České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra počítačů
Studijní program: Softwarové inženýrství a technologie

Mobilní aplikace pro plánování lidských zdrojů

Mobile application for human resource planning

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala: Martina Kopecká
Vedoucí práce: Ing. Jiří Šebek
Rok: 2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kopecká** Jméno: **Martina** Osobní číslo: **487030**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra počítačů**

Studijní program: **Softwarové inženýrství a technologie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Mobilní aplikace pro plánování lidských zdrojů

Název bakalářské práce anglicky:

Mobile application for human resource planning

Pokyny pro vypracování:

Cílem této práce bude analyzovat problematiku plánování lidských zdrojů a systémy pro tento účel existující a navrhnnout vlastní mobilní aplikaci.
Tato aplikace by především měla umět zohlednit různé pracovněprávní vztahy zaměstnanců a jejich specializace, a na základě toho jim automaticky naplánovat směny (především pro zaměstnance na plný úvazek) nebo jim nabídnout možnosti, kdy pracovat (především pro zaměstnance na dohody).
Výstupem bude analýza, návrh UI a back-end a mobilní aplikace.

Seznam doporučené literatury:

- Lin, Dingding, et al. "Scheduling workforce for retail stores with employee preferences." 2015 IEEE International Conference on Service Operations And Logistics, And Informatics (SOLI). IEEE, 2015.
- Miwa, K., & Takakuwa, S. (2010, December). Optimization and analysis of staffing problems at a retail store. In Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference (pp. 1911-1923). IEEE.
- Zákon č. 261/2006 Sb., zákoník práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jiří Šebek, kabinet výuky informatiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.02.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2023**

Ing. Jiří Šebek podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

. _____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

.....
Martina Kopecká

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Jiřímu Šebkovi za všechny cenné rady, které mi k psaní této práce poskytl.

Děkuji také Davidu Klementovi za pomoc s jazykovou korekturou a Danielu Justizovi za pomoc s celkovou revizí.

Název práce:
Mobilní aplikace pro plánování lidských zdrojů

Autor: Martina Kopecká

Studijní program: Softwarové inženýrství a technologie
Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jiří Šebek

Abstrakt: Tato práce se věnuje návrhu mobilní aplikace pro plánování lidských zdrojů, především rozvrhování směn. V teoretické části jsou popsány základní rozhodující faktory a legislativní podmínky, které ovlivňují rozvrhování pracovních sil, a způsob, jakým lze jejich rozvrhování automatizovat. Je stanoven předpoklad o cílové skupině organizací, pro které by byla aplikace na rozvrhování směn vhodná, a o jejich požadavcích. Na tomto základě jsou popsána vybraná stávající softwarová řešení a je proveden rozbor možného nového řešení ve formě mobilní aplikace. V praktické části je představen vlastní triviální algoritmus na rozvrhování směn mezi zaměstnance a je popsán návrh aplikace včetně použitých technologií. Závěr je věnován uživatelskému testování aplikace a poznatkům z něj plynoucím.
Klíčová slova: Android, rozvrhování směn, mobilní aplikace, Ruby on Rails

Title:
Mobile application for human resource planning

Author: Martina Kopecká

Abstract: The objective of this bachelor thesis is to design a mobile application for human resource planning, mainly shift scheduling. The theoretical part describes main decision-making factors and legislative standards that influence workforce scheduling and methods for scheduling automatization. The author forms a hypothesis about target group of organizations that might use the application for shift scheduling and their requirements. According to this assumption, selected sofware solutions are described and an analysis of new solution is carried out. In the practical part, a trivial algorithm for shift scheduling is introduced and design of application is described, including description of used technologies. The final chapter of this thesis deals with user testing and its conclusions.
Key words: Android, shift scheduling, mobile app, Ruby on Rails

Obsah

Seznam použitých zkratek

API	Application Programming Interface
CSS	Cascading Style Sheets
DBMS	Database Management System
DPČ	Dohoda o pracovní činnosti
DPP	Dohoda o provedení práce
ERP	Enterprise Resource Planning
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
MVC	Model-View-Controller
MVP	Model-View-Presenter
MVVM	Model-View-ViewModel
OS	Operační systém
PaaS	Platform as a Service
REST	Representational State Transfer
RPC	Remote Procedure Call
SQL	Structured Query Language
XML	Extensible Markup Language

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam výpisů kódu

Úvod

Řízení lidských zdrojů je jednou z kritických součástí života každé organizace – úspěch stojí a padá na tom, že má organizace správné lidi na správném místě ve správném čase. Je tak potřeba, aby daná společnost měla dostatek dobře motivovaných a vhodně kvalifikovaných zaměstanců, které rozdělí tak, aby jí co nejvíce pomáhali. Tato práce si klade za cíl navrhnout uživatelsky přívětivou aplikaci, která by usnadnila jednu část tohoto rozsáhlého procesu – konkrétně rozvrhování směn mezi zaměstnance.

Tato práce v sobě kombinuje jak návrh softwarového systému pro rozvrhování směn, tak návrh rozvrhovacího algoritmu s cílem nalézt řešení pro alespoň malou část reálného problému, kterému může čelit jakýkoli manažer. Vycházelo se přitom ze zjednodušené představy menší společnosti (kavárny, restaurace nebo obchodu), jejíž interní procesy pro rozvrhování práce jsou nevhodně nastaveny. Rozvrh například sestavuje zaměstnavatel, jehož podpůrnými nástroji pro vícekriteriální manažerské rozhodování jsou papír a tužka, a prostředkem distribuce rozvrhu je nástěnka na pracovišti. Své procesy by chtěla organizace vylepšit nasazením software, aby ušetřila čas a zdroje a navíc i rozvrhla směny lépe. Cílem je navrhnout řešení ve formě mobilní aplikace, kterou by měli jak zaměstnanci, tak vedoucí neustále po ruce – vzhledem k rozvoji mobilní platformy a trendu růstu její oblíbenosti lze očekávat, že by taková aplikace mohla mít široké uplatnění.

Teoretická část této práce je věnována problematice plánování lidských zdrojů, procesu plánování pracovních sil, rozhodujícím kritériím plánování a platné české legislativě, která tento proces ovlivňuje. Prostor je věnován problému rozvrhování směn jako vícekriteriální rozhodovací úloze, která bývá v literatuře popisována jako *problém rozvrhování zdravotních sester* (angl. nurse scheduling problem). Jsou představeny vybrané teoretické metody, které lze využívat pro optimalizaci rozvrhu s řadou podmínek. Je provedena analýza systému z pohledu organizace, nejprve je vytvořena hypotéza ohledně aktuálního a cílového stavu, poté jsou představena některá již existující softwarová řešení, která by problém, jemuž daná firma čelí, mohla pomoci řešit. Na základě toho jsou sestaveny požadavky na nový systém, který by konkrétní potřeby uspokojil lépe, definováni jsou uživatelé (aktéři) a způsob jejich interakce se systémem (uživatelské příběhy).

V praktické části je popsána výsledná aplikace a návrh vlastního algoritmu. Je přiblížen výběr technologií pro vývoj aplikace a různé varianty, které připadají v úvahu. Blíže je popsán způsob, jakým jsou technologie využity pro implementaci jak backendu, tak mobilní aplikace. Také je popsán způsob, jakým se sestavují rozvrhy směn v tomto projektu, včetně popisu a vyhodnocení vlastního algoritmu, který byl na základě teoretických poznatků navržen. Závěrečná kapitola je věnována uživatelskému hodnocení aplikace, tedy zda vůbec navrhované řešení dává uživatelům smysl, jak aplikaci po vyzkoušení hodnotí, případně jaká navrhují zlepšení.

Část I

Teoretický rozbor

Kapitola 1

Analýza problematiky

Tato kapitola se věnuje problematice plánování lidských zdrojů, procesu plánování směn a platné české legislativě, která tento proces ovlivňuje.

1.1 Definice a terminologie

Řízení lidských zdrojů je definováno jako komplexní přístup k zaměstnávání a rozvíjení osob. Pojem v sobě obecně zahrnuje všechny aspekty toho, jak jsou osoby zaměstnány a řízeny v rámci organizace [5, s. 1], může se jednat jak o plánování pracovních sil a nábor nových zaměstnanců, tak i o jejich odměňování, školení nebo interní komunikaci mezi zaměstnanci. [5, s. 37]

Z hlediska této práce jsou důležité především pracovní síly a jejich plánování, tedy základní proces řízení lidských zdrojů, jehož smyslem je zajistit, aby společnosti pomáhal dosáhnout jejích cílů správný počet lidí se správnými schopnostmi, na správném místě, ve správném čase, za správnou cenu a ve správném pracovněprávním poměru. Mezi kroky tohoto procesu dle CIPD [11] patří:

- analýza aktuální personální situace,
- stanovení budoucích potřeb,
- identifikace současných nedostatků vzhledem k plánu do budoucna,
- provedení akcí k odstranění nedostatků,
- sledování a vyhodnocení dopadů akcí.

1.2 Rozhodující kritéria při plánování

1.2.1 Pracovní síly

V rámci organizace mohou existovat rozdíly mezi jednotlivými pracovníky. Jen část zaměstnanců tak bude pracovat na plný úvazek, jiní mohou pracovat méně hodin, například

pouze v nejvytíženějších dnech [30]. V případě těchto zaměstnanců, kteří pracují méně hodin (a ne vždy pravidelně), je třeba zohlednit různé typy pracovněprávních vztahů, čemuž bude věnován prostor dále v podkapitole 1.3. Individualitu zaměstnanců je třeba zohlednit i z důvodu rozdílů mezi jejich schopnostmi, případně kvůli odlišným preferencím.

1.2.2 Směny

Jednotlivé organizace se od sebe mohou lišit způsobem, jakým vypisují směny. Mohou tak existovat podniky, kde je rozvrh práce pravidelný a stejný pro všechny zaměstnance, ale i ty, kde je provoz dvousměnný, nebo i vícesměnný, tuto možnost připouští § 78 zákoníku práce [56]. Ve vícesměnném provozu může rozvrh být rotační (např. všichni zaměstnanci mají stejný základní rozvrh, pouze je začátek cyklu pro různé zaměstnance různě posunutý) nebo naopak necyklický, kde žádná pravidelnost neexistuje a sestavování rozvrhu je flexibilnější. [37]

Mezi organizace s pravidelně sestavovaným rozvrhem se nejčastěji řadí provozy, které fungují v nepřetržitém režimu (nemocnice, vězení, policejní služebny) nebo také obchody, restaurace a pobočky řetězců rychlého občerstvení. [7]

Nepravidelný rozvrh směn může mít pro zaměstnance nežádoucí zdravotní účinky, například Flo [17] uvádí, že zaměstnanci ve vícesměnném provozu trpí nespavostí více než zbytek populace, a to především v případě, že je mezi směnami kratší než 11hodinová přestávka.

1.2.3 Předpověď poptávky po personálu

Zaměstnanci musí plnit úkoly podle toho, jaké události nastanou. Tyto události se musí organizace snažit předpovídat, očekávanou poptávku (přibližný počet zaměstnanců, jejich očekávané kompetence [5, s. 219]) je třeba modelovat. [16].

Příkladem může být prodejce hraček, který na základě historických dat ví, že nejvíce zákazníků přichází před Vánoci, a předpokládá, že tomu tak bude i v následujícím roce. Na tuto událost bude reagovat tím, že se rozhodne rozšířit otevírací dobu. Tím celkově zvýší poptávku po personálu v daném období.

1.2.4 Cena

Dalším důležitým kritériem při plánování pracovních sil může být celková cena lidské práce a otázka její minimalizace při naplnění poptávky.

1.3 Legislativní podmínky

Hlavním právním předpisem, kterým se upravuje problematika pracovních sil, je v českém prostředí zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce, který upravuje vztahy vznikající při výkonu závislé práce mezi zaměstnanci a zaměstnavateli, tedy pracovněprávní vztahy [56].

Zaměstnavatel je dle § 38 zákoníku práce povinen přidělovat zaměstnanci práci podle pracovní smlouvy. Zaměstnanec je pak povinen podle pokynů zaměstnavatele konat osobně práci v rozvržené týdenní pracovní době.

1.3.1 Pracovní doba

Pracovní dobou se rozumí doba, v níž je zaměstnanec povinen vykonávat práci pro zaměstnavatele nebo je k tomu na pracovišti připraven. Doba odpočinku není součástí pracovní doby (§ 78).

Stanovená týdenní pracovní doba činí mimo výjimky 40 hodin (§ 79). Pracovní dobu rozvrhuje zaměstnavatel, který určuje začátek a konec směn, a to zpravidla do pětidenního pracovního týdne (§ 81). Délka směny nesmí přesáhnout 12 hodin (§ 83). U nezletilých zaměstnanců pak nesmí délka směny v jednotlivém dni překročit 8 hodin a v jednom týdnu 40 hodin.

Mezi zaměstnancem a zaměstnavatelem může být sjednána kratší pracovní doba (§ 80).

1.3.2 Rozvrh pracovní doby

Zaměstnavatel je dle § 84 zákoníku práce povinen vypracovat rozvrh týdenní pracovní doby a seznámit s ním nebo s jeho změnou zaměstnance nejpozději 2 týdny předem (mimo výjimky stanovené zákonem nebo v případě existence jiné dohody mezi zaměstnancem a zaměstnavatelem). Tento rozvrh musí být v písemné formě. Pracovní dobu je podle § 90 třeba rozvrhovat s ohledem na nepřetržitý odpočinek mezi koncem jedné směny a začátkem následující (pro zletilé zaměstnance alespoň 11 hodin, pro nezletilé zaměstnance alespoň 12 hodin, v zákonem stanovených výjimkách lze za určitých podmínek odpočinek zkrátit).

1.3.3 Směna, směnný provoz

Směnou se dle § 78 písm. c) zákoníku práce rozumí část týdenní pracovní doby bez práce přesčas, kterou je zaměstnanec povinen na základě předem stanoveného rozvrhu pracovních směn odpracovat.

1.3.4 Pracovní poměr

Pracovní poměr mezi zaměstnancem a zaměstnavatelem se podle § 33 odst. 1 zákoníku práce zakládá pracovní smlouvou, není-li v tomto zákoně stanoveno jinak. Zaměstnavatel má zajišťovat plnění svých úkolů především zaměstnanci v pracovním poměru (§ 74 odst. 1).

1.3.5 Dohody o pracích konaných mimo pracovní poměr

Mimo závislou práci na základě pracovní smlouvy mohou být mezi zaměstnancem a zaměstnavatelem uzavřeny dohody o pracích konaných mimo pracovní poměr (dohoda o provedení práce, dohoda o pracovní činnosti), § 77 zákoníku práce stanoví, že na práci konanou na základě dohod se vztahuje úprava pro výkon práce v pracovním poměru, nestanoví-li zákon jinak (dle odst. 2 tohoto paragrafu jde např. o pracovní dobu a dobu odpočinku nebo dovolenou). Podle § 74 přitom zaměstavatel není zaměstnancům na dohody povinen rozvrhnout pracovní dobu.

Dohoda o provedení práce se dle § 75 uzavírá nejvýše na 300 hodin v kalendářním roce, doba se u jednoho zaměstnavatele sčítá v případě, že je dohod uzavřeno více.

Práci na základě dohody o pracovní činnosti není možné vykonávat v rozsahu překračujícím v průměru polovinu stanovené týdenní pracovní doby za celou dobu, po niž je uzavřena, nejdéle však za 52 týdnů. Musí být sjednán rozsah pracovní doby a doba, na niž se sjednává (§ 76).

Kapitola 2

Rozvrhování směn

V této kapitole je prostor věnován rozvrhování směn jako rozhodovací úloze. Jsou přiblíženy možné formulace problému, omezující podmínky při rozvrhování směn. Je popsána cílová funkce, která určuje kvalitu řešení, a vybrané způsoby její optimalizace.

2.1 Problém rozvrhování směn

Problém plánování směn je jedním z rozvrhovacích problémů podobně jako sestavování jízdních řádů nebo školních rozvrhů, obecně je považovaný za velmi komplexní, a to i v případě, že se řeší jen jeho zjednodušená verze, například se jen rozvrhují volné dny a schopnosti zaměstnanců jsou homogenní. V rámci velkých organizací lze složitost problému snížit například tím, že na sobě nezávislé části mají samostatný rozvrh (např. v nemocnici by mohl být rozvrh ostrahy nezávislý na rozvrhu lékařů na patologii).

Teoretických problémů, které byly popsány v literatuře a které se týkají rozvrhování pracovních sil, existuje více druhů. Liší se dle podmínek a prostředí, jehož se bezprostředně týkají, často bývá popisováno například rozvrhování zdravotních sester.

Řešení totoho rozvrhovacího problému lze automatizovat více způsoby, které jsou vhodné v závislosti na jeho formulaci (pro více vizte podkapitolu 2.3). V jednoduchém případě může být možné jej interpretovat tak, aby odpovídal problému již známému a řešitelnému deterministickými metodami [8]. Výzkum tohoto problému se ale především zaměřuje na vývoj efektivních stochastických metod řešení [1]. Stochastické metody mohou tuto úlohu vyřešit v kratším čase, ale jejich výsledek je pouze přibližný.

Kellogg a Walczak [25] uvádějí, že se při řešení rozvrhovacího problému teorie a praxe příliš nesetkávají. V 78 % dotazovaných organizací se používalo alespoň částečné samoobslužné rozvrhování zaměstnanců, kterému se literatura tolik nevěnuje, kdežto metody jako tabu search nebyly použity vůbec.

Proces rozvrhování lze rozdělit na několik částí, které na sebe mohou, ale nemusí nutně navazovat. [16] Konkrétně se jedná o:

1. předpovídání poptávky po personálu,
2. rozvrhování volných dnů,
3. rozvrhování směn,

4. rozvrhování prací,
5. rozdělení úkolů,
6. přidělení osob.

2.2 Definice problému

Rozvrhování směn obecně řeší problém, že organizace má k dispozici N zaměstnanců, které je třeba rozdělit do S směn v D pracovních dnech, a to na základě sady podmínek, které se liší dle charakteru provozu.

2.3 Klasifikace

Formulace problému rozvrhování směn se od sebe mohou lišit, De Causmaecker a Berghe [12] jako příklad rozdělení uvádějí:

Základní charakteristiky

- Na jaké úrovni detailu se definují typy směn, schopnosti nebo pokrytí?
- Jak flexibilní jsou parametry?
- Jsou rozvrhy cyklické?

Cíle

- Je hlavním cílem optimalizovat, nebo jenom nějak rozhodnout?
- Optimalizuje se dle podmínek, počtu personálu nebo něčeho jiného?

Podmínky

- Kolik je omezujících podmínek?
- Jakého jsou omezující podmínky typu?
- Které omezující podmínky jsou zbytné a které nezbytné[1]?

Velikost problému

- Na jak dlouho se plánuje?
- Pro kolik zaměstnanců se rozvrh plánuje?
- Kolik je typů směn?

[1] K použité terminologii: anglická literatura používá pro omezující podmínky termíny *soft constraint* a *hard constraint*, lze nalézt i český překlad *měkká/tvrdá omezení*, autorka této práce však považuje termíny *zbytná/nezbytná podmínka* za lépe vyjadřující podstatu problému.

2.4 Podmínky

Rozvrhování směn závisí na takovém množství podmínek, že je obvykle není možné splnit všechny. Proto se také podmínky často musí před samotným řešením problému rozdělit na nezbytné (musí být splněny vždy) a zbytné (jejich splnění je žádoucí). [50] Pro každou zbytnou podmínku je vhodné stanovit její váhu. [10]

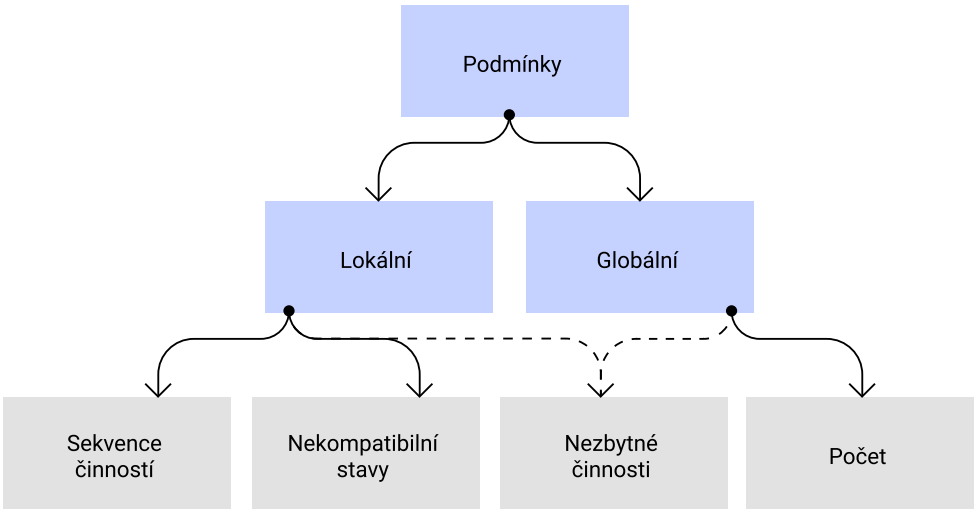
Podmínky se mohou týkat například:

- sekvence činností (např. po směně nemůže následovat 12 hodin další směna),
- počtu (např. zaměstnanec pracuje týdně 40 $\pm$ 8 h),
- nekompatibilních stavů (např. Alice nechce pracovat s Bobem),
- nezbytných činností (např. v daném dni je naplánována náročná operace srdce).

Dle rozsahu, tedy toho, zda je pro posouzení třeba znát celé řešení nebo stačí jen jeho podmnožina, je možné podmínky rozdělit na:

- globální (např. na každé směně by mělo být 6 zaměstnanců),
- lokální (např. Alice chce pracovat v pondělí ráno).

Rozdělení podmínek je naznačeno na obr. 2.1, nezbytné činnosti však nelze rozdělit z tohoto pohledu jednoznačně, mohou se týkat jak celého rozvrhu, tak jeho části. [8]



Obrázek 2.1: Rozdělení podmínek dle jejich rozsahu.

2.5 Matematická interpretace řešení

Řešení rozvrhovacího problému lze interpretovat jako trojrozměrnou binární matici $\boldsymbol{R}$, jejímiž parametry jsou zaměstnanec ($i \in E$, kde E je množina všech zaměstnanců), den ($j \in T$, kde T je množina všech dnů) a vypsaná směna ($k \in S$, kde S je množina všech

směn), jednotlivé hodnoty R_{ijk} jsou určeny funkcí 2.1. [51] Takto má smysl řešení interpretovat spíše v případě, že se obsazují striktně určené sloty pro směny.

$$R_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{zaměstnanci } i \text{ je v den } j \text{ přiřazena směna } k, \\ 0, & \text{jinak.} \end{cases} \tag{2.1}$$

Den →	**1**			**2**			**3**			**4**			...
Směna → Zam. ↓	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	...
1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	...
2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	...
3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	...
⋮		⋮			⋮			⋮			⋮		⋮

Tabulka 2.1: Příklad interpretace řešení dle funkce 2.1.

2.6 Cílová funkce

Cílová funkce je taková funkce, jejíž funkční hodnotu je cílem optimalizovat (minimalizovat nebo maximalizovat). V případě rozvrhování směn se může jednat o funkce vyjadřující rovnoměrnost obsazení směn, cenu lidské práce, porušené zbytné podmínky [8] či počet kontaktů mezi zaměstnanci (důležitý např. v případě epidemie) [57].

Například v případě optimalizace na základě vážených podmínek lze cílovou funkci formulovat jako rov. 2.2. Sankce za porušení nemusí být lineární, může jít i o konstantu či kvadratickou nebo libovolnou jinou funkci. [26]

$$f(\boldsymbol{x}) = \sum_{s=1}^{n} c_s \cdot g_s(\boldsymbol{x}), \tag{2.2}$$

kde $\boldsymbol{x}$ je dané řešení, n je počet zbytných podmínek, c_s je váha s-té podmínky (také lze tento údaj chápat jako sankci za její porušení) a $g_s(\boldsymbol{x})$ je počet porušení s-té podmínky v řešení $\boldsymbol{x}$. [6]

2.7 Deterministické optimalizační metody

Pro nalezení optimálního řešení mezi všemi možnostmi existuje celá řada metod – kromě vyčerpávajícího prohledání celého prostoru může jít například o matematické programování (např. lineární programování, cílové programování nebo dekompoziční metody). [52]

Tyto metody obecně mohou přinést optimální výsledky, avšak pro reálné použití je jejich model příliš jednoduchý [9], případně špatně škálovatelný, proto se jim tato práce věnuje jen okrajově.

2.7.1 Lineární programování

Úlohou lineárního programování je nalézt vektor $\boldsymbol{x}^* \in \mathbb{R}^n$ optimalizující hodnotu cílové funkce mezi všemi vektory, které splňují danou soustavu lineárních rovnic a nerovnic (kterým se zpravidla říká omezující podmínky nebo omezení). [35]

Celočíselné lineární programování je pro rozvrhování směn vhodné v jednoduchých případech, například když jsou pro všechny zaměstnance stanoveny stejné počty po sobě jdoucích pracovních dnů a volna a pro každý den je navíc stanoven minimální počet personálu. Cílem je optimalizovat počet zaměstnanců tak, aby byla naplněna poptávka. [43]

2.8 Heuristika

Většina stochastických metod vyskytujících se v literatuře je rozšířením tzv. metaheuristik, abstraktních metod pro řešení optimalizačních problémů upravených na problém rozvrhování směn. Narozdíl od deterministických metod řešení není zaručeno, že bude nalezeno optimální řešení, cílem je získat výstup, který je dost dobrý, a to v dostatečně krátkém čase (co konkrétně to znamená, závisí na požadavcích). Neprobíhá tak vyčerpávající prohledávání všech kombinací. [20]

Metody se dají rozdělit do dvou základních skupin – jedny iterativně rozšiřují částečné řešení, dokud není kompletně dokončeno (lokální vyhledávání), druhé pracují s platným řešením[2], které iterativně vylepšují (vylepšovací metaheuristiky). [52]

2.8.1 Výměna sousedících struktur

Za účelem vytvoření nebo vylepšení rozvrhu je obecně možné provádět řadu změn, dle Kletzandera a Musliu [26] jde například o:

- přidání či odebrání směny,
- výměnu směny za jinou,
- změnu typu směny,
- změnu či vytvoření posloupnosti směn,
- výměnu směn mezi zaměstnanci,
- zkrácení směny.

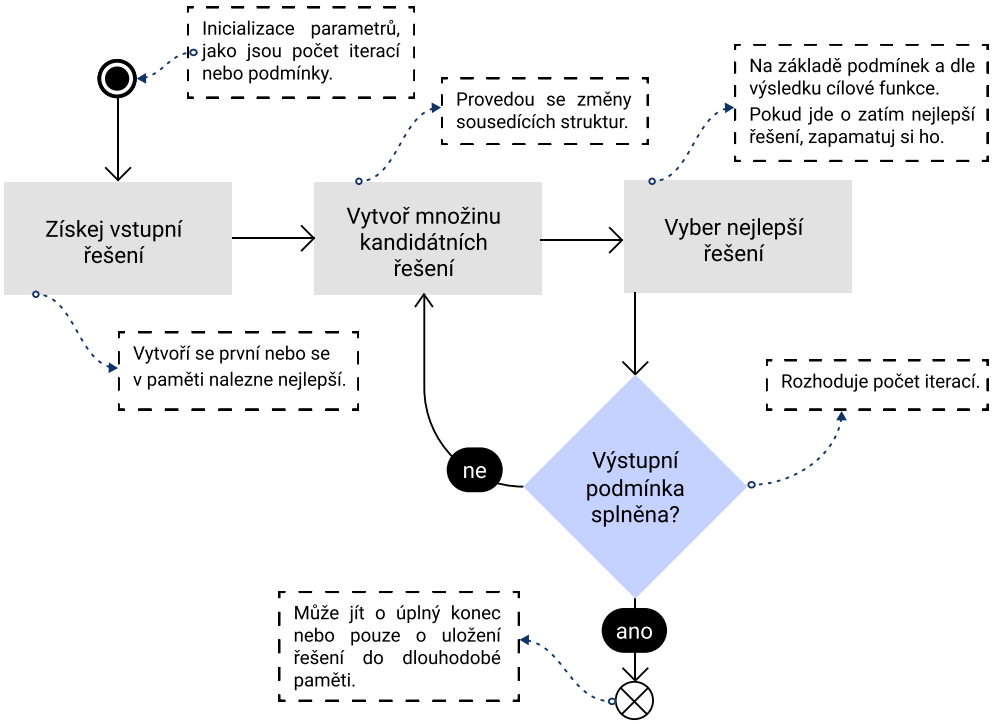
2.8.2 Tabu search

Tabu search je vylepšovací metaheuristika, jejímž principem je prohledávání okolí s ohledem na již nalezená řešení, která jsou zapovězená (tabu). Prohledávají se i nová řešení,

[2]Postup, jakým se první řešení vytváří, závisí na nezbytných podmínkách, které jsou na rozvrh kladeny. Podmínky se při různých formulacích problému mohou lišit, proto nejsou konkrétní metody pro nalezení prvního řešení považovány za relevantní z hlediska obsahu této práce. Může se jednat například o částečně cyklické sestavení rozvrhu, které uvádí Ramli et al. [40].

která mohou být horší, aby průzkum pokračoval i po nalezení lokálního minima cílové funkce. Základem je existence dvou druhů paměti – krátkodobé (obsahuje naposledy navštívená řešení) a dlouhodobé (obsahuje frekvenci návštěv). [29]

Vytváření a vylepšování řešení probíhá způsobem dle obr. 2.2 tak, aby byly splněny nezbytné podmínky. Prohledávání prostoru probíhá v blízkém sousedství řešení, které je omezeno tak, aby se řešení nezacyklilo. Jsou určeny zapovězené kroky – tabu – v krátkodobé paměti, aby nebyla procházena stále stejná, dále již cílovou funkci nezlepšující řešení. Zapovězené kroky lze učinit pouze tehdy, když řešení s nimi splňuje aspirační kritéria. [19]



Obrázek 2.2: Metaheuristika tabu search.

Algoritmus začíná inicializací řešení částečně náhodným způsobem tak, aby řešení neporušovalo nezbytné podmínky. Vylepšování referenčního řešení probíhá pomocí výměny sousedících struktur (dle podmínek např. výměna posloupnosti směn mezi dvěma zaměstnanci). [40]

2.8.3 Genetický algoritmus

Genetický algoritmus je vylepšovací metaheuristika inspirovaná genetikou – používají se operace zvané selekce chromozomů (výběr těch řešení, které budou v další generaci), křížení (náhodná kombinace částí dvou řešení) a mutace (náhodná změna chránící před předčasnou konvergencí).

Narozdíl od tabu search se v genetickém algoritmu prohledává větší množina řešení – začíná se s počáteční populací řešení, v níž se selektují nejlepší řešení, která se dále mezi sebou kříží (kombinace náhodných částí), případně nahodile mutují. Algoritmus končí, pokud řešení konverguje – už se ho dlouhou dobu nepodařilo vylepšit. [33]

Tento přístup lze aplikovat na rozvrhování směn například tak, že se jako chromozom kóduje kombinace dne, směny a zaměstnance. [32]

Kapitola 3

Analýza systému

Tato kapitola se věnuje popisu požadavků na nový systém z hlediska organizací cílové skupiny. Prostor je věnován rozboru vybraných stávajících softwarových řešení. Na jejich základě jsou popsány požadavky na nový systém a způsob interakce uživatelů se systémem.

3.1 Cílová skupina

Aby bylo možné stanovit požadavky na aplikaci, byl vytvořen předpoklad o cílové skupině organizací, pro je tento systém určen. Jedná se o menší firmu, případně malý tým v rámci větší firmy o 10 až 20 zaměstnancích, která podniká v nekritickém vícesměnném provozu (např. jedna pobočka řetězce rychlého občerstvení, restaurace nebo obchod). Firma zaměstnává jak pracovníky s pracovní smlouvou, tak brigádníky na DPP/DPČ, takže řeší problém s rozvrhováním směn. Stávající způsob je z pohledu vedení firmy i samotných zaměstnanců neefektivní například z následujících důvodů:

- brigádníci si musí směny domlouvat osobně,
- rozvrh je pověšen pouze na nástěnce,
- rozvrh se sestavuje manuálně,
- nedodržuje se týdenní pracovní doba,
- rozvrh je sestaven dle osobních preferencí vedoucího.

3.2 Požadavky z pohledu organizace

Následující požadavky definují, jaké základní funkce by měl tento systém mít, a to především z pohledu organizace, která by jej využívala (jedná se o požadavky s vysokou mírou abstrakce). Vychází se z představy popsané výše, tedy že tento software je určen pro nasazení ve firmě, která momentálně není schopna efektivně připravovat rozvrhy směn a chtěla by ušetřit čas a zdroje, které na sestavení rozvrhu vynakládá.

B1. Systém umožní distribuci rozvrhů směn k zaměstnancům.

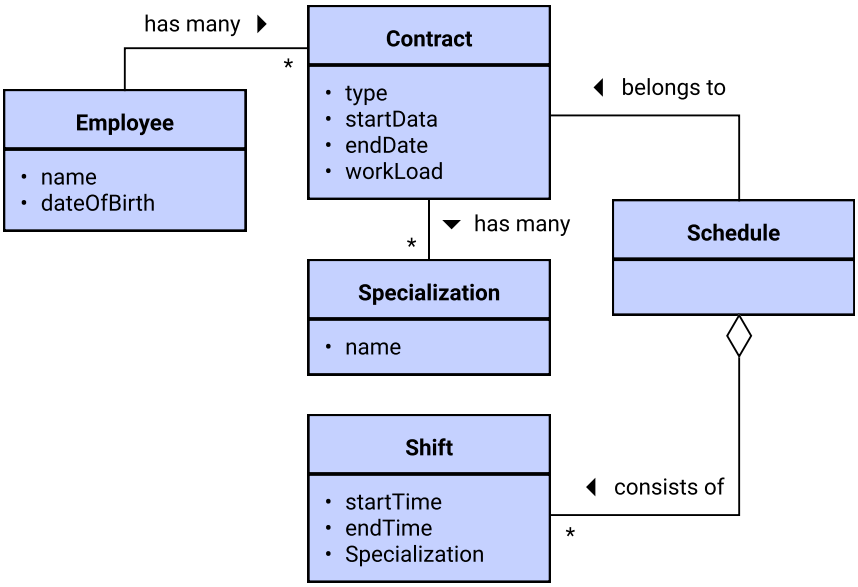
B2. Systém umožní zápis směny zaměstnanci na DPP/DPČ.

B3. Systém vytvoří rozvrh směn na základě požadavků organizace.

B4. Systém bude automaticky dohlížet na dodržování legislativy.

3.3 Doménový model

V diagramu 3.1 je definován předpokládaný doménový model firem cílové skupiny, který znázorňuje skutečnost, že ve firmě pracují zaměstnanci, kteří mají se zaměstnavatelem uzavřeny smlouvy nebo dohody a kterým jsou do jejich rozvrhu přiřazeny směny. Bližší popis jednotlivých entit doménového modelu je součástí přílohy A.



Obrázek 3.1: Doménový model.

3.4 Analýza existujících řešení

Tato podkapitola se věnuje popisu již existujících nástrojů pro plánování lidských zdrojů. Jedná se o komerční software, který byl otestován v demoverzi. Vzhledem k tématu této práce byly hlavními sledovanými aspekty mobilní aplikace pro zaměstnance a způsob rozvrhování směn.

Tyto systémy lze zařadit do kategorie tzv. informačních systémů pro řízení lidských zdrojů, jejichž úkolem je obecně jak automatizovat, tak podporovat strategické rozhodování na základě dat. [27]

Byly vybrány informační systémy pro plánování lidských zdrojů, které alespoň částečně odpovídají uvedeným požadavkům z pohledu organizací – podporují samoobslužné sestavování rozvrhů, a případně i tvorbu rozvrhů nějakým způsobem automatizují. Alternativou těchto systémů mohou být komplexnější systémy ERP a jejich modul pro plánování lidských zdrojů.

3.4.1 Tamigo

Aplikace Tamigo[1] je určena pro použití v pohostinství, maloobchodě, zdravotnictví aj. [48] Organizacím je nabízena v několika variantách, které jsou zpoplatněny podle množství podporovaných funkcí (jedná se např. o rozpisy směn všech zaměstnanců, výkazy práce, správu absencí, správu mezd a smluv zaměstnanců, evidenci příchodů a odchodů) a počtu zapojených zaměstnanců. Mezi součásti tohoto produktu patří webové rozhraní i mobilní aplikace (přestože jde o nativní aplikaci, v testované verzi fungovala pouze v případě, že je uživatel připojen k síti). Uživatelské role jsou v tomto systému administrátor, manažer a zaměstnanec.

Systém umožňuje manažerům vytvářet rozvrh, částečně je tento proces manuální, částečně lze rozvrh vygenerovat na základě šablon, které si manažer předem připraví (např. obvyklá pracovní doba pro jednotlivé zaměstnance).

Zaměstnanec si může aktualizovat osobní data, zobrazit osobní rozvrh směn, žádat o dovolenou a sledovat stav jejího čerpání, zobrazit výkaz práce pro výplatní období, aj.

3.4.2 Tanda

Na podobném principu jako aplikace Tamigo pracuje i aplikace Tanda[2]. Automatické rozvrhování funguje na principu šablon – rozvrh se tedy vytvoří jednou a následně se opětovně používá [49].

I tento systém má jak webové, tak mobilní rozhraní, obojí pro zaměstnance i vedoucí. Mobilní rozhraní nepodporuje ani čtení dat v případě, že uživatel není připojen k síti.

3.4.3 When I Work

Aplikace When I Work[3] má také webové i mobilní rozhraní. Rozvrhování zde funguje manuálně nebo na základě šablon, aplikace v placené verzi [55] však podporuje i automatické přiřazení volných směn k vhodným zaměstnancům (v potaz při rozvrhování bere pracovní pozici, již existující směny, požadavky na volno a další filtry). [54] Mobilní aplikace umožňuje zaměstnancům zadat, kdy by chtěli pracovat nebo kdy jsou nedostupní. Ani tato aplikace nefunguje bez připojení k síti.

3.4.4 Shrnutí

Vyzkoušené informační systémy se v principu příliš neliší a nabízejí podobné základní prvky (mobilní a webové rozhraní; uživatelské role; správa mezd, docházky, rozvrhů). Společné mají i to, že žádná z aplikací neimplementuje ani částečný režim pro použití bez připojení k síti, což může být pro uživatele v některých situacích nepříjemné (zdá se, že mobilní aplikace nebyly tvůrci považovány za prioritní v porovnání s webovým rozhraním). Liší se však způsobem, jakým rozvrhují směny – největší automatizaci zde poskytuje aplikace When I Work. Dalším rozdílem může být uživatelská přívětivost, její hodnocení však není z hlediska této práce relevantní.

[1] `https://www.tamigo.cz/`
[2] `https://www.tanda.co/`
[3] `https://wheniwork.com`

3.5 Požadavky na systém

Na základě požadavků ze strany organizace a po otestování podobných aplikací byly stanoveny požadavky na funkce nového systému, které byly rozděleny do několika kategorií podle cílového uživatele. Při implementaci systému na plánování směn je žádoucí, aby byl dohled nad dodržováním pracovněprávních předpisů, především těch, které uvádějí kvantitativní údaje, automatizován, proto jsou rovněž uvedeny požadavky vyplývající z analýzy legislativy (podkapitola 1.3).

Uživatelé

U1. Systém bude personalizovaný podle potřeb daného uživatele.

Zaměstnanci

Z1. Systém umožní zaměstnancům náhled do jejich rozvrhu.

Z2. Systém umožní zaměstnancům na DPP/DPČ zápis na směnu.

Organizace

O1. Systém umožní registraci nových organizací.

O2. Systém umožní přidávání nových zaměstnanců.

O3. Systém umožní automatické přiřazení směn.

O4. Systém umožní plánování směn na následující týdny.

O5. Systém umožní náhled na rozvrh zaměstnanců.

Legislativa

L1. Systém umožní náhled do osobního rozvrhu nejméně 2 týdny předem.

L2. Systém umožní zaměstnancům na DPP odpracovat nejvýše 300 hodin v kalendářním roce.

L3. Systém umožní zaměstnancům na DPČ odpracovat nejvýše 20 hodin týdně v průměru 52 týdnů.

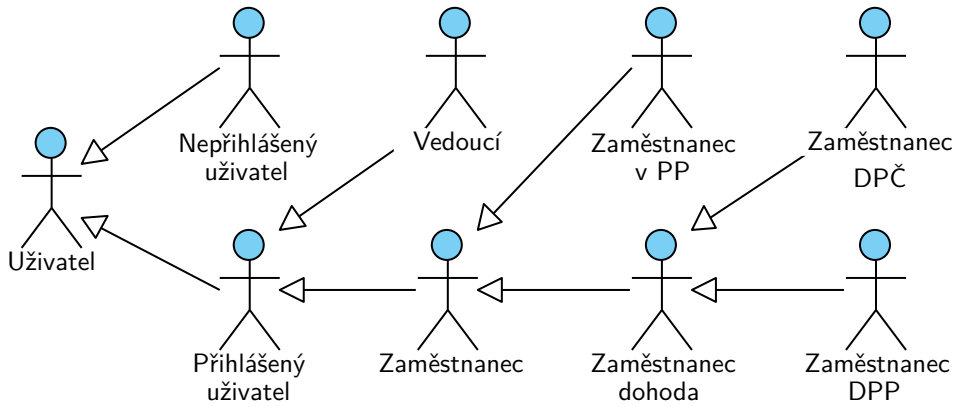
L4. Systém rozvrhne směny s ohledem na 40hodinovou týdenní pracovní dobu a úvazky jednotlivých zaměstnanců.

3.6 Aktéři, uživatelské role

Jedním z hlavních cílů systému na plánování směn je informovat každého zaměstnance o jeho směnách, proto bude systém personalizován pomocí uživatelských účtů. Vstupní operací bude přihlášení, správce organizace by měl mít možnost registrovat nové uživatele.

Přihlášení uživatelé se dělí na zaměstnance a vedoucí. Vedoucí je zodpovědný za rozvrhování pracovní doby a měl by mít celkový přehled o rozvrhu směn i možnost do něj zasáhnout.

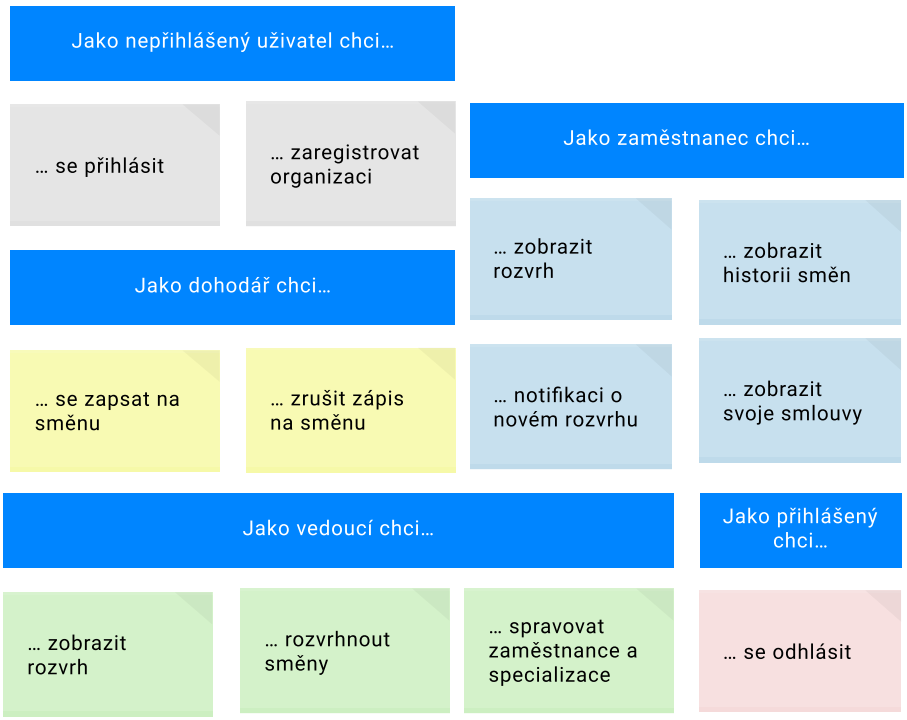
Jednotliví zaměstnanci v systému mohou být různými aktéry (vizte obr. 3.2), především na základě pracovněprávního vztahu (na základě podkapitoly 1.3 jde o zaměstnance v pracovním poměru, zaměstnance na DPP a zaměstnance na DPČ), důvodem je, že systém s nimi bude interagovat odlišně. Rozhodujícím faktorem není to, zda má zaměstnanec plný nebo zkrácený úvazek, v obou případech platí stejné podmínky a liší se jen týdenní pracovní doba, stejně tak nezáleží na tom, zda je zaměstnanec nezletilý.



Obrázek 3.2: Diagram aktérů.

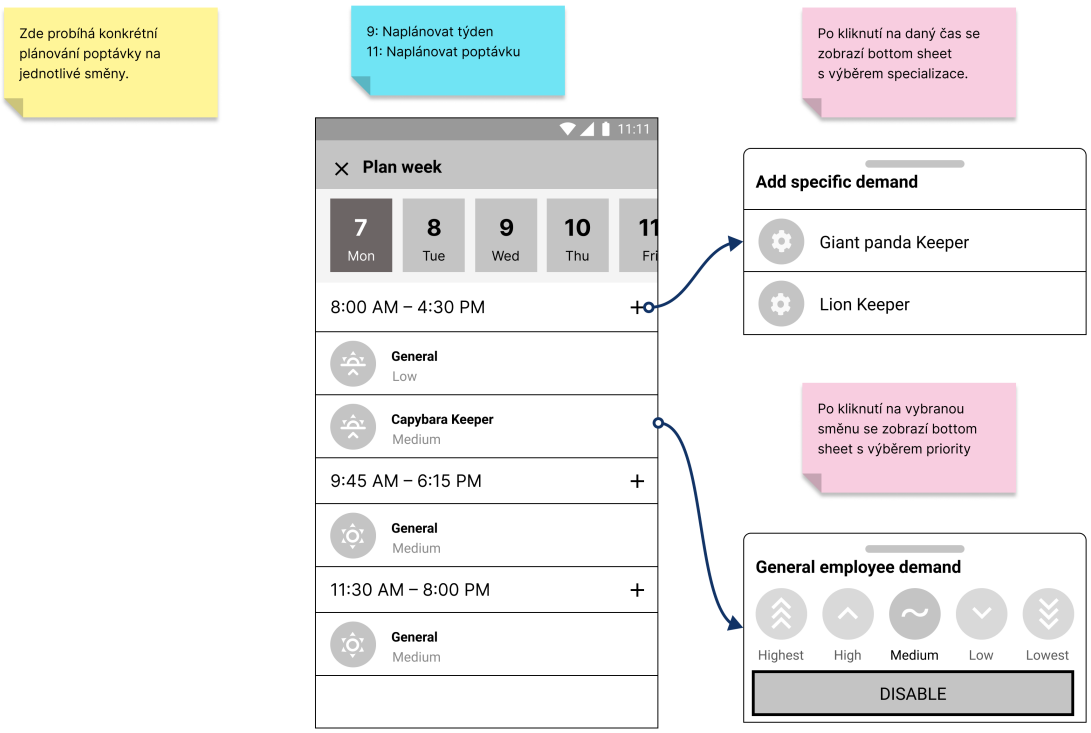
3.7 Uživatelské příběhy

Pro analýzu systému z pohledu uživatelské interakce byl zvolen neformální způsob inspirovaný uživatelskými příběhy[4], jehož hlavní výhodou je užití běžného jazyka. Přehled uživatelských příběhu ve zjednodušené podobě je na obr. 3.3, jejich podrobnější mapa je součástí přílohy A. Součástí přílohy A jsou i nákresy uživatelského rozhraní včetně popisu, pro ukázku vizte obr. 3.4.

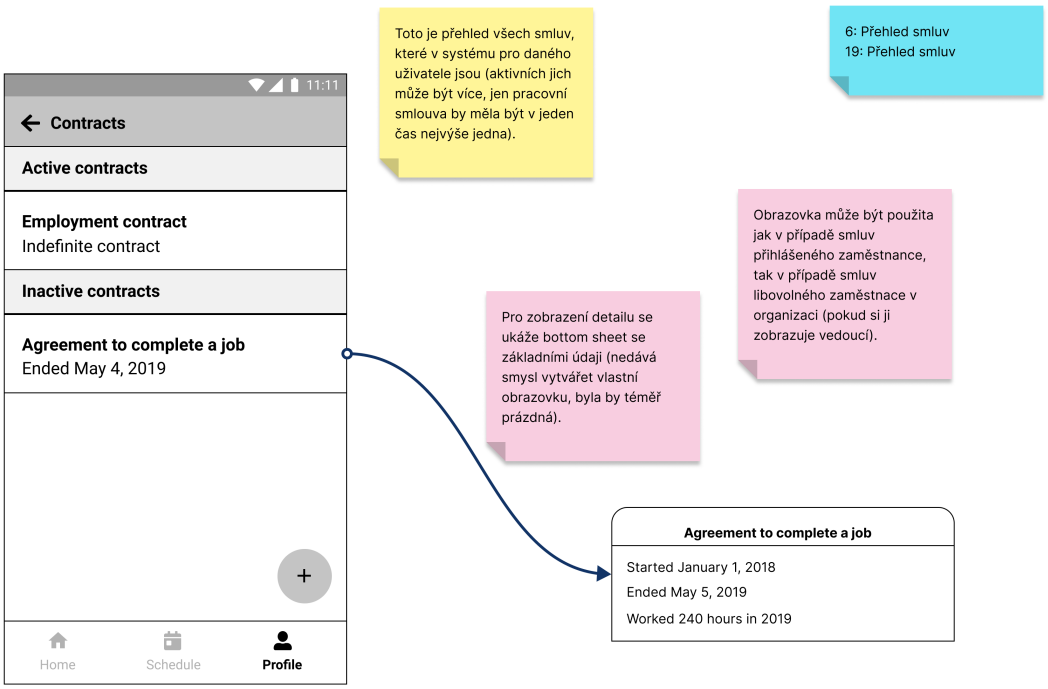


Obrázek 3.3: Zjednodušený přehled uživatelských příběhů.

[4] anglicky user stories



(a) Obrazovka pro úpravu poptávky.



(b) Obrazovka se seznamem smluv.

Obrázek 3.4: Ukázka nákresů uživatelského rozhraní.

Část II

Implementace

Kapitola 4

Výběr technologií

V této kapitole je přiblížen proces výběru technologií pro uživatelské rozhraní a backend aplikace.

4.1 Technologie pro uživatelské rozhraní

V případě, že by byla aplikace určena k nasazení v produkčním prostředí, připadaly by v úvahu nejméně dva přístupy – mobilní a webová aplikace.

4.1.1 Webová aplikace

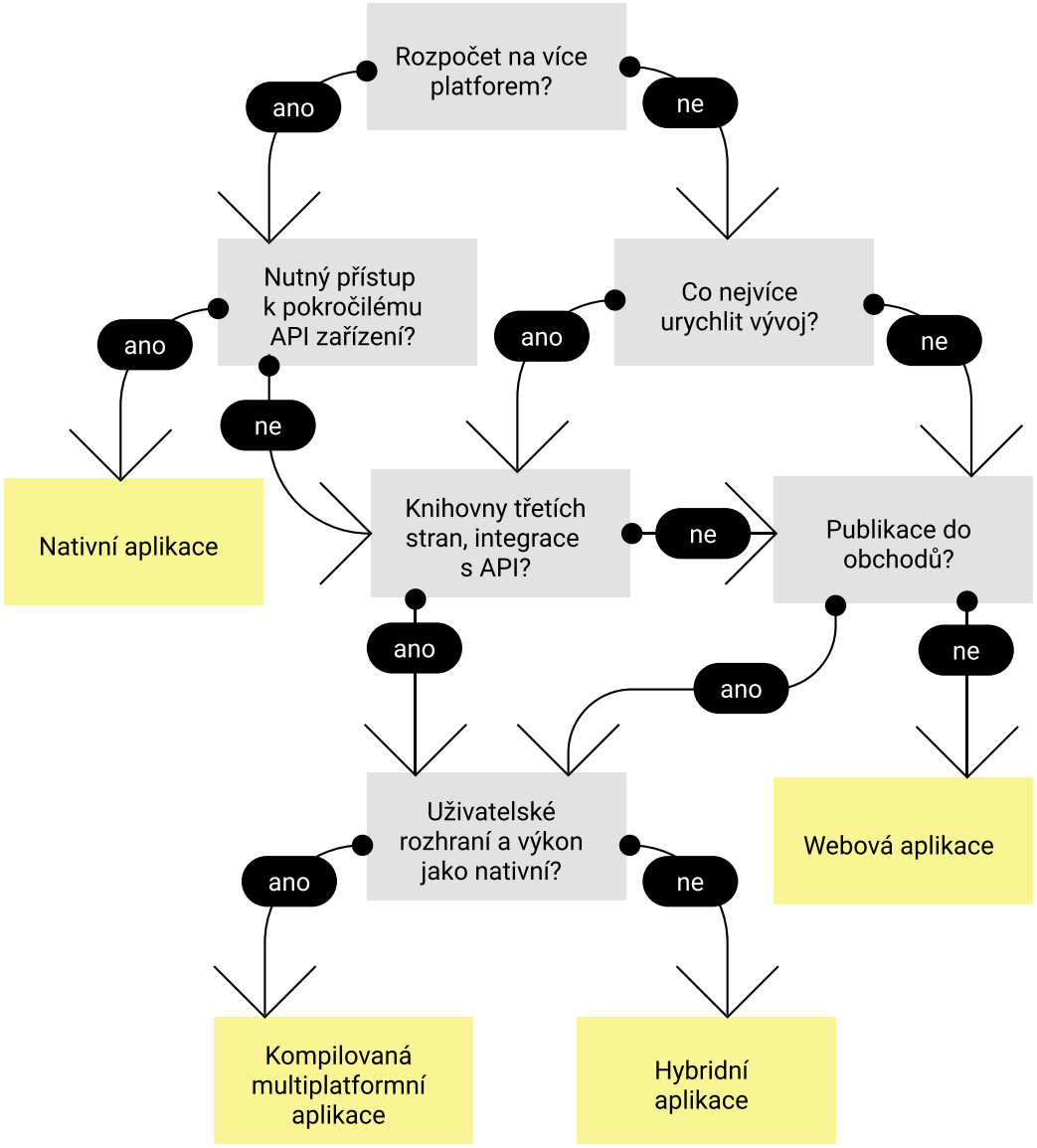
Pro použití webové aplikace hovoří fakt, že ji není třeba žádným způsobem instalovat a stačí prosté zadání adresy do internetového prohlížeče. Z podstaty věci webová aplikace multiplatformní, lze ji zobrazit na počítači, tak na mobilním zařízení. Jedná-li se o responzivní aplikaci, může být uživatelsky přívětivé i její použití na menší obrazovce. Nevýhodami jsou omezené možnosti při implementaci režimu pro použití bez připojení k síti i to, že z hlediska rychlosti se nativním mobilním aplikacím nevyrovnají. [46]

4.1.2 Mobilní aplikace

Vyplývá-li podpora mobilní platformy z požadavků, ilustruje další rozhodování o způsobu implementace strom na obrázku 4.1 (vychází z [36]), především ale záleží na prioritách toho, kdo danou aplikaci chce uvádět na trh.

Oproti responzivním webovým aplikacím mají nativní aplikace výhodu, že mohou jednoduše přistupovat k API, které poskytuje zařízení, na němž jsou nainstalované, tedy mohou snadno získat přístup například k fotoaparátu či poloze zařízení. Také lze na zařízení jednoduše přijímat notifikace, i když je aplikace na pozadí. Nativní aplikace mohou být vhodné i pro použití bez připojení k síti, aplikace může mít lokální databázi.

Nevýhodou pro uživatele může být, že se aplikace musí instalovat na zařízení. S tím souvisí i o něco složitější způsob distribuce. V případě, že je možné zveřejnit aplikaci v obchodech (Google Play, App Store), musí projít schvalovacím procesem, což může trvat několik dní. Zveřejnění nemusí být vždy úspěšné, například v případě, že aplikace



Obrázek 4.1: Rozhodovací strom pro vývoj na mobilní zařízení.

obsahuje nevhodný obsah, narušuje něčí autorská práva nebo nevhodným způsobem zpracovává osobní údaje uživatelů. Je třeba uvádět, jaká oprávnění pro přístup k mobilním API aplikace požaduje (SMS, kontakty, poloha, soubory, aj.). [21].

Při výběru konkrétního způsobu implementace mobilní aplikace pak existuje několik dalších rozhodovacích situací, především výběr podporované platformy.

Platforma

Na trhu s chytrými mobilními zařízeními jsou dvě dominantní platformy, Android (podíl na trhu celosvětově 72 %) a iOS (podíl na trhu 27,5 %) [45]. Nevýhodou rozšířenějšího Androidu oproti iOS je fragmentace, tzn. existence velké řady různých zařízení, která je třeba podporovat. Nevýhodou iOS je obecně menší flexibilita při vývoji. Pro účely této práce je podporována pouze platforma Android.

Způsob vývoje

Je-li nezbytné podporovat více platforem, je možné vyvinout aplikaci multiplatformně, hybridně, případně pro každou platformu zvlášť.

Multiplatformní vývoj umožňuje nasazení jedné aplikace na více platformách. Kód je pro všechny platformy sdílený, jádro aplikace tedy není třeba duplikovat, to může i snížit náklady na vývoj.

Problémem při multiplatformním vývoji je omezený přístup k aplikačnímu rozhraní a hardware daného zařízení, omezené možnosti při používání knihoven specifických pro platformu nebo složitější vývoj uživatelského rozhraní tak, aby odpovídalo konvencím pro všechny platformy. [34] Používají se frameworky jako Flutter (jazyk Dart), React Native (JavaScript) nebo Xamarin (C#).

Vývoj pro danou platformu umožňuje plné využití všech součástí zařízení. Co se přístupu k hardware, výkonu a uživatelské přívětivosti týče, mají nativní aplikace nad multiplatformními převahu, jejich vývoj je však dražší. [13]

Hybridní vývoj je kombinací webové a nativní mobilní aplikace – použijí se standardní technologie pro vývoj webových aplikací (HTML, CSS, JavaScript) a webový prohlížeč v nativní aplikaci zobrazí výsledné stránky. Hlavní výhodou tohoto přístupu je cena, rychlost vývoje a jednodušší správa. Stinnou stránkou je menší uživatelská přívětivost, omezený přístup k API zařízení nebo nižší výkon v porovnání s plně nativní aplikací. [14]

Programovací jazyk

Pro nativní vývoj na platformu Android lze vybrat nejméně ze dvou možností, a to Javy a Kotlinu. Oficiální podporu ze strany Google má moderní jazyk Kotlin, který je pro použití v nových projektech doporučen. [28]

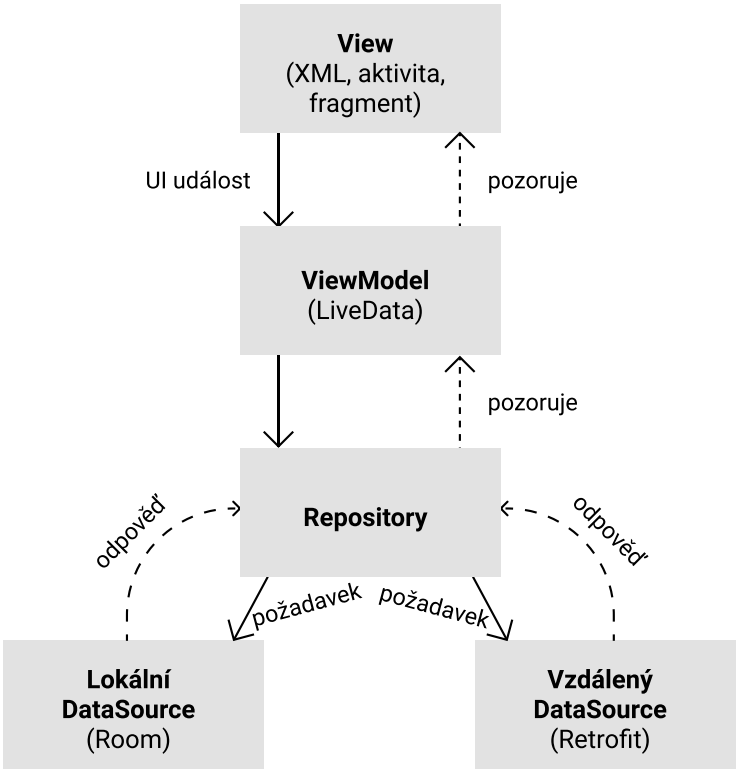
Mezi hlavní výhody Kotlinu oproti Javě patří null-safety (bezpečné volání na objektech, které mohou nabývat hodnotu `null`), coroutines (odlehčená verze vláken pro asynchronní operace) nebo Kotlin Extensions (knihovny nejrůznějších funkcí usnadňující vývoj obecně i specificky pro Android). [4]

Obdobné rozhodování může probíhat i v případě platformy iOS, pro kterou se nabízí použití Swiftu nebo starého jazyka Objective-C. Ze strany Apple je doporučena moderní varianta (Swift), protože aplikace jsou rychlejší a vývoj snazší. [24]

Architektonický vzor

Standardním architektonickým vzorem používaným při vývoji aplikací pro Android je MVVM. [2]. Aplikace má tři vrstvy, které spolu komunikují způsobem naznačeným na obr. 4.2. Hlavním cílem je oddělit prezentační vrstvu od aplikační logiky. [44]

MVVM vychází ze staršího architektonického vzoru MVP, Presenter je podobný jako ViewModel, hlavním rozdílem je, že Presenter si drží referenci na View (relace mezi View a Presenter je 1:1) a řídí, kdy se má View aktualizovat, kdežto ViewModel neví, jaký View



Obrázek 4.2: Komunikace mezi vrstvami v MVVM.

ho pozoruje a relace mezi View a ViewModelem je 1:n. [53] Nadstavbou nad MVVM je tzv. clean architecture, která zaručuje ještě větší oddělení prezentační vrstvy a aplikační logiky (aplikace se rozděluje do více modulů, nejčastěji nazvaných Presentation, Domain a Data). [23]

Vzhledem k předpokládané velikosti projektu byl zvolen doporučený architektonický vzor MVVM.

4.1.3 Shrnutí

Jako nejvhodnější by se v případě produkčního nasazení této aplikace jevilo zkombinovat dva přístupy, tedy mít uživatelské rozhraní ve formě aplikace jak webové, tak podpůrné mobilní. Tento přístup byl také zvolen v případě většiny podobných řešení (podkapitola 3.4). V této práci byla implementována pouze jedna část, a to mobilní aplikace, neboť důraz byl kladen především na pohodlí zaměstnanců, kteří chtějí mít svůj rozvrh po ruce co nejrychleji.

Mobilní aplikace byla vyvinuta jako nativní aplikace pro Android. V produkčním prostředí by bylo žádoucí uživatele iOS nediskriminovat a aplikaci jim také nabídnout. Z důvodu rozšíření podpory pro iOS by bylo vhodné zvážit použití multiplatformního frameworku, rozhodující by byly plány na budoucí vývoj, případně i finance. Pro vývoj byl použit programovací jazyk Kotlin, protože se jedná o moderní programovací jazyk, který je pro vývoj pro Android nejvhodnější. Aplikace byla navržena dle zásad architektonického vzoru MVVM.

4.2 Technologie pro backend

Backend byl vyvinut jako webová aplikace. V této podkapitole je prostor věnován konkrétnímu výběru technologií – webového frameworku, aplikačního rozhraní a databáze.

4.2.1 Webový framework

Webové frameworky, tj. knihovny zdrojových kódů připravené pro tvorbu webových aplikací, především jejich serverové strany, se standardně používají pro zjednodušení vývoje a nasazení aplikací. Ať už jsou napsány v kterémkoliv programovacím jazyce (může jít např. o PHP, Javu, Ruby nebo Python), standardními součástmi jsou perzistence dat, autentizace uživatelů, správa sezení nebo šablony pro uživatelské rozhraní. Společnou mají také podporu pro architektonický vzor MVC. [15]

Z množství variant, které se nabízejí, byl zvolen framework Ruby on Rails (v jazyce Ruby), a to především z důvodu, že slibuje výrazné usnadnění vývoje. Tento framework má dvě hlavní zásady – Don't Repeat Yourself[1] (kód by měl být znovupoužitelný bez zbytečného opakování) a Convention Over Configuration[2] (aplikace je nakonfigurována dle konvencí a vývojář tak nemusí trávit čas psaním konfiguračních souborů). [39]

4.2.2 Aplikační rozhraní

Pro komunikaci s dalšími aplikacemi musí aplikace vnějšku poskytnout své aplikační rozhraní. Za tímto účelem existuje několik možností, které jsou vhodné pro různé případy (např. REST, SOAP, GraphQL, gRPC). Tyto způsoby implementace se mohou od sebe lišit například formátem přenosu (binární [22], textový [42]).

Pro účely tohoto projektu se jako optimální varianta jeví použití REST API, a to vzhledem k velmi dobré podpoře ze strany zvoleného webového frameworku bez nutnosti rozšiřování o další knihovny.

V některých případech může být vhodnější použít pro komunikaci jiný prostředek (především v případě volání výpočtů na serveru), například RPC (gRPC, XML-RPC, JSON-RPC či jinou konkrétní implementaci). [47] To ale může vytvořit problémy při nasazení aplikace na PaaS, např. Heroku[3] [31], proto bylo zvoleno řešení, které sice není z hlediska architektury tou nejlepší volbou, ale jeho použití je flexibilnější.

4.2.3 Databáze

Rozhodování ohledně použité databáze se může týkat způsobu uložení dat a samotného DBMS. Je třeba se rozhodnout, zda v projektu bude použita databáze relační či NoSQL. Relační databáze jsou vhodné na ukládání dat se statickou strukturou, databáze NoSQL mohou být flexibilnější, co se ukládání dat týče. [18]

[1] česky: neopakuj se
[2] česky: konvence před konfigurací
[3] `https://heroku.com`

Pro účely tohoto projektu byla zvolena relační databáze, a to z důvodu předem určené struktury dat. Jde o technologii, která má dobrou podporu i ze strany webových frameworků. Jako konkrétní DBMS byl zvolen Postgres.

4.2.4 Shrnutí

Aplikace byla vyvinuta s využitím webového frameworku Ruby on Rails, protože jde o rozšířený framework, který slibuje jednoduchou konfiguraci. Z volby frameworku vyplývá použití architektonického vzoru MVC. S vnějškem tato aplikace komunikuje prostřednictvím REST API z důvodu jednoduché implementace a dobré podpory ze strany zvoleného webového frameworku. Použita byla relační databáze, konkrétně Postgres.

4.3 Kvalitativní požadavky

Z rozhodování v této kapitole vyplynuly následující kvalitativní požadavky:

Q1. Bude vyvinuta nativní aplikace pro Android v jazyce Kotlin.

Q2. Backend bude vyvinut s využitím webového frameworku Ruby on Rails.

Q3. Mobilní aplikace bude s backendem komunikovat přes jeho REST API.

Q4. Bude použita databáze Postgres.

Kapitola 5

Návrh vlastního algoritmu

Tato kapitola se věnuje popisu jednoduchého algoritmu pro rozvrhování směn, který byl navržen pro účely této práce. Algoritmus byl sestaven na základě rozboru metod provedeného v kapitole 2.

5.1 Požadavky na algoritmus

Z hlediska klasifikace uvedené v podkapitole 2.3 se sestavuje neperiodický rozvrh s flexibilními parametry. Nezbytné podmínky jsou dány legislativními požadavky na rozvrh směn, zbytné podmínky byly vybrány dle možných manažerských požadavků (např. v každém okamžiku někdo bude na pracovišti). Konkrétní požadavky na algoritmus byly stanoveny následovně:

1. Algoritmus rozvrhne směny na jeden týden.
2. Algoritmus rozvrhne směny v celém dni na základě poptávky.
3. Algoritmus rozdělí směny mezi zaměstnance v pracovním poměru.
4. Algoritmus vezme v potaz legislativní požadavky (přestávka, úvazek, maximální délka směny).

5.2 Tvorba směn a poptávky

Při rozvrhování se pro zjednodušení předpokládá, že v jednom týdnu jsou směny[1] vypsány pravidelným způsobem. Všechny směny jsou stejně dlouhé a každý den v týdnu začínají ve stejnou dobu a jsou v rámci jednoho pracovního dne rozloženy pravidelně. Pro realističtější modelování situace existuje možnost některé směny z rozvrhu vyjmout. Lze flexibilně stanovit parametry rozvrhování, konkrétně celkovou pracovní dobu, délku jedné směny, délku přestávky a počet směn v jednom dni.

Je možné naplánovat směny probíhající přes noc, případně i 24hodinový provoz, pak je třeba stanovit začátek jedné ze směn, aby bylo možné rovnoměrně rozdělit směny do

[1] Výraz směna se v dalším textu používá ve dvou významech – směna v rozvrhu jednoho zaměstnance a časový úsek, ve kterém může být vypsána směna zaměstnanci.

celého dne. Pro každou jednotlivou směnu lze určit poptávku (číslo mezi 0 a 5 určující, zda má směna být rozvržena více nebo méně zaměstnancům vzhledem k celku).

5.3 Podmínky

Obdobně jako v podkapitole 2.4 se podmínky dají rozdělit na nezbytné a zbytné. Při porušení nezbytných podmínek vůbec nebude rozvrh možné uložit do databáze, zbytné podmínky budou pouze „doplňkem“, který říká, jak moc je dané řešení kvalitní z hlediska požadavků, které si může klást manažer.

5.3.1 Nezbytné podmínky

Pro určení nezbytných podmínek byly využity poznatky z oblasti legislativy (podkapitola 1.3). Konkrétně se jedná o následující podmínky:

1. Zaměstnanec v celém týdnu odpracuje nejvýše počet hodin úměrný svému úvazku.
2. Mezi koncem jedné směny a začátkem další bude legislativou vyžadovaná přestávka.
3. Zaměstnanec může být přiřazen pouze na směnu, která nemá žádnou specializaci nebo má stejnou specializaci jako zaměstnanec.
4. Zaměstnanec může být v jednu chvíli pouze na jedné směně, směny se nesmějí překrývat.

5.3.2 Zbytné podmínky a cílová funkce

Byly zvoleny čtyři zbytné podmínky:

1. obsazení všech směn,
2. obsazení směn úměrně poptávce,
3. obsazení specializovaných směn,
4. více dní volna za sebou,

podle kterých bude možné určovat, jak moc je dané validní řešení kvalitní. Pro každou z nich byl zvolen způsob, jak se bude počítat cílová funkce, dále byla stanovena strategie (algoritmus), jak optimalizovat funkční hodnotu cílové funkce. Váhy jednotlivých kritérií se určují při volání algoritmu, pokud je váha kritéria nulová, daná strategie pro vylepšování rozvrhu neproběhne.

Cílová funkce je stanovena obdobně jako v podkapitole 2.6 – jde o součet vážených porušení zbytných podmínek, sankce za porušení je lineární.

5.3.3 Obsazení všech směn

Smyslem této podmínky je určit, zda na každé směně bude na pracovišti alespoň jeden zaměstnanec. Vyhodnocení probíhá tak, že se naleznou všechny směny, které nemá do svého rozvrhu zapsán žádný zaměstnanec. Výsledkem cílové funkce je počet neobsazených směn násobený sankcí.

5.3.4 Obsazení směn úměrně poptávce

Jak již bylo uvedeno v podkapitole 5.2, každá ze směn může mít určenou poptávku v závislosti na tom, jak moc velké množství zaměstnanců je v daném čase na pracovišti potřeba. Penalizována je odchylka od požadovaného obsazení `D[i]` pro `i` = poptávka na danou směnu v souhrnném rozvrhu, jde o globální podmínku dle klasifikace z podkapitoly 2.4.

Rozložení poptávky

Pro účely rozložení poptávky byl navržen následující postup: nejprve se spočítá průměrná poptávka (`avg_demand`) ze všech směn v daném období a průměrný počet zaměstnanců na jednu směnu (`avg_assignments`, počet přiřazení na směnu dělený počtem směn).

Z těchto údajů se vypočítá požadovaný počet zaměstnanců na směně se střední poptávkou (`medium_demand = 3`). `const` je konstanta, která ovlivňuje rozložení poptávky (vizte tab. 5.1). Hodnota konstanty by měla být alespoň `medium_demand`, aby poptávka byla kladné číslo. S výsledkem rovnic 5.1 a 5.2 se pracuje v zaokrouhlené formě, může tak docházet k chybě.

$$\texttt{D[3]} = \texttt{avg\_assignments} \cdot \frac{\texttt{1 + (3 - avg\_demand)}}{\texttt{const}} \tag{5.1}$$

$$\texttt{D[i]} = \texttt{D[3]} \cdot \frac{\texttt{1 - (3 - i)}}{\texttt{const}} \tag{5.2}$$

zam.	const	D[1]	D[2]	D[3]	D[4]	D[5]
10	2	0	1	2	3	4
10	7	1	2	2	2	3
10	10	2	2	2	2	2
30	2	0	4	7	11	14
30	7	5	6	7	8	9
30	10	6	6	7	8	8

Tabulka 5.1: Rozložení poptávky.

5.3.5 Více dní volna za sebou

Tato lokální podmínka vychází z předpokladu, že je pro zaměstnance příjemnější mít více dní volna najednou. Je penalizováno, pokud nemá zaměstnanec alespoň jednou 48 hodin volna za sebou (mezi směnami nebo vzhledem k začátku či konci týdne). Pokud jsou v rámci rozvržení pracovních dnů v daném týdnu volné víkendy či jiné dva po sobě jdoucí dny, bude penalizace nulová u všech zaměstnanců.

5.3.6 Obsazení specializovaných směn

Při vyhodnocování této omezující podmínky je penalizováno obsazení směn, které nejsou specializované. Funkční hodnotou cílové funkce je součin počtu přiřazení na směny bez specializace a zvolené sankce.

5.4 Popis algoritmu

Algoritmus (vizte kód 5.1) začíná vytvořením nějakého platného řešení, jde o náhodné řešení při splnění nezbytných podmínek, které lze srovnávat s ostatními řešeními podle funkční hodnoty cílové funkce. Toto řešení slouží jako referenční pro další operace, pokud se jej v dalších krocích podaří zlepšit, nové, lepší řešení se stane referenčním.

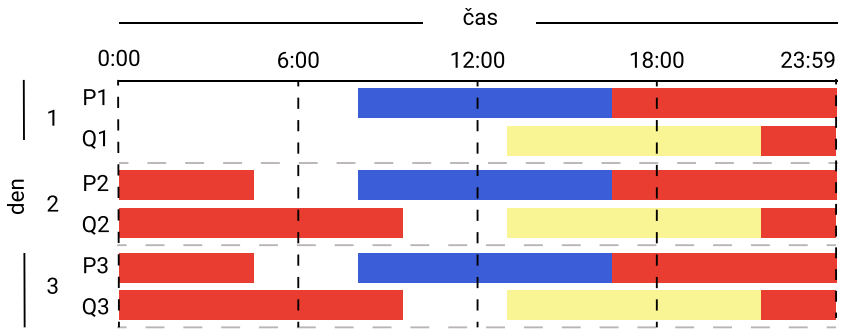
```
1 Vytvoř první řešení a ulož ho
2 POKUD zbývají strategie
3   Zvol další strategii
4   Pokus se vylepšit řešení
5   POKUD je nové řešení lepší
6     Ulož nové řešení
7 JINAK
8   Vrať nejlepší řešení
```

Výpis kódu 5.1: Pseudokód rozvrhovacího algoritmu.

Referenční řešení se algoritmus pokouší zlepšovat postupně různými strategiemi, každá z nich se týká jiné zbytné podmínky. Tento algoritmus se inspiruje metodami nalezenými v literatuře (vizte kapitolu 2) především v podmínkách a v zavedení náhodného referenčního řešení, které se postupně zlepšuje různými operacemi se sousedícími strukturami. Shodná je existence vah a cílové funkce. Od metod nalezených v literatuře se liší především tím, že v jednu chvíli je pro zjednodušení vylepšována a vyhodnocována právě jedna podmínka dle vlastní strategie, a to jen v těch částech rozvrhu, kde dochází k jejímu výraznému porušování. Pokud některé části rozvrhu danou podmínku neporušují, nejsou pro danou strategii relevantní. Po konci běhu jedné strategie se porovnává nové řešení s referenčním dle funkční hodnoty cílové funkce.

5.4.1 Nepřekrývání směn, přestávka

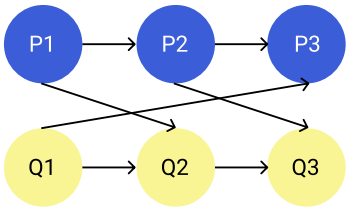
Ze zjevných důvodů nelze rozvrh vytvořit tak, aby byl jeden zaměstnanec přiřazen na více směn v jednu chvíli. Z legislativních požadavků navíc vyplývá nutnost mít mezi koncem jedné směny a začátkem další alespoň 11 hodin nepřetržitého odpočinku (u nezletilých zaměstnanců jde o 12 hodin), tímto je tedy rozšířena podmínka nepřekrývání směn. Pro jednoduchou ilustraci tohoto problému na třech dnech vizte obr. 5.1.



Obrázek 5.1: Nepřekrývání směn.

Červená značí minimální přestávku, modrá a žlutá směny P a Q.

Pro zjednodušení jsou směny uspořádané do datové struktury naznačené na obr. 5.2, tak, aby bylo možné vyhledávat platné kombinace o délce dané úvazkem zaměstnance a směny se nepřekrývaly.



Obrázek 5.2: Datová struktura pro hledání po sobě následujících směn.

Šipka představuje platnou návaznost směn.

5.5 Délka pracovního týdne

Předpoklad pro algoritmus je co se týče délky pracovního týdne jednoduchý, neřeší možnost plánování přesčasů. Aby byla dodržena délka pracovního týdne (standardně 40 hodin), případně méně (zkrácené úvazky), každému zaměstnanci se rozvrhne nejvýše

```
úvazek * 40 / délka směny
```

směn (zaokrouhleno nahoru). Když se směny ukládají, jedna náhodně vybraná z nich se, je-li to třeba, zkrátí, aby byla délka pracovního týdne dodržena.

5.6 Přiřazení na specializovanou směnu

Z důvodu zjednodušení implementace pro každou specializovanou směnu existuje směna bez specializace, která probíhá ve stejný čas. Zaměstnanec může být přiřazen na libovolnou nespecializovanou směnu nebo na směnu se specializací odpovídající jeho smlouvě.

5.7 Obsazení všech směn

Tato strategie se pokouší do rozvrhu náhodně vybraných zaměstnanců vložit směnu, která zatím nebyla obsazena, a to způsobem popsaným v pseudokódu 5.2. Tento algoritmus proběhne pro každou směnu nejvýše n-krát, kde n je konstanta.

```
1 Vyber náhodného zaměstnance
2 POKUD se směna S neprotíná se dvěma směnami existujícího rozvrhu
3   Vlož S do rozvrhu
4   POKUD se některá ze směn protíná s S
5     Smaž protínající směnu
6   JINAK
7     Smaž náhodnou směnu z rozvrhu
```

Výpis kódu 5.2: Strategie pro vylepšování obsazení všech směn.

5.8 Obsazení specializovaných směn

Tato strategie změní přiřazenou směnu na specializovanou, která probíhá v daném čase, je-li to možné vzhledem ke specializaci zaměstnance. Pro průběh pro jednu směnu v rozvrhu jednoho zaměstnance vizte pseudokód 5.3.

```
1 Vyber směnu bez specializace
2 POKUD probíhá ve stejný čas vhodně specializovaná směna
3   Vyměň směnu za specializovanou
```

Výpis kódu 5.3: Strategie pro obsazení specializovaných směn.

5.9 Více dní volna za sebou

Postup pro vylepšení, který se aplikuje na rozvrh každého zaměstnance, který zatím nemá žádnou 48hodinovou přestávku mezi směnami, je popsán v pseudokódu 5.4. Tento algoritmus jednu směnu odstraní (tím vytvoří delší volno), a poté se pokusí umístit další směnu mezi dvě jiné.

```
1 Nalezni 48h přestávku mezi N-1 směnami
2 Odstraň směnu v tomto časovém období
3 POKUD lze směnu vložit do druhé největší přestávky
4   Vlož směnu do této přestávky
```

Výpis kódu 5.4: Strategie pro více dní volna za sebou.

5.10 Obsazení směn úměrně poptávce

V této strategii se nalezne zaměstnanec, který je zapsán na směnu, kde počet přiřazených zaměstnanců převyšuje poptávku, a n náhodných směn, které poptávku nenaplňují – snahou je vyměnit přeplněnou směnu za prázdnější (pseudokód 5.5).

```
1 Vyber náhodného zaměstnance zapsaného na směně
2 POKUD lze tuto směnu vyměnit za méně obsazenou
3   Vyměň směnu za méně obsazenou
```

Výpis kódu 5.5: Strategie pro obsazení směn dle poptávky.

5.11 Testování

Při testování heuristických algoritmů nelze kontrolovat, zda byl vrácen jeden konkrétní výsledek (mimo jednoduché případy), a je možné pouze určovat, zda je řešení dostatečně dobré, rychlé a validní. Může proběhnout sběr testovacích dat z místa reálného nasazení algoritmu, případně mohou být data generována náhodně. [41]

Cílem bylo ověřit na testovacích datech následující předpoklady:

1. Algoritmus vrací pro validní vstupy validní řešení.

2. Strategie snižuje sankci v daném kritériu.
3. Čím více strategií, tím nižší sankce.
4. Čím více iterací zlepšování, tím lepší řešení.

Pro otestování bylo vytvořeno 8 různých organizací, které se lišily v počtu zaměstnanců, počtu specializací, pracovní době, počtu směn nebo prioritě směn. Hlavním kritériem pro výběr testovacích dat byla odlišnost v parametrech. Pro každou organizaci následně proběhlo testování s různými parametry (počet iterací, váhy kritérií) a více opakováními.

5.11.1 Definice pojmů

Co se týče prvního předpokladu, řešení je považováno za validní, pokud algoritmus proběhne bez vyvolání výjimky a bez zacyklení a pokud se řešení podaří uložit do databáze.

Pro vyhodnocení zbývajících předpokladů budou porovnávány průměrné hodnoty ze všech testovacích organizací. Bude-li o řešení řečeno, že je lepší, znamená to, že je sankce (v daném kritériu či celkově) nižší než sankce náhodného řešení, na kterém žádné další operace neproběhly, tj. proběhlo 0 iterací vylepšování nebo jsou váhy všech kritérií nulové. Sankce za jedno libovolné porušení dle definice cílové funkce je 1. To znamená, že pokud v rozvrhu například zůstanou tři směny neobsazené, bude sankce 3.

5.11.2 Vyhodnocení předpokladů

Data, o která se následující vyhodnocování opírá, lze nalézt v příloze C.

První předpoklad byl vyvrácen tím, že byla nalezena vstupní data (Organizace G, vizte přílohu C), pro která může být jak vyvolána výjimka, tak může algoritmus proběhnout korektně (vizte tab. 5.2). Z dat vyplývá, že tato chyba nastane, ať už jsou použity strategie na vylepšení rozvrhu či nikoli. To nasvědčuje tomu, že se jedná o chybu při implementaci vyhledávání směn v grafu, pokud některé směny bez specializace mají nulovou prioritu. V případě jiných vstupních dat je algoritmus vždy z tohoto hlediska úspěšný.

Celkem	Korektní	Nekorektní
617	550	67

Tabulka 5.2: Chybovost algoritmu pro organizaci G.

Pro druhý předpoklad data ukazují, že strategie pro obsazení všech směn není příliš úspěšná v případě, že se rozvrhují specializované směny. Data nasvědčují tomu, že rozvrh v tomto parametru spíše dokáže vylepšit strategie pro obsazení specializovaných směn, když proběhne samostatně, vizte tab. 5.3 udávající průměrné sankce ze všech organizací.

Strategie	Průměr
Žádná	15,87
Obsazení všech	15,18
Obsazení specializovaných	14,13

Tabulka 5.3: Sankce za obsazení všech směn.

Samotná strategie pro obsazení specializovaných směn je úspěšná – sankci oproti náhodnému řešení snižuje ve všech případech výrazně, vizte tab. 5.4.

Strategie	**Průměr**
Žádná	43,19
Obsazení specializovaných	25,06

Tabulka 5.4: Sankce za obsazení specializovaných směn.

Strategie pro obsazení směn úměrně poptávce se dle výsledků testování zdá být mírně úspěšná, vizte tab. 5.5.

Strategie	**Průměr**
Žádná	54,11
Obsazení úměrně poptávce	49,96

Tabulka 5.5: Sankce za obsazení specializovaných směn.

Strategie, která má zajišťovat více dní volna za sebou, je úspěšná, pokud probíhá izolovaně, v kombinaci s dalšími strategiemi je však zlepšení řešení menší, vizte tab. 5.6.

Strategie	**Průměr**
Žádná	10,38
Pouze volno v kuse	7,36
Všechny	9,38

Tabulka 5.6: Sankce pro více dní volna za sebou.

Druhý předpoklad tak spíše platí v případě tří strategií (obsazení úměrně poptávce, obsazení specializovaných, více dní volna za sebou). Bylo by třeba zrevidovat způsob, jakým je implementována strategie pro obsazení volných směn, aby správně obsazovala i směny se specializací.

Třetí předpoklad data spíše prokazují. Pokud proběhnou všechny strategie, sankce je u každého z jednotlivých kritérií nižší. Výjimkou může být případ po sobě jdoucích dnů volna, zdá se ale, že jiné strategie se mezi sebou neovlivňují negativně, spíše se naopak podporují.

Kritérium	**Náhodné**	**Vylepšované**
Obsazení všech	15,87	11,99
Obsazení úměrně poptávce	54,11	41,31
Obsazení specializovaných	43,19	22,38
Více dní volna za sebou	10,38	9,38

Tabulka 5.7: Průměrné sankce po proběhnutí všech strategií.

Pro čtvrtý předpoklad data prokazují, že řešení po jedné iteraci je lepší než náhodné řešení, jasný závěr by si ale vyžádal hlubší testování. Získaná data mírně nasvědčují tomu,

že tento předpoklad z hlediska všech sankcí platí (je patrný velmi mírný pokles součtu průměrných sankcí všech řešení, vizte tab. 5.8), ale rozdíl mezi tím, zda proběhne jedna iterace či více iterací je nevýrazný. Lze předpokládat, že řešení začne velmi brzy konvergovat, tedy že už další zlepšování rozvrhu těmito operacemi nebude dávat smysl.

Iterací	0	1	2	3	4
Součet	988,54	830,86	812,83	807,90	803,22

Tabulka 5.8: Součet sankcí při různém počtu opakování strategií.

5.12 Vyhodnocení algoritmu

Byl navržen triviální algoritmus na rozdělení předem určených směn mezi zaměstnance s různě velkým úvazkem. V případě reálného nasazení by bylo třeba jej dále vylepšit a především revidovat, které situace byly při implementaci opomenuty. Bylo by třeba vzít v potaz, co by od rozvrhovacího algoritmu očekával ten, kdo by jej využíval – skoro jistě by se jednalo o složitější optimalizační úlohu, která by vyžadovala odlišný model.

Z testování na několika vybraných „organizacích“ vyplynulo, že algoritmus není bezchybný, je však schopen ve většině případů generovat rozvrhy, které dávají smysl vzhledem k nezbytným podmínkám, a navíc je i lehce upravit, aby lépe naplňovaly zbytné podmínky, tedy aby řešení bylo kvalitnější.

Kapitola 6

Implementovaná aplikace

Tato kapitola je věnována bližšímu popisu implementované aplikace, jak backendu, tak mobilního rozhraní. Popsána je celková architektura celého systému a použité architektonické vzory a způsob, jakým jsou jednotlivé vrstvy implementovány. Součástí kapitoly jsou ukázky kódu a návrhu uživatelského rozhraní nebo snímky obrazovky z mobilní aplikace.

6.1 Architektura aplikace

Při implementaci byla použita třívrstvá architektura (klient, aplikační server, databáze), jak je naznačeno na obr. 6.1. Klientem zde je mobilní aplikace, která komunikuje se serverem přes jeho REST API.

Backend běží v Dockeru z důvodu snazšího nasazení na různá prostředí, kromě samotné aplikace v Ruby on Rails a databáze se používají i služby Redis a Sidekiq, a to z důvodu zpracování operací na pozadí, v této aplikaci jde především o pravidelné vytvoření nového týdne pro rozvrhnutí a zveřejnění rozvrhu v případě, že to vedoucí neudělá v dostatečném předstihu.

Mimo tuto strukturu stojí Firebase Cloud Messaging, který se používá pro posílání notifikací (např. o zveřejnění nového rozvrhu nebo o vzniku nového týdne na naplánování) do mobilní aplikace, když si to backend vyžádá.

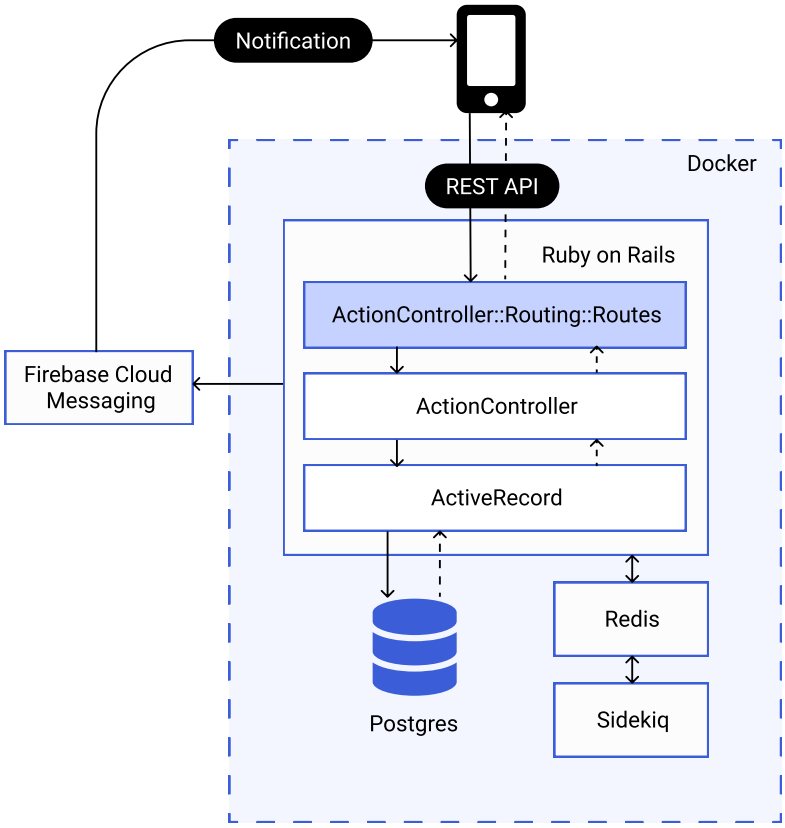
Pro více informací o implementaci vizte přílohu A, která obsahuje diagram komponent a diagram nasazení.

6.2 Backend

Backend využívá architektonický vzor MVC, přičemž uživatelské rozhraní není součástí webové aplikace.

Byla snaha implementovat aplikaci co nejjednodušším způsobem tak, aby v co největší míře byly dodrženy konvence a nebylo třeba ji příliš konfigurovat. Controllery[1] jsou implementovány na základě konvencí, není-li nutné to udělat jinak. Například po zavolání cesty `GET /periods/:id` se automaticky provolá metoda `show` (vizte kód 6.1).

[1] Český překlad termínu *controller* by mohl být řadič.



Obrázek 6.1: Architektura aplikace.

```
1 class SchedulingPeriodController < ActionController
2   def show
3       period = SchedulingPeriod.find(params[:id])
4       render json: period
5   end
6 end
```

Výpis kódu 6.1: Konvenční ActionController.

Model je implementován pomocí objektově relačního mapování, které se stará o přístup k databázi. Diagram tříd backendu je součástí přílohy A, aplikace pro Android přistupuje k obdobně strukturovaným datům.

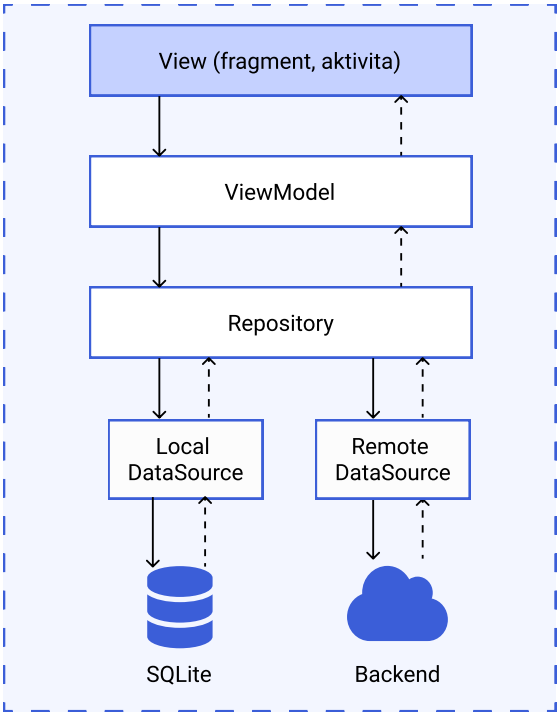
Mimo strukturu specifickou pro webovou aplikaci stojí služby (třídy nazvané `XService`), které se volají v případě, že je vhodné některé netriviální akce (např. rozvrhnutí týdne) odsunout mimo controller. Součástí aplikace jsou také pomocné datové struktury a strategie pro rozvrhování směn.

Používají se mimo jiné gemy[2] Devise Token Auth[3] (autentizace uživatele pomocí tokenů), CanCanCan[4] (zabezpečení operací se zdroji na základě uživatelské role) a Will Paginate[5] (stránkování výsledků databázových dotazů).

[2]Gem je termín pro knihovny v Ruby.
[3]`https://devise-token-auth.gitbook.io/devise-token-auth/`
[4]`https://github.com/CanCanCommunity/cancancan`
[5]`https://github.com/mislav/will_paginate`

6.3 Mobilní aplikace

Mobilní aplikace byla navržena dle zásad nejpoužívanějšího a ze strany Google doporučovaného architektonického vzoru MVVM, vizte obr. 6.2. Při implementaci byly využity mimo jiné knihovny Koin[6] (pro vkládání závislostí), Retrofit[7] (klient pro HTTP) a dále některé součásti Android Jetpack (soubor knihoven pro platformu Android, které usnadňují vývoj udržitelných aplikací a poskytují kompatibilitu se staršími verzemi OS [3]), a to především LiveData (pozorovatelná data respektující životní cyklus komponent uživatelského rozhraní), Navigation (navigace mezi fragmenty aplikace), DataBinding (propojení komponent uživatelského rozhraní definovaných v layoutech ve formátu XML s daty), Paging (stránkování seznamů) nebo Room (nadstavba nad databází SQLite pro perzistenci dat).



Obrázek 6.2: Návrh mobilní aplikace.

Jedná se o aplikaci s nižším počtem aktivit, samostatné aktivity se využívají v případě, že by nebylo vhodné zobrazovat v aplikaci spodní navigaci, tedy především tehdy, když uživatel vyplňuje formulář, například přidává nového zaměstnance. Navigace mezi fragmenty probíhá pomocí Jetpack Navigation. Například detaily směn nejsou samostatnými aktivitami, ale jedná se o fragmenty v aktivitě `MainActivity`. Většina obrazovek má kromě fragmentu a patřičného layoutu[8] také vlastní ViewModel, existují i sdílené ViewModely pro přenos dat v rámci jedné aktivity. Navigace v aplikaci probíhá v souladu s hierarchickým popisem, který je součástí přílohy A.

[6] `https://insert-koin.io/`
[7] `https://square.github.io/retrofit/`
[8] Jedná se o popis rozložení komponent uživatelského rozhraní na obrazovce.

6.3.1 View

View[9] je část aplikace, která vykresluje uživatelské rozhraní, může se jednat o layouty ve formátu XML, aktivity (základní okno pro uživatelské rozhraní) nebo fragmenty (znovupoužitelné). Má referenci na ViewModel a pozoruje jeho změny, podle čehož aktualizuje uživatelské rozhraní; při událostech na uživatelském rozhraní (např. stisknutí tlačítka) může volat ViewModel.

Pro zjednodušení implementace se používají jednosměrné i obousměrné datové vazby.

Aby bylo vytváření nových aktivit snazší a pro vytvoření aktivity s layoutem bez dalších parametrů stačil kód 6.2, byla vytvořena abstraktní třída `BindingActivity<B: ViewDataBinding>`. Abstraktní aktivita nastaví layout a datovou vazbu, která je pro potomky přístupná jako proměnná `binding`, a nastaví mu vlastníka životního cyklu.

Třída `ViewModelActivity<V: BaseViewModel, B: ViewDataBinding>` je abstraktním potomkem `BindingActivity`, který je připraven pro aktivity, které mají vazbu na ViewModel (parametry konstruktoru jsou layout a třída ViewModelu). Tato aktivita zajišťuje vytvoření ViewModelu, který se uloží do proměnné `viewModel` a navíc se nastaví jako parametr pro datovou vazbu.

```
1 class SetupActivity :
2   BindingActivity<ActivitySetupBinding>(R.layout.activity_setup)
```

Výpis kódu 6.2: Vytvoření jednoduché aktivity.

Velmi podobně jako `BindingActivity` a `ViewModelActivity` fungují také abstraktní fragmenty, tj. `BindingFragment` a `ViewModelFragment`.

Vzhledem k užití knihovny LiveData (pozorovatelná data závislá na životním cyklu aktivity či fragmentu) je použit návrhový vzor pozorovatel[10]. View pozoruje změny ViewModelu a podle toho mění stav obrazovky.

6.3.2 ViewModel

ViewModel je prostředníkem mezi aktivitou a modelem – provolává nižší vrstvu a na základě dat, která mu vrátí, mění stav svých proměnných.

ViewModely jsou v této aplikaci potomkem abstraktní třídy `BaseViewModel`, která v sobě obsahuje odkazy na všechny repozitáře. Inicializace repozitářů probíhá pomocí vkládání závislostí, vizte kód 6.3. `BaseViewModel` také obsahuje metody pro zpracování chyb a proměnné typu LiveData pro jejich zobrazování, smyslem je omezit opakování stejného kódu. Odpovědi z repozitářů se ukládají jako LiveData.

```
1 abstract class BaseViewModel : ViewModel() {
2     protected val userRepository by inject(UserRepository::class.java)
3     protected val shiftRepository by inject(ShiftRepository::class.java)
4     [...]
5 }
```

Výpis kódu 6.3: Třída `BaseViewModel`.

[9] Český překlad termínu *view* by mohl být pohled.
[10] anglicky observer

6.3.3 Model

Model se skládá z repozitářů, které zodpovídají za provolávání datových zdrojů (lokálních či vzdálených) a za ukládání dat do databáze či do mezipaměti, a takto poskytuje požadovaná data. Z repozitářů se data vracejí obalená ve třídě `ResponseModel<T>`, ta může nést zprávu o chybě (která se dále zpracuje a zobrazí na uživatelském rozhraní) nebo požadovaná data.

```
1 sealed class ResponseModel<T> {
2   class SUCCESS<T>(var data: T? = null, val headers: Headers? = null):
3     ResponseModel<T>()
4
5   class ERROR<T>(val errorType: ErrorType? = null): ResponseModel<T>()
6 }
```

Výpis kódu 6.4: Třída `ResponseModel`.

Většinu dat nedává smysl uchovávat v lokální databázi – ukládají se především rozvrhy směn pro zaměstnance, které jsou považovány za natolik důležité, že by měly být dostupné vždy (primárně se stahují aktuální data ze serveru, pokud to není možné, čte se z databáze).

6.3.4 Návrh uživatelského rozhraní

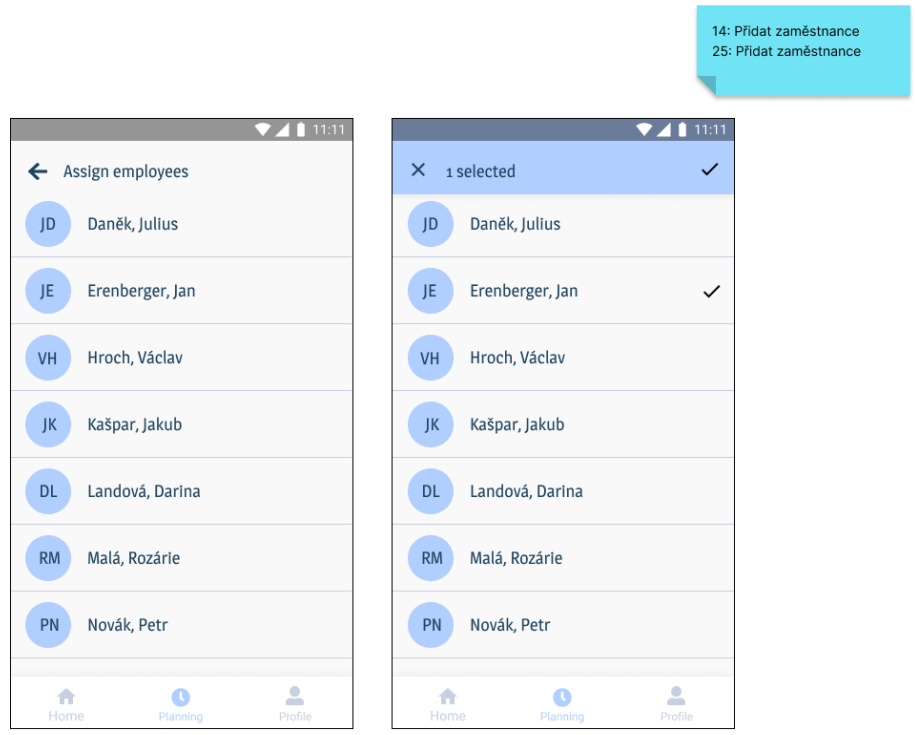
Návrh uživatelského rozhraní aplikace vznikl v souladu se základními pravidly pro tvorbu uživatelského rozhraní aplikací pro Android, jak jsou popsány v pravidlech pro Material Design[11], snahou bylo vytvořit minimalistické uživatelské rozhraní, v němž uživatelé snadno najdou to, co je pro ně důležité. Pro ukázku vizte obr. 6.3, konkrétní návrhy jednotlivých obrazovek jsou v příloze A.

Návrh vznikl v nástroji Figma[12], ikonky byly převzaty z knihoven Font Awesome[13] a Material Design Icons[14].

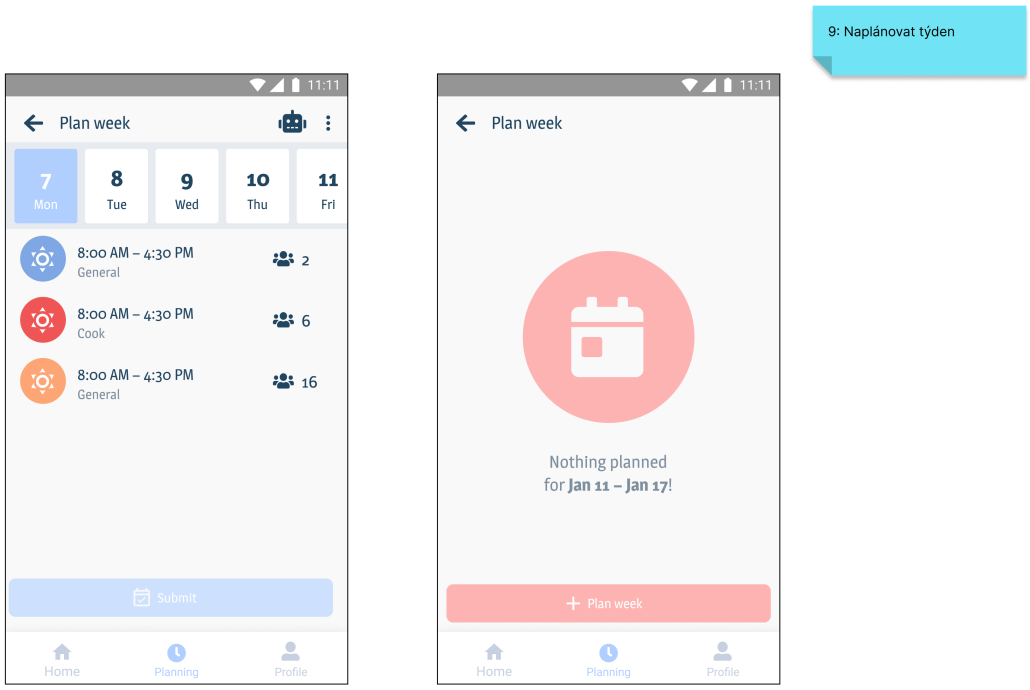
6.3.5 Uživatelské rozhraní aplikace

Konkrétní snímky obrazovky z mobilní aplikace jsou na obr. 6.4 (pro více snímků obrazovky vizte předpokládáný průchod aplikací v příloze B).

[11] `https://material.io/design/guidelines-overview`
[12] `https://www.figma.com/`
[13] `https://fontawesome.com/`
[14] `https://materialdesignicons.com/`

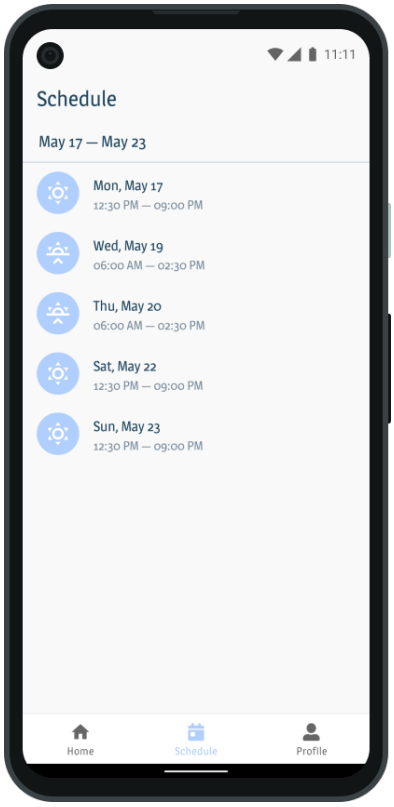


(a) Obrazovka pro výběr zaměstananců.

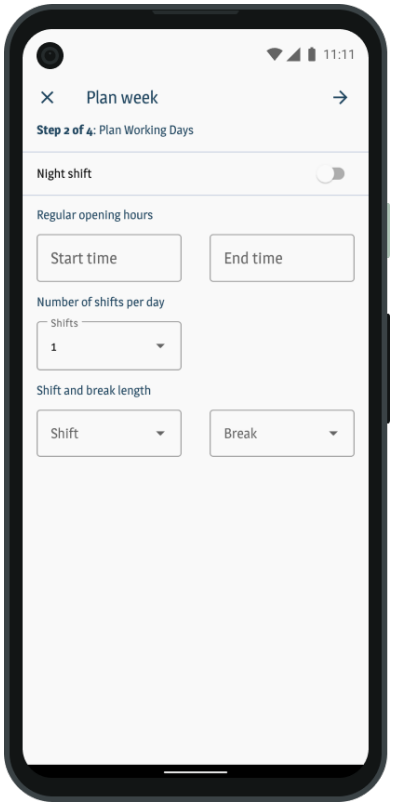


(b) Obrazovka s týdnem na naplánování.

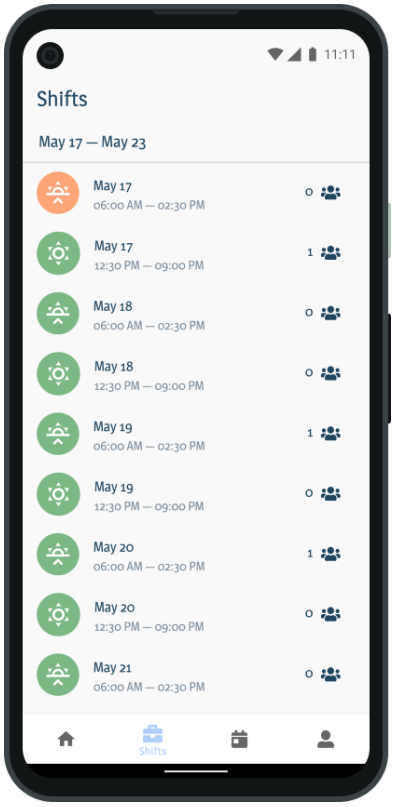
Obrázek 6.3: Ukázka nákresů uživatelského rozhraní.



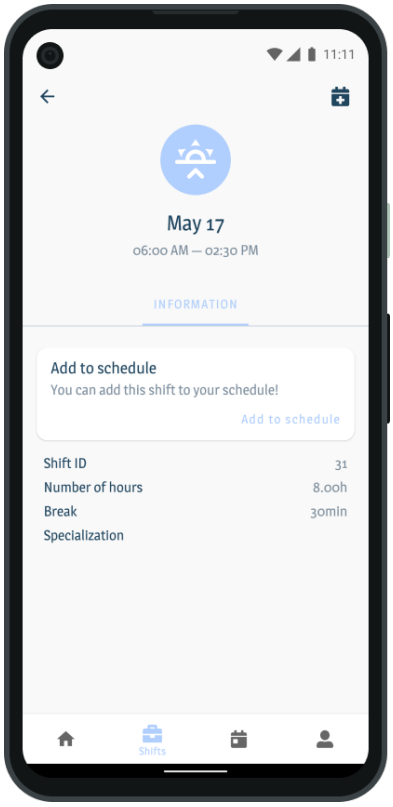
(a) Rozvrh směn.



(b) Plánování týdne.



(c) Volné směny.



(d) Detail směny.

Obrázek 6.4: Snímky obrazovky z mobilní aplikace.

Kapitola 7

Uživatelské testování

V této kapitole je přiblížen způsob, jakým byla aplikace otestována na potenciálních uživatelích, a výsledky z testování plynoucí.

7.1 Způsob testování

Testování proběhlo jako odlehčená verze testu použitelnosti a probíhalo vzdálenou formou. Účastníkům byl předem poskytnut popis jednotlivých pojmů (vizte přílohu A) a instrukce popisující, co je od nich požadováno a na co se mají konkrétně zaměřit, dále testovací scénáře, kterými měli projít (vizte přílohu B). Testování bylo kvalitativní, proběhlo na třech účastnících, což je dle Nielsena [38] optimální počet, aby se podněty od uživatelů příliš neopakovaly. Účastníci byli vybráni dle příslušnosti k cílové skupině či dle znalosti problematiky.

Před testováním byl sestaven předpoklad o průchodu aplikací ve formě po sobě následujících snímků obrazovky, který je součástí přílohy B. Zpráva z testování, obsahující podrobnosti o průchodu uživatelů aplikací, je součástí přílohy B.

7.2 Průchod aplikací

Všichni uživatelé si před testováním přečetli instrukce a popis aplikace a potvrdili, že všemu porozuměli. Při průchodu většinou testovacích scénářů neměli zásadní problémy, aplikace jim připadala intuitivní.

Největším zádrhelem se ukázalo být přihlašování, především uživatelům chyběla možnost obnovit si heslo či si jej zkontrolovat při vyplňování, také jim scházela možnost upravit špatně odeslaná data (smluvy, specializace, uživatelské údaje). Jako matoucí působil průvodce rozvrhováním pracovní doby na daný týden, který jim musel být blíže vysvětlen, aby se dokázali zorientovat.

7.3 Návrhy na zlepšení

Z rozhovorů s potenciálními uživateli vyplynula celá řada návrhů na zlepšení aplikace, například:

- překlad aplikace do češtiny,
- změna rozložení či barev tlačítek v registračním formuláři,

- zvýraznění prvků uživatelského rozhraní,
- změna textu některých tlačítek,
- lepší zpětná vazba při zveřejnění rozvrhu,
- plánování rozvrhu na měsíc, nikoli na týden,
- úprava chybových hlášek, aby byly konkrétnější,
- označení povinných a nepovinných polí formuláře,
- umožnění úpravy rozvrhu po zveřejnění (*„Co když někdo třeba onemocní?“*),
- umožnění úpravy odeslaných dat,
- zobrazení kontaktů na uživatele zaměstnancům, přidání telefonního čísla,
- zobrazení rozvrhu ve formě tabulky, nejen seznamu,
- zobrazení celkového rozvrhu všem zaměstnancům,
- podpora platformy iOS.

7.4 Vyhodnocení

Uživatelé aplikací prošli v předpokládaném sledu obrazovek. Shodli se na tom, že by ji dokázali používat, myslí si, že by se s ní naučili a zvykli by si na ni. Ocenili její jednoduchost, snadnost ovládání i to, že se zobrazují pouze informace, které jsou relevantní. Celkové hodnocení je pozitivní, navíc byla poskytnuta řadu návrhů na zlepšení, které by bylo vhodné vzít v potaz, pokud by vývoj dále pokračoval.

Závěr

V této práci byl představen způsob, jakým by bylo možné vylepšit interní procesy organizace, která rozvrhuje směny svým zaměstnancům na základě sady různých pravidel, ať už vyplývají z legislativy, personální situace ve firmě nebo z manažerských požadavků, a to prostřednictvím jednoduché mobilní aplikace, která bude dostupná jak vedoucím, tak zaměstnancům.

V teoretické části bylo popsáno plánování pracovních sil z hlediska manažerského rozhodování a z hlediska legislativního. Směny je třeba rozvrhovat s ohledem na stanovenou týdenní pracovní dobu, s ohledem na druh pracovněprávního vztahu nebo s ohledem na přestávky mezi směnami. Byly popsány některé teoretické metody, které jsou vhodné pro optimalizaci rozvrhů směn na základě rozhodujích faktorů – může se jednat o tradiční deterministické metody pro optimalizaci cílové funkce, případně o metaheuristiky, které se přizpůsobí problému rozvrhování směn.

Byla vytvořena představa o cílové skupině organizací, na základě toho byly sestaveny požadavky na novou aplikaci, která by zjednodušila interní procesy týkající se rozvrhování směn.

V praktické části bylo popsáno rozhodování o technologiích pro implementaci uživatelského rozhraní a backendu aplikace, na základě toho byly stanoveny kvalitativní požadavky na software. Byl popsán způsob, jakým je navržená aplikace implementována, a to jak její backend, tak i aplikace pro Android. Pro vývoj backendu byl použit webový framework Ruby on Rails, aby byl vývoj v co největší míře usnadněn. V případě aplikace pro Android byla snaha co nejvíce použít moderní postupy vývoje. Poslední kapitola byla věnována uživatelskému testování, které potvrdilo vůli potenciálních uživatelů takovou aplikaci používat a také přineslo řadu nových návrhů, které uživatele při průchodu aplikací napadly.

Také byl přiblížen návrh algoritmu, který se v této aplikaci používá pro automatické rozvrhování směn. Tento algoritmus byl inspirován již existujícími teoretickými metodami, a tak se rozvrhuje na základě řady podmínek, které byly rozděleny na zbytné a nezbytné. Nezbytné podmínky se týkají toho, zda je řešení validní z hlediska legislativy, případně obecně, například toho, zda zaměstnanec nemá být na dvou místech zároveň. Zbytné podmínky se používají pro určení kvality na základě požadavků manažerů (např. vždy je někdo na pracovišti) a zaměstnanců (např. zaměstnanec má dva dny volna za sebou).

Cíl práce, jímž byla analýza, návrh a implementace mobilní aplikace pro plánování lidských zdrojů, byl celkově naplněn, aplikace byla otestována na několika potenciálních uživatelích, kteří vyjádřili ochotu podobnou aplikaci využívat, poskytli pozitivní zpětnou vazbu a řadu návrhů, které by bylo vhodné zapracovat v případě, že by práce byla dále rozšiřována.

Prokázalo se tak, že by bylo možné takovou podpůrnou aplikaci pro rozvrhování vyvinout, obzvlášť pokud by se jednalo o komerční projekt, který by měl větší rozpočet, více času a větší tým analytiků a vývojářů. V tom případě by bylo vhodné aplikaci rozšířit a dále vylepšit na základě důkladnějšího sběru požadavků od všech zúčastněných stran.

Druhou součástí této práce byl návrh vlastního algoritmu pro rozvrhování směn mezi zaměstnance. Způsob jeho implementace reflektuje fakt, že se jedná pouze o součást bakalářské práce, je navržen v triviální podobě, která není připravená na reálné nasazení. Přesto byl i tento cíl, tedy umožnit v aplikaci automatické rozvrhování směn na základě vybraných podmínek, naplněn. Pokud by měl být systém, který umožňuje automatické rozvrhování směn, nasazen v reálném prostředí, bylo by třeba zohlednit daleko větší množství podmínek a požadavků a algoritmus jim přizpůsobit.

Na tomto místě je vhodné podotknout, že systém pro rozvrhování pracovních sil řeší problém, který je ryze praktický a setkává se s ním řada potenciálních uživatelů. Softwarové řešení je proveditelné, ale realita je vždy složitější, než aby bylo možné všechny varianty, které mohou nastat, ať už z hlediska legislativy nebo z hlediska lidského faktoru, pokrýt aplikací, kterou vývojáři musí připravit v konečném čase.

Součástí této práce je řada příloh, které obsahují kromě samotných zdrojových kódů mobilní aplikace a backendu také podrobnější analýzu, návrh uživatelského rozhraní nebo výsledky testování.

Bibliografie

1. ADAMUTHE, Amol C a BICHKAR, Rajankumar S. Tabu search for solving personnel scheduling problem. In: *2012 International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT)*. 2012, s. 1–6.
2. ANDROID. *Guide to app architecture* [online] [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: `https://developer.android.com/jetpack/guide`.
3. ANDROID. *Jetpack* [online] [cit. 2020-12-31]. Dostupné z: `https://developer.android.com/jetpack`.
4. ANDROID. *Develop Android apps with Kotlin* [online] [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: `https://developer.android.com/kotlin`.
5. ARMSTRONG, Michael a TAYLOR, Stephen. *Armstrong's handbook of human resource management practice*. 13. vyd. Kogan Page Publishers, 2014.
6. AWADALLAH, Mohammed A et al. A hybrid artificial bee colony for a nurse rostering problem. *Applied Soft Computing*. 2015, roč. 35, s. 726–739.
7. BECHTOLD, Stephen E. Work force scheduling for arbitrary cyclic demands. *Journal of Operations Management*. 1981, roč. 1, č. 4, s. 205–214.
8. BLÖCHLIGER, Ivo. Modeling staff scheduling problems. A tutorial. *European Journal of Operational Research*. 2004, roč. 158, č. 3, s. 533–542.
9. BURKE, Edmund K et al. The state of the art of nurse rostering. *Journal of scheduling*. 2004, roč. 7, č. 6, s. 441–499.
10. BUYUKOZKAN, Kadir a SARUCAN, Ahmet. Applicability of artificial bee colony algorithm for nurse scheduling problems. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 2014, roč. 7, č. sup1, s. 121–136.
11. CIPD. *Workforce planning factsheet.* [Online] [cit. 2020-10-18]. Dostupné z: `https://cipd.co.uk/knowledge/strategy/organisational-development/workforce-planning-factsheet`.
12. DE CAUSMAECKER, Patrick a BERGHE, Greet Vanden. A categorisation of nurse rostering problems. *Journal of Scheduling*. 2011, roč. 14, č. 1, s. 3–16.
13. DENNIS, Megan. *Native vs. Cross-Platform Apps – You'll Be the Winner* [online]. 2018-12-21 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: `https://zeolearn.com/magazine/native-vs-cross-platform-apps-youll-be-the-winner`.

14. DESIGNRUSH. *The Ultimate Guide To Hybrid App Development* [online]. 2020-11-27 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: https://designrush.com/trends/hybrid-mobile-app-development.

15. DOCFORGE. *Web application framework* [online] [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20150723163302/http://docforge.com/wiki/Web_application_framework.

16. ERNST, Andreas T et al. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European journal of operational research*. 2004, roč. 153, č. 1, s. 3–27.

17. FLO, Elisabeth et al. Shift-related sleep problems vary according to work schedule. *Occupational and environmental medicine*. 2013, roč. 70, č. 4, s. 238–245.

18. GEEKS FOR GEEKS. *Difference between SQL and NoSQL* [online]. 2020-12-23 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: https://geeksforgeeks.org/difference-between-sql-and-nosql/.

19. GLOVER, Fred. Tabu search: A tutorial. *Interfaces*. 1990, roč. 20, č. 4, s. 74–94.

20. GLOVER, F. a SÖRENSEN, K. Metaheuristics. *Scholarpedia*. 2015, roč. 10, č. 4, s. 6532. Dostupné z DOI: 10.4249/scholarpedia.6532. revision #149834.

21. GOOGLE. *Developer Program Policy (effective January 20, 2021)* [online] [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://support.google.com/googleplay/android-developer/answer/10355942?hl=en.

22. GRPC. *gRPC* [online] [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://grpc.io/.

23. JAIN, Rakshit. *Kotlin Clean Architecture*. 2019-02-17. Dostupné také z: https://proandroiddev.com/kotlin-clean-architecture-1ad42fcd97fa.

24. KARCZEWSKI, Dawid. *Swift vs Objective-C: Which Should You Pick For Your Next iOS Mobile App?* [Online]. 2020-08-19 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://www.ideamotive.co/blog/swift-vs-objective-c-which-should-you-pick-for-your-next-ios-mobile-app.

25. KELLOGG, Deborah L a WALCZAK, Steven. Nurse scheduling: from academia to implementation or not? *Interfaces*. 2007, roč. 37, č. 4, s. 355–369.

26. KLETZANDER, Lucas a MUSLIU, Nysret. Solving the general employee scheduling problem. *Computers & Operations Research*. 2020, roč. 113, s. 104794.

27. KOVACH, Kenneth A et al. Administrative and strategic advantages of HRIS. *Employment Relations Today*. 2002, roč. 29, č. 2, s. 43–48.

28. LARDINOIS, Frederic. *Kotlin is now Google's preferred language for Android app development* [online]. 2019-05-07 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://techcrunch.com/2019/05/07/kotlin-is-now-googles-preferred-language-for-android-app-development/.

29. LIANG, Frank. *Optimization Techniques — Tabu Search* [online]. 2020-07-27 [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: https://towardsdatascience.com/optimization-techniques-tabu-search-36f197ef8e25.

30. LIN, Dingding et al. Scheduling workforce for retail stores with employee preferences. In: *2015 IEEE International Conference on Service Operations And Logistics, And Informatics (SOLI)*. 2015, s. 37–42.

31. LISITSKY, Eugene. *Does Heroku support RPC (i.e. gRPC)?* [Stack Overflow]. 2018 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: `https://stackoverflow.com/a/52114161`.

32. MAENHOUT, Broos a VANHOUCKE, Mario. An evolutionary approach for the nurse rerostering problem. *Computers & Operations Research*. 2011, roč. 38, č. 10, s. 1400–1411.

33. MALLAWAARACHCHI, Vijini. *Introduction to Genetic Algorithms — Including Example Code* [online]. 2017-07-08 [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: `https://towardsdatascience.com/introduction-to-genetic-algorithms-including-example-code-e396e98d8bf3`.

34. MANCHANDA, Amit. *Where Do Cross-Platform App Frameworks Stand in 2021?* [Online]. 2020-12-08 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: `https://netsolutions.com/insights/cross-platform-app-frameworks-in-2019/`.

35. MATOUŠEK, Jiří. *Lineární programování: Úvod pro informatiky* [online]. KAM MFF UK, 2006 [cit. 2020-11-11]. Dostupné z: `https://iti.mff.cuni.cz/series/2006/311.pdf`.

36. MATYUNINA, Julia. *Native vs Hybrid vs Web App – Startup Hacks* [online]. 2020-11-24 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: `https://codetiburon.com/choose-mobile-development-platform-startup-hacks/`.

37. MUSLIU, Nysret et al. Efficient generation of rotating workforce schedules. *Discrete Applied Mathematics*. 2002, roč. 118, č. 1-2, s. 85–98.

38. NIELSEN, Jakob. *Why You Only Need to Test with 5 Users* [online]. 2000-03-18 [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: `https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/`.

39. RUBYONRAILS.ORG. *Getting Started with Rails* [online] [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: `https://guides.rubyonrails.org/getting_started.html`.

40. RAMLI, Razamin et al. A tabu search approach with embedded nurse preferences for solving nurse rostering problem. *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*. 2020, roč. 11, s. 10.

41. RARDIN, Ronald L a UZSOY, Reha. Experimental evaluation of heuristic optimization algorithms: A tutorial. *Journal of Heuristics*. 2001, roč. 7, č. 3, s. 261–304.

42. REDHAT. *REST vs. SOAP* [online] [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: `https://www.redhat.com/en/topics/integration/whats-the-difference-between-soap-rest`.

43. SATHEESHKUMAR, B et al. Linear programming applied to nurses shifting problems. *International Journal of science and research*. 2014, roč. 3, č. 3, s. 171–173.

44. SHEKHAR, Amit. *MVVM Architecture - Android Tutorial for Beginners - Step by Step Guide* [online]. 2020-03-04 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: https://blog.mindorks.com/mvvm-architecture-android-tutorial-for-beginners-step-by-step-guide.

45. STATCOUNTER. *Mobile Operating System Market Share Worldwide* [online] [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide.

46. STEVENS, Emily. *What Is The Difference Between A Mobile App And A Web App?* [Online]. 2018-04-03 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: https://careerfoundry.com/en/blog/web-development/what-is-the-difference-between-a-mobile-app-and-a-web-app/.

47. STURGEON, Phil. *Understanding RPC Vs REST For HTTP APIs* [online]. 2016-09-20 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: https://smashingmagazine.com/2016/09/understanding-rest-and-rpc-for-http-apis/.

48. TAMIGO. *tamigo – Řešení* [online] [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: https://tamigo.cz/reseni.

49. TANDA. *Rosters* [online] [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: https://tanda.co/features/rosters/.

50. TODOROVIC, Nikola a PETROVIC, Sanja. Bee colony optimization algorithm for nurse rostering. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. 2012, roč. 43, č. 2, s. 467–473.

51. VÁCLAVÍK, Roman et al. Roster evaluation based on classifiers for the nurse rostering problem. *Journal of Heuristics*. 2016, roč. 22, č. 5, s. 667–697.

52. VAN DEN BERGH, Jorne et al. Personnel scheduling: A literature review. *European journal of operational research*. 2013, roč. 226, č. 3, s. 367–385.

53. VOGEL, Lars. *Android Architecture with MVP or MVVM - Tutorial* [online]. 2017-04-18 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: https://vogella.com/tutorials/AndroidArchitecture/article.html.

54. WHEN I WORK. *Free employee scheduling app* [online] [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: https://wheniwork.com/features/employee-scheduling-software/.

55. WHEN I WORK. *Pricing* [online] [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: https://wheniwork.com/pricing/.

56. Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce.

57. ZUCCHI, Giorgio et al. Personnel scheduling during Covid-19 pandemic. *Optimization Letters*. 2020, s. 1–12.

Přílohy

A Analýza systému

- Diagram komponent
- Diagram nasazení
- Diagram tříd
- Hierarchie obrazovek
- Návrh uživatelského rozhraní
- Popis pojmů
- Prototyp s nízkou mírou detailu

B Uživatelské testování

- Instrukce k uživatelskému testování
- Předpokládaný průchod aplikací
- Testovací scénáře
- Zpráva z testování

C Testování algoritmu

- Tabulka s daty z testování

D Zdrojové kódy

- Aplikace pro Android
- Backend
- TEX soubory