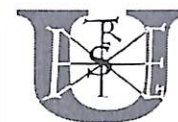


SZAKDOLGOZAT

Szalai Zsófia

2016



SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr. Dombay Gábor PhD, Eur Ing
intézetigazgató, főiskolai tanár



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST
ÉPÍTŐMÉRNÖKI INTÉZET
Cím: 1146 Budapest, Thököly út 74.
Tel.: +36-1-252-1270
e-mail: epitomernoki.intezet@ybl.szie.hu

SZAKDOLGOZAT KIÍRÁS 2017

Szalai Zsófia

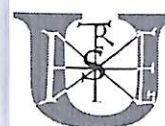
Nappali Építőmérnök szakos
hallgató részére

A feladat címe:	Kunszentmiklós – Budapest, Kacsóh Pongrác út Tram Train kapcsolat megvalósíthatóságának vizsgálata - tanulmány
Belső konzulens:	Dr. Macsinka Klára egyetemi docens
Külső konzulens:	Dr. Kazinczy László egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A szakdolgozat beadási határideje: 2017. január 6. (péntek) 12⁰⁰

Budapest, 2017. január 4.


Dr. Dombay Gábor
intézetigazgató



SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr. Dombay Gábor PhD. Eur Ing
intézetigazgató, főiskolai tanár



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST
ÉPÍTŐMÉRNÖKI INTÉZET
Cím: 1146 Budapest, Thököly út 74.
Tel.: +36-1-252-1270
e-mail: epitomernoki.intezet@ybl.szie.hu

Részletes feladatkiírás

Szalai Zsófia

Nappali Építőmérnök
hallgató részére

Kunszentmiklós – Budapest, Kacsóh Pongrác út Tram Train kapcsolat megvalósíthatóságának
vizsgálata – tanulmány

című szakdolgozatához

RÉSZLETES FELADATKIÍRÁS

Bevezetés, a téma ismertetése

A vasúti közlekedés és a Tram Train rendszerek bemutatása

Az érintett kötött pályás rendszerek jelenlegi állapota, problémák

A javasolt Tram Train vonal hálózati és műszaki jellemzői (pályaszerkezetek)

Lehetséges fejlesztési irányok

Összefoglalás

Budapest, 2017. január 4.


Dr. Macsinka Klára
belső konzulens

Szent István Egyetem

Ybl Miklós Építéstudományi Kar

Infrastrukturamérnöki Szakcsoport

Szakdolgozat

Kunszentmiklós-Kacsóh Pongrác út Tram Train kapcsolat
megvalósíthatóságának vizsgálata – tanulmány

Belső konzulens: Dr. Macsinka Klára
Egyetemi Docens
Külső konzulens: Dr. Kazinczy László
Egyetemi Docens

Szalai Zsófia
Építőmérnök képzés
Nappali tagozat BsC.

2016

Tartalom

1	Bevezetés	4
2	A vasúti közlekedés története	5
2.1	Az immobilitás kora	5
2.2	Az első mobilitási forradalom, a vasút diadala	6
2.3	A második mobilizációs forradalom, a vasút szerepének átalakulása	8
3	A jelenlegi vasúti közlekedési módok rendszerezése	10
3.1	Nagyvasutak	11
3.2	Hegyi vasutak	11
3.3	Különleges vasutak	12
3.4	Városi és elővárosi vasutak	12
3.5	Az elővárosi közúti gyorsvasút – Tram Train	13
3.5.1	A városi közúti gyorsvasút	15
3.5.2	Az elővárosi közúti gyorsvasút	15
4	Külföldön jelenleg is működő Tram Train rendszerek bemutatása	16
4.1	A Tram Train rendszer műszaki feltételei az alábbi pontokban foglalható össze	18
4.2	Tram Train rendszer bevezetésének indokoltága	18
5	Budapest jelenlegi közlekedési rendszere	23
5.1	Budapest gyorsvasúti vonalai és villamoshálózata	23
5.2	150-es vonal ismertetése	25
5.2.1	Utasforgalmi kikérdezés és gyalogos forgalmi számlálás	26
5.2.2	Gyalogos forgalmi számlálás eredményei	26
5.2.3	Utasforgalmi kikérdezés	31
5.3	A 1-es villamos vonalának ismertetése	35
5.3.1	Közlekedési kapcsolatok, hálózati szerep	35
5.3.2	A vonalon közlekedő járművek műszaki jellemzői	37
5.3.3	A menetrendi és forgalmi jellemzők	39
5.4	A Tram Train vonalának ismertetése	41
6	A vonalon lévő pályaszerkezetek ismertetése	45
6.1	Jelenlegi pályaszerkezet	45
6.2	A tervezett, új pályaszerkezet ismertetése	47
6.3	Pályaszerkezetek tervezésével kapcsolatos tudnivalók	47
6.4	RHEDA City rendszer bemutatása	49

6.5	A RHEDA City típusú szilárd betonlemez közúti vasúti pályaszerkezet építésének általános feltételei.....	50
6.6	A RHEDA City C betonlemez közúti vasúti pályaszerkezeti rendszer.....	50
6.7	A RHEDA City D betonlemez közúti vasúti pályaszerkezeti rendszer	52
6.8	A RHEDA City típusú (C és D típusok) betonlemez közúti vasúti pályaszerkezet általános előnyei az alábbiakban foglalhatók össze.....	53
6.9	A RHEDA City C típusú betonlemez közúti vasúti pályaszerkezet alkalmazásának további műszaki feltételei	54
6.9.1	Felépítményre vonatkozóan.....	54
6.9.2	Burkolatra vonatkozóan	54
6.9.3	Teherrhordó lemezre (pályalemez) vonatkozóan	55
6.9.4	Fagyvédő rétegre (FSS) vonatkozóan	55
6.9.5	Földműre vonatkozóan	55
6.10	A RHEDA City D típusú betonlemez közúti vasúti pályaszerkezet alkalmazásának további műszaki feltételei	55
6.10.1	Felépítményre vonatkozóan.....	55
6.10.2	Burkolatra vonatkozóan	56
6.10.3	Teherrhordó lemezre (pályalemez) vonatkozóan	56
6.10.4	Fagyvédő rétegre (FSS) vonatkozóan	56
6.10.5	Földműre vonatkozóan	56
7	A Zimmermann - Eisenmann féle felépítmény-méretezési eljárás.....	58
7.1	A méretezési eljárás gyakorlati és elméleti alapjai	58
7.1.1	Gyakorlati alapok.....	58
7.1.2	Elméleti alapok	58
7.2	Az elmélet mechanikai és vasútépítési alapjai	60
7.3	A Zimmermann – féle felépítmény-méretezési eljárás.....	61
7.4	A mértékadó igénybevételek számítása a Zimmermann- Eisenmann – féle felépítmény-méretezési eljárással	65
8	A RHEDA City C és a RHEDA City D típusú pályaszerkezeti megoldások összehasonlítása	67
9	Összefoglalás	72
10	Függelék	73
11	Hivatkozások	85

1 Bevezetés

A dolgozat témája a Budapesten és az agglomerációjában alkalmazható Tram Train rendszerek megvalósíthatóságának vizsgálatára irányul.

Elsőként fontos bemutatni a jelenlegi közlekedési helyzetképet, Budapesten és az agglomerációban egyaránt, valamint megmutatni, hogy hogyan jutottunk el a mai állapotokhoz. Fontosnak gondolom bemutatni a közlekedés főbb fejlesztési lehetőségeit a térségben, rávilágítani az utazók mindennapos problémáira, az ingázásra és az ebből erdőrengeteg átszállásra és várakozásra.

A Tram Train rendszer bemutatásra kerül, nyugat-európai minták alapján. Megemlítem Karlsruhe a Tram Train szülőhazáját, szemléltetve, mint egy jól működő átszállásmentes közlekedési lehetőséget.

A szakdolgozatban több budapesti vonal összekapcsolásának lehetőségét is bemutatom, továbbá meghatározom azokat a helyszíneket, ahol a legcélszerűbb lenne megvalósítani az átszállásmentes közlekedést. Ez után egy konkrét vonal vizsgálatával szemléltetem, hogy ez a rendszer megkönnyítené a naponta ingázók közlekedését. Részletesebben vizsgálva a városi vasúti szakaszt a tervezett vonalnak, kitérve itt a jelenleg is üzemben lévő járművekre és a pályaszerkezetre.

Végül pedig egy általam választott új pályaszerkezeti megoldást mutatnék be, amely remekül helyettesíthetné a jelenlegi pályaszerkezetet, ugyanis ezt a megoldást, már Nyugat-Európában nagyon sok helyen alkalmazzák, mind az elővárosi vasutak, mind a városi vasutak vonalain. Az új pályaszerkezet kialakításának indoka, a gyorsabb építés és a kedvezőbb, mérési eredmények, melyek a sínszál lehajlására, a rugalmas ágyazású alátámasztás alatt ébredő nyomásra, erőre és hajlító nyomatékra vonatkoznak.

2 A vasúti közlekedés története

A közlekedés története megegyezik az emberiség történetének kezdetével. A közlekedés a fejlődés következtében különböző eszközök igénybevételével vált hatékonyabbá. A közlekedési eszközöket kétféleképpen csoportosíthatjuk, lehetnek pálya jellegűek ilyen például a vasút, és jármű jellegűek, mint például az autó. A közlekedés történetét a vasút szempontjából, viszont három jelentős korszakra lehet bontani, amik a következők:

- 1) a vasút előtti kor (immobilitás),
- 2) a vasút megjelenése és térhódítása (az első mobilitási forradalom),
- 3) a közúti közlekedés elterjedése, a vasút szerepének átalakulása (második mobilitási forradalom).

2.1 Az immobilitás kora

Az ember a nagyobb távolságok megtételét két alapvető módon könnyíthette meg a maga számára. Az egyik esetben a közlekedési eszközöket fejleszthette, járművek használatával, a másik esetben pedig a közlekedési hálózatok kiépítésével, kiterjesztésével könnyíthette meg az életét. Először a közlekedési hálózatok jelentek meg, ezeknek is a kezdetleges formái. A nagyon kezdetleges erdei ösvényektől, csapásoktól a tervezett, kiépített úthálózatokig sok évezrednek kellett eltelnie. Az első kiépített úthálózatok a Perzsa, a Kínai és a Római Birodalomban jelentek meg.

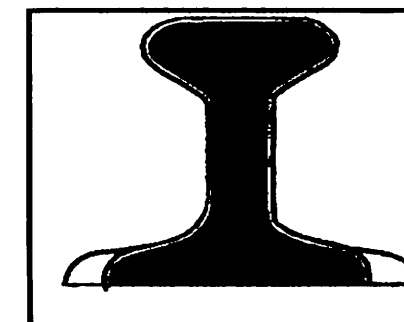


Feltehetőleg az első közlekedési eszköz a szán és a tutaj lehetett. Az állatok házasítása és munkába fogása szintén nagy előrelépés volt a közlekedés terén, de az állatokat csak a kerék és a kocsi felfedezése tette igazán hasznossá. Évezredekken keresztül a kocsi elé fogott állatok voltak az egyetlen olyan szárazföldi közlekedési eszközök, amelyek nagyobb távolságok áthidalására voltak alkalmasak. Én felcserélném a mondatelemek helyét pl.: Az első közlekedési szolgáltatás a posta volt, amit az ókori rómaiak használtak először, közigazgatási érdekekből. Évszázadokkal később a posta már magánszemélyeket és küldeményeket is szállított. Magyarországon 1752-ben jelent meg a posta szolgáltatás ami, előre megváltott jegyekkel, menetrendszerű járatokkal működött. (Mind az utazási lehetőségek, mind az utazók száma összefüggött egymással. Az utasok száma úgy emelkedhetett, ahogy a közlekedés egyre gyorsabbá és egyszerűbbé vált. A XVIII. században egész Európában tömegesen kezdődött meg az utak építése, ez a folyamat az áruszállítást és a személyforgalom lebonyolítását is egyszerűbbé tette.

2.2 Az első mobilitási forradalom, a vasút diadala

Először a 16. században, német bányákban alkalmazták a kötött pályát, ekkor a sínek még fából készültek és használatuk hamar elterjedt. A földfelszínen először Newcastle-ben alkalmazták a fa nyompályát. A bányából a kikötőbe lovak vontatták a szenet kis vagonokban. A nagy igénybevételek miatt a fa nyompályák hamar elkoptak, így eleinte egy fémllemezrel borították a fa gerendákat.

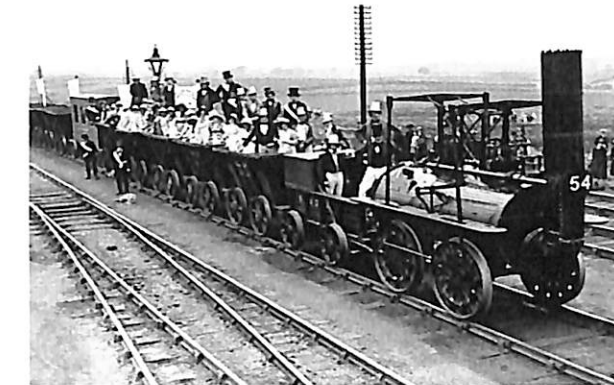
1767-ben készítettek először öntöttvas síneket, 1776-ban szögvas pályát, majd 1789-ben William Jessop gombafejes pályát épített, végül John Birkinshaw találmánya a sínhengerlés oldotta meg a ridegtöréssel szembeni problémát. 1830-ban elkészült az első ma is használatos széles talpú, gomba formájú sín profil (1. ábra), Robert Livingstone Stevens jóvoltából.



1. ábra Széles talpú sínprofil

1734-ben használtak először nyomkarimás kereket, aminek megjelenése egyértelműen elkülönítette a vasúti járműveket a közútiaktól. Az ipari felhasználás mellett szerették volna kihasználni a lovak vontatta vasút hasznát a személyforgalom szállítására is. Az első ilyen szolgáltatást 1802-ben nyitották meg a Surrey Vasút néven London mellett. A 19. Század elején egyre jobban elterjed a lóvasút használata, de a sebességet sajnos nem tudták növelni, mivel ez az állatoktól függött. Az előrelépéshez az állati erőt kellett valahogyan helyettesíteni, ezt az alternatívát a gőzgép feltalálása tette lehetővé. James Watt építette meg az első biztonságos gőzgépet.

1825-ben elkészül George és Robert Stephenson mozdonya a Locomotion (2. ábra), mely a Stockton-Darlington vonalon közlekedett először, ennek a vonalnak a megnyitása 1825. szeptember 27-én volt.



2. ábra Locomotion

1830-ban nyílt meg az első gőzmozdonyos vontatásra tervezett közforgalmú vasútvonal, Manchester és Liverpool között.

Magyarország elmaradásban volt a nyugati országokhoz képest, főként a nem megfelelő infrastruktúra miatt. Az első kísérletek 1827-ben voltak a Pest-Kőbánya lebegővasút próbaszakaszán. 1840-ben nyílt meg az első lóvasút Pozsony és Szentgyörgy között. 1846-ban avatták fel a Budapest-Vác közötti vasúti szakaszt. 1850-re elkészült Budapest-Bécs vasúti vonala is, és ekkor államosították a vasutakat először. 1869-ben létrehozták a Magyar Királyi Államvasutakat. Hazánk is kiépítette a nemzetközi összeköttetéseit, így ezt követően már az országot is érintik a nemzetközi járatok, mint például az 1883-ban induló Párizs-Isztambul járat, az Orient-expressz.

Eleinte a vasutat a közút alternatívájaként képzelték el, ezért a személyszállító kocsik kialakítása hasonlított a hintókéhoz. Európában rövid, kettő-három tengelyes kocsikat építenek folyosóval, fülkés elrendezéssel. A szolgáltatások színvonalát három (néhol négy-öt) osztályba is sorolták.

A gőzmozdonyok fejlődése is három nagyobb részre osztható. Az első szakaszban az alapvető műszaki megoldásokra és az üzemképességre helyezték a hangsúlyt, a második szakaszban, a teljesítmény növelése, az univerzális mozdony feladatának kidolgozása és a járművek esztétikájának kialakítása volt a feladat. A harmadik, és egyben utolsó szakaszban az erőteljes teljesítmény és a gazdaságosság javítása volt a cél.

2.3 A második mobilizációs forradalom, a vasút szerepének átalakulása

A XX. században a vasút többszörös versenyhelyzetbe került, új technológiák születtek meg, melyek forradalmasították a közúti közlekedést. Mára viszont már nem csak a közúti közlekedéssel kell felvennie a versenyt, mert közben megjelent a légi közlekedés is. A XIX. század végére a gőzgépek elérték teljesítőképességük csúcsát, ugyanakkor a vasút csak akkor maradhatott versenyképes, ha növelni tudja a sebességét.

Az 1800-as években felfedezték az elektromosságot és ez által az egyen-, majd váltakozó áram is a köztudatba került. Ennek köszönhetően megalkották az első motorokat. Ezeknek a gépeknek a hatásfokuk sokkal kedvezőbb, így nagy reményeket fűztek hozzájuk. A XX. század magyarországi történetével kapcsolatban kiemelt jelentőségű, hogy az első világháborút lezáró békével jelentősen megcsökkentették az ország (Magyarország) területét, és ezáltal az addig kiépített vasúthálózatot is, így a már megépített hálózatnak több mint 60%-át elveszítette az állam. Az infrastruktúra nagyon nehezen tudott felzárkózni a nyugati országokhoz, ezért csak nehezen indult meg újra a villamosítás. Az egyes vállalatok inkább a közúti szállítást választották, ezért a kihasználatlan vonalakat felszámolták. Nem segített a vasúti közlekedés fejlesztésének a helyzetén, hogy a szocializmus időszakában 1968-ban elfogadott közlekedéspolitikai is elsődlegesen a közúti hálózat fejlesztését célozta meg.

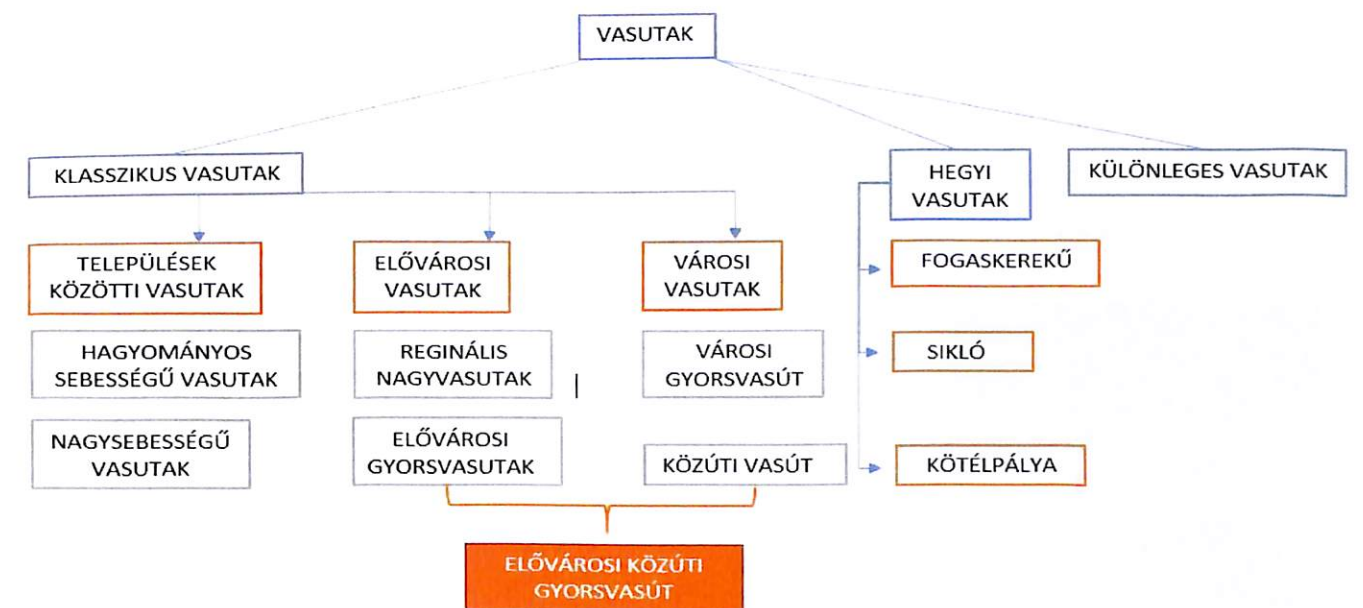
A vasúti közlekedés sebességének növekedése az egész világon gyorsan elterjed, különösen az erős gazdasággal és nagy területekkel rendelkező országok esetében. 1956-ban elindult a Párizs-Lyon-Marseille közötti 160km/h-ás nagysebességű Mistral Express. Később megalakították a Trans - Europ Express vasúttársaságot. 1982-ben indult útjára az első 260 km/h-val közlekedő vasút Párizs és Lyon között. Azóta a hálózatot tovább fejlesztették, és a sebesség is elérte a 320 km/h-t.

A nagysebességű vonatok célja, hogy lehetővé tegyék a nagy távolságok gyors legyőzését. A kiépült hálózatokkal rendelkező országok tapasztalatai bebizonyították, hogy a nagysebességű vonat felvette a versenyt a repülőgépekkel szemben. A nagysebességű vonatok előnye, a magas szintű kényelem és szolgáltatások biztosíthatósága, környezetbarát és ugyanakkor energiatakarékos is.¹

¹ (Közlekedéstörténet: A vasút, 2009), elérhető: <http://www.sze.hu/~htms/blog/dipl/a01.pdf>

3

1



3. ábra Az elővárosi gyorsvasút helyzete a vasutak rendszerében

3.1 Nagyvasutak

Lényegében klasszikus felépítményen (zúzottkő ágyazatú, keresztaljas illetve betonlemezés pályaszerkezeten) mozdonyvonat vagy motorkocsi üzemmódban közlekedő vasút.



4. ábra MÁV 5341 – FLIRT



5. ábra MÁV 143

3.2 Hegyi vasutak

A hagyományos vasúttól eltérő kötőtpályás közlekedési módok, amelyek elsősorban a hegyvidéki közlekedést szolgálják (fogaskerekű vasutak, siklók, kötélpályák).



6. ábra Fogaskerekű vasút



7. ábra Siklóvasút

3.3 Különleges vasutak

A közlekedés alapelemeiben (pálya, jármű, energiaellátás, állomások) illetve az üzemvitelben térnek el a normál vasutaktól.



8. ábra Mágnesvasút – Shinkansen



9. ábra Transrapid – Shanghai

3.4 Városi és elővárosi vasutak

A város határain belül illetve a városkörnyéki forgalomban üzemelő vasutak, amelyek kialakításai, szolgáltatásai eltérnek a nagyvasútétól. Az alábbi ábrákon összehasonlítható a városi és elővárosi vasutak.²



10. ábra Reginális nagyvasút



11. ábra Elővárosi gyorsvasút



12. ábra Városi gyorsvasút



13. ábra Közüti vasút

² (Vasúti közlekedési módok, 2017)
elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Vas%C3%BAti_k%C3%B6zleked%C3%A9si_m%C3%B3dok

3.5 Az elővárosi közúti gyorsvasút – Tram Train

A város és az agglomeráció területein hatékonyan működő közösségi közlekedési eszköz, amely biztosítja az átszállásmentes közlekedést az agglomeráció és a városközpont között. A járművek képesek használni mind a nagyvasúti vonalakat, mind a városi vasút hálózatát.

A Tram Train rendszer magában foglalja az elővárosi vasutak és a városi közúti vasutak legkedvezőbb tulajdonságait.

A **közúti vasutak** (közúti villamosvasutak) általában a városok területén belül, elektromos energiával üzemelnek (az 550-, 600-, 750 V egyenárammal üzemelő járművek az elektromos energiát felső vezetékről kapják), szoros kapcsolatban állnak a közúti gépjárművekkel. A közúti villamosvasúti szerelvények megengedett legnagyobb sebessége a közúti gépjárművek számára a lakott területen belül megengedett maximális sebességgel azonos (általában 50 km/h). Külső városrészeken, a burkolat nélküli vonalszakaszokon külön rendelkezés szerint a közúti gépjárművekre előírt legnagyobb sebességtől eltérhet a villamosvasúti szerelvények sebessége (maximálisan 70 km/h). A közúti villamosvasútra a viszonylag rövid megállóhely távolság (300-400 m), egy-egy viszonylaton belül a 3-12 perces követési idő (forgalomtól függően) jellemző. A közúti villamosvasúti járművek biztosítóberendezés nélkül közlekednek.

Az **elővárosi gyorsvasutak** a városok területén belül-, valamint a városok és a hozzájuk tartozó agglomerációk között üzemelő vasutak, amelyek forgalmát gyalogosok, illetve egyéb vasúti, vagy közúti járművek nem befolyásolják. A gyorsvasutak általában a környezettől elzárt zárt pályán üzemelnek, forgalmukra az átlagos vonatkövetési idő (minimálisan 5-10 perc), a szerelvények dinamikus mozgása és nagy végsebessége (80-120 km/h) jellemző. A gyors utas csere általában magas peronokról, szintbeli ki-beszállásokkal valósul meg. A gyorsvasutak üzemét jelző- és biztosító berendezések támogatják.

A közúti vasutak, illetve az elővárosi gyorsvasutak a pálya, a jármű és az üzemmód tekintetében jelentős mértékben eltérnek egymástól. Az elmúlt két évtizedben (az 1990-es évek elejétől) a városi közlekedés területén előtérbe kerültek a városi környezethez jól alkalmazkodó, a környezetet kímélő, az utazó emberek igényeit kielégítő városi vasutak. Minthogy az újonnan kialakult városi vasúti üzem mind a két vasúti üzem sajátosságait tartalmazza, ezért a **közúti gyorsvasút** elnevezést kapta.

A közúti gyorsvasutak között attól függően, hogy mely területeket szolgálja ki, két változatot különböztetünk meg:

1. Városi közúti gyorsvasút;
2. Elővárosi közúti gyorsvasút.

A közúti gyorsvasutaknak - amelyek járművei és pályaparaméterei a közúti vasutak, és a gyorsvasutak között találhatók - három megjelenési formája figyelhető meg ez idáig:

A közúti gyorsvasutaknak, melyeknek a járművei és pályaparaméterei a közúti vasutak és a gyorsvasutak között helyezkednek el, három megjelenési formája létezik, melyek a következők:

1. Homogén üzemmél működő
2. Vegyes üzemmél működő nagyvasúti teherforgalommal
3. Vegyes üzemmél, nagyvasúti teher- és személyforgalommal, két áramnemű energiaellátással³

³ (Dr. Kazinczy, Az európai nagyvárosok regionális közlekedésének fejlődési irányai, 2001. 4. évfolyam 13.szám) Dr. Kazinczy László: Az európai nagyvárosok regionális közlekedésének fejlődési irányai, Műszaki Szemle, 2001. 4. évfolyam, 13. szám, 12. oldal

3.5.1 A városi közúti gyorsvasút

A városhatáron belül üzemelő városi közúti gyorsvasút új hálózata épült ki például Stuttgart-ban az 1990-es évek elejétől kezdődően. A változó műszaki paraméterű- és kiépítésű pályaszakaszokat, valamint a nagy szállítási teljesítményű járműveket szemléltetik a **14-15. ábrák**.



14. ábra Közúti gyorsvasút - burkolat nélkül, külvárosi szakasz



15. ábra Közúti gyorsvasút - belvárosi szakasz, burkolt pálya

3.5.2 Az elővárosi közúti gyorsvasút

Az **elővárosi közúti gyorsvasutak** az agglomeráció településeit és a városközpontot kötik össze úgy, hogy átszállásmentes közlekedést biztosítanak az ingázók számára. (Karlsruhe, Kassel, Chemnitz stb.).

Ez a fajta közlekedési mód már természetessé vált tőlünk nyugatabbra főnként Németországban, ugyanis itt több városban is sikeresen működik ez a fajta közösségi közlekedés.

4 Külföldön jelenleg is működő Tram Train rendszerek bemutatása

Karlsruhe

Legelőször a 280 000 lakosú Karlsruhe városában dolgoztak ki egy olyan rendszert, ami lehetővé tette az utazók számára az átszállásmentes közlekedést az agglomeráció és a városközpont között. Bevezettek egy olyan járművet, ami egyszerre tudta használni a nagyvasút vonalait AC üzemmódban 15 kV/16,7 Hz-en és a városi vasút hálózatát DC üzemmódban 750 V-on is. Karlsruhe városában jelenleg több vonalszakaszon is vegyes üzemű rendszer működik. Későbbiekben ezt a rendszert „Karlsruhei-modell” névre keresztelték el.⁴



16. ábra Karlsruhe - jelenleg is üzemben lévő jármű



17. ábra Chemnitz - Regionalbahn

Chemnitz

A Tram Train bevezetésének ötlete előtt a város már rendelkezett egy kiterjedt villamoshálózattal, ez nagyban megkönnyítette később, az új rendszer kialakítását, melyben közvetlen kapcsolatot szerettek volna kialakítani a nagyvasút és a városi vasúti hálózat között. A jelenleg a járművek a Citybahn nevet használják. A szerelvények a városban a villamos vonalakat használják, majd városon kívül a nagyvasút mellékvonalait veszik igénybe.⁵

⁴ (Koch, 2000) Manfred Koch: Unter Strom: Geschichte des öffentlichen Nahverkehrs in Karlsruhe, Badenia Verlag, 2000

⁵ (Tramtrain nyitó Chemnitzben, 2017), elérhető: <http://www.regionalbahn.hu/2016/10/Chemnitz-Bahn.html>

Nordhausen

Nordhausenben a városi villamos vasút megy ki az agglomerációba, és a városhatár után tér át a nagyvasúti pályára. Jelenleg hibrid-Combino típusú járművek közlekednek a vonalon. A városon belül felső áramszedővel működnek a szerelvények, majd ha kiér a városból, leereszti az áramszedőt és úgy megy tovább.⁶



18. ábra Nordhausen - Hibrid Combino

Zwickau

A Train Tram üzemet képviseli a Zwickauban alkalmazott megoldás, ugyanis itt a nagyvasutat vezetik be a helyi városi vasút pályájára. Azoknak a nagyvasúti járműveknek, amelyek így üzemelnek, teljesíteniük kell a városi vasutakra vonatkozó előírásokat.⁷



19. ábra Zwickau - Train Tram

⁶ (Combino amiben egy BMW lelke szunnyad, 2017),

elérhető: http://hamster.blog.hu/2013/11/05/a_combino_amiben_egy_bmw_lelke_szunnyad

⁷ (Tram Train: The 2nd generation, 2017), elérhető: <http://www.lightrail.nl/TramTrain/tramtrain.htm>

4.1 A Tram Train rendszer műszaki feltételei az alábbi pontokban foglalható össze

A Tram Train rendszernek eleget kell tennie, mind a nagyvasúti, mind a városi vasúti tervezési paramétereknek, ugyanis ez egy vegyes üzemű rendszer. Működése során igénybe veszi a nagyvasút vonalát és a városi vasutak hálózatát is. Az alábbi pontokból jól látható, hogy milyen kritériumoknak kell megfelelnie:

1. A járművek alkalmasak legyenek, mind a közúti vasút (750 V, DC) és a nagyvasút (15 kV, AC) elektromos üzem módjaira.
2. A járművek kerékabroncsai 'vegyes profil' kialakításúak legyenek, ami nagyvasúti és közúti vasúti kitérőkön való áthaladást megkönnyíti.
3. A járművek fontosabb műszaki adatai:
 - Nyomtávolság: 1435 mm
 - Padlómagasság: 880/630/850 mm
 - Teljesítmény: 4* 127 kW (750 V-nál)
 - Legnagyobb sebesség: 100 km/h
 - Gyorsulás: 0,85 m/s²
 - Fékezési lassulás: 1,6 m/s²
4. Legkisebb járható körív sugár: 23 m
5. A járműveknek mozgatható lépcsője legyen, hogy alkalmazkodjon a különböző peronmagasságokhoz (150/380/580/760 mm)⁸

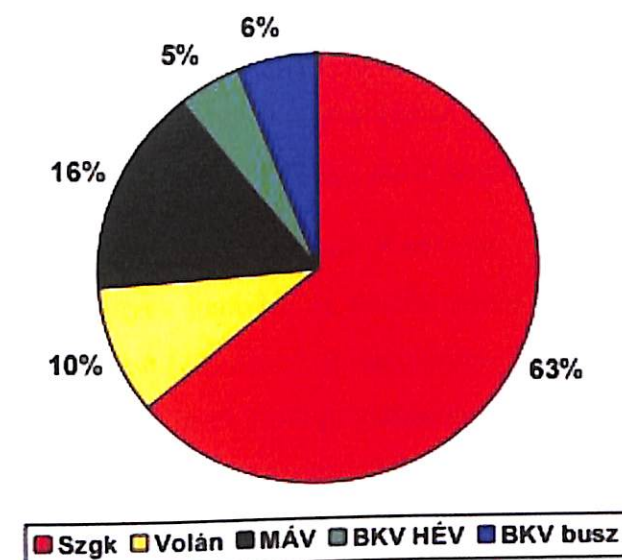
4.2 Tram Train rendszer bevezetésének indokoltága

Budapest az ország vérkeringésének központja, rengeteg ember dolgozik és él a fővárosban. A naponta Budapestre járó dolgozó emberek száma egyre nő, mivel az utóbbi időben sokan kiköltöztek az agglomerációs térségbe. Budapest agglomerációs térsége elég nagy területet ölel fel. A szuburbanizációval együtt jár a mobilitási igények fokozódása is, amit az emberek többsége gépkocsi használattal old meg.⁹

^{8 8} Dr. Kazinczy László: Az európai nagyvárosok regionális közlekedésének fejlődési irányai, Műszaki Szemle, 2001. 4. évfolyam, 13. szám, 14. oldal

⁹ (Városkutatás, 2017) Hatékony közlekedés-menedzsment Budapesten, Városkutatás Kft, tanulmány, 49. oldal
elérhető: <http://www.urbanisztika.bme.hu/segedlet/Infra/Bp-dugodij-tan-1%5B1%5D.pdf>

A következő diagram (20. ábra) jól mutatja a városhatárt átlépő utazások megoszlását:



20. ábra A különböző utazási formák megoszlása

Budapest jelenlegi modal-split értéke megmutatja a közösségi közlekedést és a gépkocsit használók arányát, melyből az derül ki, hogy a közlekedők 62%-a használja a közösségi közlekedést, és 38%-a személy gépjárművet.¹⁰

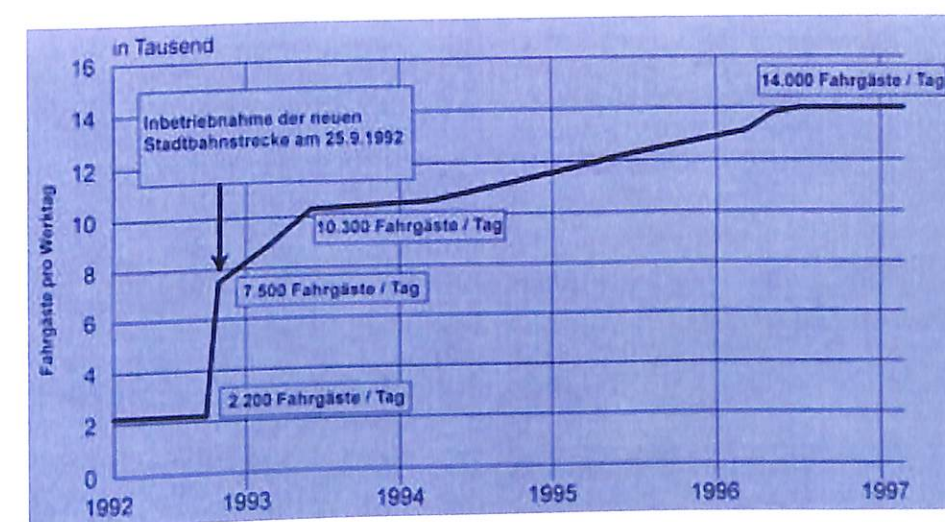
Ha az agglomerációban fejlett lenne a kötöttpályás közlekedés, azzal csökkenthető lenne a gépkocsik használata a napi szintű munkába járáshoz. Ugyanakkor nem elég a megfelelő kiépítettségű vonalak megléte, a rendszeres használathoz az utazási kényelmet is biztosítani kell, kedvező alternatívát kell adni az embereknek, hogy megváltoztassák az utazási szokásaikat. A Budapest és az agglomerációs térség között fellépő közlekedési problémák megoldására véleményem szerint a kötöttpályás közlekedés fejlesztése lenne a megoldás. A Tram Train rendszer bevezetése az agglomerációba, egy jó alternatívát adna az ott élőknek, ugyanis a rendszer lényege nem más, mint az, hogy a városi kötöttpályás közlekedést kivezetik az agglomerációba, ezáltal átszállásmentessé téve a közlekedést. A Tram Train megoldás egy nagyon kedvező interoperábilis közlekedési mód, mely a különböző közlekedési módok között teremt műszaki együtt működést. A legvonzóbb tulajdonsága az átjárhatóság lenne, ami azt jelenti, hogy egy jármű akár több pályát is igénybe tud venni. Ezzel biztosítva az utazóknak, a közlekedés átszállásmentességét, valamint a várakozási idők minimálisra csökkentését.¹¹

¹⁰ (Endurance, 2017), elérhető: <http://www.epomm.eu/endurance/index.php?id=2809&country=hu>

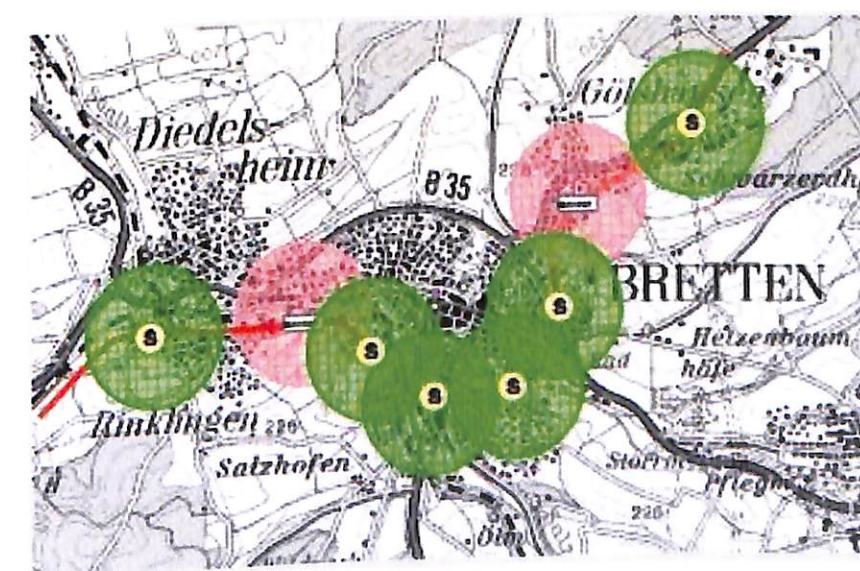
¹¹ (Tamás, Közlekedési technika című előadás, 2017) Soltész Tamás: Közlekedési technika című előadása

Nyugat-európai példák igazolják, hogy a város és az agglomeráció közötti közlekedés, illetve az ott élő emberek életminősége is pozitív irányba változott. Egy konkrét példa erre Dr. – Ing. Gerhardt Bernstein a Karlsruhei Egyetem professzorának Karlsruhe-ban végzett felmérése. A témával kapcsolatban a professzor később egy tanulmányt is írt. A tanulmány eredményeit Dr. Kazinczy László engedélyével használok fel.

Az alábbi ábrákon látható Karlsruhe és Bretten városa között bevezetett két-áramnemű szerelvények hatására az utasforgalom fejlődése (21. ábra), a megállóhelyek számának növekedése (22. ábra), a települések lélekszámának növekedése (23. ábra), a különböző területfejlesztések Bretten városában (24. ábra), valamint az adók változása (26. ábra), és a vonalhálózat növekedése (25. ábra) a két település között.



21. ábra Utasforgalom fejlődése Bretten és Karlsruhe között



22. ábra Megállóhelyek számának növekedése

(elérhető: http://www.kukg.bme.hu/kukg/oktatas/bsc/tantargy/BMEKOKUA901/Kozl_technika_varosi_kozl.pdf)

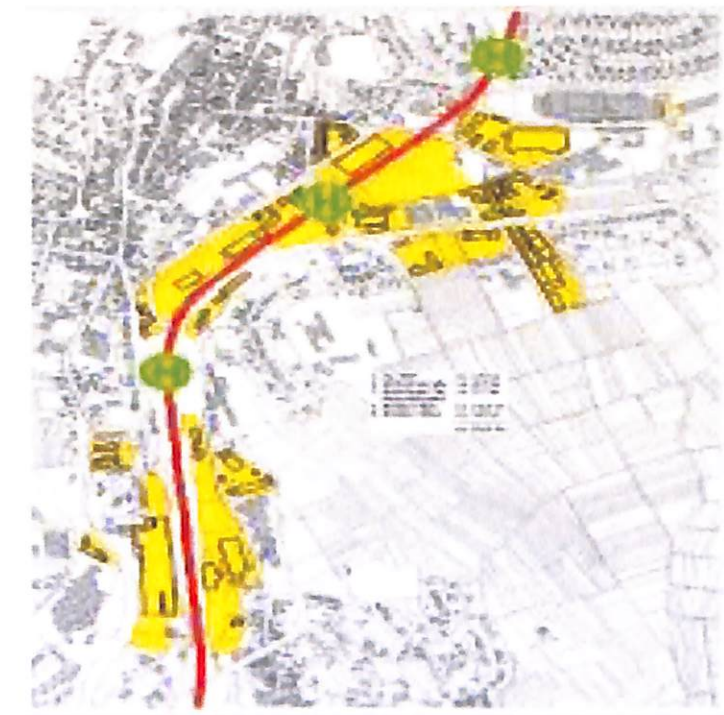
Einwohnerzahlen

1988
23.800

2008
28.000 (+17%)



23. ábra Települések lélekszámának növekedése 23 ezerrel 28 ezerre (1988-2008)



24. ábra Területfejlesztések a vonalak mentén

Entwicklung des
Stadtbahnnetzes 1992 – 2010

- ▶ Netzlänge 1992: 140 km
- ▶ Netzlänge 1998: 250 km
- ▶ Netzlänge 2000: 360 km
- ▶ Netzlänge 2005: 530 km
- Netzlänge 2010: 691 km



25. ábra A vonalhálózat kibővülése

Arbeitsplätze in Bretten
(sozialversicherungspflichtig
Beschäftigte)

1988 8.800 2008 11.000
(+27,9%)



Arbeitslosenquote
in Bretten

1988 20% 2008 6%



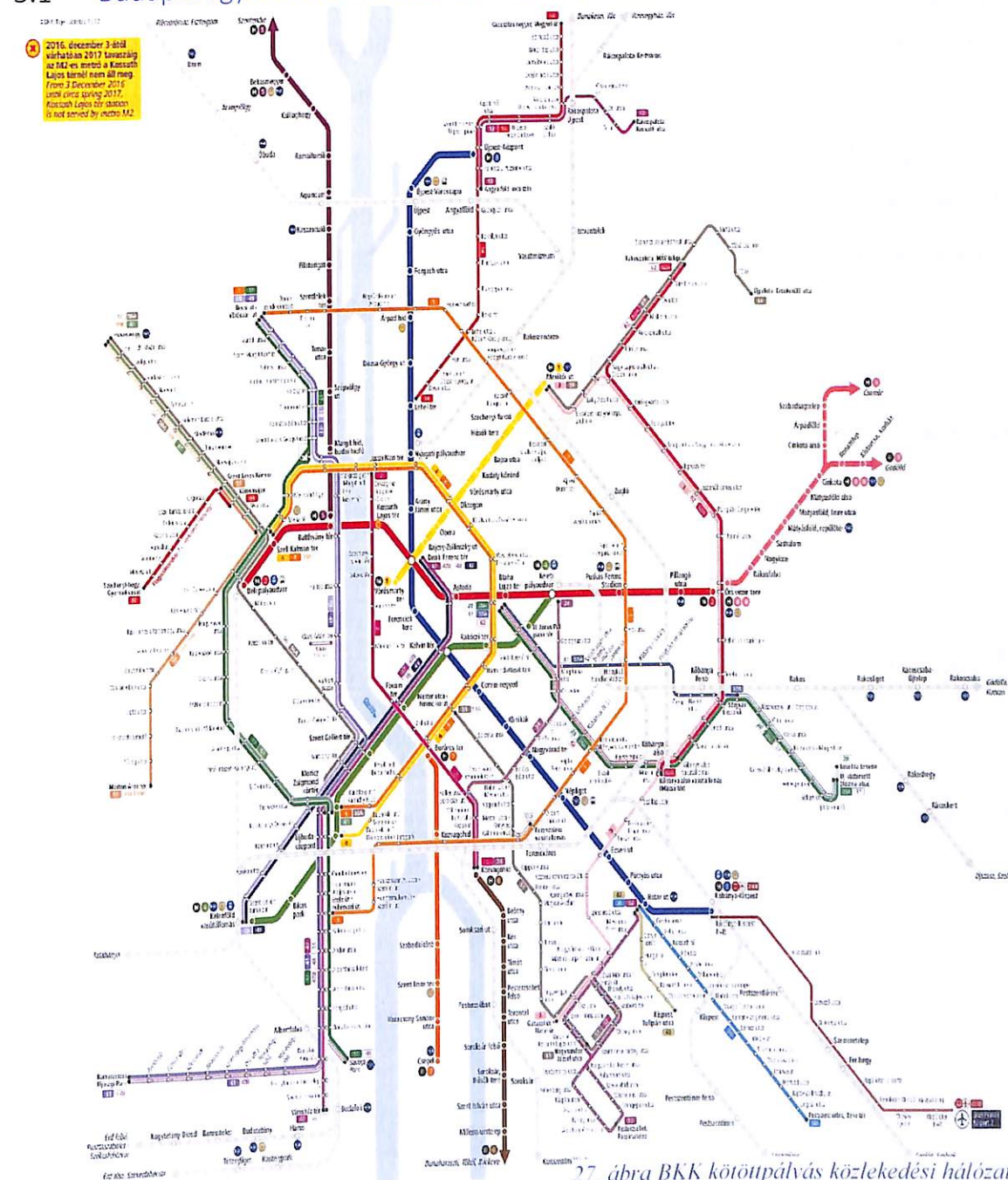
26. ábra Munkahelyek növekedése

Ennek a rendszernek a kiépítése Karlsruhe városában és a környező agglomerációban mindenképpen pozitív változást hozott az emberek életébe. Tehát levonhatjuk azt a következtetést, mi szerint ez egy jól működő rendszer, a emberek szívesen használják az átszállásmentes közlekedést, és élvezik annak előnyeit.

5 Budapest jelenlegi közlekedési rendszere

A továbbiakban szeretném bemutatni Budapest jelenlegi közlekedési rendszerét, melyben különös figyelmet kapnak a kötőtpályás közlekedési módok, mind a városon belüli, mind a városon kívüli viszonylatai. Az alábbi térkép (27.ábra) mutatja be legjobban a jelenlegi (2016-os) budapesti kötőtpályás közlekedési rendszert, melyet a BKK honlapjáról töltöttem le.¹²

5.1 Budapest gyorsvasúti vonalai és villamoshálózata



Budapest vasúthálózati szerkezetét tekintve sugaras kiépítettségű, a haránt irányú összeköttetések a városon kívül teljesen hiányoznak. A városi vasúti közlekedés között találunk haránt irányú vonalakat, a városi gyorsvasúti vonalaink pedig átmérő jellegűek.

Budapest térségében 11 vasútvonal üzemel napi használattal, valamint 5 HÉV vonal segíti a naponta ingázók közlekedését a városközpont és az agglomeráció között.

Az alábbi táblázatban (1. táblázat) foglaltam össze azokat a kötőtpályás nagyvasúti vonalakat és elővárosi gyorsvasúti vonalakat, melyek valamilyen szinten tudnának kapcsolódni a városi vasúti hálózathoz. Sok HÉV vonal közvetlenül kapcsolódik egyéb kötőtpályás közlekedési üzemhez, ezért egyes viszonylatok esetében meg lehetne vizsgálni a több-áramnemű energiaellátás lehetőségét, és ennek előnyeit.

Ezeknek a viszonylatoknak a megvalósíthatóságát nem tartalmazza a dolgozatom, csak néhány vonalat emeltem ki, hogy hol lenne érdemes ezeket a viszonylatokat bekapcsolni a budapesti közlekedési rendszerbe, mint annak szerves részévé tenni, ezzel is könnyítve az agglomerációból a városba, illetve fordítva közlekedők utazását.

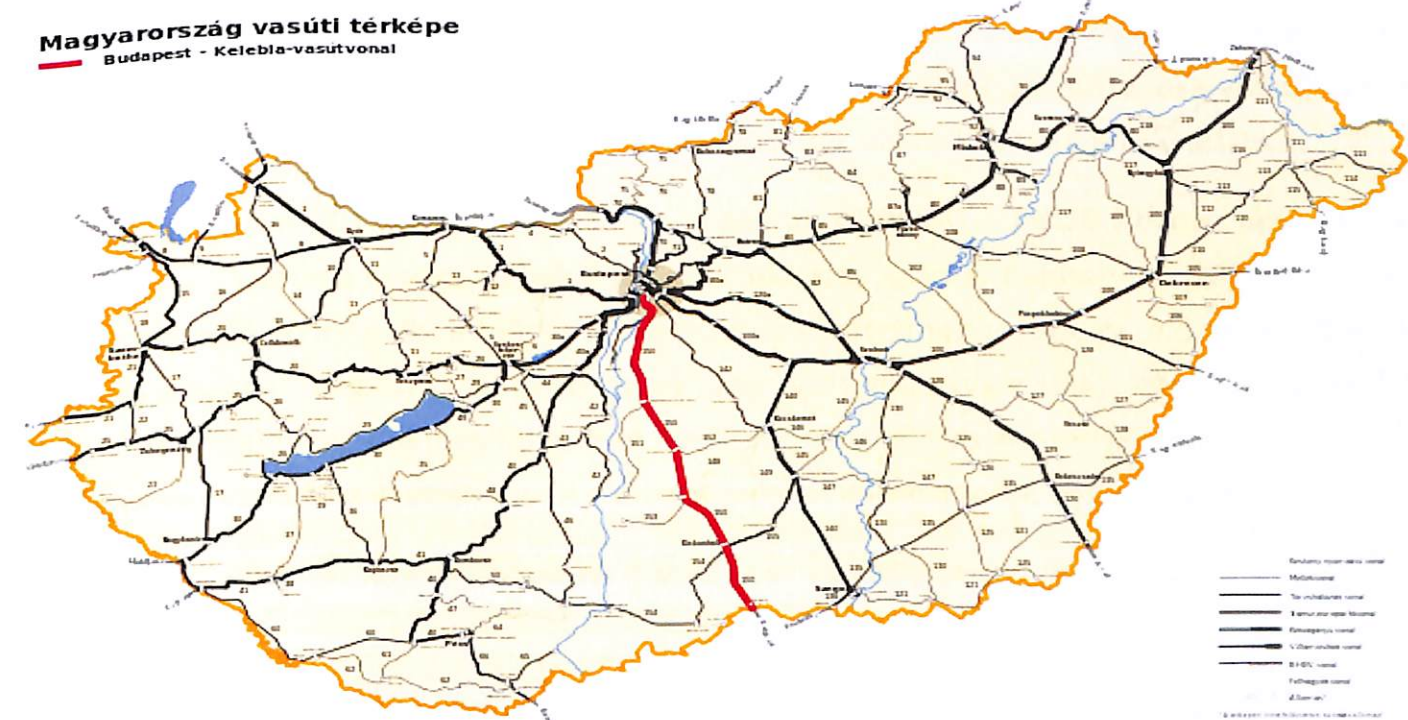
A vasútvonal száma	Honnan érkezik	Átszállási kapcsolat	Villamos kapcsolat	Javasolt végállomás
2	Esztergom-Üröm			
70	Szob	Rákospalota, Újpest vasútállomás	14-es villamos	Lehel tér
71	Vác			
80a	Hatvan			
120a	Szolnok			
100a	Cegléd-Szolnok			
142	Lajosmizse-Kecskemét			
150	Kunszentmiklós-Tass-Kelebia	Ferencváros MÁV áll.	1-es villamos	Kacsóh P. út
30a	Székesfehérvár			
40a	Pusztaszabolcs			
1	Hegyeshalom			

HÉV száma	Honnan érkezik	Átszállási kapcsolat	Villamos kapcsolat	Javasolt végállomás
7	Csepel	Boráros tér	2-es villamos	Kossuth L. tér
6	Ráckeve	Közvágóhíd		

1. táblázat Lehetséges összekapcsolódási pontok

5.2 150-es vonal ismertetése

Dolgozatom témájában főként a 150-es vonal (Budapest – Kunszentmiklós - Tass) és annak a városi villamos hálózatba kapcsolásának lehetőségét vizsgálom meg részletesebben. A MÁV 150-es vonala a nemzetközi törzshálózat része, a páneurópai vasúti folyosó tagjaként folytatódik Belgrád-Athén irányában (28. ábra). A vonal többnyire egyvágányú és villamosított. A vonalon elővárosi forgalomban naponta 20 pár vonat közlekedik egyórás ütemes menetrendet követve Kőbánya-Kispest és Kunszentmiklós-Tass között.¹³



28. ábra 150-es vasútvonal Budapest-Belgrád

Mivel ezt a vonalat napi szinten rengeteg ember veszi igénybe, ezért úgy éreztem, hogy egy felméréssel igazolni lehetne azt, hogy ez a vonal megérett egy újfajta közlekedési mód kialakítására.

¹³ (Wikipedia, 2017) Wikipedia: Budapest-Kunszentmiklós-Tass-Kelebia vasútvonal (elérhető:<https://hu.wikipedia.org/wiki/Budapest-kunszentmiklós-tass-kelebia-vasútvonal>)

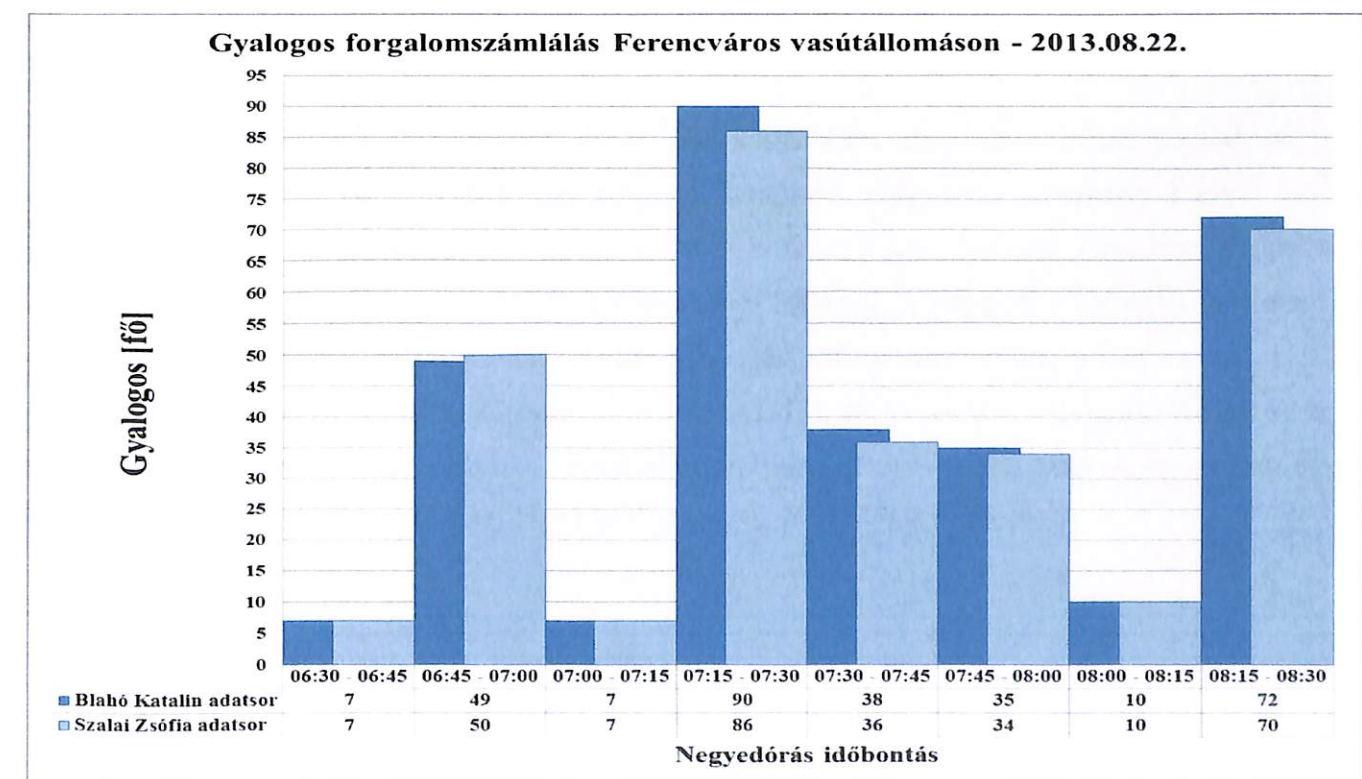
5.2.1 Utasforgalmi kikérdezés és gyalogos forgalmi számlálás

A közlekedés a XXI. században című 2014-ben előadott TDK dolgozat keretében utasforgalmi kikérdezést, valamint gyalogos forgalmi számlálást végeztem a TDK dolgozat társszerzőjével, az egyik csoporttársammal, valamint a MÁV engedélyével. A gyalogosforgalmi számlálást a Ferecvtáros MÁV állomás területén végeztük el, a számlálás során figyelembe vettük, hogy az átszállások nem csak a villamosra történnek, hanem a közelben lévő autóbuszra is.

5.2.2 Gyalogos forgalmi számlálás eredményei

A gyalogos forgalmi számlálást két időpontban végeztük el. Erre azért volt szükség, hogy legyen egy összehasonlítható adatsor a nyári és a megemelkedett őszi időszakra vonatkozóan. Az alábbi diagramokon (29, 31. ábra) jól látható a két időszakra vonatkozó adatsor.

Az első számlálást 2013. augusztus 22-én végeztük el 06:30 – 08:30 között, negyed órás bontásokban. A mérés elvégzésének idején az időjárás száraz, napos volt. A ferencvárosi villamosmegálló gyalogátkelőhelyét választottuk keresztmetszetnek és az ezen átáramló gyalogosforgalmat rögzítettük, azért mert arra voltunk kíváncsiak, hogy hány ember kényszerül átszállásra, emellett figyelmet fordítottunk a 103-as autóbusz Népliget felé tartó megállójában várakozó utasokra is. Az eredményeket összesítettük egy táblázatban.



29. ábra Gyalogos forgalmi számlálás - augusztus

A grafikonról jól leolvasható, hogy mely idő intervallumokban van kiemelkedően magas számú gyalogos forgalom. Emellett megvizsgáltam a MÁV menetrend táblázatát (30. ábra), amiből tökéletesen látható az ide érkező vonatok időpontjai és a megnövekedett utasforgalom közötti összefüggés.

2013.10.02

MÁV-START :: ELVIRA - belföldi vasúti utastájékoztató

Délegyháza - Ferencváros (Budapest Ferencváros)

2013.08.22, csütörtök

Tisztelt Utasunk!

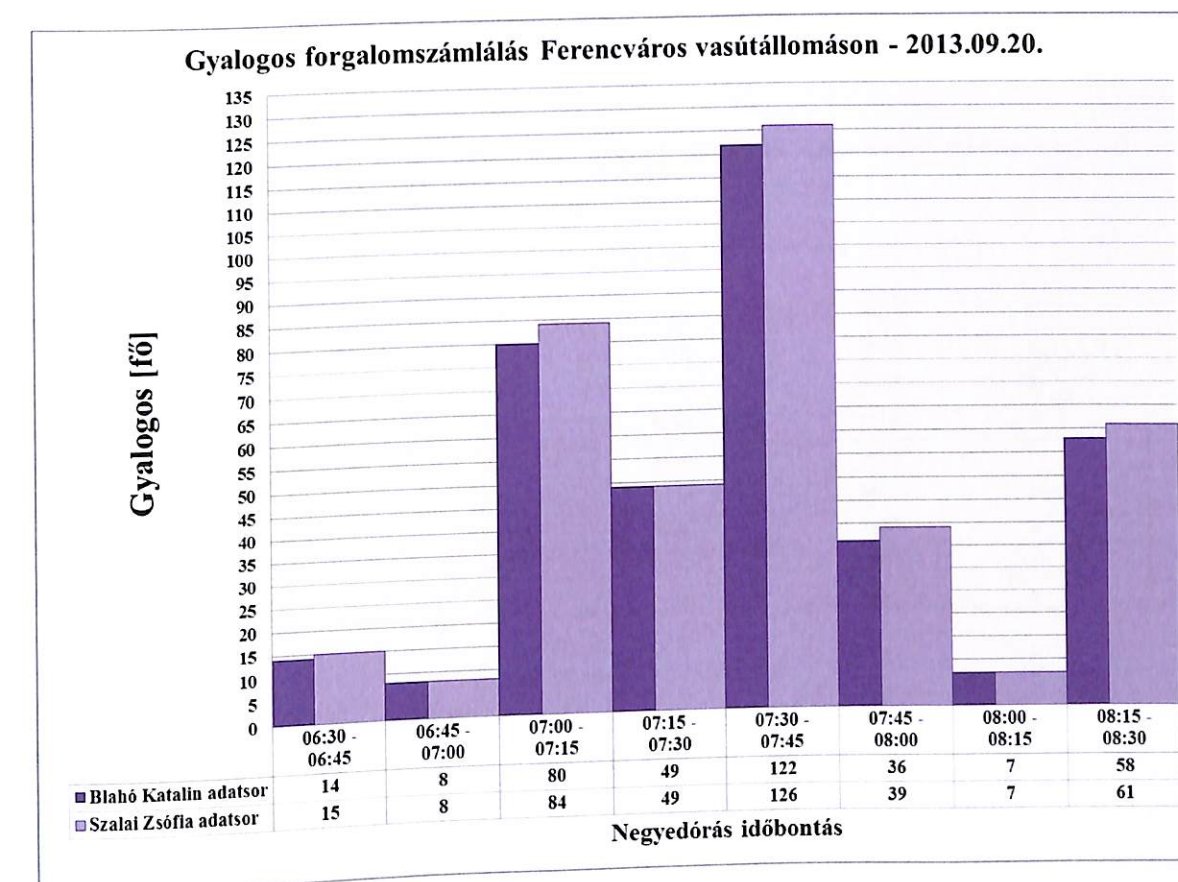
Ha az utazás kizárólag a 15. regionális kedvezményú vonal egyikén történik, a feltüntetett ár a kedvezményt már tartalmazza. Bővebb információt a regionális kedvezményről itt talál.

Részletek	Indulás	Érkezés	Átszállás	Időtartam	Összes km	Tegyezzék meg az utat		Helyjegy Pótlék	Legmagasabb kocsiosztály
						Kocsiosztály			
						1.	2.		
	03:43	04:17		0:34	27 km		560 Ft	-	2.
	04:41	05:17		0:36	27 km		560 Ft	-	2.
	05:12	05:47		0:35	27 km		560 Ft	-	2.
	05:47	06:20		0:33	27 km		560 Ft	-	2.
	06:10	06:47		0:37	27 km		560 Ft	-	2.
	06:40	07:17		0:37	27 km		560 Ft	-	2.
	07:17	07:48		0:31	27 km		560 Ft	-	2.
	07:40	08:17		0:37	27 km		560 Ft	-	2.
	08:40	09:17		0:37	27 km		560 Ft	-	2.
	09:40	10:17		0:37	27 km		560 Ft	-	2.

30. ábra Érkező vonatok a Ferencváros MÁV állomásra

A grafikon két adatsorán jól látható az az ugrásszerűen megnövekedett forgalom, amely abban a négy időpontban volt tapasztalható, amikor a Kunszentmiklós-Tass-i vonat az állomásra érkezett. A legmagasabb utas számot a 07:17-kor érkező vonatnál tapasztaltuk, mely egyértelműen jelzi, hogy a legforgalmasabb időszak a reggeli csúcsidő. Az augusztus 22-én végzett gyalogos forgalmi számlálás két órás időtartama alatt, a két számlálás átlaga szerint 304 fő haladt át a mérési keresztmetszeten. Ha figyelembe vesszük, hogy ez az utas mennyiség többnyire a négy érkező vonat időpontjában keletkezett, akkor érezhető, hogy ez a szám milyen magas egy viszonylag kis forgalmú állomáshoz képest.

A második gyalogos forgalomszámlálásra 2013. szeptember 20-án került sor, szintén 06:30-08:30 között, negyed órás bontásokban. A mérés idején az időjárás kissé hűvösebb, de napos volt.



31. ábra Gyalogos forgalmi számlálás – szeptember

Ennél a számlálásnál szembejövő a nyári időszak vége és a tanév első hónapjának hatása. Az értékeknek kiugróan magas a 07:00 és a 08:00 óra közötti időszak, amely a tanítás és az általános munkakezdés ideje. Ezen időtartam alatt összesen, átlagosan 382 fő haladt át a vizsgált keresztmetszetben. Tekintettel az iskoláskorú utasok magas számára és ismerve a gyalogátkelőhelyeknél tapasztalható szabálytalan átkelések gyakoriságát ez is kiemelten indokoltá tenné, hogy a jelen állomáson a nagyvasút vonalát és a városi vasút hálózatát összekapcsolják.

A MÁV Elvira nevű rendszerében található szeptember 20-ai menetrendet (32. ábra) megvizsgálva elsőként szembejövő, hogy a nyári és az őszi – megnövekedett forgalmú – időszakban a reggeli csúcsidőben eltérés nem tapasztalható. A vizsgálatnak nem volt célja

annak a ténynek a megvizsgálása, hogy az adott vonalon a reggeli megnövekedett forgalomban szükség lenne-e több járatra. A számlálás kiértékelésénél viszont látható volt, hogy ősszel nagyobb igény volt ezekre a járatokra, a megnövekedett utasforgalom miatt.

2013.10.02.

MÁV-START :: ELVIRA - belföldi vasúti utastájékoztató

Délegyháza - Ferencváros (Budapest Ferencváros)

2013.09.20, péntek

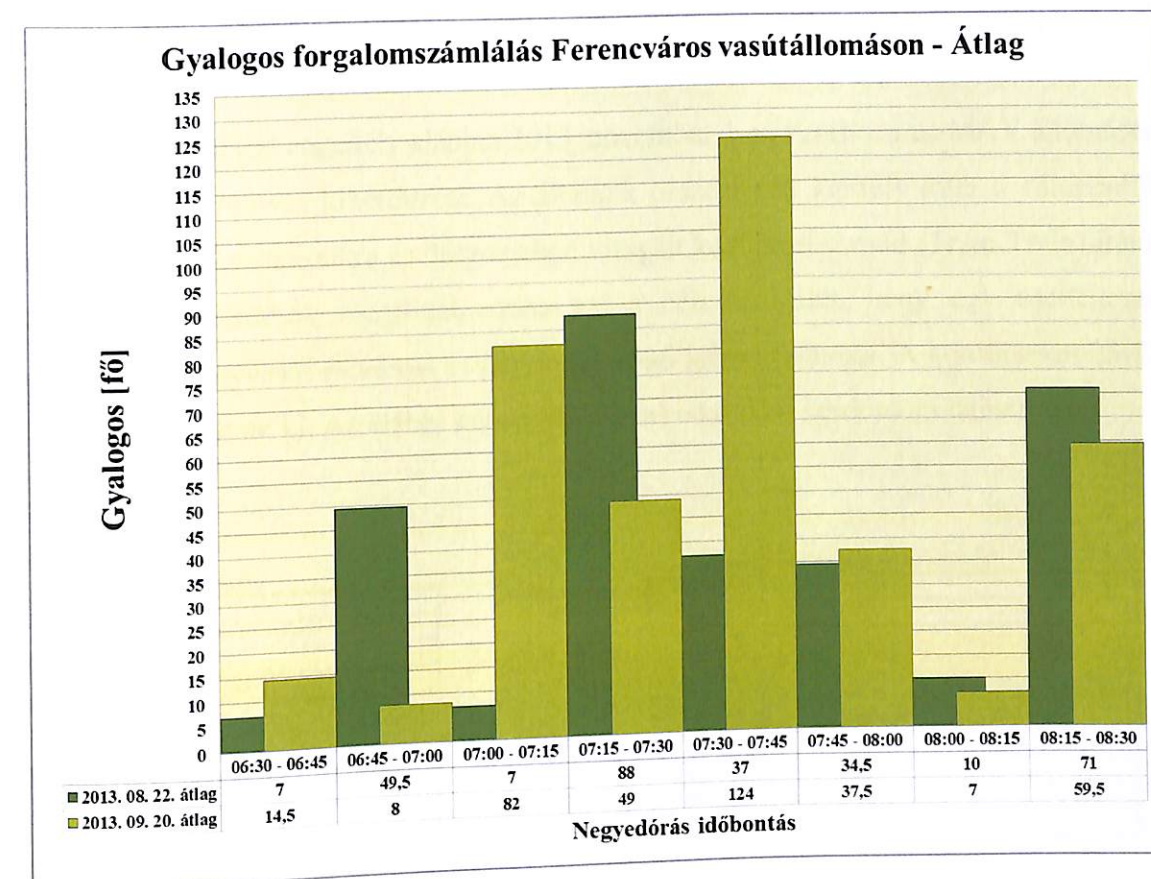
Tisztelt Utasunk!

Ha az utazás kizárólag a 15. regionális kedvezményű vonal egyikén történik, a feltüntetett ár a kedvezményt már tartalmazza. Bővebb információt a regionális kedvezményről itt talál.

Rész- le- tek	Indulás	Érkezés	Át- szál- lás	Idő- tartam	Összes km	Teljes árú menetdíj		Helyjegy Pénz	Leg- magasabb korsó- osztály
						1.	2.		
	03.43	04.17		0:34	27 km		560 Ft	-	2.
	04.41	05.17		0:36	27 km		560 Ft	-	2.
	05.12	05.47		0:35	27 km		560 Ft	-	2.
	05.47	06.20		0:33	27 km		560 Ft	-	2.
	06.10	06.47		0:37	27 km		560 Ft	-	2.
	06.40	07.17		0:37	27 km		560 Ft	-	2.
	07.17	07.48		0:31	27 km		560 Ft	-	2.
	07.40	08.17		0:37	27 km		560 Ft	-	2.
	08.40	09.17		0:37	27 km		560 Ft	-	2.

32. ábra MÁV menetrend

Az utolsó diagramon (33. ábra) a két számlálási nap átlaga szerepel, a könnyebb összehasonlíthatóság kedvéért. A szeptember 07:00 – 07:15-ös időszakban, a menetrenden olvasható, hogy ebben az időszakban nincsen Délegyháza felől érkező vonat, ugyanakkor a grafikonon jól látszik, hogy mégis elég sok utas érkezett ebben az időpontban az állomásra. További kutatások során sem találtam olyan járatot, amely ugyanerre az állomásra, de másik irányból érkezne pont ebben az időpontban, tehát ez arra enged következtetni, hogy az adott időpontban egy szerelvény késett.



33. ábra Gyalogos forgalmi számlálás – átlag

Megjegyzendő, hogy a vizsgált szakaszon a nagyvasúti közlekedés mellett Volán járatok is kiszolgálják az ingázókat. Így a Volán járatok a MÁV utasforgalmára negatív hatást gyakorolnak. Ebből az a következtetés vonható le, hogy míg a 150-es nagyvasúti vonalnak gyakorolnak. Ebből az a következtetés vonható le, hogy míg a 150-es nagyvasúti vonalnak járatai a Ferencváros MÁV állomás után Kőbánya-Kispestre érkeznek be, addig a Volán autóbuszainak végállomása a sokkal frekvenciáltabb Népliget Autóbusz állomáson található, ezzel az utasok számára sokkal vonzóbb alternatívát kínálva. Arról nem is beszélve, hogy az autóbuszok sokkal tisztábbak és kényelmesebbek, mint a vizsgált vonalon közlekedő nagyvasúti szerelvények.

5.2.3 Utasforgalmi kikérdezés

A MÁV által kiállított engedély alapján 2013. november 4-én Ferencváros MÁV állomáson végeztük el a kérdőíves kikérdezést. Az általunk összeállított kérdőív kiter a válaszadók korára, az utazási szokásaikra és dolgozatban vizsgált közlekedési mód (Tram Train) iránti igényre is. A kérdések megfogalmazása azt a célt szolgálta, hogy egy esetlegesen összekapcsolt nagyvasút és városi vasúti vonal iránti igényt felmérje. A kérdőíveket 25-25 fős mintával töltöttük ki. Az alábbi képen (34. ábra) a kérdőív kérdéssora látható.

1. Melyik korcsoportba tartozik?

☐ Tanuló (10-18 év)
☐ Hallgató, fiatal dolgozó (19-35 év)
☐ Dolgozó (35-65 év)
☐ Nyugdíjas korú (65 év felett)

2. Ingázik-e Budapest és valamelyik vidéki település között?

☐ Igen
☐ Nem

3. Melyik közlekedési módot használja jellemzően a legtöbbszor az alábbiak közül?

☐ Személyautó
☐ Tömegközlekedés
☐ Kerekpár
☐ Gyaloglás

4. Milyen gyakran használja a tömegközlekedést?

☐ Naponta
☐ Gyakran
☐ Alkalmanként
☐ Soha

5. Az utazása során szükség van átszállásra?

☐ Nem
☐ Igen

6. Ha szükség van átszállásra ez mennyi időbe telik?

☐ 1-2 perc
☐ kb 5 perc
☐ 5-10 perc
☐ 10 percnél több

7. Ha az elővárosi vonatok használnák az 1-es villamos vonalát ez mennyiben könnyítené meg az utazását?

☐ Nagyon megkönnyítené
☐ Megkönnyítené
☐ Egyáltalán nem könnyítené meg

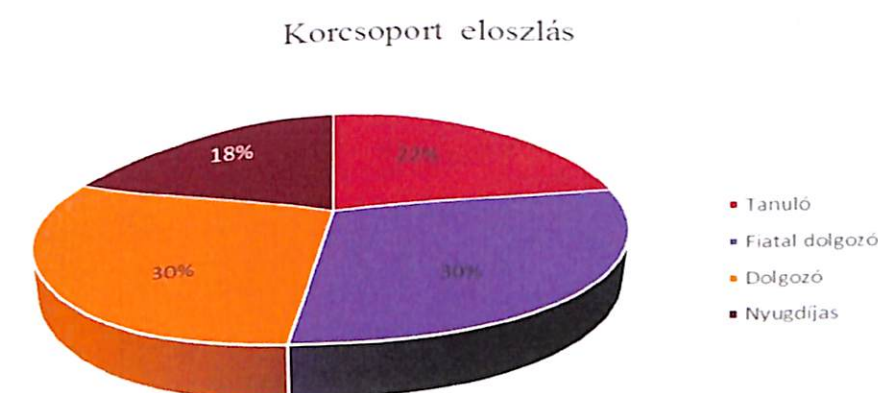
8. Ha léteznének ilyen járatok használná-e őket?

☐ Igen
☐ Nem

34. ábra Kérdőív az utazási szokásokról

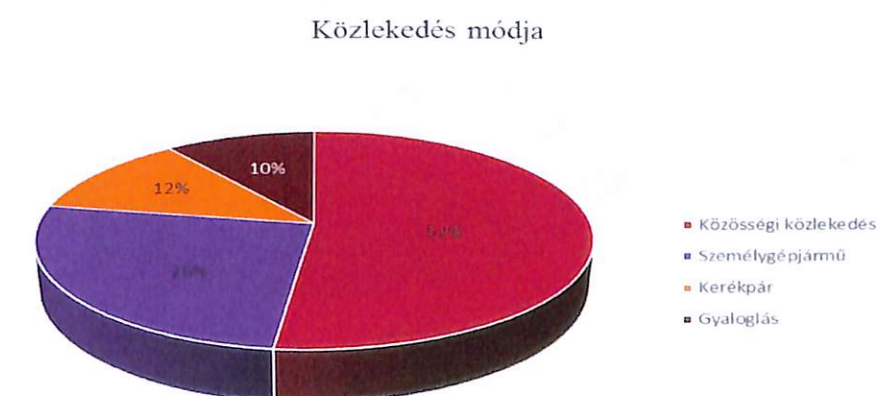
Az eredményeket kiértékeltem, amint azt lentebb is látható, diagramokkal szemléltettem a válaszokat.

Az első diagramon (35. ábra) a korcsoport eloszlása olvasható. A minta jól tükrözi azt a tényt, hogy a Ferencváros MÁV állomás megállót nagyszámban a fiatal dolgozó és a dolgozó korú utasok használják. Ezen kívül még jelen van a tanuló korcsoport is, amelynek száma majdnem megegyezik a nyugdíjas korú utasok számával. Feltehetően az idősebb korosztály számára többek között azért sem vonzó ez az állomás, mert elavult, korszerűtlen és nagyon nehezen megközelíthető. Veszélyes a kialakítása is, mert a pályaudvar rendező pályaudvarként van számon tartva, és ennek megfelelően vannak a vágányok kialakítva, tehát az utasforgalom nem elkülönített szinten zajlik, nincsen aluljáró és felüljáró sem, és ez balesetveszélyes.



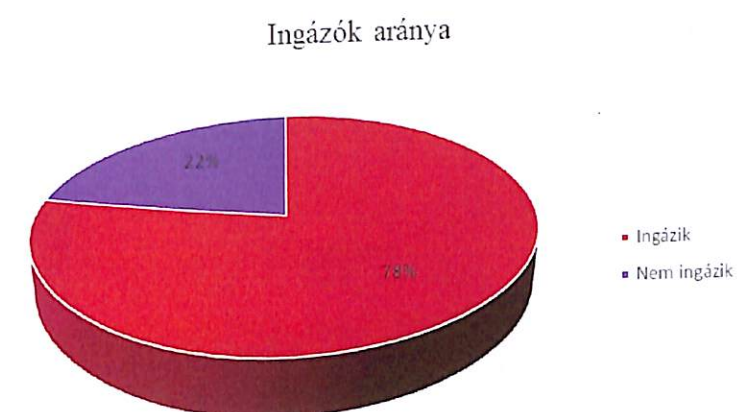
35. ábra Korcsoport eloszlás

A második diagramon (36. ábra) az összes megkérdezett utasnak az általuk a legjellemzőbben használt közlekedési módjának eloszlását láthatjuk. Az utasok több mint a fele a közösségi közlekedést használja. A második helyen a személygépjármű áll, a kerékpár és a gyalogos közlekedés pedig az első kettőhöz képest elhanyagolható mértékű. A közösségi közlekedést nagyarányban használók száma fontossá teszi, hogy több figyelmet fordítsunk erre a közlekedési mód korszerűsítésére.



36. ábra Közlekedés módja

A megkérdezett utasok válaszait megvizsgálva egyértelműen kijelenthetjük, hogy a Budapest és a regionális környék között ingázók száma igen magas (37. ábra), 78% válaszolt igennel arra a kérdésre, hogy szükséges-e rendszeresen a lakóhelye és Budapest között közlekednie. Ez az adat is rávilágít arra, hogy milyen égető szükség van a regionális közlekedés fejlesztésére, illetve annak átalakítására.



37. ábra Ingázó utasok eloszlása

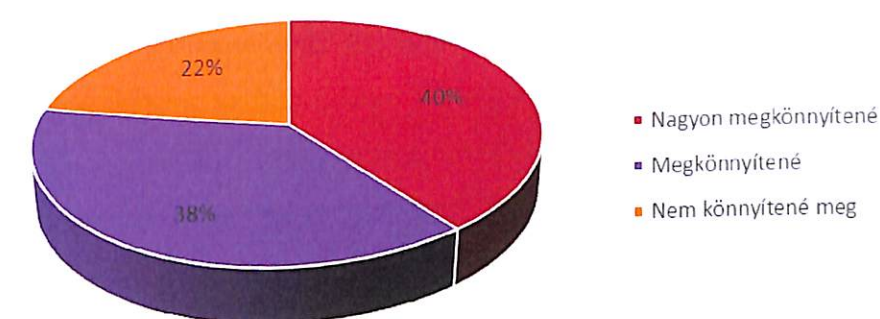
A megkérdezettek 42%-a a saját bevallása szerint naponta használja közösségi közlekedést, emellett a gyakran és az alkalmankénti használók csoportja sem tér el ettől az értéktől számottevően. Az egyetlen kivétel ez alól a közösségi közlekedést soha nem használók 6%-a. Azonban ez a szám olyan alacsony, hogy döntően nem befolyásolja a Tram-Train rendszer bevezetésének szükségességét. Az alábbi ábrán (38. ábra) látható a közösségi közlekedést használók százalékos eloszlása.



38. ábra Közösségi közlekedés használata

Az egyik legfontosabb kérdése az az volt, hogy amennyiben léteznének ilyen járatok, megkönnyítenék-e az utazását (39. ábra). A közlekedők döntő többsége egyértelműen pozitívan állt a kérdéshez, és jelezte, hogy ha lenne rá mód az utazását elősegítené egy ilyen vonal megléte. Az ötven főnek csak 22%-a mondta, hogy egyáltalán nem könnyítené meg egy ilyen vonal megléte a közlekedését, de ennek oka valószínűleg az lehetett, hogy a válaszadók, ezen százaléknak a nagyobb része a pályaudvar melletti Polar Center-ben dolgozik, így egy ilyen közlekedési mód nekik már nem nyújtana további lehetőségeket.

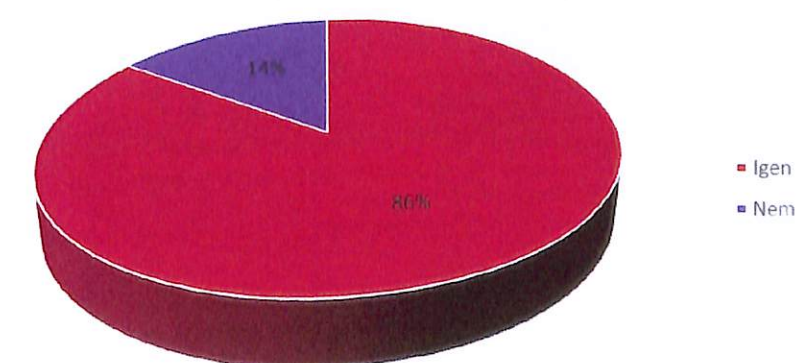
A Tram-train használhatósága



39. ábra Tram Train használhatósága

A legfontosabb kérdés válaszait a 40. ábra szemlélteti. Ebben arra voltunk kíváncsiak, hogy az utazók igénybe vennék-e ezt a fajta rendszert. A megkérdezettek döntő többsége egyértelműen igennel felelt a kérdésre. Elhangzott néhány olyan egyéni vélemény is, hogy amennyiben ez megvalósulna, akkor hajlandóak lennének az emelt színvonalú szolgáltatásért cserébe drágább jegyet illetve bérletet venni. Ezekből az adatokból kijelenthető, hogy a többség a Tram Train rendszer bevezetését szívesen fogadná, és használná is.

Hasznosság

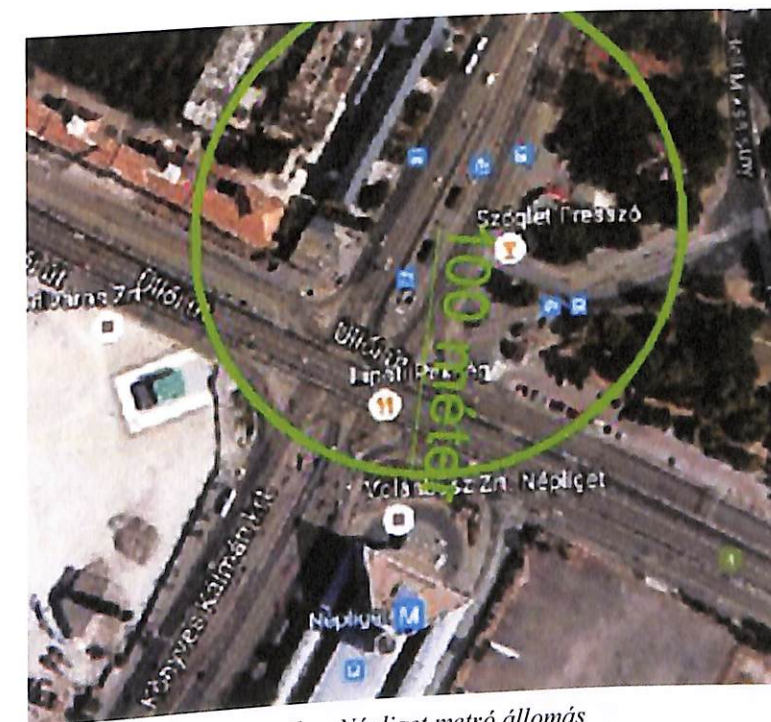


40. ábra Tram Train hasznossága

5.3 A 1-es villamos vonalának ismertetése

5.3.1 Közlekedési kapcsolatok, hálózati szerep

Az 1-es villamos vonala rendkívül kedvező helyzetben van, ugyanis Budát és Pestet köti össze, a végállomásai ugyanakkor a budai oldalon helyezkednek el, egy fordított C alakot vesz fel a pálya íve. A villamos vonala Bécsi út/Vörösvári út kereszteződésétől indul, érintve a Szentlélek teret, ahol HÉV kapcsolata van Batthyány tér és Szentendre felé is. Majd az M3 metró vonalával két helyen is találkozik, az egyik az Árpád híd pesti oldala, a másik pedig a Népliget megálló, ezek remek átszállási kapcsolatok. Az M1 milleniumi kisföldalattal is van átszállási kapcsolata, ugyan nem közvetlenül, de a megközelítési távolsága nem haladja meg a maximális 300 métert. És végül az M2 metróvonallal is van közvetett kapcsolata, ebben az esetben a rágyalogolási távolság itt sem haladja meg a 300 métert. Tehát a villamos ráhordó szereppel is bír a városi gyorsvasutakra. A közösségi közlekedési hálózatban meghatározó szerepe van ennek a vonalnak, mivel a főváros majdnem összes sugár irányú vonalával keresztezése van.¹⁴

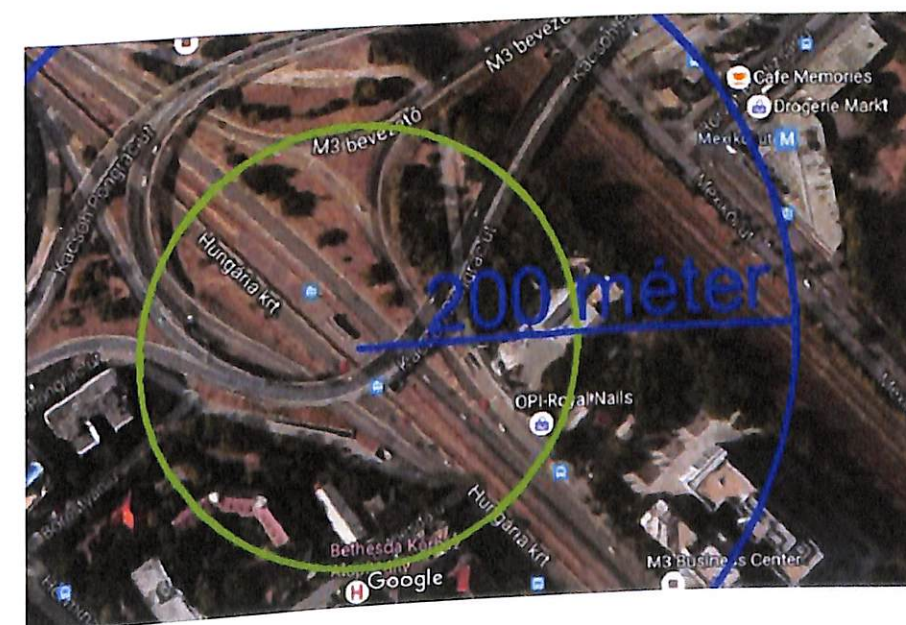


41. ábra Népliget metró állomás

¹⁴ (Tamás, Közlekedéstechnika Városi közlekedés, 2017) elérhető:
http://www.kukg.bme.hu/kukg/oktatas/bse/tantargy/BMEKOKUA901/Kozl_technika_varosi_kozl.pdf



42. ábra Puskás Ferenc Stadion metró állomás

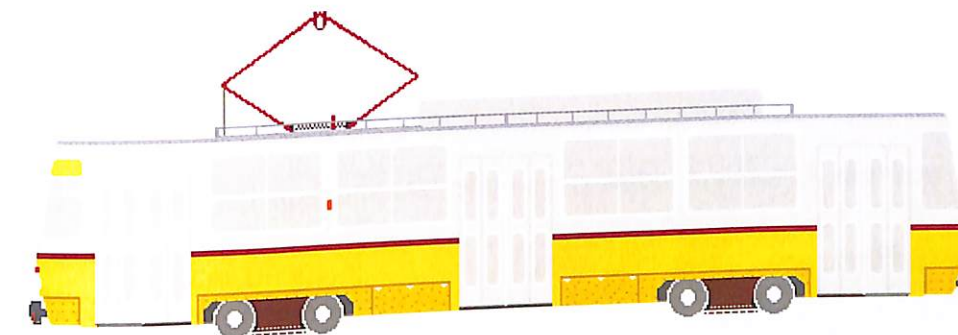


43. ábra Kacsóh Pongrácz út

5.3.2 A vonalon közlekedő járművek műszaki jellemzői

Az 1-es villamos jelenlegi vonalán két féle járműtípus szolgálja ki az utazó közönséget. Az egyik egy kicsit régebbi TATRA 5C5 típusú modell (44. ábra), a másik egy teljesen új járműtípus, ez nem más, mint a CAF URBOS 3 (46. ábra). Az alábbiakban bemutatnám a két járműtípus műszaki paramétereit, és ábrával szemléltetem a megjelenésüket. Azért tartom fontosnak bemutatni a két járműtípust, hogy lássunk egy összehasonlítási képet róluk.

TATRA T5C5 típusú jármű sematikus rajza¹⁵



44. ábra TATRA 5C5 modell

A típusra jellemző műszaki adatokat az alábbi táblázat (2. táblázat) foglalja össze

TÁTRA T5C5		
Tömeg:	55,5	tonna
Férőhelyek száma:	158	fő
Vonatási feszültség:	600	V
Teljesítmény:	540	kW
Magasság:	3140	mm
Szélesség:	2480	mm
Forgócsap távolság:	6700	mm
Motorok száma:	4	db
Engedélyezett sebesség:	65	km/h
Nyomtávolság:	1435	mm

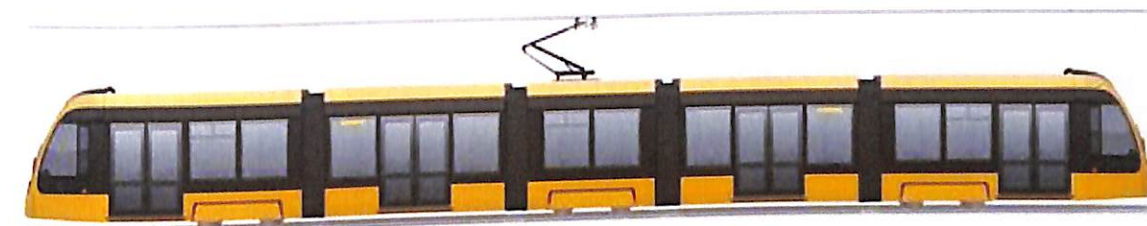


45. ábra TATRA T5C5 MODEL – Flórián Tér

2. táblázat TATRA T5C5 modell műszaki paramétereit

¹⁵ (Tatra, 2017), elérhető: <http://villamosok.hu/nza/tatra/>

CAF URBOS 3 típusú jármű sematikus rajza¹⁶



46. ábra CAF URBOS 3 modell

A járműtípusra jellemző műszaki adatokat az alábbi táblázat (3. táblázat) foglalja össze.¹⁷

CAF URBOS-3		
Tömeg:	55,5	tonna
Férőhelyek száma:	222	fő
Vonatási feszültség:	600	V
Teljesítmény:	336	kW
Magasság:	3250	mm
Szélesség:	2650	mm
Forgócsap távolság:	6700	mm
Motorok száma:	4	db
Engedélyezett sebesség:	50	km/h
Nyomtávolság:	1435	mm



47. ábra CAF URBOS 3 -
Flórián tér

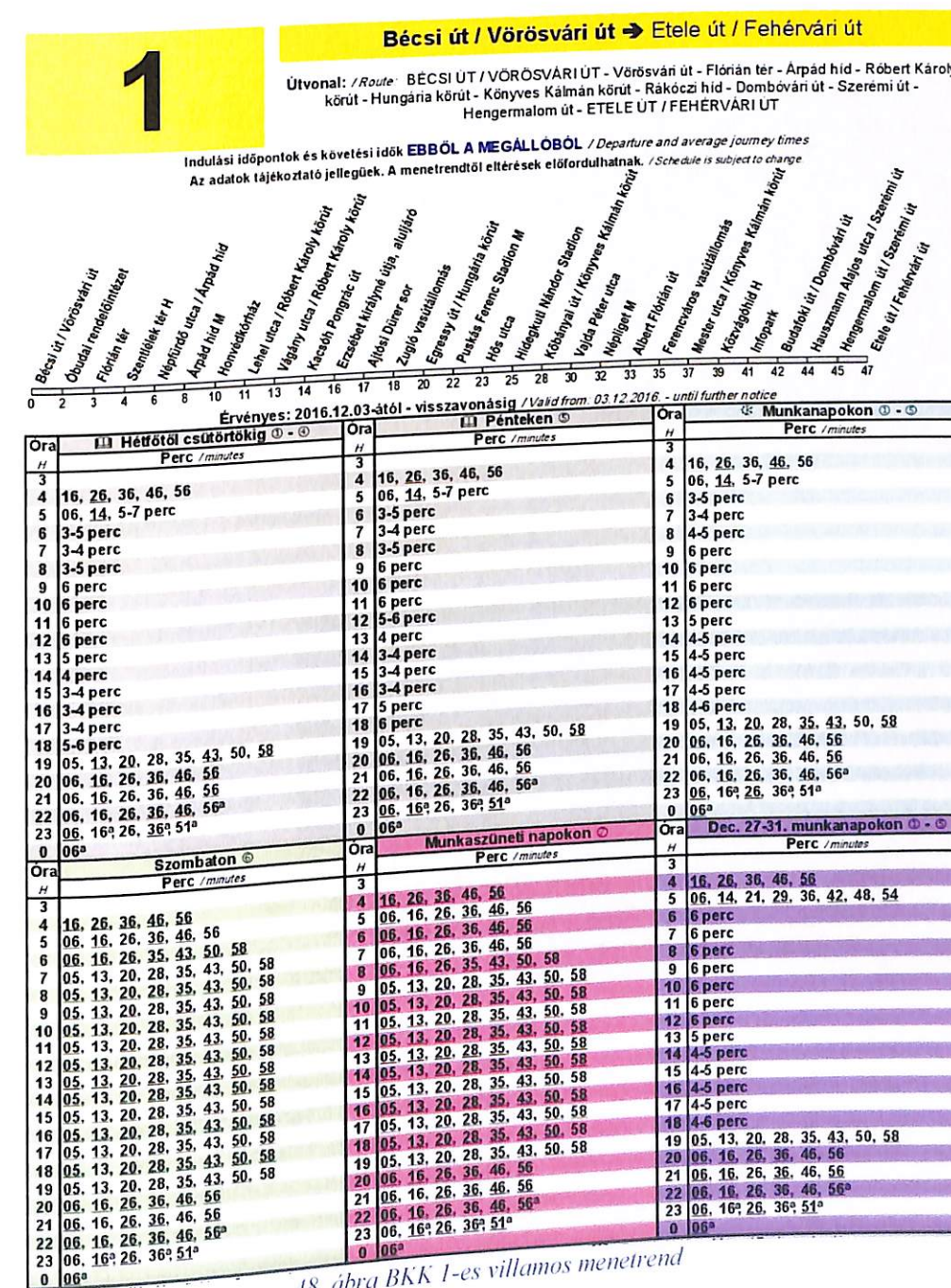
3. táblázat CAF URBOS 3 típusú jármű műszaki adatai

¹⁶ (caf urbos 3, 2017) Wikipedia; CAF URBOS 3 (elérhetőség: https://hu.wikipedia.org/wiki/CAF_Urbos_3)

¹⁷ (A BKK és a BKV járművei és története, 2017)
(elérhető: <http://deutschbus.5mp.eu/web.php?a=deutschbus&o=fG03Roo6SE>)

5.3.3 A menetrendi és forgalmi jellemzők

A BKK honlapjáról töltöttem le az 1-es villamos aktuális menetrendjét (**48. ábra**), erről jól leolvasható, hogy a villamos teljes menetideje majdnem 50 perc, és ez alatt az idő alatt 28 megállót tesz meg. A követési idők alkalmazkodnak a reggeli és a délutáni csúcsforgalomhoz, így a várakozási idő 3-5 perc, míg a nap többi részében is 6-10 perc a forgalomtól függően. A követési idők meghatározásánál figyelembe vették, hogy ez a villamos szállítja a legnagyobb utasforgalmat.¹⁸



¹⁸ (BKK, 1-es villamos menetrend, 2016),
elérhető.<http://www.bkk.hu/apps/menetrend/pdf/3010/20161203/29.pdf>

A vonalon, több helyen van biztosítva kitérő, például az egyik ilyen megálló a Puskás Ferenc Stadion. Ezek a megoldások azért jók, mert ha valahol elakadás van, ki lehet szakaszolni az egész pályát, nem kell az egész vonalon leállítani a forgalmat, így lehet biztosítani visszafordulást a járműveknek. A nemrég végbement pálya felújítások során a pályaszerkezetet, valamint, a peronokat is korszerűsítették. Az utas információ szolgáltatás is fejlődött, a forgalmasabb csomópontú megállókna építettek ki dinamikus utas tájékoztatási felületeket (49. ábra), amik megkönnyítik az utazást és annak tervezését.¹⁹ Azokon a megállókön különösen fontos ezen, tájékoztatási felületek megléte, ahol regionális vonalakhoz lehet csatlakozni (50. ábra), ilyen például Népliget autóbusz állomás.



49. ábra Dinamikus utas tájékoztatás – villamosra

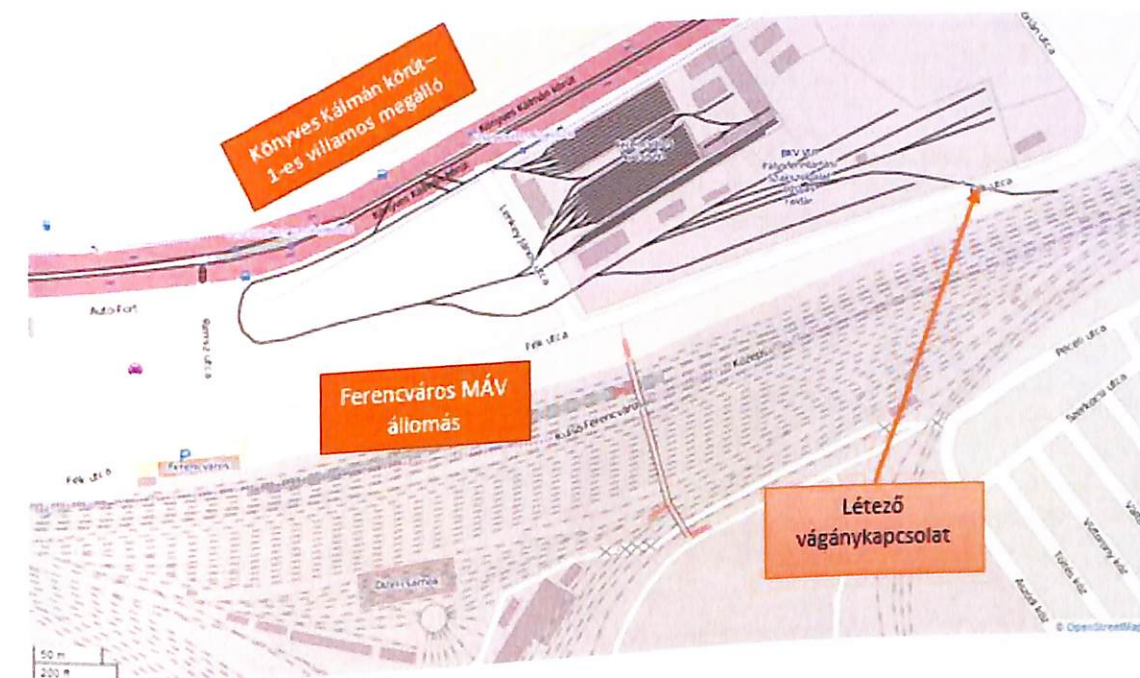


50. ábra Dinamikus utas tájékoztatás - távolsági autóbuszokra

¹⁹ (MKV, 2017), elérhető: <http://www.mvkzrt.hu/utastajekoztatasi-projektinformacio>

5.4 A Tram Train vonalának ismertetése

Az alábbi ábrán (51. ábra) szemléltetem a Ferencváros MÁV állomás és az 1-es villamos vonalának kapcsolatát. Az ábrán jól látható, hogy a MÁV-nak és a BKK-nak vannak közös vágánykapcsolataik, jelen esetben ez a vágánykapcsolat még a mai napig megvan, ezzel összeköttetést biztosítva a nagyvasút és a városi vasút között.



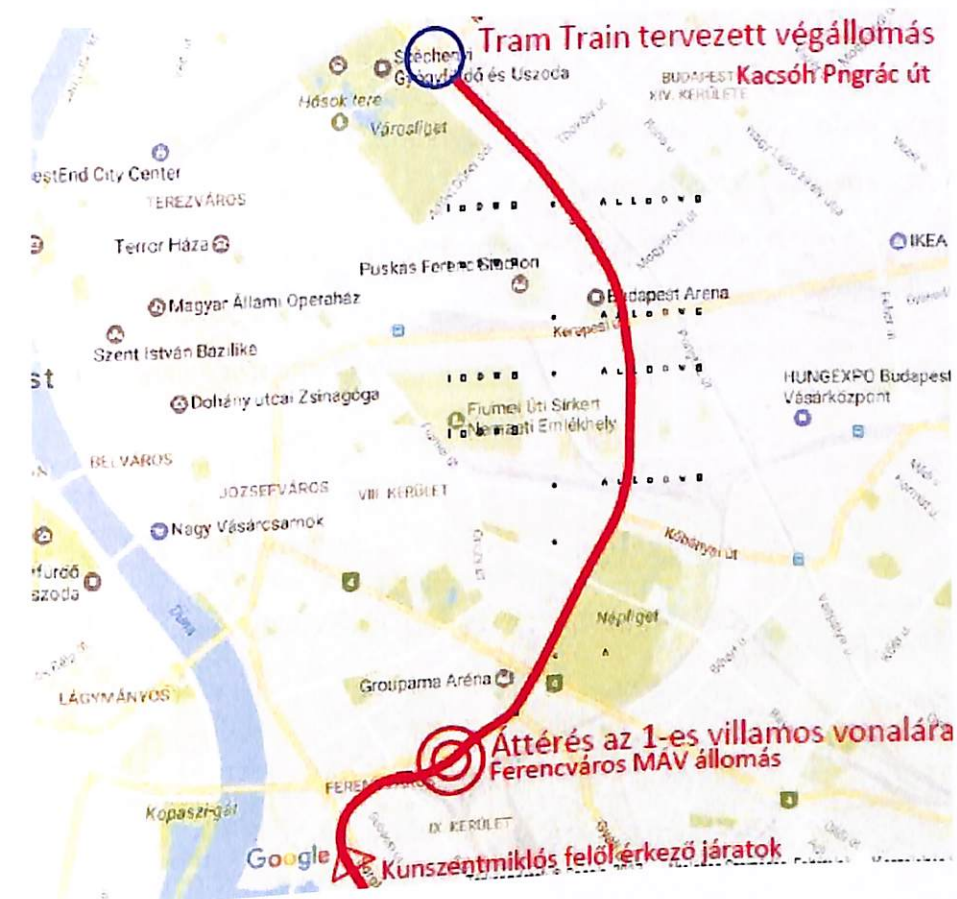
51. ábra Ferencváros MÁV állomás és az 1-es villamos vágánykapcsolata

Az alábbi ábrán (52. ábra) a Fék utcai felhagyott vágánykapcsolat látható, összeraktam az út bal oldalán lévő MÁV felől érkező, és az út jobb oldalán a BKK-hoz befutó vágány fényképeit. Ezzel is szemléltetve, hogy ez a kapcsolat még megvan. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy a Tram Train szelvényeknek ezen a vágányon kellene áttérniük a városi vasúti hálózatra.



52. ábra Meglévő vágánykapcsolat - Fék utca

A következő ábrán (53. ábra) az általam tervezett Tram Train vonal budapesti szakasza látható, ahol a szerelvények áttérnének a nagyvasút vonaláról a városi vasúti hálózatra.



53. ábra Tram Train áttérése a nagyvasútról a városi vasúti hálózatra

A Ferencváros MÁV állomás egy rendező pályaudvar, a kialakítása is ennek megfelelő, az alábbi ábrákon jól látható, hogy a gyalogos forgalomnak nincs kialakítva se felüljáró, se aluljáró, ahol biztonságosan meg lehetne közelíteni a távolabbi peronokat. Így a vágányok megközelítése veszélyes, mivel sok az átmenő vasúti forgalom.



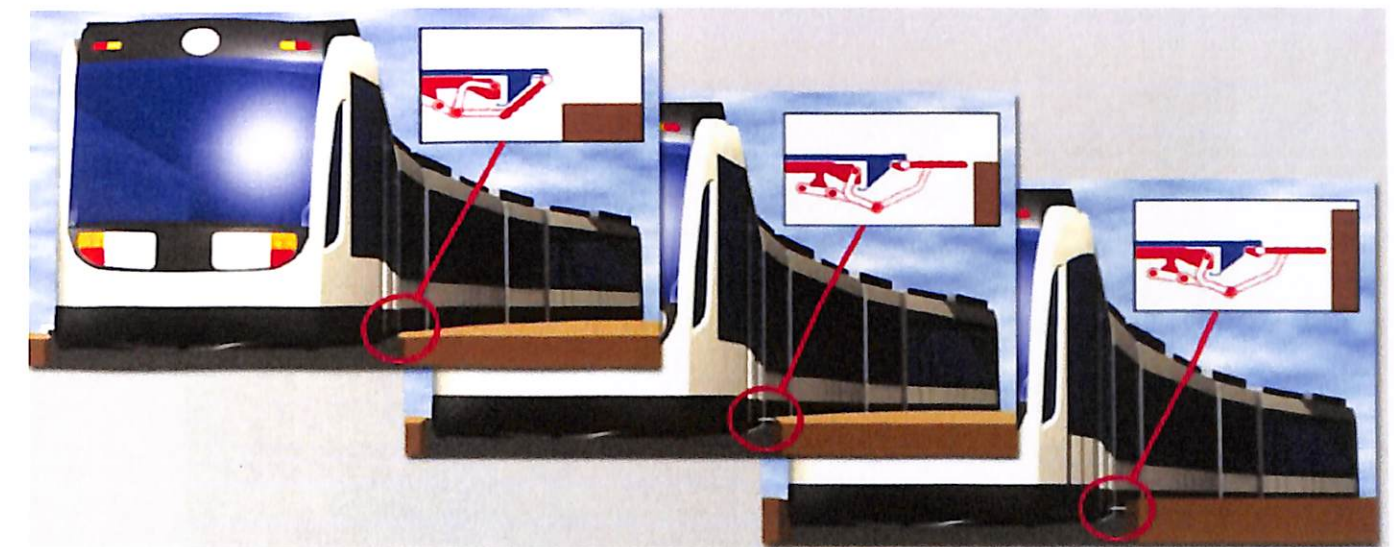
54. ábra Nagyvasúti vágány - Ferencváros MÁV állomás



55. ábra Gyalogos átkelő - Ferencváros MÁV állomás

Mint ahogy azt a fenti képeken is látjuk, a nagyvasút felépítménye nyitott zúzottköves vasbeton keresztaljas vágány. A nagyvasúti pályán ez általános kialakítás, mind a városi, mind a városon kívüli pályaszakaszokon. A peronok kialakítása magasperonos, igazodik a nagyvasúti járművek paramétereire.

A városi vasutaknál már más a helyzet, ott léteznek nyitott zúzottköves-, nyitott betonlemez, hosszgerendás füves, és burkolt betonlemez vágányok is. A peronok kialakítása változó. Ha Tram Train járművet szeretnénk bevezetni a városba, célszerű lenne magasabb peront kialakítani ott is, ugyanis ezzel megoldható lenne a szintbeli beszállás is. A korszerű járművek mozgatható lépcsőjének ábráját láthatjuk az **56. ábrán**.



56. ábra Mozgatható lépcső

Mivel a Tram Train egy teljesen új megoldást jelentene a budapesti közlekedésben, ezért a járműveket és a meglévő pályaszerkezetet is korszerűsíteni kéne az adott viszonylaton. A dolgozatomban csak a városi szakaszra vonatkozóan teszek javaslatot az új pályaszerkezettel kapcsolatban. Az én javaslatom a járműre vonatkozóan az ALSTOM cég CITADIS DUALIS kifejezetten Tram Train használatra tervezett járműve lenne. Ez esztétikailag is remekül illeszkedne a városi vasutakhoz (**57. ábra**), valamint a belső kialakítása során figyelembe vették, hogy akár hosszabb utazásokra is igénybe veszik az emberek, így kényelmes csomagtartókat (**58. ábra**) is kialakítottak, valamint az ülések elrendezése (**59. ábra**) jobban hasonlít egy nagyvasúti szelvényéhez.²⁰

²⁰ (Alstom, Citadis Dualis, 2017), elérhető: <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/rail-systems/trains/products/citadis-dualis/>



57. ábra Alstom Citadis Dualis - nagyvasúti pályán



58. ábra Alstom Citadis Dualis - utastér kialakítása



59. ábra Alstom Citadis Dualis - csomagtartó

6 A vonalon lévő pályaszerkezetek ismertetése

Mivel az 1-es villamos vonala az egyik legnagyobb utasforgalmat lebonyolító városi vasútvonal, ezért egy korszerűbb pályaszerkezet kialakítása lenne indokolt, mely felveszi a versenyt a nyugat európai városokkal is. Először a már meglévő pályaszerkezetet, és annak hibáit, majd az általam javasolt, külföldön is népszerű RHEDA rendszert ismertetem.

6.1 Jelenlegi pályaszerkezet

A 1-es villamos pályájának felújítási munkálatait 2013-ban kezdték meg és 2015 februárjában fejezték be, a munkálatok során a villamos vonalát átvezették a Rákóczi-hídon és új végállomást építettek ki neki az Etele útnál. A későbbiekben tervezik a villamos vonal meghosszabbítását Kelenföld vasútállomásig. Mivel nem olyan rég volt a vonal felújítása, ezért a vasúti pálya állapotára vonatkozó feltételek alapján megállapítható, hogy a pályaszerkezet állapota jó. Jelenleg többféle pályaszerkezeti megoldás található a vonalszakaszon, szám szerint tizenkét féle. A vonalfelújítások során nem vették figyelembe a városi vasút tervezésének egyik meghatározó kritériumát, ami azt mondja ki, hogy törekedni kell, a minimális számú pályaszerkezet megoldásra, homogén szakaszt érdemes építeni. Tehát olyan pályaszerkezeti megoldásokat és sínleerősítéseket kell választani, amelyekkel a legtöbb üzemeltetői igény kielégíthető. Ilyen például a nyitott zúzottkőves-, nyitott betonlemez-, hosszgerendás füves-, illetve a burkolt betonlemez vágány.

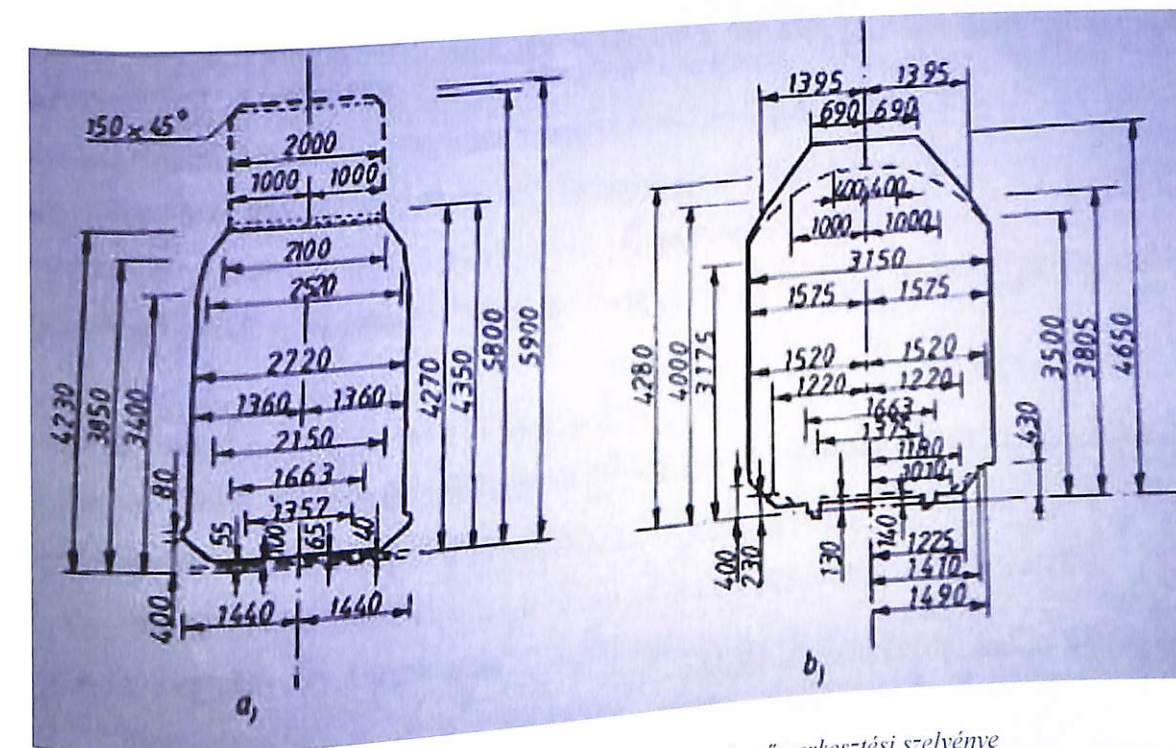
Az alábbi táblázatban (4. táblázat) foglaltam össze a vonalon jelenleg fellelhető pályaszerkezeti megoldásokat.

1	49E1 sínes, vb. hosszgerendás, sinkörülöntéses burkolt vágány, közúti forgalom nélkül
2	49E1 sínes, vb. hosszgerendás, sinkörülöntéses burkolt vágány kisméretű útátjárókban
3	49E1 sínes, vb. hosszgerendás, sinkörülöntéses burkolt vágány nagyméretű útátjárókban
4	49E1 sínes, vb. hosszgerendás, sinkörülöntéses füves vágány
5	49E1 sínes, vb. pályalemez, sinkörülöntéses burkolt vágány, közúti forgalom nélkül
6	49E1 kétvezetős sínes, vb. pályalemez, sinkörülöntéses burkolt vágány, közúti forgalom nélkül
7	59R2 sínes RAFS vágány, közúti forgalom nélkül
8	59R2 sínes RAFS vágány, kisméretű útátjárókban
9	59R2 sínes RAFS vágány, nagyméretű útátjárókban
10	59R2 sínes, CDM rendszerű vb. pályalemez burkolt vágány, közúti forgalommal
11	59R2 sínes, bebetonozott talpfás, burkolt vágány, közúti forgalommal
12	59R2 sínes, CDM rendszerű vb. hosszgerendás, füves vágány

4. táblázat 1-es villamos jelenlegi pályaszerkezeti megoldásai

A jelenlegi nyomtávolság megegyezik a nagyvasút nyomtávolságával, ami az előírt 1435 mm. A városi vasutak járműszerkezési szelvénye keskenyebb, mint a nagyvasúti járművek ürszelvénye, ezt az alábbi ábra (60. ábra) jól szemlélteti.

Az ürszelvény az a pályaszerkezet feletti szabványosított keresztmetszeti terület, amelyet a vasúti forgalom biztonságos lebonyolításához szabadon kell tartani.



60. ábra A városi vasút (a) és a nagyvasút (b) járműszerkezési szelvénye

6.2 A tervezett, új pályaszerkezet ismertetése

6.3 Pályaszerkezetek tervezésével kapcsolatos tudnivalók

A tervezés során figyelembe kell venni az Országos Vasúti Szabályzat II. kötetében található városi vasutakra vonatkozó szabályozásokat. Az egyik legfontosabb paraméter a tengelyterhelés. Az erre vonatkozó szabályozást a 18/1998. (VII. 3.) KHVM rendelet 2. fejezetének 2.3 pontja tartalmazza, mely szerint a pályákat az alább felsorolt statikus tengelyterhelésre (tengelyteher) kell alkalmazni:

- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| • közúti vasúton | 150 kN |
| • közúttól elkülönített vasúton | 180 kN |
| • helyi érdekű vasúton | 225 kN |
| • fogaskerekű vasúton | 180 kN ²¹ |

A közúti vasutak építésével kapcsolatban néhány fontos megjegyzést kell tenni, amiket az alábbi felsorolásban foglaltam össze.

A közúti vasutak építésének tizenkét tézisét a következő felsorolásban olvashatjuk:

- 1) A vonalfelújítások tervezése során egy adott vonalon törekedni kell a minimális számú pályaszerkezeti megoldásokra.
- 2) A tervezés és a kivitelezés során olyan műszaki megoldásokat kell előnyben részesíteni, amelyeknél az építési-, és a teljes élettartamra vonatkozó várható fenntartási költségek együttesen a legkisebb értéket adják.
- 3) A tervező, kivitelező és üzemeltető mérnököknek egyaránt ismernie kell a rendelkezésre álló legújabb műszaki megoldásokat, technológiákat.
- 4) Burkolt vágányok pályaszerkezeti megoldásainál úgy mechanikai, mint akusztikai szempontból biztosítani kell a kétirányú (függőleges, keresztirányú) folyamatos sínágyazást.
- 5) Burkolt vágányok pályaszerkezeti megoldásainál a sínalp alatti gumilemez rugalmasságát úgy kell megválasztani, hogy az legalább 1-1,5 mm terhelés alatti rugalmas lehajlást biztosítson.

²¹ (Országos vasúti szabályzat II. kötet, 2017)
(elérhető: http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99800018.KHV)

- 6) A sántalp alatti gumilemezeknek a forgalmi terhelés hatására számottevő módon nem szabad felkeményedniük.
- 7) A sínszálak keresztirányú rugalmas megtámasztása szempontjából kemény pontoknak számító, nyomtávartó rudakat csak indokolt esetben szabad alkalmazni.
- 8) A kitérőkben és az átszelésekben a folyópályához képest fokozottabb dinamikus igénybevételek miatt a sínszálak ágyazását illetve rögzítését rugalmas módon kell megoldani.
- 9) A pályaépítések során a hazai termékeket és műszaki megoldásokat előnyben kell részesíteni.
- 10) A pályafelújítások során úgy a tervezés, mint a kivitelezés részéről igényes műszaki megoldásokat kell keresni és alkalmazni, és törekedni kell a környezet védelmére.
- 11) A pályaszerkezetek kialakításánál a valós járműterhelések figyelembevételére kell törekedni a jövőbeni tervezési előírások átdolgozásakor, illetve a megelőző elméleti és laboratóriumi vizsgálatok elvégzésekor.
- 12) A vonalfelújításokat követően elengedhetetlen a rendszeres pályafelügyelet, illetve a pályahibák jelentkezése esetén a gondos fenntartási munka.²²

A Tram Train pályaszerkezet tervezésénél figyelembe kell venni, hogy a járművek nem csak a városban belül közlekednek, hanem városban kívüli pályaszakaszok is vannak, ezért vegyes pályaszerkezet kialakítása a célszerű. Ebben az esetben törekedni kell az egységes sínleerősítési rendszer használatára.

A sínleerősítésekkel kapcsolatban támasztott követelmények a következők:

- Egyaránt alkalmazható legyen egyenesben, ívben, állomáson és nyílt pályán is.
- Építése és fenntartása egyszerű és gyors legyen.
- Az egyes elemek könnyen, gyorsan cserélhetőek legyenek, de ne mindenki tudja őket lecserélni.

Az új pálya kialakításánál figyelembe kell venni a technikai követelményeken felül a környezeti szempontokat is, mint például a zajok és rezgések csökkentése, valamint az építési terület korlátozott használata.

²² (Dr. Kazinczy, A korszerű közúti vasúti pályaépítés elméleti és gyakorlati tézisei, 2015) Dr. Kazinczy László: A korszerű közúti vasúti pályaépítés elméleti és gyakorlati tézisei (elérhető: <http://docplayer.hu/6018050-A-korszeru-kozuti-vasuti-palyaepites-elméleti-es-gyakorlati-tezisei.html>)

- 6) A sántalp alatti gumilemezeknek a forgalmi terhelés hatására számottevő módon nem szabad felkeményedniük.
- 7) A sínszálak keresztirányú rugalmas megtámasztása szempontjából kemény pontoknak számító, nyomtávartó rudakat csak indokolt esetben szabad alkalmazni.
- 8) A kitérőkben és az átszelésekben a folyópályához képest fokozottabb dinamikus igénybevételek miatt a sínszálak ágyazását illetve rögzítését rugalmas módon kell megoldani.
- 9) A pályaépítések során a hazai termékeket és műszaki megoldásokat előnyben kell részesíteni.
- 10) A pálya felújítások során úgy a tervezés, mint a kivitelezés részéről igényes műszaki megoldásokat kell keresni és alkalmazni, és törekedni kell a környezet védelmére.
- 11) A pályaszerkezetek kialakításánál a valós járműterhelések figyelembevételére kell törekedni a jövőbeni tervezési előírások átdolgozásakor, illetve a megelőző elméleti és laboratóriumi vizsgálatok elvégzésekor.
- 12) A vonal felújításokat követően elengedhetetlen a rendszeres pálya felügyelet, illetve a pályahibák jelentkezése esetén a gondos fenntartási munka.²²

A Tram Train pályaszerkezet tervezésénél figyelembe kell venni, hogy a járművek nem csak a városban belül közlekednek, hanem városban kívüli pályaszakaszok is vannak, ezért vegyes pályaszerkezet kialakítása a célszerű. Ebben az esetben törekedni kell az egységes sínleerősítési rendszer használatára.

A sínleerősítésekkel kapcsolatban támasztott követelmények a következők:

- Egyaránt alkalmazható legyen egyenesben, ívben, állomáson és nyílt pályán is.
- Építése és fenntartása egyszerű és gyors legyen.
- Az egyes elemek könnyen, gyorsan cserélhetőek legyenek, de ne mindenki tudja őket lecserélni.

Az új pálya kialakításánál figyelembe kell venni a technikai követelményeken felül a környezeti szempontokat is, mint például a zajok és rezgések csökkentése, valamint az építési terület korlátozott használata.

²² (Dr. Kazinczy, A korszerű közúti vasúti pályaépítés elméleti és gyakorlati tézisei, 2015) Dr. Kazinczy László: A korszerű közúti vasúti pályaépítés elméleti és gyakorlati tézisei (elérhető: <http://docplayer.hu/6018050-A-korszeru-kozuti-vasuti-palyaepites-elmeleti-es-gyakorlati-tezisei.html>)

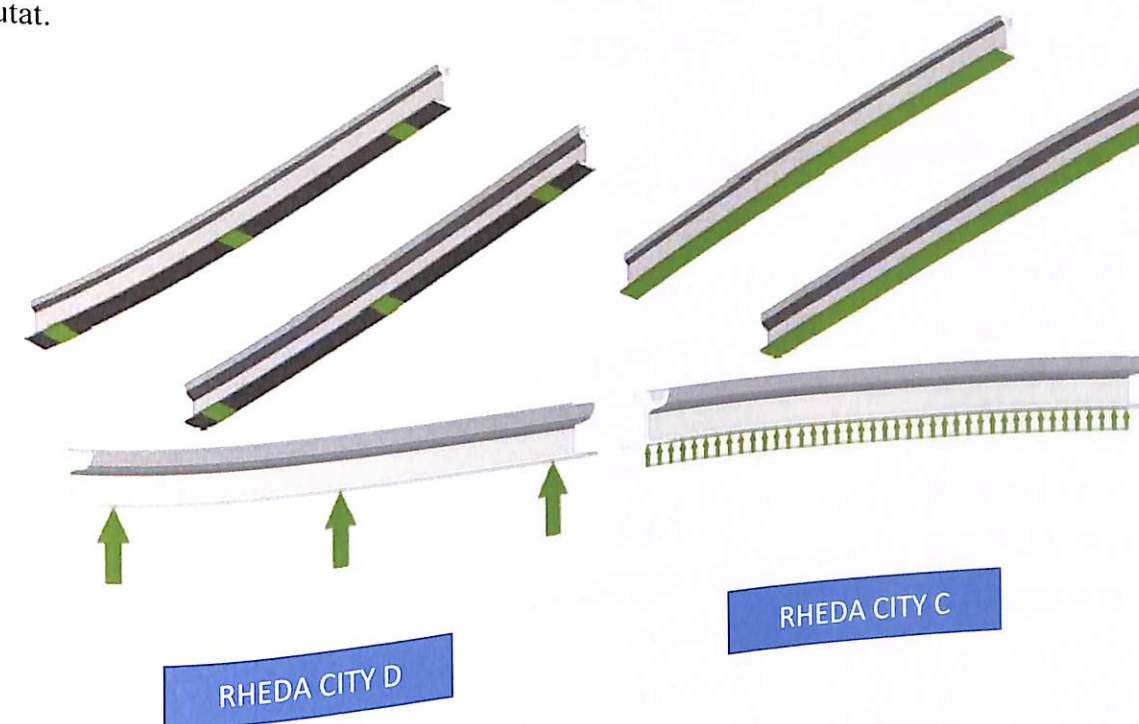
6.4 RHEDA City rendszer bemutatása

Az általam javasolt új pályaszerkezeti rendszer kialakítása a RHEDA City rendszerrel valósulhatna meg. A RHEDA City pályaszerkezet egy új, korszerű megoldást kínál, amely remekül beilleszthető a városi közlekedésbe.

A RHEDA City rendszerének két típusa van a sínszál alátámasztásának módja szerint, az egyik a RHEDA City C és a másik a RHEDA City D, ami alkalmas a 70-80 km/h sebességgel közlekedő városi vasutak építésére is.

- A Rheda City C (Continuous) egy folyamatos sín-alátámasztású rendszer
- A Rheda City D (Discret) szakaszos sín-alátámasztású rendszer²³

Minthogy a két betonlemez felépítményben a sínszálak megtámasztása statikai (igénybevételi) szempontból lényegesen eltér egymástól, ezért a pályaszerkezetek kialakítása (szerkezeti felépítése, rétegek minősége és vastagsága) is jelentős különbségeket mutat.



²³ (RailOne, 2017) elérhető: http://www.railone.com/fileadmin/daten/05-pressemedien/downloads/broschueren/en/Rheda_City_EN2011_ebook.pdf

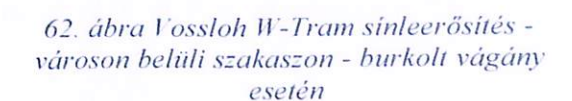
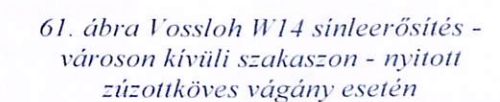
6.5 A RHEDA City típusú szilárd betonlemez közúti vasúti pályaszerkezet építésének általános feltételei

- A pályalemez vastagsága a terheléstől függően számítással igazolható módon változtatható;
- A pályaszerkezet építési módja ún. TOP-DOWN (felülről lefelé). A Pályaszerkezetet bebetonozás előtt nyomtávra ellenőrizni kell;
- Gyenge talajviszonyok esetében az alépítményt és pályalemezt külön méretezni kell. Ennek megfelelően szükségessé válhat a pályalemez szélességének növelése, vagy vasalásának megerősítése, vastagságának növelése, más esetekben egy kiegészítő teherhordó réteg (például hidraulikusan kötött talajréteg) beépítése. A pályalemez tervezésénél az Eisenmann - Zimmermann féle együttlétező lemezekre kidolgozott méretezési módszert lehet alkalmazni;
- I. osztályú minőségű betonalj;
- Az alépítmény I.o. minőségben történő előkészítése és ellenőrzése;
- A statikai számítások szerint esetleg szükséges vasalási mennyiség megfelelő mennyiségben és minőségben történő elhelyezése;

6.6 A RHEDA City C betonlemez közúti vasúti pályaszerkezeti rendszer

Az **61. ábrán** mintakeresztzelvényével ábrázolt RHEDA City C típusú betonlemez közúti vasúti pályaszerkezeti rendszer alapja egy $E \geq 45 \text{ MN/m}^2$ rugalmassági modulusú földmű. Erre kerül minimum 500 mm vastagságban a fagyvédő réteg, amelynek felszínén $E \geq 120 \text{ MN/m}^2$ értékű rugalmassági moduluszt kell biztosítani. A fagyvédő réteg cementkötést, vagy azt nélkülöző anyagokból egyaránt készülhet. A fagyvédő réteg felett a teherhordó beton pályalemez fekszik, amely a RHEDA típusú kétfokos aljakat is magában foglalja, melyek egymástól való távolsága 1 500 mm, $R < 100 \text{ m}$ sugarú ívekben 750 mm (a monolitikus készítésű betonlemez vastagsága 250 mm, betonminősége min. C30/37, rugalmassági modulusa $E = 34\,000 \text{ MN/m}$). A betonalj többféle sínrendszerhez is adaptálható. A sínzálak alatt igény szerinti rugalmasságú gumiköpeny-, a sínkamrákban rezgécscillapító kamraelemek húzódnak - rugalmas módon, folyamatosan ágyazva a vályús sínprofilokat (például az ORTEC ISOLAST, vagy az ORTEC FLÜSTERSCHIENE sínleerősítési rendszerek).

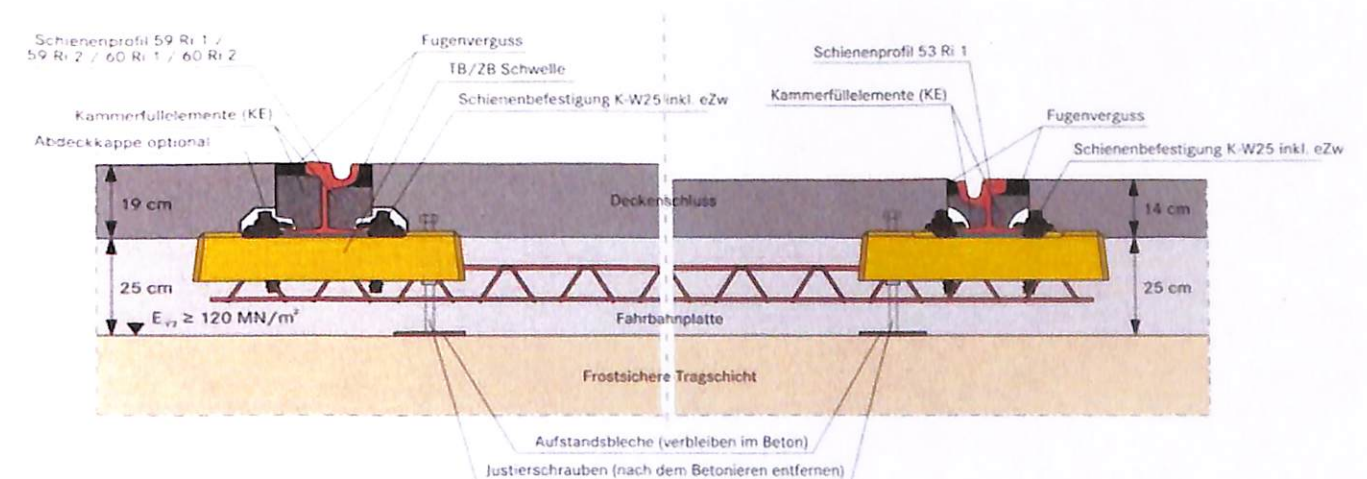
1. A sínek megfelelő rögzítését a betonalkajhoz biztosítani kell;
2. A víz beszivárgását a sínburkoló anyag és a sín közé meg kell akadályozni.



6.7 A RHEDA City D betonlemezés közúti vasúti pályaszerkezeti rendszer

A **63. ábrán** mintakeresztszelvényével ábrázolt RHEDA City D típusú betonlemez-es közúti vasúti pályaszerkezeti rendszer alapja egy $E \geq 45 \text{ MN/m}^2$ rugalmassági modulusú földmű. Erre kerül minimum 500 mm vastagságban a fagyvédő réteg, amelynek felszínén $E \geq 120 \text{ MN/m}^2$ értékű rugalmassági moduluszt kell biztosítani (ha az altalaj lejt, akkor a mértékadó sín alatt, vagy a magyarországi előírásoknak megfelelően). A fagyvédő réteg cementkötést, vagy azt nélkülöző anyagokból egyaránt készülhet. A fagyvédő réteg felett a teherhordó beton pályalemez fekszik, amely a RHEDA típusú kétblokkos aljakat is magában foglalja, melyek egymástól való távolsága egyenes vonalszakaszokon 750 mm, $R < 100 \text{ m}$ sugarú ívekben 600 mm (a monolitikus készítésű betonlemez vastagsága 250 mm, betonminősége min. C30/37, rugalmassági modulusa $E = 34\,000 \text{ MN/m}^2$).

A betonalj többféle sínrendszerhez is adaptálható. A sínszálak alatt a sínleerősítésekben igény szerinti rugalmasságú közbetétek, a sínkamrákban rezgéscsillapító kamraelemek húzódnak. A sínszálakat a nyomtáv végleges beállítása után szorítólemezes, vagy szorítórugós (VOSSLOH W-rendszerű sínleerősítések) sínleerősítések rögzíthetik a pályalemez kétblokkos aljaihoz. A vágány lehet nyitott és burkolt. A sínszálak közti tér kockakövel, betonnal, aszfalttal egyaránt kitölthető. A felépítményi rendszer ajánlott füves vágány építésére is.



63. ábra RIEDA City D típusú betonlemezkes közúti vasúti pályaszerkezeti rendszer keresztmetszvénye

A RHEDA City D típusú betonlemez közúti vasúti pályaszerkezet úgynevezett TOP-DOWN rendszerrel építhető (Felülről-Lefelé történő építés). A pályaszerkezet kivitelezése során a fagyvédő rétegre feltámaszkodó elemek segítségével először a vágányrács függőleges, és vízszintes értelmű szabályozását, majd rögzítését kell elvégezni, s csak ezután következhet a RHRDA betonelemek betonozása, azaz a pályalemez kialakítása.

6.8 A RHEDA City típusú (C és D típusok) betonlemez közúti vasúti pályaszerkezet általános előnyei az alábbiakban foglalhatók össze

- Pályajellemzők állandósága;
- A RHEDA rendszerű pályák az igen alacsony gépesítéstől (kézi fektetés) a gépesített fektetésig (fektető portálok alkalmazása) gépesíthetők. Az alkalmazott létszámtól és a gépesítéstől függően gyors és egyszerű pályaeépítést tesz lehetővé;
- Alacsony karbantartási igény;
- Jó adaptálhatóság a környezeti feltételekhez;
- A sínszálak egymástól való elszigetelése;
- Előregyártott, jó minőségű sín alatti rögzítő szerkezet (nyomtáv, magassági vonalvezetés, betonminőség);
- Könnyen módosíthatók a felhasználni kívánt anyagok;
- Jól hozzáilleszthető a zaj-, és rezgés előírásokhoz.

6.9 A RHEDA City C típusú betonlemezés közúti vasúti pályaszerkezet alkalmazásának további műszaki feltételei

6.9.1 Felépítményre vonatkozóan

- Sínrendszer: Ri 60, Ri 59 (külön tervezés esetén más sínvályúcsatornás sínrendszer is);
- Lekötés: szorítólemezés lekötés (külön tervezés esetén más sínleerősítési rendszer is alkalmazható);
- Alkalmazható sínburkoló elemek például ORTEC ISOLAST, vagy ORTEC DELTA BLOKK ORTEC FLÜSTERSCHIENE;
- Aljak távolsága egyenesben $\leq 1\,500\text{mm}$;
- Aljak távolsága $R < 100\text{ m}$ ívben: 750 mm ;
- TB/ZB-1435 SP-jelű betonalkak;
- Betonalkak minőségi előírásai: Betontakarás, geometriai méretek, betontechnológia az MZ EN 13230 megfelelő pontjai szerint.

6.9.2 Burkolatra vonatkozóan

- RHEDA CITY C csak burkolt vágányként építhető;
- Anyaga: Beton, aszfalt vagy térkő burkolat;
- Különleges esetben füvesített burkolattal is megépíthető, ebben az esetben külön tervezést igényel, ami biztosítja:
 1. A sínek megfelelő rögzítését a betonalkakhoz;
 2. A sínburkuló anyag és sín közti vízszigetelést;
- Határoló elemek és kiegészítő elemek a részletterv szerinti alkalmazhatók (a pályaszerkezet működésétől független elemek, a teherbírásban nem vesznek részt, feladatuk a zaj és rezgéscsillapítás, elektromos és vízszigetelés).

6.9.3 Teherhordó lemezre (pályalemez) vonatkozóan

- Rugalmassági modulus: $E = 34\,000\text{ N/mm}^2$;
- Betonminőség: min. C30/37;
- Vastagság: 250 mm (méretezéstől függően);
- Szélesség: 2 200 mm (méretezéstől függően);
- Vasalás betontakarása: $\geq 50\text{ mm}$.

6.9.4 Fagyvédő rétegre (FSS) vonatkozóan

- Vastagsága: min. 500 mm (ha az altalaj lejt, akkor a mértékadó sín alatt, vagy a magyarországi előírásoknak megfelelően);
- Rugalmassági modulus: $E \geq 120\text{ N/mm}^2$;
- Fagyvédő réteg készülhet cementkötésű vagy nem cementkötésű anyagból.

6.9.5 Földműre vonatkozóan

- Rugalmassági modulus: $E \geq 45\text{ N/mm}^2$ (a vasútépítésnél szokásos egyéb paraméterekkel).

6.10 A RHEDA City D típusú betonlemezkes közúti vasúti pályaszerkezet alkalmazásának további műszaki feltételei

6.10.1 Felépítményre vonatkozóan

- Sínrendszer: UIC60, S54, Ri 60, Ri 59 (külön tervezés esetén más sínrendszer is);
- Lekötés: például VOSLOH-W14, W21, W25 vagy más, a felhasználó által engedélyezett sínlekötés (külön tervezés esetén más rugalmas sínleerősítési rendszer is alkalmazható, pl. Skl-1);
- Aljak távolsága egyenesben: 750 mm;
- Aljak távolsága $R < 100\text{ m}$ ívben: 600 mm;
- TB/ZB-1435 és TB/ZB.1-1435-jelű betonalkjak;
- Betonalkjak minőségi előírásai: Betontakarás, geometriai méretek, betontechnológia az MSZ EN 13230 megfelelő pontjai szerint.

6.10.2 Burkolatra vonatkozóan

- Beton. aszfalt. térkő vagy fűves burkolat. Különösen alkalmas fűvesített vágány építésére. Ekkor a rendszer megnevezése: RHEDA CITY G;
- Építhető burkolat nélkül is;
- Határoló elemek és kiegészítő elemek a részletterv szerinti alkalmazhatók (a pályaszerkezet működésétől független elemek, a teherbírásban nem vesznek részt, feladatuk a zaj és rezgéscsillapítás, elektromos és vízszigetelés).

6.10.3 Teherhordó lemezre (pályalemez) vonatkozóan

- Rugalmassági modulus: $E = 34\,000\text{ N/mm}^2$;
- Betonminőség: min. C30/37;
- Vastagság: 250 mm (méretezéstől függően);
- Szélesség: 2 200 mm (méretezéstől függően);
- Vasalás betontakarása: $\geq 50\text{ mm}$.

6.10.4 Fagyvédő rétegre (FSS) vonatkozóan

- Vastagsága: min. 500 mm, (ha az altalaj lejt, akkor a mértékadó sín alatt, vagy a magyarországi előírásoknak megfelelően);
- Rugalmassági modulus: $E \geq 120\text{ N/mm}^2$;
- Fagyvédő réteg készülhet cementkötésű vagy nem cementkötésű anyagból.

6.10.5 Földműre vonatkozóan

- Rugalmassági modulus: $E \geq 45\text{ N/mm}^2$ (a vasútépítésnél szokásos egyéb paraméterekkel).

Az alábbi ábrákon (64,65,66. ábra) pedig az elkészült pályaszerkezetekre láthatunk pár példát.



64. ábra RHEDA City - Dresda



65. ábra RHEDA City - Berlin - füves pálya



66. ábra RHEDA City - Berlin - átmenet az aszfalt burkoltat és a füves pálya között

7 A Zimmermann - Eisenmann féle felépítmény-méretezési eljárás

7.1 A méretezési eljárás gyakorlati és elméleti alapjai

7.1.1 Gyakorlati alapok

Az 1970-es években a Német Szövetségi Vasút (DB) megbízásából a Müncheni Műszaki Egyetem Út és Vasútépítési Tanszéke olyan elméleti igénybevételi számítást dolgozott ki, amely egyszerűen kezelhető, zárt összefüggések révén a vasúti járműterhelés hatására a pályaszerkezetben ébredő igénybevételek számításához a valóságot jól közelítő eredményeket szolgáltat. A kutatást irányító Eisenmann professzor a számítási eljárás kidolgozásánál nem a rendkívül összetett pálya-jármű elméleti modellt választotta, hanem igen nagyszámú helyszíni üzem alatti mérés eredményeit dolgozta fel, matematikai statisztikai alapon. E kutatási módszer végül is a valós üzemi körülményeket kiindulási adataiban, és végeredményeiben egyaránt követő rövid, áttekinthető képletekhez vezetett.

7.1.2 Elméleti alapok

A meglévő üzemi pályákon végzett nagyszámú igénybevételi mérés eredményei a járművek sebességének növekedésével nagy szórást mutattak, mint azt a 67. ábra is szemlélteti. Így az adatok értékelése során először a mérési eredmények középértékét (a mérési eredmények legvalószínűbb értékét) határozták meg:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

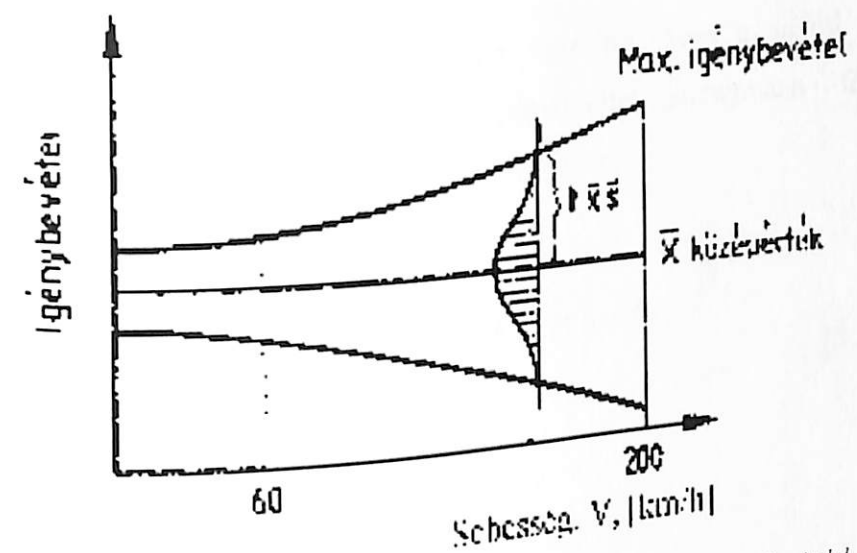
ahol

x_i = a mérési eredmények

n = a mérések száma

majd, az ún. középértékre vonatkoztatott szórást:

$$\bar{s} = \frac{s}{\bar{x}}$$



67. ábra: 1 vasúti pályaszerkezetben járműterhelés hatására ébredő igénybevételek alakulása a sebesség függvényében

A mérési eredmények normális eloszlását feltételezve (tekintettel a nagyszámú független mintára), és azok szórását figyelembe véve a mértékadó eredményt az

$$x_M = \bar{x} * t * s = \bar{x} + t * \bar{s} * \bar{x} = \bar{x} * (1 + t * \bar{s})$$

elvi összefüggés adja. A helyszíni igénybevételei mérésekre vonatkoztatva a mértékadó igénybevételek

$$I_M = \bar{I} * (1 + t * \bar{s})$$

módon számíthatóak, ahol

$\bar{I}$ = az igénybevételei mérési eredmények középértéke

t = a megkívánt valószínűségtől függő tényező

$t = 1 - 0,683$ valószínűségnél

$t = 2 - 0,995$ valószínűségnél

$t = 3 - 0,997$ valószínűségnél

Mivel a vasúti közlekedés egy veszélyes számításánál $t = 3$ értéket kell figyelembe venni.

üzem, ezért a felépítmény-szerkezetek

7.2 Az elmélet mechanikai és vasútépítési alapjai

Az elvégzett helyszíni kísérletek egyértelműen igazolták, hogy a mérési eredmények középértéke ($\bar{I}$) jó egyezést mutat az elméleti igénybevétel Zimmermann – féle eljárással számított értékével. Tehát a mértékadó igénybevételek az

$$I_M = I_E * (1 + t * \bar{s}) = I_E * \beta$$

képlettel határozhatók meg, ahol

I_E = az igénybevételek Zimmermann – féle eljárással számított értékei

β = az Eisenmann – féle dinamikus faktor

Az igénybevételi mérések középértékére vonatkoztatott szórásra az

$$\bar{s} = \alpha * \varphi$$

összefüggés adódott, ahol

α = a vasúti pálya állapotától függő tényező:

$\alpha = 0,1$ – kiváló állapotú felépítményeknél (pl. építési állapot)

$\alpha = 0,2$ – jó állapotú felépítményeknél (átlagos üzemi állapot)

$\alpha = 0,3$ rossz állapotú felépítményeknél (üzemi határállapot)

φ = a járművek sebességétől függő tényező:

$$\varphi = 1 \quad V \leq 60 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad \text{sebesség esetén}$$

$$\varphi = 1 + \frac{V - 60}{140} \quad 60 < V \leq 200 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad \text{sebesség esetén}$$

7.3 A Zimmermann – féle felépítmény-méretezési eljárás

A Zimmermann – féle vasúti felépítmény-méretezési eljárás végtelen hosszú, folyamatosan felfekvő, rugalmas ágyazású tartóként kezeli a sínszalakat. Az elmélet a Z [N] statikus kerékterhelés hatására ébredő statikus igénybevételeket a

- sínszál süllyedésére vonatkozóan:

$$Y_E = \frac{Z}{2 * C * S * L} * \sum \eta_i \quad [mm]$$

- a sínszalat alátámasztó rugalmasan ágyazott szerkezeti elem (keresztalj, vagy alátétlemez) alatti nyomásra (ágyazati nyomás) vonatkozóan:

$$p_E = \frac{Z}{2 * S * L} * \sum \eta_i \quad [N/mm^2]$$

- a sínszalat alátámasztó rugalmasan ágyazott szerkezeti elemre (keresztalj, vagy alátétlemez) átvihető erőre vonatkozóan:

$$F_E = \frac{Z * k}{2 * L} * \sum \eta_i \quad [N]$$

- a sínszál valamely „K” keresztmetszetében ébredő hajlító nyomatékra vonatkozóan:

$$M_E = \frac{Z * L}{4} * \sum \eta_i \quad [N/mm]$$

összefüggésekkel adja meg, ahol

$Z [N]$ – a függőleges irányú statikus kerékteher

$k [mm]$ – az aljak (sínleerősítések távolsága)

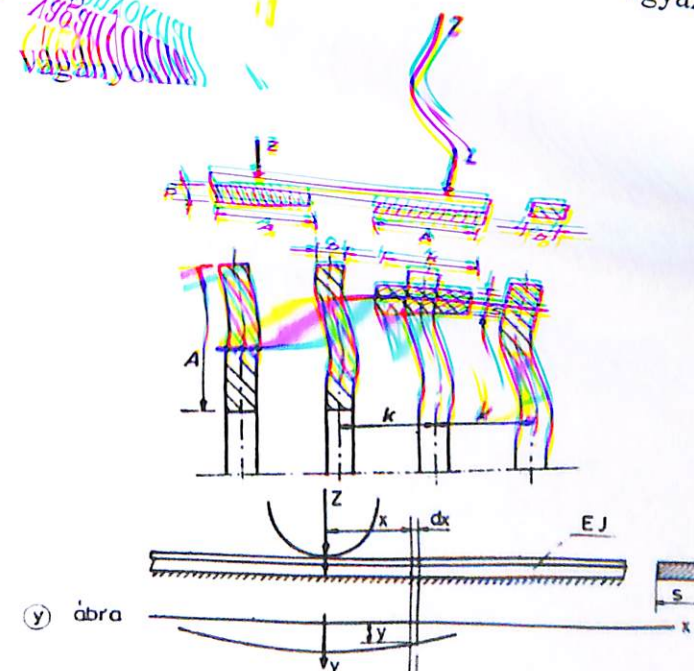
$C [N/mm^2]$ – az ágyazási tényező (a sínszátra vonatkozóan)

$s [mm]$ – a hosszgerenda felfekvési felületének szélessége

A sínszálak folyamatos felfekvése a gyakorlatban csak az esetek kisebb részénél fordul elő (pl. közúti vasúti vágányok, darupályák, stb.). Ekkor a valóságos modell és a számítási modell azonos. Amennyiben nem hosszgerendás, hanem keresztaljas vágánnyal van dolgunk, akkor a valóságos modellt – a tartó feltámaszkodási felületének megtartásával – a keresztaljas modell számára kezelhető, úgynevezett helyettesítő hosszaljas modellre kell átalakítani. A helyettesítő hosszalj szélessége a 68. ábra alapján

$$s = \frac{A}{k}$$

alátámasztó szerkezeti elem (zúzottkő ágyazatú vágányoknál alátétlemez) rugalmas ágyazaton való



összefüggésekkel adja meg, ahol

$Z [N]$ – a függőleges irányú statikus kerékteher

$k [mm]$ – az aljak(sínleerősítések távolsága)

$C [N/mm^2]$ – az ágyazási tényező (a sínszátra vonatkozóan)

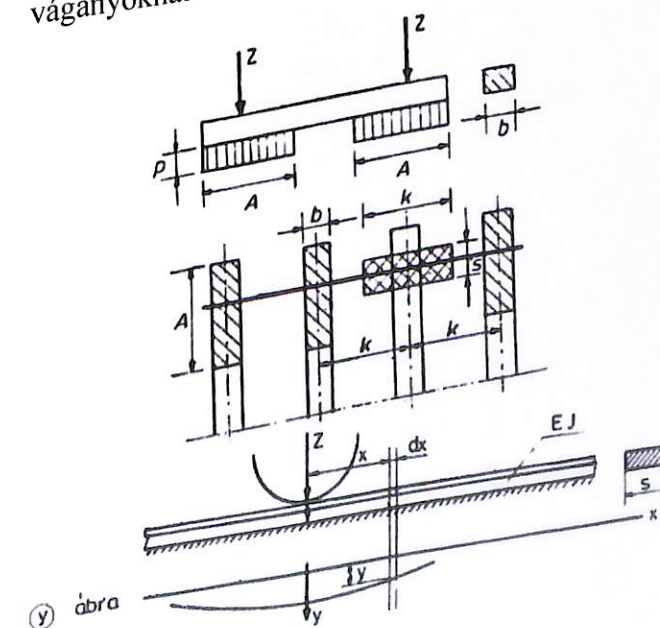
$s [mm]$ – a hosszgerenda felfekvési felületének szélessége

A sínszálak folyamatos felfekvése a gyakorlatban csak az esetek kisebb részénél fordul elő (pl. közúti vasúti vágányok, darupályák, stb.). Ekkor a valóságos modell és a számítási modell azonos. Amennyiben nem hosszgerendás, hanem keresztaljas vágánnyal van dolgunk, akkor a valóságos modellt – a tartó feltámaszkodási felületének megtartásával – a számítási modell számára kezelhető, úgynevezett helyettesítő hosszaljas modellre kell átalakítani. A helyettesítő hosszalj szélessége a 68. ábra alapján

$$s = \frac{A}{k}$$

ahol

$A [mm^2]$ – a sínszál alátámasztó szerkezeti elem (zúzottkő ágyazatú vágányoknál keresztalj, betonlemez vágányoknál alátétlemez) rugalmas ágyazaton való feltámaszkodási felülete.



L [mm] – a sínszál merevségi hossza

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 * E * I}{C * s}} \quad [\text{mm}]$$

$E \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$ – a sínanyag rugalmassági modulusa

I [mm⁴] – a sínszál vízszintes tengelyre vonatkoztatott inercia nyomatéka

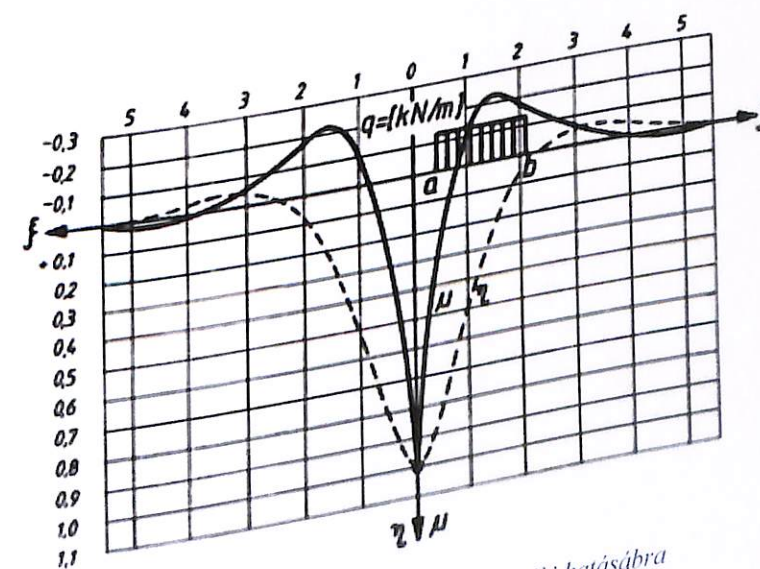
$\sum \eta_i$ [–] – a süllyedési hatására kerékkerhek alatti ordinátáinak összege a „K” keresztmetszetre vonatkozóan

$\sum \mu_i$ [–] – a nyomatéki hatására kerékkerhek alatti ordinátáinak összege a „K” keresztmetszetre vonatkozóan

A süllyedési-, és a nyomatéki hatására a 69. ábrán látható, ahol

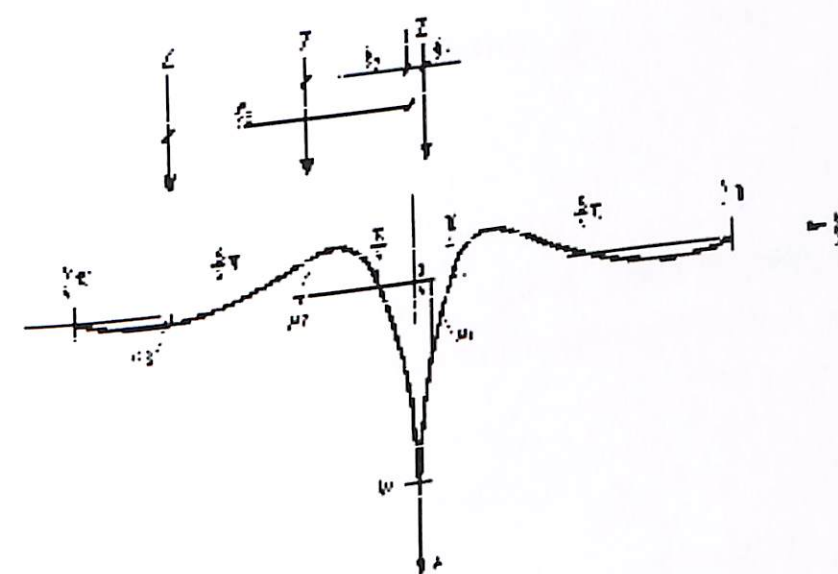
x_i [mm] – a „K” keresztmetszet és a kerékteher valóságos távolsága

ξ_i [–] – a „K” keresztmetszet és a kerékteher távolsága a hatására léptékében



69. ábra A süllyedési-, és nyomatéki hatására

A mértékadó igénybevételek meghatározásához a vasúti járművek kerekeit mértékadó módon kell elhelyezni a vágány „K” keresztmetszetéhez képest (mértékadó teherállás megállapítása). Ez akkor valósul meg, amikor a hatásábrák ordinátáinak összegei (70. ábra) a maximális értéket adják ($\max \mu_i$, $\max \eta_i$).



70. ábra A nyomatéki hatására leterhelése

7.4 A mértékadó igénybevételek számítása a Zimmermann- Eisenmann – féle felépítmény-méretezési eljárással

A mozgó (dinamikus) kerékterhek hatására a sínszálaban ébredő mértékadó (dinamikus) igénybevételeket az előzőek alapján úgy kapjuk meg, hogy a Zimmermann – féle statikus (elméleti) igénybevételeket megszorozzuk az Eisenmann – féle dinamikus faktoral:

- a sínszál süllyedésére vonatkozóan:

$$Y_M = Y_E * \beta$$
$$Y_M = \frac{Z}{2 * C * s * L} * \sum \eta_i * (1 + t * \alpha * \varphi) \quad [mm]$$

- a sínszálat alátámasztó rugalmasan ágyazott szerkezeti elem (keresztalj, vagy alátétlemez) alatti nyomásra (ágyazati nyomás) vonatkozóan:

$$p_M = p * \beta$$
$$p_M = \frac{Z}{2 * s * L} * \sum \eta_i * (1 + \alpha * \varphi) \quad [N/mm^2]$$

- a sínszálat alátámasztó rugalmasan ágyazott szerkezeti elemre (keresztalj, vagy alátétlemez) átadódó erőre vonatkozóan:

$$F_M = F_E * \beta$$
$$F_M = \frac{Z * k}{2 * L} * \sum \eta_i * (1 + t * \alpha * \varphi) \quad [N]$$

- a szál valamely „K” keresztmetszetében ébredő hajlító nyomatékra vonatkozóan:

$$M_M = M_E * \beta$$

$$M_M = \frac{Z * L}{4} * \sum \eta_i * (1 + \alpha * \varphi) \quad [Nmm]$$

8 A RHEDA City C és a RHEDA City D típusú pályaszerkezeti megoldások összehasonlítása

Új pályaszerkezeti megoldást javasolok a tervezett Tram Train vonalra, ennek indoka a várható utasforgalmi növekedés, és az ezzel járó megnövekedett igénybevételek, amik a pályaszerkezetet terhelhetik.

A RHEDA rendszernek a két típusát vizsgálom meg a sínszál alátámasztása szempontjából. A pontszerűen (RHEDA City D), illetve a folyamatosan alátámasztott (RHEDA City C) sínszál méretezését, a Zimmermann – Eisenmann féle felépítmény-mértetzési eljárással határozok meg.

Elsősorban kiválasztottam egy sínprofilt, ami alkalmas a RHEDA rendszerekhez, ez az R159-es sínprofil. Ennek műszaki paramétereit az Arcus Mérnöki Irodától kaptam meg, melyet a **72. ábrán** láthatunk. A számítás menetét már az előző pontban leírtam. Ebben a fejezetben már csak a konkrét eredményeket kívánom bemutatni és értelmezni. A számításhoz szükséges kiindulási adatokat az Excel programba bevitettem, és a későbbiekben már csak a változókat variáltam. A tengelyterhelést a CAF URBOS 3 típusú járműhöz határoztam meg, ez az a járműtípus, aminek jelenleg a legnagyobb a tengelyterhelése 118 kN. A számítások előtt ki kellett számolni az egyes esetekre az ágyazási tényezőket, melyek függenek a használt közbetétektől, illetve a talpgumik rugalmasságától.

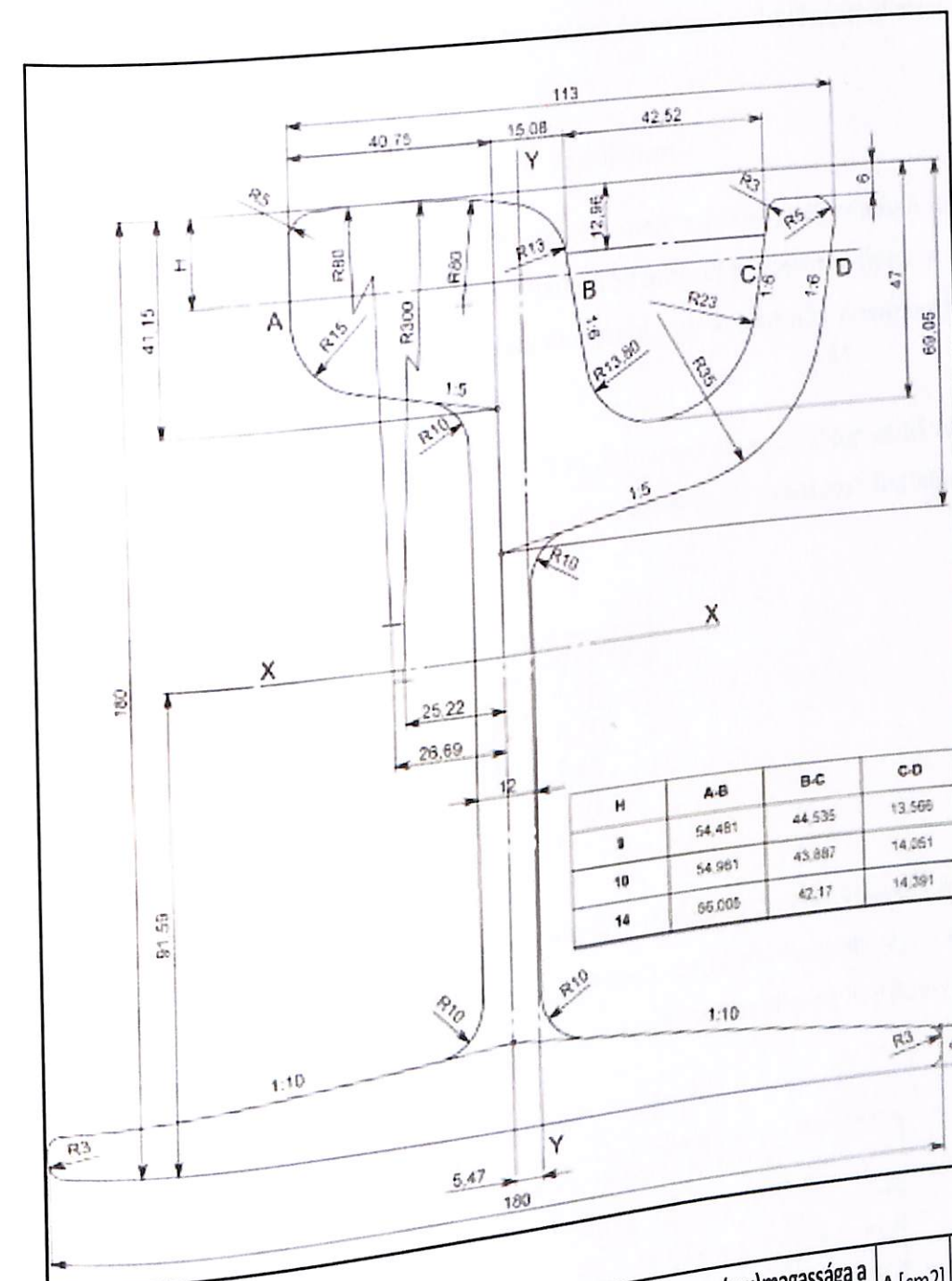
A pontszerű alátámasztások esetén a WIRTHWEIN cég által forgalmazott közbetétek rugalmassági értékeit vettem figyelembe, melyet a **71. ábra** szemléltet.²⁴

Typenbezeichnung nach DB:	Zw 900 (TPU)	Zw 700 (TPU)	Zw 787a (EVA)	Zw 687a (EVA)	Zw 687a (HDPE)
Statisch RT von 18-68 kN	ca. 60 kN/mm	ca. 60 kN/mm	ca. 140 kN/mm	ca. 600-700 kN/mm	ca. 950 kN/mm
Einsenkung in mm	ca. 0,85 mm	ca. 0,8 mm	ca. 0,35 mm	ca. 0,08 mm	
Statisch 50°C von 18-68 kN	ca. 45 kN/mm	ca. 50 kN/mm	ca. 60 kN/mm	ca. 400-500 kN/mm	
Dynamisch 10 Hz RT / nach 10 sec.	ca. 104 kN/mm	ca. 106 kN/mm	ca. 260 kN/mm	ca. 1600-1800 kN/mm	
Dynamisch 10 Hz -10°C / nach 10 sec.	ca. 295 kN/mm	ca. 280 kN/mm	---	---	
Dynamisch 30 Hz RT / nach 10 sec.	ca. 105 kN/mm	ca. 124 kN/mm	---	---	

71. ábra Wirthwein cég által forgalmazott közbetétek rugalmassági értékei

²⁴ (Wirthwein, 2014) ,

elérhető: http://www.wirthwein.de/fileadmin/media/pdfs/Bahnprospekte/Bahnmagazin_de_2014.pdf



Rendszer	Tömeg [kg/fm]	Magasság [mm]	Talpszélesség [mm]	Seml. Teng. (x-x) magassága a talpsík felett [mm]	A [cm ²]	Ix [cm ⁴]
Ri59	58,2	180	180	91,59	74,07	3213,8

72. ábra Az Ri 59 jelű szírendszer keresztmetszete

Tehát ezek az értékek a D [kN/mm/m] rugalmassági értékeket adják meg. Majd az A [mm²] feltámaszkodási felületet, pedig a közbetétek hosszából és a sínprofilból határozhatjuk meg. Jelen esetben a talpszélesség 180 mm, így az

$$A = 180 \cdot 150 = 27000 \text{ mm}$$

A közbetét nagyságát azért választottam 150 mm-re, mert a hazai gyakorlatban két féle létezik a 2 lyukú 110 mm-rel rendelkező, és a 4 lyukú 150 mm-rel rendelkező típus. A német gyakorlatban viszont 130-160 mm között lehet választani, így a számítás szempontjából a 150 mm úgy gondolom, hogy teljesen releváns.

Így most, hogy tudjuk a D és az A értékeket, már ki tudjuk számítani a C ágyazási tényező értékét. A számított ágyazási tényező értékeit az alábbi táblázat (5. táblázat) foglalja össze a D rugalmassági értékek függvényében.

	C [N/mm ³]
Zw900=	0,44
Zw700=	0,74
Zw787=	1,03

5. táblázat Ágyazási tényezők értékei

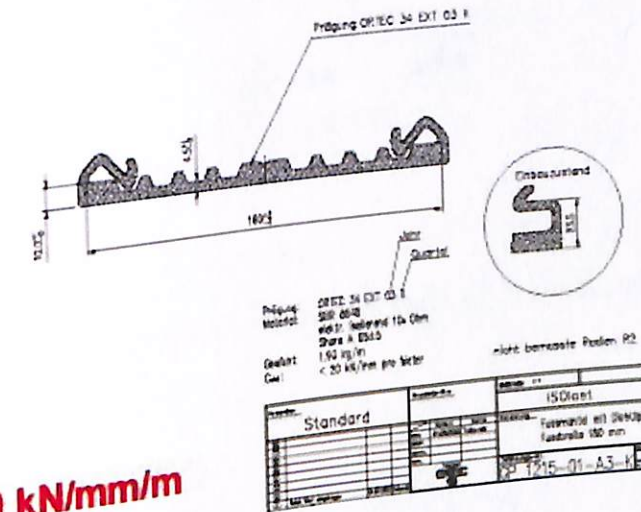
Majd a következő táblázat (6. táblázat) már a számított eredményeket tartalmazza a sínszál süllyedése (Ye), a sínszál alátámasztó rugalmasan ágyazott szerkezet alatti nyomás (Pe), szerkezeti elemre átvihető erő (Fe) és valamely keresztmetszetben ébredő hajlítónyomaték (Me) függvényében.

RHEDA City D - Pontszerűen alátámasztott k=750 mm			
	C=0,44	C=0,74	C=1,03
ye [mm]	1,73	1,17	0,916
pe [N/mm ²]	0,76	0,9	0,9
Fe [kN]	102,00	117,3	127,4
Me [kNm]	12,68	11,1	10,25

6. táblázat A sínszál Zimmermann - Eisenmann méretezésének eredményei az ágyazási tényezők függvényében

A folyamatos alátámasztású sínnel a különbség abban van, hogy ott egy helyettesítő hosszaljat kell meghatározni. A sínszál merevségi hosszát egységesen 1000 mm-ben állapítom meg, a későbbiekben végig ezzel számolok. A folyamatos ágyazású sín estében három féle talpgumi rugalmassági értékeit (D) veszem alapul, melyeket az alábbi ábrák szemléltetnek. **(73,74,75. ábra)**²⁵

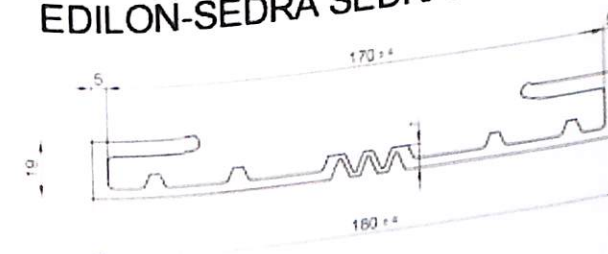
ORTEC 34 EXT 03 X



< 20 kN/mm/m

73. ábra Ortec 34 EXT 03 X talpgumi

EDILON-SEDRA SEDRAFER GU 180-24



$C_{stat} = 24 \text{ kN/m}^2$ pro m Schiene
 Einfluss der Seilabstände: Einfluss pro m Schiene
 Seilabstandsberechnung: 1 pro 100 m Seilabstand
 Faserkraft: $\pm 20\%$
 gewicht in Abhängigkeit in [kg/m] 4672
 Faserprofil: 500 x 162 mm

[illegible]

24 kN/mm/m

74. ábra Edilon-Sedra Sedrafer GU 180-24 talpgumi

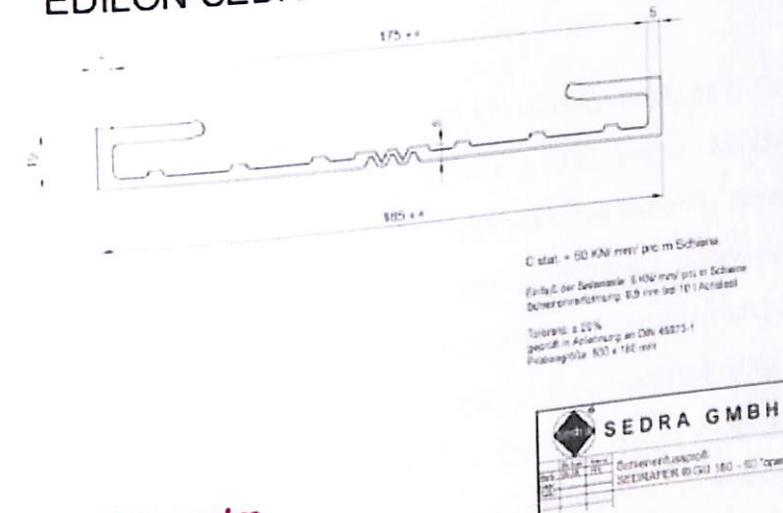
74. ábra Edilon-Sedra Sedrafer GU 180-24 100/8

25 (Dr. Kazinczy, A sinszálak ágyazásának és rögzítésének körülményei a burkolt közúti vasúti vágányoknál, 2013) Dr. Kazinczy László: A sinszálak ágyazásának és rögzítésének körülményei a burkolt közúti vasúti vágányoknál, Előadás, 2013.április 10, Szeged, IV. Városi villamos vasúti pályanap

előrhetőség:http://www.mav-thermit.hu/fileadmin/downloads/4.6/3/06_BME-Sinszalak_agyazasanak_es_rogzitesenek_korulmenyei_a_burkolt_kozuti_vasuti_vaganyoknal.pdf

70

EDILON-SEDRA SEDRAFER GU 180-60



60 kN/mm/m

7.5. ábra Edilon-Sedra Sedrafer GU 180-60 talpgumi

Az ehhez tartozó ágyazási tényezőket és a méretezési eljárás eredményeit a következő táblázatban (7. táblázat) foglaltam össze.

RHEDA City C - Folytonosan alátámasztott k=1500 mm			
	C=0,11	C=0,13	C=0,33
ye [mm]	1,75	1,5	0,8
pe [N/mm²]	0,19	0,2	0,3
Fe [kN]	5,21	5,4	6,9
Me [kNm]	20,26	19,4	15,4

7. táblázat A sínszal Zimmermann - Eisenmann méretezésének eredményei az ágyazási tényezők függvényében

Igazából egy konkrét egyértelmű következtetést nem tudunk levonni, arra vonatkozóan, hogy melyik pályaszerkezet a jobb. Mindkettőnek megvannak a maga előnyei és hátrányai, ami a számításból is látszik. Ahol kicsit nagyobbak a süllyedések, ott kisebbek az átadódó erők, valamit fordítva. A napjainkban alkalmazott sínminőségek mellett, különösen a magas szelvényű vályús sínek esetében nem ritka az 1,5 mm-nél nagyobb lehajlások, de ezek nagy biztonsággal biztosíthatóak is. Ugyanis a nagyobb rugalmasság jobb rezgéscsillapítást eredményez.²⁶ A függelékben csatoltam a meglévő és a tervezett új pályaszerkezeti kialakítást.

²⁶ Dr. Kazinczy László: A sínszalak ágyazásának és rögzítésének körülményei a burkolt közúti vasúti vágányoknál, Előadás, 2013. április 10. Szeged, IV. Városi villamos vasúti pályanap
 elérhetőség: http://www.mav-thermit.hu/fileadmin/downloads/4.6/3/06_BME-Sínszalak_agyazasanak_es_rogzitesenek_korulmenyei_a_burkolt_kozuti_vasuti_vaganyoknal.pdf

9 Összefoglalás

A Tram Train rendszer láthatóan egy jól működő közlekedési mód, mely összekapcsolja a várost és az agglomerációt, átszállásmentessé téve a közlekedést. Magyarországnak is követendő lenne ezt a fajta közlekedési módot előnyben részesítenie, ezzel megoldva az agglomerációs térség közlekedési problémáit, egy színvonalas alternatívát teremtve a gépjármű használatra. A fenntartható közlekedést támogatva lehetne bevezetni a Tram Train a napi szintű közlekedésbe. Mivel a tanulmányom egy megvalósíthatósági kérdésre épül, ezért a közlekedés tervezése során a jövőben érdemes lenne megfontolni ennek a rendszernek a kiépítését, az általam vizsgált vonalszakaszon. A tanulmányom során ismerttettem még pár alternatív nagyvasúti és városi vasúti kapcsolatot, melyek remekül beilleszthetők lennének a budapesti és az elővárosi közlekedésbe.

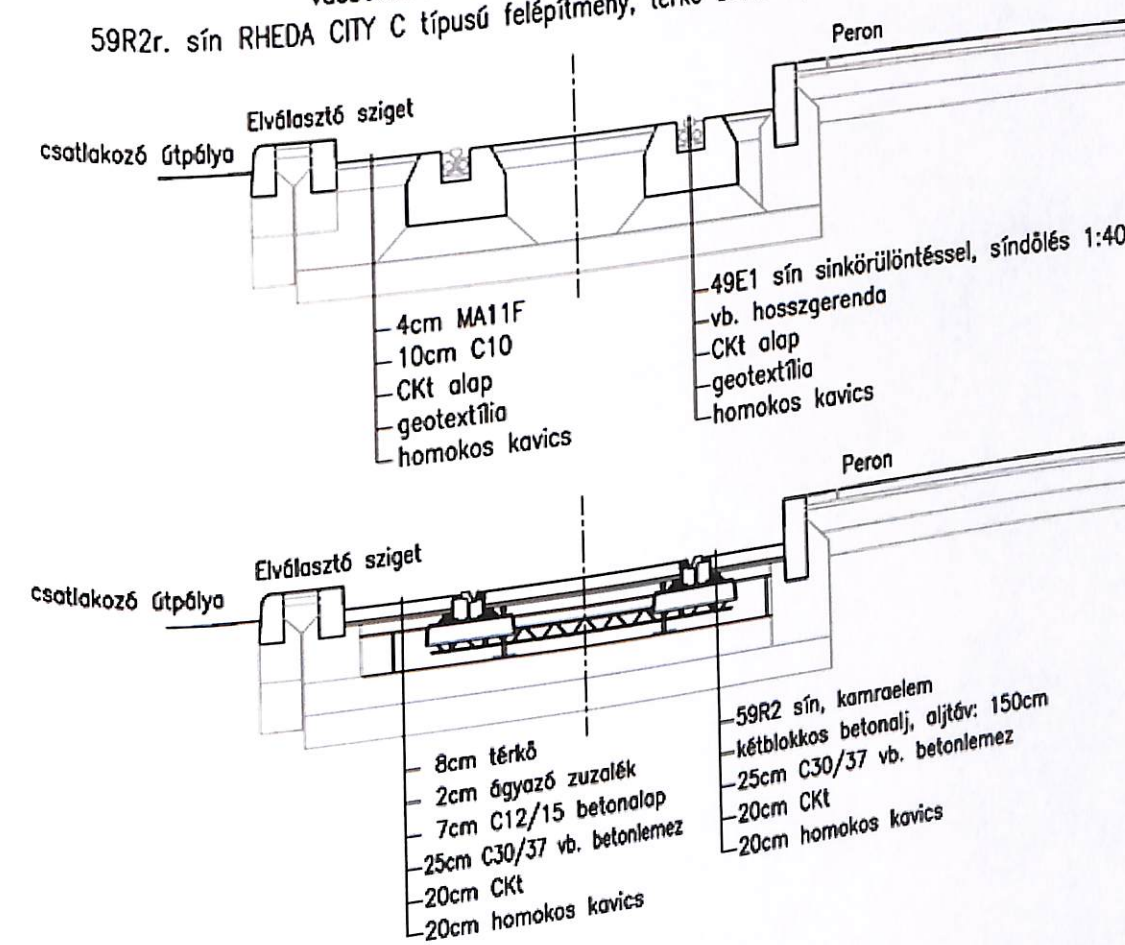
A korszerű kötöttpályás járművek egy-, másfélszer több embert tudnak elszállítani, mint az ugyanolyan korszerű autóbuszok, valamint a kötöttpályás közlekedés környezetkímélőbb megoldást nyújt, mint a gépjármű.

Összefoglalva tehát a jövő a kötöttpályás közlekedés fejlődése felé mutat, és Magyarországnak sem szabadna lemaradnia Nyugat-Európához képest.

10 Függelék

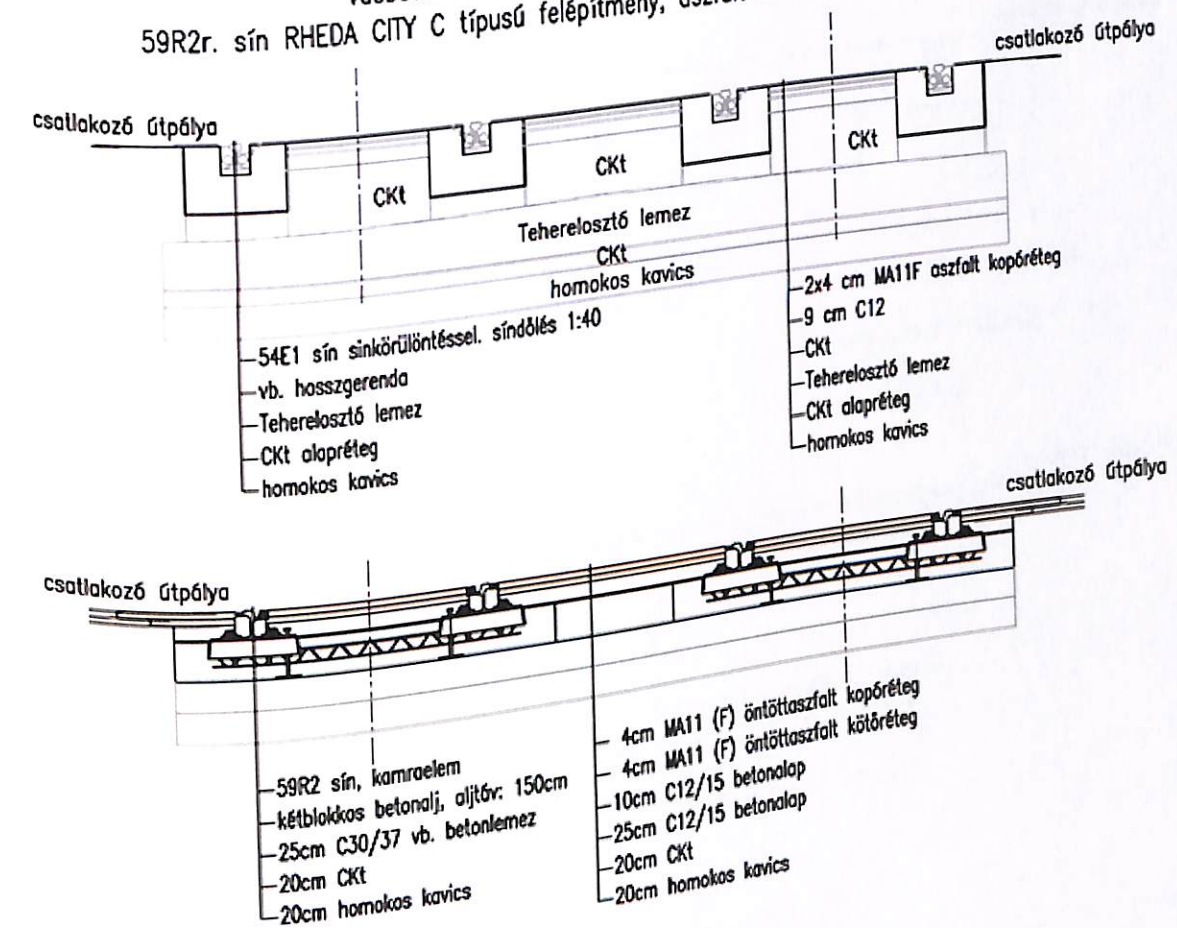
1. Ábra

Vignol sínes, sínkörülöntéses felépítmény
vasbeton hosszgerendán, aszfalt burkolat helyett;
59R2r. sín RHEDA CITY C típusú felépítmény, térkő burkolat, közúti forgalom nincs



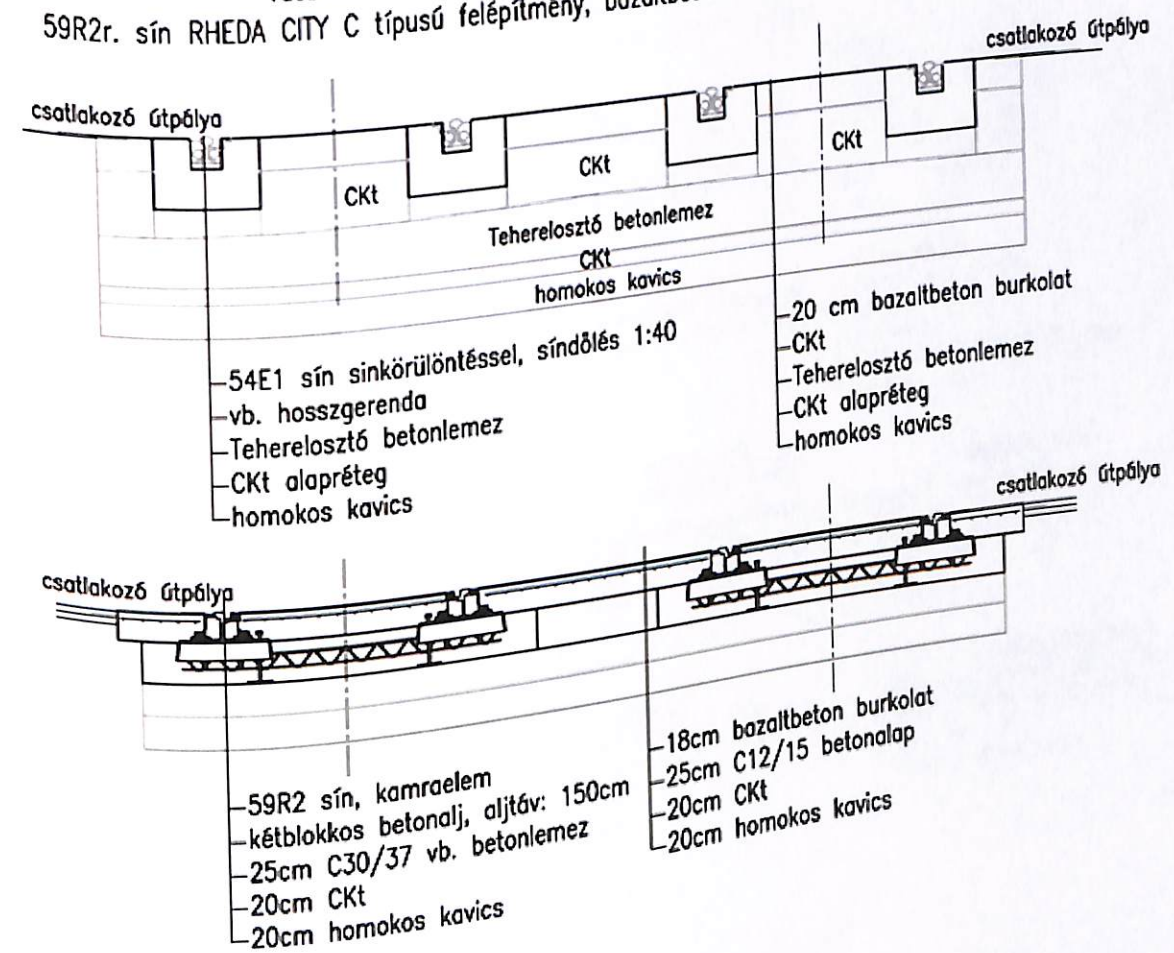
2. Ábra

Vignol sínes, sínkörülöntéses felépítmény
vasbeton hosszgerendán, aszfalt burkolat helyett;
59R2r. sín RHEDA CITY C típusú felépítmény, aszfalt burkolat, kis közúti forgalom

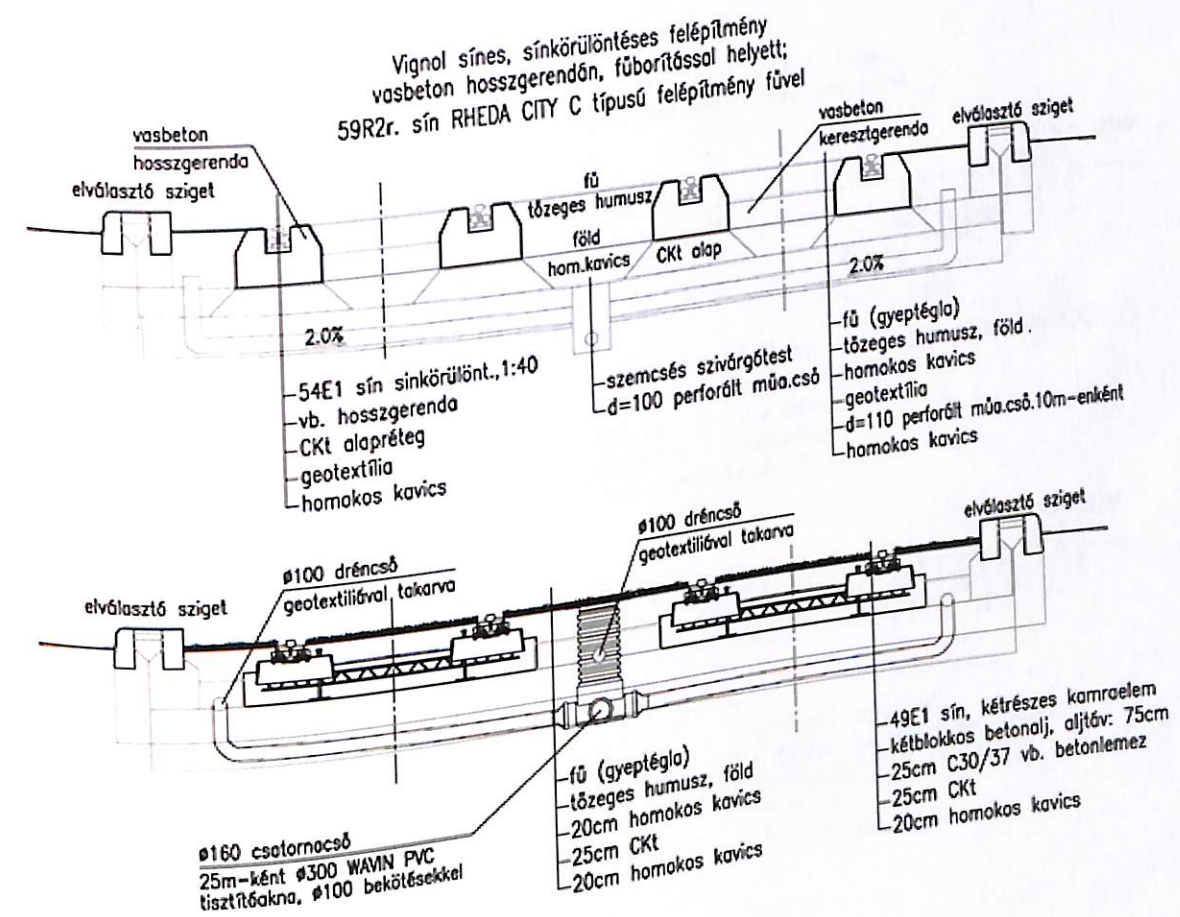


3. Ábra

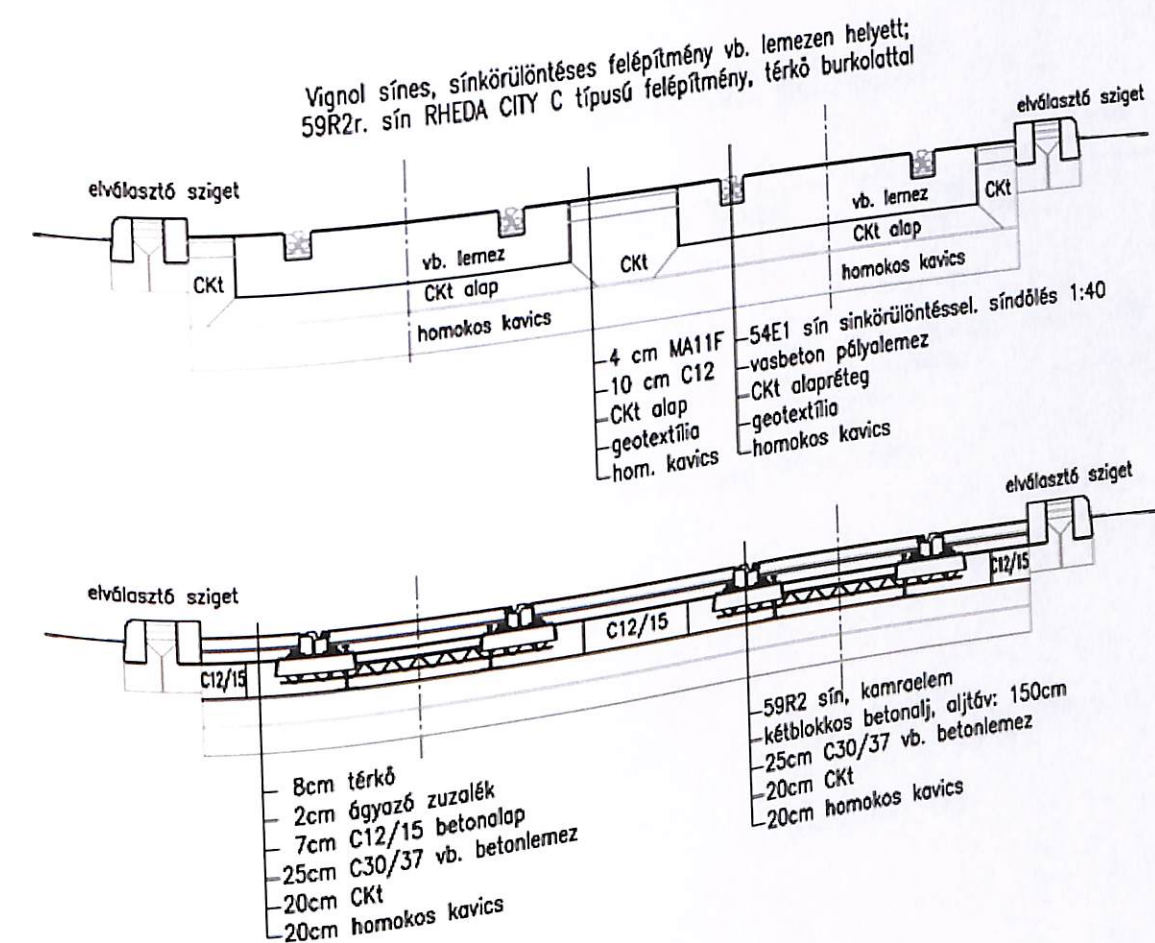
Vignol sínes, sínkörülöntéses felépítmény
vasbeton hosszgerendán, bazaltbeton burkolat helyett;
59R2r. sín RHEDA CITY C típusú felépítmény, bazaltbeton burkolat, nagy közúti forgalom



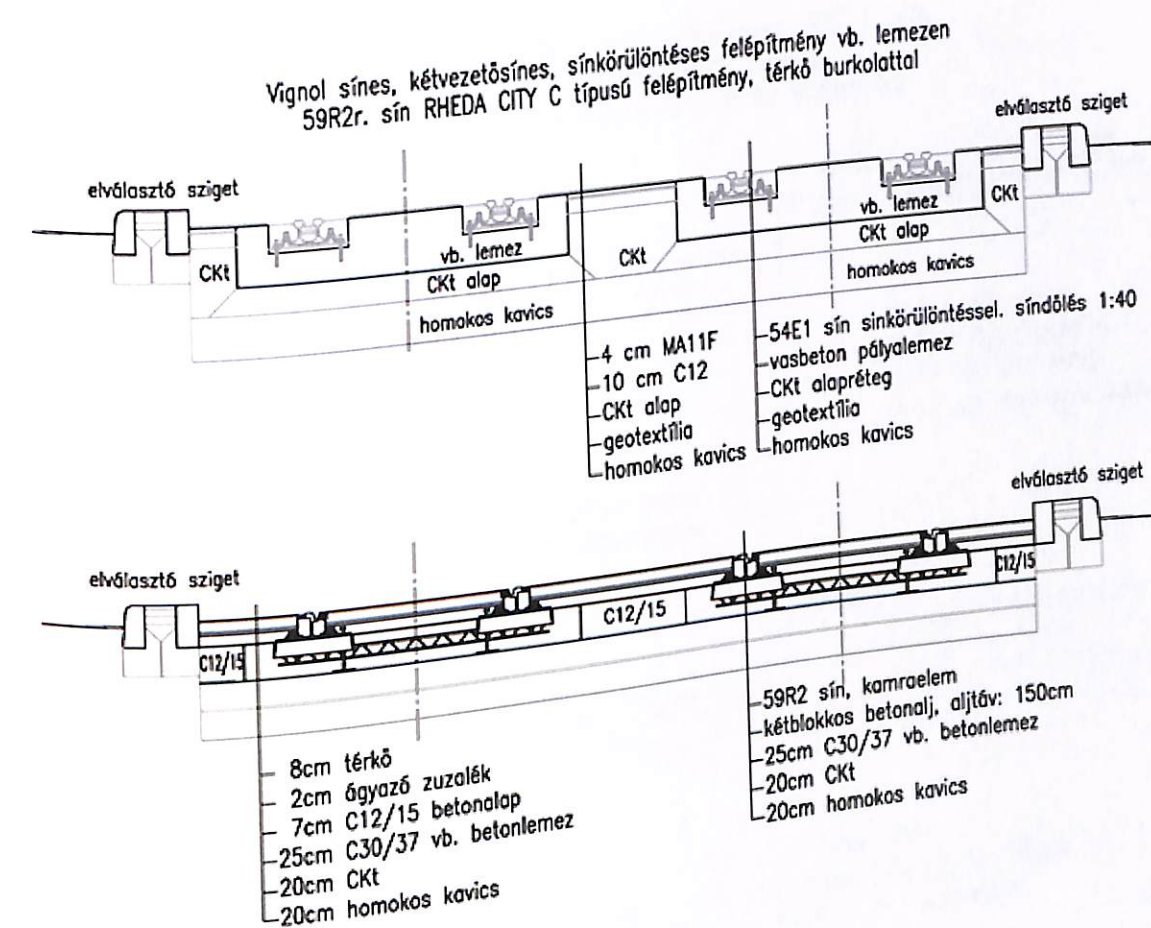
4. Ábra



5. Ábra

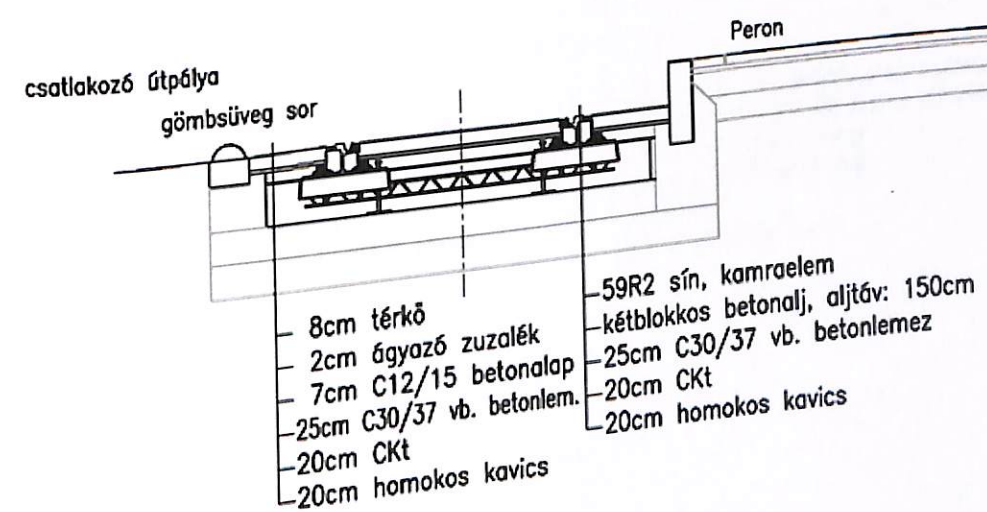
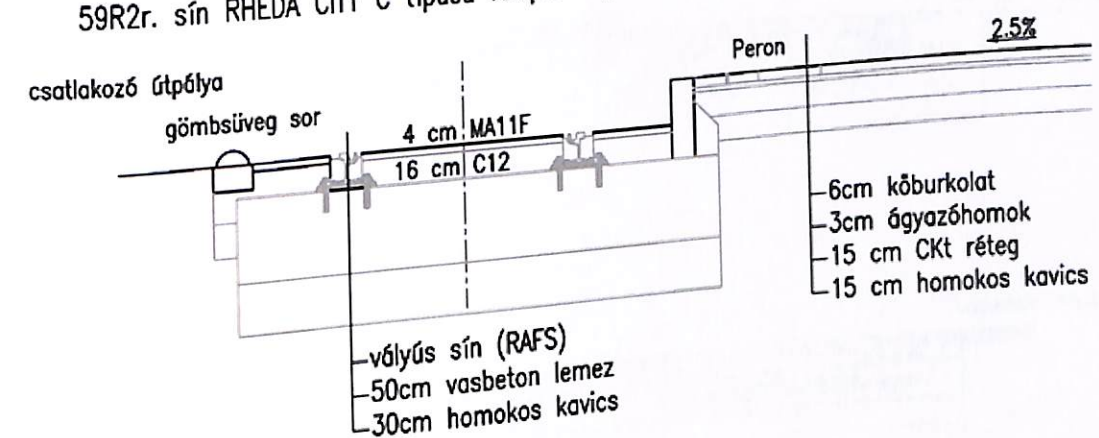


6. Ábra

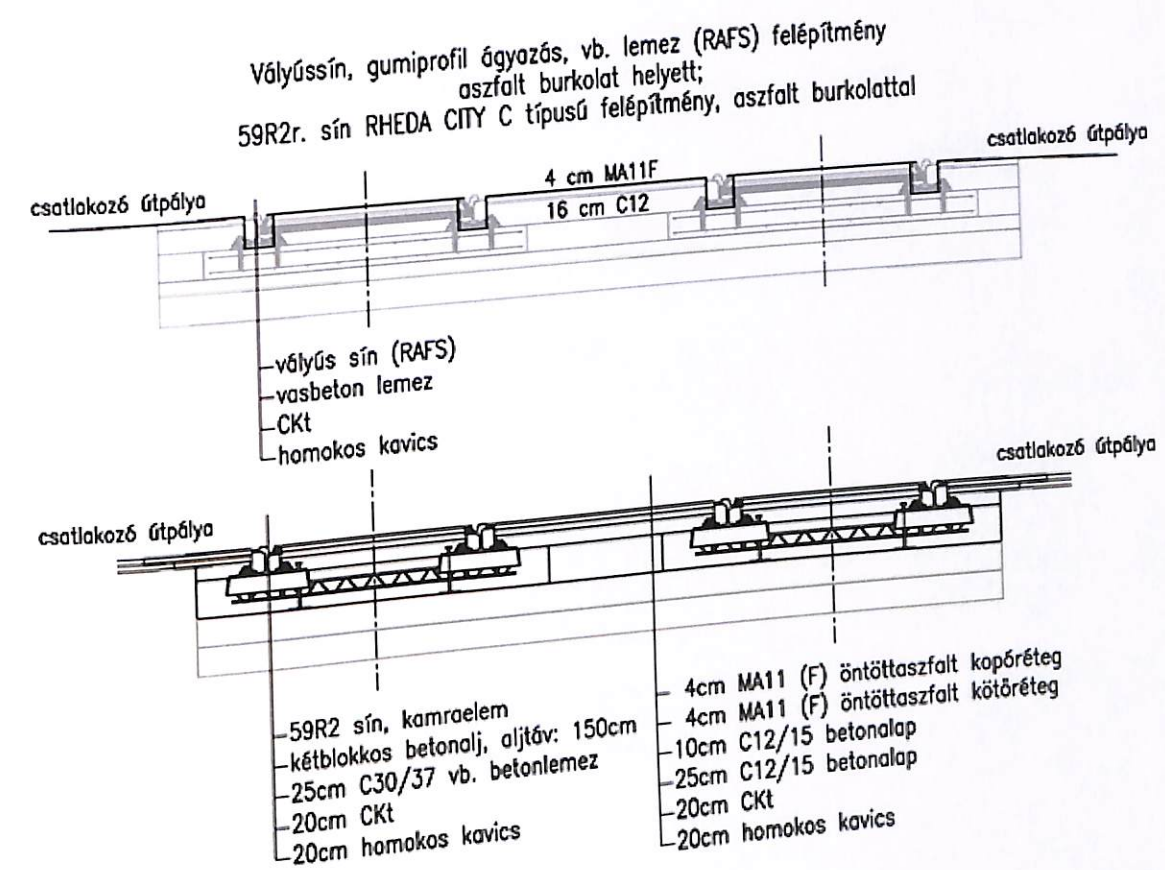


7. Ábra

Vályúsín, gumiprofil ágyazás, vasalás nélküli betonlemez (RAFS) felép.
 aszfalt burkolattal közúti forgalom nélkül helyett;
 59R2r. sín RHEDA CITY C típusú felépítmény, térkő burkolattal

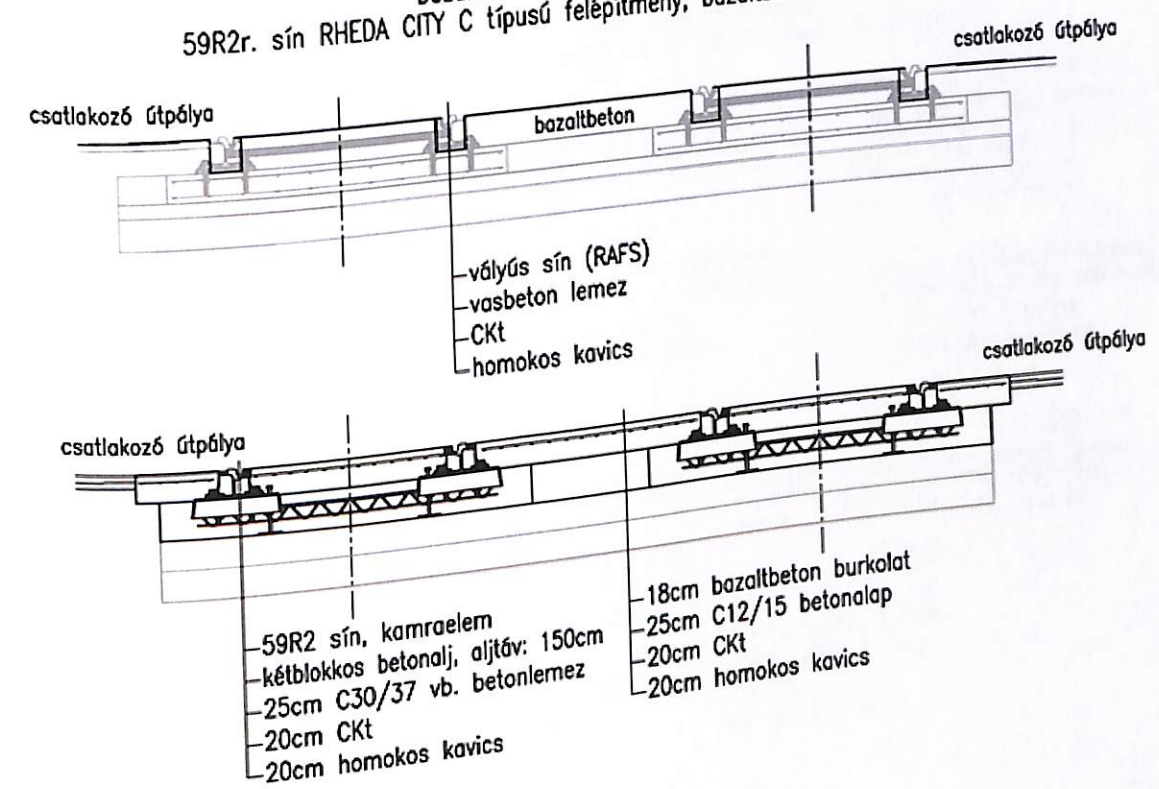


8. Ábra

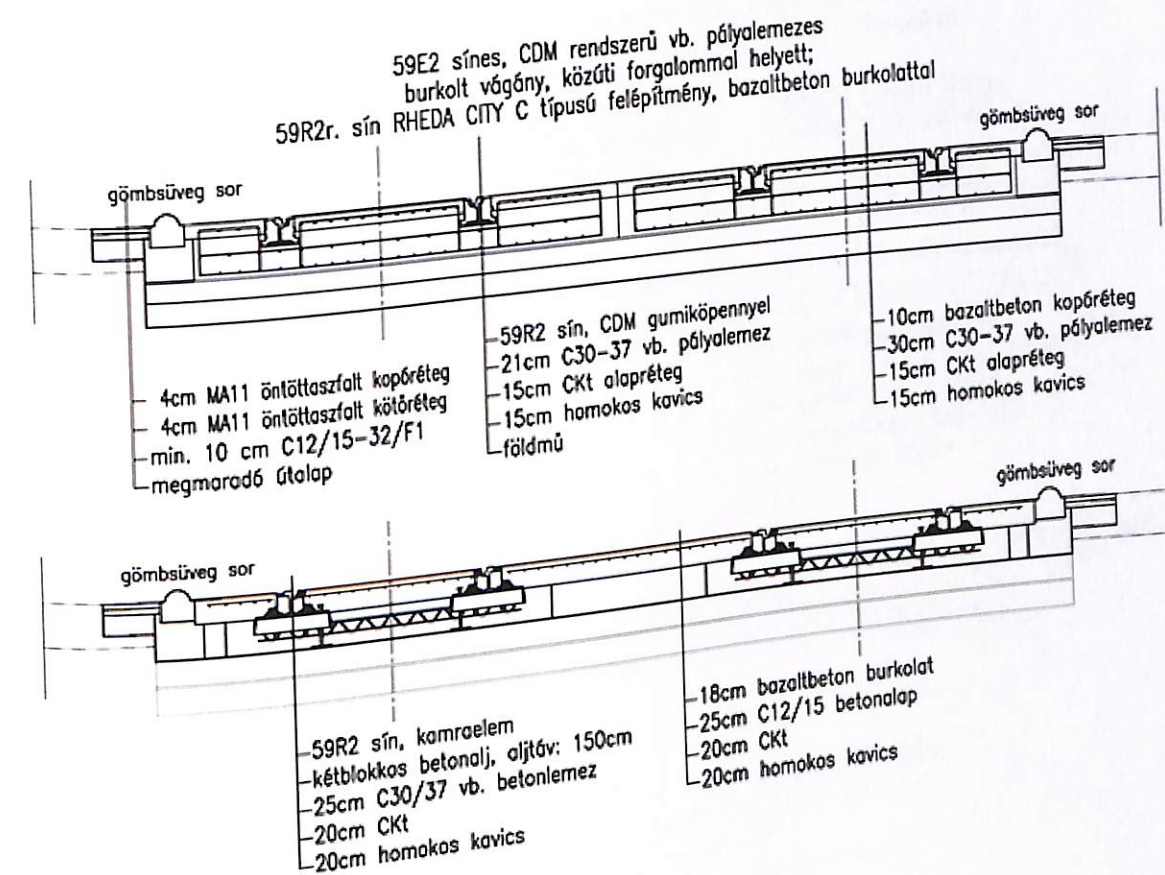


9. Ábra

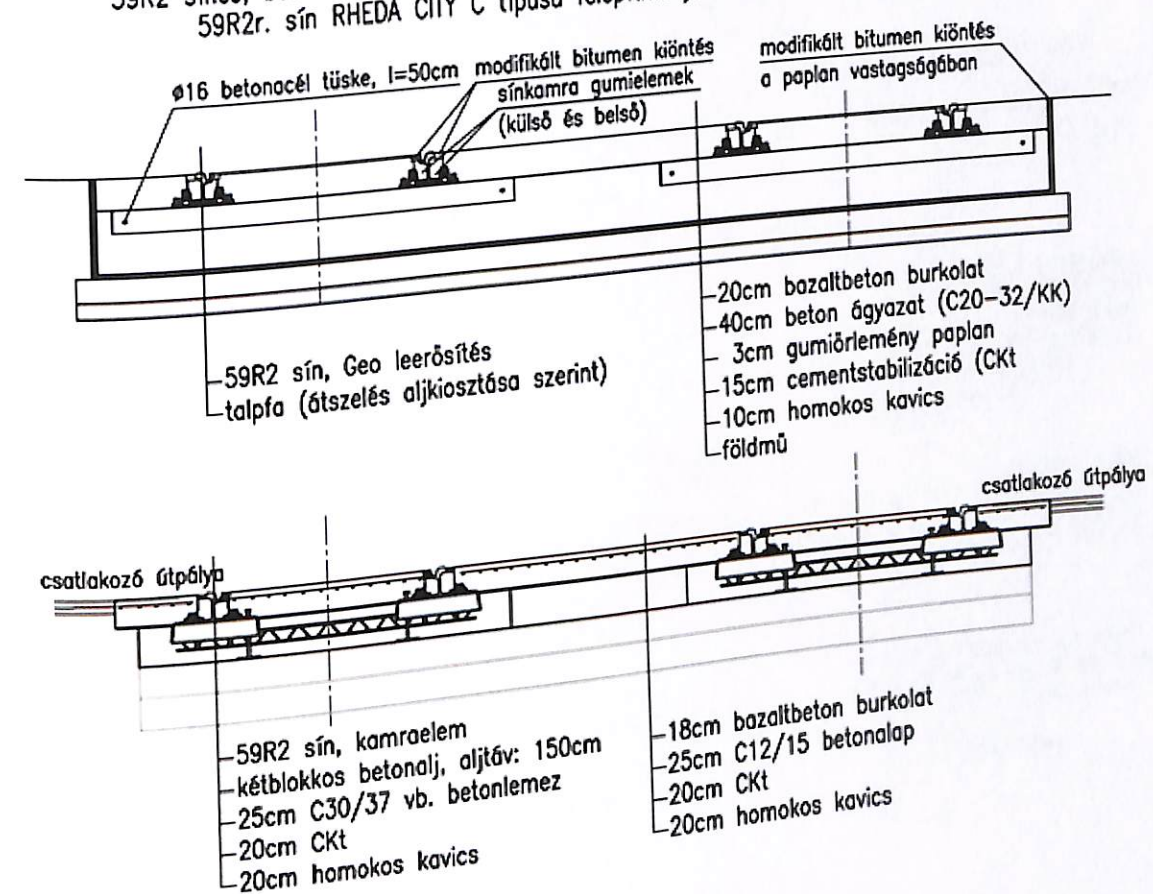
Vályússín, gumiprofil ágyazás, vb. lemez (RAFS) felépítmény
 bazaltbeton burkolat helyett;
 59R2r. sín RHEDA CITY C típusú felépítmény, bazaltbeton burkolattal



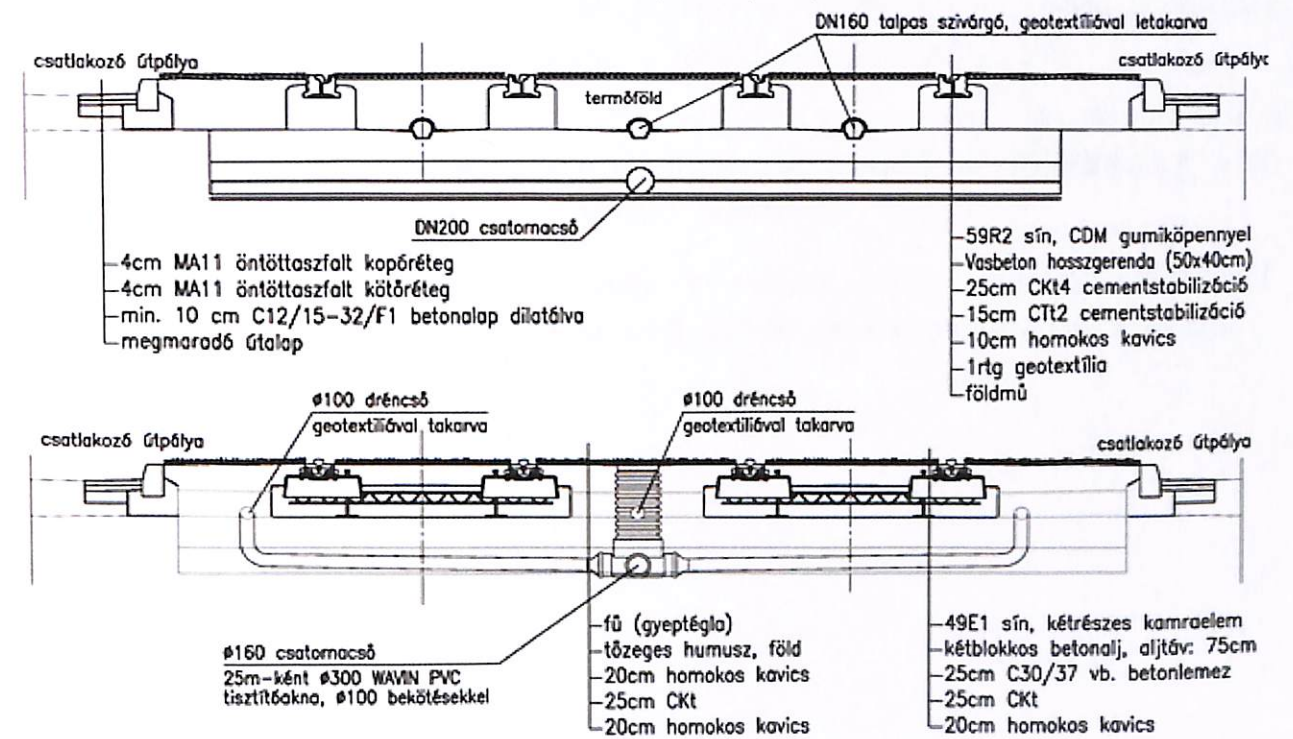
10. Ábra



59R2 sínes, bebetonozott talpfás, bazaltbeton burkolat, közúti forgalommal helyett;
59R2r. sín RHEDA CITY C típusú felépítmény, bazaltbeton burkolattal



59R2 sínes, CDM rendszerű, vb. hosszgerendás felép. fűborítással helyett;
59R2r. sín RHEDA CITY C típusú felépítmény fűvel



Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindenkinek, aki hozzájárult a szakdolgozatom elkészítéséhez.

Szeretnék külön köszönetet mondani Dr. Kazinczy László tanár úrnak, aki szakmailag nagyban segítette a szakdolgozatom elkészülését, rengeteg időt szánt rám és nagyon sok szakmai tudásanyagot köszönhetek neki.

Szeretnék még köszönetet mondani Dr. Macsinka Klárának, aki támogatta a témaválasztásom, segítette a feldolgozott anyag megfelelő felépítéssel való bemutatását, valamint a sok éves támogatást, biztatást.

Végül szeretnék köszönetet mondani a családomnak, aki szeretetükkel, biztatásukkal mindvégig támaszt nyújtottak, és megértést tanúsítottak irántam.

Köszönöm!

11 Hivatkozások

- A BKK és a BKV járművei és története. (2017). Forrás:
<http://deutschbus.5mp.eu/web.php?a=deutschbus&o=fG03Roo6SE>
- Alstom. (2017). *Citadis Dualis*. Forrás: Alstom: <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/rail-systems/trains/products/citadis-dualis/>
- Alstom. (2017). *Citadis Dualis*. Forrás: Alstom: <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/rail-systems/trains/products/citadis-dualis/>
- BKK. (2016). *1-es villamos menetrend*. Forrás: BKK:
<http://www.bkk.hu/apps/menetrend/pdf/3010/20161203/29.pdf>
- BKK. (2017). *Budapest kötöttpályás közlekedési rendszere*. Forrás:
<http://www.bkk.hu/apps/docs/terkep/bpmetro.pdf>
- cafurbo 3. (2017). Forrás: Wikipedia: https://hu.wikipedia.org/wiki/CAF_Urbos_3
- Combino amiben egy BMW lelke szunnyad. (2017. január 8). Forrás:
http://hamster.blog.hu/2013/11/05/a_combino_amiben_egy_bmw_lelke_szunnyad
- Dr. Kazinczy, L. (2001. 4. évfolyam 13.szám). Az európai nagyvárosok regionális közlekedésének fejlődési irányai. *Műszaki szemle*, 12.
- Dr. Kazinczy, L. (2013. április 10). A sínszalak ágyazásának és rögzítésének körülményei a burkolt közúti vasúti vágányoknál. Forrás: mav-thermit: http://www.mav-thermit.hu/fileadmin/downloads/4.6/3/06_BME-Sinszalak_agyazasanak_es_rogzitesenek_korulmenyei_a_burkolt_kozuti_vasuti_vaganyoknal.pdf
- Dr. Kazinczy, L. (2015). *A korszerű közúti vasúti pályaépítés elméleti és gyakorlati tézisei*. Forrás: Docplayer: <http://docplayer.hu/6018050-A-korszeru-kozuti-vasuti-palyaepites-elméleti-es-gyakorlati-tezisei.html>
- Endurance. (2017). Forrás: epomm:
<http://www.epomm.eu/endurance/index.php?id=2809&country=hu>
- Koch, M. (2000). *Unter strom: Gesichte des öffentlichen Nahverkehrs in Karlsruhe*. Badenia Verlag.
- Közlekedéstörténet: A vasút. (2009). Forrás: Széchenyi István Egytem:
<http://www.sze.hu/~htms/blog/dipl/a01.pdf>
- Közlekedéstörténet: A vasút. (dátum nélk.). Forrás: : <http://www.sze.hu/~htms/blog/dipl/a01.pdf>
- MKV, Z. (2017). *Utastájékoztató, projektinformáció*. Forrás: MKV Zrt.:
<http://www.mvkzrt.hu/utastajekoztatas-projektinformacio>
- Országos vasúti szabályzat II. kötet. (2017). Forrás: Net-jogtár:
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99800018.KHV
- RailOne. (2017). *Rheda City Ballastless track system*. Forrás: railone:
http://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/Rheda_City_EN2011_ebook.pdf

- Tamás, S. (2017). *Közlekedési technika című előadás*. Forrás:
http://www.kukg.bme.hu/kukg/oktatas/bsc/tantargy/BMEKOKUA901/Kozl_technika_varosi_kozl.pdf
- Tamás, S. (2017). *Közlekedéstechnika Városi közlekedés*. Forrás:
http://www.kukg.bme.hu/kukg/oktatas/bsc/tantargy/BMEKOKUA901/Kozl_technika_varosi_kozl.pdf
- Tatra. (2017). Forrás: Villamosok: <http://villamosok.hu/nza/tatra/>
- Tram Train: The 2nd generation. (2017). Forrás: <http://www.lightrail.nl/TramTrain/tramtrain.htm>
- Tramtrain nyitó Chemnitzben. (2017. 1 8). Forrás:
<http://www.regionalbahn.hu/2016/10/Chemnitz-Bahn.html>
- Városkutatás, K. (2017). *Hatékony közlekedés-menedzsment -budapesten*. Forrás: urbanisztika:
<http://www.urbanisztika.bme.hu/segedlet/Infra/Bp-dugodij-tan-l%5B1%5D.pdf>
- Vasúti közlekedési módok. (dátum nélk.). Forrás: Wikipedia:
elérhető:https://hu.wikipedia.org/wiki/Vas%C3%BAti_k%C3%B6zleked%C3%A9si_m%C3%B3dok
- Vasúti közlekedési módok. (2017). Forrás: Wikipedia:
https://hu.wikipedia.org/wiki/Vas%C3%BAti_k%C3%B6zleked%C3%A9si_m%C3%B3dok
- Wikipedia. (2017). Forrás: Budapest-Kunszentmiklós-Tass-Kelebia vasútvonal:
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Budapest-kunszentmiklós-tass-kelebia-vasútvonal>
- Wirthwein. (2014). *Bahn Kompetenzen und Produkte*. Forrás: wirthwein:
http://www.wirthwein.de/fileadmin/media/pdfs/Bahnprospekte/Bahnmagazin_de_2014.pdf