



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Erdős Szilvia

# **AUTOMATIZÁLT ZÁRÓVIZSGA BEOSZTÁS KÉSZÍTÉSE**

KONZULENS

**Dr. Kővári Bence**

BUDAPEST, 2018

# Tartalomjegyzék

<b>Összefoglaló .....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Bevezetés .....</b>	<b>6</b>
<b>2 A problémakör .....</b>	<b>9</b>
2.1 A záróvizsga beosztás felépítése.....	9
2.1.1 Általános esetű záróvizsgabeosztás .....	9
2.1.2 Az állapottér szűkítése .....	11
2.2 A probléma formalizálása .....	11
2.2.1 Terminológia.....	11
2.2.2 Követelmények meghatározása .....	12
2.3 A pontrendszer .....	14
2.3.1 Szigorú követelmények pontszámainak alakulása.....	15
2.3.2 Gyenge követelmények pontszámainak alakulása.....	16
2.4 A probléma komplexitása .....	17
2.4.1 Az állapottér nagysága.....	17
2.4.2 Egymásnak ellentmondó feltételek.....	18
<b>3 Irodalmi áttekintés.....</b>	<b>19</b>
3.1 Beosztástervezés az irodalomban .....	19
3.1.1 School timetabling .....	19
3.1.2 Course timetabling .....	20
3.1.3 Examination timetabling.....	20
3.2 Optimalizálási megközelítések .....	21
<b>4 Kutatás .....</b>	<b>23</b>
4.1 Az adatábrázolás .....	23
4.1.1 Bemeneti adatok .....	23
4.1.2 Kimeneti adatok.....	26
4.2 Genetikus algoritmus .....	28
4.2.1 Kromoszóma, kezdeti adathalmaz .....	28
4.2.2 Fitness .....	29
4.2.3 Mutációk .....	30
4.2.4 Elkészült beosztás .....	32

4.3 Heurisztikus algoritmus .....	34
4.3.1 Magyar módszer .....	35
4.3.2 Elnökök beosztása.....	35
4.3.3 Titkárok beosztása .....	36
4.3.4 Vizsgálók beosztása .....	37
4.3.5 Vizsgáztatók beosztása .....	39
4.3.6 Belső tagok beosztása .....	39
4.3.7 Elkészült beosztás .....	39
4.4 Eredményeim .....	41
<b>5 Összefoglalás.....</b>	<b>42</b>
<b>6 Irodalomjegyzék.....</b>	<b>43</b>

# Összefoglaló

Az automatikus beosztástervezés évtizedek óta kutatott téma az irodalomban. Mivel a vizsgálandó állapottérre kisebb bementi változások is exponenciális hatással vannak, elsősorban heurisztikus és mesterséges intelligencia alapú módszerek hoztak sikereket.

Dolgozatomban a beosztástervezési feladat egy speciális részfeladatát, egy egyetemi záróvizsga beosztás automatikus összeállításának lehetőségeit vizsgáltam meg egy genetikus algoritmus alapú és egy heurisztikus megközelítéssel. Kidolgoztam egy pontrendszert, mellyel a létrehozott beosztások jósága megítélhető és összehasonlítható. Elemeztem, hogy milyen hatással lehetnek az algoritmusok különböző változásai az elérhető végeredmény pontosságára. Algoritmusaimat egy valós tesztalmazon, a BME 100 BSc-s hallgatójának záróvizsga beosztásának elkészítésével teszteltem.

Eredményeim jól mutatják, hogy erre a komplexitású feladatra lehetséges elfogadható megoldásokat adni, s algoritmusom továbbfejlesztésével a későbbiekben a manuálisan összeállított beosztásoknál is jobb, igazságosabb beosztások lesznek készíthetők.

# Abstract

The automatic generation of schedules is in focus of researches for decades. Since small changes in input have exponential impact on the tested state space, methods based on heuristic and artificial intelligence are the most successful.

In my dissertation I analysed the opportunities of automatic generation of the academic final exam scheduling, which is a special subtask of generation of schedules. I examined it with genetic algorithm and heuristic approach. I elaborated a method for points, wherewith the goodness of generated schedules is measurable and comparable. I analysed the effect on achievable results caused by the different changes on my algorithm. I tested my algorithms on a real test set, which was 100 students on bachelor's degree in BME.

My results show well, for that complexity can be given an acceptable solution, and with improvement on my algorithm we'll be able to give solutions, which are better and fairer, than the manual compiled schedules.

# 1 Bevezetés

Beosztástervezési feladatokkal először a BSc szakdolgozatom során foglalkoztam, amikor is egy személyes indíttatású projekten kóstoltam bele a témába. Karunk legnagyobb öntevékeny csoportjában, a Szent Schönherz Senior Lovagrendben tevékenykedem aktívan, ahol egyik feladatköröm a Gólyahét HR beosztásának elkészítése volt. Ez közel 200 hallgató beosztását jelentette egy egyhetes programsorozatra, melynek beosztása több ember sok munkaóráját igényelte. Ezt a beosztást automatizáltam magyar módszer segítségével, ami egy bővítésre szoruló, de használható beosztást eredményezett.

A mesterképzés kezdetével jobban elkezdtem beleásni magamat a beosztástervezés rejtelmeibe, mert nagyon megfogott ez a témakör, sok aspektusa van, amit ekkor még el sem tudtam képzelni. Kutatásom során megismerkedtem szélesebb körben a problémakör különböző területeivel. A beosztástervezésnek egy speciális esetét, a záróvizsga beosztás készítését választott új kihívásnak, hiszen ez egy sokkal komplexebb probléma, mint a szakdolgozatom során tárgyalt seniorok beosztása. Idővel kiderült, hogy ez a téma jelenleg az irodalomban tárgyalt beosztásoknál is bonyolultabb, ott ugyanis más komplexitású feladatokra próbálnak minél jobb algoritmusokat készíteni, míg a záróvizsga beosztás egy különösen összetett feladatnak bizonyul.

A záróvizsga beosztás eddig egy kézzel készített hosszadalmas folyamat volt, melynek során eddig sok táblázat adataiból, bonyolult cserélgetések, újra tervezések és többszöri újrakezdések során alakult ki a záróvizsgázók beosztása. Ez a nem automatizált folyamat könnyen eredményezhet emberi hibákat is, illetve emberi szemmel nagyon nehéz átlátni azt, hogy vajon minden feltétel teljesül-e, mindenki számára megfelelő beosztás készült-e el.

Ennek a folyamatnak az automatizálását vizsgálom dolgozatomban, amelynek során két különböző megközelítésű megoldásomat mutatom be. A két algoritmusom két különböző szempontból jut el a megoldáshoz. Az első egyre jobb és jobb beosztások elkészítésével, folyamatos javítások során éri el a végleges beosztást, ez a genetikusan alapú algoritmuson alapszik. A másik megközelítésem sorban, lépésről lépésre építi fel a záróvizsga beosztását, ami a heurisztikus alapú algoritmusokkal készült.

A záróvizsga beosztás elkészítésébe azonban nem tudtam csak így egyszerűen a két algoritmus implementálásával belevágni, ugyanis szükség volt először a probléma formális leírására, hiszen ez sem állt rendelkezésre, mivel korábban nem próbálkoztak ennek a problémának az automatizált megoldásával. A formális leíráshoz szükség volt a probléma teljes körbejárásához, a korábban kézi módszerekkel záróvizsgát készítő elbeszéléseinek pontos leírásához.

Kidolgoztam a beosztások követelményeit, amelyek között van olyan, amit mindenképpen teljesítenie kell minden esetben a beosztásnak, és vannak olyan előírások, amik nem annyira szigorúak, mindegyik betartása nem is lehetséges, mert több helyen ellentmondanak egymásnak. Ez adja a beosztás bonyolultságát, ugyanis ezek alapján kell egy lehetőségekhez képesti minél jobb megoldást adni.

A formalizálás mellett az előkészületek során kidolgoztam egy pontrendszert, amivel valójában az elkészült, vagy készülő beosztások „jósága” mérhető. Ez azt jelenti, hogy a különböző követelmények különböző súlyokkal jelennek meg, ezzel válik mérhetővé, hogy milyen is a beosztásunk, hiszen említettem, hogy minden feltételt tökéletesen teljesítő beosztás nem lehetséges az egymásnak ellentmondó követelmények miatt. Ez a pontrendszer arányosan leírja, hogy melyik feltételt mennyire fontos teljesíteni.

Az előkészületek után megkezdődhetett az algoritmusaim elkészítése. A genetikusan alapú megközelítésnél egy kezdeti beosztást kellett generálnom, amit kellően okosan építettem fel, nem teljesen véletlenszerű annak érdekében, hogy gyorsabban eljusson az algoritmus a megoldáshoz. Ezután ezt a beosztást javítottam saját algoritmusok kitalálásával, felhasználva a genetikusan alapú algoritmus sajátosságait.

A heurisztikus megközelítés egy egészen más szemléletmódot igényelt. Ez a megoldás jobban közelít a kézzel készült beosztáshoz amiatt, hogy folyamatosan előre haladva építi fel a beosztást, és amikor betelt a tábla, vagyis minden vizsgázó be lett osztva egy megfelelő időpontra és hozzá minden szükséges oktató is, elkészült a beosztás. Ennek az algoritmusnak a megoldása során több helyen alkalmaztam az általam már korábban megismert magyar módszert is, hiszen látni fogjuk, hogy ez a legjobb módszer jelen esetben.

Dolgozatomban először részletezem a problémakört, bemutatom annak bonyolultságát, érdekességeit, az általam formalizált problémahalmazt, valamint a követelményekből felépülő pontrendszert.

Ezekután kifejtem az irodalom ezen területéhez kapcsolódó eredményeket azzal a hangsúllyal, hogy esetemben miért is nem alkalmazhatóak a már meglévő beosztást készítő algoritmusok, mik jelentik azok korlátait.

Míndezek után elemzem az elkészült algoritmusaimat, először a genetikus, majd a heurisztikus megközelítést taglalom, benne a különböző érdekes, általam fejlesztett algoritmus részletekkel. Bemutatom, és összehasonlítom a kettő algoritmusból megkapott eredményeket.



## 2 A problémakör

Ebben a fejezetben bemutatom a záróvizsga beosztásának problémáját, annak lényegét, valamint azt, hogy miért is bonyolult ennek megoldása. Ezt követően meghatározom a formális követelményeket, melyekre a megoldást keresem.

### 2.1 A záróvizsga beosztás felépítése

#### 2.1.1 Általános esetű záróvizsgabeosztás

Először is bemutatom a szóbeli záróvizsga beosztás működését. Ennek pontos leírását az egyetemi Tanulmányi és Vizsgaszabályzat [1], valamint annak kari kiegészítése [2] tartalmazza. Az 1. ábra tartalmazza egy záróvizsga számunkra releváns szereplőit.



1. ábra - Egy záróvizsga szereplői

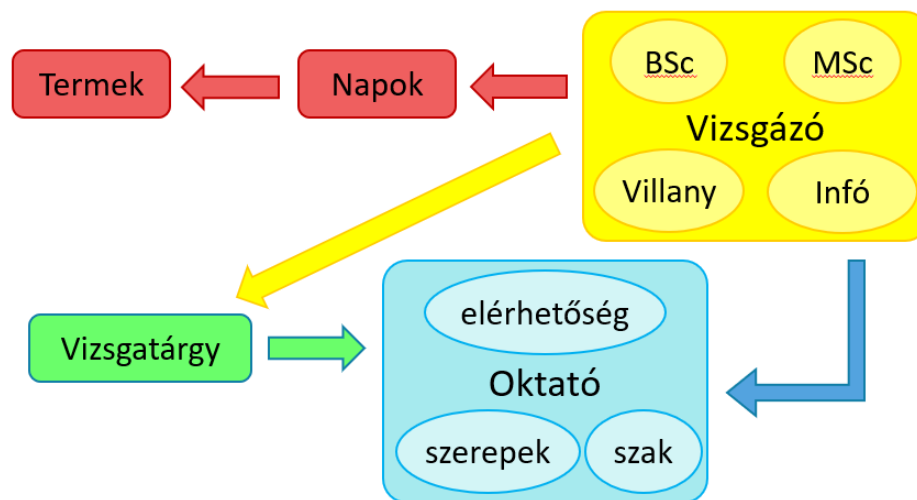
Látható, hogy először is természetesen megjelenik egy hallgató, akinek van egy meghatározott konzulense, akivel írta a szakdolgozatát vagy diplomamunkáját, így neki ott kell lennie a saját hallgatója vizsgáján. Mellettük szükséges egy elnök, egy titkár és egy belső tag jelenléte. Mindegyik szerepkörnek megvannak a feltételei, nem töltheti be akárki ezeket. Ezek a feltételek viszont egyértelműek, így előre lefektethető, ki lehet elnök, ki lehet titkár, és ki belső tag.

Külső tag egy, a szervező karral jogviszonyban nem álló személy a vizsgán, ezért is jelöltem más színnel, ugyanis mivel személye nem függ semelyik másik szereplőtől,

így a külső tagok kezelése és beosztása csak és kizárólag a saját elérhetőségük alapján alakulhat.

A hallgató képzési szintje és választott vizsgatárgyai befolyásolják azt, hogy kik kerülhetnek vizsgáztató szerepbe egy-egy vizsgán, az ő beosztásuk emiatt szintén nagyon képlékeny.

Látható, hogy kétféle szereplő jelenik meg egy vizsgán: egy hallgató, és több oktató. A 2. ábra mutatja ezeknek a szereplőknek a változóit és az egymáshoz köthető kapcsolatait.



2. ábra - Egy záróvizsgán fellépő szereplők közötti kapcsolat

Megfigyelhető, hogy egy vizsgázó kétféle képzési szinten lehet, lehet BSc-s vagy MSc-s hallgató, valamint jelen esetben kétféle szak közül rendelkezik valamelyikkel, informatikus vagy villamosmérnök hallgató.

Egy oktató meghatározott időpontokban érhető el az adott napokon, emellett ő is tartozik valamelyik szakhoz, amelyik szinten vizsgáztathat. Továbbá természetesen betölthet bizonyos szerepeket, amelyek az elnök, titkár, valamint a belső tag.

Látható, hogy egy hallgatóhoz hogyan köthető egy vizsgatárgy, ami meghatározza az oktatókat, továbbá természetesen egy-egy vizsgához tartozik végül egy adott nap, időpont és egy helyszín.

A záróvizsgák különlegessége, hogy nem szükséges pontosan ennyi oktatónak jelen lenni a vizsgán, lehetséges bizonyos szerepkörök összevonása, pl. az elnök lehet egyben a hallgató konzulense is. Nagyon sok ilyen összevonás lehetséges, amelyek eddig intuitívan mentek, néhány alapkövetelmény volt csak kimondva, például az, hogy az

összes szerep nem vonható össze, egy elnökből, és további két oktatóból kell legalább állnia a vizsgabizottságnak. Ennek a részletes összegyűjtése és leírása már az én feladatomból volt, amelyet a 2.2 fejezetben taglalok.

### **2.1.2 Az állapottér szűkítése**

A beosztásom elkészítése során a 2.1.1 fejezetben taglalt általános beosztást részben egyszerűsítettem úgy, hogy a központi problémára koncentrálhassak.

Dolgozatom során 100 BSc-s hallgatóval teszteltem az algoritmusaimat, hiszen a tanszékek homogén szekciókat hirdetnek, így nem okoz nagy változtatást a problémakör ilyenfajta lecsökkentése. Ez azt jelenti, hogy nem kellene lényeges változásokat eszközölni annak érdekében, hogy például az MSc-s hallgatókat is figyelembe vegyük, így éltem ezzel az egyszerűsítéssel.

Továbbá a külső tagok sem adnak plusz komplexitást a feladatnak, hiszen teljesen függetlenek a záróvizsga többi szereplőjétől, nincs olyan résztvevő, akinek belső tag szerepben és akár bármilyen más szerepben is egyszerre lehetősége lenne megjelenni, így jelen esetben velük sem foglalkoztam, hiszen bármilyen véletlenszerű beosztás is megfelelő lenne az ő esetükben.

Megoldásomban ezen felül éltem még a feltételezéssel, hogy nincsenek párhuzamos szekciók. Bár mindkét megközelítésem kiterjeszhető lenne a párhuzamos szekciók fogalmára, első körben szerettem volna egyszerűbb körülmények között eredményekre jutni.

## **2.2 A probléma formalizálása**

A korábbiakban kifejtettem, hogy a záróvizsga beosztás problémája milyen sokrétű, amelynek feldolgozása során az első komoly lépést a probléma formalizálása jelentette.

### **2.2.1 Terminológia**

Először is meghatároztam a használandó egységes kifejezéseket, vagyis a terminológiát, mert a köznyelvben többféleképpen is hivatkoznak egy-egy szerepkörre, példaképpen a titkárt jegyzőként is szokás emlegetni, vagy a *tag* szó különböző szóhasználatokban eltérően értelmezendő: van, aki a belső tagra, vagy a külső tagra

hivatkozik így, de a hivatalos Záróvizsga szabályzatban [2] az összes jelenlévő oktatóra bizottsági *tagként* hivatkozik.

Fontos megemlíteni a *szekció* fogalmát. Dolgozatomban egy szekciónak nevezem egy homogén hallgatói csoport egy délelőtti vagy egy délutánra eső időszakát, vagyis egy fél napot, amikor ugyanazon szakon tanuló hallgatók vizsgáznak.

## **2.2.2 Követelmények meghatározása**

Ahhoz, hogy kezelni tudjam a záróvizsga által biztosított kereteket, meg kellett határoznom formálisan a követelményeket.

### **2.2.2.1 Szigorú feltételek**

Ezek után először meghatároztam a szigorú, úgynevezett *hard* követelményeket. Ezek azok a követelmények, amelyeknek minden esetben teljesülniük kell, különben nem tekinthető jónak egy megoldás.

Első és legfontosabb feltétel, hogy az elnöknek, a titkárnak, valamint a vizsgáztatónak elérhetőnek kell lennie az adott záróvizsga teljes időtartamában, amelyre be lett osztva. Ha egy időpontban nem elérhető, semmiképp sem szabad akkor vizsgára beosztani őket.

A következő szigorú követelmény, hogy egy szekció, vagyis egy fél nap során egy adott teremben csak ugyanazon szak hallgatói vizsgázhatnak. Ehhez kapcsolódik szorosan két másik fontos feltétel, hogy ezen szekciók alatt sem az elnök, sem a titkár nem cserélődhet. Ez azt jelenti, hogy egy fél nap során ugyanannak az elnöknek és titkárnak kell benn lennie, ami azt is magában foglalja, hogyha egy elnök vagy egy titkár adott fél nap csak egy szakaszában is nem ér rá, akkor arra a teljes szekcióra nem lehet beosztani.

Mindezek mellett fontos, hogy reggel 8:00-nál nem kezdődhet korábban egy vizsga, valamint legkésőbb délután 18:00-ig véget kell érnie az aznapi legutolsó vizsgának.

Fontos felírandó feltétel volt még, hogy egy BSs-s záróvizsga 40 perces, míg egy MSc-s szóbeli vizsga 50 percig tart. Továbbá kötelező ebédszünetet tartani minden vizsganapon két szekció között.

### 2.2.2.2 Gyenge feltételek

Gyenge követelmények közé azok az úgynevezett *soft* feltételek tartoznak, amelyeknek a teljesítése nem teljesen kötelező jellegű, de azt szeretném elérni, hogy minél több teljesüljön belőlük.

Az első gyenge követelményem azon tényen alapul, hogy egy elnök szerepét betöltő személynek lehetnek saját hallgatói, vagyis lehetséges, hogy konzulense bizonyos vizsgázóknak. Mivel az elnökök beosztása a leginkább megkötött, meghatároztam azt a követelményt, hogy egy vizsgázó lehetőleg abban a szekcióban vizsgázzon, amikor a konzulense az elnök. Ez természetesen csak azoknál a hallgatóknál lehetséges, akiknek a konzulense betöltheti bármelyik időpillanatban egy vizsga elnök szerepét.

Az elnökhöz hasonlóan a titkároknak is fontos az egy szekcióban folyamatos részvétel egy erős követelmény miatt, így az ő beosztásuk is meghatározó. Emellett az is igaz rájuk, hogy rendelkezhetnek konzultált hallgatóval. Így az elnökhöz hasonlóan egy gyenge feltételnek választottam azt is, hogy egy titkár saját hallgatója lehetőleg az ő titkársága alatti szekcióban vizsgázzon.

Az előző két feltételhez hasonlóan a szerepek összevonásán alapul a következő feltételem is. Ez nem más, mint hogy az elnök betöltheti a vizsgáztató szerepét is. Ez azt jelenti, hogyha egy hallgató vizsgatárgyának adott vizsgáztatója egyébként betöltheti az elnök szerepkörét is, akkor ezt tegye egyszerre. Továbbá a belső tag szerepkör szintén összevonható más szerepekkel.

Az elnök pozíciójához több további feltétel tartozik, amelyek betartása nem kötelező, csak ajánlott. Ezek közül az egyik, hogy lehetőleg az elnök számára meghatározott képzési szint (MSc vagy BSc) megegyezzen a vizsgázó képzési szintjével.

Fontos követelmény volt, hogy az elnök ne változzon egy szekció alatt. Ennek egy kiterjesztése, hogy az elnök a teljes nap alatt ne változzon. Ez nem minden esetben teljesíthető, de jó lenne ezt a követelményt is teljesíteni.

A szigorú követelmények között szerepelt, hogy kötelező ebédszünetet tartani. Egy ehhez kapcsolódó, de gyenge követelmény, hogy az ebéd legyen 11:30 és 13:40 között, és tartson legalább 40 percig. Az optimális ebédszünetre szánt hossz viszont legyen ennél több, 60 perc.

Szigorú feltételnek állapítottam meg továbbá, hogy az elnök, a titkár és a vizsgáztató minden esetben elérhető legyen az adott vizsgán. Érdekes, de jól használhatónak bizonyult, hogy a konzulens és a tag elérhetősége is fontos ugyan, de csak a gyenge követelmények közé soroltam, ugyanis az ő esetükben több lehetőségünk van a változtatgatásokra, könnyebben megoldható például két hallgató megcserélésével, hogy a megfelelő konzulensek így már elérhetőek legyenek, míg az elnökök a csere során nem változnak.

Meghatározó pont a záróvizsgák beosztásánál a munkamennyiség megfelelő elosztása. Egy-egy oktató terhelése nagyon eltérő lehet amiatt, hogy nem mindenkinek vannak konzultált hallgatói, van, akinek nagyon sok van, kevés ember töltheti csak be az elnök szerepet, így nyilvánvalóan aki lehet elnök, az sok vizsgán fog részt venni. Ezekből a példákban is látható, hogy nincs értelme egyben kezelni az oktatók terhelését, sokkal inkább bizonyos betöltött szerepekben van létjogosultsága ezen téma vizsgálatának.

Az elnökök munkamennyiségének elosztására azt határoztam meg, hogy lehetőleg legyen mindenki azonos mennyiségben elnöki szerepben a vizsgákon. Ehhez hasonlóan írtam le a titkárok terhelés elosztását, vagyis mindenki, aki titkár lehet, lehetőleg közel ugyanannyi vizsgát vállaljon titkárként. Emellett a vizsgáztatóknak is egyenletesen kell eloszlaniuk, náluk viszont ezt tantárgyanként van értelme vizsgálni, ugyanis egy tantárgyból általában több oktató is vizsgáztathat. Náluk is azt tűztem ki célul, hogy mindannyian hasonló mennyiségű hallgatót vizsgáztassanak az adott tantárgyból.

A tagok terhelése is a korábbiakhoz hasonlóan csak a többi taggal áll összehasonlításban, itt viszont fontos szempont, hogy a tagoknak van egy bizonyos feltöltő szerepük, vagyis itt preferáltan azok kerüljenek beosztásba, akiknek összességében még kisebb a terhelésük bármilyen más szerepkörben.

Mindezeket túl szeretném elérni, hogy a vizsgák egy adott napon preferáltan 9:00-kor kezdődjenek reggel, és 17:00-ig tartson az utolsó vizsga. Ennek egy kibővített időintervalluma volt a szigorú követelmények között, viszont ez lenne a preferált.

## **2.3 A pontrendszer**

A 2.2.2 fejezetben leírtam a választott követelményeimet, amelyekhez bizonyos pontszámokat rendeltem, így alakult ki a pontrendszerem, amivel egyértelműen

minősíthetővé, mérhetővé vált, hogy egy adott beosztás valójában mennyire jó. Ez tette lehetővé valójában a fejlesztést, hiszen ezen pontok alapján tudtam elkészíteni a beosztásaimat.

Alapvetően minden követelményhez tartozik egy 1 és 1000 közé tartozó pont. Minél nagyobb egy pontszám, annál fontosabb, hogy teljesítve legyen az adott követelmény, amelyhez a pontszám tartozik.

Ennek megfelelően a legszigorúbb feltételekhez 1000 közeli pontszám társul, ezzel jelezve, hogy ezek megszegése nagyon súlyos következményekkel járhat. A fontos, de kevésbé létfontosságú szigorú követelmények pontszáma is száz-as nagyságrendben mozog. Ezzel szemben a gyenge feltételek mindegyike 1 és 30 között mozog attól függően, mennyire fontos az adott feltétel teljesülése. A gyenge feltételek között ezáltal jobban megfigyelhetőek a különbségek, kvázi sorba is lehetne állítani a pontszámok alapján, hogy a gyenge feltételek közül melyik az, ami mégis lényegesebb, mint egy másik gyenge feltétel.

A szigorú és gyenge feltételek pontszámai között azért van ekkora ugrás, hogy amikor csak egy pontszámot látunk, egyértelműen kitűnjön, hogy az adott beosztás tartamaz-e olyan elemet, amivel egy szigorú követelményt szegett meg, és nem csak több gyenge feltétel áll fenn az adott esetben.

A következőkben bemutatom a pontszámok alakulását a különböző feltételek esetén.

### 2.3.1 Szigorú követelmények pontszámainak alakulása

<b>Követelmény</b>	<b>Pontszám</b>
Az elnök nem elérhető a vizsga alatt	<i>1000 pont</i>
A titkár nem elérhető a vizsga alatt	<i>1000 pont</i>
A vizsgáztató nem elérhető a vizsga alatt	<i>1000 pont</i>
Az elnök megváltozik a szekcióban (változásonként)	<i>1000 pont</i>
A titkár megváltozik a szekcióban (változásonként)	<i>1000 pont</i>
A vizsga nem kezdődhet 8:00 előtt	<i>140-0 arányosan a kezdés időpontjától függően</i>
A vizsga nem végződhet 18:00 után	<i>140-0 arányosan a zárás időpontjától függően</i>

### 2.3.2 Gyenge követelmények pontszámainak alakulása

Követelmény	Pontszám
Elnökök saját hallgatói lehetőleg az elnök szekciójában vizsgázzanak	<i>2 pont máshol vizsgázó hallgatónként</i>
Titkárok saját hallgatói lehetőleg az elnök szekciójában vizsgázzanak	<i>1 pont máshol vizsgázó hallgatónként</i>
Vizsgáztató nem az elnök, pedig más napon elnök	<i>1 pont</i>
Az elnök képzési szintje egyezzen meg a vizsgázó képzésével	<i>1 pont</i>
Az ebédszünet kezdődjön 11:30 után, és végződjön 13:40 előtt	<i>korábban kezdődik: 40 pont később végződik: 40 pont</i>
Az ebédszünet ne legyen 40 percnél rövidebb, az optimális 60 perc	<i>40 perc: 2 pont 50 perc: 1 pont 60 perc és több: 0 pont</i>
A belső tag nem elérhető a vizsga alatt	<i>5 pont</i>
A konzulens nem elérhető a vizsga alatt	<i>5 pont</i>
Az elnök terhelése az optimálistól eltérő	<i>50% feletti eltérés: 30 pont 50%-30%-os eltérés: 20 pont 30%-10%-os eltérés: 10 pont 10% alatti eltérés: 0 pont</i>
A titkár terhelése az optimálistól eltérő	<i>50% feletti eltérés: 30 pont 50%-30%-os eltérés: 20 pont 30%-10%-os eltérés: 10 pont 10% alatti eltérés: 0 pont</i>
A belső tag terhelése az optimálistól eltérő	<i>50% feletti eltérés: 30 pont 50%-30%-os eltérés: 20 pont 30%-10%-os eltérés: 10 pont 10% alatti eltérés: 0 pont</i>
A vizsgáztatók terhelése az optimálistól eltérő	<i>50% feletti eltérés: 30 pont 50%-30%-os eltérés: 20 pont 30%-10%-os eltérés: 10 pont 10% alatti eltérés: 0 pont</i>



## 2.4 A probléma komplexitása

A problémakör különleges nehézségét két részre bonthatjuk. Egyrészt meghatározó az állapottér nagysága már a leszűkített, 100 hallgatóból álló példán is. Másrészt a formalizálás során egymásnak ellentmondó problémákba ütköztünk, amiknek egyidejű kielégítése nem lehetséges.

### 2.4.1 Az állapottér nagysága

A beosztástervezés bizonyítottan NP-teljes probléma [3], ez adja a nehézségét. Jelen példában kiszámoltam, hogy mégis mennyire komplex jelen esetben a feladat, mennyi lehetséges beosztás létezik megközelítőleg egy 100 hallgatóból álló homogén leszűkített adathalmazban.

Adott 100 hallgató, őket  $100!$  féleképpen lehet beosztani egy-egy vizsgaidőpontra, ha feltételezzük, hogy folyamatosan jönnek a hallgatók, az ebédszüneteken kívül nincs más szünet az adott napban. Hozzájuk egyértelműen meghatározható a konzulensük, így őket nem kell külön figyelembe venni.

Jelen esetben 4 olyan oktató van, aki elnöki szerepet tölthet be. Teoretikusan mindegyik vizsgán bármelyik elnök részt vehet, ami  $4^{100}$  lehetőséget jelent a 100 vizsga esetén.

A következő szereplő a titkár, amelyen szerepet jelent adathalmazomban 9 fő tölthet be, ami az elnöki beosztáshoz hasonlóan  $9^{100}$  lehetőséget foglal magában. Továbbá belső tag szerepét 10 oktató töltheti be, ami  $10^{100}$  lehetséges kombinációt ad.

Az utolsó szereplő egy záróvizsgán a vizsgáztató, amelyből egy BSc-s záróvizsgázónak egy van, ugyanis egy, hozzá egyértelműen meghatározható tárgyból kell vizsgáznia. Általosan egy tárgyból 3 oktató vizsgáztathat, ami további  $3^{100}$  lehetőséget ad.

Mindezeket összegezve  $100! \times 4^{100} \times 9^{100} \times 10^{100} \times 3^{100}$  lehetőséget ad, ami megközelítőleg  $10^{462}$  lehetséges beosztást jelent. Ez természetesen csak egy alsó becslés, hiszen feltételeztem, hogy előre adott a 100 időpont, ami a valóságban szintén egyeztetés tárgya lehet.

## **2.4.2 Egymásnak ellentmondó feltételek**

A feladat bonyolultságát adja, hogy a korábban meghatározott követelményeim egy része természetéből adódóan ellentmond egymásnak erre mutatok a következőkben néhány példát.

Az egyes oktatók különböző szerepkörökben egyenletes eloszlását szeretném elérni, viszont az is cél lehet, hogy az oktatók teljes terhelése egyenletes legyen. Ezen feltételeket nem lehet egyszerre teljes mértékben teljesíteni, mivel csak bizonyos oktatók tölthetnek be adott szerepközöket.

Az oktatók terheléseloszlása amiatt sem lehet egyenletes, mert vannak olyan oktatók, akiknek kevés hallgatójuk van, és további pozíciót nem vállalhatnak. Vannak azonban olyan oktatók is, akiknek nagyon sok hallgatójuk van, és mivel minden konzultált hallgatójuk védésén részt kell venniük, már így nagyobb terhelést érnek el, mint az átlagos oktatói terhelés.

Olyan szituáció is előfordulhat továbbá, hogy egy hallgatóhoz tartozó konzulens elérhetőségeinek, és a hallgató vizsgatárgyához tartozó vizsgáztatók elérhetőségeinek nincs közös metszete.

## 3 Irodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben részletezem a beosztástervezés különböző megközelítéseit, valamint bemutatom ezek eredményeit és korlátait. Sajnos ezek az általános megközelítések egy bonyolultabb problémakörre, mint például a záróvizsga beosztás, nem alkalmazhatók, viszont az ott használt megközelítések segítettek abban, hogy hogy is lenne érdemes a probléma megoldásának.

### 3.1 Beosztástervezés az irodalomban

A beosztástervezés egy széles körben kutatott téma az irodalomban, hiszen nagyon sok lehetőség van benne. Az életünk sok területén van szükség beosztások elkészítésére: lehet szó akár egy órarend elkészítéséről, napirendi beosztásokról, de dolgozók beosztása egy munkahelyen is ebbe a témakörbe tartozik.

Évtizedek óta próbálkoznak bizonyos különböző feladatokra minél hatékonyabb, minél gyorsabb és minél jobb eredményt adó megoldásokat keresni. Ezt bizonyítja, hogy évről évre megrendezésre kerül a nemzetközi beosztástervezési verseny [4], valamint már nagy hagyományra visszatekintő, két évente megrendezésre kerülő konferencia, ami az automatikus beosztáskészítése elméleti és gyakorlati szempontjait taglalja. [5]

A beosztástervezésnek három különböző alap fajtáját különböztetik meg az irodalomban. [6] Ezek azok a témák, amelyek mentén a kutatások fő vonala zajlik napjaink során is.

#### 3.1.1 School timetabling

A beosztástervezési feladatok első, legalapvetőbb típusa az iskola órarend elkészítésének példája. Ez magában foglalja egy oktatási intézmény heti rendszerességű beosztását. Elsősorban általános és középiskolások órarendjére kell gondolni, amelynek során minden osztály órarendjének elkészülésének folyamatát veszi górcső alá. A legfontosabb szempontok, hogy egy tanár egyszerre csak egy órát tarthat, minden diáknak egyszerre csak egy órája lehet, valamint egy teremben egyszerre csak egy óra lehet.

Ez a feladat típus nem alkalmazható a záróvizsgabeosztás elkészítésére, mert egy iskolai órarend beosztása során 3 dimenzióknak van: tanárok, osztályok, tantermek. Míg egy záróvizsga elkészítése során a legnagyobb nehézséget a tanárok különböző

szerepkörei adják, amiket az iskolai beosztás nem vesz figyelembe semmilyen szempontból.

### **3.1.2 Course timetabling**

A következő típus már egy komplexebb feladatkörnek bizonyul. Ebben a feladatkörben azt vizsgálják, hogy hogyan lehet egy egyetemi vagy főiskolai kurzusok beosztását elkészíteni.

Látható, hogy egy egyetemi környezetben a heti rendszerességű beosztás bonyolultabb, mint a 3.1.1 fejezetben leírt iskolai beosztás. Ezt az okozza, hogy egy felsőoktatási intézményben nincsenek pontosan meghatározott osztályok. Vannak hallgatók, akik bizonyos szempontok szerint hasonló csoportba sorolhatunk (például az egy évben kezdett azonos szakon tanuló hallgatók), de a rendszer sajátosságai miatt vannak átmenetek a csoportok között.

Ennek megfelelően ebben a problémakörben az a célunk, hogy egy hallgatónak a várható kurzusfelvételei ne ütközzenek, vagyis minimalizálni kell azon órák egy időpontba történő beosztását, amiket várhatóan egy hallgatói csoport tagjainak hallgatnia kell.

Ennél a témánál is látható, hogy noha az iskolai beosztáshoz képest már bonyolultabb beosztással nézünk szembe, nem feleltethető meg ez a problémakör sem a záróvizgábeosztás témájának.

### **3.1.3 Examination timetabling**

Az irodalomban tárgyalt harmadik fő típusa a beosztástervezésnek a vizgábeosztás ütemezését tárgyalja. Gondolhatnánk, hogy ez lesz az a téma, ami majd megfelel a záróvizsga beosztás elkészítésének, amiben van valamennyi ráció, ugyanis ez áll a legközelebb hozzá, de könnyen belátható, hogy az ezen témát feldolgozó algoritmusok sem alkalmazhatóak a záróvizgábeosztás elkészítésére egy az egyben.

Ez a terület ugyanis azt a problémát hivatott tárgyalni, hogy egy felsőoktatási intézmény vizsgaidőszakának beosztását hogyan készítsük el. Itt a célunk az, hogy azoknak a vizsgáknak, amelyeket vélhetően ugyanazoknak a hallgatóknak kell teljesíteni, ne legyenek egy időpontban. Ezenkívül a hallgatók vizsgáit amennyire csak lehet, „szét kell szórni”, ami azt jelenti, hogy minél több idejük legyen egy-egy vizsga között, ezzel elősegítve a vizsgák sikerességét. A termekre is figyelni kell, hiszen maximális

befogadóképességet nem létheti túl a vizsgázók száma, de érdekesség, hogy több kisebb létszámú, azonos időtartamú vizsgát meg lehet tartani akár egy teremben is.

## 3.2 Optimalizálási megközelítések

Látható, hogy az irodalomban kutatott témák általános eseteit nem lehet megfelelteti a záróvizsgabeosztás elkészítésének folyamatára, mert más követelmények, más szempontok, más szereplők alkotják a problémakört.

Mivel továbbra is beosztástervezésről beszélünk, nem szabad elvetni az általános esetek megközelítéseit, hiszen támpontot adhatnak ahhoz, hogy egy bonyolultabb problémára, mint például a záróvizsgabeosztás hogyan is lehetne beosztást automatikusan készíteni.

Az egyik ilyen megközelítés a tabu keresés. Ennek lényege egy folyamatos optimalizáció, melynek során megpróbálja elkerülni a már meglátogatott állapotokat, és minden lépésben egy új állapotot fedez fel, így akár a minimum „állapotgödréből” is kimászik. A záróvizsgabeosztás esetében ennek a megfelelő környezetnek a megtalálása okozhatja a problémát. [7]

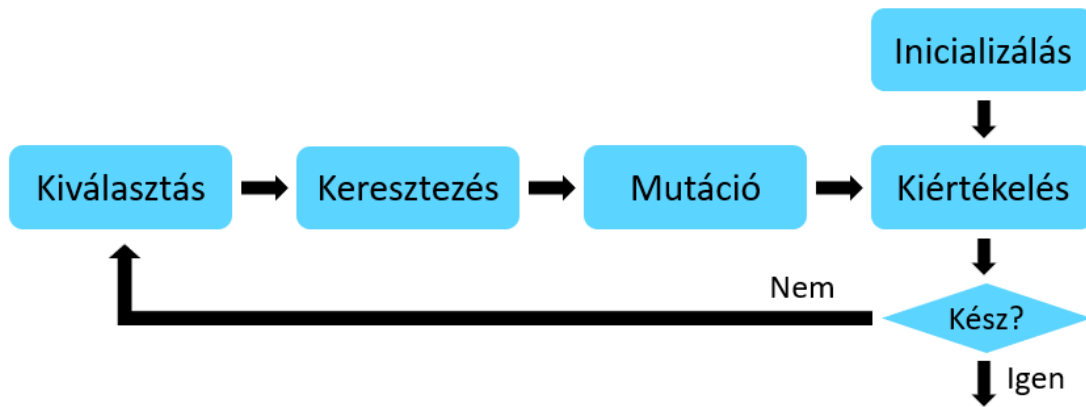
Egy másik érdekes megközelítés a Superstar Assignment Technique (SAT) [8]. Ennek lényege, hogy a problémára legenerálja az összes lehetséges szám  $n$ -est, majd különböző technikákkal kiválogatja a legjobbkat. Ennek a módszernek az adja a korlátját záróvizsgabeosztás esetén, hogy szinte lehetetlen lenne az összes esetet legenerálni a nagy komplexitás miatt.

Az irodalomban ezenkívül még a Particle Swarm Optimization algoritmust érdemes említeni [9], amely a globális optimumot igyekszik megtalálni, valamint az ebből képzett hibrid megoldások is számottevők. [10]

A Genetikus algoritmus bizonyult az egyik leglényegesebbnek a kutatások során a beosztástervezés témakörében. [11] Az algoritmus működését a 3. ábra írja le. A genetikus algoritmus gének kombinációival készíti el a beosztást.

A génekből kromoszóma épül fel, melyekből különböző méretű populációt lehet generálni. Először is el kell végezni az inicializálást, ami kezdeti beosztás elkészítését jelenti. A kiértékelés fázisban egy fitness függvényt vizsgálunk meg, amely a beosztás jóságát vizsgálja.

Ha még nem vagyunk kész a beosztással, akkor egy megadott méretű populációt hozunk létre a kromoszómák különböző kombinálásával. Utódok létrehozásához kiválaszthatjuk a nekünk tetsző egyedeket, majd ezeket keresztezhetjük és mutálhatjuk egy minél jobb beosztás elérése érdekében.



3. ábra - Genetikus algoritmus működése

## 4 Kutatás

A kutatásom során kétféle megközelítést alkalmaztam a záróvizsga beosztásának problémájára. A legígéretesebb és irodalomban is használt algoritmus a genetikus algoritmus volt [12], így először ezt a módszert választottam a kérdéskör megoldására. Az ismert genetikus algoritmust kellett kibővítenem a feladat specialitása miatti elemekkel, ezen fejezetben ezeket a részleteket fogom bemutatni.

A második megoldásom a heurisztikus alapú algoritmus volt, amelyet azért választottam, mert ez áll legközelebb a kézzel készült beosztások menetéhez, így ennek a megközelítésnek az automatizálása is egy jó ötletnek bizonyult. Ezen algoritmusom megoldásait szeretném szintén bemutatni.

### 4.1 Az adatábrázolás

A feladatom során az algoritmusaimat 100 BSc-s mérnökinformatikus hallgató beosztásán teszteltem. Ehhez először megvizsgáltam az eddig kézzel készített beosztások adatainak forrását. Ez különböző Excel táblázatokat jelentett, összesen 13 füllel, ahol átláthatatlanul, nem konzisztensen tárolt adatokkal szembesültem.

Az adatok védelme érdekében a hallgatókat csak keresztneveikkel jelöltem, illetve az egyedi azonosítást szolgáló kódot egy fiktív kóddal helyettesítettem.

Az elkészült beosztások szintén csak a készítője számára voltak teljesen egyértelműek, sok olyan adatot tartalmaztak, ami a beosztás elkészítéséhez szükségesek voltak, viszont a végső beosztásban nem játszottak szerepet, ezzel az átláthatóság sérült ezen esetben is.

#### 4.1.1 Bemeneti adatok

Ennek megfelelően legelső feladatomban az bizonyult, hogy hogyan hozzak létre egy automatikus feldolgozáshoz alkalmas felület sémát, amely csak a beosztás szempontjából lényeges adatokat tartalmazza, de szemmel is jól olvasható, átlátható, minimális.

Excel táblázat létrehozását tartottam a legalkalmasabbnak, mert az emberi szemmel is jól olvasható, de a programomból is jól be tudom olvasni. A táblázat kezelésére az EPPlus nuget könyvtárat használtam. [13]

Egy táblázatot hoztam létre az egyszerűség kedvéért, ami három munkalapot tartalmaz, melyek a beosztás három dimenzióját ábrázolják: hallgatók, oktatók, vizsgatárgyak. Ezeknek a lényeges adatait mutatnám most meg nagyvonalakban, hogy a későbbiekben érthető legyen, hogyan is használtam fel ezeket.

#### 4.1.1.1 Hallgatók adatai

Az 1. táblázat - Hallgatók adatainak egy részlete. A táblázat mutatja a hallgatók munkalapjának egy részletét. Csak a fontos adatokat tartalmazza, melyek egymás mellett sorban az alábbiak: a hallgató neve, egyértelmű azonosítására szolgáló kódja, konzulense, hallgató vizsgatárgya, valamint a vizsgatárgy tárgykódja. A legutolsó adat redundánsnak tűnhet, viszont egy-egy tárgy évente változik, részben átalakul a tematika, ezáltal már nem teljesen ugyanarról a tárgyról beszélünk, noha a nevük még lehet ugyanaz maradt. Az egyszerre záróvizgázó hallgatók pedig nem egy-egy évfolyam hallgatói, vannak átfedések.

Name	Neptun	Supervisor	Exam course	Course code
János	Z	Rajacsics Tamás	3D grafikus rendszerek	BMEVIIIAC01
Gábor	F	Ekler Péter	Adatvezérelt alkalmazások fejlesztése	BMEVIAUA369
László	F	Blázovics László	Adatvezérelt rendszerek	BMEVIAUAC01
Gábor	V	Gincsei Gábor	Adatvezérelt alkalmazások fejlesztése	BMEVIAUA369
Balázs	E	Tóth Tibor	Kliensoldali technológiák	BMEVIAUAC02
Gergely Sándor	E	Ekler Péter	Kliensoldali technológiák	BMEVIAUAC02
Márton	M	Forstner Bertalan	Adatvezérelt alkalmazások fejlesztése	BMEVIAUA369
Norbert	C	Kővári Bence András	Kliensoldali technológiák	BMEVIAUAC02
Márton József	C	Blázovics László	Adatvezérelt rendszerek	BMEVIAUAC01
Márton Szabolcs	Y	Ekler Péter	Adatvezérelt rendszerek	BMEVIAUAC01
Viktor	M	Ács Judit	Alkalmazásfejlesztési környezetek	BMEVIAUAC04
Balázs	K	Forstner Bertalan	Kliensoldali technológiák	BMEVIAUAC02
Marcell Péter	F	Tóth Tibor	Alkalmazásfejlesztési környezetek	BMEVIAUAC04
Balázs	M	Ács Judit	Objektumorientált szoftvertervezés	BMEVIIIAC00
Antal Tamás	AK9E18	Dunaev Dmitriy	Adatvezérelt alkalmazások fejlesztése	BMEVIAUA369

1. táblázat - Hallgatók adatainak egy részlete

#### 4.1.1.2 Oktatók adatai

A 2. táblázatban látható az oktatók adattáblájának egy részlete. Ennek különlegessége, hogy három fontos szerepkört egy-egy oszlop jelzi: ott található egy „X”, ha az adott oktató az adott szerepkört betöltheti. Ezek a szerepek az egyértelműség kedvéért sorban: Elnök, belső tag, titkár.



Ezek után az oktatók elérhetősége található meg sorban, hogy az adott nap adott időpontjában ráér-e vagy sem.

Az oktatók nevénél hajtottam végre egy egyszerűsítést, ugyanis ez az eredeti adatokat felhasználva konfliktust okozott. Ugyanis a korábbi kézzel készült táblázatokban a doktori titulussal rendelkezők volt, hogy a Dr. előtaggal, és volt, hogy anélkül voltak megjelenítve. Így egységesen ezt az előtagot eltüntettem.

Name	President	Member	Secretary	2018.01.04. (csütörtök)							2018.01.05. (péntek)												
				8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00		
Ács Judit				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Albert István				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Asztalos Márk		x		x						x	x	x	x	x	x	x	x	x					
Benedek Zoltán				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Blázovics László		x		x	x	x	x	x	x						x	x	x	x	x	x	x	x	x
Braun Patrik János			x																				
Budai Ádám			x																				
Charaf Hassan	x									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cserkúti Péter						x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x
Csorba Kristóf		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dudás Ákos		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x
Dunaev Dmitriy						x	x	x	x	x	x												
Ekler Péter		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

2. táblázat - Oktatók adatainak egy részlete

#### 4.1.1.3 Tantárgyak adatai

A következőkben a tantárgyak adatainak ábrázolását mutatom be a 3. táblázat segítségével. Itt látható, hogy egy tárgyat egy oszlop reprezentál: tárgykód, tárgy neve, és alatta azok az oktatók, akik az adott tárgyból vizsgáztathatnak.

BMEVIIIAC01	BMEVIAUA369	BMEVIAUAC01	BMEVIAUAC04	BMEVIMIAC01
3D grafikus rendszerek	Adatvezérelt alkalmazások fejlesztése	Adatvezérelt rendszerek	Alkalmazás-fejlesztési környezetek	Informatikai rendszertervezés
Szécsi László	Dudás Ákos Gincsei Gábor Asztalos Márk Albert István Cserkúti Péter Benedek Zoltán	Dudás Ákos Benedek Zoltán Imre Gábor	Csorba Kristóf Bányász Gábor Filep Szabolcs	Micskei Zoltán Imre

3. táblázat - Tantárgyak adatainak egy részlete

## 4.1.2 Kimeneti adatok

Az algoritmusom kimenete természetesen az elkészült beosztás, amelyet egy kódból generált Excel táblázatban ábrázoltam. Egy példa beosztást a 4. táblázatban mutatok be.

A táblázatomban egy sor jelent egy vizsgát, sorban az oda beosztott emberekkel: hallgató, konzulens, elnök, titkár, belső tag, vizsgálótató. A szekciók határait a vízszintes vonalak jelzik, a vastagabb vonal a napok határát.

Student	Supervisor	President	Secretary	Member	Examiner
Norbert	Forstner Bertalan	Charaf Hassan	Fekete Tamás	Recski Gábor András	Kővári Bence András
Bence Zsigmond	Ekler Péter	Vajk István	Fekete Tamás	Kővári Bence András	Kővári Bence András
Gergő	Hamar János Krisztián	Vajk István	Fekete Tamás	Kővári Bence András	Filep Szabolcs
Péter Krisztián	Dudás Ákos	Vajk István	Fekete Tamás	Kővári Bence András	Dudás Ákos
Levente	Hideg Attila	Vajk István	Fekete Tamás	Asztalos Márk	Dudás Ákos
Márk	Ekler Péter	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Recski Gábor András	Asztalos Márk
Gábor	Ekler Péter	Vajk István	Fekete Tamás	Iváncsy Szabolcs	Albert István
Dorottya	Ács Judit	Vajk István	Fekete Tamás	Recski Gábor András	Kővári Bence András
Dániel	Albert István	Vajk István	Fekete Tamás	Ekler Péter	Benedek Zoltán
Marcell Péter	Tóth Tibor	Vajk István	Fekete Tamás	Iváncsy Szabolcs	Bányász Gábor
Bence	Imre Gábor	Vajk István	Fekete Tamás	Dudás Ákos	Bányász Gábor
Péter Géza	Ács Judit	Vajk István	Fekete Tamás	Asztalos Márk	Kővári Bence András
Tamás	Szabó Gábor	Vajk István	Fekete Tamás	Kovács Tibor	Kővári Bence András
Benedek	Blázovics László	Vajk István	Fekete Tamás	Blázovics László	Kővári Bence András
András Gábor	Forstner Bertalan	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Asztalos Márk	Imre Gábor
Ádám	Ekler Péter	Vajk István	Fekete Tamás	Kovács Tibor	Kővári Bence András
Virág	Kis-Nagy Dániel Dávid	Vajk István	Fekete Tamás	Ekler Péter	Gincsei Gábor
Márk	Kőkényesi Tamás	Vajk István	Fekete Tamás	Dudás Ákos	Strausz György
Olivér	Imre Gábor	Vajk István	Fekete Tamás	Recski Gábor András	Kővári Bence András
Ádám	Kővári Bence András	Vajk István	Fekete Tamás	Asztalos Márk	Benedek Zoltán

4. táblázat - Egy beosztás egy részlete

A beosztásom különlegessége, hogy nemcsak az elkészült beosztást mutatja, hanem nagyon sok kiegészítő információt tartalmaz afelől, hogy az elkészült beosztásom mennyire is jó. Viszont ezt beállíthatóvá tettem, vagyis ha csak magára a beosztásra van szükségünk, nem kell plusz információkat generálni.

A beosztáson feltűnhetnek különböző színezések. Ha bármilyen színűre beszínezte a táblázatomban az adott cellát, az azt jelenti, hogy az adott ember oda lett beosztva, valamilyen követelmény sérült. A szín árnyalata jelzi azt, hogy milyen súlyos ez a hiba. Minél pirosabb, annál rosszabb, hogy az adott szereplő ott tartózkodik.

Láthatók sárgás árnyalatok, amelyek az enyhe kritériumok sérülését jelzik. Minél narancssárgásabb a színe, annál nagyobb jelentőségű enyhe feltétel sérült. A piros árnyalat más valamely erős kritérium(ok) sérülését jelzi.

Ez a módszer messziről is jól láthatóan ábrázolja a problémás helyeket, de emellett minden ilyen színezett mezőre kommentben odairattam, hogy milyen feltétel károsulása okozza a problémát. Erre mutat egy példát a 4. ábra. Látható, hogy itt az adott konzulens nem elérhető a beosztása pillanatában, amiért 5 büntetőpont járt, valamint nem egyezik meg a titkárral, pedig lehetett volna, ezért 1 pont büntetést kapott. Így összesen 6 pontja van, ami egy narancssárgásabb árnyalatú színezést eredményezett.

Szabó Gábor	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Kovács
Gazdi László	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Kovács
Rajacsics Tamás	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Kovács
Ács Judit	Vajk István	Fekete Tamás	Kovács
Kis-Nagy Dániel Dávid	Vajk István	Fekete Tamás	Kovács

Supervisor not available: 5  
Not Secretary: 1

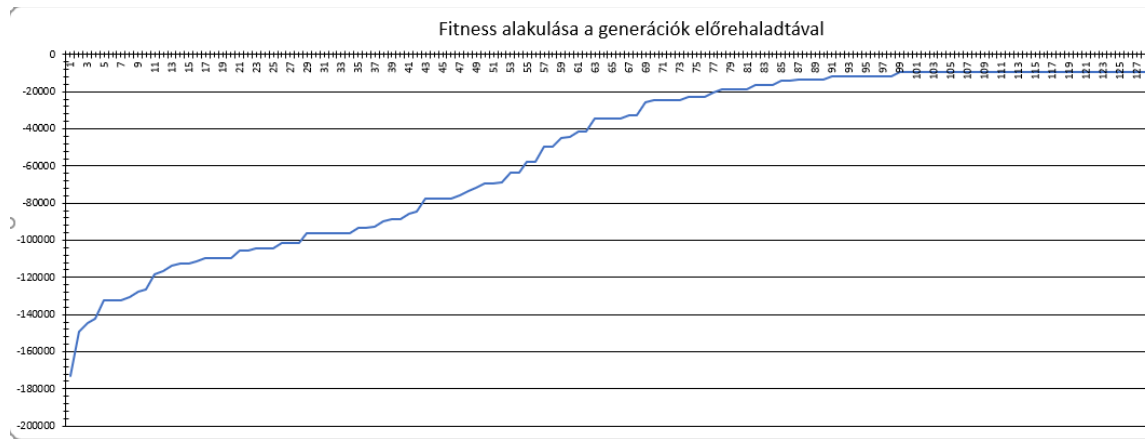
4. ábra - Kommentben a sérült követelmények és a pontszámok

Van azonban olyan követelmény, amelynek teljesülését nem lehet egy-egy cellára írni. Ilyen például az oktatók terhelésének eloszlása, amire egy új fület hoztam létre a beosztás táblázatban. Erre mutat egy példát az 5. táblázat, ahol az elnökök, titkárok és belső tagok szerepét betölthetők vannak felsorakoztatva, és mellettük látható, hogy hány vizsgán vesznek részt az adott szerepkörben. (Az ábrán látható terheléseloszlás nem túl jó, csak a szemléltetés kedvéért mutatom be.)

Presidents	Nr of exams	Secretaries	Nr of exams	Members	Nr of exams
Charaf Hassan	5	Braun Patrik János	0	Asztalos Márk	9
Forstner Bertalan	35	Budai Ádám	1	Blázovics László	11
Lengyel László	8	Fekete Tamás	95	Csorba Kristóf	5
Vajk István	52	Gazdi László	1	Dudás Ákos	8
		Hideg Attila	3	Ekler Péter	8
		Jánoky László Viktor	0	Iváncsy Szabolcs	15
		Pomázi Krisztián	0	Kovács Tibor	16
		Somogyi Ferenc Attila	0	Kővári Bence András	6
		Tömösközi Máté Ferenc	0	Mezei Gergely	8
				Recski Gábor András	14

5. táblázat - Oktatók terhelése szerepenként

A genetikus algoritmushoz egy extra szemléltető grafikont is készítettem, ami mutatja generációnként az elkészült algoritmus „jóságát”, vagyis a fitness függvény pontszámát. Erre egy példa a 5. ábra, ahol látható, hogy milyen szépen javul az adott lefutás során a beosztásom.



5. ábra - Grafikon képe a fitness függvény javulásáról egy lefutás során

## 4.2 Genetikus algoritmus

Az első megközelítem során a genetikus algoritmust használtam fel, melynek általános működését a 3.2 fejezetben mutattam be. Az algoritmusomnak keretet ad a GeneticSharp nevű genetikus algoritmust implementáló nyílt forráskódú program. [14]

Ezen projektet alapul véve fejlesztettem ki a záróvizsga beosztást elkészítő programomat. Létrehoztam a kezdeti egyedeket, saját mutációt implementáltam. A legnagyobb kihívást azonban a fitness függvény létrehozása adta, ami alapján értékelni lehet a beosztásokat.

### 4.2.1 Kromoszóma, kezdeti adathalmaz

Beosztásom elkészítéséhez először meg kellett határoznom a genetikus algoritmus alapkövét, a kromoszómákat, amelyeket a generációk előrehaladtával lehet javítani, fejleszteni.

Egy kromoszóma génekből épül fel, ezek cseréje, változása mentén alakulhat ki a végső eredmény. Ezért egy génnek a beosztások egy-egy sorát, vagyis egy-egy záróvizsgát választottam. Egy gén ennek megfelelően egy vizsgázó-konzulens-elnök-titkár-belső tag-vizsgáztató kombinációjából épül fel. A kromoszómámat ezekből a génekből építettem fel, így egy kromoszóma egy teljes beosztásnak felel meg.

A genetikus algoritmus alapja az inicializálás során egy kezdeti adathalmaz létrehozása. Ezt tudja a későbbiekben az algoritmus folyamatos fejlesztések során egyre jobbá és jobbá tenni. A kiindulási adat általában véletlenszerű, viszont megoldásomban nem teljesen random megoldást választottam.

Kellőképpen okossá tettem a kezdeni adataimat, hogy gyorsabban el tudjon indulni egy helyes beosztás irányába, viszont nem tartalmaz túl sok konkrétumot, így nem indul el egy véletlenszerűen kiválasztott lokális optimum irányába. Ezt a nem teljesen véletlenszerű kezdeti egyedet úgy határoztam meg, hogy olyan szereplők jelenjenek meg az egyes helyeken, akik ott lehetnek, ezáltal elérve azt, hogy őket ne kelljen külön kiszűrni.

Egy kezdeti gén az alábbi módon épül fel: először is kiválasztok egy tetszőleges hallgatót, majd egyből hozzárendelem a saját konzulensét, hiszen ők egy olyan párt alkotnak, ami semmilyen beosztás esetén nem lehet különböző. Az elnök, a titkár, valamint a belső tagnak kezdetben beírhatnék egy-egy tetszőleges oktatót is, viszont sokkal kézzelfoghatóbb megoldást nyújt, ha egyből csak olyan oktatókat írok be ezekre a pozíciókra, akik ezeket a szerepeket egyáltalán betölthetik. Mindezek mellett a vizsgáztató marad már csak: őt szintén nem teljesen véletlenszerűnek választom, hanem a beosztott hallgató vizsgatárgyából vizsgáztató hallgatók közül választok egyet a kezdeti egyedembe.

## **4.2.2 Fitness**

Az egyik legnagyobb kihívás a fitness függvény meghatározása, ugyanis ezzel lehet meghatározni, hogy mit is szeretnék elérni a genetikus algoritmussal. Ennek az alapja a 2.3 fejezetben meghatározott pontrendszerem, ugyanis lényegében a fitness függvényemnek azt kell meghatároznia, hogy az adott beosztás mennyire jó, és minél jobb a fitness függvény eredménye, annál jobb a beosztás.

Így minden egyes beosztásra ellenőrzöm a követelmények teljesülését minden záróvizsgára. A megtalált sérült követelményhez hozzárendelem a pontszámát, melyeket különböző súlyfüggvényekkel vizsgálok. Végül ezeknek az eredményét összegzem, vagyis lényegében a sérült követelmények pontszámait összeadom, ebbe beleértve azt, hogyha egy adott követelmény több hallgató beosztásánál is sérül, annyiszor adom hozzá, ahányszor nem teljesült az adott feltétel.

Így minden egyes követelményhez, minden egyes pontszám vizsgálatához készítettem egy súlyfüggvényt, amely végigmegy a beosztáson, és megvizsgálja az adott feltétel teljesülését, összegzi, majd vesszük az ellentettét, vagyis a negatív megfelelőjét, hiszen a genetikus algoritmus minél nagyobb pontszámú fitness függvény elérésére törekszik, így a pontszámaim büntetőpontokként foghatók fel: minél súlyosabb követelmény sérül, annál több pontot vonok le.

A fitness függvényem javulása és a javulás mértéke adja meg azt is, hogy meddig fut az algoritmusom. Ha egy bizonyos generációs szám eltelte után már nem javul tovább a fitness függvényem, leállítom az algoritmus futását, hiszen nála jobb eredményt nem tud elérni a megadott beállításokkal.

### **4.2.3 Mutációk**

A mutációk során céлом az, hogy a gének módosításával, és ne csak vizsgák véletlenszerű cserélgetésével érjek el változást, hanem irányítottan, a saját követelményeim teljesülésének irányába mozdítsam el a beosztásomat. (A követelményeim a 2.2.2 fejezetben fejtettem ki.) Ennek érdekében többféle mutációt vezettem be.

Először is kellett egy véletlenszerű mutáció, amely egy tetszőleges gént tetszőleges módon változtat meg. Ez azért szükséges, hogy ne ragadjon lokális optimumban a beosztásom, ne csak egy helyileg jónak tűnő megoldást válasszon, amiből nem tud kilépni, mert csak apró változtatásokat végez.

A többi saját mutációm azért készítettem, hogy gyorsabban elérjem a célt, vagyis irányítottan változtatgassak a beosztáson, ne csak véletlenszerűen. Ezen mutációim egyik célja az volt, hogy az erős követelményeim teljesülését elősegítsem, a másik céлом pedig az, hogy a gyengébbek, és kevésbé fontosak, amelyeket esetleg nehezebben ér el magától véletlenszerű cserélgetések által, mégis teljesüljön.

#### **4.2.3.1 Szigorú feltételek teljesülésére irányuló mutációk**

Első ilyen fontos követelményt teljesítő mutációm arra irányult, hogy egy szekcióban ugyanaz legyen az elnök. Ezt úgy értem el, hogy megvizsgáltam, az adott szekcióban ki az az elnök, aki a leggyakrabban előfordul. Ezekután pedig bizonyos valószínűséggel az összes ezen szekcióban lévő elnököt lecseréltem arra, aki a leggyakrabban fordult elő. Ha több ilyen is volt, akkor a leggyakrabban előfordulók közül

véletlenszerűen választottam ki, hogy ki kerüljön be mindegyik vizsga elnökének pozíciójába az adott szekcióban.

Másik fontos követelményem, hogy az elnök legyen elérhető a vizsga pillanatában. Ez szintén erős követelmény, így készítettem erre irányuló mutációt. Ezt úgy oldottam meg, hogy kicserélem bizonyos valószínűséggel az adott elnököt, ha nem elérhető, egy olyan elnökre, aki adott pillanatban, mikor a szóban forgó vizsga történik elérhető.

Az elnökhöz hasonlóan hasonlóak az elérhetőségi követelmények a titkára is, így neki megfelelően készítettem egy ilyen mutációt is, ami a nem elérhető titkárt cserélni elérhető titkára. Emellett a titkároknak sem szabadna cserélődniük egy-egy szekcióban, így erre is egy saját mutációt készítettem.

#### **4.2.3.2 Gyenge feltételek teljesülésére irányuló mutációk**

Vannak olyan gyenge feltételek, amelyek teljesülés jobbá teszi a beosztást, viszont nem akkora hangsúllyal, ezáltal könnyen elveszik a jelentősége a fontosabb követelmények mellett, ezért szerettem volna, hogy ezek is minél nagyobb arányban teljesüljenek.

Egyik ilyen feltételem, hogyha egy hallgatónak a konzulense lehetne akár elnök is, akkor büntetőpont jár érte, ha mégsem ő az elnök. Ennek érdekében készítettem egy olyan mutációt, amely ha az adott konzulens lehetne elnök, de nem ő az, akkor kicseréli az adott elnököt bizonyos valószínűséggel a hallgató konzulensére.

Másik gyenge követelményemet teljesíti azon további mutációm, amely akkor léphet életbe, ha a vizsgázó konzulense tölthetne be titkár szerepet, de mégsem ő a titkár a vizsgáján. Ekkor az titkárt a hallgató konzulensére változtatom.

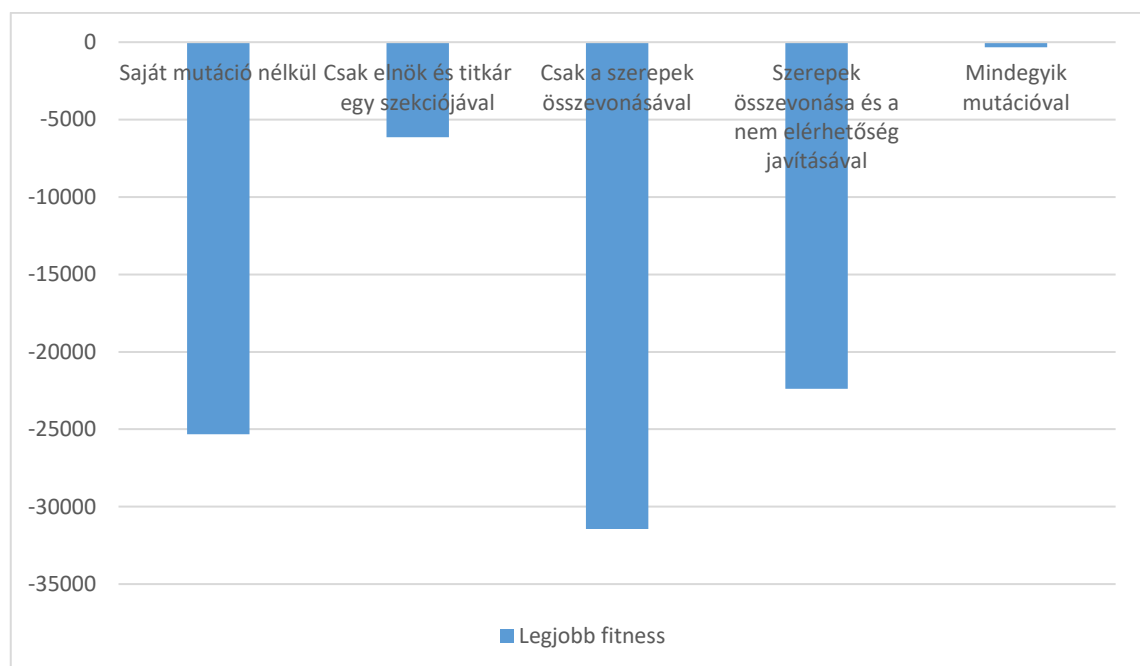
#### **4.2.3.3 Mutációk értékelése**

Látható, hogy a fenti követelmények, és az ezeken alkalmazott mutációk is egymásnak ellent mondhatnak: például az elnököt megváltoztatom egy másik elnökké akkor, ha nem ugyanaz mindegyik a szekciójában, ha nem elérhető, ha nem egyezik meg a konzulenssel. Egyetlen generáció lefutása során is könnyen előfordulhatna, hogy egyik követelmény sem teljesült eredetileg, és mindegyik mutációm sorban megváltoztatja valami másra az elnököt.

Amiatt, hogy ne legyen ennyire drasztikus a változás, és engedjek teret a nagyobb beosztásbeli változásnak is a globálisan optimális beosztás elérésének érdekében, mindegyik mutációt egy már emlegetett „bizonyos valószínűséggel” hajtom csak végre. Ez a valószínűség azt jelenti, hogy ha az adott követelmény nem is teljesül, ne mindig változzon meg a beosztás az adott mutáció irányába. A mutációk különböző kombinációja, és különböző valószínűséggel való alkalmazása kiadja, hogy hogy is lehetne elérni a megfelelő beosztást.

#### 4.2.4 Elkészült beosztás

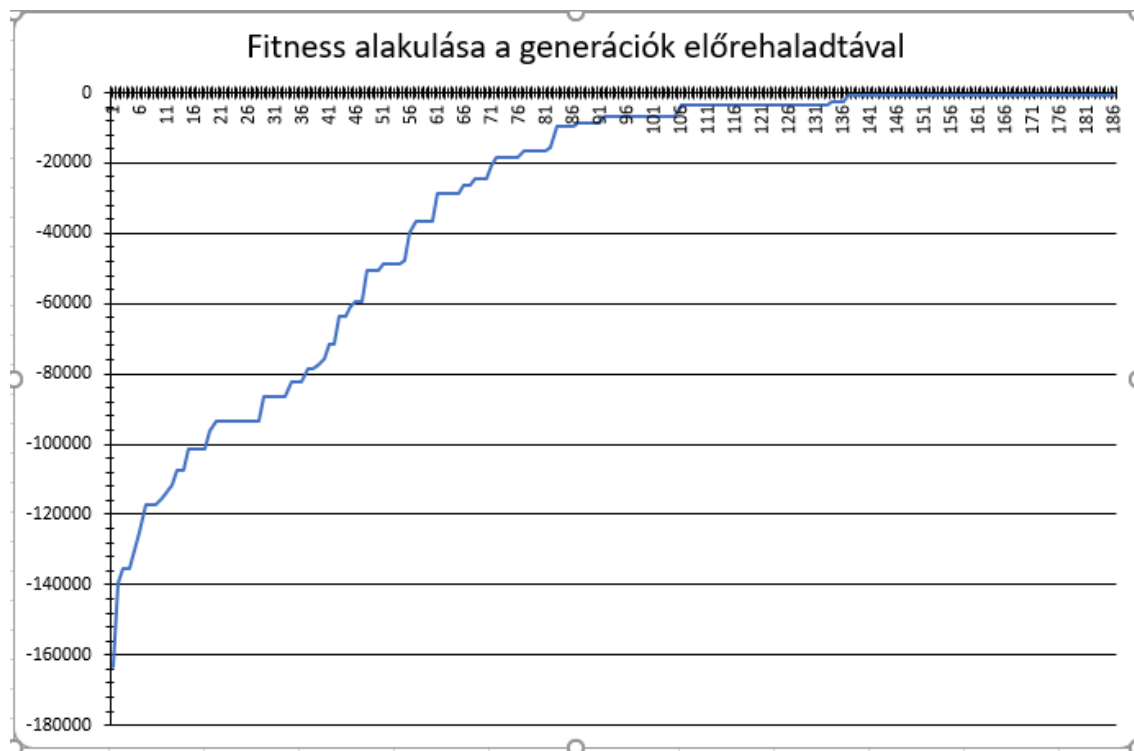
A beosztásom jóságát az határozta meg, hogy melyik mutációkat milyen valószínűséggel használtam. A 6. ábra segítségével szemléltetem az egyes mutációk fontosságát, és a végeredményt, hogy melyik mutációs kombináció hozta a legjobb eredményt.



6. ábra - Grafikon a legjobb fitness alakulásáról különböző mutációs kombinációk esetén

Látható, hogy a legjobb eredményt akkor produkálta az algoritmusom, ha az összes mutációt használtam. Ezen lefutás esetén a 7. ábra mutatja a generációk előrehaladtával hogyan alakult ki az optimális megoldás.





7. ábra - Fitness alakulás a legjobb beosztás esetén

Norbert	Kővári Bence András	Vajk István	Pomázi Krisztián	Iváncsy Szabolcs	Kővári Bence András
Máté Ákos	Blázovics László	Vajk István	Pomázi Krisztián	Kővári Bence András	Gincsei Gábor
András	Cserkúti Péter	Vajk István	Pomázi Krisztián	Kővári Bence András	Kővári Bence András
Péter Szabolcs	Forstner Bertalan	Vajk István	Pomázi Krisztián	Ekler Péter	Kővári Bence András
Márton József	Blázovics László	Vajk István	Pomázi Krisztián	Ekler Péter	Benedek Zoltán
Dávid	Kövesdán Gábor	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Recski Gábor András	Goldschmidt Balázs
Olivér	Imre Gábor	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Mezei Gergely	Kővári Bence András
Zoltán	Mezei Gergely	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Dudás Ákos	Albert István
Márton	Tóth Tibor	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Csorba Kristóf	Kővári Bence András
Bence Zsigmond	Ekler Péter	Forstner Bertalan	Fekete Tamás	Csorba Kristóf	Kővári Bence András
Márton Szabolcs	Ekler Péter	Charaf Hassan	Fekete Tamás	Blázovics László	Benedek Zoltán
Viktor	Ács Judit	Charaf Hassan	Fekete Tamás	Mezei Gergely	Csorba Kristóf
Benedek	Blázovics László	Charaf Hassan	Fekete Tamás	Ekler Péter	Kővári Bence András
Márton	Forstner Bertalan	Charaf Hassan	Fekete Tamás	Kővári Bence András	Cserkúti Péter
Benedek	Blázovics László	Charaf Hassan	Fekete Tamás	Recski Gábor András	Goldschmidt Balázs
Dániel Gábor	Mezei Gergely	Forstner Bertalan	Hideg Attila	Iváncsy Szabolcs	Kővári Bence András
Máté	Fekete Tamás	Forstner Bertalan	Hideg Attila	Csorba Kristóf	Dudás Ákos
Boldizsár	Forstner Bertalan	Forstner Bertalan	Hideg Attila	Asztalos Márk	Dudás Ákos
László	Blázovics László	Forstner Bertalan	Hideg Attila	Dudás Ákos	Dudás Ákos
Nagy Nikolett	Ács Judit	Forstner Bertalan	Hideg Attila	Ekler Péter	Kővári Bence András

6. táblázat - Legjobb genetikus beosztás egy részlete

A 6. táblázat tartalmazza az elkészült beosztás egy részletét. Látható, hogy sárga feliratok okozzák az összesen 643 büntetőpontot. Ezek többsége a terhelések

kiegyenlítetlenségéből, valamint a nem összevont szerepekből származnak. Összességében látható, hogy kizárólag enyhe kritériumok nem teljesültek.

### 4.3 Heurisztikus algoritmus

A problémakört egy kézzel való elkészítéséhez közelebb álló módon is automatizáltam. Ez a megközelítés egy teljesen más irányból ad megoldást a problémára, viszont a jövőben lehet akár azzal a céllal is felhasználni, hogy a genetikus algoritmus kezdő egyedét egy heurisztikus algoritmussal generálom.

A heurisztikus algoritmust gyakran használják NP-teljes problémák megoldására. [15] Jelen megoldásomban célom a kézzel készült megoldás gyorsítása a kézi technikák automatizálása által.

Megoldásomban a nagy problémateret úgy csökkentem, hogy hierarchizálok, majd az egyes szinteken lokálisan optimális döntéseket hozok. Ez azt jelenti, hogy sorrendet állítok fel az egyes szerepkörök között fontossági sorrendben, és ezek sorrendjében készítem el a beosztást. Vagyis nem teljes sorokat, vizsgákat veszek figyelembe, nem egy vizsgához tartozó összes szereplőt osztom le egyidőben, hanem szereplőnként sorban.

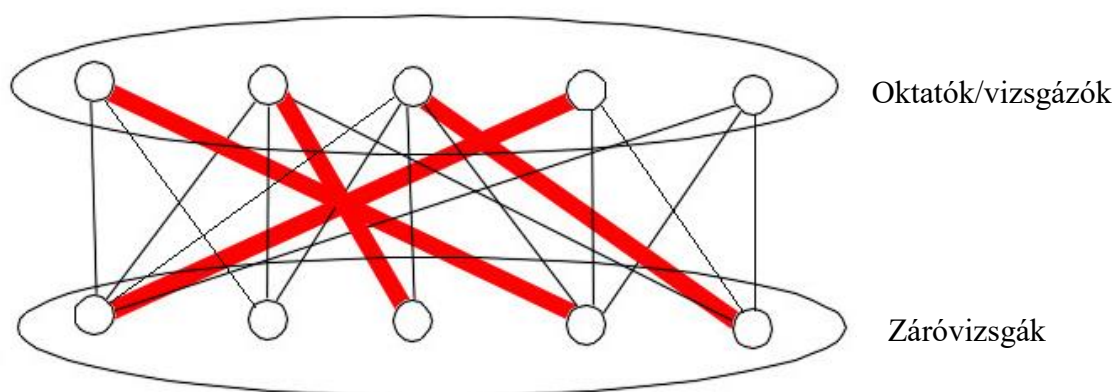
Ezt a hierarchiát az alábbi módon állítottam össze. Először az elnököket osztom be, hiszen ők adják a legszűkebb keresztmetszetet, hozzájuk köthető a legtöbb fontos kritérium. Hozzájuk közel hasonlóan nehézkes a titkárok beosztása, így őket osztom be másodikként. Viszont ahhoz, hogy az elnököket és a titkárokat be tudjam osztani, szükséges tudni, hogy egyáltalán hány napig fognak tartani a vizsgák, mennyi időre kell előre beosztani az oktatókat. Ezt egyértelműen meghatározom a vizsgázók számából, ugyanis egyértelmű, hogy egy nap hány hallgató vizsgázhat, így a két információból kijön, hogy hány vizsganapra lesz szükség.

Az időpontok, elnökök és titkárok leosztása után elhelyezem a hallgatókat, majd hozzájuk egyértelmű megfeleltetéssel a konzulenseiket. Ekkor hátravan még a vizsgáztatók és a belső tag beosztása, őket ebben a sorrendben osztom be, ugyanis a belső tag sok esetben egy „kiegyenlítő szerepet” tölt be, vagyis ha valaki már be lett osztva, aki lehet titkár, akkor nem kell további oktatót beosztani.

### 4.3.1 Magyar módszer

A heurisztikus algoritmusom megoldása során felhasználtam a magyar módszert, ami egy algoritmus, segítségével páros gráfokban lehet maximális elemszámú párosítást keresni polinom időben. [16] Ez az én feladatom szempontjából azért hasznos, mert így nekem csak ki kell gyűjteni a megfelelő adatokat, és meg kell adni az algoritmusnak, hogy mit párosítson mivel.

Esetemben a szereplőket kell az adott záróvizsgálattal összepárosítani. Ehhez egy mátrixot kell létrehoznom, aminek egyik dimenzióján az adott párosítandó szereplők található meg, másikon pedig az összes szóval forgó záróvizsga, amikre be kell osztani a szereplőket, mindegyikhez egyet-egyét. Ha páros gráfként értelmezzük a problémát, akkor egyik oldalon vannak az emberek (oktatók vagy hallgatók), másikon a záróvizsgák (azok időpontjai) szerepelnek, ezeket között húzódnak élek, különböző súlyokkal. Ezeket a súlyokat kell nekem meghatározni, hogy a lehető legnagyobb összsúlyú párosítás jöjjön létre. Az összepárosítás után a megmaradt élek fogják jelezni, hogy melyik szereplőhöz melyik záróvizsgaidőpont jutott.



8. ábra: Optimális párosítás

### 4.3.2 Elnökök beosztása

Az elnökök beosztása során figyelembe kell vennem azt az alapvető követelményt, miszerint egy szekción belül nem cserélődhet az elnök. Ennek megfelelően egyből egész szekciókra készítem el a beosztást, nem záróvizsgánként.

Ezen esetben a magyar módszert speciális módon használom. A súlyozás az alapján történik, hogy az adott oktató a megadott szekcióban elérhető-e vagy sem. Az egyik dimenziómon találhatóak a záróvizsga szekciói, a másikon pedig az elnökök, de

nem akárhogy. Hiszen, ha mindegyik elnököt csak egyszer venném fel, nem jutna minden szekcióba elnök. Mivel egy elnököt több szekcióra is be kell osztani, többször kell felvennem a magyar módszernek megadott struktúrába. Mindegyik elnököt ugyanannyiszor veszek fel, ezzel elősegítve azt a kritériumot, hogy hasonló legyen az elnökök terheléeloszlása. Fontos viszont, hogy nem elegendő, ha összesen pontosan annyi oktató példányt készítek el, ahány szekció van, mert előfordulhat, hogy így olyan oktató kerül beosztásra, aki egyáltalán nem is ér rá, csak már nem maradt más a táblában. Ezért egy kicsit nagyobb mennyiségű elnököt veszek fel a táblámba, így elkerülve ezt a problémát.

### 4.3.3 Titkárok beosztása

A titkárok beosztására a szigorú kritériumok tekintetében teljesen hasonlóak a megkötéseim, mint az elnököknél. Ennek megfelelően a beosztásokat szekciónként kezeltem, hasonló módon használtam a magyar módszert, mint az elnökök esetében, valamint szintén csak az elérhetőségeik alapján végeztem a súlyozást.

Student	Supervisor	President	Secretary	Member	Examiner	Course
		Vajk István	Hideg Attila			
		Vajk István	Hideg Attila			
		Vajk István	Hideg Attila			
		Vajk István	Hideg Attila			
		Vajk István	Hideg Attila			
		Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián			
		Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián			
		Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián			
		Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián			
		Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián			
		Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila			
		Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila			
		Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila			
		Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila			
		Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila			
		Lengyel László	Braun Patrik János			
		Lengyel László	Braun Patrik János			
		Lengyel László	Braun Patrik János			
		Lengyel László	Braun Patrik János			
		Lengyel László	Braun Patrik János			

7. táblázat - Elnökök és titkárok beosztása

A 7. táblázatban látható az ekkor elkészült beosztásom egy részlete. Jól látszik, hogy ez a módszer is egy jó beosztást nyújt az elnökök és titkárok részére.

#### 4.3.4 Vizsgálók beosztása

A hallgatók beosztásánál több szempontot kellett figyelembe vennem. Először is fontos volt egyrészt a már elkészült beosztás részletet szempontnak venni, mégpedig azért, mert több vizsgálóra vonatkozó követelményem kapcsolódik az elnökökhöz és a titkárokhoz. Ezek közül az egyik, hogy a hallgató konzulense amennyiben lehet elnök, lehetőleg ő legyen az. Ugyanez igaz a titkárokra is, vagyis ha egy titkár rendelkezik saját hallgatóval, az lehetőleg az ő szekciójában vizsgáljon.

A hallgató beosztásánál elengedhetetlen figyelembe venni a későbbi oktatói szerepkörök beosztását. Gondolok itt például arra, hogy a hallgatóhoz tartozó konzulens legyen elérhető akkor, amikor a hallgatót beosztom. Továbbá a vizsgáztatóknak is figyelmet kell szentelni, ugyanis az ő elérhetőségük is meghatározó. Ez azért van, mert hiába osztanék be egy hallgatót olyan időpontra, amikor a korábban felsorolt feltételek teljesülnek, de a vizsgatárgyához tartozó oktatók közül senki sem elérhető az adott időpontban, az nagyobb követelménysérülést von maga után. A vizsgáztatóknál további szempont, amit előzetesen is figyelembe vettem már a hallgatók beosztásánál, hogy jó pont, ha a vizsgáztató egyben az elnök is.

A fenti követelmények miatt létrehoztam egy pontozást a hallgatók számára. Minden hallgatóhoz hozzárendeltem minden vizsgához egy-egy pontszámot, ami azt jelzi, hogy mennyire lenne célszerű az adott hallgatót az adott vizsgához osztani. Minél nehezebb az adott hallgatót adott helyre beosztani, annál kisebb pontszámmal rendelkezik.

Itt el kellett különítenem két féle pontozást: az egyik része negatív irányban, a másik pozitív irányban befolyásolta a beosztásom alakulását. Pozitív pont jár az alább látható kódrészlet alapján:

```
if(ctx.Students[student_id].Supervisor == schedule.FinalExams[ts].President)
{
    score += Scores.PresidentSelfStudent;
}
if (ctx.Students[student_id].Supervisor == schedule.FinalExams[ts].Secretary)
{
    score += Scores.SecretarySelfStudent;
}
```

Itt az első feltétel azt a követelményt valósítja meg, hogy a hallgató adott vizsgára lenne beosztva, amikor a konzulense megegyezik az elnökkel, akkor pozitív pontszámban részesül. A második feltétel a fenti kódban hasonlóképpen valósítja meg a titkárra a feltételt.

További pozitív hatású, ha egy vizsgáztató a hallgatóhoz tartozó tantárgyból megegyezik az elnökkel. Ennek részleteit az alábbiakban teszem láthatóvá:

```
if(instructor == schedule.FinalExams[ts].President)
{
    score += Scores.ExaminerPresident;
}
```

Negatív irányú hatást vált ki, vagyis büntetőpont jár az alábbiakért:

```
if (ctx.Students[student_id].Supervisor.Availability[ts] == false)
{
    score -= Scores.SupervisorNotAvailable;
}
```

...

```
if (!instructor.Availability[ts])
{
    examScore -= Scores.ExaminerNotAvailable;
}
```

```
score += examScore / ctx.Students[student_id].ExamCourse.Instructors.Length;
```

Az első feltételben azt vizsgálom meg, hogy a hallgató konzulense elérhető lenne-e, ha az adott vizsgára lenne beosztva. Hogyha nem, akkor levonom tőle a megfelelő pontszámot.

A második fent látható feltételemben a vizsgáztatók elérhetőségeit vizsgálom. Megvizsgálom a hallgató vizsgatárgyához tartozó minden vizsgáztató elérhetőségét, majd ezt vonom le a pontszámból annyiszor, ahány lehetséges vizsgáztató nem ér rá, de nem egy az egyben, ugyanis nem lenne igazságos, mivel egy-egy tárgyból különböző mennyiségű oktató vizsgáztathat. Van olyan tárgya, ahol akár hatan is vizsgáztathatnak, van, ahol csak egy oktató van. Így normalizálom a levonandó büntetőpontok számát ennek megfelelően. Vagyis minél nagyobb százaléka nem ér rá az adott tárgyból vizsgáztathatóknak, annál több mínusz pont jár.

Így kialakul egy kétdimenziós táblázat, egyik felén a hallgatókkal, másik dimenziójában a vizsgákkal. A fent taglalt módon kiszámoltam, hogy mennyire lenne jó egy-egy hallgatót adott vizsgára beosztani, melyen pontszám, valamint a magyar módszer segítségével kiszámolom, hogy mi lenne a legmegfelelőbb párosítása a hallgatóknak és a

vizsgáknak. Így ki is alakul a vizsgázók beosztása, akikhez egyből hozzá is rendelem a konzulenseiket.

### **4.3.5 Vizsgáztatók beosztása**

A vizsgáztatók beosztását szintén a magyar módszer egy másfajta felhasználásával készítettem el. A beosztást itt tantárgyanként sorban egymás után készítettem el. Összegyűjtöttem, hogy az adott tárgyhoz melyik hallgatók tartoznak, majd a tárgyhoz tartozó vizsgáztatók egyenletes terhelését figyelembe véve alakítottam ki a párosítandó elemeket.

Jelen esetben fő szempont volt a vizsgázók elérhetősége, vagyis kisebb súlyt kap az él, ha a hallgató, akihez be szeretnénk osztani olyan időpontra van már beosztva a táblázatomban, amikor a vizsgáztató nem elérhető.

Másik követelmény, amelyet a vizsgáztatók beosztása esetén figyelembe kellett vennem, az az, hogy ha lehet, legyen az a vizsgáztató kiválasztva, amelyik lehet elnök, már persze, ha van ilyen. Ezen esetben az adott vizsgáztatónak pozitív pontként számolom fel, ha megegyezhet az elnökkel.

### **4.3.6 Belső tagok beosztása**

A belső tagok beosztását hagytam utoljára, ugyanis a valóságban egy kézzel készült beosztás során, ha van már olyan oktató, aki betöltheti a belső tag szerepét, akkor nem rendelünk hozzá új embert. Ezt a módszert követve osztottam be a belső tagok egy részét.

Több olyan vizsga maradt azonban, ahol a fenti megközelítés nem teljesült, ekkor kapott szerepet a belső tagok terhelés kiegyenlítő szerepe. Mindez azt jelenti, hogy kiszámolom minden lehetséges tagra a korábbi beosztásainak számát. Ennek mennyiségével súlyozva, valamint az adott vizsgaidőpontbeli ráéréseik alapján szintén magyar módszer segítségével összepárosítottam a megfelelő tagokat a hiányzó vizsgákra. Az így kialakult beosztásban minden vizsgán betöltötte valaki a belső tag szerepét is.

### **4.3.7 Elkészült beosztás**

A 8. táblázat mutatja az elkészült beosztásom egy részletét. Látható, hogy minden szereplő helyét betöltötte ekkor valaki a beosztásban, és a szerepeknek megfelelő, pozitív súlyozású beosztás készült. A belső tag beosztásánál láthatók narancssárga színnel jelölt

mezők, ezek azonban a beosztás készülésétől adódóan annyit jelentenek, hogy az adott oktatóknak több volt a terhelése az átlagosnál, de mivel nem piros, ezért nem olyan meghatározó a probléma.

Student	Supervisor	President	Secretary	Member	Examiner
Levente	Hideg Attila	Vajk István	Hideg Attila	Dudás Ákos	Dudás Ákos
Tímea	Dudás Ákos	Vajk István	Hideg Attila	Dudás Ákos	Benedek Zoltán
Kata	Ekler Péter	Vajk István	Hideg Attila	Ekler Péter	Benedek Zoltán
Bence	Kővári Bence András	Vajk István	Hideg Attila	Kővári Bence András	Benedek Zoltán
Bence Zsigmond	Ekler Péter	Vajk István	Hideg Attila	Kővári Bence András	Kővári Bence András
Péter Szabolcs	Forstner Bertalan	Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián	Kővári Bence András	Kővári Bence András
Márton	Tóth Tibor	Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián	Kővári Bence András	Kővári Bence András
Attila	Szabó Gábor	Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián	Asztalos Márk	Goldschmidt Balázs
Dániel Gábor	Mezei Gergely	Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián	Kővári Bence András	Kővári Bence András
Gergő	Hamar János Krisztián	Forstner Bertalan	Pomázi Krisztián	Csorba Kristóf	Csorba Kristóf
Benedek	Kővári Bence András	Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila	Kővári Bence András	Kővári Bence András
Ákos	Simon Gábor	Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila	Asztalos Márk	Goldschmidt Balázs
Olivér	Imre Gábor	Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila	Kővári Bence András	Kővári Bence András
Márk	Sipos Márton Ákos	Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila	Kővári Bence András	Kővári Bence András
Márk	Kökényesi Tamás	Charaf Hassan	Somogyi Ferenc Attila	Asztalos Márk	Strausz György
Gábor István	Lengyel László	Lengyel László	Braun Patrik János	Asztalos Márk	Goldschmidt Balázs
Antal Tamás	Dunaev Dmitriy	Lengyel László	Braun Patrik János	Kovács Tibor	Gincsei Gábor
Gergő	Kővári Bence András	Lengyel László	Braun Patrik János	Kővári Bence András	Gincsei Gábor
Mihály	Csorba Kristóf	Lengyel László	Braun Patrik János	Asztalos Márk	Asztalos Márk
Péter	Rajacsics Tamás	Lengyel László	Braun Patrik János	Asztalos Márk	Asztalos Márk

**8. táblázat - Heurisztikus által elkészült beosztás egy részlete**

A 9. táblázatban látható egyes szerepkörök terheléseinek eloszlása. Az elnököknél és titkároknál látható, hogy megfelelő beosztás készült, az eltéréseket csak a ráérések változatossága adja (például Somogyi Ferenc összesen 2 napon érhető el, így nem is lehetséges egyenlőben elosztani a titkárokat).

A belső tagok terheléskülönbsége abból adódik, hogy jelen számításom során az adott emberek minden beosztását figyelembe veszi. Ez azért nem ad egyenletes képet, mert a kiugróan magas számokkal rendelkező oktatóknak nagyon sok konzultált hallgatójuk van, valamint van olyan tárgyból, amelyből ők az egyetlen vizsgáztatók, így nem is lehetséges a terhelésük lejjebb szorítása.



Presidents	Nr of exams	Secretaries	Nr of exams	Members	Nr of exams
Charaf Hassan	30	Braun Patrik János	15	Asztalos Márk	11
Forstner Bertalan	25	Budai Ádám	15	Blázovics László	3
Lengyel László	25	Fekete Tamás	15	Csorba Kristóf	5
Vajk István	20	Gazdi László	15	Dudás Ákos	14
		Hideg Attila	10	Ekler Péter	5
		Jánoky László Viktor	10	Iváncsy Szabolcs	6
		Pomázi Krisztián	15	Kovács Tibor	6
		Somogyi Ferenc Attila	5	Kővári Bence András	39
				Mezei Gergely	7
				Recski Gábor András	4

9. táblázat - Heurisztikus által készült beosztások néhány terheléseloszlása

## 4.4 Eredményeim

Dolgozatomban bemutatott eredményeimet nem tudom az irodalomban is létező algoritmusokkal összehasonlítani, hiszen ahogy korábban bemutattam, más komplexitású a záróvizsga beosztásának elkészítése a többi beosztástervezési feladathoz képest.

A 4.2.4 fejezetben bemutattam a genetikus algoritmusom által generált beosztásom legjobb eredményeit, valamint a 4.3.7 fejezetben a heurisztikus megoldásom által generált beosztást. Mindegyik beosztásom kizárólag enyhe követelményeket sértett meg, így az elvárt követelményeket teljesítette.

Az elkészült algoritmusaim teljesítették minden fontos általam elvárt követelményt, így jónak mondhatók a beosztások. Mindkettő hasonló eredményeket ért el, legnagyobb gyengesége mindegyiknek a megfelelő terheléseloszlás elérése volt. A heurisztikus jelen követelményeimet jobban teljesítette, viszont nem számottevő módon.

## 5 Összefoglalás

A záróvizsga szóbeli vizsgája félévente minden tanszéken megrendezésre kerül, az egységes szabályrendszer szerint, amely nagyon sok vizsgát jelent a nagy hallgatói létszám miatt. Az állapottér nagysága exponenciális hatással van a lehetséges bemenetek számára, így minél több hallgatóval állunk szemben, annál nehezebb a probléma.

Dolgozatomban ezen szívemhez közeli problémára adtam két különböző megközelítésű megoldást. A beosztástervezési feladatok népszerűsége ellenére a záróvizsgabeosztás témaköre egy új igazán izgalmas témát nyújt, hiszen a „megszokott” beosztástervezési metodikákkal nem állítható elő a beosztás.

A kutatásaim során először a záróvizsga rendszerének formalizálását végeztem el. Ennek keretein belül meghatároztam a követelményeket, melyeket két csoportba soroltam annak megfelelően, hogy mennyire elengedhetetlen ezek teljesülése. Azon feltételek, melyeknek mindenképp teljesülniük kell a beosztáshoz, különben nem tekinthetnénk érvényesnek a beosztást, szigorú követelményekként határoztam meg. Míg a gyenge követelményeimnek azokat választottam, amelyek nem minden esetben lehetséges a teljesülésük.

Ezeket a követelményeket az automatizáláshoz szükséges lépésnek vettem alá azáltal, hogy pontrendszert alakítottam ki hozzájuk. Ez a pontozás meghatározza pontosan, hogy a feltételeknek egymáshoz képest mennyire fontos a teljesülésük.

A pontrendszeremet két különböző megközelítésű algoritmus kitalálásához és elkészítéséhez alkalmaztam. Első esetemben a genetikus algoritmus alapú beosztás során ez a pontrendszer adta a fitness függvényem alapját. Emellett egyedi kezdeti adathalmazt, valamint különleges mutációkat fejlesztettem ki a problémakör minél jobb megoldásának érdekében.

A heurisztikus beosztásom során a pontrendszerem a magyar módszer alapját képezte, az ahhoz tartozó súlyfüggvényeket határozta meg az egyes szerepek meghatározása esetében. Itt a kézzel készült beosztást próbáltam szimulálni.

Mindkét beosztásom egy jól használható, de természetesen nem tökéletes beosztás adott, amelynek továbbfejlesztése a későbbiekben egy kézzel készült beosztásnál is jobb eredményt adhat.

## 6 Irodalomjegyzék

- [1] O. I. Rektori Kabinet, „A Szenátus X./10./2015-2016. (2016. VII. 11.) számú határozata A BME TANULMÁNYI ÉS VIZSGASZABÁLYZATÁRÓL,” 1. szeptember 2016.. [Online]. Available: [http://www.kth.bme.hu/document/2061/original/BME\\_TV SZ\\_2016%20elfogadott\\_mod\\_20180801\\_web.pdf](http://www.kth.bme.hu/document/2061/original/BME_TV SZ_2016%20elfogadott_mod_20180801_web.pdf). [Hozzáférés dátuma: 2. október 2018.].
- [2] „BME VIK BSc szakdolgozat, záróvizsga, oklevél szabályzat a BME,” 07 06 2017. [Online]. Available: <https://www.vik.bme.hu/document/1343/original/BSc-ZV-170607.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 23 10 2018].
- [3] M. L. Pinedo, *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, 2016..
- [4] I. 2. D. Forum, „ITC 2019: International Timetabling Competition,” [Online]. Available: <https://www.itc2019.org/home>. [Hozzáférés dátuma: 24. október 2018.].
- [5] „PATAT Conferences,” [Online]. Available: <http://patatconference.org/index.html>. [Hozzáférés dátuma: 24. október 2018.].
- [6] A. SCHAERF, „A Survey of Automated Timetabling,” p. 87, 1999.
- [7] A. S. Luca Di Gaspero, „Tabu Search Techniques for Examination Timetabling”.
- [8] A. L. C. K. Pornpun Prachapipat, „NEW EXAMINATION TIMETABLING ALGORITHM USING THE SUPERSTAR ASSIGNMENT TECHNIQUE,” *International Journal of Science and Technology*, pp. 253-270, 2018.
- [9] R. E. James Kennedy, „Particle Swarm Optimization,” 1995..
- [1] S. L. Marie-Sainte, „A New Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm for  
0] Real-World University Examination Timetabling Problem,” *Computing Conference 2017*, 2017..
- [1] H.-L. F. C. M. Dave Corne, „Solving the Modular Exam Scheduling Problem with  
1] Genetic Algorithms,” *DAI Research Paper*.

- [1 A. T. A. O. M. A. Oluwasefunmi T. Arogundade, „A Genetic Algorithm Approach  
2] for a Real-World University Examination Timetabling Problem,” *International  
Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, 2010.
- [1 J. K. 2017, „EPPlus,” [Online]. Available:  
3] <https://www.nuget.org/packages/EPPlus/4.5.0.1-beta>. [Hozzáférés dátuma: 3.  
december 2017.].
- [1 D. Giacomelli, „GeneticSharp,” [Online]. Available:  
4] <https://github.com/giacomelli/GeneticSharp>. [Hozzáférés dátuma: 10. október  
2018.].
- [1 N. Kokash, „An introduction to heuristic algorithms”.  
5]
- [1 „Javító út keresés páros gráfokban, magyar módszer,” [Online]. Available:  
6] [http://www.math.u-  
szeged.hu/~hajnal/courses/MSc\\_Grafelmelet/grafelmelet/magyar.htm](http://www.math.u-szeged.hu/~hajnal/courses/MSc_Grafelmelet/grafelmelet/magyar.htm). [Hozzáférés  
dátuma: 3. október 2018.].