Eötvös Loránd Tudományegyetem

Informatikai Kar

Információs Rendszerek

Tanszék

Vasúti vágányhálózat- és menetrendtervező alkalmazás

Témavezető:
Dr. Gombos Gergő
egyetemi docens

Szerző:
Ramel Dániel
programtervező informatikus BSc

Budapest, 2025

Tartalomjegyzék

Absztrakt

A vasúti közlekedés versenyképességének növelése, valamint a rendelkezésre álló erőforrások hatékony felhasználása napjainkban a közlekedéstervezés kiemelt kihívásai közé tartozik. Európában és a korszerű vasúti tervezési gyakorlatban paradigmaváltás figyelhető meg: a hagyományos, infrastruktúra-vezérelt megközelítést fokozatosan felváltja a menetrend-alapú tervezés (timetable-based planning). Ennek lényege, hogy az infrastruktúra-fejlesztés nem öncélú, hanem a kívánt szolgáltatási szint – jellemzően az Integrált Ütemes Menetrend (ITF) – megvalósítását szolgálja.

Jelen szakdolgozat célja egy olyan, offline módon használható asztali alkalmazás tervezése és implementálása, amely támogatja ezt a korszerű metodikát. A fejlesztett szoftver lehetővé teszi a vasúti pálya (infrastruktúra) és a menetrendi struktúra együttes, iteratív kezelését. A rendszerben a felhasználó párhuzamosan módosíthatja a pálya geometriai elemeit – például a kitérők elhelyezését, vágánykapcsolatok kialakítását vagy repülővágányok tervezését – és a viszonylatok menetrendjét. Az alkalmazás központi funkciója a két alrendszer közötti kompatibilitás vizsgálata: a szoftver visszajelzést ad arról, hogy a tervezett infrastruktúra képes-e a kívánt ütemes menetrend konfliktusmentes lebonyolítására.

A dolgozat bemutatja a szoftver architektúráját, az alkalmazott algoritmusokat, valamint a felhasználói felület ergonómiai kialakítását, amely elősegíti a komplex hálózati összefüggések átláthatóságát. Az eredmény egy olyan tervezéstámogató eszköz, amellyel minimalizálható a felesleges beruházások kockázata, és maximalizálható a gazdasági megtérülés azáltal, hogy csak a menetrendi stabilitáshoz feltétlenül szükséges beavatkozások kerülnek kijelölésre.

Rövidítésjegyzék

JSON JavaScript Object Notation

ITF Integrált Ütemes Menetrend

UI User Interface (Felhasználói felület)

GUI Graphical User Interface (Grafikus felhasználói felület)

Fogalomjegyzék

Repülő kereszt Egyvágányú pályán olyan pályaszakasz, ahol hosszabb szakaszon két vágány fut párhuzamosan, lehetővé téve, hogy a szembeközlekedő vonatok megállás nélkül kerüljék ki egymást.

Biztosítóberendezés Olyan műszaki rendszer, amely a vasúti közlekedés biztonságát szolgálja, beleértve a jelzők, váltók és egyéb forgalomirányító eszközök működtetését és felügyeletét.

Jelző (szemafor) Olyan vizuális eszköz, amely a vonatvezetők számára információt nyújt a továbbhaladás feltételeiről (például sebességkorlátozás).

Vágánykapcsolat Olyan pályaszakasz, amely lehetővé teszi a vonatok számára, hogy egyik vágányról a másikra áthaladjanak, például kitérők vagy kereszteződések formájában.

Fedezés ("jelző fedez") A vasúti jelzők által biztosított védelmi zóna, amely megakadályozza, hogy egy vonat egy adott szakaszra lépjen, amíg az előző vonat még azon a szakaszon tartózkodik.

Foglalt Egy adott pályaszakasz vagy térköz azon állapota, amikor azon egy vonat tartózkodik, és így más vonatok számára nem elérhető.

Térköz A vasúti pálya két jelző vagy állomás közötti szakasza, amelyen a vonatok közlekednek. Egy adott térköz egyidejűleg csak egy vonat számára lehet foglalt.

Automata térközjelző Olyan jelzőrendszer, amely automatikusan kezeli a térközök foglaltságát és a vonatok közlekedését anélkül, hogy emberi beavatkozásra lenne szükség. A vonat elhaladása után a jelző automatikusan engedélyezi a következő vonat számára a továbbhaladást.

Vágányút A vasúti pálya azon vágányszakaszainak összessége, amelyet egy adott jelző vagy biztosítóberendezés vezérel egy vonat számára a közlekedés során.

1. fejezet

Bevezetés

1.1. Tématerület ismertetése

A fenntartható mobilitás és a gazdasági hatékonyság követelménye alapjaiban formálja át a közlekedésfejlesztési projektek előkészítését. A nagyberuházások, különösen a kötött pályás infrastruktúrák esetében, magas költségigénnyel és hosszú élettartammal járnak, így a tervezési fázisban elkövetett hibák vagy szuboptimális döntések évtizedekre meghatározhatják egy régió közlekedésének minőségét és költséghatékonyságát. A dolgozat témája a vasúti infrastruktúra-beruházások tervezését támogató szoftveres megoldások vizsgálata és fejlesztése, különös tekintettel a menetrend és a pályaadottságok közötti szoros korrelációra. A fejlesztés a modern európai trendekhez illeszkedve a szolgáltatás-orientált megközelítést helyezi a középpontba, ahol a menetrend nem az infrastruktúra passzív eredménye, hanem a tervezés aktív alakítója.

1.2. Motiváció és célkitűzés

A témaválasztást személyes és szakmai indíttatás egyaránt vezérelte. Gyermekkorom óta kiemelt figyelemmel kísérem a tömegközlekedési rendszerek működését, és az évek során szerzett tapasztalatok rávilágítottak a hazai és nemzetközi gyakorlatban előforduló tervezési anomáliákra. Számos esetben tapasztalható, hogy jelentős tőkeinjekcióval megvalósuló beruházások nem hozzák a várt szolgáltatási színvonal-emelkedést, vagy a ráfordított forrásokból lényegesen hatékonyabb rendszert lehetett volna létrehozni gondosabb, rendszerszemléletű tervezéssel.

Jó példa erre a Balatoni vasútvonal egyes szakaszainak kétvágányúsítása, vagy a budapesti 4-es metró megállókiosztása, ahol az infrastrukturális adottságok és a valós utasforgalmi/menetrendi igények közötti diszkrepancia figyelhető meg. Meggyőződésem, hogy a „hardver" (pálya) és a „szoftver" (menetrend) szétválasztott kezelése elavult; a jövő a két terület integrált szimulációjában rejlik.

A szakdolgozat elsődleges célja egy olyan szoftvereszköz létrehozása, amely áthidalja a szakadékot a pályaépítési és a menetrend-szerkesztési fázisok között. Célom egy olyan ergonomikus, könnyen kezelhető alkalmazás fejlesztése, amelyben a tervező mérnökök képesek a menetrendi koncepciókat (különösen az ütemes menetrendeket) közvetlenül rávetíteni a tervezett infrastruktúrára, azonnal detektálva a szűk keresztmetszeteket vagy a felesleges kapacitásokat.

1.3. Háttér és a menetrend-alapú tervezés koncepciója

A nagy volumenű, kötött pályás infrastrukturális beruházások tervezése és kivitelezése a közlekedésfejlesztés legköltségesebb és legkomplexebb feladatai közé tartozik. A modern vasúti és elővárosi közlekedés fejlesztésében paradigmaváltás figyelhető meg: a hangsúly a puszta infrastruktúra-építésről áttevődik a szolgáltatás-orientált, úgynevezett menetrend-alapú tervezésre. A dolgozatban bemutatott alkalmazás célja e folyamat támogatása olyan iteratív szimulációs környezet biztosításával, amely lehetővé teszi a menetrendi koncepció és a pályageometria együttes optimalizálását.

A hagyományos megközelítésben gyakran először valósul meg az infrastruktúra fejlesztése, és a szolgáltatást (menetrendet) a már megépült fizikai korlátokhoz igazítják. Ezzel szemben a fejlesztett szoftver alapvetése, hogy a legjobb költség-haszon arányú ráfordításhoz folyamatos iteráció szükséges a tervezési fázisban. Az alkalmazás módot ad arra, hogy a felhasználó párhuzamosan módosítsa a menetrendi struktúrát és a szükséges infrastruktúra elemeit (például kitérők, jelzők elhelyezése, sebességkorlátozások), egészen addig, amíg a rendszer el nem éri a kívánt egyensúlyi állapotot.

Kiemelt tervezési szempont volt, hogy az alkalmazás specifikusan támogassa az ütemes menetrendek (ITF - Integrált Ütemes Menetrend) létrehozását és vizsgálatát. A hazai és nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy az utasok számára a

kiszámítható, rendszeres időközönként ismétlődő, csatlakozásokra épülő menetrendi struktúrák a legvonzóbbak. A szoftver segítségével pontosan modellezhető, hogy egy adott ütemes struktúra bevezetéséhez milyen minimális, de elégséges infrastrukturális beavatkozások szükségesek.

Összességében a fejlesztett alkalmazás nem helyettesíti az infrastruktúra-beruházást – hiszen a kapacitási problémák fizikai beavatkozást igényelnek –, hanem célzottabbá és optimalizáltabbá teszi azt. A cél egy olyan eszköz biztosítása, amely támogatja a „menetrend az első" elvet, ugyanakkor teret enged a szükséges infrastrukturális korrekciók szimulációjának is.

1.4. Hazai példák

Az utóbbi években Magyarországon is egyre hangsúlyosabbá vált a menetrend-alapú, szolgáltatás-orientált vasútfejlesztési szemlélet. A Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégia (BAVS) előkészítése során a korábbi, elsősorban elemi infrastruktúra-listákra támaszkodó megközelítést felváltotta az a módszer, amely a kívánt kínálati szintből (sűrű, csatlakozás-orientált ütemes elővárosi menetrend) vezeti le a szükséges beavatkozásokat. A stratégia különösen nagy hangsúlyt fektet a menetrendhez való igazodásra, az ütemesség, az átszállási kapcsolatok és a csomóponti szinkronizáció elsődlegességére.

Jól szemlélteti az integrált tervezés hatását az Esztergom–Budapest vasútvonal példája. A vonal felújítását és az ütemes, kiszámítható menetrend bevezetését követően a teljes éves utasszám mintegy 22 millióról 58 millióra nőtt. A jelentős növekedés rávilágít arra, hogy a kapacitásnövelés, a megbízhatóság és a menetrendi struktúra összehangolt optimalizációja lényegesen nagyobb keresletgeneráló hatást eredményez, mint önmagában egy elszigetelt infrastruktúra-fejlesztés.

Ezek a hazai tapasztalatok megerősítik a dolgozatban bemutatott szoftver célját: a menetrendi koncepcióból kiinduló, iteratív infrastruktúra-tervezés támogatását. Az alkalmazás olyan tervezési környezetet biztosít, amelyben a lehetséges ütemes menetrend előre definiálja az infrastruktúra kritikus elemeit (például repülő keresztek, állomási vágánykapacitás, jelzőtávolságok), elkerülve ezzel a túl- vagy alulméretezést és csökkentve a felesleges beruházások kockázatát.

Szintén menetrend-vezérelt beruházási logikát tükröz a jelenleg folyó egyik legnagyobb hazai vasúti projekt, a Déli Körvasút fejlesztése. A Kelenföld–Ferencváros

közötti szakaszon a háromvágányú pálya kialakításának indoka nem pusztán kapacitásnövelés önmagáért, hanem az elővárosi és távolsági vonatok ütemes, sűrített menetrendjének, valamint a tehervonati és kerülő irányú forgalom konfliktusmentes elválasztásának biztosítása. A tervezett kínálati szint – a sűrűbb áthaladási és csatlakozási ritmus, városi átkötő funkció és a csomóponti terhelés kiegyenlítése – olyan headway és tartalékidő követelményeket támaszt, amelyek két vágányon már nem lennének megbízhatóan fenntarthatók csúcsidőben. Ez jól mutatja, hogy a menetrendi igény (kínálat) explicit meghatározása előzi meg és indokolja az infrastruktúrabővítést.

2. fejezet

Felhasználói kézikönyv

Jelen fejezet célja, hogy átfogó útmutatást nyújtson az alkalmazás telepítéséhez és kezeléséhez. A dokumentáció részletesen bemutatja a szoftver rendszerigényét, a telepítés lépéseit, a felhasználói felületet, valamint a hatékony tervezéshez és forgalomirányításhoz szükséges munkafolyamatokat.

2.1. Rendszerkövetelmények és Telepítés

2.1.1. Rendszerkövetelmények

A szimulációs szoftver zökkenőmentes futtatásához az alábbi hardver- és szoftverkonfiguráció szükséges. Bár az alkalmazás 2D megjelenítést használ, a komplex útvonalkeresési algoritmusok és a szimulációs logika miatt a processzor teljesítménye meghatározó.

Komponens	**Minimális követelmény**	**Ajánlott konfiguráció**
Operációs rendszer	Windows 10, macOS 10.13+, vagy modern Linux disztribúció	Windows 10/11 (64-bit)
Processzor (CPU)	Dual-core processzor (pl. Intel Core i3 / AMD Ryzen 3)	Quad-core processzor, 3.0 GHz+ (pl. Intel Core i5 / AMD Ryzen 5)
Memória (RAM)	4 GB	8 GB vagy több
Kijelző	1280x720 felbontás	1920x1080 (Full HD) felbontás

2.1. táblázat. Rendszerkövetelmények táblázat

2.1.2. Az alkalmazás telepítése

A szoftver Python alapú, így futtatásához a Python környezet és a szükséges könyvtárak telepítése elengedhetetlen.

1. Python környezet telepítése: Töltse le és telepítse a Python3 legfrissebb stabil verzióját a hivatalos `python.org` weboldalról. A telepítés során ügyeljen arra, hogy a "Add Python to PATH" opciót jelölje be.

2. Függőségek telepítése: Az alkalmazás grafikus megjelenítéséhez és hálózatkezeléséhez külső könyvtárak szükségesek. Nyissa meg a parancssort (Command Prompt / Terminal), és futtassa az alábbi parancsot:

```
pip install pygame networkx PyQt6
```

A parancs automatikusan letölti és telepíti a `pygame` (megjelenítés), `networkx` (gráfkezelés) és `PyQt6` (felhasználói interfész) modulokat. A telepítés sikeressége a verziószámok megjelenésével ellenőrizhető.

2.2. Működési környezet és jogosultságok

Az alkalmazás architektúrája egyfelhasználós (single-user), lokális működésre lett optimalizálva. A rendszer nem igényel központi szerverkapcsolatot vagy felhasználói azonosítást (autentikációt).

Ez a kialakítás a következő előnyökkel jár a felhasználó számára:

- **Azonnali hozzáférés:** Nincs beléptetési procedúra vagy szerepkör alapú korlátozás; a szoftver indítása után minden tervezési és szimulációs funkció azonnal, teljeskörűen elérhető.
- **Egyszerűsített fájlkezelés:** A rendszer nem alkalmaz fájlzárolást vagy konkurrens hozzáférés-kezelést, így a projektfájlok kezelése (másolás, mozgatás) az operációs rendszer szintjén szabadon elvégezhető.

A szoftver struktúrája a gyors prototípuskészítést és az önálló mérnöki munkavégzést támogatja, felesleges adminisztrációs terhek nélkül.

2.3. Hardverkövetelmények és ergonómia

A szoftver tervezésekor elsődleges szempont volt a vasúti menetrend-tervezés és a hálózatszerkesztés komplexitása. A diszpécseri és mérnöki munkaállomások ergonómiájához igazodva a támogatott környezet a következő:

- **Platform:** Asztali számítógép vagy laptop.
- **Beviteli eszközök:** A precíz pályaszerkesztés (pl. vágánygeometria, jelzők elhelyezése) miatt az egér és billentyűzet kombinációjának használata erősen ajánlott. Érintőképernyős vezérlés nem támogatott.

A fentiek miatt a mobil eszközök (okostelefonok, táblagépek) támogatása nem került implementálásra, mivel azok kijelzőmérete és beviteli módszerei nem teszik lehetővé a szoftver funkcióinak kompromisszummentes használatát.

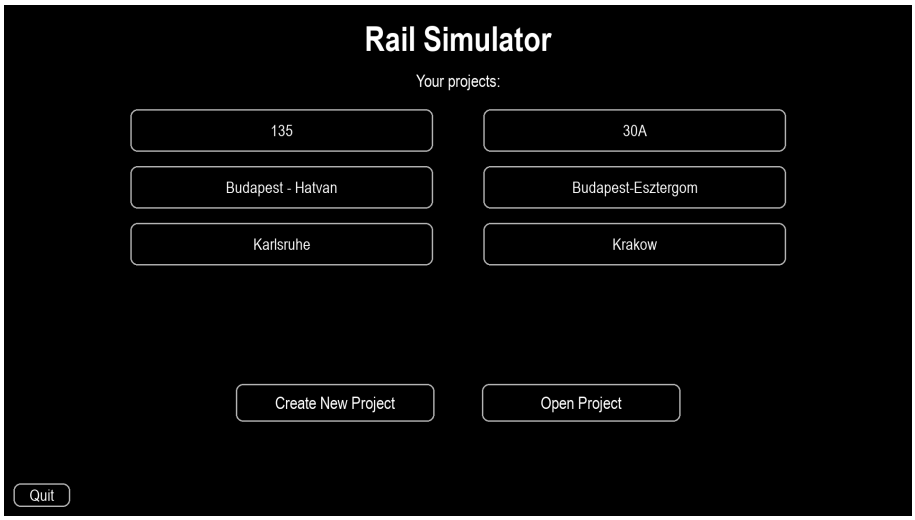
2.4. Az alkalmazás funkcióinak részletes ismertetése

Az alábbiakban részletesen ismertetem az alkalmazás menürendszerét, a pályaszerkesztés lépéseit és a szimulációs nézet funkcióit.

2.4.1. Kezdőoldal

Az alkalmazás indításakor a Kezdőoldal fogadja a felhasználót. A felület felső szekciója automatikusan listázza az alapértelmezett munkakönyvtárban detektált, korábban mentett szimulációkat.

A képernyő alsó sávjában elhelyezkedő vezérlőgombokkal új projekt hozható létre, illetve lehetőség nyílik a külső könyvtárban tárolt állományok tallózására és megnyitására. A programból való kilépés a bal alsó sarokban található 'Quit' gombbal kezdeményezhető.



2.1. ábra. A program kezdőoldala a projektválasztóval

2.4.2. Projekt nézet és navigáció

Egy szimulációs állomány betöltése után a központi Projekt nézet válik aktívvá. Innen érhető el az összes szerkesztési és szimulációs funkció.

Interakciók és hibakezelés:

A projekt szerkesztése közben a felhasználói interakciók során a következő visszajelzési mechanizmusok segítik a felhasználót:

- *Szövegbevitel:* Amennyiben egy művelet szöveg megadását igényli (pl. név, paraméter), azt a felhasználó a felugró ablakban (popup) teheti meg.

2.2. ábra. Példa szöveges adatbevitelre

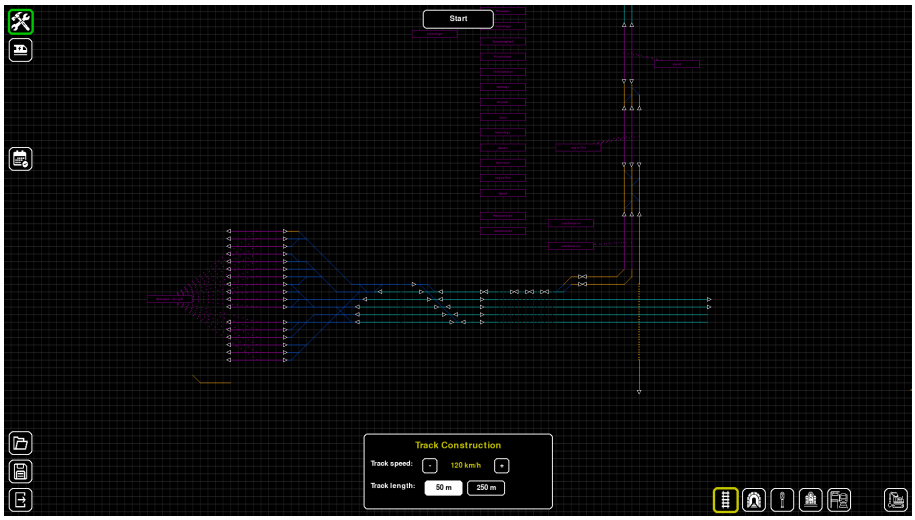
- *Vizuális visszajelzés:* Ha egy elem az adott pozícióban nem helyezhető el (pl. ütközés vagy érvénytelen geometria), a kurzor alatt a terület piros színre vált.
- *Hibaüzenetek:* Amennyiben a felhasználó érvénytelen helyre kattint, vagy szabálytalan műveletet kísérel meg, a program **felugró értesítésben (popup)** jelzi a hiba tényét és részletezi annak okát.

2.3. ábra. Figyelmeztető hibaüzenet

Megjelenítés és geometria: A munkaterület egy izometrikus rácshálóra illeszkedik. *Megjegyzés:* Bár a perspektivikus torzítás miatt a rács átlója vizuálisan hosszabbnak tűnik az oldalaknál, a szimulációs logika szerint a rácsátlók és a rácsélek hossza megegyezik.

Menürendszer: A nézet felső sarkában található menüsor biztosítja a váltást a különböző szerkesztési üzemmódok között. Az aktív funkciót a gomb körüli vastag keret jelzi. A különböző nézetek gyorsbillentyűkkel is elérhetők:

- **C** - Pályaszerkesztés (Construction)
- **T** - Vonatok elhelyezése (Train placement)
- **R** - Menetrendek kezelése (Timetables)



2.4. ábra. A projekt nézet és a felső menüsor

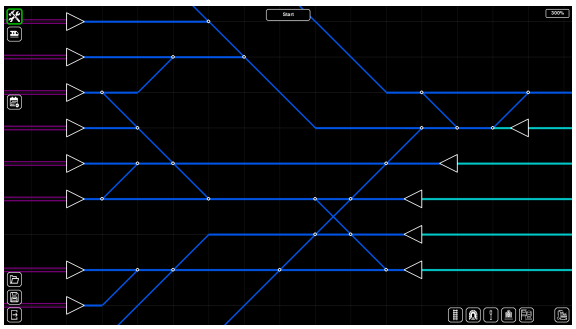
A menetrendek adminisztrációja - funkcionális elkülönülése miatt - egy dedikált ablakban történik (lásd: 2.4.3 fejezet).

Navigáció a munkaterületen

A projekt területe szabadon bejárható:

- **Mozgatás:** Bármely egérgomb lenyomva tartása mellett az egér húzásával (pan).
- **Nagyítás/Kicsinyítés (Zoom):** Az egérgörgő használatával. A nagyítás középpontja mindig az egérmutató aktuális pozíciója.

Amennyiben a nézetpozíció vagy a nagyítás mértéke eltér az alapértelmezettől, a jobb felső sarokban megjelenik egy navigációs információs ablak. Erre kattintva a nézet azonnal visszaállítható a pálya geometriai középpontjára és a minimális nagyítási szintre. Projekt megnyitásakor a program alapértelmezetten ezt a nézetet tölti be.

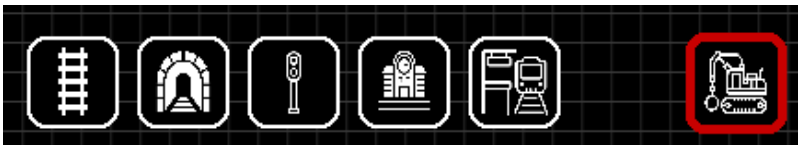


2.5. ábra. Navigációs információs ablak nagyításkor

Infrastruktúra építése (Pályaszerkesztés)

Ebben a módban végezhető el a vasúti hálózat topológiájának kialakítása. A képernyő jobb alsó sarkában található eszköztáron hat különböző elemtípus választható ki. Gyorsbillentyűk az elemek kiválasztásához:

- **1** - Vágány
- **2** - Alagút
- **3** - Jelzőberendezés
- **4** - Állomásépület
- **5** - Peron
- **0** - Törlés



2.6. ábra. Az építési mód eszköztára

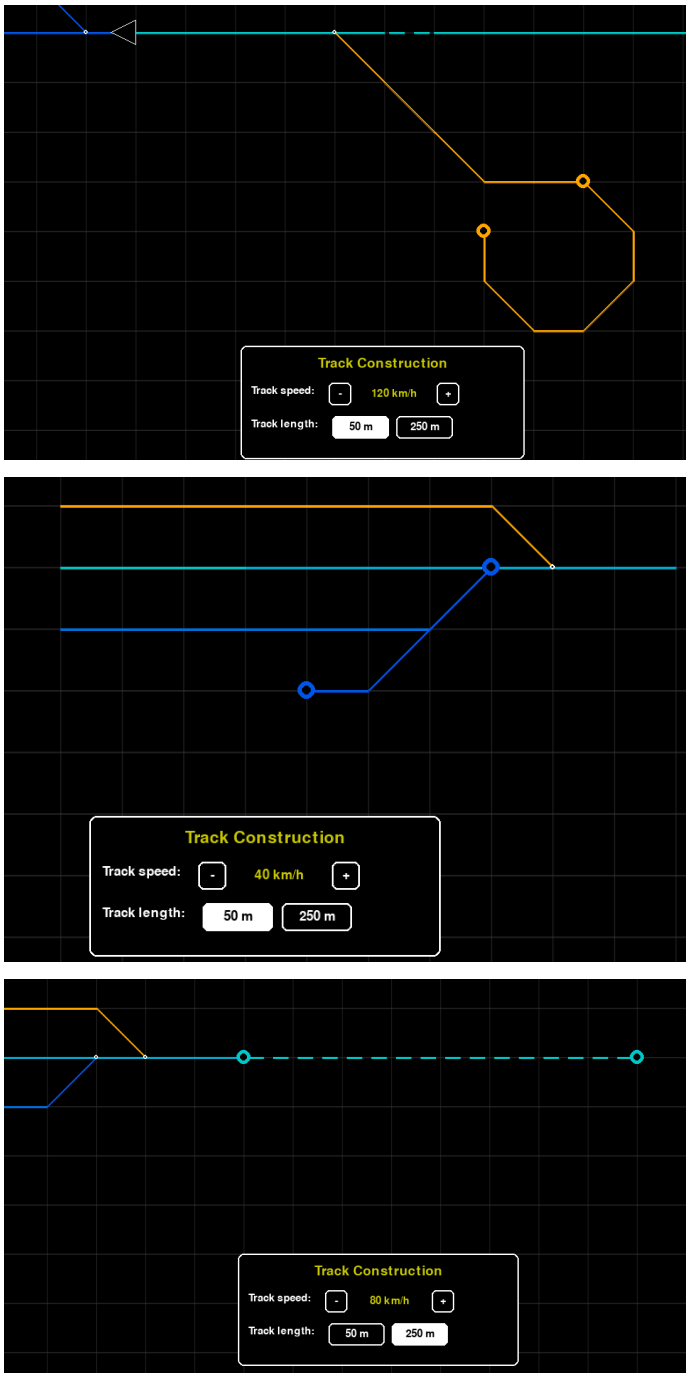
Vágány fektetése

A vágányhálózat a projekt alapja. Az építés menete:

1. Kattintással jelölje ki a szakasz kezdőpontját.
2. Húzza az egeret a kívánt végpont felé. A program automatikusan generálja a legrövidebb, fizikailag kivitelezhető nyomvonalat.
3. Újabb kattintással véglegesítse a szakaszt.

Láncolt építés: A véglegesítés után az eszköz aktív marad, és az előző szakasz végpontja válik az új szakasz kezdőpontjává, lehetővé téve a folyamatos építést. A rendszer automatikusan tiltja a járművek számára járhatatlanul szűk ívek létrehozását. A művelet megszakítása vagy az előnézet törlése a **jobb egérgombbal** lehetséges.

Paraméterek: Az alsó panelen definiálható a vágány sebességhatára (színkódolással jelölve) és megjelenítési típusa (folyamatos vagy szaggatott vonal).



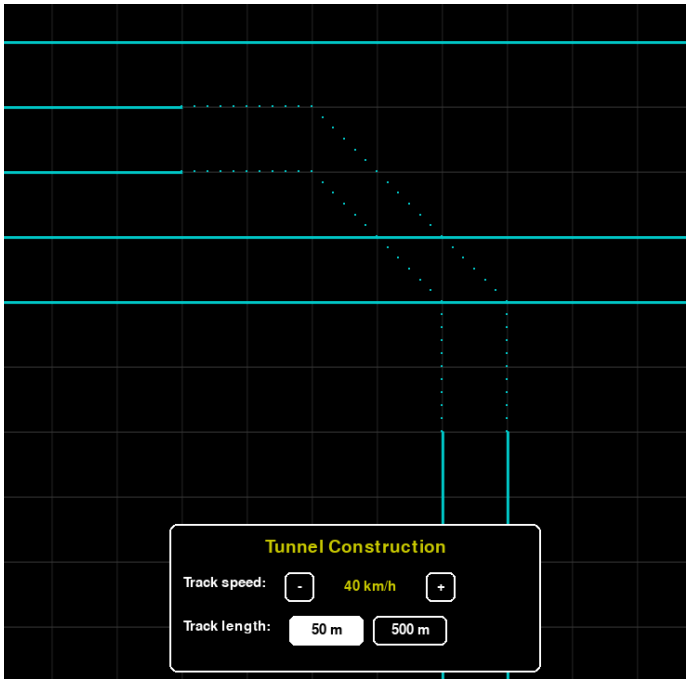
2.7. ábra. Vágányépítés folyamata és a különböző sebességek és hosszak megjelenítése

Alagút

Az alagút funkció a vágányok különszintű keresztezését teszi lehetővé. Ez nem földrajzi alagút-szimuláció, hanem logikai eszköz a vágányok különszintű átvezetésére.

Telepítési feltételek:

- Kizárólag meglévő vágányvégek közé illeszthető.
- Alagutak keresztezése nem engedélyezett.



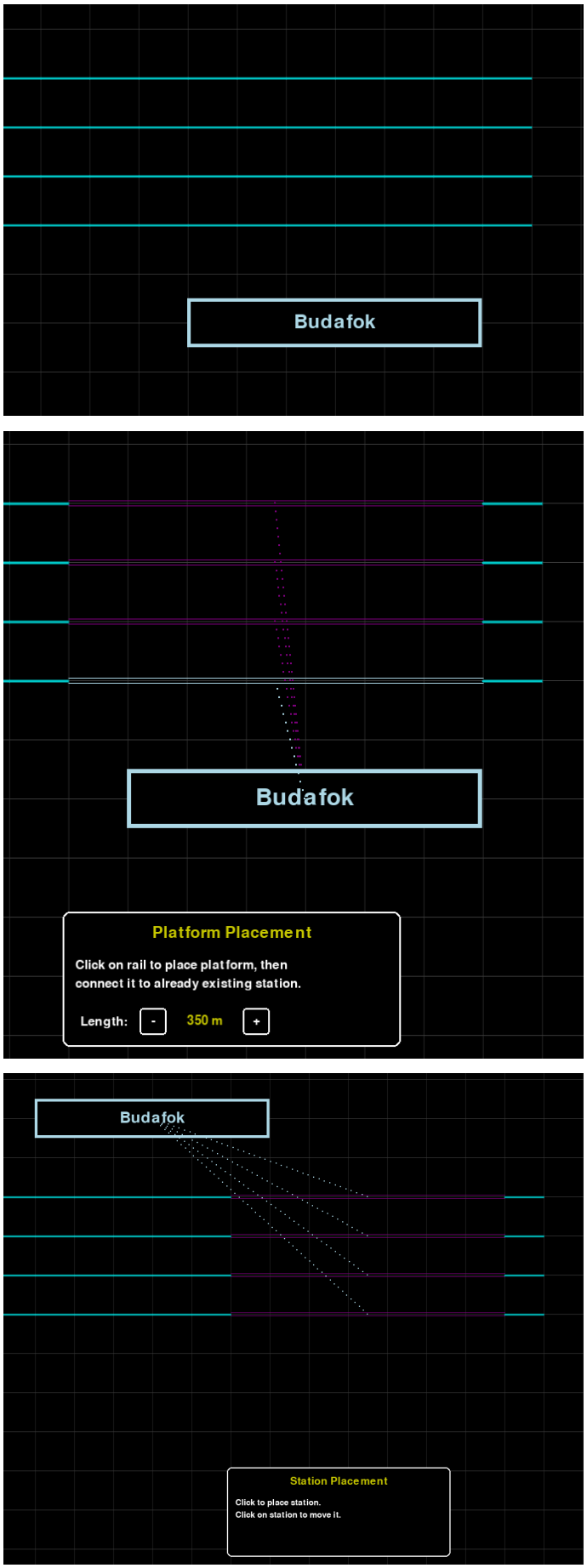
2.8. ábra. Alagút elhelyezése két vágányvég között

Állomások és Peronok

Az utasforgalmi létesítmények definiálása hierarchikus:

1. **Állomásépület:** A vágányok melletti szabad területre helyezendő.
2. **Peron:** Közvetlenül a vágányra illeszkedik, és logikailag a legközelebbi állomásépülethez kapcsolódik (ezt pontozott vonal jelzi).

Peron nem létesíthető váltókörzetben (kereszteződés) vagy íves pályaszakaszon. Az állomásépület pozíciója utólagosan módosítható.

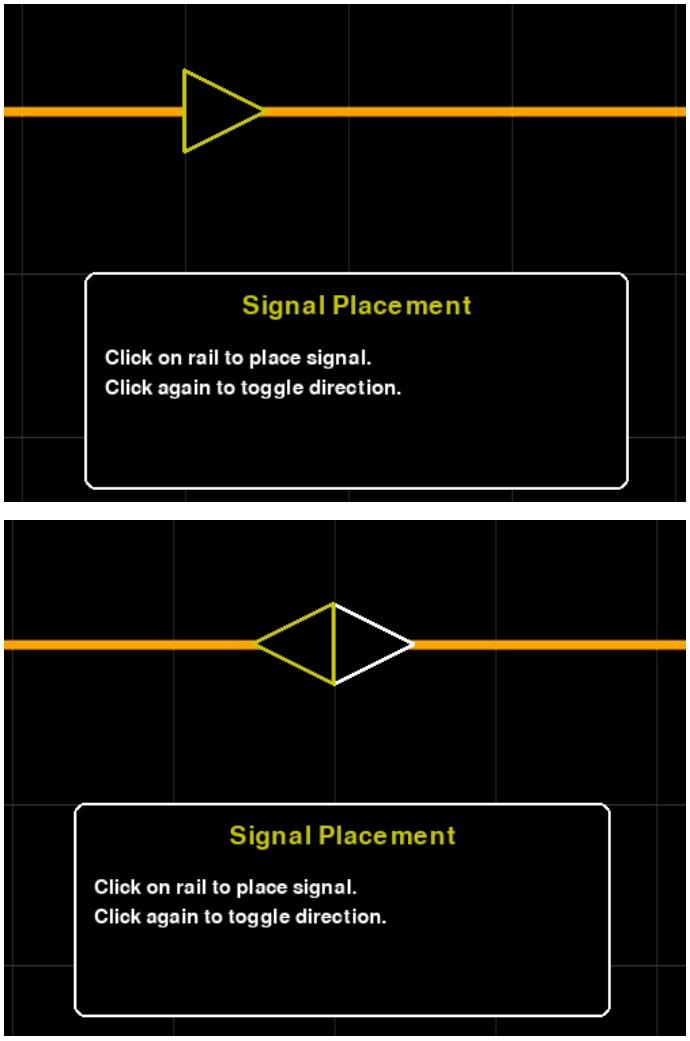


2.9. ábra. Állomások és peronok elhelyezése, illetve mozgatása

Jelzőberendezések

A forgalomszabályozó jelzők a vágányok mentén helyezkednek el, irányultságuk a vágánytengelyhez kötött (kattintással megfordítható).

Tiltott zónák: A jobb átláthatóság érdekében nem telepíthető jelző váltókra, ívekre, peronokra vagy alagutakba.



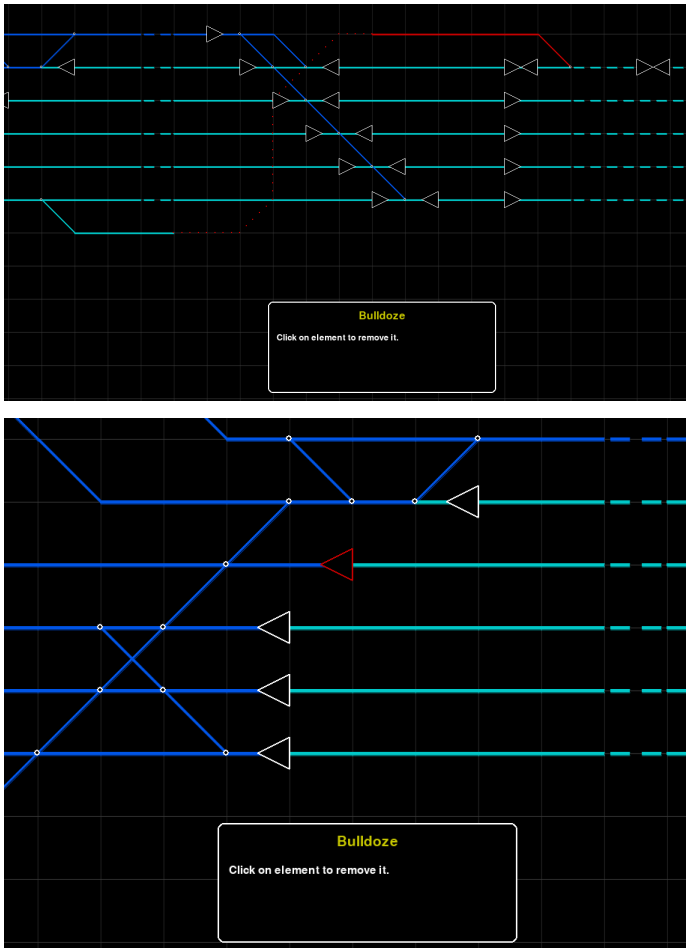
2.10. ábra. Jelző elhelyezése és irányának megfordítása

Elemek törlése

A törlés funkcióval az infrastruktúra elemei eltávolíthatók. A kurzor alatt a törlendő objektum piros kiemelést kap.

- **Vágány:** A rendszer igyekszik a logikailag egybe tartozó pályaszakaszokat egyben kijelölni.

- **Állomás:** Az épület törlése a hozzárendelt peronok automatikus eltávolítását is maga után vonja.

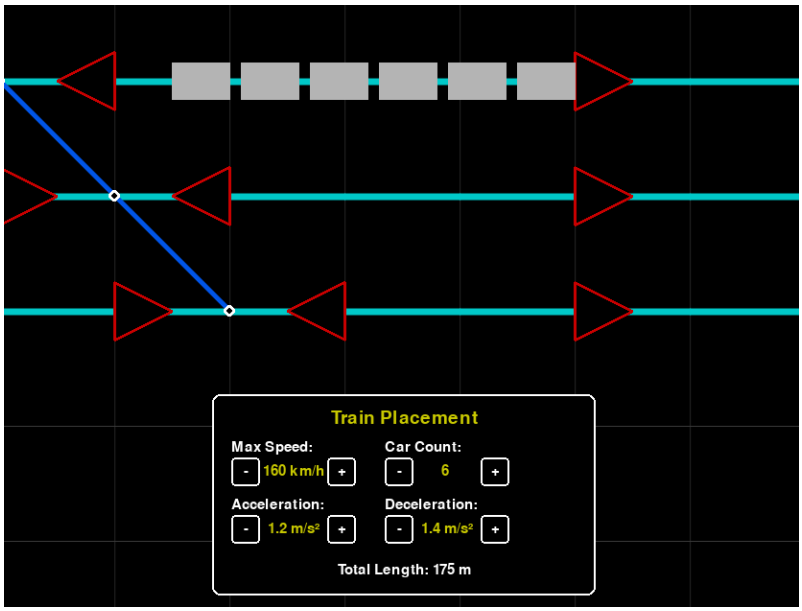


2.11. ábra. Vágány és jelző törlésének kijelölése

2.4.3. Vonatok elhelyezése

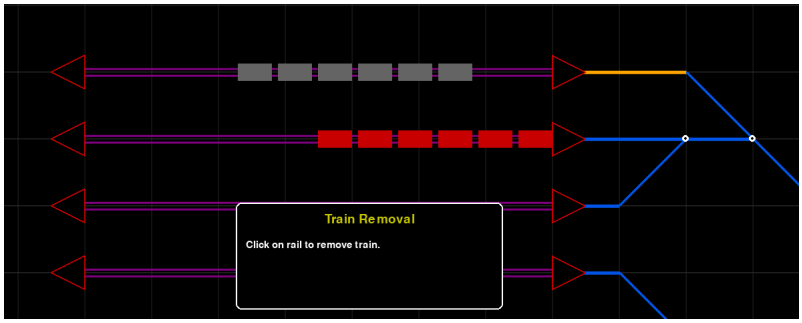
Gördülőállomány elhelyezése

A szimuláció kezdőállapotának beállításához a vonatokat a pályára kell helyezni. A *Vonat hozzáadása* eszközzel a vágányra kattintva jön létre az új szerelvény. A vonat fizikai paraméterei (kocsik száma, maximális sebesség, gyorsulás/lassulás) az alsó panelen konfigurálhatók.



2.12. ábra. Új szerelvény elhelyezése a pályán

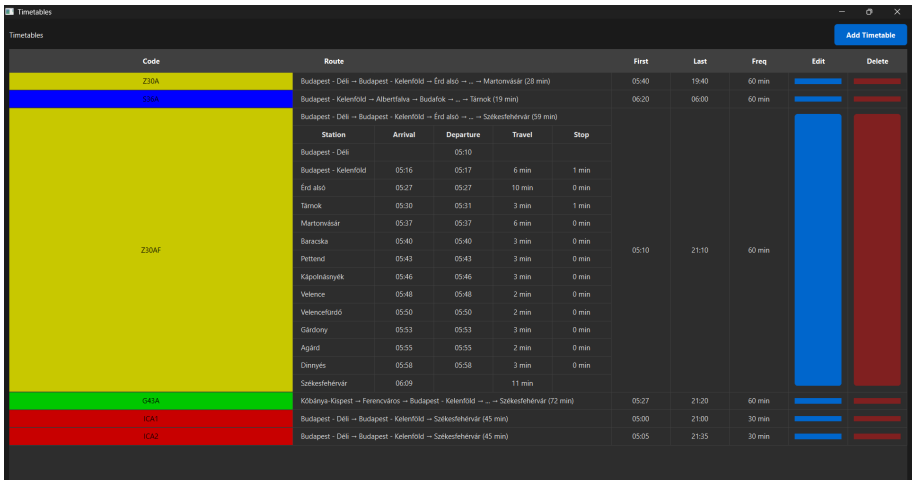
A *Vonat törlése* eszközzel a pályán elhelyezett járművek távolíthatók el.



2.13. ábra. Vonat eltávolítása

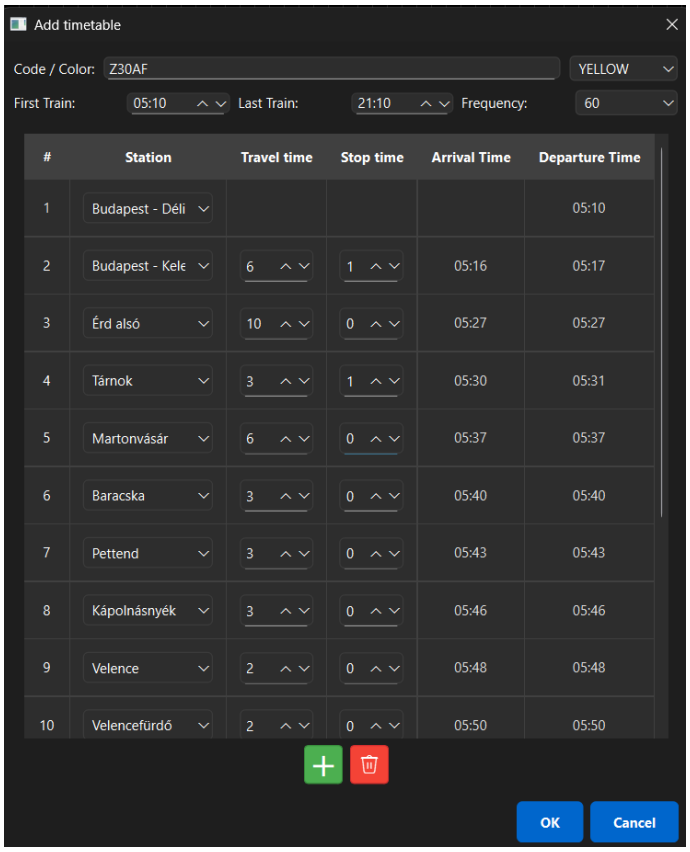
Menetrendi tervezés

A menetrendek definiálják a járművek útvonalát és időzítését. A funkció egy külön ablakot használ a jobb áttekinthetőség érdekében. A menetrendek először listanézetben jelennek meg, az egyes viszonylatok kattintással lenyithatók. A lista elemeit kibontva láthatóvá válnak a részletes adatok: állomások sorrendje, érkezési-, indulási-, várakozási- és menetidők.



2.14. ábra. Menetrendek listanézete

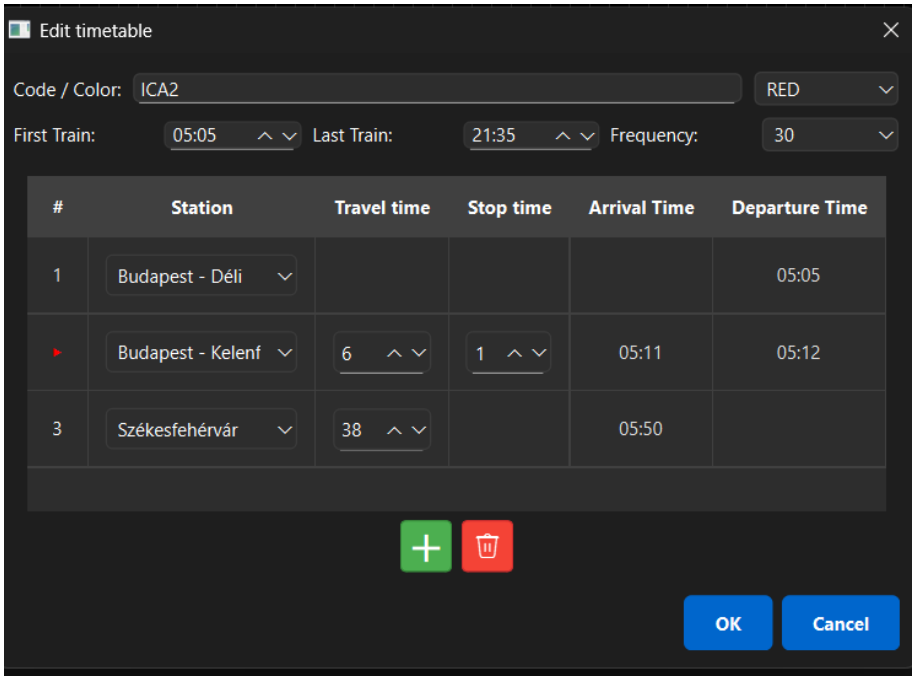
Szerkesztési műveletek: Az 'Add Timetable' gomb új viszonylatot hoz létre. A felugró ablakban a viszonylat neve, színe, gyakorisága és a megállók időzítése állítható be.



2.15. ábra. Új menetrend létrehozása

A menetrend szerkesztő felületén a következő műveletek végezhetők el:

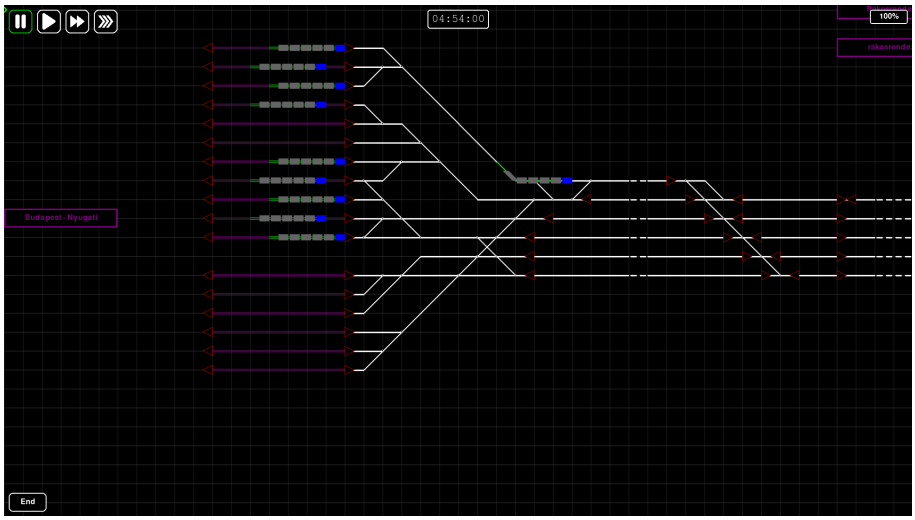
- **Állomás beszúrása:** A '+' gombbal. (Kijelölés hiányában a lista végére kerül).
- **Időzítés számítása:** A felhasználó által megadott várakozási és utazási idők alapján a szoftver automatikusan kalkulálja az abszolút indulási és érkezési időpontokat.
- **Törlés:** A 'kuka' ikonnal.



2.16. ábra. Állomás kiválasztása a menetrend szerkesztőben

2.4.4. Szimulációs üzemmód

A projekt futtatása a 'Start Simulation' gombbal és a kezdő időpont megadásával indítható.



2.17. ábra. Aktív szimulációs nézet

Idővezérlés

A szimuláció sebessége a vezérlőpulton vagy billentyűzettel szabályozható:

- **SPACE** - Szünet / Folytatás
- **0** - Szünet
- **1** - Normál sebesség (1x)
- **2** - Gyorsított (5x)
- **3** - Maximális sebesség (25x)

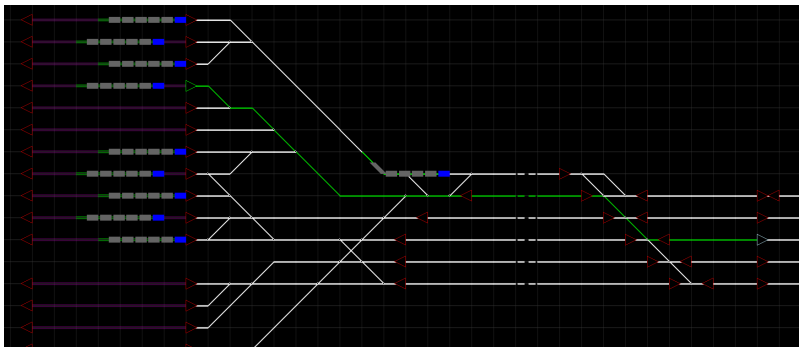
Forgalomirányítás (Vágányutak kezelése)

A vonatok biztonságos közlekedése vágányutak beállításával történik.

Vágányút kijelölése:

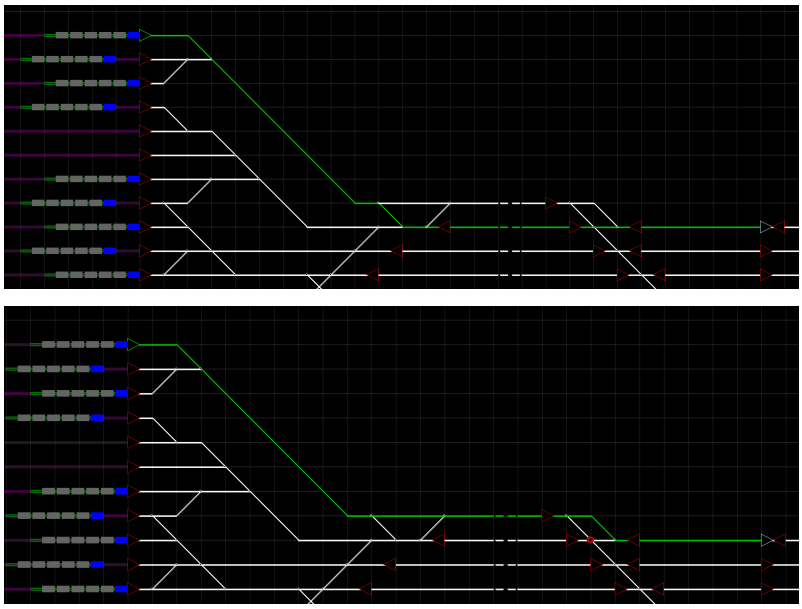
1. Kattintson a kezdő jelzőre (Start).
2. Vigye a kurzort a céljelző (Cél) fölé az útvonal-előnézet megjelenítéséhez.
3. Kattintson a céljelzőre a beállításhoz.

Sikeres beállítás esetén a start és a köztes jelzők 'Szabad' állásba kerülnek. Visszavonáshoz kattintson jobb gombbal a jelzőre.



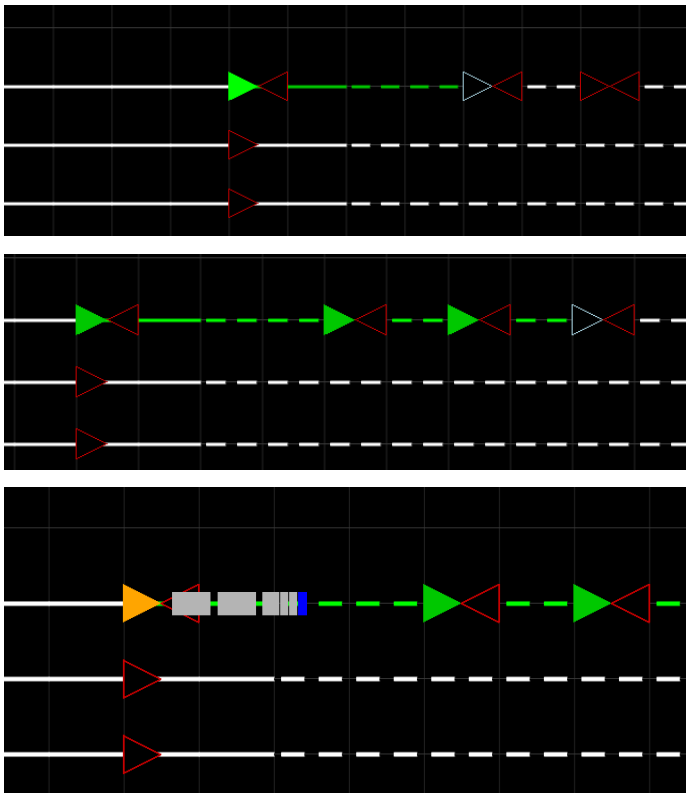
2.18. ábra. Vágányút előnézete (zöld vonal)

Útvonal-kényszerítés (Blokkolás): Alternatív útvonalak esetén a felhasználó kizárhat csomópontokat a keresésből. A Start jelző kijelölése után kattintson a térképen a kerülendő pontra (piros kör jelzi), majd jelölje ki a Cél jelzőt.



2.19. ábra. Útvonal tervezése tiltott pont (blocker) alkalmazásával. Fent: alapútvonal, lent: blokkolt pont után.

Automata térközbiztosítás: Hosszú, elágazásmentes szakaszokon lehetőség van láncolt kijelölésre. A céljelző kijelölésekor tartsa nyomva a **SHIFT** billentyűt. Ekkor a rendszer az összes köztes jelzőt automata térközjelzővé alakítja (töltött háromszög szimbólum), melyek a vonat áthaladása után automatikusan kezelik a foglaltságot.

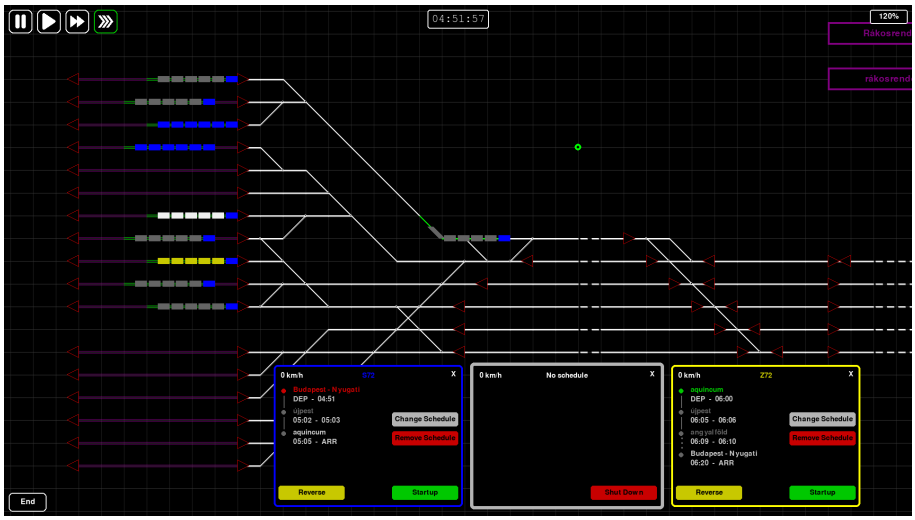


2.20. ábra. Automata térközjelzők működése és foglaltságjelzése

Járműfelügyelet

A vonatokra kattintva megjelenik a vezérlőpanel (max. 4 panel egyidejűleg).

- **Operatív beavatkozás:** Menetrend hozzárendelése, kézi indítás/megállítás, irányváltás.
- **Státuszmonitor:** Sebesség, menetrendi pontosság (késés kijelzése) és következő célállomás nyomon követése.



2.21. ábra. Vonatok információs panelei (késés és pontos haladás jelzése)

Szimuláció leállítása

A 'Stop Simulation' gomb megnyomásával a rendszer visszaáll szerkesztő módba, és a szimulációs állapot törlődik.

2.4.5. Projektkezelés (Mentés és betöltés)

A projektfájlok kezelése az alkalmazás kulcsfontosságú funkciója, amely biztosítja a munkafolyamatok folytonosságát. A projektek tárolása szabványos `.json` formátumban történik, amely biztosítja az adatok hordozhatóságát. A fájlkezelő műveletek a képernyő bal alsó sarkában található funkciógombokkal, illetve gyorsbillentyűkkel érhetők el.

2.22. ábra. Mentés, Betöltés és Kilépés gombok

Mentés (Save)

A mentés állapota vizuálisan követhető a mentés ikon változásain keresztül:

- **Szinkronban:** A "floppy" ikon alapállapotban jelzi, hogy a projekt mentve van.
- **Módosítva:** Ha a projektben változtatás történt az utolsó mentés óta, az ikon mellett egy 'x' jelzés, vagy módosult állapotjelző tűnik fel.

2.23. ábra. Módosított állapotjelző

- **Visszajelzés:** Sikeres mentés esetén a program rövid ideig egy pipa megjelenítésével nyugtázza a műveletet.

Mentési opciók:

- **Gyorsmentés:** A **CTRL + S** kombinációval a módosítások azonnal felülírják az aktuális fájlt.
- **Mentés másként:** A mentés gombra kattintva felugró ablakban lehetőség van a projekt új néven történő elmentésére.

Biztonsági funkció: Amennyiben a felhasználó mentés nélkül próbál kilépni vagy új projektet nyitni, a rendszer figyelmeztető ablakban ajánlja fel a változtatások rögzítését.

Betöltés (Load)

Korábbi munkamenetek visszaállítása a **CTRL + O** billentyűkombinációval, vagy a mappát ábrázoló 'Betöltés' ikonnal kezdeményezhető. A megjelenő fájlkezelő ablakban tallózható be a kívánt `.json` állomány. A rendszer beépített validációval rendelkezik: kizárólag érvényes struktúrájú projektfájlok betöltését engedélyezi. Sérült vagy inkompatibilis fájl esetén hibaüzenet tájékoztatja a felhasználót.

Visszalépés a főmenübe

A szerkesztési felületről való kilépéshez és a Kezdőoldalra való visszatéréshez a bal alsó sarokban található 'Kilépés' (Exit) gomb szolgál. Ezzel a művelettel a jelenlegi projekt bezárul (mentési figyelmeztetéssel), és a felhasználó visszakerül a projektválasztó képernyőre.

3. fejezet

Fejlesztői dokumentáció

3.1. Technológiai döntések és alternatívák elemzése

Az alábbiakban bemutatom a mérlegelt alternatívákat és a választott megoldás melletti érveket.

3.1.1. Programozási nyelv: Python vs. C++ / C#

A hasonló 2d szimuláció területén a leggyakoribb alternatívák a C++ vagy a C# (Unity környezetben).

- **C++ / C# alternatívák:** Előnyük a magas futási teljesítmény és a szigorú típusosság, amely nagy számításigényű 3D grafikánál elengedhetetlen. Hátrányuk azonban a hosszabb fejlesztési idő (boilerplate kódok).
- **A választott Python előnyei:** Jelen projekt esetében - a 2D-s megjelenítés révén a kritikus tényező nem a nyers grafikus teljesítmény, hanem a *fejlesztési sebesség* és az *adatstruktúrák rugalmas kezelése* volt. A Python dinamikus típusossága és tömör szintaxisa lehetővé tette a komplex logika (vonatok mozgása, jelzők állapota) gyors implementálását.

3.1.2. Szimulációs környezet: Pygame vs. Game Engines (Unity/Unreal)

A grafikus megjelenítés és a szimulációs ciklus (game loop) megvalósítására két fő irányvonal létezik: egy kész játékmotor (pl. Unity) használata vagy egy keretrendszer (framework) alkalmazása.

- **Játékmotorok (Unity, Godot):** Ezek az eszközök "dobozos" megoldásokat kínálnak fizikára és renderelésre. Bár látványos eredményt adnak, a projekt szempontjából túlzott komplexitást (overhead) jelentenek. Egy Unity projekt esetén a fejlesztő kénytelen a motor logikájához igazodni, ami megnehezíti a saját, egyedi gráf-alapú mozgási logika implementálását.
- **A választott Pygame előnyei:** A Pygame nem egy motor, hanem egy könyvtár, amely közvetlen hozzáférést ad a rajzolási felülethez (canvas) és az eseményhurokhoz. Ez a "code-first" megközelítés ideális a szakdolgozathoz, mivel:

1. Teljes kontrollt biztosít a szimulációs ciklus felett (nincs rejtett motorlogika).
2. A megjelenítés szorosan integrálható a Python adatmodelljeivel (nem kell adatokat átkonvertálni C# objektumokká).
3. Alacsony erőforrásigényű és könnyen hordozható.

Fontos megjegyezni, hogy a Python stack – és specifikusan a Pygame – legnagyobb hátránya a frontend teljesítménye. A Pygame szoftveres renderelése nem versenyképes a GPU-gyorsított motorokkal. A választás mégis erre esett, mivel ennél a szimulációnál nem a pixelpontos megjelenítés, a nagy felbontás vagy a magas FPS (képkockaszám) a cél, hanem a logikai komplexitás kezelése. A rendszer lényege a jelzők állítása, a dinamikus útvonalkeresés, valamint a vonatok és a pálya közötti kommunikáció szimulálása, így ezen funkciók mellett a nyers grafikus performance másodlagos tényező.

3.1.3. Gráfkezelés és algoritmusok: NetworkX

A vasúti hálózat és a pályaelemek modellezéséhez a **NetworkX** könyvtár mellett döntöttem. A szimuláció során a programnak rengetegszer kell különféle gráfalgoritmusokat meghívnia a pálya állapotának kiértékeléséhez. A NetworkX használata mellett szólt, hogy a könyvtárból elérhető rengeteg extra feature és optimalizált függvény (pl. `EdgeView`, `neighbors`, `degree`, stb.) jelentősen megkönnyíti a fejlesztést, kiváltva a saját, potenciálisan lassabb gráfkezelő algoritmusok írását.

3.1.4. A felhasználói felület kihívásai: A hibrid architektúra indoklása

A fejlesztés egyik kritikus pontja a menetrend-szerkesztő modul kialakítása volt. Itt ütközött ki a Pygame, mint grafikus könyvtár korlátja, és vált szükségessé egy hibrid megoldás bevezetése.

A probléma: Pygame korlátai UI téren

A Pygame egy úgynevezett *framebuffer-alapú* megjelenítő. Minden képkockát pixelről pixelre rajzol újra, és nem rendelkezik beépített, magas szintű UI komponensekkel.

- Egy menetrend táblázatos megjelenítése (sorok, oszlopok, görgetés, szerkeszthető cellák) Pygame-ben rendkívül erőforrás-igényes feladat.
- A menetrendek megjelenítése a térképpel, a jelzőkkel és vonatokkal ellentétben standard UI elemeket igényel, mint például táblázatok, legördülő menük és szövegbeviteli mezők.
- Ezekre a komponensekre nincsenek natív megoldások beépítve a Pygame-be.
- Ezen komponensek nulláról történő lefejlesztése aránytalanul sok időt vett volna el a vasúti szimuláció fejlesztésétől, és az eredmény ergonómiailag és esztétikailag is elmaradt volna a szabványos megoldásoktól.

A megoldás: PyQt6 integrációja

Ezen hiányosságok áthidalására választottam a **PyQt6** keretrendszert a menetrend-kezelő modulhoz. A PyQt6 (a Qt keretrendszer Python portja) ipari szabványos, professzionális nézetet biztosít a menetrendek számára.

- **Táblázatkezelés:** A `QTableWidget` komponens azonnal biztosítja a cellaszerkesztést, görgetést és legördülő menüket, amit Pygame-ben hetekig tartott volna implementálni.
- **Ergonómia:** A felhasználó a megszokott operációs rendszer szintű vezérlőkkel találkozik, ami növeli a szoftver használhatóságát.
- **Szétválasztás:** Ez a döntés tisztább architektúrát eredményezett. A *vizualizáció* (térkép, vonatok) a Pygame felelőssége, míg az *adminisztráció* (adatbevitel, konfiguráció) a PyQt-é. Ez a "megfelelő eszközt a megfelelő feladatra" elv gyakorlati alkalmazása.

Összegzésként elmondható, hogy a Python, Pygame, NetworkX és PyQt6 kombinációja egy olyan technológiai elegyet (stack) alkot, amely egyesíti a gyors fejlesztést, a komplex algoritmusok kezelését, a teljes kontrollt a szimuláció felett, valamint a professzionális adatkezelő felületet.

3.2. Alkalmazott technológiák és fejlesztői környezet

A projekt implementációja **Python** programozási nyelven készült. A Python magas szintű absztrakciós képessége, valamint az elérhető könyvtárak és eszközök széles választéka lehetővé tette a gyors prototípus-fejlesztést és a komplex funkcionalitás hatékony megvalósítását.

3.2.1. Felhasznált könyvtárak

A fejlesztés során számos külső könyvtár került integrálásra, amelyek specifikus feladatokat látnak el a rendszer különböző rétegeiben:

Pygame: A szimulációs tér vizualizációjáért és a grafikus felhasználói felület megjelenítéséért felelős könyvtár. Ez a modul az alkalmazás grafikus felületének mintegy 80%-át adja. A Pygame multimédiás alkalmazások és játékok fejlesztésére tervezett keretrendszer, amely felelős a 2D grafikus elemek (sprite-ok) renderelésééért, a képfrissítési ciklus kezeléséért, valamint a felhasználói interakciók (billentyűzet- és egéresemények) valós idejű feldolgozásáért.

NetworkX: A vasúti hálózat topológiájának reprezentálására és kezelésére szolgáló könyvtár. A NetworkX komplex hálózatok és gráfok elemzésére specializálódott eszköz, amely gráf alapú adatszerkezetet (csomópontok és élek) biztosít. Alkalmazása jelentősen egyszerűsítette a hálózati topológia implementálását és a kapcsolati viszonyok kezelését.

PyQt6: Míg a szimuláció megjelenítése Pygame alapú, a menetrendek szerkesztése PyQt6 keretrendszer segítségével valósult meg. A Qt könyvtár Python implementációja professzionális, eseményvezérelt GUI komponenseket (gombok, táblázatok, legördülő menük) nyújt, amelyek ergonómikusabb felhasználói élményt biztosítanak az adminisztratív műveletek során.

Tkinter: A Python standard könyvtárának grafikus eszközkészlete. Az alkalmazásban kizárólag modális párbeszédablakok (pl. hibaüzenetek, figyelmeztetések, megerősítő dialógusok) megjelenítésére kerül felhasználásra (`messagebox` modul). Használatát az indokolta, hogy natív rendszerintegrációt biztosít további külső függőségek nélkül.

3.2.2. Adattárolás és perzisztencia

A projektek állapotának mentése és betöltése **JSON** (JavaScript Object Notation) formátumban történik. A JSON formátum választását több tényező motiválta: emberek által is könnyen olvasható, szöveges reprezentációja biztosítja a verziókezelés egyszerűségét, ugyanakkor strukturált adatmodellt nyújt a komplex objektumok szerializálásához.

A mentett JSON struktúra a következő főbb komponenseket tartalmazza:

graph: A vasúti pályahálózat topológiai reprezentációja NetworkX gráf formátumban, beleértve a vágányok kapcsolatait és térbeli pozícióit.

station_repository: Az állomások és az azokhoz tartozó peronok adatainak gyűjteménye.

signal_repository: A jelzők térbeli elhelyezkedése és irányítási tulajdonságai.

timetable_repository: A menetrendi útvonalak és időzítések definíciója.

train_repository: A járművek kezdeti pozíciója és paraméterezett tulajdonságai.

3.3. Szoftverarchitektúra és rendszerfelépítés

Az alkalmazás fejlesztése során moduláris, rétegelt architektúrát alakítottam ki, amely elősegíti a kód átláthatóságát és a későbbi bővíthetőséget. A projekt forráskódja a `src` könyvtárban található, amely a felelősségi körök (Separation of Concerns) alapján az alábbi fő rétegekre és komponensekre tagolódik.

3.3.1. Belépési pontok és vezérlés

Az alkalmazás indításáért és az életciklus-kezelésért felelős fájlok:

- `main.py`: A program belépési pontja. Feladata az alkalmazás indítása és a `MenuManager` inicializálása.
- `menu_manager.py`: Az alkalmazás központi állapotkezelője. Feladata az alkalmazás inicializálása, valamint a beérkező események (billentyűzet, egér) továbbítása a megfelelő vezérlő felé.
- `home_page_screen.py`: A kezdőképernyő megjelenítéséért és interakcióiért felelős osztály. Lehetővé teszi új projektek létrehozását, meglévők betöltését, valamint a legutóbbi projektek gyors elérését.

3.3.2. Core (Mag) réteg

A `core` réteg képezi az alkalmazás gerincét; ez a modul kapszulázza az üzleti logikát, a domain modelleket, a konfigurációs állományokat és az alapvető infrastrukturális szolgáltatásokat. A réteg feladata biztosítani a rendszer belső konzisztenciáját, függetlenül a felhasználói felület (UI) aktuális megvalósításától.

Config modul

A konfigurációs modul felelős az alkalmazás globális paramétereinek, állandóinak és erőforrás-hivatkozásainak központosított tárolásáért.

`color.py`: A színpaletta definícióit tartalmazza, biztosítva a konzisztens vizuális megjelenést az egész alkalmazásban.

`keyboard_shortcuts.py`: A beviteli vezérlés absztrakciója; itt kerülnek definiálásra a módváltásokhoz és funkciókhoz rendelt gyorsbillentyűk.

`paths.py`: Az erőforrás-kezelés segédosztálya, amely dinamikusan kezeli az ikonok és adatfájlok relatív és abszolút elérési útvonalait.

`config.py`: Az alkalmazás központi konfigurációs osztálya. Tartalmazza a szimulációs és megjelenítési paramétereket (pl. rácsméret, sebességhatárok, fizikai állandók). A fájl tartalma a 3.1 kódrészleten látható.

```python
class Config:
    MAPS_FOLDER = "maps"
    GRID_SIZE = 40           # Pixel
    BUTTON_SIZE = 50
    STATION_RECT_WIDTH = 6
    STATION_RECT_HEIGHT = 1
    FPS = 20

    MIN_TRACK_SPEED = 10
    MAX_TRACK_SPEED = 200
    TRACK_SPEED_INCREMENT = 10

    SHORT_SECTION_LENGTH = 50
    LONG_SECTION_LENGTH = 250

    TRAIN_CAR_LENGTH = 25
    TRAIN_CAR_GAP = 5
    MAX_TRAIN_CAR_COUNT = 16
    MIN_TRAIN_STOP_TIME = 30  # mp
    TRAIN_SAFETY_BUFFER = 0   # m
```

3.1. forráskód. A Config osztály részlete, amely a szimuláció változtatható paramétereit definiálja

Graphics modul

- `icon_loader.py`: Az erőforrások (sprite-ok, textúrák) betöltéséért és gyorsítótárazásáért felelős.
- `camera.py`: A felhasználói nézet transzformációit (eltolás, nagyítás/kicsinyítés) végző osztály. Lehetővé teszi a virtuális tér és a képernyő koordinátarendszere közötti konverziót.

- `graphics_context.py`: Egy *Context Object*, amely összefogja a rajzoláshoz szükséges függőségeket (pl. a Pygame felületét és a kamera objektumot), és továbbítja azokat a kirajzolást végző entitásoknak.

Models csomag

A `models` csomag tartalmazza a rendszer összes domain entitását, logikailag elkülönített alcsomagokba szervezve.

Geometry (Geometria és Térinformatika) A térbeli reprezentációért és a gráf-alapú koordinátákért felelős osztályok.

- `node.py`: A diszkrét rácspontokat reprezentáló osztály. A gráf csomópontjaként funkcionál, tárolja a koordinátákat és a magassági szintet (pl. alagút kezeléséhez).
- `position.py`: A folytonos (Euclideszi) tér egy pontját reprezentálja lebegőpontos koordinátákkal. Míg a `Node` a gráf csomópontjait jelöli, a `Position` a képpontok és a kurzor finommozgását írja le.
- `edge.py`: A gráf éleinek absztrakciója, amely két `Node` közötti kapcsolatot definiál.
- `direction.py`: A vektorirányok kezelését végző segédosztály. Kulcsszerepe van a gráfbejárás során a lehetséges haladási irányok meghatározásában.
- `pose.py`: A *Position* és *Direction* kombinációja (pozíció és orientáció). Nélkülözhetetlen a jelzők és vonatok állapotának leírásához, ahol a térbeli elhelyezkedés mellett az irány is meghatározó.

```
1    def get_connecting_poses(self, other_level: bool = False) ->
        list['Pose']:
2        neighbors = []
3        for dir in self.direction.get_valid_turns():
4            nx = self.node.x + dir.x
5            ny = self.node.y + dir.y
6            new_state = Pose(Node(nx, ny, self.node.level), dir)
7
8            neighbors.append(new_state)
9            if other_level:
```

```
10                  neighbors.append(new_state.toggle_level())
11          return neighbors
```

3.2. forráskód. A Pose osztály `get_connecting_poses` metódusa, amely azokat a pozíciókat adja vissza, amelyek a vonatok által bevehető pályageometriájú szakaszokat reprezentálják

Railway (Vasúti Logika) A különböző vasúti entitások és algoritmusait összekötő réteg.

- `railway_system.py`: Egy **Facade (Homlokzat)** tervezési mintát megvalósító osztály. Ez az egyetlen belépési pont a külvilág számára a vasúti alrendszer felé; összefogja és koordinálja az állomások, vonatok, jelzők és a biztosítóberendezés működését.
- `graph_adapter.py`: Egy **Adapter** mintát követő osztály, amely elszigeteli a *NetworkX* könyvtárat a rendszer többi részétől. Ez biztosítja, hogy a gráfimplementáció cseréje esetén csak ezt az osztályt kelljen módosítani.
- `graph_service.py`: Magas szintű gráfműveleteket és a gráfon végzett keresési algoritmusokat (pl. szekciókeresés, peron-validáció) biztosító szolgáltatás.
- `signalling_service.py`: A biztosítóberendezés logikáját implementálja. Feladata a jelzők aspektusának (szabad/tilos) dinamikus frissítése és a vágányutak foglaltságának ellenőrzése.
- `path_finder.py`: A nem gráfon végzett útvonalkeresést megvalósító osztály. A `A*` algoritmust alkalmazza két pont közötti legrövidebb vágány építésének meghatározására.

Repositories (Adattárolók) A **Repository** tervezési minta alkalmazása az entitások életciklusának kezelésére. Ezek az osztályok felelősek az objektumok (vonatok, állomások, menetrendek) memóriában történő tárolásáért, lekérdezéséért és módosításáért.

- `station_repository.py`, `signal_repository.py`, `train_repository.py`, `timetable_repository.py`

Domain Entities (Entitások) A rendszer alapvető építőkövei:

- `rail.py`: A fizikai vágány modellje, amely kiterjeszti az `Edge` osztályt olyan tulajdonságokkal, mint a sebességkorlát és a pályahossz.
- `signal.py`: A vasúti jelzőberendezés modellje. Tárolja a pozíciót (`Pose`), a következő jelző referenciáját és a fedezett vágányutat.
- `train.py`: A vonat modellje. Az osztály kezeli a jármű fizikai paramétereit (sebesség, gyorsulás, fékezés), követi a menetrendet és interakcióba lép a pályával.
- `timetable.py` és `schedule.py`: A `Timetable` a statikus útvonaltervet (megállók sorrendje, és időkülönbsége), míg a `Schedule` egy konkrét, időponthoz kötött járatot reprezentál, amely alapján a szimuláció elindítja a vonatot.

3.3.3. Shared (Megosztott) réteg

A `shared` réteg alapvető célja a kód újrafelhasználhatóságának biztosítása a különböző modulok között. Ez a réteg tartalmazza az alapvető UI osztályokat, a vezérlő logikákat (controllers), valamint a rajzolást és egyéb segédfunkciókat megvalósító könyvtárakat.

UI Modellek és Alaposztályok

Az `ui/models` könyvtár definiálja az összes felhasználói felület (UI) komponenst és azok absztrakt ősosztályait.

`ui_component.py` Az összes UI komponens absztrakt ősosztálya (*Abstract Base Class*). Ez az osztály definiálja a komponensek alapvető viselkedését és interfészét.

```
1 from core.models.geometry.position import Position
2 from core.models.event import Event
3 from abc import ABC, abstractmethod
4
5 class UIComponent(ABC):
6     def dispatch_event(self, event: Event) -> bool:
7         if hasattr(self, 'handled_events') and event.type not
              in self.handled_events:
```

```
8               return False
9
10          return self.handle_event(event)
11
12      def handle_event(self, event: Event) -> bool:
13          """Process an event that has already been filtered by
                type. Return True if consumed."""
14          return False
15
16      @abstractmethod
17      def render(self, screen_pos: Position) -> None:
18          """Render the UI component."""
19          pass
20
21      @abstractmethod
22      def contains(self, screen_pos: Position) -> bool:
23          """Check if a position is within the component's area.
                """
24          return False
25
26      def tick(self) -> None:
27          """Advance the component's state by one tick."""
28          pass
```

3.3. forráskód. Az UIComponent absztrakt osztály

`rectangle_ui_component.py` Téglalap alakú UI elemeket valósít meg. Az inicializáció során megadott befoglaló téglalapot elmenti az osztály állapotába, és implementálja a `contains` függvényt a geometriai vizsgálathoz.

`full_screen_ui_component.py` A teljes képernyőt elfoglaló UI komponens. A `contains` metódusa minden esetben `True` értéket ad vissza, biztosítva, hogy minden eseményt érzékeljen a képernyőn.

`shortcut_ui_component.py` Billentyűparancsok kezelésére szolgáló komponens. A konstruktorban megadott billentyűkombináció figyelését végzi, és lenyomás esetén meghívja a hozzárendelt visszahívó (callback) függvényt.

`clickable_ui_component.py` Kattintható UI komponensek osztálya. Kiszűri a "húzott egér" (*drag*) eseményeket, és valid kattintás esetén meghívja az

`on_click` metódust. A származtatott osztályoknak így csupán az `on_click` logikát kell implementálniuk.

`button_component.py` Összetett komponens, amely egyesíti a `shortcut` és a `clickable` osztályok funkcionalitását.

`panel.py` A `rectangle` és `clickable` osztályok leszármazottja. Alapértelmezetten definiál egy panelt a képernyő alsó középső részén. A konstruktor paraméterei lehetővé teszik a pozíció és méret testreszabását, valamint segédfunkciókat biztosít a betűtípusok kezeléséhez. A `render` metódus felelős a háttér és a keret kirajzolásáért, így a származtatott osztályok kizárólag a tartalom megjelenítésére koncentrálhatnak.

`ui_controller.py` Az UI komponensek központi gyűjtője és kezelője.

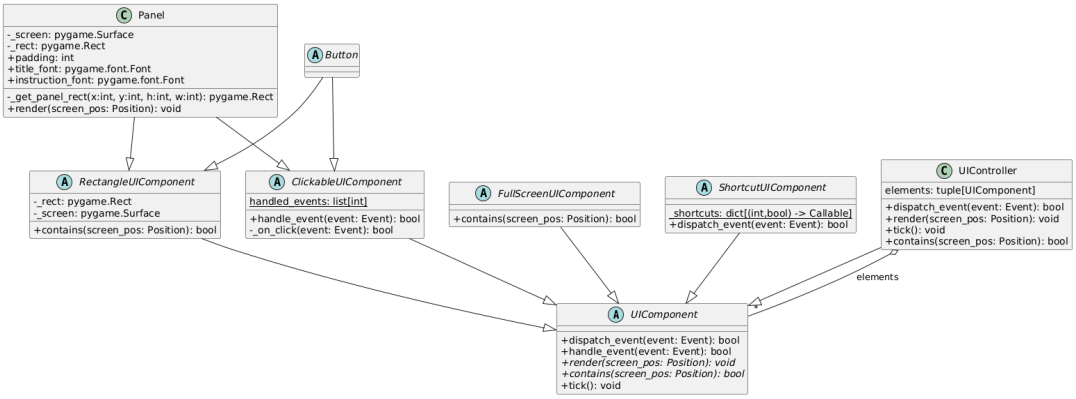
- **Eseménykezelés:** Az eseményeket a komponensek definiált sorrendjében továbbítja. Amennyiben egy komponens lekezeli az eseményt, a továbbítás megáll (chain of responsibility minta).
- **Kurzorkezelés:** Érzékeli, melyik komponens felett tartózkodik a kurzor. A takart komponensek felé nem továbbítja a kurzor pozícióját, így azok nem rajzolnak feleslegesen előnézetet (*preview*).
- **Kirajzolás:** Felelős az összes regisztrált komponens `render` és `tick` metódusainak hívásáért.

```
1  from shared.ui.models.ui_component import UIComponent
2  from core.models.event import Event
3
4  class UIController(UIComponent):
5      elements: tuple[UIComponent]
6
7      def dispatch_event(self, event: Event):
8          for element in self.elements:
9              if element.dispatch_event(event):
10                 return True
11
12         return False
13
14     def render(self, screen_pos):
15         elements_above_cursor = []
```

```
16          if screen_pos is not None:
17              for element in self.elements:
18                  elements_above_cursor.append(element)
19                  if element.contains(screen_pos):
20                      break
21
22          for element in reversed(self.elements):
23              if element in elements_above_cursor:
24                  element.render(screen_pos)
25              else:
26                  element.render(None)
27
28      def tick(self):
29          for element in self.elements:
30              element.tick()
31
32      def contains(self, screen_pos):
33          return any(element.contains(screen_pos) for element in
                self.elements)
```

3.4. forráskód. Az UIController osztály

A UI modellek közötti öröklődési és kapcsolati viszonyokat az 3.1. ábra szemlélteti.



3.1. ábra. Az UI komponensek UML osztálydiagramja

Modellek (Models)

app_state.py Az alkalmazás állapotát reprenzentáló osztály. Tárolja az aktuális projektet, a mentési állapotot, valamint az alkalmazás fázisát (pl. *Setup*, *Simulation*).

Vezérlők (Controllers)

A `controllers` könyvtár tartalmazza az alkalmazás logikai vezérlőit.

`app_controller.py` A projekt nézet belépési pontja. Feladatai közé tartozik:

- A projekt inicializálása vagy betöltése.
- A beérkező nyers események átalakítása az `event.py`-ban definiált belső eseménytípusokká.
- Hibák vizuális kezelése.
- Események továbbítása az UI komponensek felé.

`app_phase_strategy.py` Stratégia osztály, amely a projekt különböző fázisainak (pl. *Setup*, *Simulation*) állapotát kezeli és továbbítja a megfelelő modulok felé.

`camera_controller.py` A nézet transzformációjáért felelős osztály. Kezeli a kamera pozícióját (pan) és nagyítási szintjét (zoom), valamint feldolgozza a vezérléshez kapcsolódó felhasználói bemeneteket.

Megosztott UI Komponensek

A `components` könyvtárban találhatóak azok az általános elemek, amelyeket több projekt modul is felhasznál:

- **alert_component.py**: Általános figyelmeztető üzenetek és modális ablakok megjelenítésére szolgáló komponens.
- **input_component.py**: Általános szövegbeviteli mező.
- **zoom_button.py**: A nézet alaphelyzetbe állításáért és a jelenlegi nagyítás megjelenítéséért felelős gomb.

Segédfunkciók és Szolgáltatások

A rendszer működését támogató egyéb osztályok és függvények.

Utils (Rajzolási segédfunkciók) A `utils` könyvtár tartalmazza a grafikus megjelenítéshez szükséges alacsony szintű függvényeket:

- **grid.py**: A háttérrács kirajzolása.
- **lines.py**: Vonalak rajzolása, beleértve a szaggatott (`draw_dashed_line`) és pontozott (`draw_dotted_line`) stílusokat.
- **nodes.py**: Csomópontok (`draw_node`) és elágazások (`draw_junction_node`) megjelenítése.
- **signal.py**: Vasúti jelzők rajzolása (`draw_signal`).
- **draw_station.py**: Állomások vizuális megjelenítése(`draw_station`).
- **tracks.py**: Vágányok kirajzolása (`draw_track`).

Services és Enums

`services/color_from_speed.py` Segédfunkció, amely a vágány sebessége alapján meghatározza annak megjelenítési színét, vizuális visszajelzést adva a sebességkorlátozásokról.

`enums/edge_action.py` Enumeráció, amely a vágányokkal kapcsolatos kirajzolási és szerkesztési módokat definiálja.

3.3.4. Setup Modul

Az alkalmazás alapértelmezett állapota; ez a modul töltődik be új projekt létrehozásakor vagy egy meglévő betöltésekor. A Setup modul két almodult foglal magában:

- **Construction modul:** Pályaszerkesztési funkciók.
- **Train Placement modul:** Vonatok elhelyezése a pályán.

Architektúrális szempontból ezek az almodulok szándékosan nem a globális `shared` rétegben kaptak helyet, mivel funkcionalitásuk kizárólag a Setup fázisra korlátozódik. Ezzel a megoldással csökkenthető a globális névterek szennyezése és a felesleges függőségek kialakulása.

Vezérlők (Controllers) A modul működéséért felelős vezérlő osztályok:

`setup_mode.py` A Setup modul fő vezérlője. Felelős a két szerkesztési mód (építés és elhelyezés) közös funkcióinak vezérléséért, valamint a szimuláció indítása előtti inicializálási lépésekért (pl. vonatok alaphelyzetbe állítása).

`setup_state.py` Állapotkezelő osztály, amely nyilvántartja az éppen aktív szerkesztési módot.

`setup_mode_strategy.py` A Strategy tervezési mintát megvalósító osztály, amely a Construction és Train Placement módok közötti dinamikus váltást és az azokhoz tartozó specifikus logikák cseréjét kezeli.

UI Komponensek A `ui` könyvtár tartalmazza mindkét Setup almodul által közösen használt felületi elemeket:

- **Módválasztó és Vezérlés:**
  - `setup_mode_selector_buttons.py`: A két szerkesztési mód közötti váltást lehetővé tevő gombsor.
  - `start_simulation_button.py`: A szerkesztés lezárását és a szimuláció indítását kezdeményező gomb.
  - `timetable_button.py`: A menetrend-szerkesztő felület megnyitására szolgáló gomb.
- **Fájl- és Rendszerműveletek:**
  - `save_button.py`: A projekt aktuális állapotának mentése.
  - `open_button.py`: Meglévő projektfájl betöltése.
  - `exit_button.py`: Kilépés a Setup módból vissza a főmenübe (*Home Page*).

3.3.5. Construction (Pályaszerkesztő) Modul

A Construction modul a Setup fázison belül a pályaszerkesztési és infrastruktúraépítési funkciókat valósítja meg. A modul architektúrája szigorúan szétválasztja a megjelenítést, az állapotkezelést és a vezérlést.

`construction_mode.py` A modul központi vezérlője. Feladata a szerkesztési nézet inicializálása, az eszközök példányosítása és a fő eseményhurok kezelése a szerkesztés alatt.

Modellek és Absztrakciók (`models`) A `models` könyvtár tartalmazza a szerkesztőeszközök működéséhez szükséges ősosztályokat és a közös állapotkezelőt:

- **construction_state.py**: A szerkesztési mód állapotkezelője. Ez az osztály tárolja az aktuálisan kiválasztott eszközt, valamint a szerkesztési előnézetek (*previews*) állapotát (pl. egy platform elhelyezésének vizualizációját).
- **construction_tool_panel.py**: Az egyes eszközökhöz (*Tools*) tartozó információs és beállító panelek absztrakt ősosztálya.
- **construction_tool_controller.py**: Az egyes szerkesztőeszközök vezérlőinek közös ősosztálya.
- **construction_tool_view.py**: Az egyes eszközök nézeti logikájának absztrakt ősosztálya.

Felhasználói Felület (`ui`) A felhasználói felület elemei a közös keretrendszerre és a specifikus eszköz-implementációkra tagolódnak.

`construction_buttons.py` A különböző szerkesztőeszközök közötti váltást biztosító gombsor.

`construction_common_view.py` A szerkesztőnézet alaprétege. Felelős a statikus elemek (koordináta-rendszer, meglévő vágányok, jelzők, állomások, peronok) kirajzolásáért. Az aktív eszközök erre a rétegre rajzolják rá a saját dinamikus előnézeteiket, emellett bizonyos előnézeti logikákat is ez az osztály kezel.

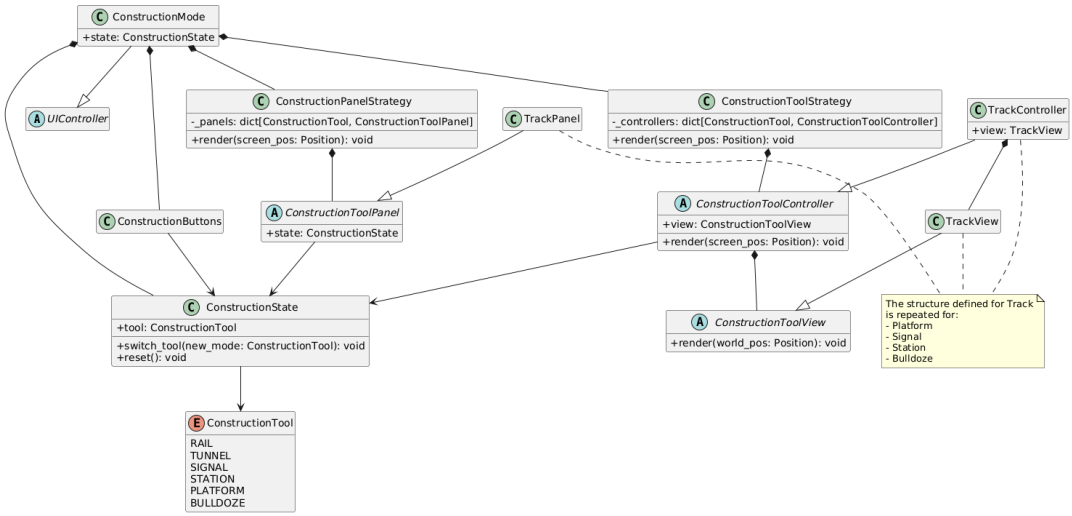
`construction_panel_strategy.py` A *Strategy* tervezési minta alapján kezeli a dinamikus panelváltást, biztosítva, hogy mindig a kiválasztott eszközhöz (pl. váltóépítés) tartozó beállítások jelenjenek meg.

`construction_tool_strategy.py` A *Strategy* tervezési minta alapján kezeli az eszközök közötti váltást, biztosítva, hogy mindig a kiválasztott eszköz vezérlője és nézete legyen aktív.

Szerkesztőeszközök (*Tools*) felépítése: A rendszerben minden szerkesztőeszköz (pl. vágányépítő, jelzőlerakó) egységes, négy komponensből álló architektúrát követ:

1. **Controller:** Kezeli a felhasználói interakciókat (kattintás, billentyűzet) és frissíti az eszköz belső állapotát.
2. **View:** Megvalósítja a vizuális logikát, kirajzolja az eszköz-specifikus előnézeteket, és manipulálja a `construction_state` előnézeti állapotait.
3. **Panel:** Az eszközhöz tartozó specifikus beállításokat és a felhasználói instrukciókat megjelenítő felületi elem.
4. **Target:** A nézet és a vezérlő közös geometriai logikáját tömörítő segédosztály. Feladata, hogy a kurzor pozíciója alapján azonosítsa a pályán végezhető lehetséges akciókat (pl. vágányvéghez való csatlakozás detektálása).

A Construction modul és a benne található eszközök strukturális felépítését az 3.2. ábra szemlélteti.



3.2. ábra. A Construction modul és az eszközök UML osztálydiagramja

3.3.6. Train Placement (Vonatelhelyező) Modul

A Train Placement modul a Setup fázison belül a vonatelhelyezési funkciókat valósítja meg. A modul architektúrája hasonló a construction modul-éhoz. A megjelenítés, az állapotkezelés és a vezérlés itt is szétválasztásra került.

`train_placement_mode.py` A modul központi vezérlője. Feladata a vonatelhelyezési nézet inicializálása, az eszközök példányosítása és a fő eseményhurok kezelése a vonatelhelyezés alatt.

subparagraphModellek és Absztrakciók (`models`) A `models` könyvtár tartalmazza a vonatelhelyező eszközök működéséhez szükséges ősosztályokat és a közös állapotkezelőt:

- **train_placement_state.py**: A vonatelhelyezési mód állapotkezelője. Ez az osztály tárolja az aktuálisan kiválasztott eszközt, valamint a vonatelhelyezési előnézetek (*previews*) állapotát (pl. egy törlendő vonat azonosítóját).
- **train_placement_tool_controller.py**: Az egyes vonatelhelyező eszközök vezérlőinek közös ősosztálya.
- **train_placement_tool_view.py**: Az egyes eszközök nézeti logikájának absztrakt ősosztálya.

Felhasználói Felület (`ui`) A felhasználói felület elemei a közös keretrendszerre és a specifikus eszköz-implementációkra tagolódnak.

`train_placement_buttons.py` A különböző vonatelhelyező eszközök közötti váltást biztosító gombsor.

`train_placement_common_view.py` A vonatelhelyezési nézet alaprétege. Felelős a statikus elemek (koordináta-rendszer, meglévő vágányok, jelzők, állomások, peronok) kirajzolásáért. Az aktív eszközök erre a rétegre rajzolják rá a saját dinamikus előnézeteiket, emellett bizonyos előnézeti logikákat is ez az osztály kezel.

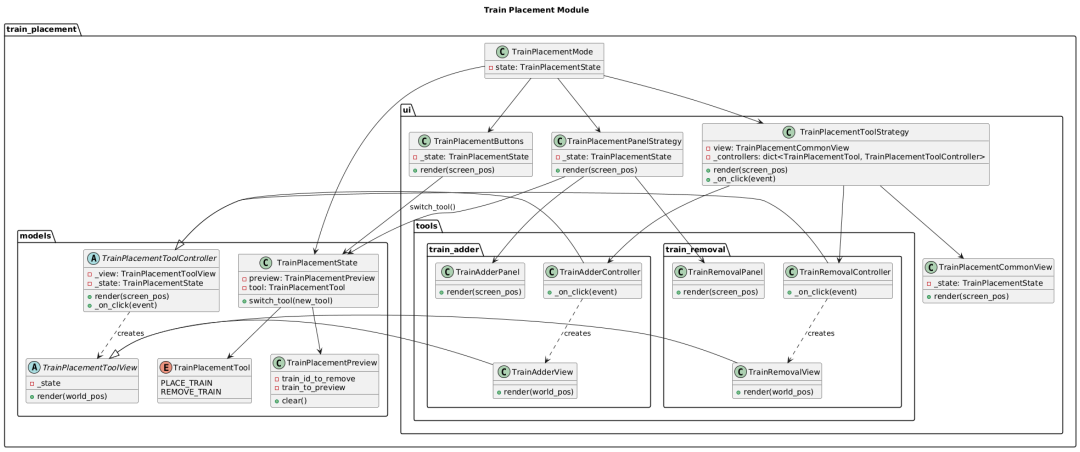
`train_placement_panel_strategy.py` A *Strategy* tervezési minta alapján kezeli a dinamikus panelváltást, biztosítva, hogy mindig a kiválasztott eszközhöz (pl. vonat elhelyezése) tartozó beállítások jelenjenek meg.

`train_placement_tool_strategy.py` A *Strategy* tervezési minta alapján kezeli az eszközök közötti váltást, biztosítva, hogy mindig a kiválasztott eszköz vezérlője és nézete legyen aktív.

Vonatelhelyező eszközök (*Tools*) felépítése: A rendszerben minden vonatelhelyező eszköz (pl. vonat elhelyezése, vonat törlése) egységes, három komponensből álló architektúrát követ:

1. **Controller:** Kezeli a felhasználói interakciókat (kattintás, billentyűzet) és frissíti az eszköz belső állapotát.
2. **View:** Megvalósítja a vizuális logikát, kirajzolja az eszköz-specifikus előnézeteket, és manipulálja a `train_placement_state` előnézeti állapotait.
3. **Panel:** Az eszközhöz tartozó specifikus beállításokat és a felhasználói instrukciókat megjelenítő felületi elem.

A Train Placement modul és a benne található eszközök strukturális felépítését az 3.3. ábra szemlélteti.



3.3. ábra. A Train Placement modul és az eszközök UML osztálydiagramja

3.3.7. Simulation (Szimulációs) Modul

A Simulation modul a rendszer végrehajtó egysége, amely a vonatok valós idejű irányítását, a biztosítóberendezési logika (jelzők, vágányutak) érvényesítését és a fizikai szimuláció futtatását végzi. A modul architektúrája következetesen alkalmazza a modell-nézet-vezérlő (MVC) mintát, szigorúan szétválasztva az állapotkezelést, a megjelenítést és a vezérlési logikát.

`simulation_mode.py` A szimulációs környezet belépési pontja és fő vezérlője (*Main Controller*). Feladata a futtatókörnyezet inicializálásáért, beleértve a biztosítóberendezés (interlocking) logikájának példányosítását, valamint a központi eseményhurok felügyeletét.

Modellek (`models`) Az üzleti logikát és az adatszerkezeteket tároló réteg:

`simulation_state.py` A szimuláció központi állapotkezelő entitása. Feladata a szimulációs idő szinkronizációja, az aktívan kijelölt járművek nyilvántartása, valamint a vágányút-beállítások vizuális előnézetének (*preview*) menedzselése.

Felhasználói Felület (`ui`)

A `ui` könyvtár tartalmazza a szimuláció vezérlését és a vizuális visszajelzést biztosító grafikus komponenseket.

Általános UI elemek

`simulation_controller.py` A modul interakciós logikáját megvalósító osztály. Közvetít a felhasználói bemenetek (egér, billentyűzet) és a szimulációs modell között, biztosítva az állapotváltozások propagálását.

`simulation_view.py` A grafikus megjelenítésért felelős osztály. Feladata a dinamikus objektumok (vonatok), a statikus infrastruktúra (jelzők, vágányok) és az aktív vágányutak valós idejű renderelése a képernyőre.

`time_control_buttons.py` A szimulációs idő manipulálását lehetővé tevő vezérlőfelület, amely funkciókat biztosít a szimuláció gyorsítására, lassítására vagy szüneteltetésére.

`time_display.py` A szimulált rendszeridő digitális kijelzője.

`end_simulation_button.py` A szimulációs folyamat terminálására és a szerkesztő (Setup) módba való visszatérésre szolgáló vezérlőelem.

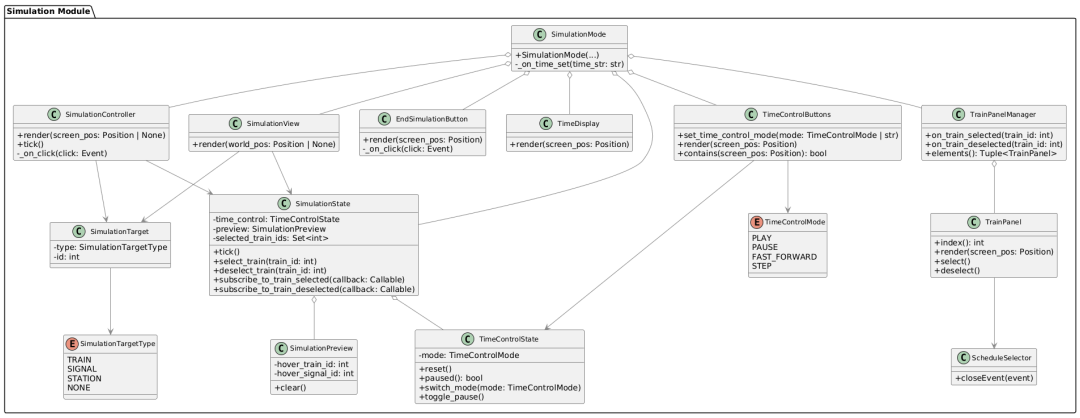
Vonatvezérlő Panelek (`ui/panel`) A járműirányítás funkcionalitásának komplexitása indokolta, hogy a vonatvezérléssel kapcsolatos komponensek egy dedikált `panel` csomagba kerüljenek.

`train_panel_manager.py` A járműpanelek életciklus-kezelője. Dinamikusan menedzseli a felhasználó által kijelölt vonatokhoz tartozó vezérlőfelületek példányosítását, megjelenítését és frissítését.

`train_panel.py` Járműspecifikus irányítópult. Interfészt biztosít a mozdonyvezérléshez (indítás, irányváltás), továbbá valós időben megjeleníti a vonat telemetriai adatait (pl. aktuális sebesség) és a hozzárendelt menetrend státuszát.

`schedule_selector.py` Menetrend-kiválasztó komponens (Qt widget integrációval). Lehetővé teszi, hogy a felhasználó az adatbázisban rendelkezésre álló menetrendek közül egyet hozzárendeljen az adott szerelvényhez.

A Simulation modul felépítését és az osztályok közötti kapcsolatokat a 3.4. ábra szemlélteti.



3.4. ábra. A Simulation modul és komponenseinek UML osztálydiagramja

3.3.8. Timetable (Menetrend) Modul

A `timetable` modul biztosítja a vonatmenetrendek teljes körű kezelését, beleértve azok grafikus megjelenítését és. Technológiai szempontból ez a modul elkülönül a projekt többi részétől: a grafikus felhasználói felület (GUI) a `PyQt6` keretrendszer natív widgetjeire épül, kihasználva annak fejlett ablakkezelési és eseményvezérlési képességeit a komplex adatbeviteli feladatokhoz.

Ablakok és Dialógusok

`timetable_window.py` Egy `QDialog` (PyQt6) alapú osztály, amely a menetrendkezelés belépési pontjaként szolgál. Feladata a rendszerben tárolt menetrendek listázása, rendszerezése és a kezelési műveletek (létrehozás, törlés, módosítás) koordinálása.

`timetable_editor_dialog.py` Egy `QMainWindow` (PyQt6) alapú összetett szerkesztőfelület. Ez az osztály valósítja meg a menetrendek részletes szerkesztő-

séhez szükséges logikát, lehetővé téve az állomások, megállási idők és indulási feltételek precíz konfigurálását.

Stílusdefiníciók (`stylesheets`)

A felületek vizuális stílusát az alábbi fájlok definiálják:

- `timetable_editor_stylesheet.py`: A szerkesztőablak komponenseinek vizuális szabálykészlete.
- `timetable_window_stylesheet.py`: A menetrend-választó ablak stílusleírója.

3.4. Tesztelés

3.4.1. Tesztelési módszertan

A komponensalapú architektúra miatt a modul-fehér doboz és fekete doboz közötti különbség nem olyan éles, mint egy hagyományos alkalmazás esetében. Például egy komponens tesztelése során gyakran egyszerre vizsgáljuk annak belső logikáját (fehér doboz) és a felhasználói felületen megjelenő viselkedését (fekete doboz).

A tesztjegyzőkönyv a következő struktúrát követi minden egyes funkció esetében:

- **Given** (Adott): A kiindulási állapot vagy kontextus leírása.
- **When** (Amikor): A felhasználó által végrehajtott művelet vagy esemény.
- **Then** (Akkor): Az elvárt eredmény vagy végállapot.

3.4.2. Setup modul

Teszteset	GIVEN	WHEN	THEN
Alkalmazás bezárása főmenüből	Menü mód aktív, nincs modális ablak nyitva	Felhasználó egyszer megnyomja a "Quit" gombot	Az alkalmazás főablaka bezár, folyamat szabályosan kilép (nincsenek futó háttérműveletek)
Hibás projekt betöltésének elutasítása	Menü mód aktív, nincs projekt megnyitva	Felhasználó hibás / hiányzó fájlokat tartalmazó projekt könyvtárat választ	A rendszer modális hibaüzenetet jelenít meg, projekt állapot változatlan
Érvényes projekt megnyitása	Menü mód aktív, projekt nincs betöltve	Felhasználó érvényes szerkezetű projektet tallóz és megerősít	A projekt állapota betöltődik, a szerkesztési mód elérhetővé válik

3.4.3. Construction mód – pályaelemek

Vágányok

Teszteset	GIVEN	WHEN	THEN
Állomási területre építés tiltása	Vágány mód aktív, állomás kijelölhető	Felhasználó az állomás zónájára kattint a vágány építésekor	A rendszer nem hoz létre vágányelemet, modális vagy inline hibaüzenetet ad
Tervezési sebesség módosítás visszajelzése	Vágány mód aktív, sebesség panel látható	Felhasználó sebességet vált (pl. 80→120 km/h)	A kurzort követő előnézeti csomópont színe az új sebességi kategóriát tükrözi
Egyszerű (kétpontos) egyenes szakasz létrehozása	Vágány mód aktív, nincs folyamatban építés	Felhasználó kijelöl két különböző pontot bal kattintással	Új vágányszakasz jön létre pontosan a két pont között, végpontok rögzülnek
Többpontos vágányvezetés létrehozása	Vágány mód aktív	Felhasználó egymás után 3 pontot kijelöl	Folyamatos, bejárható többszegmenses szakasz jön létre sorrendben összekötve
Kereszteződés kialakítása meglévő vágánnyal	Vágány mód aktív, meglévő vágány metszhető	Felhasználó új szakaszt húz át egy meglévő vágányon	A rendszer automatikusan kereszteződési elemre frissíti a metszés pontját
Vágányszakasz hossza konfigurációnak megfelelő	Vágány mód aktív, hossz paraméter beállítva	Felhasználó új szakaszt épít	Létrejött szakasz tényleges hossza (m) = konfigurált érték tolerancián belül

Alagutak

Teszteset	GIVEN	WHEN	THEN
Alagút start tiltása üres területen	Alagút mód aktív, nincs kezdőpont	Felhasználó üres térképi pontra kattint	A rendszer nem kezdi el az alagút építést, hibaüzenet jelenik meg

Alagút start tiltása állomás zónában	Alagút mód aktív	Felhasználó állomás területére kattint	Nincs kezdőpont, hibaüzenet jelenik meg
Alagút start tiltása jelzőn	Alagút mód aktív	Felhasználó jelző objektumra kattint	Nincs kezdőpont, hibaüzenet jelenik meg
Alagút start tiltása meglévő alagútban	Alagút mód aktív	Felhasználó alagútban futó vágányra kattint	Művelet visszautasítva, hibaüzenet
Nem érvényes végpont elutasítása	Első (start) pont érvényesen kijelölve	Felhasználó nem kompatibilis végpontot választ	A rendszer nem zárja le az alagutat, hibaüzenet
Érvényes alagút létrehozása	Alagút mód aktív, kompatibilis két végpont	Felhasználó kijelöli a második végpontot	Zárt alagút objektum jön létre a két végpont között, státusz: kész

Jelzők

Teszteset	**GIVEN**	**WHEN**	**THEN**
Jelző elhelyezés tiltása alagútban	Jelző mód aktív	Felhasználó alagútban futó vágányra kattint	Nincs létrehozás, hibaüzenet jelenik meg
Jelző elhelyezés tiltása állomáson	Jelző mód aktív	Felhasználó állomás területére kattint	Nincs létrehozás, hibaüzenet jelenik meg
Szabályos jelző telepítése	Jelző mód aktív, szabad vágány szakasz	Felhasználó vágányszegmensre kattint	Új jelző objektum létrejön rögzített iránnyal
Jelző irányának megfordítása	Jelző mód aktív, jelző kijelölhető	Felhasználó rákattint a jelzőre	Jelző iránya 180°-kal fordul, állapotok zachoválódnak
Íves vágányon jelző tiltása	Jelző mód aktív	Felhasználó íves szegmensre kattint	Nincs telepítés, hibaüzenet

Peronra jelző tiltása	Jelző mód aktív	Felhasználó peron objektumra kattint	Nincs telepítés, hibaüzenet

Állomások

Teszteset	**GIVEN**	**WHEN**	**THEN**
Állomás építés tiltása vágányon	Állomás mód aktív	Felhasználó vágányelemre kattint	Nincs állomás létrehozás, hibaüzenet
Állomás építés névadó panel indítása	Állomás mód aktív, üres terület szabad	Felhasználó üres területre kattint	Névmegadás panel modálisan megjelenik, fókusz a név mezőn
Üres állomásnév visszautasítása	Névpanel aktív	Felhasználó üres mezővel mentene	Hibaüzenet; állomás nem jön létre
Duplikált állomásnév visszautasítása	Névpanel aktív, már létezik név	Felhasználó meglévő nevet ment	Hibaüzenet; állomás nem jön létre
Szabályos állomásnév elfogadása	Névpanel aktív, név egyedi és valid	Felhasználó mentés gombot nyom	Új állomás létrejön, név tárolva
Másik állomásra építés tiltása	Állomás mód aktív	Felhasználó meglévő állomásra kattint	Nincs új állomás, hibaüzenet
Állomás áthelyezése draggel	Állomás mód aktív, állomás kijelölhető	Felhasználó kattint és húz új koordinátára	Állomás pozíciója frissül, kapcsolódó peronok relatív helye megmarad

Peronok

Teszteset	**GIVEN**	**WHEN**	**THEN**
Peron építés tiltása rövid szakaszon	Peron mód aktív, szakasz hossza $<$ minimális	Felhasználó a rövid szakaszra kattint	Nincs peron létrehozás, hibaüzenet

Konfigurált peronhossz előnézete	Peron mód aktív, hossz paraméter ismert	Felhasználó a kurzort egy érvényes szakasz fölé viszi	Előnézeti peron grafika a konfigurált hossznak megfelelően jelenik meg
Peron előnézet megjelenítése kattintásra	Peron mód aktív	Felhasználó érvényes vágányszakaszra kattint	Peron előnézeti objektum rögzül a szakaszon állomás hozzárendelésig
Peron állomáshoz kapcsolása	Peron előnézet aktív, állomás elérhető	Felhasználó állomásra kattint	Peron véglegesül és kapcsolat létrejön az állomás entitással

Törlés mód

Teszteset	**GIVEN**	**WHEN**	**THEN**
Vágányszakasz törlése	Törlés mód aktív, szakasz létezik	Felhasználó a szakaszra kattint	Szakasz eltávolítva, kapcsolódó jelzők / peronok leválnak ha releváns
Alagút és csatlakozó vágány törlése	Törlés mód aktív, alagút tartalmaz szakaszt	Felhasználó a csatlakozó szakaszra kattint	Vágányszakasz és alagút objektumok törlődnek
Jelző törlése	Törlés mód aktív, jelző létezik	Felhasználó jelzőre kattint	Jelző entitás eltávolítva, vágányútak frissülnek
Állomás és peronjainak törlése	Törlés mód aktív, állomás létezik	Felhasználó az állomásra kattint	Állomás és hozzá kapcsolt peronok törlődnek
Peron törlése	Törlés mód aktív, peron létezik	Felhasználó peronra kattint	Peron entitás eltávolítva, állomás kapcsolata frissül
Üres terület törlése tiltott	Törlés mód aktív	Felhasználó üres területre kattint	Nincs változás, hibaüzenet jelenik meg

3.4.4. Train Placement mód

Teszteset	GIVEN	WHEN	THEN
Szabályos vonatelhelyezés vágányon	Vonatelhelyezés mód aktív, szakasz szabad	Felhasználó szabad vágánypontot kijelöl	Új vonat jön létre alapállapotban (álló), pozíció = kattintás
Elhelyezés tiltása üres területen	Vonatelhelyezés mód aktív	Felhasználó üres területre kattint	Nincs vonat, hibaüzenet
Elhelyezés tiltása foglalt pozíción	Vonatelhelyezés mód aktív, pozíció foglalt	Felhasználó meglévő vonatra kattint	Nincs új vonat, hibaüzenet

3.4.5. Train Removal mód

Teszteset	GIVEN	WHEN	THEN
Vonat eltávolítása	Vonateltávolítás mód aktív, vonat létezik	Felhasználó a vonatra kattint	Vonat entitás törlődik, menetrend hozzárendelés (ha volt) felszabadul
Eltávolítás tiltása üres területen	Vonateltávolítás mód aktív	Felhasználó üres területre kattint	Nincs törlés, hibaüzenet

3.4.6. Menetrend összesítése

Teszteset	GIVEN	WHEN	THEN
Menetrend részletek kibontása	Menetrend összesítő látható	Felhasználó a menetrend sorára kattint	Teljes állomáslista és időadatok megjelennek
Menetrend összecsukása	Menetrend részletei nyitva	Felhasználó a fejléc területre kattint	Lista elrejti részleteket, összefoglaló sor marad

Menetrend törlése megerősítéssel	Menetrend kiválasztva	Felhasználó "Törlés" gombra kattint és megerősít	Menetrend objektum törlődik, lista frissül
Új menetrend létrehozás indítása	Összesítő panel aktív	Felhasználó "Hozzáadás" gombot nyom	Menetrend szerkesztő panel megjelenik üres mezőkkel
Meglévő menetrend szerkesztése	Menetrend kiválasztott	Felhasználó "Szerkesztés" gombot nyom	Szerkesztő panel megjelenik előtöltött adatmezőkkel

3.4.7. Menetrend szerkesztő panel

Teszteset	**GIVEN**	**WHEN**	**THEN**
Üres menetrendkód tiltása	Szerkesztő panel aktív	Felhasználó üres kód mezőt próbál menteni	Hibaüzenet, mentés nem történik
Duplikált menetrendkód tiltása	Szerkesztő panel aktív, kód már létezik	Felhasználó meglévő kódot ment	Hibaüzenet, mentés nem történik
Első indulási idő módosítása	Szerkesztő panel aktív, első állomás sor látható	Felhasználó módosítja indulási idő mezőt	Függő érkezési / indulási idők újraszámolva
Megálló hozzáadása lista végére	Szerkesztő panel aktív	Felhasználó "Megálló hozzáadása" gombot nyom	Új sor jelenik meg alapértelmezett időkkel
Megálló beszúrása kijelölt után	Szerkesztő panel aktív, sor kijelölt	Felhasználó "Megálló beszúrása" gombot nyom	Új sor a kijelölt után jelenik meg, indexek frissülnek
Megálló törlése	Szerkesztő panel aktív, sor kijelölt	Felhasználó "Megálló törlése" gombot nyom	Sor eltávolítva, időlánc újraszámolva
Utazási idő módosítása hatással	Szerkesztő panel aktív	Felhasználó utazási idő mezőt változtat	Módosított szegmenst követő állomások ideje frissül

Megállási idő módosítása hatással	Szerkesztő panel aktív	Felhasználó megállási idő mezőt változtat	Érintett állomás elindulási ideje és következők frissülnek
Menetrend mentése érvényes adatokkal	Szerkesztő panel aktív, nincs validációs hiba	Felhasználó mentés gombot nyom	Menetrend perzisztálódik, összesítő listába bekerül

3.4.8. Simulation mód – idő és vonatközlekedés

Teszteset	**GIVEN**	**WHEN**	**THEN**
Szimuláció indítása	Simulation mód aktív, nincs futó szimuláció	Felhasználó megnyomja az "Indítás" gombot	Idő előrehaladása elindul, minden vonat kezdeti álló státuszban marad

Időkezelés

Teszteset	**GIVEN**	**WHEN**	**THEN**
Szimuláció szünet / folytatás	Simulation mód fut	Felhasználó lenyomja SPACE billentyűt	Futó → szünet / szünet → fut állapotváltás, időszorzó megmarad
Sebesség 1× beállítása	Simulation mód aktív	Felhasználó "1×" gombra kattint	Időskála szorzó =1, frissítés UI-ban
Sebesség 5× beállítása	Simulation mód aktív	Felhasználó "5×" gombra kattint	Időskála szorzó =5
Sebesség 25× beállítása	Simulation mód aktív	Felhasználó "25×" gombra kattint	Időskála szorzó =25

Vonatok

Teszteset	**GIVEN**	**WHEN**	**THEN**

Vonatinfó panel megnyitása	Simulation mód aktív, vonat látható	Felhasználó a vonatra kattint	Információs panel megjelenik a vonat adataival
Menetrend hozzárendelés indítása	Simulation mód aktív	Felhasználó "Menetrend hozzáadás" gombot nyom	Menetrend választó / szerkesztő panel megjelenik
Menetrend hozzárendelése	Vonatinfó panel aktív, menetrend elérhető	Felhasználó kiválaszt egy menetrendet	Vonat menetrend attribútuma beáll, panel/vonat szín módosul
Vonat manuális indítása	Vonatinfó panel aktív, vonat áll	Felhasználó "Indítás" gombot nyom	Vonat státusza mozog-ra vált, sebesség >0
Menetrendi automatikus indulás	Vonatnak menetrendje van	Szimulált idő eléri indulási időt	Vonat státusza mozog-ra vált automatikusan
Menetrendi megállás	Vonat menetrenddel halad	Vonat megállóhoz érkezik	Vonat sebessége 0, várakozás időtartam = megállási idő
Késés kezelése megállónál	Vonat késésben érkezik	Vonat belép megálló szakaszra	Várakozás legalább 30 s vagy menetrendi indulási időig, státusz visszatartva
Célállomás elérése	Vonat menetrend utolsó állomásához ér	Szimulált idő >= érkezési idő	Vonat végállapot: leállt, nem indul tovább
Forgásirány megfordítása	Vonat leállt státuszban	Felhasználó "Fordítás" gombot nyom	Vonat irányvektor megfordul, állapot marad leállt
Menetrend törlése	Vonatinfó panel aktív, menetrend hozzárendelve	Felhasználó "Menetrend törlése" gombot nyom	Menetrend attribútum nullázva, szín visszaáll alapra

Jelzők és vágányutak

Teszteset	GIVEN	WHEN	THEN
Helytelen jelző összekötés tiltása	Simulation mód aktív	Felhasználó nem kompatibilis két jelzőt köt össze	Nincs vágányút, hibaüzenet
Szabályos jelző összekötés	Simulation mód aktív	Felhasználó kompatibilis jelzőket köt össze	Vágányút létrejön, érintett jelzők zöld állapotba váltanak
Kényszeroldás végrehajtása	Simulation mód aktív, vágányút aktív	Felhasználó jobb gombbal kényszeroldást indít	Vágányút megszűnik, jelző lezár (piros)
Jelző meghaladása	Aktív vágányút, vonat közelít	Vonat belép a jelző által fedezett szakaszba	Jelző állapota pirosra vált, vágányút részlegesen lezár
Helytelen térköz beállítás tiltása	Simulation mód aktív	Felhasználó Shift-tel kereszteződésen át próbál térközt	Nincs állítás, hibaüzenet
Térközjelző létesítése	Simulation mód aktív, jelző beállítható	Felhasználó Shift-tel jelzőt állít	Jelző térköz módban, állapot alap (zöld)
Térközjelző meghaladása	Térközjelző aktív	Vonat eléri a térközjelzőt	Jelző narancsra vált, fedezés aktív
Térköz automatikus feloldása	Térköz lezárt, vonat távolodik	Vonat elhagyja a fedezett szakaszt	Jelző zöldre vált, fedezés megszűnik
Többszakaszos vágányút létrehozása	Simulation mód aktív	Felhasználó sorban több jelzőt köt	Összefüggő vágányút jön létre, minden érintett jelző zöld
Kerülő vágányút állítása	Simulation mód aktív, akadályok elhelyezve	Felhasználó jelző állítást kezdeményez	Vágányút alternatív szakaszokon vezet, jelző zöld

Szimuláció leállítása

Teszteset	GIVEN	WHEN	THEN
Szimuláció szabályos leállítása	Simulation mód fut, nincs folyamatban kritikus művelet	Felhasználó "Leállítás" gombot nyom és megerősít	Idő előrehaladás megáll, mód visszalép konstrukciós módba, vonatok álló státuszra váltanak

3.4.9. Mentés és betöltés

Teszteset	GIVEN	WHEN	THEN
Mentési panel megnyitása	Menü mód aktív	Felhasználó "Projekt mentése" gombot nyom	Mentési útvonal választó panel megjelenik
Projekt mentése érvényes útvonalra	Menü mód aktív, panel nyitva	Felhasználó érvényes elérési utat ad és ment	Fájlstruktúra létrejön / frissül, mentett ikon megjelenik
Gyorsmentés meglévő mentés után	Menü mód aktív, van korábbi mentés útvonal	Felhasználó CTRL+S billentyűt nyom	Projekt ugyanarra az útvonalra mentődik, időbélyeg frissül
Első gyorsmentés útvonal nélkül	Menü mód aktív, nincs korábbi mentés	Felhasználó CTRL+S-t nyom	Rendszer mentési panelt hoz fel útvonal választáshoz
Mentetlenség vizuális jelzése	Menü mód aktív, törzs betöltve	Felhasználó módosít állapotot	"Nincs mentve" jelző megjelenik amíg mentés nem történik
Megnyitás mentetlen módosítások mellett	Menü mód aktív, projekt módosított	Felhasználó másik projektet próbál megnyitni	Rendszer megerősítést kér mentetlen változások miatt
Projekt betöltése	Menü mód aktív	Felhasználó érvényes projektet választ	Projekt adatai betöltődnek, szerkesztés mód elérhető

Hibás projekt megnyitás tiltása	Menü mód aktív	Felhasználó hibás projektet választ	Betöltés elutasítva, hibaüzenet

3.4.10. Kilépés

Teszteset	**GIVEN**	**WHEN**	**THEN**
Kilépés mentetlen állapotban	Menü mód aktív, vannak mentetlen módosítások	Felhasználó bezárja az alkalmazást	Rendszer mentési megerősítő panelt jelenít meg, kilépés csak jóváhagyás után
Kilépés mentett állapotban	Menü mód aktív, nincs mentetlen változás	Felhasználó bezárja az alkalmazást	Főfolyamat szabályosan leáll, nincs figyelmeztetés

3.4.11. Teszt eredmények összefoglalása

Az alkalmazás minden tesztelt funkcionalitás esetében az elvárt viselkedést mutatta, a rendszer stabilan működött különböző használati szituációkban.

4. fejezet

Összefoglalás

Dolgozatomban a vasúti közlekedésfejlesztés egyik legaktuálisabb problémakörével, a menetrend-alapú infrastruktúra-tervezés szoftveres támogatásával foglalkoztam. A kiinduló premissza az volt, hogy a modern vasúti beruházások hatékonysága csak úgy növelhető, ha a tervezési folyamat során a szolgáltatási célok (menetrend) és a fizikai megvalósítás (pálya) nem szeparáltan, hanem integráltan jelennek meg. A hagyományos, tisztán építőmérnöki szemléletű kapacitásbővítés gyakran eredményezett túlméretezett vagy funkcionálisan nem megfelelő műszaki megoldásokat, ami alacsonyabb gazdasági megtérüléshez vezetett.

Ennek a problémának a feloldására terveztem és valósítottam meg egy olyan offline asztali alkalmazást, amely egyesíti a pályaszerkesztő és a menetrend-tervező szoftverek funkcionalitását. A fejlesztés során bemutattam, hogyan képezhető le szoftveresen a vasúti infrastruktúra topológiája és a rajta közlekedő járművek dinamikája úgy, hogy az a felhasználó számára ergonomikus és átlátható maradjon. A program architektúrája lehetővé teszi a viszonylatok, a menetidők és az állomási technológiák (pl. vágányfoglaltságok) rugalmas kezelését, támogatva ezzel az Integrált Ütemes Menetrend (ITF) szigorú követelményrendszerének való megfelelést.

A szoftver validációja és a tesztesetek futtatása során bebizonyosodott, hogy az alkalmazás nem pusztán egy adminisztratív nyilvántartó rendszer, hanem egy aktív döntéstámogató eszköz. A dolgozat egyik legfontosabb eredménye annak demonstrálása, hogy a program alkalmas az egyes vonalakon tervezett extra kapacitáshoz szükséges infrastrukturális beruházások szükségességének precíz tesztelésére. A szimulációs környezetben a tervező képes modellezni, hogy egy tervezett járatsűrítés

vagy új viszonylat bevezetése megoldható-e a meglévő infrastruktúrán pusztán a menetrend finomhangolásával, vagy elkerülhetetlen a fizikai beavatkozás.

Az alkalmazás segítségével egzakt módon meghatározható az a „minimálisan szükséges" műszaki tartalom – például egy új kitérő beépítése, egy állomási vágány meghosszabbítása vagy egy rövidebb kétvágányú szakasz (repülővágány) kiépítése –, amely már elégséges a kívánt menetrendi stabilitás fenntartásához. Ezzel a módszerrel a beruházási költségek jelentősen optimalizálhatók, hiszen elkerülhetők a „biztonsági játékból" fakadó felesleges kapacitásbővítések.

Összegezve, a létrehozott szoftver sikeresen valósította meg a kitűzött célt: egy olyan eszközt ad a közlekedéstervezők kezébe, amelyben a menetrend és a pálya összhangja folyamatosan ellenőrizhető. A program használatával a „menetrend az első" elv a gyakorlatban is érvényesíthetővé válik, biztosítva ezzel, hogy a jövő vasúti fejlesztései ne csak műszakilag legyenek kivitelezhetőek, hanem forgalmilag indokoltak és gazdaságilag is megtérülők legyenek.

5. fejezet

További fejlesztési lehetőségek

A jelenlegi megvalósítás több irányban is továbbfejleszthető. Az alábbiakban a leginkább releváns, a felhasználói élményt és a funkcionalitást érdemben javító fejlesztési irányokat foglalom össze.

Vágányút előjegyzése és tárolása Jelenleg hiányzik a vágányutak előzetes beállításának és tárolásának lehetősége. A funkció lehetővé tenné vágányút előjegyzését akár foglalt vágányra is; amint a vágány felszabadul, a kapcsolódó jelző automatikusan szabadra (zöldre) állna. Ez csökkentené a kezelői beavatkozások számát, és javítaná a kezelhetőséget, mivel nem lenne szükség minden egyes vonatindítás előtt az előző vonat elhaladására várni.

A térképen kívüli forgalom kezelése A rendszer jelenleg nem támogatja a térképen kívülről érkező vagy oda távozó vonatok kezelését. Az ilyen vonatok legfeljebb tárolóvágányra helyezhetők, azonban integrált kezelésük hiányzik. A funkció bővítése lehetővé tenné a térképen kívüli vonatok megjelenítését, illetve a térképen belüli állomások közötti közlekedésük ütemezett irányítását.

Szimuláció kiértékelése és visszajelzés Indokolt a szimuláció eredményeinek kvantitatív kiértékelése, különös tekintettel a menetrendi pontosságra. Célszerű lenne a menetrend-szerkesztőben olyan visszajelző mechanizmus bevezetése, amely a két állomás közötti távolság és pályajellemzők alapján becsült menetidőt, valamint várható tartalékidőt jelez.

Hálózatos, többfelhasználós irányítás A többfelhasználós, hálózati üzemmód lehetővé tenné, hogy több kezelő egyidejűleg dolgozzon ugyanazon szimuláción. Ez nagyobb terület és bonyolultabb forgalmi helyzetek hatékony kezelését tenné lehetővé, akár a jelenlegi lefedettség többszörösén.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetnyilvánítási kötelezettségem teljesítése céljából elsőként Dr. Gombos Gergő témavezető úrnak kívánok hálával adózni, aki a jelen kutatómunka során nyújtott szakmai intervencióival és metodológiai iránymutatásával lehetővé tette, hogy egy számomra különösen kedves és releváns tudományos kérdéskörben folytathassak mélyreható elemzést.

Ezentúl szeretném kifejezni hálámat édesanyám irányába, aki a szakdolgozat elkészítése során négy tudományos diplomával legitimált, multidiszciplináris megközelítésű szakértői konzultációjával és tudományelméleti orientációjával támogattott.

Hálás elismeréssel tartozom Varga Borbálának és Godó Jánosnak, tisztelt hallgatótársaimnak, akik morális támogatást és a kutatási folyamat kritikus fázisaiban konstruktív asszisztenciát nyújtottak.

Külön köszönettel tartozom Fadgyas Tibor úrnak és Schmieder László tanár úrnak, akik a programozási paradigmák és informatikai gondolkodás terén nyújtott alapozó oktatásukkal determinálták jelen karrierutat és tudományos érdeklődésemet.

SZIMULÁCIÓS JEGYZÉK ide nem terveztem semmit tenni

Ábrák jegyzéke

Táblázatok jegyzéke

IDE JONNEK MAJD A TESZT TÁBLÁK

Algoritmusjegyzék

ide nem terveztem semmit tenni

Forráskódjegyzék