

Sytém pro onboarding ESP boardů

Radim Vališ

Obsah

1	Základní informace.....	3
1.1	Cíl projektu.....	3
1.2	Použité technologie.....	3
2	Stručný popis projektu.....	3
2.1	Základní části.....	3
2.2	Hlavní funkce.....	3
2.3	Příklad použití.....	3
2.4	Cíloví uživatelé.....	4
2.5	Cílová platforma.....	4
3	Návrh architektury.....	4
3.1	ESP-IDF komponenta.....	4
3.2	Zaváděcí aplikace.....	4
3.3	Webová aplikace.....	5
3.3.1	Backend.....	5
3.3.1.1	API server.....	5
3.3.1.2	Databáze.....	5
3.3.1.3	MQTT broker.....	7
3.3.2	Frontend – společné obrazovky.....	7
3.3.2.1	Přihlášení a registrace.....	7
3.3.3	Frontend – obrazovky developera.....	8
3.3.3.1	Seznam uploadovaných firmwarů.....	8
3.3.3.2	Detail firmwaru.....	8
3.3.3.3	Upload firmwaru.....	9
3.3.4	Frontend – obrazovky uživatele boardu.....	9
3.3.4.1	Seznam boardů.....	9
3.3.4.2	Detail boardu.....	10
3.3.4.3	Registrace boardu.....	12
3.3.4.4	Flash boardu.....	12
4	Procesy.....	13
4.1	Procesy developera.....	13
4.1.1	Upload firmwaru.....	13
4.1.2	Update firmwaru.....	13
4.1.3	Smazání firmwaru.....	14
4.2	Procesy uživatele boardu.....	14
4.2.1	Registrace boardu.....	14
4.2.2	Smazání boardu ze systému.....	15
4.2.3	Flash boardu.....	15
4.2.4	Update firmwaru nahraného v boardu.....	15
4.2.5	Přepnutí boardu do zaváděcí aplikace.....	16

1 Základní informace

1.1 Cíl projektu

Cílem projektu bude vytvořit systém umožňující snadný onboarding ESP boardů.

1.2 Použité technologie

- jazyk C a ESP-IDF (zaváděcí aplikace a komponenta pro komunikaci s webovou aplikací)
- JavaScript a jeho balíčky/frameworky (webová aplikace)
- MQTT
- databáze
- Docker (pro snadné nasazení webové aplikace)

2 Stručný popis projektu

2.1 Základní části

Projekt bude složen z těchto hlavních částí:

- ESP-IDF komponenta umožňující čtení dat, která nejsou v době psaní firmwaru ještě známy
- zaváděcí firmware pro provádění OTA updatů
- webová aplikace pro management boardů, firmwarů a konfiguračních souborů

2.2 Hlavní funkce

- registrace boardu do systému
- upload firmwaru a konfiguračního souboru do systému
- nahrání firmwaru a konfiguračního souboru ze systému do boardu prostřednictvím technologie OTA

2.3 Příklad použití

Developer **D** vytvoří firmware, který měří okolní teplotu a následně tato měření odesílá na jeho webový server pro další zpracování. Aby mohli jeho firmware na svých boardech používat i ostatní, použije při programování ESP-IDF komponentu z tohoto projektu, která mu umožní vytvořit a zkompileovat firmware, který používá user-specific data, např. SSID, heslo, přihlašovací údaje k jeho webovému serveru, ... Následně vytvoří konfigurační soubor v předepsaném formátu, který bude sloužit jako zdroj user-specific dat pro daný firmware. Nakonec nahraje zkompileovaný firmware s konfiguračním souborem do systému prostřednictvím webového rozhraní a odešle uživateli **U** ID jeho firmwaru. Uživatel **U** se přihlásí do aplikace, připojí přes USB kabel board k počítači a kliknutím tlačítka zahájí automatickou registraci a konfiguraci svého boardu. Následně přes vyhledávací pole uvnitř aplikace vyhledá pomocí obdrženého ID cílový firmware. Vyplní zde konfigurační soubor, zvolí jeden ze svých zaregistrovaných boardů a klikne na tlačítko, které provede OTA update.

2.4 Cíloví uživatelé

Typickými uživateli (developery) budou programátoři se znalostí ESP-IDF frameworku. Uživatelé (uživatelé firmwaru) budou běžní lidé vlastníci ESP boardy. Těmto uživatelům budou pro používání aplikace stačit pouze základní technické dovednosti (znalost programování nebude třeba).

2.5 Cílová platforma

Webová aplikace se bude nasazovat pomocí nástroje Docker, což zajistí její nezávislost na konkrétní platformě. Komponenta pro komunikaci s webovou aplikací bude závislá na ESP-IDF, který je ovšem dostupný na všech hlavních operačních systémech.

3 Návrh architektury

3.1 ESP-IDF komponenta

Tato komponenta bude vývojáři firmwaru umožňovat čtení konfiguračních dat, která jsou specifická pro každého koncového uživatele firmwaru. Dalším úkolem komponenty bude udržovat spojení s backendem webové aplikace a díky tomu provádět reboot do factory app v případě, že od backendu obdrží informaci o nové verzi firmwaru.

Firmware využívající tuto komponentu bude nahrán v nějaké OTA partition. Pro správné fungování bude dále nutné, aby ve factory partition byla nahrána zaváděcí aplikace.

Komponenta bude rovněž předpokládat, že flash paměť obsahuje nějakou data partition s nahreným konfiguračním souborem. Nabízí se pro tuto partition použít [SPIFFS](#), pro nějž ESP-IDF nabízí jednoduché API.

Kód komponenty poběží v samostatném tasku, aby neblokovala hlavní aplikaci. Bude tedy potřeba komponentu inicializovat z hlavní aplikace.

Při inicializaci si komponenta načte konfigurační soubor, naparsuje jeho data a ta uloží do nějaké datové struktury, aby nebyla nucena tento soubor opakovaně otevírat. Jelikož není velikost konfiguračního souboru shora omezena a jelikož jazyk C nenabízí žádné pokročilé datové struktury, budou konfigurační data uložena ve spojovém seznamu. Sofistikovanější ukládání dat (např. do hešovací tabulky, vyhledávacího stromu) nebude potřeba, jelikož dat nebude mnoho (konfigurační soubor bude muset psát developer manuálně). Každý uzel seznamu bude obsahovat strukturu s minimálně těmito dvěma fieldy: *key* (název položky), *value* (hodnota položky).

Veřejné API této komponenty se bude podobat těm API, které mají asociační pole v jiných programovacích jazycích. Data uložená v komponentě ovšem nebude možné při běhu modifikovat, jelikož to dělá pouze uživatel ve webovém rozhraní před nahráním do boardu.

Na pozadí bude komponenta propojena s backendem a čekat na jeho případnou zprávu o novém firmwaru. Komunikace bude probíhat přes MQTT protokol, který umožňuje oboustrannou komunikaci a byl konstruován pro IoT aplikace.

3.2 Zaváděcí aplikace

Tento firmware bude nahrán ve factory partition a jeho hlavním úkolem bude provádět OTA updaty. Přes MQTT bude připojen k backendu a bude čekat, dokud nezíská URLs, na kterých je dostupný nový firmware a jeho konfigurační soubor. Jako první se stáhne firmware do jedné z OTA

partitons. Bude-li se nahrávat zcela nová aplikace, stáhne si komponenta ještě navíc vyplněný konfigurační soubor a uloží jej do vyhrazené data partition. Pokud obě fáze proběhnou úspěšně, označí se nový firmware jako startovací aplikace a následně se provede restart. Pokud během instalace nastane chyba, bude o tom informován server a instalace bude zrušena.

Flashování zaváděcí aplikace bude probíhat v rámci registrace boardu, která se bude spouštět přímo z webové aplikace. Během této doby bude proto nutné, aby měl uživatel svůj board přes USB kabel připojen k počítači. Pro „online“ flashování bude aplikace využívat knihovnu [esptool-js](#), která je založena na [Web Serial API](#).

Vedle flashování zaváděcí aplikace bude probíhat i konfigurace boardu. Konfigurace bude zahrnovat nastavení partiton table (alespoň 1 data partiton a alespoň 2 OTA partitions). Dále bude nutné nějak dostat do boardu jeho ID a parametry pro připojení k Wi-Fi. Jedním z možných způsobů je během registrace boardu na backendu vygenerovat [NVS image](#) / [SPIFFS image](#) s uloženými daty a ten naflashovat do [NVS partition](#) / [SPIFFS partition](#).

Ta část webové aplikace, která bude provádět konfiguraci a flashování zaváděcí aplikace, bude inspirována aplikací [ESP Tool](#).

3.3 Webová aplikace

Typická instance webové aplikace bude obsluhovat maximálně nižší desítky uživatelů, jelikož je cílena na domácí použití. Proto aplikace nebude optimalizována na masovější použití. Webová aplikace se bude skládat z backend a frontend části.

3.3.1 Backend

Backend bude složen z následujících komponent.

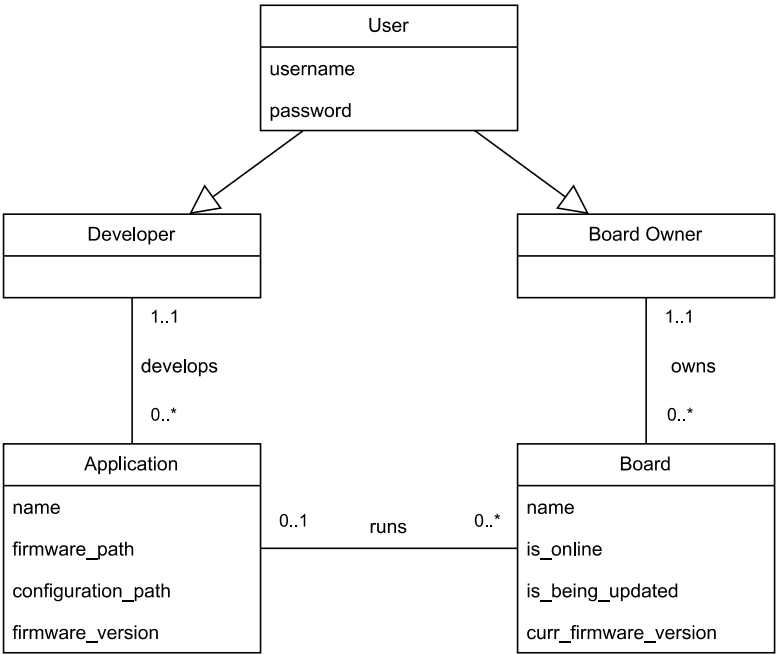
3.3.1.1 API server

Hlavní přístupový bod backendu. Bude implementovat REST API.

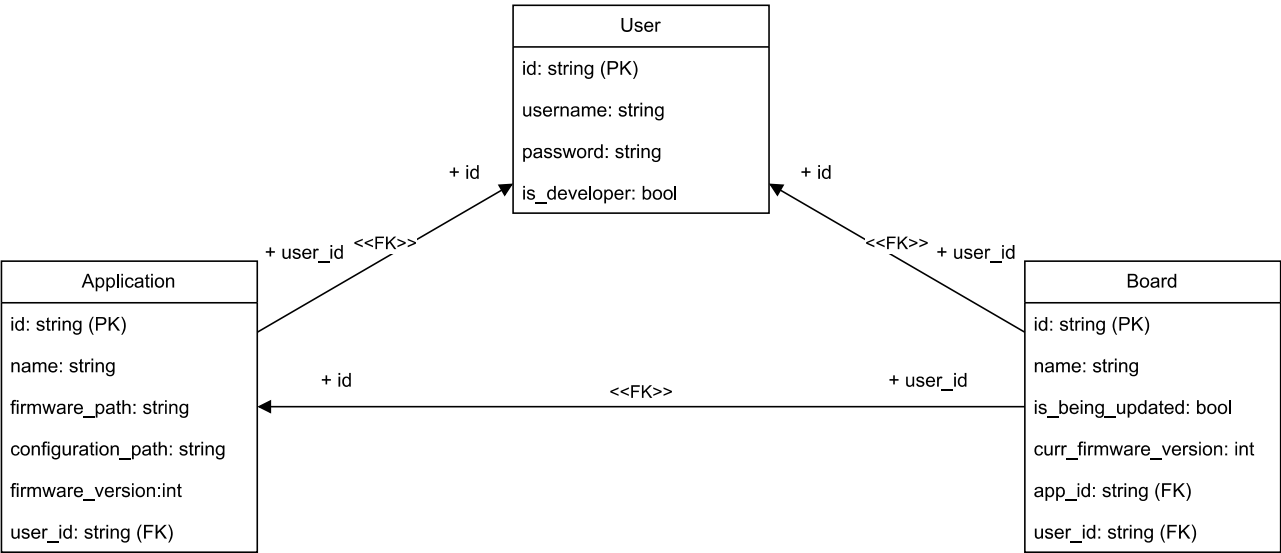
3.3.1.2 Databáze

Aplikace bude muset spravovat data týkající se uživatelů, boardů a firmwarů. Data prvních dvou zmíněných skupin bude stačit ukládat v relační databázi. Do databáze se budou rovněž ukládat základní metadata uploadovaných firmwarů. Samotné binární soubory a k nim příslušné konfigurační soubory se budou ukládat na souborovém systému serveru.

Konceptuální schéma jednotlivých entit bude vypadat zhruba takto:



Logické schéma vycházející z konceptuálního modelu bude vypadat takto:



3.3.1.3 MQTT broker

Součástí backendu musí být i MQTT broker (např. [Mosquitto](#)), jelikož komunikace mezi backendem a dodanou komponentou bude probíhat přes MQTT protokol.

3.3.2 Frontend – společné obrazovky

Následující obrazovky budou společné pro developery i běžné uživatele.

3.3.2.1 Přihlášení a registrace

Po otevření aplikace v prohlížeči se uživateli zobrazí přihlašovací obrazovka. Po zadání uživatelského jména a hesla se bude moci přihlásit. Další možností bude se prostřednictvím navigačního panelu přepnout na registraci a založit si účet. Po úspěšné registraci bude uživatel i rovnou přihlášen. K Autentikaci a autorizaci se bude využívat [JWT](#).

The screenshot shows the 'Log In' interface of the 'ESP Manager' application. The header bar is blue with 'ESP Manager' on the left and 'Log In' and 'Register' links on the right. The main content area is light gray. In the center, there is a white rounded rectangle containing the title 'Log In' in bold. Below the title are two input fields: 'Username' and 'Password'. At the bottom of this rectangle is a blue button labeled 'Log In'.

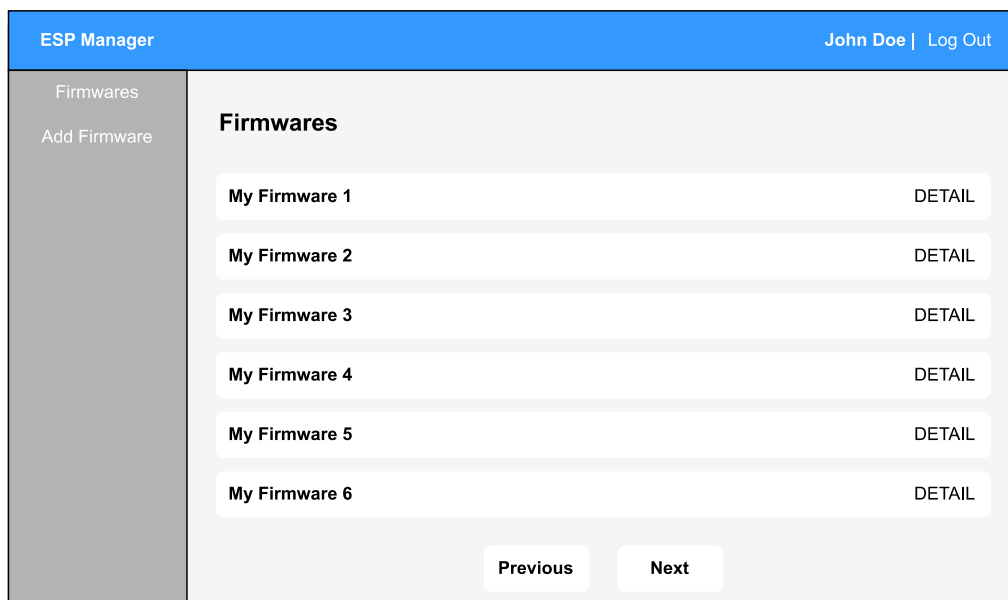
The screenshot shows the 'Register' interface of the 'ESP Manager' application. The header bar is blue with 'ESP Manager' on the left and 'Log In' and 'Register' links on the right. The main content area is light gray. In the center, there is a white rounded rectangle containing the title 'Register' in bold. Below the title are two buttons: 'Board User' and 'Developer'. Below these are two input fields: 'Username' and 'Password'. At the bottom of this rectangle is a blue button labeled 'Register'.

3.3.3 Frontend – obrazovky developera

Developerský účet bude mít přístup k těmto obrazovkám.

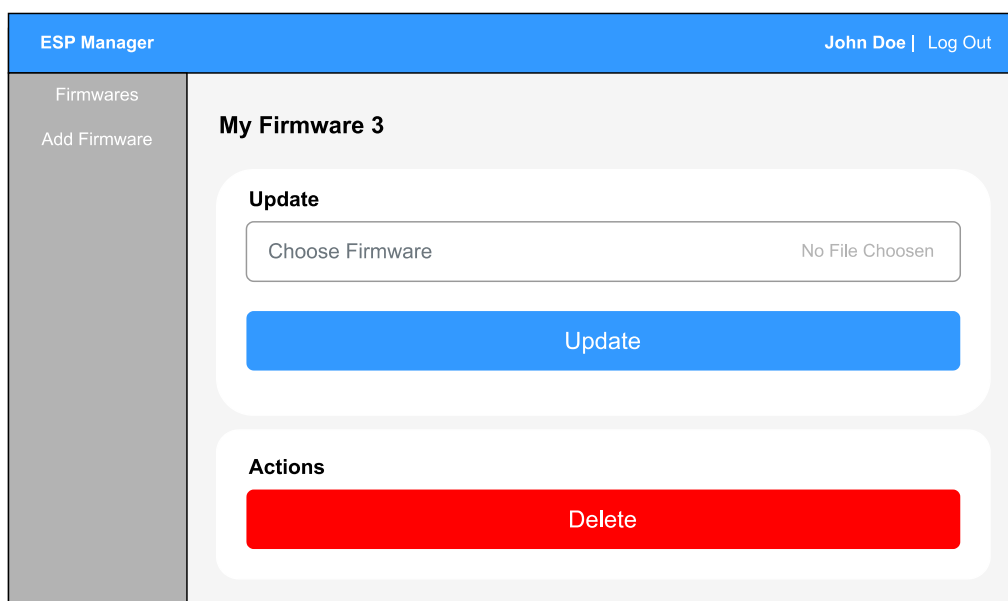
3.3.3.1 Seznam uploadovaných firmwarů

Zde developer uvidí seznam všech aplikací, které do systému nahrál. Ze seznamu firmwarů se bude možné dostat na detaily jednotlivých firmwarů (např. kliknutím na tlačítko, kliknutím na kartu reprezentující daný firmware, ...). Obrazovka bude případně nabízet ovládací prvky umožňující přehlednější zobrazení (např. stránkování, filtrování podle názvu, ...).



3.3.3.2 Detail firmwaru

Developer uvidí základní informace o daném firmwaru. Dále bude mít možnost nahrát jeho novou verzi. K dispozici budou případně i další funkcionality (např. smazání firmwaru).



3.3.3.3 Upload firmwaru

Developer nahraje přes file input svůj firmware a konfigurační soubor. Dále zvolí název své aplikace a celou operaci potvrdí tlačítkem, které provede upload všech dat na server.

The screenshot shows the 'ESP Manager' application interface. The top navigation bar is blue with 'ESP Manager' on the left and 'John Doe | Log Out' on the right. A left sidebar contains 'Firmwares' and 'Add Firmware'. The main content area is titled 'Add Firmware' and contains a form with the following elements: a text input for 'Firmware Name', a file selection button 'Choose Firmware' with the text 'No File Chosen' next to it, a file selection button 'Choose Configuration' with the text 'No File Chosen' next to it, and a large blue 'Upload' button at the bottom.

3.3.4 Frontend – obrazovky uživatele boardu

Běžní uživatelé uvidí tyto obrazovky.

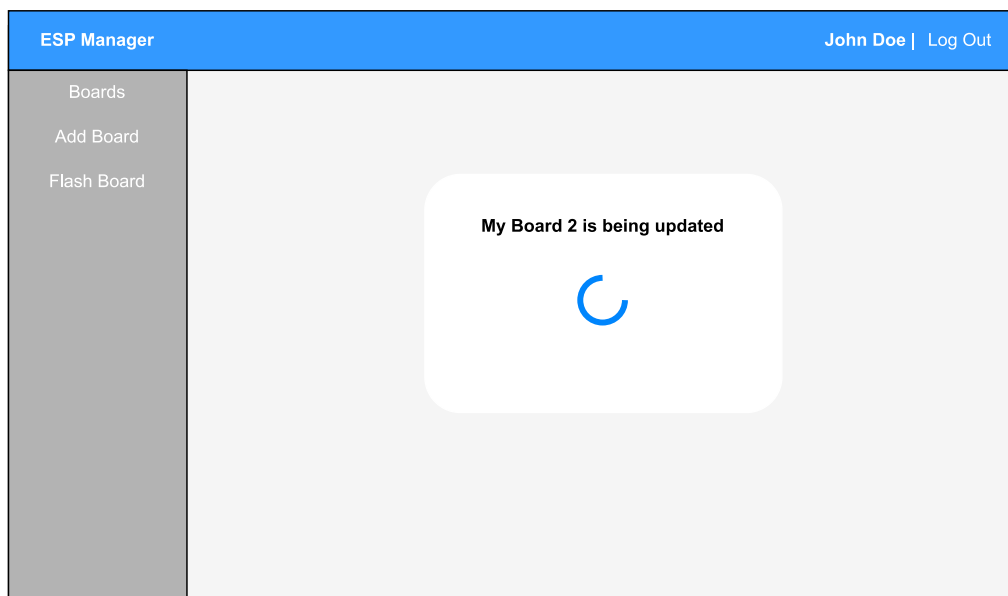
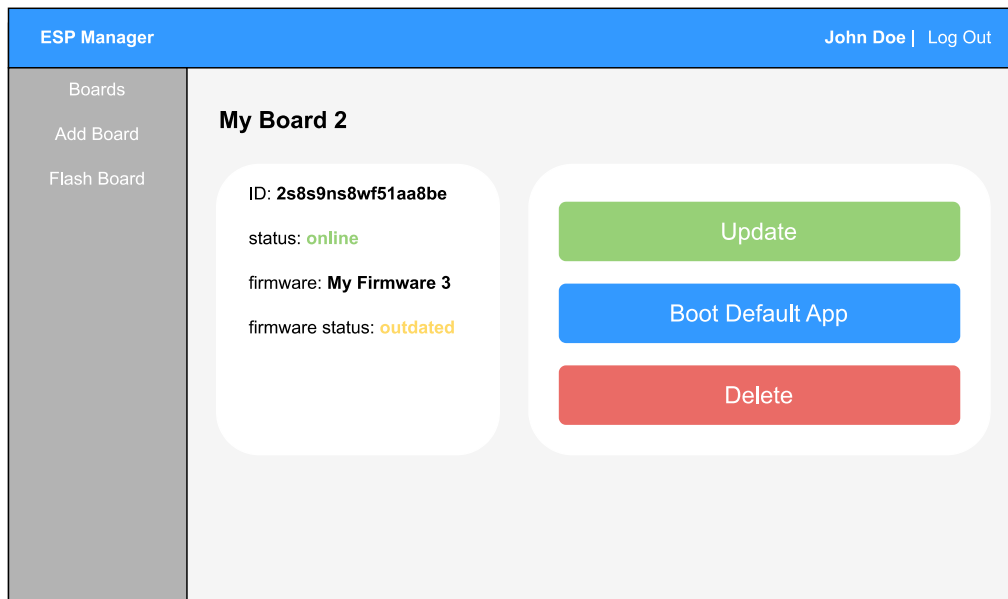
3.3.4.1 Seznam boardů

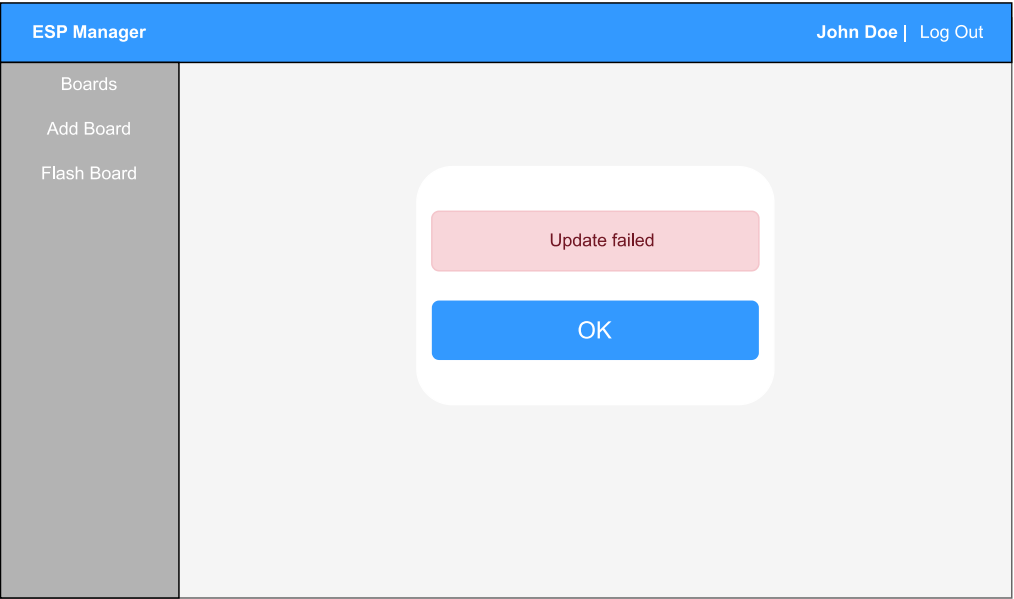
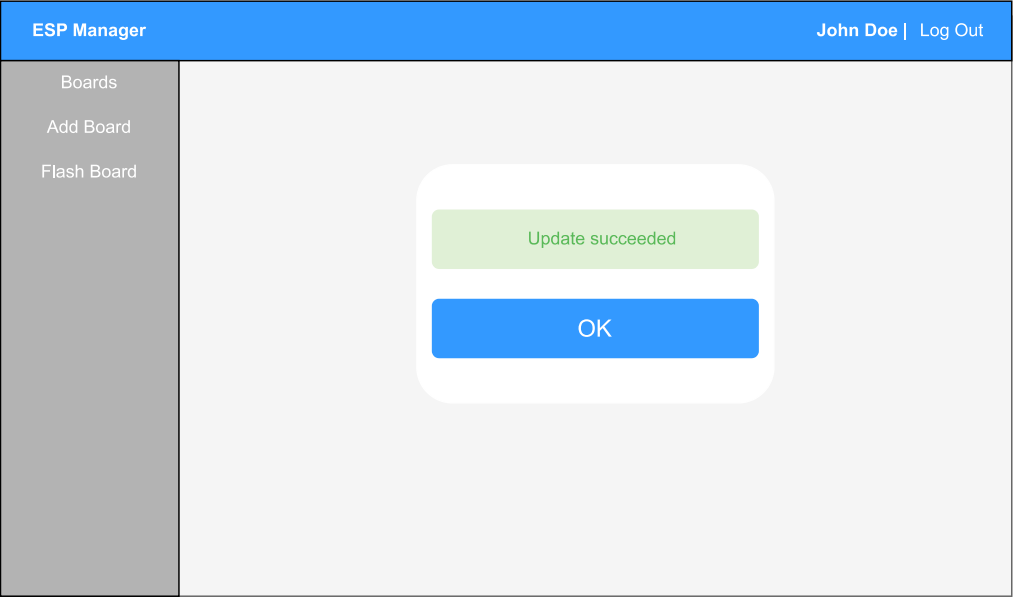
Uživatel uvidí v přehledné formě seznam všech svých boardů, které do systému zaregistroval. Pro každý board uvidí alespoň jeho název a status *up to date/outdated*. Opět bude možné se prokliknout na detaily jednotlivých boardů.

The screenshot shows the 'ESP Manager' application interface for the 'Boards' section. The top navigation bar is blue with 'ESP Manager' on the left and 'John Doe | Log Out' on the right. A left sidebar contains 'Boards', 'Add Board', and 'Flash Board'. The main content area is titled 'Boards' and features a 'Search Device' input field at the top right. Below this, there is a grid of six board cards. Each card displays a board name and a status indicator: 'My Board 1' (green circle, 'up to date'), 'My Board 2' (yellow circle, 'outdated'), 'My Board 3' (green circle, 'up to date'), 'My Board 4' (yellow circle, 'outdated'), 'My Board 5' (green circle, 'up to date'), and 'My Board 6' (green circle, 'up to date'). At the bottom of the grid are 'Previous' and 'Next' navigation buttons.

3.3.4.2 Detail boardu

Tento pohled bude poskytovat základní informace o zvoleném boardu - název, ID. Dále uživatel uvidí, zdali je jeho board ve spojení se serverem a zdali je firmware nahraný na boardu aktuální. Bude-li update k dispozici, uživatel ho bude moci provést stisknutím tlačítka *Update*. Možnost updatu bude samozřejmě taktéž závislá na tom, zdali bude board online. Dalšími možnostmi budou přepnutí boardu zpět do zaváděcího firmwaru a jeho celkové odebrání ze systému.





3.3.4.3 Registrace boardu

Uživatel si vymyslí název svého boardu, zvolí baud rate a klikne na tlačítko, které nakonfiguruje board a naflashuje do něj zaváděcí aplikaci.

The screenshot shows the 'ESP Manager' web interface. The top navigation bar is blue with 'ESP Manager' on the left and 'John Doe | Log Out' on the right. A left sidebar contains three links: 'Boards', 'Add Board', and 'Flash Board'. The main content area is titled 'Add Board' and has a red status message 'board disconnected' in the top right corner. Below the title, there is a 'Connect Board' section with a dropdown menu showing '921600' and a blue 'Connect' button. Further down, there are three input fields: 'Board Name', 'Default SSID', and 'Default Password'. At the bottom of this section is a large blue 'Register' button.

3.3.4.4 Flash boardu

Uživatel nejprve zadá ID firmwaru, který si přeje naflashovat. Poté uvidí několik formulářů. Jeden z nich bude obsahovat konfigurační soubor. V jiném formuláři se zase přes drop down menu vybere cílový board. Flashování se zahájí tlačítkem *Flash*.

The screenshot shows the 'ESP Manager' web interface with the 'Flash Board' section selected in the sidebar. The main content area is titled 'Flash Board'. It features a 'Search firmware' section with a text input field labeled 'Firmware ID' and a blue 'Search' button.

The screenshot shows the 'ESP Manager' web interface. At the top, there is a blue header bar with 'ESP Manager' on the left and 'John Doe | Log Out' on the right. A left sidebar contains three links: 'Boards', 'Add Board', and 'Flash Board'. The main content area is titled 'Flash Board' and contains three sections: 1. 'My Firmware 3' with a blue 'Change' button. 2. 'Configuration' with two input fields labeled 'Configuration parameter 1' and 'Configuration parameter 2', and a vertical scrollbar on the right. 3. 'Board' with a blue 'Flash' button and a dropdown menu currently showing 'My Board 1'.

4 Procesy

4.1 Procesy developera

4.1.1 Upload firmwaru

Developer v navigačním panelu klikne na tlačítko *Add firmware*, které jej přesune na stránku s uploadovacím formulářem. Zde si vymyslí název pro svůj firmware a postupně klikne na tlačítka *Choose Firmware* a *Choose Configuration*, které otevřou file manager přes který uživatel zvolí firmware a konfigurační soubor pro upload.

Soubor s firmwarem musí být zkompilevaná aplikace využívající ESP-IDF framework. Konfigurační soubor musí být v požadovaném formátu. Systém nebude během uploadu provádět validaci, proto musí developer sám před uploadem zkontrolovat, že všechny soubory mají správný formát a smysluplný obsah.

Samotný upload následně developer zahájí tlačítkem *Upload*. Pokud se upload zdaří, bude uživatel přesměrován na detail nového firmwaru.

Nebude-li název firmwaru unikátní (myšleno mezi názvy firmwarů daného developera, nikoliv globálně v celé aplikaci), zobrazí se chybová hláška vyzývající developera k volbě jiného názvu. Dojde-li při uploadu k jiné chybě, bude developer taktéž informován prostřednictvím chybové hlášky.

4.1.2 Update firmwaru

Update bude probíhat podobně jako upload, ale tentokrát se bude nahrávat pouze zkompilevaný soubor s novou verzí aplikace, neboť název firmwaru a konfigurační soubor nebude možné měnit.

Update se bude provádět z detailu firmwaru, na který se developer dostane přes jeho seznam firmwarů.

V detailu firmwaru přes file input nahraje novou zkompileovanou verzi firmwaru a klikne na tlačítko *Update*.

Po úspěšném updatu nebude developer přesměrován na jiný pohled. Uživatelé využívající firmware uvidí od tohoto momentu u svých boardů poznámku *outdated*, indikující, že nová verze je k dispozici.

Pokud nastane chyba, bude developer upozorněn chybovou hláškou a firmware se vrátí do předchozí verze.

4.1.3 Smazání firmwaru

Smazáním ztratí developer navždy přístup k danému firmwaru prostřednictvím webové aplikace. Ostatní uživatelé nebudou moci nadále daný firmware naflashovat. Smazání nijak neovlivní boardy, které daný firmware již používají a uživatelé těchto boardů nebudou o smazání informováni.

Umístění tlačítka pro smazání firmwaru bude rozhodnuto až během vývoje. Pokud bude umístěné v detailu firmwaru, pak bude developer po stisknutí přesměrován na jeho seznam firmwarů. Pokud bude umístěné v seznamu firmwarů pro každý firmware zvlášť, pak po stisknutí daný firmware zmizí ze seznamu a developer nebude nikam přesměrován.

V obou případech proběhne smazání ihned, tj. bez zobrazování potvrzovacího dialogu.

4.2 Procesy uživatele boardu

4.2.1 Registrace boardu

Registrace bude celá probíhat přes webovou aplikaci. Aplikace bude využívat pro komunikaci s boardem během jeho registrace knihovnu [esptool-js](#), která je založena na [Web Serial API](#). Toto API momentálně podporují pouze prohlížeče Chrome a Edge, proto nebude v ostatních prohlížečích registrace dostupná a uživatel místo registračního formuláře uvidí jen chybovou zprávu.

Uživatel v navigačním panelu klikne na tlačítko *Add Board*, které jej přesune na stránku s registračním formulářem.

Nejprve bude nutné připojit registrovaný ESP board přes USB kabel k počítači. Dále uživatel nastaví v dropdown menu baud rate a poté klikne na tlačítko *Connect*. Následně se objeví dialogové okno se seznamem dostupných sériových portů. Uživatel označí ten port, ke kterému je připojen jeho board a klikne na *Connect*.

[Web Serial API](#) není v těchto situacích vždy 100%. Někdy se stává, že uživatel v seznamu sériových portů neuvidí ten, ke kterému je jeho board připojen. V takových případech obvykle pomůže board odpojit, zavřít prohlížeč a zkusit to znova.

Pokud se připojení podaří, zpřístupní se druhá část registrace. V opačném případě bude uživatel vhodně informován o chybě a bude muset celý postup zopakovat.

Ve druhé části uživatel vymyslí název svého boardu a vyplní SSID a heslo pro Wi-Fi, ke kterému bude board připojen během té doby, kdy na něm poběží zaváděcí aplikace. Nakonec uživatel vše potvrdí tlačítkem *Register*.

Po zahájení registrace se objeví zpráva o probíhající registraci. Během této doby by uživatel neměl nijak manipulovat s boardem nebo provádět v aplikaci jiné úkony.

Pokud bude i druhá část registrace úspěšná, uživatel bude přesměrován na detail nově vytvořeného boardu. V případě chyby nebude uživatel nikam přesměrován, místo toho bude upozorněn chybovou hláškou a bude muset celou registraci zopakovat.

4.2.2 Smazání boardu ze systému

Smazáním ztratí uživatel kontrolu nad boardem prostřednictvím webové aplikace. Interně však systém pouze odstraní příslušná data z databáze a na samotný board to nebude mít žádný vliv.

Aplikace nebude nijak manipulovat s flash pamětí daného boardu, proto i po odstranění ze systému na něm stále poběží aplikace, která na něm běžela před smazáním.

Umístění tlačítka pro smazání boardu bude stejně jako u mazání firmwaru určeno až během vývoje. Odstranění i v tomto případě proběhne ihned, tj. bez zobrazování potvrzovacího dialogu.

4.2.3 Flash boardu

Na flashovací stránku se uživatel dostane přes tlačítko *Flash Board*, které se bude nacházet v hlavním navigačním panelu.

Předpokladem pro flashování je znát ID firmwaru, které musí uživatel získat od developera daného firmwaru. Uživatel vyplní ID do textového pole a klikne na tlačítko *Search*.

Pokud bude firmware s daným ID existovat, zobrazí se další formuláře. V opačném případě aplikace uživatele upozorní na neexistující ID.

Prostřednictvím prvního formuláře bude uživatel vyplňovat konfigurační soubor k danému firmwaru. Tento formulář bude unikátní pro každý firmware. Pokud dojde k chybě při načítání formuláře, bude uživatel informován chybovou hláškou. V takové situaci nebude možné v uploadu dále pokračovat. Uživatel by měl pak upozornit developera, protože ten zřejmě nahrál nevalidní konfigurační soubor.

V dalším formuláři uživatel přes drop down menu označí cílový board a tlačítkem *Flash* flashování zahájí.

Po zahájení flashování bude uživatel přesměrován na detail daného boardu. Místo klasického zobrazení detailu boardu ale uvidí pouze zprávu, že probíhá flash / update. Po skončení flashování bude zpráva nahrazena zprávou o výsledku flashování a tlačítko, kterým se uživatel vrátí zpět do klasického zobrazení detailu boardu.

Během probíhajícího flashování nebude možné provádět s daným boardem jiné činnosti (začít další flash / update, smazat board, ...). Provádění těchto činností nebude mít žádný efekt, případně se bude zobrazovat vhodná chybová hláška.

Pokud během uploadu nastane chyba, pokusí se board nabootovat zaváděcí aplikaci.

4.2.4 Update firmwaru nahraného v boardu

Update se bude provádět z detailu boardu. Odkaz na detail příslušného boardu uživatel nalezne v seznamu boardů, který si uživatel může zobrazit tlačítkem *Boards* nacházejícího se v navigačním panelu.

Update bude možný je tehdy, když uživatel v detailu boardu uvidí v kolonce *status* hodnotu *online* a v kolonce *firmware status* hodnotu *outdated*. Pak bude moci kliknout na tlačítko *Update*,

které update zahájí. Nebude-li update k dispozici (*firmware status* bude mít hodnotu *up to date*, board bude offline), nebude mít kliknutí na tlačítko *Update* žádný efekt.

Od započatí updatu bude update probíhat stejně jako flash (místo zobrazení detailu boardu pouze zpráva o probíhajícím updatu, ...). Během updatu budou platit pro daný board stejná omezení jako během flashování (nemožnost začít další update, ...).

4.2.5 Přepnutí boardu do zaváděcí aplikace

Přepínání se bude provádět z detailu boardu tlačítkem *Boot Default App*. Pokud na boardu poběží aplikace jiná než ta zaváděcí, nebude možné se na ni po skončení operace přepnout zpět. Uživatel bude muset v takové situaci opětovně provést flash daného firmwaru.

Přepnutí do zaváděcí aplikace operace je forma updatu, proto se bude po zahájení odvíjet stejně jako update.