



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEMS

PLÁNOVAČ ZMIEN V SEKTORE SLUŽIEB

SHIFT SCHEDULER IN THE SERVICE INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MIRIAM MIHELYOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JURAJ LAZÚR,

BRNO 2025

Abstrakt

Plánovanie pracovných zmien je dôležitou súčasťou fungovania mnohých organizácií, najmä v sektore služieb, kde je potrebné zabezpečiť pokrytie zmien a zároveň zohľadniť potreby zamestnancov. Analýza problému ukazuje, že súčasné riešenia môžu byť pre menšie podniky príliš nákladné alebo zložité, čo bráni ich širšiemu využitiu v praxi. V mnohých firmách sa zmeny stále vytvárajú manuálne, často pomocou tabuľkových editorov, čo môže viesť k neefektívnosti, subjektívnym rozhodnutiam a nerovnomernému zohľadneniu preferencií zamestnancov. Cieľom práce bolo vytvoriť systém, ktorý podporuje manuálne aj automatické generovanie zmien, pričom berie do úvahy požiadavky zamestnancov aj zamestnávateľa. Na automatické pridelenie zmien bol použitý genetický algoritmus, ktorý optimalizuje rozvrh na základe preferencií, nedostupnosti zamestnancov a rovnomerného rozloženia zmien. Výsledkom je webová aplikácia navrhnutá podľa princípov viacvrstvovej architektúry, ktorá umožňuje generovať pracovný rozvrh na zvolené obdobie. Vďaka využitiu návrhových vzorov ako Mediator je systém prehľadne štruktúrovaný, ľahko udržiavateľný a pripravený na ďalší rozvoj. Aplikácia je navrhnutá tak, aby zabezpečila spravodlivé rozdelenie zmien, čím by mala prispieť k zvýšeniu spokojnosti zamestnancov bez ohrozenia potrieb organizácie.

Abstract

Work shift scheduling is an important part of operations in many organizations, especially in the service sector, where it is necessary to ensure shift coverage while also considering employee needs. An analysis of the problem shows that current solutions can be too costly or complex for smaller businesses, which hinders their wider practical use. In many companies, shifts are still created manually, often using spreadsheet editors, which can lead to inefficiencies, subjective decisions, and uneven consideration of employee preferences. The aim of this work was to create a system that supports both manual and automatic shift generation, taking into account the requirements of both employees and employers. A genetic algorithm was used for automatic shift assignment, optimizing the schedule based on preferences, employee unavailability, and balanced shift distribution. The result is a web application designed according to the principles of multilayer architecture, allowing for the generation of work schedules for a selected period. Thanks to the use of design patterns such as Mediator, the system is clearly structured, easy to maintain, and ready for further development. The application is designed to ensure fair shift distribution, which should help increase employee satisfaction without compromising the organization's needs.

Kľúčové slová

plánovanie zmien, genetický algoritmus, webová aplikácia, optimalizácia rozvrhu, sektor služieb, automatizácia

Keywords

shift planning, genetic algorithm, web application, schedule optimization, service sector, automation

Citácia

MIHELIOVÁ, Miriam. *Plánovač zmien v sektore služieb*. Brno, 2025. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Juraj Lazúr,

Plánovač zmien v sektore služieb

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracovala samostatne pod vedením pána Ing. Juraja Lazúra. Uviedla som všetky literárne pramene, publikácie a ďalšie zdroje, z ktorých som čerpala.

.....
Miriam Mihelyová
8. května 2025

Podakovanie

Týmto by som chcela srdečne poďakovať vedúcemu mojej bakalárskej práce, Ing. Juraj Lazúr, za jeho neoceniteľnú pomoc, ochotu a trpezlivosť počas celého procesu vypracovania práce. Vždy mi ochotne odpovedal na moje otázky a poskytol cenné rady, ktoré mi veľmi pomohli pri rozvoji tejto témy.

Ďalej by som chcela poďakovať všetkým, ktorí mi poskytli odbornú pomoc a pripomienky, ktoré prispeli k zlepšeniu tejto práce.

Moje poďakovanie patrí aj mojej rodine a blízkym za ich podporu a povzbudenie počas celého štúdia.

Zadání bakalářské práce



162739

Ústav: Ústav informačních systémů (UIFS)
Studentka: **Mihelyová Miriam**
Program: Informační technologie
Název: **Plánovač směn v sektoru služeb**
Kategorie: Webové aplikace
Akademický rok: 2024/25

Zadání:

1. Prostudujte oblast automatizovaného plánování směn. Zaměřte se na způsob sběru a vyhodnocování vstupních parametrů.
2. Prozkoumejte různé způsoby vyhodnocování pracovních směn z různých hledisek (např. počet zákazníků, délka směny).
3. Navrhněte systém pro plánování směn, který zohlední osobní požadavky zaměstnanců a rovnoměrné rozdělení směn mezi zaměstnance na základě objektivního hodnocení směn.
4. Implementujte navržený systém.
5. Otestujte implementovaný systém se skupinou vybraných zaměstnanců.

Literatura:

- Quimper, Claude-Guy, and Louis-Martin Rousseau. "A large neighbourhood search approach to the multi-activity shift scheduling problem." *Journal of Heuristics* 16 (2010): 373-392
- Krishnamoorthy, Mohan, Andreas T. Ernst, and Davaatseren Baatar. "Algorithms for large scale shift minimisation personnel task scheduling problems." *European Journal of Operational Research* 219.1 (2012): 34-48
- Kundi, Michael. "Ergonomic criteria for the evaluation of shift schedules." *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 4.3-4 (2003): 302-318
- Ernst, Andreas T., et al. "Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models." *European journal of operational research* 153.1 (2004): 3-27

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:
Body 1. až 3.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Lazúr Juraj, Ing.**
Vedoucí ústavu: Kolář Dušan, doc. Dr. Ing.
Datum zadání: 1.11.2024
Termín pro odevzdání: 14.5.2025
Datum schválení: 23.10.2024

Obsah

1	Úvod	4
2	Rozvrhy zmien	5
2.1	Harmonogramy	6
2.1.1	Práca na zmeny	7
2.2	Najbežnejšie typy rozvrhov zmien	7
2.3	Základy plánovania rozvrhu	9
2.3.1	Connecteam	10
2.3.2	Blend	11
2.3.3	Deputy	12
2.4	Záver	13
3	Algoritmické riešenia plánovania	14
3.1	Constraint Programming (Programovanie s obmedzeniami)	14
3.2	Matematické Programovanie	15
3.3	Heuristické algoritmy	16
3.4	Genetický algoritmus	17
3.4.1	Popis algoritmu	17
3.4.2	Využitie pre automatické plánovanie	20
3.5	Záver	21
4	Analýza problému	22
4.1	Problémy z pohľadu manažéra	22
4.2	Problémy z pohľadu zamestnancov	23
4.3	Dostupnosť nástrojov	23
4.4	Flexibilita a automatické priradenie zmien	24
4.5	Zhrnutie	25
5	Návrh	26
5.1	Ciele navrhnutého riešenia	26
5.2	Návrh databázy a ER diagram	26
5.3	Užívateľské role	28
5.3.1	Manažér	28
5.3.2	Zamestnanec	28
5.4	Základné funkcionality aplikácie	29
5.4.1	Vytváranie a úprava rozvrhov	29
5.4.2	Automatické priradenie zmien	29
5.4.3	Participácia zamestnancov	29

5.5	Dizajn aplikácie	29
5.6	Prístupnosť a flexibilita	32
5.7	Funkcia automatického plánovania	32
5.7.1	Výhody genetického algoritmu v plánovaní zmien	33
5.7.2	Nevýhody genetického algoritmu	33
6	Implementácia	34
6.1	Back-end implementácia	34
6.1.1	Genetický algoritmus pre plánovanie zmien	34
6.1.2	Problémy počas implementácie	36
6.2	Front-end implementácia	37
6.3	Databázová implementácia	41
7	Testovanie	42
7.1	Testovanie používateľského rozhrania	42
7.2	Testovanie algoritmu	44
7.2.1	Úprava fitness funkcie	44
7.2.2	Úprava mutácie	44
8	Záver	45
	Literatúra	46

Kapitola 1

Úvod

V dynamicky sa meniacom pracovnom prostredí sa organizácie neustále stretávajú s výzvami, ako efektívne a spravodlivo rozdeliť pracovný čas medzi zamestnancov. Plánovanie zmien, alebo shift scheduling, predstavuje zložitý proces, ktorý sa snaží nájsť rovnováhu medzi potrebami firmy a osobnými a sociálnymi potrebami jej zamestnancov. Plánovač zmien je nevyhnutný pre zabezpečenie, že všetky potrebné pracovné pozície sú kryté zamestnancami v potrebnom čase. V praxi to znamená, že nemocnice musia mať dostatočný počet zdravotníckeho personálu na každej zmene, výrobné linky musia byť obsadené kvalifikovanými pracovníkmi na udržanie produkcie, a obchody potrebujú mať dostatočný počet obsluhy na zabezpečenie služieb pre zákazníkov. Správne plánovanie zmien tak môže zvýšiť efektivitu a produktivitu zamestnancov. Existuje viacero webových aplikácií a softvérov, ktoré sa snažia vytvoriť dokonalý plánovač, no mnohé z nich sa prikláňajú k potrebám zamestnávateľa viac ako k potrebám zamestnancov, ktorí sú tým najviac ovplyvnení. Optimalizovaním rozvrhovania je možné znížiť personálne náklady a zlepšiť celkovú spokojnosť zamestnancov. Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce je preto vytvoriť systém, ktorý bude pri plánovaní pracovných zmien kladť väčší dôraz na potreby zamestnancov a zároveň zohľadní aj požiadavky firmy, čím sa vytvorí vyvážený rozvrh rešpektujúci obidve strany. Takáto optimalizácia vedie nielen k zníženiu chybovosti v rozvrhoch, ale aj k prevencii prepracovania zamestnancov a k zlepšeniu ich pracovnej morálky.

Táto práca je rozdelená do ôsmich kapitol, ktoré pokrývajú jednotlivé aspekty riešenia problému rozvrhovania pracovných zmien.

Druhá kapitola 2 sa venuje úvodu do problematiky, v ktorom je predstavený význam plánovania zmien v súčasnom pracovnom prostredí a jeho dopad na zamestnancov aj zamestnávateľov. Tretia kapitola 3 poskytuje prehľad existujúcich algoritmických riešení plánovania, pričom sú porovnané rôzne prístupy a metodiky používané pri rozvrhovaní zmien, vrátane ich výhod a nevýhod. Štvrtá kapitola 4 detailne analyzuje samotný problém rozvrhovania zmien, definuje požiadavky na systém z pohľadu používateľov a organizácie, a identifikuje kľúčové obmedzenia a pravidlá, ktoré je potrebné pri návrhu systému zohľadniť. Piata kapitola 5 predstavuje návrh riešenia, opisuje architektúru systému, použité technológie, ako aj spôsob zadávania a spracovania preferencií zamestnancov. Šiesta kapitola 6 popisuje samotnú implementáciu navrhovaného systému. Dokumentuje vývoj jednotlivých komponentov, logiku spracovania údajov a spôsob integrácie algoritmu do funkčnej aplikácie. Siedma kapitola 7 sa zameriava na testovanie vyvinutého systému. Popisuje testovanie s užívateľmi, hodnotenie výsledkov z hľadiska výkonnosti a kvality generovaných rozvrhov. Osmá kapitola 8 obsahuje zhrnutie dosiahnutých výsledkov, zhodnotenie splnenia cieľov práce a zároveň navrhuje možné smerovanie budúceho vývoja a vylepšenia systému.

Kapitola 2

Rozvrhy zmien

Plánovanie zmien je bežná vec vo viacerých podnikoch, kde každý z nich si vytvára svoj vlastný, sebe špecifický rozvrh podľa potrieb. Tento proces sa v priebehu rokov vyvíjal, prešiel od tradičných papierových plánov až po moderné digitálne nástroje, ktoré zjednodušujú a optimalizujú celkový postup plánovania. Ako môžeme vidieť na obrázku 2.1. V praxi existujú rôzne formy rozvrhov zmien, ako sú pevné, rozdelené a rotujúce rozvrhy, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou nočnej a smennej práce. Okrem toho, s cieľom zabezpečiť nepretržitú prevádzku a spravodlivé rozdelenie pracovných hodín medzi zamestnancov, sa stále viac využívajú algoritmy, ako napríklad genetické algoritmy. Tieto metódy umožňujú automatizovať a zlepšiť plánovanie zmien tak, aby vyhovovali špecifickým potrebám organizácie.



Obrázek 2.1: **Plánovanie zmien**. Systém moderného plánovania zmien pomocou počítača pre efektívne riadenie pracovného času².

Pre lepšie pochopenie procesu plánovania zmien je dôležité sa pozrieť na samotný koncept plánu a plánovania. Plán alebo rozvrh je základným nástrojom riadenia času, ktorý obsahuje zoznam časov pre plánované úlohy, udalosti alebo akcie, prípadne chronologický sled týchto udalostí, ktoré sa majú uskutočniť. Proces vytvárania plánu, ktorý zahŕňa rozhodovanie o usporiadaní týchto úloh a rozdelení zdrojov medzi rôzne úlohy, sa nazýva

scheduling (plánovanie) [1]. Existuje viacero typov plánovania, napríklad plánovanie procesora, ktorého cieľom je priradiť procesy, ktoré má procesor vykonať. Plánovanie ovplyvňuje výkon systému, pretože určuje, ktorý proces bude čakať a ktorý bude postupovať [6]. Tieto princípy sú aplikovateľné aj v rámci plánovania pracovných zmien, kde je potrebné efektívne riadiť čas a zdroje, aby sa dosiahla maximálna efektivita a spravodlivosť.

2.1 Harmonogramy

Ako prvý s harmonogramom prišiel Karol Adamieckii, poľský ekonóm, inžinier a výskumník v oblasti manažmentu, ktorý vyvinul metodológiu na harmonizáciu práce pomocou grafickej analýzy. Tieto grafy sa nazývajú Harmonogramy alebo Harmonygrafy. Adamieckeho Harmonygraf z roku 1896 [16], ktorý môžeme vidieť na obrázku 2.2, mal na vertikálnej osi dátumy a na hornej strane zoznam aktivít. Každá aktivita bola znázornená papierovým pásikom, ktorého poloha a dĺžka ukazovali aktuálny harmonogram a trvanie aktivít. V záhlaví pásikov bol názov, trvanie aktivity a zoznam predchádzajúcich aktivít. Predchádzajúce aktivity boli vždy vľavo od nasledujúcich. Dostupné zdroje popisujú, že spoločnosti, ktoré zaviedli jeho metódu, zaznamenali zvýšenie produktivity medzi 100% až 400% [12].

time	From	-	-	-	A-1	B-1	...
	To	A-2	B-2, C	D-2	A-3	E-1	...
	activity	A-1<4>	B-1<4>	D-1<2>	A-2<4>	B-2<3>	...
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							

Obrázek 2.2: *Adamieckeho Harmonygraf z roku 1896*. Grafické znázornenie harmonogramu, ktoré ukazuje vzťahy medzi aktivitami a ich trvaním pre zvýšenie produktivity. ⁴

Plánovanie sa postupom času stalo čoraz viac používaným, najmä počas 19. storočia v období industriálnej revolúcie. V tom čase bolo nevyhnutné zorganizovať prácu takým spôsobom, aby bol zabezpečený nepretržitý chod výrobných procesov. Toto bolo obzvlášť dôležité v továrňach a firmách, kde prebiehala výroba, ako aj pri peciach, kde bolo potrebné neustále udržiavať teplo.

²Prevzaté z :<https://www.freepik.com>

⁴Prevzaté z <https://pmworldlibrary.net/wp-content/uploads/2014/08/pmwj25-aug2014-Weaver-History-of-Scheduling-SecondEdition.pdf>

2.1.1 Práca na zmeny

Ako sa priemysel vyvíjal a potreboval nepretržitú prácu, postupne sa začali používať nové výrazy na opis zmien, ktoré ukazovali, kedy a ako ľudia pracujú. Pojmy „práca na zmeny“ a „nočná práca“ sa často používajú zameniteľne. „Práca na zmeny“ (shift work) vo všeobecnosti označuje „pracovný režim“, ktorý sa vykonáva v rotáciách. Rôzne skupiny pracovníkov často striedajú rovnaké práce. Práca na zmeny zahŕňa aj prácu v akomkoľvek čase mimo dennej zmeny (9:00 – 17:00 hod., 6:00, 14:00, 7:00, 15:00 atď.) [5], zatiaľ čo „nočná zmena“ konkrétne označuje prácu medzi 23:00 a 6:00 hodinou. Historicky bola nočná zmena považovaná za nežiadajú a často bola zakázaná, pokiaľ to nebolo nevyhnutné, s prísnymi reguláciami počas stredoveku a renesancie. Priemyselná revolúcia vytvorila požiadavku aj schopnosť pracovať v noci, aj keď skoré zákony zakazovali nočnú prácu deťom a neskôr aj väčšine žien. Napriek svojim výzvam niektorí pracovníci uprednostňujú nočné zmeny, aby vyvážili svoj osobný život, napríklad zdravotné sestry, ktoré maximalizujú čas na školu, prácu a domáce povinnosti. Dnes okolo 15 až 20% [20] populácie v Amerike a Európe pracuje v nejakom type smenného režimu. Vo väčšine prevládajú v týchto pozíciách muži, okrem oblasti zdravotníctva. Tento rozvoj v práci na zmeny vedie k rozmanitosti rozvrhov zmien, ktoré sa musia prispôbiť dynamickým potrebám priemyslu.

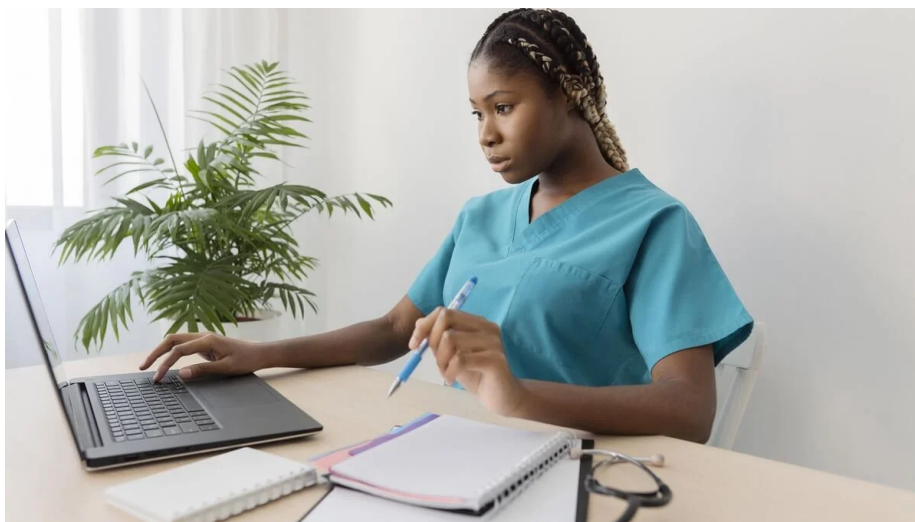
2.2 Najbežnejšie typy rozvrhov zmien

Okrem bežného rozvrhu od 9:00 do 17:00 existuje mnoho typov pracovných zmien. Tieto typy zmien sú výsledkom rôznych priemyselných a prevádzkových potrieb, preferencií zamestnancov a zákonov a nariadení týkajúcich sa plánovania zmien a voľna.

- **Pevný rozvrh zmien (fixed shift):** Pevný rozvrh zmien znamená, že zamestnanci pracujú každý týždeň v rovnaké dni a hodiny. Výnimky tvoria dovolenky alebo obdobie sviatkov. Pre manažéra zodpovedného za plánovanie je to ideálne, pretože každý týždeň je rovnaký s malými úpravami pre zamestnancov, ktorí si berú voľno. Pevný rozvrh sa používa v inštitúciách, kde je potrebná predvídateľnosť a pravidelnosť, čo sú napríklad školy a vzdelávacie inštitúcie. Kde učitelia a administratívni pracovníci často majú pevný rozvrh, ktorý zodpovedá školským hodinám. Tento rozvrh je navrhnutý tak, aby sa zhodoval s časmi vyučovania a zabezpečil kontinuitu a stabilitu pre študentov.
- **Rozdelený rozvrh:** Rozdelený rozvrh zamestnanca spočíva v rozdelení pracovných hodín do dvoch samostatných častí v priebehu jedného dňa. Tento prístup je obzvlášť obľúbený v prostrediach ako telocvične, kde osobní tréneri musia vyhovieť rôznorodým časovým požiadavkám svojich klientov, alebo v reštauráciách, ktoré sa prispôbujú vrcholovým obdobiam počas obedov a večerí. Napríklad, ak má zamestnanec odpracovať osem hodín denne, jeho smena môže byť naplánovaná tak, že pracuje od 10:00 do 14:00, nasleduje štvorhodinová prestávka, a potom pokračuje v práci od 18:00 do 22:00.
- **Rotujúci rozvrh (rotating shift):** Rotujúci rozvrh môže byť týždenný, dvojtýždenný, mesačný alebo aj v iných intervaloch v závislosti od potrieb zamestnávateľa. To môže znamenať, že každý pracuje v rôzne dni či časy. A každý zamestnanec môže mať rôzny počet odpracovaných hodín každý týždeň. Napríklad, môže zamestnanec pracovať jeden týždeň iba ráno, ďalší týždeň iba poobede, a potom iba v noci. Rotujúci

rozvrh najčastejšie používajú organizácie ktoré potrebujú neustálu prácu zamestnancov. Je tak potrebné pokrytie všetkých hodín dňa. To su napríklad nemocnice, kde je potrebné mať vždy sestričky ktoré sa starajú o pacientov a lekárov v prípade problémov 2.3. Ak je potrebné naplánovať zamestnancov na 8 hodín, možno s niektorými prekrývajúcimi sa časmi počas rušnejších období, je potrebné naplánovať aspoň 3-4 zamestnancov každý deň.

- **Zmeny na zavolanie (on call):** Rozvrh zmien na zavolanie znamená, že zamestnanci čakajú, kým sú zavolaní. Ak má pracovisko rôzne úrovne zaneprázdnenosti, môže byť ťažké predpovedať potreby personálu. Zmeny na zavolanie sú bežné v pohostinstve, kde je možné naraz dostať nával zákazníkov alebo prežiť celú zmenu bez práce. Majiteľ podniku nechce plánovať príliš veľa zamestnancov. To je situácia, kedy prichádzajú na rad zmeny na zavolanie. Zamestnanci sú v takomto rozvrhu očakávaní byť dostupní telefonicky a schopní prísť do práce okamžite. Využívajú sa aj pri zdravotníctve alebo pri technickej podpore, kedy spoločnosti poskytujúce technickú alebo zákaznícku podporu môžu mať zamestnancov na zavolanie, najmä mimo pracovných hodín, aby riešili naliehavé problémy alebo poruchy, ktoré vyžadujú okamžité zásahy.



Obrázek 2.3: *Sestrička pri práci* s využitím rotujúceho rozvrhu ⁵

Pracovný režim v mnohých odvetviach zahŕňa rôzne zmeny, ktoré sú rozdelené podľa denného času. Každá zmena má svoje špecifiká, ktoré ovplyvňujú pracovné podmienky a rytmus práce zamestnancov.

- **Denná zmena (1. zmena)** zvyčajne trvá od skorého rána do neskorého popoludnia alebo skorého večera, zvyčajne medzi 7:00 a 15:00 alebo 8:00 a 16:00.
- **Večerná zmena (2. zmena)** sa zvyčajne začína v neskorých popoludňajších hodinách a trvá približne do polnoci. Hodiny pre túto zmenu môžu byť približne od 15:00 do 23:00 alebo od 16:00 do 24:00.
- **Nočná zmena (3. zmena alebo zmena na cintoríne)** zvyčajne začína neskoro večer alebo o polnoci a trvá do skorých ranných hodín. Bežné hodiny nočnej zmeny sú od 23:00 do 7:00 alebo od 00:00 do 8:00.

2.3 Základy plánovania rozvrhu

V rozvrhu zmien sa za vstupy považujú informácie potrebné na jeho tvorbu, zatiaľ čo výstupom je už hotový a vyhovujúci rozvrh. Pri vytváraní rozvrhu zmien manažér najprv vytvorí zmeny pre jednotlivé dni, následne do systému pridá mená zamestnancov a potom im priraduje určité zmeny, v ktorých majú pracovať. Je dôležité sledovať celkový počet pracovných hodín každého zamestnanca, aby rozvrh spĺňal všetky pracovnoprávne normy, ako sú minimálne a maximálne pracovné doby. Manažér musí tiež zohľadniť dni, ktoré si zamestnanci vyžiadali ako voľno. Následne je rozvrh zdieľaný zamestnancom pomocou zdieľaného dokumentu, správy alebo pomocnej aplikácie.

Moderné aplikácie na plánovanie zmien výrazne uľahčujú tento proces. Umožňujú vytvoriť šablóny zmien, ktoré sa potom môžu jednoducho priradovať jednotlivým zamestnancom. Funkcie ako kopírovanie rozvrhu z predchádzajúceho týždňa ďalej zjednodušujú proces plánovania tým, že eliminujú potrebu každý týždeň znovu zadávať rovnaké informácie. Napriek tomu však všetky úpravy a priradenia zmien musí stále robiť manažér manuálne a kontrolovať, aby sa zabezpečilo dodržiavanie všetkých interných pravidiel a požiadaviek firmy.

Automatické systémy na plánovanie zmien sú obzvlášť užitočné v nepretržitých prevádzkach ako nemocnice, kde je obrovské množstvo zamestnancov a ručné plánovanie by bolo extrémne časovo náročné. Tieto systémy vyžadujú na vstupe počet zamestnancov, dĺžku plánovaného obdobia, minimálny počet ľudí na jednej smene a špecifikácie zmien pre určité dni. Na základe týchto informácií potom generujú rozvrh, ktorý spĺňa kritériá ako napríklad prevencia, aby zamestnanec nemal po nočnej zmene hneď nasledujúci deň rannú zmenu, alebo zabezpečenie, aby pracovné zaťaženie bolo medzi zamestnancami rozdelené čo najviac spravodlivo.

Existujúce riešenia

Existuje viacero mobilných a webových aplikácií, ktoré sa venujú plánovaniu pracovných zmien. Väčšina z nich ponúka jednoduché pridávanie zmien a ich synchronizáciu s kalendárom. Tieto aplikácie často obsahujú aj ďalšie funkcie, ako sú poznámky, sledovanie platiev alebo integrovaný chat. Niektoré z nich však poskytujú pokročilejšie možnosti, ako napríklad automatické priradovanie zmien, ktoré dokáže predvyplniť vopred nadefinované pracovné rozvrhy.

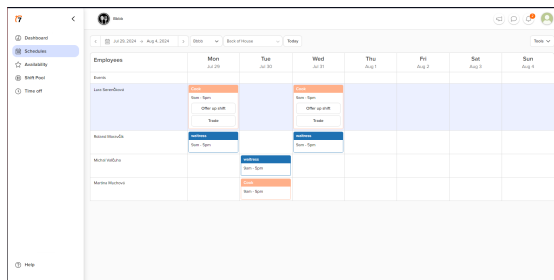
7Shifts

Je to informačný systém navrhnutý na uľahčenie práce manažérom v reštauráciách a kaviarňach, ktorý sa zameriava na zjednodušenie procesu rozdelenia pracovných zmien. Tento systém ponúka jednoduché používateľské rozhranie, kde manažéri môžu jednoducho vybrať deň, čas a prideliť zmeny konkrétnym zamestnancom, ako je znázornené na obrázku 5.3.

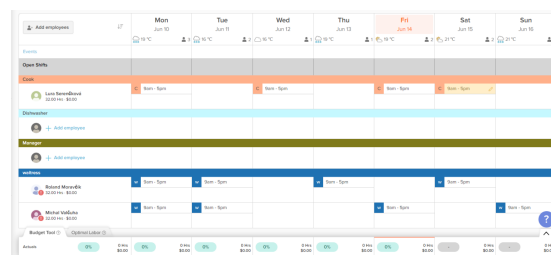
Avšak, napriek tomu, že aplikácia zlepšuje efektivitu pri rozdeľovaní zmien medzi zamestnancami, neponúka integrované nástroje na automatizáciu alebo optimalizáciu tohto procesu. To znamená, že hoci manažéri môžu rýchlejšie a jednoduchšie prideliť zmeny, systém sám osebe neanalyzuje dáta o výkonnosti, preferenciách zamestnancov, ani neaplikuje pokročilé algoritmy na maximalizáciu efektivity rozvrhovania, čo by mohlo viesť k optimalizácii pracovnej sily a znižovaniu nákladov. Tým pádom, hoci 7shifts uľahčuje niek-

⁵Prevzaté z <https://gauteng.net/news/exploring-top-5-nursing-schools-in-gauteng/>

toré aspekty manažmentu zmien, stále si vyžaduje značný manažérsky dohľad a plánovacie schopnosti na dosiahnutie najlepších možných výsledkov pri rozvrhovaní zamestnancov.

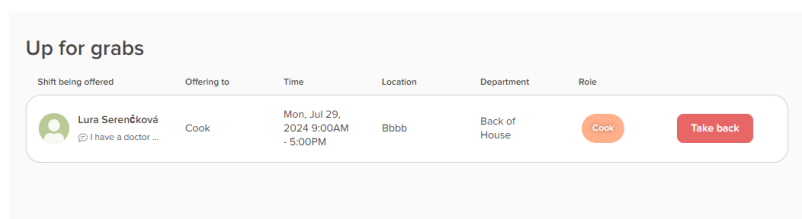


Obrázek 2.4: **7Shifts stránka** kde má užívateľ možnosť ponúknuť zmenu nech si ju zoberie kto chce



Obrázek 2.5: **7Shifts stránka** zobrazujúca príklad rozvrhu práce prihláseného užívateľa

Jednou zo zaujímavých funkcií aplikácie je „shift pool“, ktorá poskytuje zamestnancom väčšiu flexibilitu a kontrolu nad ich pracovnými harmonogramami. Táto funkcia umožňuje zamestnancom pristupovať k množine dostupných zmien, z ktorého si môžu samostatne vybrať alebo vymieňať smeny podľa ich osobných potrieb a preferencií, ako je ilustrované na obrázku 2.6 a 2.4. Zamestnanec jednoducho požiada, či si s ním niekto nechce vymeniť smenu v určitý deň a ostatní majú možnosť mu to potvrdiť. To znamená, že zamestnanci nie sú úplne viazaní na rozvrh, ktorý im bol pôvodne pridelený, ale majú možnosť upraviť si svoje pracovné smeny, čím môžu lepšie zosúladiť svoje pracovné záväzky s osobným životom. Táto flexibilita môže viesť k zvýšenej spokojnosti zamestnancov, pretože im umožňuje aktívne sa podieľať na plánovaní svojho pracovného času. Okrem toho, funkcia „shift pool“ môže pomôcť manažérom efektívnejšie riešiť neočakávané personálne nedostatky alebo prebytky tým, že poskytne platformu pre rýchle a efektívne prerozdelenie pracovnej sily podľa aktuálnej potreby.



Obrázek 2.6: **7Shifts stránka** zobrazujúca možnosť vymeniť si zmenu s niekým kto ju ponúka

2.3.1 Connecteam

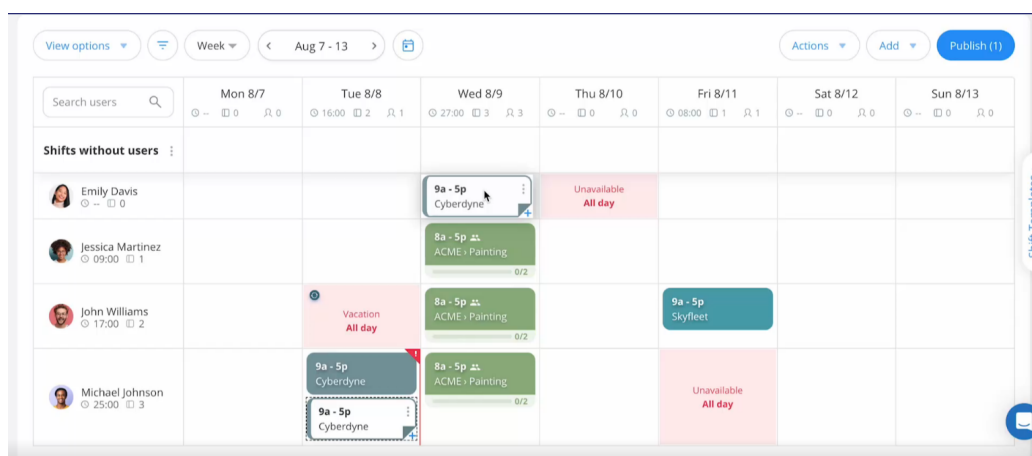
Connecteam je komplexná platforma na riadenie zamestnancov pracujúcich mimo kancelárie, ktorá centralizuje rôzne manažérske úlohy do jednej aplikácie. Zahŕňa nástroje na plánovanie rozvrhov, sledovanie času, internú komunikáciu a riadenie úloh, čím uľahčuje každodenné operácie.

Manažéri môžu jednoducho vytvárať a distribuovať rozvrhy, spravovať žiadosti o voľno a zabezpečovať dodržiavanie pracovných politík. Funkcia hodinového záznamu umožňuje zamestnancom prihlásiť sa a odhlásiť z práce priamo cez mobilné zariadenia, pričom údaje sú

prepojené s mzdovými systémami na zjednodušenie procesu výplat. Platforma tiež ponúka nástroje na efektívnu internú komunikáciu a digitálne riešenia pre manažment úloh, čo zvyšuje celkovú efektivitu.

Medzi hlavné výhody Connectteam patrí široká škála funkcií, ktoré zjednodušujú plánovanie a riadenie pracovných zmien, a to vrátane automatického plánovania, využívania šablón a možnosti okamžitých aktualizácií. Na obrázku je možno vidieť ako rozvrh v aplikácii vyzerá 2.7. Vďaka mobilnej prístupnosti môžu zamestnanci spravovať svoje rozvrhy a komunikovať s tímom odkiaľkoľvek.

Avšak, v základných plánoch sú niektoré funkcie obmedzené a pokročilejšie nástroje sú dostupné len v drahších verziách. Taktiež, proces vytvárania rozvrhov nie je úplne automatický a môže vyžadovať dodatočnú prácu. Pre menšie organizácie môže byť systém príliš komplexný a vyžaduje neustále internetové pripojenie pre fungovanie v reálnom čase. Možnosti prispôbenia funkcií podľa individuálnych potrieb sú taktiež obmedzené.

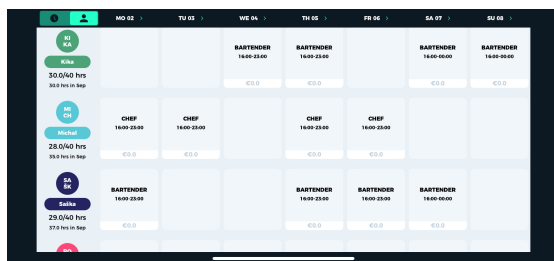


Obrázek 2.7: **ConnectTeam Plánovač** zobrazuje rozdelené zmeny a vyžiadané voľno od zamestnancov

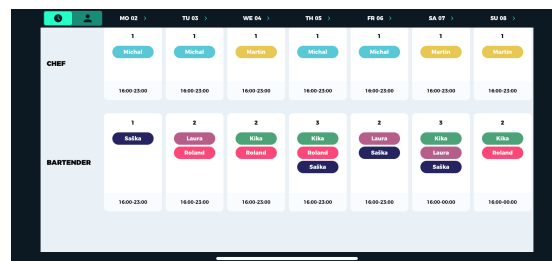
2.3.2 Blend

Blend.app je moderná aplikácia určená na riadenie pracovných zmien a zamestnancov, najmä v oblasti reštaurácií a pohostinstiev. Tento systém umožňuje manažérom efektívne plánovať rozvrhy zmien, spravovať dovolenky, monitorovať úlohy a sledovať pracovný čas zamestnancov. Výhody zahŕňajú zvýšenú efektivitu pri plánovaní a zníženie administratívnej záťaže. Medzi nevýhody patrí že je možné ju používať iba na mobiloch alebo tabletoch. Aplikácia je dostupná zadarmo pre tímy do 5 členov, pričom pre viac je cena 28eur mesačne. Aplikácia je intuitívna na riadenie pracovných zmien s príťažlivým dizajnom, ktorá je ľahká na pochopenie a používanie. Umožňuje užívateľom zadávať smeny, priradovať role ku každej zmene a určovať počet ľudí potrebných pre jednotlivé smeny, ako ilustruje obrázok 5.3, kde je znázornený plánovač bez pridelených smien.

Medzi ďalšie funkcie patrí manuálne pridávanie zamestnancov alebo možnosť „autofill“, ktorá automaticky priraduje zamestnancov snažiac sa vyrovnať pracovné hodiny medzi nimi. Táto funkcia je zobrazená na obrázku 2.9, kde môžeme vidieť plánovač s pridelenými smenami. Hlavnou nevýhodou je, že aplikácia je dostupná len ako mobilná aplikácia, nie ako desktopová verzia.



Obrázek 2.8: *Blend Plánovač* Obrázok predstavuje rozvrh bez pridelených zmien



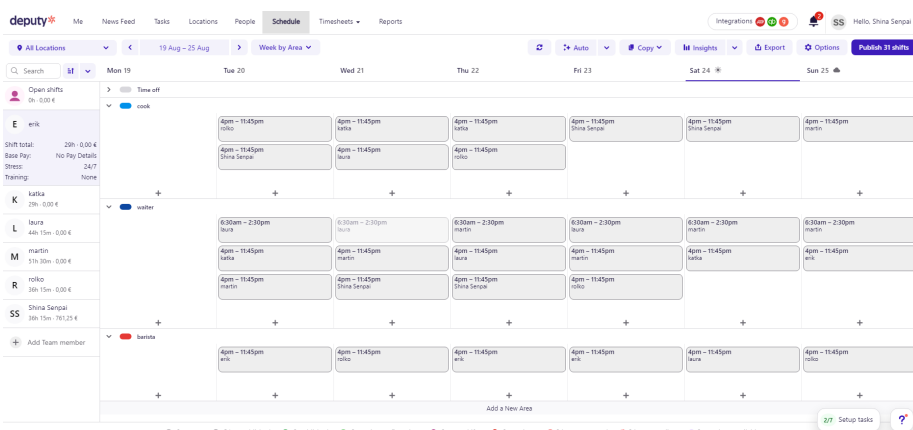
Obrázek 2.9: *Blend Plánovač* Obrázok predstavuje rozvrh s pridelenými zmenami

2.3.3 Deputy

Deputy je populárna platforma pre manažment pracovných zmien, ktorá ponúka rôzne nástroje na automatizáciu tohto procesu. Automatizované plánovanie pracovných zmien v Deputy využíva umelú inteligenciu (AI) na optimalizáciu plánov tým, že analyzuje historické údaje, dopyt po pracovnej sile a dostupnosť zamestnancov. Auto-scheduling v Deputy sa sústreďuje na to, aby pracovné hodiny boli rovnomerne rozdelené medzi zamestnancov a aby sa zohľadnili predpokladané potreby podniku, napríklad očakávaný zvýšený dopyt v určitých časových obdobiach. Príklad rozhrania plánovača, ktoré zobrazuje tento proces, možno vidieť na obrázku 2.10.

Zmeny je možné generovať ručne a taktiež priradovať zamestnancov. Systém Deputy však od začiatku používa historické údaje, ako aj aktuálne informácie o dostupnosti zamestnancov a dopyte, na automatické generovanie zmien a ich priradovanie zamestnancom, čím sa zefektívňuje celý proces plánovania. Deputy nie je bezplatný nástroj, najlacnejší plán začína na 4,50 € mesačne na osobu.

Automatizácia plánovania zmien v Deputy prináša množstvo výhod, no počas testovania sa ukázali aj určité problémy. Napríklad, niekedy systém priradí zamestnancovi dve zmeny v jeden deň, čo môže byť nepraktické a neefektívne. Ďalším problémom je, že systém nedostatočne zohľadňuje tzv. „back-to-back“ zmeny, teda prípady, keď zamestnanec má rannú zmenu hneď po večernej zmene, čo môže viesť k únave a zníženiu produktivity zamestnancov.



Obrázek 2.10: *Deputy plánovač* automaticky rozdelil zmeny zamestnancom.

2.4 Záver

Možno konštatovať, že proces plánovania zmien prešiel značným vývojom od tradičných papierových metód po moderné digitálne nástroje. Dni tradičného plánovania pomocou pera a papiera boli časovo náročné, často vedúce k nepresným rozvrhom, prepracovaniu počas slabých období a nedostatkom počas špičiek. Tabuľky síce situáciu trochu zlepšili, ale aj tie boli náchylné na chyby a mali svoje obmedzenia. S nástupom softvérov na plánovanie zmien sa celý proces zjednodušil, čo umožnilo manažérom vytvárať rozvrhy rýchlejšie a jednoduchšie.

Vznik softvéru na plánovanie zmien znamenal veľký skok vpred, keďže moderné platformy umožňujú rýchle vytváranie rozvrhov, zohľadňujúc rôzne faktory a poskytujú manažérom výkonné nástroje pre efektívne rozdeľovanie zmien medzi zamestnancami na základe rôznych kritérií. Technologický pokrok v oblasti aplikácie pre plánovanie zmien tak výrazne skrátil čas potrebný na vytvorenie rozvrhov.

Avšak, aj napriek pokrokom, mnohé firmy, reštaurácie a bary stále používajú tabuľkové editory na vytváranie rozvrhov zmien, rôzne aplikácie, ktoré nemusia primerane rozdeliť prácu medzi všetkých zamestnancov, alebo existuje len málo automatických aplikácií. To znamená, že väčšinou rozvrh stále vytvára manažér, ktorému je práca uľahčená pomocou rôznych predtým vytvorených šablón. Napriek tomu moderné digitálne nástroje poskytujú značné zlepšenia a umožňujú adaptáciu na meniace sa podmienky a potreby s výrazným zvýšením spravodlivosti a efektivity.

Kapitola 3

Algoritmické riešenia plánovania

Vývoj genetických algoritmov a ďalších vedeckých metód výrazne prispel k automatizácii a optimalizácii plánovania zmien. Tento pokrok umožnil spravodlivejšie rozdelenie pracovného času tým, že zabezpečuje rovnomerné zaťaženie zamestnancov, zohľadňuje ich individuálne preferencie, a dodržiava pracovné predpisy. Zabezpečuje, aby každá zmena bola pokrytá potrebným počtom zamestnancov. Okrem toho, použitie týchto moderných metód v plánovaní prináša väčšiu transparentnosť do procesu rozhodovania, čím znižuje pocit nespravodlivosti a zaujatosti v konečných rozvrhoch. To všetko prispieva k lepšej atmosfére na pracovisku, kde sa každý cíti spravodlivo a efektívne zaradený do pracovného procesu. Spravodlivosť v plánovaní pracovného času je možné definovať ako rovnomerné rozdelenie práce medzi pracovníkov podľa ich pozícií a schopností. Zároveň by sa mali zohľadniť ich osobné preferencie ohľadne voľna či rodiny, ak je to možné. Dôležité je, aby boli pravidlá rozvrhovania jasne dané, rovnako aplikované na všetkých a nediskriminovali nikoho. Rozhodnutia musia mať logiku a rešpektovať zákonné nariadenia o pracovnej dobe a prestávkach.

Pri plánovaní pracovných zmien sa rôzne algoritmy využívajú na základe ich schopnosti riešiť špecifické aspekty úloh. Neexistuje však ani jeden univerzálny algoritmus, ktorý by pokryl všetky aspekty optimálneho plánovania pre všetky typy situácií. Constraint programming sa uplatňuje, keď je potrebné dodržať množstvo presných obmedzení, ako sú pracovné predpisy a individuálne požiadavky zamestnancov. Matematické programovanie, vrátane lineárneho a celého lineárneho programovania, je preferované pre úlohy, kde je dôležitá maximálna efektivita a presné matematické modelovanie zdrojov a časov. Naopak, heuristické algoritmy ako Greedy, Local Search alebo Simulated Annealing poskytujú rýchle riešenia v obmedzenom čase, ktoré ale nie sú dokonalé. Genetický algoritmus je užitočný v situáciách vyžadujúcich adaptabilné riešenia na základe širokej škály možných nastavení a je vhodný pre najkomplexnejšie plánovacie úlohy s vysokou mierou variability. V nasledujúcich sekciách sú tieto prístupy podrobne popísané a analyzované z hľadiska ich vhodnosti pre rôzne typy plánovacích úloh.

3.1 Constraint Programming (Programovanie s obmedzeniami)

Je prístup určený na riešenie zložitých kombinatorických vyhľadávacích problémov, ktorý využíva metódy z oblasti umelej inteligencie, operačného výskumu, počítačových algoritmov a teórie grafov. Zásadne sa líši od imperatívneho programovania, kde sa špecifikujú postupy krok za krokom (ako v jazykoch Pascal alebo C). Namiesto toho je CP deklaratívny a

zameriava sa na definovanie podmienok alebo obmedzení, ktoré musí riešenie spĺňať, bez špecifikácie, ako toto riešenie nájsť [17].

Tento prístup býva často rýchlejší pri nájdení prvých riešení alebo overení neexistencie riešenia, najmä v prípadoch, kde sú obmedzenia striktné definované a kde je výhodné využiť silné propagácie obmedzení na zníženie vyhľadávacieho priestoru. Naopak, v situáciách, kde sú obmedzenia menej striktné, alebo kde je dôležité explorať veľký priestor potenciálnych riešení, môže byť genetický algoritmus výhodnejší vďaka jeho schopnosti uniknúť lokálnym optimám a objavovať nové oblasti riešení.

Veľké využitie nachádza CP pri plánovaní zmien, kde je potrebné splniť množstvo komplexných obmedzení, ako sú pracovné zákony či kvalifikácia personálu. Algoritmy ako backtracking, forward checking a arc consistency efektívne hľadajú riešenia tým, že predčasne eliminujú nevhodné možnosti. Tieto techniky, často doplnené o heuristiky, znižujú počet krokov a urýchľujú nájdenie optimálnych alebo blízko optimálnych rozvrhov.

Constraint programming bol použitý aj v práci [17] na riešenie „nurse scheduling problem“¹ kde došlo ku záveru že : „navrhovaný systém nie je pevným nástrojom na generovanie plánov, ale je navrhnutý tak, aby pomohol tomu, kto robí rozhodnutia.“

Obzvlášť efektívne sa Constraint Programming osvedčilo pri riešení logistických úloh, ako je Vehicle Routing Problem (VRP), kde sa optimalizujú trasy vozidiel na doručenie tovaru. Tradičné metódy často zlyhávajú pri zohľadňovaní praktických požiadaviek, ako sú preferencie vodičov, časové obmedzenia alebo nekompatibility medzi tovarmi. CP však umožňuje flexibilne modelovať tieto obmedzenia, čo je výhodou pri riešení reálnych problémov [11].

Kilby a Shaw upozorňujú, že veľkou prednosťou CP je schopnosť jednoducho integrovať rôzne vedľajšie obmedzenia, čo zjednodušuje riešenie komplexných problémov. Tento prístup tiež výrazne zvyšuje efektivitu vyhľadávania riešení v NP-ťažkých úlohách, ako je VRP, vďaka propagácii obmedzení a zníženiu počtu prehľadávaných možností.

3.2 Matematické Programovanie

Matematické programovanie je nástroj, ktorý sa používa na riešenie rozhodovacích problémov v oblasti manažmentu a ekonómie pomocou matematických modelov. Na rozdiel od počítačového programovania, ktoré využíva špecifické algoritmy na riešenie konkrétnych úloh, matematické programovanie sa zameriava na vytváranie modelov, ktoré popisujú problém, a následne používa univerzálne metódy na jeho riešenie.

Pri tomto prístupe sa formulácia problému (pomocou rovníc a nerovníc) oddelí od samotného procesu riešenia. K riešeniu sa často používajú metódy ako rozvetvovanie a viazanie (branching), ktoré pracujú s presne definovaným modelom problému. Napríklad, ak máme problém, ktorý môžeme reprezentovať ako graf, premenné môžu určovať, ktoré vrcholy alebo hrany sú súčasťou riešenia, a cieľom je nájsť najlepšie možné riešenie na základe daných podmienok.

Tento spôsob sa tiež často využíva na plánovanie zmien pre vodičov autobusov [19], kde je nevyhnutné efektívne rozvrhnutie zmien s ohľadom na rôzne operačné obmedzenia a požiadavky. Tento proces zahŕňa rozdelenie prevádzkových plánov na jednotlivé služby tak, aby každá časť prevádzkového plánu bola pridelená k určitej službe a zároveň spĺňala súbor pravidiel týkajúcich sa ich legality a prijateľnosti. Optimalizácia zahŕňa minimalizáciu

¹Nurse scheduling problem je optimalizačný problém, ktorý zahŕňa priradenie sestričiek do zmien tak, aby sa splnili všetky klinické požiadavky pri zohľadnení pracovných predpisov a preferencií sestričiek.

počtu potrebných služieb a celkových nákladov na mzdy, čo vyžaduje presné a efektívne plánovacie metódy ktoré dokáže poskytnúť matematické programovanie. Praktické využitie takýchto prístupov pri plánovaní zmien pre vodičov znázorňuje obrázok 3.1.



Obrázek 3.1: *Šofér autobusu*. Ilustrácia využitia harmonogramov na efektívne plánovanie zmien vodičov.³

3.3 Heuristické algoritmy

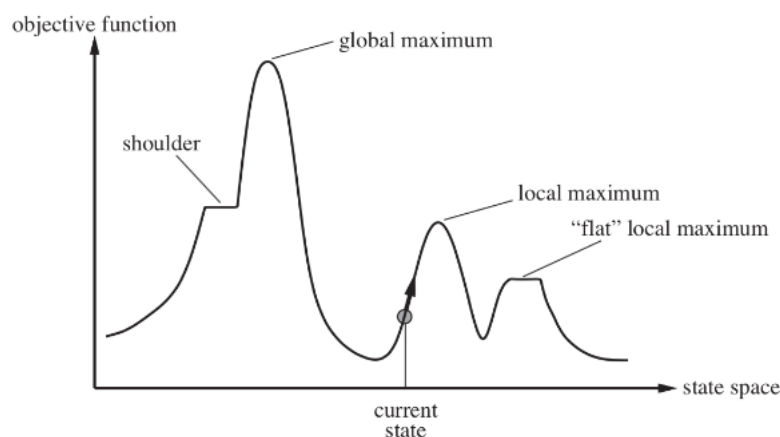
Tieto metódy sa zameriavajú na rýchle hľadanie riešení, ktoré dostatočne spĺňajú požiadavky, aj keď nemusia byť optimálne. [8] Metaheuristiky, ako Greedy algoritmy, Local Search, Simulated Annealing a Tabu Search, sú populárne pre svoju schopnosť efektívne zvládať veľké a komplexné problémy, kde presné riešenia nie sú praktické. Tieto algoritmy často využívajú iteratívny prístup, kde sa postupne zlepšuje aktuálne riešenie. Príkladom ich použitia je algoritmus pre plánovanie pracovných zmien, ktorý bol prezentovaný v práci [14]. Tento algoritmus sa zameriava na minimalizáciu počtu potrebných pracovníkov pri zohľadnení preddefinovaného dopytu po zmenách v plánovacom horizonte. Podobný princíp iteratívneho zlepšovania riešení je základom metód lokálneho vyhľadávania.

Local search (lokálne vyhľadávanie) je heuristická metóda, ktorá iteratívne prehľadáva priestor riešení tak, že prechádza medzi susednými riešeniami. Susedstvo riešenia je skupina riešení, ktoré možno získať drobnými úpravami aktuálneho riešenia. Výber suseda v každom kroku závisí od cieľovej funkcie, ktorá hodnotí kvalitu riešení, a od povahy riešeného problému. [15]

Tieto techniky patria medzi selektívne metódy, ktoré sa zameriavajú na objavovanie riešení z už známeho priestoru. Napríklad genetické algoritmy, ktoré tiež patria do tejto kategórie, využívajú evolučné princípy na hľadanie riešení.

Ako ukazuje obrázok 3.2, local search sa snaží postupne zlepšovať aktuálne riešenie, až kým nedosiahne lokálne optimum, splní zadané podmienky, alebo dosiahne globálne optimum.

³Prevzaté z :<https://unsplash.com/photos/man-in-brown-and-white-plaid-button-up-shirt-sitting-on-black-office-rolling-chair-ATudihKlWb8>



Obrázek 3.2: *Vizualizácia prehľadávania priestoru riešení*, znázorňujúca globálne maximum, lokálne maximá a výzvy, ako je “ploché” lokálne maximum či ramená (shoulders)⁵.

3.4 Genetický algoritmus

Genetické algoritmy si získali veľkú obľubu pri riešení zložitých optimalizačných problémov, ako sú plánovanie alebo tvorba rozvrhov. Keďže problémy plánovania sú vo všeobecnosti komplexné optimalizačné problémy a často sa riešia iba pomocou heuristik, predstavujú ideálny cieľ pre výskum v oblasti GA. Využitie genetických algoritmov v optimalizácii plánovania prinieslo výrazný pokrok a ukázalo ich schopnosť efektívne skúmať rozsiahle priestory riešení a nachádzať takmer optimálne výsledky [17].

Genetické algoritmy predstavujú metaheuristickú metódu, ktorá napodobňuje biologické procesy pozorované v prírode na riešenie optimalizačných problémov. Tieto algoritmy, často označované ako výpočtová evolúcia, boli zavedené v 60. rokoch 20. storočia. Ich koncept vychádza z princípu evolúcie podľa Darwinovej teórie „prežitia najlepšieho“, čo ich robí pútavým predmetom štúdia. Vďaka svojej robustnosti a schopnosti pracovať s problémami, ktoré sú náročné na riešenie tradičnými metódami, sú genetické algoritmy považované za silný nástroj optimalizácie [18].

Tieto algoritmy používajú techniky ako selekcia, kríženie a mutácia na simuláciu evolučného procesu, čím umožňujú postupné zdokonaľovanie riešení. Sú numerickými optimalizačnými algoritmi inšpirovanými princípmi prirodzenej selekcie a genetiky, čo ich predurčuje na široké využitie v rôznych oblastiach [17].

3.4.1 Popis algoritmu

Algoritmus začína vytvorením náhodnej počiatočnej populácie a postupne vytvára sekvenciu nových populácií. V každom kroku používa jednotlivcov zo súčasnej generácie na vytvorenie novej populácie, pričom vykonáva nasledujúce kroky. Vypočíta hrubé fitness hodnoty každého člena, ktoré potom prispôsobuje do použiteľnejších očakávaných hodnôt. Na základe týchto očakávaní vyberá rodičov, pričom niektorí jedinci s nižšou fitness hod-

⁵Prevzaté z :<https://www.cs.cmu.edu/~15281-f23/coursenotes/localssearch/index.html>

notou sú vybraní ako elita a prechádzajú do ďalšej generácie. Tento cyklus je jednoducho zobrazený na obrázku 3.4.

Jedinec

Jedinec v genetickom algoritme predstavuje možné riešenie problému a jeho reprezentácia je kľúčová pre úspech celého algoritmu. Každý jedinec je jednoznačne reprezentovaný svojím chromozómom, ktorý pozostáva zo série génov usporiadaných v pevnom poradí. Reprezentácia jedinca určuje, ako je riešenie zakódované, čo môže významne ovplyvniť efektivitu algoritmu a kvalitu dosiahnutých výsledkov.

Existuje viacero spôsobov, ako môže byť jedinec reprezentovaný. Jednou z najbežnejších metód je binárne kódovanie, kde sú gény v chromozóme vyjadrené ako sekvencia núl a jednotiek [13]. Tento prístup umožňuje zakódovať rôzne typy údajov vrátane reálnych čísel. Napríklad, ak jedinec pozostáva z chromozómu s desiatimi génmi, jeho binárna reprezentácia môže vyzeráť ako (1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0). Každý jedinec tak predstavuje odlišné riešenie, ktoré sa môže evolučne zlepšovať.

Pre úlohy, ktoré zahŕňajú kombinatoriku alebo plánovanie, sa často využíva permutačné kódovanie, kde jedinca reprezentuje permutácia čísel. Tento typ kódovania je vhodný napríklad pre problémy, ako je problém obchodného cestujúceho [9], kde chromozóm určuje poradie, v akom má cestujúci navštíviť jednotlivé miesta.

Fitness funkcia

Fitness funkcia je hodnotiacia funkcia, ktorú sa genetický algoritmus snaží maximalizovať alebo minimalizovať v závislosti od konkrétnej úlohy. Táto funkcia určuje, ako kvalitné je dané riešenie, ktoré predstavuje jedinec v populácii, a preto je úzko spojená s konkrétnym problémom, ktorý sa snažíme genetickým algoritmom vyriešiť.

V príklade môže byť fitness funkcia zvolená ako počet bitových jednotiek v chromozóme jedinca, čo znamená, že sa snažíme maximalizovať počet jednotiek v jeho genetickej reprezentácii. Inými slovami, čím viac jednotiek jedinec vo svojom chromozóme má, tým je považovaný za lepší a vhodnejší pre ďalší reprodukčný proces.

Nasledujúca tabuľka ilustruje, ako jednotliví jedinci so svojimi chromozómami a príslušnými hodnotami fitness funkcie vyzerajú: 3.1

Číslo jedinca	Chromozóm	Fitness
1	(1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1)	4
2	(1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0)	5
3	(0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1)	5
4	(1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0)	6
5	(0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0)	3
6	(1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1)	4

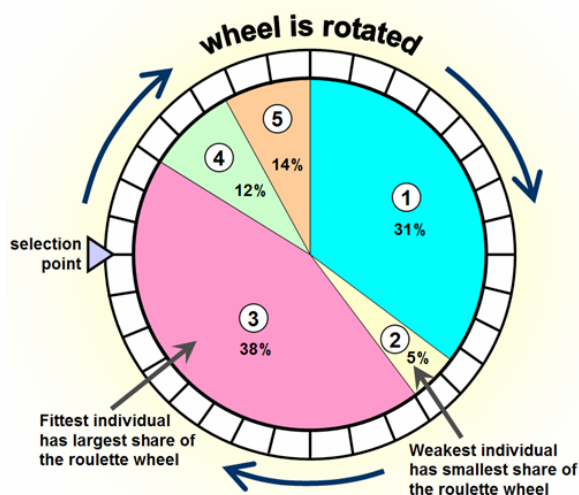
Tabuľka 3.1: Fitness hodnoty jednotlivých jedincov v populácii.

Mechanizmus selekcie

V každom kroku genetický algoritmus používa súčasnú populáciu na vytvorenie detí, ktoré tvoria ďalšiu generáciu. Algoritmus vyberie skupinu jednotlivcov v súčasnej populácii, nazývaných rodičia, ktorí prispievajú svojimi génmi, vstupmi svojich vektorov, svojim deťom.

Algoritmus zvyčajne vyberá jednotlivcov, ktorí majú lepšie kondičné hodnoty ako rodičia. Spôsoby vyberania rodičov sú rôzne, niektoré z často používaných sú:

- **Ruleta** Táto metóda priradzuje každému jedincovi šancu byť vybraným ako rodič, ktorá je úmerná jeho prispôsobenosti (fitness). Jedinci s vyššou prispôsobenosťou majú väčšiu šancu byť vybraní. To je vizualizované ako ruleta, kde segmenty sú väčšie pre jedincov s vyššou prispôsobenosťou. Možno vidieť na obrázku 3.3.
- **Turnajový výber** Pri tejto metóde sa náhodne vyberie malá skupina jedincov z populácie (napríklad 3 alebo 5 jedincov), a jedinec s najvyššou prispôsobenosťou z tejto skupiny je vybraný ako rodič. Tento proces sa opakuje pre výber ďalšieho rodiča. Turnajový výber umožňuje udržiavať diverzitu a je menej náchylný k predčasnej konvergencii.
- **Boltzmannov výber a elitizmus** Boltzmannov výber používa špeciálny spôsob náhodného výberu, ktorý pomáha zabrániť tomu, aby sa algoritmus príliš skoro zastavil na zlom riešení. Elitizmus, predstavený už v 70. rokoch, zase zaručuje, že najlepší jedinci sú automaticky prenesení do ďalšej generácie bez ohľadu na výsledok selekcie, čím sa zachováva kvalita riešenia [10].



Obrázek 3.3: **Ruleta**. Vizualizácia metódy ruletového výberu, kde každý segment predstavuje šancu jednotlivých jedincov byť vybranými na základe ich prispôsobenosti⁷.

Genetický algoritmus vytvára tri typy potomkov pre ďalšiu generáciu.

- **Elitné potomky** sú jedinci s najlepšimi fitness hodnotami z aktuálnej generácie, ktorí automaticky prežijú do ďalšej generácie.
- **Crossover potomky** vznikajú spojením vektorov dvojice rodičov.

⁷Prevzaté z: https://www.researchgate.net/profile/Wowon-Priatna/publication/352587060_GENETIC_ALGORITHM_IMPLEMENTATION_FOR_APPLICATION_OF_SHIFTING_WORK_SCHEDULING_SYSTEM/links/60d1535fa6fdcc01d48e44e7/GENETIC-ALGORITHM-IMPLEMENTATION-FOR-APPLICATION-OF-SHIFTING-WORK-SCHEDULING-SYSTEM.pdf/

- **Mutačné potomky** sa vytvárajú zavedením náhodných zmien, alebo mutácií, jednému rodičovi. Deti vznikajú buď mutáciou, kde dochádza k náhodným zmenám jedného rodiča, alebo krížením, pri ktorom sa kombinujú vektorové záznamy dvoch rodičov. Potom algoritmus nahradí súčasnú populáciu týmito potomkami, čím vytvára novú generáciu. Algoritmus pokračuje až do splnenia jedného z kritérií zastavenia [7].



Obrázek 3.4: *Životný cyklus genetických algoritmov*. Tento cyklus bol zavedený Davidom Goldbergom⁹.

3.4.2 Využitie pre automatické plánovanie

Pri vytváraní rozvrhu zmien s využitím genetického algoritmu je možné si určiť obmedzenia, ktoré sú rozdelené do dvoch skupín: tvrdé a mäkké obmedzenia. Tvrdé obmedzenia musia byť v každej zmene splnené, zahŕňajú napríklad požiadavku, aby sa v jednej zmene neobjavili rovnaké osoby, a aby bola v každej zmene aspoň jedna osoba. Každý zamestnanec by mal tiež získať rovnaký celkový počet zmien v každom rozvrhovacom období a mať určitý počet voľných dní. Na druhej strane, mäkké obmedzenia, ktoré sú menej striktné, umožňujú minimalizáciu porušení, ako napríklad zamedzenie tomu, aby zamestnanec, ktorý mal nočnú zmenu, mal nasledujúci deň rannú zmenu. Tieto obmedzenia sú menej striktné a ich porušenie je často prijateľné do určitej miery.

Rozvrh zmien sa potom reprezentuje pomocou chromozómov, kde každý chromozóm predstavuje jedno možné riešenie rozvrhu. Chromozómy sú generované náhodne, pričom každý gén v chromozóme reprezentuje jednu zmenu a obsahuje informácie o zamestnancoch priradených k tejto zmene. Veľkosť populácie chromozómov a ich štruktúra závisia od počtu dostupných zmien a počtu zamestnancov.

Fitness funkcia sa používa na hodnotenie každého chromozómu na základe toho, ako dobre spĺňa stanovené obmedzenia. Vyššie skóre fitness indikuje, že daný rozvrh lepšie vyhovuje požiadavkám. Genetický algoritmus potom vyberá najlepšie chromozómy, ktoré

⁹Prevzaté z https://www.researchgate.net/profile/Wowon-Priatna/publication/352587060_GENETIC_ALGORITHM_IMPLEMENTATION_FOR_APPLICATION_OF_SHIFTING_WORK_SCHEDULING_SYSTEM/links/60d1535fa6fdcc01d48e44e7/GENETIC-ALGORITHM-IMPLEMENTATION-FOR-APPLICATION-OF-SHIFTING-WORK-SCHEDULING-SYSTEM.pdf/

sa používajú na vytvorenie novej generácie pomocou kríženia a mutácií. Tento proces sa opakuje v mnohých generáciách, až kým nie je dosiahnutá optimálna alebo dostatočne dobrá konfigurácia rozvrhu zmien.

Korekcia chromozómov sa vykonáva na základe kontroly počtu zmien každého zamestnanca, aby sa zabezpečilo, že každý pracuje spravodlivý počet zmien. Ak sa zistí, že zamestnanec má príliš veľa alebo príliš málo zmien, použije sa algoritmus náhrady, ktorý upraví priradenia v chromozóme. Týmto spôsobom genetický algoritmus umožňuje dynamicky a efektívne prispôbovať rozvrhy zmien podľa potrieb organizácie a preferencií zamestnancov.

Na túto tému sa zameralo niekoľko výskumov, ktoré tiež využívajú genetické algoritmy pri riešení problémov s plánovaním zmien. Napríklad v jednej práci skúmal profesor X. Cai a K.N. Li [4] využitie genetických algoritmov na optimalizáciu pracovných rozvrhov, kde dospeli k záveru, že genetický algoritmus môže významne znížiť počet nevyvážených rozvrhov a zlepšiť efektívnosť plánovania. Navrhli mechanizmy, ktoré upravujú rozvrhy podľa počtu zmien pridelených zamestnancom, aby bola zabezpečená spravodlivá rovnováha. Tak tiež vyvinuli algoritmus, ktorý automaticky mení rozvrhy podľa potrieb zamestnancov a organizácie. Ďalší výskum od Aickelina a Dowslanda (2004) [2] predstavil alternatívny algoritmus pre plánovanie zmien zdravotných sestier, kde kombinácia genetického algoritmu a dekodovacej rutiny umožňuje riešiť nekonštruované problémy a flexibilne sa prispôbiť zmenám v špecifikácii problému. Korekcia chromozómov sa vykonáva na základe kontroly počtu zmien každého zamestnanca, aby sa zabezpečilo, že každý pracuje spravodlivý počet zmien. Ak sa zistí, že zamestnanec má príliš veľa alebo príliš málo zmien, použije sa algoritmus náhrady, ktorý upraví priradenia v chromozóme.

Na túto problematiku nadväzuje aj štúdia Cheanga et al. (2003) [3], ktorá predstavuje hybridný genetický algoritmus kombinujúci tradičné genetické operátory s heuristickými metódami, s cieľom zvýšiť efektívnosť hľadania riešení v plánovaní služieb zdravotných sestier. Štúdia sa zamerala na vyvažovanie pracovného zataženia, zabezpečenie pokrytia zmien a návrh rozvrhov, ktoré minimalizujú únavu počas pandémie COVID-19. Záverom autori konštatovali, že hybridný prístup výrazne zlepšil kvalitu riešení v porovnaní s manuálnym vytváraním rozvrhov a ukázal sa ako efektívny nástroj pre praktické využitie v personálnom plánovaní.

3.5 Záver

Každý z týchto algoritmov má svoje silné a slabé stránky, ktoré závisia od povahy problému. Pri tvorbe rozvrhov pracovných zmien je potrebné zohľadniť mnoho faktorov.

Presnosť riešenia (či je potrebné striktne dodržiavať všetky obmedzenia), Rýchlosť výpočtu (či je čas na výpočet kritický), Veľkosť problému (malé vs. veľké skupiny zamestnancov), Zložitosť obmedzení (jednoduché vs. komplexné obmedzenia). Každý z týchto algoritmov sa hodí pre inú situáciu. Napríklad:

Constraint programming je vhodné, ak je potrebné nájsť presné riešenie s komplexnými obmedzeniami. Matematické programovanie je efektívne, keď vieme formulovať problém v lineárnej alebo kvadratickej forme. Heuristické algoritmy sú ideálne, ak potrebujeme rýchlo získať dostatočne dobré riešenie. Genetické algoritmy sú vhodné pre veľmi zložité a veľké problémy, kde potrebujeme prehľadať veľký priestor možností. Preto sa pri plánovaní zmien často používa kombinácia rôznych algoritmov v závislosti od konkrétneho problému a požiadaviek na riešenie.

Kapitola 4

Analýza problému

Plánovanie zmien je optimalizačný problém, ktorý rieši problémy obmedzení a požiadaviek. Tento proces zahŕňa rozvrhnutie pracovných zmien tak, aby boli splnené všetky potreby organizácie, zároveň však musí zohľadniť dostupnosť zamestnancov, legislatívne požiadavky, preferencie pracovníkov a ďalšie faktory, ako sú napríklad rovnomerné rozdelenie pracovnej záťaže či minimalizácia nadčasov. Tento problém je obzvlášť náročný, keď sa môžu pravidelne meniť podmienky, ako napríklad náhle zmeny v dostupnosti personálu. V súčasnosti používané nástroje dokážu s využitím rôznych algoritmov tieto problémy riešiť s vysokou úspešnosťou. Napriek tomu, nie len v oblasti služieb stále existujú výzvy, ako vysoké náklady na nasadenie týchto systémov, ich zložitost implementácie či odpor zamestnancov voči zmenám. Tieto faktory môžu brániť ich širšej adopcii a vyžadujú prispôbenie riešení tak, aby boli čo najefektívnejšie a najprístupnejšie.

4.1 Problémy z pohľadu manažéra

Manažéri čelia viacerým výzvam pri plánovaní zmien, z ktorých jedným z hlavných je časová náročnosť a riziko chýb pri manuálnom zadávaní zmien. Súčasný softvéry často umožňujú uloženie šablón rozvrhov, no napriek tomu vyžadujú manuálne priradovanie zamestnancov. Tento proces je náchylný na chyby, ako napríklad nesprávne priradenie zmeny zamestnancovi, ktorý už má plánovanú inú zmenu, alebo ignorovanie požiadaviek na voľno. Takéto chyby môžu viesť k nedostatku personálu počas kľúčových pracovných hodín alebo k nadmernému prekrytiu zamestnancov na smene, čím sa zvyšujú náklady. Z pohľadu manažérov možno identifikovať niekoľko kľúčových požiadaviek na riešenie:

- **Jednoduchosť zadávania dát:** Automatizované systémy by mali umožniť intuitívne a rýchle zadávanie údajov, ako sú pracovné zmeny, dostupnosť zamestnancov a ich preferencie. To zahŕňa používateľsky prívetivé rozhranie, ktoré minimalizuje čas potrebný na manuálne vkladanie informácií.
- **Kontrola konfliktov:** Systém by mal automaticky identifikovať konflikty v rozvrhoch
- **Efektívne rozdelenie pracovnej záťaže:** Plánovanie by malo zabezpečiť, že pracovné zmeny sú rovnomerne rozdelené medzi zamestnancov podľa ich kapacít a kompetencií, čím sa eliminuje riziko preťaženia niektorých pracovníkov.
- **Dynamická úprava plánov:** Systém by mal byť schopný flexibilne reagovať na náhle zmeny, ako sú neplánované absencie, zmeny v požiadavkách zákazníkov alebo

neočakávané udalosti. To znamená, že by mal byť pripravený na rýchle preplánovanie zmien bez významného narušenia pôvodného harmonogramu.

4.2 Problémy z pohľadu zamestnancov

Aplikácie na plánovanie zmien sú často hlavne orientované na uspokojovanie potrieb manažérov s dôrazom na optimalizáciu procesov a zefektívnenie práce vedenia. Tento prístup však môže zanedbávať potreby samotných zamestnancov, ktorí sú tiež kľúčovými užívateľmi týchto systémov. Zamestnanci potrebujú flexibilitu, napríklad možnosť vybrať si preferované zmeny alebo požiadať o voľno z osobných dôvodov. Ak zamestnanci nemajú možnosť aktívne participovať na tvorbe svojho pracovného rozvrhu, môžu sa cítiť preťažení alebo naopak podhodnotení, ak majú nedostatok pracovných hodín. Tento pocit nespravodlivosti môže výrazne znížiť ich výkon a lojalitu voči zamestnávateľovi.

Taktiež, akékoľvek chyby v plánovaní môžu spôsobiť frustráciu medzi zamestnancami, ktorí sa môžu cítiť nespravodlivo zaobchádzaní alebo neuznávaní, ak musia pracovať oveľa viac než ostatní, alebo ak sú pravidelne priradovaní na víkendové smeny. Tieto nepriaznivé okolnosti môžu výrazne negatívne ovplyvniť ich spokojnosť, motiváciu a výkonnosť v práci, pretože nespokojní zamestnanci majú tendenciu byť menej angažovaní a menej produktívni. Tento prístup je neefektívny, najmä v gastro priemysle, kde sú časté nečakané zmeny v personáli. Preto je nevyhnutné identifikovať a implementovať kľúčové požiadavky na riešenie, ktoré zabezpečia nielen spokojnosť manažérov, ale aj zamestnancov:

- **Flexibilné plánovanie:** Flexibilné plánovanie umožňujúce zamestnancom aktívne sa zapojiť do tvorby rozvrhov by malo zamestnancom poskytovať možnosť ovplyvniť svoj pracovný čas prostredníctvom nástrojov, ktoré umožňujú výber preferovaných zmien alebo časových blokov, možnosť požiadať o voľno v prípade potreby s dostatočnou mierou transparentnosti a spätnú väzbu na navrhované zmeny, aby mohli vopred vyjadriť svoje pripomienky.
- **Rovnomerné rozdelenie pracovnej záťaže:** Mechanizmy na rovnomerné rozdelenie pracovnej záťaže by mali zabezpečiť, aby zmeny boli rozdelené spravodlivo medzi zamestnancov s ohľadom na ich úväzky, aby neboli uprednostňovaní len niektorí zamestnanci na atraktívne alebo žiadané zmeny a aby systém minimalizoval časté pridelovanie náročných alebo nepopulárnych smien tým istým zamestnancom.
- **Individuálne preferencie:** Zohľadnenie individuálnych preferencií a pravidelných osobných požiadaviek je tiež kľúčové, pričom treba brať do úvahy špecifické časové obmedzenia, ako napríklad rodinné povinnosti, pravidelné zdravotné požiadavky alebo iné špecifické potreby a požiadavky súvisiace so štúdiom alebo inými aktivitami.

4.3 Dostupnosť nástrojov

Hoci niektoré softvéry ponúkajú automatické plánovanie, často sú príliš komplikované a spojené s nákladmi, čo vedie k tomu, že väčšina podnikateľov sa radšej rozhodne pre manuálne plánovanie, než by mali platiť za používanie týchto systémov. Pre menšie podniky s obmedzeným rozpočtom sú tieto náklady často neospravedliteľné, najmä ak softvér neponúka výraznú pridanú hodnotu oproti tradičným metódam, ako je ručné zadávanie zmien.

Ďalej, väčšina softvérov je zameraná na veľké firmy s mnohými zamestnancami a obsahuje funkcie, ktoré sú pre menšie prevádzky zbytočné. Tieto systémy často obsahujú

komplexné funkcie, ktoré sú nevyhnutné pre správu veľkého počtu zamestnancov, ako sú rozsiahle analytické nástroje, integrácie s inými podnikovými systémami alebo pokročilé možnosti reportovania. Navyše, nadmerná komplexnosť softvéru môže viesť k dlhšiemu a náročnejšiemu procesu zaškolenia zamestnancov, čo je v prostredí s vysokou obmienou personálu nepraktické a nákladné.

Ďalším významným problémom je aj nedostatok slovenských alebo českých jazykových verzií, ktorý obmedzuje použiteľnosť softvéru pre staršie generácie a iné skupiny, ktoré neovládajú cudzie jazyky. Tento problém núti manažérov spoliehať sa na tradičné, manuálne metódy plánovania, ktoré sú menej efektívne. S ohľadom na tieto výzvy je nevyhnutné nájsť riešenia, ktoré by zohľadnili potreby používateľov a umožnili im efektívnejšie a jednoduchšie plánovanie:

- **Význam jazykovej lokalizácie softvérových nástrojov:** Pre efektívne využívanie softvérových nástrojov je nevyhnutné, aby boli dostupné v jazykoch, ktoré sú pre konkrétnu cieľovú skupinu prirodzené. Jazyková lokalizácia nie je len o preklade textov, ale aj o adaptácii celkového používateľského rozhrania, aby zodpovedalo miestnym zvyklostiam a očakávaniam.
- **Jednoduché a cenovo dostupné riešenia pre malé a stredné podniky:** Malé a stredné podniky majú často obmedzený rozpočet a zdroje, preto je dôležité vytvoriť nástroje, ktoré sú cenovo dostupné, no stále ponúkajú všetky potrebné funkcie. Tieto nástroje by mali byť ľahko implementovateľné, bez potreby veľkých investícií do infraštruktúry. Okrem ceny je dôležitá aj jednoduchosť použitia a integrácie do existujúcich procesov podniku, pričom by mali podporovať aj rast podniku v budúcnosti.
- **Zvýšenie povedomia o moderných nástrojoch:** Úspešná implementácia nových technologických nástrojov závisí od zvýšenia povedomia o ich výhodách pre podniky. Mnoho podnikateľov môže mať obavy z moderných nástrojov, najmä ak sú zvyknutí na tradičné metódy. Tieto obavy pramenia z nedostatku znalostí alebo z predpokladu, že nástroje sú ťažko použiteľné. Aby sa tieto bariéry odstránili, je dôležité organizovať školenia a praktické ukážky, ktoré podnikateľom ukážu, ako tieto nástroje zlepšujú operácie a plánovanie, čím sa znižuje ich strach z neznáameho a zvyšuje dôvera v technológiu.

4.4 Flexibilita a automatické priradenie zmien

Hoci automatizácia procesu plánovania zmien môže zjednodušiť mnohé aspekty manažmentu, bez nej sa niektoré úlohy jednoducho nedajú zvládnuť. Napriek tomu, nie všetci zamestnanci a manažéri preferujú plnú automatizáciu. Problém spočíva v tom, že úplne automatizované systémy nemusia vždy reagovať dostatočne flexibilne na dynamické zmeny v prostredí a špecifické potreby jednotlivých zamestnancov. To môže viesť k situáciám, kde automatizovaný systém pridelí zmeny, ktoré nezohľadňujú osobné preferencie zamestnancov alebo aktuálnu dostupnosť, čo môže spôsobovať nespokojnosť a znižovať efektívnosť.

Navyše, striktné automatizované plánovacie systémy môžu ignorovať ľudský aspekt práce, ako sú medziludské vzťahy, individuálne schopnosti alebo pracovné zvyklosti. To môže viesť k nerovnomernému rozdeleniu pracovnej záťaže, zvýšenému stresu medzi zamestnancami a potenciálne aj k porušovaniu pracovno-právnych predpisov:

- **Flexibilný systém kombinujúci automatizáciu a manuálne úpravy:** Plánovanie zmien si vyžaduje systém, ktorý zefektívni procesy automatizáciou, no zároveň

umožní manuálne zásahy pri špecifických situáciách. Automatizácia by mala pokrývať základné plánovanie na základe pravidiel, ako sú kapacity a dostupnosť zamestnancov. Súčasne musí byť systém dostatočne flexibilný, aby manažéri mohli upravovať plány na základe individuálnych schopností zamestnancov, ich spolupráce alebo nečakaných zmien, ako sú absencie či urgentné požiadavky.

Cieľom je nájsť rovnováhu medzi efektivitou automatizácie a zachovaním ľudského aspektu práce, čo prispeje k rovnomernému rozdeleniu pracovnej záťaže, nižšiemu stresu a dodržiavaniu predpisov.

4.5 Zhrnutie

Efektívne plánovanie zmien vyžaduje systém, ktorý dokáže pokryť široké spektrum požiadaviek manažérov, zamestnancov a samotného procesu organizácie práce. Kľúčom k úspechu je kombinácia intuitívnej automatizácie, ktorá zjednoduší základné plánovacie úlohy, a možnosti manuálnych zásahov na riešenie špecifických situácií. Automatizácia by mala poskytovať rýchle a presné rozvrhy, zatiaľ čo manuálne úpravy umožnia manažérom reagovať na individuálne potreby zamestnancov, nečakané absencie alebo zmeny v požiadavkách zákazníkov.

Systém musí byť navrhnutý s dôrazom na rovnomerné rozdelenie pracovnej záťaže, čím sa zníži riziko preťaženia niektorých zamestnancov a zabezpečí sa spravodlivé pridelovanie zmien. Tento aspekt zahŕňa mechanizmy na zohľadnenie pracovných preferencií, osobných požiadaviek a špecifických obmedzení zamestnancov, pričom sa minimalizuje časté pridelovanie nepopulárnych smien tým istým pracovníkom.

Ďalšou dôležitou požiadavkou je jednoduchosť používania systému. Intuitívne rozhranie, ktoré podporuje rýchle zadávanie dát, kontrolu konfliktov a dynamickú úpravu plánov, je nevyhnutné pre jeho efektívne využitie. Plánovací nástroj by mal byť prístupný širokej škále používateľov a dostupný v lokalizovanej verzii, aby zodpovedal jazykovým a kultúrnym potrebám cieľovej skupiny.

Nakoniec, efektívne plánovanie musí byť plne v súlade s platnými pracovno-právnymi predpismi. Tým sa predíde právnym komplikáciám a súčasne sa posilní dôvera zamestnancov v spravodlivosť systému. Takýto komplexný prístup zabezpečí nielen efektivitu a flexibilitu, ale aj spokojnosť a spoluprácu všetkých zúčastnených strán.

Kapitola 5

Návrh

Požiadavky, ktoré vyplynuli z analýzy problému, určili základ návrhu riešenia, ktorý je zameraný na zjednodušenie a optimalizáciu procesu rozdeľovania pracovných zmien pre manažérov a zároveň na zabezpečenie férovejšieho prístupu k zamestnancom. Navrhované riešenie poskytne nástroje na automatické aj manuálne plánovanie zmien, pričom zohľadní dostupnosť, preferencie a ďalšie faktory, ktoré podporujú rovnováhu medzi potrebami organizácie a zamestnancov.

5.1 Ciele navrhnutého riešenia

Cieľom je:

- Zefektívniť proces plánovania pracovných zmien, čím sa zníži časová náročnosť a riziko chýb.
- Zabezpečiť rovnomerné rozdelenie zmien medzi zamestnancov, čím sa minimalizujú konflikty a pocity nespravodlivosti.
- Umožniť manažérom jednoduchšiu správu zmien a lepšiu prehľadnosť pri plánovaní.
- Podporiť aktívnu participáciu zamestnancov na tvorbe rozvrhov prostredníctvom preferencií a žiadostí.

Prínosmi tohto navrhnutého riešenia sú zlepšenie spokojnosti zamestnancov, zvýšenie ich produktivity a zníženie administratívnej záťaže pre manažérov.

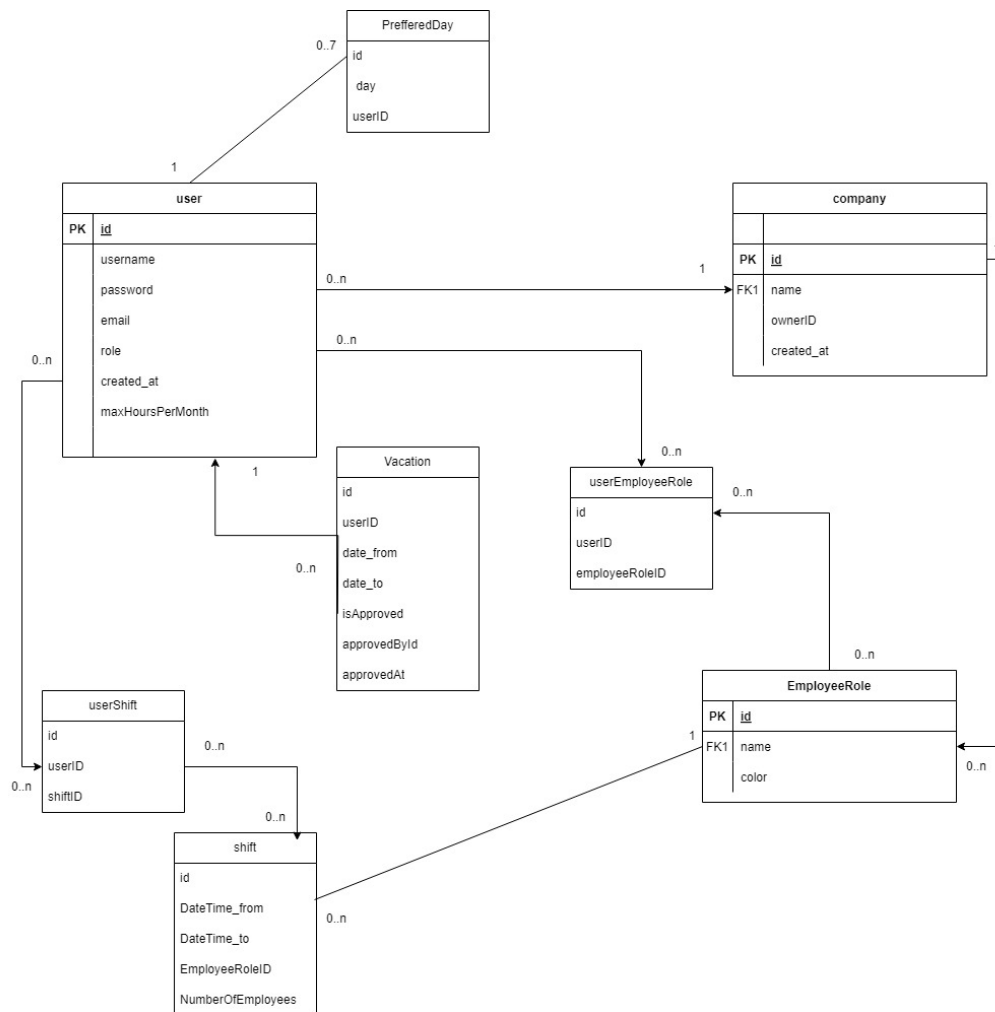
5.2 Návrh databázy a ER diagram

Pri návrhu databázy systému na plánovanie zmien bolo dôležité správne určiť jednotlivé entity a ich vzájomné vzťahy. Na tento účel bol vytvorený **ER diagram** (obrázok 5.1), ktorý vizuálne znázorňuje logickú štruktúru navrhutej databázy.

Popis hlavných entít

- **User** – uchováva údaje o používateľoch systému vrátane ich prihlasovacích údajov, role a nastavenia maximálneho počtu hodín mesačne.

- **Company** – reprezentuje zamestnávateľa a je prepojená s jedným vlastníkom, ktorý je používateľom systému.
- **Vacation** – žiadosti o dovolenku s informáciou o tom, či boli schválené, a kto ich schválil.
- **PreferredDay** – entita obsahujúca preferované dni, v ktorých chce zamestnanec pracovať.
- **Shift** – reprezentuje jednotlivé zmeny so začiatkom, koncom, požadovaným počtom zamestnancov a požadovanou rolou.
- **UserShift** – spájajúca tabuľka medzi používateľmi a zmenami, ktoré im boli pridelené.
- **EmployeeRole** – definuje pracovné roly (napr. čašník, kuchár) a ich farebné označenie pre lepšiu prehľadnosť.
- **UserEmployeeRole** – tabuľka prepájajúca používateľa s jednou alebo viacerými rolami.



Obrázek 5.1: *ER diagram*

5.3 Uživatelské role

Aplikácia bude podporovať dve hlavné roly 5.2: **manažér** a **zamestnanec**, pretože tieto dve skupiny používateľov majú rozdielne potreby a zodpovednosti. Manažér má na starosti správu systému, používateľov, nastavení a rozvrhu, zatiaľ čo zamestnanec využíva aplikáciu najmä na každodenné pracovné úlohy, ako je kontrola rozvrhu alebo žiadosť o dovolenku.

5.3.1 Manažér

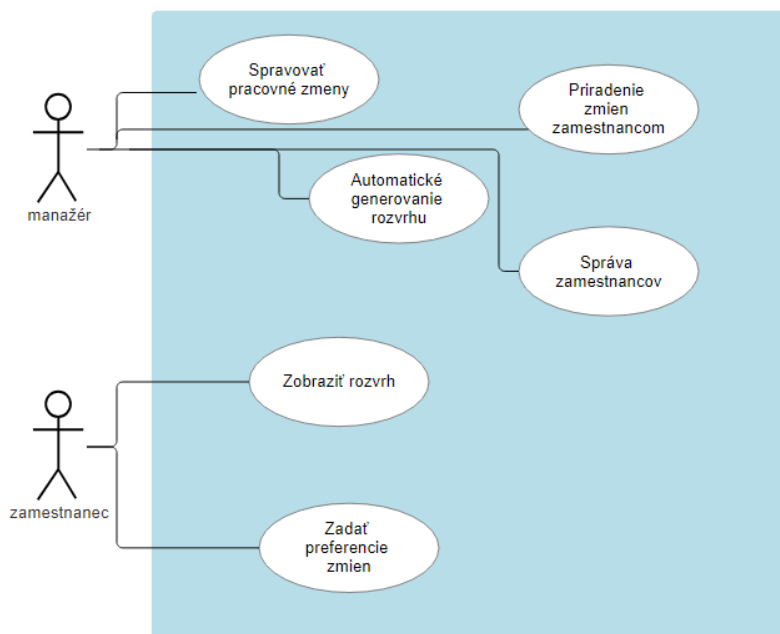
Manažér bude mať prístup k týmto funkciám:

- Vytváranie a úprava rozvrhov pracovných zmien
- Automatické priradenie zmien zamestnancom na základe definovaných kritérií
- Schvaľovanie žiadostí zamestnancov o voľno
- Monitorovanie rovnomerného rozdelenia zmien a kontrola nadčasov

5.3.2 Zamestnanec

Zamestnanci budú mať prístup k nasledujúcim funkciám:

- Prehliadanie pridelených zmien
- Zadávanie preferencií na zmeny
- Zażiadať o voľno



Obrázek 5.2: *Diagram prípadov užitia*. Zobrazujúci hlavné funkcionality užívateľa a manažéra.

5.4 Základné funkcionality aplikácie

Aplikácia bude kombinovať manuálne a automatizované funkcie na plánovanie zmien, čím poskytne manažérom maximálnu flexibilitu. Manažér má možnosť vytvárať zmeny manuálne – napríklad priamo pridelovať zamestnancov na konkrétne dni a časy podľa aktuálnych potrieb. Alternatívne môže využiť automatizované generovanie zmien, pri ktorom sa systém postará o ich priradenie. Algoritmus pri tom berie do úvahy viaceré podmienky ako sú preferencie zamestnancov, dostupnosť, naplánované dovolenky, či rovnomerné rozdelenie zmien, čím sa zabezpečí efektívne a spravodlivé rozvrhnutie práce. Medzi hlavné funkcionality patria:

5.4.1 Vytváranie a úprava rozvrhov

Manažér bude môcť vytvárať zmeny pre konkrétne dni alebo kopírovať predošlý týždeň. Zmeny môžu byť vždy upravované.

5.4.2 Automatické priradenie zmien

Aplikácia umožní automatické priradenie zmien zamestnancom na základe kritérií, ako sú:

- **Dostupnosť zamestnancov:** Zamestnanci môžu vopred označiť, kedy sú k dispozícii alebo naopak nedostupní. Aplikácia tieto informácie zohľadní pri tvorbe rozvrhu, aby zabránila priradovaniu zmien počas neprítomnosti.
- **Počet už odpracovaných hodín za obdobie:** Systém sleduje celkový počet hodín, ktoré zamestnanec odpracoval v danom týždni alebo mesiaci. Tým sa zabezpečí rovnomerné rozdelenie práce medzi všetkých pracovníkov a zároveň sa zabráni nadmernému zaťažaniu jednotlivcov.
- **Preferencie zamestnancov:** Zamestnanci majú možnosť uviesť svoje preferované dni alebo časy pre zmeny. Tieto preferencie sú následne zohľadnené pri automatickom priradovaní.

5.4.3 Participácia zamestnancov

Zamestnanci budú môcť aktívne participovať na tvorbe svojho rozvrhu:

- Prostredníctvom preferencií, kde v nastavení profilu uvedú dni alebo časy, ktoré im najviac vyhovujú.
- Podaním žiadosti o voľno alebo výmenu zmien.

5.5 Dizajn aplikácie

Dizajn aplikácie bol navrhnutý pomocou nástroja Figma. Inšpiráciou boli viaceré existujúce plánovacie a HR aplikácie.

Cieľom dizajnu bolo vytvoriť intuitívne prostredie pre manažérov aj zamestnancov.

Správa rozvrhu

Sekcia, kde si manažér môže prezerať a následne upravovať rozvrh 5.3.

Zamestnanci sú v tejto sekcii rozdelení podľa svojich rolí, pričom pre každého je zobrazený aj počet naplánovaných hodín na aktuálny týždeň. Zmeny sú farebne rozlíšené podľa roly zamestnanca, čo umožňuje rýchlejšiu orientáciu.

Na tejto stránke je taktiež možné požiadať o automatické vygenerovanie rozvrhu na základe dostupnosti zamestnancov a ich kapacít.

My Company

Schedule

Employees

Company

Randy Gibson



Employees

<

7.Aug. - 13.Aug.

>

	7.8. Mon	8.8. Tue	9.8. Wed	10.8. Th	11.8. Fr	12.8. Sat	13.8. Sun
	🕒 9am-11pm 👤 0/2	🕒 9am-11pm 👤 0/2	🕒 9am-11pm 👤 0/2	🕒 9am-11pm 👤 0/2	🕒 9am-11pm 👤 0/2	🕒 9am-11pm 👤 0/2	🕒 9am-11pm 👤 0/2
Cook	3 👤 9am-5pm J.Doe L.Kubiková 2 👤	9am-5pm J.Doe L.Kubiková 2 👤 5pm-11pm M.Loren 1 👤	9am-5pm J.Doe L.Kubiková 2 👤	9am-5pm Free shift 0 👤 5pm-11pm Free shift 0 👤	9am-5pm J.Doe L.Kubiková 2 👤 5pm-11pm M.Loren 1 👤	9am-5pm M.Loren L.Kubiková 3 👤 5pm-11pm Free shift 0 👤	9am-5pm Free shift 0 👤
Waiter	4 👤 9am-5pm K.Doe D.Malnova 2 👤 5pm-11pm P.Mano L.Petrova 2 👤	9am-5pm Free shift 0 👤 5pm-11pm K.Doe L.Petrova 2 👤	9am-5pm Free shift 0 👤 5pm-11pm Free shift 0 👤	+	9am-5pm K.Doe D.Malnova 2 👤 5pm-11pm J.Doe L.Kubiková 2 👤	9am-5pm L.Petrova P.Mano 2 👤 5pm-11pm Free shift 0 👤	9am-5pm Free shift 0 👤
Barista	3 👤 9am-5pm V.Sony 1 👤	+	9am-5pm Free shift 0 👤	9am-5pm L.Kostovčik 1 👤 5pm-11pm V.Sony 1 👤	9am-5pm V.Sony 1 👤 5pm-11pm Free shift 0 👤	9am-5pm Free shift 0 👤	9am-5pm Free shift 0 👤
	+		+	5pm-11pm V.Sony 1 👤	5pm-11pm Free shift 0 👤	+	

Obrázek 5.3: *Návrh rozvrhu zmien.* Rozvrh zamestnancov pre špecifický týždeň.

Zamestnanec má možnosť vidieť celý rozvrh, každého zamestnanca, no nie doňho zasahovať, taktiež má možnosť si prezrieť čisto len svoj rozvrh 5.4.

My Company

My schedule

Free shifts

John Doe

My shifts

< 7.Aug. - 13.Aug. >

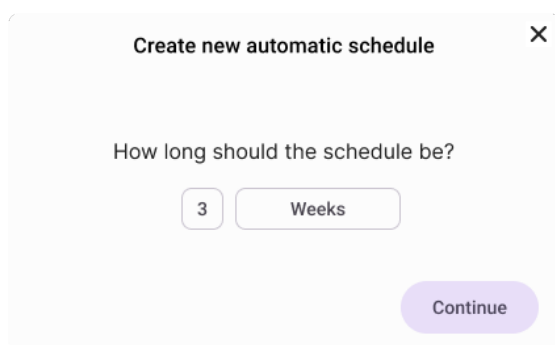
Whole schedule

	7.8. Mon	8.8. Tue	9.8. Wed	10.8. Th	11.8. Fr	12.8. Sat	13.8. Sun
Cook3 John Doe25h	9am-5pm J.Doe L.Kubiková2	9am-5pm J.Doe L.Kubiková2	9am-5pm J.Doe L.Kubiková2	9am-5pm Free to pick0/2 5pm-11pm Free to pick0/2	9am-5pm J.Doe L.Kubiková2	5pm-11pm Free to pick0/2	9am-5pm Free to pick0/2

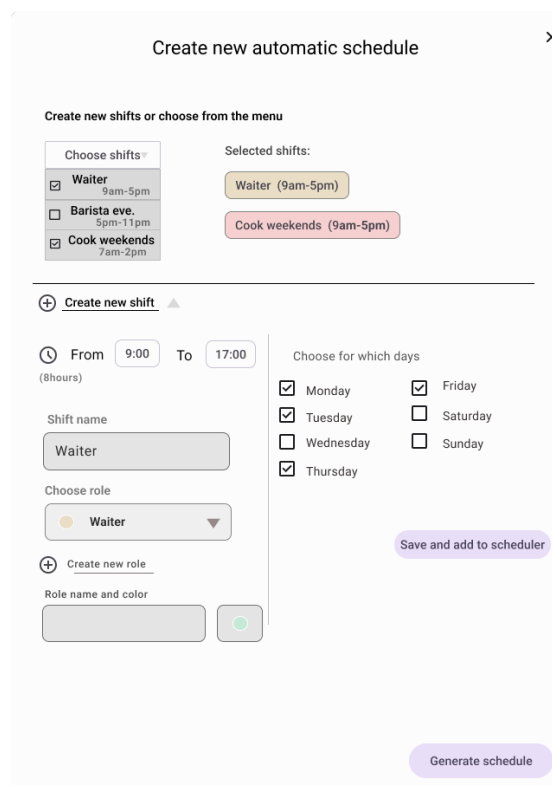
Obrázek 5.4: *Návrh zmien zamestnanca.* Rozvrh zamestnanca zobrazujúci jeho zmeny v daný týždeň

Vytváranie automatického rozvrhu

Manažér má možnosť na tejto stránke vygenerovať automatický rozvrh pre svoj tím. V prvom kroku si zvolí, na koľko dní dopredu chce rozvrh vytvoriť 5.5. Následne môže pridať jednotlivé zmeny do rozvrhu, buď výberom z už existujúcich zmien, alebo vytvorením nových 5.6. Po definovaní požadovaných zmien systém pomocou algoritmu automaticky priradí zamestnancov k jednotlivým zmenám. Výsledkom je optimalizovaný rozvrh, ktorý uľahčuje manažérovi plánovanie a šetrí čas.



Obrázek 5.5: *Návrh zadávania časového rozsahu*. Dialog kde sa zadáva na koľko dní chce manažér vytvoriť rozvrh



Obrázek 5.6: *Návrh zadávania zmien*. Určovanie a prípadne vytváranie nových zmien pre generovanie rozvrhu.

Profil

Priestor na úpravu preferencií a osobných údajov 5.7.

Vo svojom profile si zamestnanec môže upraviť osobné údaje ako meno, priezvisko. Okrem toho má možnosť nastaviť si svoje preferencie ohľadom pracovných dní — konkrétne určiť, ktoré dni v týždni preferuje pracovať a ktoré naopak nie. Tieto preferencie sa následne zohľadňujú pri tvorbe automatického rozvrhu, čo umožňuje lepšie zosúladiť potreby zamestnanca s požiadavkami prevádzky.

My Company

My schedule

Free shifts

Profile

John Doe

My profile



John Doe

john.doe@gmail.com

My roles:

Cook

This month:

96/160 h

This month has: 22 work days

Preferences:

Based on your selected preferences, the automatic scheduler can assign shifts that best match your preferences, helping managers create a schedule that keeps you satisfied.

	Mon	Tue	Wed	Th	Fr	Sat	Sun
9:00	Prefer work this shift	Prefer work this shift	Prefer not to work this shift	Prefer work this shift	Prefer not to work this day	I cannot work this day	Prefer not to work this day
17:00	Prefer not to work this shift	Prefer not to work this shift	Prefer work this shift	I cannot work this shift			
23:00							

Obrázek 5.7: *Návrh profilu užívateľa*. Zobrazenie užívateľského profilu a jeho preferencií.

5.6 Prístupnosť a flexibilita

Aplikácia bude navrhnutá tak, aby:

- Bola dostupná na rôznych zariadeniach, vrátane počítačov, tabletov a mobilných telefónov.
- Ponúkala možnosť prispôbenia nastavení podľa konkrétnych potrieb organizácie, ako je počet zmien, pravidiel priradovania alebo špecifické obmedzenia.

5.7 Funkcia automatického plánovania

Plánovanie pracovných zmien predstavuje náročnú úlohu, ktorá si vyžaduje zohľadnenie rôznych faktorov, od personálnych potrieb podniku až po individuálne požiadavky a obmedzenia zamestnancov. Aby bolo možné túto úlohu riešiť efektívne a spravodlivo, je vhodné využiť algoritmické prístupy, ktoré dokážu nájsť optimálne riešenia v rámci zadaných podmienok.

Jedným z takýchto prístupov je genetický algoritmus, ktorý dokáže efektívne pracovať s viacerými cieľmi a obmedzeniami súčasne, čo je pre plánovanie zmien kľúčové. Na rozdiel od niektorých metód, ktoré často hľadajú riešenia iba v určitých častiach riešenia, genetické algoritmy prehľadávajú široký priestor možných riešení a zvyšujú šancu na nájdenie globálne optimálneho rozpisu. To je dôležité, pretože práve globálne optimálne riešenia nám umožňujú zabezpečiť čo najlepšiu kombináciu spokojnosti zamestnancov, efektivity a dodržiavania všetkých pravidiel.

5.7.1 Výhody genetického algoritmu v plánovaní zmien

Jednou z najväčších výhod genetického algoritmu je jeho flexibilita v práci s mnohými obmedzeniami. V praxi to znamená, že algoritmus môže zohľadniť rôzne špecifické požiadavky zamestnancov, ako sú preferované pracovné hodiny, dni voľna, a zároveň rešpektovať legislatívne obmedzenia ako maximálny počet pracovných hodín alebo minimálne prestávky medzi zmenami. Tento prístup umožňuje vytvárať riešenia, ktoré sú realistické a prakticky použiteľné.

Genetický algoritmus je tiež veľmi adaptabilný na zmeny v prostredí. Ak sa napríklad zmení dostupnosť zamestnancov alebo potreby organizácie, algoritmus môže rýchlo znovu optimalizovať existujúce rozvrhy bez potreby kompletného prepracovania celého systému.

Ďalšou výhodou je schopnosť optimalizovať viacero cieľov súčasne. Napríklad, algoritmus môže súčasne minimalizovať náklady na prácu, zabezpečiť rovnomerné rozloženie zmien a zohľadniť preferencie zamestnancov, čím sa dosiahne komplexné a vyvážené riešenie.

5.7.2 Nevýhody genetického algoritmu

Napriek mnohým výhodám má genetický algoritmus aj určité nevýhody. Jednou z hlavných nevýhod je jeho výpočtová náročnosť, najmä pri riešení veľkých problémov s mnohými premennými. V praxi to môže znamenať vyššiu spotrebu výpočtových zdrojov a dlhší čas na získanie optimálneho riešenia. Ďalším potenciálnym problémom je, že nezaručuje nájdenie absolútneho najlepšieho riešenia, ale namiesto toho poskytuje veľmi kvalitné aproximácie, ktoré sú dostatočne dobré pre praktické použitie.

Kapitola 6

Implementácia

Ako realizáciu návrhu som si zvolila vytvorenie webovej aplikácie, ktorá zabezpečuje efektívne plánovanie pracovných zmien a umožňuje manažmentu aj zamestnancom jednoduchú interakciu so systémom. Aplikácia pozostáva z troch hlavných častí: serverová (back-end) časť, klientská (front-end) aplikácia a databázová vrstva. Každá časť systému plní dôležitú rolu pri zabezpečení správneho fungovania plánovania pracovných zmien.

6.1 Back-end implementácia

Serverová časť systému bola implementovaná v jazyku C# s využitím frameworku ASP.NET Core. Táto časť aplikácie zabezpečuje logiku aplikácie, správu dát, komunikáciu s databázou a implementáciu genetického algoritmu.

Architektúra je navrhnutá podľa princípov *Clean Architecture*, pričom jednotlivé vrstvy sú oddelené do samostatných projektov:

- **Domain** – obsahuje základné entity (napr. User, Shift, UserShift), ich vlastnosti a vzťahy.
- **Application** – obsahuje logiku spracovania požiadaviek (napr. vytváranie zmien, generovanie rozvrhov) a využíva knižnicu MediatR na CQRS pattern.
- **Persistence** – stará sa o komunikáciu s databázou pomocou Entity Framework Core.
- **API** – predstavuje vstupný bod aplikácie, definuje kontroléry a koncové body (API endpoints).

6.1.1 Genetický algoritmus pre plánovanie zmien

Pre samotné plánovanie zmien sa využíva **genetický algoritmus**, ktorý je implementovaný pomocou knižnice **GeneticSharp**. Táto technika patrí medzi evolučné algoritmy, ktoré sa inšpirujú prirodzeným výberom a evolúciou v prírode. Cieľom je nájsť optimálne alebo blízko-optimálne riešenie problému.

Základné pojmy v rámci genetického algoritmu:

- **Chromozóm** – Skupina génov(zmien) reprezentujúcich jeden možný rozvrh zmien pre zvolené obdobie.

- **Gén** – predstavuje konkrétnu zmenu ku ktorej môžu byť priradení viacerí zamestnanci. Obsahuje údaje ako ID zamestnanca, ID zmeny.
- **Populácia** – množina chromozómov (rozvrhov), ktorá sa v každej generácii vyhodnocuje a podlieha genetickým operáciám (mutácia, kríženie).
- **Fitness funkcia** – kľúčová časť algoritmu. Vyhodnocuje, ako kvalitné je dané riešenie (chromozóm) na základe vopred definovaných kritérií. Tieto kritériá zahŕňajú tzv. hard a soft constraints (obmedzenia), ktoré sú detailne opísané nižšie. Výsledkom je bodové skóre, ktoré slúži ako ukazovateľ kvality daného rozvrhu, čím vyššie skóre, tým lepšie riešenie.
- **Mutácia** – zodpovedá za náhodnú zmenu niektorých génov v chromozóme. V implementácii bola vytvorená vlastná mutácia s názvom **RoleAwareShiftMutation**, ktorá pri zmene berie do úvahy rolu zamestnanca a dovoľuje výmeny iba medzi kompatibilnými používateľmi (s rovnakou rolou). Zároveň sa kontroluje, či je používateľ v daný deň dostupný – teda nie je na dovolenke ani označený ako nedostupný.
- **Kríženie** – kombinuje dve rodičovské riešenia a vytvára nové, potenciálne kvalitnejšie rozvrhy. Použitá metóda je **OnePointCrossover**, pri ktorej sa náhodne zvolí jeden bod v rámci chromozómu (rozvrhu) a gény (priradené zmeny) od tohto bodu sa medzi rodičmi vymenia.

Proces algoritmu:

1. Na začiatku sa vygeneruje počiatočná populácia 50 náhodných rozvrhov.
2. V každej generácii sa vypočíta hodnota fitness funkcie pre každý chromozóm.
3. Vyberú sa najlepšie jedince (pomocou selekcie **RouletteWheelSelection**). Pri tejto metóde je pravdepodobnosť výberu jednotlivca úmerná jeho fitness hodnote, čím má chromozóm vyššie skóre, tým je väčšia šanca, že bude vybraný ako rodič. Táto technika zaručuje vyvážený výber, pri ktorom majú šancu aj slabšie riešenia.
4. Následne sa aplikuje kríženie a mutácia pre vytvorenie novej populácie.
5. Proces sa opakuje po dobu 100 generácií.

Výsledkom je optimalizovaný rozvrh zmien, ktorý berie do úvahy požiadavky firmy, dostupnosť zamestnancov a ich špecializáciu. V prípade potreby je možné výstupný rozvrh manuálne upraviť v administratívnom rozhraní.

Vyhodnocovanie fitness funkcie a bodovací systém

Fitness funkcia slúži ako hodnotiaci mechanizmus, ktorý určuje kvalitu jednotlivých riešení na základe ich zhody s definovanými pravidlami. V tomto prípade sa využíva bodovací systém, kde každé riešenie začína s vysokým základným skóre (20000 bodov), a toto skóre sa následne zvyšuje alebo znižuje podľa splnenia či porušenia jednotlivých obmedzení.

Hodnotenie je založené na dvoch hlavných typoch obmedzení:

- **Tvrde obmedzenia (Hard Constraints):** Musia byť striktne dodržané. Ich porušenie vedie k výraznému zníženiu skóre:
 - Prekrytie zmien pre jedného používateľa.
 - Priradenie zamestnanca na zmenu, keď je označený ako nedostupný.
- **Mäkké obmedzenia (Soft Constraints):** Odporúčané pravidlá, ktorých dodržiavanie zvyšuje skóre:
 - Priradenie používateľa na jeho preferované dni a časy.
 - Zamedzenie pracovnému nasadeniu bez dostatočného odpočinku (napr. večerná zmena nasledovaná rannou).
 - Rovnomerné rozdelenie pracovného zaťaženia medzi zamestnancov (na základe odpracovaných hodín v predchádzajúcich týždňoch).
- **Voliteľné obmedzenia (Optional Constraints):** Podmienky, ktoré sa uplatňujú iba v prípade, že ich manažér zapne v nastaveniach:
 - Penalizácia používateľov, ktorí pracujú viac ako 5 dní po sebe.
 - Rovnomerné rozdelenie hodín medzi zamestnancami podľa celkového počtu odpracovaných hodín (za aktuálny týždeň + aktuálny mesiac).
 - Penalizácia zamestnancov, ktorí prekročia maximálny počet hodín za týždeň.

Na konci výpočtu je výsledné skóre každého riešenia použité na výber tých najlepších chromozómov pre ďalšiu generáciu. Tento adaptívny bodovací systém zabezpečuje, že sa algoritmus postupne približuje k riešeniam, ktoré čo najlepšie vyhovujú definovaným požiadavkám.

6.1.2 Problémy počas implementácie

Počas vývoja systému sa objavilo viacero technických výziev, ktoré si vyžadovali úpravu pôvodného návrhu alebo implementáciu vlastných riešení. Najvýraznejšie komplikácie sa vyskytli pri implementácii genetického algoritmu pre generovanie rozvrhov.

Úprava bodovacieho systému

Počiatočný návrh fitness funkcie vychádzal z jednoduchého systému odpočítavania bodov za každé porušenie pravidiel. V praxi sa však ukázalo, že takéto hodnotenie nedostatočne rozlišovalo medzi rôznymi typmi porušení (napr. porušenie tvrdého vs. mäkkého obmedzenia). Preto bolo potrebné systém prehodnotiť a zaviesť vážené skórovanie, kde porušenia tvrdých obmedzení mali výrazne vyšší negatívny dopad na celkové skóre ako menej dôležité mäkké obmedzenia.

Zároveň sa do systému pridalo **pozitívne bodovanie za splnenie preferencií zamestnancov**, čo pomáha vytvárať viac „ľudsky priateľské“ rozvrhy. Ak je zamestnanec priradený na zmenu v deň alebo čas, ktorý zodpovedá jeho preferenciám (napr. preferuje pracovať ráno alebo cez víkend), získa rozvrh dodatočné body. Tento systém zároveň zohľadňuje spravodlivosť pomocou tzv. *fairness boost* – zamestnanci, ktorí mali v predchádzajúcich týždňoch menej pridelených preferovaných zmien, dostanú vyšší bodový prírastok.

Konkrétne to funguje nasledovne:

- Pre každú zmenu vygenerovaného rozvrhu sa skontroluje, či daný deň patrí medzi preferované dni zamestnanca a či čas zmeny zodpovedá jeho preferovanému časovému intervalu (napr. ráno alebo večer).
- Ak áno, zvýši sa skóre rozvrhu.
- Výška bodového zisku sa násobí *fairness koeficientom*, ktorý je daný vzorcom:

$$\text{fairnessBoost} = \frac{1}{1 + \text{počet preferovaných zmien minulý týždeň}}$$

- Čím menej preferovaných zmien mal používateľ v nedávnej minulosti, tým vyšší zisk bodov dostane za ďalšie priradenie podľa svojich preferencií.

Tento mechanizmus motivuje algoritmus nielen k rešpektovaniu preferencií, ale aj k rovnomernému prístupu ku všetkým zamestnancom, čím sa znižuje riziko, že niektorí budú systematicky znevýhodňovaní.

Vlastná mutačná funkcia

Predvolená mutácia z knižnice **GeneticSharp** nebrala do úvahy špecifiká plánovania zmien, najmä priradenie pracovníkov s rôznymi rolami. Preto bola vytvorená vlastná mutačná trieda s názvom **RoleAwareShiftMutation**. Táto funkcia pri výmene zamestnancov v rámci zmien kontroluje ich pracovnú rolu a umožňuje výmenu iba medzi zamestnancami s rovnakou kvalifikáciou. Tým sa predchádzalo generovaniu nevalidných rozvrhov, ktoré by boli z pohľadu firmy nepoužiteľné.

Spracovanie konfliktov pri zmenách

Ďalším problémom bolo zamedzenie priradenia používateľa na dve alebo viac prekrytých zmien. Tento konflikt musel byť rozpoznávaný nielen pri generovaní počiatočnej populácie, ale aj pri každej iterácii algoritmu (mutácia a kríženie). Pre tento účel boli zavedené pomocné validačné funkcie, ktoré overovali časový rozsah každej zmeny a zabezpečovali, že zamestnanec nebude zaradený na viaceré zmeny v rovnakom čase.

Tieto problémy významne ovplyvnili kvalitu finálneho riešenia a poukázali na potrebu kombinovať všeobecné algoritmy s doménovo špecifickými pravidlami.

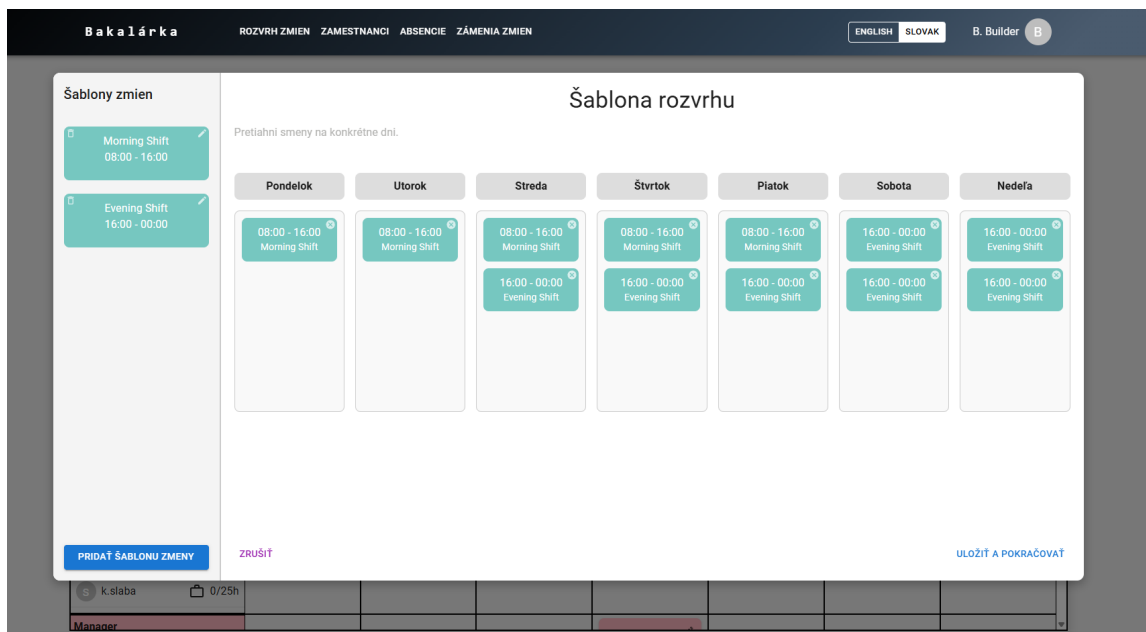
6.2 Front-end implementácia

Používateľské rozhranie bolo vytvorené pomocou frameworku **React** v kombinácii s knižnicami ako **TypeScript**, **MUI** (Material UI), **React Query** a **React DOM**.

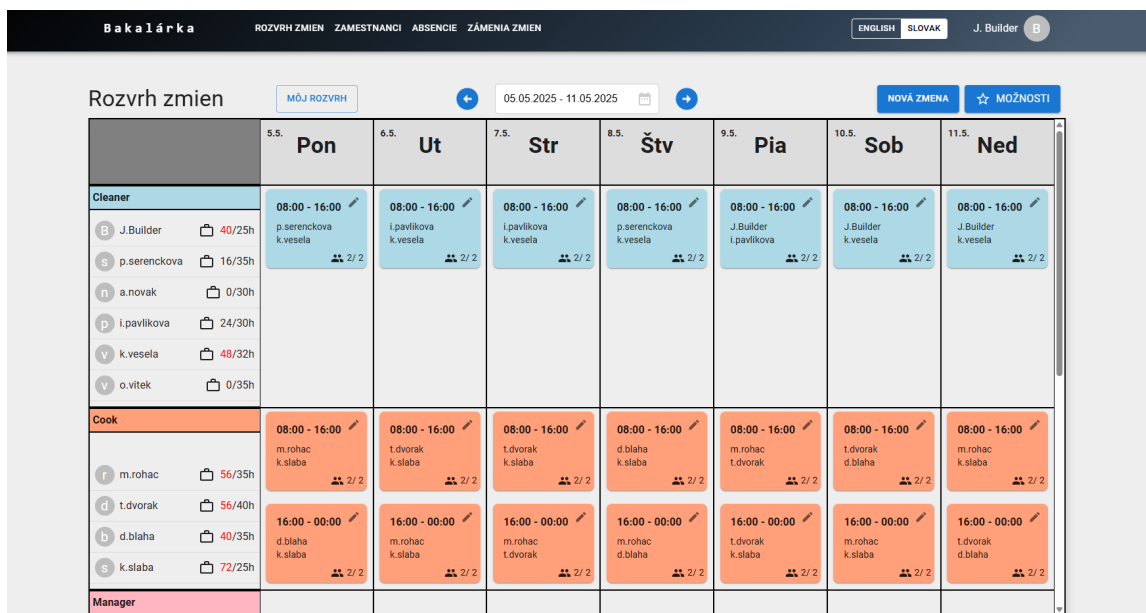
Front-end zabezpečuje:

- Vizuálne zadávanie parametrov pre generovanie rozvrhu (dátumy, počet pracovníkov, požadované roly).
- Interaktívne zobrazenie výsledného rozvrhu zmien.
- Komunikáciu s back-end API cez HTTP požiadavky (GET, POST, DELETE, PUT).
- Validáciu vstupov a základný manažment stavu aplikácie.

V porovnaní s pôvodným návrhom došlo k viacerým zmenám, ktoré vyplynuli z testovania a spätnej väzby od používateľov. Najzásadnejšou úpravou bolo nahradenie pôvodného spôsobu generovania rozvrhu, kde sa požadované údaje zadávali manuálne, za drag-and-drop rozhranie. Tento prístup je výrazne prehľadnejší a používateľsky prívetivejší, najmä pri ručných úpravách automaticky vygenerovaných zmien 6.1. Po vygenerovaní rozvrhu je používateľ automaticky presmerovaný priamo do vytvoreného rozvrhu. 6.2

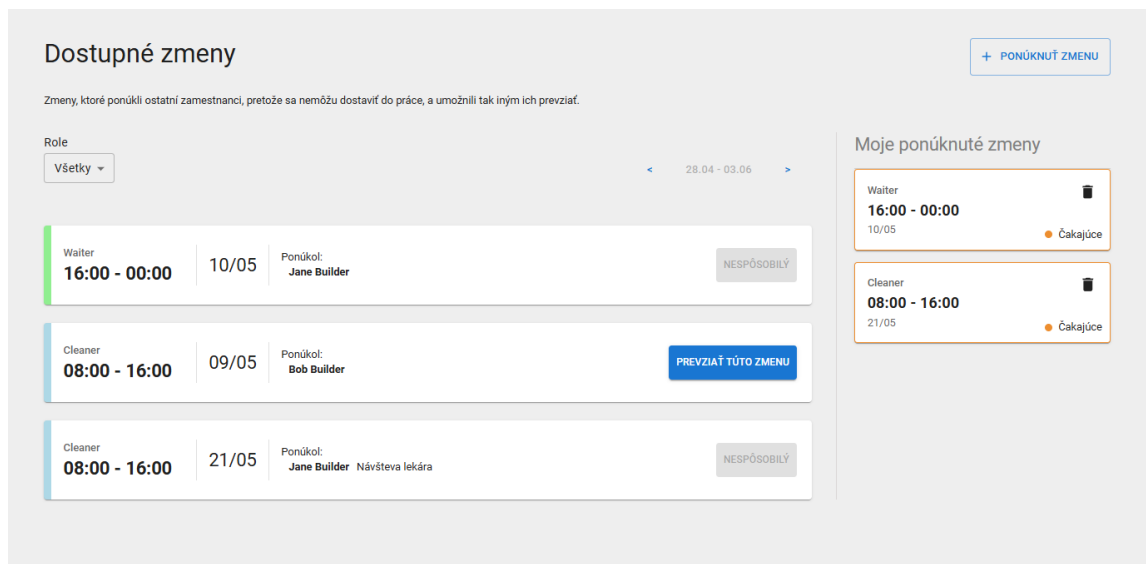


Obrázek 6.1: *Vytváranie rozvrhu*. Nastavenie zmien pre vygenerovanie rozvrhu.



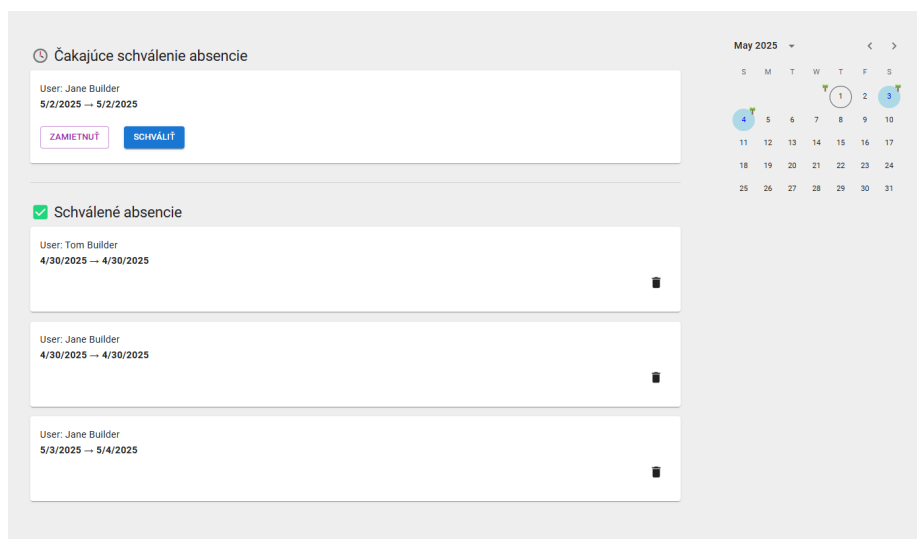
Obrázek 6.2: *Zobrazenie rozvrhu zmien zamestnancov*. Zobrazenie rozvrhu v aplikácii s možnosťou zobrazenia aj len vlastného rozvrhu.

Do systému bola taktiež pridaná nová funkcionálnosť – možnosť výmeny zmien medzi zamestnancami. Každý zamestnanec má možnosť ponúknuť svoju zmenu na výmenu, a iní používatelia si ju môžu prevziať. Táto funkcionálnosť zvyšuje flexibilitu rozvrhu a zároveň uľahčuje manažérom riešenie nečakaných zmien v dostupnosti pracovníkov 6.3.



Obrázek 6.3: **Výmena zmien zamestnancov.** Funkcionálnosť výmeny zmien medzi zamestnancami, kde môžu ponúkať a prijímať zmeny na výmenu. Táto funkcia zvyšuje flexibilitu pri spravovaní nečakaných zmien v rozvrhu.

Systém tiež umožňuje zamestnancom nahlásiť svoje neprítomnosti, ako sú dovolenky alebo iné absencie. Tieto údaje sú nevyhnutné pre správne generovanie rozvrhu, aby sa zabránilo priradovaniu zmien zamestnancom, ktorí nie sú dostupní. To zaručuje efektívne riadenie pracovného času a zabraňuje konfliktom v rozvrhu 6.4.



Obrázek 6.4: **Stránka absencií.** Evidencia absencií, kde zamestnanci môžu hlásiť svoju neprítomnosť (napr. dovolenku).

Používatelia majú možnosť upravovať svoje preferencie, čo je dôležitý krok pre prispôsobenie rozvrhu ich individuálnym potrebám. Preferencie zahŕňajú dni a časové intervaly, počas ktorých nie je zamestnanec dostupný, zväčša kvôli škole alebo inej práci. Zelené bodky pri dňoch predstavujú preferované dni, kedy by zamestnanec chcel pracovať, zatiaľ čo obrazy slnka alebo noci indikuje, či preferuje prácu v ranných alebo večerných hodinách 6.5.

Profil

vondrackova
admin@example.com

Role
Manager

Opracované
0 h

Preferencie
Na základe tvojich zvolených preferencií môže automaticky plánovač priradiť smeny, ktoré im najlepšie zodpovedajú.

5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 24:00

Pon | Nedostupný

• Ut |

• Str | Nedostupný

• Štv |

Pia | Nedostupný

Sob |

Ned |

Obrázek 6.5: *Profil užívateľa*. Preferencie používateľa. Tieto preferencie sú zohľadnené pri generovaní a priradovaní zmien.

Používatelia majú možnosť si sami nastaviť svoje preferencie. Tento proces zabezpečuje, že rozvrh bude vyhovovať nielen potrebám zamestnávateľa, ale aj jednotlivých pracovníkov, čo vedie k väčšej spokojnosti a efektívnosti práce 6.6.

Upraviť preferencie

Preferencie
Vyber dni a časy, kedy preferuješ pracovať.

RÁNO VEČER

PON UT STR ŠTV **PIA** SOB **NED**

Dostupnosť

• Pon ☒ Celý deň
Nedostupný
Komentár

• Ut ☐ Celý deň
Nedostupný
Začiatok: 05:59 AM Koniec: 07:59 PM
Komentár

• Str ☒ Celý deň
Dostupný
Zrušiť Uložiť

Obrázek 6.6: *Nastavenia preferencií*. Možnosť editácie preferencií používateľa, kde si zamestnanci môžu upraviť svoje požiadavky na pracovný čas a dni.

6.3 Databázová implementácia

Dátová vrstva aplikácie je postavená na relačnej databáze **SQL Server**, pričom komunikácia s databázou je zabezpečená pomocou ORM nástroja **Entity Framework Core**. Konkrétna konfigurácia databázy sa nachádza v súbore **Program.cs**, kde sa databázový kontext **AppDbContext** registruje do **Dependency Injection** kontajnera.

Databázové schéma je definované pomocou **C#** entít, ktoré sa mapujú na tabuľky v databáze. Použitý bol prístup **code-first**, kde sa najprv definuje štruktúra databázy v kóde. Následne nástroj **EF Core** automaticky vytvára a aktualizuje databázu. Migrácie, ktoré spravujú zmeny v štruktúre databázy, sú riadené pomocou nástroja **EF Core CLI**.

Medzi hlavné entity patria:

- **User** – reprezentuje používateľa systému, ktorý je zároveň súčasťou **Identity frameworku** (obsahuje meno, e-mail a priradené roly),
- **Shift** – definícia pracovnej zmeny, ktorá obsahuje dátum, čas a požadovanú pracovnú rolu,
- **EmployeeRole** – definuje typy pracovných rolí, ako napríklad čašník, kuchár, či manažér,
- **ShiftSwap** – predstavuje žiadosť o výmenu zmien medzi zamestnancami, ktorá umožňuje zamestnancom navzájom si vymeniť pridelené zmeny,
- **Vacation** – obsahuje informácie o dovolenke zamestnancov, vrátane dátumu začiatku, konca a typu dovolenky.

Zmena databázového modelu Databázový model sa v porovnaní s pôvodným návrhom mierne zmenil. Do modelu bola pridaná entita **ShiftSwap**. Naopak, entita **Company** bola odstránená, pretože nebola považovaná za nevyhnutnú pre fungovanie aplikácie v jej aktuálnej podobe.

Pri generovaní automatického rozvrhu sa údaje o zmenách a používateľoch načítavajú z databázy, následne sú spracované genetickým algoritmom, a výsledné priradenia sa opätovne ukladajú späť do databázy.

Kapitola 7

Testovanie

Testovanie je kľúčovým procesom v každom vývojovom cykle aplikácie, najmä v prípade nástrojov, ktoré majú priame využitie v pracovnom prostredí. Cieľom testovania je overiť, či aplikácia spĺňa očakávania používateľov, či je intuitívna a ľahko použiteľná, a či funguje správne aj pri reálnych podmienkach používania. Tento proces pomáha odhaliť potenciálne nedostatky, optimalizovať používateľský zážitok a zabezpečiť, že aplikácia bude efektívne podporovať každodenné operácie.

Testovanie sa delí na rôzne fázy, pričom v tejto sekcii sú popísané dve hlavné oblasti testovania: testovanie používateľského rozhrania a testovanie algoritmu generovania automatických rozvrhov. Testovanie používateľského rozhrania sa zameriava na interakciu používateľov s aplikáciou, zatiaľ čo testovanie algoritmu sa sústreďuje na technickú stránku generovania rozvrhov a optimalizáciu efektivity plánovania.

7.1 Testovanie používateľského rozhrania

Testovanie používateľského rozhrania zohráva kľúčovú úlohu pri overovaní použiteľnosti aplikácie a spokojnosti jej koncových užívateľov. Cieľom tohto testovania bolo zistiť, ako sa rôzne typy používateľov orientujú v aplikácii, ako intuitívne vnímajú jednotlivé funkcionality a ktoré prvky by si podľa nich zaslúžili vylepšenie.

Pre zabezpečenie reprezentatívneho pohľadu boli vybraní traja používatelia s odlišnými rolami v pracovnom prostredí a s rôznym stupňom skúseností s plánovacími nástrojmi. Každý z nich bol požiadaný, aby vykonal niekoľko konkrétnych úloh v aplikácii bez predchádzajúceho zaškolenia. Tieto úlohy boli navrhnuté tak, aby reflektovali reálne situácie, s ktorými sa môžu v pracovnej praxi stretnúť.

Použité úlohy

Z pohľadu manažéra:

- Vytvor zmenu pre kuchára na štvrtok a piatok.
- Vygeneruj rozvrh zmien pre nasledujúce 2 týždne.
- Prijmi žiadosť o absenciu.
- Vytvor novú rolu a prirad k nej zamestnancov.
- Uprav maximálny počet hodín za týždeň u zamestnankyne Jane.

Z pohľadu zamestnanca:

- Prirad sa na otvorenú rolu vo štvrtok.
- Nastav si, že preferuješ pracovať cez víkend.
- Nastav si, že nemôžeš pracovať v pondelok doobeda.
- Požiadať o dovolenku.
- Ponúkni svoju zmenu na výmenu kolegom.

Každému testerovi bola poskytnutá rovnaká verzia aplikácie a rovnaké vstupné podmienky. Po vykonaní úloh bol tester požiadaný, aby zhodnotil svoju skúsenosť s aplikáciou, pomenoval pozitíva a identifikoval potenciálne nedostatky.

Tester 1 – Radoslav (22 rokov, barman a čašník)

Skúsenosti a orientácia: Radoslav pracuje v gastro sektore a bežne využíva aplikáciu 7Shifts. V testovanej aplikácii sa orientoval relatívne rýchlo, najviac mu vyhovovala jednoduchosť výmeny zmien a požiadanie o absenciu.

Problémové miesta: Najväčší problém mu robilo vytváranie novej roly, ktoré musel dlhšie hľadať. Niektoré manažérske funkcionality boli menej intuitívne.

Návrh na zlepšenie: Navrhol zobrazovanie kontaktných údajov kolegov, ako telefonné číslo a zobrazenie svojho rozvrhu hneď po otvorení aplikácie. Keďže to je prvá vec čo vždy hľadá keď otvorí aplikáciu

Tester 2 – Martin (30 rokov, manažér baru)

Skúsenosti a orientácia: Martin má skúsenosti s organizovaním zmien a v aplikácii sa pohyboval sebavedomo. Bežne na tieto účely používa tabuľky v Exceli. Testoval aj nepožadované funkcionality.

Pozitíva: Jednoduchosť generovania rozvrhu, prehľadné rozhranie.

Problémové miesta: Dlhšie hľadal možnosť vytvoriť novú rolu, nerozumel značeniu „20/40h“ v rozvrhu.

Návrh na zlepšenie: Zobrazenie dostupnosti zamestnanca už pri manuálnej vytváraní zmeny a možnosť ponúknuť zmenu na výmenu priamo v rozvrhu.

Tester 3 – Laura (22 rokov, pracovníčka skladu)

Skúsenosti a orientácia: Laura pracuje na zmeny v GymBeam kde používajú vlastnú aplikáciu. V aplikácii sa orientovala rýchlo. Funkcionality pochopila bez vysvetlenia.

Problémové miesta: Vytvorenie novej roly bolo pre ňu ťažšie nájsť.

Pozitíva: Zobrazenie predchádzajúcich zmien a prehľad o odpracovaných hodinách v mesiaci.

Záver užívateľského testovania

Testovanie poukázalo na viacero spoločných poznatkov. Všetci testerí označili ako najmenej intuitívnu funkciu vytváranie novej roly. Naopak, generovanie rozvrhov a nastavovanie osobných preferencií bolo hodnotené pozitívne. Používatelia ocenili celkovú jednoduchosť rozhrania, zároveň však navrhli niekoľko menších úprav, ktoré by mohli zlepšiť prehľadnosť

a prístupnosť dôležitých funkcií. Spätná väzba zároveň poukázala na konkrétne oblasti, ktorých vylepšenie by mohlo zvýšiť používateľskú spokojnosť, najmä u menej technicky zdatných používateľov.

7.2 Testovanie algoritmu

Pri generovaní automatického rozvrhu bol použitý genetický algoritmus, ktorý bolo potrebné testovať a upravovať na základe výsledkov testovania. Počiatočne bol vytvorený jednoduchý chromozóm, kde jedinou podmienkou bolo, aby zamestnanci vyhovovali roli a zároveň neboli priradení na viac zmien súčasne.

Po vykonaní testovania sa zistilo, že pri menšom počte zamestnancov a zmien sa často vyskytoval problém s priradením zamestnancov, ktorí boli v daný čas na dovolenke alebo neboli dostupní. Preto bola do algoritmu pridaná podmienka, aby už pri generovaní prvej populácie boli vyfiltrované riešenia, v ktorých sú zamestnanci priradení k zmenám v dňoch, keď nemôžu pracovať.

7.2.1 Úprava fitness funkcie

Fitness funkcia sa počas testovania postupne upravovala. Pôvodne mala stanovené skóre 50 000, pričom hodnotenie tvrdých obmedzení sa pohybovalo okolo -2000 a mäkkých obmedzení v rozmedzí 100–200. Po testovaní sa však ukázalo, že mäkké obmedzenia boli v pôvodnom nastavení ignorované príliš, čo malo za následok neoptimálne generovanie rozvrhu. Z tohto dôvodu bola zvýšená váha mäkkých obmedzení, aby mali väčší vplyv na hodnotenie a výsledný rozvrh.

7.2.2 Úprava mutácie

Funkcia mutácie, ktorá spočívala pôvodne len vo výmene dvoch zamestnancov s rovnakou rolou, sa ukázala ako nedostatočná. Tento prístup mal za následok, že sa v niektorých prípadoch vymenili zamestnanci, ktorí už mali naplánovanú dovolenku alebo iné neaktívne dni. Aby sa predišlo zhoršeniu rozvrhu, bola pridaná podmienka, že mutácia nesmie viesť k vytvoreniu rozvrhu s porušením tvrdých obmedzení. Ak by k tomu došlo mutácia by sa zavolala na novo.

Týmto spôsobom bol algoritmus ďalej optimalizovaný, aby čo najlepšie vyhovoval požiadavkám na automatické generovanie zmien a maximalizoval efektivitu pri plánovaní.

Záver testovania

Na základe testovania sa dá povedať, že aplikácia v súčasnej podobe ponúka stabilné a funkčné riešenie na plánovanie pracovných zmien. Používateľské testovanie ukázalo, že väčšina dôležitých funkcií je jednoduchá na pochopenie a používatelia ich vnímali pozitívne. Rozhranie je intuitívne, no priestor na zlepšenie existuje najmä vo funkciách pre manažérov. Pri testovaní algoritmu sa ukázalo, že pôvodné nastavenia mali svoje silné aj slabé stránky. Na základe výsledkov sa upravila fitness funkcia aj spôsob, akým algoritmus mení rozvrh, aby lepšie zohľadňoval reálne potreby pri plánovaní. Tieto úpravy pomohli zlepšiť kvalitu vytvorených rozvrhov a lepšie rešpektovať preferencie aj obmedzenia zamestnancov. Celkovo testovanie potvrdilo, že aplikácia funguje dobre a má potenciál do budúcnosti.

Kapitola 8

Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť a implementovať systém na efektívne plánovanie pracovných zmien, ktorý zjednodušuje interakciu medzi manažmentom a zamestnancami. Vytvorená webová aplikácia prináša riešenie, ktoré využíva genetický algoritmus na automatizované generovanie optimálnych rozvrhov zmien.

Pri realizácii projektu sa podarilo vytvoriť aplikáciu, ktorá dokáže generovať rozvrhy zmien na základe rôznych kritérií, ako sú preferencie zamestnancov, ich dostupnosť a požiadavky na pracovné role. Implementácia genetického algoritmu umožnila vyhľadávať optimálne riešenia a dosahovať rovnováhu medzi tvrdými a mäkkými obmedzeniami, čo vedie k vytvoreniu spravodlivých a efektívnych rozvrhov.

Týmto riešením sa zjednodušil proces plánovania, znížil sa čas potrebný na tvorbu rozvrhu a zároveň sa zohľadnili individuálne preferencie zamestnancov, čo vedie k ich vyššej spokojnosti a motivácii. Zároveň manažérom umožňuje lepšiu kontrolu a flexibilitu pri úprave rozvrhov a riešení nečakaných situácií, ako sú absencie zamestnancov.

Počas implementácie sa objavili viaceré technické výzvy. Najväčšie problémy sa týkali optimalizácie bodovacieho systému v rámci genetického algoritmu, čo si vyžiadalo úpravu hodnotenia porušení rôznych obmedzení. Implementácia vlastnej mutácie zohľadňujúcej rolu zamestnancov tiež pomohla zabrániť vzniku nevalidných rozvrhov, čo výrazne zlepšilo efektivitu a kvalitu generovaných plánov zmien.

Ďalšie možnosti vývoja práce spočívajú najmä v oblasti rozšírenia funkcionality a zlepšenia užívateľského rozhrania. Ďalším krokom by mohlo byť aj rozšírenie funkcií pre hlbšiu analýzu dát, ako je predikcia pracovného zaťaženia na základe historických údajov.

Systém by sa mohol ďalej rozvíjať o podporu rôznych typov pracovných pomerov, čo by ho sprístupnilo širšiemu spektru firiem.

Výsledkom tejto práce je plne funkčný systém na automatizované plánovanie pracovných zmien, ktorý efektívne využíva genetický algoritmus. Tento systém prináša praktické výhody pre organizácie, ktoré potrebujú pravidelne prispôbovať pracovné rozvrhy zamestnancov, a to pri zachovaní spravodlivosti a optimalizácie dostupných zdrojov. Hlavným prínosom je nielen automatizácia, ale aj zlepšenie spokojnosti zamestnancov a zvýšenie produktivity práce.

Literatura

- [1] *Oxford English Dictionary*, s.v. "Scheduling (n.)". 2024. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/OED/8422353863>. Accessed March 2024.
- [2] AICKELIN, U. a DOWSLAND, K. A. An indirect Genetic Algorithm for a nurse-scheduling problem. *Computers Operations Research*. Elsevier BV, 2004, zv. 31, č. 5, s. 761–778. ISSN 0305-0548.
- [3] AMINDOUST, A.; ASADPOUR, M. a SHIRMOHAMMADI, S. A Hybrid Genetic Algorithm for Nurse Scheduling Problem considering the Fatigue Factor. *Journal of Healthcare Engineering*. Hindawi Limited, marec 2021, zv. 2021, s. 1–11. ISSN 2040-2295.
- [4] CAI, X. a LI, K. A genetic algorithm for scheduling staff of mixed skills under multi-criteria. *European Journal of Operational Research*. Elsevier BV, 2000, zv. 125, č. 2, s. 359–369. ISSN 0377-2217.
- [5] GLAZNER, L. K. Shiftwork: Its Effect on Workers. *AAOHN Journal*. SAGE Publications, september 1991, zv. 39, č. 9, s. 416–421. ISSN 0891-0162.
- [6] GONZALEZ, M. J. Deterministic Processor Scheduling. *ACM Computing Surveys*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM), sep 1977, zv. 9, č. 3, s. 173–204. ISSN 0360-0300.
- [7] HAN, K.; ZUO, R.; NI, P.; XUE, Z.; XU, D. et al. Application of a genetic algorithm to groundwater pollution source identification. *Journal of Hydrology*. Elsevier BV, október 2020, zv. 589. ISSN 0022-1694.
- [8] HAST, J. *Optimal Work Shift Scheduling: A Heuristic Approach*. Espoo, Finland, 2017. Master's Thesis. Aalto University.
- [9] JOHNSON, D. S. a MCGEOCH, L. A. The traveling salesman problem:: a case study. In: *Local Search in Combinatorial Optimization*. Princeton University Press, s. 215–310. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.2307/j.ctv346t9c.13>.
- [10] KATOCH, S.; CHAUHAN, S. S. a KUMAR, V. A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*. Springer Science and Business Media LLC, október 2020, zv. 80, č. 5, s. 8091–8126. ISSN 1573-7721.
- [11] KILBY, P. a SHAW, P. Vehicle Routing. In: *Handbook of Constraint Programming*. Elsevier, 2006, s. 801–836. ISSN 1574-6526.
- [12] MARSH, E. R. Research Notes. THE HARMONOGRAM OF KAROL ADAMIECKI. *Academy of Management Journal*. Academy of Management, jún 1975, zv. 18, č. 2, s. 358–364. ISSN 1948-0989. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.2307/255537>.

- [13] MITCHELL, M. *An Introduction to Genetic Algorithms*. Fifth printing. Cambridge: MIT Press, 1999. ISBN 0-262-63185-7.
- [14] MONTOYA, C. a MEJIA, G. Heuristic Algorithm for Workforce Scheduling Problems. *Brazilian Journal of Operations Production Management*, Január 2010, zv. 3.
- [15] MOSCATO, P. a SCHAERF, A. Local Search Techniques for Scheduling Problems– A Tutorial–, Január 1998.
- [16] PATRICK WEAVER, F. a FCIOB, P. A Brief History of Scheduling-Back to the Future. PM World Journal, 2014. Dostupné z: <https://pmworldlibrary.net/wp-content/uploads/2014/08/pmwj25-aug2014-Weaver-History-of-Scheduling-SecondEdition.pdf>.
- [17] SARASWATI, N. W. S.; ARTAKUSUMA, I. D. M. D. a INDRADEWI, I. G. A. A. D. Modified genetic algorithm for employee work shifts scheduling optimization. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, marec 2021, zv. 1810, č. 1, s. 012014. ISSN 1742-6596.
- [18] SARDJONO, W.; PRIATNA, W.; NUGROHO, D. S.; RAHMASARI, A. a LUSIA, E. Genetic Algorithm Implementation for Application of Shifting Work Scheduling System. *ICIC Express Letters*. ICIC International, 2021, zv. 15, č. 7, s. 791–802.
- [19] SMITH, B. M. *Bus Crew Scheduling Using Mathematical Programming*. Leeds, United Kingdom, 1986. PhD thesis. University of Leeds. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/43267.pdf>.
- [20] SWEILEH, W. M. Analysis and mapping of global research publications on shift work (2012–2021). *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. Springer Science and Business Media LLC, december 2022, zv. 17, č. 1. ISSN 1745-6673.