



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR**

**Ev típusú motorkocsi-szimulátor készítése
oktatási célra**

TDK Dolgozat

Készítette:

Erdei Zoltán

Konzulens:

Kovács András

Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék

2013

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
1.1. Az általam elvégzett feladat.....	3
1.2. A motorkocsi-szimulátor célja.....	3
2. Az Ev típusú motorkocsi bemutatása.....	4
2.1. Történet	4
2.2. Főbb műszaki adatok	5
3. A kommunikációs egység	6
3.1. A be- és kimenetek.....	6
3.2. A panel elkészítése	7
4. A pult összeállítása	9
5. A motorkocsi mozgását meghatározó erők.....	10
5.1. Alapellenállás	11
5.2. Vonóerő.....	13
5.3. Fékezőerő.....	18
5.4. Görbületi ellenálláserő.....	21
5.5. Emelkedési ellenálláserő.....	21
5.6. A szimulátor program.....	22
5.6.1. A program működése.....	22
5.6.2. A működéshez szükséges feltételek.....	23
6. Összegzés.....	24
7. Források	25
8. Függelék.....	26

1. Bevezetés

1.1. Az általam elvégzett feladat

Jelen TDK dolgozatom témáját a Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar szakkollégiuma ajánlotta fel. A feladatot két részre osztottuk, ez két egymást követő dolgozat témáját adja. Az első a szakkollégium által biztosított Ev típusú motorkocsiból való kezelőszervek számítógéppel való kommunikációra alkalmassá tétele. A második téma a kezelőszervek jeleit és a meghatározott kimeneteket kezelő szimulátor-szoftver megtervezése és leprogramozása lesz.

Az első fejezetben a jövőben elkészülő szimulátor célját mutatom be.

Az második fejezetben az Ev motorkocsi magyarországi történetét és a főbb műszaki adatait írtam le.

A kommunikációért felelős elektronikát ismertetem a harmadik fejezetben, amely Dr. Gyenes Károly tanár úr támogatásával és segítségével készült el.

A negyedik fejezetben a metró-szimulátor bekötését és a pult felépítését mutatom be.

Az utolsó fejezetben a motorkocsira ható erők sebesség-, valamint vezérlésfüggését határoztam meg. Ezeknek az erőknek az adott időközönként történő kiszámolása, ezek alapján pedig az út-, sebesség-, és gyorsulás értékek meghatározása adja majd a szimulátor programjának alapját. Ehhez később képi megjelenítés is társítható.

1.2. A motorkocsi-szimulátor célja

A jövőben elkészítendő szimulátor-program elsődleges célja a valódi metrókocsi-szerelvény mozgásának minél pontosabb modellezése és ennek képi megjelenítése lesz. A szimulátor-program a bemeneteket, az addigi számítási eredményeket és az előre megadott pályaadatokat felhasználva határozza meg a metrókocsira az adott pillanatban ható pályairányú eredő erőt. Ebből meghatározható a kocsira ható gyorsulás, a sebesség, valamint a kocsi által megtett úthossz. A program ezen kívül vezérli a csatlakoztatott kimeneteket (jelzőlámpákat).

2. Az Ev típusú motorkocsi bemutatása

2.1. Történet

A Budapesten használt Ev típusú metrókocsik egy részét 1966-ban rendelték a Szovjetuniótól, amelyek 1970-ben álltak forgalomba. Később, 1972-ben még 36 darab kocsi érkezett. A kocsik az Ev nevet kapták, amiből az E a típusmegnevezés, a v Magyarország (Vengria) rövidítése. Az Ev típusú kocsik motorkocsik, azaz a kocsik minden tengelyét vontatómotor hajtja. A vontatómotor teljesítménye 66 kW (az Ev3 típusnál 72 kW), a kocsi tervezési végsebessége pedig $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. 2000 és 2002 között 45 darab kocsit újítottak fel, ezek az EvA nevet kapták. Élettartamuk megnőtt és számos kisebb átalakítást is elvégeztek rajtuk. Ezek között volt a kocsikon kívül elhelyezett vörös- sárga- fehér lámpasor. A vörös mutatja, ha a vontatómotorok hiba miatt nem vontatnak (a kocsi sesés - se menet, se fék), a sárga a fékhenger nyomás alatti állapotában világít, a fehér nyitott ajtóknál. Az M2-es metróvonalon közlekedtek 2013-ig, amikor mindet lecserélték Alstrom típusú kocsikra.



1. ábra: Az Ev típusú metró motorkocsi

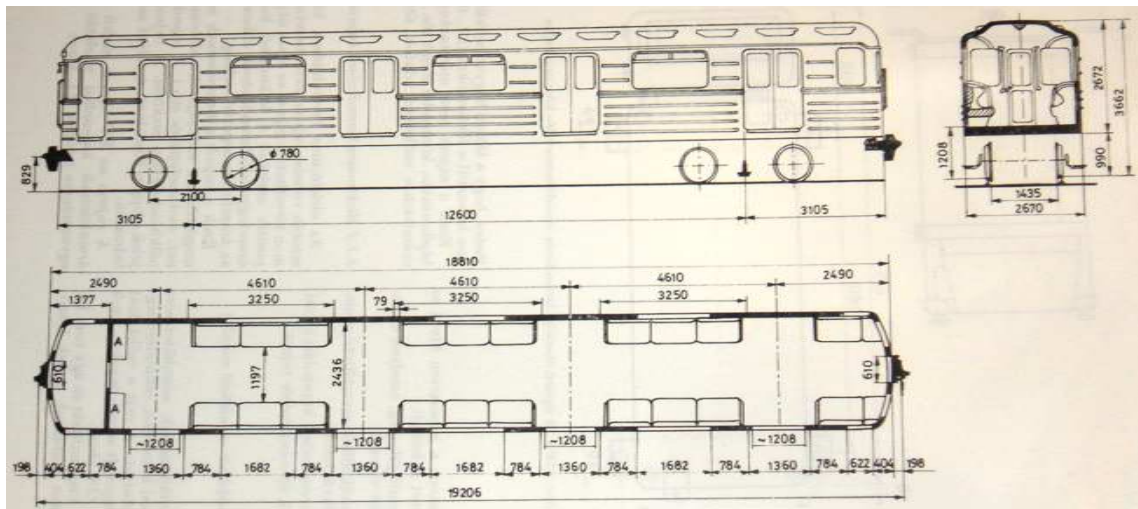
2.2. Főbb műszaki adatok

(2)

Maximális sebesség $\left(\frac{km}{h}\right)$	90	Ütközők közötti hossza (mm)	19210
Megengedett legnagyobb sebessége $\left(\frac{km}{h}\right)$	70	Szélessége (mm)	2712
Maximális gyorsulása* $\left(\frac{m}{s^2}\right)$	1,2	Magassága** (mm)	3678
Maximális lassulása vészfékezéskor* $\left(\frac{m}{s^2}\right)$	1,2	Forgócsapok távolsága (mm)	12600
Vontatómotor teljesítménye (kW)	66	Merev tengelytáv (mm)	2100
Vontatómotor kapocsfeszültsége (V)	350	Keréktátmérő (mm)	780
Össztömeg (t)	31,5	Befogadóképessége (fő)	270

*egyenes pályán, közepes terhelésnél

**sínkorona szintjétől mérve, terheletlen állapotban



2. ábra: A motorkocsi főbb méretei

3. A kommunikációs egység

3.1. A be- és kimenetek

A következő kezelőszervek álltak a rendelkezésemre:

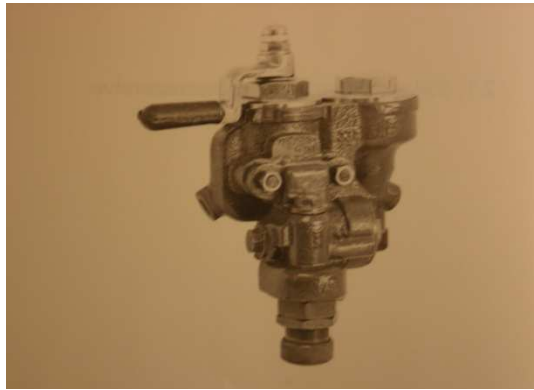
- menetkapcsoló
- nyomógombos vezérlőpanel
- féknyomás-szabályzó szelep
- motor-áram visszajelző

A menetkapcsoló egy vezérlőkarral elfordítható bütykös tengely, amely elfordulásával a beépített kapcsolók állását befolyásolja. A menetkapcsolóban hat érintkező-kapcsoló található, ezek segítségével hét vezérlésállapotba állítható: három gyorsítás, három lassítás és egy kifuttatás. Kifuttatáskor sem vonóerő, sem fékezőerő kivezérlés nem történik, valamint ez a fokozat választja el a gyorsítási és lassítási fokozatokat. Azaz vonóerő és fékezőerő kivezérlés nem történhet egyszerre. A kapcsolók mindegyike egy-egy kétállású kapcsolóként (kontaktusként) volt modellezhető, ezek állásából egyértelműen meghatározható, hogy milyen fokozatban van a menetkapcsoló.

A nyomógombos vezérlőpanelen hét nyomógomb, három darab kétállású kapcsoló és hat darab visszajelző lámpa foglal helyet. A nyomógombokat és a kapcsolókat az előzőhöz hasonlóan kontaktusokként, azaz digitális bemenetként lehetett kezelni. Mivel a panel az összes többihez hasonlóan már használt elem volt, a lámpák hiányoztak belőle, ezeket LED-ekkel helyettesítettem. A lámpák jelentették az egyik csoportját a kimeneteknek.

Az eddig tárgyalt in- és outputok mind digitális jellegűek voltak.

A féknyomás-szabályzó szelep beépített nyomásmérője sajnálatos módon nem volt elérhető a számomra, a helyettesítő nyomásmérő beszerzésére pedig nem volt anyagi lehetőség. A nyomásmérő analóg bemenetet szolgáltatott volna a rendszerhez. Úgy döntöttem, hogy ennek helyettesítésére a szelep házába egy potenciométert építetek be, amelyet a nyomásszabályzó kar elfordításával lehet állítani.



3. ábra: Fékszelep



4. ábra: Fékszelep beépítés előtt

A motor-áram visszajelzőjét egy analóg kimenetként kezeltem. Értékét a mindenkori sebesség- és vezérlésvizonyok határozzák majd meg, amelyet a szimulátor program számít. ± 500 A-es tartomány jelzésére alkalmas a skálázása.

A be- és kimeneteket összegezve:

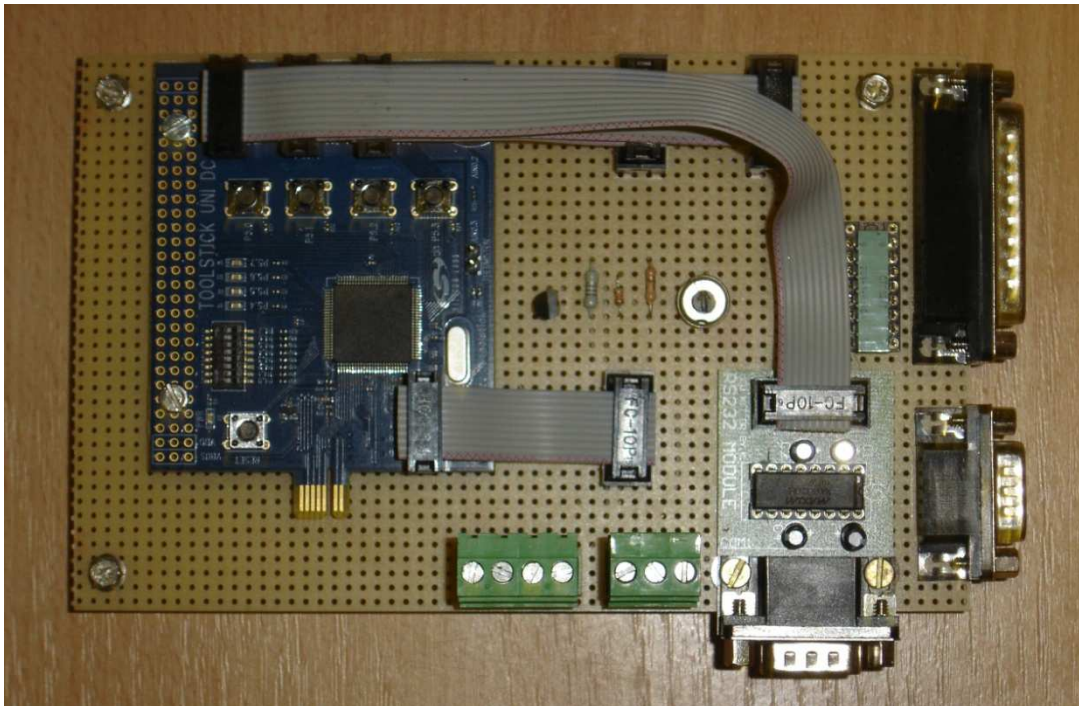
Megnevezés	Jellege	Értéke
Világítás bekapcsolva	Nyomógomb	0V, 5V
Világítás kikapcsolva	Nyomógomb	0V, 5V
RP visszaállító	Nyomógomb	0V, 5V
Hibajelző	Nyomógomb	0V, 5V
Ajtójelző	Nyomógomb	0V, 5V
Jobboldali ajtónyitó	Nyomógomb	0V, 5V
Baloldali ajtónyitó	Nyomógomb	0V, 5V
	Nyomógomb	0V, 5V
Motor kompresszor	Kétállású kapcsoló	0V, 5V
Ajtózáró	Kétállású kapcsoló	0V, 5V
Tartalék ajtózáró	Kétállású kapcsoló	0V, 5V
Menetkapcsolók	Kétállású kapcsolók	0V, 5V
Visszajelző lámpák	Digitális kimenetek	0V, 3V
Féknyomásmérő	Analóg bemenet	0-1k Ω
Motor-árammérő	Analóg kimenet	-2,5V-től +2,5V-ig

3.2. A panel elkészítése

A kommunikációért felelős panel tervezését Dr. Gyenes Károly végezte, valamint az összeállítás során is segítségemre volt tanácsaival. A panel központi része egy C8051F020 típusú mikrokontroller, amely a számítógéppel való kommunikációért felel. A bemenetek jeleit feldolgozza, RS232-es porton küldi a számítógépnek, fogadja a számítógép által küldött jeleket és vezérli a kimeneteket. A kimenetek D9-es, a

kontaktusszerű bemenetek D20-as csatlakozóval köthetők a panelhoz. A szükséges tápfeszültség és az egy-egy analóg ki-és bemenet külön vezetéken csatlakoztatható a panelhoz.

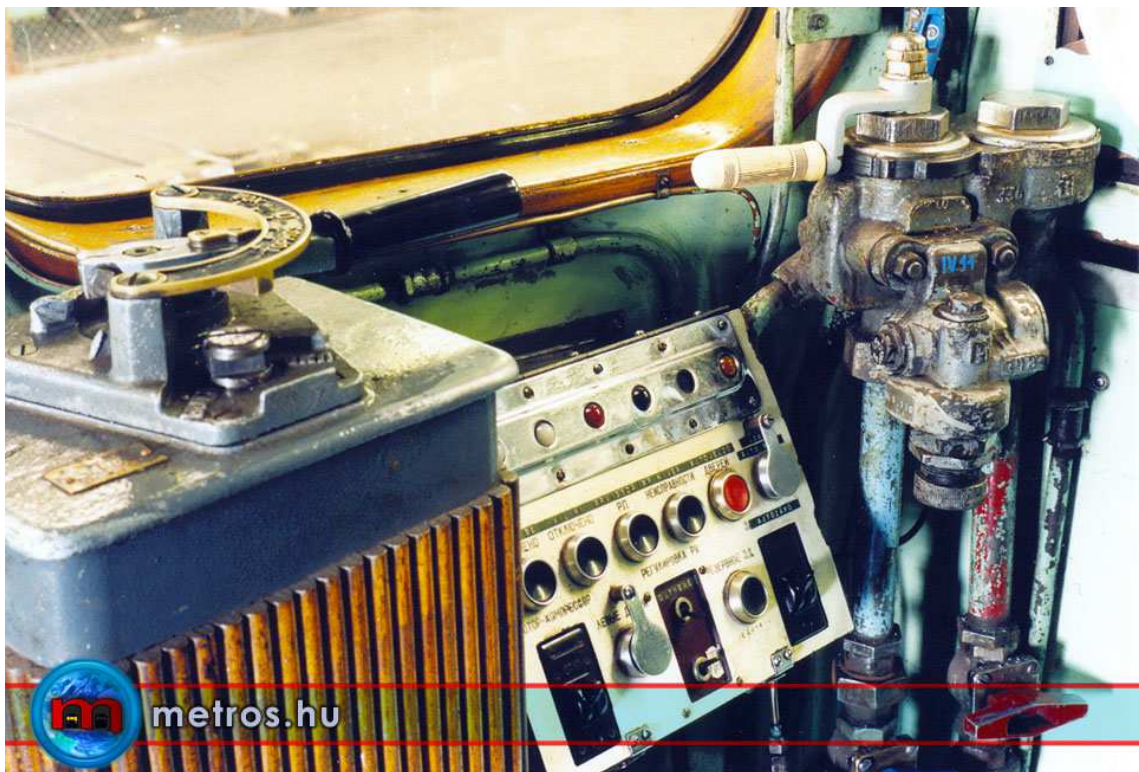
A panelon elhelyeztem egy tranzisztros erősítőkapcsolást is. Ez az árammérő-műszerhez szükséges $-2,5\text{V}$ - $+2,5\text{V}$ feszültségtartományt biztosítja a mikrokontroller által kiadott feszültség ($0\text{-}3\text{V}$) átalakításával.



5. ábra: Kommunikációs panel

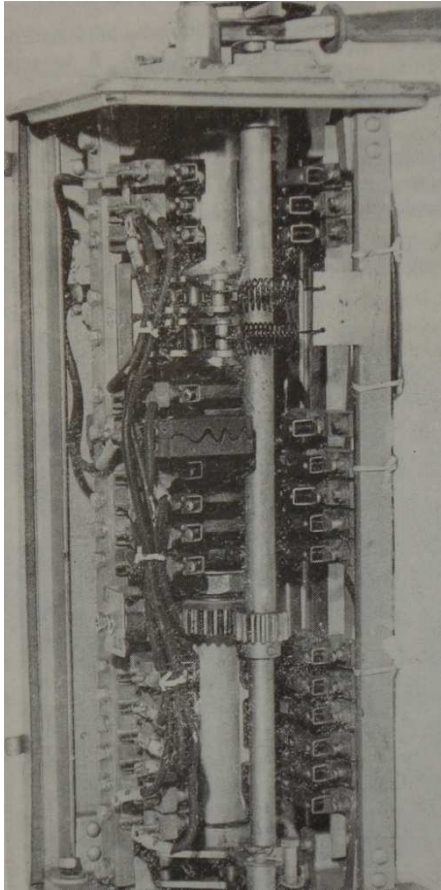
4. A pult összeállítása

A pénzügyi elszámolás csúszása miatt a pult összeállítása még folyamatban van. A vezetőfülkét modellező teljes pult egy fából készült dobogóra kerül. A vezetőülés mellett helyezkedik el kézzel kényelmesen elérhető távolságon belül az egyik oldalon a menetkapcsoló, másik oldalon a féknyomás-szabályzó, elől pedig a nyomógombos pult.



6. ábra: Kezelőpult

A nyomásszabályzó szelephez több légvezeték is csatlakozik; ezek egy része, mivel nem lesznek használatban, a könnyebb felszerelhetőség érdekében el lett távolítva. A pultban egy számítógép, a pulton pedig egy monitor is elhelyezésre került.



7. ábra: Menetkapcsoló



8. ábra: A menetkapcsoló beépítés előtt

A menetkapcsoló fa burkolata eltávolításra került, ez a pultba való beépítéskor sem fog visszakerülni, mivel így a kapcsoló működése szemléletesen bemutatható.

A menetkapcsolóban 6 darab kontaktort, a nyomógombos pultban 8 darab nyomógombos és 3 darab kétállású kapcsolót kábeleztem be. Ezen kívül a motorárammérő műszert és a fékszelepből elhelyezett potenciométert is bekötöttem.

5. A motorkocsi mozgását meghatározó erők

A jármű dinamikai mozgását a számítógép által felhasználhatóvá kell tenni. A modellalkotás során több olyan jelenséget is elhanyagoltam, amelyek vizsgálatára jelen dolgozatomban nem nyílt lehetőségem. (pl: a függőleges és vízszintes irányú kitérés a pálya gerjesztésének hatására). A modell alkalmazásával a későbbiekben meghatározható például a kocsi energiadiagramja az út befutása során.

A motorkocsi mozgását befolyásoló pályairányú erők:

- Alapellenállás
- Vonóerő
- Fékezőerő
- Görbületes ellenálláserő
- Emelkedési ellenálláserő

Ezeket az erőket összegezve kapjuk meg a járműre ható eredő pályairányú erőt, ami irányától függően a szerelvényt gyorsítja vagy lassítja.

$$\Sigma F = F_{ea}(v, \Sigma F) + F_v(v, u_1) + F_f(v, u_2) + F_{eg}(s) + F_{ea}(s)$$

A járműre ható eredő erő az éppen aktuális sebességtől, fékező- és vonóerő-vezérléstől, valamint a befutott úttól függ.

5.1. Alapellenállás

A metró-szerelvény légellenállásából, kerekeinek csapsúrlódásaiból és gördülési ellenállásaiból adódó erő, azaz nagyságát a jármű tulajdonságai határozzák meg. A mindenkori mozgásiránnyal ellentétes irányba mutat, akadályozni igyekszik azt.

Általános alakja a következő:

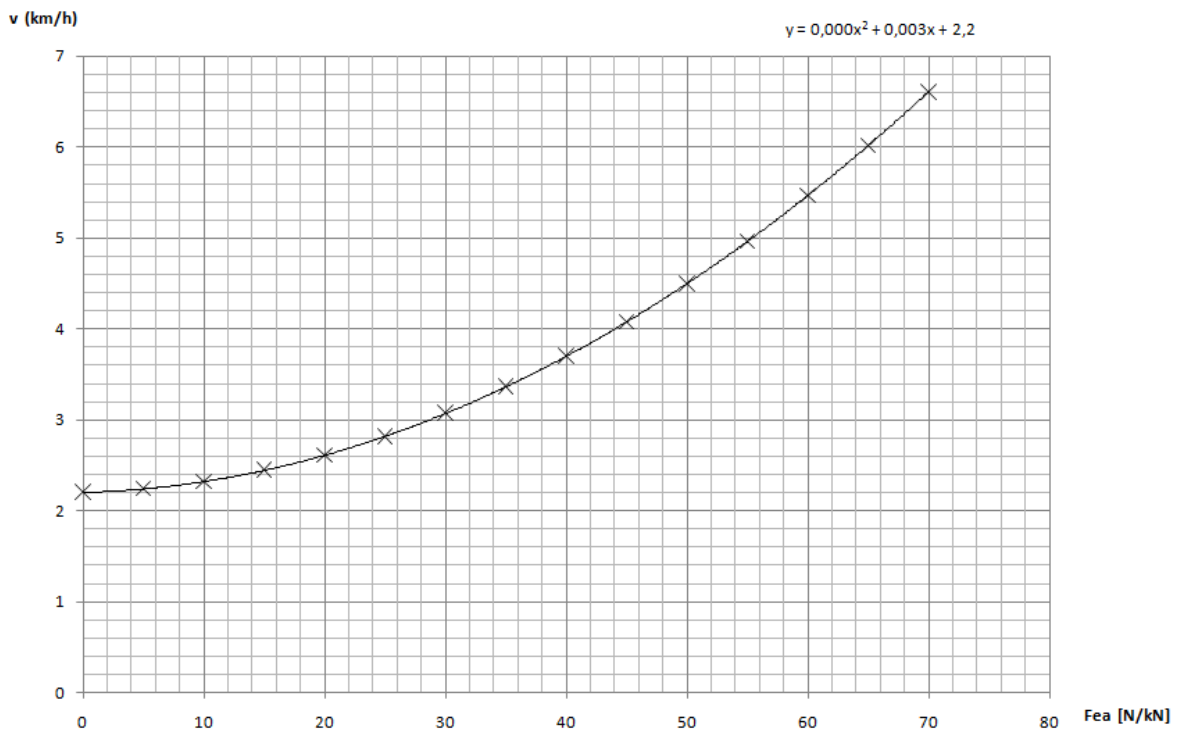
$$F_{ea}(v, \Sigma F) = \begin{cases} [a * v^2 + b * |v| + c] * (\text{sign}(v)) & \text{ha } v \neq 0 \\ \min(c, |\Sigma F|) * (\text{sign}(\Sigma F)) & \text{ha } v = 0 \end{cases}$$

Közelítő (tapasztalati) képlete a BME Vasúti Járművek Tanszék kutatási tevékenysége során nyert tapasztalatok alapján a tömegre vonatkozó fajlagos alapellenállás becsléssel meghatározott közelítő összefüggése az alábbi:

$$f_{ea} = 0,00085 * v^2 + 0,0035 * v + 2,2 \left[\frac{\text{N}}{\text{kN}} \right]$$

Az alapellenállás ebből a kocsi súlyerejével kapható:

$$F_{ea} = f_{ea} * m * g \text{ [N]}$$



9.ábra: Az alapellenállás

Az Ev típusú motorkocsi homloklapfelülete jó közelítéssel $3,1 * 2,8 = 8,68$ (m^2), tengelyeinek száma pedig egy-egy kocsin 4. Így $n = 4 * k$. Adott szerelvény (rögzített tömeg és kocsiszám) esetén a menetellenállás csak a jármű sebességétől függ.

5.2. Vonóerő

A vonóerő a villamos motor hajtóművön keresztül a kerekeken átadott, a mozgásiránnyal megegyező irányú erő. Nagysága az éppen aktuális vezérléstől és a kocsi sebességétől függ. A gyorsításhoz három diszkrét vezérlési fokozat kapcsolható, amelyek a villamos motorra kapcsolható ellenállásokat eltérően vezérlik.

A vonóerő vezérlése a menetkapcsolóval történik, amely a terhelő ellenállásokat (36 db) a következők szerint kapcsolja:

- 1. fokozatban sorosan bekapcsolja az első ellenállást, vagy az addig használt ellenállásokat bekapcsolva tartja attól függően, hogy 0 fokozatból, vagy valamelyik magasabb számú vezérlési fokozatból kapcsolunk az 1-esbe.
- 2. fokozatban előre meghatározott időeltolással kapcsolja be sorosan az ellenállásokat 1-től 18-ig.
- 3. fokozatban párhuzamosan kapcsolódnak be a rendszerbe az ellenállások 19-től 36-ig.

A következő táblázat mutatja az ellenállások pozícióját, nagyságát, bekapcsolásuk sorrendjét és módját:

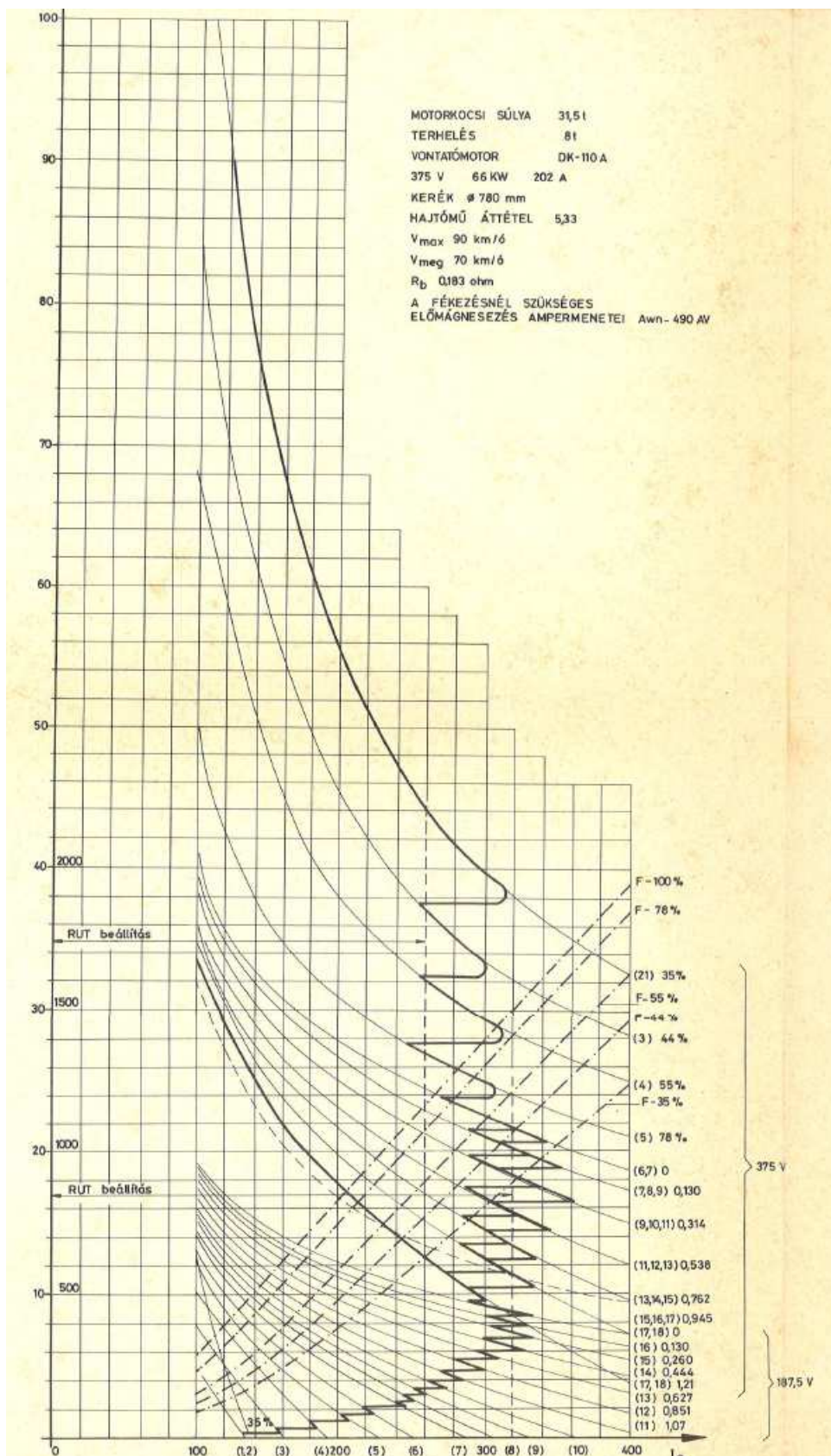
ELLENÁLLÁS TÁBLÁZAT PP és RK POZÍCIÓK SZERINT					
MOTOR ÜZEM					
Sor- szám	pozíció PP	poz RK	kapcs	Ellenállás Ohm	Mező %
1	PSZ	1	SOROS	4,96	35
2	PSZ	2		4,96	100
3	PSZ	3		3,96	100
4	PSZ	4		3,17	100
5	PSZ	5		2,60	100
6	PSZ	6		2,24	100
7	PSZ	7		1,89	100
8	PSZ	8		1,71	100
9	PSZ	9		1,52	100
10	PSZ	10		1,30	100
11	PSZ	11		1,07	100
12	PSZ	12		0,851	100
13	PSZ	13		0,627	100
14	PSZ	14		0,444	100
15	PSZ	15		0,260	100
16	PSZ	16		0,130	100
17	PSZ	17		0	100
18	PSZ	18		0	100/50
19	PP	18	PÁRHUZAMOS	1,21 - 1,21	100
20	PP	17		1,21 - 0,945	100
21	PP	16		0,945- 0,945	100
22	PP	15		0,762 - 0,945	100
23	PP	14		0,762 - 0,762	100
24	PP	13		0,762 - 0,538	100
25	PP	12		0,538- 0,538	100
26	PP	11		0,314- 0,538	100
27	PP	10		0,314- 0,314	100
28	PP	9		0,314- 0,130	100
29	PP	8		0,130- 0,130	100
30	PP	7		0 - 0,130	100
31	PP	6		0 - 0	100
32	PP	5		0 - 0	100
33	PP	4		0 - 0	55
34	PP	3		0 - 0	44
35	PP	2		0 - 0	35
36	PP	1		0 - 0	36

10. ábra: Az ellenállások kapcsolása motorüzemben

Minden ellenálláshoz értelmezhető egy áramgörbe, amely megmutatja, hogy az épp aktuális ellenállás használata során az adott sebesség mellett a villamos motor mekkora áramot vesz fel.

A menetábra mutatja, hogy a villamos motoron átfolyó áramok hatására mekkora vonóerő-értékeket generál a villamos motor. Ez utóbbi is egy görbesereggel ábrázolható, hiszen a különböző ellenállásokhoz különböző mezőterhelések tartoznak, minden esetben az éppen vizsgált ellenállás mezőterhelésének megfelelő görbét kell figyelni.

Ez a menetábra és a motor áramgörbéje közös diagramon is ábrázolható:



11. ábra: Menetábra motorüzemben

Mivel a különböző terhelő ellenállásokhoz tartozó áramgörbék a függőleges és vízszintes tengelyekhez közelítve eltérnek az exponenciális függvénnyel felírható közelítésektől, így a görbéken diszkrét állapotokat vizsgálva határozzuk meg a különböző sebességeken, a különböző ellenállások használatakor kialakuló vonóerőt. A görbéken hosszuktól függően 4-10 pont felírását végeztem el, ezzel előálltak a különböző ellenállások használata során adott sebességekhez tartozó áramértékek, ezek alapján pedig a vonóerő-értékek.

A felírt pontok közé eső sebességértékekhez a két közrefogó pont sebesség- és vonóerő adataiból lineáris interpolációval határozzuk meg az általunk keresett vonóerő-értéket.

Az interpoláció a következő képlettel számítható:

$$F_v = F_{v_{i-1}} + \frac{F_{v_i} - F_{v_{i-1}}}{v_i - v_{i-1}} * v$$

Ahol:

- F_v – a keresett vonóerő érték
- $F_{v_{i-1}}$ – a megelőző pont vonóereje
- F_{v_i} – a következő pont vonóereje
- v_i – a következő pont sebessége
- v_{i-1} – a megelőző pont sebessége
- v – a keresett vonóerő értékhez tartozó sebesség

5.3. Fékezőerő

A gyorsításhoz hasonlóan a lassításhoz is három diszkrét vezérlési fokozat tartozik, amelyeket a menetkapcsolóval lehet beállítani. A fékezőerő a menetkapcsoló aktuális állásától, vagyis a fékezőerő-vezérléstől és a kocsi sebességétől függ.

A fékezőerő vezérlése a menetkapcsolóval történik, amely a motorra kapcsolható terhelő ellenállásokat (36 db) vezérli a következők szerint:

- 1. fokozatban sorosan bekapcsolja az első ellenállást, vagy az addig használt ellenállásokat bekapcsolva tartja attól függően, hogy 0 fokozatból vagy valamelyik magasabb számú vezérlési fokozatból kapcsolunk az 1-esbe
- 2. fokozatban előre meghatározott időeltolással kapcsolja be sorosan az ellenállásokat 1-től 18-ig
- 3. fokozatban párhuzamosan kapcsolódnak be a rendszerbe az ellenállások 19-től 36-ig, valamint kapcsolja a rögzítőféket is

A következő táblázatok az ellenállások pozícióját, nagyságát és bekapcsolásuk sorrendjét, valamint az ellenállások bekapcsolási időközeit mutatják:

ELLENÁLLÁS TÁBLÁZAT				
PP és RK POZÍCIÓK szerinti				
FÉK ÜZEM				
pozíció	pozíció		Ellenállás	Mező
PP	RK		Ohm	%
PT1	1		3,33	31
PT1	2		3,33	35
PT1	3		3,33	44
PT1	4		3,33	55
PT1	5		3,33	78
PT1	6		3,2	100
PT1	7		3,07	100
PT1	8		2,89	100
PT1	9		2,70	100
PT1	10		2,48	100
PT1	11		2,25	100
PT1	12		2,03	100
PT1	13		1,81	100
PT1	14		1,62	100
PT1	15		1,44	100
PT1	16		1,31	100
PT1	17		1,18	100
PT1	18		1,18	100
PT2	18		1,046	100
PT2	17		0,925	100
PT2	16		0,838	100
PT2	15		0,744	100
PT2	14		0,714	100
PT2	13		0,662	100
PT2	12		0,629	100
PT2	11		0,584	100
PT2	10		0,508	100
PT2	9		0,409	100
PT2	8		0,358	100
PT2	7		0,309	100
PT2	6		0,203	100
PT2	5		0,203	100
PT2	4		0,203	100
PT2	3			
PT2	2			
PT2	1			

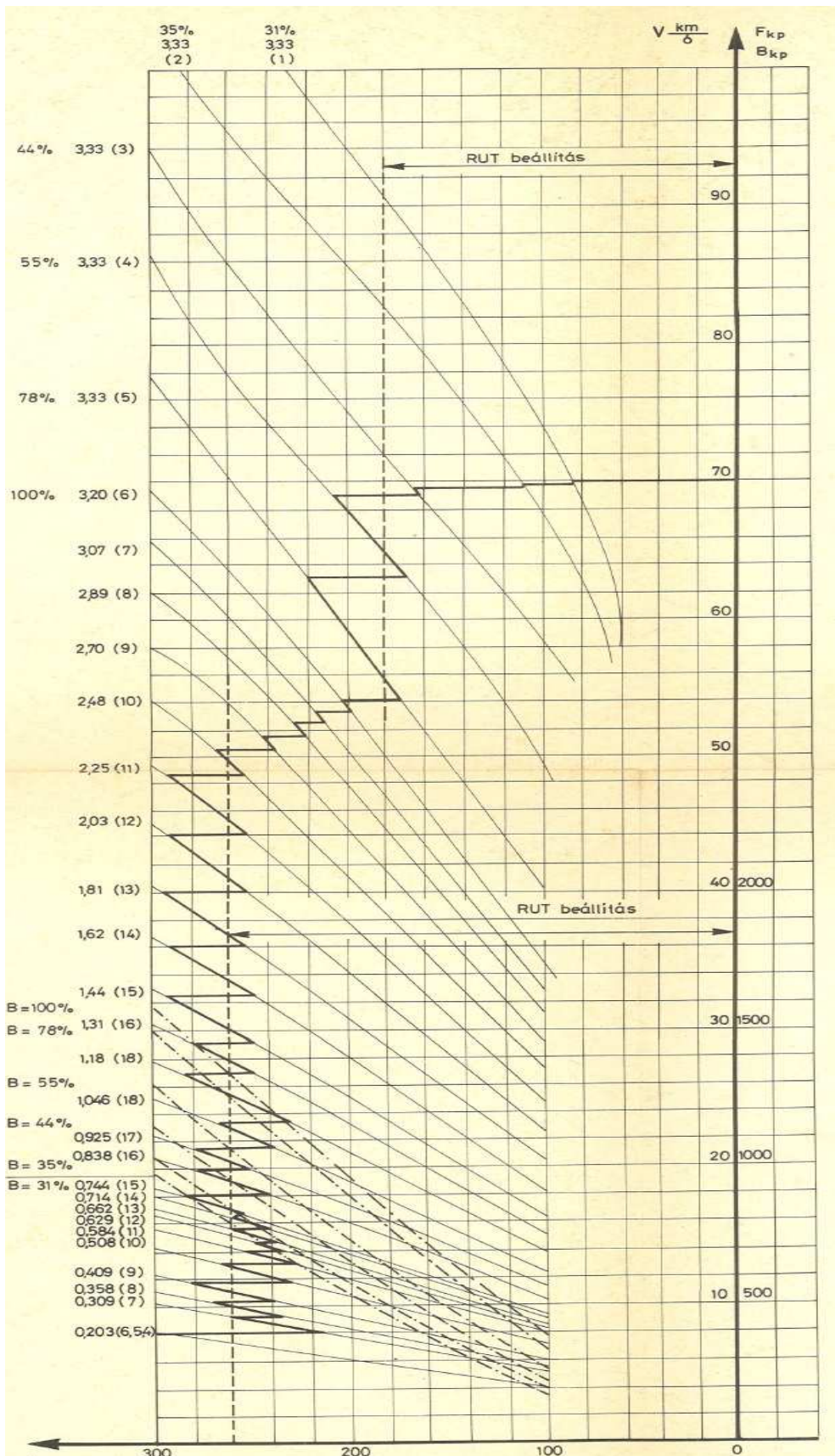
12. Az ellenállások kapcsolása féküzemben

AZ ELLENÁLLÁSKONTROLLER FORGÁSÁNAK IDŐRENDI TÁBLÁZATA		
Pozíció PP	Pozíció RK	Időrend RKsec
PSz	1 - 7	0,25
	8 - 18	0,17
PP	18 - 1	0,17
PT1	1 - 7	0,25
	8 - 18	0,17
PT2	18 - 4	0,17

13. ábra: Az ellenállás-kontroller forgásának időrendje

Lassítás esetén is minden ellenálláshoz értelmezhető egy áramgörbe, amely megmutatja, hogy az épp aktuális ellenállás bekötésével az adott sebesség mellett a villamos motor mekkora áramot generál.

A menetábra mutatja, hogy a villamos motoron átfolyó áramok mekkora fékezőerőt biztosítanak. A menetábra és a motor áramgörbéje közös diagramon ábrázolva:



14. ábra: Menetábra féküzemben

A görbéken diszkét állapotokat vizsgálva határozzuk meg a különböző sebességeken, a különböző ellenállások használatakor kialakuló fékezőerőt. A görbéken hosszuktól függően 5-10 pont felírását végeztem el, így meghatározva a különböző sebességekhez tartozó áramokat és fékezőerő-értékeket.

A felírt pontok közé eső sebességértékekhez a két közrefogó pont sebesség- és fékezőerő adataiból lineáris interpolációval határozzuk meg a szükséges vonóerő értéket.

Az interpoláció a következő képlettel számítható:

$$F_f = F_{f_{i-1}} + \frac{F_{f_i} - F_{f_{i-1}}}{v_i - v_{i-1}} * v$$

5.4. Görbületi ellenállásérő

A görbületi ellenállásérő a pályáívekben megnövekvő súrlódási ellenállás. Számítása tapasztalati képlettel történik:

$$F_{eg}(s) = m * g * f(G(s)) = m * g * k$$

Látható, hogy a görbületi ellenállás a szerelvény tömegétől és az adott pillanatig befutott úthossztól függ. A normál nyomtávú vasutakra vonatkozó fajlagos görbületi ellenállásérő jó közelítéssel alkalmazható a metrókocsi esetére is.

$$k = \frac{500}{R - 30} \left[\frac{N}{kN} \right]$$

Ahol R adott pontban a pálya kanyarulati sugara (ívsugara).

5.5. Emelkedési ellenállásérő

Az emelkedési ellenállás a pálya domborzatából adódik, a jármű súlyerejének lejtő irányú komponensét jelenti. Hegymenetben járulékos fékezőerőt, lejtmenetben pedig járulékos vonóerőt biztosít. Nagysága a szerelvény tömegétől és a lejtő meredekségétől függ.

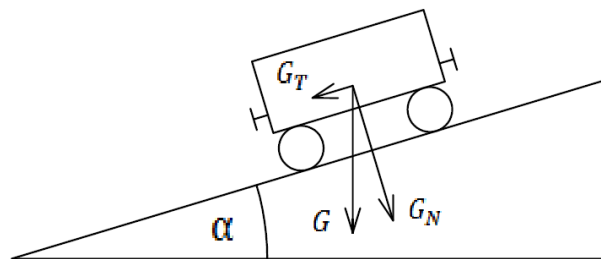
Mivel kis szögekre $\sin(\alpha) \approx \text{tg}(\alpha)$, így

$$F_{ee}(\alpha) = m * g * \sin(\alpha) \approx m * g * \text{tg}(\alpha)$$

A pálya meredeksége az adott pillanatig megtett úttól függ, vagyis

$$\alpha = \alpha(s)$$

Mivel ez az érték igen kis tartományban változhat ezért a vasútnál ennek számszerűsítésére az ezreléket használják. (+1 ‰ az 1km hosszú pályaszakaszon 1 m emelkedést jelent). Jele: e.



15. ábra: Jármű a lejtőn

$$F_{ee}(s) = m * g * \text{tg}(\alpha(s)) = m * g * \frac{e(s)}{1000}$$

5.6. A szimulátor program

5.6.1. A program működése

A program feladata a fent megadott kifejezések általunk megkívánt gyakoriságú számítása, ezzel a járműre ható pályairányú eredő erő időfüggvényének Δt idő szerinti felosztásának meghatározása. Az eredő erő időfüggvénye alapján történik a gyorsulás-értékek meghatározása (Δt felosztású gyorsulás-idő függvény), ezután pedig a sebesség, valamint a befutott út függvényeinek előállítása a Δt időeltolásokkal számolt értékekből. Két számítás között Δt időtartam telik el. $\Delta t=0,01$ s időtartamonként ismételve a számításokat várhatóan megfelelő finomságú leírását kapjuk a gyorsulás-, sebesség- és útfüggvényeknek.

Az i -edik gyorsulásérték, amely $i * \Delta t$ időpillanathoz tartozik:

$$a_i = \frac{m + \gamma}{\sum F_i}$$

A sebesség:

$$v_i = v_{i-1} + a_i * \Delta t$$

A megtett út:

$$s_i = s_{i-1} + v_i * \Delta t + \frac{a_i}{2} * \Delta t^2$$

Ezzel elérhetővé vált az adott pillanatban a sebesség és az addig megtett út meghatározása. Ezek az adatok bemenetként fognak szolgálni a következő számításához, amely Δt idővel későbbi időpontot vesz alapul, eredménye pedig az újabb időponthoz tartozó sebesség és úthossz.

Kezdeti értékeket rendelve a feladathoz (a pálya elejéről indítunk, álló helyzetből):

$t=0$ [s] időpontban

$$s(0)=0 \text{ [m] ; } v(0)=0 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

A fékezőerő és a vonóerő vezérlésének állapotát pedig mindenkor a menetkapcsoló állása határozza meg.

5.6.2. A működéshez szükséges feltételek

A görbületi ellenállás és az emelkedési ellenállás számításához szükség van a pálya tulajdonságaira, azaz az ívsugár, valamint az emelkedés úttól való függésére. Ezeknek a függvényszerű felírására nem lesz lehetőség, így ebben az esetben is Δs alapú felosztást alkalmazva lineárisan közelítjük a valós görbület és emelkedés függvényeket.

$\Delta s = 5 \text{ m}$ –es felosztást használva az ívsugár és emelkedés értékek nem mutatnak hirtelen változásokat, így a lineáris közelítés itt is alkalmazható lesz.

$$e_s = e_{s_{i-1}} + \frac{e_{s_i} - e_{s_{i-1}}}{s_i - s_{i-1}} * s \quad ; \quad G_s = G_{s_{i-1}} + \frac{G_{s_i} - G_{s_{i-1}}}{s_i - s_{i-1}} * s$$

6. Összegzés

Dolgozatomban egy metró-szimulátor kétrészes feladatának az első felét végeztem el. Ez az Ev típusú motorkocsiból való kezelőszervek számítógéppel való kommunikációra alkalmassá tételét jelentette.

Meghatároztam a be- és kimeneteket, valamint elkészítettem a kommunikációért felelős panelt. Elvégeztem a menetkapcsoló, a nyomógombos pult, a motor-árammérő műszer és a féknyomás-szabályzó bekábelezését. A féknyomás-szabályzóba egy potenciométert építettem be, mivel a beépített nyomásmérő nem volt elérhető.

Elvégeztem a motorkocsira ható erők sebesség-, valamint vezérlésfüggésének meghatározását. Ez alapján felírtam a motorkocsi pályamenti mozgását befolyásoló dinamikai egyenleteket és meghatároztam a kocsi aktuális gyorsulásának, sebességének és az adott pillanatig megtett útnak a kiszámítási módját.

Motor- és féküzem esetére felírható menetábrák diszkrét pontokkal való leírását is elvégeztem, ami alapján pedig lineáris interpolációval számíthatóak minden sebesség esetén a mozgásegyenletek.

Végül meghatároztam a szimulátor program működéséhez szükséges feltételeket.

7. Források

Forrásjegyzék:

- (1) Eb típusú metró motorkocsi alkatrész-katalógusa I. (BKV Metró Üzemigazgatóság Üzemeltetési Osztálya, 1974)
- (2) Eb típusú metró motorkocsi alkatrész-katalógusa II. (BKV Metró Üzemigazgatóság Üzemeltetési Osztálya, 1975)
- (3) Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete I.kötet (Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)
- (4) Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete II.kötet (Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)
- (5) <http://metros.hu/jarmu/ev.html>
- (6) Verebély László: Villamos vasutak (Tankönyvkiadó, Budapest, 1995)
- (7) Gábor Péter: Villamos vasutak I-II-III. (Magyar Államvasutak Zrt., 2007)
- (8) Kereztes Péter és Beneda Károly közös TDK dolgozata (2004)

Ábrajegyzék:

A jegyzékben nem szereplő ábrák saját készítésűek.

[1] Eb típusú metró motorkocsi alkatrész-katalógusa I. (BKV Metró Üzemigazgatóság Üzemeltetési Osztálya, 1974)

[2] Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete I.kötet (Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)

[3] Eb típusú metró motorkocsi alkatrész-katalógusa II. (BKV Metró Üzemigazgatóság Üzemeltetési Osztálya, 1975)

[6] http://metros.hu/images/gal/jarmuvek/ev_12.jpg

[7] Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete II.kötet (Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)

[9] Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete II.kötet Mellékletek (Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)

[10] Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete II.kötet Mellékletek (Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)

[11] Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete II.kötet Mellékletek(Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)

[12] Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete II.kötet Mellékletek(Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)

[13] Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete II.kötet Mellékletek(Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)

[14] Metró motorkocsik járműszerkezeti ismerete II.kötet Mellékletek(Budapesti Közlekedési Vállalat, 1987)

8. Függelék

A különböző ellenállásokhoz tartozó gyorsítási görbék felbontása motorüzemben:

(1)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
35%	12	100	100
	9	110	110
	6	115	120
	3	125	150
	0	135	170

(2)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	5	100	300
	4	105	320
	3	110	350
	2	120	400
	0	130	470

(3)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	8	100	300
	6	115	380
	4	130	470
	2	145	530
	0	160	620

(4)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	10	100	300
	8	120	400
	5	145	530
	3	160	630
	0	190	790

(5)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	12	150	320
	10	110	350
	8	130	450
	6	145	530
	4	170	680
	2	195	800
	0	230	1000

(6)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	13	100	300
	10	120	400
	9	130	450
	8	140	500
	6	160	620
	4	190	780
	2	220	930
	0	245	1120

(7)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	14	100	300
	12	110	350
	10	130	450
	8	150	570
	6	180	720
	4	190	900
	2	245	1090
	0	290	1340

(8)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	14	105	320
	12	120	400
	10	135	480
	8	160	620
	6	190	790
	4	230	1000
	2	265	1200
	0	305	1410

(9)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	15	100	300
	14	110	350
	13	115	380
	12	125	430
	10	145	520
	8	170	680
	6	205	850
	4	240	1050
	2	285	1300
	0	330	1570

(10)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	15	105	320
	14	110	350
	13	120	400
	11	140	550
	9	170	680
	8	180	720
	6	220	930
	4	260	1160
	2	305	1420
	0	360	1730

(11)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	16	100	300
	14	115	380
	13	125	420
	12	135	480
	11	150	580
	9	180	720
	6	240	1050
	4	285	1300
	2	340	1620
	0	400	1950

(12)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	16	105	320
	15	115	380
	14	125	420
	13	135	480
	12	145	520
	10	175	700
	8	215	920
	6	260	1160
	4	320	1500
	2	385	1860

(13)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	17	105	320
	16	110	350
	15	120	400
	14	130	450
	12	155	600
	10	190	780
	8	240	1050
	6	300	1400
	4	360	1740
	3	400	1950

(14)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	18	100	300
	16	115	380
	14	140	500
	13	150	570
	12	165	650
	11	185	750
	10	210	880
	8	260	1160
	6	330	1560
	4	400	1950

(15)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	18	105	320
	16	120	400
	15	130	450
	14	145	540
	13	160	620
	11	205	850
	10	230	1000
	8	290	1370
	7	330	1570
	6	370	1800

(16)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	19	100	300
	17	115	380
	15	140	510
	13	170	670
	12	190	770
	11	220	940
	10	245	110
	9	280	1280
	8	320	1500
	6	400	1950

(17,18)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	19	100	300
	17	120	400
	15	145	550
	13	180	720
	12	205	860
	11	240	1050
	10	265	1200
	9	305	1440
	8	350	1680
	7	400	1950

(17,18)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	33	100	300
	30	115	380
	27	130	460
	24	145	550
	22	160	620
	20	180	720
	18	220	1000
	12	270	1240
	8	330	1570
	4	395	1930

(15,16,17)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	35	100	300
	32	110	360
	29	125	430
	26	140	510
	24	160	620
	21	190	680
	18	220	940
	14	280	1280
	10	340	1620
	7	400	1950

(13,14,15)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	36	100	300
	32	115	380
	29	130	460
	26	150	580
	23	185	750
	20	220	1000
	17	260	1150
	14	310	1460
	12	345	1650
	10	385	1880

(11,12,13)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	36	100	300
	32	120	400
	30	135	480
	28	150	570
	25	180	720
	22	215	920
	19	260	1160
	16	310	1460
	14	350	1700
	12	400	1950

(9,10,11)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	38	100	300
	34	120	400
	31	135	480
	28	160	630
	26	185	750
	23	230	1000
	20	280	1280
	18	320	1500
	16	370	1800
	15	400	1950

(7,8,9)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	38	100	300
	36	110	350
	34	125	420
	31	150	570
	29	170	680
	27	200	730
	24	240	1050
	23	280	1280
	22	325	1520
	21	380	1840

(6,7)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	41	100	300
	38	110	350
	36	120	400
	34	130	460
	31	160	620
	27	220	950
	24	270	1240
	22	310	1460
	20	360	1740
	19	400	1950

(5)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	50	100	240
	44	115	300
	38	140	430
	34	165	560
	30	210	800
	28	240	970
	24	320	1410
	23	350	1590
	22	370	1700
	21	400	1850

(4)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	68	100	160
	52	130	260
	46	155	370
	42	170	450
	38	200	590
	34	240	800
	30	290	1060
	28	325	1240
	26	370	1480
	25	400	1630

(3)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	84	100	130
	74	115	160
	66	130	200
	58	150	280
	50	180	380
	42	220	580
	38	250	720
	34	290	920
	31	340	1170
	29	390	1420

(1,2)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_v \left(\frac{N}{kN} \right)$
35%	100	110	110
	90	120	13
	82	130	160
	76	140	190
	70	150	210
	60	180	310
	52	215	450
	40	300	790
	36	365	1000
	33	390	1200

A különböző ellenállásokhoz tartozó lassítási görbék felbontása féküzemben:

(1)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
31%	100	230	650
	92	190	500
	86	155	360
	82	135	280
	78	115	220
	74	100	180
	70	85	
	66	70	
	62	65	
	58	60	

(2)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
35%	100	285	950
	92	240	750
	86	200	580
	80	165	420
	76	140	340
	70	110	220
	68	100	200
	64	85	
	62	75	
	58	70	

(3)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
44%	94	300	1150
	86	260	950
	80	230	800
	74	190	600
	71	175	550
	68	155	450
	65	135	370
	62	120	300
	58	100	230
	56	90	

(4)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
55%	86	300	1300
	80	270	1130
	76	250	1000
	72	225	870
	68	200	740
	64	175	600
	58	140	450
	54	120	350
	52	110	300
	48	95	

(5)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
78%	77	295	1480
	72	270	1310
	66	235	1100
	62	215	980
	58	190	830
	54	170	720
	50	150	600
	46	130	480
	42	110	370
	40	100	350

(6)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	69	300	1580
	64	265	1380
	60	235	1180
	54	205	1000
	50	180	840
	46	160	720
	42	140	600
	38	115	480
	36	110	450
	34	100	400

(7)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	66	300	1580
	60	260	1350
	54	220	1080
	50	200	960
	44	165	750
	40	140	600
	36	120	490
	33	100	400

(8)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	62	300	1580
	60	280	1460
	58	265	1380
	56	250	1280
	52	225	1100
	48	200	960
	40	150	660
	32	105	410

(9)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	58	300	1580
	56	275	1440
	54	260	1350
	52	250	1280
	48	220	1080
	42	185	870
	36	145	620
	30	110	420

(10)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	54	300	1580
	52	280	1460
	50	265	1380
	46	235	1180
	42	205	990
	38	175	800
	32	135	580
	27	100	400

(11)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	49	300	1580
	46	270	1400
	42	230	1150
	36	190	900
	30	140	600
	25	100	400

(12)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	45	300	1580
	42	270	1400
	38	230	1150
	34	200	970
	26	130	550
	23	100	400

(13)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	40	295	1560
	38	270	1400
	34	230	1150
	30	190	900
	24	135	580
	21	100	400

(14)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	37	300	1580
	34	265	1380
	32	240	1200
	28	200	970
	24	160	720
	18	100	400

(15)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	33	300	1580
	30	260	1350
	27	220	1090
	24	190	900
	20	140	600
	16	100	400

(16)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	30	290	1580
	28	260	1350
	25	220	1090
	22	185	860
	18	140	600
	15	100	400

(18)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	28	300	1580
	26	270	1400
	22	210	1030
	20	185	860
	17	145	620
	14	100	400

(18)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	25	300	1580
	23	260	1380
	20	215	1200
	17	170	970
	15	140	720
	13	110	400

(17)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	22	290	1520
	21	270	1400
	19	250	1270
	17	195	930
	14	145	620
	12	110	400

(16)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	21	300	1580
	19	255	1310
	17	220	1090
	15	180	830
	13	145	620
	11	110	400

(15)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	18	285	1490
	17	260	1350
	15	220	1090
	13	180	830
	11	135	580
	10	115	480

(14)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	18	300	1580
	16	250	1270
	14	205	990
	12	165	750
	10	120	500
	9	100	400

(13)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	17	300	1580
	14	220	1090
	12	180	830
	9	110	400

(12)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	16	285	1490
	14	230	1150
	11	160	720
	8	100	400

(11)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	15	290	1520
	14	255	1310
	11	175	810
	8	100	400

(10)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	14	290	1520
	12	235	1180
	10	180	830
	7	100	400

(9)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	12	290	1520
	10	230	1150
	8	165	750
	6	100	400

(8)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	11	300	1580
	9	230	1150
	7	150	660
	6	120	500

(7)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	10	290	1520
	9	250	1270
	7	170	770
	5	100	400

(6,5,4)	$v \left(\frac{km}{h} \right)$	I (A)	$F_f \left(\frac{N}{kN} \right)$
100%	8	300	1580
	7	240	1200
	5	150	660
	4	100	400