

6. fejezet

Tesztelés

A modellek fejlesztése és tesztelése során, a saját számítógépemen dolgoztam. A felhasznált környezet paramétereit:

Hardver:

- Lenovo Z50-75 laptop
- AMD FX-7500 Radeon R7, 10 Compute Cores 4C+6G 2.10 GHz processzor
- 8 GB DDR3 RAM

Szoftverek:

- Microsoft Windows 8.1 Pro 64 bites operációs rendszer
- GUSEK (GLPK Under Scite Extended Kit) v0.2.21
- GLPSOL GLPK LP/MIP Solver, v4.63
- Gurobi Optimizer v8.1.1
- GitHub Desktop v2.6.0

A fejlesztés során a GUSEK GUI-t használtam és a GLPSOL programmal futtattam a modelleket. A következőkben az elkészült MILP modellek futási eredményeit mutatom be.

Feladatosztály 1

Ehhez az osztályhoz két modell tartozott: Modell 1A és Modell1B. A modellek a probléma megközelítésében eltértek egymástól, azonban mivel ugyanazokat a halmazokat és paramétereket használták a modell felírásakor, ezért az adatfájljuk megegyezett. A feladatosztály célja az átmeneti távolságok minimalizálása. A közös .dat fájl a .ábrán látható. A felhasznált adatok random számok.

```

set Helyek := A B C D;
param tav: A B C D :=
  -> A 0 14 17 8
  -> B 14 0 5 10
  -> C 17 5 0 20
  -> D 8 10 20 0
; #km

param ido: A B C D :=
  -> A 0 21 26 12
  -> B 21 0 8 15
  -> C 26 8 0 30
  -> D 12 15 30 0
; #perc

param jaratszam := 12;

param : honnan hova mikortol meddig:=
1 A B 10 35
2 C D 10 45
3 A C 70 100
4 B A 40 65
5 B C 20 30
6 C A 105 135
7 D A 50 65
8 B D 110 130
9 A D 140 155
10 D B 160 180
11 D C 55 90
12 C B 95 105
;

param buszszam := 3;

```

.ábra: Feladatosztály 1-hez tartozó .dat fájl

A kimeneti .out fájlok több ezer sorból állnak, ezért printf függvények segítségével jobban átlátható kimenetet generáltam. A két modell futási eredményeinek összehasonlítása az alábbi, táblázatban található.

.táblázat: Modell 1A és Modell 1B futási eredményének összehasonlítása

	Modell 1A	Modell 1B
Busz 1	<ul style="list-style-type: none"> Jarat 5: B (20) -> C (30) Atmenet: Jarat 5 --5--> Jarat 4: C (30) -> B (40) 	<ul style="list-style-type: none"> Jarat 5: B (20) -> C (30) Atmenet: Jarat 5 --5--> Jarat 4: C (30) -> B (40)

	<ul style="list-style-type: none"> Jarat 4: B (40) -> A (65) Atmenet: Jarat 4 --0--> Jarat 9: A (65) -> A (140) Jarat 9: A (140) -> D (155) Atmenet: Jarat 9 --0--> Jarat 10: D (155) -> D (160) Jarat 10: D (160) -> B (180) 	<ul style="list-style-type: none"> Jarat 4: B (40) -> A (65) Atmenet: Jarat 4 --0--> Jarat 3: A (65) -> A (70) Jarat 3: A (70) -> C (100) Atmenet: Jarat 3 --0--> Jarat 6: C (100) -> C (105) Jarat 6: C (105) -> A (135) Atmenet: Jarat 6 --0--> Jarat 9: A (135) -> A (140) Jarat 9: A (140) -> D (155)
Busz 2	<ul style="list-style-type: none"> Jarat 2: C (10) -> D (45) Atmenet: Jarat 2 --0--> Jarat 7: D (45) -> D (50) Jarat 7: D (50) -> A (65) Atmenet: Jarat 7 --0--> Jarat 3: A (65) -> A (70) Jarat 3: A (70) -> C (100) Atmenet: Jarat 3 --0--> Jarat 6: C (100) -> C (105) Jarat 6: C (105) -> A (135) 	<ul style="list-style-type: none"> Jarat 1: A (10) -> B (35) Atmenet: Jarat 1 --10--> Jarat 11: B (35) -> D (55) Jarat 11: D (55) -> C (90) Atmenet: Jarat 11 --0--> Jarat 12: C (90) -> C (95) Jarat 12: C (95) -> B (105) Atmenet: Jarat 12 --0--> Jarat 8: B (105) -> B (110) Jarat 8: B (110) -> D (130) Atmenet: Jarat 8 --0--> Jarat 10: D (130) -> A (160) Jarat 10: D (160) -> B (180)
Busz 3	<ul style="list-style-type: none"> Jarat 1: A (10) -> B (35) Atmenet: Jarat 1 --10--> Jarat 11: B (35) -> D (55) Jarat 11: D (55) -> C (90) Atmenet: Jarat 11 --0--> Jarat 1: C (90) -> C (95) Jarat 12: C (95) -> B (105) Atmenet: Jarat 12 --0--> Jarat 8: B (105) -> B (110) Jarat 8: B (110) -> D (130) 	<ul style="list-style-type: none"> Jarat 2: C (10) -> D (45) Atmenet: Jarat 2 --0--> Jarat 7: D (45) -> D (50) Jarat 7: D (50) -> A (65)

Cél	15 km	15 km
Futási idő	0.3 mp	312.2 mp
Memória	2.2 MB	26.3 MB

A táblázatban levő Modell 1A oszlopában a Busz1 sorában található Jarat 5: B (20) -> C (30) azt jelenti, hogy az 5-ös számú járatot az 1-es számú busz végezte el és a járat B helyről indult 20 perckor és a C helyre érkezett 30 perckor. Az idősíkot percben számoltam, szóval a 110 perc az hajnali 01:50-nek felel meg. A Modell 1A Busz 3 sorában található Átmenet: Jarat 1 --10--> Jarat 11: B (35) -> D (55) pedig azt jelenti, hogy az 1-es járatot a 3-as busz 35 perckor a B helyen fejezte be és onnan a 11-es járat kezdési helyére halad át, ami 55 perckor indul a D helyről. A B és D hely közötti átmeneti távolság 10 kilométer. Amennyiben a nyílon található számjegy 0, az az előző érkezési helye megegyezik a másik indulási helyével.

Modell 1B-nél a 3-as busz menetrendje úgy néz ki, hogy elvégzi a 2-es járatot, majd 5percet várakozik D helyen és elvégzi a 7-es járatot is.

A cél a köztes kilométerek minimalizálása volt, ami mindkét modell esetben 15 kilométerre jött ki.

Mindkét modell talált optimális megoldást, de a táblázatból szépen látszik az indok, amiért továbbfejlesztésre a Modell1A-t választottam: háromszázszor gyorsabban végezte el a feladatát tizedannyi memóriahasználattal.

Feladatosztály 2

A második feladatosztályban található Modell 2 az 1A továbbfejlesztéseként már depókat is rendel minden buszhoz. A modell célja megegyezik az előző feladatosztályban megfogalmazottal. Az előző modellek által használt adatfájllal futtattam ezt a modellt is, ám ebben az esetben a .ábrán található depo paraméter kiegészítéssel. A .táblázatban pedig a futási eredmény látható.

```
param depo:=
1 A
2 B
3 A
;
```

.ábra: A depo paraméter értékei

.táblázat: Modell2 futási eredménye

Busz 1	<ul style="list-style-type: none"> • Elsojarat: Depo --0--> Jarat 1: A (0) -> A (10) • Jarat 1: A (10) -> B (35) • Atmenet: Jarat 1 --10--> Jarat 7: B (35) -> D (50) • Jarat 7: D (50) -> A (65) • Atmenet: Jarat 7 --0--> Jarat 3: A (65) -> A (70) • Jarat 3: A (70) -> C (100) • Atmenet: Jarat 3 --0--> Jarat 6: C (100) -> C (105) • Jarat 6: C (105) -> A (135) • Utolsojarat: Jarat 6 --0--> Depo: A (135) -> A (135)
Busz 2	<ul style="list-style-type: none"> • Elsojarat: Depo --0--> Jarat 5: B (0) -> B (20) • Jarat 5: B (20) -> C (30) • Atmenet: Jarat 5 --5--> Jarat 4: C (30) -> B (40) • Jarat 4: B (40) -> A (65) • Atmenet: Jarat 4 --0--> Jarat 9: A (65) -> A (140) • Jarat 9: A (140) -> D (155) • Atmenet: Jarat 9 --0--> Jarat 10: D (155) -> D (160) • Jarat 10: D (160) -> B (180) • Utolsojarat: Jarat 10 --0--> Depo: B (180) -> B (180)
Busz 3	<ul style="list-style-type: none"> • Elsojarat: Depo --17--> Jarat 2: A (0) -> C (10) • Jarat 2: C (10) -> D (45) • Atmenet: Jarat 2 --0--> Jarat 11: D (45) -> D (55) • Jarat 11: D (55) -> C (90) • Atmenet: Jarat 11 --0--> Jarat 12: C (90) -> C (95) • Jarat 12: C (95) -> B (105)

	<ul style="list-style-type: none"> • Atmenet: Jarat 12 --0--> Jarat 8: B (105) -> B (110) • Jarat 8: B (110) -> D (130) • Utolsojarat: Jarat 8 --8--> Depo: D (130) -> A (142)
Cél	40 km
Futási idő	1 mp
Memória	3.3 MB

A depók bevezetésével láthatjuk a célként definiált minimum értékének, a futási időnek és a memóriahasználatnak a növekedését is.

Feladatosztály 3

A harmadik feladatosztályhoz egy modell tartozott: Modell 3, aminek a célja továbbra is a köztes kilométerek minimalizálása volt. Ebben a modellben két új paraméter került bevezetésre: a járatok valós távolságát jelző **tav2** és a buszok által egy töltéssel megtehető kilométerek számát jelölő **maxtav**. Az adatfájlban szereplő értékeiket a . és a . ábrán láthatjuk. A modell futási eredményét a . táblázat mutatja.

```
param tav2:=
1 16
2 21
3 19
4 16
5 8
6 19
7 10
8 12
9 10
10 12
11 21
12 8
;
```

.ábra: A **tav2** paraméter értékei

```
param maxtav:=
1 200
2 300
3 250
;
```

.ábra: A maxtav paraméter értékei

.táblázat: Modell3 futási eredménye

Busz 1	<ul style="list-style-type: none"> • Elsojarat: Depo --17--> Jarat 2: A (0) -> C (10) • Jarat 2: C (10) --21--> D (45) • Atmenet: Jarat 2 --0--> Jarat 7: D (45) -> D (50) • Jarat 7: D (50) --10--> A (65) • Atmenet: Jarat 7 --0--> Jarat 3: A (65) -> A (70) • Jarat 3: A (70) --19--> C (100) • Atmenet: Jarat 3 --0--> Jarat 6: C (100) -> C (105) • Jarat 6: C (105) --19--> A (135) • Utolsojarat: Jarat 6 --0--> Depo: A (135) -> A (135) • Ossz futott km / maxtav: 86 / 200
Busz 2	<ul style="list-style-type: none"> • Elsojarat: Depo --0--> Jarat 5: B (0) -> B (20) • Jarat 5: B (20) --8--> C (30) • Atmenet: Jarat 5 --5--> Jarat 4: C (30) -> B (40) • Jarat 4: B (40) --16--> A (65) • Atmenet: Jarat 4 --0--> Jarat 9: A (65) -> A (140) • Jarat 9: A (140) --10--> D (155) • Atmenet: Jarat 9 --0--> Jarat 10: D (155) -> D (160) • Jarat 10: D (160) --12--> B (180) • Utolsojarat: Jarat 10 --0--> Depo: B (180) -> B (180) • Ossz futott km / maxtav: 51 / 300
Busz 3	<ul style="list-style-type: none"> • Elsojarat: Depo --0--> Jarat 1: A (0) -> A (10) • Jarat 1: A (10) --16--> B (35) • Atmenet: Jarat 1 --10--> Jarat 11: B (35) -> D (55) • Jarat 11: D (55) --21--> C (90) • Atmenet: Jarat 11 --0--> Jarat 12: C (90) -> C (95)

	<ul style="list-style-type: none"> • Jarat 12: C (95) --8--> B (105) • Atmenet: Jarat 12 --0--> Jarat 8: B (105) -> B (110) • Jarat 8: B (110) --12--> D (130) • Utolsojarat: Jarat 8 --8--> Depo: D (130) -> A (142) • Ossz futott km / maxtav: 75 / 250
Cél	40 km
Futási idő	1.3 mp
Memória	3.2 MB

A járatok nyilain olvasható a járatok által megtett valós távolság hossza, illetve minden busznál jeleztem az összesen megtett távolságot illetve a maximálisan megtehető távolságot. Mint a táblázatból láthatjuk a célfüggvény értéke megegyezett a Modell 2-esével és a járatok ütemezését a kiegészítésekkel együtt is hasonlóan hajtotta végre ez a modell. A futási idő és memóriahasználatban sincs túl nagy eltérés.

Feladatosztály 4

Az osztályhoz tartozó Modell4-ben már figyelembe vettem azt is, hogy elektromos buszokról van szó és a modell célja is megváltozott: innentől kezdve az összes fogyasztás minimalizálása lett a cél. A `maxtav` paraméter helyére a `maxtoltes` paraméter került, ami a buszok akkumulátorának kWatt-ban mért kapacitását jelöli. A `fogyasztas` paraméter a kilométerenkénti kilowattóra fogyasztást jelöli. A `.dat` fájl többi értéke egyezik az eddigiekben bemutatottal. Az adatok továbbra is szabadon választott számok. A `maxtoltes` és `fogyasztas` paraméterek a `.ábrán` láthatók, Modell4 futási eredménye pedig a `.táblázatban`.

```
param : maxtoltes fogyasztas:=
1 200 2
2 300 4
3 250 3
;
```

.ábra: a maxtoltes és fogyasztas paraméterek értékei

.táblázat: Modell 4 futási eredménye

Busz 1	<ul style="list-style-type: none"> • Elsojarat: Depo --17--> Jarat 2: A (0) -> C (10) • Jarat 2: C (10) --21--> D (45) • Atmenet: Jarat 2 --0--> Jarat 11: D (45) -> D (55) • Jarat 11: D (55) --21--> C (90) • Atmenet: Jarat 11 --0--> Jarat 12: C (90) -> C (95) • Jarat 12: C (95) --8--> B (105) • Atmenet: Jarat 12 --0--> Jarat 8: B (105) -> B (110) • Jarat 8: B (110) --12--> D (130) • Utolsojarat: Jarat 8 --8--> Depo: D (130) -> A (142) • Ossz futott km / Osszfogyasztas / maxtoltes: 87 / 174 / 200
Busz 2	<ul style="list-style-type: none"> • Elsojarat: Depo --0--> Jarat 5: B (0) -> B (20) • Jarat 5: B (20) --8--> C (30) • Atmenet: Jarat 5 --5--> Jarat 4: C (30) -> B (40) • Jarat 4: B (40) --16--> A (65) • Atmenet: Jarat 4 --0--> Jarat 9: A (65) -> A (140) • Jarat 9: A (140) --10--> D (155) • Atmenet: Jarat 9 --0--> Jarat 10: D (155) -> D (160) • Jarat 10: D (160) --12--> B (180) • Utolsojarat: Jarat 10 --0--> Depo: B (180) -> B (180) • Ossz futott km / Osszfogyasztas / maxtoltes: 51 / 204 / 300
Busz 3	<ul style="list-style-type: none"> • Elsojarat: Depo --0--> Jarat 1: A (0) -> A (10) • Jarat 1: A (10) --16--> B (35) • Atmenet: Jarat 1 --10--> Jarat 7: B (35) -> D (50) • Jarat 7: D (50) --10--> A (65) • Atmenet: Jarat 7 --0--> Jarat 3: A (65) -> A (70) • Jarat 3: A (70) --19--> C (100) • Atmenet: Jarat 3 --0--> Jarat 6: C (100) -> C (105) • Jarat 6: C (105) --19--> A (135) • Utolsojarat: Jarat 6 --0--> Depo: A (135) -> A (135) • Ossz futott km / Osszfogyasztas / maxtoltes: 74 / 222 / 250
Cél	600 kWh
Futási idő	0.9 mp

Memória	3.2 MB
---------	--------

A táblázatban jelöltem a buszok által összesen megtett távolságot, az összes energiafogyasztást és az akkumulátorkapacitást is. A célfüggvényben megfogalmazott összes fogyasztási érték jelen esetben 600 kWh volt. A futási idő és a memóriahasználat az előző modellhez hasonlóan alakult.