

Sem vložte zadání Vaší práce.



**FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ČVUT V PRAZE**

Bakalářská práce

Webový nástroj pro kolaborativní editaci textů

Jiří Šimeček

Katedra softwarového inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Petr Špaček, Ph.D.

10. května 2018

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli při tvorbě této práce. V první řadě děkuji Ing. Petru Špačkovi, Ph.D., za vedení mé bakalářské práce. Dále také rodině a nejbližším přátelům za podporu během celé doby tvorby mé práce, ale i celého studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s ust. § 46 odst. 6 tohoto zákona tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mojí práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou, a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo“), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli způsobem, který nesnižuje hodnotu Díla, a za jakýmkoli účelem (včetně užití k výdělečným účelům). Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené. Každá osoba, která využije výše uvedenou licenci, se však zavazuje udělit ke každému dílu, které vznikne (byť jen zčásti) na základě Díla, úpravou Díla, spojením Díla s jiným dílem, zařazením Díla do díla souborného či zpracováním Díla (včetně překladu), licenci alespoň ve výše uvedeném rozsahu a zároveň zpřístupnit zdrojový kód takového díla alespoň srovnatelným způsobem a ve srovnatelném rozsahu, jako je zpřístupněn zdrojový kód Díla.

V Praze dne 10. května 2018

.....

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií

© 2018 Jiří Šimeček. Všechna práva vyhrazena.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí a nad rámec oprávnění uvedených v Prohlášení na předchozí straně, je nezbytný souhlas autora.

Odkaz na tuto práci

Šimeček, Jiří. *Webový nástroj pro kolaborativní editaci textů*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2018.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se věnuje návrhu a implementaci webového nástroje umožňujícího kolaborativní editaci textů ve skutečném čase. Rešeršní část práce se nejdříve zabývá analýzou požadavků takového nástroje. Dále jsou představeny technologie a algoritmy, které tyto požadavky splňují. Na základě těchto poznatků je navržen a implementován prototyp aplikace včetně komponenty pro kolaborativní editaci textů ve skutečném čase.

Klíčová slova návrh webové aplikace, kolaborativní editace textů, web ve skutečném čase, JavaScript, React, Node.js

Abstract

This bachelor thesis deals with the design and implementation of web tool for collaborative text editing in real-time. The theoretical part introduces requirements of such a tool. Then possible technologies and algorithms meeting these requirements are introduced. Based on these findings, an application prototype, including the component for collaborative text editing in real-time, is designed and implemented.

Keywords web application design, collaborative text editing, real-time web, JavaScript, React, Node.js

Obsah

Úvod	1
1 Cíl práce	3
2 Analýza	5
2.1 Seznam funkčních požadavků	5
2.2 Seznam nefunkčních požadavků	6
2.3 Uživatelské případy	6
2.4 Doménový model	10
2.5 Technologie	12
2.6 Typy síťové komunikace	14
2.7 Algoritmy používané pro kolaborativní editaci textů	16
2.8 Existující řešení	21
3 Návrh	25
3.1 Architektura	25
3.2 Databázové schéma	27
3.3 Algoritmus synchronizace editovaného textu	27
3.4 Autentizace	29
3.5 REST komunikace	31
3.6 Komunikace ve skutečném čase	40
3.7 Komponenta editoru	43
4 Realizace	51
4.1 Autentizace	51
4.2 Autorizace	53
4.3 Uživatelské rozhraní	55
4.4 Jazykové překlady	56
4.5 Sestavení aplikace	57

5 Testování	61
5.1 Webová použitelnost a podpora	61
5.2 Uživatelské testování	61
5.3 Výkonnostní testování	70
Závěr	73
Bibliografie	75
A Seznam použitých zkratek	81
B Obsah přiloženého CD	83

Seznam obrázků

2.1	Diagram funkčních požadavků	5
2.2	Diagram uživatelských případů	7
2.3	Diagram doménového modelu	11
2.4	Diferenciální synchronizace vývojový diagram [23]	18
2.5	Operační transformace sekvenční diagram	20
2.6	Ukázka aplikace Google Docs	22
2.7	Ukázka aplikace Etherpad	23
2.8	Ukázka aplikace Codeshare.io	24
3.1	Diagram architektury aplikace (klient-server)	26
3.2	Databázové schéma v rámci ODM Mongoose	28
3.3	Sekvenční diagram stavové autentizace	29
3.4	Sekvenční diagram bezstavové autentizace	30
3.5	Sekvenční diagram ukázka komunikace po změně dokumentu	42
3.6	Třídní diagram klientské části komponenty	44
3.7	Stavový diagram klientské části komponenty	45
3.8	Diagram implementace třídy AbstractEditorAdapter	46
3.9	Diagram implementace třídy AbstractServerAdapter	47
3.10	Třídní diagram serverové části komponenty	49
4.1	Třídní diagram třídy DocumentVoter	54
4.2	Náhled přihlašovací obrazovky prototypu aplikace	55
4.3	Náhled editoru prototypu aplikace	56

Seznam tabulek

2.1	Matice pokrytí uživatelských požadavků	10
3.1	Koncový bod Registrace uživatele	32
3.2	Koncový bod Přihlášení uživatele	33
3.3	Koncový bod Ohlášení uživatele	33
3.4	Koncový bod Odeslání požadavku na obnovu hesla	33
3.5	Koncový bod Zjištění platnosti kódu pro obnovu hesla	34
3.6	Koncový bod Obnova hesla pomocí kódu	34
3.7	Koncový bod Informace o přihlášeném uživateli	34
3.8	Koncový bod Změna údajů přihlášeného uživatele	35
3.9	Koncový bod Výchozí nastavení dokumentů	35
3.10	Koncový bod Změna výchozího nastavení dokumentů	36
3.11	Koncový bod Vytvoření dokumentu	36
3.12	Koncový bod Vytvořené dokumenty	36
3.13	Koncový bod Poslední dokumenty	37
3.14	Koncový bod Sdílené dokumenty	37
3.15	Koncový bod Komunikační vlákno dokumentu	37
3.16	Koncový bod Odeslání nové zprávy	38
3.17	Koncový bod Práva dokumentu	38
3.18	Koncový bod Změna práv veřejného odkazu dokumentu	39
3.19	Koncový bod Pozvání uživatele k dokumentu	39
3.20	Koncový bod Odstranění pozvánky k dokumentu	39
3.21	Koncový bod Odstranění dokumentu	40
3.22	Koncový bod Překlady webového rozhraní	40
3.23	Vlastnosti přijímané React komponentou RealtimeEditor	47
5.1	Podporované verze webových prohlížečů	62
5.2	Hodnocení scénářů po průchodu účastníkem 1	68
5.3	Hodnocení scénářů po průchodu účastníkem 2	69
5.4	Hodnocení scénářů po průchodu účastníkem 3	70

5.5	Výsledky testování doby synchronizace	71
-----	---	----

Seznam výpisů kódu

1	Příklad použití komponenty RealtimeEditor	48
---	---	----

Úvod

Webové aplikace, které komunikují s uživatelem ve skutečném čase, jsou dnes stále oblíbenější. Uživatel již běžně očekává, že se mu na webových stránkách zobrazují nejrůznější upozornění, či se dokonce aktualizují celé části webové stránky. Nově se začínají objevovat webové nástroje pro kolaborativní editaci textů (případně i jiných multimédií), které kombinují myšlenku tvorby obsahu webu uživateli a právě odezvu aplikace ve skutečném čase.

Výstupem této práce je všeobecně nasaditelná komponenta, která bude použita jako jedna z komponent projektu webového IDE s pracovním názvem Laplace-IDE. Komponenta je také určena pro potřeby vývojářů, kteří chtějí vytvořit kolaborativní webový nástroj a nechtějí ho vytvářet od nuly.

Toto téma jsem si zvolil, jelikož většina doposud existujících kolaborativních textových nástrojů je postavena nad uzavřeným kódem nebo nad knihovnamy, jejichž vývoj byl ukončen. Neexistují tak nástroje, či knihovny, které by bylo možné bez větších problémů použít pro vlastní projekty.

V této práci se zabývám analýzou problému kolaborativní editace textů, porovnáním a výběrem vhodných existujících algoritmů a technologií, návrhem znovupoužitelné komponenty editoru a implementací prototypu nástroje pro kolaborativní editaci textů včetně navržené komponenty.

Tato práce dále pokračuje v následující struktuře: Nejprve se v kapitole 1 zabývám analýzou požadavků nástroje, zadaných technologií a algoritmů pro synchronizaci textů, ze které pak přecházím k návrhu komponenty editoru a prototypu v kapitole 2. V kapitole 3 popisuji zajímavé části implementace navrženého prototypu a na konec nad výsledným prototypem v kapitole 4 provádím uživatelské a výkonnostní testování.

Cíl práce

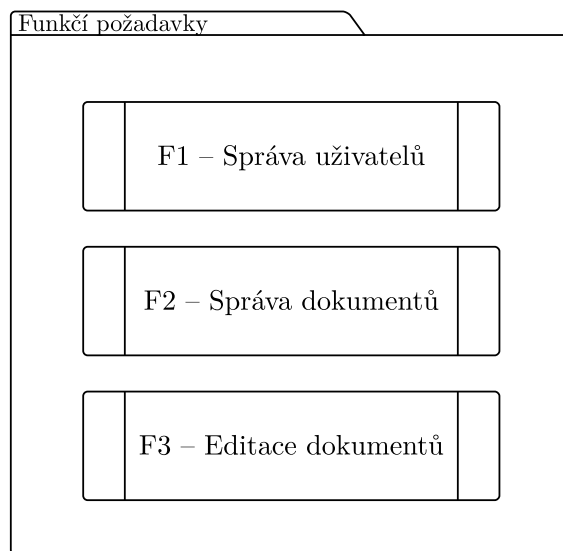
Cílem rešeršní části práce je analýza požadavků a sestavení doménového modelu nástroje pro kolaborativní editaci textů. Dále seznámení se zadanými technologiemi a rozbor existujících webových komunikačních protokolů. Cílem je také analýza problematiky synchronizace textů ve skutečném čase a nejčastěji používaných synchronizačních algoritmů. Ale i rozbor již existujících nástrojů, které umožňují kolaborativní editaci textů ve skutečném čase.

Cílem praktické části práce je navrhnout model pro uložení dat a komponentu kolaborativního textového editoru. Dále také navrhnout a implementovat prototyp aplikace s použitím navržené komponenty editoru. Implementovaný prototyp následně uživatelsky otestovat a vyhodnotit jeho kvality a nedostatky.

Analýza

2.1 Seznam funkčních požadavků

Před začátkem návrhu každé aplikace je důležité definovat funkční požadavky. Funkční požadavky slouží k vymezení funkcionalit navrhované aplikace. Jednotlivé funkční požadavky (viz diagram na obrázku 2.1) jsou dále rozšířeny uživatelskými případy (viz sekce 2.3), které definují použití jednotlivých funkcí aplikace.



Obrázek 2.1: Diagram funkčních požadavků

F1 – Správa uživatelů Tento požadavek představuje možnost vytvoření uživatelského účtu a jeho používání. Každý uživatel bude mít uživatelské

jméno, které je pro každého uživatele unikátní a slouží jako jeho identifikátor mezi ostatními uživateli. Uživatel si může své přihlašovací i jiné údaje po přihlášení kdykoliv změnit.

F2 – Správa dokumentů Přihlášený uživatel si může nechat zobrazit vytvořené dokumenty, vytvořený dokument smazat, či vytvořit dokument nový. Dokumenty jsou vázány na uživatele, který ho vytvořil (dále jen majitel dokumentu), a dokument nelze mezi uživateli přesouvat.

F3 – Editace dokumentů Uživatelé mohou upravovat jednotlivé dokumenty ve skutečném čase spolu s ostatními uživateli. U každého dokumentu bude k dispozici komunikační vlákno, kde mohou uživatelé, kteří dokument upravují, komunikovat mezi sebou. Uživatelé mohou pro přístup k dokumentu použít jeho veřejný odkaz nebo mohou být k dokumentu pozváni jednotlivě. Jednotlivý uživatelé, kromě majitele, mohou mít možnosti editace dokumentu omezeny pomocí nastavení práv dokumentu.

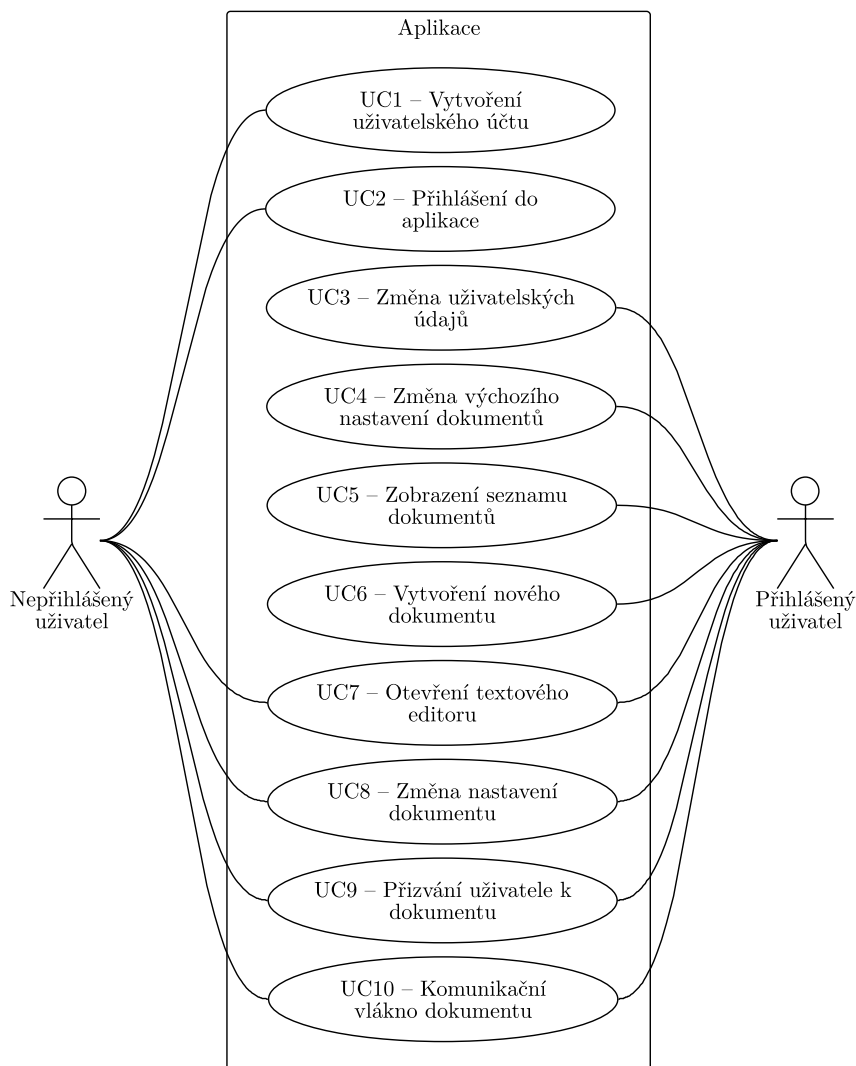
2.2 Seznam nefunkčních požadavků

Pro potřeby projektu Laplace-IDE byly vyhrazeny následující nefunkční požadavky:

1. validní kód HTML5 (více o jazyce HTML5 v sekci 2.5.1) a Cascading Style Sheets verze 3 (CSS3),
2. programovací jazyk Javascript (více o jazyce JavaScript v sekci 2.5.2),
3. prostředí Node.js (více o prostředí Node.js v sekci 2.5.3) pro server,
4. použití knihovny React (více o knihovně React v sekci 2.5.4) k implementaci komponenty Editoru.

2.3 Uživatelské případy

Uživatelské případy blíže rozvádějí funkční požadavky (viz sekce 2.1) a přesněji tak vymezují funkčnosti aplikace. V rámci navrhovaného prototypu této aplikace nejsou rozlišovány žádné uživatelské role. Rozlišován je pouze přihlášený uživatel od obecného nepřihlášeného uživatele. Z tohoto důvodu se v uživatelských případech vyskytují pouze tyto dva aktéři (viz diagram uživatelských případů na obrázku 2.2).



Obrázek 2.2: Diagram uživatelských případů

UC1 – Vytvoření uživatelského účtu Nový nepřihlášený uživatel si může pomocí registračního formuláře vytvořit uživatelský účet.

Aplikace zobrazí registrační formulář, který obsahuje vstupní pole uživatelské jméno, email a heslo. Uživatel formulář vyplní a odešle. Aplikace formulář zpracuje (vytvoří nového uživatele se zadanými údaji) a uživatele přihlásí. Uživateli je po přihlášení zobrazen seznam dokumentů (nyní prázdný) s tlačítkem vytvořit dokument.

UC2 – Přihlášení do aplikace Uživatel, který si již vytvořil uživatelský účet se může k tomuto účtu kdykoliv přihlásit.

Nepřihlášenému uživateli je v horní liště aplikace k dispozici tlačítko **Přihlásit se**. Po kliknutí na tlačítko je uživateli zobrazen přihlašovací formulář obsahující pole uživatelské jméno a heslo. Uživatel je po vyplnění správných údajů a odeslání formuláře přihlášen. Uživateli je po přihlášení zobrazen seznam dokumentů.

UC3 – Změna uživatelských údajů Přihlášený uživatel může kdykoliv provést změnu svých přihlašovacích údajů.

Přihlášený uživatel má v horní liště zobrazené tlačítko **Nastavení**. Po kliknutí na toto tlačítko je uživateli zobrazen formulář pro změnu údajů. Formulář obsahuje pole uživatelské jméno, email, nové heslo a aktuální heslo. Uživatel vyplní údaje, které chce změnit a aktuální heslo. Aplikace po odeslání zobrazí informaci o úspěšné změně údajů.

UC4 – Změna výchozího nastavení dokumentů Přihlášený uživatel může změnit výchozí nastavení dokumentů. Toto nastavení je následně aplikováno na uživatelem nově vytvořené dokumenty (u již existujících dokumentů se změny neprojeví).

Přihlášený uživatel má v horní liště zobrazené tlačítko **Nastavení**. Po kliknutí na toto tlačítko je uživateli zobrazen panel s tlačítkem **Nastavení dokumentů**, který se nachází nad formulářem pro změnu uživatelských údajů. Kliknutím na tlačítko je uživateli zobrazen formulář pro změnu výchozího nastavení dokumentů. Uživatel upraví pole, které chce změnit, a formulář odešle. Aplikace po odeslání zobrazí informaci o úspěšné změně nastavení.

UC5 – Zobrazení seznamu dokumentů Přihlášený uživatel si může zobrazit seznam jím vytvořených dokumentů, seznam dokumentů ke kterým byl přizván a seznam v minulosti otevřených dokumentů.

Přihlášený uživatel má v menu aplikace k dispozici tlačítka **Mé dokumenty**, **Sdílené** a **Poslední**. Po kliknutí na tlačítko aplikace zobrazí korespondující seznam dokumentů.

UC6 – Vytvoření nového dokumentu Přihlášený uživatel může kdykoliv vytvořit nový dokument. Počet vytvořených dokumentů není nijak omezený.

Přihlášený uživatel má k dispozici v horní liště tlačítko **Vytvořit nový dokument**. Po kliknutí na tlačítko aplikace dokument vytvoří a aplikuje na něj uživatelské výchozí nastavení pro dokumenty. Uživatel je přesměrován do textového editoru nově vytvořeného dokumentu.

UC7 – Otevření textového editoru Uživatel může přistoupit přímo k veřejnému odkazu dokumentu nebo otevřít editor kliknutím na odkaz v seznamu

dokumentů. Po otevření editoru je uživateli zobrazen samotný textový editor a uživatel může začít dokument upravovat (pokud k tomu má pro daný dokument dostatečné oprávnění).

UC8 – Změna nastavení dokumentu Uživatel může změnit nastavení dokumentu přímo z textového editoru (pokud k tomu má pro daný dokument dostatečná oprávnění). Aplikace zobrazí nad editorem tlačítko s ikonou ozubeného kola, které po kliknutí otevře panel s jednotlivými poli nastavení.

Nastavení je na editor a dokument aplikováno ve skutečném čase všem upravujícím uživatelům.

UC9 – Přizvání uživatele k dokumentu Uživatel může přizvat ostatní uživatele ke spolupráci nad dokumentem a to přímo z textového editoru (pokud k tomu má pro daný dokument dostatečná oprávnění). Aplikace zobrazí nad editorem tlačítko **Sdílet**, které po kliknutí otevře panel s možnostmi sdílení dokumentu.

Uživatel může změnit výchozí práva pro příchodí uživatele pomocí veřejného odkazu a následně odkaz sdílet. Nastavení práv veřejného odkazu se objeví po kliknutí na ikonu ozubeného kola, která se nachází vedle pole s veřejným odkazem. Po odeslání aplikace nastavení uloží a zobrazí potvrzení.

Uživatel také může přizvat jednotlivé uživatele kliknutím na tlačítko **Nová pozvánka**. Po kliknutí na toto tlačítko aplikace zobrazí formulář pro vytvoření pozvánky s poli uživatelské jméno a oprávnění. Uživatel pole vyplní podle potřeby a formulář odešle. Aplikace po odeslání vyhledá uživatele podle uživatelského jména a v případě nalezení vytvoří pozvánku k dokumentu. Aplikace následně obnoví seznam pozvánek pod formulářem a zobrazí informaci o úspěchu, či neúspěchu pozvání.

UC10 – Komunikační vlákno dokumentu Uživatel může přispívat do komunikačního vlákna přímo z textového editoru (pokud k tomu má dostatečná oprávnění). Panel s komunikačním vláknem je zobrazen po kliknutí na tlačítko s ikonou konverzační bubliny.

2.3.1 Matice pokrytí funkčních požadavků

Při návrhu uživatelských případů je důležité ověřit, zda-li jsme případy pokryli všechny funkční požadavky. Právě k tomuto účelu slouží matice pokrytí funkčních požadavků (viz tabulka 2.1). Matice pokrytí nám ukazuje, které funkční požadavky jsou pokryty v rámci jednotlivých uživatelských případů.

Tabulka 2.1: Matice pokrytí uživatelských požadavků

	UC1	UC2	UC3	UC4	UC5	UC6	UC7	UC8	UC9	UC10
F1	×	×	×	×						
F2				×	×	×	×		×	
F3							×	×	×	×

2.4 Doménový model

Pro lepší pochopení dané terminologie je vhodné vytvořit doménový model a popsat jeho entity (viz diagram doménového modelu na obrázku 2.3). Doménový model je také užitečný jako podklad při návrhu databázového schématu (viz sekce 3.2).

2.4.1 Uživatel

Entita **Uživatel** nese uživateli přihlašovací informace, email, který bude použit v případě zapomenutého hesla, a čas posledního přihlášení. Čas posledního přihlášení může být využit například pro odstranění neaktivních účtů.

2.4.2 Dokument

Entita **Dokument** je nositelem informací o dokumentu. Atribut **poslední obsah** obsahuje poslední text dokumentu potvrzený serverem, který je posílán nově připojeným klientům.

2.4.3 Nastavení dokumentu

Nastavení dokumentu nese informace o vzhledu a chování editoru pro jednotlivé dokumenty. Vazba na entitu **Uživatel** umožňuje vytvoření výchozího nastavení dokumentu pro uživatelem nově vytvořené dokumenty.

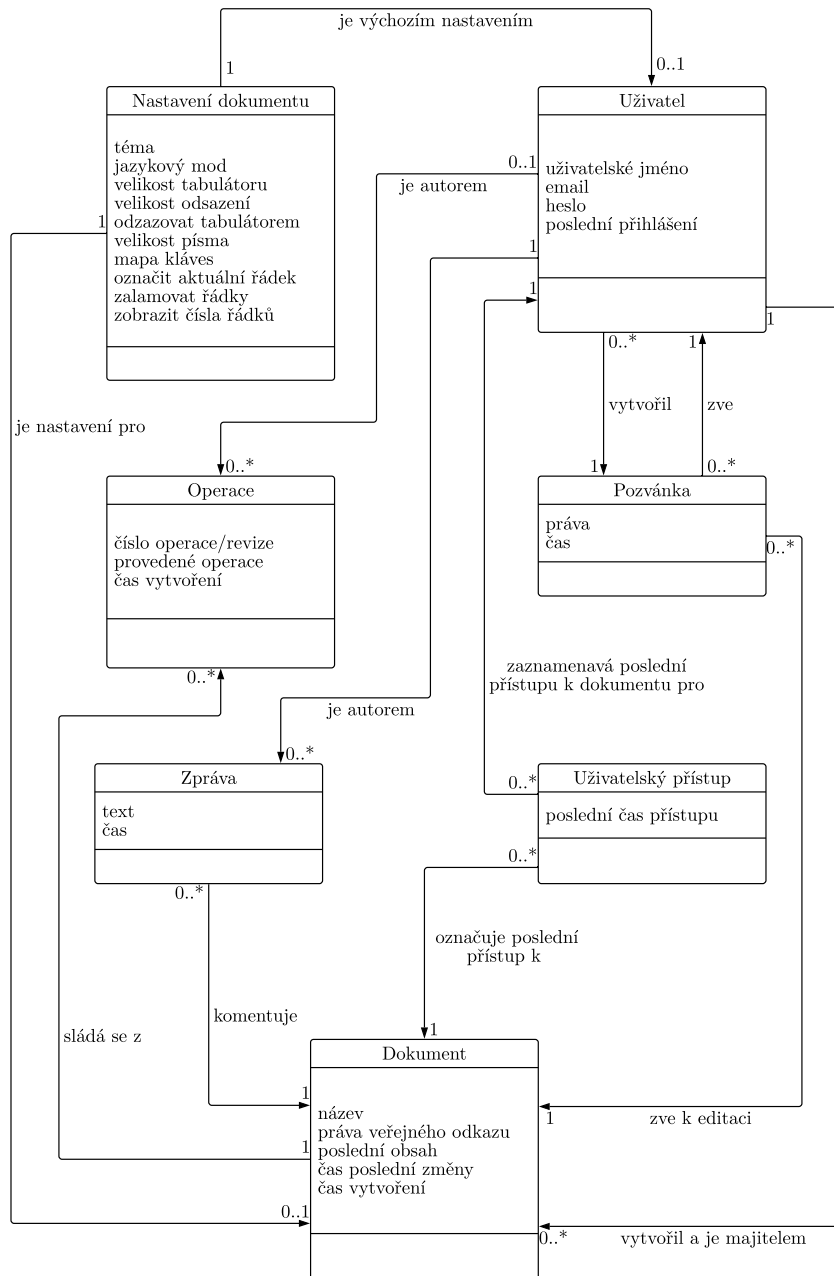
2.4.4 Operace

Entita **Operace** označuje jednu revizi dokumentu a obsahuje soubor změn, které byly v dokumentu provedeny od předchozí revize.

2.4.5 Další entity

Entita **Pozvánka** umožňuje uživateli pozvat dalšího uživatele k nahlédnutí, či úpravám dokumentu (podle zvoleného atributu práva). **Zpráva** označuje jednu zprávu v komunikačním vlákne dokumentu, z pevné vazby na entitu **Uživatel** plyne omezení, že zprávu může odeslat pouze přihlášený uživatel. A poslední entita **Uživatelský přístup** udržuje informaci o času posledního přístupu

uživatele k dokumentu (pro každou dvojici uživatel a dokument existuje nejvýše jedna její instance).



Obrázek 2.3: Diagram doménového modelu

2.5 Technologie

V této sekci popisují použité technologie vycházející z nefunkčních požadavků, které jsou uvedeny v sekci 2.2.

2.5.1 HTML5

HTML5 je značkovací jazyk používaný pro reprezentaci a strukturování obsahu na internetu (přesněji na WWW). Jedná se již o pátou verzi standardu Hypertext Markup Language (HTML) (doporučená verze podle The World Wide Web Consortium [W3C] v roce 2018 je HTML 5.2 [1]). Tato verze do standardu přidává mimo jiné nové elementy, atributy a funkcionalitu. Pod pojem HTML5 také často zařazujeme rozsáhlou množinu moderních technologií, které umožňují tvorbu více rozmanitých a mocných webových stránek či aplikací. [2]

HTML vytvořil Tim Berners-Lee a HTML standart byl definován ve spolupráci s organizací Internet Engineering Task Force (IETF) v roce 1993 [3]. Od roku 1996 převzala vývoj HTML standartu organizace The World Wide Web Consortium (W3C) [4]. Roku 2008 se k W3C přidala organizace Web Hypertext Application Technology Working Group (WHATWG) a započali vývoj standartu HTML5, který společně vydali v roce 2014 [5].

2.5.2 JavaScript

JavaScript pod pracovním názvem LiveScript vytvořil Brendan Eich v roce 1995, kdy působil jako inženýr ve firmě Netscape. Přejmenování na JavaScript bylo marketingové rozhodnutí a mělo využít tehdejší popularity programovacího jazyka Java od Sun Microsystems a to přesto, že tyto jazyky spolu téměř nesouvisí. Javascript byl poprvé vydán jako součást prohlížeče Netscape 2 roku 1996. Později téhož roku představila firma Microsoft pro svůj prohlížeč Internet Explorer 3 jazyk JScript, který byl JavaScriptu velice podobný. [6]

Roku 1997 vydala organizace European Computer Manufacturer's Association (ECMA) první verzi standartu ECMAScript vycházející z původního JavaScriptu a JScriptu [7]. Tento standart prošel v roce 1999 rozsáhlou aktualizací jako ECMAScript 3, která je bez větších změn používána dodnes [6].

Další verze ECMAScript standartu podle [8] jsou:

- ECMAScript 5 z roku 2009,
- ECMAScript 5.1 z roku 2011 (ISO/IEC 16262:2011),
- ECMAScript 2015,
- ECMAScript 2016,
- ECMAScript 2017,

- připravovaný standart ECMAScript 2018.

Dnes pod označením JavaScript běžně chápeme právě standardizovaný ECMAScript [6] a i já ho tak budu dále označovat.

Javascript je navržen k běhu jako skriptovací jazyk v hostitelském prostředí, které musí zajistit mechanismy pro komunikaci mimo toto prostředí. Nejčastějším hostitelským prostředím je webový prohlížeč, ale Javascript můžeme nalézt i na místech jako je Adobe Acrobat, Adobe Photoshop, SVG vektorová grafika, serverové prostředí NodeJS, databáze Apache CouchDB, nejrůznější vestavěné systémy a další. [6]

Javascript je více paradigmový, dynamický jazyk s datovými typy, operátory, standardními vestavěnými objekty a metodami. Jeho syntaxe je založena na jazycích Java a C. JavaScript podporuje objektově orientované programování pomocí objektových prototypů namísto tříd jako je tomu například u jazyku Java. Dále také podporuje principy funkcionální programování – funkce jsou také objekty. [6]

2.5.3 Node.js

Node.js je JavaScriptové běhové prostředí (anglicky runtime environment), které používá událostmi řízenou architekturu umožňující asynchronní přístup k I/O operacím. Tato architektura umožňuje optimalizovat propustnost a škálovatelnost webových aplikací s mnoha I/O operacemi, ale také webových aplikací ve skutečném čase (například komunikační programy nebo hry v prohlížeči). [9]

Toto je v kontrastu s dnešními více známými modely souběžnosti, kde se využívají vlákna operačního systému. Síťová komunikace založená na vláknech je relativně neefektivní a její použití bývá velmi obtížné. [10]

Node.js využívá V8 JavaScript interpret vytvořený společností Google pod skupinou The Chromium Project pro prohlížeč Google Chrome a ostatní prohlížeče postavené na Chromium (prohlížeč s otevřeným zdrojovým kódem od společnosti Google) [11]. V8, který je napsaný v C++, kompiluje JavaScriptový kód do nativního strojového kódu namísto jeho interpretace až za běhu programu. To umožňuje vytvořit rychlé běhové prostředí, které nemusí čekat na překlad potřebného kódu. [9]

2.5.4 React

React je Javascriptová knihovna pro tvorbu uživatelského rozhraní [12]. React byl vytvořen Jordanem Walkem, inženýrem ve společnosti Facebook, a byl poprvé použit v roce 2011. Původně byl React určen výhradně pro použití na Facebook Timeline, ale Facebook inženýr Pete Hunt se rozhodl React použít i v aplikaci Instagram. Postupně tak React zbavil závislostí na kód Facebooku a tím napomohl vzniku oficiální React knihovny. React byl představen veřejnosti jako knihovna s otevřeným zdrojovým kódem v květnu roku 2013. [13]

Základním prvkem Reactu jsou takzvané komponenty, které přijímají neměnné vlastnosti a mohou definovat vlastní stavové proměnné. Na základě těchto vlastností a stavu, pak komponenta může rozhodnout co bude jejich výstupem pro uživatele (pomocí metody render). Tato vlastnost se nazývá jednosměrný datový tok (anglicky One-way data flow) a architekturu implementovanou v knihovně React nazýváme Flux (ta je součástí Reactu už od samého počátku). [12] Existují však komunitou vytvořené alternativní nástroje, které řeší datový tok v aplikaci, jako je například knihovna Redux [14].

2.5.5 Databáze

Databáze je strukturovaný systém souborů určený pro perzistentní uložení dat. Často je ve smyslu slova databáze chápána i množina podpůrných softwarových nástrojů, tato množina je nazývána jako Systém Řízení Báze Dat (SŘBD), anglicky Database Management System (DBMS).

Zaměřím se pouze na nejoblíbenější zástupce Structured Query Language (SQL) a Not only SQL (NoSQL) databázi, tedy MySQL a MongoDB [15].

MySQL je relační SŘBD vyvíjený a podporovaný společností Oracle. Uložená data musejí mít pevnou strukturu, jsou strukturována do tabulek (jednotlivé záznamy jsou pak jejich řádky). MySQL využívá dotazovací jazyk SQL a každá změna struktury dat vyžaduje migrační proceduru, která může způsobit dočasné problémy s dostupností. MySQL databáze nabízí pouze možnost vertikálního škálování, případně replikaci dat mezi více databázemi. [16]

MongoDB je nerelační SŘBD s otevřeným zdrojovým kódem vyvíjený společností MongoDB, Inc. Data nemají pevně definovanou strukturu a jsou reprezentována pomocí Binary JavaScript Object Notation (JSON) (BSON) dokumentů. Díky jejich rychlému převodu na klasický JSON není potřeba využívat složité Object-relational mapping (ORM) nástroje pro mapování dat na objekty, jako tomu je například u SQL databází, a tím umožňuje urychlit celkový vývoj aplikací. Nástroje pro mapování dat z dokumentů na objekty jsou nazývány Object-document mapping (ODM). MongoDB nabízí možnost horizontálního škálování a to až do stovek databázových serverů. [16]

2.6 Typy síťové komunikace

V této sekci se zaměřuji na rozdílné přístupy ke komunikaci v architektuře klient-server a popisuji jejich výhody, či nevýhody.

2.6.1 Pull technologie

Jako pull technologie označuje klasickou strukturu komunikace architektury klient-server. Iniciátorem spojení je výhradně klient a není možné odeslat data ze serveru ke klientovi bez jeho předchozí žádosti.

Příkladem může být běžný protokol Hypertext Transfer Protocol (HTTP), kde klient (většinou prohlížeč) odesílá požadavek na server a ten mu obratem zašle zpět odpověď. [17]

2.6.2 Push technologie

Push technologie označuje strukturu komunikace, která je do jisté míry opačná od Pull technologií. Iniciátorem komunikace je server, jenž tak může odeslat nová data klientovi i bez jeho žádosti.

Tento přístup lze použít například pro textovou komunikaci ve skutečném čase. Klient nemůže dopředu vědět, zda-li je na serveru k dispozici nová textová zpráva a neví tedy kdy odeslat požadavek pro získání nové zprávy. V případě Push technologií mu stačí počkat a server mu novou zprávu pošle sám. [17]

2.6.2.1 Short a Long polling

Jednou z nejjednodušších metod implementace push technologie je takzvaný **Short pooling**. Jedná se o metodu, kdy se klient musí pravidelně dotazovat serveru na nová data, či nové události a tedy o implementaci pomocí opakovaného užití pull technologie. Pokud server žádná nová data nemá, či nedošlo k žádné nové události, odešle klientovi prázdnou odpověď a ukončí spojení.

Druhou možností je držet spojení mezi klientem a serverem otevřené co nejdéle a odpovědět pouze v případě existence nových dat (takzvaný **Long polling**). Výhodou metody Long polling oproti metodě Short polling je nižší počet požadavků, tedy i nižší objem přenesených dat. Otevřené spojení v případě Long pooling také snižuje dobu, za kterou se ke klientu dostanou nová data.

Hlavní výhodou obou zmíněných method je jednoduchost implementace a to jak na klientské, tak i serverové straně komunikace. Mezi hlavní nevýhody patří režijní náklady spojené s HTTP protokolem a jeho hlavičkami, které musí být neustále přeposílány mezi serverem a klientem, a zvyšování doby mezi přijetím dat serverem a jejich přijetím klientem při časté komunikaci. [18]

2.6.2.2 HTTP streaming

Další metodou implementace push technologie je takzvaný HTTP Streaming, který je podobný metodě Long polling s tím rozdílem, že server data posílá jen jako částečnou odpověď a nemusí tedy ukončit spojení. Tato metoda staví na možnosti webové serveru odesílat více částí dat ve stejné odpovědi (například pomocí hlavičky `Transfer-Encoding: chunked` v rámci protokolu HTTP verze 1.1 a novější).

Výhodou metody HTTP Streaming je snížení latence a snížení režijních nákladů s posláním HTTP hlaviček, které jsou nutné pouze při vytvoření nového spojení. Mezi nevýhody patří chování výchozí vyrovnávací paměti prohlížečů

a klientských knihoven, kde není zajištěn přístup k částečným odpovědím od serveru. [18]

2.6.2.3 Server-Sent Events

Server-Sent Events je způsob implementace push technologie přímo webovým prohlížečem. Mimo běžný HTTP protokol může podporovat i jiné komunikační protokoly (záleží na podpoře prohlížeče) [19]. Z pohledu serveru je jeho použití analogické k Long polling, či HTTP Streaming metodě. [20]

Výhodou Server-Sent událostí je jednoduchá implementace pro webové vývojáře, kteří nemusí využívat externí knihovny, ale mohou použít přímo Application Programming Interface (API) prohlížeče. Nevýhodou je relativně nízká podpora mezi webovými prohlížeči a to převážně mezi prohlížeči pro mobilní zařízení. [18]

2.6.2.4 HTML5 Web Socket

HTML5 Web Socket je protokol umožňující plně duplexní oboustrannou komunikaci mezi klientem a server. Jedná se o samostatný protokol, který netíží režijní náklady spojené s HTTP a umožňuje tak velmi efektivní výměnu informací ve skutečném čase. Web Socket využívá HTTP protokol pouze pro navázání spojení, pro které je následně pomocí hlavičky `Connection: Upgrade` změněn protokol z HTTP právě na Web Socket. [21]

Hlavní výhodou používání protokolu Web Socket je již zmíněná oboustranná komunikace, nízká odezva a nízké režijní náklady, jak na klientské, tak i na serverové straně komunikace. Mezi hlavní nevýhody patří slabší podpora ze strany prohlížečů, která se ovšem kvůli vysoké popularitě stále zlepšuje a obecně je stále lepší než podpora Server-Sent Events. [20]

2.7 Algoritmy používané pro kolaborativní editaci textů

Synchronizace dvou a více kopií stejného dokumentu ve skutečném čase je komplexní problém. V této sekci popisují přístupy k synchronizaci textů, ale také dva nejznámější a nejrozšířenější algoritmy pro synchronizaci textu mezi více klienty při použití architektury klient-server [22].

2.7.1 Druhy algoritmů

Existují tři nejčastější přístupy k problému synchronizace, metoda zamykání (nebo také vlastnictví), předávání událost a třisměrné sloučení.

Metoda **zamykání** je nejjednodušší technika. Ve své nejčastější formě může dokument v jednu chvíli editovat pouze jeden uživatel a to ten který

si dokument uzamkl. Ostatní uživatelé mohou dokument pouze číst. Provádět změny mohou pouze po uvolnění zámku, stažení nové verze dokumentu a přivlastnění jeho zámku.

Některé vylepšené algoritmy na základě uzamykání se pokoušejí automaticky uzamykat pouze upravované části dokumentu. To však zamezuje úzké spolupráci více uživatelů nad dokumentem, protože každý může pracovat pouze na své uzamčené části.

Metoda **předávání událostí** spočívá v myšlence zachycení všech změn provedených nad dokumentem a jejich provedení nad všemi kopiemi zároveň. Hlavní představitelem tohoto přístupu je právě operační transformace, o které píše níže v sekci 2.7.3.

Hlavním problémem tohoto přístupu je zachycení všech změn dokumentu, jež mohou být triviální, jako je například napsání znaku, ale také například vložení obrázku, přetažení velkého množství textu, automatická oprava překlepů a mnoho dalších. Přístup předávání událostí není přirozeně konvergentní. Každá změna, která není správně zachycena (nebo ztracena při cestě po síti), vytváří novou verzi dokumentu, kterou již není možné správně obnovit.

Poslední částou metodou je takzvané **třísměrné sloučení**. Uživatel odešle svůj změněný dokument na server, který provede sloučení s aktuální verzí na serveru a uživateli pošle novou sloučenou verzi zpět. Pokud uživatel provedl v době synchronizace v dokumentu změny novou verzí ignoruje a musí se o synchronizaci pokusit znovu později.

Jedná se poloduplexní systém, dokud uživatel píše nedostává žádné aktualizace o dokumentu a ve chvíli, co psát přestane, se všechny změny od ostatních uživatel zobrazí nebo se zobrazí hláška o nastalé kolizi (to záleží na použitém slučovacím algoritmu). [23], [24]

„Tento systém lze přirovnat k automobilu s čelním sklem, které se stane během jízdy neprůhledné. Podívej se na cestu, pak jeď chvíli poslepu, pak zastav a podívej se znovu. Kdyby všichni řídili stejný druh ,dívej se, anebo jeď‘ automobilů, těžké nehody by byly velmi časté.“ [23] přeložil Jiří Šimeček

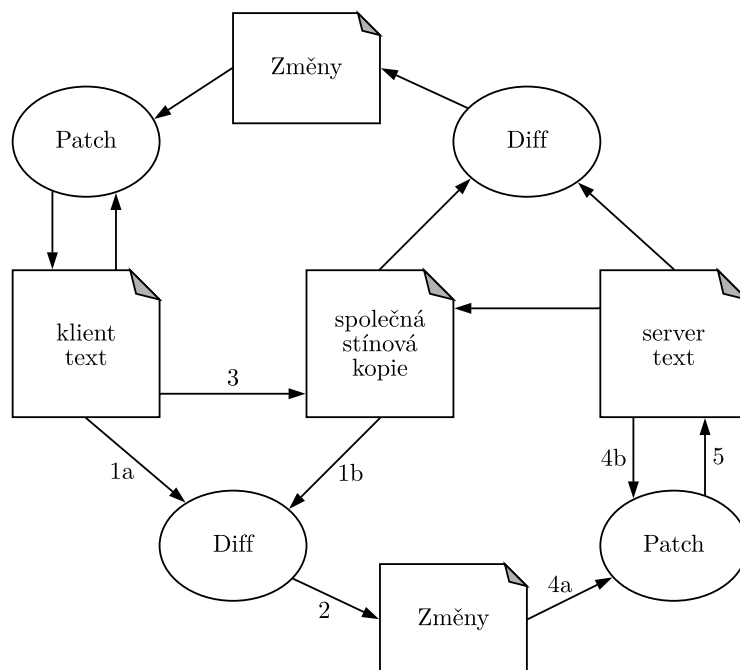
Příkladem systému, který používá třísměrné sloučení, je například Apache Subversion (SVN), systém pro správu zdrojových kódů.

2.7.2 Diferenciální synchronizace

Diferenciální synchronizace (DS) je algoritmus, který vymyslel Neil Fraser a lze považovat za zástupce třísměrného sloučení. DS řeší problém s průběžnou synchronizací, jímž trpí klasický model třísměrného sloučení, a to použitím stínových kopií a diff-patch algoritmu nejen na serveru, ale i u každé kopie dokumentu.

2. ANALÝZA

Na obrázek číslo 2.4 je vidět zjednodušený vývojový diagram DS algoritmu. Diagram předpokládá dva dokumenty (pojmenované `server text` a `klient text`), které jsou umístěné na stejném počítači a tedy nepočítá se síťovou dobou odezvy.



Obrázek 2.4: Diferenciální synchronizace vývojový diagram [23]

Na začátku jsou všechny dokumenty stejné (`klient text`, `server text` i `společná stínová kopie`). `Klient text` i `server text` mohou být libovolně upraveny a cílem algoritmu je udržet oba dokumenty neustále co nejvíce podobné.

Algoritmus pokračuje následujícími kroky (viz čísla u jednotlivých přechodů diagramu 2.4):

1. `klient text` je porovnán oproti `společné stínové kopii`,
2. výsledkem porovnání je seznam změn, které byly provedeny na `klient text` kopii dokumentu,
3. `klient text` je překopírován přes `společnou stínovou kopii`,
4. seznam změn je aplikován na `server text` (za použití best-effort match algoritmu),
5. `server text` je přepsán výsledkem aplikace změn.

Důležité je, že pro správné fungování musí být kroky 4 a 5 atomické, tedy nesmí se stát, že by se server text v tuto chvíli změnil.

Algoritmus předpokládá použití libovolného diff-patch algoritmu, který umožňuje aplikovat změny i na změněný dokument. Lze například použít diff-match-patch algoritmus od společnosti Google. Ten implementuje diff algoritmus od Eugene W. Myers považovaný za nejlepší obecně použitelný diff algoritmus [25]. [23], [24]

2.7.3 Operační transformace

Operační transformace (OT) je algoritmus, který se poprvé objevil ve výzkumném článku s názvem Kontrola souběhu v skupinových systémech od autorů Ellis a Gibbs roku 1989. Jedná se o nejčastěji používaný algoritmus pro kolaborativní editaci ve skutečném čase. [26]

Algoritmus je možné použít pro synchronizaci dokumentů různých formátů, ale pro jednoduchost se zaměřím pouze na textové dokumenty bez jakýchkoliv formátovacích značek (například zdrojový kód).

Základní jednotkou celého algoritmu je **operace**. Operace označuje změnu v dokumentu a u čistě textových dokumentů rozlišujeme tři druhy operací:

- přeskoč s parametrem počet znaků označující počet znaků k přeskočení,
- odstraň řetězec s řetězcem jako parametrem označující řetězec k odstranění,
- přidej řetězec s parametrem označující řetězec k přidání. [27]

Transformace dokumentu Pomocí těchto třech operací lze popsat jakoukoli změnu, která mohla v dokumentu nastat, a zároveň daný dokument upravit, tak aby odpovídal stavu po této operaci. Tento proces aplikace operace (či jejich souboru) se nazývá transformace dokumentu a umožňuje upravit dokument bez nutnosti jeho uzamčení, či řešení konfliktů.

Transformace má i své omezení, které říká, že součet znaků všech operací transformace se musí rovnat délce dokumentu, nad kterým bude transformace provedena. Toto omezení není například u aplikace změn v rámci algoritmu DS vůbec potřeba, protože změny nenesou informaci o délce celého dokumentu.

Kombinace operací Operace lze také kombinovat, určitě totiž platí, že je-li dán dokument A, soubor operací transformující dokument A na B a soubor operací transformující dokument B na C, tak jistě existuje soubor operací transformující dokument A na dokument C.

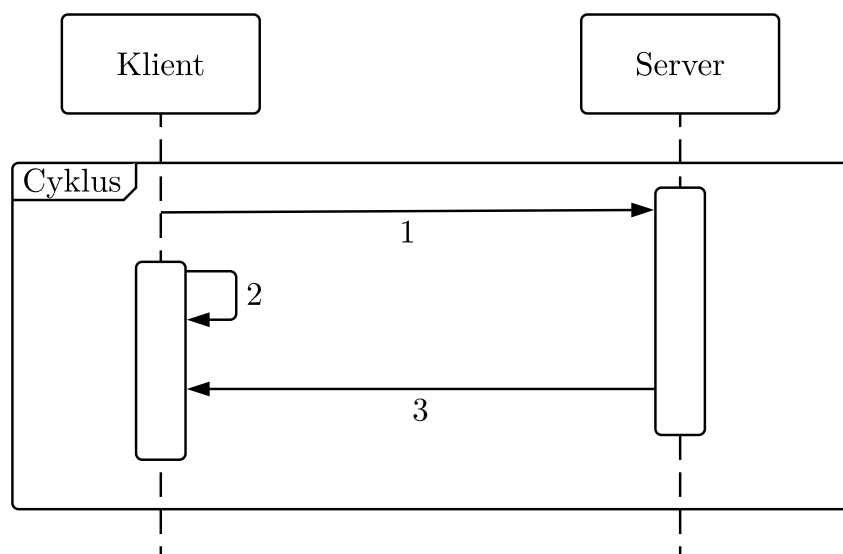
Transformace operací Dále lze operace transformovat a to pomocí jiných operací. Je-li dán dokument A, soubory operací z A do B, z A do C, pak

2. ANALÝZA

aplikací změn, z kterých byl vytvořen druhý soubor, na dokument B získáme nový soubor operací (soubor transformovaný). [28]

Základní komunikace se skládá z následujících kroků (také znázorněna pomocí sekvenčního diagramu na obrázku číslo 2.5):

1. po změně dokumentu klient změnu popíše pomocí souboru operací, který odešle na server,
2. klient do přijetí potvrzení nesmí na server odeslat další operace, další změny si klient ukládá a kombinuje do jednoho velkého souboru operací,
3. server po přijetí odešle klientu, který soubor vytvořil, potvrzení o přijetí přijetí a pošle soubor všem ostatním klientům,
4. klient po přijetí souboru může odeslat nastřádaný soubor zkombinovaných operací (pokračuje bodem 2) nebo čeká na další změnu a pokračuje znovu bodem 1. [29]



Obrázek 2.5: Operační transformace sekvenční diagram

O čekání klienta před odesláním dalších operací na potvrzení přijetí posledního souboru serverem se zaručili vývojáři společnosti Google, kteří toto pravidlo poprvé použili pro službu Google Wave (více o službě v sekci 2.8.1). Toto vylepšení snižuje náročnost celého algoritmu omezením počtu současných operací, které by musel server kombinovat. [29]

Pokud klient při čekání na potvrzení od serveru dostane cizí soubor operací, musí tento soubor aplikovat na svou kopii dokumentu a transformovat již uložené operace v závislosti na přijatých operacích. Také pokud server dostane od klienta soubor operací vzniklý před potvrzením posledního souboru, musí soubor transformovat přes všechny soubory operací, které server potvrdil po jeho vytvoření. Z tohoto důvodu jsou soubory operací číslovány a klient s novým souborem operací odesílá na server i poslední pro něj známé číslo souboru.

Implementace obecného algoritmu OT pro různé typy dokumentů není vůbec jednoduchá, což potvrzuje i následující tvrzení tehdejšího vývojáře Google Wave Josepha Gentle:

„Naneštěstí, implementovat OT není vůbec veselé. Existuje milion algoritmů s různými kompromisy, které jsou však většinou uvězněny ve vědeckých pracích. Tyto algoritmy je opravdu obtížné a časově náročné správně implementovat. [...] Jsem bývalý vývojář Google Wave. Napsání Wave trvalo 2 roky a pokud bychom ho dnes chtěli přepsat, napodruhé by to trvalo téměř stejně tak dlouho.“ [30] přeložil Jiří Šimeček

2.8 Existující řešení

V této sekci představuji již existující nástroje pro kolaborativní editaci textů a prozradím, který algoritmus pro sdílení textů používají.

2.8.1 Apache Wave

Apache Wave je pokračováním produktu Google Wave od společnosti Google po jeho ukončení. V lednu roku 2018 byl jeho vývoj pod záštitou Apache Foundation ukončen a není v něm již pokračováno. [31]

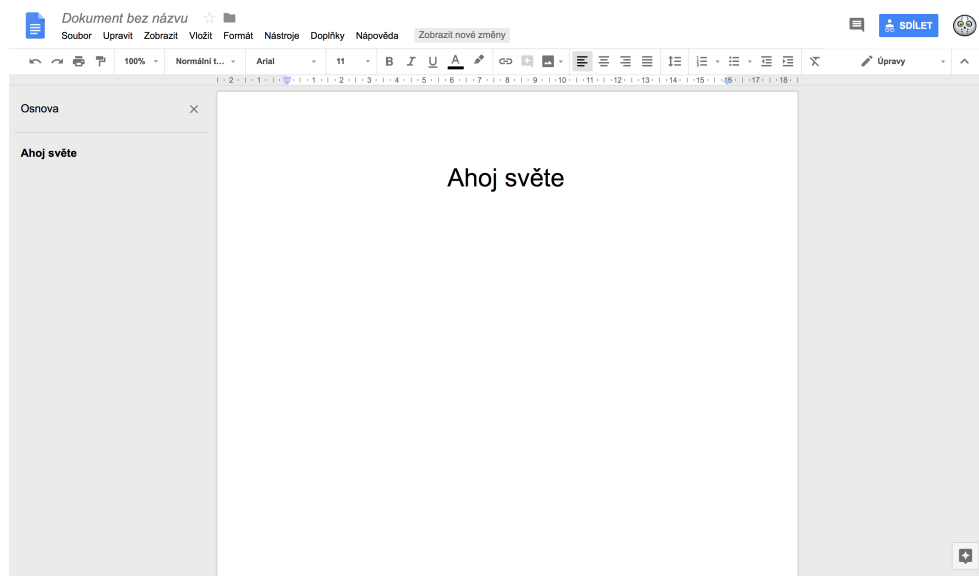
Jedná se o serverové řešení komunikace ve skutečném čase napsané v jazyce Java, které obsahuje implementaci protokolu Wave Federation. Protokol Wave Federation byl navržen jako rozšíření algoritmu OT (více o algoritmu v 2.7.3) společností Google a zasloužil se o důležité vylepšení v podobě potvrzování každé přijaté operace serverem. [31], [32] Projekt dnes není prakticky nasaditelný (nevyšla žádná stabilní verze), ale je považován za důležitý krok k rozšíření kolaborativní editace [28].

2.8.2 Google Docs

Google Docs (viz ukázka uživatelského rozhraní na obrázku 2.6) je textový procesor, který je spolu s dalšími kancelářskými aplikacemi součástí služby Google Drive od společnosti Google. Jedná se o editor typu „co vidíš, to dostaneš“ (WYSIWYG) podobný ostatním kancelářským textovým procesorům (jako je například Microsoft Word, OpenOffice Writer a další). [33]

2. ANALÝZA

Google Docs využívá Google Apps API, které je také postaveno nad algoritmem OT (více o algoritmu v 2.7.3) [34] a to včetně vylepšení, se kterým přišel Google při vývoji Google Wave [35].

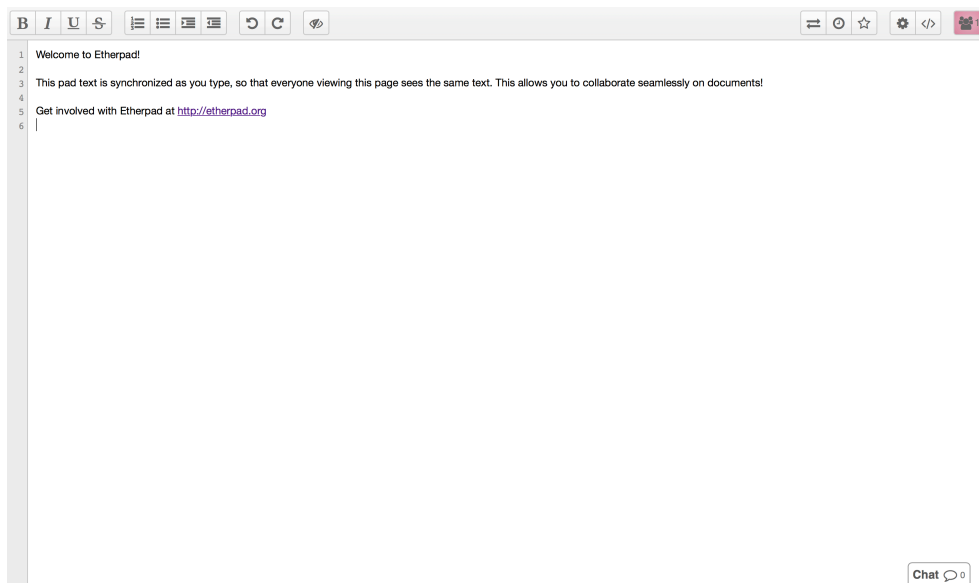


Obrázek 2.6: Ukázka aplikace Google Docs

2.8.3 Etherpad

EtherPad (viz ukázka uživatelského rozhraní na obrázku 2.7) jako webová služba pro kolaborativní editaci textů byla odkoupena společností Google roku 2009 za účelem integrace do tehdejší služby Google Wave [36]. Google poté zveřejnil zdrojové kódy služby a vznikl tak projekt Etherpad, webový textový procesor s otevřeným zdrojovým kódem [37].

Etherpad byl od zveřejnění otevřeného kódu přepsán z jazyka Scala do JavaScriptu (více o JavaScriptu v 2.5.2) pro serverové prostředí NodeJS (více o NodeJS v 2.5.3), ale původní synchronizační knihovna nazývaná EasySync zůstává nadále stejná [38], [39]. Knihovna EasySync (a tím tedy i Etherpad samotný) využívá principy algoritmu OT (více o algoritmu v 2.7.3) a to včetně vylepšení ve formě čekání klienta po odeslání operace na potvrzení od serveru [39]. Dnes existuje množství nejrozličnějších zásuvných modulů, které rozšiřují možnosti nástroje Etherpad a to i včetně modulu pro komunikaci pomocí Web Real-Time Communication (WebRTC), protokol umožňující implementaci audio, či video hovorů přímo ve webovém prohlížeči. [40].



Obrázek 2.7: Ukázka aplikace Etherpad

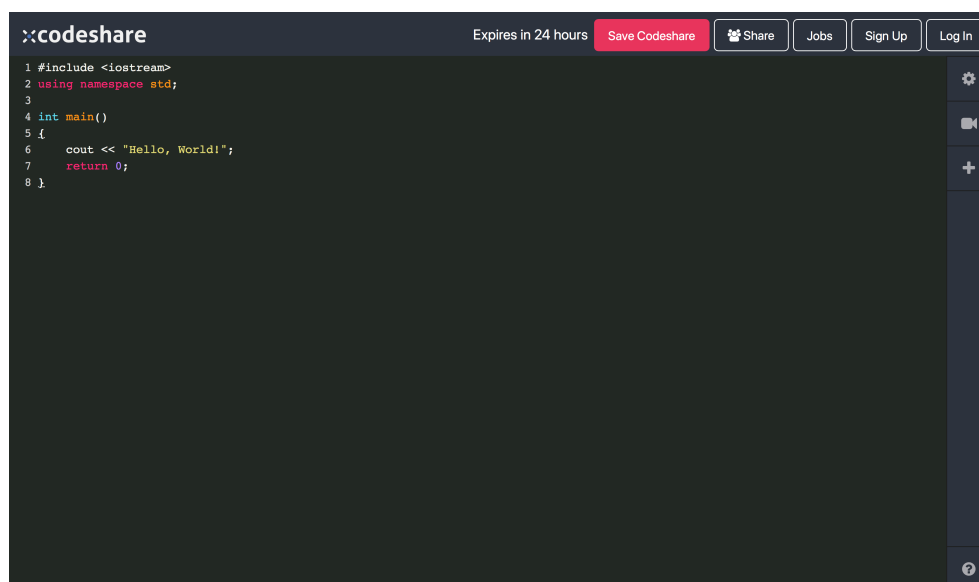
2.8.4 Codeshare.io

Codeshare.io (viz ukázka uživatelského rozhraní na obrázku 2.8) je textový editor zaměřený na vývojáře a jejich spolupráci ve skutečném čase. Jako hlavní využití aplikace Codeshare.io její autor zmiňuje pohovory s vývojáři a to díky integrovanému video chatu pomocí technologie WebRTC. [41]

„Spojil jsem Firebase s Ace editorem a vznikl Codeshare.io, nástroj pro sdílení kódu ve skutečném čase.“ [42] přeložil Jiří Šimeček

Codeshare.io využívá k synchronizaci textu databázi Firebase Real-time Database od společnosti Google. Tato databáze umožňuje jednotlivým klientům naslouchat, kdy se v databázi změní data a následně tyto data načíst. Jedná se o velmi jednoduchý model synchronizace obsahu na bázi atomických změn a není zde využito žádného pokročilejšího algoritmu pro synchronizaci textu. [42]

2. ANALÝZA



Obrázek 2.8: Ukázka aplikace Codeshare.io

Návrh

3.1 Architektura

Architektura určuje strukturu a části aplikace. V této sekci vysvětlím jednotlivé části navržené architektury prototypu aplikace.

Navrženou architekturu rozdělím na tři následující části: klientskou, serverovou a databázovou. Jedná se o model klient-server (viz obrázek 3.1), protože jsou od sebe role klientské a serverové části aplikace striktně odděleny. Komunikace mezi nimi probíhá pomocí předem definovaných aplikačních rozhraní postavených na protokolu HTTP (více o rozhraní v sekcích 3.5 a 3.6).

3.1.1 Klientská část

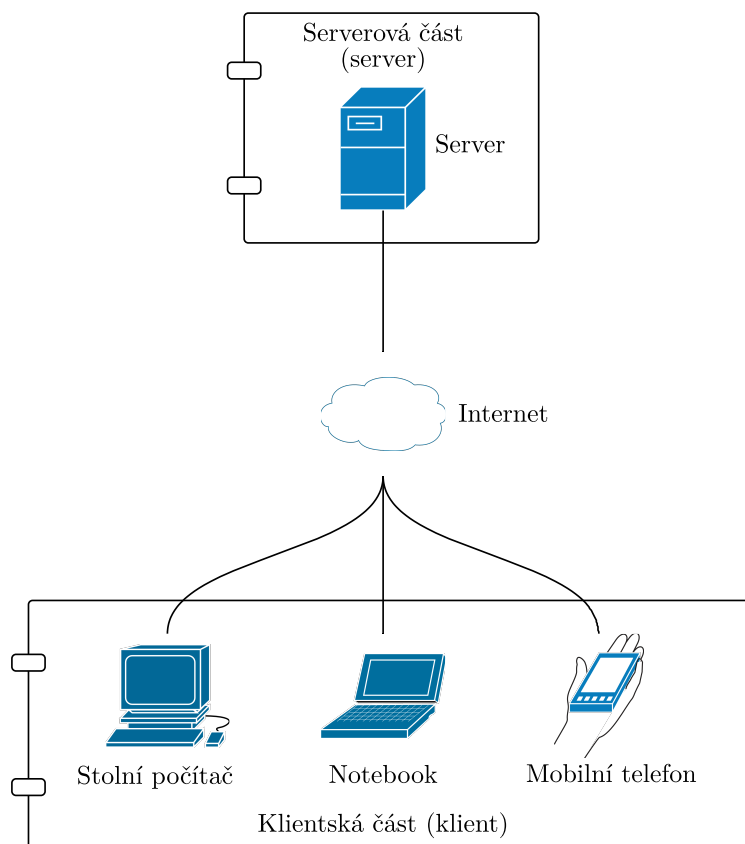
Klientská část aplikace je část, která běží v samotném prohlížeči uživatele. Reaguje na uživatelský vstup, generuje uživatelské rozhraní podle aktuálního stavu aplikace a pomocí protokolu HTTP komunikuje se serverovou částí za účelem úpravy, či získání dat.

Klientská část je napsána v jazycích HTML5 a JavaScript, ale také využívá knihovny pro tvorbu uživatelského rozhraní ReactJS (více o technologiích v sekci 2.5).

3.1.2 Serverová část

Serverová část je stěžejní částí aplikace, její hlavní zodpovědnost tvoří poskytnutí autentizace a autorizace jednotlivých uživatelů aplikace. Tato část je dále zodpovědná za zajištění konzistence dat v perzistentním (databázovém) úložišti a poskytuje rozhraní pro komunikaci s klientskou částí aplikace.

Serverová část využívá JavaScriptové běhové prostředí Node.js (více o prostředí v sekci 2.5.3) a je navržena podle dvouvrstvé architektury. Datová vrstva zajišťuje přístup k databázové části aplikace a za pomoci návrhového vzoru repozitář (anglicky repository pattern) vystavuje rozhraní v rámci serverové



Obrázek 3.1: Diagram architektury aplikace (klient-server)

části, které umožňuje přístup k uloženým datům. Presenční vrstva zajišťuje komunikaci s klientskou částí a validitu přijatých dat, volá jednotlivé funkce datové vrstvy za účelem získání, či uložení dat.

3.1.3 Databázová část

Databázová část aplikace je zodpovědná za poskytování rozhraní pro přístup a operace nad perzistentním uložištěm dat.

Pro návrh prototypu jsem se rozhodl použít SŘBD MongoDB (více o databázích v sekci 2.5.5). MongoDB umožňuje rychlejší vývoj aplikací a pro problém editace textů se jako zástupce NoSQL hodí lépe, než tradiční SQL databáze. U webového editoru textů lze očekávat stále rostoucí počet dokumentů a jejich úprav, což by mohl být pro SQL databáze problém hlavně z pohledu budoucího škálování aplikace.

MongoDB poskytuje TCP/IP rozhraní pro přístup a manipulaci s dokumenty, které následně využívá serverová část aplikace.

3.2 Databázové schéma

Jelikož jsem se rozhodl použít NoSQL databázi, nemám jak pevně definovat databázové schéma jako v případě použití relační databáze. Konzistenci a validitu ukládaných dat musí zajistit sama aplikace a to jak při čtení, tak i při zápisu dat.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodl použít ODM nástroj Mongoose, který umožňuje v rámci aplikace definovat struktury jednotlivých dokumentů pro MongoDB a jejich validitu kontroluje před každým uložením. Schéma na obrázku 3.2 není databázovým schématem v pravém slova smyslu, ale jedná se o schéma definované za pomoci právě ODM Mongoose.

Jednotlivé entity schématu přímo reflektují entity z doménového modelu uvedeného v sekci 2.4. Přibyly pouze implementační detaily a atributy jednotlivých relací mezi entitami. Také se změnilly názvy entit a jejich atributů z českého do anglického jazyka tak, aby lépe reflektovaly samotnou implementaci aplikace.

Jedinou podstatnou změnou oproti doménovému modelu, jsou atributy entity `User`. Přibyly zde atributy sloužící pro autentizaci pomocí služeb třetích stran (například sociální sítě, či ČVUT heslo). Tyto atributy nesou identifikační údaj pro uživatele v rámci dané autentizační služby třetí strany, jako je například `facebookId` pro sociální síť Facebook, či ČVUT uživatelské jméno pro přihlášení pomocí ČVUT hesla.

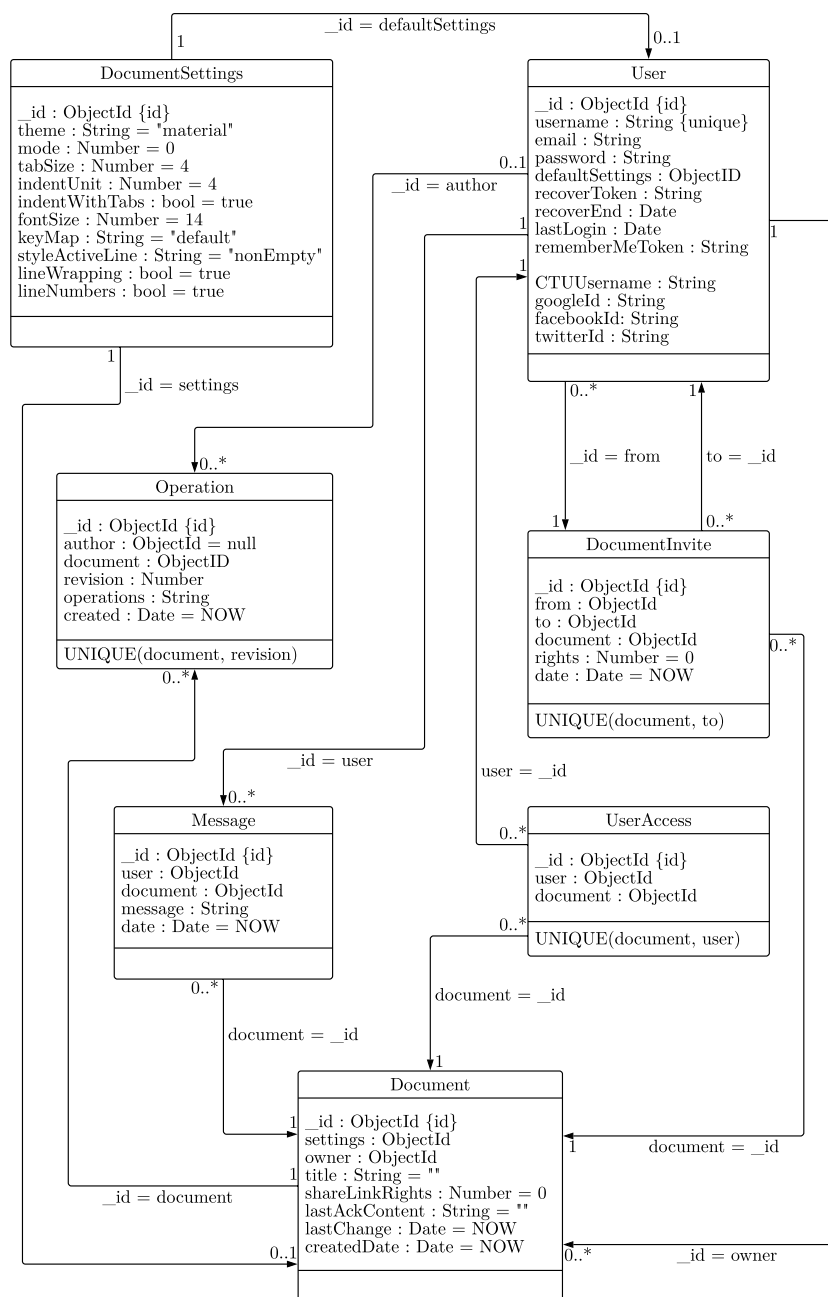
Kompletní definici schématu lze nalézt spolu s ostatními zdrojovými kódy na příloženém CD ve složce `/realtime-editor/app/src/model`. Na definici lze i mimo jiné pozorovat validační pravidla pro jednotlivé atributy, jako jsou například jejich číselné rozsahy, maximální délky a tak dále.

3.3 Algoritmus synchronizace editovaného textu

Pro účely synchronizace textu ve skutečném čase jsem se rozhodl pro použití algoritmu OT (více o algoritmu v sekci 2.7.3) a to i přes jeho složitější implementaci. Algoritmus je dostatečně rozšířený a otestovaný praxí (příkladem jeho úspěšného použití jsou projekty jako Google Wave a jeho mladší sourozenec Google Docs, viz sekce 2.8).

Samozřejmě jsem nechtěl celý algoritmus implementovat znovu, a tak jsem rozhodl použít knihovnu OT.js. Tato knihovna implementuje základní operace algoritmu OT pro práci s textem a také obsahuje ukázkou, jak knihovnu použít s knihovnami třetích stran. Bohužel knihovna není od roku 2015 vyvíjena, téměř pro ni neexistuje dokumentace a část jejího kódu jsem musel značně upravit, protože používá až 5 let staré verze knihoven třetích stran, které nejsou kompatibilní s dnešními verzemi těchto knihoven, či dnes již vůbec neexistují. Ke knihovně OT.js se vracím v sekci 3.7, v souvislosti s návrhem komponenty editoru.

3. NÁVRH



Obrázek 3.2: Databázové schéma v rámci ODM Mongoose

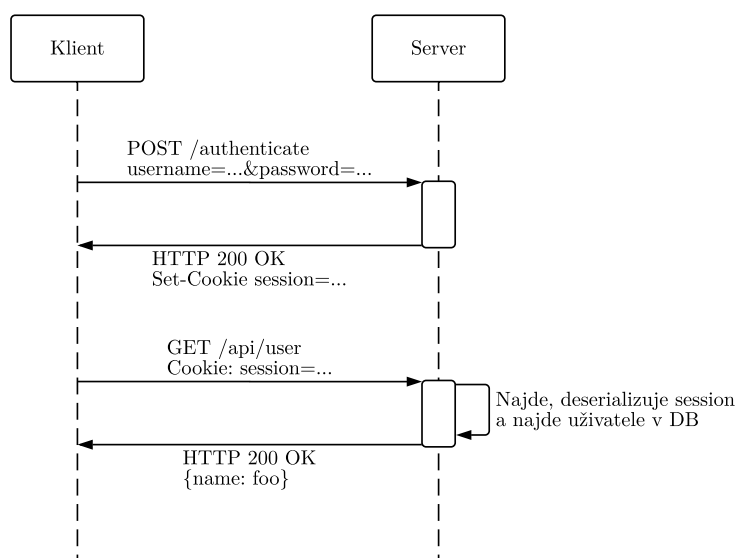
3.4 Autentizace

Autentizace (anglicky authentication) je proces určení skutečné identity uživatele. Pro webové aplikace se nejčastěji jedná o klasické přihlášení uživatele do aplikace pod svým uživatelským účtem. K autentizaci lze nejčastěji rozdělit na dva způsoby, stavovou a bezstavovou autentizaci.

3.4.1 Stavová autentizace

Stavová autentizace (viz diagram na obrázku 3.3) je nejčastější způsob autentizace na internetu. Tento způsob je velmi jednoduchý na implementaci a díky své oblíbenosti lze jeho implementaci najít v každé větší webové autentizační knihovně či frameworku.

Server si musí pamatovat uložená data pro všechny přihlášené uživatele (nejčastěji v session), ale také klient si musí nějakým způsobem pamatovat identifikátor těchto dat (nejčastěji pomocí cookies). Pro správné fungování stavová autentizace potřebuje, aby se všechny části aplikace, které potřebují přístup k informacím o přihlášeném uživateli, nacházely na stejné doméně. Toto omezení vyplývá z použití cookies na straně klienta a bezpečnostním opatřením ze strany prohlížeče ohledně přístupu k nim.

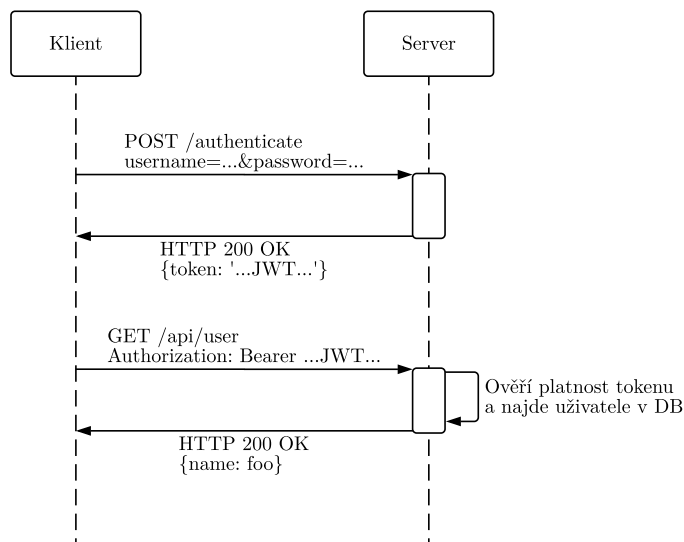


Obrázek 3.3: Sekvenční diagram stavové autentizace

3.4.2 Bezstavová autentizace

Bezstavová autentizace (viz diagram na obrázku 3.4) je v poslední době velmi oblíbený způsob autentizace především pro Representational state transfer (REST) API. Autentizační server oproti přihlašovacím údajům vydává takzvaný token (speciální kód, který identifikuje uživatele).

Autentizační token samotný může nést více informací o uživateli, jako je například jeho jméno, ale také jeho oprávnění pro přístup ke zdrojům aplikace. Díky tomu, že token nese informace o oprávnění, nemusí aplikační server při každém dotazu komunikovat s DB a zjišťovat uživatelovo oprávnění. Bezstavová autentizace napomáhá škálování a rychlosti webových aplikací, ale je složitější na implementaci, jak na straně klienta, tak na straně serveru.



Obrázek 3.4: Sekvenční diagram bezstavové autentizace

3.4.3 Výběr způsobu autentizace

Pro implementaci autentizace jsem se rozhodl použít jednoduchou stavovou autentizaci za pomoci klientského uložště cookies a serverového uložště session, které je perzistentně uloženo v DB. Tento způsob jsem zvolil s ohledem na jednoduchost navrhovaného prototypu.

Díky stavové autentizaci nemusí klientská strana autentizaci vůbec řešit, protože prohlížeč odesílá platné cookies při každém požadavku automaticky. To platí, jak pro komunikaci pomocí REST (viz následující sekce 3.5), tak i pro komunikaci ve skutečném čase (viz následující sekce 3.6), kde se cookies odesílají při navázání spojení. Nevýhodou tohoto řešení je, že obě části aplikace (klientská i serverová) musí být umístěny na stejné doméně. V případě

navrhovaného prototypu toto ale není problém, jelikož klientská i serverová část jsou sloučeny do jedné aplikace (viz sekce 4.5.2 o zveřejnění klientské části) a tudíž sdílí jednu společnou doménu.

3.5 REST komunikace

Základním způsobem komunikace mezi klientskou a serverovou částí aplikace je REST komunikace.

K implementaci jednotlivých koncových bodů, ale i obecnému zpracování všech HTTP požadavků, jsem se rozhodl použít již připravené řešení v podobě Node.js knihovny, či balíčku knihoven (dále jen framework). Pro prostředí Node.js existuje mnoho frameworků pro implementaci REST API, podle [43] jsem výběr zúžil na 3 neoblíbenější Node.js frameworky: Sails.js, Express.js a Hapi.js.

3.5.1 Sails.js

Sails.js je plnohodnotný webový Model–view–controller (MVC) framework pro Node.js. Jeho integrovanou součástí je Waterline ORM, který umožňuje použít téměř libovolný SŘBD.

Waterline je, ale také záporem celého frameworku, protože není mezi vývojáři příliš rozšířený a občas ho není jednoduché použít (například mapování vnořených objektů).

3.5.2 Express.js

Express.js je velice rozšířený, jednoduchý a lehký framework pro Node.js. V základní konfiguraci obsahuje pouze základní logiku ohledně zpracování HTTP požadavků.

Mezi hlavní nevýhody patří nepříliš propracované zpracování chybových stavů nebo také nedostatečná kódová nezávislost. Nedostatečná kódová nezávislost může komplikovat další vývoj a znovupoužitelnost částí aplikace.

3.5.3 Hapi.js

Hapi.js je framework vyvíjený společností Walmart. Byl vytvořen jako přímá náhrada frameworku Express.js a snaží se řešit jeho nedostatečnou kódovou nezávislost použitím modulární architektury.

Modulární architektura tento problém sice řeší, ale přidává do frameworku vysokou složitost návrhu. Tato složitost je pro většinu projektů zbytečně vysoká a nevyrovná se přidané hodnotě, kterou framework přináší oproti použití Express.js.

3.5.4 Výběř frameworku

Nakonec jsem se rozhodl použít framework Express.js převážně kvůli jeho jednoduchosti a rozšířenosti mezi vývojáři, která může být nápomocna hlavně při řešení potenciálního problému. Frameworky Sail.js a Hapi.js se svou velikostí hodí spíše pro větší produkční systémy a nejsou tak příliš vhodné pro implementaci prototypu této aplikace.

3.5.5 Seznam koncových bodů

V této sekci je obsažen kompletní výpis REST koncových bodů. Tyto koncové body přijímají různý počet parametrů, které mohou být jako součást cesty požadavku nebo v těle požadavku ve formátu JSON, a vrací HTTP stavový kód spolu s nepovinnou odpovědí, která je také ve formátu JSON.

3.5.5.1 Registrace uživatele

Koncový bod sloužící k vytvoření nového uživatele. Tento koncový bod přijímá následující parametry: uživatelské jméno, heslo a email.

Více informací o koncovém bodu lze nalézt v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1: Koncový bod Registrace uživatele

URL:	/api/auth	
HTTP metoda:	POST	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	username	[String]
	email	[String]
	password	[String]
Úspěch:	200	Informace o vytvořeném uživateli
Neúspěch:	422	Popis chyby

3.5.5.2 Přihlášení uživatele

Koncový bod pro přihlášení již registrovaného uživatele pomocí uživatelského jména a hesla.

Více informací o koncovém bodu lze nalézt v tabulce 3.2.

3.5.5.3 Odhlášení uživatele

Koncový bod pro odhlášení aktuálně přihlášeného uživatele.

Více informací o koncovém bodu lze nalézt v tabulce 3.3.

Tabulka 3.2: Koncový bod Přihlášení uživatele

URL:	/api/auth/signIn	
HTTP metoda:	POST	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	username	[String]
	password	[String]
Úspěch:	200	Informace o přihlášeném uživateli
Neúspěch:	422	Popis chyby

Tabulka 3.3: Koncový bod Ohlášení uživatele

URL:	/api/auth	
HTTP metoda:	DELETE	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	204	
Neúspěch:	401, 422	Popis chyby

3.5.5.4 Odeslání požadavku na obnovu hesla

Koncový bod sloužící k obnově zapomenutého hesla. Bod přijímá parametry email a uživatelské jméno pro identifikaci účtu k obnově.

Pokud je nalezen uživatel s přijatými údaji, je mu odeslán email obsahující instrukce pro obnovu hesla pomocí unikátního vygenerovaného kódu.

Tabulka 3.4: Koncový bod Odeslání požadavku na obnovu hesla

URL:	/api/auth/forgotPassword	
HTTP metoda:	POST	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	username	[String]
	email	[String]
Úspěch:	200	Neutrální zpráva o provedení operace
Neúspěch:	Nenastává	

3.5.5.5 Zjištění platnosti kódu pro obnovu hesla

Koncový bod zjišťující existenci kódu pro obnovy hesla předaného pomocí parametru token.

3. NÁVRH

Tabulka 3.5: Koncový bod Zjištění platnosti kódu pro obnovu hesla

URL:	/api/auth/forgotPassword/:token	
HTTP metoda:	GET	
URL parametry:	token	[String]
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	204	
Neúspěch:	404	Popis chyby

3.5.5.6 Obnova hesla pomocí kódu

Tento Koncový bod umožňuje za podmínky validního kódu pro obnovu hesla (parametr token) provést změnu hesla na nové.

Tabulka 3.6: Koncový bod Obnova hesla pomocí kódu

URL:	/api/auth/forgotPassword/:token	
HTTP metoda:	PUT	
URL parametry:	token	[String]
Data parametry:	newPassword	[String]
Úspěch:	204	
Neúspěch:	404, 422	Popis chyby

3.5.5.7 Informace o přihlášeném uživateli

Koncový bod pro zjištění informací o aktuálně přihlášeném uživateli.

Tabulka 3.7: Koncový bod Informace o přihlášeném uživateli

URL:	/api/user	
HTTP metoda:	GET	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	200	Informace o přihlášeném uživateli
Neúspěch:	401	Popis chyby

3.5.5.8 Změna údajů přihlášeného uživatele

Koncový bod umožňující aktualizaci jednotlivých parametrů přihlášeného uživatele.

Parametry jsou volitelné, stačí tedy odeslat pouze údaje, které mají být změněné. Veškeré změny musí být potvrzeny platným aktuální heslem (parametr password je tedy povinný vždy).

Tabulka 3.8: Koncový bod Změna údajů přihlášeného uživatele

URL:	/api/user	
HTTP metoda:	PUT	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	username	[String]
	email	[String]
	newPassword	[String]
	password	[String]
Úspěch:	204	
Neúspěch:	401, 422	Popis chyby

3.5.5.9 Výchozí nastavení dokumentů

Koncový bod pro zjištění výchozího nastavení pro nové dokumenty aktuálně přihlášeného uživatele.

Tabulka 3.9: Koncový bod Výchozí nastavení dokumentů

URL:	/api/user/document-settings	
HTTP metoda:	GET	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	200	Výchozí nastavení dokumentů
Neúspěch:	401	Popis chyby

3.5.5.10 Změna výchozího nastavení dokumentů

Koncový bod umožňující změnu jednotlivých polí výchozího nastavení pro dokumenty aktuálně přihlášeného uživatele. Přijímanými parametry jsou všechna pole entity DocumentSettings z databázového schématu na obrázku 3.2 (kromě pole __id).

3.5.5.11 Vytvoření dokumentu

Koncový bod umožňující aktuálně přihlášenému uživateli vytvořit nový dokument.

3.5.5.12 Vytvořené dokumenty

Koncový bod pro získání dokumentů vytvořených aktuálně přihlášeným uživatelem (je jejich vlastníkem).

3. NÁVRH

Tabulka 3.10: Koncový bod Změna výchozího nastavení dokumentů

URL:	/api/user/document-settings	
HTTP metoda:	PUT	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	theme	[String]
	mode	[Number]
	tabSize	[Number]
	indentUnit	[Number]
	indentWithTabs	[Boolean]
	fontSize	[Number]
	keyMap	[String]
	styleActiveLine	[String]
	lineWrapping	[Boolean]
	lineNumbers	[Boolean]
Úspěch:	200	Výchozí nastavení dokumentů
Neúspěch:	401, 422	Popis chyby

Tabulka 3.11: Koncový bod Vytvoření dokumentu

URL:	/api/document	
HTTP metoda:	POST	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	200	Identifikátor vytvořeného dokumentu
Neúspěch:	401	Popis chyby

Tabulka 3.12: Koncový bod Vytvořené dokumenty

URL:	/api/document	
HTTP metoda:	GET	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	200	Seznam dokumentů
Neúspěch:	401	Popis chyby

3.5.5.13 Poslední dokumenty

Koncový bod pro získání dostupných dokumentů, ke kterým aktuálně přihlášený uživatel v minulosti přistoupil.

Tabulka 3.13: Koncový bod Poslední dokumenty

URL:	/api/document/last	
HTTP metoda:	GET	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	200	Seznam dokumentů
Neúspěch:	401	Popis chyby

3.5.5.14 Sdílené dokumenty

Koncový bod pro získání dokumentů, ke kterým byl aktuálně přihlášený uživatel přizván.

Tabulka 3.14: Koncový bod Sdílené dokumenty

URL:	/api/document/shared	
HTTP metoda:	GET	
URL parametry:	žádné	
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	200	Seznam dokumentů
Neúspěch:	401	Popis chyby

3.5.5.15 Komunikační vlákno dokumentu

Koncový bod pro získání zpráv komunikačního vlákna dokumentu identifikovaného pomocí parametru `documentId`. Pro jeho použití musí mít uživatel dostatečná práva v rámci dokumentu pro přístup ke zprávám.

Počet vrácených zpráv lze ovlivnit volitelným Uniform Resource Locator (URL) parametrem `number` a čas odeslání poslední vrácené zprávy lze určit volitelným URL parametrem `lastDate`.

Tabulka 3.15: Koncový bod Komunikační vlákno dokumentu

URL:	/api/document/:documentId/messages	
HTTP metoda:	GET	
URL parametry:	<code>documentId</code>	[String]
	<code>lastDate</code>	[Date]
	<code>number</code>	[Number]
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	200	Seznam zpráv
Neúspěch:	403, 404, 422	Popis chyby

3. NÁVRH

3.5.5.16 Odeslání nové zprávy

Koncový bod umožňující vytvoření nové zprávy pro dokument identifikovaný pomocí parametru `documentId` s textem určeným parametrem `message`.

Pro jeho použití musí mít uživatel dostatečná práva v rámci dokumentu pro přístup ke zprávám.

Tabulka 3.16: Koncový bod Odeslání nové zprávy

URL:	/api/document/:documentId/messages	
HTTP metoda:	POST	
URL parametry:	documentId	[String]
Data parametry:	message	[String]
Úspěch:	204	
Neúspěch:	401, 403, 404, 422 Popis chyby	

3.5.5.17 Práva dokumentu

Koncový bod pro získání informací ohledně oprávnění a jednotlivých pozvánek dokumentu identifikovaného pomocí parametru `documentId`.

Pro jeho použití musí mít uživatel dostatečná práva v rámci dokumentu pro přístup k pozvánkám a sdílení.

Tabulka 3.17: Koncový bod Práva dokumentu

URL:	/api/document/:documentId/rights	
HTTP metoda:	GET	
URL parametry:	documentId	[String]
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	200	Informace o sdílení dokumentu
Neúspěch:	403, 404 Popis chyby	

3.5.5.18 Změna práv veřejného odkazu dokumentu

Koncový bod pro úpravu oprávnění pro uživatele přistupující k dokumentu (identifikovaného pomocí parametru `documentId`) pomocí veřejného odkazu.

Pro jeho použití musí mít uživatel dostatečná práva v rámci dokumentu pro přístup k pozvánkám a sdílení.

Tabulka 3.18: Koncový bod Změna práv veřejného odkazu dokumentu

URL:	/api/document/:documentId/rights	
HTTP metoda:	PUT	
URL parametry:	documentId	[String]
Data parametry:	shareLinkRights	[Number]
Úspěch:	204	
Neúspěch:	403, 404, 422	Popis chyby

3.5.5.19 Pozvání uživatele k dokumentu

Koncový bod pro úpravu oprávnění pro přizvaného uživatele k dokumentu (identifikovaného pomocí parametru documentId). Pozvaný uživatel je identifikován pomocí uživatelského jména předaného v parametru.

Pro jeho použití musí mít uživatel dostatečná práva v rámci dokumentu pro přístup k pozvánkám a sdílení.

Tabulka 3.19: Koncový bod Pozvání uživatele k dokumentu

URL:	/api/document/:documentId/rights/invite	
HTTP metoda:	PUT	
URL parametry:	documentId	[String]
Data parametry:	rights	[Number]
	to	[String]
Úspěch:	204	
Neúspěch:	403, 404, 422	Popis chyby

3.5.5.20 Odstranění pozvánky k dokumentu

Koncový bod umožňující odstranění pozvánky pro uživatele (identifikovaného pomocí parametru toUserId) k dokumentu (identifikovaného pomocí parametru documentId).

Pro jeho použití musí mít uživatel dostatečná práva v rámci dokumentu pro přístup k pozvánkám a sdílení.

Tabulka 3.20: Koncový bod Odstranění pozvánky k dokumentu

URL:	/api/document/:documentId/rights/:toUserId	
HTTP metoda:	DELETE	
URL parametry:	documentId	[String]
	toUserId	[String]
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	204	
Neúspěch:	403, 404, 422	Popis chyby

3. NÁVRH

3.5.5.21 Odstranění dokumentu

Koncový bod umožňující trvalé odstranění dokumentu identifikovaného pomocí parametru `documentId`.

Pro jeho použití musí být aktuálně přihlášený uživatel vlastníkem dokumentu.

Tabulka 3.21: Koncový bod Odstranění dokumentu

URL:	/api/document/:documentId	
HTTP metoda:	DELETE	
URL parametry:	documentId	[String]
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	204	
Neúspěch:	403, 404	Popis chyby

3.5.5.22 Překlady webového rozhraní

Koncový bod umožňující stažení textových překladů pro webové rozhraní.

Jazyk vrácených textů je určen pomocí parametru `lang` (například hodnota `cs` vrátí českou jazykovou mutaci textů).

Tabulka 3.22: Koncový bod Překlady webového rozhraní

URL:	/locales/:lang/translation.json	
HTTP metoda:	GET	
URL parametry:	lang	[String]
Data parametry:	žádné	
Úspěch:	200	JSON s textovými překlady
Neúspěch:	404	Popis chyby

3.6 Komunikace ve skutečném čase

Komunikace ve skutečném čase lze implementovat pomocí více způsobů, ale každý má své kompromisy (více o push technologiích v sekci 2.6.2). Pro komunikaci jsem se rozhodl použít technologii WebSocket (viz sekce 2.6.2.4), kvůli podpoře plně duplexní oboustranné komunikace, ale zároveň jsem chtěl zachovat zpětnou kompatibilitu se staršími webovými prohlížeči, či mobilními zařízeními.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro použití knihovny Socket.io, která je postavena na transportní knihovně Engine.io. Knihovna Socket.io poskytuje ucelené API pro použití technologie WebSocket, pro všechny moderní prohlížeče, ale i pro prohlížeče, které technologii WebSocket dosud nepodporují

a to díky transparentnímu použití záložní komunikace pomocí long pollingu (viz sekce 2.6.2.1), za což vděčí transportní knihovně Engine.io.

3.6.1 Druhy zpráv

Komunikaci ve skutečném čase využívá komponenta editoru pro synchronizaci textových operací, ale také pro zobrazení nových zpráv v komunikačním vlákne dokumentu. Dílčí části komunikace se nazývají zprávy. Každá zpráva má své jméno, podle kterého jsou od sebe zprávy rozeznávány. Zpráva může mít libovolný počet parametrů a nepovinnou funkci zpětného volání.

V této sekci následuje kompletní výpis druhů zpráv zasílaných mezi klientem a serverem.

3.6.1.1 Připojení k dokumentu

Zpráva Připojení k dokumentu je první zprávou, co klient serveru pošle. Server si klienta poznamená, zkontroluje jeho oprávnění, obeznámí ostatní klienty s jeho připojením a pomocí zpětného volání vrátí klientu informace o dokumentu, ke kterému se právě připojil.

Tato zpráva existuje ve dvou variantách, jako zpráva pro prvotní připojení k dokumentu a jako zpráva pro opakované připojení po obnovení přerušného spojení mezi klientem a serverem.

3.6.1.2 Změň jméno

Zprávu Změň jméno odešle server klientům, aby je informoval o nově připojeném klientu. Součástí zprávy je identifikátor nově připojeného klienta a jeho jméno.

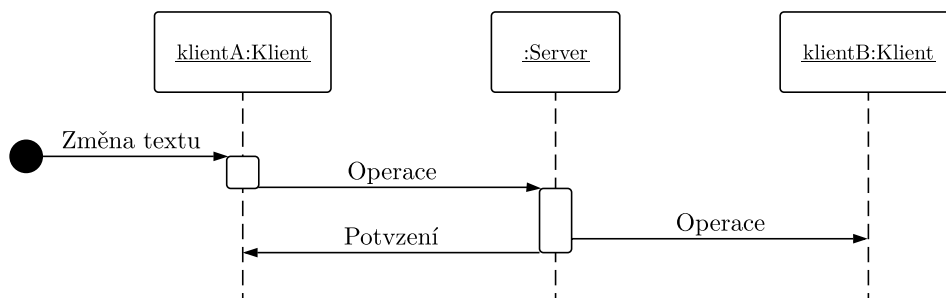
3.6.1.3 Klient se odpojil

Zprávu Klient se odpojil odešle server zbylým klientům po odpojení jiného klienta. Zbylí klienti si odpojeného klienta, kterého identifikují pomocí identifikátoru v parametru zprávy, odeberou ze svého seznamu klientů.

3.6.1.4 Operace

Zpráva Operace slouží pro propagaci operací mezi připojenými klienty. Součástí zprávy Operace je číslo další očekávané operace od serveru, aby server mohl operaci transformovat vůči všem kolizním operacím (více o algoritmu v sekci 2.7.3).

Autor změny odešle zprávu Operace na server, který ji transformovanou uloží a následně odešle všem ostatním klientům, kteří jsou připojeni ke stejnému dokumentu. Nakonec zpracování zprávy Operace server odešle autorovi zprávu Potvrzení (viz diagram na obrázku 3.5).



Obrázek 3.5: Sekvenční diagram ukázka komunikace po změně dokumentu

3.6.1.5 Potvrzení

Zpráva Potvrzení odešle server klientovi jako odpověď na nově zaslanou zprávu Operace, po té co ji zpracuje. Klient do doby přijetí zprávy Potvrzení nesmí odeslat na server další zprávu Operace (viz sekce 3.7.1).

3.6.1.6 Vybrání

Zpráva Vybrání slouží pro propagaci změny kurzoru (či vybrání části textu) mezi klienty. Server tuto zprávu nijak nezpracovává a pouze ji propaguje ostatním klientům.

Tato zpráva je použita pouze v případě, že se změnila pozice kurzoru bez změny textu (změna pozice kurzoru při změně textu je již obsažena ve zprávě Operace).

3.6.1.7 Nastavení

Zpráva Nastavení slouží pro synchronizaci změn nastavení mezi aktuálně připojenými klienty upravující stejný dokument. Klient zprávu odešle spolu se změněným nastavením dokumentu, server nastavení pro daný dokument uloží a následovně jej odešle ostatním připojeným klientům.

3.6.1.8 Zpráva

Tento druh zprávy slouží pro propagaci nových zpráv komunikačního vlákna dokumentu. Klient odešle zprávu s textem na server, ten ji uloží a odešle ostatním připojeným klientům.

Tento způsob propagace zpráv komunikačního vlákna je kombinován s REST koncovými body (viz sekce 3.5), které umožňují klientům získat například historii komunikačního vlákna.

3.6.1.9 Chyba

Zpráva Chyba předchází násilnému odpojení klienta od serveru (a tedy od dokumentu). Její příčinou může být například nedostatečné oprávnění uživatele, či nenalezení příslušného dokumentu.

Součástí zprávy Chyba je stavový kód chyby, který může nabývat hodnot 404 nebo 403. Hodnota 404 značí, že nebyl nalezen požadovaný dokument nebo k němu neměl uživatel oprávnění. Hodnota 403 značí, že uživatel provedl operaci, ke které neměl dostatečné oprávnění.

3.7 Komponenta editoru

Komponenta editoru je hlavní částí aplikace, která uživatelům umožňuje společně upravovat dokumenty ve skutečném čase díky použití algoritmu OT (více o volbě algoritmu v sekci 3.3). Komponenta tento algoritmus implementuje a poskytuje rozhraní pro jeho použití bez omezení na použité technologii komunikace, či samotné knihovny textového editoru.

Komponentu editoru lze rozdělit na dvě části, část klientskou a část serverovou, které jsou pojmenované podle částí aplikace, kde se části nacházejí (viz sekce 3.1 o architektuře aplikace).

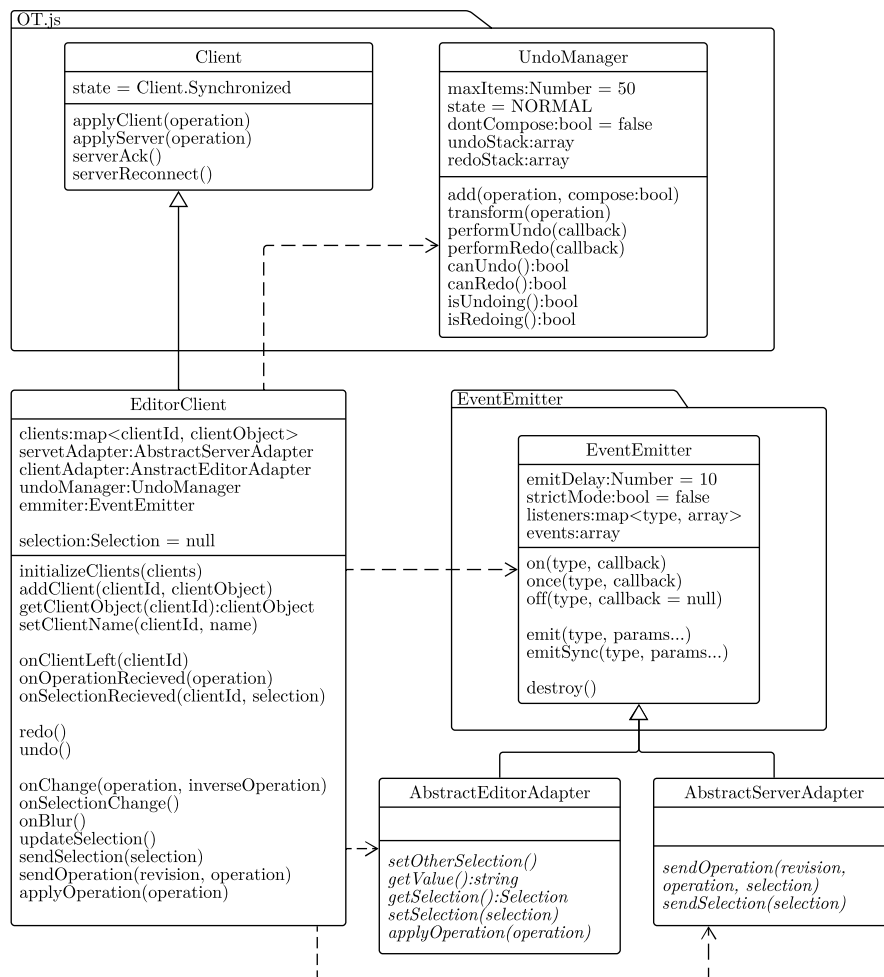
3.7.1 Klientská část komponenty

Klientská část komponenty musí komunikovat se zvoleným textovým editorem, zachytávat uživatelský vstup a následně ho převést na abstraktní objekt operace, který lze dále použít v rámci algoritmu OT. Tato část také musí umět komunikovat pomocí zvolené komunikační technologie s částí serverovou (z důvodu propagace jednotlivých Operací mezi uživateli).

Struktura klientské části je znázorněna pomocí třídního diagramu na obrázku 3.6. Jádrem celé části je třída `EditorClient`, která dědí od třídy `Client` z knihovny OT.js. Dědí vlastnosti a metody implementující jádro algoritmu OT, jako je například udržování čísla revize a transformace přijatých operací v případě existence nepotvrzené vlastní operace. Třída `Client` a tedy i třída `EditorClient` je navržena podle návrhového vzoru stav, který je popsán v [44, str. 283], a může nabývat 3 stavů (viz stavový diagram na obrázku 3.7).

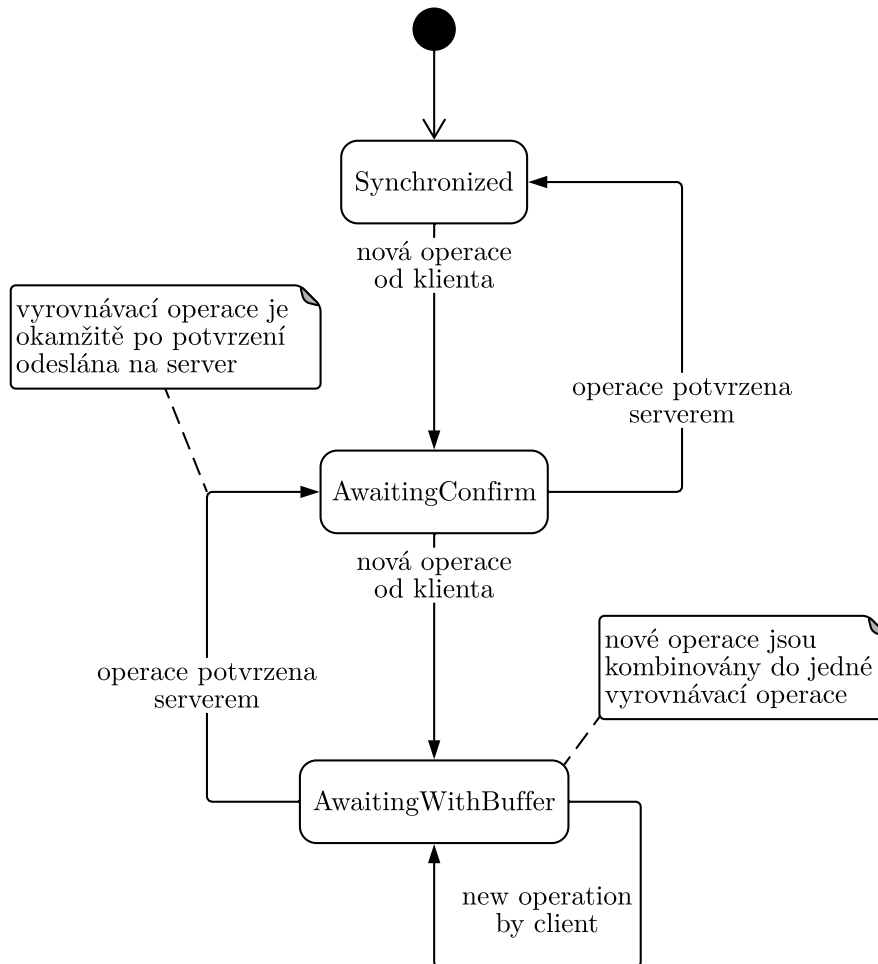
Třída `EditorClient` očekává implementaci třídy `AbstractEditorAdapter` (respektive `AbstractServerAdapter`), která slouží jako rozhraní pro komunikaci s textovým editorem (respektive serverovou částí). Tyto třídy jsou navrženy podle návrhového vzoru adaptér tak, jak je popsán v [44, str. 135], a umožňují spolupráci rozdílných rozhraní (například rozhraní textového editoru a třídy `EditorClient`). Použití abstraktních tříd umožňuje změnu jednotlivých částí aplikace (například změna komunikační technologie, či knihovny textového editoru) a to bez nutnosti zásahu do logiky synchronizace samotných textů.

3. NÁVRH



Obrázek 3.6: Třídní diagram klientské části komponenty

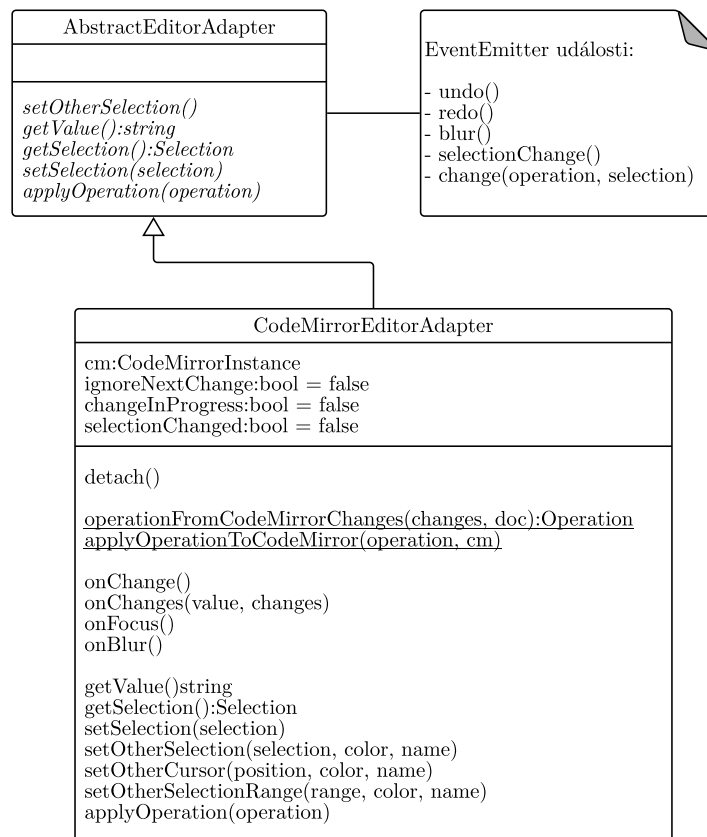
Tyto abstraktní třídy jsou také potomky třídy **EventEmitter**, která je ustálenou a rozšířenou implementací návrhového vzoru Pozorovatel (anglicky Observer) [44, str. 273] pro jazyk Javascript. Rozhraní **EventEmitter** umožňuje třídě **EditorClient** naslouchat jednotlivým událostem, ke kterým dochází v implementacích zmíněných abstraktních tříd (jako je například změna pozice kursoru, či přijatá operace od serveru). Seznam jednotlivých událostí je možné pozorovat na diagramu 3.8 (respektive 3.9).



Obrázek 3.7: Stavový diagram klientské části komponenty

`EditorClient` také využívá třídu `UndoManager` z knihovny `OT.js`, díky které lze bezpečně použít funkce zpět a vykonat znovu (pokud jejich odchycení podporuje poskytnutá implementace třídy `AbstractEditorAdapter`). Historie je zaznamenávána pomocí jednotlivých operací vykonaných uživatelem a nikoliv podle změn samotného textu, jak by tomu bylo běžně. Na změnách textu se totiž může podílet více uživatelů najednou a je nežádoucí, aby například funkce zpět vracela i změny provedené jiným než lokálním uživatelem.

3. NÁVRH



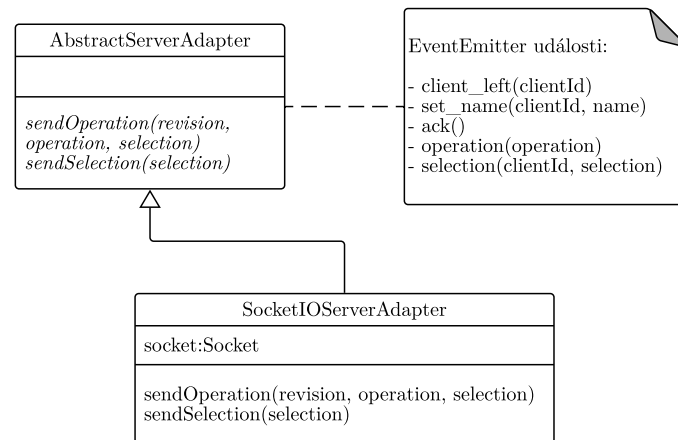
Obrázek 3.8: Diagram implementace třídy AbstractEditorAdapter

3.7.1.1 React rozhraní komponenty

Klientská část komponenty v prototypu je zapouzdřena do React komponenty (více o knihovně React v sekci 2.5.4) pojmenované **RealtimeEditor**. React komponenta umožňuje klientskou část znovu použít kdekoliv v aplikaci a pomocí modulárního návrhu lze upravit i její vzhled.

React komponenta po svém prvním vykreslení vytvoří spojení k serverové části a vytvoří instanci textového editoru CodeMirror. Ty následně předá nově vytvořeným instancím tříd **SocketIOServerAdapter** a **CodeMirrorEditorAdapter**. Komponenta dále vytvoří instanci třídy **EditorClient**, které předá vytvořené instance tříd **SocketIOServerAdapter** a **CodeMirrorEditorAdapter**. Komponenta ve svém stavu drží informace o připojených klientech, nastavení a další informace ohledně aktuálně připojeného dokumentu.

React komponenta **RealtimeEditor** přijímá jak povinné, tak i nepovinné vlastnosti (viz tabulka 3.23).



Obrázek 3.9: Diagram implementace třídy AbstractServerAdapter

Tabulka 3.23: Vlastnosti přijímané React komponentou RealtimeEditor

Jméno:	Povinná:	Datový typ:	Popis:
documentId	ano	String	Identifikátor dokumentu
user	ne	Object	Informace o přihlášeném uživateli
headerSlot	ne	Node	Komponenta vykreslená na místě hlavičky dokumentu
menuSlot	ne	Node	Komponenta vykreslená na místě menu dokumentu
errorSlot	ne	Node	Komponenta vykreslená pokud dojde k chybě

Vlastnost `documentId` označuje identifikátor dokumentu, ke kterému se komponenta má připojit. Vlastnost `user` je objekt s informacemi o přihlášeném uživateli (očekávaná struktura je stejná jako struktura získaná pomocí REST koncového bodu 3.5.5.7). V případě nepřihlášeného uživatele není nutné vlastnost `user` vůbec předávat, či lze předat libovolnou hodnotu, která se vyhodnotí jako nepravda. Poslední vlastnosti `headerSlot`, `menuSlot` a `errorSlot` označují modulární React komponenty vykreslené na specifickém místě `RealtimeEditor` komponenty. Modulárním komponentám jsou předány vnitřní informace o stavu editoru pomocí jejich vlastností a jsou tak upozorněny i v případě jejich změny.

Nejjednodušší použití komponenty je ukázané ve výpisu kódu 1. Tento příklad vykreslí pouze samotný textový editor, který je ovšem aktualizovaný v reálném čase se všemi uživateli, kteří jsou ve stejnou chvíli připojeni k dokumentu s identifikátorem „helloWorld“.

```
export default () => (  
  <RealtimeEditor documentId="helloWorld"/>  
)
```

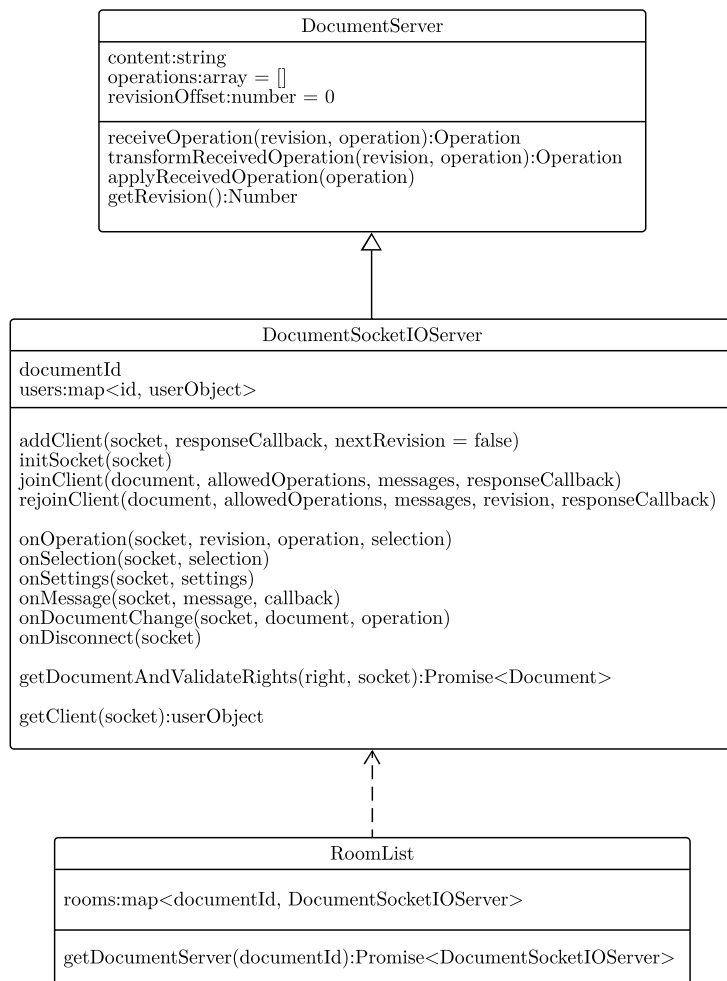
Výpis kódu 1: Příklad použití komponenty RealtimeEditor

3.7.2 Serverová část komponenty

Serverová část je odpovědná za propagaci jednotlivých operací mezi klienty připojenými k dokumentu a jejich persistenci pro nově připojené budoucí klienty. Struktura serverové části je znázorněna pomocí třídního diagramu na obrázku 3.10. Základem této části je třída `DocumentServer` (reimplementace původní třídy `Server` z knihovny `OT.js`) a v případě navrhovaného prototypu aplikace i její potomek `DocumentSocketIOServer`.

Instance třídy `DocumentServer` (v případě prototypu aplikace i její potomek `DocumentSocketIOServer`) představuje jeden dokument a je zodpovědná za implementaci serverové části algoritmu OT. Stará se o transformaci přijaté operace oproti souběžným, ale již schváleným operacím, a propaguje tuto transformovanou operaci ostatním uživatelům.

Další podstatnou třídou je třída `RoomList`, která v prototypu aplikace udržuje informace o již existujících instancích třídy `DocumentSocketIOServer`, vytváří nové instance v případě, že pro daný dokument dosud neexistuje, a naslouchá novým socket.io spojení s klienty, které dále předává příslušným instancím třídy `DocumentServer`.



Obrázek 3.10: Třídní diagram serverové části komponenty

Realizace

4.1 Autentizace

Autentizace označuje proces ověření identity uživatele. Pro navržený prototyp aplikace se jedná o proces přihlášení uživatele.

K implementaci autentizace jsem využil knihovnu `passport.js` ulehčující implementaci autentizace pro knihovnu `express.js` a prostředí `Node.js` (více o prostředí v sekci 2.5.3). `Passport.js` umožňuje použití takzvaných autentizačních tříd implementujících jednotlivé způsoby webové autentizace, a díky modulárnímu návrhu knihovny je možné používat různé způsoby autentizace bez nutnosti výrazných změn ve zbytku aplikace.

Každá autentizační třída přijímá konfigurační objekt a funkci, jež je volána pro ověření identity uživatele. Předaná funkce vyhledá uživatele v DB podle identifikátoru získaného od autentizační třídy, a vrátí objekt uživatele, který má být přihlášen, nebo chybu v případě nesprávných údajů.

Instanci knihovny `passport.js` musí být předány funkce pro serializaci a deserializaci uživatele. V prototypu aplikace jsou uživatelé deserializováni pouze na jejich DB identifikátor a serializováni pomocí jejich opětovného vyhledání v DB.

4.1.1 Přihlášení pomocí hesla

Základním způsobem autentizace v navrženém prototypu je přihlášení pomocí uživatelského jména a hesla. Knihovna `passport.js` pro tento způsob poskytuje připravenou třídu `LocalStrategy`, která požaduje pouze jména parametrů požadavku obsahující jméno a heslo přihlašovaného uživatele.

Autorizační funkci jsou předány hodnoty parametrů a uživatel je podle uživatelského jména vyhledán v DB. Následně dojde k validaci přihlašovacího hesla (viz následující sekce 4.1.1.1) a v případě úspěchu je uživatel přihlášen.

4.1.1.1 Uložení hesla

Pro možnost validace přihlašovacího hesla je potřeba nějakým způsobem heslo zaznamenat. Z bezpečnostních důvodů není vhodné v DB uchovávat hesla v čitelné podobě, ani v podobě, ze které by bylo možné heslo jednoduše získat.

Při implementaci autentizace pomocí hesla jsem se rozhodl pro použití kryptografické hašovací funkce, která poskytuje jednosměrnou transformaci vstupu na téměř náhodný výstup. Kryptografické hašovací funkce se od běžných hašovacích funkcí nezaměřují na rychlost, ale na kryptografické vlastnosti funkce.

Jako hašovací funkci jsem zvolil `bcrypt`, která se řadí mezi pomalé kryptografické hašovací funkce. Tato funkce (na rozdíl od rychlých hašovacích funkcí standardu SHA-1 či SHA-2) má nastavitelný počet iterací, což umožňuje navyšovat její obtížnost výpočtu s rostoucím výkonem počítačů. Vyšší obtížnost výpočtu je vhodná pro hašování hesel z důvodu zpomalení útoku typu *brutal force* (opakované a náhodné pokusy o uhodnutí hesla).

4.1.1.2 Odhad obtížnosti hesla

Při změně přihlašovacího hesla jsou dnes běžné minimální požadavky na složitost hesla. Tyto požadavky jsou však podle [45] většinou nedostatečné a neodpovídají skutečné době potřebné pro jejich uhodnutí v případě útoku. Například heslo `P@ssw0rd` oproti `Password` nepřináší téměř žádnou přidanou obtížnost, jelikož bylo odvozenou použitím pouze známých a častých substitucí.

Proto jsem se rozhodl do prototypu přidat odhad obtížnosti hesla, který využívá knihovnu `zxcv` od společnosti Dropbox. Knihovna umožňuje nastavit minimální časovou hodnotu, za kterou je odhadované prolomení hesla, a podle skóre testovaného hesla rozhodnou, zda-li je dostatečně obtížné. V prototypu aplikace je tato hodnota nastavena tak, aby bylo zabráněno jen použití opravdu jednoduchých hesel. Navíc je také odhadovaná doba prolomení zobrazena přímo u pole pro zadání nového hesla, tak aby si mohl uživatel sám zvolit jaká hodnota je pro něj přijatelná.

4.1.2 Ostatní možnosti přihlášení

Prototyp aplikace je díky použití knihovny `passport.js` připraven na implementaci dalších způsobů autentizace. Dalším častým způsobem autentizace je například napojení na služby třetích stran jako jsou sociální sítě a podobně. Uživateli se pak stačí přihlásit do služby třetí strany a je pak bez nutnosti zadávání hesla přihlášen i v prototypu aplikace.

Většina služeb třetích stran používá jeden, či více způsobů autentizace. Mezi nejčastěji používané autentizace služeb třetích stran patří autentizace pomocí protokolů OAuth, OAuth2 a OpenID.

Jednotlivé implementace autorizačních tříd vrací unikátní identifikátor uživatele v rámci dané služby, podle kterého lze v aplikaci daného uživatele nalézt a přihlásit. Účty třetích stran je v prototypu aplikace možné spravovat v nastavení uživatelského účtu pod záložkou **Připojené účty**.

4.1.2.1 ČVUT heslo

Jako příklad použití nepříliš rozšířeného způsobu autentizace jsem se rozhodl o implementaci autentizace pomocí školního ČVUT hesla. Portál na doméně `auth.fit.cvut.cz` umožňuje autentizaci pomocí protokolu OAuth2. Pomocí získaného OAuth tokenu lze přistupovat k ostatním školním API rozhraním (jako je například KOS, Usermap a tak dále).

Implementovaná autentizační třída `CTUOAuth2Strategy` je potomkem třídy `Strategy` z balíčku `passport-oauth2`, jež implementuje základní OAuth2 autentizaci. Ke kompletní implementaci ČVUT autentizace jsem použil identifikaci uživatelů pomocí jejich ČVUT uživatelská jména získaná pomocí koncového bodu `https://auth.fit.cvut.cz/oauth/userinfo`. Tento koncový bod vrací v těle odpovědi informace o předaném OAuth tokenu a jeho majiteli (tedy včetně jeho ČVUT uživatelského jména).

4.1.2.2 Sociální sítě

Jako běžný příklad způsobu autentizace pomocí služeb třetí strany jsem zvolil autentizaci pomocí sociálních sítí. V prototypu aplikace je implementována autentizace pomocí účtů služeb Google Plus, Facebook a Twitter.

Pro implementaci jsem použil připravené autorizační třídy pro jednotlivé sociální sítě. Tyto třídy již řeší komunikaci s koncovými body služeb a vrací přímo informace o přihlášeném uživateli. Získané informace se liší napříč službami a je potřeba se vždy poradit s dokumentací API příslušné služby.

Problémem, na který jsem při implementaci narazil, je nepovinný údaj emailu uživatele u služby Facebook, kde pole `email` přihlášeného uživatele služba vrací v závislosti na jeho nastavení soukromí a to i přes nastavení oprávnění mé aplikace. Protože je údaj `email` v mém schématu pro uživatele povinný (viz sekce 3.2), musel jsem pro službu facebook email generovat z poskytnutých údajů o uživateli (výsledný vygenerovaný email pak může vypadat například jako `1784258414938423@facebook.com`).

4.2 Autorizace

Protože v navrženém prototypu aplikace nejsou rozlišovány žádné pokročilejší uživatelské role, je naprosto dostačující jednoduchá kontrola přihlášení uživatele při přístupu k jednotlivým koncovým bodům. Tuto kontrolu provádí `Middleware` moduly validující každý příchozí požadavek od klienta. Pokud se uživatel pokouší přistoupit ke koncovému bodu, jenž vyžaduje přihlášeného

(resp. nepřihlášeného) uživatele, modul `AuthMiddleware` zkontroluje zda-li je uživatel přihlášen (resp. odhlášen) a pak teprve serverová část aplikace pokračuje ve zpracování požadavku.

Složitější situace nastává v omezení přístupu uživatelů k jednotlivým dokumentům. Uživatel může být k editaci dokumentu přizván a jeho práva, tak nemusí odpovídat globálnímu nastavení práv pro sdílení dokumentu (sdílení pomocí veřejného odkazu). Z tohoto důvodu jsem implementoval statickou třídu `DocumentVoter` (viz třídní diagram na obrázku 4.1). Metody této třídy přijímají objekt uživatele (nebo hodnotu `null`, pokud uživatel není přihlášený) a objekt dokumentu, pro který chceme zjistit uživatelovo oprávnění. Například metoda `DocumentVoter.can()` vrací `Promise` končící úspěchem pouze v případě, kdy má předaný uživatel dostatečné oprávnění k provedení zvolené akce nad předaným dokumentem.

DocumentVoter
<code>OperationTypes:String[] = ["none", "view", "chat", "write", "share", "remove"]</code>
<code>filter(operationType, user, documents):Promise<Document[]></code> <code>can(operationType, user, document):Promise</code> <code>getAllowedOperations(user, document):Promise<String[]></code>

Obrázek 4.1: Třídní diagram třídy `DocumentVoter`

Složitým problémem autorizace je omezení přístupu k samotnému editoru dokumentů a to nejen v případě, kdy uživatel nemá k dokumentu oprávnění, ale i v případě, kdy dokument vůbec neexistuje. Klientská část aplikace nemá přístup k DB a nemůže tedy zjistit, zda-li se má editor vůbec aktuálnímu uživateli zobrazit, či jaká část má zůstat skryta, protože k ní uživatel nemá dostatečné oprávnění. Proto klientská část pro každý dokument zahájí spojení se serverem, jenž po přijetí zprávy Připojení k dokumentu (viz sekce 3.6 o komunikaci) rozhodne zda-li uživatele připojí (a vrátí seznam operací, ke kterým má uživatel dostatečné oprávnění) nebo odešle zprávu Chyba a spojení ukončí.

Z tohoto důvodu se může stát, že aplikace před zobrazení chyby o nenalezení dokumentu na zlomek vteřiny zobrazí editor dokumentu. Editor je v uzamčeném stavu a neumožňuje uživateli editaci, ani žádnou jinou operaci nad dokumentem, ale jeho zobrazení je nutné pro správné vytvoření instance textového editoru.

4.3 Uživatelské rozhraní

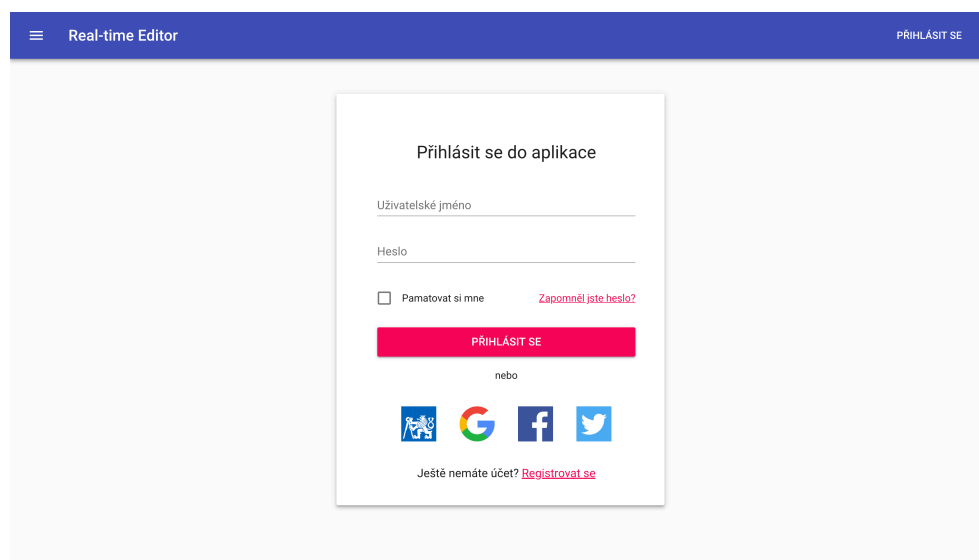
Uživatelské rozhraní a jeho návrh se řadí do odvětví Interakce člověka a počítače (anglicky Human-computer interaction nebo HCI). Jedná se složitou problematiku, která zahrnuje přístupnost, použitelnost a důvěryhodnost uživatelského rozhraní a to nejen pro webové aplikace.

4.3.1 Material Design

Pro prototyp aplikace jsem se rozhodl využít již připravené zásady pro tvorbu uživatelského rozhraní od společnosti Google nazvané Material Design. Tyto zásady jsou veřejně dostupné na stránkách společnosti Google a řeší výše zmíněnou problematiku návrhu uživatelského rozhraní. [46], [47]

Jako implementaci těchto zásad jsem využil knihovnu **Material-UI**. Tato knihovna implementuje jednotlivé komponenty zmíněné v zásadách Material design jako React komponenty (více o knihovně React v sekci 2.5.4).

Použitím této knihovny vzniklo vizuálně příjemné a intuitivní uživatelské rozhraní (viz náhled rozhraní na obrázku 4.2). Uživatelské rozhraní aplikace je navrženo tak, aby šlo aplikaci snadno použít i na zařízeních s rozdílnou velikostí a poměrem obrazovky (je takzvaně responzivní).

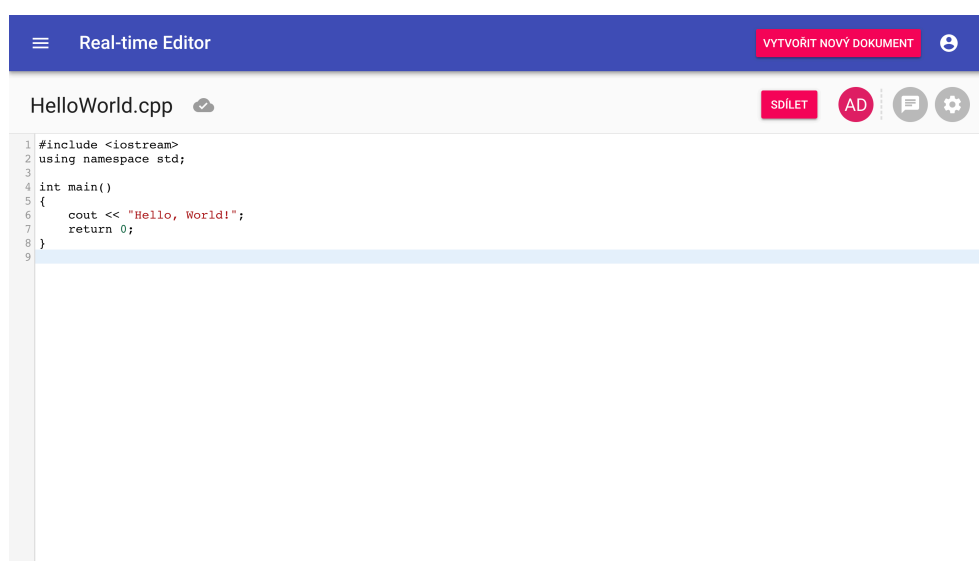


Obrázek 4.2: Náhled přihlašovací obrazovky prototypu aplikace

4.3.2 Textový editor

Textový editor je hlavní částí prototypu aplikace. Z tohoto důvodu není vhodné použít jednoduchou textovou oblast a rozhodl jsem se proto použít komplexnější textový editor.

Pro implementaci textového editoru jsem použil JavaScriptovou (více o jazyce v sekci 2.5.2) knihovnu **CodeMirror**. Tato knihovna poskytuje pomocí svého API rozsáhlé možnosti pro manipulaci textu, vzhledu, zvýrazňování syntaxe a celkového chování editoru [48]. Jejím použitím vznikl textový editor s rozsáhlými možnostmi nastavení a příjemným vzhledem (viz náhled editoru na obrázku 4.3).



Obrázek 4.3: Náhled editoru prototypu aplikace

4.4 Jazykové překlady

Pro implementaci jazykových překladů jsem použil rozšířený překladový framework **i18next** spolu s modulem **react-i18next**, který obsahuje rozhraní pro React komponenty (více o knihovně React v sekci 2.5.4). Tato knihovna umožňuje definovat jazykové překlady textů včetně množných čísel, parametrů a dalšího formátování [49].

K načtení samotných souborů jazykových překladů jsem využil možnosti modulu **i18next-xhr-backend**, který umožňuje asynchronní načtení překladů tak, aby uživatelé nemuseli stahovat více překladů, než jen ty určené pro aktuálně zvolený jazyk. Modul je nastaven, tak aby načítal překladové texty

pomocí koncového bodu Překlady webového rozhraní (viz popis koncového bodu v sekci 3.5.5.22).

4.5 Sestavení aplikace

Sestavení aplikace označuje postup kompilace, minimalizace a dalších úprav zdrojů před jejich vystavením do produkčního prostředí. V implementovaném prototypu aplikace je na sebe klientská a serverová část aplikace vázaná právě po sestavení aplikace a jejím vystavení do produkčního prostředí (více v následujících podsekcích).

4.5.1 Sestavení klientské části

Klientská část vyžaduje sestavení před každým spuštěním v uživatelském prohlížeči, protože využívá syntaktických prvků jazyka JavaScript, které nejsou prohlížeči plně podporovány (více o verzích jazyka v sekci 2.5.2). Pro sestavení jsem využil již připravené konfigurace pro nástroj **Webpack**, která přichází s použitím balíčku **create-react-app** přímo od společnosti Facebook. Balíček **create-react-app** obsahuje mimo nastavení pro produkční sestavení aplikace, i nastavení pro vývoj aplikace a to včetně automatického znovu načtení stránky v prohlížeči po provedení změn ve zdrojovém kódu.

Sestavení klientské části lze spustit pomocí příkazu **yarn build** a sestavená klientská část aplikace je následně umístěná ve složce **client/build-prod**. Takto sestavenou klientskou část aplikace je možné jednoduše vystavit, protože se jedná o běžné statické webové stránky s jedním hlavním HTML souborem.

4.5.2 Serverová část a vystavení klientské části

Serverová část aplikace je připravena na běh v Node.js prostředí (více o prostředí Node.js v sekci 2.5.3), ve kterém byla tato část i vyvíjena. Postup sestavení proto není u serverové části potřebný.

Jediná změna mezi produkčním a vývojovým vystavení serverové části je nastavení běhového prostředí Node.js pomocí proměnné prostředí **APP_ENV**, která musí být nastavena na hodnotu **production** (resp. **development** pro vývoj). Tato proměnná zajišťuje správné nastavení session, cookies a protokolování v závislosti na typu vystavení serverové části.

Serverová část aplikace také umožňuje vystavení předem sestavené klientské části. Pokud serverová část aplikace zpracovává požadavek, který nemá předponu spojenou s REST API a ani neodpovídá cestě k žádnému souboru sestavené klientské části, vrátí serverová část obsah hlavního HTML souboru sestavené klientské části. Klientská část aplikace se následně po spuštění v prohlížeči uživatele rozhodne, zda daná adresa existuje, či nikoliv.

4.5.2.1 Generování HTML metadat

Klientská část aplikace generuje a aktualizuje určité HTML metadata tak, aby jejich obsah odpovídal zobrazenému obsahu aplikace. Například po otevření seznamu dokumentů uživatel očekává, že se obsah tagu `title` změní na odpovídající text, stejně jakoby se jednalo o běžnou webovou stránku. K dosažení tohoto chování klientské části aplikace jsem použil knihovnu `react-helmet`, která umožňuje aktualizovat metadata podle pořadí vykreslení jednotlivých React komponent.

Tento přístup je dostatečný, dokud aplikaci používá obyčejný uživatel, který nepostřehne prvotní aktualizaci metadat po spuštění aplikace. Bohužel ale není dostatečný v případě, kdy k aplikaci přistupují roboti sociálních sítí a webových vyhledávačů, kteří při procházení a indexování internetu nespouštějí JavaScriptový kód. Pro ně se metadata vůbec nenastaví a při sdílení veřejného odkazu dokumentu na sociálních sítích se objeví pouze jejich původní obsah, který se sdíleným odkazem nemusí souviset.

Chtěl jsem, aby prototyp aplikace při sdílení veřejného odkazu dokumentu zobrazil na sociálních sítích minimálně název tohoto dokumentu. Toho jsem dosáhl pomocí generování metadat na straně serveru, které jsou následně vloženy do hlavního HTML souboru sestavené klientské části a odeslány klientovi. Robot, jenž takový odkaz navštíví, získá HTML soubor s vygenerovanými metadaty a to bez nutnosti spustit jakýkoliv JavaScript kód klientské části aplikace.

4.5.3 Sestavení pomocí Dockeru

Celý proces sestavení prototypu aplikace jsem zapouzdřil použitím virtualizačního nástroje Docker, který umožňuje definovat aplikace jako takzvané Docker obrazy. Tyto obrazy následně běží v takzvaných Docker kontejnerech, ty jsou navzájem nezávislé a jsou jednoduše spravovatelné (lze je spouštět, duplikovat a tak podobně).

Pro prototyp aplikace jsou připravené dva druhy obrazů, vývojový a produkční. Tyto obrazy obsahují veškeré závislosti klientské i serverové části aplikace. Připravené konfigurace obrazů a kontejnerů aplikace za pomoci nástroje `docker-compose` obsahují mimo samotný prototyp aplikace i DB kontejner s mongoDB (více o DB v sekci 2.5.5).

Vývojový obraz je připraven pro rychlý a jednoduchý vývoj aplikace bez nutnosti instalace jakýchkoliv nástrojů (kromě Dockeru samotného). Tento obraz lze vytvořit pomocí připraveného příkazu `docker-compose up app_dev`, ten vytvoří samotný obraz a jeho kontejner, který následně spustí. Kontejner a v něm běžící aplikace naslouchá změnám ve zdrojových souborech aplikace a při jejich uložení aplikaci znovu automaticky sestaví.

Produkční obraz je velmi podobný obrazu vývojovému, liší se především v nastavení běhového prostředí a uzavřenosti kontejneru. Tento obraz lze vy-

tvořit pomocí připraveného příkazu `docker-compose up app_prod`, ten vytvoří samotný obraz a jeho kontejner, který následně spustí. Produkční obraz je připraven pro jeho distribuci mezi dalšími stroji a nese s sebou vše potřebné pro běh aplikace (závislosti, nástroje i zdrojový kód). Proto je možné prototyp aplikace rychle nasadit bez nutnosti instalace prostředí a jeho konfigurace na produkčním stroji. Pro aktualizaci aplikace ze změněných zdrojových kódů je potřeba produkční obraz znovu vytvořit (není zde žádné automatické znovu sestavení).

Testování

5.1 Webová použitelnost a podpora

Jak jsem již zmiňoval v sekci 4.3 o uživatelském rozhraní, aplikace se řídí zásadami návrhu uživatelského rozhraní Material Design. Tyto zásady hovoří i mimo jiné o použitelnosti a přístupnosti webových aplikací.

Implementovaný prototyp aplikace byl otestován pomocí nástroje Google Lighthouse, nástroje s veřejným zdrojovým kódem, který slouží k testování přístupnosti webových aplikací. Tento nástroj aplikace hodnotí v různých kategoriích bodovým ohodnocením mezi 0 až 100 body. Implementovaný prototyp aplikace v tomto nástroji dosáhl hodnocení 100 bodů z přístupnosti, 94 bodů z doporučených postupů (anglicky Best practises) a 89 bodů z kategorie Search engine optimization (SEO). Stržené body z kategorie doporučených postupů jsou způsobeny nedostatečnou podporou HTTP/2 prostředím, kde je prototyp aplikace nasazen. Stržené body z kategorie SEO jsou způsobeny dynamickým výpočtem velikosti písma uvnitř použité knihovny **Material-UI**.

Prototyp aplikace podporuje poslední stabilní verze hlavních platforem a webových prohlížečů. Podpora verzí jednotlivých webových prohlížečů je dána jejich podporou použité knihovny **Material-UI** (viz sekce 4.3.1).

Prototyp aplikace byl otestován a je funkční i několik verzí zpět, kde je limitujícím faktorem především podpora CSS vlastnosti **Flex**. Tato vlastnost je používána pro rozvržení rozhraní webové aplikace a bez její podpory se obsah nebude zobrazovat správně. Podporované verze webových prohlížečů, úspěšně otestované verze a oficiální verze podpory vlastnosti **Flex** jsou zobrazené v tabulce 5.1.

5.2 Uživatelské testování

Uživatelské testování je nejčastější metodou testování přístupnosti aplikací. Cílem je odkrýt závažné problémy aplikace, které mohou uživatelům působit

Tabulka 5.1: Podporované verze webových prohlížečů

	IE	Edge	Firefox	Chrome	Safari
Podpora prototypu aplikace	11	≥ 14	≥ 45	≥ 49	≥ 10
Úspěšně testované verze	11	≥ 14	≥ 28	≥ 39	≥ 10
Oficiální podpora vlastnosti Flex	11	≥ 12	≥ 20	≥ 29	≥ 9

problémy s používáním aplikace. Testování spočívá v pozorování samotných uživatelů a jejich interakce s aplikací, jak se snaží dosáhnout nějakého předem určeného cíle.

Uživatelské testování je zahájeno vysvětlením účelu jednotlivých scénářů, následováno testováním samotným, zpracováním výsledků a je zpravidla zakončeno uvedením výsledků. Uvedení výsledků je důležité pro testované uživatele, protože v nich vzbuzuje pocit, že vývojářům aplikace skutečně pomohli. [50]

5.2.1 Testovací scénáře

Testování může obsahovat více testovacích scénářů. Scénáře obsahují jejich účel, čas, podmínky, kroky a očekávaný výsledek. Účastník testu nesmí mít osobní zájem na jeho výsledku, musí být objektivní a nebát se cokoli říct. Přisedící musí na případné otázky účastníka odpovídat tak, aby nenarušil výsledky testu.

Účastník je seznámen s účelem scénáře a dále postupuje podle jeho kroků. Během průchodu každého scénáře popisuje svou interakci s aplikací a své myšlenky, přisedící pořizuje poznámky či průběh testování nahrává. Po skončení průchodu jsou poznámky zpracovány a výsledek je porovnán s očekávaným výsledkem scénáře.

Jednotlivé testovací scénáře reflektují stejnojmenné uživatelské případy ze sekce 2.3.

TC1 – Vytvoření uživatelského účtu Účelem tohoto testovacího scénáře je vytvoření nového uživatelského účtu. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy není přihlášen žádný uživatel a je zobrazen přihlašovací formulář. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 5 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník klikne na odkaz **Registrovat se**.
2. Vyplní registrační formulář.
3. Formulář odešle kliknutím na tlačítko **Registrovat se**.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Je vytvořen nový uživatelský účet se zadanými údaji.
2. Na zadaný email je odeslán uvítací email.
3. Vytvořený uživatel je přihlášen do aplikace.
4. Je zobrazen prázdný seznam vytvořených dokumentů spolu s tlačítkem pro vytvoření nového dokumentu.

TC2 – Přihlášení do aplikace Účelem tohoto testovacího scénáře je přihlášení uživatele pomocí již vytvořeného uživatelského účtu. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy není přihlášen žádný uživatel a je zobrazen přihlašovací formulář. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 5 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník vyplní přihlašovací formulář.
2. Formulář odešle kliknutím na tlačítko **Přihlásit se**.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Uživatel je přihlášen do aplikace.
2. Je zobrazen seznam vytvořených dokumentů spolu s tlačítkem pro vytvoření nového dokumentu.

TC3 – Změna uživatelských údajů Účelem tohoto testovacího scénáře je změna uživatelských údajů přihlášeného uživatele. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy je uživatel přihlášen a je zobrazen seznam vytvořených dokumentů. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 5 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník otevře vyskakovací menu s možnostmi kliknutím na ikonu uživatele.
2. Pokračuje kliknutím na tlačítko **Nastavení**.
3. Vyplní formulář pro změnu uživatelských údajů.
4. Formulář odešle kliknutím na tlačítko **Uložit změny**.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Uživateli údaje jsou změněny.
2. Je zobrazeno plovoucí upozornění o výsledku akce.

TC4 – Změna výchozího nastavení dokumentů Účelem tohoto testovacího scénáře je změna výchozího nastavení pro nově vytvořené dokumenty. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy je uživatel přihlášen a je zobrazen seznam vytvořených dokumentů. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 10 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník otevře vyskakovací menu s možnostmi kliknutím na ikonu uživatele.
2. Pokračuje kliknutím na tlačítko **Nastavení**.
3. Přepne se do požadovaného nastavení kliknutím na záložku **Nastavení dokumentů**.
4. Vyplní formulář s výchozím nastavením pro nově vytvořené dokumenty.
5. Formulář odešle kliknutím na tlačítko **Uložit změny**.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Výchozí nastavení údaje pro nově vytvořené dokumenty je uloženo.
2. Je zobrazeno plovoucí upozornění o výsledku akce.

TC5 – Zobrazení seznamu dokumentů Účelem tohoto testovacího scénáře je zobrazení seznamů vytvořených, sdílených a posledních dokumentů. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy je uživatel přihlášen a je zobrazen seznam vytvořených dokumentů. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 5 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník otevře navigační menu kliknutím na ikonu navigace.
2. Pokračuje kliknutím na tlačítka **Mé dokumenty**, **Sdílené** a **Poslední**.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Postupně jsou zobrazeny všechny tři seznamy dokumentů.

TC6 – Vytvoření nového dokumentu Účelem tohoto testovacího scénáře je vytvoření nového dokumentu a nastavení jeho jména. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy je uživatel přihlášen a je zobrazen seznam vytvořených dokumentů. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 5 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník klikne na tlačítko **Vytvořit nový dokument**.
2. Vyplní jméno dokumentu.
3. Jméno uloží kliknutím na tlačítko s ikonou uložit.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Nový dokument je vytvořen.
2. Je zobrazen textový editor nově vytvořeného dokumentu.
3. Dokument má nastavené vyplněné jméno.

TC7 – Otevření textového editoru Účelem tohoto testovacího scénáře je zobrazení textového editoru pro již existujícího sdíleného dokumentu. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy je uživatel přihlášen a je zobrazen seznam vytvořených dokumentů. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 5 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník otevře navigační menu kliknutím na ikonu navigace.
2. Zobrazí seznam sdílených dokumentů kliknutím na tlačítko **Sdílené**.
3. Pokračuje kliknutím na název vybraného dokumentu v seznamu.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Je zobrazen textový editor vybraného dokumentu.

TC8 – Změna nastavení dokumentu Účelem tohoto testovacího scénáře je změna nastavení již vytvořeného dokumentu. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy je uživatel přihlášen a je zobrazen seznam vytvořených dokumentů. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 10 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník klikne na název vybraného dokumentu v seznamu.
2. Pokračuje kliknutím na tlačítko nastavení dokumentu s ikonou ozubeného kola.
3. Upraví nastavení dokumentu.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Je zobrazen textový editor vybraného dokumentu a otevřeno postranní menu s jeho nastavením.
2. Změny nastavení byly ve skutečném čase uloženy a aplikovány na otevřený editor.

TC9 – Přizvání uživatele k dokumentu Účelem tohoto testovacího scénáře je přizvání dalšího uživatele k editaci již vytvořeného dokumentu. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy je uživatel přihlášen a je zobrazen seznam vytvořených dokumentů. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 10 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník klikne na název vybraného dokumentu v seznamu.
2. Pokračuje kliknutím na tlačítko **Sdílet**.
3. Zobrazí formulář pro vytvoření nové pozvánky kliknutím na tlačítko **Nová pozvánka**.
4. Vyplní formulář pro vytvoření nové pozvánky.
5. Formulář odešle kliknutím na tlačítko **Pozvat**.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Je zobrazen textový editor vybraného dokumentu a otevřeno postranní menu s možnostmi jeho sdílení.
2. Pozvaný uživatel vidí dokument ve svém seznamu sdílených dokumentů.
3. Pozvaný uživatel se zobrazil v seznamu pozvaných uživatel v otevřeném postranním menu.

TC10 – Komunikační vlákno dokumentu Účelem tohoto testovacího scénáře je zobrazení komunikačního vlákna již vytvořeného dokumentu a přidání nové zprávy. Před začátkem průchodu je aplikace ve stavu, kdy je uživatel přihlášen a je zobrazen seznam vytvořených dokumentů. Doba průchodu celého scénáře by neměla být delší než 5 minut.

Kroky scénáře:

1. Účastník klikne na název vybraného dokumentu v seznamu.
2. Pokračuje kliknutím na tlačítko komunikačního vlákna s ikonou konzervační bubliny.
3. Vyplní pole pro text nové zprávy.
4. Zprávu odešle kliknutím na tlačítko s ikonou odeslat.

Očekávaný výsledek po průchodu scénáře:

1. Je zobrazen textový editor vybraného dokumentu a otevřeno postranní menu s komunikačním vláknem dokumentu.
2. Odeslaná zpráva se zobrazila v komunikačním vláknem dokumentu.

5.2.2 Účastníci testování

Účastníci jsou nejdůležitější částí uživatelského testování. Procházejí jednotlivé testovací scénáře a rozhodují tak o přístupnosti uživatelského rozhraní aplikace.

Počet účastníků testování je dán především velikostí testované aplikací a výsledky, kterých chceme dosáhnout. Nízký počet účastníků umožňuje detailnější popis jednotlivých průchodů. Vyšší počet účastníků naopak dosahuje výsledků statistické povahy nápomocné při rozhodování mezi různými způsoby implementace.

Uživatelského testování implementovaného prototypu aplikace se zúčastnili 3 účastníci. Pro ochranu jejich soukromí jsou však tito účastníci anonymizováni. Každý z účastníků prošel všemi testovacími scénáři definovanými v sekci 5.2.1.

Účastník 1 Student ČVUT, 22 let, jeho koníčkem je programování a elektronika. Ovládá pokročilé počítačové programy na vysoké úrovni a na internetu je jako doma. S nástroji pro kolaborativní editaci se setkává běžně v každodenním životě.

Účastník 2 Studentka Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, 20 let, mezi její koníčky patří cyklistika a psi. Ovládá běžné kancelářské programy na základní úrovni a běžně se pohybuje po internetu. S nástroji pro kolaborativní editaci textů se již setkala, ale nikdy je aktivně nevyužívala.

Účastník 3 Zaměstnankyně Městského úřadu v Ústí nad Labem, 42 let, mezi její koníčky patří Jóga a práce na zahradě. Ovládá běžné kancelářské programy na vysoké úrovni, avšak na internetu používá pouze základní služby. S nástroji pro kolaborativní editaci se nikdy nesetkala.

5.2.3 Výsledky testování

V této části jsou popsány výsledky jednotlivých průchodů s účastníky uživatelského testování. Každý účastník hodnotil průchod testovacím scénářem hodnotou 1–5, kde 5 znamená intuitivní rozhraní (dokázali ho splnit sami a bez přemýšlení) a 1 neintuitivní (bez pomoci přisedícího nedokázali scénář dokončit).

Účastníci byli před začátkem testování seznámeni s prototypem aplikace, účelem každého scénáře a způsobem jejich hodnocení. Před průchodem každého scénáře byl prototyp aplikace nastaven do stavu podle jeho počátečních podmínek. Jednotlivé kroky scénáře byli účastníkům odhaleny pouze v případě potřeby jako nápověda pro dokončení průchodu.

Průchody účastníka 1 Účastník odhalil problém při průchodu testovacím scénářem Změna uživatelských údajů (TC3). Nevšiml si pole pro potvrzení změn aktuálním heslem a formulář se mu na první pokus nepodařilo odeslat. Po zobrazení chyby pole vyplnil a scénář úspěšně dokončil. Podle účastníka je pole nevhodně umístěno a působí dojem, že je určeno pouze pro potvrzení při vyplnění ostatních polí pro změnu hesla.

Účastník prošel všemi ostatními testovacími scénáři bez odhalení dalších problémů uživatelského rozhraní. Podle účastníka se uživatelské rozhraní aplikace řídí zavedenými zvyklostmi a je jednoduché se v něm orientovat. Jednotlivá účastníková hodnocení testovacích případů jsou zobrazena v tabulce 5.2.

Tabulka 5.2: Hodnocení scénářů po průchodu účastníkem 1

	Hodnocení (1–5)
TC1	5
TC2	5
TC3	3
TC4	5
TC5	5
TC6	5
TC7	5
TC8	5
TC9	5
TC10	5

Průchody účastníka 2 Účastník při průchodu testovacími scénáři Vytvoření uživatelského účtu (TC1), Přihlášení do aplikace (TC2), Změna výchozího nastavení dokumentů (TC4), Zobrazení seznamu dokumentů (TC5), Otevření textového editoru (TC7), Změna nastavení dokumentu (TC8), Přizvání uživatele k dokumentu (TC9) a Komunikační vlákno dokumentu (TC10) neodhalil žádný problém. Testované uživatelské rozhraní bylo pro účastníka známé z ostatních aplikací společnosti Google (díky použitému Material Designu).

Při průchodu testovacím scénářem Změna uživatelských údajů (TC3) byl odhalen problém s polem pro aktuální heslo. Toto pole účastník nevyplnil a první pokus o odeslání formuláře vyvolal chybu. Po zobrazení a přečtení chyby účastník pole zpětně vyplnil a scénář bez dalších problémů dokončil. Pole pro zadání aktuálního hesla není podle slov účastníka dostatečně označené a není na první pohled poznat, že se jedná vždy o povinné pole.

Na další a poslední problém účastník upozornil při průchodu testovacím scénářem Vytvoření nového dokumentu (TC6). Účastník neuložil název dokumentu kliknutím na tlačítko uložit a považoval scénář za dokončený. Podle slov účastníka ho zmátla ikona stavu synchronizace s popiskem „Všechny změny uloženy“ a předpokládal, že se tato informace vztahuje i k názvu dokumentu.

Účastník potvrdil existenci problému týkající se umístění pole s aktuálním heslem v uživatelském nastavení. Ale také upozornil na další problém, který by mohl negativně postihnout zkušenost ostatních uživatelů s prototypem aplikace. Jednotlivá účastníková hodnocení testovacích případů jsou zobrazena v tabulce 5.3.

Tabulka 5.3: Hodnocení scénářů po průchodu účastníkem 2

	Hodnocení (1–5)
TC1	5
TC2	5
TC3	4
TC4	5
TC5	5
TC6	3
TC7	5
TC8	5
TC9	5
TC10	5

Průchody účastníka 3 Účastník prošel bez problémů testovacími scénáři Vytvoření uživatelského účtu (TC1), Přihlášení do aplikace (TC2), Změna výchozího nastavení dokumentů (TC4), Změna nastavení dokumentu (TC8) a Přizvání uživatele k dokumentu (TC9). Uživatelské rozhraní v rámci těchto scénářů je podle účastníka navrženo dle zvyklostí a je na první pohled intuitivní.

Drobné problémy byly odhaleny účastníkovým průchodem testovacích scénářů Vytvoření nového dokumentu (TC6) a Komunikační vlákno dokumentu (TC10). V prvním případě si účastník nevšiml tlačítka pro uložení jména dokumentu a pokračoval bez uložení, protože očekával automatické ukládání názvu dokumentu. V druhém případě účastník nepoznal ikonu pro otevření komunikačního vlákna a odeslání nové zprávy, ale ke správnému výsledku ho dovedly vyskakovací popisy jednotlivých tlačítek.

První závažný problém nastal při průchodu testovacím scénářem Změna uživatelských údajů (TC3). Účastník nevyplnil pole pro aktuální heslo a formulář se mu tak nepodařilo odeslat. Podle účastníka je pole pro zadání aktuálního hesla nedostatečně označené a svým umístěním spadá pouze pod změnu přihlašovacího hesla.

Účastníkům průchod testovacím scénářem Zobrazení seznamu dokumentů (TC5) odhalil další problém. Účastník nepoznal ikonu pro otevření bočního menu aplikace a měl tendenci náhodně klikat na všechna tlačítka za účelem jeho nalezení. Ikona podle účastníka není dobře označena a boční menu očekával stále otevřené.

Na poslední problém účastník narazil při průchodu testovacího scénáře Otevření textového editoru (TC7) a opět se jednalo o problém s bočním menu aplikace. Účastník chtěl poprvé zobrazit seznam s ním sdílených dokumentů pomocí tlačítka pro řazení seznamu dokumentů, ale po jeho aktivaci si ihned uvědomil účel tohoto tlačítka a pokračoval ve scénáři.

Některé problémy uživatelského rozhraní odhalené účastníkem souvisí s jeho omezenou znalostí běžně zavedených prvků uživatelského rozhraní na internetu (například neznalost ikony pro menu či odeslání zprávy). Poukázal ovšem i na závažnější chyby uživatelského rozhraní, kterými je vhodné se do budoucna zabývat. Jednotlivá účastníková hodnocení testovacích případů jsou zobrazena v tabulce 5.4.

Tabulka 5.4: Hodnocení scénářů po průchodu účastníkem 3

	Hodnocení (1–5)
TC1	5
TC2	5
TC3	1
TC4	5
TC5	2
TC6	4
TC7	3
TC8	5
TC9	5
TC10	4

5.2.3.1 Shrnutí uživatelského testování

Pomocí uživatelského testování byly identifikovány problematické prvky uživatelského rozhraní implementovaného prototypu. Mezi závažné problémy jsem s ohledem na jejich odhalení více účastníky zařadil pole aktuálního hesla ve formuláře pro změnu uživatelským nastavením a nutnost potvrzení nového jména dokumentu namísto jeho automatického uložení.

Tyto problémy nejsou překážkou v používání prototypu jako takového, ale mohou být důvodem nepříjemné uživatelské zkušenosti, a proto je nutné se jimi do budoucna zabývat. Návrh bezchybného uživatelského rozhraní nebyl cílem této práce, a proto tyto nalezené problémy nepovažuji za jeho nesplnění.

5.3 Výkonnostní testování

Výkon implementovaného prototypu aplikace a komponentu editoru jsem testoval při rozdílných počtech připojených uživatelů. Aplikace byla schopna synchronizovat text jednoho dokumentu pro přes 100 připojených uživatelů a to

bez znatelného zpomalení. Limitujícím faktorem počtu uživatelů byl výkon počítače, který simuloval jednotlivé připojené klienty.

Měření probíhalo otevřením daného počtu aktivních oken editoru na jiném než pozorovaném počítači (z důvodu ovlivnění výsledků mezi klienty). Na pozorovaném počítači byl měřen čas odchozí a příchozí operace mezi dvěma pozorovanými editory. Čas průměrné odezvy mezi testovaným počítačem a testovaným aplikačním serverem byl 60 ms.

Jak je z výsledků v tabulce 5.5 patrné, tak server byl i s tímto počtem připojených schopen propagovat operace téměř okamžitě. Ani při počtu 100 připojených klientů nedocházelo k výraznějšímu zpoždění propagace operací. Rozdíly mezi jednotlivými testy jsou v rámci chyby měření, která mohla být způsobena bezdrátovým připojením k internetu v době testování.

Tabulka 5.5: Výsledky testování doby synchronizace

	Průměr	Nejlepší	Nejhorší
Pouze pozorování uživatelé	91 ms	65 ms	157 ms
10 připojených uživatelů	109 ms	62 ms	249 ms
50 připojených uživatelů	117 ms	60 ms	225 ms
100 připojených uživatelů	113 ms	59 ms	264 ms

Tento výsledek byl očekávaný a je dán povahou použitého synchronizačního algoritmu OT (více k algoritmu v sekci 2.7.3). Server propagovanou operaci před odesláním pouze transformuje oproti souběžným operacím a aplikuje na vlastní kopii textu daného dokumentu. Každý jednotlivý klient je zodpovědný za správnou transformaci všech přijatých operací a jejich aplikaci na vlastní kopii textu, ale také za odchycení uživatelského vstupu a jeho převod na soubor operací.

Toto je dobrá zpráva, protože právě server a databáze je dnes, i přes široké možnosti škálování, stále úzkým hrdlem většiny aplikací. Výpočet u uživatele samotného lze dále optimalizovat, ale jeho náročnost se neprojeví u ostatních uživatelů aplikace tak, jako kdyby probíhal na serveru.

Závěr

V rešeršní části práce byly nejdříve analyzovány funkční a nefunkční požadavky nástroje pro kolaborativní editaci textů a byl sestaven jeho doménový model. Dále byly stručně představeny zadané technologie a existující webové komunikační protokoly včetně jejich využití a nevýhod. Také byla představena problematika synchronizace textů ve skutečném čase spolu s nejčastěji používanými synchronizačními algoritmy, operační transformace a diferenciální synchronizace. A rešeršní část byla zakončena představením existujících nástrojů pro kolaborativní editaci textů.

V praktické části práce byl navržen model pro uložení dat a komponenta kolaborativního textového editoru využívající algoritmu operační transformace. Dále byl navržen a implementován prototyp aplikace implementující navrženou komponentu kolaborativního textového editoru. Uživatelské rozhraní tohoto prototypu bylo úspěšně uživatelsky otestováno a implementace komponenty editoru v rámci prototypu byla otestována výkonnostně.

Vzniklý prototyp aplikace umožňuje jednoduchou kolaborativní editaci textů, obsahuje jednoduchou správu dokumentů a uživatelských účtů. Jednotlivé dokumenty je možné sdílet pomocí jejich veřejných odkazů a to i pouze v režimu náhledu, kdy je dokument také synchronizován ve skutečném čase. Závěrem lze tedy říci, že všechny cíle této práce byly úspěšně splněny.

V budoucnosti by bylo možné navrženou komponentu editoru zbavit závislosti na knihovnách třetích stran (OT.js a Material-UI) a publikovat jako samostatný balíček do npm (JavaScript package manager) registru. Takto implementovanou knihovnu by mohli jednoduše využívat i ostatní vývojáři, kteří chtějí vytvořit kolaborativní nástroj s podobnými vlastnostmi jako má implementovaný prototyp aplikace.

Bibliografie

1. LEITHEAD, Travis et al. *HTML 5.2* [online]. 2017 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.w3.org/TR/2017/REC-html52-20171214/>. W3C Recommendation. W3C.
2. MOZILLA et al. *HTML5* [online]. 2018 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Guide/HTML/HTML5>.
3. BERNERS-LEE, Tim; CONNOLLY, Daniel. *Hypertext Markup Language (HTML) A Representation of Textual Information and MetaInformation for Retrieval and Interchange* [online]. 1993-06 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.w3.org/MarkUp/draft-ietf-iiir-html-01.txt>. Internet Draft. IIIR Working Group (IETF).
4. RAGGETT, Dave. *HTML 3.2 Reference Specification* [online]. 1997 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.w3.org/TR/2018/SPSD-html32-20180315/>. W3C Recommendation. W3C.
5. BERJON, Robin et al. *HTML5* [online]. 2014 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://www.w3.org/TR/2014/REC-html5-20141028/>. W3C Recommendation. W3C.
6. MOZILLA et al. *A re-introduction to JavaScript (JS tutorial)* [online]. 2018 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/A_re-introduction_to_JavaScript.
7. *ECMAScript: A general purpose, cross-platform programming language* [online]. 1997 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST-ARCH/ECMA-262,%201st%20edition,%20June%201997.pdf>. ECMA Standard. ECMA.
8. MOZILLA et al. *JavaScript language resources* [online]. 2018 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Language_Resources.

9. ORSINI, Lauren. What You Need To Know About Node.js. *Readwrite* [online]. 2013 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://readwrite.com/2013/11/07/what-you-need-to-know-about-nodejs/>.
10. NODE.JS FOUNDATION. *About Node.js®* [online]. 2018 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://nodejs.org/en/about/>.
11. NODE.JS FOUNDATION. *ECMAScript 2015 (ES6) and beyond* [online]. 2018 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://nodejs.org/en/docs/es6/>.
12. FACEBOOK INC. *A JavaScript library for building user interfaces* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://reactjs.org>.
13. FISHER, Bill. *How was the idea to develop React conceived and how many people worked on developing it and implementing it at Facebook?* [online]. 2015 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.quora.com/How-was-the-idea-to-develop-React-conceived-and-how-many-people-worked-on-developing-it-and-implementing-it-at-Facebook>.
14. *Read Me* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://redux.js.org>.
15. STACK EXCHANGE INC. *Stack Overflow Developer Survey 2018* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2018/#technology-databases>.
16. MONGODB, INC. *MongoDB and MySQL Compared* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.mongodb.com/compare/mongodb-mysql>.
17. SPACEY, John. Pull vs Push Technology. *Simplicable* [online]. 2017 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://simplicable.com/new/pull-vs-push-technology>.
18. LORETO, S. et al. *Known Issues and Best Practices for the Use of Long Polling and Streaming in Bidirectional HTTP* [online]. 2011 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://tools.ietf.org/html/rfc6202>. Request for Comments. IETF.
19. HICKSON, Ian (ed.). *Server-Sent Events* [online]. 2015 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.w3.org/TR/2015/REC-eventsource-20150203/>. W3C Recommendation. W3C.
20. SALVET, Pavel. Komunikace v reálném čase díky Server-Sent Events a Web Sockets. *Interval* [online]. 2015 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://www.interval.cz/clanky/komunikace-v-realnem-case-diky-server-sent-events-a-web-sockets/>.
21. LUBBERS, Peter; GRECO, Frank; KAAZING CORPORATION. *HTML5 WebSocket: A Quantum Leap in Scalability for the Web* [online] [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://www.websocket.org/quantum.html>.

22. LAFORGE, Guillaume. *Algorithms for collaborative editing* [online]. 2012 [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://glaforge.appspot.com/article/algorithms-for-collaborative-editing>.
23. FRASER, Neil. *Differential Synchronization* [online]. 2009 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://neil.fraser.name/writing/sync/>.
24. FRASER, Neil. *Google Tech Talks - Differential Synchronization* [online]. 2009 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=S2Hp_1jqpY8.
25. FRASER, Neil. *Home - google/diff-match-patch Wiki* [online]. 2013 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://github.com/google/diff-match-patch/wiki>.
26. DANIELS, Alden. *Collaborative Editing in JavaScript: An Intro to Operational Transformation* [online]. 2015 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://davidwalsh.name/collaborative-editing-javascript-intro-operational-transformation>.
27. BAUMANN, Tim. *What is Operational Transformation?* [online]. 2013 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://operational-transformation.github.io/what-is-ot.html>.
28. SPIEWAK, Daniel. Understanding and Applying Operational Transformation. *Code Commit* [online]. 2010 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: http://www.codecommit.com/blog/java/understanding-and-applying-operational-transformation?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+codecommit+%28Code+Commit%29.
29. AGARWAL, Srijan. Operational Transformation, the real time collaborative editing algorithm. *Hacker Noon* [online]. 2017 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://hackernoon.com/operational-transformation-the-real-time-collaborative-editing-algorithm-bf8756683f66>.
30. GENTLE, Joseph. *ShareJS - Live concurrent editing in your app homepage* [online]. 2011 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.championtutor.com:7004>.
31. THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION. *Wave Project Incubation Status* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://incubator.apache.org/projects/wave.html>.
32. WANG, David; MAH, Alex. *Google Wave Operational Transformation Whitepaper* [online]. 2009 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20100108095720/http://www.waveprotocol.org:80/whitepapers/operational-transform>.
33. The Best Word Processing Software. *Top Ten Reviews* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.toptenreviews.com/business/software/best-word-processing-software/>.

34. GOOGLE INC. *Google Apps Realtime - Conflict Resolution and Grouping Changes* [online]. 2016 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://developers.google.com/google-apps/realtime/conflict-resolution>.
35. CAIRNS, Brian; SIMON, Cheryl. *Google I/O 2013 - The Secrets of the Drive Realtime API* [online]. 2013 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=hv14PTbkIs0>.
36. APPJET AND THE GOOGLE PR TEAM. *Google Acquires AppJet* [online]. 2009 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20091206200422/http://etherpad.com/ep/blog/posts/google-acquires-appjet>.
37. APPJET AND THE GOOGLE PR TEAM. *EtherPad Open Source Release* [online]. 2009 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20091221023828/http://etherpad.com/ep/blog/posts/etherpad-open-source-release>.
38. *Etherpad: Really real-time collaborative document editing* [online]. GitHub, 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://github.com/ether/etherpad-lite>.
39. APPJET, INC., WITH MODIFICATIONS BY THE ETHERPAD FOUNDATION. *Etherpad and EasySync Technical Manual* [online]. 2011 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://raw.githubusercontent.com/ether/etherpad-lite/master/doc/easysync/easysync-full-description.pdf>.
40. *Available Etherpad plugins* [online] [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://static.etherpad.org/plugins.html>.
41. MUNROE, Lee; MEHTA, Tejesh. *Share Code in Real-time with Developers* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://codeshare.io>.
42. MUNROE, Lee. *My First Node.js App: CodeShare.io* [online]. 2013 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.leemunroe.com/codeshare/>.
43. SANDOVAL, Kristopher. *13 Node.js Frameworks to Build Web APIs. Nordic APIs* [online]. 2017 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://nordicapis.com/13-node-js-frameworks-to-build-web-apis/>.
44. GAMMA, Erich et al. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison-Wesley Professional, 1994. ISBN 978-0201633610.
45. WHEELER, Daniel Lowe. *USENIX Security '16 - zxcvbn: Low-Budget Password Strength Estimation* [online]. 2016 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity16/technical-sessions/presentation/wheeler>.
46. GOOGLE INC. *Introduction – Material Design* [online]. 2017 [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://material.io/guidelines/>.

47. GOOGLE INC. *Usability – Accessibility – Material Design* [online]. 2017 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://material.io/guidelines/usability/accessibility.html>.
48. *CodeMirror* [online] [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://codemirror.net>.
49. MÜHLEMANN, Jan. *Introduction – i18next documentation* [online]. 2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.i18next.com>.
50. KRUG, Steve. *Don't Make Me Think! A Common Sense Approach to Web Usability*. 2. vyd. Berkeley, California USA: New Riders Publishing, 2006. ISBN 0321344758.

Seznam použitých zkratek

API Application Programming Interface.

BSON Binary JSON.

CSS Cascading Style Sheets.

CSS3 Cascading Style Sheets verze 3.

DBMS Database Management System.

DS Diferenciální synchronizace.

ECMA European Computer Manufacturer's Association.

HTML Hypertext Markup Language.

HTTP Hypertext Transfer Protocol.

I/O vstupní/výstupní.

IETF Internet Engineering Task Force.

JSON JavaScript Object Notation.

MVC Model–view–controller.

NoSQL Not only SQL.

ODM Object-document mapping.

ORM Object-relational mapping.

OT Operační transformace.

REST Representational state transfer.

SEO Search engine optimization.

SQL Structured Query Language.

SVN Apache Subversion.

SŘBD Systém Řízení Báze Dat.

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol.

URL Uniform Resource Locator.

W3C The World Wide Web Consortium.

WebRTC Web Real-Time Communication.

WHATWG Web Hypertext Application Technology Working Group.

WWW World Wide Web.

WYSIWYG „co vidíš, to dostaneš“.

ČVUT České vysoké učení technické.

Obsah přiloženého CD

/	
	realtime-editor zdrojové kódy prototypu
	screenshots snímky obrazovky prototypu
	computer snímky obrazovky prototypu při běžném rozlišení
	smartphone snímky obrazovky prototypu při malém rozlišení
	thesis
	src zdrojová forma práce ve formátu \LaTeX
	thesis.pdf text práce ve formátu PDF
	readme.txt stručný popis obsahu CD