

EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA HOSPODÁRSKEJ INFORMATIKY

Evidenčné číslo: 103004/I/2023/421000283611

Softvér pre riadenie kohorty výťahov

Diplomová práca

2023

Bc. Michal Knor

EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA HOSPODÁRSKEJ INFORMATIKY

Softvér pre riadenie kohorty výťahov

Diplomová práca

Študijný program: Informačný manažment

Študijný odbor: Ekonómia a manažment

Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky

Vedúci záverečnej práce: doc. Ing. Martin Mišút, CSc.

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že som záverečnú prácu vypracoval samostatne z dostupnej domácej a zahraničnej literatúry, ktorú som uviedol.

Dátum:

.....

Pod'akovanie

Chcel by som sa pod'akovať školiteľovi doc. Ing. Martin Mišút, CSc., za jeho čas, prístup a cenné rady, ktoré mi pomohli k tvorbe tejto práce. Taktiež d'akujem Ing. Jozef Cerovský a Ing. Ivan Búš za poskytnutie plánu budovy Ekonomickej univerzity. Vďaka patrí aj Bc. Boris Orság za jeho odborné rady a nápady.



Ekonomická univerzita v Bratislave
Fakulta hospodárskej informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Bc. Michal Knor
Študijný program: informačný manažment (Jednoodborové štúdium, inžiniersky II. st., denná forma)
Študijný odbor: ekonómia a manažment
Typ záverečnej práce: Inžinierska záverečná práca
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Softvér pre riadenie kohorty výt'ahov

Anotácia: Úlohou diplomanta je analyzovať doménovú oblasť, navrhnúť a vytvoriť aplikáciu, ktorá bude zabezpečovať inteligentné riadenie výt'ahov tak, aby zabezpečovala čo najnižšie dopravné časy v podmienkach v čase meniacich sa požiadaviek na poskytnutie služby.

Vedúci: doc. Ing. Martin Mišút, CSc.
Katedra: KAI FHI - Katedra aplikovanej informatiky
Vedúci katedry: Ing. Mgr. Peter Schmidt, PhD.
Dátum zadania: 26.10.2021

Dátum schválenia: 17.04.2023

prof. Ing. Ivan Brezina, CSc.
osoba zodpovedná za realizáciu študijného programu

ABSTRAKT

KNOR, Michal: Softvér pre riadenie kohorty výt'ahov. – Ekonomická univerzita v Bratislave. Fakulta hospodárskej informatiky; Katedra aplikovanej informatiky. – Vedúci záverečnej práce: doc. Ing. Martin Mišút, CSc. – Bratislava: FHI, 2023, 95 strán.

Záverečná práca je vypracovaná na tému Softvér pre riadenie kohorty výt'ahov. Cieľom záverečnej práce bolo vytvoriť aplikáciu, ktorá bude zabezpečovať inteligentné riadenie výt'ahov tak, aby zabezpečovala čo najnižšie dopravné časy v podmienkach v čase meniacich sa požiadaviek na poskytnutie služby.

Práca je rozdelená do 4 hlavných kapitol. Prvá kapitola je zameraná na analýzu princípu výt'ahu a aktuálnych výt'ahových riešení. Druhá kapitola sa zameriava na cieľ práce. Tretia kapitola je venovaná metodike práce. Záverečná štvrtá kapitola sa venuje výsledkom práce a diskusií.

Výsledkom riešenia danej problematiky je aplikácia, ktorá simuluje pohyb výt'ahov podľa nastavených parametrov.

Kľúčové slová: výt'ah, výt'ahový systém, simulácia, Python

ABSTRACT

KNOR, Michal: Software for the management of a cohort of elevators. – University of Economics in Bratislava. Faculty of Economic Informatics; Department of Applied Informatics. – Supervisor of the final thesis: doc. Ing. Martin Mišút, CSc. – Bratislava: FHI, 2023, 95 pages.

The aim of final thesis is developed on the topic Software for the management of a cohort of elevators. The goal of the final work was to create an application that will ensure the intelligent management of elevators in such a way as to ensure the lowest possible transport times in the conditions of the time of changing requirements for the provision of services.

The work is divided into 4 main chapters. The first chapter is focused on the analysis of the elevator principle and current elevator solutions. The second chapter focuses on the goal of the work. The third chapter is devoted to the methodology of the work. The final fourth chapter deals with the results of the work and discussions.

The solution to this problem is an application that simulates the movement of elevators according to the set parameters.

Keywords: elevator, elevator system, simulation, Python

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod..... | 10 |
| 1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí..... | 11 |
| 1.1 Výt'ah | 11 |
| 1.1.1 Privolanie výt'ahu..... | 12 |
| 1.1.2 Obsluha výt'ahu..... | 12 |
| 1.2 Riadenie výt'ahov | 13 |
| 1.2.1 Jednoduché riadenie..... | 13 |
| 1.2.2 Zberné riadenie | 13 |
| 1.2.3 Skupinové riadenie..... | 15 |
| 1.3 Metódy na zefektívnenie riadenia výt'ahov a odstránenie zhlukovania..... | 16 |
| 1.3.1 Rozdelenie výt'ahov do zón | 17 |
| 1.3.2 Zvolenie poschodia pred nastúpením do výt'ahu | 18 |
| 1.3.3 Dvojpodlažný výt'ah | 20 |
| 2 Cieľ práce..... | 23 |
| 3 Metodika práce a metódy skúmania..... | 24 |
| 3.1 Spôsob získavania údajov a ich zdroje | 24 |
| 3.2 Štatistické metódy | 25 |
| 4 Výsledky práce..... | 26 |
| 4.1 Parametre výt'ahového systému | 26 |
| 4.1.1 Výška medzi jednotlivými obsluhovanými poschodiami | 27 |
| 4.1.2 Akcelerácia a decelerácia a maximálna rýchlosť | 29 |
| 4.1.3 Čas otvorenia a zatvorenia dverí a čas po ktorom sa dvere zatvoria | 31 |
| 4.1.4 Pohyb ľudí..... | 31 |
| 4.1.5 Správanie ľudí | 36 |

| | |
|--|----|
| 4.1.6 Kapacita výťahov | 37 |
| 4.1.7 Generovanie pohybu ľudí | 38 |
| 4.2 Vytvorenie softvéru na simuláciu výťahového systému..... | 41 |
| 4.2.1 Opis konfiguračného používateľského rozhrania | 44 |
| 4.2.1 Opis používateľského rozhrania simulácie | 49 |
| 4.2.1 Opis simulácie..... | 53 |
| 4.3 Simulácia aktuálneho stavu a vytvorenie alternatívnych riešení | 57 |
| 4.3.1 Simulácia aktuálneho stavu..... | 57 |
| 4.3.2 Simulácia aktuálneho stavu pri nedečkavých pasažieroch | 65 |
| 4.3.3 Simulácia prvého riešenia | 72 |
| 4.3.4 Simulácia druhého riešenia | 78 |
| 4.3.5 Simulácia tretieho riešenia | 85 |
| 4.3.6 Výber optimálneho riešenia | 92 |
| Záver | 93 |
| Zdroje..... | 94 |
| Prílohy..... | 95 |

Úvod

S výťahmi sa v bežnom živote stretávame pomerne často. Nachádzajú sa v bytovkách, nemocniciach, nákupných centrách ako aj na vysokých školách. Výťahy v budovách plnia rovnaký účel, ale spôsob, akým obsluhujú poschodia, sa môže značne líšiť. Existujú nákladné výťahy a osobné výťahy. V tejto práci sa budeme zaoberať práve osobnými výťahmi, ktoré prepravujú ľudí.

Spôsobom akým výťahy obsluhujú poschodia je veľmi veľa. Spočiatku bolo riadenie výťahov veľmi jednoduché, ale na zvýšenie efektívnosti výťahového systému sa začalo implementovať inteligentnejšie riadenie výťahov. Každá budova je pritom špecifická na požiadavky obsluhy. V niektorých budovách vzniká vysoký dopyt prepravy v určitom čase a v iných je dopyt nezávislý od času. Takisto v niektorých budovách môže byť vysoký dopyt prepravy z alebo na určité poschodie, zatiaľ čo na iné poschodie sa ľudia tak často nepožadujú prepraviť.

V niektorých budovách, ktoré sú vybavené výťahovým systémom, je veľký priestor na zefektívnenie výťahového systému. Práve pohyb ľudí medzi poschodiami pre výťahový systém v takejto budove sme sa rozhodli v tejto práci nasimulovať a navrhnúť efektívnejší výťahový systém.

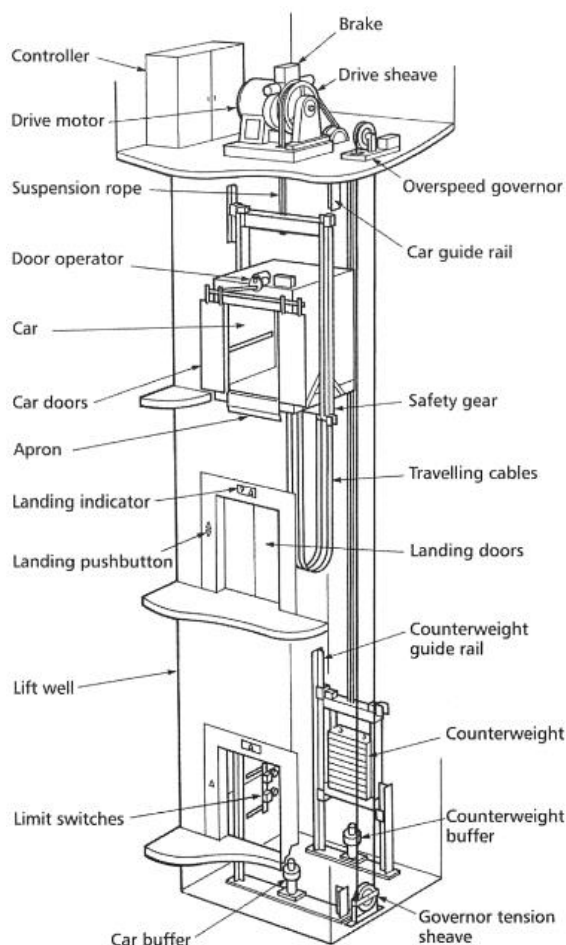
Tému som si vybral aj kvôli tomu, že ma zaujíma optimalizácia ako taká a tvorba softvéru.

1 Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí

1.1 Výt'ah

Pod pojmom výt'ah rozumieme transportný prostriedok pohybujúci sa vo vertikálnej šachte za účelom presunu ľudí alebo nákladu medzi jednotlivými poschodiami. V tejto práci sa budeme zaoberať iba osobnými výt'ahmi, ktoré sú určené na prepravu osôb. [2]

Osobné výt'ahy sa nachádzajú spravidla v interiéri budov a osoby sú medzi poschodiami prepravované v kabínach. Kabína pozostáva z dverí, cez ktoré pasažieri nastupujú a vystupujú a obslužnými tlačidlami, pomocou ktorých sa osoby prepravujú na im zvolené poschodie. Väčšina moderných výt'ahov pozostáva z elektrického motora a protizávažia, ktoré sú prepojené lanom aj s kabínou. Protiváha znižuje silu potrebnú na pohyb kabíny a za pomoci motoru sa kabína pohybuje medzi poschodiami. [1]



Obrázok č. 1 – Schéma výt'ahu [1]

1.1.1 Privolanie výťahu

Väčšina výťahových systémoch disponuje zvonku na každom poschodí, ktoré výťah obsluhuje, tlačidlami s ikonkou šípky nahor a nadol. Tieto tlačidlá umožňujú osobám, ktoré chcú použiť výťah, si ho privolať. Ak sa chcú pomocou výťahu prepraviť na vyššie poschodie, použijú tlačidlo nahor. V prípade, že sa chcú prepraviť na nižšie poschodie, privolajú si výťah tlačidlom nadol. [4]

Keďže výťahy sa pohybujú nadol a nahor, tak nad dverami býva umiestnený displej, ktorý zobrazuje čakateľom na výťah, ktorým smerom výťah ide. Displej zefektívňuje prepravu výťahu, pretože ľudia nastúpia do výťahu iba vtedy, keď výťah ide rovnakým smerom, akým chcú ísť oni. Pri niektorých riešeniach sa na displeji aj zobrazuje číslo poschodia, na ktorom sa výťah nachádza. [4]

1.1.2 Obsluha výťahu

Vnútri kabíny sa nachádzajú obslužné tlačidlá. Z nich sú najdôležitejšie najmä tlačidlá s číslami, ktoré asociujú čísla poschodí. Pomocou týchto tlačidiel zadávajú osoby svoje cieľové poschodie, na ktoré sa chcú dopraviť. Po stlačení týchto tlačidiel sa na niektorých výťahoch aj rozsvieti toto tlačidlo, vďaka čomu vie cestujúci, že tlačidlo stlačil a dáva informáciu osobám vo výťahu, že na danom poschodí plánuje zastaviť. [2]

Dôležitým tlačidlom môže byť aj tlačidlo na zatvorenie dverí. Po stlačení sa dvere výťahu zatvoria skôr ako po nastavenom čase, čím sa teda zníži čas strávený na poschodí a zrýchli sa preprava osôb vo výťahu. [2]

V kabínach sa nachádzajú aj ďalšie tlačidlá, pomocou ktorých sa napríklad dajú dvere otvoriť, prípadne nechať otvorené. Taktiež sa v nich môže nachádzať tlačidlo na privolanie obsluhy, v prípade že sa výťah pokazil a sú v ňom uviaznuté osoby. [2]

Môže sa stať, že po obslúžení poschodia výťahom sa dvere výťahu nezatvoria, kvôli prekročeniu povolenej prepravovanej hmotnosti. V takom prípade sa môže aj rozsvietiť vo výťahu príslušné svetlo, ktoré indikuje prekročenie tejto hmotnosti, čím umožňuje osobám vo výťahu identifikovať a vyriešiť tento problém a to tak, že niektoré osoby (spravidla tie, ktoré nastúpili do kabíny ako posledné) opustia výťah. [2]

1.2 Riadenie výťahov

Riadenie výťahov je zabezpečené systémom pre riadenie výťahu. Pod riadiacim systémom rozumieme algoritmus, podľa ktorého výťah vykonáva jednotlivé činnosti. Hlavným cieľom riadiacich systémov je dostať kabínu výťahu na poschodie, kde je vyzvaný, či už osobou, ktorá si na danom poschodí privolala výťah alebo osobou vo výťahu, ktorá sa chce na poschodie prepraviť. Riadiace systémy boli navrhnuté, aby sa znížil celkový čas prepravy pasažierov a aby výťahy boli schopné efektívnejšej obsluhy. [3]

1.2.1 Jednoduché riadenie

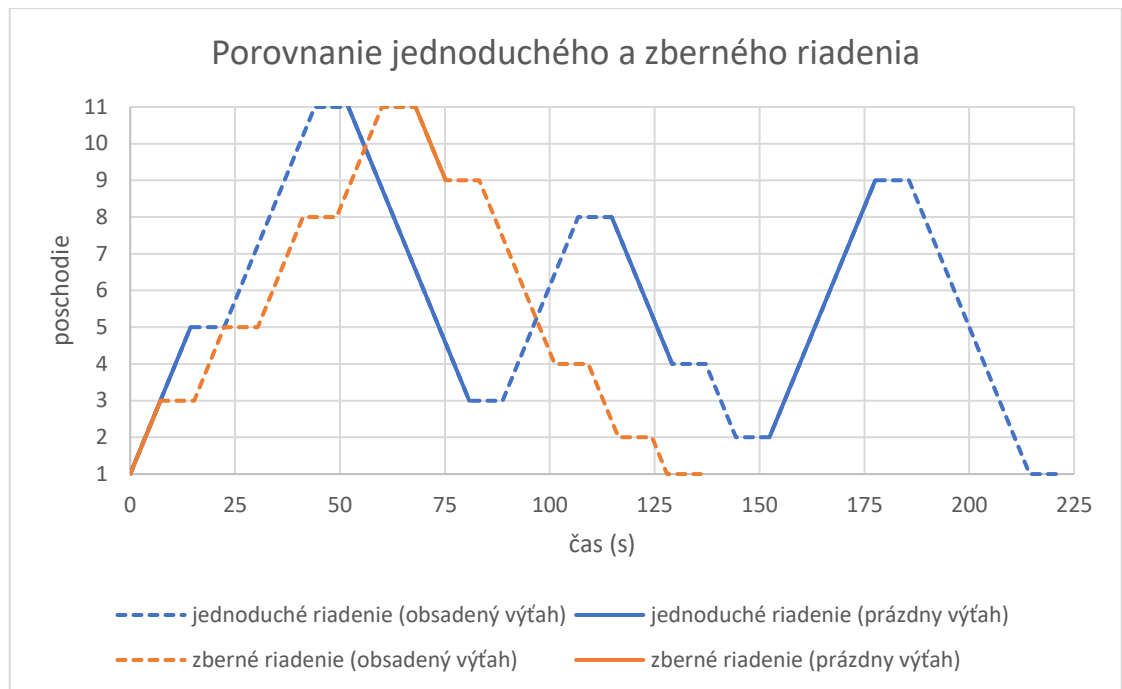
Jednoduché riadenie je také, u ktorého môže riadiaci systém výťahu prijať a splniť iba jednu požiadavku. Akonáhle je už nejaká požiadavka od používateľa zaznamenaná a vykonávaná, nie je už výťah dostupný pre iného používateľa, pokiaľ sa neobsluži aktuálny používateľ. Na obsluhujúcich poschodiach sa nachádza iba jedno tlačidlo, ktorým si používateľ privolá výťah, keďže tento systém vybavuje žiadosti podľa poradia a neoptimalizuje prepravu. Tento systém riadenia sa taktiež označuje ako taxi systém. [4]

1.2.2 Zberné riadenie

Keďže výťahy s jednoduchým riadením môžu obslúžiť naraz iba jednu požiadavku, tak sa často stáva, že výťah prepravuje malý počet osôb, čo je obzvlášť neefektívne pre väčšie výťahy s vyššou nosnosťou. Na zvýšenie efektívnosti výťahov existuje zberné riadenie, ktoré umožňuje zaznamenávať a vykonávať viacero požiadaviek súčasne. [4]

Predpokladajme, že máme 11 poschodí, ktoré obsluhuje jeden výťah. Poschodia sú od seba vzdialené po troch metroch, rýchlosť výťahu pri presúvaní sa medzi poschodiami je vždy 1,2 m/s, čas na nastúpenie alebo vystúpenie cestujúcich z výťahu by bol 2s/osoba a čas na otvorenie a zavretie dverí výťahu 3s. Ďalej predpokladajme, že boli takmer naraz zaznamenané štyri požiadavky na prepravu: [4]

1. z 5. stanice do 11. stanice
2. z 3. stanice do 8. stanice
3. zo 4. stanice do 2. stanice
4. z 9. stanice do 1. stanice



Obrázok č. 2 – Porovnanie jednoduchého a zberného riadenia [Zdroj: vlastné spracovanie]

Z obrázku č. 2 môžeme vidieť porovnanie jednoduchého riadenia a zberného riadenia, pre tento model. Je zrejmé, že pri jednoduchom riadení by sme výťah zaťažili na dlhšiu dobu a to na 222.4 sekúnd. Výťah so zberným riadením by dokončil požiadavky skôr, za 136 sekúnd, čo je o približne 38% menej času, teda by sme pomocou tohto riadenia mohli prepraviť viac osôb. Zároveň by prešiel aj menšiu vzdialenosť 60 metrov voči 132, čím by došlo k menšiemu opotrebovaniu výťahu a menšej spotrebe elektriny. Taktiež by sa znížila priemerná čakacia doba na výťah. [4]

Obojsmerné zberné riadenie je najvšeobecnejším prevedením zberného riadenia pre jeden výťah a označuje sa ako SIMPLEX. Pri tomto riadení sú na každom poschodí umiestnené dve tlačidlá, jedno pre zavolanie výťahu pre smer hore a druhý pre smer dole. Na najnižšom a najvyššom poschodí sa nachádza iba jedno z týchto tlačidiel, keďže vyššie alebo nižšie sa na týchto poschodiach výťahom prepraviť nedá. [4]

Vo výťahu a aj na staniaciach je možné zaznamenať ľubovoľný počet požiadaviek na jazdu, ktoré sú vybavované tak, že sú najprv vybavené všetky požiadavky pred výťahom v smere jazdy, ktorý je vybraný prvou zaznamenanou požiadavkou. Potom sa smer obráti

a vybavujú sa požiadavky na jazdu druhým smerom. Na požiadavky zaznamenané v staniách zastavuje výťah iba vtedy, ak ide o požiadavku rovnakého smeru s aktuálnym smerom jazdy výťahu alebo aj na požiadavky opačného smeru, ak ide o poslednú zaznamenanú požiadavku opačného smeru, kvôli zmene smeru jazdy výťahu. [4]

Ak je výťah plne obsadený, tak by nemal obsluhovať požiadavky zo staníc, ale iba vo vnútri výťahu. Taktiež, ak je výťah prázdny, mali by sa zrušiť všetky zostávajúce nevyriešené požiadavky zaznamenané vo výťahu. [4]

1.2.3 Skupinové riadenie

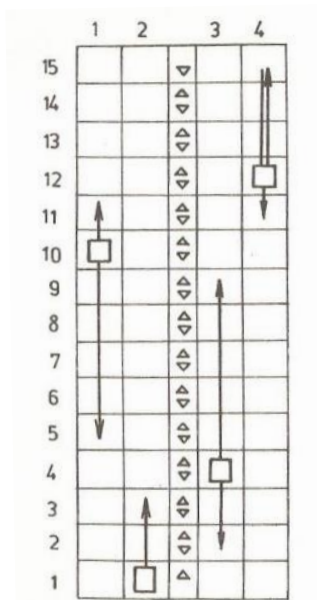
Vo väčších budovách s vysokými nárokmi na vertikálnu dopravu sa často nevystačí iba s jedným výťahom, ale musí sa použiť skupina výťahov. Na poskytnutie lepšej prevádzky je ideálne, aby boli výťahy čo najbližšie pri sebe a aby sa použil spoločný systém skupinového riadenia pre všetky výťahy. Skupinové riadenie sa zvyčajne používa pre skupiny 2 až 8 výťahov. Pre skupinu 2 výťahov sa systém označuje ako DUPLEX a pre 3 ako TRIPLEX. [4]

Pokiaľ by pracovalo vedľa seba niekoľko výťahov so samostatným riadením, mohlo by často dochádzať k tomu, že by následkom nedočkavosti používateľa stlačili viacero tlačidiel na zavolanie výťahov pre daný smer jazdy, ale odišli by iba prvým, ktorý prišiel. Tým pádom by ostatné výťahy prišli, keďže boli zavolané na dané poschodia, avšak nenastúpil by do nich žiaden človek a celý systém by bol zahltený falošnými volaniami a systém by bol menej efektívny. Aj keby používatelia stlačili iba jedno tlačidlo na privolanie výťahu, nebol by to vo väčšine prípadov práve ten výťah, ktorý je z celej skupiny výťahov na vybavenie tejto požiadavky najvhodnejší. [4]

Skupinové riadenie sa vyznačuje spoločnou registráciou požiadaviek na privolanie výťahu na staniách. Na staniách sa nachádzajú iba dve tlačidlá na privolanie výťahu, takisto ako pri systéme SIMPLEX, prípadne viacero, ktoré sú ale navzájom prepojené. To znamená, že ak čakajúci na výťah stlačí tlačidlo pre smer jazdy na stanici, tak mu môže prísť ľubovoľný výťah, avšak vždy iba jeden. [4]

Najdôležitejšie a zároveň najťažšie pri skupinovom riadení výťahov je priradiť čakajúcim na výťah taký výťah, ktorý je pre neho najvhodnejší. Riešenie na tento problém existuje veľké množstvo. [4]

Jedným z najviac rozšírených je systém priradovania výťahov znázornený na obrázku č. 3, pre skupinu 4 výťahov a 15 poschodí. V pokojovom stave sa výťahy nachádzajú na náhodných poschodiach, kam sa dostali po vybavení poslednej požiadavky na prepravu. Prázdne štvorčeky reprezentujú prázdne výťahy a šípkami je vyznačený smer, pre ktorý bude výťah požiadavky vybavovať. Na stanici, kde sa výťahy nachádzajú, výťah vybavuje požiadavky pre oba smery. Pri tomto spôsobe priradovania výťahov neprichádza vždy najbližší výťah, ale príde ten, u ktorého smer jazdy zodpovedá požadovanému smeru jazdy zo stanice. Výnimku tvoria iba tie stanice, pre ktoré by takýto výťah neexistoval (na obrázku č. 3 sú to stanice 13 až 15) [4]

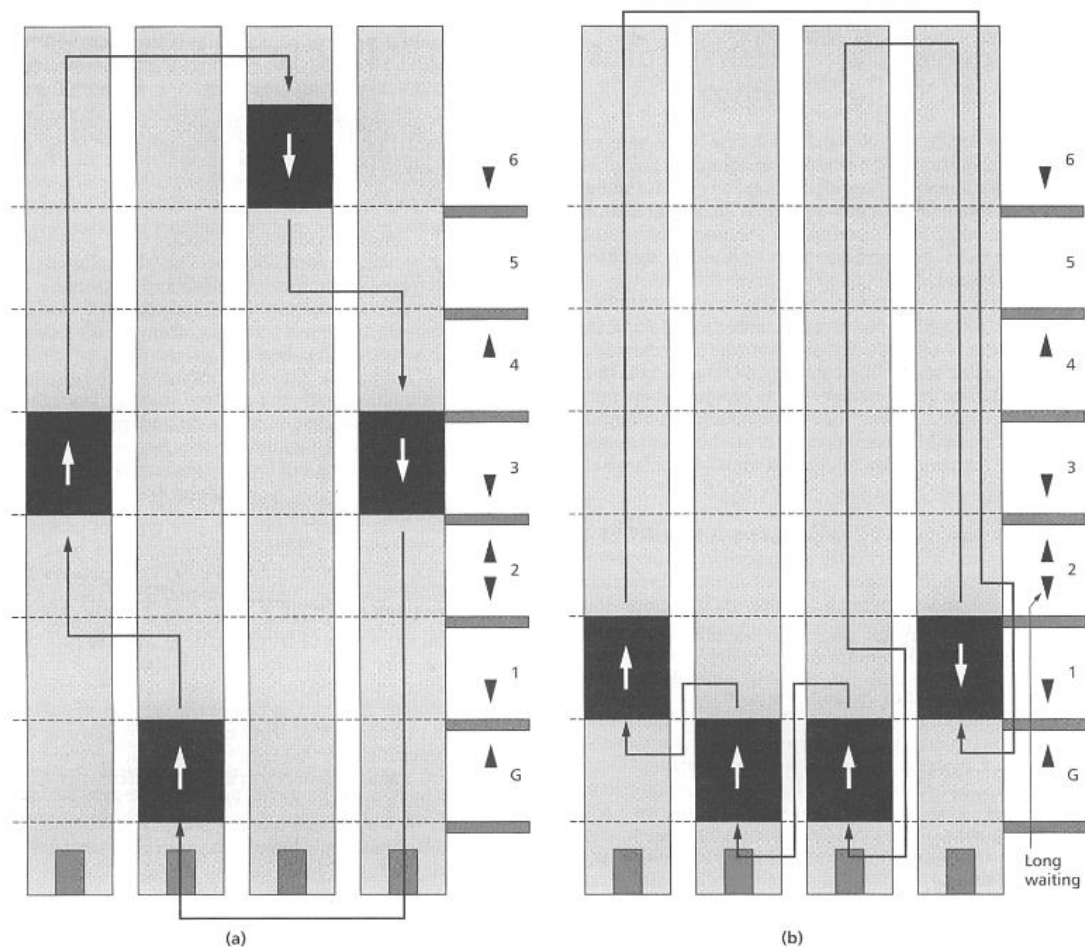


Obrázok č. 3 – Priradenie výťahov požiadavkám na jazdu u skupinového riadenia v pokojovom stave [4]

1.3 Metódy na zefektívnenie riadenia výťahov a odstránenie zhlukovania

Zhlukovanie sa dá najlepšie vysvetliť na porovnaní s autobusmi. Ak niekto čaká hodinu na autobus a potom prídu štyri autobusy naraz, tak cestujúci čakal štyri krát dlhšie ako je optimálny čas. Táto situácia je podobná aká sa deje pri skupinovom riadení výťahov. Ak sa výťahy nachádzajú v zhlukoch, tak sa stáva výťahový systém menej efektívny, keďže jeden výťah môže vybavovať všetky požiadavky, zatiaľ čo ostatné sú v pokojovom stave. [5]

Jedným zo spôsobov ako odstrániť zhukovanie, môže byť, že pri dlhšej nečinnosti výťahu, výťah presunúť do stanice v okolí ktorej nie sú žiadne výťahy alebo kde sa očakáva, že bude dopyt na prepravu vysoký. [5]



Obrázok č. 4 – Ideálne rozmiestnenie výťahov (a), zlé rozmiestnenie výťahov (b) [5]

1.3.1 Rozdelenie výťahov do zón

Pod touto metódou sa rozumie rozdeliť výťahy tak, aby stanice boli obsluhované iba jedným výťahom alebo jednou skupinou výťahov. Výnimkou sú prestupové stanice. Tento systém sa používa vo vyšších budovách a namiesto vytvárania a optimalizovania riadiaceho algoritmu, sa výťahy rozdelia do zón. Zároveň, sa očakáva, že v budovách sa budú cestujúci presúvať iba z prízemnia na iné poschodia a z iných poschodí iba na prízemie, čím sa prestupová stanica stáva prízemím a iba málokedy tam cestujúci naozaj prestupuje. [5]

| | | | | |
|-----------|---------|---------|---------|---------|
| 20 | | | • | • |
| 19 | | | • | • |
| 18 | | | • | • |
| 17 | | | • | • |
| 16 | | | • | • |
| 15 | | | • | • |
| 14 | | | • | • |
| 13 | | | • | • |
| 12 | | | • | • |
| 11 | | | • | • |
| 10 | • | • | ○ | ○ |
| 9 | • | • | ○ | ○ |
| 8 | • | • | ○ | ○ |
| 7 | • | • | ○ | ○ |
| 6 | • | • | ○ | ○ |
| 5 | • | • | ○ | ○ |
| 4 | • | • | ○ | ○ |
| 3 | • | • | ○ | ○ |
| 2 | • | • | ○ | ○ |
| 1 | • | • | ○ | ○ |
| prízemie | • | • | • | • |
| Poschodia | Výtah 1 | Výtah 2 | Výtah 3 | Výtah 4 |

Obrázok č. 5 – Rozdelenie 4 výťahov do 2 zón [6]

Na obrázku č. 5 je zobrazené možné rozdelenie štyroch výťahov do zón (v tomto prípade do dvoch), pričom prestupová stanica je prízemie. Plná guľička znamená, že výťah poschodie obsluhuje a prázdna, že výťah poschodím iba prechádza, ale neobsľuži ho. Keďže sú výťahy rozdelené po dvoch do dvoch skupín, tak tieto skupiny pracujú v režime DUPLEX. [5]

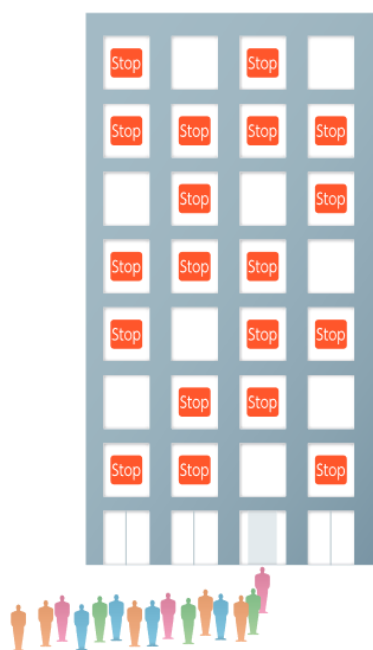
1.3.2 Zvolenie poschodia pred nastúpením do výťahu

Pri bežnom riadiacom systéme sa na zavolanie výťahu používajú na staniaciach tlačidlá nahor a nadol. Riadiaci systém vie, že sa na danom poschodí nachádza jeden alebo viac cestujúcich, ktorí chcú využiť služby výťahu. Systém sa musí preto rozhodnúť, ktorý výťah na dané poschodie vyslať a väčšinou to je ten, ktorý je najbližšie, aby čakajúci čakal čo najmenej a bol čo najskôr obsľužený. Avšak, cestujúci oznámia výťahu poschodie kam sa chcú dostať až vtedy, keď nastúpia do výťahu. [6]

Riešením je zvolenie poschodia pred nastúpením do výťahu. Na každom poschodí, ktoré výťah obsluhuje sa nachádzajú, pri tomto systéme, tlačidlá na vybratie poschodí na ktoré sa chce cestujúci prepraviť. Každý pasažier, ktorý sa chce dostať na iné poschodie si vyberie stanicu už

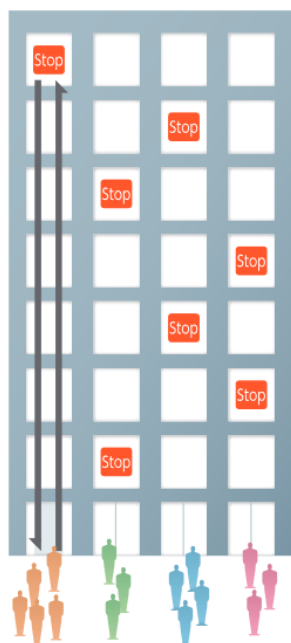
pred nastúpením do výťahu, čím dá riadiacemu systému výťahov vedieť, kam sa presne chce dopraviť. Riadiaci systém tak vie kam sa cestujúci chcú dostať a zároveň aj počet ľudí, ktorý čakajú na výťah. Cestujúcich spája do hlukov podľa toho, kam sa chcú prepraviť a vie lepšie vypočítať, ktorý výťah cestujúcim poskytnúť. Tým, že systém sa snaží počkať kým nevznikne rovnaká alebo požiadavka na prepravu, tak býva čakacia doba v priemere vyššia ako pri obyčajnom skupinovom riadení výťahov, avšak celkový priemerný čas prepravy osôb z jedného poschodia na iné býva kratšia. [6]

Princíp fungovania tohto systému sa dá ukázať na nasledujúcom príklade. V budove je 7 poschodí a prízemie a 4 výťahy, ktorý obsluhujú tieto stanice. Viacero ľudí čaká na prízemí na výťah, pričom sa chcú prepraviť na pre nás zatiaľ neznáme poschodie. Príde prvý výťah, avšak do neho sa nezmestia všetci ľudia čakajúci na výťah. Preto výťah opustí prízemie a následne obsluží poschodia kam sa ľudia vo výťahu chcú dostať. Následne na prízemie príde ďalší výťah, avšak ani ten nestačí a proces sa opakuje a nakoniec posledný štvrtý výťah zoberie posledných cestujúcich. Tento princíp je zobrazený na obrázku č. 6, kde je aj vidieť kam sa chcú cestujúci prepraviť. Síce sa podarí cestujúcim dostať sa výťahom na ich želané poschodie, avšak výťahy navštevujú viacero poschodí ako by mohli. [7]



Obrázok č. 6 – Skupinové riadenie výťahu s princípom bez zvolenia poschodia pred nastúpením do výťahu [7]

Ak by na rovnakom príklade si museli ľudia čakajúci na výťah vybrať finálnu destináciu už pred nastúpením do výťahu, systém by ľudí spojil do hlukov podľa toho kam sa chcú prepraviť. Na obrázku č. 7 je zobrazený tento princíp. Ako môžeme vidieť výťahy navštevujú menej staníc, teda obslúžia ľudí rýchlejšie. [7]



Obrázok č. 7 – Skupinové riadenie výťahu s princípom zvolenia poschodia pred nastúpením do výťahu [7]

1.3.3 Dvojpodlažný výťah

Dvojpodlažný výťah je taký výťah, ktorý vie obslúžiť naraz dve susediace stanice. Výťah má výšku dvoch poschodí namiesto klasickej výšky jedného a dve kabíny. Počas vysokého zaťaženia výťahového systému je tento výťah navrhnutý tak, že jedna časť výťahu obsluhuje nepárne poschodia, zatiaľ čo druhá obsluhuje párne poschodia. [8]

Takýto výťah je schopný prepraviť viacero pasažierov naraz a zároveň sa ušetrí miesto v budove. Nevýhodou je, ak sa chce osoba prepraviť z párneho poschodia na nepárne. V niektorých budovách tento problém eliminujú eskalátory, ktoré osoby použijú pri tomto

spôsobe. Ak by sme mali ale premávku v budove iba z prízemnia na iné poschodia a naopak, tak nám stačí eskalátor umiestniť iba medzi prízemím a prvým poschodím. [8]



Obrázok č. 8 – Ukážka dvojpodlažného výťahu [8]

Najväčšou výhodou dvojpodlažných výťahov je, že prepravujú ľudí takisto rýchlo ako jednopodlažné výťahy, ale pre menší počet výťahových šácht. Pomer výkonnosti jednopodlažných výťahov k dvojpodlažným je približne 3:2. Teda z 9 jednopodlažných výťahov sa dá spraviť 6 dvojpodlažných výťahov a efektivita výťahového systému bude približne rovnaká. [8]

Dvojpodlažné výťahy boli navrhnuté ako primárny spôsob prepravy pre vysoké budovy. Prvá budova, ktorá má iba dvojpodlažné výťahy je mrakodrap Petronas Towers v Kuala Lumpur. Spodná úroveň výťahov obsluhuje nepárne podlažia a horná úroveň párne podlažia.

Ľudia, ktorí sa chcú dopraviť na párne podlažie, musia použiť eskalátor z prízemnia na prvé poschodie, aby nastúpili do hornej časti výťahu. Výťahy sú rozdelené na skupiny podľa obsluhovaných podlaží. Avšak, prestupové poschodie nie je prízemie, ale poschodia. Kde jedna skupina výťahov obsluhuje poschodia ako svoje najvyššie, tam druhá skupina obsluhuje poschodia ako svoje najnižšie. Ak by sa teda cestujúci chcel dostať na vyššie poschodia, odvezie sa jedným výťahom a následne musí prestúpiť do ďalšieho výťahu. [8]

2 Cieľ práce

Cieľom práce bolo navrhnuť a vytvoriť aplikáciu, ktorá bude zabezpečovať inteligentné riadenie výťahov tak, aby zabezpečovala čo najnižšie dopravné časy v podmienkach v čase meniacich sa požiadaviek na poskytnutie služby.

Na splnenie hlavného cieľu práce sme si stanovili vedľajšie ciele.

Prvým vedľajším cieľom bola analýza súčasného stavu vybraného výťahového systému. To zahŕňalo zistenie parametrov takéhoto systému a pohybu ľudí medzi poschodiami a ich správanie v takomto systéme.

Ako ďalší cieľ, sme si stanovili vytvorenie simulačnej aplikácie, ktorá taktiež obsahuje grafické rozhranie, pomocou ktorého si bude môcť používateľ nastaviť parametre výťahového systému. Na simuláciu prepravy cestujúcich bude aplikácia schopná načítať vstupný súbor, kde budú uvedené jednotlivé časy, kedy si cestujúci zavolali výťah, poschodie z ktorého sa chcú prepraviť a poschodie na ktoré sa chcú prepraviť. Po spustení simulácie, bude používateľovi ukázaná simulácia výťahového systému. Následne aplikácia vygeneruje súbory a grafy s údajmi o simulácií.

Na splnenie hlavného cieľa tejto práce, sme vytvorili a porovnali jednotlivé prístupy riadenia výťahových systémov. To bolo možné zmenením parametrov výťahového systému cez grafické rozhranie a následným spustením simulácie a porovnaním vygenerovaných dát.

3 Metodika práce a metódy skúmania

Na naplnenie cieľu tejto práce sme sa rozhodli naprogramovať vlastnú simulačnú aplikáciu v programovacom jazyku Python vo verzii 3.10.4, za pomoci knižníc: *tkinter*, *csv*, *pandas* a *matplotlib*. Knižnica *tkinter* bola použitá na vizualizáciu pohybu výťahov a cestujúcich ako aj na vytvorenie grafického konfiguračného rozhrania. Informácie o cestujúcich sme do nášho softvéru dostali pomocou načítania csv súboru za pomoci knižnice *csv*. Po vykonaní simulácie nám program vygeneroval csv súbory za pomoci knižnice *csv*. V jednom sa nachádzajú časy jednotlivých ľudí strávený vo výťahovom systéme a v ďalšom súbore sa nachádzajú informácie o vyťažnosti jednotlivých výťahoch. Následne sme tieto súbory spracovali pomocou knižnice *pandas*, ktorá slúži na manipuláciu s dátami. Pre tieto dáta sme nakoniec vytvorili grafy cez knižnicu *matplotlib*, vďaka čomu sme vedeli porovnať jednotlivé prístupy riadenia výťahového systému.

3.1 Spôsob získavania údajov a ich zdroje

Keďže sme chceli, aby naša aplikácia čo najpresnejšie zodpovedala realite, tak sme potrebovali získať čo najviac údajov o výťahoch a pohybu pasažierov. Ako výťahový systém sme si zvolili systém 3 výťahov na Ekonomickej univerzite v Bratislave, v hlavnej budove bloku A. Následne sme potrebovali získať parametre tohto systému a to:

- výšku medzi jednotlivými obsluhovanými poschodiami,
- akceleráciu a deceleráciu výťahov,
- maximálnu rýchlosť,
- kapacitu výťahov,
- čas kým sa dvere otvoria/zatvoria,
- čas po ktorom sa dvere zatvoria,
- správanie ľudí v tomto systéme.

Výška medzi poschodiami bola poskytnutá a odčítaná na základe plánu hlavnej budovy Ekonomickej univerzity.

Od dodávateľa výťahov sme nezískali jednotlivé parametre výťahov, preto sme uskutočnili niekoľko meraní, aby sme tieto parametre odhadli. Avšak, zistili sme, že všetky výťahy majú rovnaké parametre, preto nám stačilo skúmať iba jeden z nich.

Na zistenie správania ľudí v tomto systéme sme si vybrali siedme poschodie, na ktorom sme skúmali prepravu ľudí výťahmi počas takmer celého dňa, v intervale 15 minút pred prestávkou až 15 minút po prestávke, kedy by mali byť požiadavky na obsluhu najvyššie. Keďže väčšinu ľudí v tomto systéme tvoria študenti, ktorí sa prepravujú najmä z prízemnia na jednotlivé poschodia alebo opačne, tak sme skúmali tieto parametre prevádzky:

- kedy vznikli požiadavky na obsluženie výťahom smerom nadol,
- koľko ľudí a kedy vystúpilo z výťahov na toto poschodie.

Následne sme podľa ďalšieho pozorovania priradili jednotlivým poschodiam vyťaženosť prepravy na základe obsadenosti poschodí na stupnici od 1 (najmenej) – 10 (najviac). Nakoniec sme vygenerovali dopyty na jednotlivé poschodia podľa týchto zistených parametrov.

3.2 Štatistické metódy

Na porovnanie jednotlivých prístupov riadenia výťahových systémov sme zvolili porovnanie toho istého vstupného súboru, zoznamu ľudí, pre viaceré rozličné nastavenia simulácie. Po dokončení simulácie sme pre každý prístup získali tieto dáta:

- čas ľudí strávený vo výťahoch,
- čas ľudí strávených čakaním na výťah,
- prejdená vzdialenosť pre každý výťah,
- počet obslužených ľudí pre každý výťah.

Zo získaných dát sme za pomoci knižnice *matplotlib* vytvorili stĺpcové, čiarové a box plot grafy na ktorých sme jednotlivé prístupy porovnali.

4 Výsledky práce

4.1 Parametre výťahového systému

Ako výťahový systém, ktorý sme sa rozhodli nasimulovať, sme si vybrali výťahový systém troch výťahov v hlavnej budove na Ekonomickej univerzite. Tieto tri výťahy sa nachádzajú vedľa seba a požiadavky na prepravu sa vybavujú v princípe zberného obojsmerného riadenia. Avšak, tieto výťahy nemajú spoločné riadenie, teda sa jedná o SIMPLEX obsluhu.

Na zistenie ako dlho trvá preprava pasažiera výťahom z jedného poschodia na druhé je potrebné zistiť tieto parametre:

- čas potrebný na nastúpenie pasažiera,
- čas než sa začnú dvere zatvárať,
- čas zatvorenia dverí,
- čas prepravy na zvolené poschodie,
- čas otvorenia dverí,
- čas potrebný na vystúpenie pasažiera.

Dĺžka času prepravy na zvolené poschodie sa dá zistiť pomocou meraní času prepravy z každého poschodia na ostatné. Jednoduchšie je ale zistiť výšku obsluhovaných poschodí, akceleráciu, deceleráciu a maximálnu rýchlosť výťahov a pomocou týchto parametrov vieme vyjadriť čas na presun medzi jednotlivými poschodiami.

Časy potrebné na nastúpenie a vystúpenie pasažierov by sme museli odmerať pre každý počet nastupujúcich a vystupujúcich ľudí. Kvôli zložitosti a vysokej nožnej odchýlky pozorovania sme sa rozhodli tento parameter neskúmať a nakoniec sme ho iba odhadli.

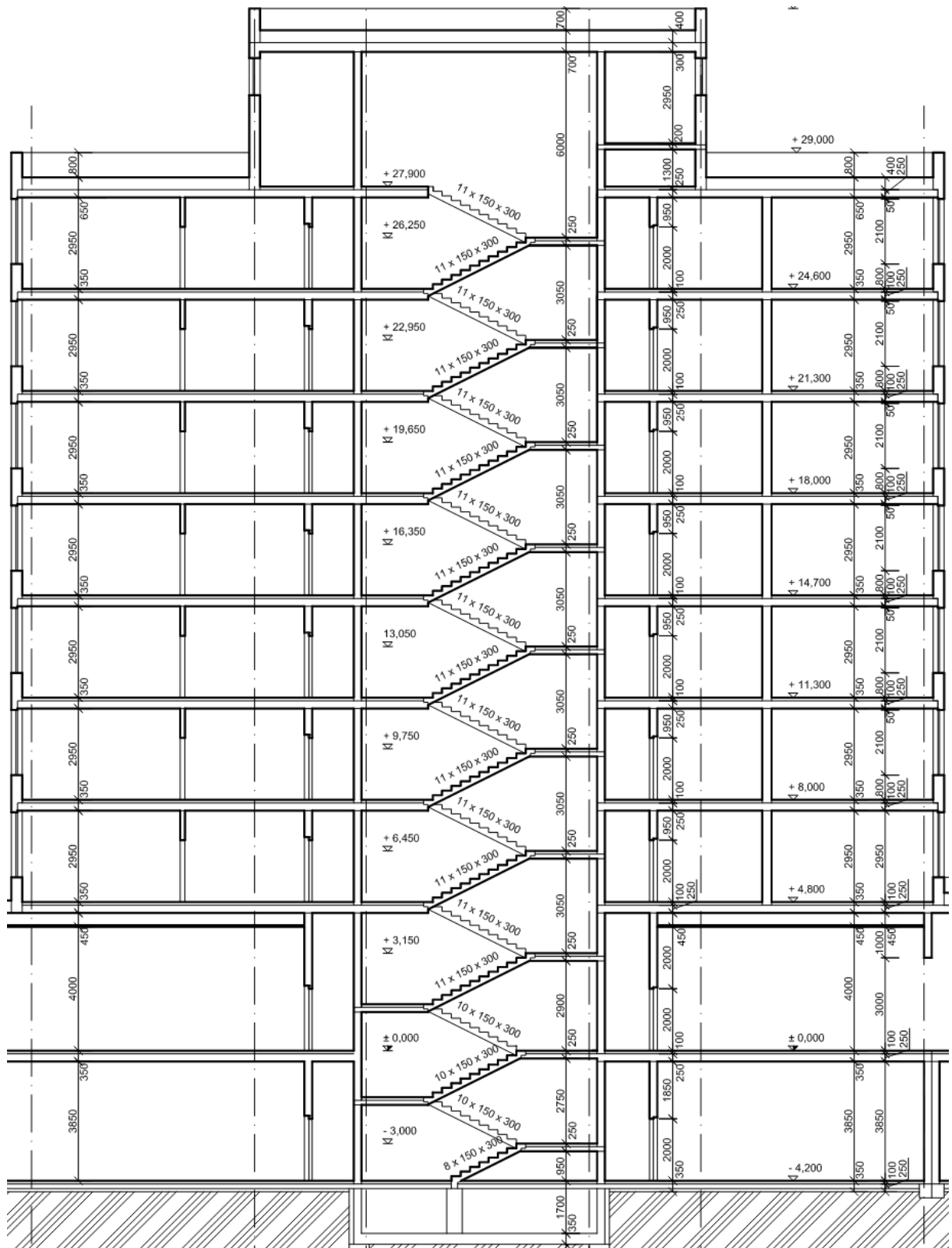
V nasledujúcich kapitolách sú uvedené zistené parametre tohto výťahového systému, ktoré bolo potrebné zistiť na čo najpresnejšie vykonanie simulácie v simulačnom softvéri. Keďže sa jedná o výťahy rovnakej špecifikácie, tak na zistenie parametrov výťahov nám stačilo skúmať iba jeden z nich.

4.1.1 Výška medzi jednotlivými obsluhovanými poschodiami

Na zistenie tohto parametra nám bol poskytnutý plán hlavnej budovy Ekonomickej univerzity (obrázok č. 9). Z poskytnutého plánu sme odčítali výšky medzi poschodiami a prízemím, ktoré sú uvedené v tabuľke č. 1.

| Poschodie | Výška nad prízemím v metroch |
|-----------|------------------------------|
| 7. | 24.6 |
| 6. | 21.3 |
| 5. | 18 |
| 4. | 14.7 |
| 3. | 11.3 |
| 2. | 8 |
| 1. | 4.8 |
| -1. | -4.2 |

Tabuľka č. 1 – Výška poschodí nad prízemím [Zdroj: vlastné spracovanie]



Obrázok č. 9 – Časť plánu hlavnej budovy Ekonomickej univerzity

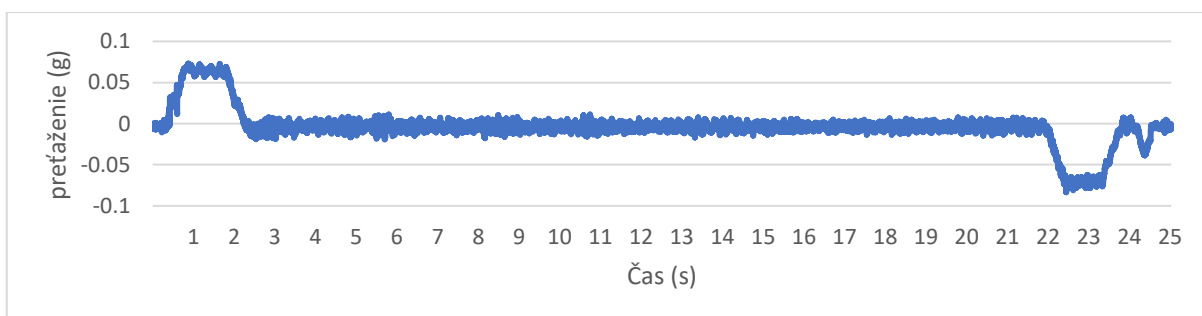
[Ing.arch. Balázs Füzék, 2009]

4.1.2 Akcelerácia a decelerácia a maximálna rýchlosť

Na zistenie akcelerácie, decelerácie a maximálnej rýchlosti výťahov sme museli vykonať merania na odhadnutie týchto parametrov, pretože nám tieto parametre neboli poskytnuté. Ako meracie zariadenie sme použili mobil, ktorý má v sebe akcelerometer a aplikáciu, ktorá nám bola schopná zapnúť nahrávanie akcelerometra a údaje uložiť do súboru. Postup merania bol takýto:

1. umiestniť zariadenie do fixnej polohy,
2. zapnúť meranie akcelerometra pri nečinnosti výťahu,
3. vypnúť meranie akcelerometra po zastavení na poschodí.

Takýchto meraní sme uskutočnili 5, pre každý smer jazdy. Aplikácia nám každé meranie uložila do *csv* súboru a následne sme z nameraných dát určili začiatok a koniec akcelerácie a decelerácie. Zo zistených intervalov sme vypočítali priemernú akceleráciu a deceleráciu výťahu. Hodnoty sme zapísali do tabuľky č. 2.



Obrázok č. 10 – Jedno z meraní akcelerometrom pri pohybe výťahu smerom nahor

[Zdroj: vlastné spracovanie]

Na obrázku č. 10 je vidieť preťaženie namerané akcelerometrom vo výťahu. Pri tomto meraní sa presunul výťah z prízemnia na ôsme poschodie. Čas strávený presunom výťahu bol približne 25 sekúnd. Ako vidieť z obrázku, namerané dáta boli v jednotkách gravitačného zrýchlenia g , preto sme toto zrýchlenie previedli na m/s^2 vynásobením konštantou 9,80665. Na obrázku je taktiež možné vidieť, že výťah deceleruje dvakrát. Najprv spomalí prudšie, ale výťah je ešte stále v miernom pohybe. Po kratšom čase výťah začne decelerovať ešte raz a to preto, aby sa nachádzal presne na poschodí.

Z akcelerácie a decelerácie sme vypočítali maximálnu rýchlosť podľa vzorca:

$$v = at$$

- v – maximálna rýchlosť v metroch za sekundu (m/s),
- a – akcelerácia alebo decelerácia v metroch za sekundu na druhú (m/s²),
- t – čas akcelerácie alebo decelerácie v sekundách (s).

| Smer jazdy | Akcelerácia (m/s ²) | Decelerácia (m/s ²) | Maximálna rýchlosť podľa akcelerácie (m/s) | Maximálna rýchlosť podľa decelerácie (m/s) |
|------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Nahor | 0,50 | 0,38 | 0,93 | 1,07 |
| Nahor | 0,48 | 0,39 | 0,92 | 1,08 |
| Nahor | 0,49 | 0,38 | 0,93 | 1,07 |
| Nahor | 0,51 | 0,38 | 0,95 | 1,06 |
| Nahor | 0,50 | 0,37 | 0,93 | 1,05 |
| Nadol | 0,54 | 0,42 | 1,05 | 0,87 |
| Nadol | 0,53 | 0,43 | 1,04 | 0,92 |
| Nadol | 0,50 | 0,42 | 1,02 | 0,91 |
| Nadol | 0,51 | 0,40 | 1,02 | 0,90 |
| Nadol | 0,49 | 0,41 | 1,01 | 0,92 |

Tabuľka č. 2 – Namerané hodnoty akcelerácie, decelerácie a vypočítané hodnoty maximálnej rýchlosti výtahu [Zdroj: vlastné spracovanie]

Namerané hodnoty sme spriemerovali a po zaokrúhlení na jedno desatinné číslo zistili, jednotlivé parametre:

- akcelerácia výtahu: 0,5 m/s²,
- decelerácia výtahu: 0,4 m/s²,
- maximálna rýchlosť výtahu: 1 m/s.

4.1.3 Čas otvorenia a zatvorenia dverí a čas po ktorom sa dvere zatvoria

Ďalšie parametre, ktoré sme potrebovali zistiť je čas otvorenia a zatvorenia dverí a čas po ktorom sa dvere zatvoria. Na ich zistenie sme uskutočnili 5 meraní.

| Čas otvorenia dverí (s) | Čas zatvorenia dverí (s) | Čas po ktorom sa dvere zatvorili (s) |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 3,15 | 2,81 | 4,24 |
| 2,93 | 3,08 | 3,92 |
| 3,01 | 3,14 | 4,11 |
| 3,11 | 2,97 | 3,84 |
| 2,95 | 3,15 | 4,12 |

Tabuľka č. 3 – Namerané hodnoty otvorenia a zatvorenia dverí a času po ktorom sa dvere zatvorili [Zdroj: vlastné spracovanie]

Namerané hodnoty sme spriemerovali a zaokrúhlili na celé číslo a dostali sme jednotlivé parametre:

- čas otvorenia dverí: 3 s,
- čas zatvorenia dverí: 3 s,
- čas po ktorom sa dvere zatvoria: 4 s.

4.1.4 Pohyb ľudí

Zistiť kam sa ľudia chcú prepraviť pomocou výťahov je v každom výťahovom systéme veľmi dôležitá informácia. Poschodia môžu mať voči sebe odlišný dopyt po obsluhu výťahov a taktiež ľudia, ktorí na týchto poschodiach do výťahu nastúpia, môžu mať rozdielne cieľové poschodie kam sa chcú prepraviť. Na zistenie dopytu ľudí vo výťahovom systéme teda musíme odpozorovať:

- kedy vznikla požiadavka na obsluhu,
- z akého poschodia,
- na aké poschodie.

Keďže väčšinu ľudí v tomto výťahovom systéme tvoria študenti, tak sme sa zamerali na ich dopyty po výťahoch.

Z vlastných skúseností, ako aj z pozorovaní, sme zistili, že takmer všetci študenti majú záujem iba o tieto dva druhy prepravy:

- z prízemí na druhé až siedme poschodie,
- z druhého až siedmeho poschodia na prízemie.

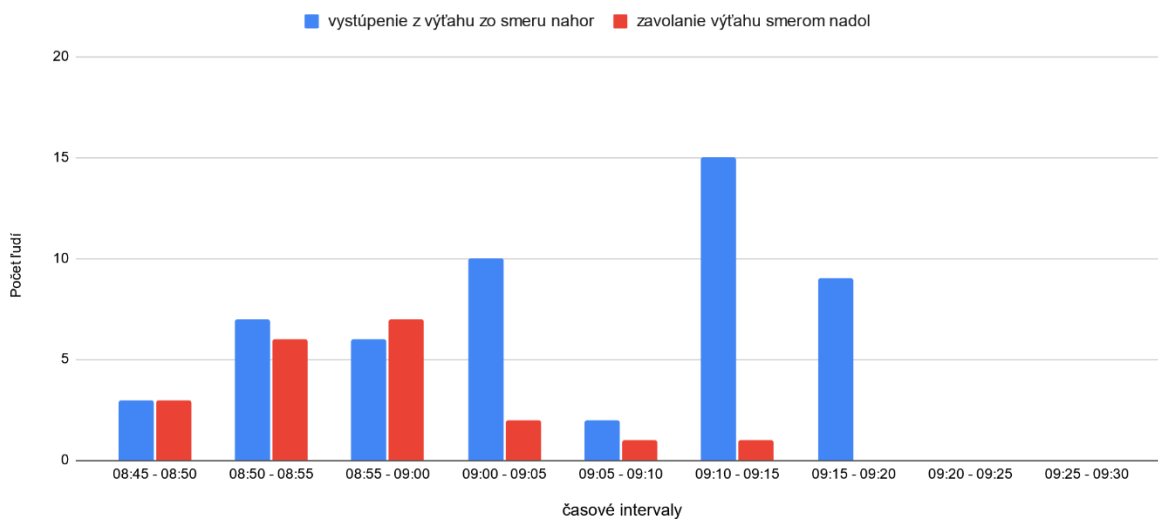
Na prízemí je dopyt po výťahoch najvyšší kvôli tomu, že sa na ňom nachádza vchod do budovy, prednáškové miestnosti a bufet. Na druhom až siedmom sa nachádzajú vyučovacie miestnosti jednotlivých fakúlt. Záujem o prepravu z alebo na podzemné podlažie a prvé poschodie je nízky, pretože sa tu nič zo spomenutých vecí nenachádza a teda je presun študentov na tieto poschodia minimálny. Taktiež, ak sa jedná o presun medzi susednými poschodiami, tak preferujú schody, pomocou ktorých sa dostanú na poschodie v priemere rýchlejšie ako výťahom.

Za pomoci získaných informácií, sme sa rozhodli uskutočniť pozorovanie dopytu po výťahoch. Pozorovanie sme uskutočnili na piatom poschodí v stredu, kedy sa na tomto poschodí nachádza viac cvičení, čo znamená, že by sme mali zaznamenať vysoký počet študentov požadujúcich prepravu výťahmi. Časový interval, počas ktorého sme uskutočnili pozorovanie, sme si zvolili 15 minút pred až 15 minút po prestávke medzi 8:45 – 15:30. Uskutočnili sme teda pozorovania v týchto časových intervaloch:

1. 08:45 – 09:15
2. 10:30 – 11:15
3. 12:15 – 13:45
4. 14:45 – 15:30

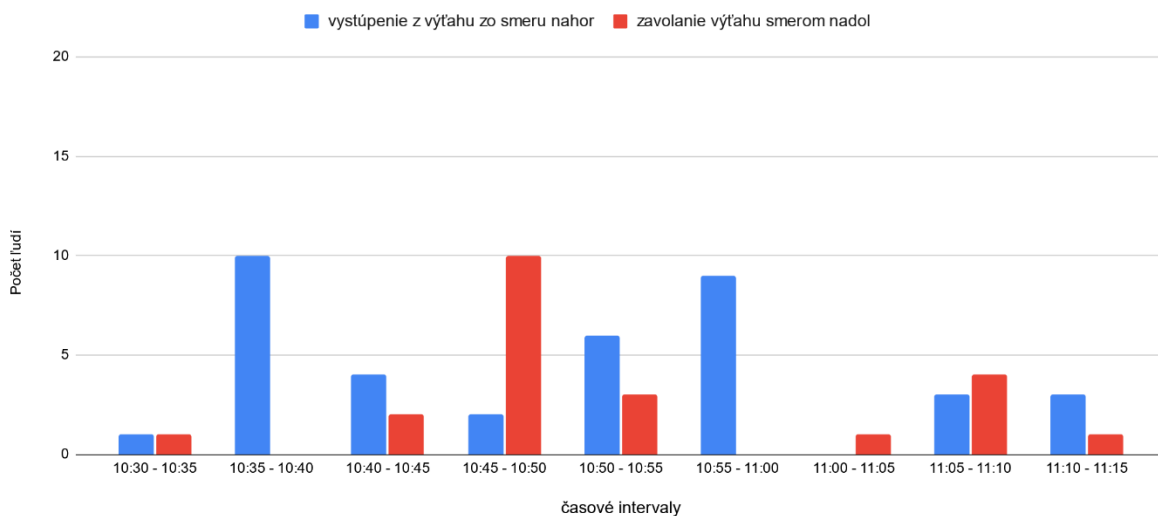
Počas pozorovaní sme sledovali, kedy chceli byť študenti obslužený výťahom smerom nadol a kedy študenti vystúpili z výťahu zo smeru nahor. Následne sme tieto časy rozdelili do päťminútových intervalov a počet týchto udalostí sme znázornili na stĺpcových grafoch.

Obsluha výťahom na 5. poschodí



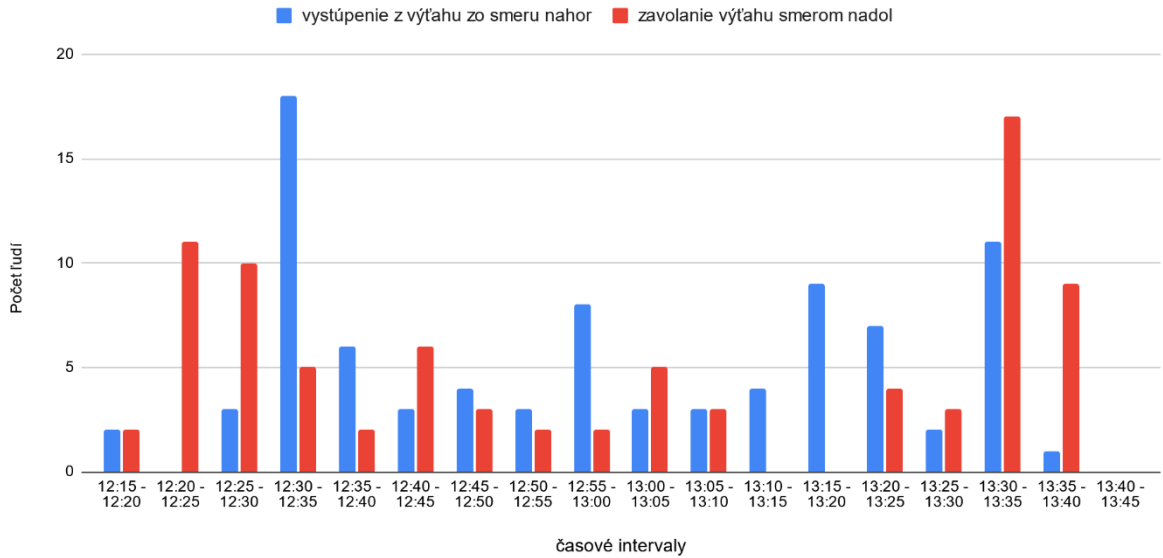
Obrázok č. 11 – Obsluha výťahom na 5. poschodí v časovom intervale 08:45 – 09:30
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Obsluha výťahom na 5. poschodí



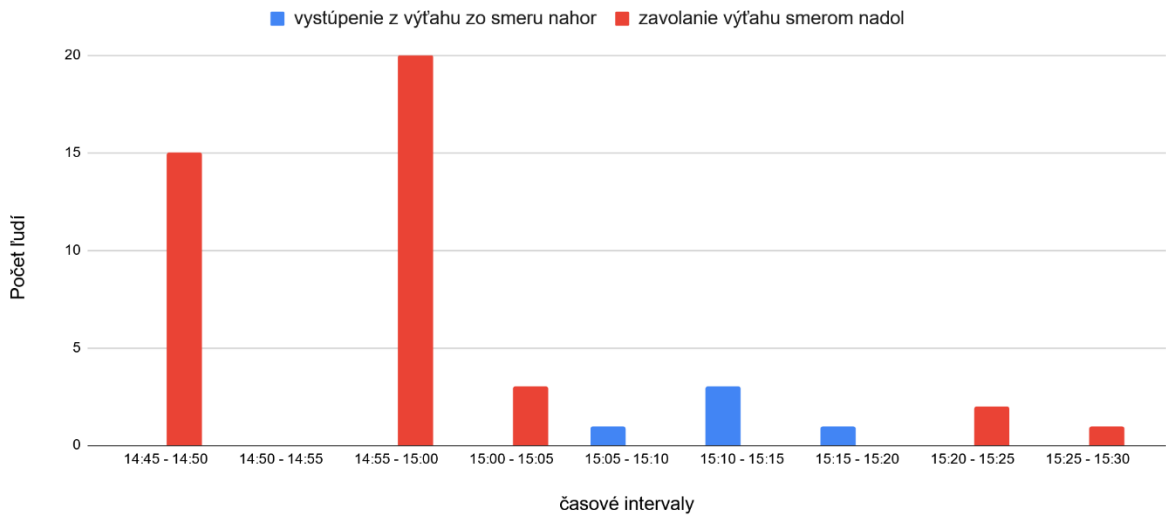
Obrázok č. 12 – Obsluha výťahom na 5. poschodí v časovom intervale 10:30 – 11:15
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Obsluha výťahom na 5. poschodí



Obrázok č. 13 – Obsluha výťahom na 5. poschodí v časovom intervale 12:15 – 13:45
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Obsluha výťahom na 5. poschodí



Obrázok č. 14 – Obsluha výťahom na 5. poschodí v časovom intervale 14:45 – 15:30
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Na tomto poschodí sme zaznamenali vysoký počet študentov, ktorí používajú výťahy na prepravu buď z prízemie na toto poschodie alebo z tohto poschodia na prízemie. Počas skúmaných intervaloch sa ale počet požiadaviek na prepravu menil.

| Časový interval | Počet študentov, požadujúcich obsluhu výťahom smerom nadol | Počet študentov, ktorí vystúpili z výťahu zo smeru nahor |
|-----------------|--|--|
| 08:45 – 09:30 | 20 | 52 |
| 10:30 – 11:15 | 22 | 38 |
| 12:15 – 13:45 | 84 | 87 |
| 14:45 – 15:30 | 41 | 5 |
| Spolu | 167 | 182 |

Tabuľka č. 4 – Obsluha výťahom na 5. poschodí pre všetky intervaly

[Zdroj: vlastné spracovanie]

Z tabuľky č. 4 môžeme usúdiť, že počet študentov, ktorí sa chcú prepraviť na toto poschodie z prízemie je vyšší ako počet študentov, ktorí sa chcú prepraviť z tohto poschodia na prízemie. Môže to byť spôsobené tým, že sme neskúmali celý deň na tomto poschodí. Avšak, sa domnievame, že najväčším faktorom je to, že študenti pri presune z tohto poschodia na prízemie, teda smerom nadol, viac uprednostňujú schody. Presun schodmi smerom nadol nie je až tak namáhavý ako smerom nahor a častokrát aj rýchlejší ako pomocou výťahov. Ďalej je z tejto tabuľky jasne vidieť, že najväčší pohyb študentov je v intervale 12:15 – 13:45, kedy je obedná prestávka. Študenti sa presúvajú na prízemie, kde sa najedia alebo si zoberú jedlo a následne sa presunú naspäť na toto poschodie. Taktiež ráno (08:45 – 09:30) je počet študentov vystupujúcich na toto poschodie väčší ako počet tých, ktorí na tomto poschodí nastupujú do výťahov a poobede (14:45 – 15:30) je to opačne.

Následne sme skúmali, aký je pohyb ľudí na iných poschodiach. Na čo najlepšie porovnanie jednotlivých poschodí by sme museli tieto pozorovania uskutočniť v rovnaký deň v týždni. Aj kvôli vysokej časovej náročnosti predchádzajúceho pozorovania sme sa preto rozhodli, že uskutočnime jednoduchšie pozorovanie. Počas celého dňa sme skúmali počet ľudí na jednotlivých poschodiach. Následne sme týmto poschodiam priradili vyťaženosť výťahov od 1 (najmenej) – 10 (najviac) podľa počtu ľudí využívajúcich prepravu výťahom na prízemie alebo z prízemie. Priradené váhy je možné vidieť v tabuľke č. 5.

| Poschodie | Stupeň vyťaženia výtahov študentmi, požadujúcich obsluhu výtahom smerom nadol | Stupeň vyťaženia výtahov študentmi, ktorí vystúpili z výtahu zo smeru nahor |
|-----------|---|---|
| 7. | 3 | 3 |
| 6. | 9 | 10 |
| 5. | 8 | 9 |
| 4. | 5 | 7 |
| 3. | 4 | 7 |
| 2. | 1 | 4 |

Tabuľka č. 5 – Priradené stupne vyťaženia výtahov pre jednotlivé poschodia

[Zdroj: vlastné spracovanie]

Ako sme už spomínali, tak na prvé ako aj do skladu (-1. poschodie) sa študenti neprepravujú a preto sme tieto podlažia z pozorovania vynechali. Počas pozorovania sme si všimli, že čím bližšie sa poschodie nachádza k prízemiu, tým je záujem o prepravu pomocou výtahov menší. Taktiež je na takýchto poschodiach menší záujem o prepravu smerom nadol, keďže výtahy smerujúce nadol, ktoré zastavia na týchto poschodiach často bývajú už plne obsadené.

Zo zistených dát sme vygenerovali požiadavky na prepravu z jednotlivých poschodí. V kapitole 4.2 je presný postup ako sme požiadavky generovali.

4.1.5 Správanie ľudí

Pri skúmaní pohybu ľudí sme si všimli aj správanie ľudí. Keďže systém funguje na princípe SIMPLEX, tak niektorí ľudia nestlačili iba jedno tlačidlo pre obsluhu výtahom v daný smer, ale všetky tri. Keď sa vo výtahovom systéme nenachádza veľa ľudí, tak to nemá až taký vplyv na efektívnu činnosť výtahov. Avšak, ak čaká viacero ľudí na výtah na iných poschodiach, tak to znamená, že výtahy k nim prídu neskôr. Totižto človek, ktorý zavola všetky výtahy, nastúpi iba do jedného z nich a ostatné zastavia na tomto poschodí zbytočne. Takto nastáva spomalenie obsluhy výtahov, vďaka čomu môže byť viacero ľudí netrpezlivých a začnú sa tiež takto správať a privolavať viacero výtahov. Na odstránenie takéhoto problému by si

mohli ľudia napríklad volať toľko výťahov, podľa toho, koľko ľudí čaká na poschodí na výťah pre daný smer a toto číslo vydeliť kapacitou výťahov. Tento problém môže byť aj odstránený použitím systému MULTIPLEX pre tento výťahový systém. Avšak aj tento princíp má svoje nevýhody. Pri obsluhu daného poschodia by sa odstránili volania z tohto poschodia, ale ak na poschodí chcú byť stále obslužení ľudia v danom smere, museli by počkať, kým výťah odíde a až potom stlačiť tlačidlo obsluhy.

Ďalšie správanie, ktoré sme si všimli, bolo, že ľudia, ktorí už čakali na výťah dlhší čas, sa rozhodli ísť na zvolené poschodie schodmi. Toto spôsobilo rovnaký problém – výťah alebo výťahy došli na toto poschodie zbytočne a neobslúžili nikoho.

4.1.6 Kapacita výťahov

Kapacita výťahov je posledný parameter, ktorý sme museli pre výťahový systém zistiť. Nosnosť výťahov, ktorú udáva výrobca je 17 osôb alebo 1275 kg. Jedná sa o maximálnu hmotnosť alebo počet ľudí, ktorých je schopný každý výťah v tomto systéme naraz prepraviť.

Z pozorovaní sme zistili, že do jedného výťahu sa zmestí oveľa menší počet ľudí a ďalší ľudia už nenastúpia, či už z dôvodu komfortu alebo sa do výťahu jednoducho už nezmestia. V niektorých prípadoch bola kapacita výťahu iba osem a v niektorých aj jedenásť ľudí, preto sme stanovili kapacitu výťahov na desať ľudí.

4.1.7 Generovanie pohybu ľudí

Na zistenie dopytu ľudí pre každé poschodie vo výtahovom systéme sme sa rozhodli dopyty vygenerovať. Z pozorovaní sme získali informácie o dopytoch na piatom poschodí a z ďalšieho pozorovania vyťažnosti jednotlivých pochodí. Zistené dopyty na piatom poschodí sme sa rozhodli rozdeliť do 15-minútových intervalov, teda pred prestávkou, počas prestávky a po prestávke. Keďže obedňajšia prestávka trvá až jednu hodinu, tak sme sa rozhodli túto prestávku rozdeliť do dvoch polhodinových intervalov. Ako sme už spomenuli, tak na 1. poschodie a na -1. poschodie sa študenti neprepravujú, preto sme tieto poschodia z generovania dopytov vylúčili. V tabuľke č. 6 sa nachádzajú dopyty po výťahoch podľa rozdelených intervalov.

| Časový interval | Počet študentov, požadujúcich obsluhu výťahom smerom nadol | Počet študentov, ktorí vystúpili z výťahu zo smeru nahor |
|-----------------|--|--|
| 08:45 – 09:00 | 16 | 16 |
| 09:00 – 09:15 | 4 | 27 |
| 09:15 – 09:30 | 0 | 9 |
| 10:30 – 10:45 | 3 | 15 |
| 10:45 – 11:00 | 13 | 17 |
| 11:00 – 11:15 | 6 | 6 |
| 12:15 – 12:30 | 23 | 5 |
| 12:30 – 13:00 | 20 | 42 |
| 13:00 – 13:30 | 15 | 28 |
| 13:30 – 13:45 | 26 | 12 |
| 14:45 – 15:00 | 35 | 0 |
| 15:00 – 15:15 | 3 | 4 |
| 15:15 – 15:30 | 3 | 1 |

Tabuľka č. 6 – Obsluha výťahom na 5. poschodí pre rozdelené intervaly

[Zdroj: vlastné spracovanie]

Následne sme potrebovali vygenerovať dopyty pre všetky poschodia podľa počtu dopytov z tabuľky č. 6 a podľa priradených stupňov vyťažnosti z tabuľky č. 5. Stupeň vyťažnosti bol pre nás násobiteľ. To znamená, že počet študentov, požadujúcich obsluhu výťahom smerom nadol napríklad pre tretie poschodie a pre interval 08:45 – 09:00 sme vypočítali nasledovne:

1. v tabuľke č. 6 sme našli počet študentov, požadujúcich obsluhu výťahom na piatom poschodí smerom nadol pre interval 08:45 – 09:00, dostali sme premennú a s hodnotou 16,
2. podľa tabuľky č. 5 sme zistili vyťažnosť tohto poschodia pre túto činnosť, čo je premenná b s hodnotou 8,
3. podľa tabuľky č. 5 sme zistili vyťažnosť pre tretie poschodie pre túto činnosť, čím sme dostali poslednú premennú c s hodnotou 4,
4. následne sme pomocou vzorca $a / b * c$ dostali výsledný dopyt pre tretie poschodie a to $16 / 8 * 4 = 8$ (v prípade, že nám vyšlo desatinné číslo, tak sme ho ešte zaokrúhlili na celé číslo nahor).

Tento postup sme aplikovali pre každé poschodie, interval a typ dopytu, teda $6 * 13 * 2$, čo je 156-krát. Na uľahčenie generovania dopytov sme si preto vytvorili skript v programovacom jazyku Python, ktorý sme naplnili týmito údajmi a vygeneroval nám dopyty pre náš výťahový systém. Tieto dopyty nám následne uložil do *csv* súboru, ktorý neskôr použijeme na simuláciu.

| čas privolania výťahu | z poschodia | na poschodie |
|-----------------------|-------------|--------------|
| 08:45:13.140 | 7 | 0 |
| 08:45:15.020 | 6 | 0 |
| 08:45:21.260 | 6 | 0 |
| 08:45:29.450 | 0 | 2 |
| 08:46:07.340 | 6 | 0 |
| 08:46:12.630 | 0 | 4 |
| 08:46:14.550 | 0 | 4 |

Tabuľka č. 7 – Ukážka súboru prvých 7 dopytov z celkového vygenerovaného počtu 1482

[Zdroj: vlastné spracovanie]

Ďalej sme ešte vygenerovali náhodný pohyb ľudí v budove počas celého dňa. Títo ľudia môžu byť napríklad upratovačky alebo učitelia či študenti, ktorí sa prepravujú aj medzi jednotlivými poschodiami a nie iba z prízemia na iné poschodie a opačne. Ako počet takýchto volaní počas celého dňa sme si zvolili 200. Na generovanie dopytov sme si opäť vytvorili skript v programovacom jazyku Python. Pre jednoduchosť, sme si zvolili generovaný časový interval 09:00 – 16:00. To znamená, že približne každé 2 minúty nastane takýto dopyt. Okrem iného sme museli aj zabezpečiť, že nám skript nevytvorí dopyty požadujúce prepravu z jedného poschodia na to isté.

| čas privolania výťahu | z poschodia | na poschodie |
|-----------------------|-------------|--------------|
| 09:05:03.560 | 1 | 0 |
| 09:09:28.630 | 5 | 3 |
| 09:10:06.940 | 2 | 0 |
| 09:13:56.890 | 7 | 4 |
| 09:14:18.930 | 2 | 1 |
| 09:16:06.180 | 0 | 3 |
| 09:17:35.270 | 5 | 1 |

Tabuľka č. 8 – Ukážka súboru prvých 7 dopytov z celkového vygenerovaného počtu 200

[Zdroj: vlastné spracovanie]

4.2 Vytvorenie softvéru na simuláciu výt'ahového systému

Na simulovanie výt'ahového systému sme nevedeli nájsť existujúci voľne dostupný softvér, ktorý by vyhovoval našim potrebám. Od simulačného softvéru sme požadovali nasledovné:

- nastavenie zistených parametrov výt'ahového systému (kapitola 4.1),
- simuláciu pohybu výt'ahu pomocou akcelerácie, decelerácie a maximálnej rýchlosti,
- načítanie dopytov zo súboru.

Väčšina nájdených softvérov bola veľmi jednoduchá a museli by sme veľa vecí doprogramovať. Zvolili sme preto časovo náročnejšie riešenie, ale aj oveľa kvalitnejšie, a to vytvorenie vlastného výt'ahového simulačného softvéru.

Na uľahčenie tvorby softvéru sme sa rozhodli vyvíjať ho v programovacom jazyku Python. Simulácia tak síce nebude najrýchlejšia, ale implementácia je časovo menej náročná v porovnaní s rýchlejšími jazykmi ako napríklad C++. Python nám taktiež ponúka knižnicu na vytváranie štatistických grafov pomocou knižnice *matplotlib* s ktorou sme sa v minulosti už stretli.

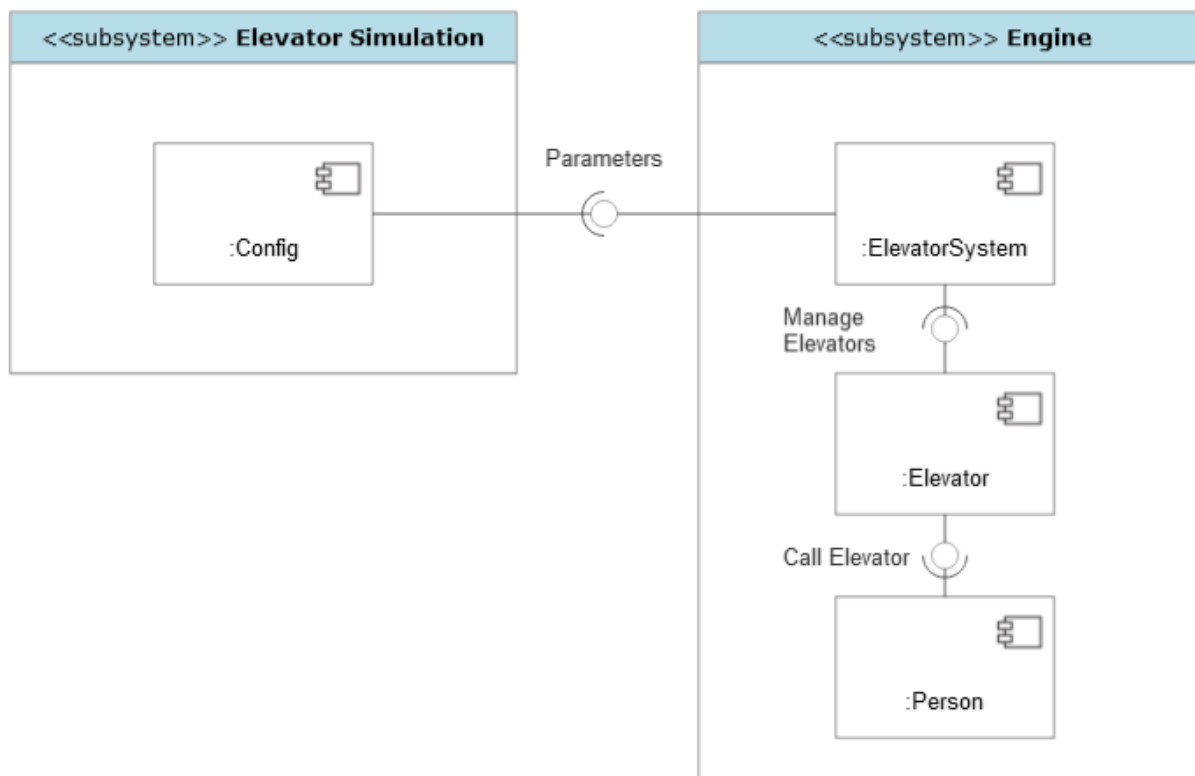
Tvorbu softvéru sme rozdelili do dvoch hlavných častí.

Prvá časť pozostávala z vytvorenia používateľského rozhrania za pomoci knižnice *tkinter*. Tu sme pridali možnosť nastavenia potrebných parametrov pre výt'ahový systém, ako aj možnosť nastavenia ďalších parametrov, ktoré majú vplyv na zlepšenie alebo zhoršenie efektívnosti výt'ahového systému.

Druhá časť pozostávala z vytvorenia simulácie výt'ahov. Simuláciou sme sa snažili čo najlepšie priblížiť k reálnemu stavu. Pohyb výt'ahov bol teda zabezpečený pomocou akcelerácie a decelerácie, vďaka čomu sme videli takmer identický pohyb výt'ahov ako v realite. Tvorba simulácie výt'ahov zahŕňala implementáciu najjednoduchších funkcií ako otvorenie a zatvorenie dverí výt'ahov až po zložité, ako presun výt'ahov medzi poschodiami a obsluha poschodí výt'ahmi. Následne, po dokončení simulácie, musel byť schopný program zapísať namerané

hodnoty do súborov na neskoršie porovnanie jednotlivých zvolených úprav výtahového systému.

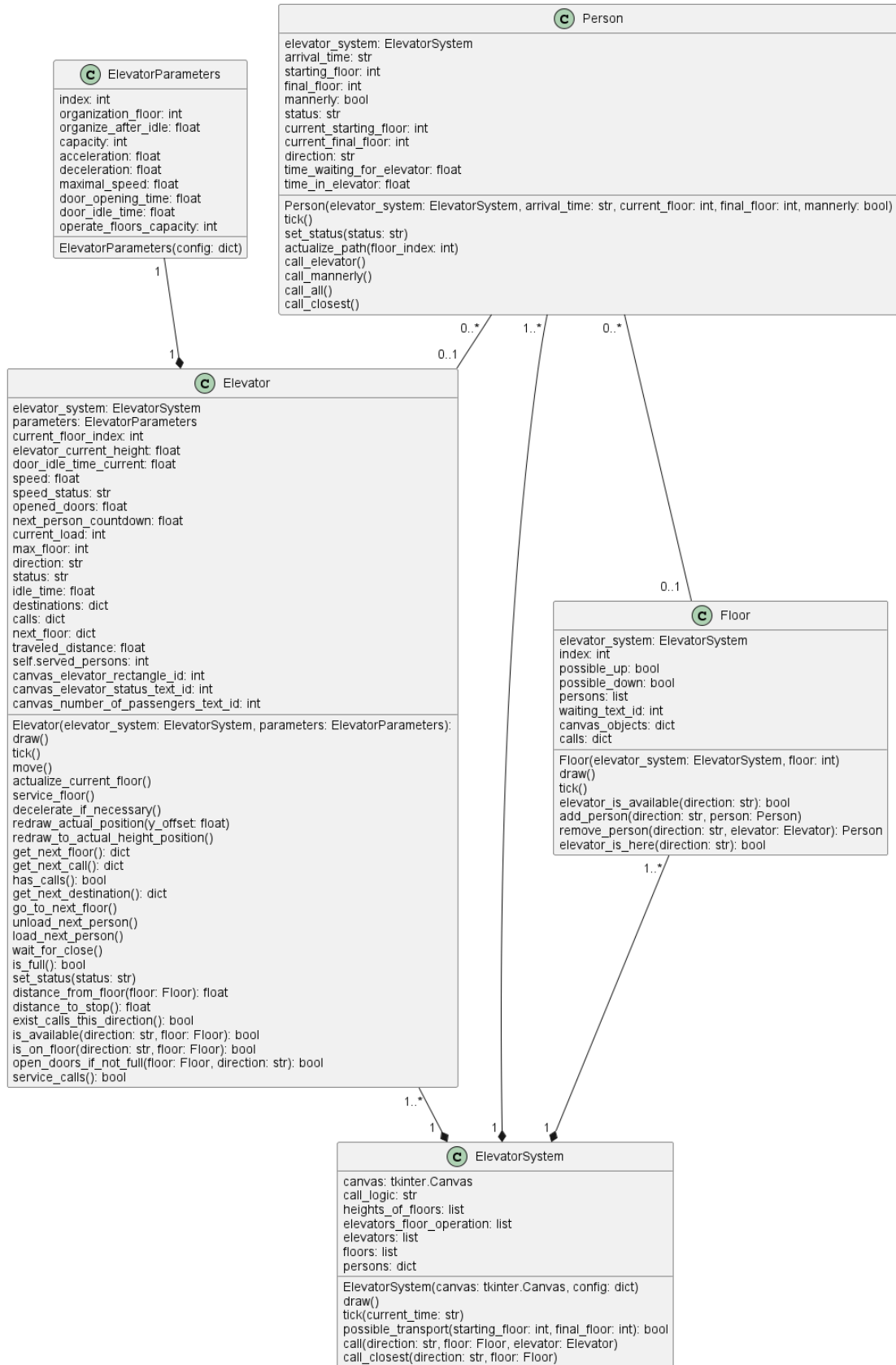
Vytvorený simulačný softvér pozostáva z dvoch hlavných komponentov – subsystémov (obrázok č. 15) a to *Elevator Simulation* a *Engine*.



Obrázok č. 15 – Komponentový diagram [Zdroj: vlastné spracovanie]

Na obrázku č. 16 sa nachádzajú triedy, členské premenné a funkcie tried pre hlavný komponent *Engine*. Z obrázku môžeme vidieť, že trieda *ElevatorSystem* je najdôležitejšia, pretože všetky ostatné triedy sú silne závislé na životnom cykle tejto triedy.

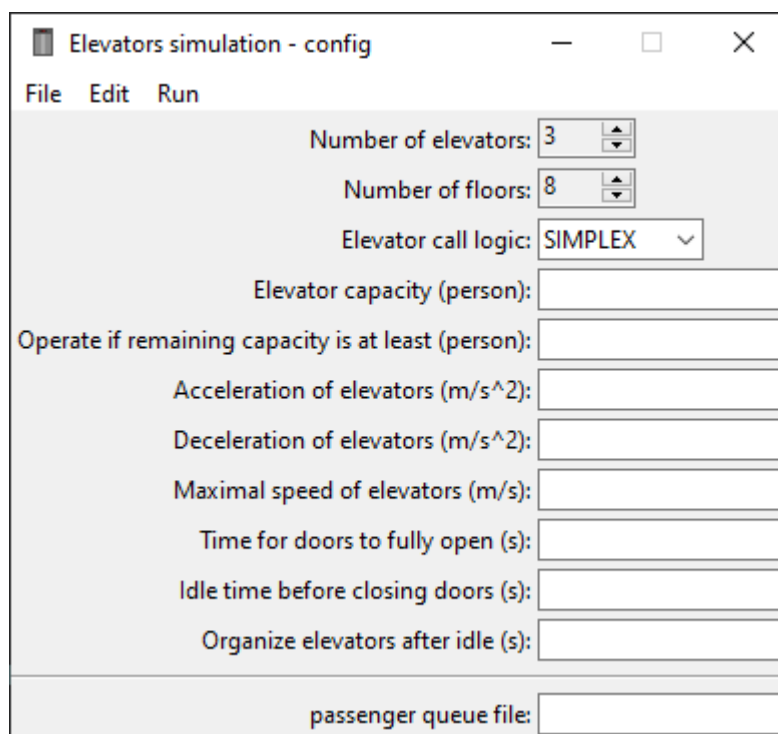
Diagram tried pre subsystém *Elevator Simulation* sme sa rozhodli nevytvoriť, pretože sa jedná o jednu triedu, ktorá obsahuje veľa členských premenných a funkcií na vytvorenie používateľského rozhrania.



Obrázok č. 16 – Diagram tried [Zdroj: vlastné spracovanie]

4.2.1 Opis konfiguračného používateľského rozhrania

V tejto kapitole opíšeme jednotlivé prvky používateľského rozhrania komponentu *Config*.



Obrázok č. 17 – Konfiguračné používateľské rozhranie – úvodná obrazovka
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Ako môžeme vidieť na obrázku, tak pomocou tohto rozhrania sme si vedeli nastaviť jednotlivé parametre výtahového systému. Tým pádom by sme vedeli túto aplikáciu využiť aj na namodelovanie iných výtahových systémov zmenou týchto parametrov. Taktiež nám to umožnilo jednoduchšie upravovanie týchto parametrov (keďže sme nemuseli upravovať jednotlivé parametre v programovacom kóde) a spustenie simulácie pomocou novo nastavených parametrov. V nasledujúcej tabuľke je vysvetlený význam týchto parametrov ako aj povolené hodnoty.

| Názov parametra | Vysvetlenie | Typ hodnoty | Povolené hodnoty |
|--|---|------------------------|-----------------------|
| Number of elevators | počet výťahov | celé číslo | 1 – 100 |
| Number of floors | počet poschodí, ktoré výťahy obsluhujú | celé číslo | 2 – 1000 |
| Elevator call logic | typ volaní výťahového systému | reťazec | SIMPLEX, MULTIPLEX |
| Elevator capacity (person) | maximálny počet ľudí | celé kladné číslo | 1 a viac |
| Operate if remaining capacity is at least (person) | výťahy obsluhujú volania na poschodiach iba vtedy ak je zostávajúca kapacita aspoň | celé nezáporné číslo | 0 a viac |
| Acceleration of elevators (m/s ²) | akcelerácia výťahov v metroch za sekundu na druhú | reálne nezáporné číslo | 0 a viac |
| Deceleration of elevators (m/s ²) | decelerácia výťahov v metroch za sekundu na druhú | reálne nezáporné číslo | 0 a viac |
| Maximal speed of elevators (m/s) | maximálna rýchlosť výťahov v metroch za sekundu | reálne nezáporné číslo | 0 a viac |
| Time for doors to fully open (s) | čas potrebný na otvorenie dverí (zatvorenie dverí trvá rovnako dlho) | reálne nezáporné číslo | 0 a viac |
| Idle time before closing doors (s) | uplynutý čas po nastúpení alebo vystúpení pasažiera po ktorom sa dvere začnú zatvárať | reálne nezáporné číslo | 0 a viac |
| Organize elevators after idle (s) | po akom čase nečinnosti výťahu sa má výťah premiestniť na určené poschodie | reálne nezáporné číslo | 0 a viac |

Tabuľka č. 9 – Popis parametrov úvodnej obrazovky konfiguračného používateľského rozhrania [Zdroj: vlastné spracovanie]

Validáciu vstupov, do ktorých sa zadávajú tieto parametre sme ošetrili s využitím knižnice *re*, ktorá nám umožnila validovať text v *regex*-e. Validáciu jednotlivých typov pre vstupy sme zabezpečili nasledovne:

- celé kladné číslo: $([1-9]+[0-9]*)?\$$
- celé nezáporné číslo: $(0|[1-9]+[0-9]*)?\$$
- reálne nezáporné číslo: $(([1-9]+[0-9]*)|0)?(\.[0-9]*)?\$$

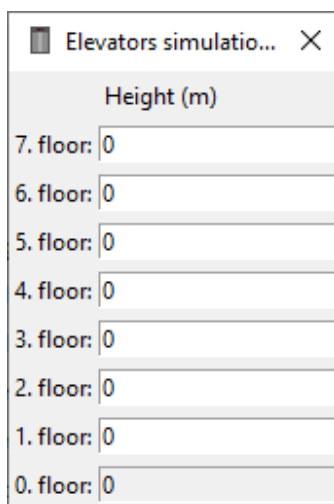
Ako posledný parameter tejto obrazovky je parameter *passenger queue file* alebo zoznam dopytov ľudí na obsluženie výťahom. Po kliknutí na toto políčko sa otvorí používateľovi dialógové okno, v ktorom zvolí *csv* súbor obsahujúci dopyty ľudí. Takýto súbor sme si už vygenerovali v kapitole 4.1.7. Súbor musí obsahovať 2 a viacej riadkov, ktoré obsahujú štyri parametre oddelené čiarkou.

| Názov parametra | Vysvetlenie | Formát hodnoty |
|----------------------|--|--|
| Čas príchodu | čas, kedy osoba stlačila tlačidlo na obsluženie výťahu | hh:mm:ss.SSS (napríklad 12:34:56.789) |
| Začiatkové poschodie | poschodie na ktorom sa nachádza | celé číslo – 0 až počet poschodí výťahového systému |
| Konečné poschodie | poschodie na ktoré sa požaduje prepraviť | celé číslo – 0 až počet poschodí výťahového systému okrem začiatkového poschodia |
| Správanie | Či zavola všetky výťahy alebo iba jeden | 0 – zavola všetky, 1 – zavola jeden |

Tabuľka č. 10 – Popis parametrov *csv* súboru dopytov [Zdroj: vlastné spracovanie]

Ďalším dôležitým parametrom, ktorý je nutné nastaviť je výška jednotlivých poschodí. Nastavenie tohto parametra je možné po kliknutí na menu *Edit* a následne *Heights of floors*. Zobrazí sa modálne okno, čo znamená, že hlavné okno sa stane nedostupným, pokiaľ sa modálne okno nezavrie. Toto okno obsahuje vstupy, do ktorých je možné zadať výšku jednotlivých poschodí nad prízemím v metroch. Do vstupov je možné zadať iba kladné reálne čísla. Prízemie má nastavené nemeniteľnú výšku nula metrov. Počet vstupov je vygenerovaný podľa počtu

poschodí, teda pri zmene parametru počtu poschodí sa taktiež zmení aj počet vstupov v tomto okne.

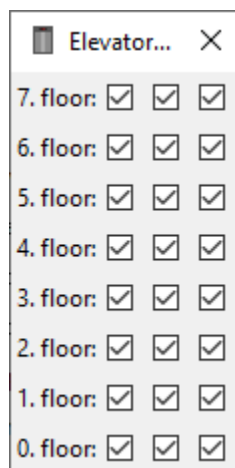


| | Height (m) |
|-----------|------------|
| 7. floor: | 0 |
| 6. floor: | 0 |
| 5. floor: | 0 |
| 4. floor: | 0 |
| 3. floor: | 0 |
| 2. floor: | 0 |
| 1. floor: | 0 |
| 0. floor: | 0 |

Obrázok č. 18 – Konfiguračné používateľské rozhranie – nastavenie výšky poschodí

[Zdroj: vlastné spracovanie]

Voliteľný parameter, ktorý je možné nastaviť je obsluha jednotlivých poschodí výťahmi. Tento parameter sa nachádza po kliknutí na menu *Edit* a následne *Elevators floors operation*. Jedná sa o modálne okno, ktoré obsahuje tabuľku zaškrťovacích políčok. Veľkosť tabuľky je počet poschodí * počet výťahov. Ak výťah obsluhuje poschodie, tak je políčko zaškrtnuté a ak výťah poschodie neobsluhuje, tak je políčko nezaškrtnuté.



| | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 7. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 1. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 0. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Obrázok č. 19 – Konfiguračné používateľské rozhranie – nastavenie obsluhy výťahov

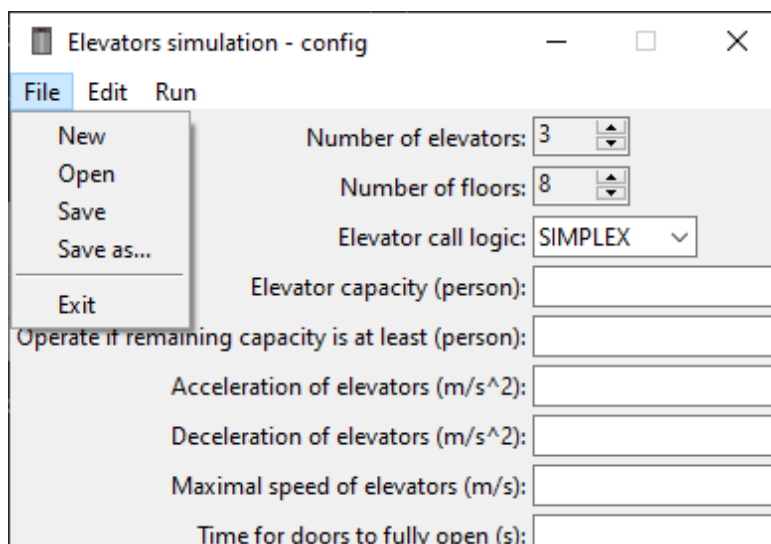
jednotlivých poschodí [Zdroj: vlastné spracovanie]

Posledný parameter konfigurácie výtahového systému je parameter reorganizácie výtahov. Tento parameter vieme nastaviť po kliknutí na menu *Edit* a následne *Organize elevators after idle*, čím sa otvorí modálne okno. Nastavením tohto parametra určíme, na akom poschodí sa výtahy nachádzajú po spustení simulácie a zároveň na aké poschodie sa majú presunúť po nečinnom čase (parameter *Organize elevators after idle*). Každému výtahu môžeme prideliť iné alebo aj rovnaké poschodie. Tento parameter je voliteľný a ak sa nevyplní, tak je prednastavené poschodie prízemie.



Obrázok č. 20 – Konfiguračné používateľské rozhranie – nastavenie reorganizácie výtahov
[Zdroj: vlastné spracovanie]

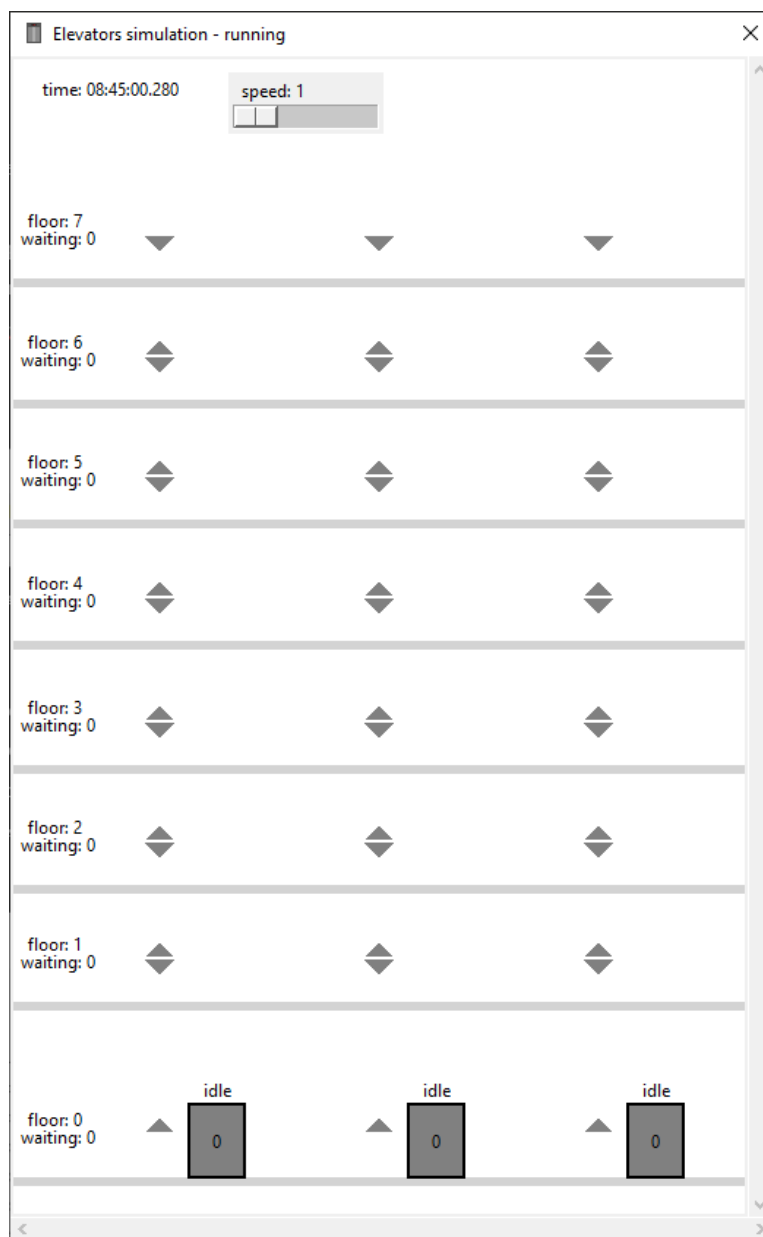
Po nastavení parametrov sme si vedeli konfiguráciu uložiť do súboru s príponou *.json*. Uskutočnili sme tak po kliknutí na menu *File* a následne na *Save* alebo na *Save as...*. V tomto menu sa nachádza aj možnosť načítania konfigurácie kliknutím na položku *Open*. Nakoniec sa tu nachádza posledná položka a to *New* a po kliknutí na ňu sa všetky parametre vyresetujú na predvolené hodnoty.



Obrázok č. 21 – Konfiguračné používateľské rozhranie – položky v menu *File*
[Zdroj: vlastné spracovanie]

4.2.1 Opis používateľského rozhrania simulácie

Po vyplnení povinných parametrov výťahového systému je možné simuláciu spustiť. Povinné parametre sú všetky okrem nastavenia poschodí a času reorganizácie výťahov a vstupu Operate if remaining capacity is at least. Po kliknutí na menu *Run* sa zobrazí modálne okno, na ktorom je možné vidieť výťahový systém. Simulácia začína v čase 08:45 ako je možné vidieť na obrázku č. 22.



Obrázok č. 22 – Používateľské rozhranie simulácie – prvotné spustenie

[Zdroj: vlastné spracovanie]

V používateľskom rozhraní je používateľovi poskytnutých niekoľko veľmi užitočných informácií.

Prvou, veľmi dôležitou informáciou, je informácia o aktuálnom čase, v ktorom sa nachádza výťahový systém. Simulácia beží na 100-tickovom engine, čo znamená, že za jednu sekundu sa aktualizuje simulácia stokrát. Pôvodne sme pracovali s 1000-tickovým enginom, avšak vzhľadom na zložitosť výpočtov, čo malo za následok vysoké spomalenie simulácie a iba malé zlepšenie presnosti pri akcelerovaní a decelerovaní výťahov sme sa rozhodli, že nám bude stačiť sto výpočtov za sekundu.

Vedľa informácii o aktuálnom čase sa nachádza jediný prvok, ktorý vie používateľ ovládať, a to rýchlosť simulácie. Prednastavená hodnota je 1, čo znamená, že simulácia beží približne rovnako rýchlo ako skutočný čas. Simulácia ale beží od 8:45 do 16:15 a používateľ by musel čakať na dokončenie simulácie vyše sedem hodín. Na urýchlenie simulácie je teda schopný simuláciu zrýchliť o 2, 5, 10... až 5000-krát. Toto číslo znamená ako často sa stav výťahového systému na obrazovke má aktualizovať. Ak je napríklad rýchlosť simulácie nastavená na hodnotu 1000, tak sa obrazovka aktualizuje každých 10 sekúnd vo svete simulácie a pre používateľa by to malo byť stále každú stotinu sekundy. Počet aktualizácií enginu simulácie ale zostáva rovnaký, teda za jednu stotinu nastane až tisíc aktualizácií výťahového systému. V simulácii prebiehajú rôzne zložité výpočty a preto sa obrazovka neaktualizuje každú stotinu, ale o niečo viac. Zvýšenie rýchlosti simulácie neovplyvní výsledok simulácie.

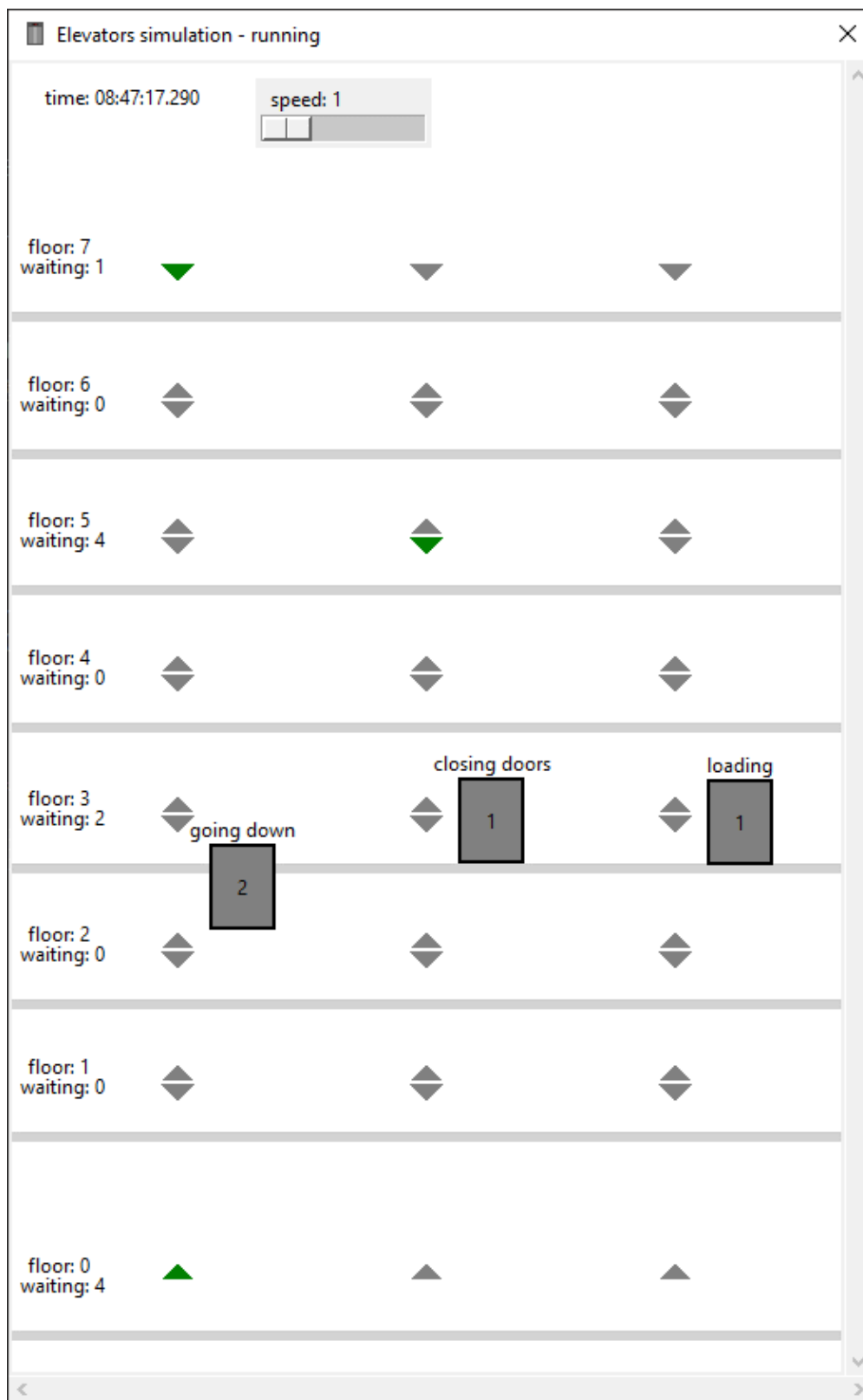
Ďalšia informácia je zobrazenie stavu jednotlivých poschodí. Na obrazovke je vidieť poschodia nastavené podľa zadanej výšky poschodí. Uvedená výška je vynásobená konštantou 25, čím sme výšku iba konvertovali na inú jednotku a pomer vzdialeností medzi jednotlivými poschodiami sme zachovali. Na jednotlivých poschodiach sa nachádzajú aj tlačidlá obsluhy výťahov. To je znázornené dvomi trojuholníkmi pri výťahoch, ktoré dané poschodie obsluhujú. Ak výťah poschodie neobsluhuje, tak sa na poschodí vedľa výťahovej šachty tieto tlačidlá nenachádzajú. Taktiež, na najvyššom obsluhovanom poschodí sa nachádza iba jedno tlačidlo a to tlačidlo nadol a na najnižšom poschodí sa nachádza iba tlačidlo nahor. Ak je potrebné poschodie obslúžiť a osoba čakajúca na výťah toto tlačidlo stlačila, tak je tlačidlo farby zelenej. Nakoniec sa na poschodiach nachádza ešte informácia o aktuálnom počte čakajúcich ľudí na výťah. Toto číslo sa aktualizuje podľa csv súboru dopytov. Keď do výťahového systému vstúpi

človek podľa času vykonania dopytu, tak sa zvýši počet čakajúcich ľudí na výťah o 1. Ak osoba nastúpi do výťahu, tak sa počet čakajúcich ľudí zníži o 1.

Nakoniec používateľ vidí jednotlivé výťahy. Výťahy sú zobrazené sivým obdĺžnikom s čiernym orámovaním. Počet ľudí vo výťahu je znázornený číslom uprostred výťahu. Používateľ síce nevidí na aké poschodie chcú byť ľudia prepravený, ale výťah touto informáciou disponuje. V skutočných výťahoch sa nachádzajú tlačidlá, podľa ktorých výťah vie, na ktoré poschodie sa ľudia vo výťahu chcú prepraviť. Nad výťahom sa nachádza ešte textová informácia o aktuálnom stave výťahu. Táto informácia je užitočná pri tvorbe snímok obrazovky, na ktorých je možné vidieť aktuálny stav výťahov. Výťahy môžu byť v týchto stavoch:

- idle – výťah je nečinný, pretože mu neboli priradené žiadne poschodia na obsluhu,
- going up – výťah sa presúva smerom nahor,
- going down – výťah sa presúva smerom nadol,
- opening doors – otváranie výťahových dverí,
- unloading – ľudia vystupujú z výťahu,
- loading – ľudia nastupujú do výťahu,
- waiting for close – výťahové dvere čakajú na zavretie,
- closing doors – zatváranie výťahových dverí.

V čase simulácie 16:15 sa simulácia ukončí. Po skončení simulácie program vytvorí priečinok, ktorého názov je aktuálny čas. Do neho uloží zistené parametre simulácie a grafy. Následne sa zmení názov okna z *Elevators simulation – running* na *Elevators simulation – completed*.



Obrázok č. 23 – Používateľské rozhranie simulácie – obsluha výťahov

[Zdroj: vlastné spracovanie]

4.2.1 Opis simulácie

V tejto kapitole si bližšie priblížime ako funguje obsluha výťahov a správanie ľudí v systéme v nami vytvorenom simulačnom softvéri pre výťahový systém.

Ako sme už spomenuli v predchádzajúcej kapitole, výťahy majú uloženú informáciu o aktuálnom stave. Ak je výťah v stave *idle*, znamená to, že výťahový systém mu nepridelil žiadne poschodie, ktoré má obslúžiť. Ak je výťahu pridelené poschodie, ktoré má obslúžiť, tak si uchová informáciu o smere obsluhy. Následne sa pri obsluhu poschodí riadi zberným riadením. Ak už v danom smere neexistuje poschodie, ktoré musí obslúžiť, tak sa otočí smer obsluhy a výťah obsluhuje opačným smerom. Ak sa nenachádzajú volania pre žiadny smer, tak výťah nadobudne stav *idle*. Pri obsluhu poschodí výťah musí dvere otvoriť a je v stave *opening doors*, následne z neho môžu začať ľudia vystupovať – stav *unloading*, po vystúpení posledného pasažiera, ktorý sa chcel dopraviť na toto poschodie je výťah v stave *loading*, po nastúpení posledného pasažiera do tohto výťahu je výťah v stave *waiting for close* a nakoniec sa dvere zatvoria, čo je zobrazené stavom *closing doors*. Parametre ako dlho sa má čakať kým sa dvere zatvoria a ako dlho trvá otvorenie a zatvorenie dverí je závislé od nastavenia v konfiguračnom používateľskom rozhraní. Výťahy sa následne prepravujú medzi poschodiami pomocou akcelerácie a decelerácie. Tieto parametre spolu s maximálnou rýchlosťou sme nastavili v konfiguračnom používateľskom rozhraní. Výťah zrýchľuje podľa akcelerácie a ak nadobudne maximálnu rýchlosť, tak už nezrýchľuje, ale túto rýchlosť si udržuje. To, kedy má výťah začať spomaľovať, aby sa presne dostavil na poschodie, je vypočítané podľa nasledovného vzorca:

$$\text{dĺžka brzdnej dráhy} = \frac{(\text{aktuálna rýchlosť})^2}{2 * \text{decelerácia}}$$

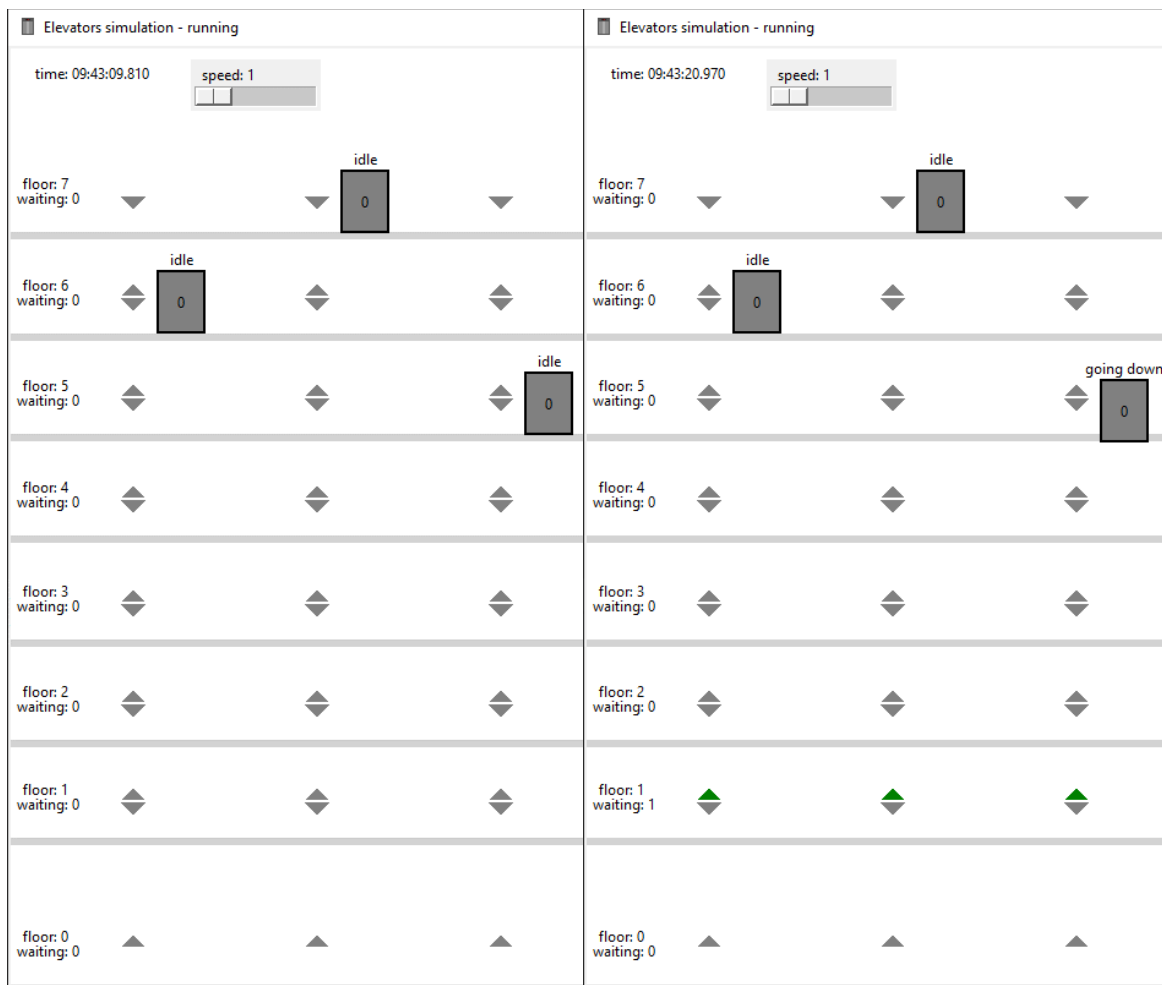
Použitím tohto vzorca sme zistili dĺžku brzdnej dráhy. Následne sme zisťovali vzdialenosť aktuálnej výšky od poschodia, ktoré má obslúžiť. Ak by bola dĺžka brzdnej dráhy väčšia ako vzdialenosť na poschodie, tak výťah začne decelerovať. Po skončení decelerácie sa výťah nachádza na poschodí a obslúži toto poschodie.

V prípade, že výťahový systém funguje v obsluhu typu SIMPLEX, tak tlačidlami na poschodiach sa zavolá iba konkrétny výťah. Ak ale fungujú v obsluhu typu MULTIPLEX a osoba čakajúca na výťah stlačí tlačidlo obsluhy, tak jej príde ten výťah, ktorý sa nachádza

najbližšie pre daný smer jazdy (ak je takýchto výťahov viac, tak sa zavolá náhodný z nich). Ak by sme mali výťahový systém, v ktorom sú výťahy na šiestom, siedmom a piatom poschodí v pokojovom stave a následne by prišla osoba a stlačila by tlačidlo na prvom poschodí pre obsluhu výťahom smerom nahor, tak by jej prišiel tretí výťah, pretože je najbližšie. Vzďialenosť prvého výťahu je 5 poschodí, vzďialenosť druhého je 6 a vzďialenosť tretieho výťahu je 4 poschodia. Aktuálne by bol pridelený prvému poschodiu výťah číslo 3, ale ak by nastal na prízemí dopyt po výťahu smerom nahor, tak by sa mu prideliť výťah číslo 3 (pretože je najbližšie a smeruje nadol) a pre prvé poschodie sa vypočíta najbližší výťah. Keďže nová vzďialenosť výťahu číslo 3 od prvého poschodia je 6 poschodí, tak sa pre toto poschodie zavolá výťah číslo 1, keďže aktuálne je tento výťah najbližšie. Takúto stratégiu sme si zvolili pre obsluhu typu MULTIPLEX. Pri nízkej vyťaženosti táto stratégia pre MULTIPLEX zabezpečuje nízke časy čakania ľudí na výťah, ale pri vyššom zaťažení výťahového systému sa takáto stratégia nemusí osvedčiť ako najlepšia.

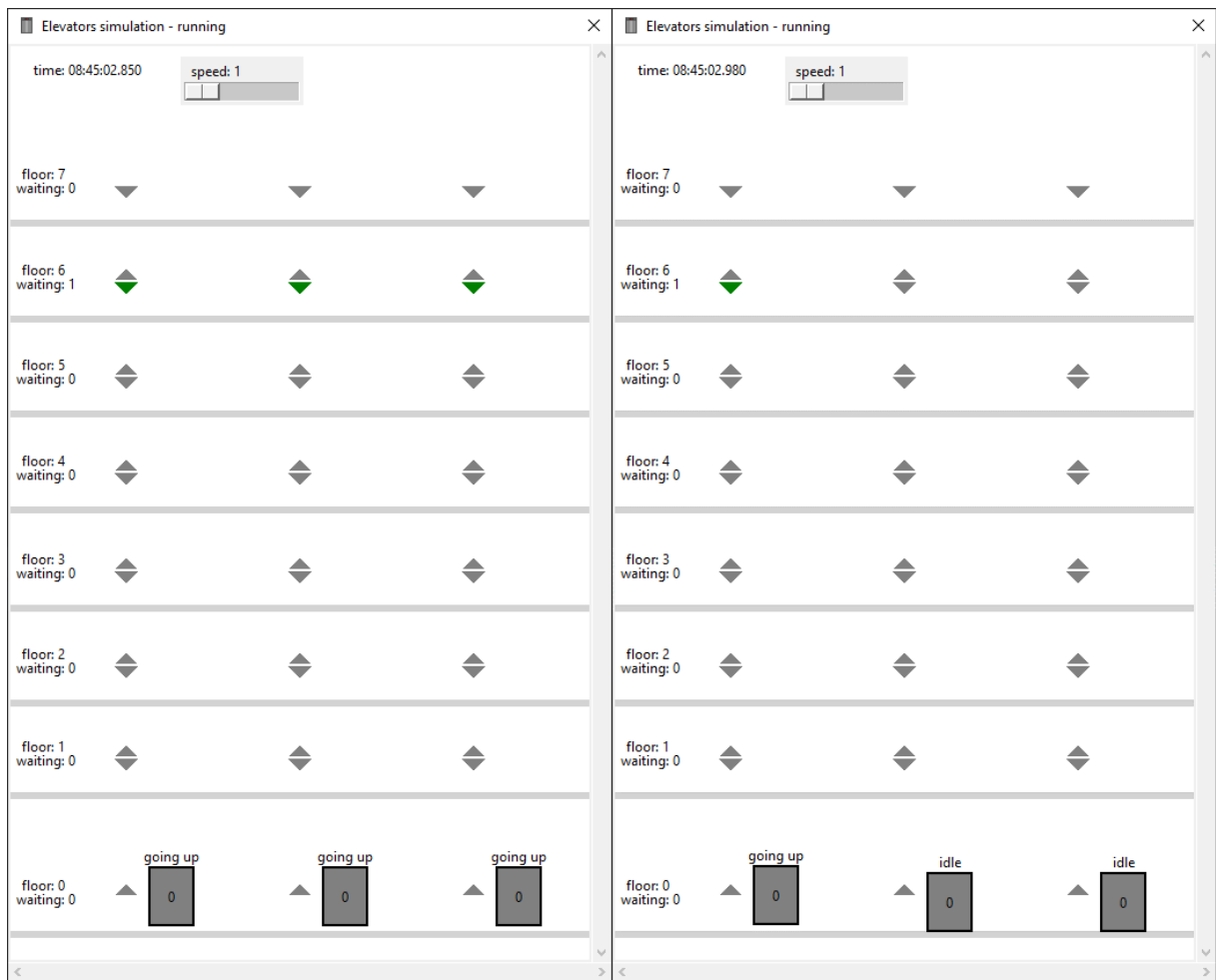
Pri obsluhu výťahov v systéme SIMPLEX, sme naprogramovali správanie ľudí pomerne blízke k realite. Vychádzali sme z predpokladu, že výťahový systém v simulácii disponuje displejom na každom poschodí, na ktorom sa nachádza aktuálne číslo poschodia, na ktorom sa výťah nachádza. Takýto displej sa nachádza v každom modernejšom výťahovom systéme, ako aj vo výťahovom systéme na Ekonomickej univerzite, ktorý sme sa rozhodli nasimulovať. Ako sme už spomenuli, tak správanie ľudí sme rozdelili na dva typy a táto informácia sa nachádza v dopytovom súbore v stĺpci *mannerly*. Ľudia, ktorí majú túto hodnotu nastavenú na 0 si zavolajú všetky výťahy a neberú ohľad, kde sa výťah nachádza, ale ak sa výťah nachádza na aktuálnom poschodí, tak si zavolajú iba ten. Ak ich ale tento výťah neobsluží, tak si zavolajú všetky. Existuje ešte jeden typ ľudí a to s parametrom *mannerly* nastaveným na hodnotu 1. Takýto ľudia pred stlačením obsluhy výťahom si najprv zistia, kde sa výťah nachádza a následne si zavolajú ten, ktorý je k nim najbližšie. Ak je takýchto výťahov viacero, tak si zavolajú náhodný z nich. V prípade, že je poschodie preplnené, tak si zavolajú viacero najbližších výťahov, podľa toho aká je kapacita výťahov a počtu čakajúcich ľudí pre daný smer jazdy. V ich neprospech je napríklad fakt, ak si zavolajú taký najbližší výťah, ktorý obsluhuje opačný smer jazdy. Takéto uvažovanie sme zaznamenali aj pri sledovaní správania ľudí v systéme, ktorí si volali iba jeden výťah. Niektorí ľudia zavolali všetky výťahy a niektorí iba jeden z nich. V skutočnosti niektorí ľudia zohľadňujú, na aký smer výťah smeruje a uvedomujú si ako

funguje zberné riadenie a teda výťah nemusí mať konečnú zastávku na poschodí, kde sa aktuálne nachádza, avšak pre zjednodušenie simulovania správania ľudí sme sa rozhodli, že ľudia budú volať výťahy v takejto logike.



Obrázok č. 24 – Používateľské rozhranie simulácie – Obsluha výťahov v systéme MULTIPLEX
(vľavo – výťahy sú v pokojovom stave, vpravo – výťah vpravo ide obslúžiť prvé poschodie)

[Zdroj: vlastné spracovanie]



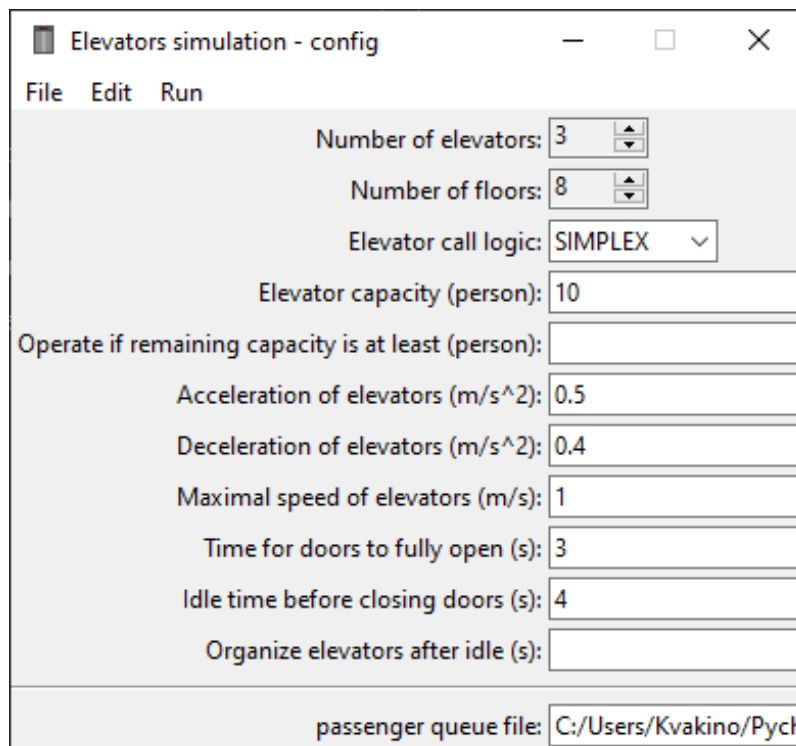
Obrázok č. 25 – Používateľské rozhranie simulácie – Obsluha výtáhov v systéme SIMPLEX (vľavo – čakajúci človek stlačil všetky tlačidlá, vpravo – čakajúci človek stlačil jedno tlačidlo) [Zdroj: vlastné spracovanie]

4.3 Simulácia aktuálneho stavu a vytvorenie alternatívnych riešení

V tejto kapitole spustíme simuláciu pre aktuálny stav výťahového systému, ktorý sme sa rozhodli skúmať a to výťahový systém, ktorý pozostáva z troch výťahov a obsluhuje 9 staníc. Sklad, ktorý sa nachádza na -1. poschodí sme sa rozhodli zo simulácie vylúčiť, keďže sa tam študenti neprepravujú a ostatní ľudia iba málokedy. Odstránenie tejto stanice má preto zanedbateľný dopad na výsledok simulácie. Po analyzovaní výsledkov simulácie aktuálneho stavu sme sa rozhodli nasimulovať alternatívne riešenia, ktorými by sa znížil čas prepravy ľudí medzi poschodiami.

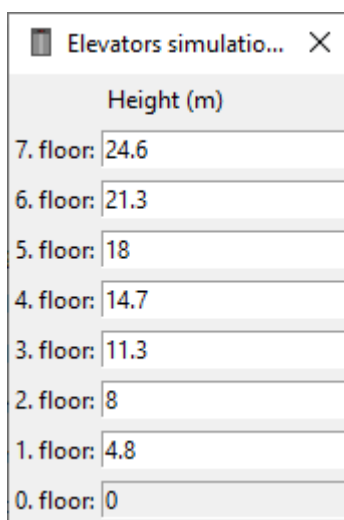
4.3.1 Simulácia aktuálneho stavu

Najprv sme sa rozhodli spustiť simuláciu na aktuálnom riešení skúmanom výťahovom systéme na Ekonomickej univerzite. Keďže sme zistili alebo odhadli aktuálne parametre výťahov, tak sme mohli tento systém analyzovať v našom simulačnom softvéri. Ako prvú vec sme museli zadať parametre výťahového systému do konfiguračného používateľského rozhrania.



Obrázok č. 26 – Nastavenie simulačných parametrov pre aktuálny stav výťahového systému na Ekonomickej univerzite [Zdroj: vlastné spracovanie]

Na obrázku č. 26 sú zobrazené nastavené parametre výťahového systému, ktoré sme zistili v kapitole 4.1 a ich význam v simulačnom softvéri sme si priblížili v kapitole 4.2.1. Taktiež sme vybrali dopytový súbor, ktorý je pre všetky simulácie rovnaký. Ľudia v tejto simulácii sú nesebeckí a zavolajú si iba jeden výťah. Ešte sme museli nastaviť posledný parameter a to výšku jednotlivých poschodí. Tú sme nastavili kliknutím na menu *Edit a Heights of floors*, čo je zobrazené na obrázku č. 27. Ostatné parametre sme nemenili. Výťahy teda obsluhujú všetky poschodia a nepresúvajú sa medzi poschodiami po nečinnom čase na zlepšenie efektívnosti výťahového systému ako aj v reálnom systéme.



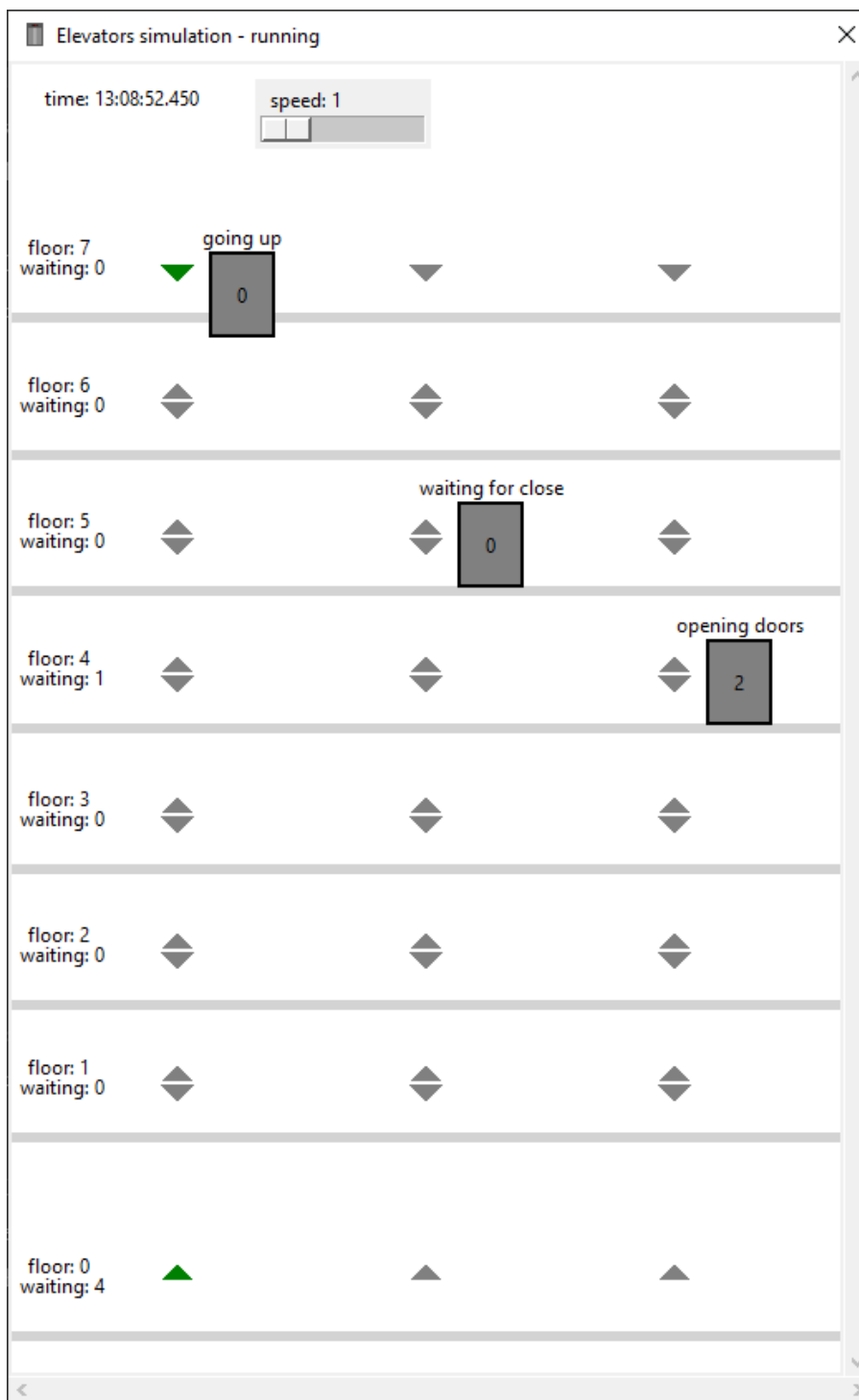
| Height (m) | |
|------------|------|
| 7. floor: | 24.6 |
| 6. floor: | 21.3 |
| 5. floor: | 18 |
| 4. floor: | 14.7 |
| 3. floor: | 11.3 |
| 2. floor: | 8 |
| 1. floor: | 4.8 |
| 0. floor: | 0 |

Obrázok č. 27 – Nastavenie výšky poschodí

[Zdroj: vlastné spracovanie]

Po nastavení všetkých parametrov sme mohli simuláciu spustiť. Ako sme už spomínali, tak simulácia je deterministická. Simuláciu sme preto spustili viackrát, aby sme zanalyzovali problémy v takomto riešení a následne sme sa zamerali na ich odstránenie.

Jednou z nevýhod, ktorú sme odhalili, bolo, že ak si človek zavola výťah, ale nastúpil do iného, tak sa zbytočne preťažoval výťahový systém volaniami na poschodia, ktoré si už nevyžadovali obsluhu. Tento problém je možné vidieť aj na obrázku č. 28. Prvý výťah ide obslúžiť siedme poschodie, aj keď sa tam už nenachádzajú žiadne osoby čakajúce na výťah, pretože tretí výťah už dávnejšie poschodie obslúžil.

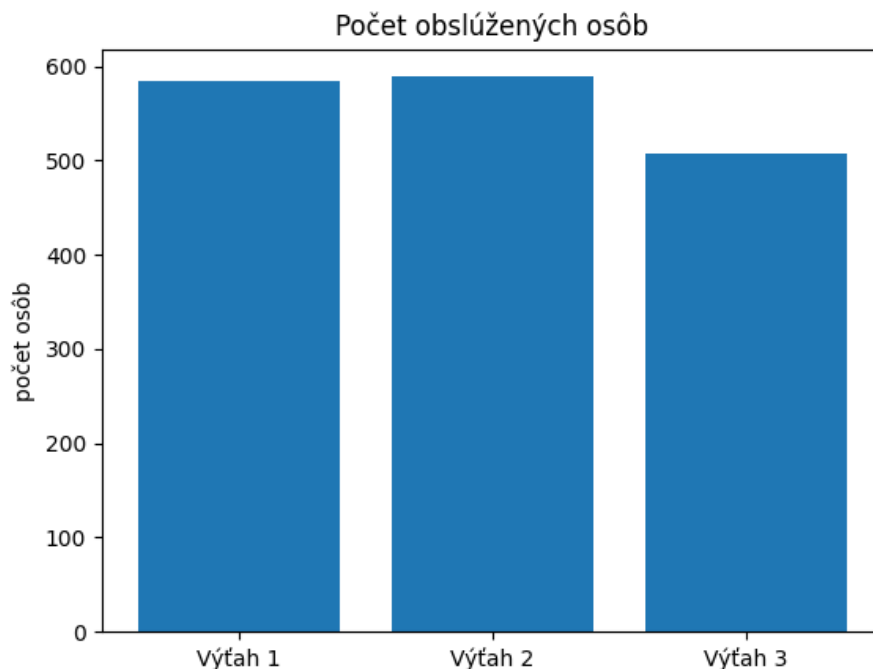


Obrázok č. 28 – Výťah vľavo ide obslúžiť prázdne poschodie [Zdroj: vlastné spracovanie]

Výtahy sa taktiež počas vyučovacích hodín, kedy je malý dopyt po výťahoch, nepresúvajú na odlišné poschodia. Tým by sa skrátil čas čakania na poschodiach počas začiatku

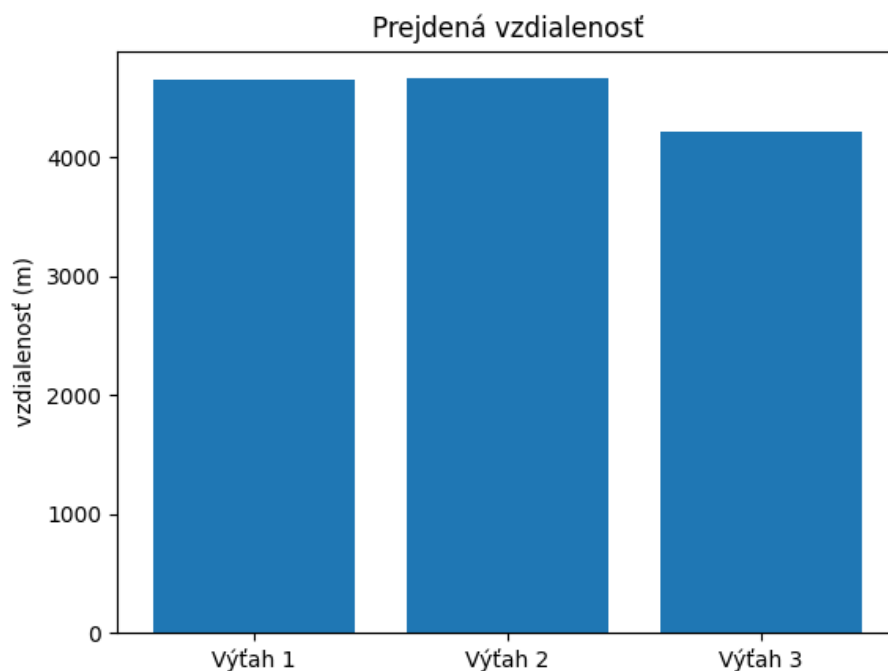
prestávok. Taktiež, keďže sa jedná o ľudí, ktorí si volajú najbližší výťah, sa môže stať, že ostatné výťahy si ľudia nebudú volať, pretože sa nachádzajú od nich ďalej ako by sa mohli nachádzať.

Nakoniec sme sa dostali aj k výsledkom simulácie. Výsledky tejto simulácie sme brali ako kľúčové a následne sme navrhovali lepšie systémy, ktoré by nám pomohli znížiť čas ľudí strávený vo výťahovom systéme.



Obrázok č. 29 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav – počet obslužených ľudí pre každý výťah [Zdroj: vlastné spracovanie]

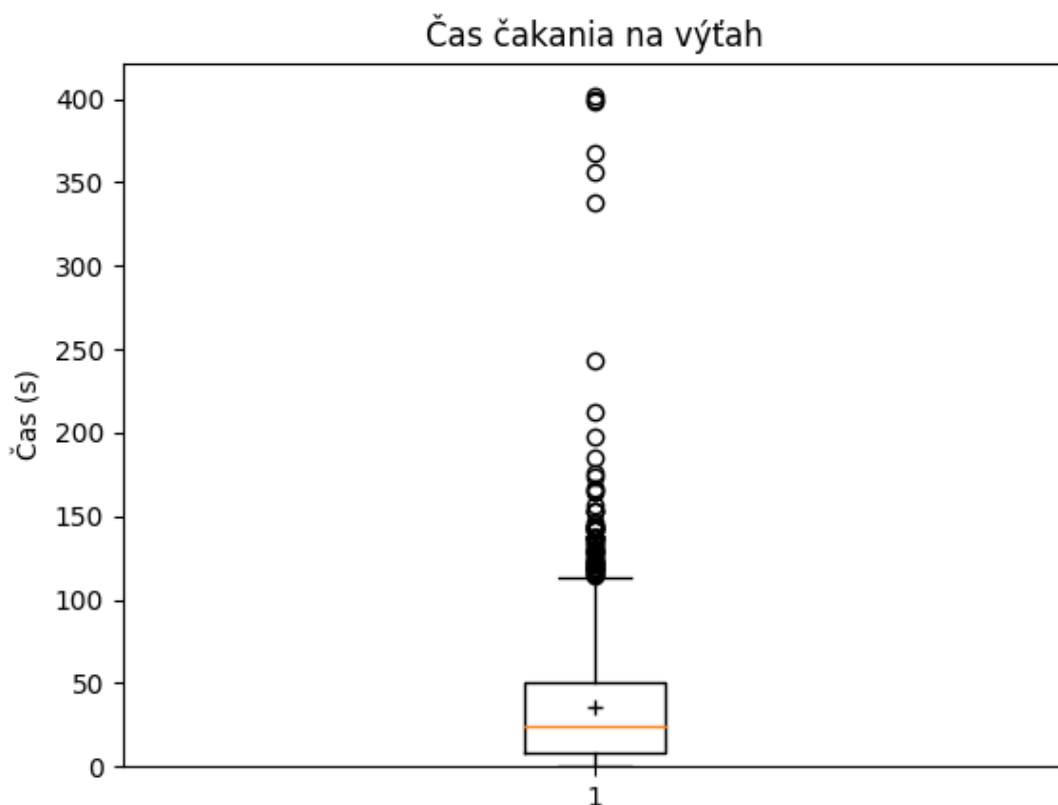
Na obrázku č. 29 môžeme vidieť stĺpcový graf počtu obslužených ľudí pre každý výťah. Výťahy obslúžili približne rovnaký počet osôb a rozdiely sú minimálne. Prvý výťah obslúžil 585 ľudí, druhý výťah obslúžil 589 ľudí a posledný výťah obslúžil 508 ľudí. Celkový počet obslužených ľudí je 1682 a tento počet je zhodný s počtom ľudí v dopytovom súbore. Tretí výťah obslúžil o niečo menej ľudí ako ostatné dva výťahy. To bolo spôsobené tým, že sa nachádzal na zlom mieste v čase, kedy si ľudia zavolali výťah. Zavolali si preto bližšie výťahy. Avšak toto číslo nie je závratne nízke a preto je pre nás informácia o menšom využití tretieho výťahu zanedbateľná.



Obrázok č. 30 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav – prejdená vzdialenosť výťahov

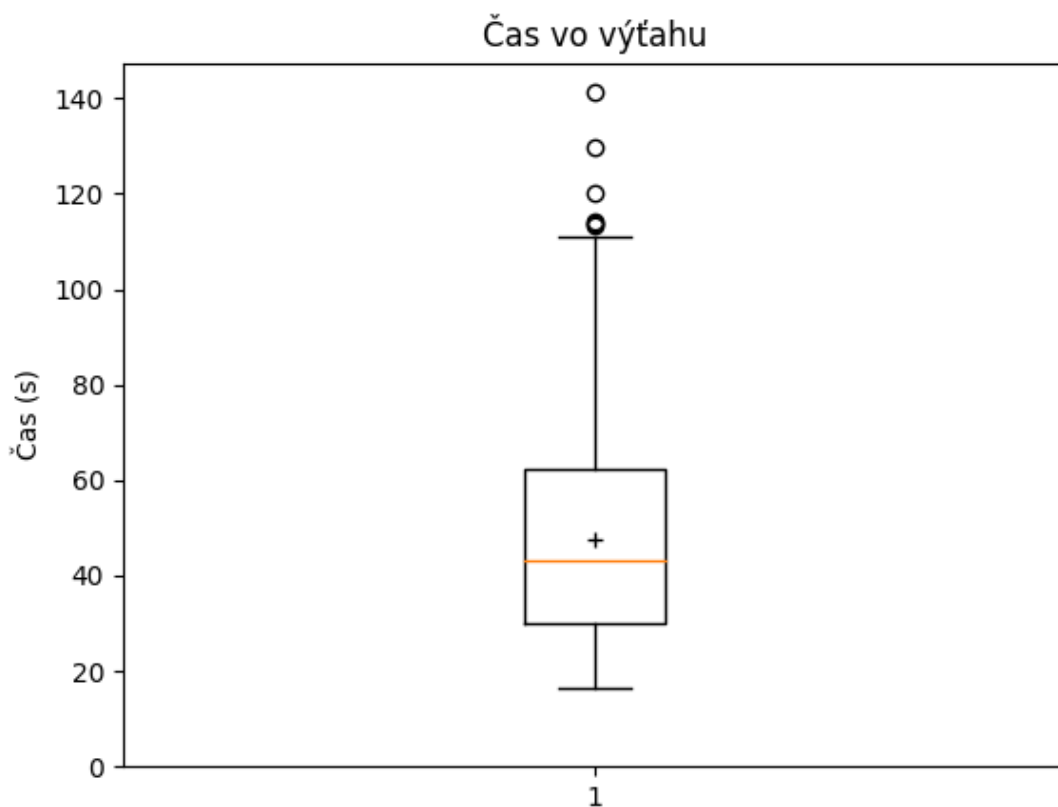
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Na obrázku č. 30 môžeme vidieť prejdenú vzdialenosť jednotlivých výťahov pre každý výťah. Prvý výťah prešiel najväčšiu vzdialenosť a to 4651,6 metrov. Druhý prešiel 4662,1 metrov a tretí 4208,8 metrov. Z týchto dvoch obrázkov môžeme teda jasne usúdiť, že druhý výťah bol najviac využívaný. Naopak, tretí výťah bol využitý najmenej. Ako sme už spomenuli, bolo to spôsobené aj tým, že sa nachádzal na poschodiach v okolí ktorých sa v danom čase nevyžadovala preprava ľudí a preto ľudia čakajúci na výťah sa rozhodli zavolať prvý alebo druhý výťah.



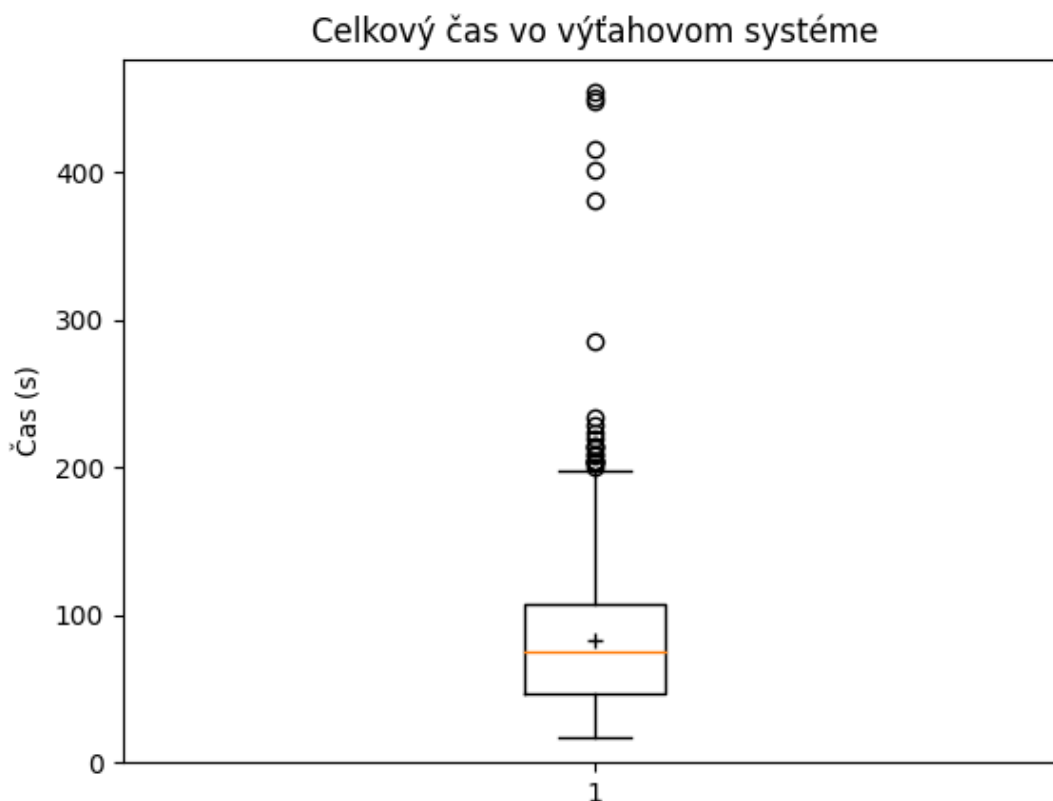
Obrázok č. 31 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav – čas čakania ľudí na výťah
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Na obrázku č. 31 môžeme vidieť boxplot, na ktorom je zobrazené ako dlho čakali ľudia, kým boli obslužený výťahom. Z boxplotu vieme zistiť strednú hodnotu ako aj hodnoty jednotlivých kvartilov. Avšak my sme skúmali najmä maximum, ktorého hodnota je až 401.64 sekúnd a priemer, ktorého hodnota je 35,14 sekúnd. Priemer je na boxplote zobrazený znakom plus. Zistili sme, že osoby, ktoré čakali na výťah veľmi dlho, si vybrali byť obslužené takým výťahom, ktorý bol plný a preto osoby čakajúce na takýto výťah boli obslužené oveľa neskôr. Po zistení, že je výťah plný sa rozhodli zavolať si ďalší výťah a ten ich už obslúžil, ale trvalo to veľmi dlho. V skutočnosti by sa im oplátilo ísť peši po schodoch, čo by im zabralo oveľa menší čas aj keď viac námahy. My sme ale takéto správanie ľudí nenaprogramovali a v simulačnom svete ľudia nerozmýšľajú nad alternatívnou formou prepravy.



Obrázok č. 32 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav – čas ľudí strávený vo výťahu
 [Zdroj: vlastné spracovanie]

Boxplot na obrázku č. 32 zobrazuje časy ľudí strávený vo výťahoch. Aj z tohto boxplotu sme brali za kľúčovú, informáciu o maxime a priemere. Priemerne osoby strávili vo výťahu približne 47,5 sekúnd. Minimálne strávila osoba vo výťahu 16,5 sekundy. Jednalo sa o osobu, ktorá sa prepravila z druhého poschodia na prvé. Najdlhšie strávila osoba vo výťahu 141,23 sekundy a išlo o osobu, ktorá sa prepravila z prízemnia na siedme, najvyššie poschodie. Čas jej prepravy bol dlhý kvôli tomu, že nastupovala do výťahu ako prvá a výťah zastavil na každom poschodí až pokiaľ sa nedostal na najvyššie poschodie, kde táto osoba z výťahu vystúpila.

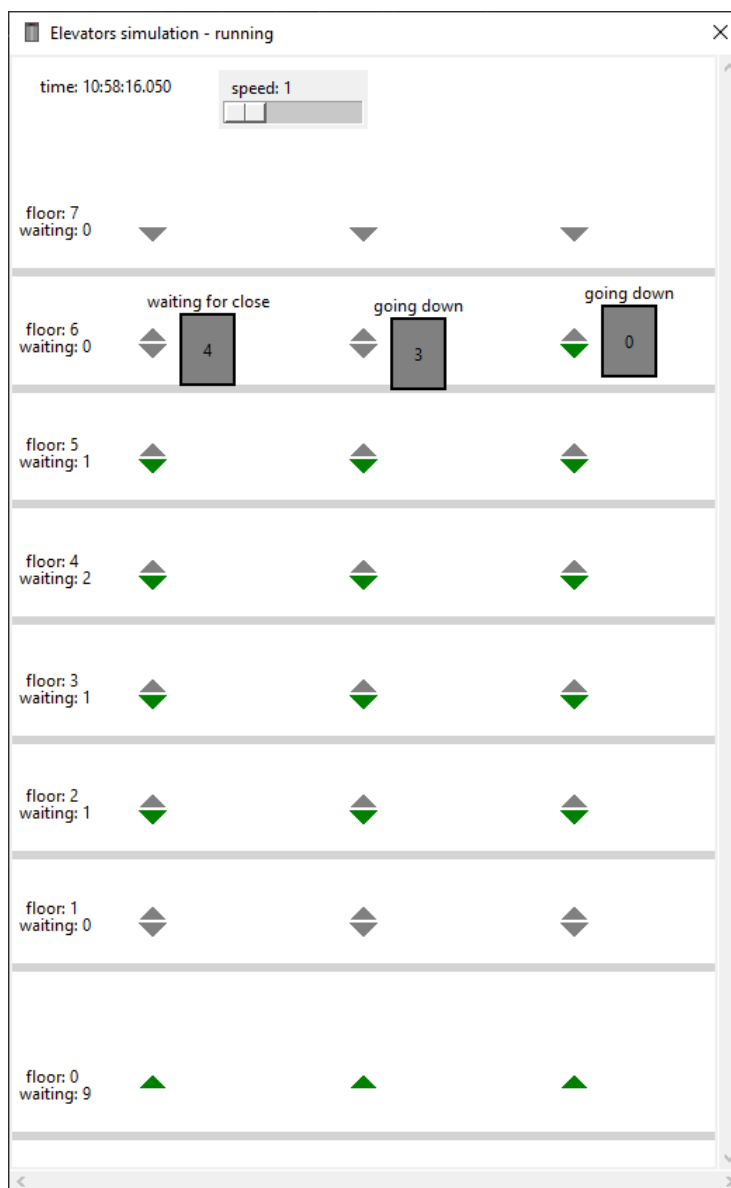


Obrázok č. 33 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav – čas ľudí strávený vo výtahovom systéme [Zdroj: vlastné spracovanie]

Ako posledný boxplot nám program vygeneroval ešte čas ľudí strávený vo výtahovom systéme. Tento údaj je pre nás kľúčový a jednotlivé zlepšenie alebo zhoršenie navrhnutého systému budeme porovnávať podľa tohto grafu. Tento boxplot je vlastne súčtom zvyšných dvoch boxplotov, keďže čas osoby vo výtahovom systéme sa rovná súčtu času osoby vo výťahu a času stráveného čakaním na výťah. Ako dva hlavné parametre, ktoré sa budeme snažiť znížiť, je maximum a priemer. Maximum v tomto grafe je 454,8 sekundy. Priemer je 82,64 sekundy, čo sa rovná aj súčtu priemeru prvých dvoch boxplotov (menšia odchýlka je spôsobená zaokrúhlením). Počet ľudí s časom vo výtahovom systéme vyšším ako 4 minúty bolo iba sedem, čo nie je až tak veľa a bol spôsobený najmä dlhým čakaním na výťah.

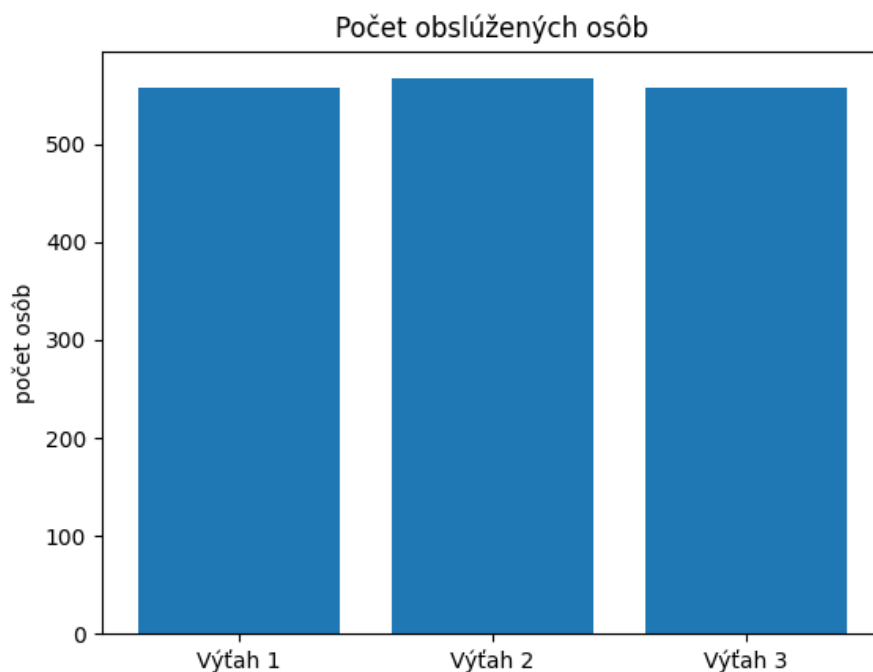
4.3.2 Simulácia aktuálneho stavu pri nedočkavých pasažieroch

Skôr ako začneme navrhovať a simulovať zlepšenia, sa ešte zameriame na simulovanie aktuálneho stavu pri nedočkavých pasažieroch. To znamená, že v dopytovom súbore zmeníme parameter osôb *mannerly* z jednotky na nulu. Ľudia si teda budú volať všetky výťahy a nie iba jeden. Tým pádom by sa mal v časoch vysokých dopytov výťahový systém preťažiť a bude menej efektívny, pretože bude zbytočne obsluhovať poschodia, kde sa už osoby nenachádzajú. To môžeme vidieť aj na nasledovnom obrázku.



Obrázok č. 34 – Všetky tri výťahy idú obslužiť poschodia, kde sa nachádza málo osôb čakajúcich na výťah [Zdroj: vlastné spracovanie]

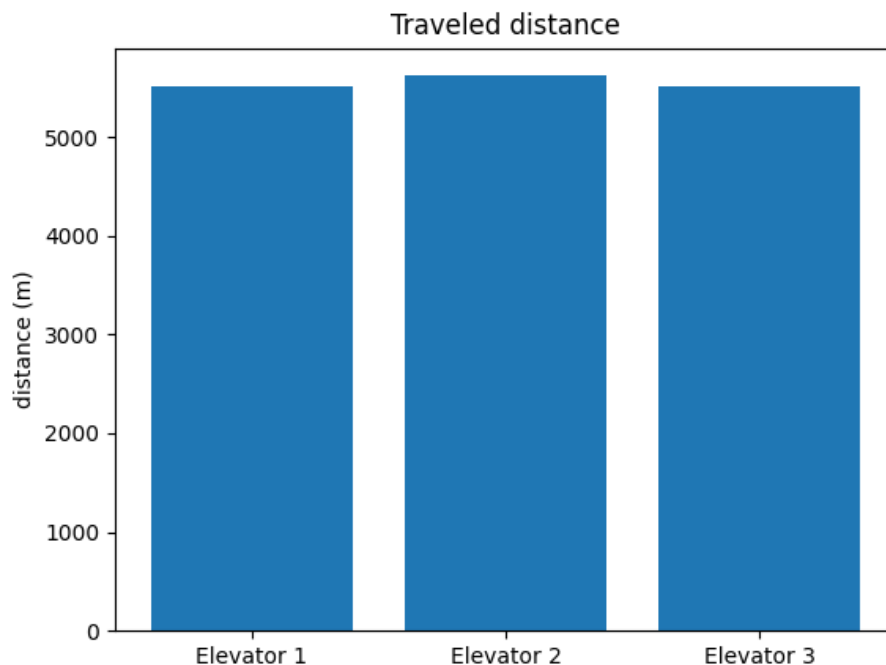
Takéto správanie sme zaznamenali aj pri sledovaní správania sa ľudí vo výťahovom systéme. Je celkom logické, že ak sa chce človek prepraviť z jedného poschodia na druhé, tak si zavolá všetky výťahy, ale odvezie sa prvým, ktorý mu príde. Avšak to spôsobí, že aj ostatné výťahy prídu na toto poschodie, čo nevedí v čase nízkeho dopytu po výťahoch. Ak je výťahový systém v čase vysokého dopytu a výťah toto poschodie obslúži zbytočne, tak výťah stratí obsluhou takéhoto poschodia približne 12 sekúnd. Tento typ zmýšľania nie je v takomto systéme vhodný, pretože ak takto zmýšľajú všetci ľudia, tak výťahový systém bude obsluhovať poschodia veľmi pomaly a namiesto troch výťahov sa bude nachádzať v systéme iba jeden, ktorého kapacita je taká istá ako súčet kapacity všetkých výťahov. Je to z toho dôvodu, že výťahy sa začnú zhlukovať, tak ako je to možné vidieť na obrázku č. 34.



Obrázok č. 35 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav pri nedočkavých pasažieroch – počet obslužených ľudí pre každý výťah [Zdroj: vlastné spracovanie]

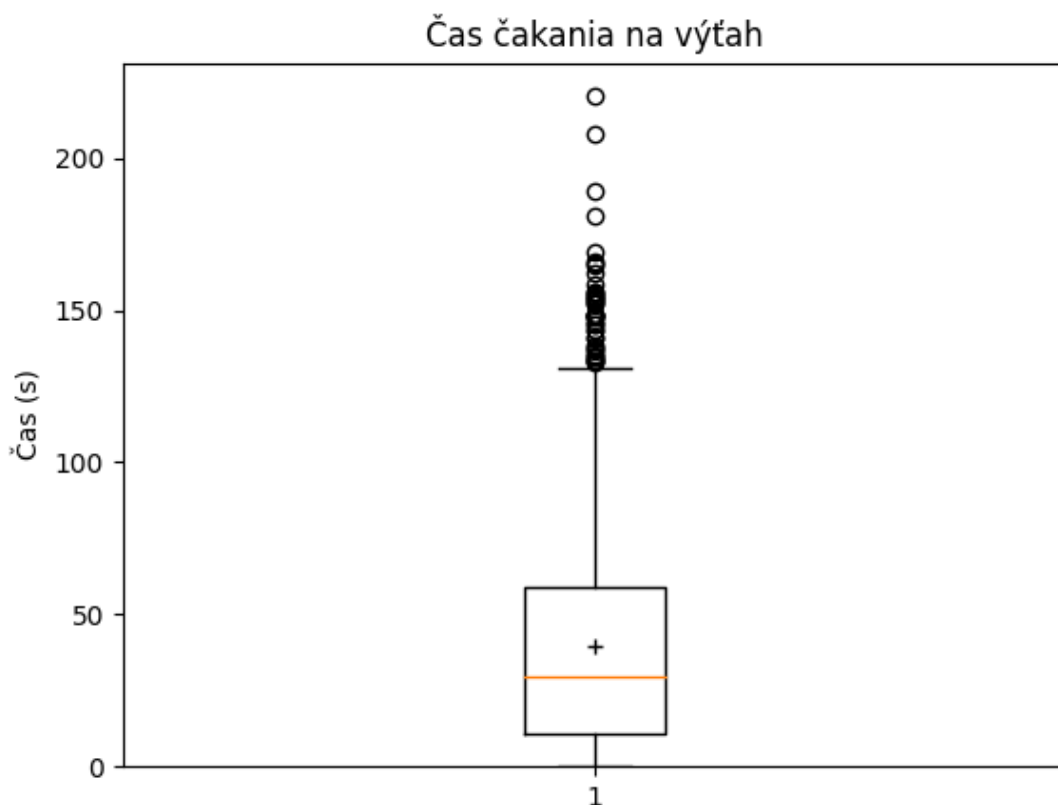
Na stĺpcovom grafe počtu obslužených ľudí môžeme vidieť, že výťahy obslúžili približne rovnaký počet ľudí a tento počet je vyrovnanejší ako pri prvej simulácii. To ale nie je

až tak prekvapujúce, keďže si ľudia volali všetky výťahy a teda vyťažovali každý výťah rovnako. Taktiež súčet týchto hodnôt zodpovedá počtu dopytov.



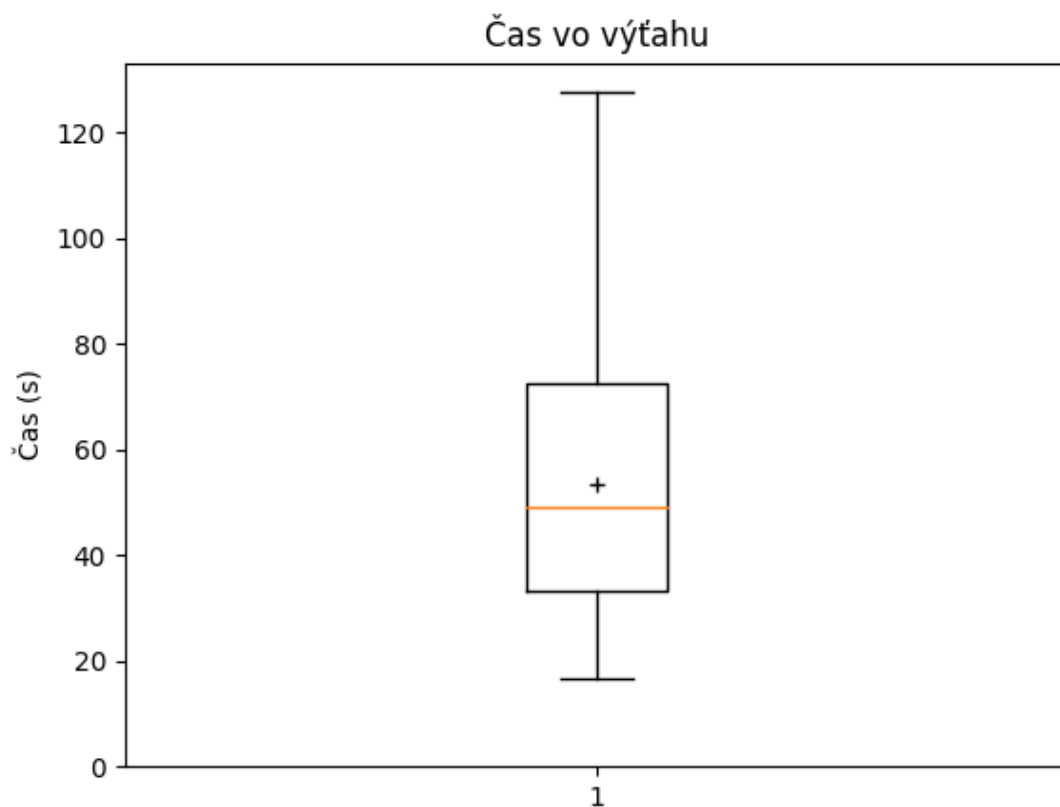
Obrázok č. 36 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav pri nedočkavých pasažieroch – prejdená vzdialenosť výťahov[Zdroj: vlastné spracovanie]

Zaujímavejší je stĺpcový graf prejdenej vzdialenosti pre každý výťah. Prejdená vzdialenosť výťahov, v porovnaní s prvou simuláciou, narástla. Prvý výťah prešiel 5516,2 metrov, druhý 5621 a tretí 5505,2 metra. Každý výťah prešiel o približne 1000 metrov viac, čo je nárast o približne 23 percent. Tým pádom sa výťahy opotrebojú rýchlejšie a aj stúpne spotreba elektriny.



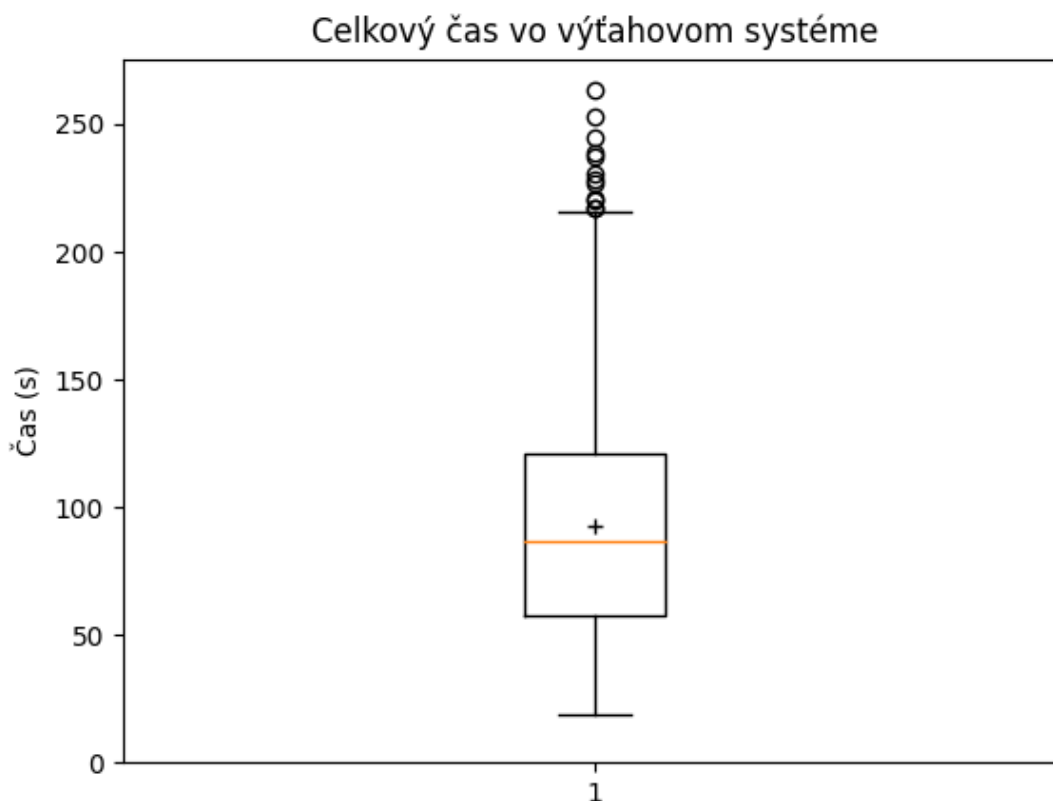
Obrázok č. 37 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav pri nedočkavých pasažieroch – čas čakania ľudí na výťah [Zdroj: vlastné spracovanie]

V porovnaní s predchádzajúcou simuláciou sa taktiež zvýšil priemerný čas čakania na výťah a to z 35,14 sekundy na až 39,54 sekundy, čo je nárast o približne 12%. Avšak klesla maximálna dĺžka čakania na výťah, a to z 401,64 sekúnd na 263,4 sekúnd. Osoby čakajúce na výťah dosahovali nižšie vysoké časy kvôli tomu, že nenastala situácia, že ich obslúžil plný výťah a museli by si zavolať ďalší. Ak ich obslúžil plný výťah, tak to znamená, že po pár sekundách prišiel ďalší, ktorý bol pravdepodobne prázdny. Dôvod nárastu priemerného času stráveného čakaním na výťah sme si už upresnili.



Obrázok č. 38 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav pri nedečkavý pasažieroch – čas ľudí strávený vo výtahu [Zdroj: vlastné spracovanie]

Z boxplotu času ľudí strávenom vo výtahu sme zistili, že maximálna hodnota je 127,73 sekundy a priemer má po zaokrúhlení na dve desatinné miesta hodnotu 53,41 sekundy. Maximálny čas vo výtahu je nižší ako pri prvej simulácii, ale priemer opäť stúpol a to o približne šesť sekúnd.



Obrázok č. 39 – Výsledok simulácie pre aktuálny stav – čas ľudí strávený vo výťahovom systéme [Zdroj: vlastné spracovanie]

Nakoniec porovnáme celkový čas ľudí strávený vo výťahovom systéme. Priemer nám oproti prvej simulácii narástol z hodnoty 82,64 na 92,94 sekundy. Teda v priemere každý človek stratí o približne 10 sekúnd viac, ak si všetky osoby čakajúce na výťah v tomto systéme zavolajú všetky výťahy. Toto číslo by bolo ešte väčšie ak by sme mali viac dopytov. Maximálny čas vo výťahovom systéme ale klesol a to z 455 sekúnd na 263 sekúnd. Avšak v prvej simulácii bol počet osôb s vyšším časom ako 263 sekúnd iba sedem. Taktiež sme zaznamenali nárast hodnôt všetkých kvartilov.

Analýzou výsledkov sme dospeli k záveru, že takýto prístup ľudí nie je vhodný pre výťahový systém. Nielenže sme zaznamenali nárast prejdenej vzdialenosti výťahov, čo spôsobí vyššie opotrebovanie výťahov a aj zvýšenie spotreby elektriny, ale aj nárast priemerného času

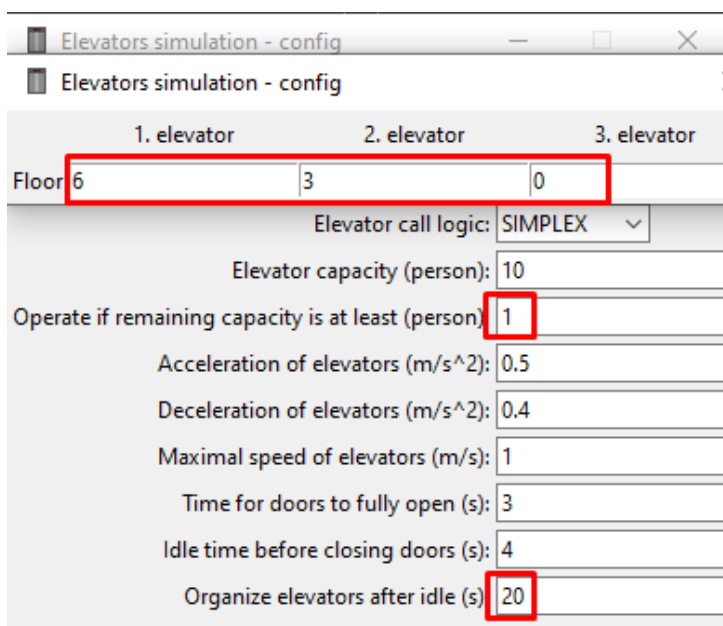
Ľudí strávenom vo výťahovom systéme ako aj čas čakania na výťah a čas strávený vo výťahu. Vo výťahovom systéme, ktorý obsluhuje poschodia pomocou viacerých výťahov, ktoré ale medzi sebou nekomunikujú, by sa mali ľudia správať zodpovedne a neprivolávať si všetky výťahy.

4.3.3 Simulácia prvého riešenia

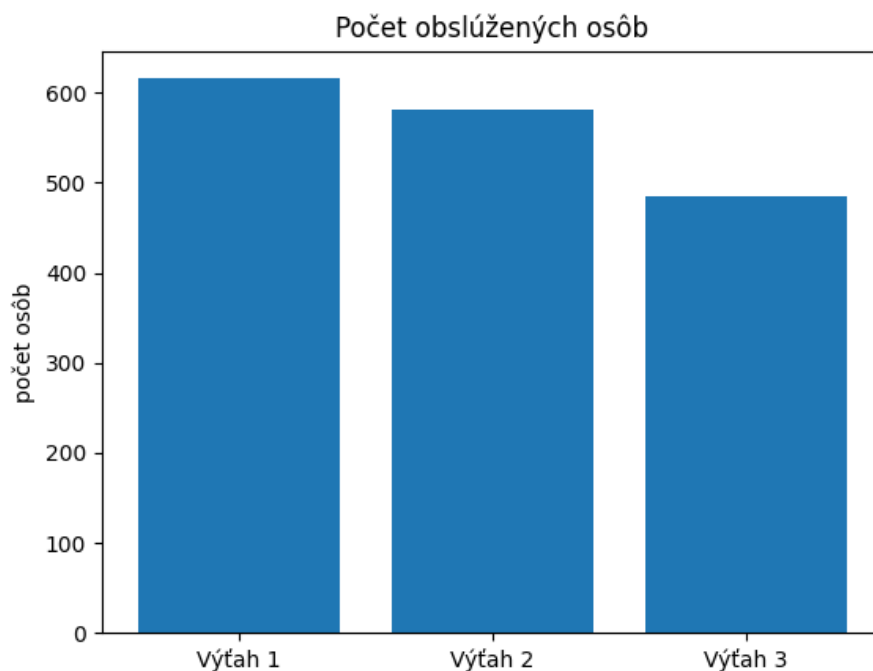
Ako prvé riešenie sme sa rozhodli vylepšiť aktuálne riešenie výťahov. Zanechali sme teda typ obsluhy SIMPLEX a zmenili sme pár parametrov.

Prvý parameter, ktorý sme sa rozhodli zmeniť, bol parameter obsluhy poschodí pri obsadenosti výťahu (*operate if remaining capacity is at least*). Nastavili sme, že výťahy budú obsluhovať poschodia iba ak sa nachádza priestor vo výťahu pre aspoň jednu osobu, teda výťah nie je plný. Tým sme chceli odstrániť zbytočné zastavenie výťahov na poschodiach, na ktorých nikto z ľudí vo výťahu nevystúpil a keďže bol výťah plný, tak nikto do výťahu ani nenastúpil.

Druhým parametrom, ktorý sme sa rozhodli nastaviť, bol parameter reorganizácie. Na nastavenie tohto parametra je vyžadované nastaviť dva parametre. Prvým je, po akom čase nečinnosti sa má výťah presunúť na východiskové poschodie. Nastavili sme preto parameter *organize elevators after idle* na hodnotu 20 sekúnd. Posledný parameter, ktorý sme museli nastaviť je, na aké poschodie sa majú výťahy presunúť po nečinnosti. Tento parameter sme nastavili po kliknutí na menu *Edit* a následne *Organize elevators after idle* a zvolili sme, že prvý výťah sa presunie na šieste podlažie, druhý na tretie a tretí výťah sa presunie na prízemie. Zvolili sme tieto podlažia kvôli tomu, aby boli výťahy čo najďalej od seba, čím sme chceli zabrániť zhlukovaniu výťahov.

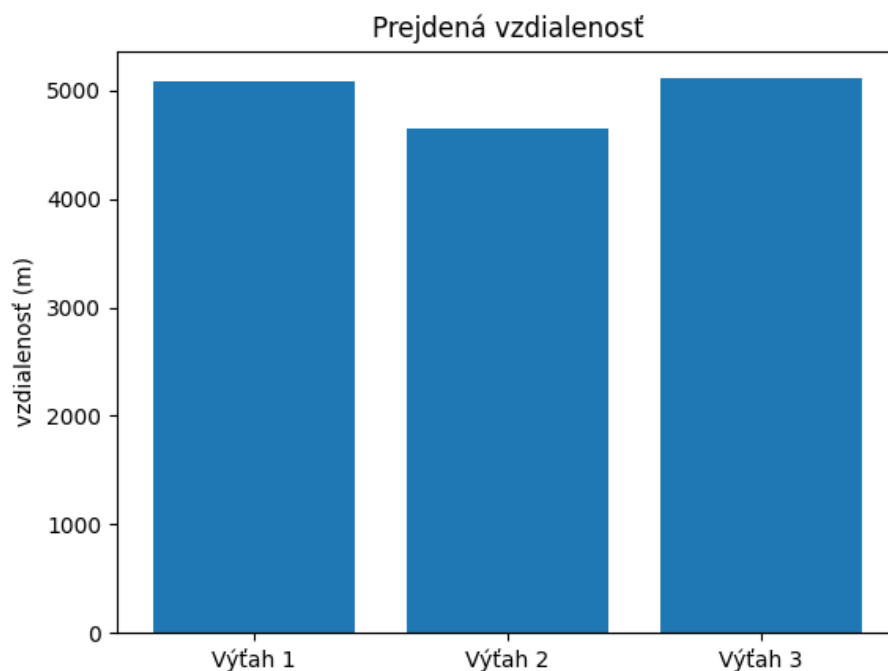


Obrázok č. 40 – Nastavenie simulačných parametrov pre prvé riešenie výťahového systému na Ekonomickej univerzite [Zdroj: vlastné spracovanie]



Obrázok č. 41 – Výsledok simulácie pre prvé riešenie – počet obslužených ľudí pre každý výťah [Zdroj: vlastné spracovanie]

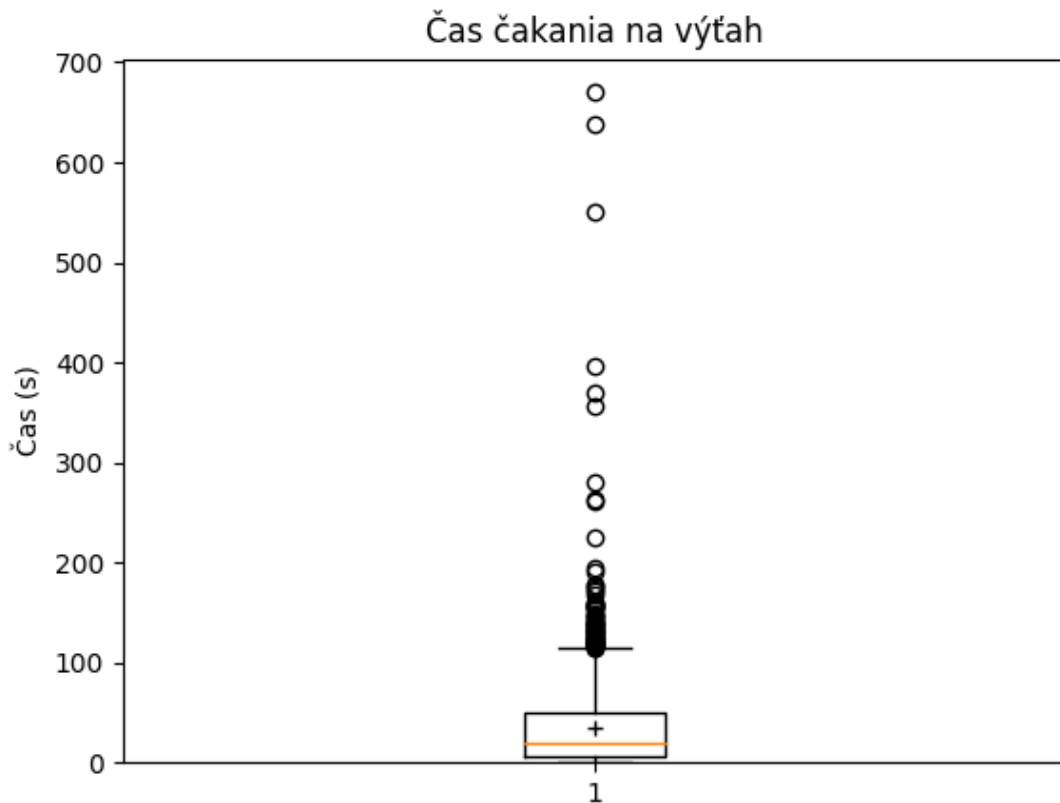
Na obrázku č. 41 môžeme vidieť počet obslužených osôb pre každý výťah. Tento graf je veľmi podobný aktuálnemu stavu, ale počet ľudí obslužených prvým výťahom stúpol na ešte väčšiu hodnotu a počet ľudí obslužených tretím výťahom klesol na ešte nižšiu hodnotu. Je to aj z toho dôvodu, že sme prvému výťahu nastavili presunúť sa po nečinnosti na šieste poschodie a tretiemu na prízemie. Dopyty vznikajú o trochu skôr z poschodí ako z prízemí a ľudia vystúpia na prízemí a teda sa tu už budú nachádzať dva výťahy a to do ktorého výťahu ľudia nastúpia si určujú náhodne (v rovnakom pomere). Taktiež, prvý výťah pri ceste nadol môže zobrať cestou ďalších ľudí na poschodiach medzi šiestym poschodím a prízemím, čo však neplatí pri ceste nahor z prízemí (ľudia nastupujú zväčša iba na prízemí pri ceste nahor). Aj preto prvý výťah obslužil 616 ľudí (čo je nárast o 31) a tretí výťah obslužil 485 osôb (pokles o 23).



Obrázok č. 42 – Výsledok simulácie pre prvé riešenie – prejdená vzdialenosť výťahov

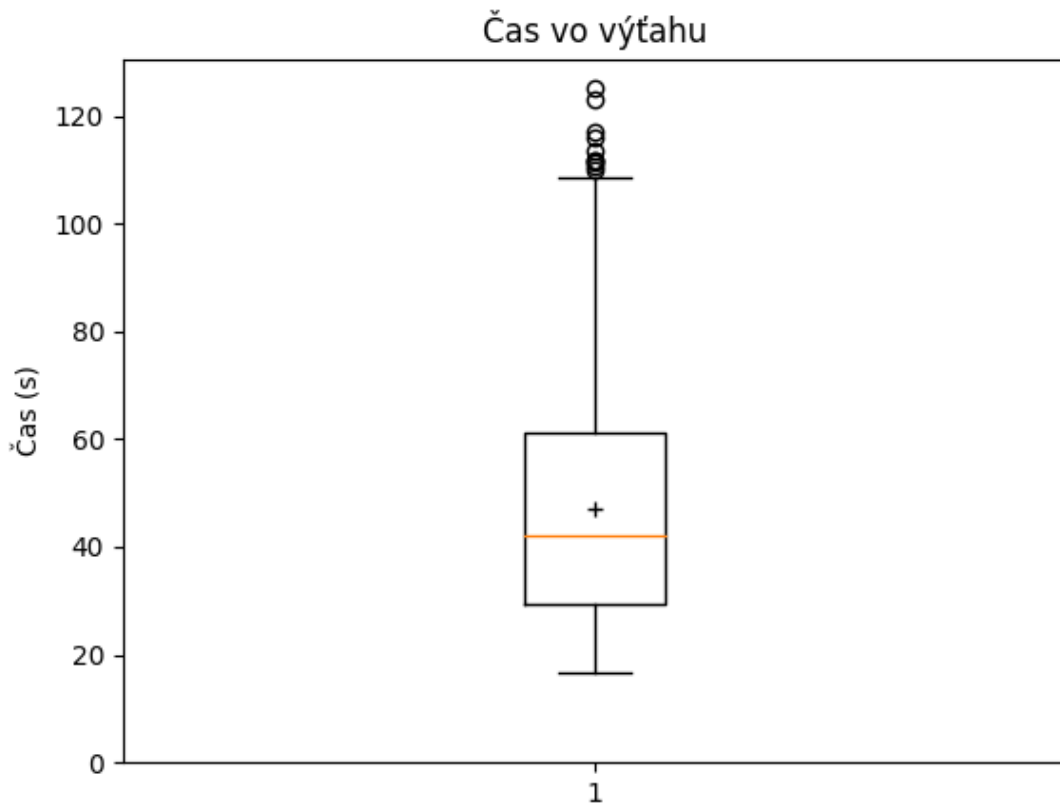
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Výraznejšia zmena nastala pri prejdenej vzdialenosti výťahov – obrázok č. 42. Pri simulácií aktuálneho stavu, výťahy končili po prestávke väčšinou na poschodiach jeden až sedem. Avšak tretí výťah sa po dvadsiatich sekundách nečinnosti presunie na prízemie a aj ostatné sa presunú na prednastavené poschodia. Touto činnosťou výťahy prejdú väčšiu vzdialenosť za účelom rýchlejšieho obsluhovania ľudí. Prvý výťah prešiel vzdialenosť v tomto riešení o približne 400 metrov viac ako pri simulácií aktuálneho stavu. Tretí výťah prešiel až o 900 metrov viac. Druhý výťah prešiel o 10 metrov menej, čo je približne rovnako veľa.



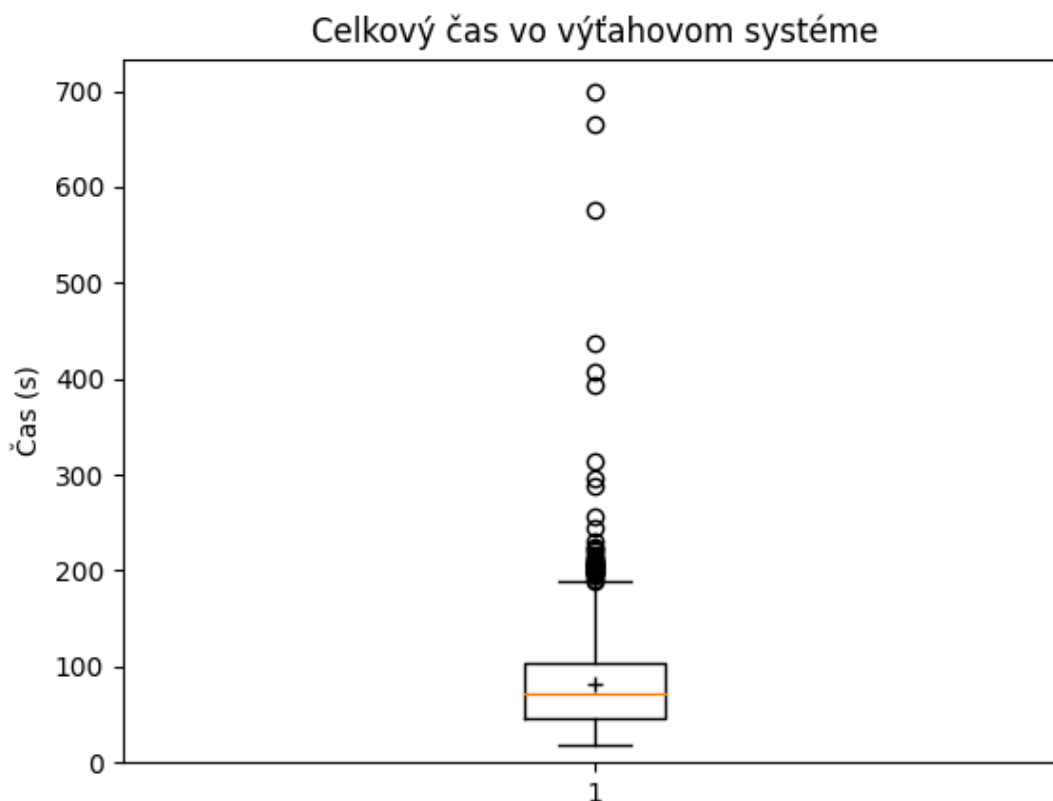
*Obrázok č. 43 – Výsledok simulácie pre prvé riešenie – čas čakania ľudí na výťah
[Zdroj: vlastné spracovanie]*

V porovnaní s prvou simuláciou sa znížil priemerný čas čakania na výťah o takmer sekundu, ale niektorí ľudia dokonca čakali na výťah aj viac ako osem minút. To je spôsobené tým, že títo ľudia si zvolili byť obslužení výťahom, ktorý síce bol najbližšie, ale bol preplnený a preto im na poschodí nezastavil. Zastavil im až po nejakom čase, keď už nebol plný. Keďže sme riešenie simulovali na ľuďoch ktorí nepreťažujú výťahový systém ďalšími volaniami, tak ľudia počkali až kým boli obslužení výťahom a nevolali ďalšie výťahy aj keď to znamenalo extrémne dlho čakať na výťah. Nastavenie parametra reorganizácie výťahu mal dopad na zníženie priemerného času čakania na výťah. Ľudia, ktorí si zavolali výťah v tomto riešení boli výťahom obslužení oveľa skorej, keďže najbližší výťah prešiel menšiu vzdialenosť (ak vôbec musel nejakú vzdialenosť prejsť), aby sa dostal na privolané poschodie.



Obrázok č. 44 – Výsledok simulácie pre prvé riešenie – čas ľudí strávený vo výťahu
 [Zdroj: vlastné spracovanie]

Priemerný čas vo výťahu sa taktiež znížil, a to o približne pol sekundy. Maximálne strávila osoba vo výťahu 125 sekúnd, čo je taktiež menej v porovnaní s výsledkom simulácie pre aktuálny stav, kde najviac osoba čakala 141 sekúnd. Za znížením týchto časov bol zodpovedný parameter obsluhy poschodí pri preplnenom výťahu. Ak boli výťahy plné, tak nezastavovali zbytočne na poschodiach, kde nikto nevystúpil. Nastavenie tohto parametra sa prejavilo najmä pri smere obsluhy výťahu smerom nadol.



Obrázok č. 45 – Výsledok simulácie pre prvé riešenie – čas ľudí strávený vo výťahovom systéme [Zdroj: vlastné spracovanie]

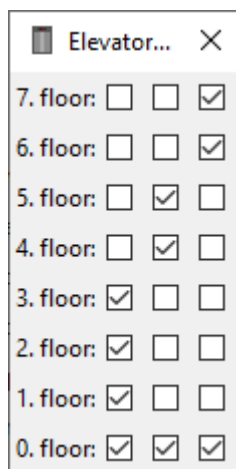
Porovnanie celkového času vo výťahovom systéme (obrázok č. 45) dopadlo nasledovne. Keďže sa priemer jednotlivých časov znížil, tak sa aj znížil priemerný celkový čas osôb strávený vo výťahovom systéme a to z 82,64 na 81,32 sekundy. Naopak, maximálny čas vo výťahovom systéme sa zvýšil z 455 až na takmer 700 sekúnd.

Prvé riešenie, ktoré malo zlepšiť efektívnosť aktuálneho výťahového systému nedopadlo najlepšie. Síce sa znížil priemerný celkový čas vo výťahovom systéme, ale iba o približne jedno percento. Avšak, zvýšila sa priemerná prejdená vzdialenosť výťahov a taktiež nastali extrémne prípady, kedy osoby strávili vo výťahovom systéme extrémne dlhý čas. Na druhej strane toto riešenie by bolo vhodnejšie pri nedečkavých pasažieroch. Taktiež sa dá zlepšiť napríklad tým, že ak výťah prejde poschodím, ktoré malo byť obslužené a nie je (kvôli preplnenosti výťahu),

tak sa tlačidlo obsluhy výtťahom pre daný smer odznačí. Avšak to by vyžadovalo pozornosť osôb čakajúcich na výtťah pri takejto udalosti a opätovné stlačenie iného tlačidla obsluhy. Takéto správanie sme sa rozhodli nenaprogramovať, keďže nevieme ako by sa osoby správali v skutočnosti.

4.3.4 Simulácia druhého riešenia

Ako druhé riešenie sme sa rozhodli zmeniť výtťahový systém tak, že výtťahy budú rozdelené do vopred zadaných sektorov. Týmto riešením sme rozdelili pasažierov do jednotlivých výtťahov podľa cieľového podlažia, kam sa chcú prepraviť. Nastavili sme preto parameter obsluhy poschodí tak, ako je možné vidieť na obrázku č. 46. Prvý výtťah obsluhuje prvé až tretie poschodie, druhý obsluhuje štvrté a piate poschodie a nakoniec tretí výtťah obsluhuje šieste a siedme poschodie. Všetky výtťahy taktiež obsluhujú prízemie, ktoré je zároveň poschodím, kde sa prestupuje.

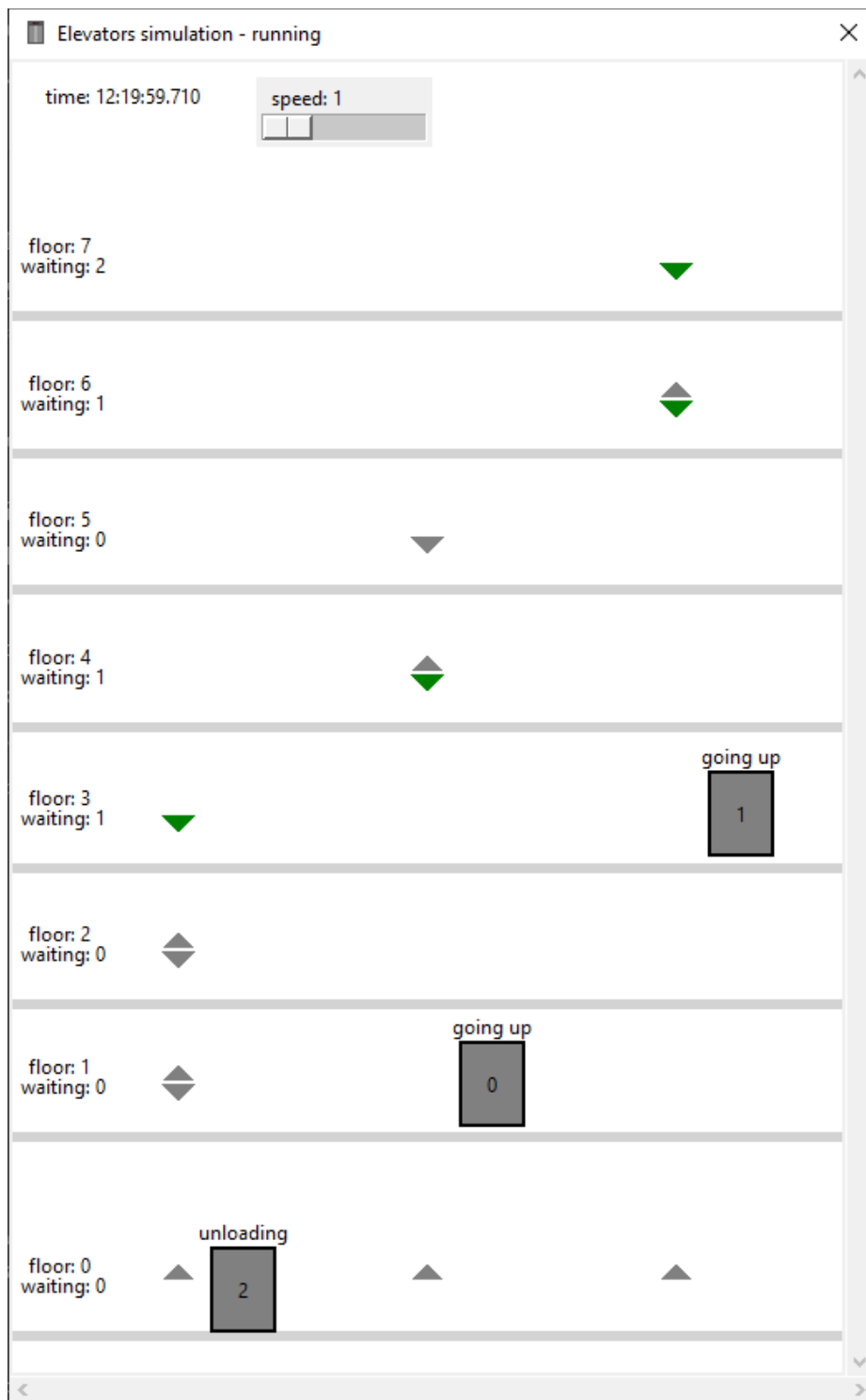


| Floor | Column 1 | Column 2 | Column 3 |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 7. floor: | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6. floor: | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5. floor: | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. floor: | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 0. floor: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

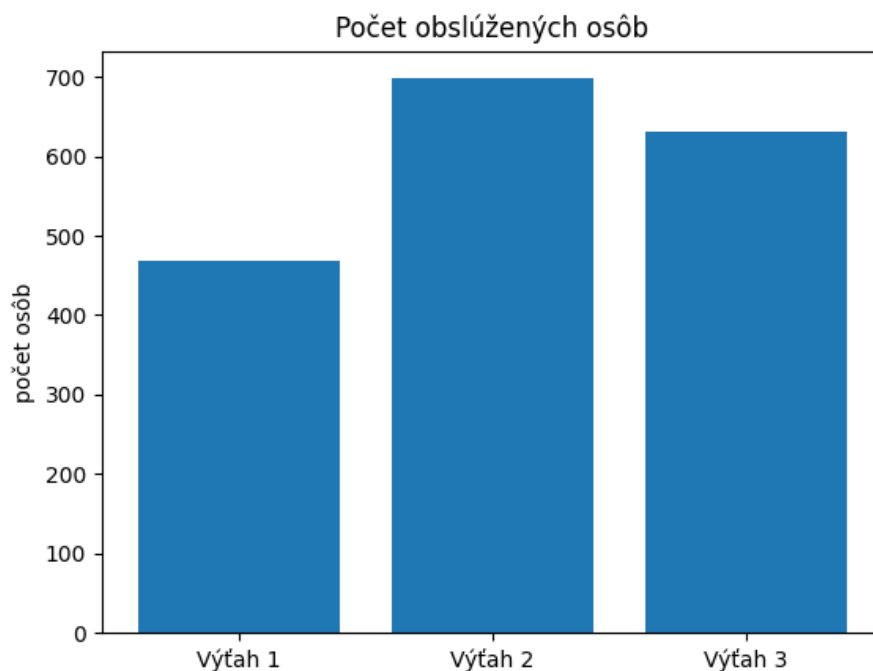
Obrázok č. 46 – Nastavenie parametra obsluhy poschodí výtťahov pre druhé riešenie výtťahového systému na Ekonomickej univerzite [Zdroj: vlastné spracovanie]

Oproti aktuálnemu stavu sme sa ešte rozhodli nastaviť parameter obsluhy poschodí pri preplnenosti výtťahu na 1, tak ako pri prvom riešení. V tomto riešení má tento parameter oveľa väčší význam, keďže na jednotlivé poschodia sa vie dostať vždy iba jeden výtťah. Ak je výtťah plný, tak zbytočne zastane na poschodí, na ktorom si osoba zavolala výtťah, ak sa z výtťahu nikto nepožaduje dopraviť na toto poschodie.

Ako môžeme vidieť na obrázku č. 47, tak po zmenení parametrov obsluhy výťahov pre jednotlivé poschodia sa nám nevygenerovali tlačidlá obsluhy výťahov pre tie poschodia, ktoré výťah neobsluhuje.

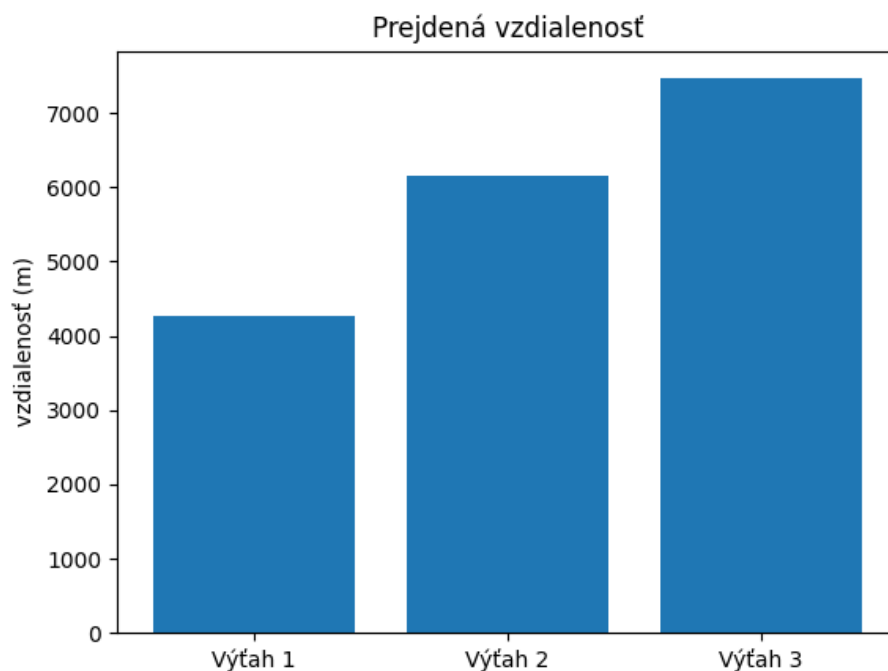


Obrázok č. 47 – Simulácia druhého riešenia [Zdroj: vlastné spracovanie]



Obrázok č. 48 – Výsledok simulácie pre druhé riešenie – počet obslužených ľudí pre každý výťah [Zdroj: vlastné spracovanie]

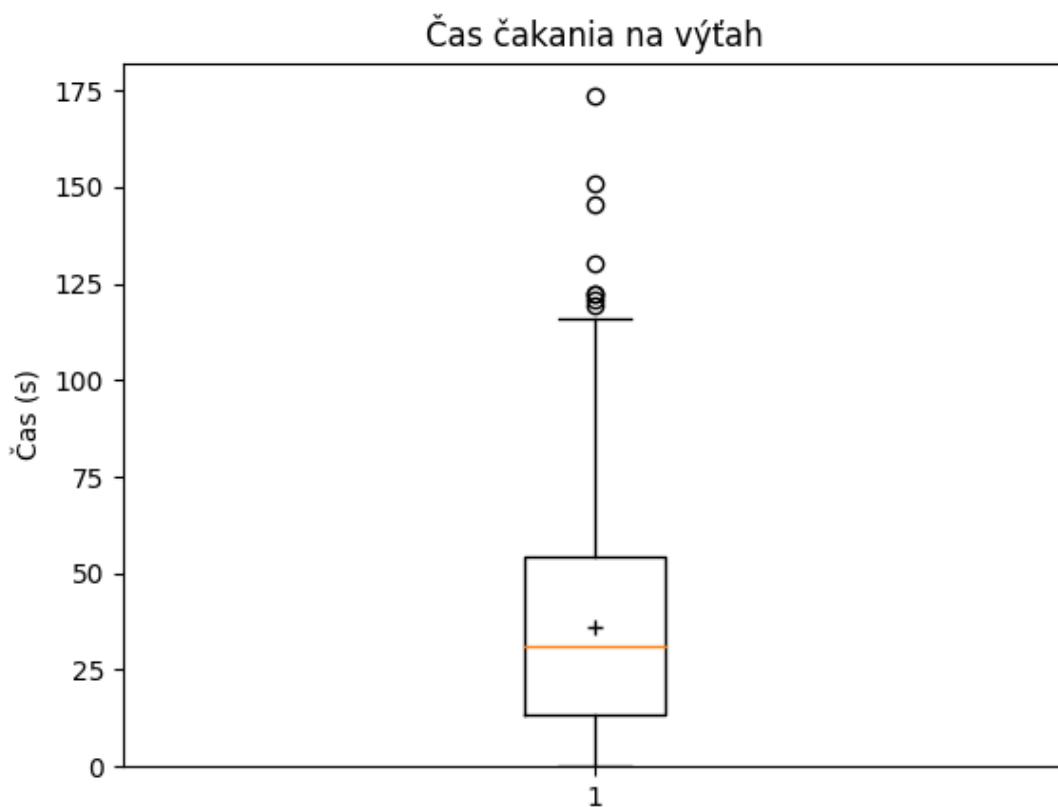
Ako môžeme vidieť na obrázku č. 48, tak počet obslužených ľudí jednotlivými výťahmi sa veľmi líši. Je to spôsobené tým, že najviac dopytov je na treťom až šiestom poschodí a keďže je druhý výťah priradený na poschodie štyri a päť, tak obslúžil najviac ľudí. Tretí výťah obsluhoval šieste poschodie, kam sa požaduje prepraviť najviac ľudí ako aj z tohto poschodia na prízemie. Prvý výťah obslúžil najmenej ľudí, aj keď obsluhuje najviac poschodí, a to kvôli tomu, že obsluhuje poschodia, kam a odkiaľ sa nepožaduje prepraviť veľa ľudí. Jednotlivé počty osôb obslužených výťahmi sú nasledovné. Prvý výťah obslúžil 468 osôb, druhý 698 a tretí 630 osôb. Po sčítaní dostávame výsledný počet obslužených osôb a to 1796, čo je o 114 viacej ako počet dopytov. To je spôsobené tým, že 114 ľudí sa požadovalo prepraviť medzi poschodiami, ktoré neboli obsluhované tým istým výťahom (napríklad z prvého poschodia na piate).



Obrázok č. 49 – Výsledok simulácie pre druhé riešenie – prejdená vzdialenosť výťahov

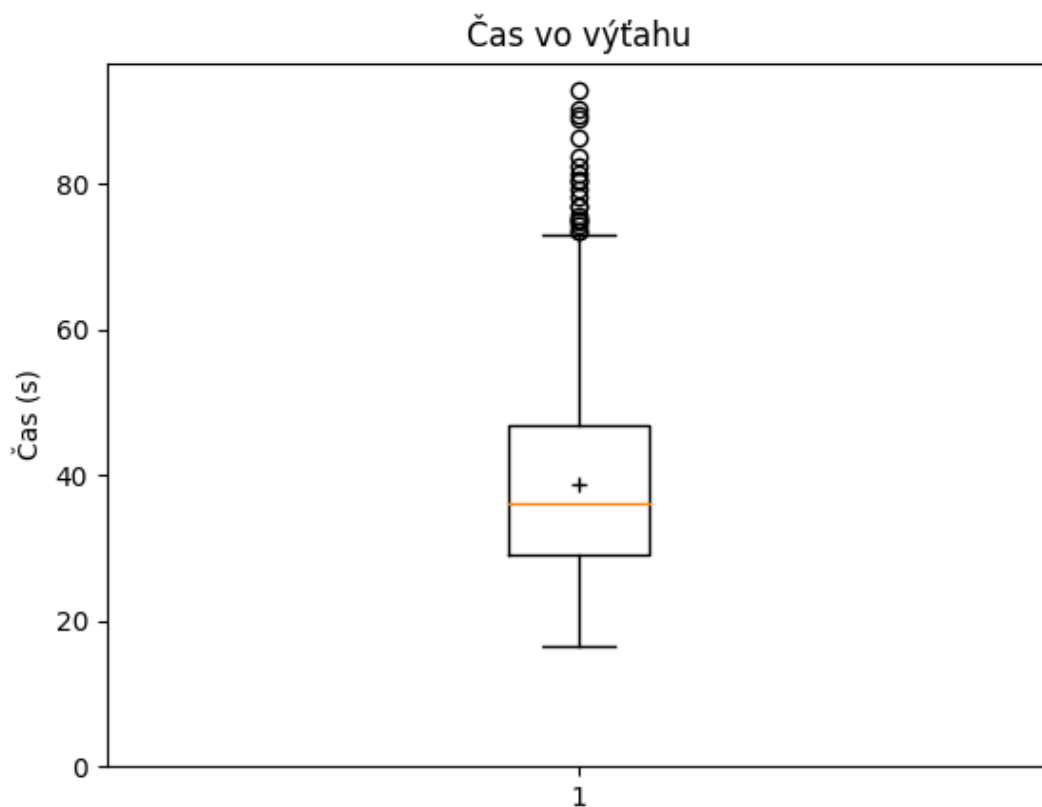
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Prejdená vzdialenosť jednotlivých výťahov sa značne odlišuje. Je to opäť spôsobené nastavením sektorov. Prvý výťah obsluhuje poschodia, ktorých maximálna vzdialenosť medzi sebou je najmenšia, zatiaľ čo tretí výťah obsluhuje poschodia, ktoré sú najviac vzdialené medzi sebou. Priemerná prejdená vzdialenosť všetkých výťahov je 5962.5 metrov, čo je o 1455 metrov viac ako pri aktuálnom stave. To je spôsobené najmä tým, že výťahy obsluhujú naraz malý počet osôb a pri menšom zaťažení výťahového systému nezbierajú po ceste osoby, ktoré sa požadujú prepraviť v rovnakom smere, ale privolá sa im výťah, ktorý obsluhuje v danom sektore.



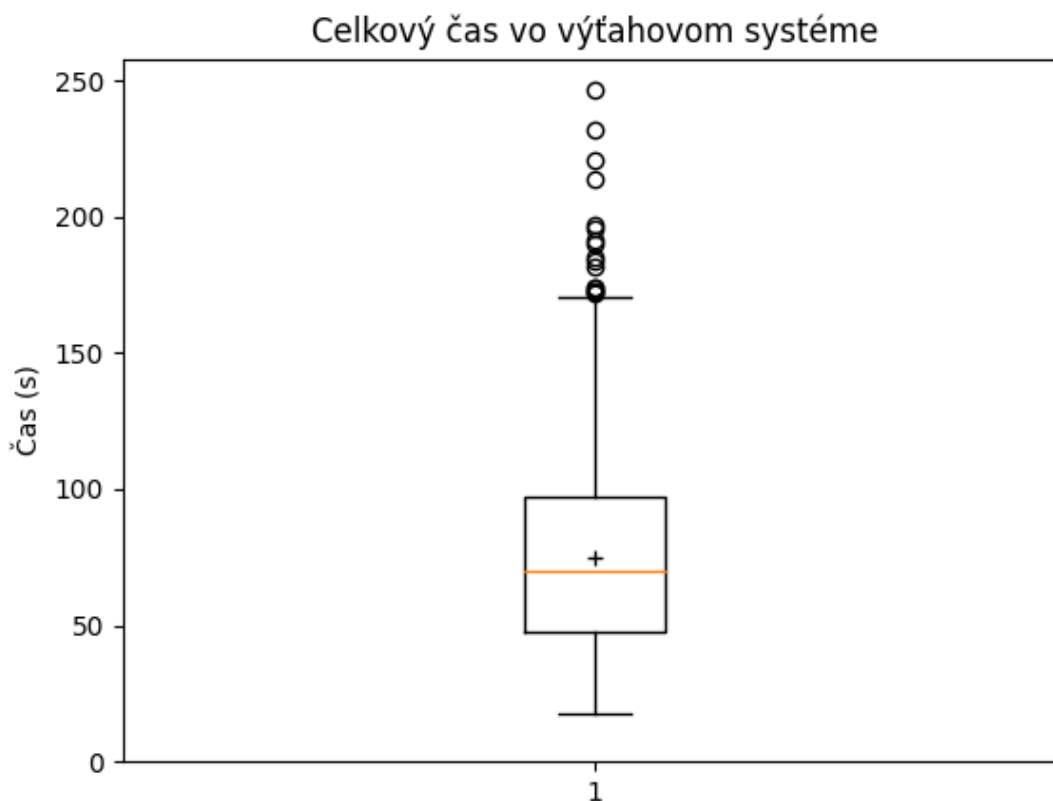
Obrázok č. 50 – Výsledok simulácie pre druhé riešenie – čas čakania ľudí na výťah
 [Zdroj: vlastné spracovanie]

Priemerný čas čakania na výťah sa zvýšil o približne sekundu, ale odstránili sa vysoké časy čakania na výťah. Na rozdiel od výsledku simulácie aktuálneho stavu, kde až desať osôb čakalo na výťah viac ako tri minúty, pri tejto simulácii nečakal na výťah nikto dlhšie ako tri minúty. Najviac čakala na výťah jedna osoba a to 173,5 sekúnd. To bolo spôsobené tým, že si privolala výťah na najvyššom poschodí odkiaľ práve odchádzal jediný výťah, ktorý obsluhuje toto poschodie.



*Obrázok č. 51 – Výsledok simulácie pre druhé riešenie – čas ľudí strávený vo výťahu
[Zdroj: vlastné spracovanie]*

Na obrázku č. 51 môžeme vidieť čas ľudí strávený vo výťahu. V porovnaní s výsledkom simulácie aktuálneho stavu ľudia strávili vo výťahu oveľa menej času. Priemerný čas vo výťahu klesol o približne deväť sekúnd zo 47,5 sekundy na 38,7 sekundy. Taktiež klesol aj maximálny čas strávený vo výťahu a to zo 141 sekúnd na 93 sekúnd. Pokles je spôsobený tým, že výťahy obsluhujú oveľa menší počet staníc a teda zastavujú menej často. Zastavenie a obsluženie poschodia výťahom je veľmi náročná činnosť na čas a v tomto riešení výťahy obsluhujú menší počet staníc.



Obrázok č. 52 – Výsledok simulácie pre druhé riešenie – čas ľudí strávený vo výtahovom systéme [Zdroj: vlastné spracovanie]

Priemerný čas osôb vo výtahovom systéme sa znížil o približne osem sekúnd. To je približne desať percentné zlepšenie v porovnaní s výsledkom simulácie aktuálneho stavu. Taktiež sa znížil maximálny čas strávený vo výtahovom systéme z 455 sekúnd na 246,5 sekundy.

Na základe získaných výsledkov simulácie považujeme toto riešenie za veľmi efektívne. Síce sa zvýši celková prejdená vzdialenosť výtahov, ale značne sa znížia časy ľudí strávených vo výtahovom systéme. Taktiež by malo byť toto riešenie ľahko realizovateľné (až na vlastnosť neobsluhovať poschodia ak je výtah plný). Na rozdelenie výtahov do sektorov by stačilo znefunkčnit' jednotlivé tlačidlá obsluhy na poschodiach a vo výtahoch a informovať o tom ľudí, ktorí sa chcú prepraviť výtahom, na každom poschodí. Problém môže nastať na prízemí, kde ak

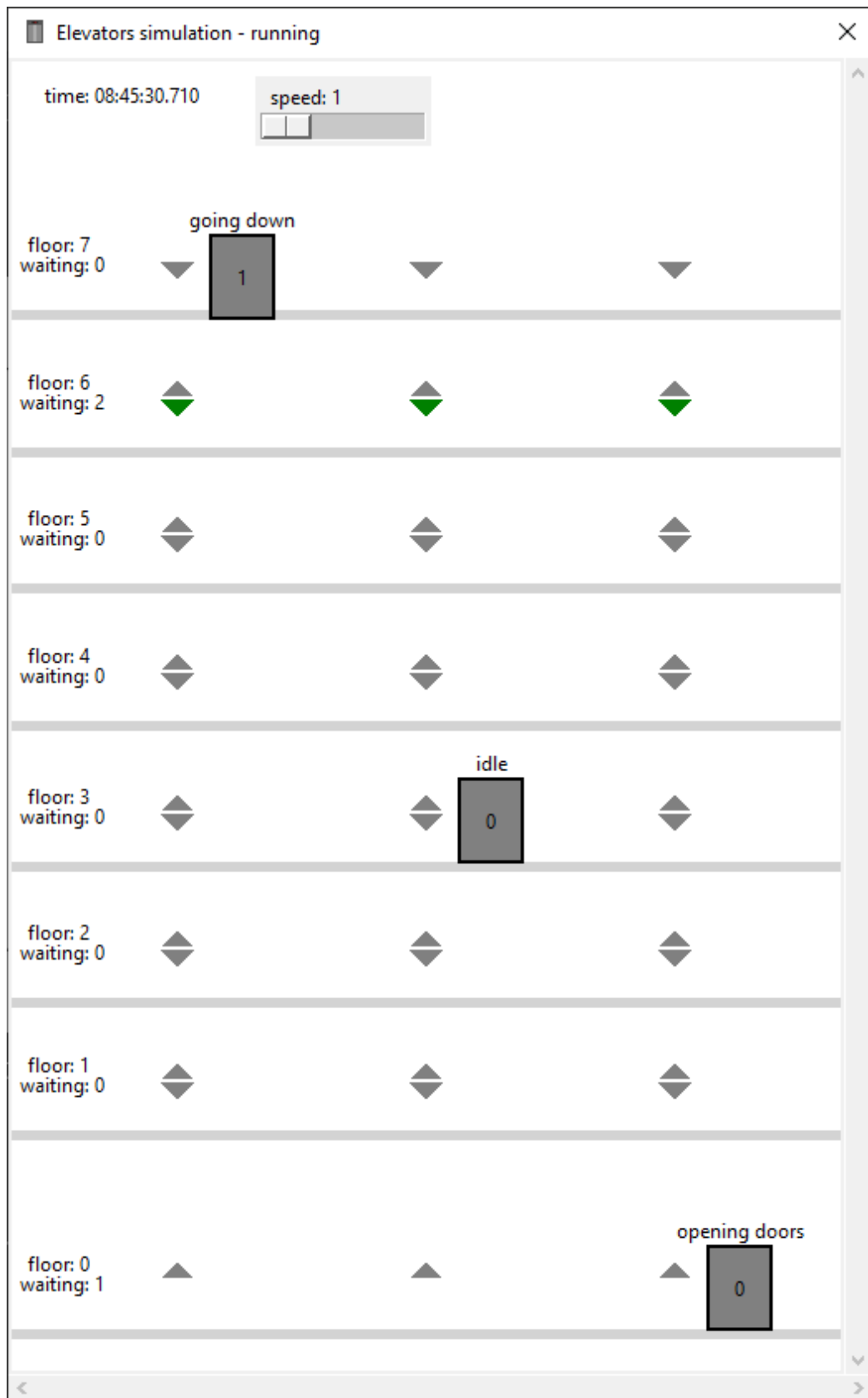
si túto informáciu ľudia neprečítajú a nevedia ako výťahový systém funguje, tak by si mohli zavolať iný výťah, čím by zbytočne preťažovali systém. Taktiež toto riešenie nie je vhodné, ak by nastal vysoký pohyb ľudí medzi poschodiami. Lepším riešením by bolo dynamické sektorovanie výťahov, čo by bolo ale náročnejšie na naprogramovanie a taktiež by to znamenalo veľký zásah do aktuálneho stavu výťahového systému.

4.3.5 Simulácia tretieho riešenia

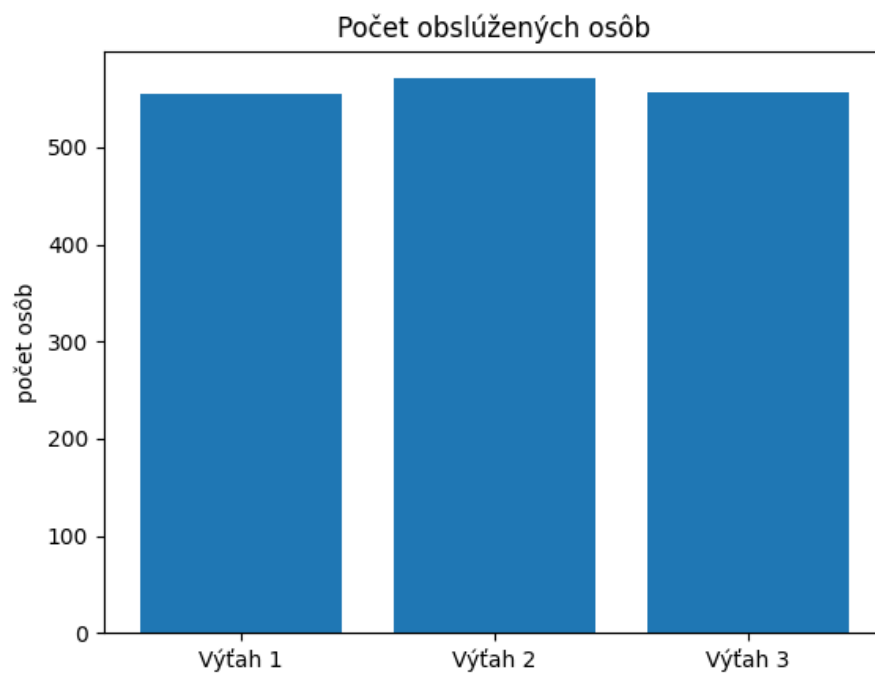
Ako tretie a posledné riešenie, ktoré sme sa rozhodli nasimulovať bolo obsluhovať poschodia v režime MULTIPLEX. Taktiež sme sa rozhodli nastaviť rovnakú reorganizáciu výťahov z prvého riešenia. Keďže výťahový systém pridelí taký výťah poschodiu, ktorý je najbližšie, tak odstránením zhlukovania znížime priemerný čas presunu výťahov na zavolané poschodie.

V minulosti bol už systém MULTIPLEX použitý na Ekonomickej univerzite práve pre tento výťahový systém. Zo zistených informácií sme sa dozvedeli, že bolo zrušené a škola sa rozhodla nahradiť tento systém terajším systémom. Terajší systém nie je dokonalý, ale má jednu zásadnú výhodu oproti predchádzajúcemu systému. Občas sa totižto stalo, že sa výťah pokazil. Pri terajšom systéme to nie je problém, pretože ak výťah nepríde osobe po určitom čase, tak sa osoba čakajúca na výťah rozhodne zavolať si iný. Pri predchádzajúcom systéme to ale problém bol, pretože výťah sa tváril ako plne funkčný a výťahový systém pridelil tento výťah poschodiu, ktoré bolo treba obslúžiť, pretože bol najbližšie. Výťah sa na dané poschodie ale nikdy nedopravil a z daného poschodia sa nevedeli ľudia nikdy prepraviť. Vedeli sa prepraviť iba vtedy, ak by sem prišiel iný výťah z ktorého by ľudia vystúpili alebo existoval iný výťah, ktorý sa nachádzal bližšie.

Na obrázku č. 53 môžeme vidieť ako prvý výťah ide obslúžiť šieste poschodie, ale druhý výťah je nečinný. Výťahový systém totižto pridelil iba prvému výťahu obslúžiť šieste poschodie.

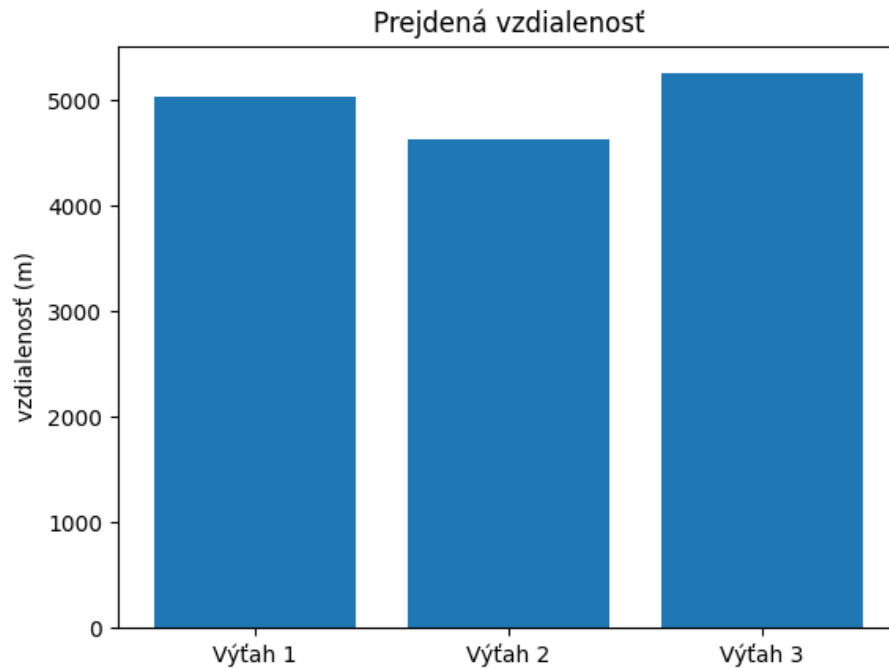


Obrázok č. 53 – Simulácia tretieho riešenia [Zdroj: vlastné spracovanie]



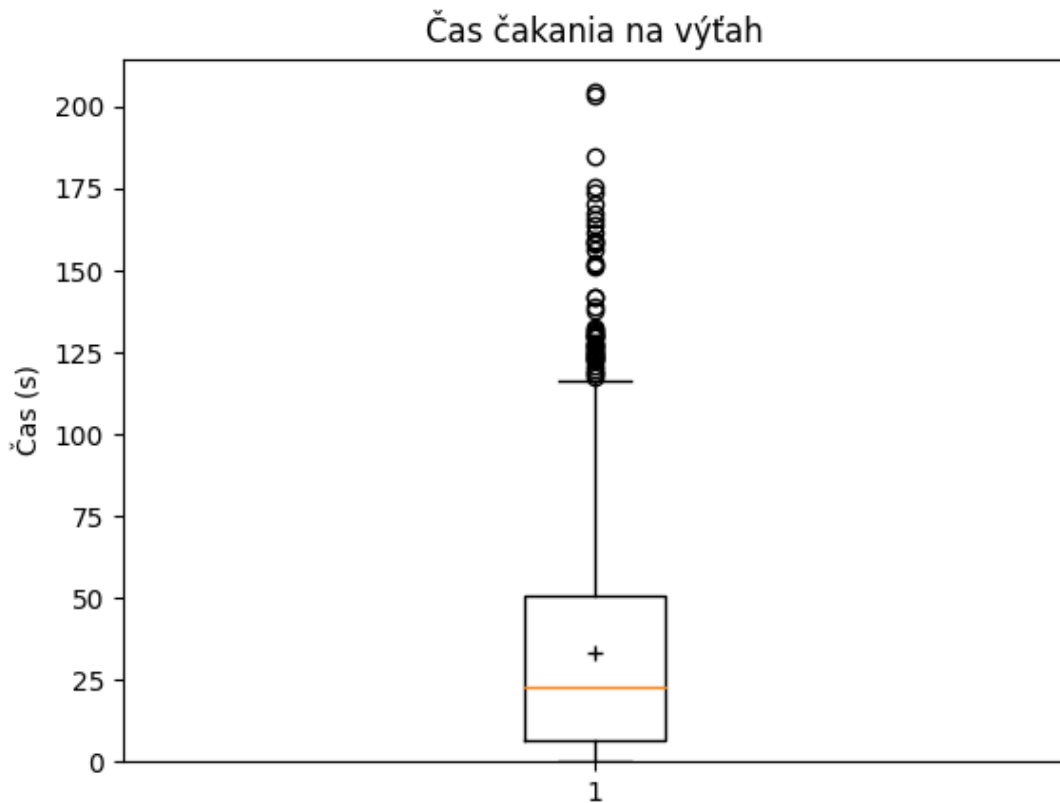
Obrázok č. 54 – Výsledok simulácie pre tretie riešenie – počet obslužených ľudí pre každý výťah [Zdroj: vlastné spracovanie]

Simuláciou sme zistili, že počet obslužených osôb jednotlivými výťahmi je veľmi vyvážený. Je to spôsobené najmä reorganizáciou výťahov. Prvý výťah obslúžil 555 ľudí, druhý 571 a tretí 556 ľudí. V porovnaní s ostatnými riešeniami je počet osôb obslužených výťahmi najlepšie rozdelený.



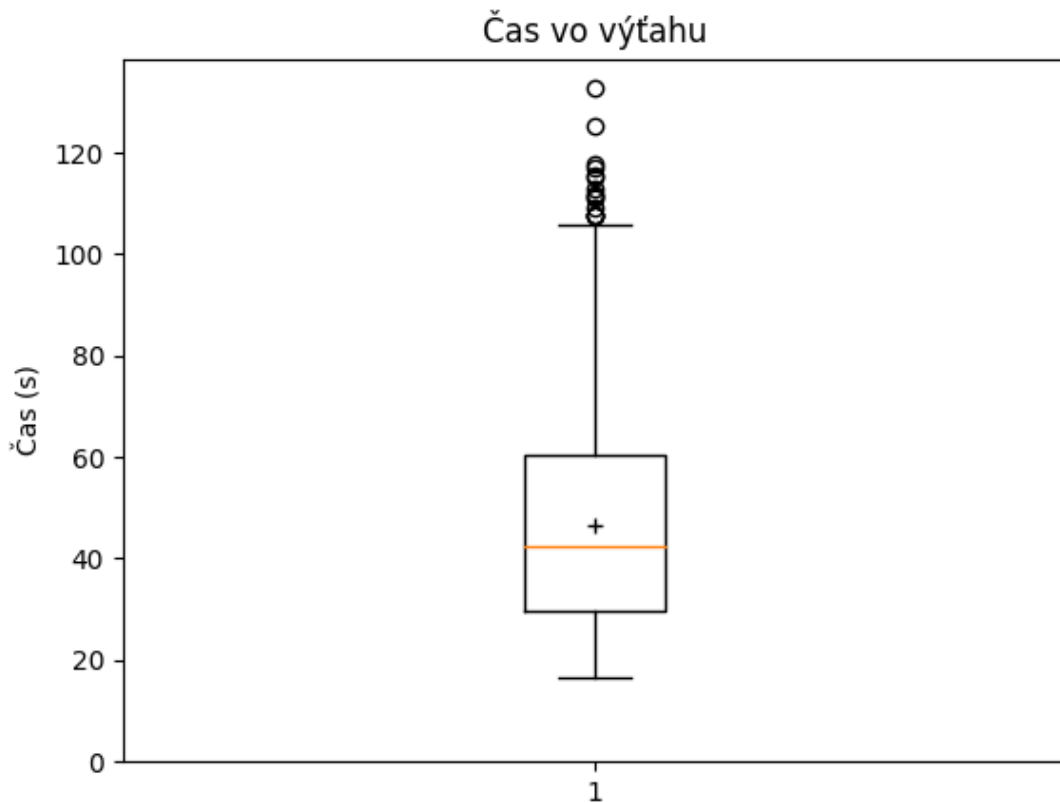
Obrázok č. 55 – Výsledok simulácie pre tretie riešenie – počet obslužených ľudí pre každý výtah [Zdroj: vlastné spracovanie]

Jednotlivá prejdená vzdialenosť výtahov je rozdielna. Druhý výtah prešiel najmenšiu vzdialenosť opäť kvôli nastaveniu parametra reorganizácie výtahov. Pri nečinnosti sa presunie na tretie poschodie, ktoré sa nachádza približne v strede výšky poschodí. Prvý a druhý výtah má prednastavené krajné poschodia kam sa presunú po nečinnosti. Výtahy v priemere prešli väčšiu vzdialenosť ako pri simulácií aktuálneho stavu a to o 462,9 metra. Prvý a tretí výtah prešiel väčšiu vzdialenosť, zatiaľ čo druhý prešiel o kúsok menšiu vzdialenosť ako pri simulácií aktuálneho stavu. Prvý výtah prešiel 5036,2 metra, druhý 4622 a tretí 5253 metrov.



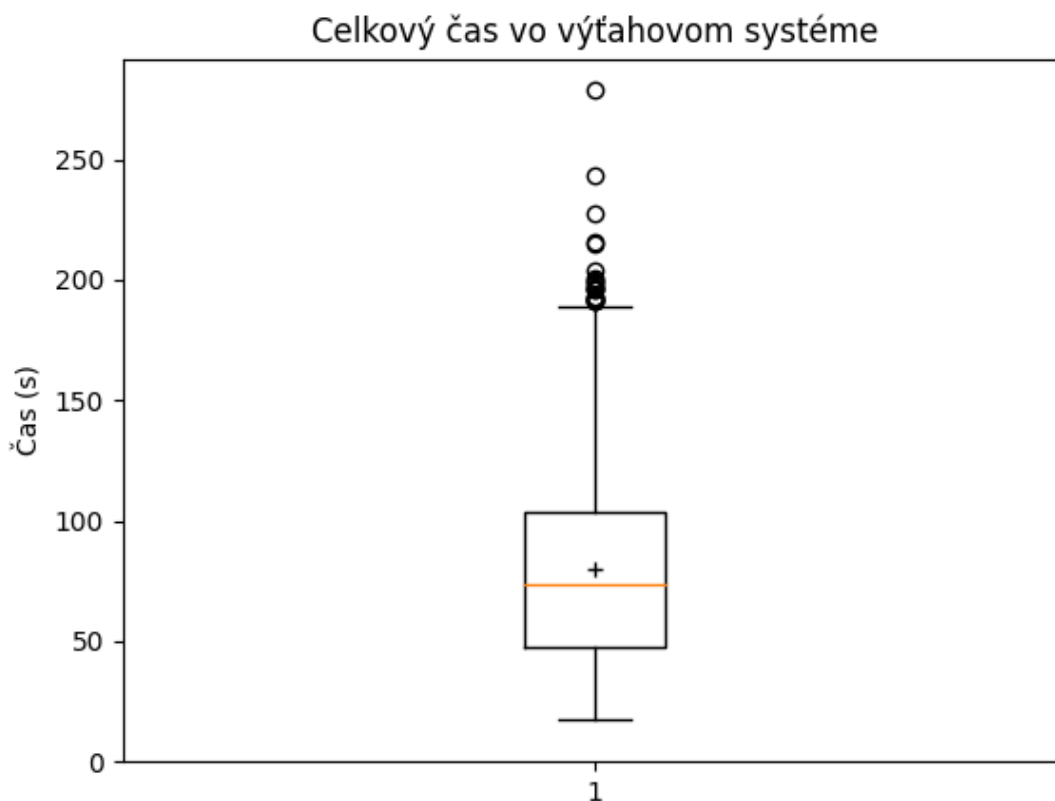
Obrázok č. 56 – Výsledok simulácie pre tretie riešenie – čas čakania ľudí na výťah
[Zdroj: vlastné spracovanie]

Priemerný čas čakania ľudí na výťah sa znížil. Taktiež sa znížil aj maximálny čas, ktorý osoba strávila čakaním na výťah. Z pôvodného priemerného času 35,15 sekúnd sa znížil tento čas pri tomto riešení na 33,3 sekundy. Maximálny čas sa znížil na 204,5 sekundy. Poklesy sú spôsobené aj reorganizáciou výťahov, ale aj zmenením výťahovej logiky na MULTIPLEX.



Obrázok č. 57 – Výsledok simulácie pre tretie riešenie – čas ľudí strávený vo výťahu
 [Zdroj: vlastné spracovanie]

Časy ľudí strávených vo výťahoch taktiež klesli v porovnaní s výsledkom simulácie pre aktuálne riešenie. Priemerný čas a maximálny čas sa znížil, ale iba o malú hodnotu. Priemer klesol na hodnotu 46,6 sekundy z 47,5 sekundy. Poklesy časov boli spôsobené opäť reorganizáciou výťahov, pretože sa menej často stávalo, že výťahy boli preplnené a nastalo lepšie prerozdelenie ľudí medzi jednotlivé výťahy.



Obrázok č. 58 – Výsledok simulácie pre tretie riešenie – čas ľudí strávený vo výťahovom systéme [Zdroj: vlastné spracovanie]

Priemer celkového času ľudí stráveného vo výťahovom systéme klesol z pôvodných 82,6 sekundy na 79,9 sekundy, čo je pokles o približne 3%. Taktiež sme týmto riešením znížili maximálny čas ľudí strávený vo výťahovom systéme zo 454,8 sekundy na 278,7 sekundy.

Systém MULTIPLEX sa odporúča používať pre výťahový systém viacerých výťahov z nasledovných dôvodov. Výber výťahu vykonáva výťahový systém, ktorý vie lepšie vybrať výťah, ktorý má poschodie obslúžiť ako človek, ktorý by sa mal rozhodnúť, ktorý z výťahov si privolať. Takisto sa odstráni problém nedečkavých pasažierov, keďže poschodie príde obslúžiť vždy iba jeden výťah. Nevýhodou tohto systému je, že pri vysokej vyťaženi jednotlivých poschodí sa privolá na poschodie vždy iba jeden výťah a ďalší sa môže privolať až vtedy, keď tento výťah toto poschodie opustí. Problém by sa dal odstrániť takými tlačidlami, ktoré by zaznamenávali počet stlačení a podľa toho by systém privolal počet výťahov. Avšak takéto

riešenie by sa nemuselo vyplatit', keďže by vznikol opäť problém nedočkavých ľudí, ktorí by mohli systém zneužívať a stláčať tlačidlo viackrát, čím by si mysleli, že ich výťahový systém prioritne obslúži, čo by nemuselo vždy platiť.

4.3.6 Výber optimálneho riešenia

V predchádzajúcich kapitolách sme si v našej aplikácii odsimulovali aktuálny stav a navrhované riešenia. Ako riešenie, ktoré sa ukázalo byť najefektívnejšie z pohľadu času ľudí strávený vo výťahovom systéme, sme dostali druhé riešenie, teda rozdelenie výťahov do sektorov. Síce by sa zvýšila priemerná prejdená vzdialenosť výťahov, ale značne by sa znížil čas ľudí vo výťahovom systéme, čo nám podľa nasimulovaných hodnôt vyšlo až o približne 10%. Realizácia tohto riešenia nám taktiež nepríde príliš ťažká a ako sme už spomenuli, stačilo by iba znefunkčnit' vybrané tlačidlá, čím by sme rozdelili aktuálnu obsluhu výťahov na jednotlivé sektory. Veľkou nevýhodou navrhovaného riešenia je časovo náročnejšia preprava ľudí medzi sektormi, avšak počet takýchto ľudí by mal byť veľmi nízky. Taktiež, ak by sa dostal do systému človek, ktorý nie je informovaný ako výťahový systém funguje, tak by sa mohlo stať, že si privolá na prízemí nesprávny výťah.

Záver

Výsledkom práce bol simulačný softvér, ktorý simuloval pohyb výťahov a prepravu ľudí podľa vopred zadaných parametrov v konfiguračnom používateľskom rozhraní a navrhnutie efektívnejšieho obsluhovania výťahov pre výťahový systém troch výťahov na Ekonomickej univerzite v Bratislave. Niektoré parametre výťahového systému nám boli poskytnuté a niektoré sme nadobudli meraním. Nami vytvorený program je vhodný aj na nasimulovanie iného výťahového systému, avšak jeho parametre sa môžu líšiť. Výhodou programu je, že simulácia prebieha deterministicky a preto závisí iba od vstupných parametrov.

Aktuálne riešenie nepovažujeme za veľmi efektívne, keďže počas pozorovaní sme zistili, že ľudia systém vyťažujú tak, že si zavolajú všetky tri výťahy. Tým sa systém zahltí a efektivita výťahov drasticky klesne.

Na základe simulácií navrhovaných riešení sme dospeli k záveru, že by sa výťahový systém troch výťahov na Ekonomickej univerzite v Bratislave mal rozdeliť do troch sektorov, ktoré budú výťahy obsluhovať. Výťahy by tak prepravovali ľudí efektívnejšie aj keď by sa skomplikovala preprava ľudí z jedného sektoru do ostatných.

Zdroje

[1] Tom Harris. How Elevators Work. [Online, cit. 20.12.2022].

<https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/elevator3.htm>

[2] Elisha Otis. Elevator. [Online, cit. 20.12.2022].

<https://www.britannica.com/technology/elevator-vertical-transport>

[3] Delkin Industrial. Industrial Flash Storage for Elevator Control Systems. [Online, cit. 02.02.2022]

<https://www.delkin.com/blog/industrial-flash-storage-for-elevator-control-systems/>

[4] Janovský Lubomír, Doletal Jozef. Výtahy a eskalátory. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1980.

[5] The Chartered Institution of Building Services Engineers. Transportation system in buildings, CIBSE Guide D. Londýn, 2000. ISBN 978-19-032-8709-5

[6] Henri Hakonen, Marja-Liisa Siikonen, Janne Sorsa, Elevator selection with destination control system [Online, cit. 03.02.2022]

<https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1050-elevator-selection-with-destination-control-system.pdf>

[7] Destination Control System FLOORNAVI [Online, cit. 03.02.2022]

<https://www.toshibaelevators.in/catalogue/floornavi.pdf>

[8] Simon Russett. Double deck elevators – a real solution? [Online, cit. 03.02.2022]

<https://www.cibse.org/media/s4ep3up1/double-deck-elevators-a-real-solution.pdf>

Prílohy

Projektový adresár z vývojového prostredia PyCharm

Konfiguračné súbory riešení

Dopytový súbor pohybu ľudí vo výtahovom systéme

Výstupné súbory jednotlivých riešení, ktoré vznikli pri simuláciach