



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

VIZUALIZACE SÍŤOVÝCH BEZPEČNOSTNÍCH UDÁLOSTÍ

VISUALIZATION OF NETWORK SECURITY EVENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR STEHLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL KROBOT

BRNO 2016

Abstrakt

Tato práce se zabývá vizualizací síťových bezpečnostních událostí pomocí moderních webových technologií. Byly studovány různé technologie pro tvorbu moderní webové aplikace podporující vizualizaci velkého množství dat. Aplikace vyvinutá v rámci této práce byla navržena pro monitorovací systém NEMEA a umožňuje vizuální analýzu velkého množství bezpečnostních událostí s možností analýzy shora dolů. Aplikace pracuje s daty uloženými v IDEA formátu, který je využíván dalšími službami z oblasti síťové bezpečnosti a aplikace je tím pádem přenositelná i na ně.

Abstract

This thesis focuses on visualization of network security events via modern web technologies. Multiple technologies for creating modern web application supporting visualising large volume of security events were studied. The application was designed for NEMEA system which thanks to this thesis acquired graphical user interface allowing big data visual analysis with drill-down capabilities. The application operates on security events stored in IDEA format which is used among other network security services and the application is therefore transferrable to them. Further development of the application heads toward deeper integration with NEMEA system and its services.

Klíčová slova

JavaScript, Python, MongoDB, vizualizace, NEMEA, IDEA, bezpečnost počítačových sítí, SPA, single page application

Keywords

JavaScript, Python, MongoDB, visualization, NEMEA, IDEA, network security, SPA, single page application

Citace

STEHLÍK, Petr. *Vizualizace síťových bezpečnostních událostí*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Krobot Pavel.

Vizualizace síťových bezpečnostních událostí

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Krobota. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Petr Stehlík

14. května 2016

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Tomáši Čejkovi a Ing. Václavu Bartoši za odbornou pomoc, Ing. Pavlovi Krobotovi za věcné připomínky a vedení během psaní této práce a své rodině a přátelům za podporu.

© Petr Stehlík, 2016.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	3
2	Monitorování sítě	4
2.1	IDEA	4
2.2	NEMEA	4
2.3	Další monitorovací systémy	5
2.4	Shrnutí	6
3	Technologie	7
3.1	Uživatelská část	8
3.1.1	JavaScript frameworky	8
3.1.2	HTML/CSS frameworky	10
3.2	Serverová část	11
3.2.1	REST API	12
3.3	Vybrané technologie	13
3.3.1	Uživatelská část	13
3.3.2	Serverová část	14
3.4	Shrnutí	15
4	Architektura aplikace	16
4.1	Případy užití	17
4.2	Uživatelská část	18
4.3	REST API	19
4.4	GUI	21
4.5	Shrnutí	22
5	Implementace	23
5.1	Serverová část	23
5.2	Uživatelská část	25
5.3	Zabezpečení	29
6	Testování	31
6.1	Testování serverové části	31
6.2	Testování uživatelské části	31
6.3	Shrnutí	32
7	Závěr	33
	Literatura	34

Přílohy	36
Seznam příloh	37
A Vzorový IDEA záznam	38
B Drátěné modely aplikace	39
C Seznam použitých Python knihoven	42
D Snímky uživatelské strany před akceptačními testy	43
E Snímky uživatelské strany po prvním kole testů	45
F Obsah DVD	48

Kapitola 1

Úvod

Počítačové sítě, zejména Internet, v dnešním světě zaujímají jednu z nejvýznamnějších rolí. Počínaje výzkumem a vědeckými experimenty, konče běžným životem většiny lidí. Jen za posledních deset let se počet uživatelů Internetu více než ztrojnásobil. Počítačové sítě propojují celý svět a jsou neustále rozšiřovány, vylepšovány a modernizovány.

Avšak se zvyšujícím počtem uživatelů roste i počet útoků na počítačové sítě. Útočníci se snaží získat citlivé informace či finančně poškodit oběť. Síťový útok je podle [27] definován jako záměrný akt, kde se entita snaží překonat bezpečnostní služby a porušit bezpečnost systému. Proto vznikají systémy na detekci síťových útoků, aby správci sítí dokázali včas a efektivně reagovat na vzniklou situaci.

Jeden z těchto systémů vznikl ve sdružení CESNET s názvem NEMEA (Network Measurements Analysis). Tento systém mj. slouží pro analýzu síťového provozu a detekci neobvyklých událostí na síti. Podezřelé toky jako agregované události může systém zaznamenávat do databáze. Takováto událost je uložena ve formátu IDEA. Tento formát je specifikován sdružením CESNET a slouží jako prostředek pro sdílení jednotlivých bezpečnostních událostí mezi různými systémy a bezpečnostními týmy. Na větší síti (stovky až tisíce připojených zařízení) je takovýchto událostí vytvořeno až několik desítek tisíc denně. S tím nastává problém jak dané události jednoduše a rychle analyzovat a rozpoznat důležité události, na které se zaměřit a na které nebrat zřetel. Pro manuální analýzu velkého množství dat je vhodná vizualizace dle správně zvolených metrik, které vyplývají z dostupných dat.

Cílem této bakalářské práce je vytvořit aplikaci pro vizuální analýzu bezpečnostních událostí na síti primárně monitorované systémem NEMEA. Nicméně díky formátu dat IDEA, se kterým bude aplikace pracovat, bude možná přenositelnost na další systémy než je systém NEMEA, např. v rámci sdružení CESNET na systém Warden nebo Mentat.

Důležitým aspektem vytvořené aplikace je důraz na použití moderních nástrojů podporující tvorbu dynamických webových aplikací. Společně s tím je kladen důraz na uživatelskou přívětivost a jednoduchost prostředí, ve kterém bude probíhat vizuální analýza událostí.

Celou aplikaci navíc bude možno přizpůsobit potřebám daného správce sítě. V aplikaci bude zavedena technika *drill-down*, která napomáhá rychlé a přehledné analýze velkého množství dat bez ztráty informací o analyzované události. Drill-down spočívá v postupném zvyšování rozlišení dat, která analyzujeme a postupujeme směrem shora dolů.

Aplikace bude integrována do systému NEMEA pod názvem NEMEA Dashboard a bude s ním společně distribuována jako uživatelské rozhraní celého systému.

Kapitola 2

Monitorování sítě

V rozlehlejších sítích, jako je např. páteřní či firemní síť, je téměř nutností monitorovat a analyzovat provoz na síti, aby správci sítí byli informováni o aktuálním stavu, vytížení a zejména negativních vlivech na monitorovanou síť. Samozřejmě i sítě menšího rozsahu by měly být monitorované. Pokud se v malé firmě podaří útočnickovi infiltrovat síť, výsledky útoku mohou být pro firmu likvidační.

Provoz je monitorován prostřednictvím záznamů o tocích, což jsou jednotlivé pakety agregované podle společných metrik a tento záznam je dále zpracováván. To šetří výpočetní výkon a nároky na datový prostor.

Systém pro odhalení průniku (angl. „Intrusion Detection System“, zkráceně IDS) [23] je takový systém, který analyzuje a identifikuje ze zachyceného provozu podezřelé události. Tyto události může IDS dále klasifikovat.

2.1 IDEA

Pro potřebu sdílení informací o síťových událostech mezi různými bezpečnostními skupinami a zařízeními (např. honeypoty, analyzéry systémových zpráv, analyzéry provozu na síti a netflow sondami) existuje několik formátů záznamu pro takovéto události. Nicméně žádný z nich není natolik univerzální, aby byl vždy a všude použitelný a pokud se k takovému formátu blíží, tak není natolik detailní, aby pokryl všechny důležité informace.

IDEA¹, neboli Intrusion Detection Extensible Alert, je formát záznamu síťové události specifikovaný sdružením CESNET. IDEA si klade za cíl specifikovat takový formát záznamu, který je univerzální, přenositelný, ale zároveň dost konkrétní a snadno pochopitelný bez potřeby rozsáhlé dokumentace k jednotlivým polím.

Vzorový záznam generovaný systémem NEMEA je vyobrazený v příloze A. Formát je specifikovaný jako JSON dokument, aby byl přehledný, čitelný v běžné podobě (na rozdíl od binárních formátů), lehce přenositelný a efektivní (např. oproti XML [22]).

2.2 NEMEA

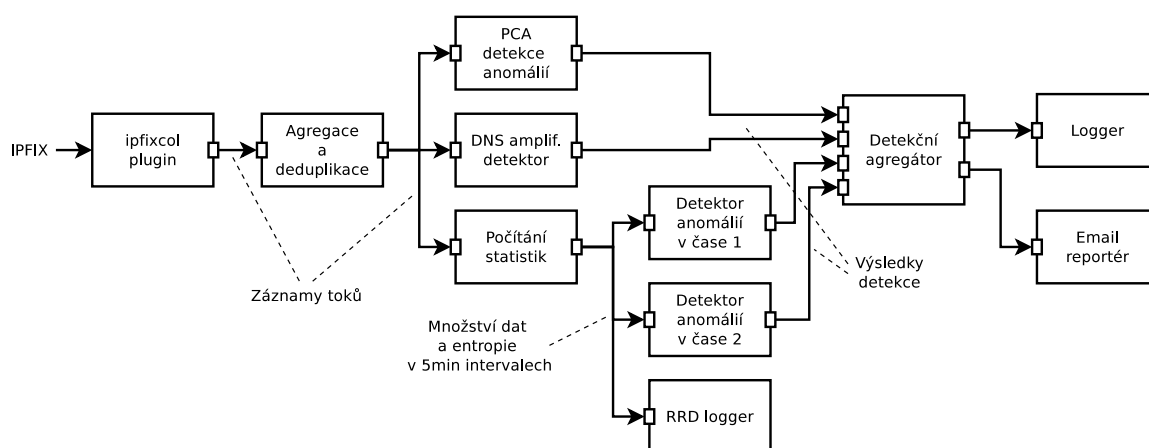
Network Measurements Analysis (zkráceně NEMEA) je systém, který umožňuje vytvořit komplexní nástroj pro automatizovanou analýzu toků získaných monitorováním sítě v reálném čase. Systém NEMEA je zejména monitorovacím nástrojem, ale slouží také jako IDS.

¹<https://idea.cesnet.cz>

Systém se skládá z oddělených stavebních bloků nazývaných moduly. Tyto jednotlivé moduly jsou následně propojeny pomocí rozhraní TRAP. Moduly jsou nezávislé pracovní jednotky, které přijímají proud dat na svých vstupech, zpracují přijatá data a následně je odesílají ze svých výstupních rozhraní jako proud dat pro další moduly.

Modul může například tvořit statistiky o přijatých datech a na základě těchto statistik detekovat určité typy síťového útoku. Detekovaný útok je popsán datovým záznamem, který je odeslán přes výstupní rozhraní dalším modulům. Ty s daným záznamem dále pracují, např. jej uloží v IDEA formátu (viz sekce 2.1) do databáze. Také lze ze získaných statistik detekovat anomálie v síťovém provozu a jednotlivé pokusy od jednoho útočníka lze agregovat a zpracovat jako jediný útok skládající se z několika desítek až stovek pokusů o útok v delším časovém intervalu, které by administrátor sítě snadno přehlédl nebo ignoroval, pokud by nebyly agregované.

Z jednotlivých modulů lze postavit i komplexní systém jak je vidět na obrázku 2.1, kde jsou data přijímána v reálném čase z IPFIX[31] kolektoru. Data jsou předzpracována, analyzována několika algoritmy a následně jsou nahlášeny detekované události. Moduly mohou být znovu použity na několika různých místech.



Obrázek 2.1: Příklad propojení modulů systému NEMEA.

2.3 Další monitorovací systémy

V současné době existují různá dostupná řešení pro detekci a vizualizaci síťových bezpečnostních událostí, nicméně valná hromada z nich je komerční a hlavně vázaná na konkrétní hardware od daného výrobce. Klient tudíž většinou nekupuje software, ale hardware s přiloženým software.

Komerčně dostupný produkt je např. Flowmon ADS [3][11] od stejnojmenné společnosti. Dalším komerčním řešením je Cisco Secure IDS [2], dříve známý jako Cisco NetRanger.

Open source projekty jako NEMEA jsou dostupné mnoho let, ale pouze několik z nich dosáhlo znatelnějšího rozšíření v komunitě síťových správců. Nejvýznamnějšími jsou systémy Snort [26], VERMONT [17] a framework Bro [24].

Jediný projekt, který obsahuje vizualizaci dat je systém Snort. Jeho rozhraní je ale velmi nepřehledné a složité na používání. Ostatní systémy uživatelské rozhraní postrádají nebo existují jako neoficiální rozšíření daných systémů.

Snort

Tento open-source projekt, od roku 2013 vlastněn firmou Cisco [4], je možno konfigurovat ve 3 hlavních režimech [5]: sniffer, paket logger a jako IDS. V režimu IDS Snort pracuje principiálně velmi podobně jako systém NEMEA. Zachytává síťový provoz, ukládá si důležité informace o něm a analyzuje jej. Ve výsledku ukládá záznamy o síťových událostech. Nicméně Snort není modulárním systémem, tudíž není tak flexibilní a není stavěný na rozsáhlé vysokorychlostní síti jako systém NEMEA.

VERMONT

VERMONT (Versatile Monitoring Toolkit) je modulární monitorovací systém obsahující IPFIX kolektor, exportér, analyzátor a další moduly a grafické prostředí pro vizuální analýzu dat. VERMONT byl vyvinut v rámci projektu HISTORY [6] a evropským projektem DIADEM firewall [21]. Svou architekturou je nejbližší systému NEMEA, protože je částečně modulární. Systém NEMEA je oproti tomu modulární od samotného jádra systému, což dovoluje vyšší flexibilitu při vývoji a menší závislost na použitých technologiích.

Bro

Dalším, v komunitě správců sítí rozšířeným řešením, je framework Bro. Tento framework, primárně určený pro síťovou analýzu, není podobný systému NEMEA, ani předchozím systémům. Je spíše nástroj pro vytváření IDS nežli ucelený systém. Bro se velmi blíží skriptovacímu jazyku (např. Perl) nebo unixovým nástrojům jako tcpdump nebo nfdump. Bro lze rozdělit na dvě vrstvy. První vrstvou je „Bro Event engine“, který analyzuje síťový provoz a generuje neutrální síťové události v podobě „byla vytvořena událost“.

Tyto neurčité události jsou následně analyzovány druhou vrstvou – „Bro Policy scripts“. V této vrstvě je implementovaný zmiňovaný skriptovací jazyk. V současné době existuje mnoho naprogramovaných skriptů, které jsou připraveny k okamžitému použití, včetně pokročilé analýzy síťového provozu.

V raných fázích vývoje se systém NEMEA velmi blížil frameworku Bro, s vývojem času se ale NEMEA stala uceleným systémem připraveným k okamžitému nasazení na měřicí body. Naopak Bro je prvně nutné složitě konfigurovat či naprogramovat chybějící skripty.

2.4 Shrnutí

V této kapitole byl prezentován systém NEMEA a jeho architektura. Byly popsány jeho nejdůležitější části, zejména jak vypadá modul a jeho komunikační protokol. Dále byl popsán formát záznamu síťové bezpečnostní události IDEA, který je opěrným bodem pro ukládání dat v systému NEMEA v rámci analýzy událostí koncovým uživatelem. V poslední sekci byl porovnán systém NEMEA s dalšími veřejně dostupnými monitorovacími systémy.

Kapitola 3

Technologie

Vizualizace síťových bezpečnostních událostí může být vytvořena několika postupy. Pokud máme IDS, který je dostupný pouze z jednoho stroje, nejčastěji zvolíme tvorbu desktopové aplikace, protože máme jistotu provozního prostředí jako je např. operační systém, dostupné balíčky a jejich verze.

V případě vzdálené správy IDS (častější případ) jsme většinou odkázáni na vzdálený přístup pomocí příkazové řádky. Tento přístup je bohužel velmi limitovaný z pohledu vizualizace. V současné době je pro vzdálenou správu nejvhodnější vytvořit webovou aplikaci, která je dostupná z Internetu a použitelná na většině dnes používaných zařízeních¹.

Pro tvorbu moderní webové aplikace je na Internetu dostupná celá řada knihoven, frameworků a systémů. Nicméně základní otázkou zůstává co taková moderní webová aplikace je?

Ustáleným pojmem pro moderní webovou aplikaci je anglický výraz single page application [19] (zkratka SPA). Specifikem SPA je její vysoká interaktivita s uživatelem a vysoká dostupnost služby, kterou poskytuje. Je rozdělena na dva logické celky – uživatelskou a serverovou část (často chybně nazývané frontend a backend aplikace). Více o architektuře aplikace bude uvedeno v kapitole 4.

Většinu z těchto kvalit získává SPA díky způsobu jakým je doručována uživateli. SPA je při prvním načtení stránky v prohlížeči celá uložena v rámci vyrovnávací paměti prohlížeče a během celé doby používání SPA není nutné stránku znova načítat. SPA můžeme chápat jako univerzálního klienta pro obsluhu dané aplikace.

SPA je nejčastěji tvořena pomocí jazyka JavaScript. Ten umožňuje dynamickou změnu stránky bez nutnosti ji znova načítat a tím pádem uživatel nepřichází o dočasná data na stránce. Tento přístup navíc redukuje počet dotazů na server a snižuje tak jeho zátěž.

S přesunem logiky na uživatelskou část SPA jsou ale spojeny nemalé problémy. Zejména pak různorodá interpretace kódu. To se v posledních letech téměř eliminovalo díky moderním prohlížečům a jejich jádrům jako je např. WebKit pro Google Chrome² nebo Gecko pro Firefox³.

¹Jedná se zejména o stolní počítače, notebooky, tablety a chytré mobilní telefony.

²<https://www.google.com/chrome/>

³<https://www.mozilla.org/firefox>

3.1 Uživatelská část

K vytvoření SPA a zejména uživatelské části existuje několik významných systémů. V této části tyto technologie budou představeny a porovnány mezi sebou. Nejdůležitější částí je JavaScript framework, se kterým bude interagovat uživatel. Další nedílnou součástí je knihovna pro HTML/CSS definující vzhled aplikace.

3.1.1 JavaScript frameworky

V rámci této práce bylo vybráno pět JavaScript frameworků, které napomáhají k tvorbě SPA. Kritéria užšího výběru frameworků byla zejména následující:

- open-source projekt s licencí pro volné použití,
- jednoduché použití,
- nenáročný na výpočetní výkon hostitelského stroje,
- široká podpora mezi prohlížeči,
- projekt má historii a je vyvíjen některou ze známých společností (udržitelnost vývoje).

React [13]

Knihovna React je vyvíjena pod hlavičkou společnosti Facebook⁴. Původním cílem návrhářů Reactu bylo vyřešit problémy během vývoje komplexních uživatelských rozhraní s rychle se měnícími daty. Dalším cílem bylo vytvořit platformu, kterou lze distribuovat v takovém měřítku jako je sociální síť Facebook.

React je knihovna pro uživatelskou část SPA používající tradiční MVC architekturu [16]. Taková architektura je nejvíce znatelná v případě použití obousměrného vázání dat (angl. two-way data binding), více o architektuře MVC v sekci 4.2.

React se zaměřuje zejména na tvorbu uživatelského rozhraní⁵ a kvůli tomu se ostatním částem architektury nevěnuje tak detailně, jak by většinu času vývojář potřeboval. Velmi častým řešením je použít React na pohledovou část a na model a kontrolér použít jiný framework, např. AngularJS.

React pracuje s moderními přístupy k vývoji SPA a boří tak mnoho zažitých technik jak takovou SPA vyvíjet. Místo běžné manipulace s DOM elementy si React, případně vývojář, definuje vlastní DOM⁶ elementy. Těmto elementům dynamicky mění jejich obsah, manipuluje s nimi a to vše bez větších výkonových ztrát. Toho bylo docíleno zejména použitím shadow DOM [32], který je ale novinkou na poli prohlížečů a je podporován pouze jádrem WebKit⁷.

Ember.js

Ember.js je primárně zaměřen na tvorbu SPA. Toho dosahuje obsáhlou funkcionalitou bez nutnosti instalace dalších doplňků a osvědčil se i vysokou stabilitou během celé doby vývoje.

⁴<https://facebook.com>

⁵Z pohledu MVC architektury na pohledovou část (angl. view).

⁶Angl. Document Object Model je konvence pro objektovou reprezentaci a interakci s objekty v HTML dokumentu.

⁷Využívá jej např. prohlížeč Google Chrome nebo Safari.

Ember je také vždy jedním z prvních frameworků, který implementuje novinky obsažené v nových jádrech webových prohlížečů jako jsou např. JavaScript Promises [12], Web Components [34] nebo ES6 syntaxe.

Ember se skládá celkem z pěti klíčových konceptů:

- **Cesty** (angl. routes) – každý stav aplikace je reprezentován unikátní cestou a této cestě náleží i odpovídající objekt, který manipuluje s danou cestou.
- **Modely** (angl. models) – každá cesta má svůj korespondující model, který obsahuje data asociována s danou cestou a stavem aplikace. Model slouží zejména k manipulaci s daty.
- **Šablony** (angl. templates) – šablony jsou tvořeny v HTML s použitím šablonovacího jazyka HTMLBars [7]. Do této šablony jsou při vykreslování stránky dynamicky navázány proměnné v JavaScript kódu Ember.js.
- **Komponenty** (angl. components) – komponenta je vlastní HTML značka definovaná programátorem aplikace. Její chování je implementováno pomocí JavaScriptu a její vzhled pomocí HTMLBars šablon. Komponenta se chová jako běžný DOM element.
- **Služby** (angl. services) – servis je singleton⁸ objekt, který v sobě udržuje dlouhodobá data během používání aplikace klientem.

AngularJS

AngularJS je jedním z nejdéle existujících frameworků pro tvorbu SPA. Je vyvíjen společností Google a poskytuje ucelené prostředí k vývoji komplexních SPA. AngularJS poskytuje dvě metodiky návrhu architektury aplikace. MVC a MVVM (model-view-viewmodel) [28].

MVVM je rozdílný zejména ve způsobu nakládání s daty v aplikaci. Viewmodel pouze reflektuje změny modelu v pohledu a naopak. Ten lze chápat také jako interpret dat získaných z modelu, které jsou požadovány v pohledu.

Vzhledem k rozsáhlosti knihovny se nelze vyhnout tvorbě aplikace, která prolíná oba typy architektury. AngularJS je ale založen zejména na základech MVC architektury. AngularJS staví na třech základních pravidlech:

- oddělit manipulaci DOM a aplikační logiku,
- diferenciovat klientskou a serverovou stranu aplikace,
- poskytnout strukturu pro vývoj SPA.

Manipulace s DOM je zajišťována v pohledové části architektury. Aplikační logika je oddělena, což umožňuje simultánní tvorbu na více částech aplikace. To dovoluje strukturovat kód do uzavřených logických celků, které mohou být znovu použity v dalších částech aplikace.

Rozdělením klientské a serverové strany aplikace získává AngularJS celkovou kontrolu nad klientskou stranou a dokáže tak abstrahovat jednotlivé vrstvy aplikace. To integruje MVC architekturu do klientské části. Toto rozdělení dovoluje AngularJS implementovat takové možnosti jako je např. vkládání závislostí (pozdní instanciací daných závislostí) nebo pohledově závislé kontroléry (daný kód je spouštěn pouze při daném pohledu).

⁸Během doby běhu aplikace lze vytvořit pouze jednu instanci třídy.

To vše spěje ke snížení zátěže serveru, na kterém je SPA uložena. Většina, ne-li všechna aplikační logika totiž probíhá na klientské straně a server pro svou práci vůbec nepotřebuje. Ten je potřeba až v momentě, kdy chceme získat nebo uložit data pro dlouhodobé užití.

Backbone.js

Framework Backbone.js se mírně odlišuje od předešlých a to svou architekturou, která není MVC, ale MVP (model-view-presenter). Prezentér je v tomto případě prostředníkem, který plní logickou funkci a spojuje pohled s modelem. Veškeré akce, které se provedou v pohledu (např. kliknutí na tlačítko) jsou delegovány prezentéru. Ten je navíc oddělen od pohledu a komunikuje s ním pouze přes definované rozhraní.

Tento přístup je vhodný zejména pro testování a jasné oddělení jednotlivých částí (zvláště modelu od pohledu). Avšak MVP je náročnější na tvorbu kvůli tomu, že všechny datové vazby musí vytvořit sám programátor.

Výhodou Backbone.js je jeho velikost (celková velikost distribuce je méně než 8 kB) a nezávislost na dalších knihovnách (vyžaduje pouze jednu další knihovnu⁹).

Z předcházejících faktů lze vyvodit, že Backbone.js je vhodný zejména pro SPA menšího rozsahu, které jsou zaměřeny na velmi konkrétní úkol. To může v pozdějších fázích vývoje SPA znamenat problémy a kompromisy při vývoji další funkcionality aplikace.

Shrnutí

Pro rychlý a stručný přehled byla vypracována tabulka shrnující klíčové vlastnosti každého porovnávaného frameworku.

Název	Verze ¹⁰	Aktivní vývoj	Velikost ¹¹	Licence
React	15.0.1	3 roky (2013)	142 kB	BSD
Ember.js	2.5.0	4 roky (2011)	450 kB	MIT
Backbone.js	1.3.3	5 let (2010)	7.5 kB	MIT
AngularJS	1.5.3	5 let (2010)	152 kB	MIT

Tabulka 3.1: Porovnání klíčových vlastností JavaScript frameworků

3.1.2 HTML/CSS frameworky

Důležitým aspektem SPA je také její vzhled, nebo spíše UX (user-experience) [8]. UX je zejména vnímání a reakce osoby, které plyne z používání nebo předpokládaného užití/chování výrobku, systému nebo služby. Důraz se musí klást zejména na předpokládané chování systému. Tím pádem může uživatel procházet plynule aplikací, aniž by musel odhadovat chování té části aplikace, ve které se právě nachází. Toho lze dosáhnout zejména uceleností vzhledu a chování jednotlivých komponent SPA. Pro tento účel existují tzv. HTML/CSS knihovny. Na Internetu je jich velké množství a v rámci této práce byl výběr zúžen na tři běžně používané knihovny mající širokou škálu komponent, které lze v SPA využít a jejich zdrojové kódy jsou volně dostupné.

⁹Underscore.js, pokud chce programátor využít i složité funkce, musí navíc doplnit knihovnu jQuery.

¹⁰Aktuální verze v době psaní této práce.

¹¹Velikost komprimovaného produkčního kódu.

Zdrojové kódy jazyka CSS by měly být vytvořeny v jednom z CSS preprocesorů [18] – LESS¹² nebo SASS¹³, aby v aplikaci byla zaručena konzistence proměnných (např. barvy, velikost, odsazení) a byl tak usnadněn další vývoj.

Bootstrap

Bootstrap je populární knihovnou pro tvorbu vzhledu SPA. Obsahuje HTML a CSS komponenty pro ucelenou typografii, formuláře, tlačítka, navigaci a další. Bootstrap také nabízí komponenty, které jsou částečně nebo zcela napsány v JavaScriptu.

Bootstrap je udržován zejména společností Twitter, kde také vznikl na popud tvorby interních firemních aplikací s uceleným vzhledem a také UX, aby se ušetřily náklady na údržbu takovýchto aplikací.

Díky Bootstrapu se velmi rychle ujal trend responzivního designu a mobile-first přístupu. Navíc disponuje velkou komunitou vývojářů a časté problémy jsou tak mnohokrát vyřešeny.

Foundation

Foundation je podobný framework jako Bootstrap. Také nabízí HTML a CSS komponenty pro různé části SPA včetně JavaScript komponent, je neméně kvalitní (z hlediska vývojáře) a udržovaný.

Hlavním rozdílem oproti Bootstrapu je jeho upravitelnost. Foundation dává větší prostor pro úpravu jednotlivých komponent. Navíc disponuje styly, které jsou automaticky aplikované na dané HTML elementy – vývojář nepotřebuje přidávat množství tříd ke každému elementu. To však nemusí každému vyhovovat a mohou nastat neobvyklé konflikty aplikovaných stylů během vývoje.

Angular Material

Angular Material není běžnou CSS knihovnou, nýbrž je velmi úzce spjat s AngularJS a využívá jeho mnoha možností jako jsou např. vlastní HTML elementy (direktivy).

Také obsahuje mnoho HTML a CSS komponent, ale ty jsou vždy velmi úzce spjaty s AngularJS funkcionalitou jako je např. two-way data binding a již zmíněné direktivy.

Společnost Google vytvořila vlastní vizuální jazyk pro všechny své produkty nazvaný Material Design¹⁴. Ten je založený na tzv. „kartách“, které lze skládat na sebe, řadit, organizovat a upravovat. Jak již název napovídá, je tento vizuální jazyk použit pro všechny dostupné komponenty.

Z technického hlediska je Angular Material nejpokročilejší knihovnou. Pro mřížkový systém (angl. grid system) používá flexbox [33], který je dostupný pouze v nejnovější specifikaci CSS 3 a moderních webových prohlížečích. To může působit mírné problémy, pokud je SPA cílena na široké publikum s různými verzemi prohlížečů.

3.2 Serverová část

V rámci serverové části je kladen důraz zejména na poměr výkonnost/spotřeba zdrojů, stabilitu a efektivitu programu. Tyto faktory jsou ovlivněny zejména použitým programovacím jazykem, knihovnami a návrhem architektury programu.

¹²<http://lesscss.org>

¹³<http://sass-lang.com>

¹⁴<https://www.google.com/design/spec/material-design/introduction.html>

Požadavkem pro server v této práci je, aby byl typu Unix/Linux. To nám zaručuje určité faktory a vlastnosti provozního prostředí jako např. dostupné jazyky a jejich knihovny, podpůrné programy a další.

Z aplikace NEMEA Dashboard bude na serveru spuštěno REST API¹⁵ [10] (viz kapitola 4). API se připojuje na NoSQL databázový systém MongoDB. Ten je využíván systémem NEMEA pro ukládání detekovaných událostí. MongoDB bylo zvoleno kvůli rychlosti, jednoduchosti použití a pro záznamy ve formátu IDEA bylo potřeba NoSQL databázový systém, který dokáže pracovat s daty stejně nebo podobně jako se pracuje s formátem JSON.

3.2.1 REST API

REST, neboli Representational State Transfer, je architektura rozhraní pro distribuci dat. Tato architektura dovoluje přistupovat ke všem zdrojům jednotným rozhraním, které definuje čtyři základní operace nad každým z nich:

Create – vytvoření a uložení nového datového objektu.

Read – čtení datového objektu.

Update – permanentní aktualizace datového objektu.

Delete – odstranění datového objektu z permanentního datového prostoru.

Toto rozhraní (zkráceně CRUD) zpřístupňuje databázi událostí vytvořenou NEMEA systémem a udržovanou v MongoDB. Navíc tato data agreguje, předzpracovává či jinak upravuje (funkcionalita REST API je popsána v sekci 4.3).

Pro vytvoření API s REST architekturou rozhraní existují knihovny, které vývoj ulehčují a zrychlují. Ve většině případů ale platí, že takovéto knihovny jsou náročné na zdroje a jsou tím pádem pomalejší. Pro NEMEA Dashboard je potřeba takový jazyk, který je úzce integrovaný se systémem a dokáže využívat systémové nástroje¹⁶.

Do výběru byly zahrnuty interpretované i kompilované jazyky, aby byl demonstrován rozdíl ve výkonnosti, jednoduchosti použití, množství potřebných závislostí a dalších faktorů. Jmenovitě byly zahrnuty jazyky Python, C++ a JavaScript. Pro každý vybraný jazyk existuje několik knihoven pro podporu tvorby REST API, proto pro přehlednění byly vybrány vhodné knihovny.

Jeden z nejpoužívanějších jazyků pro tvorbu webových stránek – PHP – nebyl zahrnut z důvodu vysoké režie interpretu při běhu aplikace a mnoha závislostí (zejména Apache webový server), které jsou potřeba pro tvorbu webové stránky v PHP. Navíc jazyk PHP přímo nepodporuje tvorbu REST architektury, vše je řešeno přes Apache server pomocí konfigurace.

Flask (Python)

Flask je tzv. mikroframework, čímž vývojáře nenutí využívat konkrétní knihovny nebo nástroje, nedisponuje žádnou abstraktní databázovou vrstvou, verifikací vstupů nebo kteroukoliv jinou komponentou běžně dostupnou ve frameworku podobného typu.

¹⁵Rozhraní pro programování aplikací, angl. application programming interface.

¹⁶Využití systémových nástrojů není součástí této práce, ale byla jednou z podmínek návrhu REST API pro NEMEA Dashboard.

Nicméně Flask podporuje rozšíření, kterými lze přidat funkcionalitu přesně dle potřeb programátora. Tím se stává Flask velmi silným nástrojem při vývoji SPA.

Veškeré zde zmíněné skutečnosti dělají z Flask ideální nástroj pro návrh jak rozsáhlého, tak minimálního REST API, které lze libovolně škálovat dle potřeb projektu.

S ohledem na MongoDB existuje konektor PyMongo vytvořený autory MongoDB. Ten se použitím velmi podobá příkazové řádce přímo v MongoDB.

NodeJS (JavaScript)

JavaScript je původně určen do prostředí webových prohlížečů a jejich jader. Společnost Google ale vytvořila V8 [14] JavaScript jádro, na kterém je postaven i nástroj NodeJS. V8 umožňuje spouštět kód napsaný v JavaScript na straně serveru.

Architektura NodeJS je založena na principu asynchronních událostí dovolující vytvářet vysoce škálovatelné síťové aplikace, jako je např. webový server s vysokou dostupností.

NodeJS není až tak knihovnou nebo nástrojem pro vývoj webových serverů, jako spíše sbírkou modulů, které obsluhují jednotlivé části funkcionality jádra [29]. Tyto moduly využívají API zjednodušující komunikaci mezi moduly.

Mongoose (C/C++)

Posledním kandidátem je framework napsaný v jazyku C. Největší výhodou tohoto řešení je jeho rychlost, která je násobně vyšší než u interpretovaných jazyků¹⁷. Mongoose je minimalistický framework vytvořený pro vývoj webových serverů více typů.

Jelikož jazyk C není až tak pohodlný a rychlý pro vývoj abstraktních architektur rozhraní jakou je REST, zejména kvůli práci s textovými řetězci a manipulací s JSON objekty, rozhodl jsem se napsat obálku frameworku Mongoose do jazyka C++¹⁸. Ten je vhodnější pro práci s textovými řetězci a existuje efektivní knihovna pro práci s JSON objekty RapidJSON [30].

Za použití vytvořené obálky, která je navržena specificky pro návrh REST API, lze velmi rychle vytvořit požadovanou funkcionalitu. Obálka totiž doplňuje možnosti Mongoose, který např. nedisponuje dynamickými URL¹⁹ nebo zpracováním URL parametrů do vhodné struktury.

Největším problémem je absence oficiálního konektoru pro MongoDB, ten je nezbytnou podmínkou pro toto REST API. Existují různá řešení nebo knihovny. Ty jsou ale buď neudržované nebo náročné na použití.

3.3 Vybrané technologie

V předcházející kapitole byl uveden užší výběr technologií, které jsou vhodné pro tvorbu SPA jak z uživatelské, tak serverové části. Každá z nich je něčím specifická a vyčnívá oproti jiným kandidátům.

3.3.1 Uživatelská část

Prvními aspekty při výběru knihovny pro vývoj SPA v uživatelské části byla zejména velikost knihovny, množství dostupných modulů, licence, udržitelnost a v neposlední řadě

¹⁷Z měření (viz 3.3.2) až 40 krát rychlejší než Python.

¹⁸Tato obálka byla vytvořena mimo rozsah této práce pro jiný projekt.

¹⁹z angl. uniform resource locator

dostupné funkce. Pro rychlý přehled byla vytvořena tabulka 3.1, která některé z těchto faktorů porovnává.

Licence BSD a MIT jsou velmi podobné z pohledu vývojáře a jejich možnostmi použití v rámci vývoje otevřeného projektu jakým je NEMEA.

Z hlediska velikosti jasně vyčnívá EmberJS, který je několikanásobně menší než ostatní frameworky, avšak z ostatních faktorů pozbývá funkcionalitu, kterou např. dokáže nabídnout AngularJS.

Všechny frameworky jsou v současné době aktivně vyvíjeny a pravidelně aktualizovány. Navíc kolem každého frameworku, je vytvořena aktivní komunita vývojářů, kteří přispívají do daného frameworku.

Pokud se zaměříme na možnosti frameworku, jasně vybočuje AngularJS, který implementuje kompletní MVC/MVVM architekturu. Tím pádem není nutná jakákoliv další knihovna nebo vlastnoruční implementace některých komponent, které budou při vývoji NEMEA Dashboard potřeba.

Poslední faktor – možnosti frameworku – je dle mého názoru nejdůležitějším měřítkem při výběru. Ten totiž vyváží i větší velikost frameworku a jeho náročnost na prohlížeč²⁰, ta se navíc s každou novou verzí většinou snižuje díky optimalizacím v kódu.

Tím pádem je jasným vítězem framework AngularJS, který disponuje širokou funkcionalitou. Je navržený přímo pro vývoj komplexních SPA a má mnoho dostupných rozšíření.

Volba AngularJS značně ovlivnila výběr CSS knihovny, protože Angular Material je přímým rozšířením frameworku AngularJS a do útrob Angular Material je hluboce integrovaný. Navíc používá nejmodernější technologie, které usnadňují vývoj.

3.3.2 Serverová část

Při výběru technologie pro serverovou část byl kladen důraz zejména na rychlost výsledného REST API a jeho udržitelnost z vývojářského hlediska (modulárnost, OOP²¹). Proto jsem vytvořil velmi jednoduché REST API v každém z kandidátů a změřil jejich výkonnost.

V každém z frameworků jsem vytvořil jednoduché statické API (s fixní URL), která vrátilo textový řetězec „Hello World“. Pro měření jsem využil virtuální server s následujícími parametry:

- CPU – Intel(R) Xeon(R) CPU W3520 @ 2.67GHz (2 jádra),
- RAM 1GB DDR3 ECC,
- rychlost připojení do Internetu – 500 Mbps.

Server nebyl v době testů nijak vytížen a běžely na něm pouze základní služby. Pro vytvoření dostatečného množství dotazů na server jsem použil nástroj wrk²². Ten byl spouštěn s následujícími parametry:

- -d 20s – délka trvání testu,
- -t 10 – počet vláken,
- -c 200 – počet otevřených připojení,

²⁰Dnes jsou zařízení natolik výkonná, že uživatel nemůže poznat tento rozdíl.

²¹Objektově orientované programování.

²²<https://github.com/wg/wrk>

- URL.

Testy byly spouštěny celkem třikrát pro každý framework, aby se zmírnil dopad chyby měření a každé měření probíhalo nezávisle na předcházejícím. Stejný server se nikdy netestoval dvakrát za sebou. V tabulce 3.2 jsou zaznamenány naměřené výsledky.

Název	Celkem požadavků	Požadavků/s	Latence	Vytížení CPU
Flask	3 373	167.9	25.82 ms	25%
NodeJS	117 579	5871.6	33.60 ms	130%
Mongoose	136 001	6787.5	29.80 ms	100%

Tabulka 3.2: Naměřené vlastnosti serverových frameworků pomocí nástroje wrk

C++ obálka frameworku Mongoose a NodeJS jsou několikanásobně rychlejší než framework Flask. V případě C++ obálky je tomu díky použitému jazyku. NodeJS je koncipovaný pro vícevláknovou síťovou komunikaci. Ten jediný v základu podporuje takové zpracování požadavků.

Ačkoliv se může zdát, že NodeJS je jasnou volbou z naměřených výsledků²³, není tomu tak. NodeJS totiž během testu spotřeboval téměř všechny zdroje daného stroje (zejména CPU). Díky tomu je natolik výkonný. Tohoto výkonu lze dosáhnout i u frameworku Flask, ale ten by musel být doplněn dalšími nástroji pro efektivní vícevláknové zpracování požadavků.

Pokud bychom pracovali v izolovaném prostředí, je nejvhodnější NodeJS. Pokud ale budeme vycházet z architektury aplikace, zjistíme, že REST API nesmí být upřednostňováno před databází. V ní totiž probíhají mnohem náročnější operace, které vytvářejí prodlevu v odpovědi v rámci sekund a ne jednotek milisekund jako v případě serveru.

Flask je v poměru rychlost/spotřebované zdroje nejvhodnějším kandidátem, protože největší podíl na latenci má databáze. Navíc díky implementaci v Pythonu je velmi jednoduchý na použití, s udržitelným kódem a pohodlnou prací s JSON objekty. Pokud bychom se zaměřili na rychlost, lze dosáhnout dobrých výsledků zapojením CPython. Navíc Python nedovolí spotřebovat veškeré zdroje stroje, což se stalo při testu Mongoose a zejména pak NodeJS serveru.

3.4 Shrnutí

Vybrané technologie jsou vyváženou kombinací široké funkcionality, rychlosti vývoje a udržitelnosti kódu. To platí jak pro uživatelskou, tak serverovou část aplikace.

Pro uživatelskou část jsem vybral JavaScript framework AngularJS společně s CSS frameworkem Angular Material, ty se navzájem doplňují funkcionalitou a jsou úzce provázány.

Serverová část bude realizována v jazyku Python pomocí mikroframeworku Flask. Ten disponuje všemi potřebnými funkcionalitami pro tvorbu REST API a MongoDB disponuje konektorem PyMongo pro jazyk Python, který je snadný na použití a má široký repertoár funkcí a nastavení.

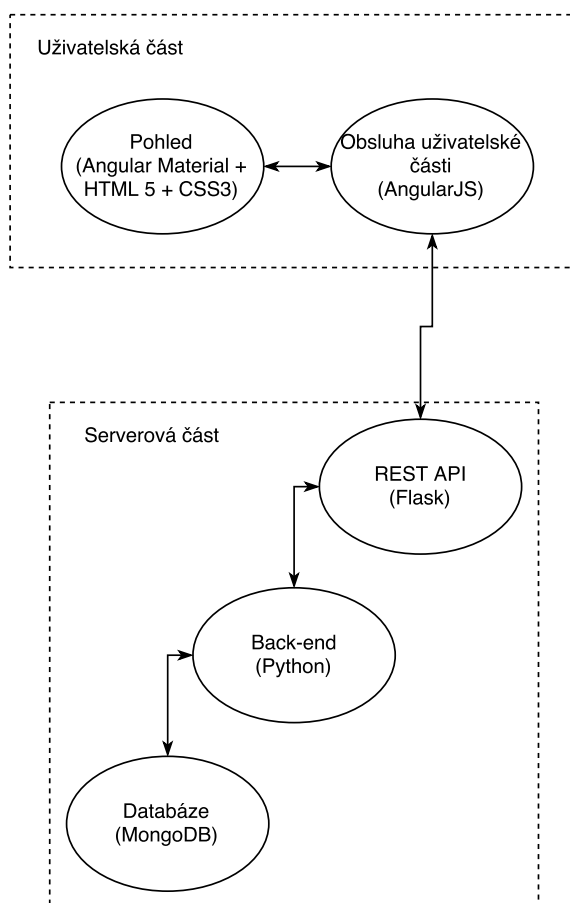
²³Mongoose není uvažovaný kvůli absenci kvalitního MongoDB konektoru.

Kapitola 4

Architektura aplikace

Před samotnou implementací aplikace je potřeba navrhnout její architekturu. Ačkoliv se SPA může jevit jako jednoduchá a přímočará struktura, opak bývá většinou pravdou. Bez nutnosti načítání stránky uživatel nevnímá změnu mezi jednotlivými pohledy v aplikaci. Ta se ale v pozadí asynchronně dotazuje na server a procházení stránky je tak velmi plynulé.

Celá SPA byla již při výběru technologií rozdělena na dva logické celky. Uživatelskou a serverovou část. Schéma 4.1 znázorňuje architekturu SPA a kde jsou jaké technologie použité.



Obrázek 4.1: Rozvržení SPA na dva logické celky a jaké technologie tyto celky používají.

Díky použitým technologiím lze část rozdělit aplikačně i fyzicky na dva stroje. Serverová část je spuštěna na jednom počítači – serveru, jenž je určen pouze pro databázi a REST API. Server tedy zajišťuje funkčnost REST API a při iniciální návštěvě klienta také poskytuje kód uživatelské části, který je spuštěn u klienta.

Tím se distribuuje uživatelská část aplikace na samotná zařízení, která aplikaci zobrazují. Následkem je snížení nároků na serverovou část obstarávající pouze datovou a autentizační část SPA (vše uvnitř REST API).

Největší využití bude mít v aplikaci dashboard¹ (odtud i název aplikace), který bude obsahovat konfigurovatelné položky, aby si uživatel mohl dashboard připravit přesně pro své potřeby. Dashboard je také vstupním bodem pro drill-down analýzu.

4.1 Případy užití

Před samotným návrhem architektury byly určeny čtyři případy užití, ze kterých vychází návrh pro NEMEA Dashboard. Tyto navržené případy zohledňují širokou škálu úkonů, které při běžném používání IDS mohou nastat.

Jako cílová skupina uživatelů jsou uvažováni správci větších sítí. Ti musí být informováni o stavu spravované sítě. Většinou jsou takovéto sítě stavěny velmi robustně a jsou dostatečně naddimenzovány. Neobvyklé události na síti je ale nutné monitorovat a předcházet jim.

Běžný přehled o síti a analýza provozu z několika posledních dní

Správce sítě musí mít přehled o síti, kterou spravuje. Chce být informován o celkovém počtu útoků, které detekoval systém NEMEA a ty následně uložil jako události. Správce nechce pročitat emailové reporty nebo ručně procházet jednotlivé události. Proto chce využít NEMEA Dashboard pro zobrazení významných událostí a agregovaného pohledu na ně.

Detekce útoku většího rozsahu na síť

Při běžné analýze sítě pomocí NEMEA Dashboard musí být útok okamžitě vidět ve zobrazených datech. Většinou se takovýto útok nahlásí jako velké množství menších útoků. V tu chvíli je pro správce velmi těžké takový útok odhalit, pokud data nebudou vizualizována a agregována.

Analýza nezvyklé události

Uživatelé zaujala velmi nezvyklá událost a chce o ní zjistit více. Postupně se dostává k detailnějším informacím pomocí drill-down analýzy. Na konci analýzy vidí podrobné detaily o události (jako jsou např. IP adresa zdroje a cíle, typ události, jaký modul ji reportoval, atp.) a může tak podniknout další kroky jako např. změnit konfiguraci firewallu, aby blokoval útočníka, informovat oběť emailem, případně podniknout další opatření.

Kontinuální přehled o síti

Uživatel během své běžné pracovní činnosti Dashboard sleduje pasivně, tzn. dashboard se autonomně aktualizuje a uživatel vidí aktuální dění na síti. Velmi jednoduchou a rychlou vizuální analýzou (běžným pohledem) identifikuje událost, která se právě vyskytla na síti s krátkou časovou prodlevou (v rámci jednotek minut).

¹Český ekvivalent toho slova – informační nástěnka – není běžně používaný a proto v rámci této práce bude používán anglický název dashboard.

Tyto případy užití lze rozdělit do dvou typů dat. Vizualizovaná data pomocí grafů a textové informace o uložených událostech v daný časový interval. Z toho lze vyvodit několik základních typů zobrazovaného obsahu pro dashboard:

- graf podílů (koláčový graf) – ukazuje podíly událostí dle kategorie v definovaném časovém okně,
- graf v čase (sloupcový graf) – zobrazuje množství událostí rozdělené v intervalech v definovaném časovém okně dle kategorií,
- informace o nejvýznamnějších (tzv. top-N) událostech (text) – největší události dle statického pole v databázi v určitém časovém okně.
- informace o celkovém počtu (text) – celkový počet detekovaných událostí v určitém časovém okně,

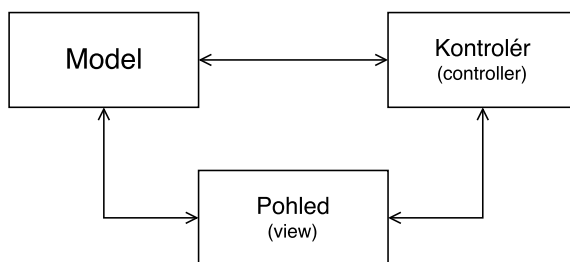
Ze tří prvních uvedených zobrazovaných prvků bude možná drill-down analýza. V případě grafů bude možnost prokliku na výpis událostí, které jsou filtrované dle odpovídajících atributů (např. kategorie a čas). U boxu s nejvýznamnějšími událostmi bude odkaz přímo na detail dané události.

Další částí NEMEA Dashboard bude přehled všech událostí nazvaný „Events“. Zde bude možnost vyhledávat a třídit všechny události, které se v databázi nacházejí. Všechny vyhledané a vyfiltrované události budou přehledně zobrazeny v tabulce, která bude obsahovat základní informace o události. U každé události bude možnost prokliku k detailním informacím, které jsou o události uloženy v databázi.

Poslední částí aplikace budou nastavení. Ta v rámci této práce budou pouze pro uživatele a jejich správu (přidání, editace a smazání uživatele).

4.2 Uživatelská část

Architektura uživatelské části je definována knihovnou AngularJS, která využívá MVC architekturu. Ta spočívá v rozdělení aplikace na tři logické celky, které navzájem spolu komunikují a předávají si data.



Obrázek 4.2: MVC architektura

Model obstarává logiku nakládání s daty a zajišťuje integritu aplikačních dat, které se v SPA nacházejí. Model také získává a odesílá data na server dle pokynů kontroléru. Tím se udržuje uniformní rozhraní pro obousměrnou komunikaci mezi klientem a serverem.

Pohled (angl. view) zobrazuje data, která jsou mu dodána od kontroléru. Pohled a kontrolér musí být velmi úzce propojeny, aby obě strany měly co nejaktuálnější data. To je zaručeno pomocí obousměrného vázání dat (angl. two-way data binding). Na základě požadované cesty směrovač² uvnitř AngularJS rozhodne jaký pohled má být vykreslen a předá jej jádru prohlížeče pro vykreslení.

Pohled lze rozdělit na dvě části. První z nich je šablona, která je vytvořena v HTML. Ta může obsahovat speciální značky i vlastní definované DOM elementy. Tato šablona je následně při zobrazování „kompilována“ a zobrazena uživateli. Tímto se zachová obousměrné vázání dat.

Kontrolér (angl. controller) je prostředníkem mezi modelem a pohledem. Zabezpečuje aktualizaci dat na obou stranách. Avšak v rámci AngularJS lze kontrolér obejít a data z modelu může získat přímo pohled. Tím je přetvářena architektura SPA na hybridní mezi MVC a MVVM.

Jednotlivé kontroléry mohou být do sebe vnořené a navzájem spolu komunikovat pomocí událostí.

Na schématu 4.3 je znázorněno jak aplikace bude pracovat s daty získanými z REST API. Veškerá data, která lze z REST API získat, jsou JSON objekty. To velmi usnadní práci s nimi a nebude nutná téměř žádná manipulace či konverze, protože formát JSON je nativní struktura pro JavaScript.

Při požadavku na konkrétní cestu AngularJS zvolí šablonu a spustí odpovídající kontrolér, který je k dané cestě definován. Kód uvnitř kontroléru se naváže na značky specifické pro AngularJS a postupně celou šablonu „zkompiluje“³. Tím vznikne obousměrné vázání dat mezi pohledem a kontrolérem.

V kontroléru jsou pomocí vkládání závislostí (angl. dependency injection) registrovány modely, které kontrolér může využít. Modely jsou instanciovány jako tzv. singletony v rámci celé aplikace. To snižuje nároky na výpočetní výkon jádra prohlížeče.

Modely mohou využívat jiných modelů. Takovýmto zapouzdřováním funkcionality lze dosáhnout vysoké abstrakce. V NEMEA Dashboard je tato abstrakce navržena pro dotazy do REST API. V AngularJS je pro tvorbu HTTP požadavků vytvořen unifikovaný model, ten by bylo ale nutné při každém požadavku složitě konfigurovat. Proto bude vytvořen vlastní model, který bude autonomně konfigurovat adresu, parametry, HTTP hlavičky a ošetří návratové hodnoty.

4.3 REST API

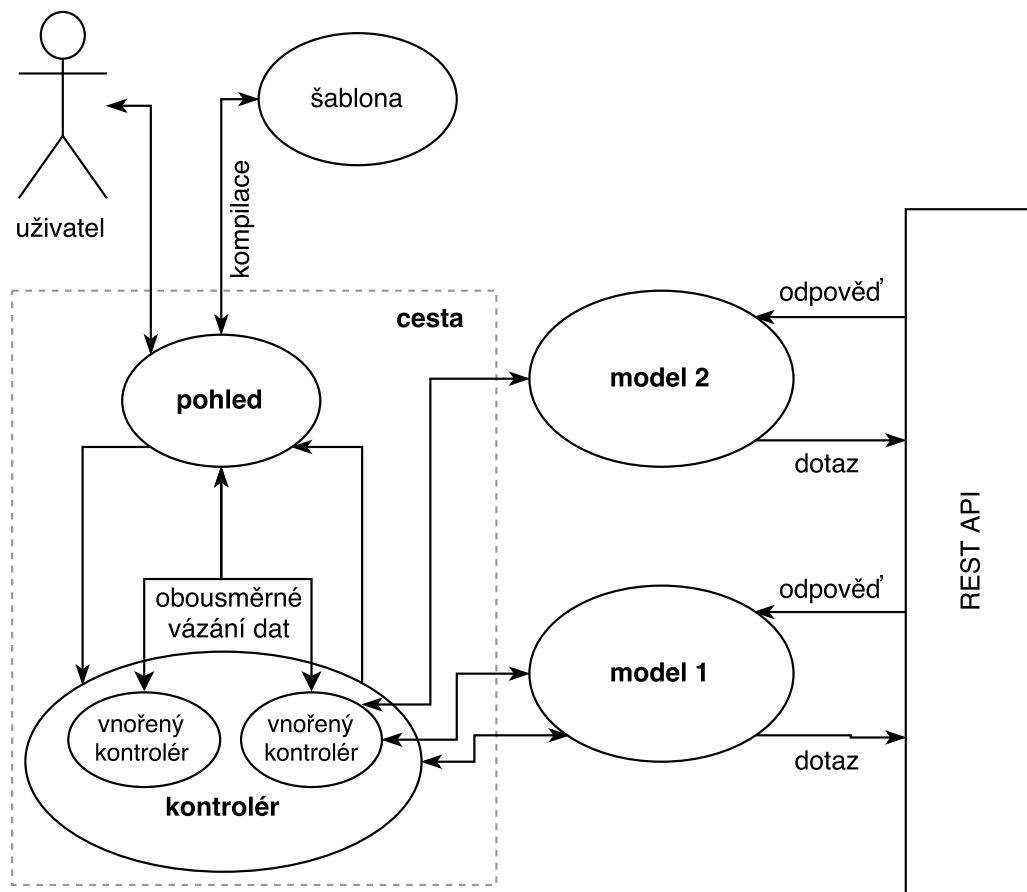
Representational state transfer, zkráceně REST, byl definován v roce 2000 v dizertaci Roye Thomase Fieldinga [10]. Ten jej definuje jako architektonický styl pro návrh distribuovaného mediálního obsahu. REST je postaven na několika základních ideách, které platí i dnes.

Klient-server

Tento návrh architektury je základním stylem pro síťové aplikace. Server, nabízející sadu služeb, čeká na žádosti od klienta, které následně obslouží. Klient, který se snaží

²V rámci AngularJS nahrazuje server (detekuje URL a obsluhuje dané cesty) a spojuje definované kontroléry s pohledy dle aktuální URL.

³V tomto případě se HTML transformuje, přidávají potřebné třídy a identifikátory a nahrazují značky za textové řetězce.



Obrázek 4.3: Schéma uživatelské části

vykonat určitou činnost, posílá žádosti na server skrze předem definovanou cestu. Pokud server žádosti nerozumí (např. nevalidní formát), odmítne ji, v kladném případě provede požadavek a odešle odpověď zpět klientovi.

Tímto oddělením uživatelské části od serverové získává aplikace vyšší přenositelnost, škálovatelnost a nezávislost komponent. To dovoluje částečně separátní vývoj.

Bezstavovost

Zřejmě nejdůležitějším aspektem REST API je bezstavová komunikace. Ta se zaručí tak, že každý dotaz, který je na API zaslán, obsahuje veškeré informace, které jsou potřebné pro porozumění žádosti. Takto se klientovi zabrání využít jakéhokoliv kontextu, který by na serveru mohl být uchován. To zaručuje vyšší bezpečnost API a všechny dotazy, které na něj přijdou nemohou být ovlivněny jinými dotazy.

Vyrovňovací paměť

Pro zlepšení výkonu je do rozhraní vhodné implementovat vyrovnávací paměť. To však s sebou nese riziko neaktuálnosti dat, což v případě systému NEMEA⁴ je velmi nebezpečná vlastnost.

Uniformní rozhraní

Uniformnost rozhraní je důležitou vlastností REST architektury, která jej odlišuje od

⁴NEMEA Dashboard staví na co nejaktuálnějších datech.

ostatních architektonických stylů návrhu jakým je například RPC [25]. Generalizací rozhraní vývojář získá velmi rychlý přehled o dostupných operacích s API a jaké služby poskytují.

Aby rozhraní bylo uniformním, musí splňovat několik vlastností: jednoznačná identifikovatelnost zdrojů (jedna URL pro jeden zdroj), samopopisné zprávy (pojmenovávat přesně a srozumitelně) a média jako jádro aplikačního stavu.

Vrstvený systém

Aby se rozhraní dokázalo v čase přizpůsobovat potřebám vývojáře, je nutné navrhovat rozhraní vrstveně. To jej dovoluje libovolně rozšiřovat jak do šířky, tak do hloubky. Pokud se na rozhraní díváme jako na jednotlivé komponenty, tak ty, díky vrstvení, nejsou schopné interagovat s dalšími vrstvami a tím pádem jinými komponentami, což podporuje bezstavovost API. Z klientské strany to znamená interakci vždy pouze s jediným zdrojem.

Při aplikaci těchto idejí do návrhu REST API pro NEMEA Dashboard jsem narazil na několik problémů. Jde zejména o typ API, které jsem pro aplikaci navrhnul. To totiž z většinové části data pouze získává (cca 90% dotazů jsou typu GET). Úprava či zápis dat se realizuje pouze v případě práce s uživateli⁵ nebo konfigurací dashboardu.

Tím pádem z CRUD modelu (viz 3.2.1) je využívána pouze jedna část – čtení. Tato část je realizována pomocí HTTP požadavku GET. Ten, ačkoliv dle RFC 2616 [9] může disponovat tělem zprávy, tělo zprávy většinou nepoužívá. Lépe řečeno jej většina webových serverů nepoužívá a tudíž by při návrhu bylo velmi nevhodnou praktikou toto chování implementovat.

Tím pádem jsem při návrhu rozhraní zvolil kompromis mezi REST a RPC, který narozdíl od REST využívá URL parametrů. Tento kompromis dovoluje při návrhu architektury použít jedno uniformní rozhraní pro více typů dotazů. To, ačkoliv porušuje základní ideu REST architektury, velmi usnadní vývoj uživatelské části. Tento kompromis spočívá v používání URL parametrů při koncovém bodě, který agreguje získaná data a to proto, že tento koncový bod vyžaduje mnoho parametrů, dle kterých se data filtrují a následně agregují.

4.4 GUI

Při návrhu grafického uživatelského rozhraní byly využity co nejjednodušší drátěné modely. Ty totiž ponechávají dostatečnou flexibilitu a zároveň mají dostatečnou vyjadřovací sílu pro zobrazení základních konceptů a rozložení prvků v aplikaci.

V příloze B.1 se nachází hlavní model stránky aplikace, neboli dashboard. Ten se skládá z jednotlivých boxů, které jsou konfigurovatelné jak vzhledem (lze je zmenšit, zvětšit, přidat, smazat), tak obsahem. Ten je konfigurován ve zvláštním okně aplikace, které je specifické pro každý box. Na drátěném modelu v příloze B.2 lze vidět jeho návrh.

Při prokliku během drill-down analýzy se uživatel přesune na druhou část aplikace – jednotlivé události, které danou anomálii způsobily. V této části, znázorněné na drátěném modelu B.3, má uživatel možnost se libovolně dotazovat do databáze událostí a získat tak z ní události, které přesně hledá. Ty jde nadále živě filtrovat přímo ve výpisu událostí (neprobíhá žádné dotazování na server).

⁵Přidávání, editace a mazání

Jednotlivé řádky tabulky obsahují pouze základní informace o události. Při kliknutí na daný řádek se zobrazí detailnější informace o události a pokud ani to uživateli nestačí, může přejít na detail události, který obsahuje veškeré informace o události obsažené v databázi.

Grafika samotné aplikace bude vznikat během její implementace a to v režii CSS části frameworku Angular Material. Ten má kaskádové styly pro většinu běžně používaných elementů a nevzniknou tak při vývoji výrazné odchylky od prvotního návrhu.

4.5 Shrnutí

V této kapitole byl uveden návrh aplikace NEMEA Dashboard. Architekturu API začínaje, grafickým uživatelským rozhraním konče. Byly připraveny případy užití, které se budou implementovat. Typy dat, které se budou vizualizovat a zpracovávat. Navržené hybridní REST/RPC API, které bude aplikace na uživatelské části využívat, je rozumným kompromisem mezi striktní architekturou a reálným použitím a byl naznačen průběh drill-down analýzy.

Kapitola 5

Implementace

V této kapitole je popsána implementace navržené aplikace. Prvně bude uveden popis implementace serverové části, která je napojena na databázi událostí reportované systémem NEMEA. Dále následuje popis tvorby uživatelské části, která bude dodaná data vizualizovat pomocí interaktivních grafů.

5.1 Serverová část

Během implementace byla serverová část aplikace spuštěna na stejném serveru, kde byla umístěna i databáze událostí, do které systém NEMEA ukládal události v reálném čase.

Instalace potřebných Python knihoven proběhla pomocí nástroje `pip`. Ty zahrnují mikroframework Flask, jeho závislosti a konektor pro MongoDB PyMongo. Všechny závislosti jsou uvedeny v příloze C.1 tak, jak jsou uvedeny v souboru `requirements.txt`, který využívá nástroj `pip` pro automatickou instalaci všech závislostí.

```
/v2
  /events
    /indexes [GET]
    /:n [GET]
    /query [GET]
    /agg [GET]
    /top [GET]
    /count [GET]
    /id/:id [GET]
  /users [GET, PUT, POST, DELETE]
    /auth [POST]
    /logout [DELETE]
```

Výpis 5.1: Koncové body REST API, které jsou dostupné ze serveru.

Ve výpisu 5.1 je naznačena struktura finálního REST API, která je lehce rozšiřitelná a upravitelná. Během vývoje API se několikrát změnila struktura koncových bodů¹, proto jsem zvolil verzování API pomocí URL, aby v budoucích případech mohlo API fungovat pro více verzí současně. V době psaní této práce je API ve druhé verzi, která se od první

¹Koncovým bodem je myšlena adresa dostupná z REST API.

verze liší zejména architekturálním typem, kterým je hybridní REST. V první verzi se API architekturou podobalo více RPC pouze s několika rysy REST.

Za označením verze následuje sémantické rozdělení. To v současném návrhu rozděluje API na dvě základní části. První část obsluhuje data událostí a je nazvána `/events`. Za URL `/v2/events` se nacházejí již jednotlivé koncové body API, ty jsou charakteristické zejména tím, že dovolují pouze jednu HTTP metodu, konkrétně `GET`.

`/indexes`

Tato část byla vytvořena prvně jako experimentální část API pro ověření funkcionality a zejména pak správného spojení s databází. V současné chvíli je připravena pouze jako další koncový bod pro budoucí použití.

Jak již URL napovídá, tento koncový bod pracuje s indexy v databázi. Prvně zkontroluje, zda požadované indexy v databázi existují a v případě existence vrátí nezměněný výstup z MongoDB obsahující informace o indexech. V opačném případě pevně definované indexy (index pro seřazení databáze událostí dle klíče `DetectTime` a automatické mazání záznamů v kolekci `sessions`) přidá do databáze.

`/:n`

URL `/:n` znamená dynamickou URL, kde `n` je číslo od 1 do 10 000 a značí kolik událostí má být vyhledáno seřazených dle času². Uvedený limit je stanoven na serverové části, aby nedošlo k přetížení serveru, protože v případě čísla 0 by databáze navrátila všechny položky, což mohou být gigabajty dat.

`/query`

Tento koncový bod slouží pro pokládání předem specifikovaných dotazů do databáze. API nepřijímá konkrétní MongoDB dotaz, ale pevně specifikovaná pole. Toto omezení je zejména kvůli bezpečnosti.

`/agg`

V tomto bodě byl zejména využit agregační framework uvnitř MongoDB, který je optimalizovaný na práci s velkými objemy dat. Slouží pro vypočítání časových intervalů a počtů položek v databázi uvnitř časových oken.

Agregační framework v MongoDB pracuje s projekcemi. Tzn. prvně se vyhledají položky splňující zadaná kritéria (běžný dotaz), ty jsou následně projektovány dle časového intervalu (změní se čas události na začátek intervalu, tzn. jejich časová značka se zaokrouhlí). Nakonec jsou všechny události se stejným časem spočteny a tento výsledek je vrácen.

`/top`

Slouží pro box typu „TOP“. Ten vybírá z databáze událost, která obsahuje nejvyšší počet toků (položka `FlowCount`) u každé z kategorií v určitém časovém okně.

`/count`

Box typu „COUNT“ pouze zobrazuje číslo reprezentující počet událostí, které splnily daná kritéria (časové okno a příp. kategorie).

²Čas v databázi bude vždy odvozován od hodnoty klíče `DetectTime`, který je časovou značkou detekce útoku.

`/id/:id`

Každá událost v databázi je opatřena unikátním ID, které samo jádro MongoDB každým záznamem opatří. IDEA formát specifikuje zároveň i vlastní typ ID, nicméně na tuto položku by v databázi musel být vytvořen index, aby vyhledávání bylo efektivní. Nativní databázové `_id` tento index má v základním nastavení a proto je vyhledávání podle něj velmi rychlé.

Druhou částí API je práce s uživateli a jejich autentizace. O bezpečnosti aplikace a API pojednává poslední sekce [5.3](#).

`/users`

Tento koncový bod slouží pro veškerou práci s uživateli. HTTP metoda `GET` vrátí záznamy o všech uživateli v NEMEA Dashboard. Tyto záznamy jsou identické k těm v databázi až na absenci hesel, která jsou odstraněna.

HTTP metoda `PUT` slouží pro editaci uživatele. Toho je využito zejména při změně konfigurace dashboardu.

`POST` HTTP metoda vloží do databáze nového uživatele. Ten bude obsahovat předem pevně definovaný dashboard. Vše ostatní je nastavitelné v rámci aplikace.

Poslední HTTP metodou je `DELETE`. Ta uživatele nenávratně smaže z databáze.

`/auth`

Při dotazu na tento bod je metodou `POST` poslán přihlašovací email a heslo, dle kterých je uživatel v databázi ověřen.

Ověření probíhá ve dvou úrovních, prvním je nalezení uživatele dle emailu a následně porovnání hash hodnoty poskytnutého hesla a hesla v databázi. Pokud jedna z těchto úrovní selže, API vrací HTTP odpověď typu „401 Not Authorized“. Tuto chybu následně uživatelská část zpropaguje graficky uživateli. V případě úspěšného ověření je odpovědí JSON Web Token (zkráceně JWT) [\[15\]](#). O JWT více v sekci [5.3](#).

`/logout`

Pro odhlášení uživatele slouží tento koncový bod. Je zde využita jediná HTTP metoda `DELETE`, která v sobě nenese žádná data. Identifikace uživatele probíhá opět pomocí JWT.

Koncové body API, které byly navrženy, obslouží všechny požadavky uživatelské části aplikace, které byly v případech užití navrženy.

5.2 Uživatelská část

Prvním krokem při vývoji uživatelské části bylo navržení stránky s výpisem nejaktuálnějších detekovaných událostí, které byly vloženy do databáze. Ta totiž nevyžadovala téměř žádnou konfiguraci a ověřila koncept a funkcionalitu navržené architektury.

Dashboard je svou povahou komplexním systémem vnořeným uvnitř aplikace. Zejména proto, že každý box v dashboardu je konfigurovatelný nezávisle na ostatních a zároveň musí dashboard všechny boxy navzájem seřadit a umístit do mřížky (angl. grid).

Pro tvorbu mřížky byla zvolena knihovna Gridster³, která dovoluje vytvořit komplexní systém mřížky a je dobře konfigurovatelná. Knihovna Gridster má navíc implementaci přímo

³<http://gridster.net>

pro AngularJS, tzn. direktivy, které lze okamžitě použít v šabloně stránky a následně v kontroléru vše spravovat (např. registrace k událostem vyvolané v pohledu po přesunu položky).

Gridster je flexibilním systémem pro tvorbu mřížek. Je založen na minimální, pevně stanovené velikosti jednoho bloku, od kterého se odvíjí velikost boxu v jeho násobcích. Boxu lze následně tahem myši měnit velikost tak, jak je zvykem u běžného desktopového okna. Jediným rozdílem je, že velikost je měněna v násobcích jednoho bloku. Tato velikost je odvozena od výšky nebo šířky jednoho řádku, nebo vypočítána z počtu sloupců. V případě NEMEA Dashboard byla výška řádku stanovena empiricky na 170 pixelů a 8 řádků. To nám dovoluje dostatečně flexibilní rozložení boxů a zároveň určitou jistotu při návrhu jednotlivých typů boxů.

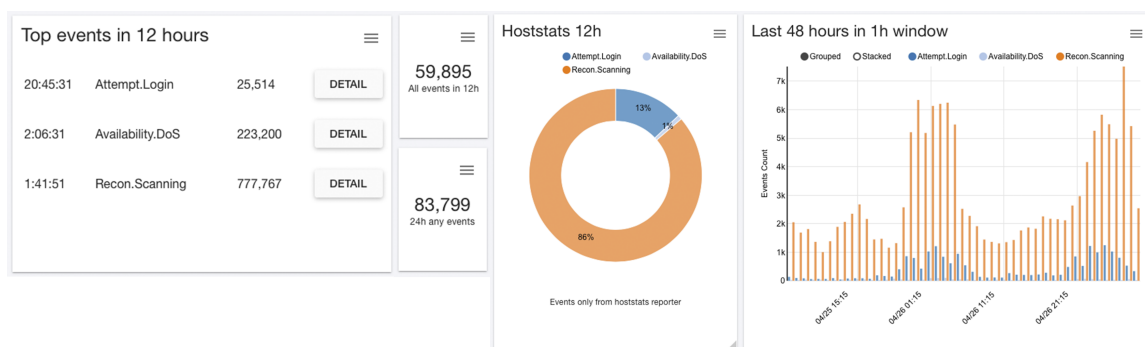
Pokud uživatel chce přesunout box na jiné místo, Gridster disponuje podporou pro „drag and drop“ funkcionalitu. Ta je ještě vylepšena v rámci NEMEA Dashboard o zvýraznění cílového místa, aby uživatel nebyl z počátku překvapen, proč se jednotlivé boxy „samý hýbou“.

Pro vykreslování interaktivních grafů byla vybrána knihovna NVD3 s návazností na AngularJS (angular-nvd3⁴) a to zejména kvůli jednoduchosti použití a široké škále nastavení. NVD3 je pouhou obálkou pro knihovnu D3, která je koncipována pro vykreslování jakéhokoliv typu dat v prohlížeči. To sebou nese vysokou flexibilitu, ale zároveň i náročnou tvorbu složitějších konstrukcí jakou jsou např. interaktivní grafy.

Jak již při návrhu bylo naznačeno, pro Dashboard byly navrženy 4 základní typy boxů, které jsou pracovně nazvány následovně:

- top – událost s nejvyšší počtem toků pro každou kategorii,
- sum – počet událostí dané kategorie nebo celkový počet všech událostí v daném čase,
- piechart – koláčový graf zobrazující podíly událostí dle zadané metriky,
- barchart – sloupcový graf pro zobrazení událostí agregovaných dle stanoveného časového intervalu.

Pro poslední dva typy bylo využito grafové knihovny NVD3. Výsledná podoba všech boxů je znázorněna v obrázku 5.1 ve stejném pořadí jako jsou vypsány výše.



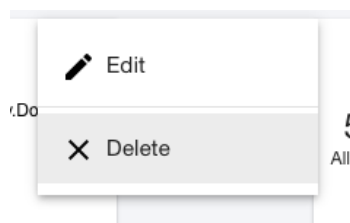
Obrázek 5.1: Vyobrazení jednotlivých typů boxů dostupných v NEMEA Dashboard.

Boxy disponují třemi společnými částmi. Titulek, který není vyžadován (viz obrázek 5.1, kde není nastaven např. na boxu typu „sum“). Textový obsah boxu, který také není povinný, ale doporučený pro nahrazení titulku v boxu typu „sum“ kvůli poměru velikosti

⁴<http://krispo.github.io/angular-nvd3/>

boxu (většinou minimální velikost 1x1 blok) a velikosti písma titulku. Textový obsah je vidět i u boxu typu „barchart“, kde slouží pro upřesnění obsahu daného boxu.

Posledním společným prvkem je menu, které nabízí dvě položky. Editaci a smazání boxu. Toto menu je vidět pouze po kliknutí na ikonu menu, která je u každého boxu symbolizována jako tři krátké vodorovné čáry, slangově nazýváno „burger menu“.



Obrázek 5.2: Kontextové menu přítomné u každého boxu.

Při konfiguraci boxu se dynamicky mění obsah formuláře, kterým je vše nastavováno. Ten je realizován jako vyskakovací okno v rámci stránky (angl. lightbox). Těchto kombinací je větší množství a proto je zde uveden pouze ukázkový příklad.

Při přidání nového boxu je v dashboardu pouze obálka pro uživatelem definovaný obsah. Uživatel tedy klikne na kontextové menu boxu a zvolí položku „Edit“. Zde je pouze předem definovaný titulek „New Box“, u kterého lze změnu vidět v reálném čase. Následně zvolí typ boxu, v případě typu „top“ má na výběr pouze časový interval, ve kterém se mají události hledat. V ostatních případech vybírá metriku (buď předdefinovanou, nebo vlastní), dle které se výsledky agregují. Uživatel zvolí typ „piechart“, ten nabízí možnost filtrování vyhledaných událostí. Jelikož se se záznamem události v MongoDB pracuje téměř totožně jako s formátem JSON, může uživatel použít tečkovou notaci pro přístup k jednotlivým hodnotám. Ve filtru volíme klíč a hodnotu, dle které se výsledek filtruje. V tomto případě, který je znázorněn na obrázku 5.3, jsou filtrovány události pouze z modulu systému NEMEA s názvem HostStats.

Posledními možnostmi je nastavení časového okna, ve kterém se události vyhledávají a textový popis daného grafu. Poté uživatel klikne na tlačítko „Save“ a nastavení se uloží. To spustí rutinu v kontroléru, která pomocí modelu zašle dotaz na API s danými parametry, načte data do nově nakonfigurovaného boxu a vykreslí graf jakmile budou data přítomna u uživatele. Mezitím se v boxu zobrazí nápis „Fetching data“. Pokud uživatel klikne na „Cancel“, box se navrátí do původní konfigurace.

Takto je možné nakonfigurovat jakýkoliv box v dashboardu, nicméně během vývoje vznikl požadavek na existenci více instancí dashboardu, každá s vlastními boxy a nastavením. Byl vytvořen následující systém upravený s ohledem na definované případy užití.

Dashboard je realizován jako jednotlivé pohledy na data, jenž si uživatel sám specifikuje. Každý takový pohled se chová a vypadá jako jeden dashboard a může mezi nimi libovolně přecházet. Každý tento pohled má navíc vlastní konfiguraci. Ta je dostupná přes kontextové menu pohledu, které se nachází v pravém dolním rohu s následujícími položkami:

Add item

Tato možnost přidá do současného pohledu nový box, který si uživatel dále přizpůsobí.

Clear cache

Během vývoje dashboardu byla implementována dočasná paměť pro načtená data z API, aby se s dashboardem mohlo pracovat offline nebo na nestabilním internetovém

Attempt.Login Availability.DoS

Edit box (Hoststats 12h) ✕

Title
Hoststats 12h

Type of view Metric
piechart Category

☒ Enable filter

Field Value
Node.Name cz.cesnet.nemea.hoststat

Time window [hours]
12

Content
Events only from hoststats reporter

CANCEL SAVE

Obrázek 5.3: Editační okno boxu.

připojení. Tato funkcionality je realizována pomocí lokálního uložště v prohlížeči (local storage). Pokud si uživatel přeje aktualizovat data, použije toto tlačítko.

Enable autorefresh

Další funkcionality, která byla přidána během vývoje jako reakce na požadavek kontinálního obnovování dat v současném pohledu. Interval obnovení dat je nastavitelný pro každý pohled.

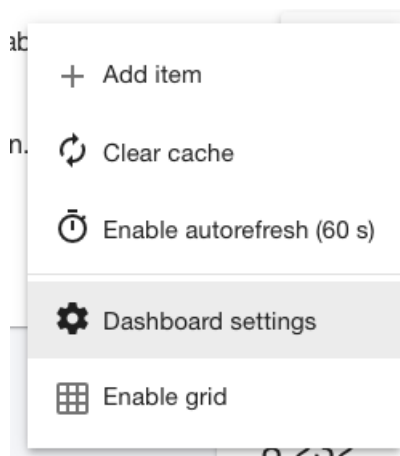
Dashboard settings

Zobrazí vyskakovací okno podobné tomu u boxu. V tomto okně si uživatel může nastavit obnovovací interval, název pohledu a pohled případně smazat.

Enable grid

Během používání dashboardu se uživatelům často stávalo, že si náhodně posunuli s boxem a tím se jim celá mřížka, kterou pečlivě organizovali, přeskládala na nepoužitelnou variantu. Tato možnost vypíná nebo zapíná (záleží na předešlém stavu) „drag and drop“ funkcionality a změnu velikosti boxu.

Drill-down analýza je realizována jako odkaz v jednotlivých sloupcích/oddílech grafu nebo jako tlačítko (v případě boxu typu „top“ odkazující přímo na danou událost). Při kliknutí na danou část grafu nebo tlačítko je uživatel přesunut do druhé části NEMEA Dashboard nazvané „Events“. Zde jsou automaticky nastaveny parametry hledání, které jsou následně poslány v požadavku na API. Odpovědi jsou data splňující zadané parametry.



Obrázek 5.4: Kontextové menu pohledu.

API vrací standardně prvních sto výsledků, které najde, aby nedošlo k zahlcení připojení a pokud si uživatel přeje více událostí, má dvě možnosti. První možností je změnit parametr hledání a provést hledání znova. Druhou je tlačítko pod tabulkou výsledků, které načte dalších sto událostí a informuje o počtu zbývajících událostí splňujících zadané podmínky.

Každá událost v tabulce je rozkliknutelná. Po kliknutí jsou zobrazeny důležité detaily o dané události. Uživatel má následně dostupné tři akce, které může provést. První a druhou akcí je vyhledání událostí se stejnou IP adresou (buď zdrojová nebo cílová IP adresa, pokud je záznam obsahuje). Třetí možností je zobrazení detailů o dané události. Tato možnost uživatele přesune na novou stránku, kde vidí celý záznam události tak, jak je uložený v databázi s jediným rozdílem. JSON je formátován a přehledně zobrazen jako HTML elementy, aby byl jednoduše čitelný.

Další experimentální funkcionalitou na této stránce je geolokace IP adres v události a jejich zobrazení na mapě. S touto funkcionalitou se dobře psaní této práce experimentuje a není jisté, zda zůstane zachována.

Poslední částí je běžná správa uživatelů a svého uživatelského účtu. Tato část dovoluje spravovat vlastní účet (např. změna emailové adresy) a přidávat, měnit a mazat uživatele.

Všechny stránky uživatelské části jsou zachyceny v příloze [D](#).

5.3 Zabezpečení

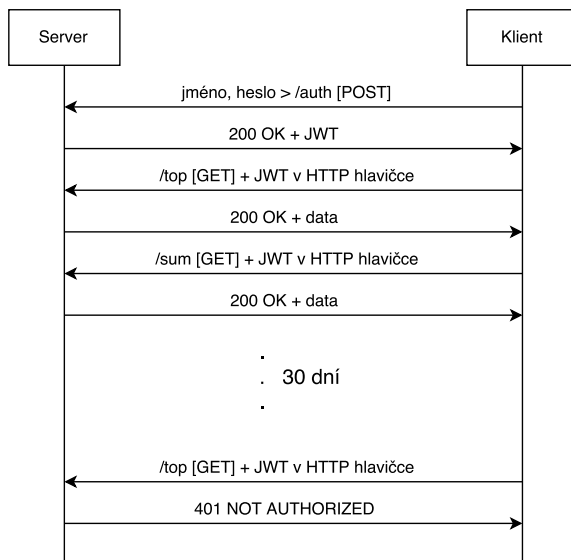
Jelikož NEMEA Dashboard pracuje s citlivými daty je nutné tato data dobře zabezpečit. To zejména znamená zabezpečení API. Bezpečnost přenášených dat je zajištěna pomocí protokolu HTTPS. Pro kontrolu přístupu k API existuje několik doporučených postupů. Nejčastější řešení je pomocí SAML 2.0 dle RFC 7522 [\[1\]](#), které je definováno v XML, čímž se stává nevhodným pro NEMEA Dashboard. Druhým nejčastějším řešením je JSON Web Token (zkráceně JWT), který je realizován v JSON.

JWT je otevřený standard definovaný RFC 7519 [\[15\]](#). Ten jej popisuje jako kompaktní, bezpečný pro URL způsob reprezentace prostředků, která se sdílí mezi dvěma zdroji. Z hlediska programátora je důležité, že JWT je datově úsporný. V základu využívá totiž efektivní metodu hashování HS256 (HMAC + SHA-256), která poskytuje dobrou bezpečnost (JWT podporuje i další typy hashování).

JWT je řetězec znaků skládající se ze tří částí oddělených tečkou. První částí je hla-

vička, která obsahuje informace o použitém hashovacím algoritmu a typu tokenu. Druhou částí je samotný uživatelem definovaný obsah (angl. payload) a třetí částí je signatura. Ta vezme hlavičku, obsah (ty jsou zakódovány base64 algoritmem), tajný klíč (angl. secret key) a algoritmus specifikovaný v hlavičce a výsledný token podepíše. Takto zabalený JWT je v NEMEA Dashboard plně v režii serverové části. Ta jej tvoří i upravuje. JWT je přenášen při každé žádosti na API jako součást HTTP hlavičky. Uživatelská část si JWT udržuje v lokálním uložšti a může jej pouze dekodovat, nikoliv upravovat.

Celý autentizační proces je znázorněn v obrázku 5.5. Uživatelská část obsahuje tzv. interceptor, který hledá odpovědi od serveru s HTTP statusem 401 Not Authorized. V případě zaznamenání tohoto statusu je uživatel okamžitě přesměrován na stránku pro přihlášení. Po odeslání autentizačních údajů je uživatel nalezen v databázi a ověřen hash poskytnutého hesla. Uživatelské části je navrácen buď chybový kód, nebo nový validní JWT a je přesměrován na úvodní stránku. Všechny následující dotazy do API obsahují dodaný JWT, který je na serverové části vždy dekodován a ověřena jeho existence v tabulce sezení. Každý token expiruje po 30 dnech bez aktivity, kdy se dané sezení vymaže ze serverové části.



Obrázek 5.5: Příklad autentizace a používání REST API.

Kapitola 6

Testování

Důležitou částí vývoje je testování jednotlivých částí aplikace. Ty lze testovat odděleně díky implementované architektuře SPA. Testování probíhalo během celého vývoje a bylo prováděno manuálně s ohledem ke změnám v API během vývoje.

6.1 Testování serverové části

Testování probíhalo v několika úrovních během implementace API. Jednotlivé úrovně se testovaly nezávisle na sobě a následně byl proveden integrační test, který ověřil funkcionality celého koncového bodu API. Jednotlivé úrovně testování lze definovat následovně:

Databázové dotazy

Během implementace se vytvořil obecný dotaz, do kterého byly dosazovány jednotlivé proměnné. Jejich korektní dosazení bylo ověřováno ladícími výpisy na standardní výstup do příkazové řádky. Tyto výpisy jednotlivých dotazů byly následně spuštěny v příkazové řádce MongoDB a byly porovnány výsledky generovaného dotazu a manuálně nalezené události.

Testování koncového bodu API

Po úspěšném otestování dotazů byly implementovány jednotlivé koncové body API. Testování probíhalo pomocí systémového nástroje *curl*¹. Zde se vytvořila žádost, která byla zaslána na API a byl ověřen formát odpovědi. Takto byly otestovány všechny koncové body a jejich dostupné HTTP metody. Po implementaci autentizace zde byly testovány i chybové odpovědi.

Integrační testování

Testy byly provedeny po implementaci modelů v uživatelské části aplikace. Ty ověřily komunikaci mezi serverem a klientem, včetně zabezpečení pomocí JWT. Ověřovány byly stejné skutečnosti jako v případě testování koncového bodu.

6.2 Testování uživatelské části

V uživatelské části byly provedeny akceptační testy [20]. Ty lze definovat jako splnění požadavků klienta na funkcionality aplikace. V rámci této práce byly provedeny základní

¹<https://curl.haxx.se>

testy na cílové skupině uživatelů, tj. uživatelů zabývajících se monitorováním sítí (viz 4.1). Testy byly realizovány formou hromadného testování a následných rozhovorů s účastníky.

Akceptační testy byly provedeny celkově dvakrát. V příloze D jsou zachyceny jednotlivé obrazovky aplikace před prvním kolem akceptačních testů. Během rozhovorů s účastníky byly otázky zaměřeny zejména na uživatelské rozhraní a UX. Z nich vyplynulo několik závěrů:

- Nevýrazné oddělení jednotlivých boxů v sekci dashboard.
- Nejasná práce s boxy (úprava velikosti, změna pozice).
- Uživatelé nechápali rozdíl mezi zadáváním dotazu a aplikováním filtru ve výpisu událostí.
- Nekonzistentní rozhraní.

Na základě zjištěných nedostatků byly provedeny mírné změny ve vzhledu aplikace. Při úpravách vzhledu proběhly i změny v JavaScript a HTML kódu. Během práce s NEMEA Dashboard na různých zařízeních se vyskytly různé chyby. Zejména pak v prohlížeči Firefox na systému CentOS 7 (Linux) byly objeveny chyby zobrazovaných informací ve výpisu nalezených událostí. Ty byly způsobeny odlišnou interpretací zobrazovaných prvků oproti jádru WebKit.

Snímky upraveného vizuálního stylu aplikace jsou zobrazeny v příloze E. Ty byly otestovány na dalších subjektech, které s NEMEA Dashboard byly seznámeny až během druhého kola testování, aby jejich názor nebyl ovlivněn předešlými zkušenostmi. Takto mohly být porovnány výsledky prvního a druhého kola akceptačních testů. Druhé kolo testů proběhlo bez problémů a pouze byly obdrženy návrhy na další funkcionalitu NEMEA Dashboard.

6.3 Shrnutí

Během manuálních testů serverové části a zejména během integračních testů byly objeveny chyby, jenž by v budoucnu mohly negativně ovlivnit bezpečnost a stabilitu API. Tyto chyby byly opraveny a opět otestovány.

Během testování uživatelské části byla obdržena kvalitní zpětná vazba, která byla zapracována do aplikace a opět otestována. Ve druhém kole testů nebyly nalezeny žádné chyby, pouze nápady na vylepšení funkcionality.

Kapitola 7

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit aplikaci pro vizualizaci síťových bezpečnostních dat na moderní webové platformě, která vizualizuje síťové bezpečnostní události uložené ve formátu IDEA. Tento formát je využíván několika službami sdružení CESNET a jmenovitě, v rámci této práce, systémem NEMEA.

Aplikace byla navržena jako SPA, což je moderní přístup k architektuře webových aplikací. Před samotným návrhem aplikace byly nastudovány vybrané knihovny podporující tvorbu SPA. Pro realizaci uživatelské části byla vybrána JavaScript knihovna AngularJS společně s CSS knihovnou Angular Material pro vytvoření grafického vzhledu. Serverová část byla vytvořena v jazyku Python s pomocí mikroframeworku Flask.

Systém NEMEA díky této práci získal výstupní grafické rozhraní, které dokáže vizualizovat velké množství dat za pomoci jejich agregace a interaktivních grafů schopných drill-down analýzy. Díky vizuální analýze dat je uživatel schopen velmi rychle detekovat jakoukoliv anomálii na síti a zcela ji analyzovat v rámci aplikace. Uživatel může pohodlně pracovat s databází událostí bez znalosti MongoDB skrze vytvořenou aplikaci a při vyhledávání událostí není zahlcen přebytečnými informacemi o vyhledaných událostech.

Dalším krokem při vývoji aplikace bude zejména správa systému NEMEA přes grafické uživatelské rozhraní. Cílem integrace aplikace do systému je zjednodušení práce se systémem NEMEA a přenesení většiny konfigurovatelných nastavení z příkazové řádky do NEMEA Dashboard.

Další prostor pro rozšíření funkcionality NEMEA Dashboard je široký. Konkrétními příklady z mnoha mohou být rozšíření možností filtrování v jednotlivých typech boxů (negativní filtry, logické spojky, vícenásobné filtry), přehlednější dotazování v událostech, možnost rychlé a přesné geolokace IP adres nebo dotazování nad IP rozsahy. Neméně důležitým rozšířením je vytvoření instalačního průvodce pro instalaci NEMEA Dashboard jak na existujících instancích NEMEA systému, tak i na nových instancích.

Díky vizualizaci dat a modernímu webovému rozhraní je NEMEA Dashboard účinným marketingovým nástrojem, který může zapůsobit i na méně odborné publikum a tím může systém NEMEA získat popularitu v komunitě síťových správců po celém světě.

Literatura

- [1] Campbell, B. : Security Assertion Markup Language (SAML) 2.0 Profile for OAuth 2.0 Client Authentication and Authorization Grants. RFC 7522, RFC Editor, Květen 2015. Dostupné z: <<https://tools.ietf.org/html/rfc7522>>
- [2] Carter, E.; Foreword By-Stiffler, R. *Cisco secure intrusion detection systems*. Cisco Press, 2001.
- [3] Čeleda, P.; Kováčik, M.; Koníř, T.; aj. : FlowMon Probe. *Networking Studies*, 2006: str. 67.
- [4] Cisco Systems, I. : Cisco Announces Agreement to Acquire Sourcefire. 2013. Dostupné z: <<http://www.cisco.com/c/en/us/about/corporate-strategy-office/acquisitions/sourcefire.html>>
- [5] Cisco Systems, I. : Snort Users Manual. 2016. Dostupné z: <<http://manual.snort.org/node2.html>>
- [6] Dressler, F.; Carle, G. History-high speed network monitoring and analysis. 2005.
- [7] Ember.js : HTMLBars. 2015. Dostupné z: <<http://emberjs.com/blog/2015/02/07/ember-1-10-0-released.html>>
- [8] FDis, I. : 9241-210 (2009). Ergonomics of human system interaction-Part 210: Human-centered design for interactive systems (formerly known as 13407). *International Organization for Standardization (ISO). Switzerland*, 2009.
- [9] Fielding, R. : Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1. RFC 2616, RFC Editor, Srpen 1999. Dostupné z: <<https://tools.ietf.org/html/rfc2616>>
- [10] Fielding, R. T. : *Architectural styles and the design of network-based software architectures*. Dizertační práce, 2000.
- [11] Flowmon Networks, a. : Flowmon Anomaly Detection System. 2016. Dostupné z: <<https://www.flowmon.com/cs/products/flowmon/anomaly-detection-system>>
- [12] Foundation, M. : JavaScript Promise. 2016. Dostupné z: <https://developer.mozilla.org/en/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Promise>
- [13] Gackenheim, C. : What Is React? In *Introduction to React*, Springer, 2015, s 1–20.
- [14] Google : Chrome V8. 2016. Dostupné z: <<https://developers.google.com/v8/>>
- [15] Jones, M. : JSON Web Token (JWT). RFC 7519, RFC Editor, Květen 2015. Dostupné z: <<https://tools.ietf.org/html/rfc7519>>

- [16] Krasner, G. E.; Pope, S. T.; aj. : A description of the model-view-controller user interface paradigm in the smalltalk-80 system. *Journal of object oriented programming*, roč. 1, č. 3, 1988: s 26–49.
- [17] Lampert, R. T.; Sommer, C.; Münz, G.; aj. Vermont-a versatile monitoring toolkit for IPFIX and PSAMP. 2006, 6.
- [18] Mazinianian, D.; Tsantalis, N. : An empirical study on the use of CSS preprocessors.
- [19] Mikowski, M. S.; Powell, J. C. : Single Page Web Applications. *B and W*, 2013.
- [20] Miller, R.; Collins, C. T. : Acceptance testing. *Proc. XPUniverse*, roč. 238, 2001.
- [21] Munz, G.; Fessi, A.; Carle, G.; aj. : DIADEM firewall: Web server overload attack detection and response. *Broadband Europe (BBEurope)*, 2005.
- [22] Nurseitov, N.; Paulson, M.; Reynolds, R.; aj. : Comparison of JSON and XML Data Interchange Formats: A Case Study. *Caine*, roč. 2009, 2009: s 157–162.
- [23] Patil, S.; Rane, P.; Meshram, D. B. : IDS vs IPS. *IRACST–International Journal of Computer Networks and Wireless Communications (IJCNCW)*, ISSN, 2012.
- [24] Paxson, V. : Bro: a system for detecting network intruders in real-time. *Computer networks*, roč. 31, č. 23, 1999: s 2435–2463.
- [25] Richardson, L.; Ruby, S. *RESTful web services*. "O'Reilly Media, Inc.", 2008.
- [26] Roesch, M.; aj. Snort: Lightweight Intrusion Detection for Networks. 1999, 99, 1.
- [27] Shirey, R. : Internet Security Glossary, Version 2. RFC 4949, RFC Editor, Srpen 2007. Dostupné z: <<https://tools.ietf.org/html/rfc4949>>
- [28] Smith, J. : PATTERNS-WPF Apps With The Model-View-ViewModel Design Pattern. *MSDN magazine*, 2009: str. 72.
- [29] Teixeira, P. *Professional Node.js: Building Javascript based scalable software*. John Wiley & Sons, 2012. ISBN 9781118240564.
- [30] Tencent : RapidJSON. 2016. Dostupné z: <<https://github.com/miloyip/rapidjson/>>
- [31] Velan Petr, K. R. : Flow Information Storage Assessment Using IPFIXcol. In *Lecture Notes in Computer Science 7279*, Springer, 2012, ISBN 978-3-642-30632-7.
- [32] W3C : Shadow DOM. Working Draft. 2015. Dostupné z: <<http://www.w3.org/TR/shadow-dom/>>
- [33] W3C : Flexible Box Layout Module Level 1. Candidate Recommendation. 2016. Dostupné z: <<http://www.w3.org/TR/css-flexbox-1/>>
- [34] WebComponents : Web Components. 2016. Dostupné z: <<http://webcomponents.org/>>

Přílohy

Seznam příloh

A	Vzorový IDEA záznam	38
B	Drátěné modely aplikace	39
C	Seznam použitých Python knihoven	42
D	Snímky uživatelské strany před akceptačními testy	43
E	Snímky uživatelské strany po prvním kole testů	45
F	Obsah DVD	48

Příloha A

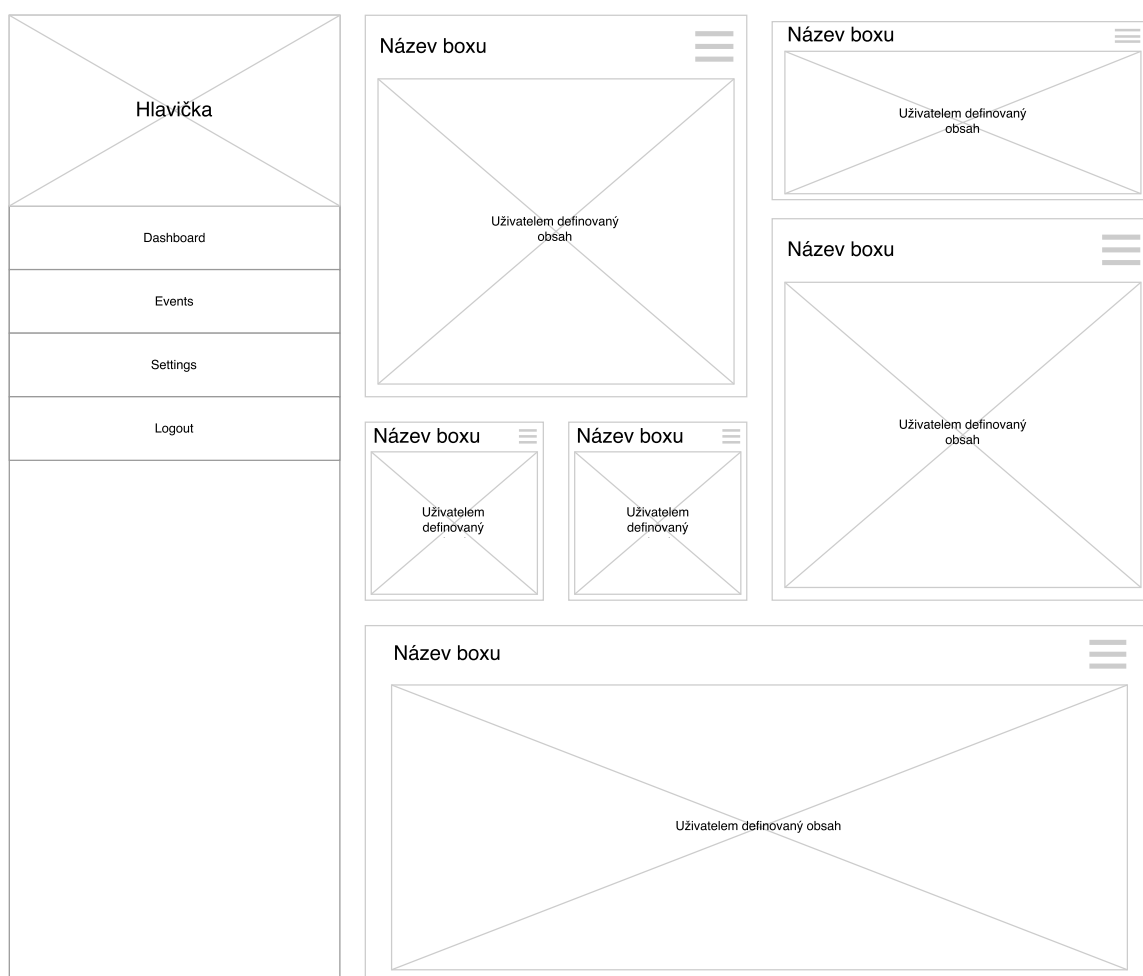
Vzorový IDEA záznam

```
{
  "Format" :      "IDEA0",
  "ID" :          "73e0b136-aeb8-4aae-bb80-9bfb4f258847",
  "Category" :    [ "Availability.DDoS" ],
  "Description" : "DNS amplification",
  "EventTime" :   "2016-04-07T22:19:25Z",
  "CreateTime" :  "2016-04-07T22:34:52Z",
  "CeaseTime" :   "2016-04-07T22:34:38Z",
  "DetectTime" :  "2016-04-07T22:34:38Z",
  "PacketCount" : 393,
  "Source" : [ {
    "IP4" : [ "192.1.0.201" ],
    "Proto" : [ "udp", "dns" ],
    "OutPacketCount" : 393,
    "InPacketCount" : 767
  } ],
  "Target" : [ {
    "Proto" : [ "udp", "dns" ],
    "IP4" : [ "10.0.0.135" ],
    "InPacketCount" : 393
  } ],
  "Node" : [ {
    "SW" : [ "NEMEA", "amplification_detection" ],
    "Name" : "cz.cesnet.nemea.amplification_detection"
  } ],
  "Type" : [ "Flow", "Statistical" ],
}
```

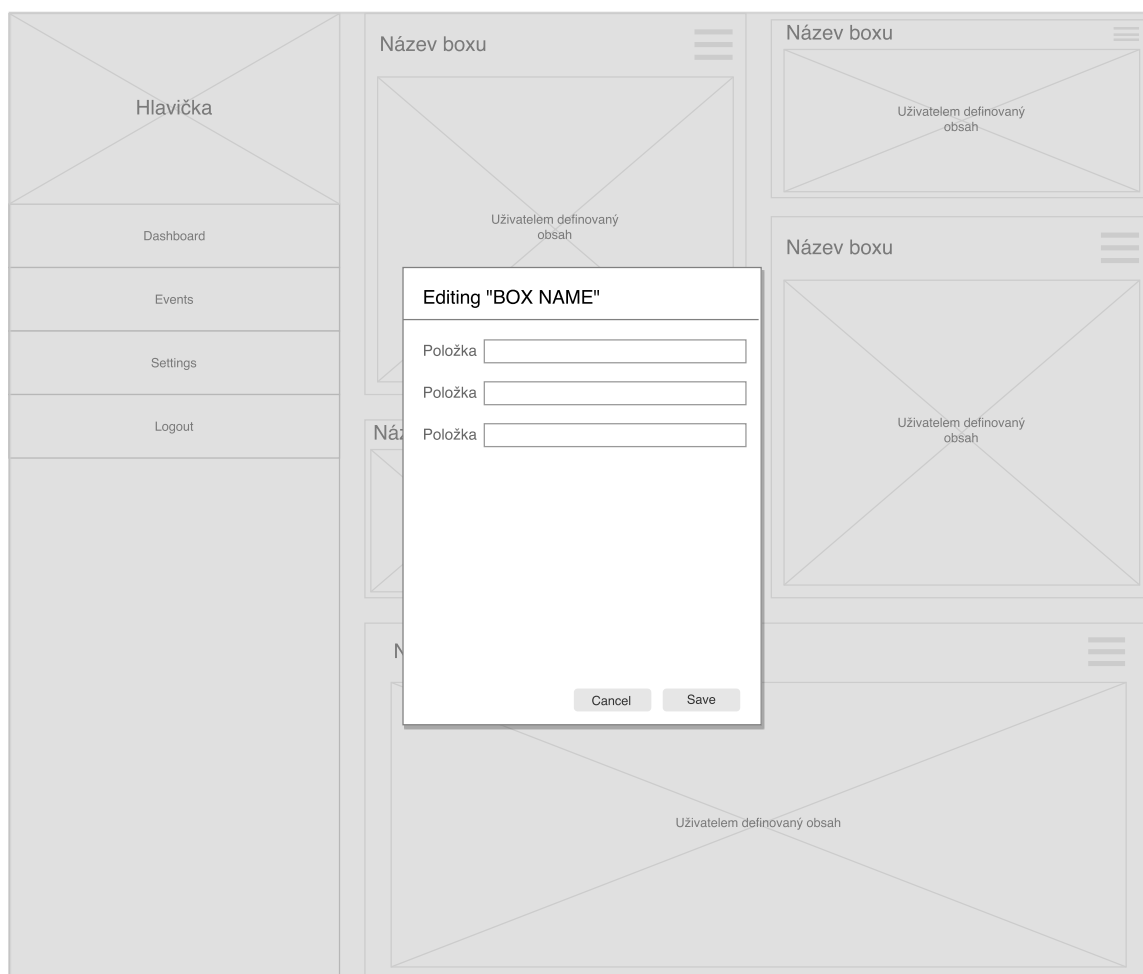
Výpis A.1: Vzorový IDEA záznam ze systému NEMEA. Některé části byly vynechány nebo zkráceny a IP adresy anonymizovány.

Příloha B

Drátěné modely aplikace



Obrázek B.1: Drátěný model pro dashboard, který uživatel může konfigurovat.



Obrázek B.2: Konfigurace boxu v dashboardu.

Hlavička

Dashboard

Events

Settings

Logout

time from

time to

Description

Source IP

date

category

Destination IP

LOAD

RESET

hlavicka tabulky
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události
záznam události

Obrázek B.3: Přehled vyfiltrovaných událostí.

Příloha C

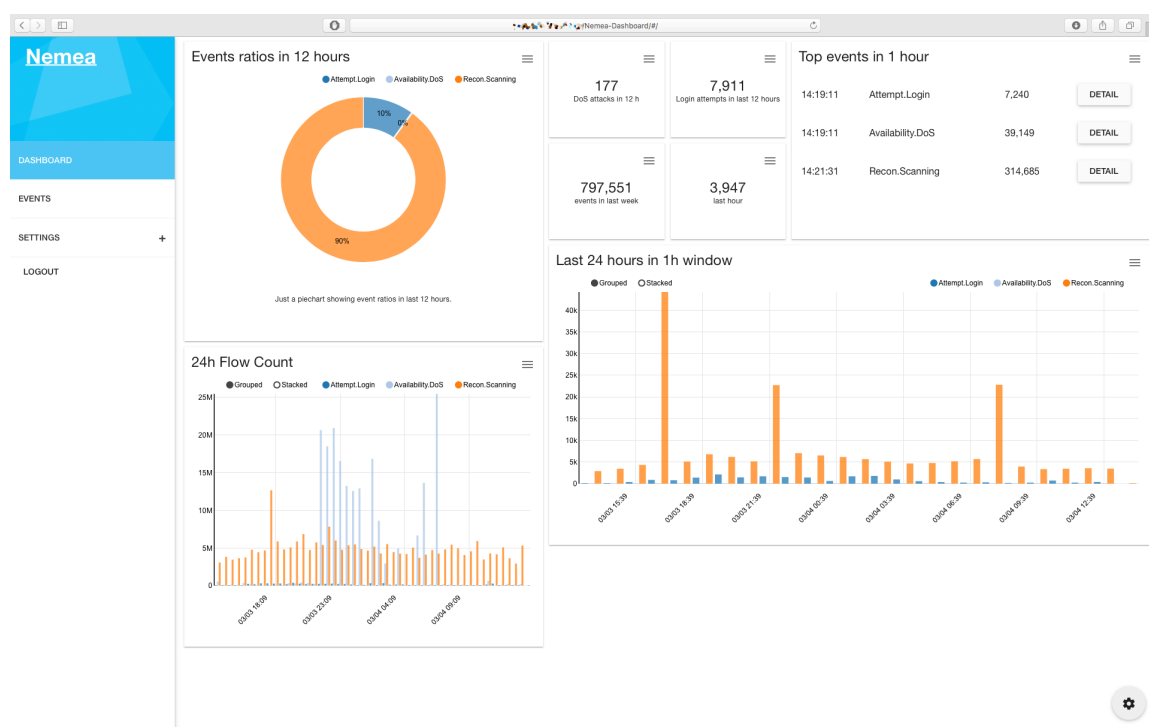
Seznam použitých Python knihoven

```
Flask==0.10.1
Flask-Cors==2.1.2
itsdangerous==0.24
Jinja2==2.8
MarkupSafe==0.23
py-bcrypt==0.4
pyparser==2.14
PyJWT==1.4.0
pymongo==3.2
six==1.10.0
Werkzeug==0.11.3
```

Výpis C.1: Obsah souboru requirements.txt, který využívá nástroj pip pro instalaci Python knihoven.

Příloha D

Snímky uživatelské strany před akceptačními testy



Obrázek D.1: Úvodní obrazovka s přednastavenými boxy.

<div> <div>Nemea</div> <div> <div>4 March 2016</div> <div>Time from 10:00 To 13:00</div> <div>Category vertical</div> </div> </div> <div> <div>Limit 100</div> <div>Order by DetectTime</div> <div>Direction: Ascending</div> <div>LOAD</div> </div>					
<div> <div>DASHBOARD</div> <div>EVENTS</div> <div>SETTINGS</div> <div>LOGOUT</div> </div>		Event Time	Filter fetched events	Filter by category	Filter by IP
		Category	Source	Target	Description
					Flows
					Min Max
		03/04 10:00:14	Recon.Scanning	78.128.12.14	Vertical scan using TCP SYN
		Detect Time: 2016/03/04 10:00:14	Category: Recon.Scanning	Source: 78.128.12.14 tcp	
		Event Time: 2016/03/04 9:46:03	Description: Vertical scan using TCP SYN	Target: 92.128.12.14 tcp	
		Cease Time: 2016/03/04 10:00:14		Flow count:	
		DETAILS			
		03/04 10:00:19	Recon.Scanning	45.32.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:00:22	Recon.Scanning	90.63.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:00:23	Recon.Scanning	218.24.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:00:23	Recon.Scanning	87.91.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:00:24	Recon.Scanning	198.44.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:00:32	Recon.Scanning	198.44.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:00:39	Recon.Scanning	195.113.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:00:42	Recon.Scanning	79.86.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:00:47	Recon.Scanning	176.190.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:01:07	Recon.Scanning	198.44.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:01:20	Recon.Scanning	86.235.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:01:23	Recon.Scanning	90.18.14.14	Vertical scan using TCP SYN
		03/04 10:01:24	Recon.Scanning	86.242.14.14	Vertical scan using TCP SYN

Obrázek D.2: Výpis nalezených událostí.

Event Details

CreateTime: 2016/03/04 10:02:52

Source: tcp

IP4: 78.128.12.14

ID: dd733bc5-ef9a-4e1a-8363-227eb5736be8

Description: Vertical scan using TCP SYN

Node: Flow

Type: Statistical

Name: cz.cesnet.nemea.vportscan

AggrWin: 00:10:00

SW: Nemea

vportscan_detector

ConnCount: 50

EventTime: 2016/03/04 9:46:03

Category: Recon.Scanning

Format: IDEA0

CeaseTime: 2016/03/04 10:00:14

Target: tcp

IP4: 92.128.12.14

DetectTime: 2016/03/04 10:00:14

Plain data

```
[{"CreateTime": "2016-03-04T09:02:52Z", "Source": [{"Proto": "tcp", "IP4": "78.128.12.14"}], "ID": "dd733bc5-ef9a-4e1a-8363-227eb5736be8", "Description": "Vertical scan using TCP SYN", "Node": [{"Type": "Flow", "Statistical": {"Name": "cz.cesnet.nemea.vportscan", "AggrWin": "00:10:00", "SW": "Nemea", "vportscan_detector": true, "ConnCount": 50, "EventTime": "2016-03-04T08:46:03Z", "Category": "Recon.Scanning", "Format": "IDEA0", "CeaseTime": "2016-03-04T09:00:14Z", "Target": [{"Proto": "tcp", "IP4": "92.128.12.14"}], "DetectTime": "2016-03-04T09:00:14Z"}]}
```

Map

Map

Satellite

ip: 78.128.12.14

country_code: CZ

country_name: Czech Republic

region_code: PR

region_name: Hlavní mesto Praha

city: Prague

zip_code: 130 00

time_zone: Europe/Prague

latitude: 50.0833

longitude: 14.4667

metro_code: 0

type: Source

\$ShashKey: object:41

ip: 92.128.12.14

country_code: FR

country_name: France

region_code: J

region_name: Île-de-France

city: Paris

zip_code: 75001

time_zone: Europe/Paris

latitude: 48.8592

longitude: 2.3417

metro_code: 0

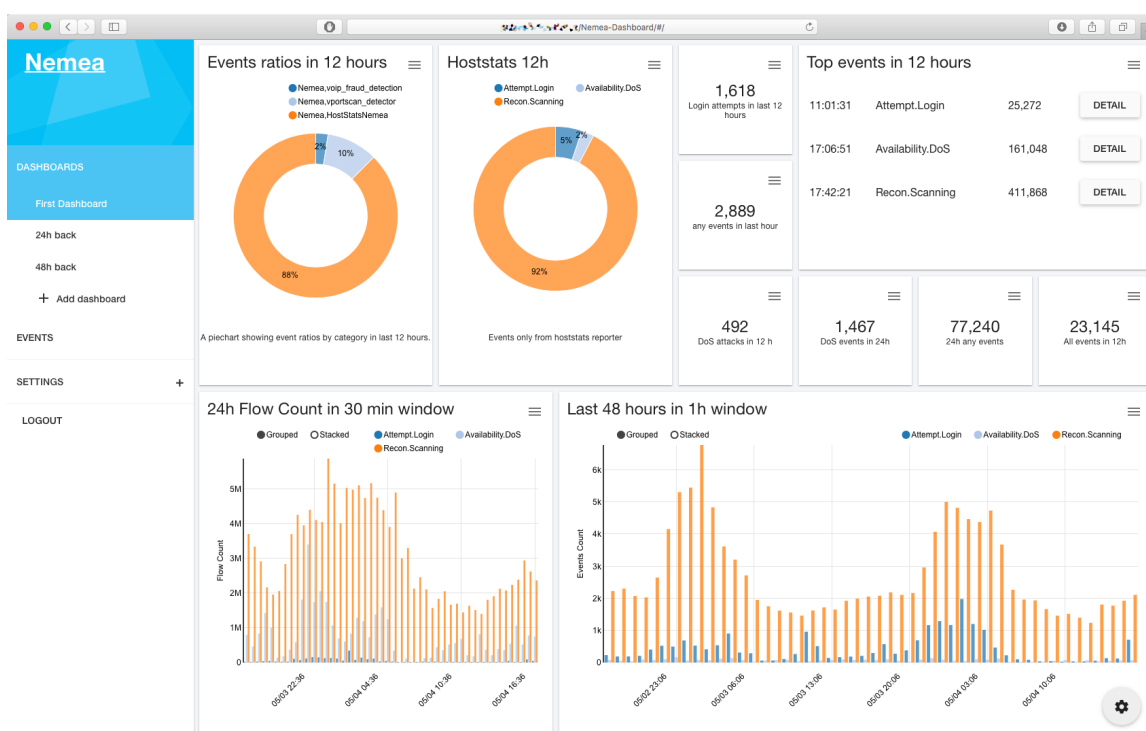
type: Target

\$ShashKey: object:50

Obrázek D.3: Detail události.

Příloha E

Snímky uživatelské strany po prvním kole testů



Obrázek E.1: Úvodní obrazovka s přednastavenými boxy.

Nemea

DASHBOARDS

First Dashboard

24h back

48h back

+ Add dashboard

EVENTS

SETTINGS +

LOGOUT

4 May 2016

Time from 7:14 To 13:00

Category

Description vertical

Limit 5

Order by DetectTime

Direction: Descending

Source IP

Destination IP

LOAD

RESET

Event Time	Category	Source	Target	Description	Flows
Filter fetched events	Filter by category	Filter by IP	Filter by IP	Filter by description	Min Max
05/04 19:01:27	Recon.Scanning	75.156.15.12	158.195.15.12	Vertical scan using TCP SYN	50
<div> <div>Detect Time: 2016/05/04 19:01:27</div> <div>Event Time: 2016/05/04 18:14:44</div> <div>Cease Time: 2016/05/04 19:01:27</div> </div> <div> <div>Category: Recon.Scanning</div> <div>Description: Vertical scan using TCP SYN</div> </div> <div> <div>Source: 75.156.15.12 tcp</div> <div>Target: 158.195.15.12 tcp</div> <div>Flow count: 50</div> </div> <div> <div>SOURCE IP</div> <div>TARGET IP</div> <div>DETAILS</div> </div>					
05/04 19:01:05	Recon.Scanning	198.44.4.4	195.178.15.12	Vertical scan using TCP SYN	100
05/04 19:00:33	Recon.Scanning	212.158.14.12	147.231.15.12	Vertical scan using TCP SYN	50
05/04 18:59:33	Recon.Scanning	198.44.4.4	195.178.15.12	Vertical scan using TCP SYN	150
05/04 18:59:09	Recon.Scanning	195.229.15.12	195.113.15.12	Vertical scan using TCP SYN	50

LOAD NEXT 100 ITEMS (2.29% REMAINING)

Obrázek E.2: Výpis nalezených událostí.

Nemea

DASHBOARDS

First Dashboard

24h back

48h back

+ Add dashboard

EVENTS

SETTINGS +

LOGOUT

< Event Details

ID: 9305a458-bc92-4fc2-b872-530b552def16

Target:

IP4: 195.178.1.1

Proto: tcp

DetectTime: 2016/05/05 12:01:36

CeaseTime: 2016/05/05 12:01:36

FlowCount: 100

Category: Recon.Scanning

CreateTime: 2016/05/05 12:03:04

Node:

AggrWin: 00:10:00

SW: Nemea

vportscan_detector

Type: Flow

Statistical

Name: cz.cesnet.nemea.vportscan

EventTime: 2016/05/05 11:48:26

Source:

IP4: 198.44.1.1

Proto: tcp

Format: IDEA0

Description: Vertical scan using TCP SYN

Plain data

HIDE PLAIN DATA

```
{
  "ID": "9305a458-bc92-4fc2-b872-530b552def16",
  "Target": {
    "IP4": "195.178.1.1",
    "Proto": "tcp"
  },
  "DetectTime": "2016-05-05T10:01:36Z",
  "CeaseTime": "2016-05-05T10:01:36Z",
  "FlowCount": 100,
  "Category": "Recon.Scanning",
  "CreateTime": "2016-05-05T10:03:04Z",
  "Node": {
    "AggrWin": "00:10:00",
    "SW": "Nemea",
    "vportscan_detector": true,
    "Type": "Flow",
    "Statistical": true,
    "Name": "cz.cesnet.nemea.vportscan"
  },
  "EventTime": "2016-05-05T09:48:26Z",
  "Source": {
    "IP4": "198.44.1.1",
    "Proto": "tcp"
  },
  "Format": "IDEA0",
  "Description": "Vertical scan using TCP SYN"
}
```

Map Satellite

ip: 195.178.1.1

country_code: CZ

country_name: Czech Republic

region_code: ZL

region_name: Zlín

city: Zlín

zip_code: 760 01

time_zone: Europe/Prague

latitude: 49.2167

longitude: 17.6667

metro_code: 0

type: Target

\$ShashKey: object:62

ip: 198.44.1.1

country_code: US

country_name: United States

region_code: OK

region_name: Oklahoma

city: Tulsa

zip_code: 74103

time_zone: America/Chicago

latitude: 36.1554

longitude: -95.9939

metro_code: 671

type: Source

\$ShashKey: object:68

Obrázek E.3: Detail události.

47

Příloha F

Obsah DVD

Na DVD se v kořenovém adresáři nachází následující soubory a složky:

`README.txt` popis obsahu DVD.

`src/` adresář se zdrojovými soubory vytvořené aplikace NEMEA Dashboard.

`doc/` adresář se zdrojovými kódy této práce.

`disk/` adresář s obrazem virtuálního počítače s předinstalovaným systémem NEMEA a aplikací NEMEA Dashboard včetně demonstračních anonymizovaných událostí v databázi MongoDB.