

# A közúti villamos- és nagyvasúti rendszer összefonódása

## A karlsruhei példa

A közúti villamost és a vasút rendszereket különböző előírások és műszaki szabályok alapján irányítják. Manapság Németországban léteznek villamosok, amelyek a nagyvasút hálózatán is működnek – ugyanott ahol a személyszállító és tehervonatok is közlekednek. A működési sajátosságokon kívül figyelembe kell vennünk olyan eltéréseket, mint a különböző típusú járművek, konstrukciója, vezetési módja illetve az infrastruktúra eltérései, pl. a különböző úrszelvények.

Általánosságban a villamosok helybéli szállítási funkciót töltenek be és utakba lefektetett vágányokon haladnak. Mint a városi, közúti közlekedés szereplője, a KRESZ rendelkezései alá tartoznak. Az elkülönített vágányokon haladó villamosok Németországban a biztonságosan belátható útszakaszokon maximum 70 km/h megengedett sebességgel haladhatnak. Az országban a villamos hálózat építéséért és üzemeltetéséért előírás szerint a „BOStrab” („Betriebsordnung für Strassenbahnen”) felelős, amely a metrók és a könnyű vasutak rendszerét is felügyeli, szabályozza.

A nagyvasutak a „nehéz vasút” értelmében rövid és hosszú távokat teljesítenek, nemzeti és nemzetközi forgalomban közlekedve. Németországban az ilyen vasutakat – melyeket közhasználatra szántak – az építése és az üzemeltetése előírás szerint az „EBO” („Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung”) irányítása alá tartozik. Kivételes esetektől eltekintve a vonatszerelvények nem hagyják el kijelölt vágányaikat és a vonatok közötti betartandó követési távolság egy blokkrendszer alapján van meghatározva.

Nagy jelentős műszaki, konstrukciós különbség van a villamos és a vasút között. Beleértve a tengelyek, a kerék, a sín profilok, a vágányok műszaki jellegzetességeit, különbségeit, valamint a járművek eltérő kialakítását, és az alkalmazandó különböző szerkesztési szelvényeket. A biztonságos üzemeltetés szabályai is különbözőek. Amikor megkísérlik a villamosok (vagy könnyű vasúti járművek) vasútra telepítését, elengedhetetlen, hogy azokat összehangolják, meg tudjanak birkózni a rendszerbeli különbségekkel.

## I. Fontosabb műszaki eltérések

### I.1. Vasúti útmutatás

A vasúti járművek kerekeinek érintkezési felületei továbbítanak minden függőleges terhelést a vonó- és fékerővel együtt a jármű futófelületére. A kerék pereme a nyomkarima vezet a tengelyeket és biztosítja a kisiklás elkerülését. Még ha a villamosok és vasúti kocsik nyomtávja megegyezik is, a műszaki vezérlésük eltérő – és különbözőnek

is kell lenniük figyelembe véve a két közlekedési rendszer eltérő, kezdetektől meglévő sajátosságait. A vasúti vágányok nagy ívsugarúak, mely lehetővé teszi a járművek gyors haladását. Az „EBO” rendelete megállapítja, hogy az alkalmazható legkisebb ívsugar 180 méter a mellékvágányokon és 300 méter a fővonalakon.

Ezzel ellentétben a villamosoknak meg kell küzdeniük a 25 méter sugarú íveken áthaladás nehézségeivel is.

A két legközkedveltebb sínprofil, amit a nagyvasúton alkalmaznak – S 54 és UIC 60 –, amely Németországban rögzített 1:40-es dőlésszöggel kivitelezett. A vonat kerekeinek formája ebbe tökéletesen illeszkedik a kúp alakú futófelülettel és a nyomkarima a sínnel kúpos vezetésben találkozik. A kúp alakú futófelület előnye, hogy a tengelyek önközpontosítása biztosított és elegendő játékot enged a vasúti járműnek – más szavakkal: a tengely szinuszos hullámban forog és az érintkezési felület mind a kerekeken, mind a járművön egyenletesen kopik.

Egy görbe tárgyalásán azt értjük, mikor a centrifugális erő a külső kerékkel nyomást gyakorol a külső sínre ennek peremével, tehát ez a kerék nagyobb sugáron forog, mint a kerék a görbe belső oldalán is. Az ideális helyzet a tengely számára, ha beállítjuk az optimális ívet, ezzel kikerülve a kerekek megcsúszását.

A vasúti kerekek széles futófelületei különösen fontosak a megfelelő haladás és futásjószág eléréséhez. Minden függőleges terhelést át kellene helyezni a könyöksínre, amikor a kerekek áthaladnak a váltón, így nem éri károsodás a váltó végpontjait. A könyöksínnek csak irányító funkciója van és ennél fogva, csak centiméterrel van alacsonyabban a többi pályaelemnél.

A villamosoknak le kell küzdeniük a mindössze 25 méter sugarú ívet is. Egy másik döntő jellemző, hogy az általánosan közúti forgalomban is részt vesznek, gyakran az úton keresztül. Annak érdekében, hogy ne tegyék kényelmetlenné – sőt veszélyessé – a közúti forgalom más szereplői számára a közlekedést, a villamos síneknek (Ri 59-es és Ri 60-as profil) csak egy keskeny barázdájuk van. A közúti villamos sín, ún. vályús-sín, amely a városi közlekedésben terjedt el, burkolt utakon használt sínszelvény. Nevét a beépített nyomvályúról kapta. Legismertebb változata az ún. Phoenix-sín. A villamos kerekei keskenyebb karimával rendelkeznek, hogy biztonságosan tudjanak haladni ezeken a síneken, és a távolság a két kerék között jóval nagyobb, mint a nagyvasúti vonatok esetében. Továbbá kisebb a játék a nyomtávban a villamos tengelyei esetében. Amikor egy villamos bevesz egy kanyart, jelentős sugárirányú erő ébred, ami nagyobb kopással jár attól a ponttól kezdődően, hogy a karima éles szélé érintkezik a sínnel.

### Más különbségek

A villamosok kerék futófelülete kisebb, mint a vasúti járművéké, így az érintkezési felületük nem lépi túl a sínekét és nem károsítja a szomszédos útburkolatot. A függőleges terhelés nem a könyöksínen nyelődik el, hanem a talpazaton. Ebben a zónában különösen lapos barázdákra van szükség, és a nyomtávnak lapos szegélyű karimával kell rendelkeznie. Már hosszú ideje, hogy a villamos társaságok azt a célkitűzést követik, hogy elhagyják a lapos hornyot, mert tekintélyesen korlátozzák a karima alakját és magasságát. Viszont ahhoz, hogy ez működjön, a kerekeknek szélesebb futófelületet kell kialakítani.

Számos villamos társaság megy keresztül az általános eljárás visszavonásán, mint a nem elkülönített forgalom és a könnyűvasút vagy kis metrók fejlesztésébe fektetnek, melyek vágányai általánosan elismertek. A ma használt tengelyek és sínek méretei egyre inkább követik az „EBO” rendelkezéseit a technológiai útmutató tekintetében.

### I.2. A villamos úrszelvények és peronok

A németországi „BOStrab” szabályzatában 2,65 méterben határozta meg a könnyűvasúti járművek maximális szélességét a közúti forgalomban. Másfelől a „műszaki egyesület” („Technischen Einheit”, TE) szabályai a vasúti kocsik szélességének maximumát 3,15 méterben engedélyezték egyenes sínpályán álló helyzetben. Olyan személyszállító kocsiknál, ahol a forgócsapok között 19 méter távolság van általában a járműszélesség 2,825 méter. Bármelyik vasúti kocsit, mely ennél nagyobb, ennek megfelelően nagyobb nyomtávval is kell rendelkeznie. Egy standard villamos úrszelvény lett meghatározva arra a területre vonatkozóan, ahol az „EBO” előírásai alkalmazhatók. Semmilyen probléma nem merül fel, mikor villamosokat vagy LRV-eket telepítenek. Bár előfordulnak nehézségek a peronok széle mentén, a cél gondoskodni a gyors utas cseréről, gördülékeny fel- és leszállásáról a szűkebb vasúti kocsik esetében.

### I.3. Energiaellátás

Általában egyenárammal táplálják a villamosokat 600 V és 750 V közötti feszültségen, ami lehetővé teszi a járművön a beépített elektromos berendezések egyszerű működtetését. A viszonylag alacsony feszültség előfeltétele is annak, hogy biztonságosan tudják működtetni az elektromos berendezéseket a városközpontban. Az áramellátás úgy is megoldható, hogy becsatlakozik a közös háromfázisú áramhálózatba néhány helyen, és egyenirányítókon keresztül alakít át.

A Deutsche Bahn felsővezeték alatti hálózata 15 kV 16,7 Hz-es rendszerben villamosított. A magas felsővezeték feszültség korlátozza az erőátviteli veszteségeket és lehetővé teszi, hogy nagy távolságok legyenek a betápláló állomások között. Ennek az a hátránya, hogy a járműfedélzeti berendezések bonyolultabbak, mivel a mozdony-

nak vagy motorkocsinak egy viszonylag nehéz átalakító rendszert kell szállítania.

### I.4. Jelzők és vonatvédelem

A hagyományos villamosok pályái, többségében az úttest mentén futnak, és így szerves részét képezik a közútnak. Habár a villamosok irányítására különleges elektromos jelzés és fényrendszert használnak, azok nem alkotnak olyan védelemi rendszert, mint a vasút világában megszokott. A villamos betáplálási pontok gyakran nélkülözik a zárszerkezetet, ami 15 km/h maximális sebességet engedélyez azoknak a járműnek, amelyek megközelítik a pontokat. Nincsenek előírások arra vonatkozólag, hogy pontosan mekkora távolsággal követhetik egymást a járművek. A villamosvezetők aszerint vezetnek, amit maguk előtt látnak az úton – pontosan úgy, ahogyan azt a gépjárművek vezetői teszik.

A pálya földalatti részén vagy elkülönített metró-szerű pályákon számos, és sokféle védelmi vonatbefolyásoló rendszert használnak. Ezek alapvetően ugyanazokat a funkciókat látják el, mint a nagyvasutakon (a minimális követés fenntartását. A követelményeknek, melyeknek a védelmi rendszereknek meg kell felelniük, ennek ellenére nem összehasonlíthatóak, mivel a villamos szerelvények és a vasúti szerkezetek teljesen más dinamikus futási tulajdonságokkal rendelkeznek (pl. legnagyobb sebesség és a lassítás görbék). Ugyanez a helyzet az automatikus rendszerekkel kapcsolatosan, amelyek akkor avatkoznak be, amikor a vezetők elmulasztanak reagálni a „veszély” vagy „lassíts” jelzésekre.

A vasút Németországban 1934 óta fokozatosan bevezetett egy országosan egységes típusú, automatikus vonatbefolyásoló rendszert, amely az indukciós technikát használja „Indusi” néven, valamint modernebb továbbfejlesztés keretében a szakaszos adatátvitelt, amit „PZB”-ként ismerhetünk. Ez a technológia 160 km/h maximális engedélyez a vonatoknak. Ezzel összehasonlítva a német nagyvárosokban működő metró és a könnyű vasúti rendszerek rendkívül eltérő védelmi módszereket használnak, amelyek a helyi követelményeknek megfelelően lettek kifejlesztve. Ezek a rendszerek nem kompatibilisek más rendszerekkel, valamint nem kompatibilisek a vasút Indusi rendszerével sem. Ezek közül sok tartalmazza a vonatvezérlés mágneses megszakítóját, de nem figyel a vezető éberségét, és nélkülöz mindenféle járműfedélzeti ellenőrzést a fékezési görbe tekintetében.

### I.5. Járműszerkezetek

Mindkét német szabályozás az „EBO” és a „BOStrab” legfeljebb csak általános leírást tartalmaz azokról a szerkezeti követelményekről, amelyeket a járműveknek teljesíteni kell. Mindössze azt fektetik le, úgy kell kialakítani a járműveket, hogy azok megfeleljenek a biztonsági követelményeknek. Egyáltalán nem tartalmaznak pontosan

meghatározott intézkedéseket a jármű karosszéria szerkezeti erősségér. Csupán utalásokat tesznek arról, hogy azok „eleget tegyenek a korszerűségnek”.

A szabályszerű vasúti járműveket – az európai szabvány szerint – úgy kell méretezni, hogy ellenálljanak 2000 kN hosszanti nyomóerőnek (ütközőnél mért átlós terhelés). Ezt követően el tudják viselni a vasútüzem kemény igénybevételét, mint pl., a kocsirendezés, a szalasztás és a tolatódombokról való gurítást a rendező pályaudvarokon. Lehetséges, hogy csökkentjük ezt a szilárdsági értéket 1500 kN-ra, de csak olyan járműveknél, amelyek jellemükénél fogva nem találkozhatnak a mozdony által vontatott nehéz vonatokkal (ilyen például a helyi személyszállítási szolgáltatásokban és mellékvonalakon közlekedő motorvonatok).

A közúti villamos járműveket ezzel szemben általában csak 600 kN hosszanti nyomóerőnek megfelelően kell méretezni. A villamosokat mindemellett, úgy tervezik, hogy alkalmazzák a motoros járművek építésénél szokásos alapelveket, azt, hogy a szerkezet képes legyen deformálódni, s elemei elnyeljék az energiát a mozgásuk során. Továbbá ehhez kapcsolatosan a „BOStrab” rendelet 2,73 m/s<sup>2</sup>-ban határozza meg a maximális fékezési lassulást a járművek számára, hasonlóan az általános közúti forgalomban elfogadottal. A villamos járművek közlekedésénél, a nagyban különböző szerkesztési elvek alapján készített járműtípusok szükségessé teszik a körültekintést, hogy milyen hatásai lehetnek esetleges ütközéseknek és hogyan lehet ezeket elkerülni.

## 2. Esettanulmányok

Az első villamos és vasúti pálya közötti kapcsolat egészen a régmúltig, az 1900-as évekig nyúlik vissza, amikor a magánvállalkozók engedélyt kaptak vasúti szolgáltatások üzemeltetésére a nagyvárosok külterületein. Annak érdekében, hogy lehetővé tegyék az utasok átszállás nélkül közlekedhessenek a város és a peremkerületek között, bizonyos vasútvonalakat az út mentén fektették le, és ahol a nyomtáv megmeggyezett, azok közül némelyiket még villamos vonalként is használhattak.

Napjainkban, Németországban menetrend szerinti szolgáltatása van a villamosoknak vagy a keskeny nyomtávú városi vasúti járműveknek (LRV-k; „Stadtbahnen”), illetve a normál nyomtávú vasútnak is, amelyek nem tartoznak a Németországhoz (más szóval, azon vonalak infrastruktúrája, amelyek kezelését nem DB Netz végzi) és a városokban elővárosokban közlekednek, mint Köln, Bonn, Karlsruhe és Kassel. A villamosszerű járművek használata során mindhárom esetben a belvárosi villamosoknál bevált feszültség 750 V DC van, és így az általuk használt nagyvasúti vonalakon is felszerelhető ugyanerre a feszültségre kapcsolt felsővezeték rendszer. Bármilyen tehervonat, amely ezeket a pályákat használja az dízelmozdonyral vontatott. A Baden-Baden–Karlsruhe–Heilbronn és Saar-

brücken régióban és a körül az LRV-k szintén a Deutsche Bahn vonalakat használják.

### 2.1. Cologne–Bonn „Stadtbahn”

1978-ban és 1985-öt illetően, két vonalat („Rheinuferbahn” és „Vorgebirgsbahn”) működtetett a KBE (Kölner Bonner Eisenbahnen) nevű cég, melyek a két város között bekerültek a vasúti alapú közösségi közlekedési hálózatba, 16-os és 18-as számozással. Azóta már mindkét vonal amelyen LRV-k dolgoztak az a KVB-hez vagy a SWB-hez (Stadtwerke Bonn) tartozik. Ezen vonalak egyes szakaszait tehervonatok is használják. Ezeket a vonalakat „nehéz vasút”-ként osztályozták 100 km/h maximum megengedett sebességgel. Mindkét pálya modern vonatbiztosító berendezésekkel és kombinált elektromos és elektronikus rendszerekkel van felszerelve. Automatikus vonatvezérlő formájában történik az ébrenlét ellenőrzés, a járművek felszereltek mágneses sínfékkel, olyanokkal amelyeket a modern villamosokon is használnak. A pályákon azon szakaszai, ahol a tehervonatoknak is ütemes közlekedésük van, Indusi vonatvédelmi rendszerrel vannak felszerelve.

#### 2.1.1. Peronokra vonatkozó méretek

Az előbb említett LRV-k járműkarosszéria szélessége 2,65 m, a padlómagasságuk pedig körülbelül 1000 mm a sínkorona szinttől számítva. Mi több azon szakaszokon, ahol csak ezek a LRV-k az egyetlen közlekedő járművek, a peron magassága 900 mm, így biztosítva a lépcsőmentes be és kiszállást. Tekintve, hogy a pálya középvonalától, csak mintegy 1,40 m-re van a peron széle, nincs elegendő hely a nagyvasúti járműveknek ahhoz, hogy át tudjanak haladni ezeken a peronokon. Azokon a vágányokon, ahol LRV-k és tehervonatok is üzemelnek, a peron magassága csak 33 cm, és a szegélyük 1,45 m távolságra van a pálya középvonalától. Hasonló peronokat találunk Köln belvárosi részein, ahol ezt, az alacsonypadlójú villamosok teszik szükségessé. Megbirkózva ezzel a helyzettel, az LRV-k egésze állítható, kimozduló lépcsővel rendelkeznek, s egy, kettő vagy három lépcsős hozzáférhetőséget biztosít.

Annak ellenére, hogy a 33 cm magas peronszegély 12 cm-re kinyúlik a vasúti ürszelvényig, az összes vasúti jármű elfér e peronok mellett. Ehhez azonban egy speciális meghatalmazás szükséges a felügyeleti hatóságtól. Ezen kívül a vágány célmagasságát a peronszegély mentén, nagy pontossággal kell eljárni, ami további karbantartási költségeket von maga után.

#### 2.1.2. Kerék szelvény

A kerék/sín geometria összhangban van a B készlet dimenzióival, amiket a BoStrab fektetett le a szelvényméretekre vonatkozóan. Az ilyen kereknek nem okoz nehézséget, hogy vályúsíneken fussanak Ri 59-es és Ri 60-as profillal a városközpontokban. A vasúti kerek tengelytávolságára (körülbelül 1360 mm) és a villamos kerekénél (megkö-



1. ábra Villamosok Karlsruhe belvárosában

zelistőleg 1380 mm) levő különbségekre tekintettel, egyik járműnél sem lehetséges, hogy a szakasos sínkereszté- sen könyöksín vezesse. Emiatt, a szakasz minden váltó- ját melyen LRV és teherszállítás párhuzamosan üzemel, mozgó terelő lett beépítve. Tehát így nincsenek hézagok, és a kereknek nincs szükségük terelő sínre. A mozgó terelővel ellátott váltókon további két előny tapasztalható: jobb utazási élmény és csökkent futási zaj. Ezeknek a váltóknak a hátránya másrészt a kivitelezés és üzemeltetés bonyolultságban rejlik, mindegyik váltónál egy mozgó mechanizmusra van szüksége a csúcssín párnak, és egyre a terelőnek.

## 2.2. Albtalbahn Karlsruhe

Az Albtalbahn, Karlsruhe-ból Bad Herrenalbba és Ittersbachba vezető vasút eredetileg szűk nyomtávú volt. 1959-ben az újonnan alapított üzemeltető vállalat, az AVG (Albtal Verkehrs Gesellschaft) átalakította ezt szabványos nyomtávúra és módosította, hogy villamosok is futhassanak rajta. Ez teremtette meg a lehetőséget, hogy az országon keresztülmenő vonalat összekapcsolják Karlsruhe városközpontjának villamoshálózatával.

Az Albtalbahn másodlagos vasútként sorolták be, a maximális engedélyezett sebessége 80 km/h. A Karlsruhe-ban található részt és a turning loopson kívüli szakaszt más vasúti járművek is használják, mint például a gőzmeghajtású



2. ábra Villamos a DB hálózatán

vonatok. A vasútvonal egy részén teherforgalom is üzemel. Karlsruhe városközpontjában további fejlesztések vannak kilátásban. A vidéket átszelő vasútvonal vasútvédelmi kiegészítővel és blokkoló rendszerrel lett felszerelve. IWS induktív rendszeren alapuló automata vasúti ellenőrző rendszer (Automatic Train Control – ATC) lett kiépítve Karlsruhe kezelőpontjainál. Ez a rendszer nem kompatibilis a Deutsch Bahn Indusival, a vasúti mozdonyok ezt a vonalat aktív ATC nélkül használják.

Az Albtalbahn mentén elhelyezkedő peronok szegélye 38 cm magasan húzódik a sín felszínétől, így összhangban van a vasúti engedélyezési mértékkel. A villamos jármű és a peronszegély közötti rést behúzóható lépcsőkkel hidalják át.

## 2.3. Kettősrendszerű üzem Karlsruhéban és környékén

Karlsruhe 1991-ben kapta az első kettősrendszerű villamost, mely képes volt DC üzemből 750 V-on használni a villamoshálózatot, illetve AC üzemből 15 kV/16,7 Hz-en használni a vasúthálózatot, így téve lehetővé a villamos működésének kiterjesztését a Deutsche Bahn villamosított vonalaira. Ez a koncepció „Karlsruhe modellként” vált ismertté.

Az idők folyamán csatlakozó vágányokat fektettek le a villamoshálózat és Deutsche Bahn vasúti hálózat különféle környező területein és idővel egyre több és több „Stadtbahn” vonalat állítottak szolgálatba, miközben lehetővé tették az átszállás nélküli utazást a város körüli régió és a városközpont között. További fejlesztés volt, hogy arra használták ezeket a könnyű vasúti járműveket, hogy igazi helybeli vasúti szolgáltatásként működjenek anélkül, hogy a villamos hálózatot érintenék.

Így a helyi vasútalapú közlekedés kiterjedt hálózata 300 kilométeres útvonalhosszt tett ki a karlsruhe-i régióban és a következőket foglalta magában:

- az Albtalbahn által működtetett könnyű vasúti vonalak 750 V DC felsővezetéken keresztüli áramellátással,
- könnyű vasúti vonalak a vasúti hálózattal (AC 15 kV/16,7 Hz) és a villamoshálózattal (DC 750 V) kombinálva,
- könnyű vasúti vonalak, amik csak a vasutat használják, AC felsővezetéken keresztüli áramellátással.

### 2.3.1. Biztonságos üzemeltetés

Manapság, a kettősrendszerű LRV-k szintén vegyes üzemből futnak a gyors- és tehervonatokkal a fő vasútvonalakon. A biztonság kérdése egy ütközés esetén kulcsfontosságú. Míg a vasúti járműveknek nagy a szerkezeti szilárdságuk és nagymértékben tudnak ellenállni a karosszéria deformációjának (jó a passzív biztonságuk), az LRV-k elkerülik az ütközések lehetőségét erőteljes fékek által. Ebből arra következtetünk, hogy az LRV-knek magasabb aktív biztonsága van, mint a vasúti járműveknek.