

SZAKDOLGOZAT

LOSÓ DÁNIEL
Gépészmérnök BSc

Gödöllő
2023



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Gépészmérnöki Szak**

**A 450 H SOROZATÚ VILLAMOSMOZDONY
TENGEYHAJTÁS ÁTALAKÍTÁSÁNAK
ÉRTÉKELÉSE**

Belső konzulens:	Prof. Dr. Kiss Péter tanszékvezető
Külső konzulens:	Szabó Csaba Igazságügyi, Vasúti jármű- szakértő
Készítette:	Losó Dániel GILLZC nappali tagozat
Intézet/Tanszék:	Műszaki Intézet, Járműtechnika Tanszék

**Gödöllő
2023**

MŰSZAKI INTÉZET GÉPÉSZMÉRNÖKI ALAPSZAK
Gépjárműtechnika specializáció

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Losó Dániel (GILLZC)

részére

A szakdolgozat címe:

A 450 H sorozatú villamosmozdony tengelyhajtás átalakításának értékelése

Feladatkiírás:

Foglalja össze és értékelje a villamos mozdonyok hajtásával kapcsolatos szakirodalmat.
Vizsgálja meg a 450 H sorozatú villamosmozdony átalakított tengelyhajtását.
Értékelje a tengelyhajtást a tehervonatú üzemre való alkalmasság szempontjából.
Tegye meg a szükséges javaslatokat.

Közreműködő tanszék: Járműtechnika Tanszék

Külső konzulens: *Szabó Csaba, okleveles gépészmérnök, Igazságügyi, Vasúti jármű-szakértő*

Belső konzulens: *Prof. Dr. Kiss Péter, egyetemi tanár, MATE, Műszaki Intézet, Járműtechnika Tanszék*

Beadási határidő: 2023. november 6. (hétfő) 12.00 óra

Gödöllő, 2023. június 15.

Jóváhagyom


Prof. Dr. Kiss Péter
tanszékvezető


Prof. Dr. Szabó István
szakfelelős

Átvettem


Losó Dániel
hallgató

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2023. 11 hó 03 nap


(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS	5
2.	VILLAMOSMOZDONYOK HAJTÁSAI	7
2.1.	A RUDAZATOS HAJTÁS BEMUTATÁSA	7
2.1.1.	<i>V40 és V60 sorozatú mozdony</i>	7
2.2.	A RUDAZATOS HAJTÁS ÖSSZEGZÉSE	10
2.3.	A CSOPORT HAJTÁS BEMUTATÁSA	10
2.3.1.	<i>V43 sorozatú mozdony</i>	10
2.4.	A V43 SOROZATÚ MOZDONY SW- VONTATÓMOTORJA	13
2.5.	A CSOPORT HAJTÁS ÖSSZEGZÉSE	15
2.6.	AZ EGYEDI HAJTÁSI RENDSZER BEMUTATÁSA	15
2.6.1.	<i>V63 sorozatú villamosmozdony</i>	15
2.6.2.	<i>450H sorozatú villamosmozdony</i>	19
2.7.	AZ EGYEDI HAJTÁS ÖSSZEGZÉSE	21
3.	A 450H SOROZATÚ VILLAMOSMOZDONY TENGYELHAJTÁS ÁTALAKÍTÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE	24
3.1.	A TENGYELHAJTÁS MÓDOSÍTÁSRÓL	24
3.2.	A TENGYELHAJTÁS MÓDOSÍTÁS ALAPELVEI	28
3.3.	A VONÓERŐ-SEBESSÉG JELLEGGÖRBE SZEREPE, JELENTŐSÉGE	28
3.4.	A TENGYELHAJTÁS-MÓDOSÍTÁS SZÁMÍTÁSA	31
3.4.1.	<i>Egy kerékpár tengelyén adódó hajtónyomaték számítása</i>	34
3.4.2.	<i>Egy TC-vontatómotor fogaskerekén adódó hajtónyomaték számítása</i>	36
3.4.3.	<i>Visszafelé történő számítás, tehervonati áttétellel</i>	37
3.5.	A VONÓERŐ-SEBESSÉG JELLEGGÖRBEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	40
3.5.1.	<i>A kritikus sebesség és az állandó vonóerő számítása a metszéspontokban</i>	45
3.6.	A MOZDONY FAJLAGOS ALAPELLENÁLLÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA.....	46
3.7.	A KOCSISOR FAJLAGOS ALAPELLENÁLLÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA.....	49
3.8.	VONATTERHELÉSI KIMUTATÁSBÓL VETT TEHERVONATI ELEGY FAJLAGOS ALAPELLENÁLLÁSA	53
3.9.	A MEGINDÍTHATÓ ELEGYTÖMEG MEGHATÁROZÁSA	56
4.	A KAPOTT EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE	58
5.	JAVASLATTÉTEL	60
6.	ÖSSZEFOGLALÁS	61
7.	SUMMARY	63
8.	IRODALOMJEGYZÉK	65
9.	NYILATKOZATOK	66
10.	MELLÉKLETEK	68

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A hazai közforgalmú villamos vasúti vontatásban egyre nagyobb szerepet játszik az intermodális áruszállítás jelentősége, melyben a magánvasúti szektor óriási hányadot fed le. Az egyik neves, 2004-ben elsőként megalakult magyar magánvasúti társaság, a Floyd Zrt. is részt vesz a nehézaruk közlekedtetésében saját és bérelt mozdonyparkkal. Gyerekkorom óta műszaki-érdeklődési köröm előterében szerepelt a vasúti vontatás, a dízel és villamos vontatójárművek gépezeti berendezései és azok működésének tanulmányozása. Édesapám mellett, aki a vállalat egyik mozdonyvezetője volt, lehetőségem nyílt a Floyd Zrt. 450H sorozatú villamosmozdonyainak üzemébe való betekintésre és a felügyelete mellett történő vonattovábbításra. Egyetemi tanulmányaim végén a Floyd Zrt.-nél tudtam elhelyezkedni nyári szakmai gyakorlaton, ahol a mozdonyok karbantartását végző G. Tim-Co Kft., mint ECM partner munkájában tudtam segédkezni, ezzel tapasztalatot szerezhettem a mozdonyosorozat karbantartási és javítási munkálataiban, a főgépcsoporti elemek működésének tanulmányozásában. A vállalatnál 2021-ben helyezkedtem el mérnök gyakornokként, ahol a feladatom azóta is a vállalat járműmenedzsmenti tevékenységi körének koordinálása, mozdonyok és vontatott járművek gépészeti felügyelete. A Floyd Zrt. saját vontatási állományát akkoriban zömében a 450H sorozatú villamosmozdony típus tette ki.

A mozdony típus angol gyártmányú, 25 kV 50 Hz felsővezetéki hálózati feszültséggel üzemelő, 3013 kW (4098 LE) gépezeti teljesítménnyel rendelkező villamos vontatójármű, a Class86/2 típus besorolásba tartozik, gyártója a British Rail Doncaster Works. A mozdonyosorozat gyártásban az 1960-as évek második felében volt. Az angol vasúttársaság célja a Class86/2 sorozattal a gőzvontatás folyamatos kiszorítása mellett a gazdaságos és hatékony villamos- vonattovábbítás elősegítése volt. A Class86/2 villamosmozdony sorozatot Nagy-Britannia West Coast Main Line vonalának könnyű személyvonati vontatási céljainak kiszolgálására használták egészen az 1990-es évek végéig. Magyarországra a Floyd Zrt. hozta be Angliából 2013-ban a mozdony sorozat első példányait. A mozdonyok behozataluk előtt Nagy-Britanniában főműhelyi szintű javítást kaptak, így 2013-ban megkezdődhetett a magyarországi országos közforgalmú vasúti pályahálózaton az első 5 db Class86/2 mozdony üzembehelyezési-engedélyeztetési eljárás folyamata. A mozdonytípus Magyarországon a 450H besorolást kapta. A Floyd Zrt. a mozdonytípusból 9 darabot szerzett be, melyeket fővonalai, tehervonati vontatási célú feladatok ellátására használt. A vasúti

áru fuvarozás piaci szegmenseinek hatékonyabb kihasználása érdekében a Zrt. célul tűzte ki a mozdony flotta korszerűsítését, tehervonati üzemre való alkalmasabbá tételét. A fejlesztések egyik iránya, a mozdonyok tengelyhajtás áttételének módosítása volt, mely Angliában már a gyártó által egy kipróbált technológia volt. A tengelyhajtás módosítás során az eredetileg személyvonati vonattovábbításra tervezett mozdony TC- vontatómotorjainak tengelyhajtóműveiben egy áttétel növelés került kialakításra. Mindez pedig a gyakorlatban azt eredményezi, hogy a tehervonati szolgálathoz alkalmasabb vonóerő karakterisztikát kap a mozdony. Szakdolgozatom témaválasztásában az inspirált, hogy a gyártó által alkotott tengelyhajtás áttétel növelés tehervonati alkalmazásban megmutatkozó eredményességéről tényleges, műszaki-számítási eredmények a mai napig nem állnak rendelkezésre.

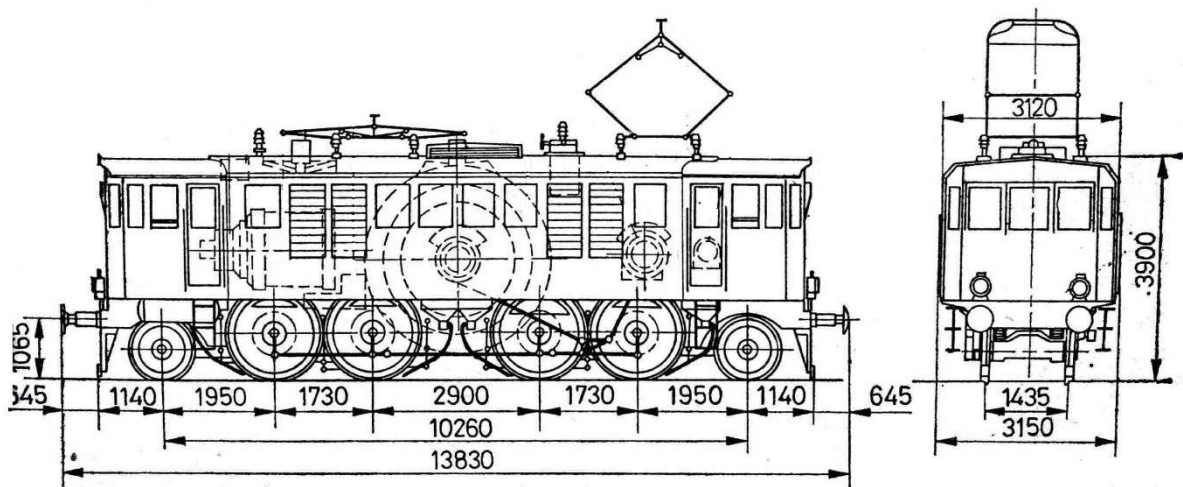
Ezért szakdolgozatomban célul tűztem ki az átalakított tengelyhajtású 450H sorozatú villamosmozdony tehervonati üzemre való alkalmasságának vizsgálatát. Ismertetem és összefoglalom a magyar, országos közforgalmú vasúti pályahálózatán egykor jelenlevő és ma is közlekedő egyes villamosmozdonyok hajtásaival kapcsolatos szakirodalmat, bemutatom a Class86/2 típusú mozdony tengelyhajtását. Megvizsgálom a megváltozott vonóerő és teljesítmény jelleggörbéket, majd összehasonlítom az eredetiekkel. Számítással igazolom a tengelyhajtás-áttétel módosítás hatását a maximális kerületi vonóerőre. Elemzést végzek a megváltozott vonóerő- és teljesítmény jelleggörbék tekintetében a 450H sorozatú villamosmozdony módosított tengelyhajtásával kapcsolatban. A kapott eredmények alapján összefoglaló értékelést teszek a módosított tengelyhajtás tehervonati üzemre való alkalmasságáról.

2. VILLAMOSMOZDONYOK HAJTÁSAI

2.1. A rudazatos hajtás bemutatása

2.1.1. V40 és V60 sorozatú mozdony

A MÁV vasúthálózatán az 1930-as években a Kandó-féle fázisváltós vontatási rendszerrel való közel tíz évig tartó sikeres próbatüzemi tapasztalatai alapján, a MÁV első ütemben a Budapest - Hegyeshalom fővonal 16 kV 50 Hz, egy fázisú hálózati feszültségű felsővezeteki rendszer megépítését tűzte ki célul. Ezzel párhuzamban, 1931 februárjában a MÁV megrendelést adott a Ganz és a MÁVAG részére 36 db ún. egységmozdony leszállítására. A mozdonyok közül először két gyorsvonati és két személyvonati mozdony készült el. A gyors- és személyvonatok továbbítására készült a VM 7 gyári típusjelű Kandó Kálmán által tervezett V40 sorozatú fázisváltós, 1770 kW (2500 LE) állandó teljesítményű, 1-D-1 tengelyelrendezésű, 70 t tapadási és 97,7 t össztömegű, 100 km/h legnagyobb sebességű villanymozdony. A V40 sorozatú villamosmozdony jellegrajzát az 1. ábra szemlélteti:

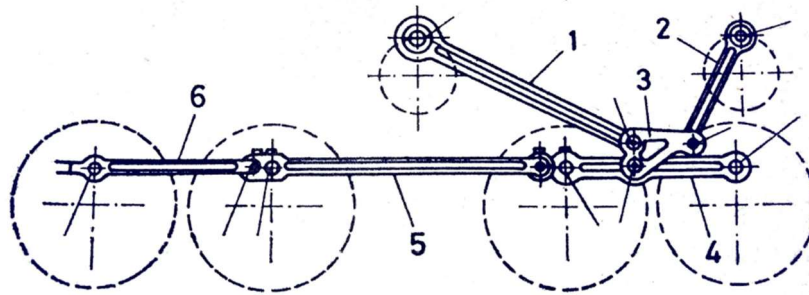


1. ábra: V40 sor. villamosmozdony jellegrajza (Lovas 1986.)

A felsővezeték áramát a fázisváltó berendezés 1000 V feszültségű, háromfázisú váltakozó árammá alakította. A mozdony egyetlen csúszógyűrűs vontatómotorral rendelkezett, melynek pólusszámai átkapcsolásával a mozdony sebességei 25, 50, 75 és 100 km/h szinkronsebességek voltak. A vontatómotor a Kandó-féle rudazattal hajtotta a négy kapcsolt kerékpárt. Az első négy V40 sorozatú villamos mozdony gyártása 1931 áprilisában kezdődött és 1932 májusára készültek el.

A mozdonyok sikeres próbaüzeme után már 1932 szeptemberében megkezdődött a mozdonyokkal történő közforgalmú villamos vontatás a Budapest - Komárom vonalszakaszon. A közel hathónapos próbaüzem során bebizonyosodott, hogy a V40 sorozatú mozdony a személyszállító és az univerzális, azaz tehervonati üzemre is egyaránt alkalmas, ezért a mozdonyosorozatot nagy számban kezdték el gyártani MÁV megrendelésre. Az üzemi próbákon és a menetrend szerinti üzemben szintén megállapítást nyert, hogy a mozdony a vonal legnehezebb terhelési szakaszain is képes az 1000 t, akkoriban nehéznek számító terhelésű tehervonatok továbbítására.

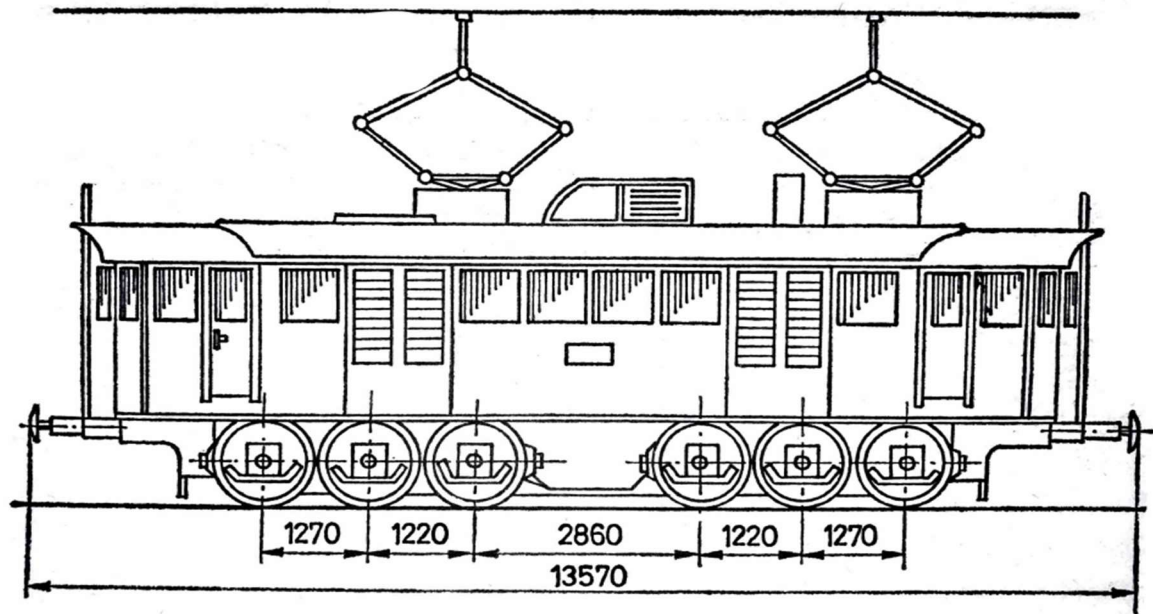
A mozdony járműszerkezeti részét képező hajtásrendszerét vizsgálva a villamos vontatásban a V40 sorozatú mozdonynál rudazatos hajtási mechanizmust alkalmaztak. Ez volt a hajtások tekintetében a legelső hajtási forma, amikor a vontatómotorról a hajtást rudazattal vitték át a kerékkoszorúra. A V40 sorozatú villamos mozdony tengelyhajtását a 2. ábra szemlélteti:



2. ábra: V40 sor. villamosmozdony tengelyhajtása (Lovas 1986.)

A mozdony futóműve négy hajtott és két futókerékpárból áll. Az ívekben való áthaladás megkönnyítésére a futókerékpárokat a Krauss-Helmholz rendszerű forgóvázba kerültek beágyazásra. A kerékpárok laprugózásúak, a tengelyterhelések kiegyenlítésére a szomszédos rugók közötti himbák szolgálnak. A mozdony kerékpárjait a vontatómotor rudazatok segítségével hajtja meg. A hajtásban a motor forgattyú csapját az 1 főhajtórúd köti össze a 3 hajtóháromszöggel. A forgattyúk egymáshoz képest 90° -ra vannak felékelve a hajtó tengelyre. A főhajtórúdra közel merőleges 2 segédhajtórúd összeköti az ún. előtéttengelyt a hajtóháromszöggel és azt mintegy felfüggeszti. A hajtóháromszög, ami egy Kandó-féle háromszög, a fő- és segédhajtórudakat a 4 főcsatlórúddal köti össze és továbbítja a hajtó nyomatókat a kerékpárokra. Ennek szintén feladata a mozdony rugójátékának kiegyenlítése is. A főcsatlórúddal csatlakozik az 5 és 6 csatlórúd. A hajtórudazat a mozdony mindkét oldalán megegyezően szimmetrikus, különbség viszont, hogy a jobb oldal 90° -val előrébb került pozícionálásra. (Lovas 1986.)

A 3. ábra szemlélteti a V60 sorozatú villamos mozdony jellegrajzát:



3. ábra: V60 sor. villamosmozdony jellegrajza (Lovas 1986.)

A V60-as mozdony járműszerkezetének felépítése hasonlít a V40 sorozatú mozdonyéra. A V40-es sorozattól való eltérése abban mutatkozik meg, hogy ennél a mozdony típusnál valamennyi kerékpár hajtott, így a futóműve, azaz a mozdony forgóváza más rendszerű. Ettől függetlenül a V60 sorozatú mozdony beépített villamos gépezete, berendezései és vezérlése megegyezik a V40 sorozatú mozdonyéval. Míg a V40 sorozatú mozdony univerzális felhasználásra készült, addig a V60 sorozatú mozdony tehervonati célú vontatási feladatok ellátására lett tervezve. A két mozdonysorozatot összehasonlítva a szembeötlő különbség egyrészt a hajtott kerékpárok számában mutatkozik meg, másrészt a kerekek méretében. Mindkét mozdony típus hattengelyes építésű, azonban míg a V40 sorozatú mozdonymnál a hajtott kerékpárok száma négy, addig a V60 sorozatú mozdonymnál már mind a hat kerékpár részt vesz a hajtásban. A V40 sorozatú mozdonymnál a sebességfokozatok 25, 50, 75 és 100 km/h voltak, míg a V60-as sorozatnál $16\frac{2}{3}$, 33, 50 és 66 km/h, mindebből következik, hogy a V60 sorozatú mozdony végsebessége $\frac{2}{3}$ -ára csökkent, de ezzel együtt a mozdony beépített gépezeti vonóereje nőtt a hasznos tartományon. A V40 sorozatú mozdony 1-D-1-es tengely elrendezéséből adódik, hogy a mozdony tapadó súlyának csak egy része kerül a hajtott kerekre, ezáltal jóval kisebb a tapadási vonóereje a V60 sorozaténál, ahol az összes tengely hajtott. Ennek következtében a V40 sorozatú mozdony könnyű személyvonati vagy univerzális vontatási célokra volt alkalmas. A V40 sorozatú mozdonymnál a személyvonati felhasználásnál nem volt lényeges a nagy indító vonóerő, azaz a nagy tapadási vonóerő, ezért

ennél a típusnál elég volt a négy nagyatmérőlű kereket meghajtani. Szemben a V60 sorozatú mozdonyal, ahol a tehervonati felhasználási jelleg miatt a legnagyobb indító vonóerőre volt szükség, így ennél a sorozatnál az összkerékajtás és a kisebb kerékátmérok kerültek kialakításra. Itt már jól láthatóak a vontató járművek tehervonati felhasználási jellegének követelményei: a kifejthető legnagyobb indító vonóerő, a tapadó súly valamennyi kerékpárra történő továbbítása a hajtás által, a kerületi vonóerő a hajtott kerekek átméroeje által, valamint a kritikus sebesség lecsökkentése.

2.2. A rudazatos hajtás összegzése

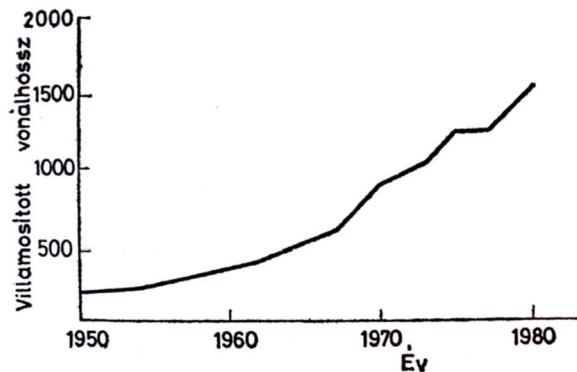
A rudazatos hajtási rendszert a maga korában az indokolta, hogy a hajtó motorok nagy geometriai mérete révén még nem álltak rendelkezésre olyan motorok, amelyeket a kerekek közé el lehetett volna helyezni. Több nagy méretű motor volt, amelyek hajtását rudazattal, mint direkt mechanikus hajtóművel lehetett megoldani, működése révén a motorok forgástengelye áthelyezésre kerül a kerékpártengelyek síkjába. Az alapvető probléma a rudazatos hajtásnál, hogy a gyakorlatban nem lehet kihasználni az összes tengely tapadását, hanem csak a legkisebb tengely tapadásáig. Ahogy kezdik elveszteni a tapadást az egyes tengelyek, egyre inkább hajlamos lesz az adott tengely az elpörgésre. Ezen probléma ellensúlyozásaként nagyon pontosan szükséges beállítani a futókör méreteket. Ívbeállásnál a rudazat további problémákat okoz, ezért meg kell oldani a rudazat függőleges és oldalirányú játékát ahhoz, hogy jól működjön a hajtás az ívben haladásakor. Ezen negatív hatású tényezők mind gyártási, mind fenntartási szempontból hátrányt jelentettek.

2.3. A csoport hajtás bemutatása

2.3.1. V43 sorozatú mozdony

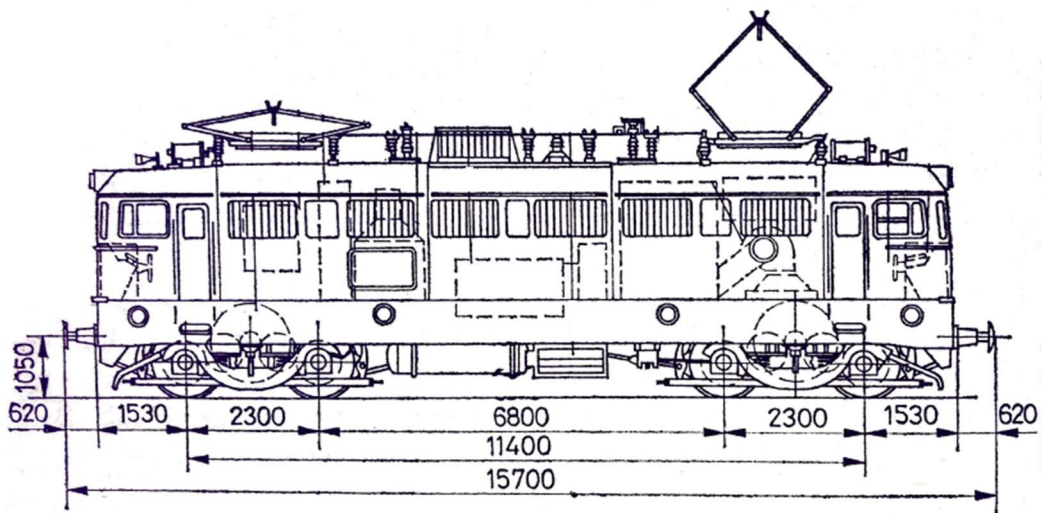
Az 1960-as évektől a MÁV vonalain a személy- és áruszállítási igények ugrásszerűen megnöttek, mindez szükségessé tette új, nagyobb kapacitású villamos vontatójárművek beszerzését. Ebben az időszakban a gőzvontatás részaránya még mindig 85 % volt, a villamos vontatásé pedig hozzávetőlegesen 10 %, így jól látható, hogy ezen időszakig a fejlesztések mérsékelt ütemben haladtak előre. Emiatt a MÁV vonalain az 1960-as évek elejétől a korábbtól eltérően nagyobb ütemben haladt előre a fővonalak villamosítása. 1972 elején a

villamosított vonal hálózatokon a MÁV befejezte az áttérést a 16 kV-ról a 25 kV-ra a teljes villamosított vasúthálózaton. A villamosított vonalhossz növekedést a MÁV-nál a 4-es számú ábra szemlélteti:



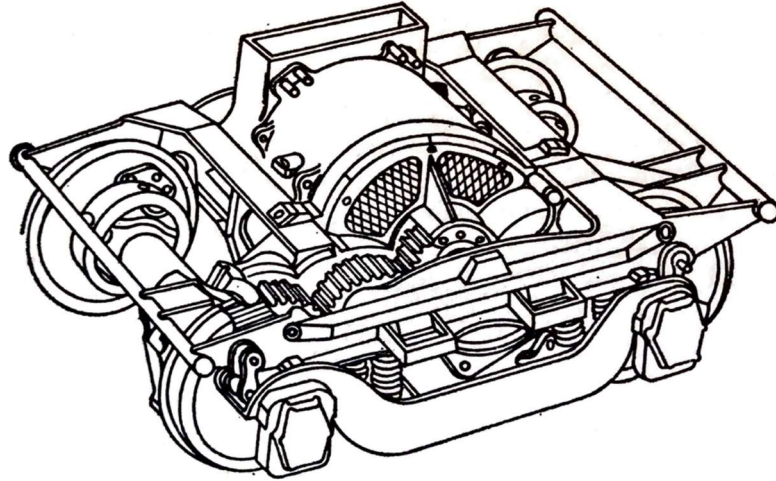
4. ábra: MÁV hálózaton villamosított vonalak növekedése (Lovas 1986.)

A nagyobb ütemben megkezdődött villamosítás szükségessé tette megfelelő darabszámú és teljesítményű új villamos vontatójárművek beszerzését, így került sor időközben a Arbeits-Gemeinschaft für Planung und Durchführung von 50 Hz Bahnelektrifizierung munkaközösségnél 7 db V43 sorozatú szilícium-egyenirányítós mozdony megrendelésére. A Ganz Villamossági Művek és a Ganz- MÁVAG pedig megvásárolta a sorozat gyártási licenciáját. Ez a mozdony típus lett a VM 14 gyári típusjelű 2220 kW (3000 LE) teljesítményű, B'B' tengelyelrendezésű, 80 t tömegű, 130 km/h legnagyobb sebességű V43 sorozatú villamos mozdony. A sorozattal szemben támasztott fontos vontatási követelmény volt, hogy egyaránt alkalmas legyen személyvonati és tehervonati vontatási szolgálat ellátására. A V43 sorozatú mozdony jellegrajzát az 5-ös számú ábra szemlélteti:



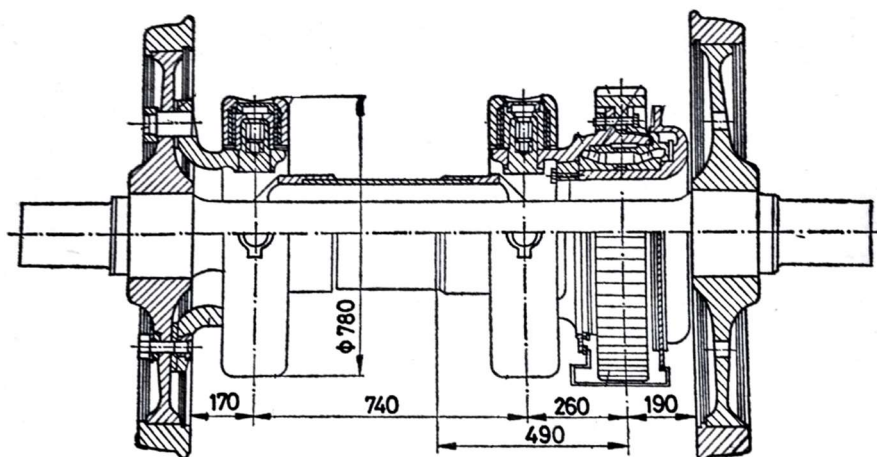
5. ábra: V43 sor. villamosmozdony jellegrajza (Lovas 1986.)

A négy tengelyes mozdony szerkezetének jellegzetessége, hogy a két Jacquemin-rendszerű forgóvázban csak egy-egy vontatómotor van, amely mindkét kerékpárt hajtja a vele összeépített fogaskerék-hajtóművel kardántengelyek segítségével. A V43 sorozatú mozdony forgóvázát szemlélteti a 6-os számú ábra:



6. ábra: V43 sor. villamosmozdony Jacquemin forgóváza (Lovas 1986.)

A forgóváz kéttengelyes, forgócsap nélküli, egymotoros Jacquemin típusú. A forgóváz áll a futóműből, hordműből, a hajtóműből, fékberendezésből és egyéb segédüzemi szerelvényekből. A futómű a csőtengelyes és kardánhajtású kerékpárból, valamint az Isothermos típusú siklócsapágyas tengelyágyból áll, melyet az 7-es számú ábra szemléltet:



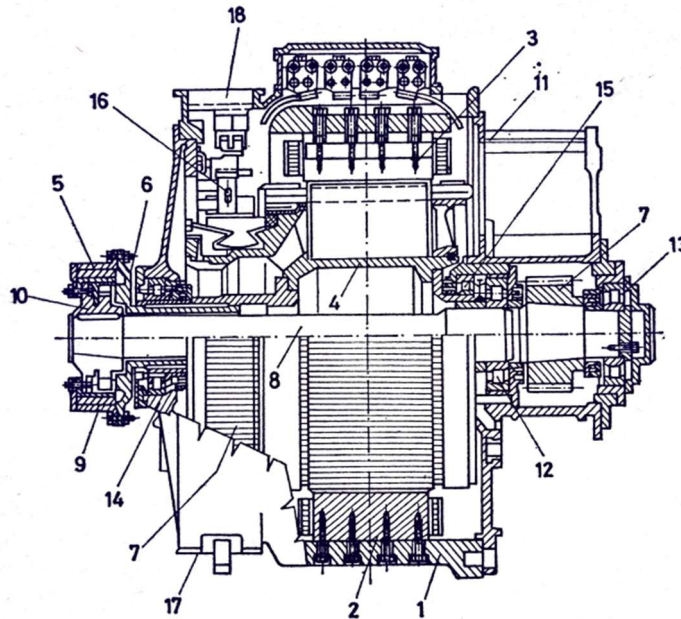
7. ábra: V43 sor. villamosmozdony kerékpárja (Lovas 1986.)

A tengelyág a kerékpár tengelyének függőleges síkjában képes elmozdulni, ugyanis az ágycsészére egy betéten keresztül támaszkodik fel a tengelyágytok, amit segít, hogy a betét felső felülete ívelt. A tengelyágytok betétre támaszkodó része sík felületű. A fehérfém bélésű csapágycsésze és a tengely közötti kenéshez szükséges olajat szórólapát szállítja, mely a tengellyel együtt forog. A kerékpárok oldalirányú megvezetését a hajtóműszekrény biztosítja, így a tengelyágycsészék homlok felületei nem fekszenek fel. A hordmű áll a kiegyenlítő himbából, a hordrugózásból és a lengéscsillapítóból. A tengelyágytok külső felületére támaszkodik fel a himba, amely oly módon rögzíti az ágytokokat, hogy azok ne legyenek képesek elfordulni.

A forgóvázban elhelyezett, teljesen rugózott vontatómotor két közbenső fogaskereket hajt, amelyek a háromkerekű hajtásnak megfelelően kapcsolódnak a nagy fogaskerekhez. A vontatómotor forgórészének tengelye belül üreges, a motor nyomatéka a rugalmas tengelykapcsoló segítségével adódik át a forgórészen átnyúló félkardántengelyekre. A vontatómotorból kinyúló félkardántengely végére került felékelésre a kisfogaskerék. A félkardántengelyt csapágyazása a kisfogaskerék mindkét oldalán, a fogaskerékszokrányban került kialakításra. A fogaskerékszokrány és a vontatómotor hajtás oldali pajzsa merev szerkezeti egység. Ezen kialakítás miatt a félkardántengelynek csupán a gyártási tűréseket szükséges kiegyenlítenie, a rugalmas tengelykapcsoló csökkenti a fogaskerekre ható dinamikus erőhatásokból származó igénybevételeket. Mind a közbenső és az üreges agyú nagy fogaskerek is a fogaskerékszokrányban lettek megcsapágyazva. A nagyfogaskerék agyát a túloldali keréktárcsával gumicsuklás, üreges kardántengely köti össze, amelynek üregén vezet át a kerékpártengely.

2.4. A V43 sorozatú mozdony SW- vontatómotorja

A V43 sorozatú mozdony vontatómotorjának keresztmetszeti ábráját a 8-as számú ábra szemlélteti:



8. ábra: V43 sor. villamosmozdony SW vontatómotorja (Lovas 1986.)

A 8. ábrán látható a hullámos egyenáramú, nyolc pólusú, soros SW vontatómotor a tömör állórészkoszorúval 1, a segédpólussal 2 és a lemezelt főpólussal 3. A motor üreges hajtótengellyel 4 rendelkezik, amin keresztül a rugalmas tengelykapcsoló 5 viszi át a hajtó nyomatékot a belső, kisfogaskereket 7 hajtó hajtótengelyre 8. A rugalmas tengelykapcsoló szintetikus gumigyűrűje 9, amely a külső gyűrűt 6 összeköti a belső gyűrűvel 10, létrehozza a kb. 15°-os elfordulás után bekövetkező felütközésig a rugalmas erőátvitelt. Az SW vontatómotor szerves részét képezi a forgóváznak. A kisfogaskerék oldali csapágy pajzs 11, a hajtómű szerves része. A hajtótengely ebben a pajzsban csapággal 12-13 került megcsapágyazásra. A vontatómotor-állórészhez kapcsolódnak a ferde vonórudak, melyek a vonóerőt a forgóvázról az alvázra viszik át. A kefehídon helyezkednek el a körbe forgatható kefetartók 16. A rendszer nyolc kefesorának mindegyikében az osztott 16X40X55 mm méretű kefék találhatóak, ellenőrzésük és cseréjük az alsó kezelőnyíláson 17 keresztül lehetséges úgy, hogy a kefesort előbb a kezelőnyílás felé szükséges forgatni. A levegőt a géptérből szívja be a vontatómotor-szellőző és a kommutátor oldalon levő nyíláson 18 keresztül nyomja be. A szellőző levegő a kisfogaskerék közelében található nyílásokon át áramlik a szabadba. A motor kommutációját az állandó sönt javítja, mely a vontatómotor állórész -tekercselésével párhuzamosan került kapcsolásra. A sebességet, vagyis a motor fordulatszámát a névleges motorfeszültség elérése után mezőgyengítéssel növelik. Az első sönt fokozatban viszonylag nagy a főpólussal párhuzamosan kapcsolt ellenállás, a többi fokozatban folyamatosan csökkentik a söntellenállást. A negyedik söntfokozat

állórészgerjesztése az eredetinek megközelítőleg 42 %-a. Az induktív sönt, valamennyi söntfokozatban bekapcsolásra került.

2.5. A csoport hajtás összegzése

A csoporthajtás 1960-as években azért terjedt el széleskörűen, mert az akkori kor technológiája nem tette lehetővé kis méretű vontatómotorok beszerelését, amelyek tengelyenként beépítve elfértek volna. Így a V43 sorozatú mozdony Jacquemin rendszerű forgóvázának tervezésekor egyetlen nagyméretű vontatómotor került beépítésre, mely fogaskerék csoportokon keresztül hajt ki az egyes tengelyekre. A csoport hajtásnál a hajtás hajtómű csoportokra oszlik szét. Ezáltal a hajtás legtöbb eleme rugózott tömegű lesz. Ezzel a hajtási rendszerrel alapvetően két probléma került kiküszöbölésre, egyrészt hajtómű csoportokra lett szétosztva a hajtás, ezáltal a súrlódás jobban kihasználásra kerül, ez a tényező forgóvázakra tagolódik szét. Másrészt, megszűnik a rudazatos hajtásnál jelentkező ívbeállás probléma. A rendszer hátránya, hogy a klasszikus királycsapos felfüggesztési megoldás ennél a forgóvázánál nem alkalmazható. A használatnál a karbantartási oldalon fontos megemlíteni, hogy a csoporthajtás elemeit csak akkor lehet javítani, ha a komplett forgóvázat a mozdony alól kikötik és kigurítják. Technológiáját tekintve a rendszer precíz szerelése és a bonyolultsága kiemelt tényezővel bír, így karbantartási oldalon valamelyest költséges a csoporthajtási rendszer javítása. Szerelésnél kiemelt figyelmet szükséges fordítani az egyes fogaskerekek egytengelyűségére, precíz illesztést igényelnek, máskülönben a hajtás rendkívül zajos lesz és jóval a tervezett avulási idő előtt meghibásodás történik.

2.6. Az egyedi hajtási rendszer bemutatása

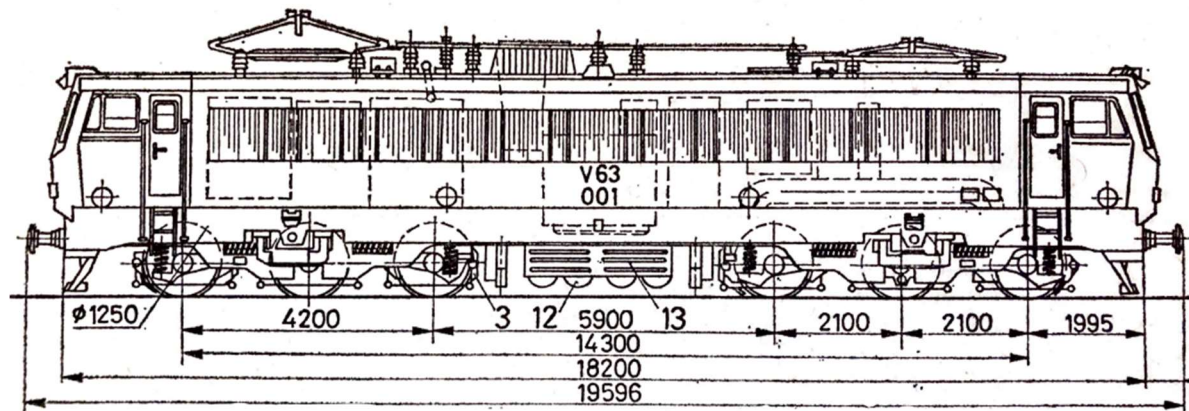
2.6.1. V63 sorozatú villamosmozdony

Az 1970-es évek elejére a V43 sorozatú villamos mozdony biztosította a MÁV villamosmozdony járműállagának tetemes részét. A korábbi villamosmozdony típusokkal szemben a V43 sorozat jelentős fejlődést mutatott, azonban a társvasutaknál futó személy és tehervonatok fajlagos teljesítményét figyelembe véve (kW/t), a mozdony sorozat teljesítménye még mindig nem volt kielégítő. Különösen kedvezőtlen volt a fajlagos

teljesítmény a nagy terhelésű tehervonatok továbbításakor, amely tényező mind vasútiüzemi (kis gyorsítóképesség), mind pedig energiagazdasági tényezők alapján hátrányos volt. Mindezek eredményeként 1971-ben a MÁV megbízta a Ganz Villamossági Műveket és a Ganz-MÁVAG-ot egy nehéz tehervonatok megfelelő színvonalú továbbítására alkalmas, nagyteljesítményű villamosmozdony- típus kifejlesztésére.

A megbízás alapján 1974-ben elkészült a VM15 gyári típusjelű, MÁV V63 sorozatú, 3677 kW (5000 LE) teljesítményű, Co'Co' tengelyelrendezésű, 116 t tömegű, 120 km/h legnagyobb sebességű, tirisztoros villamosmozdony első két prototípusa, a V63-001 és V63-002.

A V63 sorozatú mozdony jellegrajza az 9-es számú ábrán látható:



9. ábra: V63 sor. villamosmozdony jellegrajza (Lovas 1986.)

A mozdonytípus sorozatgyártása 1981-ben kezdődött el, a kezdeti üzemi próbák rendkívül jó eredménnyel zárultak. A mozdony beépített villamos berendezései a V43 sorozatú mozdonyok gyártási, valamint a kísérleti célokból tirisztorossá alakított V42-001 és V43-1076 pályaszámú mozdonyok üzemi tapasztalati alapján került megtervezésre. A tirisztorok felhasználásával lehetségessé vált a mozdony folyamatos vonóerő- és sebesség szabályozása, szemben a V43 sorozatnál alkalmazott szilícium egyenirányítással, ahol a vontatási fokozatok emelése jól érezhető lökésszerű, tagolt gyorsítást eredményezett. A mozdony fenntartási igényessége csökkent, ugyanis a tervezésnél elhagyták a bonyolult rendszerű feszültség szabályozót. A mozdony egyedi hajtási rendszerrel rendelkezik, egy forgóvázában három, azaz tengelyenként egy darab sikló-marokágyas felfüggesztésű TC 700 gyári típusjelű vontatómotor található. A vegyes gerjesztésű 900 V névleges feszültségű kompenzáló tekercsekkel ellátott egyenáramú vontatómotorokat a főüzemi egyenirányító táplálja. A fokozatmentes mező gyengítést a vontatómotorok tirisztoros gyújtásszabályozású

gerjesztésével lehet elérni. Ennek célja kettős, egyrészt elmarad a korábban említett vonóerő ugrás, másrészt növelhető a mozdony tapadási tömegének kihasználása.

Az 10-es számú ábrán a V63-007 villamosmozdony TC vontató motorja látható beépítve a forgóvázba:



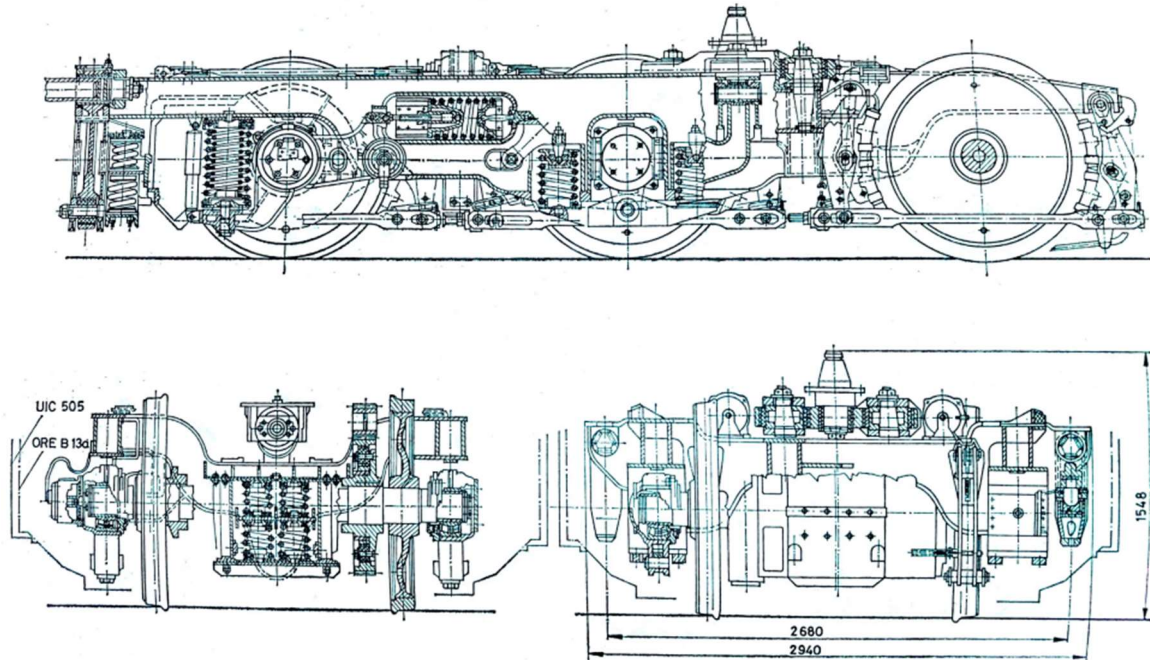
10. ábra: V63 sor. villamosmozdony TC vontatómotorja

(forrás: <https://vasutmania.blogspot.com/2011/10/mav-v63-sorozat.html>)

A főüzemi egyenirányító látja el a három-három, kompenzáló tekercsekkel ellátott, vegyes gerjesztésű vontató motorokat hullámos egyenárammal, egy közös simító-fojtótekercsen keresztül. Az egy forgóvázba beépített három vontatómotort egydarab, ugyanazon szellőztetőmotor hűti. A vontatómotorok vontatási üzem közben vegyes gerjesztésű sorosan kapcsolt egyenáramú motorokként működnek, féküzemben, azaz a mozdony fékezésekor, a külső gerjesztőtekercsek a vontatómotorokat generátornak gerjesztik fel. Emiatt, dinamikus fékezéskor a vontatómotorok forgórészére rákapcsolják a fékkontaktorok a fékellenállásokat. Ebben az üzemben a TC-vontatómotorok külső gerjesztésű generátorként működve alakítják a mozgási energiát villamos energiává, amely a fékellenállásokon hővé alakul. A felemelegedett levegő kifúvását az ellenállásszekrényből a fékellenállás-szellőztetők végzik. Az 1500 kW névleges teljesítményű villamos ellenállásfék üzemi elektrodinamikus fékereje fékezni képes a mozdonyt a pneumatikus fékrendszer használata mellett. A folyamatosan változtatható fékgerjesztés automatikusan gondoskodik a kívánt sebesség értéken tartásáról, a fékezőerő, valamint a fékterjesztés automatikus beállításával.

A mozdony futómű rendszerét 2 db UFC típusú forgóváz alkotja, forgóvázanként három tengellyel, amely teljesen azonos szerkezetileg az M63 sorozatjelű, DVM10 gyári típusjelű dízel-villamos mozdony forgóvázával.

A V63 sorozatú mozdony UFC forgóvázát a 11-es számú ábra szemlélteti:



11. ábra: V63 sor. villamosmozdony UFC forgóváza (Lovas 1986)

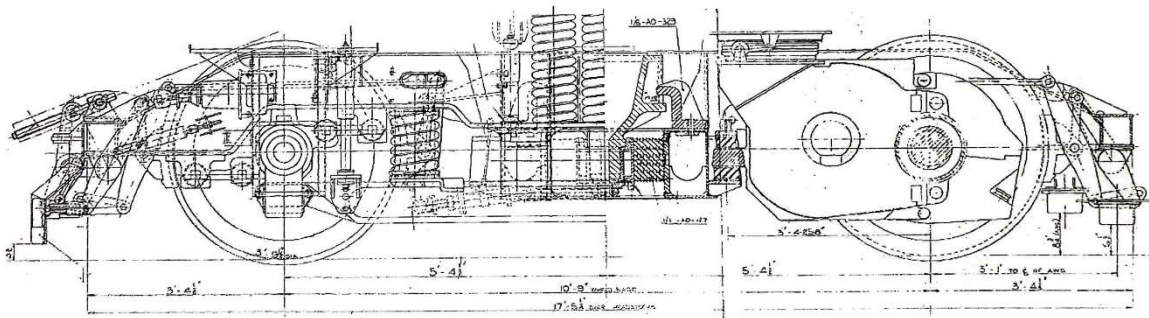
A mozdony hat darab sikló-marokcsapágyas vontatómotorral rendelkezik. A forgóvázak rugózását duplex rendszerű hordrugók biztosítják, melyek a forgóvázak végein a lengőkarokra támaszkodva helyezkednek el. A lengőkarok a forgóváz belsejében elhelyezett vízszintes hordrugóra hatnak, a rugó másik végén beépített szögemelő himbán át kapcsolódnak a középső tengely függőleges hatásvonalú hordrugóira, amely mintegy rugózási láncot alkot. A kerékpárok megvezetése a lengőkaroknál rugalmas, ezt a rugalmasságot szilentblokkok alkalmazása segíti elő a lengőkar bekötési pontokon. A közepén elhelyezkedő tengelyág merev vezetésű, a forgóváz vízszintes és függőleges lengéseit dörzstárcsás lengéscsillapítók mérséklék. A kerékpárok tengelyei kétsoros, önbeálló, zsírkenésű görgőscsapágy alkalmazásával került megcsapágyazásra. A vontatómotorok rugózott tömege a forgóvázkeret rugózott nyomatóktámján nyugszik, másik oldala pedig az olajkenésű sikló-marokcsapágyára támaszkodik. Az olajkenést kenőpárna biztosítja kisebb sebességeknél, nagyobb sebességnél pedig a tengelyvégről hajtott olajszivattyú segít rá.

A sikló-marokcsapágyas felfüggesztésű TC 701 gyári típusjelű vontatómotorok a kerékpárokat fogaskerék áttételen keresztül hajtják. A V63 sorozatú mozdonyoknál az

áttételek három féle módon kerültek kialakításra. A prototípus mozdonyok 120 km/h legnagyobb sebességre alkalmas, míg kísérleti jelleggel két darab forgóváz 160 km/h sebességre, a sorozatgyártásba kerülő forgóvázak pedig 133,5 km/h sebességre készültek.

2.6.2. 450H sorozatú villamosmozdony

A 450H sorozatú villamosmozdony a Class86/2 típus besorolásba tartozik, az 1960-as évek második felében, Nagy-Britanniában gyártott mozdonytípus, gyártója a British Rail Doncaster Works. A mozdony típus 3013 kW (4098 LE) beépített gépezeti teljesítménnyel rendelkezik, személy és gyorsvonati vonatok továbbítására tervezve. Maximális, Angliában alkalmazható sebessége 110 mph. (177 km/h). A mozdony forgóváza Felexicoil rendszerű rugózással készült, forgóvázanként két tengelyes, SAB gumirugós kerékpárokkal szerelve. A mozdony forgóvázát a 12-es számú ábra szemlélteti:

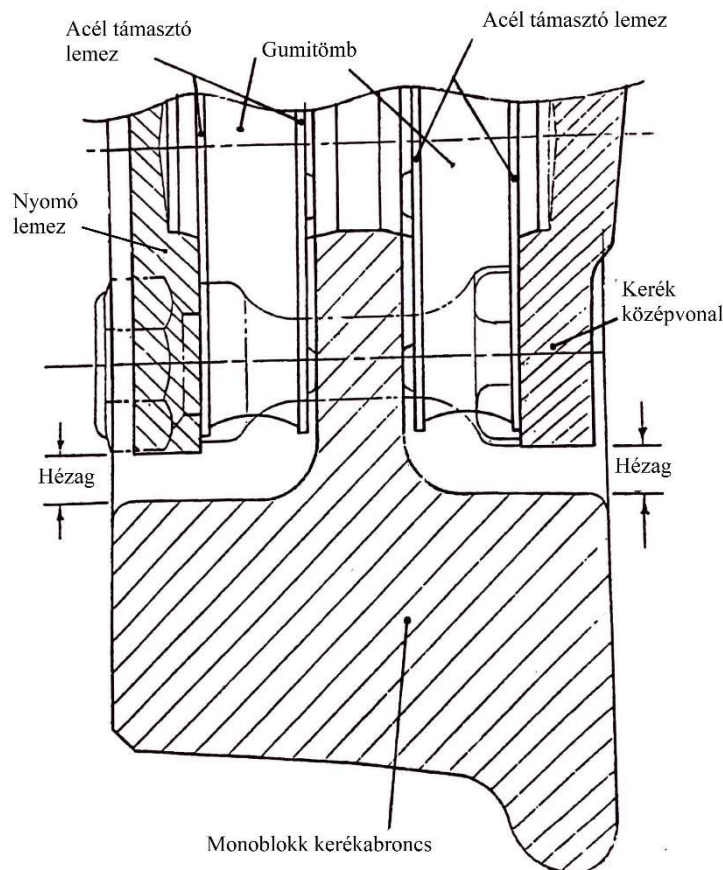


12. ábra: 450H sor. villamosmozdony forgóváza
(forrás: [TSU89/150 Class86 mozdony műszaki dokumentáció](#))

A Class 86/2 típusba tengelyenként egy-egy darab, hullámos egyenárammal táplált BZ 282 AEI típusú TC-vontatómotor került beépítésre, mely vontatómotorok teljesítménye egyenként 746 kW (1014 LE). A TC motorok felfüggesztése görgős-marokágyas rendszerű, félrugalmas kapcsolattal. A görgős marokágy csapágái, illetve támasztó felülete a tengelyre szerelve helyezkedik el. A támasztócső csavarkötéssel rögzül a TC vontatómotor oldalához, ezen alkatrész és a tengely között helyezkedik el a 4 db Timken gyártmányú kúpörgős marokágy csapágy, melynek feladata a motor súlyának átadása a forgóváz tengelyére.

Görgős-marokágy rendszer révén a vontatómotor súlyának fele rugózatlan tömegnek számít, ennek hátrányát a forgóváz homloktartójára billenő nyomatéktám hivatott csökkenteni.

A mozdonytípusnál fontos megemlíteni a SAB gumirugózású kerékabroncs felfüggesztést, mely rendszer az 1960-as években kiemelkedő technikai vívmánynak számított. A rendszer tervezésének lényege a mozdony által a pályára gyakorolt erőhatások csökkentése. A SAB rendszerű kerékpár abroncs metszeti képe a 13-as ábrán látható:



13. ábra: SAB gumirugós kerék metszeti ábra

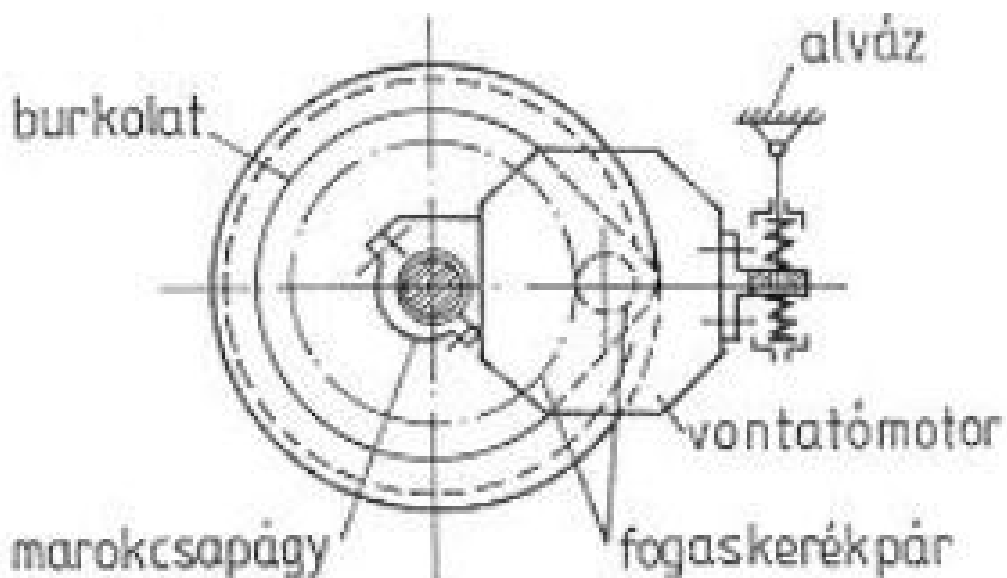
(forrás: [TSU89/150 Class86 mozdony műszaki dokumentáció](#))

A fővonalis alkalmazásban való használat során bebizonyosodott, hogy az abroncsba beépített gumipogácsák képesek ellenállni azon hőhatásnak, mely a keréktalp sínrel érintkező részén fékezéskor keletkezik, élettartama ezáltal nem csökken. A SAB rendszerű kerékpárok képesek a menetközben ébredő radiális, tangenciális és oldal irányú dinamikus erőhatások pályára történő átadásának csillapítására, ezáltal a sínszálak igénybevétele csökken. Ezen kerékpárok használata a mozdony karbantartási költségét is hatékonyan csökkentik, ami a

hajtásban résztvevő villamos és mechanikus alkatrészek csökkent terhelése okán figyelhető meg. A forgóváz és kerékpár főjavítások közötti időtartamok akár 20-50 %-val növelhetőek meg ezáltal. A technológiát az utazási komfort növelése érdekében számos gyártó a villamos és metró tervezésben is alkalmazta.

2.7. Az egyedi hajtás összegzése

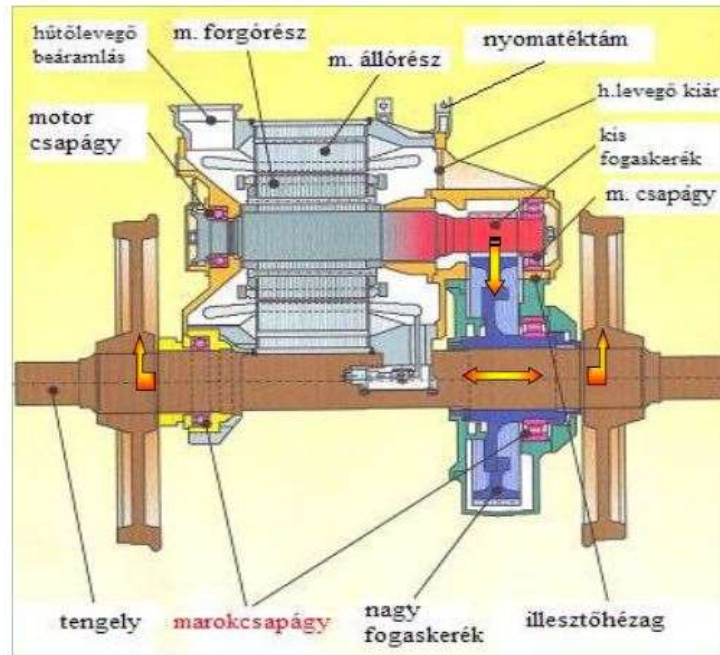
Az egyedi hajtásnál viszonylag kis átmérőjű vontatómotorokat használnak, amelyek a forgóvázkeretbe felülről technológiailag könnyen besüllyesztehetőek, ezért ezek a vontatómotorok kompaktak, méretük révén a forgóvázban elférnek, tengelyenként beépíthetőek. A TC vontatómotorok egyik oldalukon a meghajtott kerékpár tengelyére, mint rugózatlan tömeg támaszkodnak, mintegy markot alkotva, ezáltal biztosítva a fogaskerék-hajtás tengelytávolságát. Másrészt a rugózott nyomatótékon keresztül pedig a forgóvázkeretre támaszkodnak, amely biztosítja a motor vízszintes és függőleges irányú szöglengéseit. A marokcsapágyas vontatómotor-felfüggesztés sematikus vázlatát a 14-es ábrán látható:



14. ábra: Marokcsapágyas vontatómotor sematikus ábrája

(forrás: Zvikli; Vasúti járműszerkezetek)

A marokmány-rendszerek típusait tekintve beszélhetünk siklócsapágyas marokmányokról és görgős marokmányokról, utóbbi esetében létezik henger, kúp, hordógörgős és önbeálló hordógörgős kivitelben. A DB BR 152 típusú tehervonati mozdony hajtásának elvi ábrázolását szemlélteti a 15-ös ábra:



15. ábra: DB BR 152 típus hajtása
(forrás: Zvikli; Vasúti járműszerkezetek)

A bronz sikló- marokmánycsapágyak belső része fehérfém bélésű, azaz kopófelületként ón-bronz réteg található bennük. A siklócsapágyat szerelhetősége miatt két csapágyfél alkotja, ezeken keresztül a vontatómotor közvetlenül a kerékpár tengelyére támaszkodik fel. A csapágy és a tengely közti kenést olaj biztosítja kenőpárnán keresztül. A kenőpárna olaj ellátása történhet az olajtartályból a kapillárisokon keresztüli felszívódás útján vagy szivattyús kényszerrésegítéssel. A siklócsapágy-rendszerű marokmányak előnye a könnyű szerelhetőségben mutatkozik meg. A rendszer előnye, hogy súlyos meghibásodás esetén sem tud a kerékpártengely beállni, azaz blokkolni. A túlzott kopás eredményeként a csapágy kopási mérete tűrésmező tolerancián kívülre kerül, így a rendszer előbb elveszti a kenőanyagot, ezután vegyes majd száraz súrlódás alakul ki a csapágy belső felülete és a kerékpártengely felülete között.

A görgősrendszerű marokmány rendszerekre általánosságban elmondható a hosszabb csapágy élettartam. A Class86/2 típusú, 450H sorozatú villamosmozdony esetében a Timken

gyártómű által ajánlott futási élettartam egymillió mérföld. Ez összevetve a Ganz-MÁVAG V63 sorozatú villamosmozdonyának sikló-marokágycsapágyára tett élettartam ajánlásával szemben, közel kétszeres élettartam növekedést eredményez. A siklócsapágy üzemében kedvezőtlen tulajdonságként, túlzott hőhatás következtében jelentkező rézdiffúzió a kerékpár tengelyén nem lehetséges a görgős marokágycsapágyrendszerknél, valamint használatával a fehérfémbélés-réteg leválásának problémái is kiküszöbölhetőek, amelyek koptató hatásként jelentkeznek a kerékpár tengelyén és a csapágyfeleken. Ezáltal kijelenthető, hogy a kerékpártengely használati időtartama is hosszabbodást eredményez a görgős marokágycsapágyrendszer esetében.

3. A 450H SOROZATÚ VILLAMOSMOZDONY TENGELYHAJTÁS ÁTALAKÍTÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE

3.1. A tengelyhajtás módosításról

A Floyd Zrt. állagában levő **450 002** pályaszámú 450H sorozatú villamosmozdony vett részt először főműhelyi nagyjavítás keretei között 2017-ben, azon **átalakításon, mely alkalmasabbá tette a mozdonyt a nehéztehervonati üzem ellátására.** A nagyrevízió alapjaiban a teljes mozdony felújítását jelentette, többek között tartalmazta: a teljes járműszekrény javítását, főtranszformátor nagyjavítását, TC-vontatómotorok felújítását, a vezetőállás komfort- és ergonómiai szintjének korszerűsítését új ülésekkel, elektromos rolókkal, vezetőállás-klimatizálással, szoftveres mozdonyvezérlési felügyelettel. Ezen főműhelyi nagyjavítás keretében került sor a TC-vontatómotorok hajtásában az áttétel módosítására, a mozdonyba beszerelt új fogaskerékpár növelte az áttételezést. A szériában szerelt **26:61 áttételezésű személyvonati üzem** fogaskerékpárja a hajtásházból kiszereelésre került, ehelyett megkapta a **16:65-re módosított tehervonati áttétel** fogaskerékpárjait.

Ez az áttétnövelés játszott kulcsszerepet abban, hogy a mozdony alkalmasabb legyen a tehervonati üzemben való felhasználásra.

A felújított 450H sorozatú, 450 002 pályaszámú mozdony képe a 16-os ábrán látható:



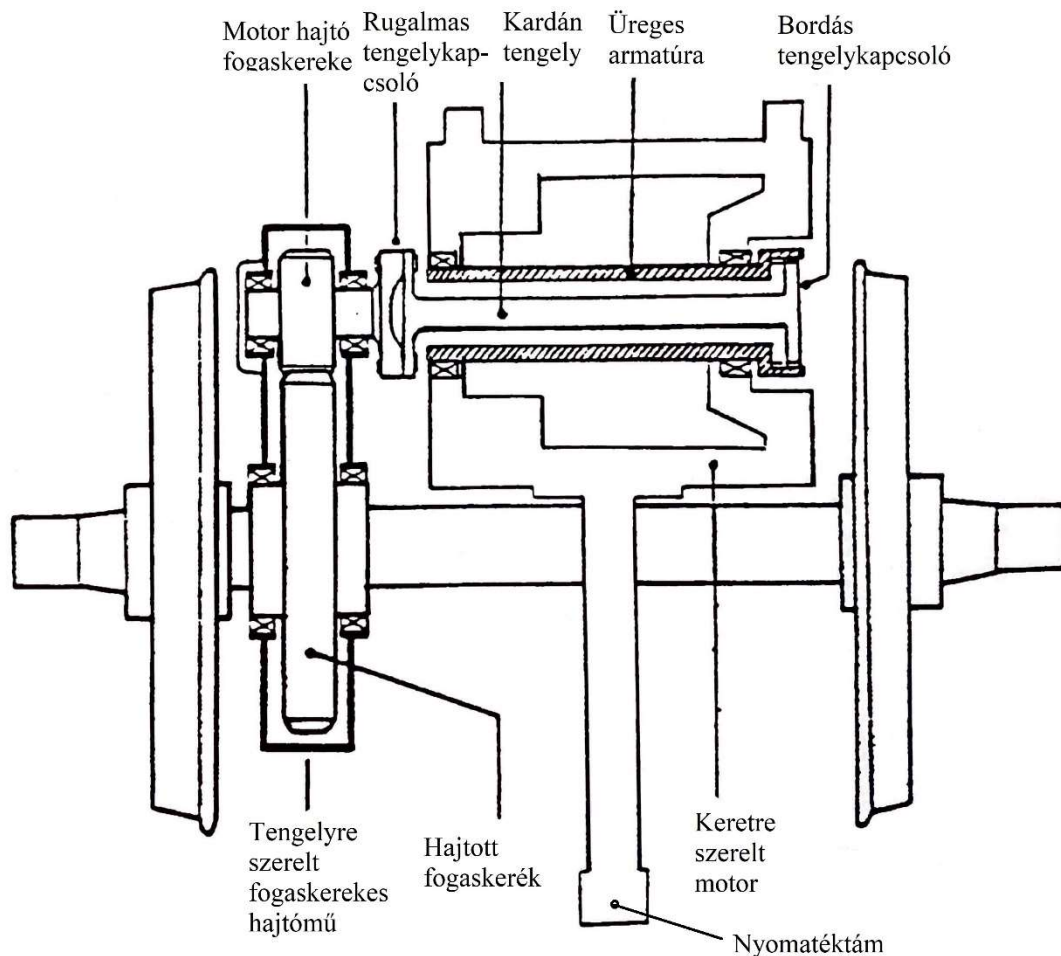
16. ábra: Floyd Zrt. 450H sor. 450 002 pályaszámú villamosmozdonya nagyjavítás után

(forrás: G. Tim-Co. Kft.)

A mozdony sorozatban eddig három mozdony kapott felújítást: a 450 002; 450 009 és 450 003 mozdonyok.

A fogaskerekek a mozdony forgóvázain belül, a hajtásházakban helyezkednek el, általuk a TC-vontatómotorok tengelyeiről kerül átadásra a hajtási energia a mozdony kerékpárjaira. A mozdony négy tengelyes, tengelyenként egy-egy TC-vontatómotor vesz részt a hajtásban. A TC motorok egy fogaskerékpár kapcsolatán keresztül hajtják ki a kerékpárokat. A fogaskerékpár két fogaskerék kapcsolatát jelenti, melyben az egyik egy nagyobb, hatvanötfogú fogaskereket, a másik egy kisebb, tizenhatfogú fogaskereket foglal magában. A nagy fogaskerekek a kerékpárok tengelyeire, míg a kis fogaskerekek a BZ 282 AEI TC-vontatómotorok tengelyére kerülnek felsajtolásra. Összeszerelt rendszerénél a fogaskerekek között menetközben a távolság a lengések hatására nem változik, a fogak között tisztán alakzáró kapcsolat van folyamatosan.

A mozdony tengelyhajtásának sematikus ábráját a 17. ábra szemlélteti:



17. ábra: 450H sor. villamosmozdony tengelyhajtás sematikus ábrája

A TC-vontatómotorok felfüggesztése hárompontos, kúpos gumiszerelvényekre történik. Ezek közül kettő elől van, a harmadik pedig a nyomatéktámon, hátul helyezkedik el. Az armatúrából a nyomaték az üreges armatúra közepén keresztül haladó üreges tengely egyik végén levő fogaskerekes típusú tengelykapcsolón halad keresztül. Innen a nyomaték egy rugalmas, gumiperselyes tengelykapcsolón keresztül egy tengelyre szerelt, egylépcsős, fogaskerekes hajtómű fogaskerekének tengelyéhez halad. A tengelyhajtó nagy fogaskerék felsajtolással, közvetlenül a kerékpár tengelyre kerül felszerelésre.

A mozdonyok felújításánál elhagyásra került a korábban alkalmazott SAB rendszerű, gumirugós abroncsú kerékpárok alkalmazása. Helyettük új, 1152 mm névleges átmérőjű tömbkerekekkel szerelt kerékpárok kerültek beépítésre, melyek a tehervonati üzemben használt mozdonyok vontatási energia átadását a kerék-sín kapcsolatban valamelyest növelni tudták. A 18. ábrán látható a kiszerelt, felújított forgóváz, melybe már beépítésre kerültek a monoblokk kerékpárok és a kerékpárokra felsajtolt, tehervonati áttételezésű 65 fogú, nagy fogaskerekek.



18. ábra: A 450 003 mozdony felújított forgóváza az új fogaskerékkel
(forrás: saját készítésű felvétel)

A 450H mozdonysorozat **BZ 282 AEI** TC-vontatómotorokkal van felszerelve, a tehervonati üzemre alakítás során a vontatómotorok átalakításon nem vesznek részt, továbbra is a széria motorok kerülnek beépítésre, felújított állapotban, névleges teljesítményük 746 kW (1000 LE). A felújítás során a motorok tengelyére a tehervonati üzemre módosított, 16 fogszámmal rendelkező fogaskerekek kerülnek beépítésre. A BZ 282 AEI típusú TC-vontatómotort a 19-es ábra szemlélteti, melyen még a régi, személyvonati áttételű, 26 fogú fogaskerék látható, nagyjavítás előtti állapotban:



19. ábra: 450H sorozatú villamosmozdony BZ 282 AEI típusú vontatómotorja

(forrás: saját készítésű felvétel)

3.2. A tengelyhajtás módosítás alapelvei

A 450H sorozatú villamosmozdony tengelyhajtás átalakításának két fontos lényegi eleme van avégett, hogy a tehervonati üzemre alkalmasabbá váljon a mozdony:

- **egyrészt, a vontatójármű kritikus sebessége lecsökkenjen,**

A kritikus sebesség az a sebesség, amely elérésétől a vontatójármű teljes vontatási teljesítményét ki lehet használni. Tehervonatnál lényeges szempont, hogy minél kisebb sebességtől, a teljes vontatási teljesítmény rendelkezésre álljon. Mindez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a Class86/2 típusú mozdony eredeti vonóerő-sebesség jelleggörbéjén a kritikus sebesség munkapontját lejjebb kell hozni.

- **valamint, a teljes sebességtartományon gépezeti vonóerő magasabb legyen.**

A nehéz tehervonati üzem során kifejezetten előnyös, ha a mozdony az elegy megindításakor magasabb indító-vonóerővel rendelkezik, a magasabb vonóerő értékeket pedig képes a közlekedtetendő tehervonat teljes sebességtartományán kifejtetni. Mindezt amellett, hogy a mozdony beépített gépezeti teljesítménye nem kerül változtatásra.

A fenti két tényező pozitív változását a hajtásban, a fogaskerék áttétel módosítás eredménye által tudjuk elérni.

Dolgozatom kiinduló alapjául szolgál, a 450H sorozatú villamosmozdony gyári műszaki dokumentációjában megadott eredeti vonóerő-sebesség diagram. Fontos megemlíteni, hogy a gyári műszaki dokumentációban vontatási-mérési eredmények nem állnak rendelkezésre az új áttétellel valóban kialakuló vonóerő-sebesség viszonyokról. Ezért, szakdolgozatom kiindulási alapja, miszerint a mozdony beépített gépezete változatlan, a vontatómotorok tulajdonságai szintén változatlanok, a különbség mindösszesen a módosított tengelyhajtás áttételben található. Ennek a tengelyhajtás módosításnak a hatását vizsgálom és elemzem aszerint, hogy ez a módosítás hogyan tette alkalmasabbá a 450H sorozatú villamosmozdonyt a tehervonati üzemre.

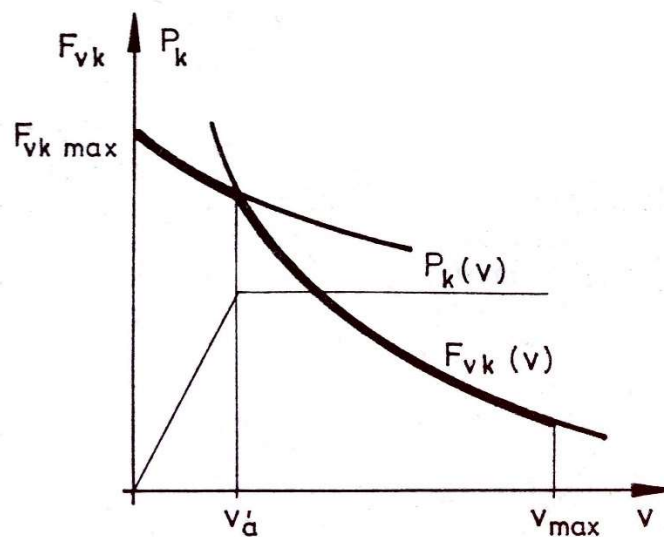
3.3. A vonóerő-sebesség jelleggörbe szerepe, jelentősége

A vonóerő-sebesség jelleggörbe a vontatójármű felhasználhatóságára utaló diagram, ami megmutatja, hogy:

- a járműnek az egyes sebességeken mi a legnagyobb állandó vonóereje, amit ki tud fejteni sík pályán,
- megmutatja, hogy mi a legnagyobb kifejthető indító-vonóerő,
- megmutatja, hogy honnantól lehet a teljes teljesítményt a vontatásra kihasználni,
- megmutatja, hogy mekkora a legnagyobb elérhető sebessége a vontatójárműnek.

Ezen paraméterek a mozdony felhasználásához szükséges legfontosabb vontatási paraméterek, melyet a vontatójárművet használó vasúttársaságnak az elegytovábbítás tervezéséhez feltétlenül ismernie kell.

Az elméleti vonóerő-sebesség jelleggörbe elvi ábrázolása a 20-as számú ábrán látható:



20. ábra: Elméleti vonóerő-sebesség jelleggörbe (Bencsik 1984.)

ahol:

F_{vk} : a kerületi vonóerő [kN],

$F_{vk \max}$: a kifejthető legnagyobb kerületi vonóerő [kN],

v_a : állandó vagy kritikus sebesség [km/h],

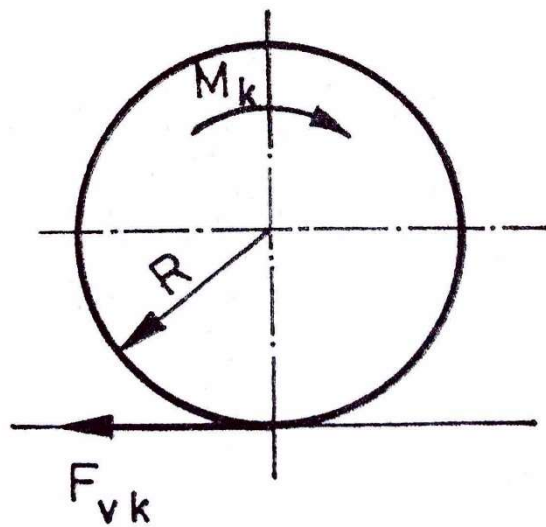
P_k : a kerületi teljesítmény [kW].

A görbének két fő szakasza van, az első az adhéziós, vagyis tapadási szakasz, a második pedig az állandó teljesítményű szakasz. Ezen két görbe metszéspontja két fontos jellemző adatot tartalmaz, a kritikus sebességet és az állandó vonóerőt.

A kritikus sebesség az a sebesség, ahol a teljes vontatási teljesítmény kihasználható, az állandó vonóerő pedig a kritikus sebességhez tartozó legnagyobb gépezeti vonóerő.

A vonóerő-sebesség jelleggörbe a gyakorlatban felülről határolja be azt a jellegmezőt, amibe a mozdony munkapontjai kerülhetnek, felette nincs elég vontatási teljesítmény az állandó teljesítményű szakaszon. Az adhéziós szakaszon a görbe felé növelve a vonóerőt, a kerék kipörög.

A kerék és a sín felülete között fellépő súrlódás teszi lehetővé az F_{vk} kerületi vonóerő kifejtését melyet a 21. ábra szemléltet:



21. ábra: Az F_{vk} kerületi vonóerő kifejtése

A fentiek alapján a kerületi vonóerő a következő összefüggés szerint számítható:

$$F_{vk} = \frac{M_k}{R} \text{ [kN]} \quad (1)$$

ahol:

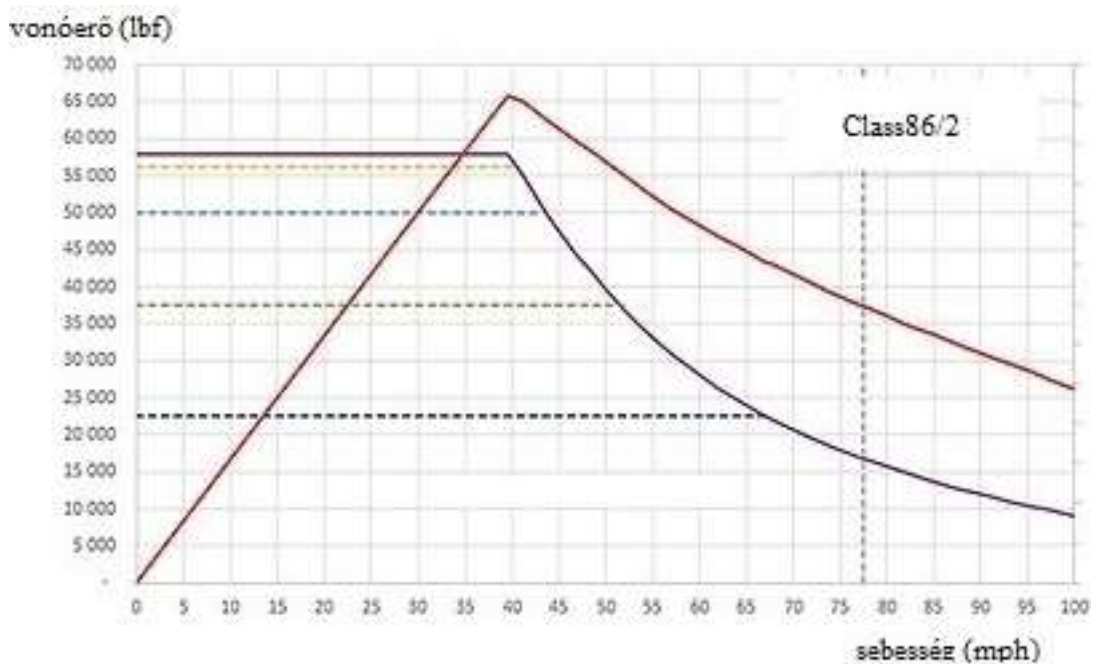
M_k : A vontatójármű hajtott kerékpárjára átvitt nyomaték [kNm],

R : Keréksugár [m].

3.4. A tengelyhajtás-módosítás számítása

A kiindulási alap, miszerint a TC-vontatómotorok természetes vontatási jelleggörbjét az eredeti vonóerő-sebesség diagram a teljesítménykorlátos szakaszon leköveti. Ezért első lépésben az eredeti vonóerő-sebesség diagramból visszszámolom az eredeti áttétellel, a motor fordulatszám-nyomaték jelleggörbjét.

Az eredeti vonóerő-sebesség diagram a gyártó műszaki dokumentumtárából elérhető. A személyvonati 26:61 áttétellel rendelkező Class86/2 típusú villamosmozdony eredeti vonóerő-sebesség diagramja a 22-es számú ábrán látható:



22. ábra: Class86/2 típusú villamosmozdony eredeti vonóerő-sebesség diagramja

(forrás: <https://www.railtechnical.com/class-86>)

Az eredeti vonóerő-sebesség diagram alapján táblázatba rendezve felvettem az egyes sebességekhez [mph] tartozó vonóerő [lbf] értékeket, mely értékek az 1. számú táblázatban láthatóak.

1. táblázat: Sebesség-vonóerő értékek angolszász mértékegységben

v [mph]	F [lbf]
0	57632
10	57632
15	57632
20	57632

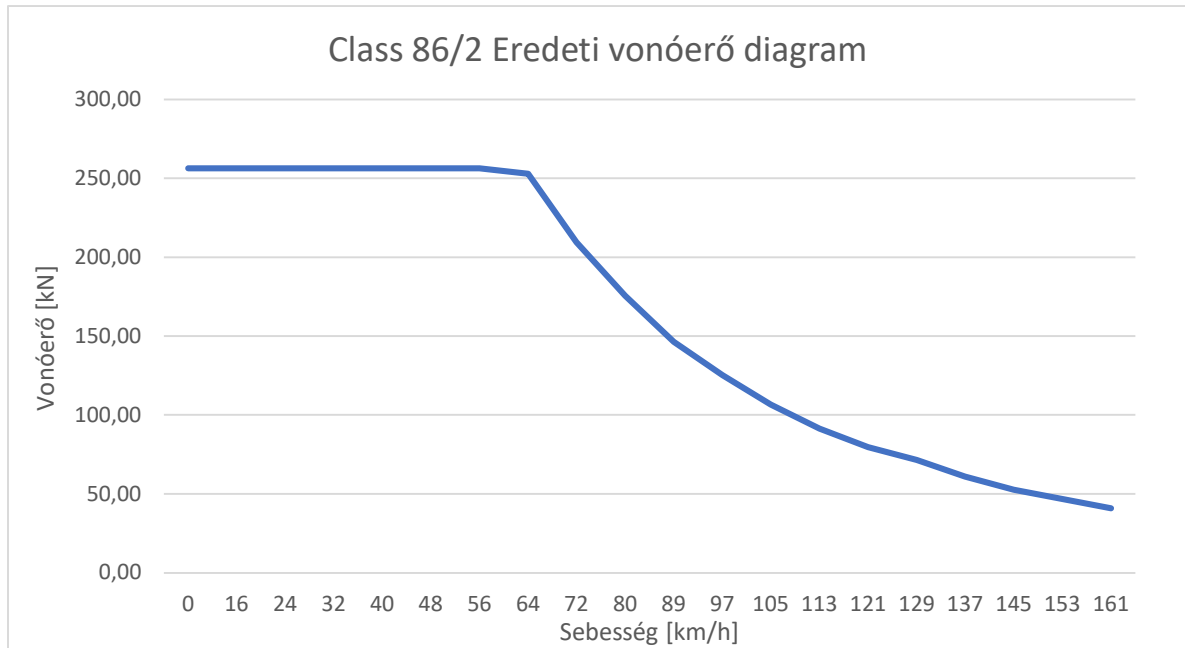
v [mph]	F [lbf]
25	57632
30	57632
35	57632
40	56842
45	47105
50	39473
55	32894
60	28157
65	23947
70	20526
75	17894
80	16052
85	13684
90	11842
95	10526
100	9210

Az angolszász mértékegységben levő sebesség-vonóerő értékeket átváltottam a magyar vasúti üzemeltetésben használatos v [km/h] és F [kN] vontatási értékekre, melyet a 2. számú táblázat tartalmaz.

2. táblázat: Átváltott sebesség-vonóerő értékek

v [km/h]	F [kN]
0	256,36
16	256,36
24	256,36
32	256,36
40	256,36
48	256,36
56	256,36
64	252,85
72	209,53
80	175,58
89	146,32
97	125,25
105	106,52
113	91,304
121	79,596
129	71,403
137	60,869
145	52,676
153	46,822
161	40,968

A kapott értékek alapján megszerkesztettem a Class86/2 típusú mozdony eredeti vonóerő-sebesség jelleggörbáját, melyet a 23-as számú ábra szemlélteti:



23. ábra: Class86/2 eredeti vonóerő-sebesség diagram

Ezt követően, a 2. számú táblázat sebesség értékét a további számításokhoz SI-re váltottam át, melyet a 3. számú táblázat tartalmaz.

3.táblázat: Sebesség-vonóerő értékek (v értéke SI-ben)

v [m/s]	F [kN]
0	256,36
4	256,36
7	256,36
9	256,36
11	256,36
13	256,36
16	256,36
18	252,85
20	209,53
22	175,58
25	146,32
27	125,25
29	106,52
31	91,304
34	79,596

v [m/s]	F [kN]
36	71,403
38	60,869
40	52,676
42	46,822
45	40,968

3.4.1. Egy kerékpár tengelyén adódó hajtónyomaték számítása

A kerékpár tengelyén adódó hajtónyomaték számítása a személyvonati áttételnél a következő összefüggések szerint történik:

Mivel ugyanazon forgó rendszeren belül $M = \text{áll.}$ és $n = \text{áll.}$; feltételezzük a következő nyomatéki-egyensúlyi alapegyenletet a TC-vontatómotor kis meghajtó fogaskereke és a hajtott kerékpár nagy fogaskereke között:

$$M_1 \cdot \omega_1 = M_2 \cdot \omega_2 \quad (2)$$

ahol:

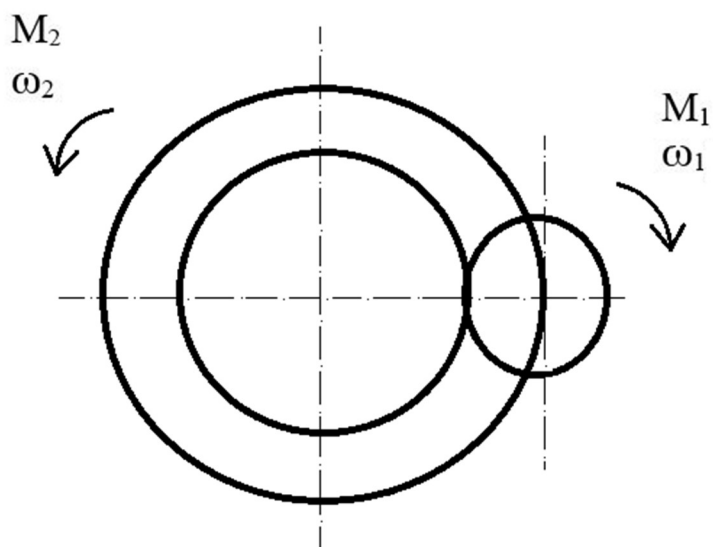
M_1 : A TC-vontatómotor kis fogaskerekén ébredő hajtónyomaték [kNm],

ω_1 : A TC-vontatómotor kis fogaskerekének szögsebessége [1/s],

M_2 : A hajtott kerékpár fogaskerekén ébredő hajtónyomaték [kNm],

ω_2 : A hajtott kerékpár fogaskerekének szögsebessége [1/s].

A nyomatéki-egyensúlyi alapegyenletben szereplő tagok elhelyezkedését a hajtásban a 24-es számú ábra szemlélteti:



24. ábra: A hajtásrendszerre felírható nyomatéki-egyensúlyi alapegyenlet tagjai

Felhasználva a következő összefüggéseket:

$$n_2 = \frac{v_k}{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)} \text{ [1/s]} \quad (3)$$

ahol:

n_2 : A hajtott kerékpár fogaskerekének fordulatszáma [1/s],

v_k : A hajtott kerékpár kerületi sebessége [m/s],

D : A hajtott kerékpár átmérője [m].

A Class86/2 típusú mozdony kerekének névleges átmérője 1152 mm.

Valamint,

$$M_2 = \frac{F}{4} \cdot R \text{ [kNm]} \quad (4)$$

ahol:

M_2 : A hajtott kerékpár kerekén ébredő hajtó nyomaték [kNm],

F : A hajtott kerék sínnel érintkező felületén ható erő (kerületi vonóerő) [kN],

R : A kerék sugara [m].

A 4-es számú táblázat értékeit kapjuk:

4. táblázat: Egy kerékpár tengelyén adódó hajtónyomaték személyvonati áttétel esetén

n₂ [1/s]	M₂ [kNm]
0	36,92
1,2	36,92
1,9	36,92
2,5	36,92
3,1	36,92
3,7	36,92
4,3	36,92
4,9	36,41
5,6	30,17
6,2	25,28
6,8	21,07
7,4	18,04
8,0	15,34
8,7	13,15
9,3	11,46
9,9	10,28
10,5	8,77
11,1	7,59
11,7	6,74
12,4	5,90

3.4.2. Egy TC-vontatómotor fogaskerekén adódó hajtónyomaték számítása

Az egy vontatómotor fogaskerekén adódó hajtónyomaték számítása a személyvonati áttételnél a következő összefüggések szerint történik:

Felhasználva a korábban felírt nyomatéki-egyensúlyi alapegyenletet, igaz az, hogy:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{26}{61} = 0,4262 \quad (5)$$

Tehát, a személyvonati áttétel értéke 0,4262.

Felhasználva a következő összefüggéseket:

$$n_1 = n_2 \cdot \frac{1}{\omega_2/\omega_1} [1/s] \quad (6)$$

ahol:

n₁: A hajtó motor fogaskerekének fordulatszáma [1/s],

n₂: A hajtott fogaskerék fordulatszáma [1/s],

ω₁: A hajtó motor fogaskerekének szögsebessége [1/s],

ω₂: A hajtott fogaskerék szögsebessége [1/s].

Valamint,

$$M_1 = M_2 \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} \text{ [kNm]} \quad (7)$$

ahol:

M_1 : A hajtó motor fogaskerekén adódó hajtónyomaték [kNm],

M_2 : A hajtott kerékpár kerekén adódó hajtónyomaték [kNm],

ω_1 : A hajtó motor fogaskerekének szögsebessége [1/s],

ω_2 : A hajtott fogaskerék szögsebessége [1/s].

Az 5-ös számú táblázat értékeit kapjuk meg:

5. táblázat: Egy motor fogaskerekén adódó hajtónyomaték személyvonati áttétel esetén

n_1 [1/s]	M_1 [kNm]
0	15,735
2,90	15,735
4,35	15,735
5,80	15,735
7,25	15,735
8,70	15,735
10,15	15,735
11,60	15,519
13,05	12,861
14,50	10,777
15,95	8,981
17,40	7,687
18,85	6,538
20,30	5,604
21,75	4,885
23,20	4,382
24,65	3,736
26,10	3,233
27,55	2,874
28,99	2,515

3.4.3. Visszafelé történő számítás, tehervonati áttétellel

Mivel gyári mérési eredmények és motor jelleggörbék nem állnak rendelkezésre az új tehervonati áttétellel valóban kialakuló vonóerő-sebesség viszonyokról, abból indulok ki,

hogy a mozdony beépített gépezete változatlan, a különbség mindösszesen a tengelyhajtások áttételében van.

Így, mivel a motorok természetes jelleggörbáját leköveti az eredeti vonóerő-sebesség diagram, ezért visszszámolom a motor fordulatszám-nyomaték jelleggörbáját és abból az új hajtással vissza számolom a mozdony vonóerő-sebesség jelleggörbáját.

Ezek alapján, kiszámolom az egy kerékpár tengelyén adódó hajtónyomatékot, tehervonati áttétellel, a következő összefüggéseket felhasználva:

A tehervonati áttétel számítása:

$$\frac{\omega_2'}{\omega_1'} = \frac{16}{65} = 0,2462 \quad (8)$$

ahol:

ω_1' : A hajtó motor fogaskerekének szögsebessége a tehervonati áttételnél [1/s],

ω_2' : A hajtott fogaskerék szögsebessége a tehervonati áttételnél [1/s].

Valamint,

$$n_1' = \frac{n_1}{\frac{1}{\omega_2'/\omega_1'}} \quad [1/s] \quad (9)$$

ahol:

n_1' : A hajtó motor fogaskerekének fordulatszáma, a tehervonati áttétellel [1/s],

n_1 : A hajtó motor fogaskerekének fordulatszáma a személyvonati áttételből [1/s].

A 6-os számú táblázat értékeit kapjuk meg:

6. táblázat: Egy motor fogaskerekén adódó hajtónyomaték tehervonati áttétel esetén

n_1' [1/s]	M_1' [kNm]
0	63,922
0,714	63,922
1,071	63,922
1,427	63,922
1,784	63,922
2,141	63,922
2,498	63,922
2,855	63,046
3,212	52,246
3,569	43,781

n_1' [1/s]	M_1' [kNm]
3,925	36,484
4,282	31,230
4,639	26,561
4,996	22,766
5,353	19,847
5,710	17,804
6,067	15,177
6,423	13,134
6,780	11,675
7,137	10,215

Ezután a tehervonati áttétel hatására megváltozott sebesség és vonóerő értékek kerülnek meghatározásra a következő összefüggések szerint:

$$v' = n_1' \cdot (2 \cdot R \cdot \pi) \text{ [m/s]} \quad (10)$$

ahol:

v' : A sebesség tehervonati áttételnél [m/s];[km/h],

n_1' : A hajtó motor fogaskerekének fordulatszáma, a tehervonati áttétellel [1/s],

R: A kerék sugara [m].

Valamint,

$$F' = \frac{M_1' \cdot 4}{R} \text{ [kN]} \quad (11)$$

ahol:

F' : A tehervonati áttétellel megváltoztatott kerületi vonóerő [kN],

M_1' : A tehervonati áttétellel megváltoztatott motor fogaskerekén adódó hajtónyomaték [kNm],

R: A kerék sugara [m].

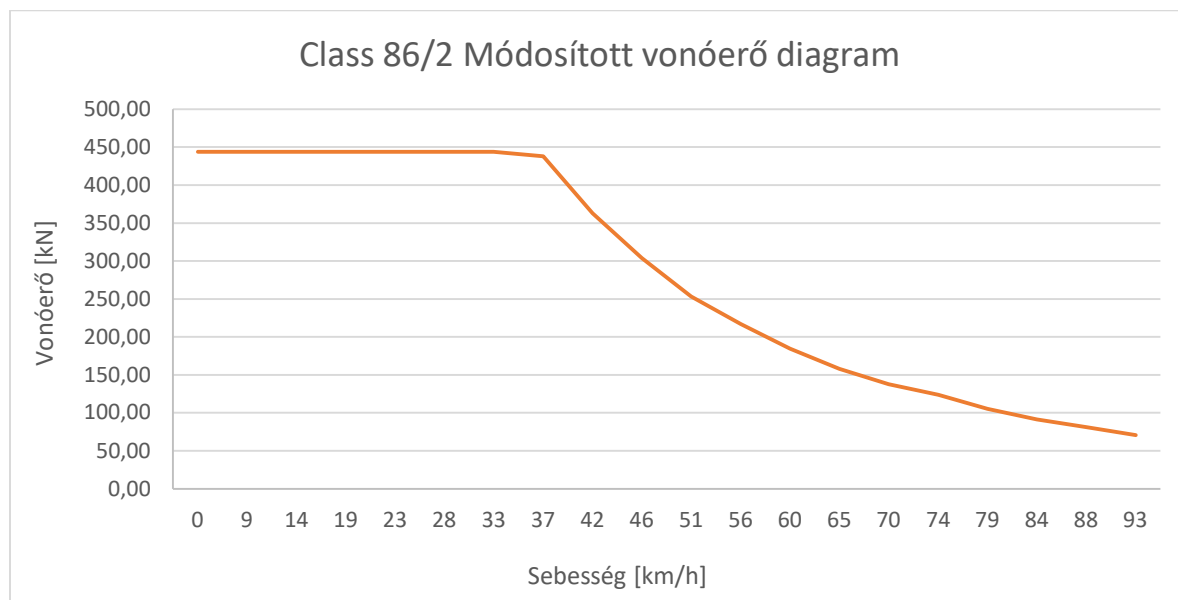
A 7-es számú táblázat értékeit kapjuk meg:

7.táblázat: Megváltozott sebesség-vonóerő értékek

v' [m/s]	v' [km/h]	F' [kN]
0	0	444
2,58	9	444
3,87	14	444
5,16	19	444
6,45	23	444
7,75	28	444
9,04	33	444
10,33	37	438
11,62	42	363
12,91	46	304

v' [m/s]	v' [km/h]	F' [kN]
14,20	51	253
15,49	56	217
16,78	60	184
18,07	65	158
19,36	70	138
20,65	74	124
21,94	79	105
23,24	84	91
24,53	88	81
25,82	93	71

Így megkaptam a Class86/2 típusú mozdony új, tehervonati áttételével módosított vonóerő-sebesség diagramját, mely a 25. ábrán látható:



25. ábra: Class86/2 módosított vonóerő-sebesség diagram

3.5. A vonóerő-sebesség jelleggörbék összehasonlítása

A régi személyvonati és az új, tehervonati áttétel számításaiból megkapott vonóerő-sebesség jelleggörbéket az összehasonlíthatósághoz közös grafikonon ábrázolom. A grafikonok közös ábrázolása négy nevezetes metszéspontot határoz meg.

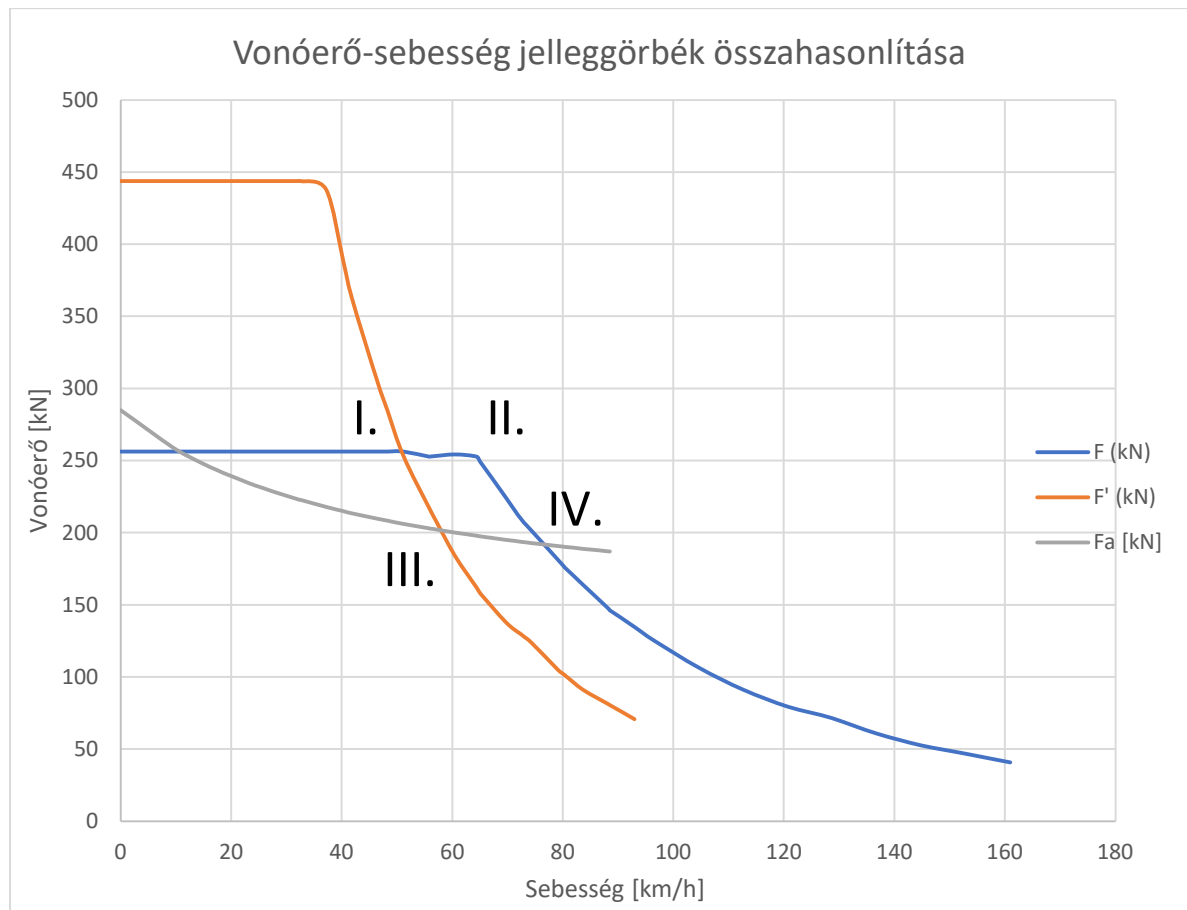
Az egyes metszéspontok meghatározásához a korábban kiszámolt táblázatos adatok értéksoraiból interpolációval határozom meg a metszéspontokat.

A közös ábrázolás összesítő értéksor táblázatát a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat: Összesítő értéksor tábla

v [km/h]	F [kN]	v' [km/h]	F' [kN]	F_a [kN]
0	256	0	444	285
9	256	9	444	259
14	256	14	444	250
16	256	16	444	246
19	256	19	444	242
23	256	23	444	234
24	256	24	444	233
28	256	28	444	228
32	256	32	444	223
33	256	33	444	222
37	256	37	438	218
40	256	40	388	215
42	256	42	363	214
46	256	46	304	210
48	256	48	284	208
51	256	51	253	206
55	253	55	217	203
56	253	56	213	202
60	254	60	184	200
64	253	64	162	198
65	249	65	158	197
70	224	70	138	195
72	210	72	130	194
74	201	74	124	193
79	182	79	105	191
80	176	80	101	190
84	164	84	91	189
88	147	88	81	187
89	146	89	81	187
93	135	93	71	187

A 8. táblázat összesítő értéksorai alapján, a vonóerő-sebesség jelleggörbék összehasonlítását a 26. ábra szemlélteti:



26. ábra: Vonóerő-sebesség jelleggörbék összehasonlítása

Fontos beemelnünk a rendszerbe a tapadás problémáját. Itt először is fontos megemlíteni az erőkapcsolati tényező fogalmát. Az erőkapcsolati tényező megmutatja, hogy a hajtott kerék, kerékpár, forgóváz, mozdonysekrény, azaz együttesen: rendszer eredő súlyerejének mekkora részét lehet legfeljebb kerületi vonóerőként megcsúszás nélkül kifejteni.

Az erőkapcsolati tényező értéke általában méréssel meghatározott, illetve léteznek tapasztalati képletek, mint pl.: Curtius-Kniffler képlet, amivel jó közelítéssel határozható meg a sebesség függvényében az erőkapcsolati tényező értéke.

A vasutak a tapadási tényező meghatározására különböző empirikus képletet alkalmaznak vontatási nemenként. Magyarországon villamos és dízelmozdonyokra a Curtius-Kniffler szerinti összefüggés használatos (Bencsik 1984):

$$\Psi_a = \frac{7500}{v + 44} + 161 \text{ [N/kN]} \quad (12)$$

ahol:

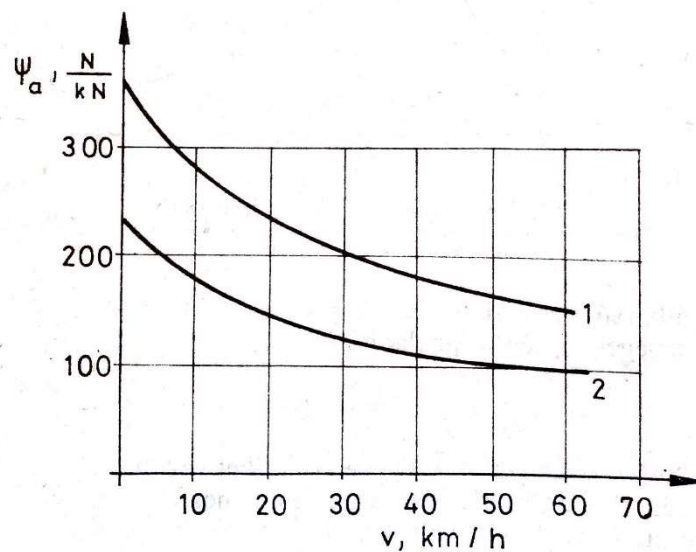
Ψ_a : a tapadási tényező [N/kN],

v: a vontatójármű sebessége [km/h].

A tapadási tényező értéke különböző tényezőktől függ:

- sín és kerék futófelületének állapota,
- időjárás,
- a pálya ágyzatának rugalmassága,
- a mozdony rugózása.

A fenti elemek együttes hatása alapján Ψ értékét a 27. ábrán az 1-2 görbék által határolt terület szemlélteti:



27. ábra: A tapadási tényező szokásos értékei (Bencsik 1984.)

ahol:

Az 1. görbe ábrázolja a tiszta, száraz, míg a 2. görbe pedig nedves sínen mért tapadásra vonatkozik.

A Magyarországon használatos menetrendfüggelékek terhelési táblázataiban az átlagosan figyelembe vett érték villamos mozdonyoknál $\Psi_a = 270 \text{ N/kN}$.

A tapadási tényező a 8. táblázatban az adhéziós vonóerő F_a [kN] értéksorának számításánál jelenik meg, a következő összefüggés szerint:

$$F_a = M_{m \max} \cdot \left(\frac{7500}{v + 44} + 161 \right) [kN] \quad (13)$$

ahol:

F_a : az adhéziós vonóerő [kN],

$M_{m \max}$: a mozdony legnagyobb mérlegelhető össztömege [t].

$M_{m \max} = 86 \text{ t}$.

Mindezek alapján az előbbi, 26. ábrán három darab függvény görbéje látható:

- kék színnel jelölve az eredeti, személyvonati áttétellel számított vonóerő-sebesség diagram,
- narancssárga színnel jelölve a módosított, tehervonati áttétellel számított vonóerő-sebesség diagram,
- szürke színnel a Curtius-Kniffler szerinti tapadási határgörbe.

A 26. ábrán szintén látható, hogy a három görbe négy különböző metszéspontot: I.; II.; III. és IV. eredményezett.

A Class86/2 típusú villamosmozdony gyártója praktikusán a $\Psi = 0,3$ -as állandó erőkapcsolati tényezővel számolt a vonóerő-sebesség jelleggörbe adhéziós szakaszán. Ez az érték a tengelyhajtás áttétel módosításától független érték, arra nincs befolyással és az áttétel módosítás sincs kihatással az erőkapcsolati tényezőre.

Az erőkapcsolati tényező értékét minden vontatójárműre egyedileg kell meghatározni, célja a vontatójármű alkalmazható legnagyobb indító-vonóerejének meghatározása.

Általánoságban elmondható az évtizedek mérései, tapasztalatai alapján az erőkapcsolati tényező értékei a különböző hajtások esetében a következők szerint alakulnak:

- rudazatos hajtás esetén, gőzmozdonynál $\Psi = 0,16$,
- hidraulikus hajtású dízelmozdonynál $\Psi = 0,27$,
- egyedi hajtású villanymozdonynál $\Psi = 0,32$,
- egyedihajtású, tengelyenkénti hajtásszabályzással rendelkező mozdonynál $\Psi = 0,36$.

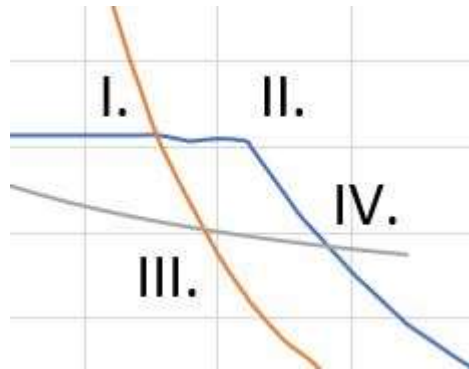
A számításaim során alkalmazott Curtius-Kniffler szerinti tapadási határgörbe egy gyakorlati határgörbe, mely képlet sebességfüggő erőkapcsolati tényező feltételezésével számol, ami szigorúbb, mint a gyártó által meghatározott $\Psi = 0,3$ -as, egyszerűsített erőkapcsolati tényező értéke.

A Curtius-Kniffler képlet alkalmazásának célja, hogy mindinkább a vontatójármű tehervonati felhasználhatóságához igazítsuk a mozdony beépített gépezeti teljesítményét.

Így, a négy fő metszéspont meghatározásához a kritikus sebességet (V_{krit}) és az állandó vonóerőt ($F_{z áll}$) szükséges meghatároznom.

3.5.1. A kritikus sebesség és az állandó vonóerő számítása a metszéspontokban

A könnyebb átláthatóság érdekében a három görbe által kialakított közös metszéspontokat a 26. ábrából kimetszve szemlélteti a 28. ábra:



28. ábra Nevezetes pontok

Az egyes pontok jelentése:

A négy nevezetes pont négy sarokpontot ad ki, amelyek egy közelítő deltoid formát alkotnak, egyben pedig számításaim első értékelhető eredményét adják meg a Class86/2 típusú villamosmozdony tehervonati felhasználásban történő alkalmazhatóságára vonatkozóan.

Az I.-es pontban, ahol az új áttétellel számolt tehervonati vonóerő-sebesség görbe (narancssárga) és a régi áttétellel számolt személyvonati vonóerő-sebesség görbe (kék) metszik egymást, adják meg együttesen az új áttétel szerinti kritikus sebességnek, V_{krit} és állandó vonóerőnek $F_{z áll}$ értékeit, $\Psi = 0,3$ -as erőkapcsolati tényező mellett.

A II.-es pontban, ahol a kék görbe eltörik, ott a régi, személyvonati áttétellel számolt vonóerő-sebesség görbe kritikus sebességének, V_{krit} és állandó vonóerejének, $F_{z áll}$ pontjait kapjuk meg, $\Psi = 0,3$ -as erőkapcsolati tényező mellett.

A III.-as pontban a Curtius-Kniffler szerinti sebességfüggő kapcsolati tényező feltételezésével kapjuk meg a kritikus sebesség V_{krit} és állandó vonóerő $F_{z áll}$ értékeit az új áttétellel.

A IV. pontban a Curtius-Kniffler szerinti sebességfüggő kapcsolati tényező feltételezésével kapjuk meg a kritikus sebesség V_{krit} és állandó vonóerő $F_{z\ áll}$ értékeit a régi áttételnél.

A négy nevezetes pont értékét lineáris interpolációval határoztam meg, melynek eredménye a következők szerint alakul:

I. pontban: $\Psi = 0,3$ -as állandó erőkapcsolati tényező mellett, $V_{krit} = 50,8$ km/h; $F_{z\ áll} = 256$ kN,

II. pontban: $\Psi = 0,3$ -as állandó erőkapcsolati tényező mellett, $V_{krit} = 65$ km/h; $F_{z\ áll} = 249,2$ kN,

III. pontban: sebességfüggő erőkapcsolati tényező feltételezésével, $V_{krit} = 58$ km/h; $F_{z\ áll} = 201$ kN,

IV. pontban: sebességfüggő erőkapcsolati tényező feltételezésével, $V_{krit} = 76,6$ km/h; $F_{z\ áll} = 191$ kN.

Kijelenthető, hogy a négy nevezetes pont közül a III. pont eredménye vehető figyelembe a mozdony tehervonati üzemre való alkalmasságának vizsgálatánál, ugyanis:

Itt értem el az első eredményt az átalakítás kapcsán arra vonatkozóan, hogy sikerült a vontatójármű kritikus sebesség értékét lecsökkenteni, így a tehervonati üzemhez szükséges azon feltételt, miszerint a gépezeti teljesítmény minél alacsonyabb sebességnél kihasználható legyen, sikerült. Ezek alapján az új áttétellel számolva a mozdony a $V_{krit} = 58$ km/h sebességnél éri el azt az üzemállapotot, amikortól a teljes beépített gépezeti vonóerőt képes kifejteni, melynek maximális értéke $F_{z\ áll} = 201$ kN. Szemben a régi áttételhez tartozó kritikus sebesség és állandó vonóerő IV. pontjában található értékekkel, ahol $V_{krit} = 76,6$ km/h és $F_{z\ áll} = 191$ kN értékekkel dolgozik a vontatójármű.

3.6. A mozdony fajlagos alapellenállásának számítása

A Class86/2 típusú villamosmozdony által vontatható hasznos elegytömeg meghatározása előtt, első lépésben szükséges meghatározni a mozdony saját alapellenállásait.

A fajlagos alapellenállás számítása a sebesség függvényében W.Müller képlete szerint (Bencsik 1984.):

$$f'_{w0} = 5 + 0,0524 \cdot \left(\frac{v}{10}\right)^2 [N/kN] \quad (14)$$

ahol:

f'_{w0} : a mozdony fajlagos alapellenállása [N/kN],

v: sebesség [km/h].

A fajlagos alapellenállás praktikusán azt mutatja meg, hogy 1 kN mozdony súly megmozdításához, illetve mozgásban tartásához mekkora vonóerőre van szükség.

Ezután meghatározásra kerül a mozdony tényleges alapellenállása a sebesség függvényében:

$$F'_{w0} = f'_{w0} \cdot \frac{M_m \cdot g}{1000} [kN] \quad (15)$$

ahol:

F'_{w0} : a mozdony alapellenállásának leküzdésére fordított erő [kN],

f'_{w0} : a mozdony fajlagos alapellenállása [N/kN],

M_m : a mozdony mérlegelt tömege [t],

g: gravitációs gyorsulás [m/s²].

Következő lépésben F' [kN] beépített gépezeti vonóerő/kerületi vonóerő értékeit használom fel a sebesség függvényében a korábbi, 7. táblázat adatsorából.

Majd, az adhéziós, vagyis a tapadási vonóerő kerül meghatározásra Curtius-Kniffler szerint, a sebesség függvényében a következő összefüggés alapján (Bencsik 1984.):

$$F_{za} = G \cdot \frac{7500}{v + 44} + 161 [kN] \quad (16)$$

ahol:

F_{za} : az adhéziós vonóerő [kN],

G: a súlyerő [kN],

v: sebesség [km/h].

Ezután a vonóhorgon ébredő, effektív vonóerő kerül meghatározásra a sebesség függvényében a következő képlet szerint:

$$F_{ze0} = F' - F'_{w0} [kN] \quad (17)$$

ahol:

F_{ze0} : az effektív vonóerő [kN],

F' : a beépített gépezeti vonóerő [kN],

F'_{w0} : a mozdony alapellenállásának leküzdésére fordított erő [kN],

F_{ze0} számításának jelentősége abban áll, hogy levonásra kerül a menetközben a mozdony által leküzdendő ellenállásra fordított erő, így a fennmaradó vonóerőt használhatjuk fel a kocsisor továbbítására.

Következő lépésben az adhézióval figyelembe vett, effektív vonóhorgon ébredő vonóerő kerül meghatározásra a sebesség függvényében:

$$F_{zea} = F_{za} - F'_{w0} \text{ [kN]} \quad (18)$$

ahol:

F_{zea} : az adhézióval figyelembe vett, effektív vonóerő [kN],

F_{za} : az adhéziós vonóerő [kN],

F'_{w0} : a mozdony alapellenállásának leküzdésére fordított erő [kN],

Ezután, minimum függvény segítségével, F_{ze0} és F_{za} értéksorából meghatározom a vontatójármű vonóhorgán ténylegesen ébredő F_{ze} [kN] vonóerőt. Erre azért van szükség, mert a mozdony kritikus sebességének elérésekor a vonóerő-sebesség jelleggörbén az adhéziós szakaszból áttérünk az állandó teljesítményű szakaszra, ahol a kifejthető legnagyobb vonóerőt a gépezet teljesítménye korlátozza.

A fenti összefüggések alapján a 9. táblázat értékeit kapjuk:

9. táblázat: Fajlagos alapellenállás értéksor tábla

v [km/h]	F'_{w0} [N/kN]	F'_{w0} [kN]	F' [kN]	F_{za} [kN]	F_{ze0} [kN]	F_{zea} [kN]	F_{ze} [kN]	F_{gy} [kN]
9	5,0424	4,1552	443,90	249,3	439,7	245,1	245,1	190,5
14	5,1027	4,2048	443,90	239,2	439,7	235,0	235,0	200,5
16	5,1341	4,2307	443,90	235,7	439,7	231,4	231,4	204,0
19	5,1892	4,2761	443,90	230,8	439,6	226,5	226,5	208,9
23	5,2772	4,3486	443,90	224,9	439,6	220,6	220,6	214,6
24	5,3018	4,3689	443,90	223,6	439,5	219,2	219,2	216,0
28	5,4108	4,4587	443,90	218,5	439,4	214,0	214,0	220,9
32	5,5366	4,5624	443,90	214,0	439,3	209,4	209,4	225,3
33	5,5706	4,5904	443,90	212,9	439,3	208,3	208,3	226,4
37	5,7174	4,7113	437,82	209,0	433,1	204,3	204,3	224,1
40	5,8384	4,8111	388,48	206,2	383,7	201,4	201,4	177,4

v [km/h]	f'' _{w0} [N/kN]	F'' _{w0} [kN]	F' [kN]	F _{za} [kN]	F _{ze0} [kN]	F _{zea} [kN]	F _{ze} [kN]	F _{gy} [kN]
42	5,9243	4,8819	362,82	204,5	357,9	199,7	199,7	153,4
46	6,1088	5,0339	304,03	201,3	299,0	196,3	196,3	97,7
48	6,2073	5,1151	284,31	199,8	279,2	194,7	194,7	79,3
51	6,3629	5,2433	253,36	197,7	248,1	192,5	192,5	50,4
56	6,6315	5,4647	217,00	194,6	211,5	189,1	189,1	16,9
57	6,7025	5,5231	213,47	193,9	207,9	188,3	188,3	14,1
60	6,8864	5,6747	184,45	192,1	178,8	186,4	178,8	-13,3
64	7,1463	5,8888	161,99	189,9	156,1	184,0	156,1	-33,8
65	7,2139	5,9445	158,10	189,4	152,2	183,4	152,2	-37,2
70	7,5676	6,2360	137,83	186,9	131,6	180,6	131,6	-55,3
72	7,7164	6,3586	129,54	185,9	123,2	179,6	123,2	-62,8
74	7,8694	6,4847	123,64	185,0	117,2	178,6	117,2	-67,9
79	8,2703	6,8150	105,40	182,9	98,58	176,1	98,6	-84,3
80	8,3536	6,8837	100,92	182,5	94,04	175,6	94,0	-88,5
84	8,6973	7,1670	91,21	181,0	84,04	173,8	84,0	-96,9
88	9,0579	7,4640	81,07	179,5	73,61	172,0	73,6	-105,9
89	9,1506	7,5405	80,60	179,1	73,06	171,6	73,1	-106,1
93	9,5321	7,8548	70,94	177,8	63,08	169,9	63,1	-114,7
97	9,9303	8,1830	0,00	176,5	-8,18	168,3	-8,2	-184,7
105	10,777	8,8808	0,00	174,1	-8,88	165,3	-8,9	-183,0
113	11,691	9,6338	0,00	172,0	-9,63	162,4	-9,6	-181,7
121	12,672	10,442	0,00	170,1	-10,44	159,7	-10,4	-180,6
130	13,856	11,417	0,00	168,2	-11,42	156,8	-11,4	-179,6
145	16,017	13,198	0,00	165,4	-13,20	152,2	-13,2	-178,6

3.7. A kocsisor fajlagos alapellenállásának meghatározása

A kocsisor fajlagos alapellenállásának meghatározásához különböző, a gyakorlatban használatos, kísérleti úton megállapított, tapasztalati képletek használhatóak fel üres és rakott teherkocsikra vonatkozóan.

A Floyd Zrt. által vontatott tehervonatokra specializáltan, vontatásmechanikai számításaimban a CFR által használt empirikus képlettel számolok, mely 70-80 %-ig rakott, vegyes kocsiból álló tehervonatra alkalmazható a sebesség függvényében a következő összefüggés szerint (Bencsik 1984.):

$$f''_{w0} = 2,0 + 0,0625 \cdot \left(\frac{v}{10}\right)^2 \quad [N/kN] \quad (19)$$

ahol:

f''_{w0}: a kocsisor fajlagos alapellenállása [N/kN],

v: sebesség [km/h].

Ezután a 9.táblázatból beemelem az F_{zea} [kN] azaz, az adhézióval figyelembe vett, effektív vonóerő értéksorát, ezt a kocsisor fajlagos alapellenállásainak számításainál F_{ze0} [kN] jelölöm.

A vonat fajlagos alapellenállásának ereje egyenlő a mozdony és a kocsisor fajlagos alapellenállásának erejével. Ennek értelmében meghatározom a kocsisorra és a mozdonyra vonatkozó tényleges alapellenállást, a következők szerint:

Kocsisorra vonatkozóan:

$$F''_{w0} = f''_{w0} \cdot \frac{M_{kocsisor} \cdot g}{1000} [kN] \quad (20)$$

ahol:

F''_{w0} : a kocsisor alapellenállásának leküzdésére fordított erő [kN],

f''_{w0} : a kocsisor fajlagos alapellenállása [N/kN],

$M_{kocsisor}$: a kocsisor tömege [t],

g : gravitációs gyorsulás [m/s^2].

Mozdonyra vonatkozóan:

A mozdony alapellenállásának leküzdésére fordított erő F'_{w0} [kN] értéksorát korábban már kiszámítottam, ezért az beemelésre kerül a 9. táblázatból.

Ezt követően a kocsisorra + mozdonyra vonatkozó alapellenállások összeadásra kerülnek, így megkapjuk F_w [kN] értéksorát.

Végül, szintén meghatározásra kerül a vontatójármű által kifejthető gyorsítóerő F_{gy} [kN] értéksora a sebesség függvényében.

$$F_{gy} = F_{ze0} - F_w [kN] \quad (21)$$

ahol:

F_{gy} : a vontatójármű által kifejthető gyorsítóerő [kN],

F_{ze0} : az effektív vonóerő [kN],

F_w : mozdony + kocsisor alapellenállása [kN].

A próbavonat alapadatai:

- Elegytömeg: 1000 t
- G súlyerő: 9810 kN

számítása:

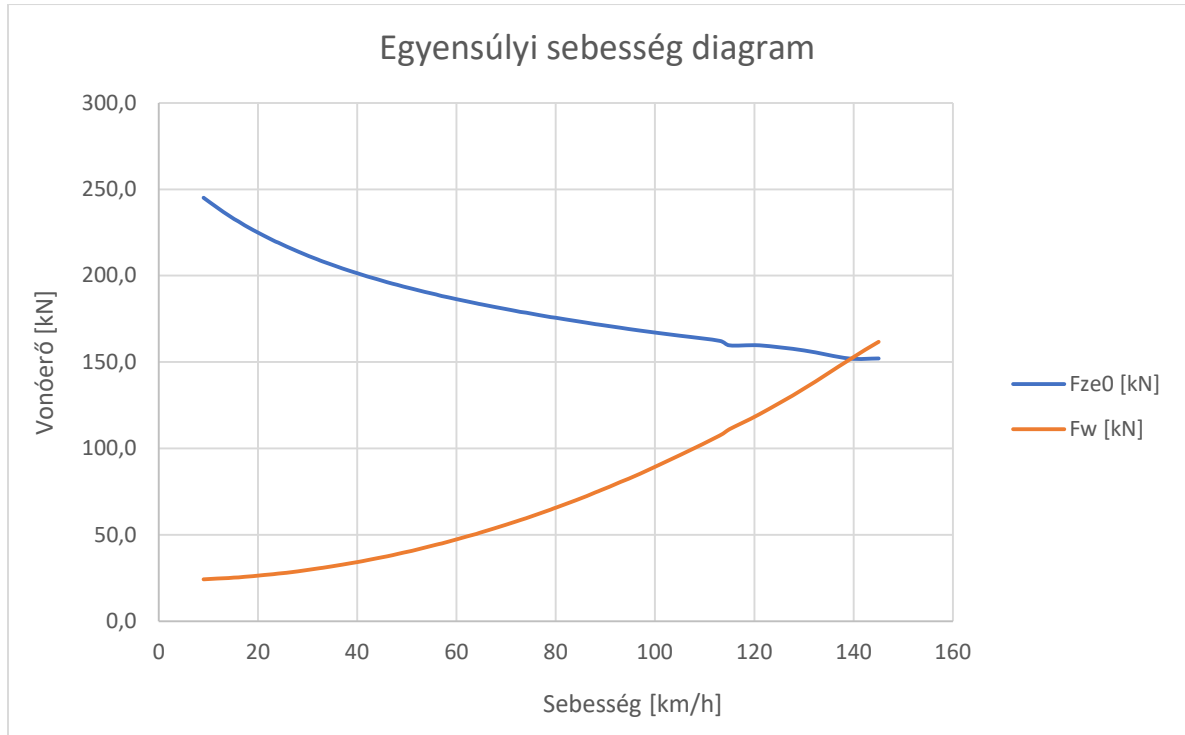
$$G = M_{kocsisor} \cdot g = 1000 \cdot 9,81 = 9810 \text{ kN} \quad (22)$$

A fenti számítások alapján a 10. táblázat a következő értéksorokat tartalmazza:

10. táblázat: A vontatható elegytömeg meghatározása 1000 t vonatnál

v [km/h]	F'' _{w0} [N/kN]	F _{ze0} [kN]	F'' _{w0} [kN]	F' _{w0} [kN]	F _w [kN]	F _{gy} [kN]
9	2,0506	245,1	20,12	4,1552	24,27	220,9
14	2,1225	235,0	20,82	4,2048	25,03	210,0
16	2,1600	231,4	21,19	4,2307	25,42	206,0
19	2,2256	226,5	21,83	4,2761	26,11	200,4
23	2,3306	220,6	22,86	4,3486	27,21	193,4
24	2,3600	219,2	23,15	4,3689	27,52	191,7
28	2,4900	214,0	24,43	4,4587	28,89	185,2
32	2,6400	209,4	25,90	4,5624	30,46	179,0
33	2,6806	208,3	26,30	4,5904	30,89	177,5
37	2,8556	204,3	28,01	4,7113	32,73	171,5
40	3,0000	201,4	29,43	4,8111	34,24	167,2
42	3,1025	199,7	30,44	4,8819	35,32	164,3
46	3,3225	196,3	32,59	5,0339	37,63	158,7
48	3,4400	194,7	33,75	5,1151	38,86	155,9
51	3,6256	192,5	35,57	5,2433	40,81	151,7
56	3,9460	189,1	38,71	5,4647	44,18	145,0
57	4,0306	188,3	39,54	5,5231	45,06	143,3
60	4,2500	186,4	41,69	5,6747	47,37	139,1
64	4,5600	184,0	44,73	5,8888	50,62	133,4
65	4,6406	183,4	45,52	5,9445	51,47	132,0
70	5,0625	180,6	49,66	6,2360	55,90	124,7
72	5,2400	179,6	51,40	6,3586	57,76	121,8
74	5,4225	178,6	53,19	6,4847	59,68	118,9
79	5,9006	176,1	57,89	6,8150	64,70	111,4
80	6,0000	175,6	58,86	6,8837	65,74	109,9
84	6,4100	173,8	62,88	7,1670	70,05	103,7
88	6,8400	172,0	67,10	7,4640	74,56	97,5
89	6,9506	171,6	68,19	7,5405	75,73	95,9
93	7,4056	169,9	72,65	7,8548	80,50	89,4
97	7,8806	168,3	77,31	8,1830	85,49	82,8
105	8,8906	165,3	87,22	8,8808	96,10	69,2
113	9,9806	162,4	97,91	9,6338	107,5	54,9
115	10,266	159,7	100,7	10,442	111,1	48,5
121	11,151	159,7	109,4	10,442	119,8	39,9
130	12,563	156,8	123,2	11,418	134,7	22,1
139	14,076	152,2	138,1	13,199	151,3	0,9
145	15,141	152,2	148,5	13,199	161,7	-9,6

A kapott táblázatból F_{ze0} [kN] és F_w [kN] értéksorának felhasználásával a sebesség függvényében megkapjuk a vonat egyensúlyi sebesség diagramját, melyet a 29-es ábra szemléltet:



29. ábra: 1000 t próbavonat egyensúlyi sebesség diagram

Az egyensúlyi sebesség diagram megmutatja, hogy a vonat alapellenállása és a vontatójármű teljesítménye egymással hogyan tart egyensúlyt. A 29. ábrán a kék színnel jelölt görbe, a vontatójármű vonóhorgán mért effektív vonóerő F_{ze0} [kN] értéksorát ábrázolja, sárga színnel jelölve pedig az összes alapellenállás, (mozdony + kocsisor) leküzdéséhez szükséges erő F_w [kN] értéksorának görbéje látható. A sárga görbe alatti terület megmutatja a sebesség függvényében, hogy a vontatójármű vonóerejéből mennyi vonóerő fordítódik az ellenállások leküzdésére. A kék és sárga görbe közötti terület megmutatja a sebesség függvényében, hogy a mozdony mekkora vonóerő tartalékkal rendelkezik a szerelvény gyorsításához. Minél gyorsabban halad a mozdony, annál nagyobb lesz a kocsisor ellenállása, annál kevesebb gépezeti erőtartalék marad a rendszerben. Amikor elfogy a vontatójármű gyorsító ereje, akkor elérte a legnagyobb sebességet.

A 29. ábra alapján az elméleti legnagyobb sebessége a mozdonynak az 1000 tonnás próbavonattal történő terhelése esetében megközelítőleg 140 km/h-nál van. Az egyensúlyi

sebességnek a gyakorlatban mindig felette kell lenni a vontatójárműre hatóságilag megengedett maximális sebességnek. Ez a v_{\max} sebességérték a **450 H sorozatú villamosmozdonynál** elegytovábbítás esetén **100 km/h**, így megállapítható, hogy az 1000 tonnás kocsisor továbbítására a mozdony alkalmas.

3.8. Vonatterhelési kimutatásból vett tehervonati elegy fajlagos alapellenállása

Dolgozatom mellékletében található Vonatterhelési kimutatásban szereplő 1797 tonnás elegy egy ténylegesen, 2019.12.08-án a Floyd Zrt. menetvonalán 48225 vonatszámú 450H sorozatú Class86/2 típusú villamosmozdony továbbított Rajka-Soroksári út rendező viszonylaton.

Ezzel, a 48225 számú vonat gyakorlati példáján keresztül szeretném bemutatni a 450H sorozatú villamosmozdony tehervonati üzemből nyújtott teljesítményét.

A számítás során a következő kiinduló alapadatokat veszem fel:

Vontatójármű: **450 002**

Vonatszám: 48225

$M_{\text{kocsisor}} = 1797 \text{ t}$,

$$G_{\text{súlyerő}} = M_{\text{kocsisor}} \cdot g = 1797 \cdot 9,81 = 17628,57 \text{ kN} \quad (23)$$

ahol:

g : gravitációs gyorsulás [m/s^2].

A kocsisor fajlagos alapellenállásának f'_{w0} [N/kN] számítására az azonos összehasonlíthatóság miatt a korábbiakban ismertetett CFR szerinti összefüggést használom fel.

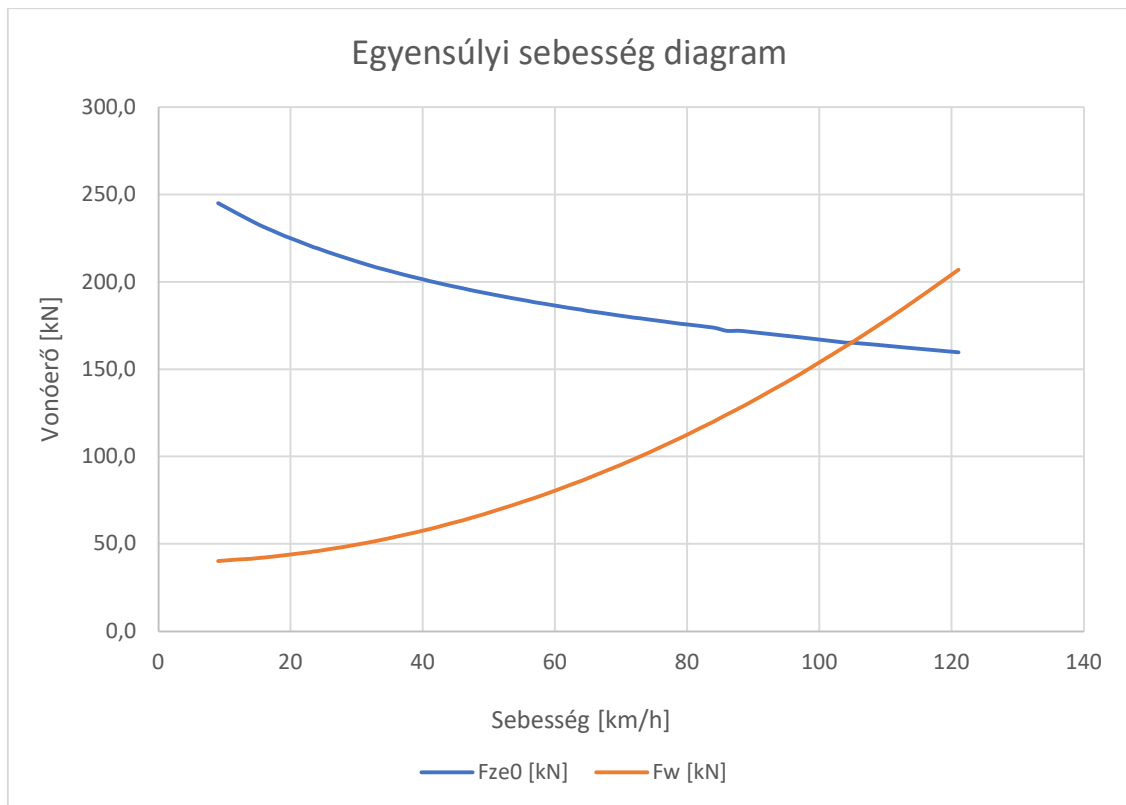
A korábban használt összefüggések szerint, a 11. táblázat a következő értéksorokat tartalmazza:

11. táblázat: A vontatható elegytömeg meghatározása 1797 t vonatnál

v [km/h]	f'_{w0} [N/kN]	F_{ze0} [kN]	F''_{w0} [kN]	F'_{w0} [kN]	F_w [kN]	F_{gy} [kN]
9	2,0506	245,1	36,15	4,1552	40,30	204,8
14	2,1225	235,0	37,42	4,2048	41,62	193,4
16	2,1600	231,4	38,08	4,2307	42,31	189,1
19	2,2256	226,5	39,23	4,2761	43,51	183,0

23	2,3306	220,6	41,09	4,3486	45,43	175,1
24	2,3600	219,2	41,60	4,3689	45,97	173,2
28	2,4900	214,0	43,90	4,4587	48,35	165,7
32	2,6400	209,4	46,54	4,5624	51,10	158,3
33	2,6806	208,3	47,26	4,5904	51,85	156,5
37	2,8556	204,3	50,34	4,7113	55,05	149,2
40	3,0000	201,4	52,89	4,8111	57,70	143,7
42	3,1025	199,7	54,69	4,8819	59,57	140,1
46	3,3225	196,3	58,57	5,0339	63,60	132,7
48	3,4400	194,7	60,64	5,1151	65,76	129,0
51	3,6256	192,5	63,91	5,2433	69,16	123,3
56	3,9460	189,1	69,56	5,4647	75,03	114,1
57	4,0306	188,3	71,05	5,5231	76,58	111,8
60	4,2500	186,4	74,92	5,6747	80,60	105,8
64	4,5600	184,0	80,39	5,8888	86,28	97,7
65	4,6406	183,4	81,81	5,9445	87,75	95,7
70	5,0625	180,6	89,24	6,2360	95,48	85,2
72	5,2400	179,6	92,37	6,3586	98,73	80,9
74	5,4225	178,6	95,59	6,4847	102,1	76,5
79	5,9006	176,1	104,0	6,8150	110,8	65,3
80	6,0000	175,6	105,8	6,8837	112,7	63,0
84	6,4100	173,8	113,0	7,1670	120,2	53,6
86	6,6225	172,0	116,7	7,4640	124,2	47,8
88	6,8400	172,0	120,6	7,4640	128,0	44,0
89	6,9506	171,6	122,5	7,5405	130,1	41,5
93	7,4056	169,9	130,6	7,8548	138,4	31,5
97	7,8806	168,3	138,9	8,1830	147,1	21,2
104	8,7600	165,3	154,4	8,8808	163,3	2,0
105	8,8906	165,3	156,7	8,8808	165,6	-0,3
113	9,9806	162,4	175,9	9,6338	185,6	-23,2
121	11,151	159,7	196,6	10,442	207,0	-47,3

A kapott táblázatból F_{ze0} [kN] és F_w [kN] értéksorának felhasználásával a sebesség függvényében megkapjuk a vonat egyensúlyi sebesség diagramját, melyet a 30-as ábra szemléltet:

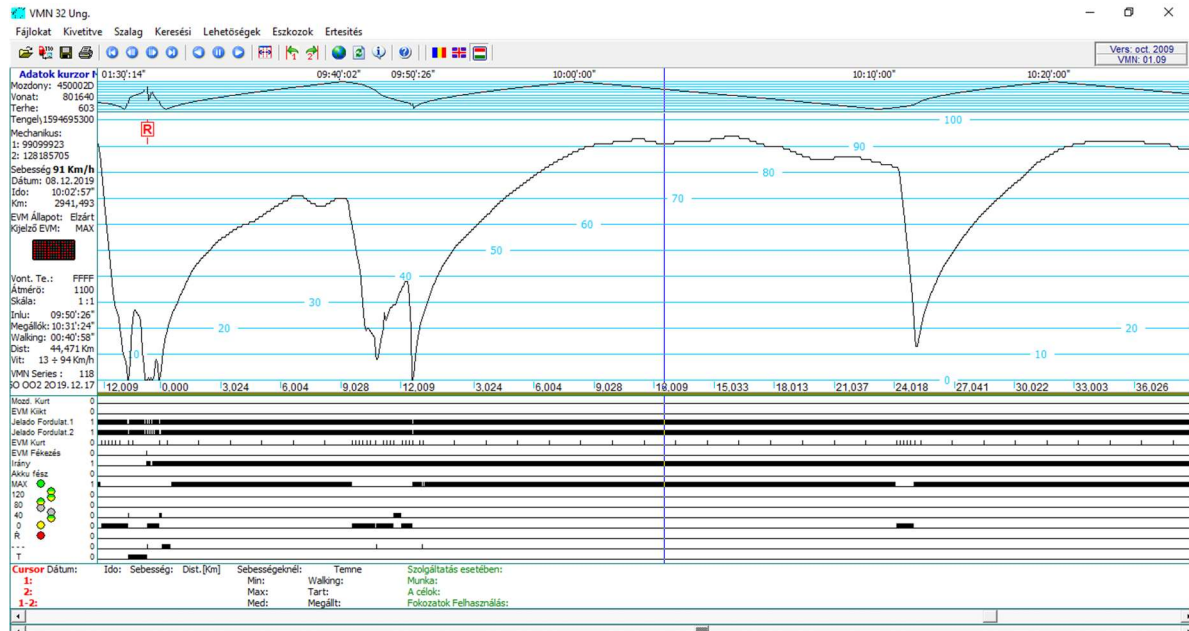


30. ábra: 48225 sz. vonat egyensúlyi sebesség diagram

A 30. ábra egyensúlyi sebesség diagramján látható, hogy 100 km/h sebességnél a kiválasztott vonatnál a mozdony a rendelkezésre álló vonóerő körülbelül 93%-át használja fel, így a fennmaradó megközelítőleg 7 % vonóerő tartalék marad mindösszesen a további pályaellenállások leküzdéséhez. Továbbá az egyensúlyi sebesség (105 km/h) felette van a vontatójárműre megengedett maximális 100 km/h sebességnek, így a gyakorlatban is igazolást nyert, hogy a számítási értékek helyesek.

A 48225 sz. vonat menetvonalára a maximálisan megengedett menetrendi sebesség 90 km/h volt. A 31. ábrán látható a 450 002 pályaszámú mozdony sebesség regisztrátuma, melyen ténylegesen is látszódik, hogy a vonat a 90 km/h vonattovábbítási sebességet a Rajkáról való elindulás után ténylegesen is elérte. A 30. ábrára való visszatekintés alapján látható, hogy a vontatójárműnek a regisztrátumon mért 91 km/h sebességnél bőven maradt gyorsítóerő tartaléka az esetlegesen az út során keletkező komolyabb pályaellenállások leküzdéséhez.

A 31. ábrán látható a 450 002 pályaszámú mozdony sebesség regisztrátuma:



31. ábra: 450 002 sebesség regisztrátum

3.9. A megindítható elegytömeg meghatározása

A megindítható elegytömeg megmutatja, hogy a vontatójármű milyen mértékadó emelkedő viszonyok mellett használható gazdaságosan. Az országos közforgalmú vasúti pályahálózaton erre a célra a 2A típusú táblázat került rendszeresítésre a MÁV műszaki utasításában. A 2A táblázatban foglalt elegytömeg adatokat a vasúttársaságnak az általa használt vontatójárműről minden esetben le kell jelentenie a MÁV részére a Hálózat hozzáférési szerződés részeként.

Meghatározása a következő összefüggés szerint történik (Bencsik 1984.):

$$m_{ki} = \frac{F_{vi} - M_m \cdot 10 \cdot (f'_{w0i} + f_{gyi} + e)}{(f''_{w0i} + f_{gyi} + e) \cdot 10} [t] \quad (24)$$

ahol:

m_{ki} : a vontatott járművek összes mérlegelhető tömege [t],

F_{vi} : a kerületi vonóerő [kN],

M_m : a mozdony mérlegelhető tömege [t],

f'_{w0i} : a vontatójármű fajlagos alapellenállása [N/kN],

f''_{w0i} : a vontatott járművek fajlagos alapellenállása [N/kN],

f_{gyi} : fajlagos gyorsító erő [N/kN],

e : pályaelenállás (emelkedő) [%].

A számításhoz a következő alapadatokat használom fel:

$$F_{vi} = 186,42 \text{ kN},$$

$$M_m = 84 \text{ t},$$

$$f'_{w0i} = 12 \text{ N/kN},$$

$$f''_{w0i} = 4 \text{ N/kN},$$

$$f_{gyi} = 1 \text{ N/kN}.$$

A fentiek alapján a 12. táblázat szemlélteti a kapott eredményeket:

12. táblázat: 2A táblázat

e	m_{ki} [t]
0‰	3510
1‰	2911
2‰	2483
3‰	2162
5‰	1713
7‰	1414
8‰	1298
10‰	1114
12‰	973
14‰	862
16‰	772
18‰	697
20‰	635
25‰	515
30‰	429

A kapott táblázatból leolvasható az egyes mértékadó emelkedőkhöz tartozó maximálisan vontatható elegytömeg.

4. A KAPOTT EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Eredmény I.

A 26. ábrán szereplő vonóerő-sebesség jelleggörbék összehasonlításban látható III.-as és IV.-es pontok vizsgálatának kapcsán megállapítható, hogy sikerült megoldani azt a problémát, hogy lejjebb vittem a **vontatójármű kritikus sebességét**, hiszen az eredeti vonóerő-sebesség jelleggörbe $V_{krit} = 76,6 \text{ km/h}$ sebesség értékével szemben a tehervonati áttétellel történt módosítás után $V_{krit} = 58 \text{ km/h}$ lett a kritikus sebesség. Ami praktikusán azt jelenti, hogy a tehervonati elegy mozgatásához már jóval alacsonyabb sebességnél rendelkezésre áll a teljes beépített gépezeti vonóerő.

Eredmény II.

A 26. ábrán szereplő vonóerő-sebesség jelleggörbék összehasonlításban látható III.-as és IV.-es pontok vizsgálatának kapcsán szintén megállapítható, hogy nem sokkal, de sikerült feljebb vinni a mozdony **állandó vonóerejét** az eredeti vonóerő-sebesség jelleggörbe $F_{z\text{ áll}} = 191 \text{ kN}$ vonóerő értékéről a tehervonati áttétel utáni módosítással kapott $F_{z\text{ áll}} = 201 \text{ kN}$ vonóerő értékre. Ennek eredményeként nagyobb terhelésű vonatokat alacsonyabb sebességről már teljes teljesítménnyel képes vontatni.

Eredmény III.

A vontatójármű a vonatterhelési kimutatás példájából vett 1797 tonnás elegy továbbítása során számított egyensúlyi sebesség diagramjából megállapítható, hogy az egyensúlyi sebesség valamivel az engedélyezett legnagyobb (100 km/h) sebesség felett van, ezért megállapítható, hogy a teljes megengedett sebességtartományán kihasználható a vontatójármű. Ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy 100 km/h-nál már nagyon kevés a rendelkezésre álló vonóerő tartalék, ami az emelkedő vagy a járulékos pályaellenállások leküzdéséhez szükséges.

Eredmény IV.

A megindítható elegytömeg számításánál arra a megállapításra jutottam, hogy a vontatójármű 10‰ mértékadó emelkedőig használható gazdaságosan. Gyakorlatilag 5‰ mértékadó emelkedőig bármilyen tehervonatot képes továbbítani, 10‰ -ig könnyű tehervonatot tud továbbítani.

Megállapítások

Habár az első két eredmény sikeres, ennek ellenére nagyobb sebességű, a kritikus sebesség felé kerülő tehervonatoknál, melyeknek a menetrendi sebessége meghaladja a $V_{krit} = 58$ km/h sebesség értéket, **nem lett jobb a vontatási karakterisztikája a vontatójárműnek.**

Tulajdonképpen sikerült elérni azt, hogy a mozdony beépített gépezeti vonóerejét teljes mértékben sikerült hozzá igazítani a tehervonati üzemhez. Összességében mindez azt jelenti, hogy a vontatójármű nagyobb terhelésű vonatokat képes lett gazdaságosabban továbbítani alacsony sebességen, viszont a gyorstehervonati forgalomban nem lett jobb a mozdony. A tengelyhajtás áttétel növelésének hatására keletkező állandó vonóerő megnövelésével (5 % növekmény), a gyártó nem ért el kiemelkedő eredményt. Viszont kiemelkedő eredményt jelent az, hogy lejjebb került a mozdony kritikus sebessége, ami a gyakorlati tehervonati forgalom szempontjából teljes mértékben kihasználható.

5. JAVASLATTÉTEL

Tekintettel arra, hogy a Class86/2 típusú villamosmozdonyok életkora közelít a hatvanéves átlag életkorhoz, valamint, hogy a mozdony Angliából történő alkatrész utánpótlása egyre nehezebbé válik, szintén számolva azzal a ténnyel, hogy az Angolszász vasúttársaságok zöme már selejtezte a mozdonytípust, további mozdonyok beszerzése már nehezített folyamat lenne. Gazdaságilag már nem célszerű a 450H sorozatú villamosmozdonyt Magyarországon használó Vasúttársaságnak további fejlesztésekbe investálnia. A mozdonysorozat tehervonati felhasználásban történő alkalmasságának további fejlesztésére vonatkozóan így nincsenek tervek a mozdonyt karbantartó ECM partnernél.

Mindazonáltal az áttételnövelés eredményeként a tehervonati üzemre alkalmasabbá tett 450H sorozatú villamosmozdonyok alkalmasak a mellékvonalakon történő felhasználásban közlekedtetendő nehéztehervonatok továbbítására. A nagyjavításon átesett három darab mozdony stabil üzemképessége révén hosszútávon alkalmas a használó vasúttársaság mellékvonali, gazdaságos vonattovábbítási-vontatási feladatainak ellátására.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai közforgalmú villamos vasúti vontatásban egyre nagyobb szerepet játszott az elmúlt években az intermodális áruszállítás jelentősége, melyben a magánvasúti szektor óriási hányadot fed le. Tehervonati vontatási feladatainak ellátására a Floyd Zrt. Angliából szerzett be Class86/2 típusú villamosmozdonyokat, mely mozdonyorozatból 3 db mozdonyról műszaki fejlesztésként sor került a tengelyhajtás áttétel növelésére, melynek köszönhetően a mozdony alkalmasabbá vált a tehervonati üzemben történő felhasználásra. Ez a gyártó által már egy kipróbált technológia volt, amelynek azonban vontatásmechanikai eredményei nem álltak rendelkezésre, így szakdolgozatomban célul tűztem ki a módosított mozdonyok tehervonati üzemre való alkalmasságának vizsgálatát. Szakdolgozatom irodalom feldolgozásában ismertettem a MÁV hálózatán egykor és jelenleg is jelen levő mozdonyok hajtásrendszereit. Összefoglaló áttekintést adtam a régi gőzvontatásban, illetve a kezdeti fejlesztésű V40-V60 sorozatú villamosmozdonyoknál alkalmazott rudazatos hajtásról, ismertettem a V43 sorozatú villamosmozdony csoport-hajtását, illetve a mai modern, korszerű villamosmozdonyok egyedi hajtásrendszereinek sajátosságait. Elemzést végeztem az egyes hajtási rendszerek előnyeire és hátrányaira vonatkozóan a vontatásban való hatásosságuk szerint.

Dolgozatom érdemi részében a 450H sorozatú, Class86/2 típusú villamosmozdonyról az eredeti személyvonati áttételhez tartozó vonóerő-sebesség jelleggörbe értéksora alapján kiszámoltam az egy kerékpárra jutó hajtónyomatékot, melyet átszámoltam az egy Tc-vontatómotor meghajtó fogaskerekére a személyvonati áttétellel. Ezt követően behelyettesítve a tehervonati áttételt, visszaszámoltam az egy kerékpár tengelyén adódó hajtónyomatékot a tehervonati áttétellel, így megkaptam a módosított vonóerő-sebesség diagrammot és annak értéksorát. A régi és az új áttétellel számított vonóerő-sebesség görbéket egymással összehasonlítva, alkalmazva a Curtius-Kniffler szerinti sebességfüggő erőkapcsolati tényező határgörbéjét, megállapítottam a görbék metszéspontjaiban kialakuló négy nevezetes sarokpontot, a kritikus sebességi és állandó vonóerő értékekre vonatkozóan. Ezekből megállapítható volt, hogy sikerült csökkenteni a mozdony kritikus sebességét az új áttétellel, így a teljes beépített gépezeti vonóerőt már hamarabb tudja kifejteni a vontatójármű. Valamint, a kritikus sebességhez tartozó állandó vonóerő értékét is sikerült feljebb vinni, ezáltal bebizonyosodott, hogy nagyobb elegytömeget képes megmozgatni a mozdony. Ezt követően meghatároztam a Class86/2 típusú mozdony fajlagos

alapellenállásait, majd egy 1000 tonnás próbavonat és egy, a valóságban leközlekedett 1797 tonnás elegy ellenállásait. Ezután meghatároztam a vonatokhoz tartozó egyensúlyi sebesség diagrammokat. A kapott eredmény alapján megállapítható volt, hogy a mozdony egyensúlyi sebessége magasabb a két vonathoz alkalmazható maximális sebességnél, így kijelenthető, hogy a mozdonyoknak elegendő erő tartaléka keletkezett további menetellenállások leküzdéséhez. Ezt követően megindítható elegytömeg számítást végeztem, melynek megállapítható volt, hogy a mozdony 5‰ mértékadó emelkedőig bármilyen tehervonatot képes továbbítani, 10‰ -ig könnyű tehervonatot tud továbbítani. Összefoglaló értékelésben megállapítottam, hogy a vontatójárműnél sikerült elérni azt, hogy a beépített gépezeti vonóerőt teljes mértékben sikerült hozzá igazítani a tehervonati üzemhez, a mozdony nagyobb terhelésű vonatokat képes lett gazdaságosabban továbbítani alacsony sebességen, viszont a gyors-tehervonati forgalomban nem lett jobb a vontatási karakterisztikája a mozdonyoknak. A mozdony sorozat magas átlagéletkora és nehéz pótalkatrész beszerezhetősége miatt, gazdaságilag további fejlesztések már nem célszerűek a tehervonati üzemre való alkalmasabbá tételhez.

7. SUMMARY

The importance of intermodal freight transport has been growing in recent years in the domestic public rail transport sector, with the private rail sector accounting for a large share. Floyd Zrt. has acquired Class86/2 electric locomotives from the UK, of which 3 locomotives of this series have had their axle drive ratio increased as a technical improvement, making the locomotive more suitable for freight traction. This was a technology that had already been tested by the manufacturer, but no traction mechanical results were available, so in my thesis I decided to investigate the suitability of the modified locomotives for freight train operation. In my thesis I reviewed the literature and described the traction systems of locomotives that were and are still present on the MÁV rail network. I gave a summary overview of the rod drive used in the old steam traction and in the initially developed V40-V60 series electric locomotives, I described the group drive of the V43 series electric locomotive and the specific features of the individual drive systems of today's modern, state-of-the-art electric locomotives. I carried out an analysis of the advantages and disadvantages of each drive system according to their effectiveness in traction.

In the main part of my thesis, I calculated the driving torque per wheel for a Class86/2 450H series electric locomotive using the tractive force-velocity curve for the original passenger train gear ratio, which I converted to the driving gear of a Tc traction motor with the passenger train gear ratio. Then, substituting the freight train gear ratio, I back-calculated the drive torque on the axle of one axle with the freight train gear ratio to obtain the modified traction force-velocity diagram and its series of values. By comparing the tractive force-velocity curves calculated with the old and the new gear ratio, using the Curtius-Kniffler speed-dependent force-coefficient limit curve, I found four notable corner points at the intersection of the curves for the critical speed and constant tractive force values. From these, it was found that the critical speed of the locomotive was reduced with the new gear ratio, so that the full installed mechanical tractive force could be applied more quickly by the traction of the vehicle. Also, the constant tractive effort value for the critical speed has been increased, proving that the locomotive is able to move a larger mass. Then I determined the specific base resistances of the Class86/2 locomotive, followed by the resistances of an 1000 tonnes test train and a 1797 tonnes train that was actually moved. In this way I determined the equilibrium speed diagrams for the trains. The results showed that the locomotive's equilibrium speed is higher than the maximum speed applicable to the two trains, and it can

be concluded that the locomotive has sufficient reserve power to overcome further running resistance. Then I have performed calculations of the sufficient mass to be moved, and found that the locomotive is able to carry any freight train up to 5‰ gradient, and light freight trains up to 10‰. In my summary evaluation, I found that the traction vehicle achieved a full adaptation of the installed traction power to the freight train operation, the locomotive was able to handle more economically trains with higher loads at low speed, but the traction characteristics of the locomotive were not improved in the high-speed traffic. Due to the high average age of the locomotive series and the difficulty in obtaining spare parts, further improvements are no longer economically viable to make it more suitable for freight operation.

8. IRODALOMJEGYZÉK

- 1) *Bácskai Ferenc – Görbicz Sándor – Horváth Viktor: Villamos mozdonyok javítása – Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1979.*
- 2) *Bencsik László – Lovas József – Mezei István: Vasúti vontatójárművek üzemeltetési zsebkönyve – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.*
- 3) *Bosnyák László: Villamos alapismeretek – Egyetemi jegyzet, Budapest 1998.*
- 4) *Class 86/87 Final Drive TSU89/150 TRAINING*
- 5) *Dr. Zvikli Sándor: Vasúti Járművek, Járműszerkezetek – Egyetemi jegyzet, Széchenyi István egyetem, Győr, Közlekedési tanszék*
- 6) *Előhegyi István: Aszinkron vontatómotoros villamosmozdonyok – Budapest, Sopron, 2002.*
- 7) *Horváth Viktor– Zádori Zoltán: Villamos mozdonyok műszaki leírása és kezelési utasítása a mozdonyvezetők részére – Közdok, Budapest, 1983.*
- 8) *Kisteleki Mihály – Csiba József – Sábitz László – Szigeti Dániel: Vasúti Járművek Üzeme És Diagnosztikája – Egyetemi tananyag, 2012.*
- 9) *Lovas József – Mezei István: Vasúti Dízeljármű-Vezetők Zsebkönyve – Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1986.*
- 10) *Lovas József – Mezei István – Zádori Zoltán: Villamosmozdony-vezetők zsebkönyve – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.*
- 11) *MÁV Műszaki táblázatok – pályaadat és gépészeti táblázatok*
- 12) *Szabó Károly – Szőnyi Béla: Gépészeti Ismeretek I. Műszaki kiadó, Budapest 1979.*
- 13) *Szentirmai László – Zalaváry Zoltán: Vasúti Járművek II. – (Villamos mozdonyok) – Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1969.*
- 14) *Varga Jenő: Vasúti Diesel Vontatójárművek – Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1974.*
- 15) *Vasútgépészet szakfolyóirat 2015/1.*

9. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

a szakdolgozat¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Losó Dániel
A Hallgató Neptun kódja: GILLZC
A dolgozat címe: A 450 H sorozatú villamosmozdony tengelyhajtás átalakításának értékelése
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Járműtechnika Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év 11 hó 03 nap



Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

Losó Dániel (név) (hallgató Neptun azonosítója: GILLZC) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2023 év 11 hó 03 nap



belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő alá húzandó.

³ A megfelelő alá húzandó.

10. MELLÉKLETEK

J001 PASS2 Vonatterhelési kimutatás

Megrendelés azonosító: 2018/409991/1 2019.12.07 **Megrendelő:** FLOYD Zrt. **Oldalszám:** 1/2
Vonat azonosító: 48225 2019.12.07 **Vonatfelvétel helye:** Hegyeshalom pvh. 950+04 **Készült:** 2019. 12. 08. 2:32:14
Induló szolgálati hely: Rajka **Cél szolgálati hely:** Soroksári út rendező **Vonatfelvétel helye:** Rendster
Menetrend szerinti ind. idő: 2019. 12. 07. 23:15 **Menetrend szerinti érk. idő:** 2019. 12. 08. 3:00 **Mozdonyvezető:**
Forgalmi vonathossz [m]: 370 **Előírt/Tényleges fék%:** 54/57 **Állvatartási fékező súly [t]:** 90 **Alkalmazott fékneve:** Gyors működésű
Vonat teljes tömege [t]: 1882 **Elegyítőmög [t]:** 1797 **Állvatartási fék%:** 5 **Felvétel iránya:** A-Z
Tengelyszám (Ö/R/Ü): 110/100/10 **Rakománytömeg [kg]:** 1129400 **Állvatartási fékező súly [t]:** 448 **Fékezett súly [t]:** 1090
Megjegyzés:

Az adatok, vasútállomási adatszolgáltatás alapján lettek feldolgozva.

Vonatösszeállítás

S. sz.	Jármű azonosító	Alk. Tengely		Hossz [cm]	Tömeg [kg]		Féks. [t]		Kf	Fj	VNV	Vesz. jel	UN szám	Rd	LQ	Rk eng. szám	Tov	Megjegyzés
		K.s.	R/Ü		Saját	Rakom.	Elegy	Légg.										
1	91 55 0450 002-5	VV1	0/4	1783	85000	0	85000	40	0	N	P							
2	37 55 5334 001-5	1	0/4	1404	20900	0	20900	26	0	N	P							
3	31 56 7874 150-7	2	4/0	1264	25360	42220	67580	40	0	N	G	33	1203					
4	31 56 7986 608-9	3	4/0	1400	25200	42300	67500	40	24	X	N	G	33	1203				
5	31 56 7881 703-4	4	4/0	1400	25100	41680	66780	40	35	X	N	G	33	1203				
6	31 56 7986 325-0	5	4/0	1264	24980	42300	67280	40	24	X	G	33	1203					Öntöttvas féktuskó
7	31 56 7987 418-2	6	4/0	1400	25420	42420	67840	40	24	X	N	G	33	1203				
8	31 56 7986 002-5	7	4/0	1264	25700	42380	68080	40	24	X	N	G	33	1203				
9	31 56 7986 716-0	8	4/0	1400	25760	46080	71840	40	0	N	G	30	1202					
10	31 56 7851 118-1	9	4/0	1365	21750	46360	68110	40	20	X	N	G	30	1202				
11	31 56 7882 313-1	10	4/0	1365	25050	46340	71390	40	24	X	N	G	30	1202				
12	31 56 7874 224-0	11	4/0	1264	25450	46360	71810	40	0	N	G	30	1202					
13	31 56 7881 001-3	12	4/0	1324	25950	46360	72310	40	0	N	G	30	1202					
14	31 56 7987 127-9	13	4/0	1264	25800	46160	71960	50	24	X	N	P	30	1202				
15	31 56 7986 626-1	14	4/0	1400	25920	46400	72320	40	24	X	N	G	30	1202				
16	31 56 7986 929-9	15	4/0	1264	25440	46380	71820	40	0	N	G	30	1202					
17	31 56 7987 506-4	16	4/0	1264	25400	46400	71800	40	0	N	G	30	1202					

J001 PASSZ Vonatterhelési kimutatás

Oldalszám: 2/2 (pótlap)

Vonat azonosító: 48225 2019.12.07

S. sz.	Jármű azonosító	Alk. Tengely		Hossz [cm]	Tömeg [kg]		Féks. [t]		Kf	Fj	VNV	Vesz. jel	UN szám	Rd	LQ	Rk eng. szám	Tov	Megjegyzés
		K.s.	R/Ü		Saját	Rakom.	Elegy.	Lég.										
18	31 56 7986 714-5	17	4 / 0	1264	25620	45600	71220	40	24	X	N	G	30	1202				
19	31 56 7986 602-2	18	4 / 0	1264	24940	45600	70540	40	24	X	N	G	30	1202				
20	31 56 7986 923-2	19	4 / 0	1264	25660	46100	71760	40	24	X	N	G	30	1202				
21	31 56 7987 328-3	20	4 / 0	1264	25650	46140	71790	40	24	X		G	30	1202				Öntöttvas féktuskó
22	31 56 7986 729-3	21	4 / 0	1264	25960	46120	72080	40	20	X	N	G	30	1202				
23	31 56 7874 243-0	22	4 / 0	1264	25700	45680	71380	40	0		N	G	30	1202				
24	31 56 7986 813-5	23	4 / 0	1400	25920	46160	72080	40	24	X	N	G	30	1202				
25	31 56 7882 819-7	24	4 / 0	1365	24350	45780	70130	40	24	X	N	G	30	1202				
26	31 56 7987 025-5	25	4 / 0	1400	25780	46140	71920	40	24	X	N	G	30	1202				
27	31 56 7986 127-0	26	4 / 0	1264	25500	45940	71440	40	24	X	N	G	30	1202				
28	23 55 9104 122-5	27	0 / 2	874	12750	0	12750	14	13	X	N	P						

Fékpórába: _____, 20 _____ óra _____ perc.