: Gelencsér Ádám)



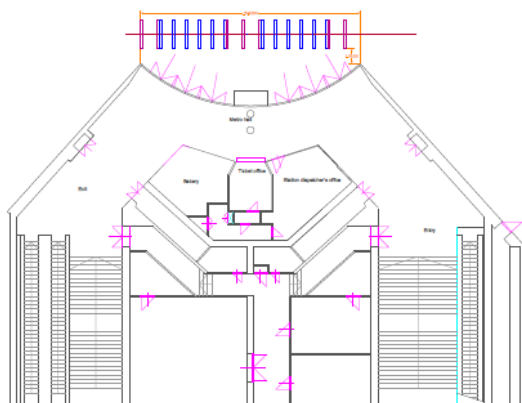
76. ábra Újpest városkapu tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

Újpest-központ

A vonal végpontján a beléptető kapuk várhatóan az alujáró csarnokba kerülnek elhelyezésre. Itt nagyobb átalakításra lesz szükség emiatt, viszont a rendelkezésre álló tér csak az aluljáró méretétől függ. Így biztos, hogy elfér a tervezett 12 normál és 2 széles kapu.



77. ábra Újpest központ állomás
(Fotó: Gelencsér Ádám)



78. ábra Újpest központ végállomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése
(Forrás: BKK, átszerkesztett)

A tervezés alapján várhatóan szükséges kapuszám állomásonként:

12. táblázat Várható kapuszám állomásonként az M3 vonalon
(Forrás: Saját szerkesztés)

Állomás neve	Kijáratonként kapuk száma				Várható kapuszám	Ebből széles	Eltérés vizsgálat az előző korrekcióhoz képest	
	1. kijárat	2. kijárat	3. kijárat	4. kijárat			Terv kapuszám	Bekövetkeztelt eltérés
Kőbánya-Kispest	9	9	2	2	22	8	15	7
Határ út	14				14	2	14	0
Pöttyös utca	7				7	1	7	0
Ecseri út	5	4			9	2	9	0
Népliget	11				11	3	11	0
Nagyvárad tér	8				8	1	8	0
Klinikák	10				10	2	10	0
Corvin negyed	13				13	2	13	0
Kálvin tér	14				14	4	13	1
Ferenciek tere	10				10	2	10	0
Deák Ferenc tér	14				14	3	15	-1
Arany János utca	4	4			8	1	10	-2
Nyugati pályaudvar	12	8			20	6	23	-3
Lehel tér	8	6			14	4	9	5
Dózsa György út	10				10	2	10	
Árpád híd	8	8			16	4	14	2
Forgách utca	4	4	2	2	12	2	11	1
Gyöngyösi utca	4	3	4	3	14	2	12	2
Újpest városkapu	5	3	5	3	16	2	17	-1
Újpest központ	14				14	2	14	0

13. táblázat **BKK által tervezett kapuszám eltérése és kihasználtság vizsgálata az M3 vonalon**

(Forrás: Saját szerkesztés)

	K_v	BKK terv K_{in}	eltérés	Kapacitás K_f alapján	λ	Kihasználtság [%]
KÖKI	22	20	2	6600	3422	51,85%
Határ út	14	14	0	3900	2780	71,28%
Pöttyös utca	7	5	2	1950	707	36,26%
Ecseri út	9	9	0	2400	1033	43,04%
Népliget	11	11	0	2700	1586	58,74%
Nagyvárad tér	8	6	2	2250	1341	59,60%
Klinikák	10	9	1	2700	1675	62,04%
Corvin negyed	13	14	1	3600	2436	67,67%
Kálvin tér	14	9	5	4200	1938	46,14%
Ferenciek tere	10	8	2	2700	1858	68,81%
Deák tér	14	9	5	3750	3534	94,24%
Arany J. u.	8	8	0	2250	1348	59,91%
Nyugati pu.	20	20	0	5100	3131	61,39%
Lehel tér	14	16	2	3600	1666	46,28%
Dózsa György út	10	11	-1	2700	1510	55,93%
Árpád híd	16	10	6	4200	2707	64,45%
Forgách utca	12	10	2	3300	1113	33,73%
Gyöngyösi utca	14	8	6	3900	1109	28,44%
Újpest vkp.	16	16	0	4500	2769	61,53%
Újpest kp.	14	17	3	3900	2905	74,49%

A kapuk kihasználtságának számítása itt is hasonlóan történt, mint az M2-es metró állomásain. Hasonlóan az M2-es vonalhoz 90%-os küszöb érték fölött a csúcsidőszakban indokolt lehet a kapuk nyitva tartása a peron felől érkező utastömeg balesetmentes kihaladásának biztosítása érdekében. Erre itt is csak egy állomáson, a Deák Ferenc téren kerülhet sor. A 3-as metróon a legtöbb állomás alacsonyabb, mint a 60%-os küszöbérték. A kapuk kihasználtság ellenőrzésénél figyelembe kell venni számos feltételt. A technológiai feltételek, valamint az utasszámok adottak ezért ezektől eltekinteni nem célszerű. Ugyanakkor a gazdasági szempontokat is figyelembe kell venni, miszerint túl sok kapu telepítése, üzemeltetése, alacsony kihasználtság mellett nem kedvező. Ezért bizonyos állomásokon, főleg ahol a kihasználtság nem éri el a 40%-ot célszerű megvizsgálni a várható kapuszám értéket.

A Pöttyös utca, Ecseri út állomásokon a kapuk száma az előzetes kapuszám (K_e) és a kapu valamint a lépcső technológiai rend (K_l^*) alapján került meghatározásra. Ezért e két állomáson a kapuk száma csak ennek elhagyása mellett csökkenthető. A Pöttyös utcán további csökkentés a jelenlegi kapuszám mellett tovább nem javasolt. Az Ecseri utca megállónál a K_l technológia alapján 2 kapu megtakarítható, így 7 kapu mellett 57,93%-ra növelhető az állomás kapuinak kihasználtsága, melyek kapacitása 1800 fő/negyedóra. A szervizkapuk megnyitása szükség esetén pedig elősegítheti az állomás biztonságos elhagyását, mivel a kapuk átbocsátóképessége alacsonyan van megválasztva (20 fő/perc).

Lehel tér állomáson a kapu kihasználtság normál üzemben alacsony. Mivel vágánykapcsolatos állomás, ezért fontos, hogy legyen megfelelő mennyiségű tartalék kapu, amennyiben itt történik a szerelvények fordítása. A két kijárat miatt a technológiai rend is előírja a többlet kapuk beépítését.

A Forgách utcán a kapuk kihasználtsága szintén alacsony, ekkora volumenű kapuszám beépítése indokolatlan lehet. Ha a K_l technológiát alkalmazom, akkor a kapuk száma csökkenthető, így a kihasználtság 10 kapu, ezáltal 2700 fő/negyedóra kapacitás mellett maximálisan 41,22%-ra növelhető. A szervizkapuk megnyitása szükség esetén pedig szükség esetén elősegítheti az állomás biztonságos elhagyását.

Gyöngyösi utca állomáson csak úgy csökkenthető továbbiakban a kapuk száma, hogy a kaputechnológiával (K_l^*) szemben csak 1 bejárat és 1 kijárat irányú kapu kerül elhelyezésre (K_l) alapján. Ezáltal a kapacitás 2700 fő/negyedóra, mely még mindig viszonylag alacsony, 41,07%-os kihasználtságot eredményez, összesen 10 kapuval az állomáson. A szervizkapuk megnyitása szükség esetén pedig szükség esetén elősegítheti az állomás biztonságos elhagyását.

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 szállítókapaacitása 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 óras 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:

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

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 csúcsidei 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 engedésével, vagy teljesen nyitott állásba helyezésével. 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:

$$A_p \gg A_L$$

Vizsgálni a legszűkebb keresztmetszetű, kijáratú állomásokat célszerű: Klinikák, Arany János utca, Astoria, Blaha Lujza tér. Ezek közül az utasforgalom alapján az Arany János utca állomás vizsgálata nem indokolt, mivel az alacsony. A másik három választott állomáson viszont kis puffterület (szűk keresztmetszet) mellett az utasforgalom magas. Így a kiválasztott ezeken az állomásokon az alábbiak szerint alakul az ellenőrző vizsgálat:

14. 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 puffterület problémája megoldható.

A puffterület ellenőrzését a sorbanállási modell segítségével is vizsgáltam. A modell lehetővé teszi, hogy leellenőrizzem, 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.

$$P(n=0) = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^m}{m! \left(1 - \frac{\rho}{m}\right)}} = \frac{1}{\sum_{n=0}^{m-1} \frac{4,28^n}{n!} + \frac{4,28^m}{m! \left(1 - \frac{4,28}{6}\right)}} = 0,012$$

Felhasználva a (22) képletet a sor nagysága $N_s = 0,89$ a (23) képlet alapján a várakozók száma $N_a = 5,57$ [fő]. A (24) képlet alapján a várakozási idő 3,91 [s], ami megfelel a kritériumnak, azaz kevesebb, mint 15 [s].

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

15. táblázat Poisson számítás összefoglalása az M2 vonalon
(Forrás: Saját szerkesztés)

állomás	minimális kijárat kapuszám [db]	N_a [fő]	t_v [s]	vizsgálat	minimális kijárat kapuszám [db]	N_a [fő]	t_v [s]	vizsgálat
	Sorbanállási modell értékei alapján (K_e)				K_v várható kapuszám és elrendezés alapján			
Déli pu.	3	11,31	12,41	jó	6	2,84	3,11	jó
Széll Kálmán tér	6	11,73	6,54	jó	9	5,64	3,15	jó
Batthyány tér	7	9,38	5,07	jó	10	6,74	3,64	jó
Kossuth tér	7	8,70	4,46	jó	7	8,70	4,46	jó
Deák tér	8	9,17	4,15	jó	9	7,60	3,44	jó
Astoria	5	5,87	4,48	jó	6	4,52	3,45	jó
Blaha Lujza tér	6	7,77	4,69	jó	10	5,03	3,03	jó
Keleti pu.	4	5,22	4,99	jó	6	3,32	3,17	jó
Puskás Ferenc Stadion	3	4,57	5,84	jó	9	2,35	3,00	jó
Pillangó utca	1	0,73	5,20	jó	4	0,42	3,00	jó
Örs vezér tere	8	803,75	301,78	több kapu	15	8,04	3,02	jó

16. táblázat **Poisson számítás összefoglalása az M3 vonalon**
(Forrás: Saját szerkesztés)

állomás	minimális kijárat kapuszám [db]	N_a	t_v	vizsgálat	minimális kijárat kapuszám [db]	N_a [fő]	t_v [s]	vizsgálat
	Sorbanállási modell értékei alapján (K_e)				K_v várható kapuszám és elrendezés alapján			
KÖKI	4	19,48	15,44	több kapu	11	3,79	3,00	jó
Határ út	6	5,57	3,91	jó	8	4,49	3,14	jó
Pöttyös utca	1	1,34	7,03	jó	3	0,58	3,05	jó
Ecseri út	2	1,36	4,03	jó	4	1,02	3,03	jó
Népliget	2	2,43	5,44	jó	6	1,34	3,00	jó
Nagyvárad tér	3	2,80	4,26	jó	4	2,17	3,30	jó
Klinikák	4	7,42	6,53	jó	6	3,71	3,27	jó
Corvin negyed	5	13,89	9,06	jó	9	4,70	3,06	jó
Kálvin tér	5	6,80	4,98	jó	10	4,11	3,01	jó
Ferenciek tere	4	4,82	4,72	jó	6	3,22	3,15	jó
Deák tér	7	13,24	6,27	jó	10	6,67	3,16	jó
Arany J. u.	4	5,68	5,20	jó	4	5,68	5,20	jó
Nyugati pu.	7	9,96	4,95	jó	13	6,05	3,01	jó
Lehel tér	3	9,94	11,06	jó	8	2,70	3,01	jó
Dózsa György út	3	2,98	4,41	jó	6	2,04	3,02	jó
Árpád híd	4	5,86	5,43	jó	12	3,24	3,00	jó
Forgách utca	2	2,05	4,92	jó	6	1,25	3,00	jó
Gyöngyösi utca	3	3,25	4,64	jó	8	2,10	3,00	jó
Újpest vkp.	2	7,58	12,96	jó	8	1,75	3,00	jó
Újpest kp.	4	63,93	48,72	több kapu	8	4,04	3,08	jó

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

A 15. és 16. táblázatok alapján látható, hogy a kritikus állomások Kőbánya-Kispest, Újpest városkapu, valamint Örs vezér tere. Mind három állomás végállomás. A táblázatok első felében a modell alapján, az utasforgalmi áramlat függvényében lettek meghatározva az állomási kapuszámok. A részletes elhelyezés vizsgálatnál került sor az állomási specifikációkra, mely az előzetes kapuszámot jellemzően növelte. Ezek az értékek a táblázat második felében kerültek bemutatásra (K_v alapján). Mindhárom

esetben a K_e alapján magas a várakozási idő, mivel a várakozók száma is magas. A tervezés során a várható (K_v) kapuszám úgy lett kialakítva, hogy e kritikus állomásokon legyen megfelelő többletkapu a nagy terheltség miatt. Kőbánya-Kispesten a három kijárat miatt az utastömeg megoszlik az állomáson, továbbá emiatt több kapu beépítése szükséges volt. Így ott nem várható probléma. Újpest központban, mivel az aluljáróba célszerű elhelyezni a kapukat, lesz elegendő hely többletkapu elhelyezésére. Nagy utasforgalom a jobb peronon délután alakul ki (hazautazás), ekkor viszont a lejárat kapuk száma alacsonyan tartható (maximum 4), így 8 normál keresztmetszetű kapu rendelkezésre áll az állomást elhagyó utasok számára. Az Örs vezér terén hasonló a helyzet, az állomáson délután jelentkezik nagy kihaladó forgalom. A kifelé vezető kapuszám magasabb lesz, mint a befelé jövő, így az állomás elhagyása biztosítva lesz.

5.1 Szimulációs példa vizsgálat az Astoria állomáson

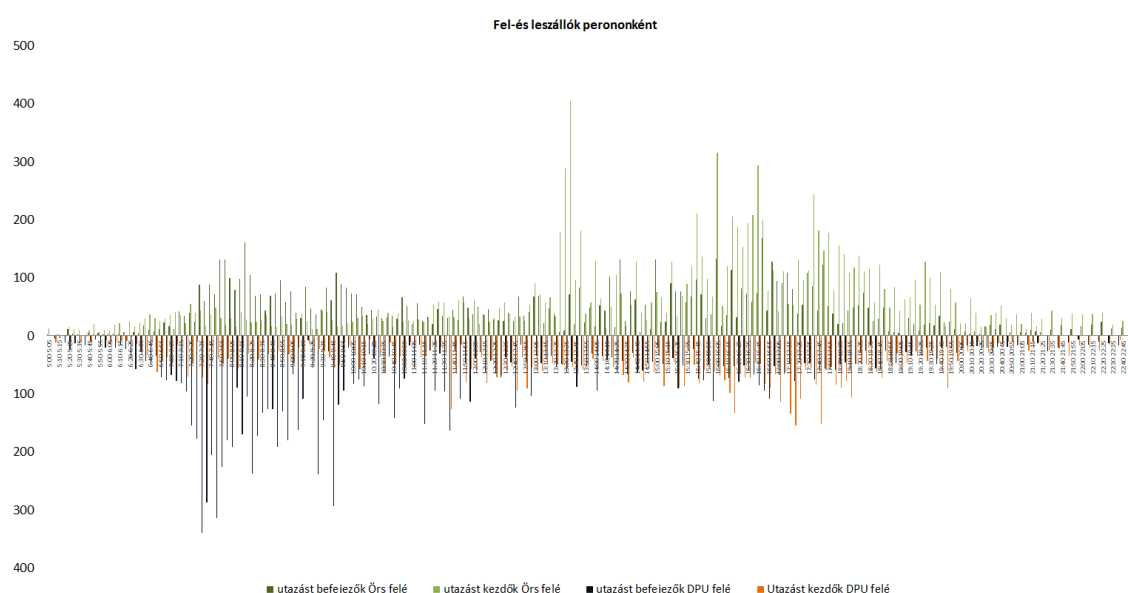
Az Astoria állomás a kiválasztott két vonalon a legszűkebb keresztmetszetű bejáratnál rendelkezik nagynak tűnő fogadócsarnoka ellenére. A passzázsajtó szélessége mindössze 5,51 méter, utána a beáramló utastömeg a középén lévő két oszlop, majd a köztük lévő 3 mozgólépcső kar miatt is viszonylag szűk keresztmetszeten halad. Ezért is itt van a legnagyobb realitása a beléptető kapuk passzázsajtó elé történő kihelyezésének az aluljáróba, mivel az utasok a hamar visszatörlnének a mozgólépcsők felé fogadócsarnokban történő elrendezés esetén.

Az utasszámlálás (szekunder adatok) 2009. október 13-án történt meg 5:00 és 23:00 óra között. A mérést 5 perces bontásban végezték (mivel a legtöbb állomáson ilyen részletes számítási eredmény nem állt rendelkezésre, a tervezési értékhez a negyedóra időegységet tudtam alapul venni). Ez azt jelenti, hogy a mérési eredményeknek nagyobb a szórása.

17. táblázat Szimulációs paraméterek
(Forrás: Saját szerkesztés, Városkutatás Kft. alapján)

Jellemző	Érték
Méretezési forgalom (fő/negyedóra)	2291
Kapuk áteresztőképessége (fő/negyedóra)	2850
Kihasználtság (%)	80,39%
5 perces maximum utazást kezdők	428
5 perces maximum utazást befejezők	458
Tervezett normál kapuk száma	9
Tervezett széles kapuk száma	1

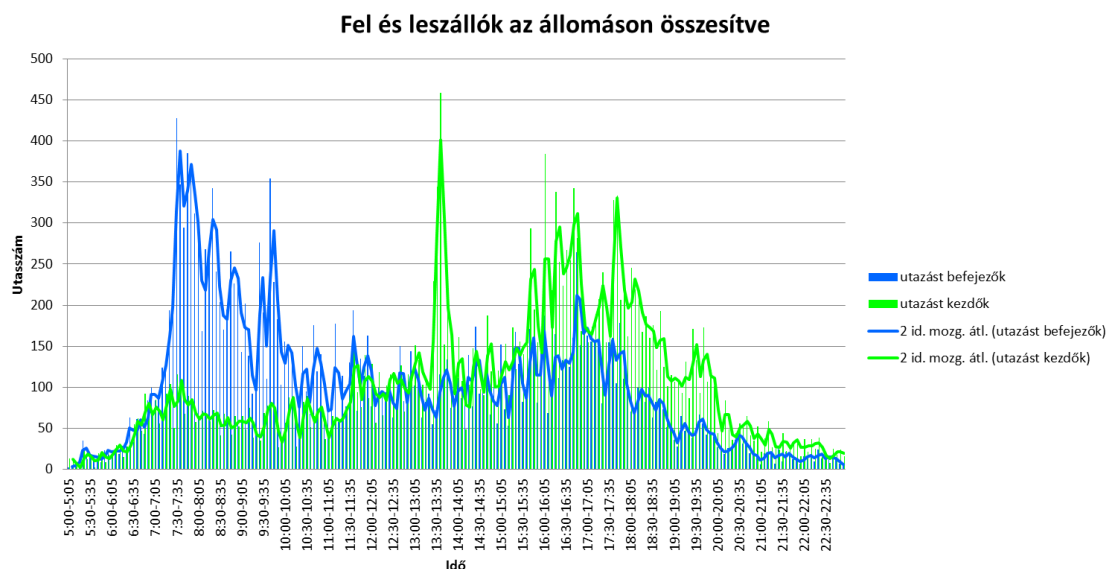
A leszálló utasok az adott napszaknak megfelelően a jelenleg érvényben lévő menetrend alapján – enyhe sztochasztikus befolyással – megjelenő metró szerelvényekkel érkeznek, tehát a modellbeli megjelenésük közel pontszerű, a valóságnak megfelelően. A szerelvényeken érkező utasszám a csúcsérték egyes szerelvényeire visszaosztott mennyisége. A felszálló utasok modellbe lépése nem egyenletes eloszlású, mivel az mérési adatok eredménye hibával terhelt. [23]



79. ábra A fel és leszálló utasszám irányonként
(Forrás: Saját szerkesztés)

A 79.ábrán jól látható a napi utasterhelés: a délelőtti és a délutáni csúcsidőszak rajzolódik ki, különösen az Örs vezér tere felé irányban látható csúcsosodás az ábrán (7:30-8:45 és 13:25-18:05 között). A Déli pályaudvar felé csak a délelőtti időszakban van nagyobb terheltség, ugyanis a külső pesti kerületek felől érkező utasok nagy része

munkamotivált célból választja a metró (jellemzően az Örs vezér terén szállnak fel). Kiugró utasszám értékek csak elvétve láthatóak: 13:30 és 13:45 között 405 [fő/5perc] Örs vezér tere 7:30 és 8:00 között 340 [fő/5perc] Déli pályaudvar felé. Ez a közlekedési rendszer menetrendi vagy forgalmi sztochasztikusságából is egyaránt adódhat. Ebben az időszakban az utasforgalom alapján akár 11 vagy 12 kapuigény is kialakulhat a sorbanállási modell és technológiai előírások szerint. Ugyanakkor az állomáson csak 10 kapu elhelyezése indokolt és gazdaságos az utasforgalom lefolyása alapján. Ezért a csúcsidőszakban célszerű a kapukat akár nyitott állásban hagyni kivezető irányban, hogy a keletkező utastömeg leépüljön. Ezt az állomási diszpécsernek figyelemmel kell kísérnie, valamint be kell avatkoznia, amennyiben szükséges. Ugyanakkor jól látszik, hogy napközben, valamint az alacsony forgalmú időszakokban a 10 tervezett kapu átbocsátó képessége elégséges.

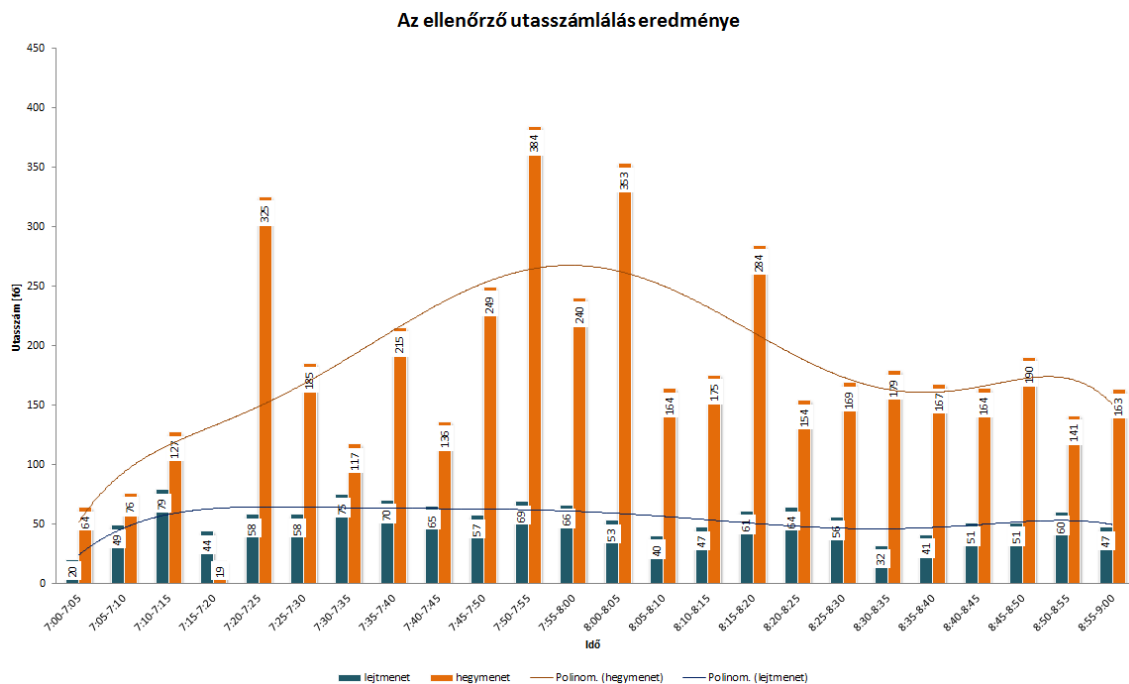


80. ábra Fel- és leszállók száma összesítve
(Forrás: Saját szerkesztés)

A 80. ábráról is leolvasható, hogy a délelőtti csúcsban az utazásukat befejezők száma, délután pedig a kezdőké kiemelkedő. Utóbbi két periódusban, a műszakváltásokhoz igazodva.

2014. októberben az Astorián készült ellenőrző, mozgólépcső hegy és lejtmeneti utasszámlálás, mely értékeit 5 perces bontásban rögzítettem

Az utazást kezdők a 2012. évi mérés adataihoz képest jelentősen csökkentek mindkét irányban. Az utazást kezdők száma 81%-al csökkent, mindössze 210 fő érkezett az állomásra a reggeli csúcsidőszakban. Csökkenés érzékelhető a befejezők terén is, 26%-al kevesebben fejezik be az utazásukat, mint 2012-ben (az hegymeneti mozgólépcső forgalma a csúcsidőben 873 fő volt). Mindez a felszíni hálózat kapacitás bővülésére vezethető vissza. Az utasszám lefolyása a 81. ábra szerint alakul.

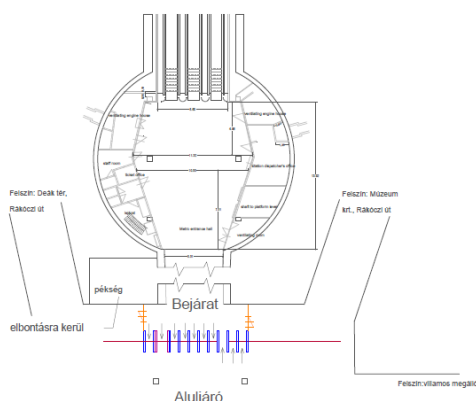


81. ábra Az ellenőrző utasszámlálás eredménye 5 perces bontásban
(Forrás: Saját szerkesztés)

Mivel a maximális utazást kezdők száma reggel csúcsidőben mindössze 79 fő, utazást befejező pedig 384 fő, ezek az értékek a 2012-es adatokhoz képest csökkenést jelentenek. Így a szimuláció során mivel az input paraméterek a 2012-es részletes adatokkal egyeznek, várhatóan a tervezés során kapacitás tartalék alakul ki. Azaz mivel nagyobb utasszámmra lesznek a kapuk méretezve, illetve a szimulációs eljárás lefutattva, a kevesebb értékre megfelelő eredményeket fog adni. Ezt előre becsülni nem lehet, hiszen a kapuk elhelyezése pillanatában nem lehet tudni, hogyan alakul majd az egyes állomások forgalma.

A szimuláció a PTV Vissim 7.0 programmal készült. A vizsgálat várható eredménye az Astoria állomás valós adatokon nyugvó modellezése, a torlasztó hatás és a kapuk előtti területen kialakuló tömeg sűrűségének láthatóvá tétele.

A kapuk irányítottságát az alábbi ábra szemlélteti (3 bejárat és 7 kijárat irányú kapu):



82. ábra Astoria állomáson a kapuk irányítottsága a szimulációhoz
(Forrás: Saját szerkesztés)

Mivel a modellben kapukat nem lehetett beépíteni, ezért azok helyet akadályok (Obstacles) alkotják azokat, melyeket a gyalogosok kikerülnek, továbbá itt várakoznak, hogy áthaladhassanak, ez a jegykezelési művelet. Ehhez egy várakozási felület került a modellbe beépítésre. E területen a gyalogosok számára sorbanállási kötelezettség is kijelölésre került. A sorbanálláshoz döntési pontok is tartoznak, mely lehetővé teszi, hogy az utas eldöntse, melyik kapun fog áthaladni, azaz kiválassza a számára optimális útvonalat (alapesetben, ha nincs tömeg a hozzá legközelebb esőn fog áthaladni). A vizsgált állomás mélyállomás típusú, ezért mozgólépcső szolgálja ki a peronszintről történő kihaladást az aluljáróba, illetve fordítva is, az aluljáró szintről a peronszintre. A mozgólépcsőkarok közül csúcsidőben kettő hegy- és egy lejtmeneti. A mozgólépcsők a hagyományos lépcsős állomásokhoz képest a korlátozott kapacitásuk miatt lökészerű intenzitást generálnak a puffertér felé. Az utasforgalom implementálása egy „Area” típusú állomással, peronnal és az aktuális menetrendi adatok alapján történt.

A gyalogosforgalom színvonalának meghatározása az Út 2-1.211 „A gyalogosközlekedés közforgalmi létesítéseinek tervezése” műszaki előírás alapján történt. A gyalogos áramlatok viselkedésjellemzőit az áramlat sebessége, sűrűsége és a rendelkezésre álló mozgástér egyaránt jellemzi. Szűkületben az áramlási sebesség lassul, sűrűség nő. Hirtelen keresztmetszet változásnál „súrlódási zóna” alakul ki, jelentős torlódással. A szolgáltatási színvonal kategorizálás sűrűség alapján történt, A-F-ig kerültek meghatározásra szolgáltatási szintek, melyek színkóddal lettek azonosítva, ahol A értéke a legkisebb sűrűség, F pedig a legnagyobb. [24]

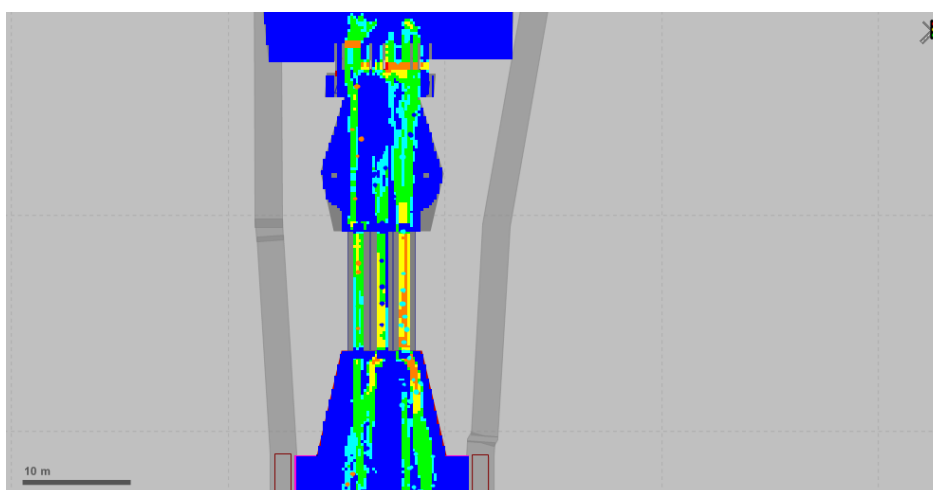
18. táblázat Gyalogosfolyosók sűrűség kategóriái
(Forrás: [24])

Szolgáltatási szint jele	Sűrűség, d [fő/m ²]
A	0,35
B	0,35-0,45
C (megfelelő)	0,35-0,75
D	0,75-1,10
E (eltűrhető)	1,10-2,15
F	2,15

19. táblázat Lépcsők sűrűség kategóriái
(Forrás: [24])

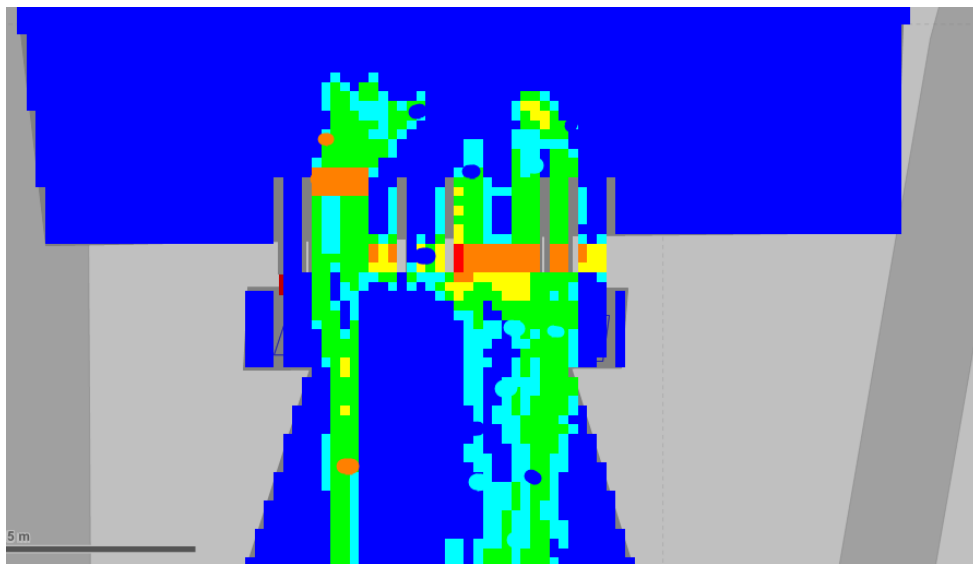
Szolgáltatási szint jele	Sűrűség, d [fő/m ²]
A	0,55
B	0,55-0,75
C (megfelelő)	0,75-1,10
D	1,10-1,55
E (eltűrhető)	1,55-2,70
F	2,70

A szimulációs eredménye ez alapján a 82. és a 83. ábrákon látható. Az első kép a mozgólépcső, pufferterület és kapuk előtti részeket együttesen ábrázolja, míg a következő csak a kapuknál lévő tolódást.



83. ábra Astoria terheltsége a gyalogos sűrűsége nézve
(Forrás: Saját szerkesztés, PTV Vissim alapján)

A peron szinten a két irány a két peronnak megfelelően elkülönül. Jelentős torlódás nem alakul ki, az utasok lejtmeneti mozgólépcsőn (bal oldalt) folyamatosan érkeznek konstans áramlás tapasztalható. Hegymenetben (középső és jobb oldali mozgólépcső) az utasok ciklikusan a menetrendnek megfelelően vonatok beérkezése alapján jönnek a felszínre. Torlódás a mozgólépcsőre való fellépéskor történik, mivel itt rendeződik a felszálló utastömeg, hiszen a mozgólépcső kapacitása korlátos, illetve a keresztmetszete adott, egyszerre maximum egy lépcsőfokra két ember tud ráállni. Ennek enyhítésére kell két hegymeneti mozgólépcső. E technológia mellett csúcsidőben peronszinten a szolgáltatási színvonal narancssárga, tehát elfogadható. A mozgólépcsők közül ebből adódóan a hegymeneti ágak lesznek terheltebbek. Az utasok viszont a hozzájuk közelebb eső mozgólépcsőn fognak felmenni, és csak néhányan kerülnek ki a tömeget, hogy a másikat válasszák. Összességében viszont elmondható hogy a lépcsőkön a sűrűség elfogadható szinten van, a kapacitásukat tekintve kihasználták a sűrűség ábra alapján. A mozgólépcsők ürítése gyors, ez jól látszik az ábrán, ugyanis a puffert területen torlódás nincs: zöld és kék színek jelzik a kihaladást. A kiáramló utasok folyamatosan egyenes vonalon el tudják hagyni az állomást, kerülő és jelentős sorbanállás nélkül. Újabb torlasztó hatás a kapuk előtt várható, mely a következő ábrán jól látszik.



84. ábra Astoria állomás kapuk terheltsége a gyalogos sűrűségre nézve
(Forrás: Saját szerkesztés, PTV Vissim alapján)

A kapukon a kihaladás folyamatos, várakozás csak az érvényesítés (jegykezelés) idejére vonatkozik. A várakozás miatt kialakuló sor nagysága minimális, a sűrűség alapján

elfogadható értéket mutat a szimuláció eredménye, azaz $2,7 \text{ fő/m}^2$ -nél nem nagyobb az egységnyi terület foglaltsága. A kapun kihaladás folyamatos, az aluljáróban eloszlik a tömeg az egyes kijáratok irányába. Befelé irányban hasonló az eredmény, az érvényesítési idő alatt alakul ki torlódás, mely itt is rövid várakozás. A szimulációs vizsgálat kimutatja, hogy az utasok nem használják az összes kaput egyik irányban sem. A 83. ábra azt mutatja, hogy a bal oldali szélső kaput befelé irányban egyáltalán nem, az akadálymentes kaput pedig kevesen használják. A jobb oldalt lévő legszélső kaput is csak néhány utas használja, ezért sem alakul ki itt sűrűsödés. A többi kapu az passzázsajtó előtt helyezkedik el, ezért a tömeg ezek előtt oszlik meg. Így valósul meg a mozgólépcsők irányából történő egyenes vonalú kihaladás ezért nem jellemző a vizsgált szimulációban olyan utas, aki a várakozó tömeget megkerülné, és kihaladás közben irányt változtatna. Ez azt jelenti, hogy valódi torlódás nincs, mivel az utasok várakozási ideje sokkal kisebb, mint a tömeg megkerülésével egy másik kapun történő áthaladással járó idő. Amíg ez az időveszteség nagy, addig a hozzájuk legközelebb eső kaput választják.

6 Összefoglalás

A dolgozatban a budapesti metróhálózaton az elektronikus jegyrendszerhez kapcsolódóan a beléptető kapuk elhelyezhetőségének vizsgálatával foglalkoztam. Munkám során a technológiai kérdéseket vizsgáltam meg, különös tekintettel a metró üzemi technológiára, a mozgólépcsők rendjére és kapacitására, az állomások kiürítésére, kapukkal szemben támasztott működési követelményekre.

E komplex követelményrendszer szem előtt tartásával olyan matematikai modellt kerestem, mely az állomásokon szükséges kapuszám számítására legjobban alkalmas, valamint további kalkulációkra is használható a beépítendő kapusor visszaszorító hatása miatt. A számításokhoz a 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 bontva, a kiszolgálási intenzitás pedig ugyanezen idő alatt a kapu átbocsátóképességét határozza meg. A modell lehetővé tette, hogy megvizsgáljam, hogy a kialakuló pufferterületen 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 pufferterületet úgy kellett meghatározni a végleges kapuszámmal, hogy a torlasztó hatás minimális legyen. A számítások során számos iteratív lépést kellett elvégezni. Először meghatároztam a modell segítségével egy előzetesen becsült kapuszámot (K_e), melyet a leírt mozgólépcső technológia alapján módosítottam, így kaptam meg a tervezett kapuszámot (K_t). Ha szükséges volt, akkor növeltem a kapuszámot a mozgólépcsőkhöz igazítva, hiszen annak a rendje meghatározó az állomás biztonságos kiürítésének érdekében. 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, azok 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 a várható végleges kapuszám értéket (K_v).

Miután a részletes tervezést elkészítettem, a puffterületen kialakuló torlasztó hatást vizsgáltam. Erre is alkalmas volt a sorbanállási modell, ugyanis ezzel a módszerrel lehetőség van olyan ellenőrzések végrehajtására, mint a sorban várakozók száma és várakozási idejük nagysága.

A várható kapuszám becslése meghatározza a csúcsórai kihasználtságot is. 90%-os kihasználtság esetén többletkapu tervezése indokolt lehet, de jellemzően hely hiányában ezt el kellett vetni. A megoldás e kritikus időszakokban a kapuk folyamatos nyitva tartása kihaladó irányban. A kihaladást felgyorsítja a kapuk szoftveres beállítása, többek között az, hogy nem lesz teljes záródás a folyamatosan érkező, kihaladó utasok között. Jelentősen alacsony kihasználtság esetén a kapuk számát egy szintig lehet csökkenteni, hiszen a magas várható kapuszám értéke jellemzően a magas technológiai kapuk száma miatt adódik, a forgalmi kapuk száma természetesen nem csökkent. Megállapítható, hogy egy adott kapumennyiség kihasználtság (40-50%) mellett nem lehet további kapacitás növelést elérni számos helyszínen, különös tekintettel a vágánykapcsolatos állomásokon.

A meghatározott beléptető kapuk száma a végső számítások után adhatóak meg, melyek közül az egyik a puffterületen végzett ellenőrzés. Miután a részletes tervezést elkészítettem, az itt kialakuló torlasztó hatást vizsgáltam. Erre is alkalmas volt a sorbanállási modell, ugyanis ezzel a módszerrel lehetőség van olyan ellenőrzések végrehajtására, mint a sorban várakozók száma és várakozási idejük nagysága. A vizsgálat tárgyát képezte, hogy a kiválasztott legszűkebb bejáratú, de igen forgalmas, belvárosi állomásokon a kapuk által lehatárolt terület kapacitása megfelel-e az érkező utasszámnak. Továbbá az igénykeletkezési ráta alapján meghatároztam a kapuknál a várakozási időket külön az előzetes és a várható kapuszám alapján is. Jól látható volt, hogy utóbbi esetén minden állomáson megfelelő mennyiségű kapu került tervezésre ahhoz, hogy ne alakuljon ki jelentős torlódás a puffterületen.

A kapuk működéséhez elengedhetetlen a megfelelő szimuláció készítése. Ezzel modellezhető a biztonságos üzemeltetés, melyen jól látszanak a kritikus keresztmetszetek, torlódási pontok. A szimulációhoz az Astoria állomást választottam, mivel a két vonal közül ez a legszűkebb keresztmetszetű, belvárosi funkciója miatt viszont jelentős. Itt a kapuk elhelyezése az aluljáró csarnokban történt, mivel a puffterület kapacitása kisebb, mint az igénykeletkezési ráta. Az állomás legszélesebb keresztmetszetén pedig a kapuk nem helyezhetők el, ugyanis számos belsőépítészeti

adottság (ajtók, oszlopok) korlátozóak. A szimulációhoz meghatározásra került a folyosók, mozgólépcsők és külön a kapuknál a sűrűség kategóriák. Alacsony sűrűségi szinttől adott értékek mellett a jelenlegi szabályozás figyelembe vételével különböző színnel ábrázolva lett az állomás telítettsége. Azokon a pontokon, ahol kék színű, az állomási terület ott alacsony a gyalogossűrűség, azaz a szolgáltatási szint magas. Ahol piros, ott torlódás alakul ki, azaz beavatkozás szükséges lehet. A vizsgált ábra segítségével beláttam, hogy az egyik legkritikusabb állomáson a modell zavartalan működést eredményeztet.

Tehát a választott modell egyéb állomásokon is alkalmas a kapuk számának meghatározására, illetve a hozzá tartozó technológia és az ebből adódó kapuszám növekedés biztosítja a budapesti metróhálózaton a biztonságos ki és beáramlást az állomásokon.

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]Budapesti Közlekedési Központ Zrt. (2014. október 08.). www.bbk.hu. Letöltés dátuma: 2014.. október 25., forrás: <http://www.bkk.hu/2014/10/alairtak-az-elektronikus-jegyrendszer-szallitoi-es-uzemeltetoi-szerzodeset/>
- [4]Ábel Melinda, A. S.-K. (2014). *Balázs Mór Terv, Budapest közlekedésfejlesztési Stratégiája 2014-2030*. Letöltés dátuma: 2014. december 10., forrás: www.bkk.hu: <http://www.bkk.hu/bmt/docs/BMT.pdf>
- [5]Esztergár-Kiss Domokos, V. D. (2015). Elektronikus díjrendszer a magyar közösségi közlekedésben. *Közlekedéstudományi Szemle*, old.: 1-11.
- [6]www.bbk.hu. (2015.. október 08.). Letöltés dátuma: 2015. október 25., forrás: <http://www.bkk.hu/2014/10/alairtak-az-elektronikus-jegyrendszer-szallitoi-es-uzemeltetoi-szerzodeset/>
- [7]<http://www.turnstilesupplier.com/>. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 24., forrás: <http://www.turnstilesupplier.com/>
- [8]www.snapguide.com. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 23, forrás: <http://snapguide.com/guides/use-a-wide-aisle-gate-on-the-london-underground>
- [9]<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>
- [10]<http://mic-ro.com>. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 23., forrás: <http://mic-ro.com/metro/farecollection.html>
- [11]<http://mno.hu>. (2012. 11. 04.). Letöltés dátuma: 2014. július 23., forrás: <http://mno.hu/belfold/hamarosan-vege-a-bliccelesnek-1211041>
- [12]<http://citytransport.info>. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 23., forrás: Kép forrása: <http://citytransport.info/Fares2.htm>
- [13]<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>
- [14]István, B. (2000). *A budapesti metróközlekedés három évtizede*. Budapest. Budapesti Közlekedési Vállalat. ISBN: 963-00-2574-4
- [15]Füzesi L., H. L. (2009). *Előterjesztés a Budapesti Közlekedési Zártkörűen Működő Részvénytársaság vezetői értekezletére*. Budapest.

- [16]Vállalat, K. D. (1979). *Metró Tervezési Irányelvek*. Közlekedés És Postaügyi Minisztérium Tanácsi Közlekedési Főosztály, 958.292/1979 szám. Közlekedési Dokumentációs Vállalat. pp. 28-34. Budapest.
- [17]S.P. Hoogendoorn, W. D. (2004). *Design Assessment of Lisbon Transfer Stations using Microscopic Pedestrian Simulation*. In Allen, J, CA Brebbia, RJ Hill, G Sciutto, S Sone (Eds.), *Computers in railways IX (Congress Proceedings of CompRail 2004)*, Dresden, Germany, May 2004 (pp. 135-147) Southampton: WIT Press.
- [18]Martin Dresner, R. Windle, Yuliang Yao. (2002). Airport Barriers to Entry in the US. *Journal of Transport Economic and Policy*, vol. 36, part 2, September 2002. pp. 389-404.
- [19]István, H. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2014. július 22., forrás: http://www.sze.hu/~harmati/Sztochasztikus%20folyamatok/sztocha_08.pdf
- [20]D. Reidel, M. N. (1994). *Mathematical Methods in Queuing Theory*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers pp. 5-15. ISBN: 0-7923-2568-0.
- [21]János, D. S. (2011). *A sorbanállási elmélet alapjai*. Debrecen.
- [22]Béla, D. D. (2013). *Tömegkiszolgálás, sorbanállás*. Budapest.
- [23]Ekés András, G. A. (2013.. május). Elektronikus jegyrendszer megvalósíthatósági tanulmányának elkészítéséhez szükséges utazási és közlekedési szokásjellemzőinek felmérése és vizsgálata. II. Kötet: Be- és kiléptető rendszerek tervezése, megoldások vizsgálata szimulációval . Budapest, Magyarország.
- [24]Magyar Útügyi Társaság. (2009. június). *A gyalogosközlekedés közforgalmi létesítményeinek tervezése. ÚT 2-1.211*. Budapest, Magyarország: Magyar Útügyi Társaság.

Ábrajegyzék

1. ábra Néhány jelenleg is létező kaputípus.....	11
2. ábra New York egyik metróállomásán lévő beléptető kapuk	14
3. ábra Londoni beléptető kapu kártyaolvasója	14
4. ábra Londoni beléptető kapuk.....	15
5. ábra A párizsi beléptető kapuk.....	15
6. ábra Brüsszel, Gare du Midi	16
7. ábra Régi budapesti beléptető kapuk	17
8. ábra Amszterdami kapuk 1	18
9. ábra Amszterdami kapuk 2	18
10. ábra A mozgólépcső és beléptető kapu vezérlés működése	19
11. ábra A munkafolyamat ábrázolása.....	38
12. ábra M2 vonal maximális utasforgalmi értékei	39
13. ábra M3 vonal maximális utasforgalmi értékei	40
14. ábra Kapuk számának megoszlása előzetes becslés alapján az M2 vonalon.....	42
15. ábra Kapuk számának megoszlása előzetes becslés alapján az M3 vonalon.....	43
16. ábra Déli pályaudvar, végállomás.....	53
17. ábra Déi pályaudvar tervezett beléptető kapuk elhelyezése	53
18. ábra Széll Kálmán tér állomás	54
19. ábra Széll Kálmán tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése	54
20. ábra Batthyány tér állomás	55
21. ábra Batthyány tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése	56
22. ábra Kossuth tér állomás (Duna felöli bejárat)	57
23. ábra Kossuth tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése.....	57
24. ábra Deák Ferenc tér állomás (Sütő utca kijárat).....	58
25. ábra Deák Ferenc tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése	58
26. ábra Astoria állomás	59
27. ábra Astoria tervezett beléptető kapuk elhelyezése	60
28. ábra Blaha Lujza tér állomás	61
29. ábra Blaha Lujza tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése	61
30. ábra Keleti pályaudvar állomás.....	62

31. ábra Keleti pályaudvar tervezett beléptető kapuk elhelyezése 160 mm széles kaputest esetén	62
32. ábra Keleti pályaudvar tervezett beléptető kapuk elhelyezése 300 mm széles kaputest esetén	63
33. ábra Puskás Ferenc Stadion állomás	64
34. ábra Puskás Ferenc Stadion tervezett beléptető kapuk elhelyezése.....	64
35. ábra Pillangó utca állomás	65
36. ábra Pillangó utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése	65
37. ábra Örs vezér tere állomás.....	66
38. ábra Örs vezér tere végállomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése	67
39. ábra Kőbánya - Kispest állomás (MÁV oldal)	71
40. ábra Kőbánya-Kispest végállomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése (MÁV állomás).....	72
41. ábra Határ út állomás	73
42. ábra Határ út állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése	73
43. ábra Pöttyös utca állomás	74
44. ábra Pöttyös utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése (MÁV állomás).....	74
45. ábra Ecseri út állomás	75
46. ábra Ecseri út állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése	75
47. ábra Népliget állomás	76
48. ábra Ecseri út tervezett beléptető kapuk elhelyezése.....	76
49. ábra Nagyvárad tér állomás	77
50. ábra Nagyvárad tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése	77
51. ábra Klinikák állomás	78
52. ábra Klinikák állomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése	78
53. ábra Corvin negyed állomás	79
54. ábra Corvin negyed tervezett beléptető kapuk elhelyezése	79
55. ábra Kálvin tér állomás	80
56. ábra Kálvin tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése.....	81
57. ábra Ferenciek tere állomás	82
58. ábra Ferenciek tere állomás beléptető kapuk elhelyezése	82
59. ábra Deák Ferenc tér állomás (múzeum felől).....	83
60. ábra Deák Ferenc tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése	83
61. ábra Arany János utca állomás.....	84

62. ábra Arany János utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése	84
63. ábra Nyugati pályaudvar állomás (jegypénztárak oldal)	86
64. ábra Nyugati pályaudvar állomás beléptető kapuk elhelyezése.....	86
65. ábra Lehel tér állomás.....	87
66. ábra Lehel tér tervezett beléptető kapuk elhelyezése.....	87
67. ábra Dózsa György út állomás.....	88
68. ábra Dózsa György út tervezett beléptető kapuk elhelyezése.....	88
69. ábraÁrpád híd állomás	89
70. ábra Árpád híd tervezett beléptető kapuk elhelyezése.....	89
71. ábra Forgách utca állomás	90
72. ábra Forgách utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése	90
73. ábra Gyöngyösi utca állomás	91
74. ábra Gyöngyösi utca tervezett beléptető kapuk elhelyezése.....	92
75. ábra Újpest városkapu állomás (MÁV peron, jegypénztár oldal)	92
76. ábra Újpest városkapu tervezett beléptető kapuk elhelyezése	93
77. ábra Újpest központ állomás.....	93
78. ábra Újpest központ végállomás tervezett beléptető kapuk elhelyezése	94
79. ábra A fel és leszálló utasszám irányonként	102
80. ábra Fel- és leszállók száma összesítve	103
81. ábra Az ellenőrző utasszámlálás eredménye 5 perces bontásban	104
82. ábra Astoria állomáson a kapuk irányítottsága a szimulációhoz	105
83. ábra Astoria terheltsége a gyalogos sűrűsége nézve.....	106
84. ábra Astoria állomás kapuk terheltsége a gyalogos sűrűsége nézve	107

Táblázatjegyzék

1. táblázat Vonalak adatai	8
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 metró.....	48
7. táblázat A kapuszám első korrekciója a 3-as metró.....	49
8. táblázat Az elhelyezhetőség problémáinak feltárása M2 vonalon.....	51
9. táblázat Várható kapuszám állomásonként.....	67
10. táblázat BKK tervezet kapuszámának eltérése és kihasználtság vizsgálata az M2 vonalon.....	68
11. táblázat Az elhelyezhetőség problémáinak feltárása M3 vonalon.....	69
12. táblázat Várható kapuszám állomásonként az M3 vonalon.....	94
13. táblázat BKK által tervezett kapuszám eltérése és kihasználtság vizsgálata az M3 vonalon.....	95
14. táblázat: Pufferterületek méretének ellenőrzése a kritikus állomásokon.....	98
15. táblázat Poisson számítás összefoglalása az M2 vonalon.....	99
16. táblázat Poisson számítás összefoglalása az M3 vonalon.....	100
17. táblázat Szimulációs paraméterek.....	102
18. táblázat Gyalogosfolyosók sűrűség kategóriái	106
19. táblázat Lépcsők sűrűség kategóriái	106