



## KISS CSABA

Okleveles gépészmérnök, okleveles mérnök-tanár,  
MÁV Zrt. PMKI GSZ fejlesztőmérnök,  
BME Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék mestertanár

# Szemelvények és mérföldkövek az ipari periódusú nagyvasúti villamos vontatás kifejlesztése történetéből I.

E sorok szerzője ezzel a cikkel kíván tisztelegni azelőtt a szakmáját szerető, értő és tudó, elhivatott, kiváló szakembergárda előtt, akik az idén 60 éves V43 sorozatú villamos mozdony beszerzésében, megépítésében, üzembehelyezésében, fenntartásában részt vettek és mind a mai napig részt vesznek.

E cikk a Közlekedéstudományi Egyesület Régi magyar vasúti járművek konferencián 2022. szeptember 26-án elhangzott előadás szerkesztett és bővített változata.

„A múltat ne keverjék össze azzal, ami megmaradt belőle!”  
László Gyula (1910-1998),  
őstörténet- és néprajzkutató

A vasúti közlekedés csaknem kettő évszázados történetének máig hatóan az egyik legnagyobb vívmánya a nagyvasúti villamos vontatás kifejlesztése és elterjedése volt.

A vasúti közlekedés megszületését az ipari forradalomnak az az igénye alapozta meg, hogy a szállítási feladatok ellátását egy gépi erejű, a saját tömegénél jóval nagyobb tömeget mozgatni képes vontatóeszköz alkalmas legyen viszonylag nagy távolságra továbbítani az árut. Ezt az igényt legjobban az „erőmű a kerekeken” gondolat ragadja meg (Mezei István: Mozdonyok, Műszaki Könyvkiadó, 1986).

Az első vontatógép a gőzmozdony volt, mely hosszú ideig jól ellátta ezt a feladatot. Azonban a XIX. század utolsó évtizedeiben azonban már felszínre kerültek a gőzvontatás hátrányos tulajdonságai és korlátai,

ezért már ekkor felmerült a gondolat, hogy a vasúti vontatójárművek tengelyeit villamos vontatómotorokkal kellene hajtani, melyeknek villamos energiával történő ellátását az időközben a világ számos részén létesített centralizált villamos energiaellátó rendszerekből a nagyvasúti villamos vontatás helyhez kötött energiaellátó berendezéseinek keresztül lehetne biztosítani. Ezzel lényegében kikerült az „erőmű” a vontatójárműből és egy teljesen új vontatási nem jött létre.

## I. A villamos hajtású vasúti vontatójármű és a nagyvasúti villamos vontatás születése

Az első villamos hajtású járművet 1879-ben a berlini iparműkiállításon mutatták be, amelynek megépítésére Werner Siemens tervei alapján került sor. Ez a jármű 4 hónapon keresztül zavartalanul működött. A 300 m hosszú, 520 mm nyomtávolságú körpályán a 2,2 kW teljesítményű és 1,5 m hosszú mozdony mintegy 7 km/h sebességgel vontatta a három kiskocsit. A villamos vasút energiaellátását egy gőzgéppel hajtott egyenáramú generátor biztosította, mely 150 V feszültségű egyenáramot biztosított a jármű számára. Az áram odavezetésére egy a két sín-pár között elhelyezett laposvas, míg visszavezetésére maga a sín szolgált. Ezt a mai szemmel nézve egyszerű járművet és pályáját tekinthetjük a villamos vontatás őseinek, mivel már felismerhetőek voltak az alapvető rendszerlemek, úgymint a villamos energiaellátó berendezés, a villamos

vontatás helyhez kötött berendezései, valamint a vontatójármű.

Ezt követően került sor a városi villamos vasutak fokozatos kiépítésére elsősorban a nagy lélekszámú városokban. Ezzel egyidejűleg számos bányavasút is áttért a villamos vontatásra. Ekkor azonban, mivel még csak az egyenáramú motor állt rendelkezésre villamos vontatógépként, kizárólag egyenáramú villamosítási rendszerrel villamosították.

Kezdetben a fenti vontatási feladatokon túlmenően még ipari létesítményeket kiszolgáló, illetve keskeny nyomközű vasutakat is villamosítottak, ahol a viszonylag rövid távolságok és a közeli vagy helyi villamos energiaellátó berendezések léte biztosította a megfelelő villamos energiaellátást. A villamos energia nagy távolságra történő szállításának problémái ekkor még mérsékelten jelentkeztek csak.

Európában a nagyvasúti villamos vontatás kifejlesztése eleinte nagyon lassan haladt, mert túlzott óvatosságot tanúsítottak a villamos vasutakkal szemben. Mindezek alapján az első jelentős eredményeket a tengerentúlon az Egyesült Államokban érték el, ahol elsőként a Baltimore Ohio Vasúttársaság Baltimore városon átvezető 12 km hosszú szakaszát villamosították, elsősorban az egyre növekvő füstszennyezés miatt, mivel a vasútvonal helyenként alagútban haladt. A felsővezeték 650 V egyenfeszültségéről táplálták a csuklós járműszerkezetű, Bo'Bo' tengelyrendezésű mozdonyt, melynek teljesítménye 1060 kW volt, tömege 87 t és legnagyobb sebessége 80 km/h.



1. ábra: Az első villamos vasút 1879-ben Berlinben



2. ábra: A Baltimore Ohio Vasúttársaság 1895-ben épített villamos mozdonya

E mozdony vontatási teljesítőképessége már jól megfelelt a korabeli gőzmozdonyokénak.

A Baltimore Ohio vasúttársaság villamos üzemének eredményei nagy lendületet adtak a villamos vontatás bevezetésének a világ más országai-ban is.

Megjegyezzük, hogy a fentiek alapján az 1895. évet szokás a nagyvasúti villamos vontatás születési évének tekinteni.

A XIX. század utolsó évtizedeire már feltalálták a többfázisú villamos motorokat és az egy- illetve háromfázisú transzformátorokat is, ezzel több különböző villamos vontatómotor típus állt már rendelkezésre ebből adódóan felmerült a célszerű és ésszerű villamos vontatási rendszer alkalmazásának kérdése is.

Ugyanakkor a kezdeti időszakban az egyenáramú és a váltakozó-áramú villamos energiaellátó rendszerek párhuzamos fejlesztését lehetett megfigyelni. Az egyenáramú villamos energia transzformálásának akkor még hiányzó technikai megvalósítási lehetősége továbbá a többfázisú váltakozó-áramú kefe nélküli vontatómotoroknak a villamos vontatás szempontjából kedvező tulajdonságai (döntően a szerkezeti egyszerűség) miatt a kiépülő villamos hálózatok egyre nagyobb mértékben a váltakozó-áramú villamos energiaellátó rendszerek fokozódó térnyerését és elterjedését hozták.

A nagyvasúti villamos vontatás alapvető sajátossága, hogy helyhez-kötött energiaellátó berendezésről táplált, ezért a vonal teljes hosszában,

beleértve valamennyi olyan vágányt, amelyen rendszeresen vonatközlekedés vagy tolatás történt, ki kellett építeni a villamos felsővezetékét továbbá az országos villamos hálózattal a kapcsolatot biztosító állomásokat, tehát a vonali és az állomási berendezéseket. Emiatt a kezdetektől fogva alapvető törekvés, illetve elvárás volt, hogy a villamos vontatásnak ezek a költségei lehetőleg minél kisebbek legyenek. Más szavakkal a villamos vontatás rendkívül előnyös tulajdonságai kihasználása érdekében fontos volt, hogy a villamosítás gazdaságosságának alsó határát jelentő forgalmi érettséget minél alacsonyabb értéken el lehessen érni és az adott vonal vagy vonalszakasz villamosítása megtérülő beruházás legyen.

Említettük már, hogy a nagyvasúti villamos vontatás kezdeti időszakában meghatározó szempontok voltak a rendelkezésre álló villamos vontatómotor típusok jellemzői. Ez azt jelentette, hogy a választandó villamosítási rendszert tulajdonképpen döntően befolyásolta a rendelkezésre álló villamos vontatómotor típus és annak jellemzői, így a villamosítási rendszer továbbá a járműtípus dinamikus egymásra hatása volt megfigyelhető. A járműtípus jellemzőit ekkor még döntően az alkalmazott vontatómotor típus sajátosságai határozták meg.

Ezzel összefüggésben már nagyon korán megszületett az a felismerés, hogy a háromfázisú aszinkronmotor (különösen a rövidrezárt forgórészű) szerkezeti egyszerűsége folytán külö-

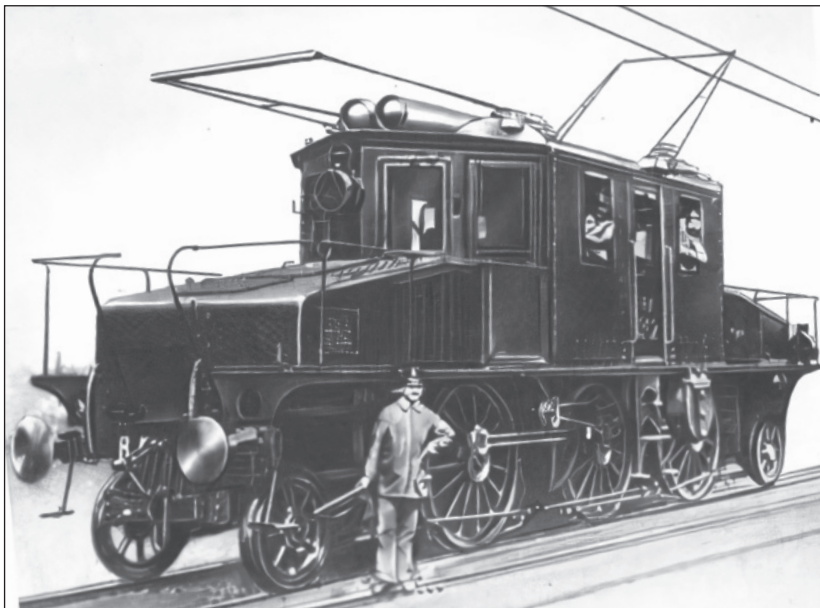
nösen is alkalmasnak bizonyul vasúti vontatójárművek hajtására (K. Schnetzler BBC Baden 1909 VDI-folyóirat).

Ezek alapján az első két nagyvasúti villamos vontatási rendszer az egyenáramú és a háromfázisú váltakozó-áramú villamos vontatási rendszerek voltak.

Ebből következően Európában az első, viszonylag kis feszültségű, többfázisú váltakozó-áramú villamosításra (750 V, 42 Hz) a svájci Burgdorf-Thun-Bahn vasútvonalon került sor 1898-ban. Ekkor még a háromfázisú aszinkron motorok folyamatos tápláló frekvencia változtatása az akkori lehetőségekkel még nem volt megoldható, ezért a vontatómotorok tartósan csak viszonylag kevés fordulatszámon tudtak gazdaságosan üzemelni és érvényesült az aszinkron motoroknak a vasúti vontatás szempontjából kedvezőtlen merev és a feszültségváltozásokra érzékeny természetes jelleggörbéje.

## 2. A villamos vontatás hőskora Magyarországon és Észak-Olaszországban

Magyarországon Budapesten a Ganzgyár 1895-ben kezdett el foglalkozni a nagyvasúti villamos vontatás megvalósításának kérdéseivel. Kandó Kálmán ekkor a villamos szerkesztési osztály vezetője volt és 1897-ben tanulmányutat tett az Egyesült Államokban. Döntően az ott szerzett tapasztalatok alapján jutott arra a következtetésre, hogy sem az amerikai



3. ábra: A Valtellina vasút részére készült Gr 36 sorozatú Kandó-mozdony

600 V egyenfeszültségű, sem a svájci 750 V feszültségű, háromfázisú, váltakozó feszültségű villamos vontatási rendszerrel nem lehet a villamosítást gazdaságosan megoldani.

Ilyen hazai előzmények után 1898-ban egyes olaszországi vonalak villamosítására nemzetközi versenyt írtak ki. Erre a Ganz-gyár Kandó Kálmánnak a korban meglehetősen merész tervei alapján háromfázisú villamos vontatási rendszerrel kezdte meg a szóban forgó Észak-olaszországi Valtellina vasútvonal villamosítását. Kandó Kálmán másokhoz hasonlóan szintén kétpólusú villamos felsővezetékkel konstruálta meg a háromfázisú, váltakozó feszültségű villamos vontatási rendszert, melyben így a harmadik pólust a sín jelentette. A felsővezeték feszültség ekkor már 3000 V volt, de a tápláló frekvenciát (15 Hz később 16 2/3 Hz) csökkenteni kellett, hogy a frekvenciával arányos veszteségek még elfogadható mértékűek maradjanak. Érdekes felfigyelni arra, hogy Kandó Kálmán már a háromfázisú vontatójárműveknél igyekezett a lehető legkevesebb energiaátalakítási lépcsőben vonóerő munkává alakítani a mozdony által felvett villamos energiát. Továbbá szembetűnő az is, hogy Kandó Kálmán kezdettől fogva a visszatápláló

villamos fékezést alkalmazta elsődleges fékberendezésként az általa tervezett járműveken.

A Valtellina vasútvonalra Kandó Kálmán több villamos mozdonyt is szerkesztett, a 3. ábrán látható villamos mozdonyt az áruszállítási feladatok ellátására, a 4. ábrán látható villamos motorkocsi pedig a személyszállítási feladatok ellátására helyezték üzembe. A járművek hajtásának érdekessége, hogy egy nagyfeszültségű és kisméretű motor hajtotta a jármű tengelyeit. A kisméretű motor pedig nagyobb sebességeken működött, a mozdornál a motorrészek kaszkád kapcsolását is alkalmazta Kandó Kálmán a jármű vonóerő- és sebességszabályozásában.

Az Észak-olaszországi tapasztalatok alapján az állomásokon kialakítandó, meglehetősen bonyolult felsővezeték rendszer, valamint a tápláló áramnimmel kapcsolatosan fent említett korlátok megérlelték azt a nagyvasúti villamos vontatás történetében egyik első döntő fontosságú felismerést, hogy a

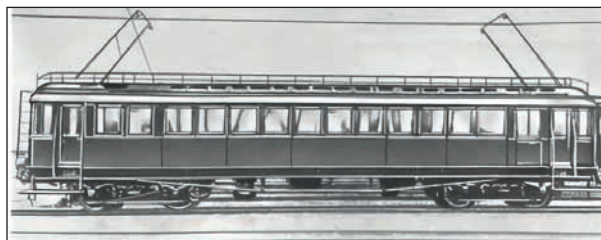
nagyvasúti villamos vontatást feltétlenül egypólusú, egyfázisú felsővezetékkel kell táplálni. Az egyenáramú villamos vontatási rendszereknél az egypólusú kialakítás szinte automatikusan adódott.

A háromfázisú villamos vontatás hőskora iránt érdeklődő Olvasónak ajánljuk Villányi György: Magyarország és a váltakozóáramú vasúti vontatás hőskora, Vasúthistória Évkönyv 1989-ben megjelent nagyon alapos, minden részletre kiterjedő cikkét, továbbá a Magyar Vasúttörténeti Park Alapítvány gondozásában 2019-ben megjelent Fojtán István: Kandó mozdonyok Kandó Kálmán élete és munkássága című, szintén hiánypótló, a korábbi 1998.-as kiadás bővített változatban közreadott könyvét.

### 3. A nagy váltakozó feszültségű, egyfázisú villamos vontatási rendszer kifejlesztése külföldön

Az első, még viszonylag kis feszültségű, többfázisú váltakozóáramú villamosítás (750 V, 42 Hz), ahogy fentebb már utaltunk rá, -melyet a svájci Burgdorf-Thun-Bahn vasútvonalon létesítettek-, tapasztalatai alapján a svájci Oerlikon gyár igazgatója Emil Huber-Stockar már 1902-ben javasolta a nagy feszültségű, egyfázisú villamosítást, egypólusú felsővezetékkel. Azaz a vontatási áramkör a sínen keresztül záródott, a sín jelentette a másik pólust. (5. ábra)

Ezért a svájci Oerlikon gyár 1904-ben a Seebach-Wettingen vonalat 15 kV felsővezeték feszültség, 50 Hz frekvencia áramnimmel villamosította. (6. ábra)



4. ábra: A Valtellina vasútvonal személyforgalmának lebonyolítására készült villamos motorkocsi





5. ábra: A Seebach-Wettingen egyfázisú, ipari periódusú vontatási rendszerrel villamosított vonalszakasz kísérleti üzemben

A vontatójármű transzformátora 700 V-ra transzformálta a felsővezeték feszültségét. A 7. ábrán látható egyfázisú aszinkron motor-egyenáramú generátor átalakító által előállított változó nagyságú egyenfeszültséggel táplálták a két vontatómotort, melyek fogaskerék hajtóművön és vakforgattyús hajtáson keresztül hajtották a jármű kerekeit.

A próbaüzem egyik döntő fontosságú tapasztalata volt, hogy a villamos forgógépes energiaátalakítás meglehetősen rossz hatásfokú, különösen részterhelésnél és nagyon kedvezőtlen a teljes berendezés teljesítménytömege. Ezért az Oerlikon vállalat nem folytatta ebben az irányban a járműfejlesztést.

Időközben az Egyesült Államokban Benjamin Lamme-nek kommutációs fojtótekerccsel, Európában Dr. Hans Behn-Eschenburg professzornak (az Oerlikon gyár későbbi vezérigazgatója) sikerült az egyfázisú soros kommutátoros motor kommutációját a segédpólus enyhe söntölésével számottevően megjavítani. Ezt azonban csak csökkentett frekvencián 16 2/3 Hz-en sikerült kielégítő módon megoldani, ebből következően a német ajkú területek (Németország, Svájc) továbbá néhány skandináv ország (Norvégia, Svédország) is ezen az úton haladt tovább és 15 kV, 16 2/3 Hz egyfázisú,



6. ábra: A 1. számú próbamozdony a Seebach-Wettingen vonalon (Oerlikon-gyár, 1904.). A világon az első egyfázisú váltakozó feszültségű és 50 Hz frekvenciájú villamos mozdony

váltakozó feszültséggel villamosították vasútvonalaikat. A fent bemutatott mozdonyt egyfázisú, soros kommutátoros mozdonyra építették át 1905-ben. Ez volt a világ első egyfázisú, váltakozó feszültségű hálózatról táplált nagyvasúti villamos mozdonya továbbá az első egyfázisú soros kommutátoros vontatómotoros mozdonya.

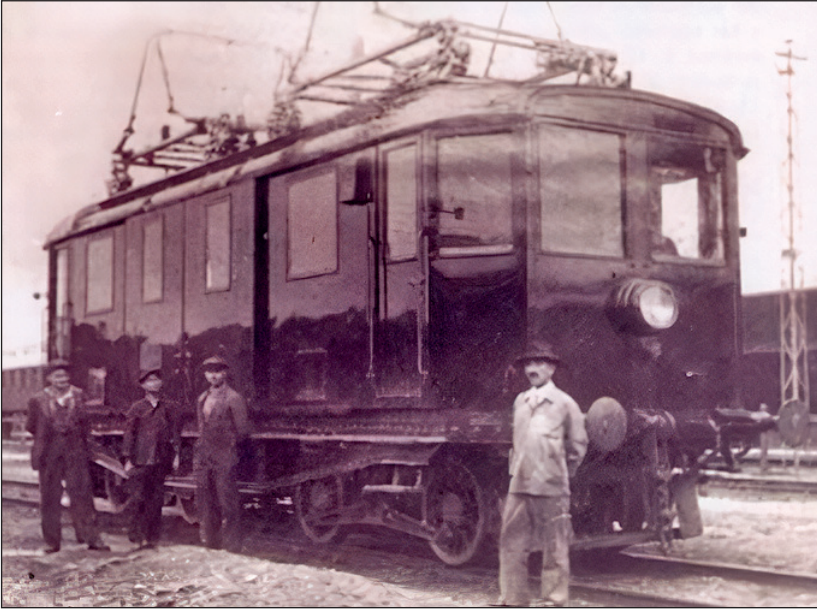
#### 4. A nagyvasúti villamos vontatás első szakasza Magyarországon

Az Észak-olaszországi Valtellina vonal háromfázisú váltakozófeszültségű rendszerrel történő villamosításával szerzett legfontosabb tapasztalat az volt, hogy egyfázisú váltakozó feszültségről, egypólusú felsővezetékéről célszerű biztosítani a nagyvasúti villamos vontatás energiaellátását. Kandó Kálmán I. világháborús katonai szolgálata alatt szerzett tapasztalatai tovább erősítették és a teljes villamos vontatási rendszer tekintetében is elmélyítették ezt a meggyőződését.

Részből a fenti eseményekkel párhuzamosan Magyarországon a nagyvasúti villamos vontatás vég-



7. ábra: 400 kW teljesítményű egyfázisú-egyenáramú forgó átalakító gépcsoport



8. ábra: V51 sorozatú, egyfázisú, váltakozó-áramú mozdony a két világháború között

eredményben 1911-ben született meg, amikor a Vác-Budapest-Gödöllő helyi érdekű vasút (VGBHÉV) villamosítására került sor, melyen a prágai Ringhoffer és a magyar Siemens-Schuckert vállalatok által gyártott V51 sorozatú villamos mozdonyok továbbá villamos motorkocsik teljesítettek szolgálatot. A tápláló áramnem jellemzői kezdetben 10 kV 15  $\frac{3}{4}$  Hz, később 12 kV 16  $\frac{2}{3}$  Hz voltak. A járművek tengelyeit forgóvázként egy egyfázisú soros kommutátoros motor rudazatos hajtással hajtotta. A járművek az 1950.-es évek elejéig voltak üzemben. (8. ábra)

Kandó Kálmán ezzel párhuzamosan 1916. december 1-én szabadalmat nyújtott be a szinkron fázisváltóra. Ez szintén fontos mérföldkő volt az ipari periódusú nagyvasúti villamos vontatás továbbfejlesztésében, mert a szinkron fázisváltó egy transzformátort, egy egyfázisú szinkronmotort és egy többfázisú szinkrongenerátort egyesített magában. Ez nagyon jól mutatja, hogy Kandó Kálmán tökéletesen tisztában volt azzal, hogy csak akkor lehet forgó áramátalakító mozdonyal a korban rendelkezésre álló berendezésekkel megvalósítani az ipari periódusú, nagyvasúti villamos vontatást, ha az energiaátalakítási lépcsők szá-

mát minimálisra csökkenti vagy az energiaátalakítási feladatokat minél kevesebb gépben koncentrálja. Ezen túlmenően a szinkron működési elv jól kifejezésre juttatta Kandónak azt a szándékát, hogy a lehető legjobb tápláló hálózat-vontatójármű együttműködést igyekezett megvalósítani. Összességében véve Kandó valamennyi energiaátalakítási feladatot két gépben (szinkron fázisváltó, háromfázisú, csúszó gyűrűs aszinkron vontatómotor) valósította meg és a két gép működésének, együttműködésének átgondolt szabályozásával

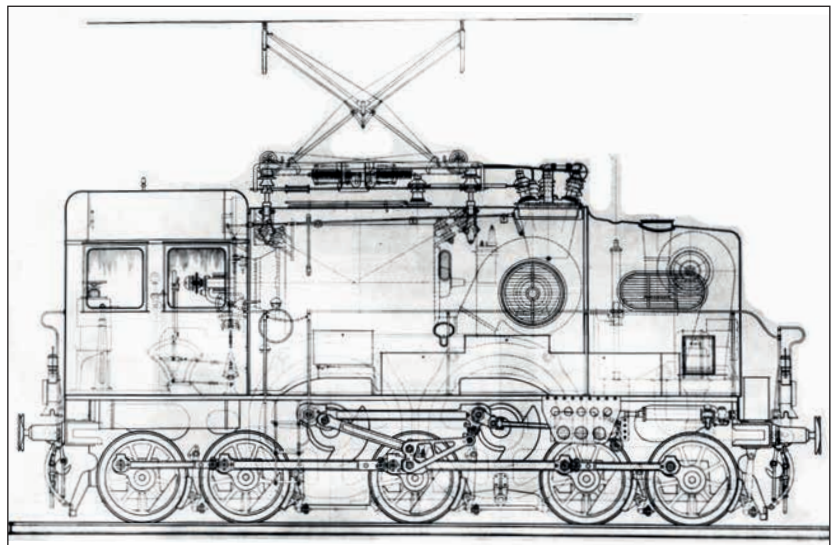
az elérhető legjobb hatásfokot és a legkedvezőbb tápláló hálózat-vontatójármű együttműködést sikerült a korban rendelkezésre álló eszközökkel megvalósítani. (9. ábra)

Ezt követően került sor a Budapest-Nyugati pu.-Dunakeszi-Alag vasútvonalon az egyfázisú, váltakozó feszültségű, ipari periódusú villamos vontatási rendszerrel történő villamosítására.

Az alábbi, 9. ábrán látjuk a Budapest-Nyugati pu.-Dunakeszi-Alag között kiépített próbapályára épített ún. próbamozdonyt, mely éppen 100 esztendeje kezdte meg a próbaüzemet.

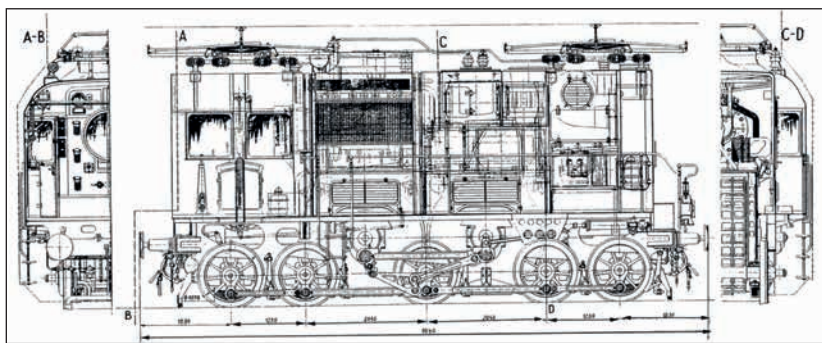
A próbák tapasztalatai alapján természetesen szükség volt a jármű különböző részeinek bizonyos mértékű átalakítására továbbá szerkezeti részeinek és működési folyamatainak funkcionális csiszolására. Az egyik legfontosabb átalakítás a szinkron fázisváltó forgórészének folyadék-hűtésűvé alakítása volt. Ezek után az átalakított próbamozdony 1928-ban került pályára, melynek napi futási teljesítménye huzamosabb időn keresztül elérte a 400 km-t. A vontatott tömeg a vonat jellegétől függően 200-1400 t között változott. Ez, figyelembe véve a viszonylag kis távolságokat, egészen figyelemre méltó eredmény volt.

A próbák tapasztalatai alapján a teljes rendszer műszaki életképességét a

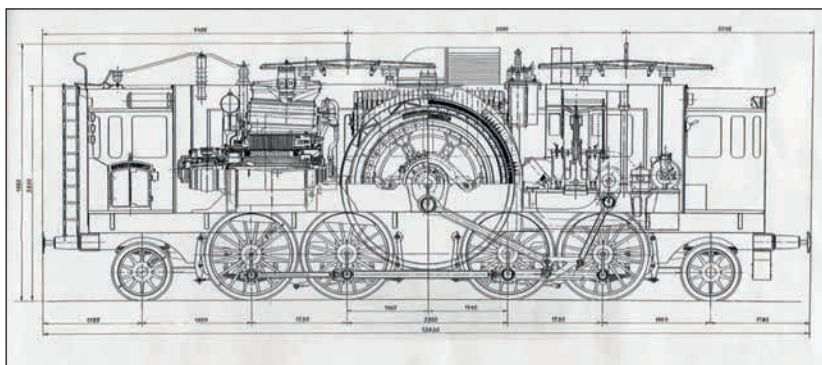


9. ábra: A V50 sorozatú próbamozdony oldalnézete és gépezeti elrendezése





10. ábra: Az átalakított próbamozdony nézeti képe és gépezeti elrendezése



11. ábra: V40 sorozatú villamos mozdony

legmesszebb menőig sikerült igazolni és a kor lehetőségeiből a maximumot kihozva, figyelembe véve a két világháború közötti magyarországi viszonyokat és lehetőségeket, sikerült az egyfázisú, ipari periódusú nagyvasúti villamos vontatási rendszert gyakorlatilag menetrendszerű forgalomban a világon elsőként megvalósítani.

A Budapest-Nyugati pu.-Dunakeszi-Alag vasútvonalon szerzett tapasztalatok alapján a MÁV elhárította a Budapest-Keleti pu.-Komárom-Hegyeshalom vonal villamosítását és megrendelte a V40 sorozatú fázisváltós villamos mozdonyokat a vonal forgalmának lebonyolítására.

A 11. ábra mutatja a Budapest-Keleti pu.-Komárom-Hegyeshalom vonalra épített V40 sorozatú villamos mozdony szerkezeti felépítését. Az átalakított próbamozdonyhoz viszonyítva a legszembevetőbb átalakítás a kettő vontatómotor helyett egy fő vontatómotor alkalmazása, melynek alkalmazására döntően gazdasági és anyagkihasználási szempontok vezettek.

Megjegyezzük, hogy tehervonati mozdonyként elkészült a V60 sorozatú villamos mozdony is, melynek villamos berendezése teljesen azonos volt a V40 sorozatúval. Viszont a V60 sorozatú mozdonyok minden tengelye hajtott volt és kisebb volt a jármű végsebessége (100, illetve 67 km/h). Azonban időközben kiderült, hogy a V40 sorozatú mozdonyok megfelelőnek bizonyultak a teherszállítási feladatok ellátására is, ezért a V60 sorozatú mozdonyokból mindössze 3 darab készült.

### 5. A két világháború közötti németországi egyfázisú, ipari periódusú villamosítási kísérlet

A két világháború között külföldön is felfigyeltek a magyarországi sikerekre, ezért Németországban 1936-ban került sor kísérleti ipari periódusú villamos vontatás gyakorlati próbájára az ún. Höllentalbahn (Fekete-erdő) vonalon Freiburg i. B.-Titisee-Neustadt, 36 km, Titisee-Seeburg, 19 km,

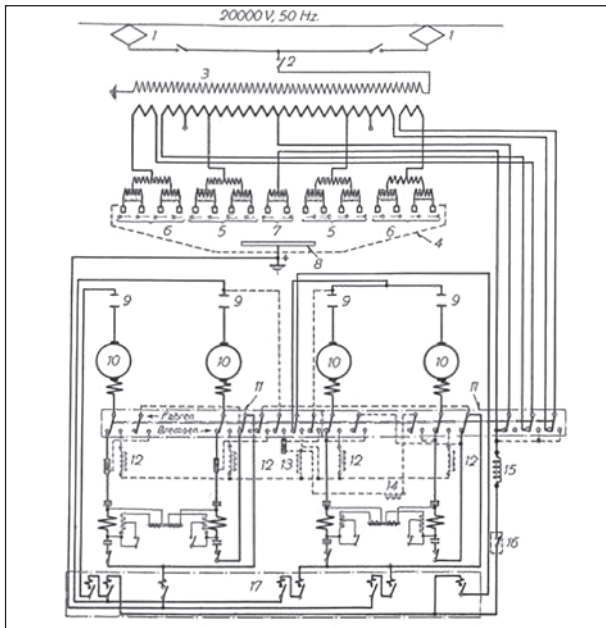
összesen 55 km hosszúságú vonalon. A vonalon 4, közel 85 t tömegű Bo'Bo' tengelyelrendezésű, 85 km/h maximális sebességű vontatójárművekkel végezték a próbákat, melyek üzembehelyezésére egységesen 1936-ban került sor. A járművek a következők voltak:

1. *AEG-mozdony* 2730 LE órás teljesítménnyel, vízhűtéses egyenirányítóval. A mozdony tengelyeit egyenáramú soros motorok hajtották. A vonóerő- és sebesség szabályozás a motorcsoportok soros-párhuzamos átkapcsolásával, a higanygőz egyenirányítók rácsvezérlésével, valamint a vontatómotorok mezőgyengítésével valósították meg. A járművet felszerelték villamos ellenállásfékkel is (E 244 01). A járművet 1960-ban selejtezték.

2. *BBC-mozdony* 3280 LE órás teljesítménnyel, vízhűtéses egyenirányítóval az állandóan soros-párhuzamos (a vontatómotorok kapcsolását üzem közben nem változtatták) kapcsolatban működő vontatómotorokkal. A vonóerő- és sebesség szabályozás kizárólag a főtranszformátor nagyfeszültségű oldalon végrehajtott feszültség szabályozással történt. Ezt a mozdonyt is felszerelték villamos ellenállásfékkel (E 244 11). A járművet 1960-ban selejtezték. (12. ábra)

3. *SSW-mozdony* 2800 LE teljesítménnyel. A mozdonyt 8 darab egyfázisú, soros kommutátoros motorral szerelték fel, melyekből kettőt-kettőt tengelyenként mindig sorba kapcsoltak. A szabályozást szekunder oldalon valósították meg egy bütykös kapcsolómű és egy finom szabályozó segítségével. Ezt a mozdonyt is ellátták villamos ellenállásfékkel (E 244 21). Ezt a mozdonyt az E 344 01 mozdonyra építették át a kísérleti üzem befejezése után.

4. *Krupp-mozdony* 2750 LE teljesítménnyel. A jármű tengelyeit egyfázisú indukciós motorok egyenáramú gerjesztésű közbenső forgórészű és háromfázisú csúszógyűrűs forgórészű motorok hajtották. Az egyfázisú soros motort egységnyi teljesítménytényezőre szabályozták.



1 Áramszedő	9 Kétpólusú, elektro-pneumatikus kontaktorok
2 Főmegszakító	10 Vontatómotorok
3 Főtranszformátor	11 Menet-fék átkapcsoló
4 Egyenirányító	12 Fékellenállás
5 A-anód	13 Csillapító ellenállás a gerjesztő és a forgórész körhöz
6 B-anód	14 Gerjesztés beállító ellenállás
7 O-anód	15 Simitő fojtó tekercs
8 Katód	16 Gyorsszakaszoló
	17 Bütőkös kapcsolómű

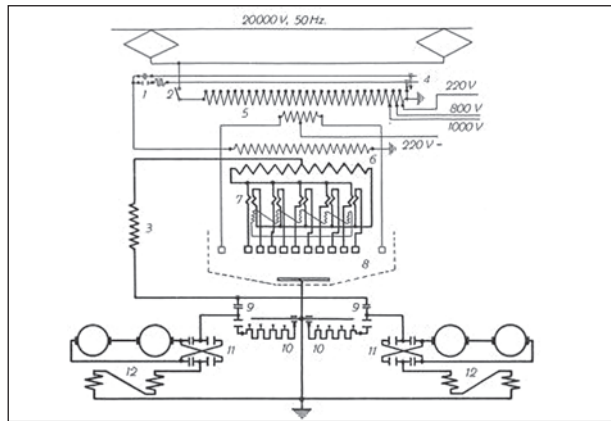
12. ábra: Az AEG-gyártmányú jármű főáramkörű kapcsolási vázlat

A szabályozás három kapcsoláson keresztül valósult meg (E 224 31), mégpedig

- kaskád üzem: egyfázisú motor elülső motor, háromfázisú motor hátsó motor, 34 km/h szinkron sebességre,
- egyfázisú motoros üzem 59 km/h szinkronsebességre,
- háromfázisú motoros üzem, ahol a hiányzó harmadik fázist a fázisosztóként működő, üresen járó egyfázisú motor képezte 83 km/h szinkronsebességre.

Az átmenet az egyes fokozatok között vízellenállások segítségével történt. A mozdonyt felszerelték visszatápláló villamos fékkel.

Érdeklőképpen megjegyezzük, hogy 1951-ben üzembe helyeztek még egy AEG, SWDE gyártmányú villamos mozdonyt E 244 22 pályaszámon, melyet négy 50 Hz frekvenciájú táplálásra tervezett tandem elrendezésű egyfázisú soros kommutátoros vontatómotorokkal szereltek fel. A járművet a próbaüzem után az E 44 189 pályaszámú mozdonyra építették át.



1 Túlfeszültség-vezető	5 Szabályzó transzformátor	9 Menet-fék átkapcsoló
2 Főmegszakító	6 Főtranszformátor	10 Fékellenállás
3 Simitő fojtó tekercs	7 Anód fojtó tekercs	11 Irányváltó
4 Fokozatkapcsoló	8 Egyenirányító	12 Vontatómotorok

13. ábra: A BBC-gyártmányú jármű főáramkörű kapcsolási vázlat



14. ábra: A műszaki emlékként, eredeti állapotában, egyedülként fennmaradt Krupp-gyártmányú villamos mozdony, melyet jelenleg Mannheimben a Történelmi Vasút Múzeumban őriznek

Összességében elmondhatjuk, hogy járműszerkezeti szempontból valamennyi jármű kielégítő üzemkészségű volt. A járművek erősáramú berendezései tekintetében legkedvezőbbnek az SSW-gyártmányú jármű bizonyult, bár végeredményben egyik jármű sem volt kellően kiértelmezett és megfelelő műszaki megoldásának tekinthető. A kísérleti üzemet az 1960.-as nyári menetrendváltással fejezték be.

(Szerk. megjegyzése: A Vasútgépészet 2024. évi számaiban folytatjuk a nagyvasúti villamos vontatás kifejlesztése történetéből írt cikket)