



BME



KJKIT

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Az OpenTrack vasúti szimuláció

Bemutató előadás

Vasúti irányító és kommunikációs rendszerek II.

2016/2017 II. félév

Lövétei István Ferenc

Egyetemi Tanársegéd

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

ST. épület 108.

Tel: (36-1) 463-3089

lovetei.istvan@mail.bme.hu

A bemutató célja

- Korszerű, vasútforgalmi szimulációs program rövid bemutatása;
- Biztosítóberendezés, pálya és jármű specifikus tervezési lehetőségek:
 - Az állomástávolságú közlekedéstől kezdve a moving block-ig;
- A program elsősorban a menetrend alapú infrastruktúra tervezést támogatja, a szimulációnak döntés-előkészítő szerepe van.
- <http://www.opentrack.ch/>

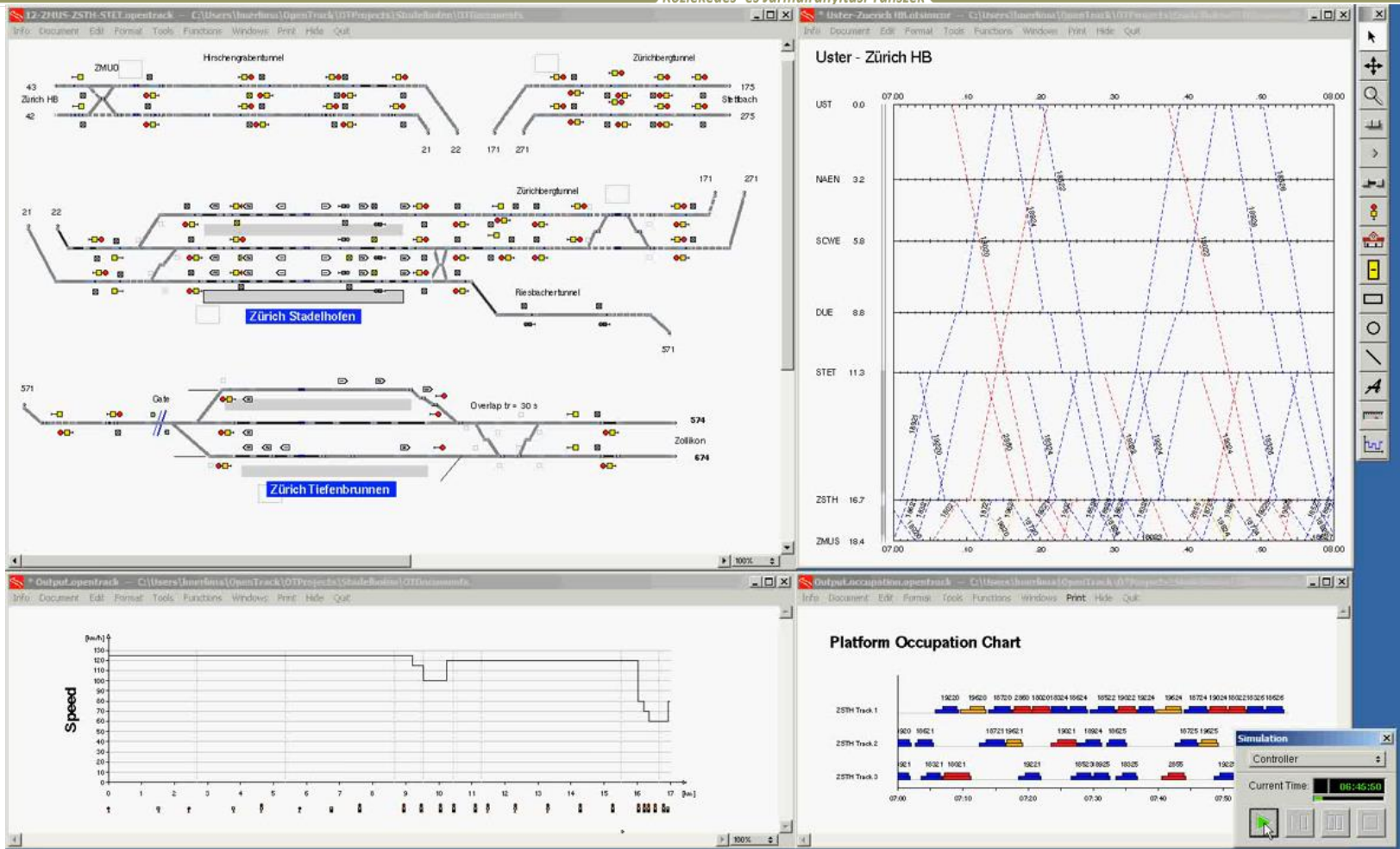


Példa, szimuláció Zürich Stadelhofen állomásán

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék



A bemutató felépítése

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

- Szimuláció?!;
- Az OpenTrack program kínálta lehetőségek;
- Az adatbázis szerkezet;
- A program felépítése;
 - Pálya;
 - Jármű;
 - Energiaellátás;
- Szimuláció futtatása;
- Szimuláció – példa, Balaton déli part 2014.

Szimuláció?!

- Mi a célja?
- A célnak megfelelően kell a megépített vagy meg nem épített infrastruktúrát vizsgálni, azon az aktuális vagy tervezett menetrendet elemezi. Nagyon sok bemenő paramétert kell figyelembe venni, és még így is sokat csak becsülni lehet. Bizonyos paraméterek megváltozása elhanyagolhatóan kis mértékben módosítja az eredményt, míg mások igen nagy szerepet játszhatnak a modellezésben.
- A bizonytalanságok miatt 100%-ban pontos szimulációt (ami a valóságot 100%-ban lefedi) nem fogunk tudni futtatni, de jó közelítéssel az eredmények elfogadhatóak lesznek

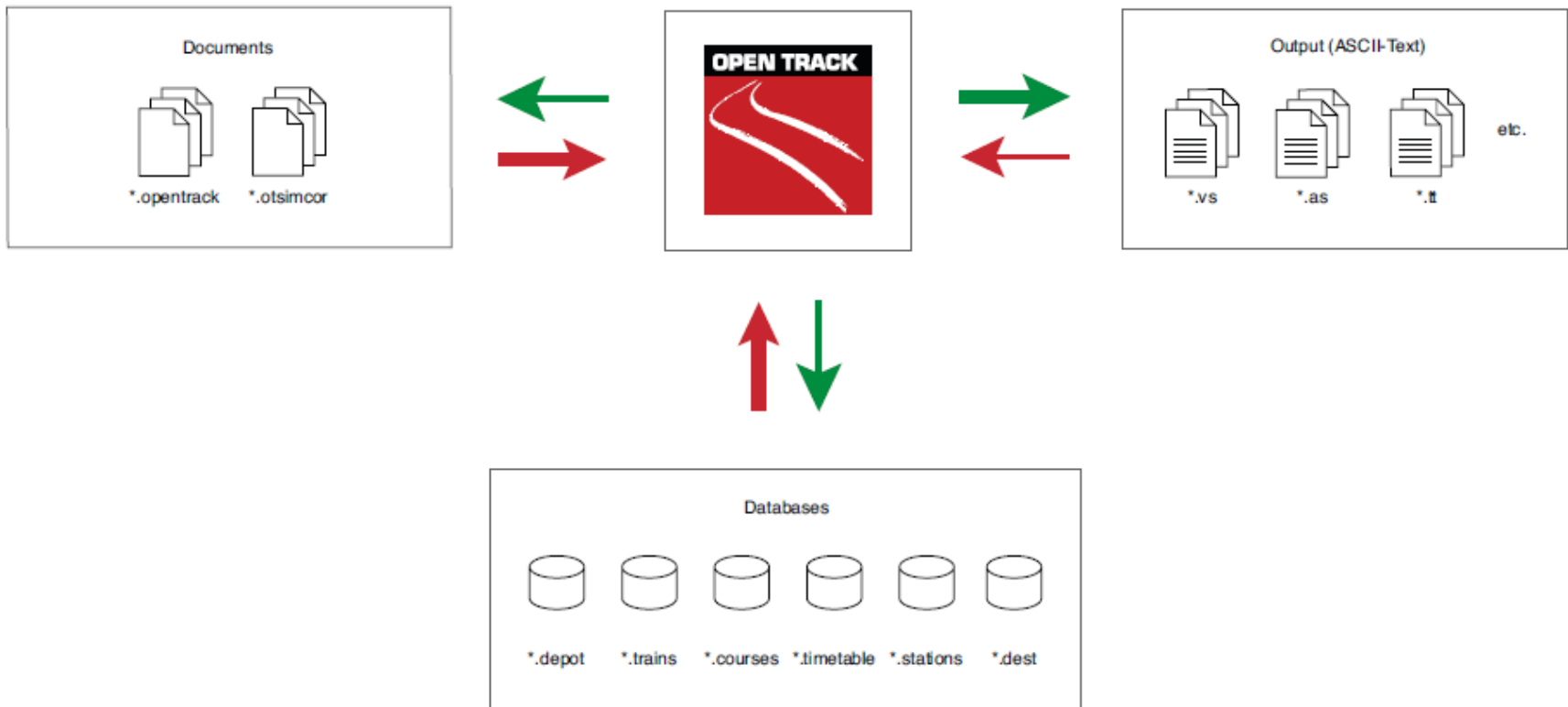
Az OpenTrack vasúti szimuláció célja, funkcionálitása

- Üzemi műveletek:
 - Állomások, nyílt vonali szakaszok kapacitásának meghatározása,
 - Szűk keresztmetszetek meghatározása,
 - Állomási foglaltsági idők meghatározása,
 - Optimális szerelvényforduló meghatározása,
 - Zavarok hatásának megállapítása,
 - Karbantartási, felújítási munkák tervezése,
 - Vizuális megjelenítés.
- Infrastruktúra:
 - Különböző infrastruktúra változatok részletes értékelése,
 - Jövőbeli fejlesztések részletes vizsgálata,
 - Jelzési rendszer tervezésének támogatása,
 - Infrastruktúra adatok kezelése.

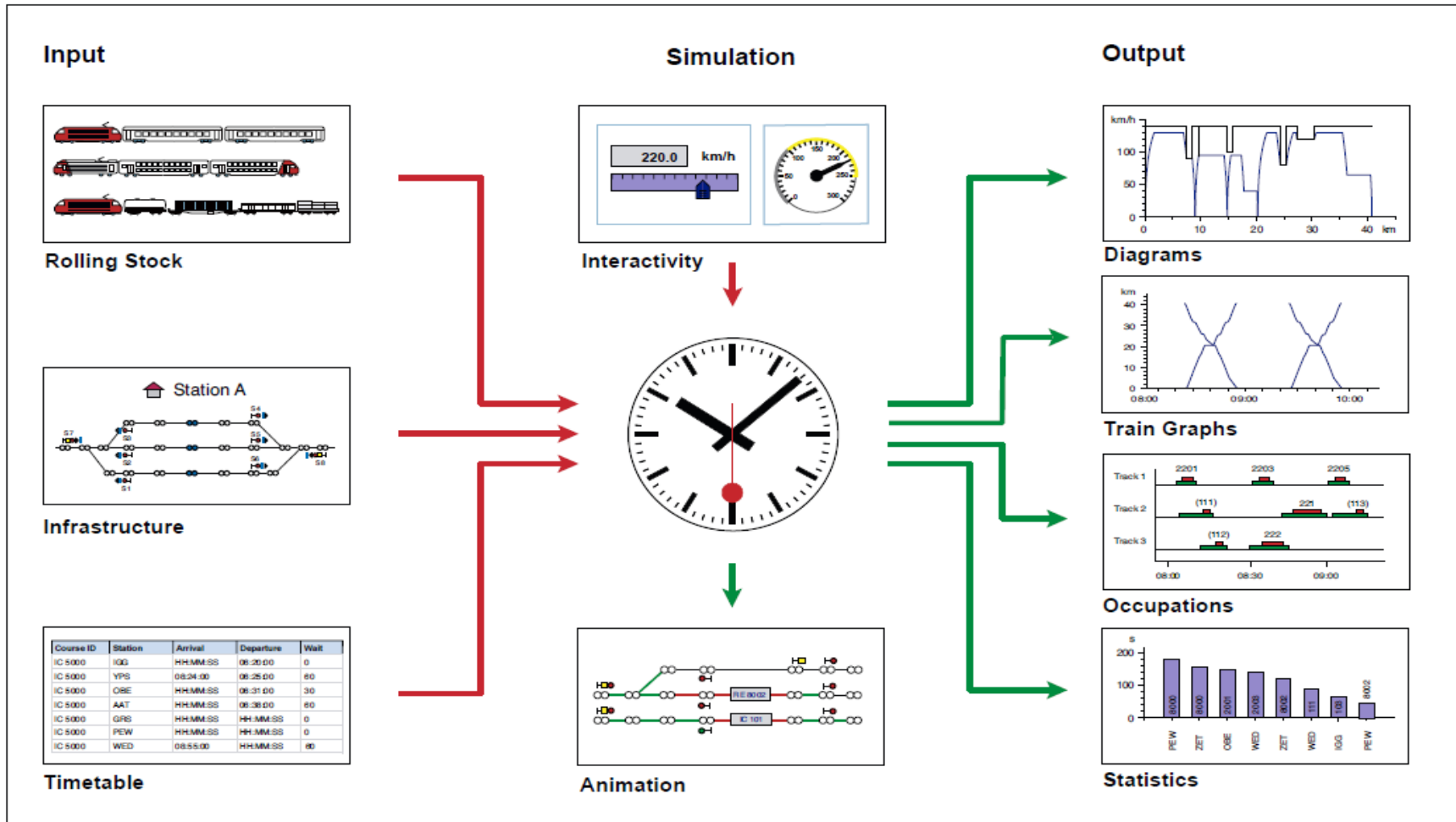
Az OpenTrack vasúti szimuláció célja, funkcionálitása

- Menetrend:
 - Menetidő számítás,
 - A menetrend konzisztenciájának megállapítása, lehetséges konfliktushelyzetek determinálása.
- Gördülőállomány:
 - Szerelvényforduló meghatározása,
 - Gördülőállomány jövőbeli igényének meghatározása.
- A szimuláció kiértékelését az alábbiak támogatják:
 - Út-idő diagramok,
 - Állomási vágányok foglaltsági idejét bemutató diagramok (kvázi üzemi terv),
 - Jelentések a zavarokról,
 - Vonatok menetdiagramja,
 - Vontatási erőszükségletek jelzése,
 - A tervezett és a tényleges menetrend összehasonlítása.

Az adatbázis szerkezet felépítése



A program felépítése



A program felépítése

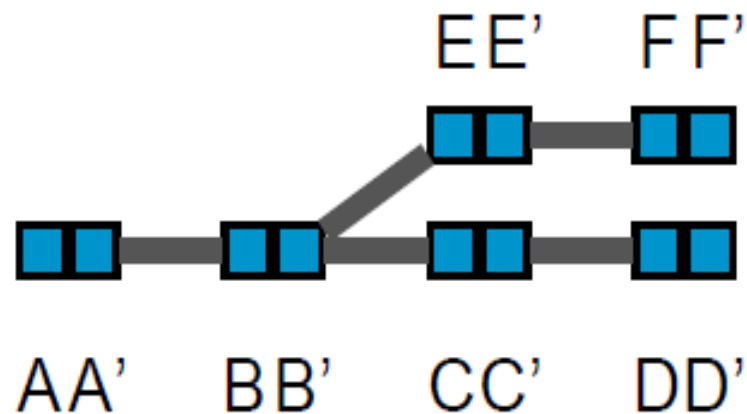
- A szimuláció lefuttatásához szükséges:
 - A vasúti infrastruktúra valamennyi elemének (pl. váltók, jelzők, állomások, lassújelek, vontatási alállomások, fázishatárok, stb.) felvétele a valóságos - vagy valós adatok alapján tervezett – pályaadatok alapján,
 - A leközlekedtetni kívánt járművek „megépítése” a valóságos - vagy kívánt – járművek tulajdonságai alapján,
 - A kívánt menetrend előállítás.
 - Pontos menetvonalak, szerelvényfordulók, stb....
 - „üzemi terv”.

A program felépítése - Pálya

- Vertex:
 - A gráfok csúcsai, szelvényhelyes adat;
 - Ezekhez lehet kitérőket, jelzőket, állomásokat, stb. rendelni;
 - DVG, double vertex graphs – kitérők miatt.
- Edge:
 - Irányított élek, a vonal kezdőpontjától a végpont felé mutat;
 - Szelvényhelyes információkat tartalmaznak (lejtés, engedélyezett sebesség, stb.)
- A gráf bejárása:
 - AA'-BB'-EE'-FF' vagy visszafelé:

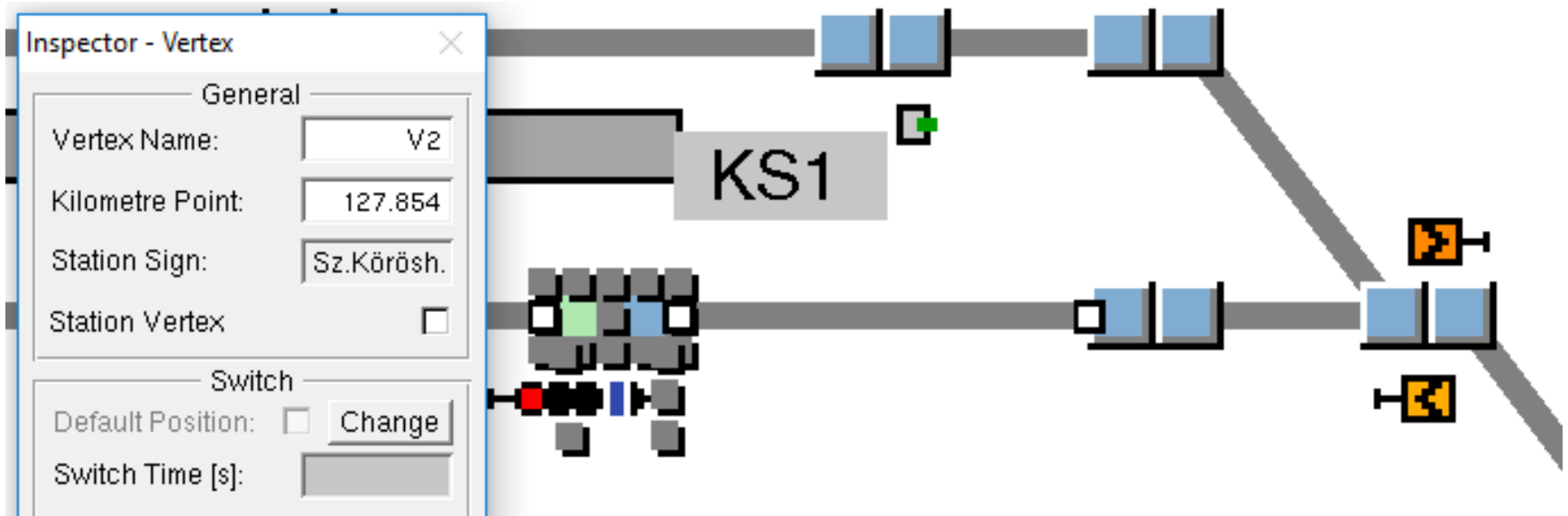
D'D-C'C-B'B-A'A

- Nem lehetséges: D'D-C'C-B'-EE'-FF'



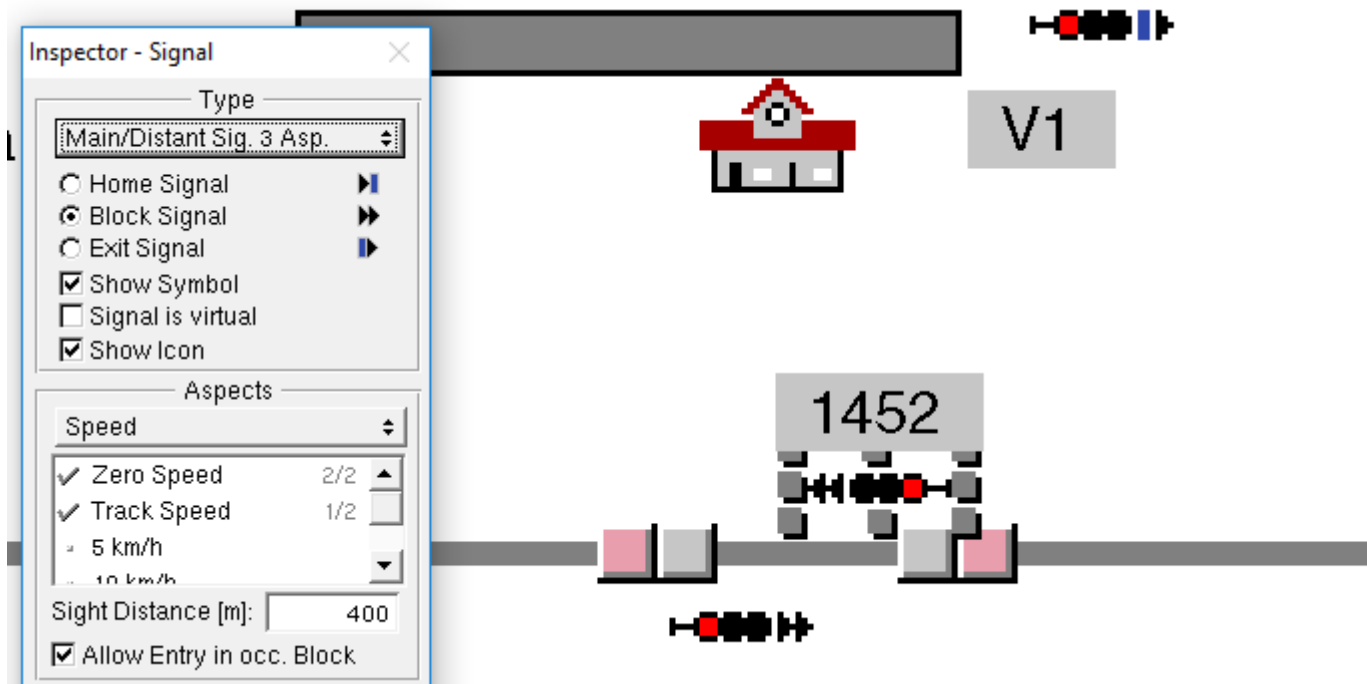
A program felépítése - Pálya

- Pályaelemek vertex-ek és edge-ek összeépítésével:
 - Vertex – pl: Főjelző, vágányzáró sorompó, lassúmenet jelző, megállás helye jelző, stb...



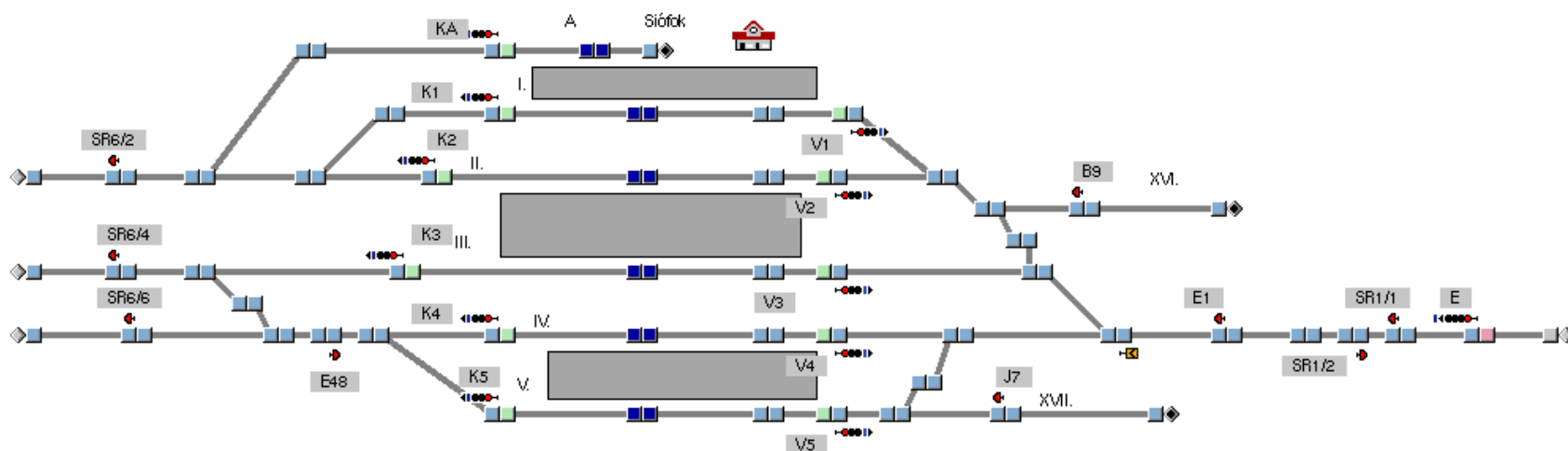
A program felépítése - Pálya

- Jelző tulajdonságok, pl.:
 - 1452-es térközjelző tulajdonságai:



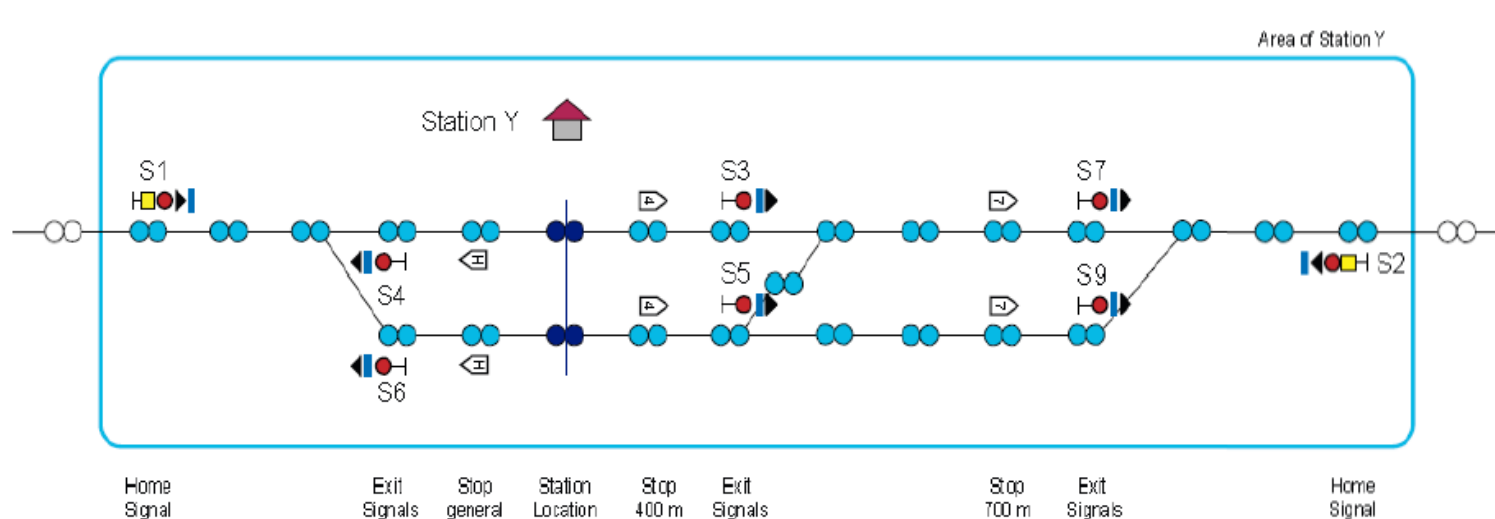
A program felépítése - Pálya

- Worksheet:
 - Az infrastruktúra azon része, amely 1 munkalapon kerül ábrázolásra;
 - A munkalapok összekapcsolásával jön létre az adott projekt (vonalszakasz).



A program felépítése - Pálya

- Állomási körzet:
 - Azon elemek összessége, amelyek 1 állomáshoz tartoznak;
 - Peronok, váltók, jelzők, stb...
- Hasonló a vontatási körzet (egy vontatási alállomáshoz tartozó elemek összessége) fogalma is.

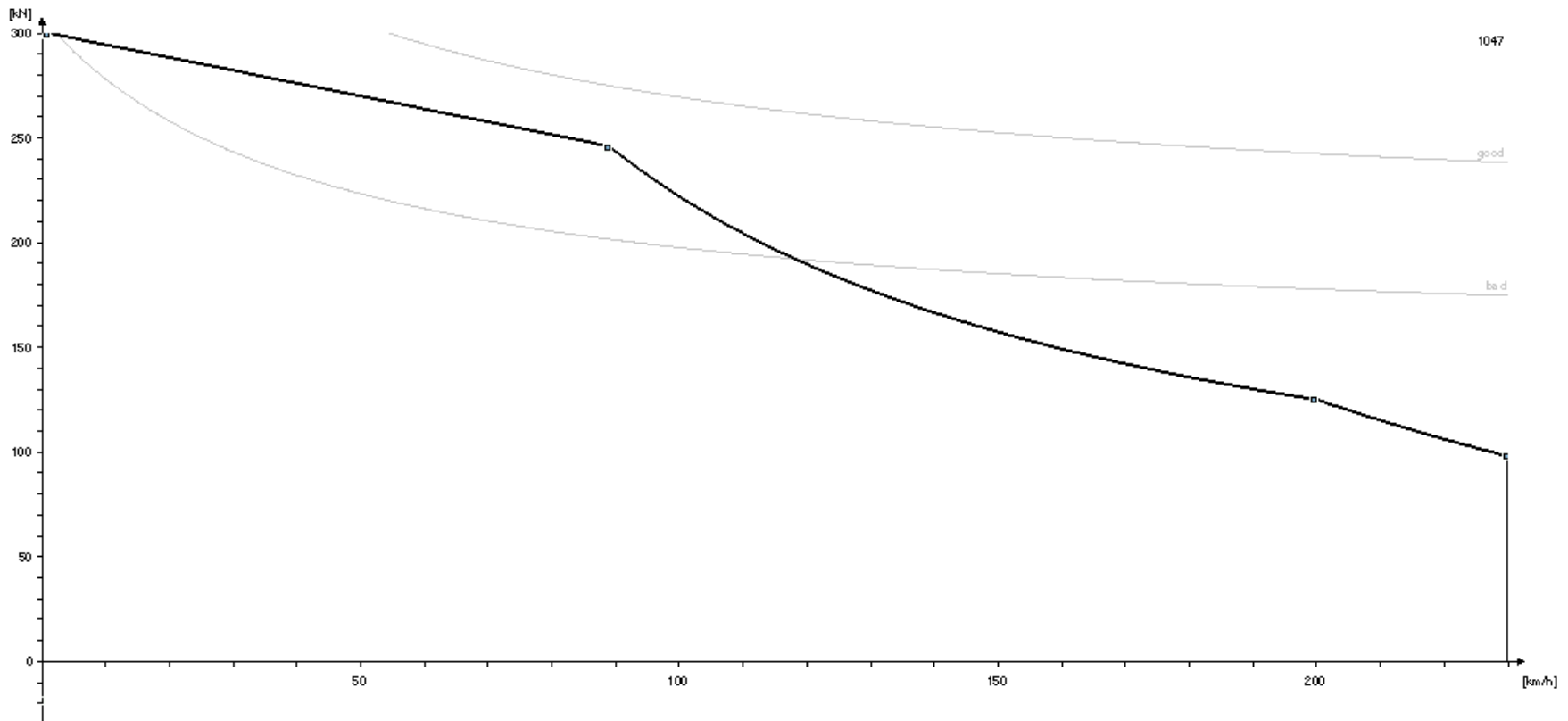


A program felépítése - Pálya

- Különböző biztosítóberendezési rendszerek megjelenése:
 - Vágányút beállítási idő egyenként megadható;
 - Mechanikus berendezésnél hosszabb váltóállítás, vágányút beállítási idő, mint elektronikus vagy dominó rendszerek esetén.
 - Foglaltságok oldása lehetséges szakaszosan, vagy egyszerre;
 - Megcsúszások kezelése:
 - Megcsúszási vágányutak beállíthatóak, egyidejű menetek ezzel (is) kizárhatóak.
 - Moving Block rendszer beállítható:
 - Pl. metró rendszerek, ETCS L3 szintű vasútvonalak szimulálhatóak.
 - Fény és alakjelző között nincs különbség, a jelzők jelzési képei egyenként testre szabhatóak.

A program felépítése - Jármű

- Járművek definiálása vonóerő diagrammal – pl.: 1047 sorozatú jármű:



A program felépítése - Jármű

- Járművek tulajdonságai – pl.:
1047 sorozatú jármű:
 - Tömeg,
 - Forgótömeg tényező,
 - Hossz,
 - Vontatási rendszer,
 - Max. sebesség,
 - Stb...

The screenshot displays the configuration window for engine 1047. The interface includes several input fields and checkboxes for defining vehicle characteristics. The 'Z/V-Diagrams' section shows a table with one entry: 'Diagram 1' with a value of 2. The 'System' section lists options like 'Universal Electric', 'Thermic', and 'Thermoelectric'. The 'Adhesion [%]' section has checkboxes for 'bad', 'normal', and 'good' with corresponding values. The 'Visual Rectangle' section allows setting speed and tractive effort limits.

Z/V-Diagrams	No
✓ Diagram 1	2

System
Universal Electric
Thermic
Thermoelectric
AC 15 kV 16 2/3 Hz

Adhesion [%]	bad	normal	good
✓	110	130	150

Visual Rectangle	Speed max. [km/h]	Tractive Effort max. [kN]	Min. [kN]
	230	300	-150

A program felépítése - Jármű

- Vonatok:
 - Típus (engedélyezett sebesség függhet tőle),
 - Vontatott kocsik típusa, azok adatai,
 - Ellenállás adatok vonatra szabhatóak,
 - Stb...

Train Name:

Type:

Category:

Engines

Pos.	Name	Load [t]	Len. [m]	
1	1047	86	19	<input type="button" value="Delete"/>

Σ Load [t]: Σ Len. [m]:

Trailers

Pos.	Name	Load [t]	Len. [m]	
2	Trailer 1	49	27	<input type="button" value="Delete"/>
3	Trailer 2	49	27	<input type="button" value="Delete"/>
4	Trailer 3	40	27	<input type="button" value="Delete"/>

Σ Load [t]: Σ Len. [m]:

Resistance Equation

Air:

A: B: C: Unit:

Curve: [%]:

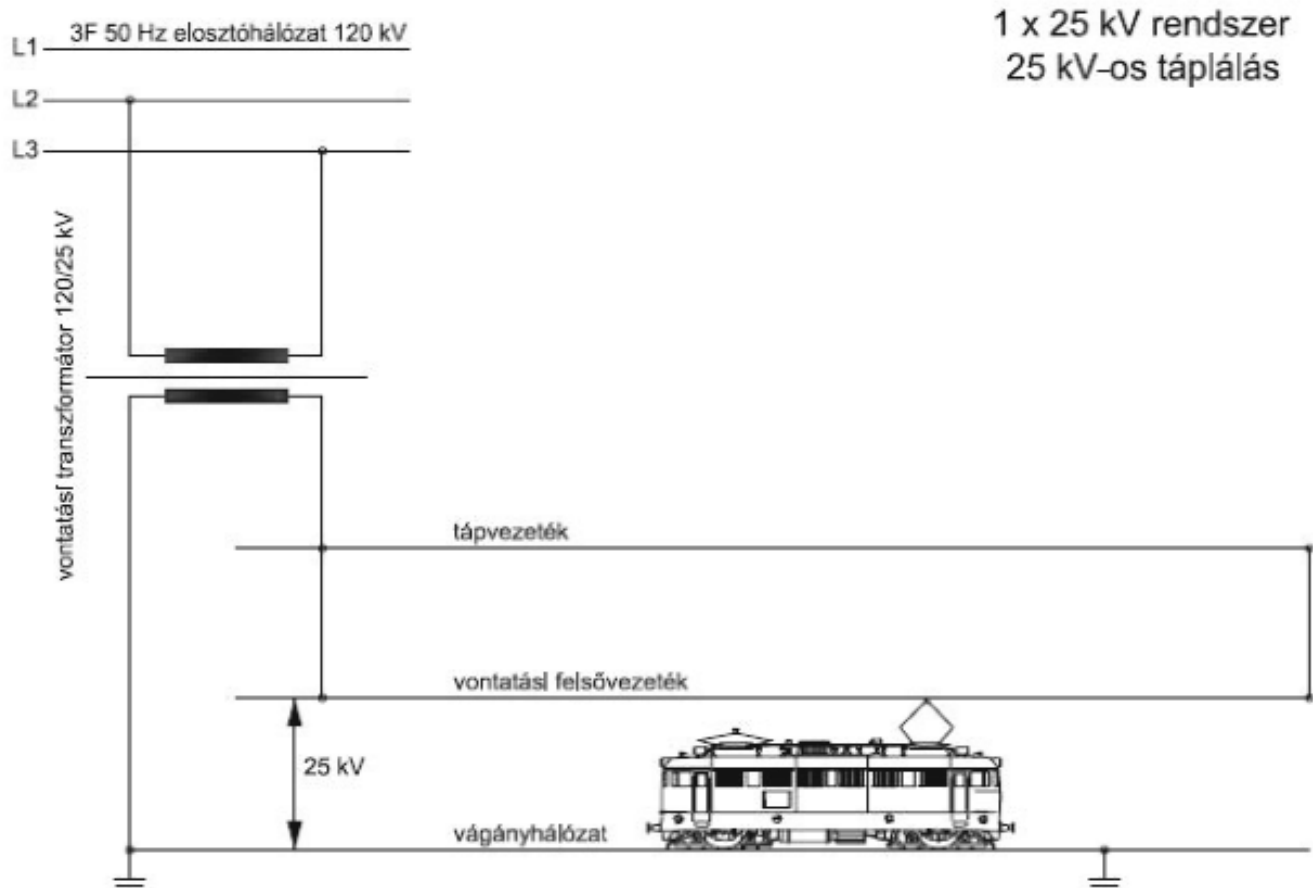
Acceleration (Train related Settings)

Max. Acceleration [m/s²]: Max. Drawbar Force [kN]:

Acc. Delay [s]: Min. Time to hold Speed [s]:

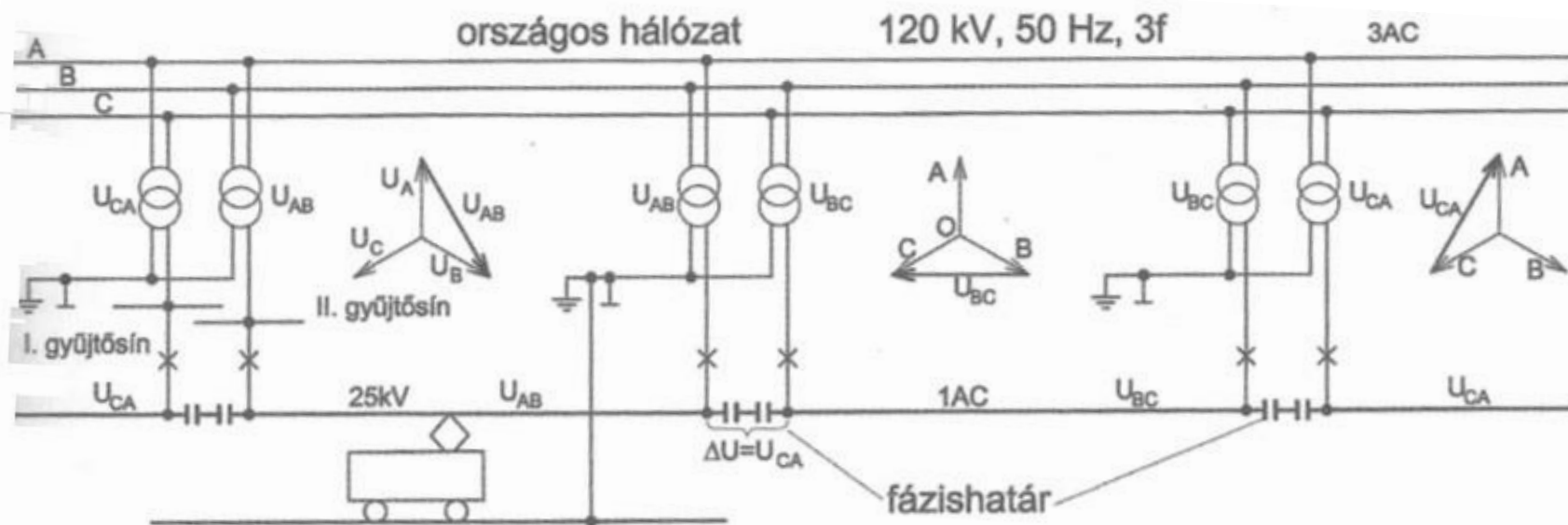
A program felépítése - Energiaellátás

- A vontatási áramkör:



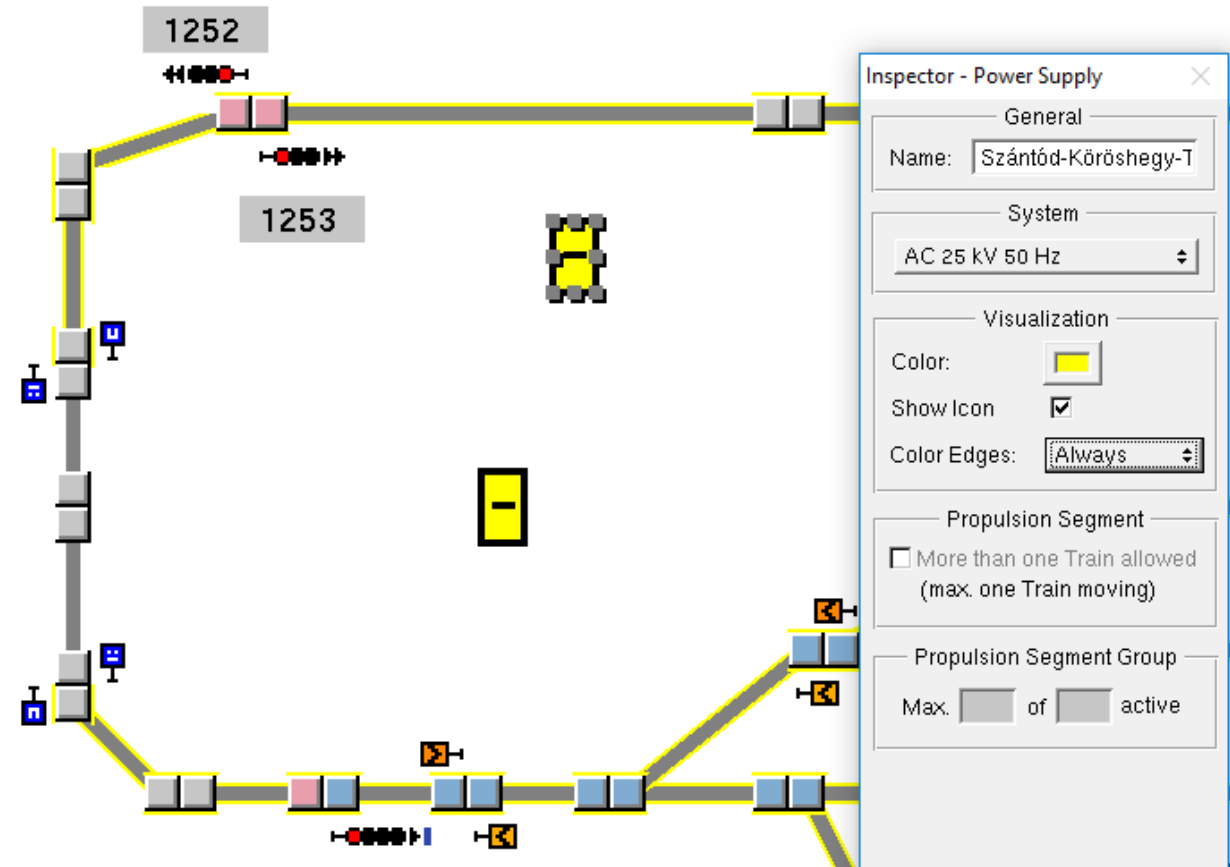
A program felépítése - Energiaellátás

- Tápszakaszok, táplálás állomásról – fázishatárokon nincs vontatás:




A program felépítése - Energiaellátás

- Alállomások, pl: fázishatárokon nincs vontatás:

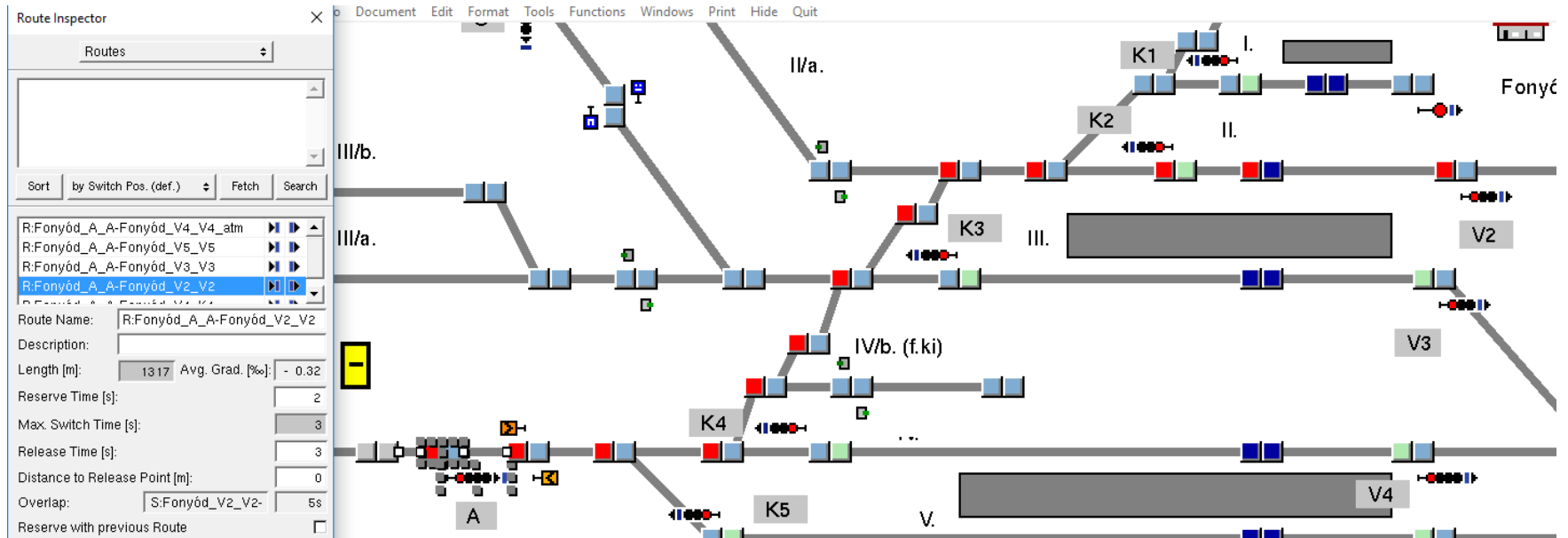


A szimuláció felépítése

- A vonatok leközlekedtetése:
 - A vonatok haladása:
 - Euler egyenlet alapján;
 - Pálya, jármű tulajdonságok alapján;
 - **Menetrend alapján;**
 - Vasúti szabályok - egyidejű menetek, stb. – figyelembe vételével.
 - Vágányutak  menetvonalak  szerezvényfordulók.
 - Prioritás kezelés:
 - Menetvonalak;
 - Vonat típusok alapján.

A szimuláció felépítése - vágányutak

- Jelzőtől jelzőig, de megcsúszás beállítható:



A szimuláció felépítése - menetvonalak

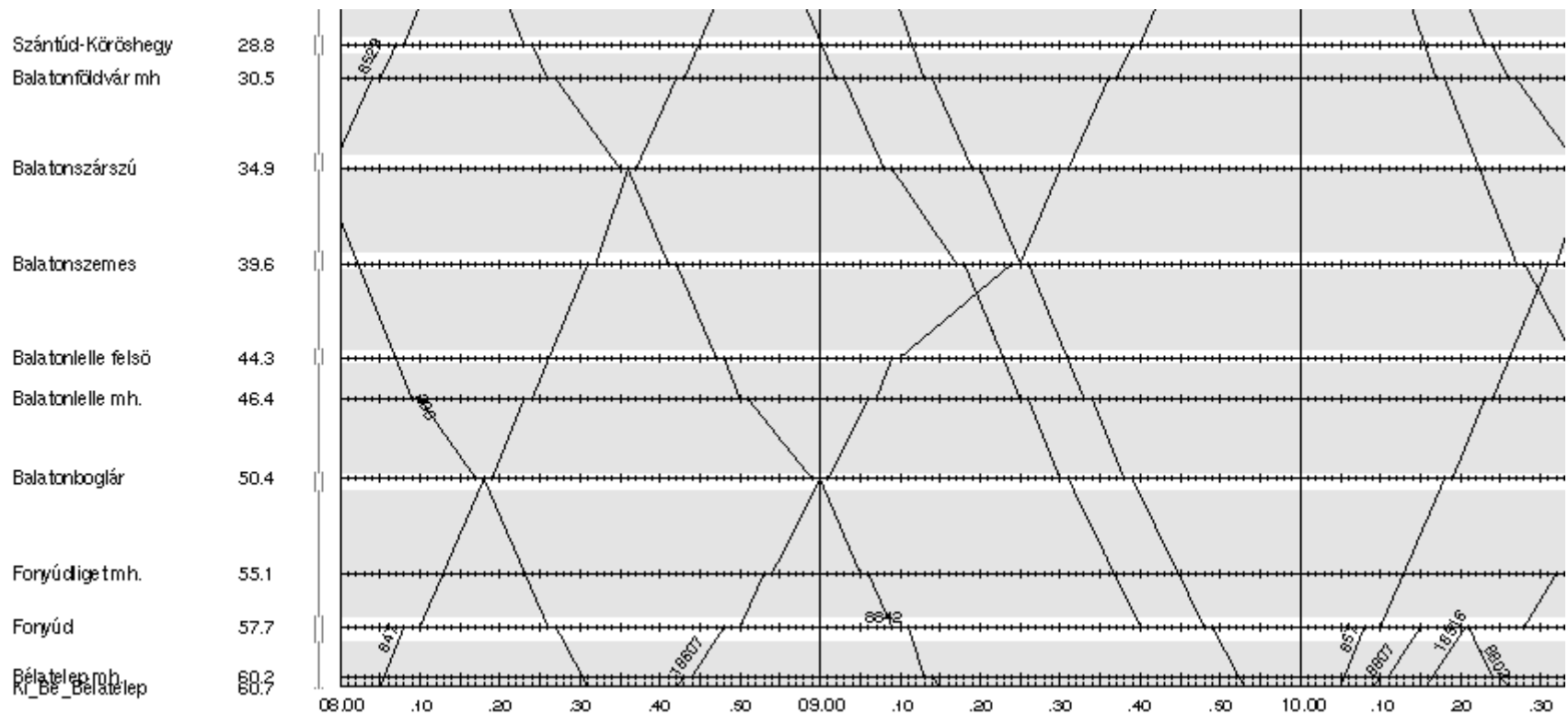
- Egy adott konkrét „útvonal” egy adott vonat számára:
 - Prioritási sorrend – ezt használjuk ki pl. vonatkeresztezésnél.
 - Probléma: egy adott konkrét vonat útvonala általában előre nem ismert.

The screenshot displays the OpenTrack software interface. The main window shows a complex railway track layout with various stations and signal points. A detailed itinerary window is open on the right side, showing the following information:

- Itinerary List:**
 - 1 P:KI_BE_AL_BE_A
 - 2 P:B.aliga_V2_V2-S
 - 3 P: Szabadis_V_L_V
 - 4 P:S teher V11 V1
- Route Information:**
 - 1 1.1 R:KI_BE_AL_BE_
 - 2 1.2 R:996_996-B.aliga
 - 3 1.3 R:B.aliga_A-A-B.:
 - 4 2.1 P:B.aliga_V2_V2.
- Build Itin.:** Buttons for Show, Open, Show, Open All.
- Misc.:** Buttons for Sel. unused, Delete, Save DB, Reset, Dupl., Add, Edit, New.

A szimuláció felépítése - menetrend

- Tervezett menetrend, részlet:



A szimuláció felépítése - szerelvényfordulók

- Egy adott konkrét menetrend alapján:
 - Vonatszámok összefűzése

Timetable

Course ID	Station	Arrival	Departure	Dwell	Stop	M. Del.
1987	B.aliga	HH:MM:SS	09:41:00	60	✓	0
1987	B.világos	HH:MM:SS	09:44:00	60	✓	0
1987	Szabadis	HH:MM:SS	09:49:00	60	✓	0
1987	Szabadif	HH:MM:SS	09:52:00	60	✓	0
1987	S. teher	HH:MM:SS	HH:MM:SS	0	•	0
1987	Siófok	09:57:00	HH:MM:SS	200	✓	0
1987tol	Siófok	HH:MM:SS	10:10:00	0	•	0
1987tol	S. teher	10:20:00	HH:MM:SS	600	✓	0
1988	Siófok	HH:MM:SS	19:13:00	200	✓	0
1988	S. teher	HH:MM:SS	HH:MM:SS	0	•	0

Add Rows | Ins. Rows | Del. Rows | Function: Add Stops | Dwell [s]: 60 | Go

Course ID	Station	Type	Min. Wait	Max. Wait	Join	Split
1987	Siófok	Arr./Pass.	00:07:00	HH:MM:SS	•	•

Show Conn. Course | Ins. Connection | Del. Connection

A szimuláció futása

- Gyorsulás számítás:
 - Vonóerő görbe ($Z(v)$) és
 - Vonatadatok (elegytömeg, ellenállások) alapján.

$$F_z = Z(v) - R_f(v, s)$$

F_z : Tractive effort surplus
 Z : Tractive effort
 R_f : Friction resistance
 v : Speed
 s : Distance covered

$[F_z] = \text{N}$
 $[Z] = \text{N}$
 $[R_f] = \text{N}$
 $[v] = \text{m/s}$
 $[s] = \text{m}$

$$a = \frac{F_z}{m \cdot (1 + 0.01 \cdot \rho)}$$

F_z : Traction power surplus
 a : Acceleration
 m : Train weight (mass)
 ρ : Mass factor for rotating masses

$[F_z] = \text{N}$
 $[a] = \text{m/s}^2$
 $[m] = \text{kg}$
 $[\rho] = 1$

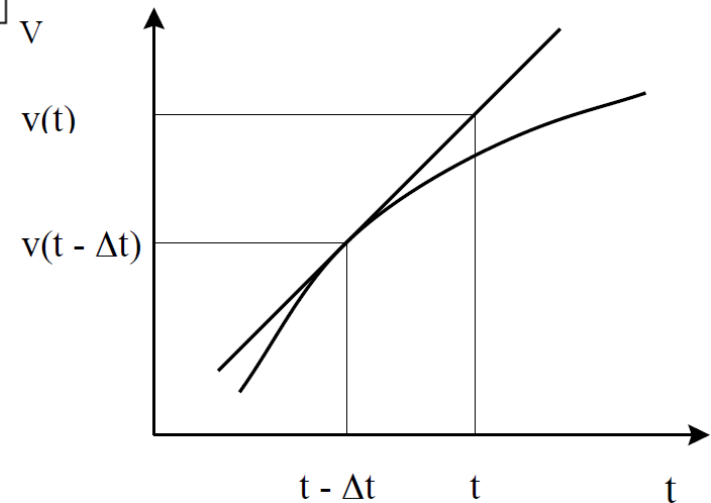
A szimuláció futása

- A vonat haladása a Newton egyenletek és az Euler módszer alapján:

$$v(t) = v(t - \Delta t) + \Delta t \cdot \frac{dv}{dt}(t - \Delta t); v(t_0) = v_0$$

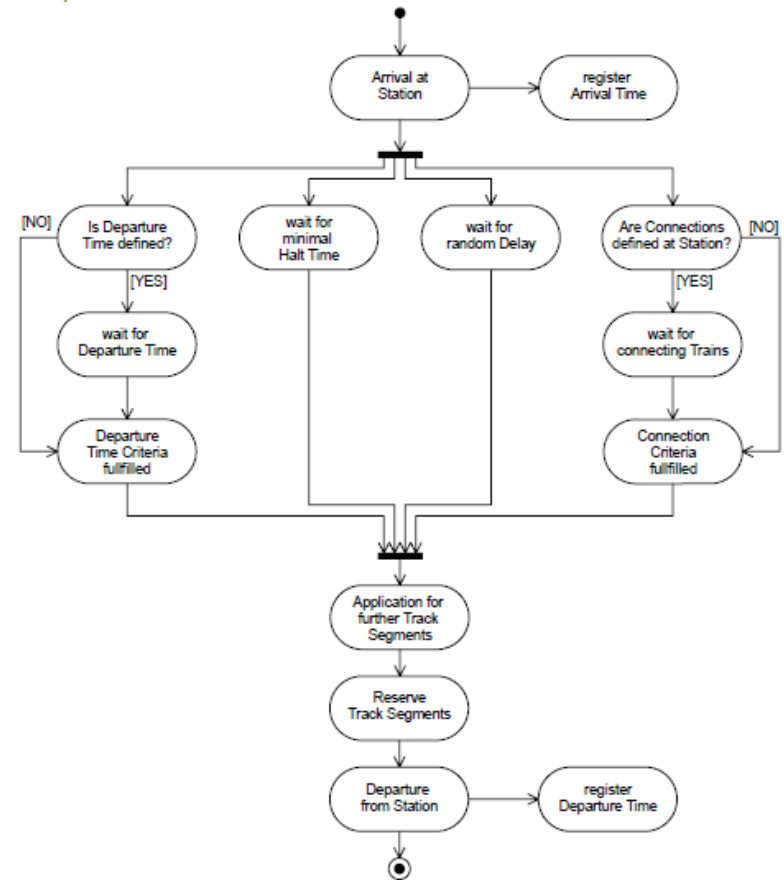
$$v = v_0 + \int_{t_1}^{t_2} a dt \quad - \text{or} - \quad a = \frac{dv}{dt}$$

$$s = s_0 + \int_{t_1}^{t_2} v dt \quad - \text{or} - \quad v = \frac{ds}{dt}$$



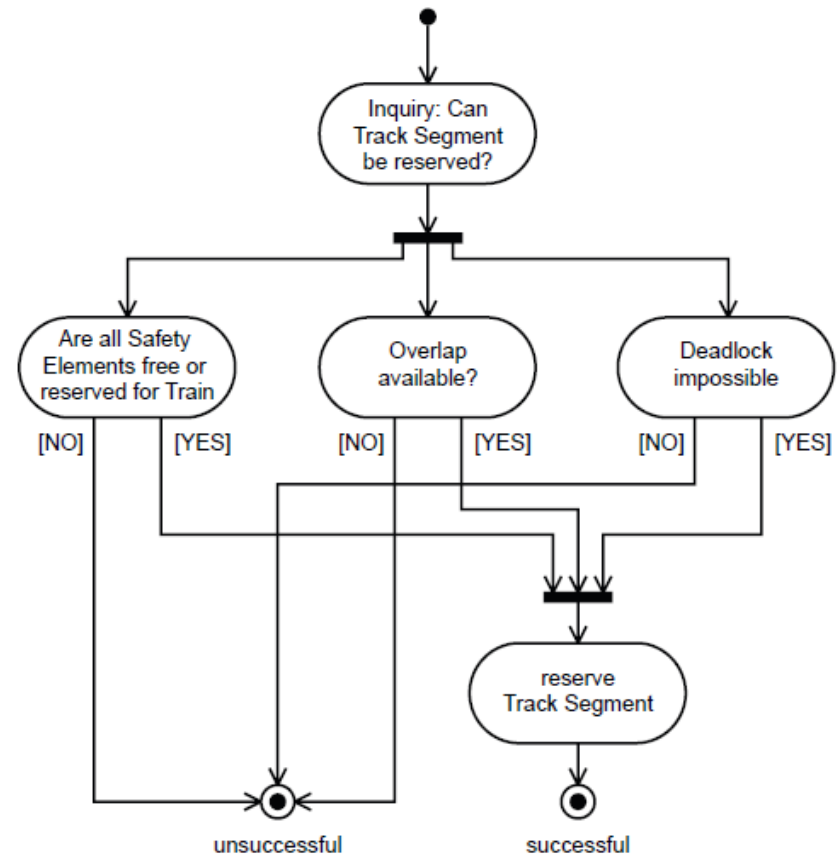
A szimuláció futása - algoritmusok

- Az állomási tartózkodás folyamata:
 - OpenTrack Flowchart
 - UML (Unified Modeling Language) Activity Diagram
 - Station Stop



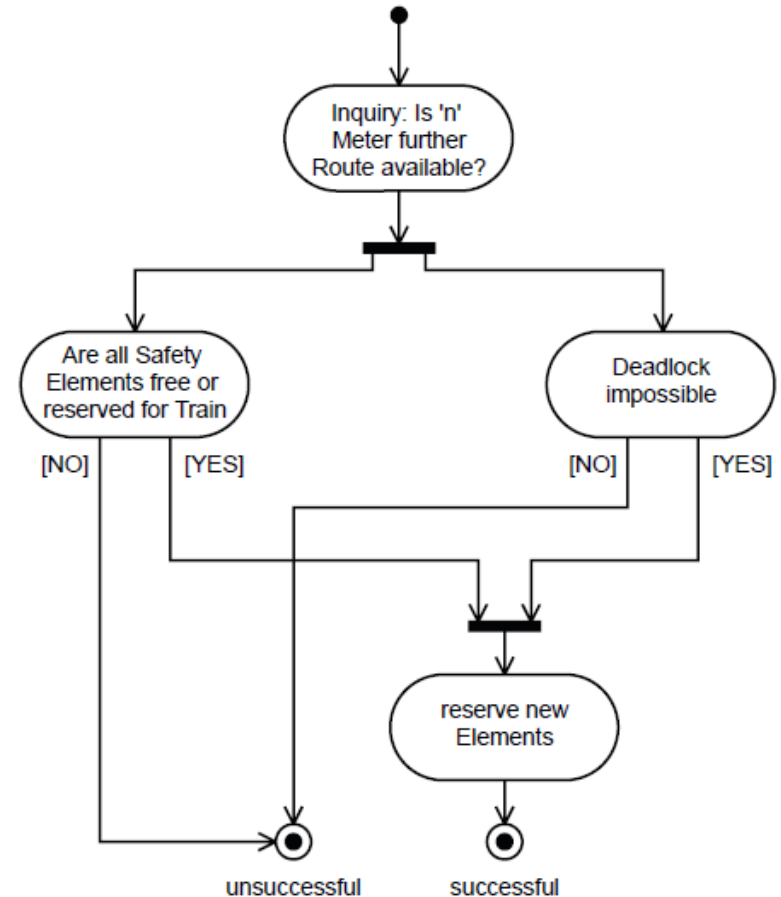
A szimuláció futása - algoritmusok

- Vágányszakaszok lefoglalása:
 - OpenTrack Flowchart
 - UML (Unified Modeling Language) Activity Diagram
 - Track Segment Reservation



A szimuláció futása - algoritmusok

- Vágányszakaszok lefoglalása
Moving Block rendszerben:
 - OpenTrack Flowchart
 - UML (Unified Modeling Language) Activity Diagram
 - Route Reservation with Moving Block

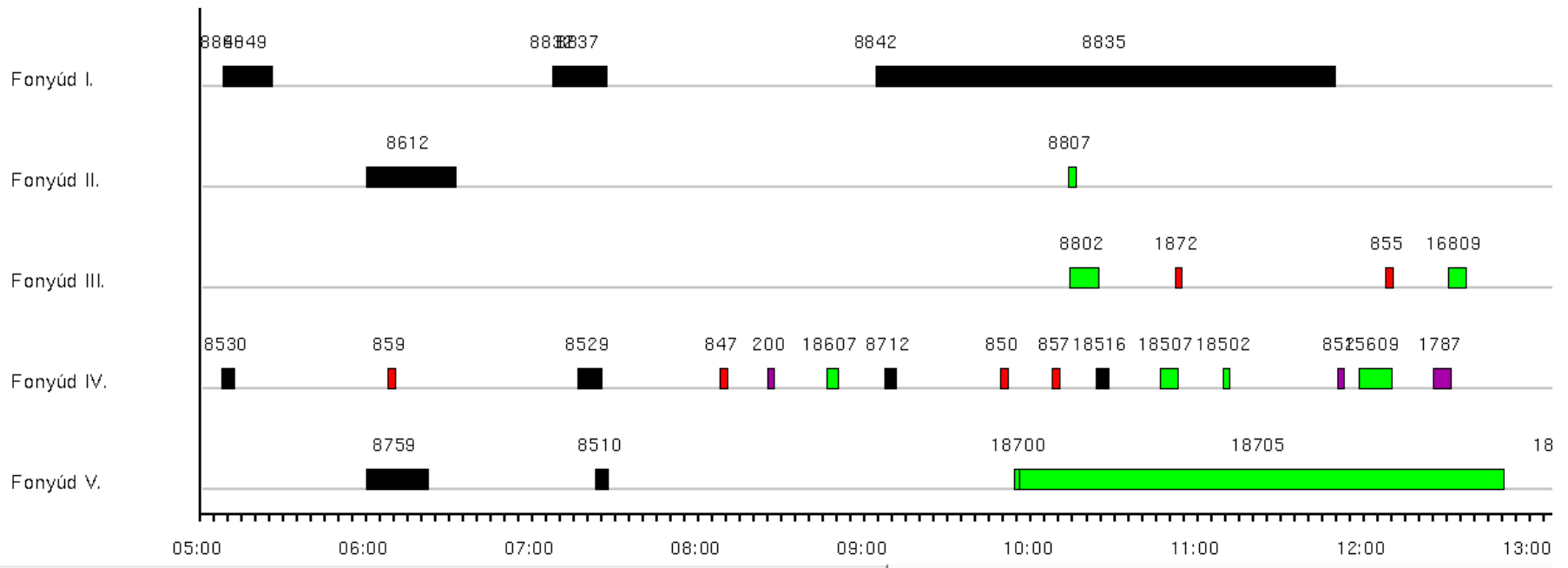


Kimenetek – Állomási foglaltságok

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

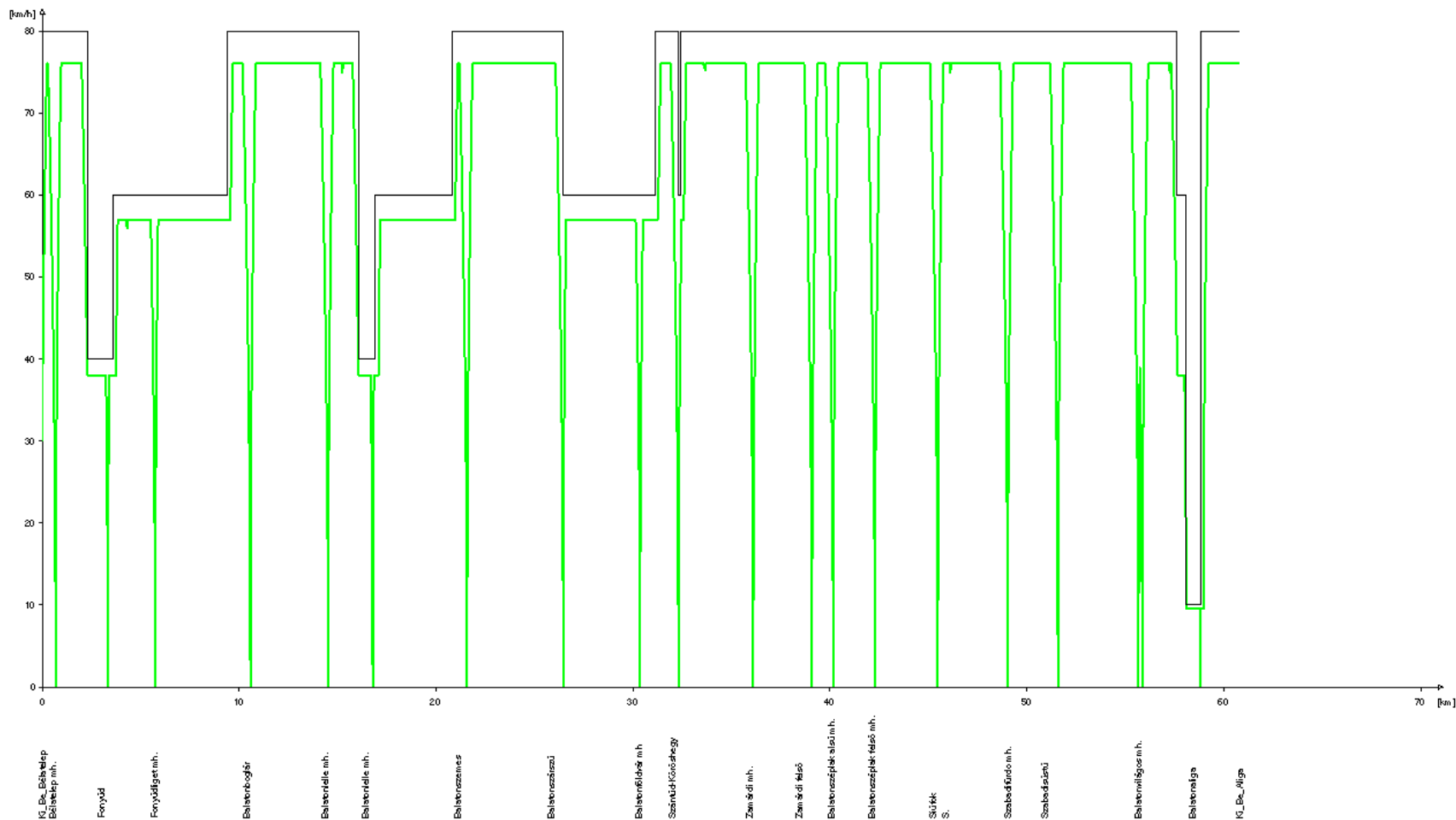


Kimenetek - Sebességprofilok

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

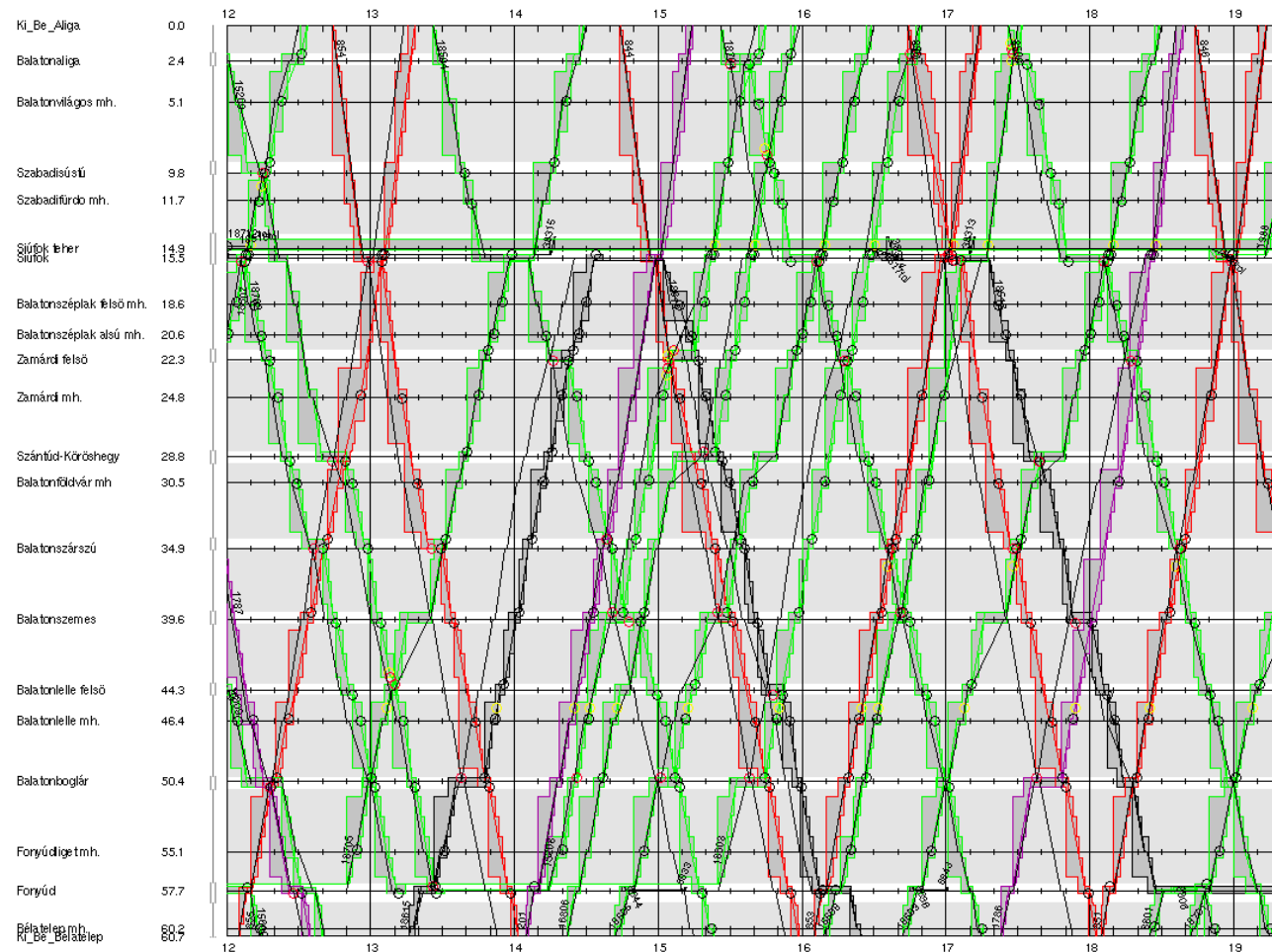


Kimenetek – Út – idő diagram

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

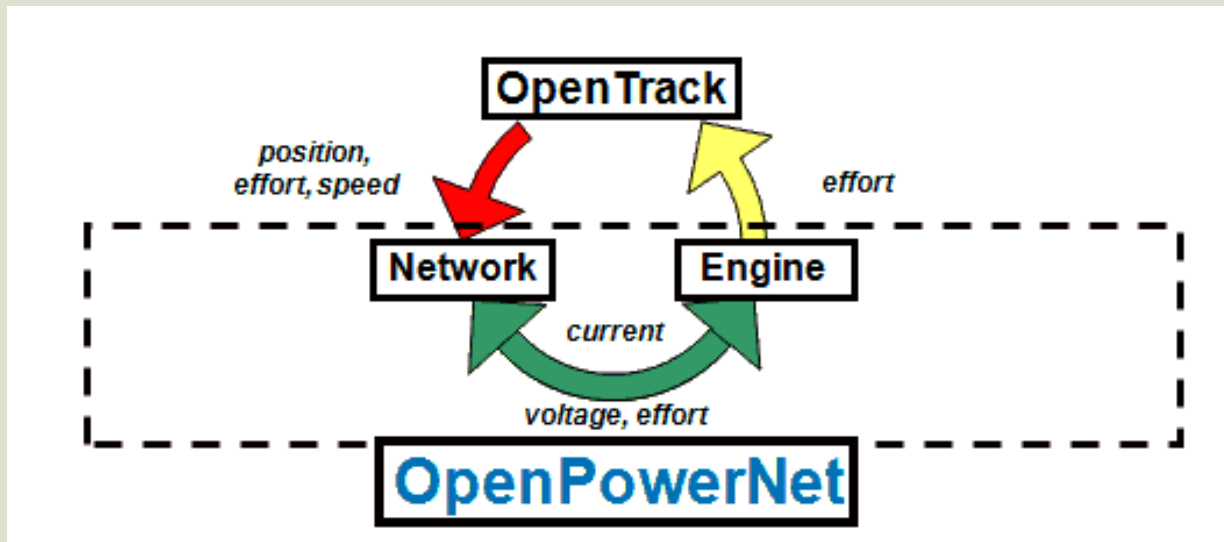
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék



További lehetőségek

- Teljes energiaellátási rendszer szimuláció implementálható
 - Energia visszatáplálásra képes járművek vizsgálata
 - Komplex számítások (teljesítmények, stb...)
- www.openpowernet.de



További információk

- Szakdolgozat/Diplomatervezés a tanszéken vasúti szimulációs témában:
 - Dr. Ságbi Balázs/Lövétei István Ferenc
- További információk:
 - www.opentrack.ch
 - A program hivatalos honlapja;
 - Korábbi projektek, szimulációk, érdekességek.
 - www.youtube.com
 - Nyilvános videók már létező szimulációkról;
 - „open track simulation” keresés.
 - Egyéb:
 - www.railml.org
 - Szabványos formátumok



BME



KJKIT

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Köszönöm a figyelmet!

Lövetei István Ferenc

Egyetemi Tanársegéd

Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

ST. épület 108.

Tel: (36-1) 463 - 3089

lovetei.istvan@mail.bme.hu