

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Návrh systému pro řízení rekuperační jednotky pomocí Raspberry Pi
Jan Mrázek

Bakalářská práce
2019

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Mrázek**
Osobní číslo: **I15109**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**
Název tématu: **Návrh systému pro řízení rekuperační jednotky pomocí Raspberry Pi**
Zadávající katedra: **Katedra informačních technologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je návrh a implementace systému pro řízení rekuperační jednotky pomocí Raspberry Pi. Teoretická část bakalářské práce bude věnována aplikacím pro chytré domy se zaměřením na vytápění a nucené větrání s rekuperací tepla. Praktická část práce bude zaměřena na vlastní návrh systému pro řízení rekuperační jednotky pomocí Raspberry Pi. Bude nutné navrhnout správný přístup řízení rekuperační jednotky a následně implementovat software v jazyce JAVA, který bude rekuperační jednotku řídit. Návrh předpokládá i využití takových komponent, které je možné začlenit do hlasových asistentek jako je Google Home či Amazon Echo. Výsledný systém bude testován v reálném provozu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **min 30**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

CHIN, Stephen a James L WEAVER, Raspberry Pi with Java: programming the internet of things (IoT), New York: McGraw-Hill Education, [2016], ISBN 978-0071842013

SCHWARTZ, Marco, Building Smart Homes with Raspberry Pi Zero, New York: Packt Publishing, [2016], ISBN 978-1786466952

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Fikejz, Ph.D.**

Katedra softwarových technologií

Datum zadání bakalářské práce: **31. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2019**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



Ing. Lukáš Čegan, Ph.D.
pověřený vedením katedry

V Pardubicích dne 3. května 2019

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10. 5. 2019

Jan Mrázek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Janu Fikejzovi, Ph.D. který mě přivedl k tak zajímavému zadání a s vypracováním práce mi velice pomohl. Děkuji také své rodině, která mě podporuje po celou dobu mého studia na vysoké škole a umožnila mi věnovat se zejména tomu co mě v životě baví.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá návrhem a implementací systému pro řízení rekuperační jednotky v rodinném domě pomocí mini počítače Raspberry Pi Zero W. V zapojeném systému se také využívá jednotek značky Sonoff, které podporují ovládání pomocí hlasových asistentů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Raspberry Pi, Sonoff, rekuperace, rekuperační jednotky, hlasový asistent.

TITLE

Design of system for management of recuperation unit by Raspberry Pi.

ANNOTATION

This Bachelor's thesis deals with design and implementation of system for control of recuperation unit in family house using minicomputer Raspberry Pi Zero W. In the system are also used component made by company Sonoff, which support usage of voice assistants.

KEY WORDS

Raspberry Pi, Sonoff, recuperation, recuperation unit, voice command assistant.

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam zdrojových kódů	10
Úvod	11
1 Technologie pro moderní bydlení	12
1.1 Chytré domácnosti	14
1.2 Klady a zápory chytrých domácností.....	16
2 Nucené větrání domů	18
2.1 Rozdělení podle tlaku v místnostech	18
2.1.1 Podtlakové větrání	18
2.1.2 Přetlakové větrání	19
2.1.3 Rovnotlakové větrání	19
2.2 Způsoby ohřívání vzduchu.....	20
2.3 Zpětný zisk tepla – rekuperace	20
2.4 Rekuperace v kombinaci s tepelným čerpadlem.....	21
2.4.1 Vytápění.....	22
2.4.2 Chlazení	22
2.4.3 Větrání	22
2.5 Popis řízení rekuperačních jednotek	23
3 Návrh řešení ovládnání rekuperační jednotky – hardwarová část	24
3.1 Požadavky na řízení	24
3.2 Použité komponenty	25
3.2.1 Raspberry Pi.....	25
3.2.2 Sonoff.....	26
3.2.3 Ostatní	27
3.3 Návrh řešení	27
4 Návrh řešení ovládnání rekuperační jednotky – softwarová část	30
4.1 Použité technologie.....	30
4.1.1 Pi4J.....	30
4.1.2 JavaFX	30

4.1.3	Raspbian.....	31
4.1.4	eWeLink.....	31
4.2	Implementace.....	33
4.3	Grafické rozhraní	35
Závěr	37
Seznam Použitých zkratk a symbolů	38
Použitá literatura	39

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Model Pasivní stavby.....	12
Obrázek 2 Druhy geotermálních vrtů.....	13
Obrázek 3 Model chytré domácnosti.	14
Obrázek 4 Schéma rekuperační jednotky	21
Obrázek 5 Rozhraní pro ovládání ROVENTO 220 D	24
Obrázek 6 Raspberry Pi Zero W	25
Obrázek 7 Sonoff 5V	26
Obrázek 8 Hotové řešení	28
Obrázek 9 Schéma zapojení jednotlivých komponent.	29
Obrázek 10 eWeLink úvodní obrazovka.....	31
Obrázek 11 Detailní pohled na zařízení	32
Obrázek 12 Profil uživatele a podporované systémy	32
Obrázek 13 UML diagram použitých tříd.....	33
Obrázek 14 Grafické rozhraní dotykového displeje.....	36

SEZNAM ZDROJOVÝCH KÓDŮ

Zdrojový kód 1 Metoda Start	34
Zdrojový kód 2 Metody pro změnu času	34
Zdrojový kód 3 Klíčové metody v třídě GPIOController	35

ÚVOD

Velikým trendem posledních let je stavba pasivních domů, ty se vyznačují hlavně velmi dobrou tepelnou izolací. Abychom však takové izolace dosáhli je dům téměř neprodyšně uzavřen. To má ovšem za důsledek špatnou cirkulaci vzduchu a hromadění CO₂ v domě. Pokud chceme tomuto jevu zabránit musíme v domě větrat. Pokud však nechceme zbytečně přicházet o teplo z odváděného vzduchu musíme využít takzvané rekuperace tepla. Rekuperační jednotky mají za úkol předat teplo, které by při větrání normálně uniklo z domu nově přiváděnému čerstvému vzduchu. Tímto způsobem větrání se pak razantně snižují náklady na vytápění domu. Ovšem zařízení pro ovládání takových jednotek bývá často buď finančně náročné anebo značně omezené.

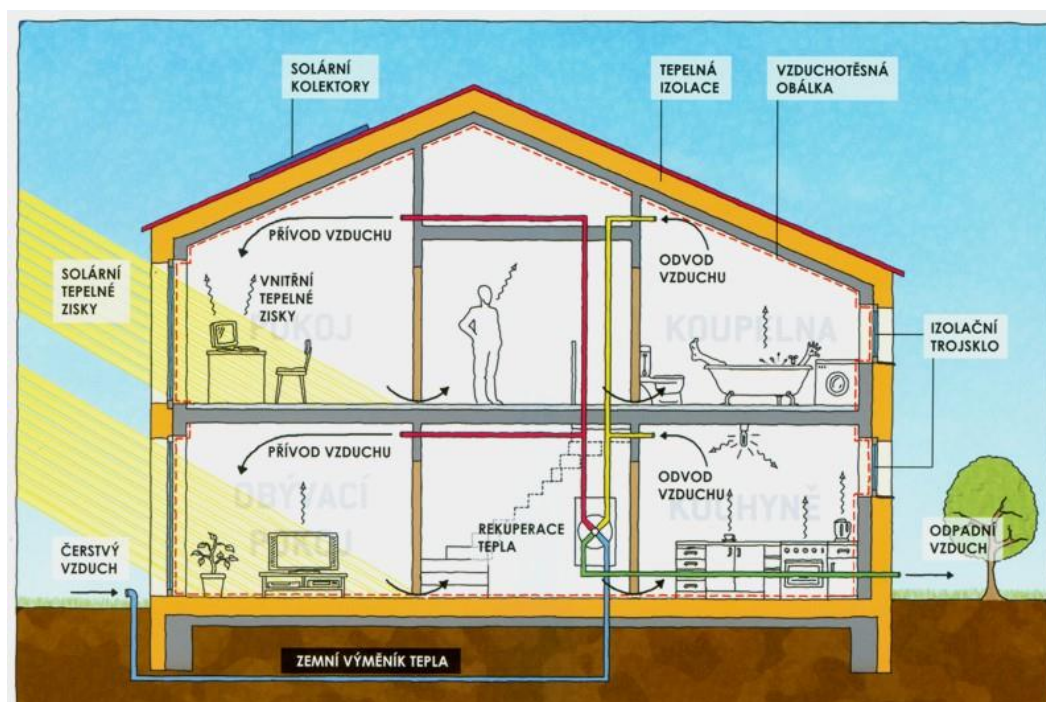
Primárním cílem této bakalářské práce je návrh systému pro ovládání rekuperační jednotky pomocí Raspberry Pi s možnou integrací do chytré domácnosti a hlasovým ovládáním. Systém bude možné nastavit pomocí integrovaného dotykového displeje. Takovéto ovládání rekuperační jednotky je rychlým, vhodným a pohodlným řešením. Přestože existuje celá řada komerčních řešení je snahou této práce vytvořit takové, které bude pro rodinný dům dostačujícím a zároveň finančně dostupným řešením.

Teoretická část je zaměřena na moderní technologie využívané v bydlení, chytré domácnosti a jejich pozitivní i negativní stránky. Druhá kapitola je pak věnována nucenému větrání, rekuperaci tepla a tepelným čerpadlům.

Praktická část práce se zabývá návrhem zařízení pro ovládání rekuperační jednotky jak po stránce hardwarové, tak i softwarové.

1 TECHNOLOGIE PRO MODERNÍ BYDLENÍ

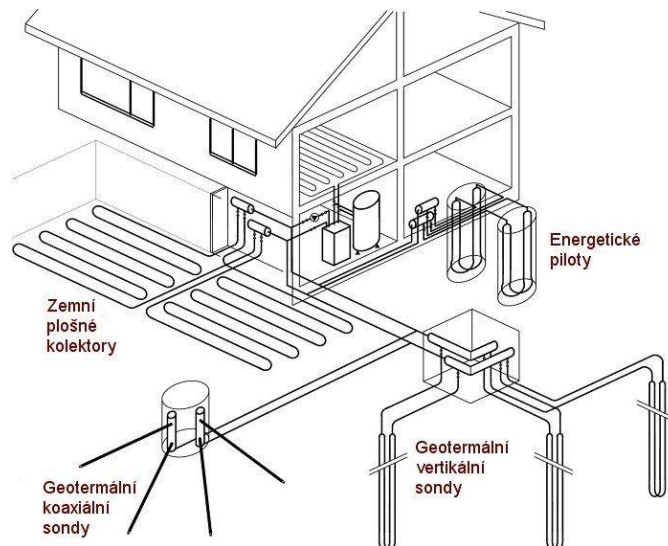
Stavba moderního domu dnes zahrnuje mnoho technologií. Velká část technologií se zabývá snížením finančních nákladů a času na údržbu při zachování komfortu v domě. Komfort v každé domácnosti se odvíjí od čtyř základních vlastností. Vždy snažíme udržet stálou teplotu, vlhkost, kvalitu vzduchu a dostatek světla v takovém poměru, abychom se cítili příjemně a zároveň to bylo ekonomické. S dnešními technologiemi můžeme dosáhnout i téměř energeticky soběstačného domu. Takové domy nejenže tepelnou energii uchovávají, ale hlavně tuto energii přijímají i z okolí.



Obrázek 1 Model Pasivní stavby. Zdroj: [1]

Hlavním druhem takto získávané energie je ta sluneční. Například pokud jižní stranu domu vybavíme co nejvíce prosklenými prvky budou nám sluneční paprsky vytápět v zimním období. Instalaci fotovoltaických panelů v kombinaci s akumulátorem(baterií) pak můžeme pokrýt část spotřeby elektrické energie v domě i v noční době. Pro řízení napájení domu se dále instalují sofistikované systémy, které kontrolují produkci elektřiny a její distribuci v domě [1].

Další oblíbený způsob vytápění, potažmo chlazení domů posledních let je pomocí geotermální energie. V tomto případě využíváme tepelnou energii uloženou v zemi. Ovšem nejedná se o hlubinné vrty s hloubkou okolo pěti kilometrů a teplotou až 200 °C. Technologie využívané pro moderní domy se zabývají pouze nízko potencionálním geotermálním teplem. Pro rodinné domy je možné využít zemní plošné kolektory, energetické piloty nebo geotermální vertikální sondy. Jejich příklady můžeme vidět na Obrázku 2.



Obrázek 2 Druhy geotermálních vrtů. Zdroj: [2]

Tyto zdroje geotermální energie sice nedosahují takových teplot, ale jsou využívány v kombinaci s tepelnými čerpadly. Tepelné čerpadlo pak odebere teplo z prostředí, kde se nashromáždilo (půda, vzduch nebo voda) a to následně předá topnému systému v domě. Množství energie předané tepelným čerpadlem je dnes až čtyřnásobně vyšší než energie na jeho provoz [2].

1.1 Chytré domácnosti

V dnešní době velká část lidí tíhne k chytré elektronice. Máme chytré telefony, chytré hodinky a každý den se dozvíme o novém chytrém zařízení. Proto není divu, že se chytrá elektronika rozšířila i do našich domovů a z nich se tak stávají chytré domácnosti. Ilustrační náhled cytrého domu můžeme vidět na Obrázku 3.



Obrázek 3 Model chytré domácnosti. Zdroj: [3]

Co to ale vlastně taková chytrá domácnost je? Za chytrou domácnost lze považovat takovou, která má elektronické zařízení a bezpečnostní systémy snadno ovládatelné, například stisknutím tlačítka na mobilním telefonu nebo fungující ve spolupráci s ostatními chytrými zařízeními. Počínaje vytápěním až po vysávání robotickým vysavačem vše máte jednoduše pod kontrolou ve vlastní dlaně.

Pomocí chytré domácnosti je možné ovládat téměř celý dům. Jak velkou kontrolu budete mít nad těmito zařízeními záleží hodně na vašem rozpočtu [3].

Jedním ze způsobů, jak vytvořit chytrou domácnost je využití hlasových asistentů. Dnes jsou na trhu nejvíce rozšířené tři hlavní značky. První je Google s centrálním zařízením Google Home, dále Amazon s Amazon Echo a v neposlední řadě Apple s Apple HomePod. Všechny tyto jednotky jsou zároveň vybaveny hlasovým ovládáním, díky kterému je interakce s nimi často ještě jednodušší. Veškeré hlasové povely provádí takzvaní asistenti. Tito asistenti fungují na bázi odeslání záznamu vašeho dotazu do datového centra dané firmy, kde je záznam převeden na text a poté provedena požadovaná akce. Přesto že žádný z nich dosud neumí česky, tak dokáže například Google Assistant rozeznávat jednotlivé hlasy členů rodiny a tím personalizovat výsledek dotazu. Tedy pokud se zeptám „Co mám na dnešek naplánováno?“ dostanu jako odpověď obsah mého kalendáře, a ne někoho jiného z rodiny.

Další, co potřebujete do chytré domácnosti jsou chytrá zařízení např. žárovky. Chytrá žárovka má svoji mobilní aplikaci, tu si musíme nainstalovat do našeho mobilního telefonu. Přes tuto aplikaci se připojí žárovka do naší bezdrátové sítě a následně se i spojí s naší centrální jednotkou. Pokud si takovýchto chytrých žárovek pořídíme více můžeme je například slučovat do různých skupin podle místností, ale také jim přiřazovat různé scénáře například pokud chceme sledovat večerní film v obýváku vybereme námi předefinovaný scénář a světla se ztlumí na 15 % a změní odstín na teplejší.

Podobné scénáře lze mít nastavené i pro více zařízení dohromady. Pokud odcházíme ráno do práce tak necháme vypnout veškeré osvětlení, teplotu v domě snížíme, necháme robotický vysavač, aby nám uklidil. Podobně když víme v kolik hodin se běžně vracíme domů tak necháme vyměnit vzduch v bytě, zvýšíme požadovanou teplotu na 21 °C a při otevření dveří nám zabudovaný asistent pustí naši oblíbenou hudbu.

1.2 Klady a zápory chytrých domácností

Chytré domácnosti mají mnoho výhod i nevýhod. První výhodou může být zlepšení zabezpečení domácnosti. Pokud například máme člena rodiny, který často zapomíná klíče od domu, můžeme nainstalovat na vchodové dveře chytrý zámek. Ten se dá otevřít pomocí vašeho telefonu či hodinek. Navíc budete mít přehled o tom kdo které dveře právě odemkl. Podobně lze dveře například vybavit chytrým zvonkem s kamerou, který vás sám upozorní, pokud se někdo přiblíží k vašemu vchodu, popřípadě udělá snímek osoby, která zvonek použila. Dokonce pokud tuto osobu pojmenujete, tak vám příště oznámí jeho jméno.

Zadruhé vám chytrá domácnost pomůže šetřit energií. Dnešní velké množství elektrických zařízení v domě má bohužel za následek i větší spotřebu elektrické energie. Proto by bylo dobré například sledovat spotřebu jednotlivých zařízení a případně je vypínat, když je nepoužíváme. Chytré zásuvky lze také samozřejmě automaticky vypínat, pokud opustíme dům a předejít tak nebezpečí požáru například od rychlovarné konvice. Podobně ušetříme automatickým vypínáním světel, klimatizace či topení.

Třetí výhodou je údržba. Zařízení může nahlásit nízký stav baterie nebo nutnost provést výměnu součástky a tím předejít snížení výkonnosti přístroje a zároveň zvýšeným nákladům za energii.

Čtvrtou výhodou v pořadí by mohla být jednoduchost použití a přizpůsobitelnost. Většina zařízení v chytré domácnosti lze ovládat z mobilního telefonu nebo i hlasovými povely i s minimálními technickými znalostmi. Navíc získáte mnoho možností, jak jednotlivé prvky domácnosti přizpůsobit.

Pátou a poslední zde zmiňovanou výhodou je zhodnocení nemovitosti. Tím že vaši domácnost proměníte v chytrou získá váš majetek větší hodnotu na trhu s nemovitostmi.

Nyní když jsme se seznámili s hlavními výhodami chytrých domácností měli bychom vědět i o nevýhodách.

Hlavní a zároveň první nevýhodou jsou finanční náklady. Na trhu existuje mnoho společností zabývajících se vybavením pro chytré domácnosti, ale často jsou dost drahé. Proto je zatím množství těchto domácností tak malý.

Druhou nevýhodou je závislost na připojení k internetu. Většina chytrých zařízení nekomunikuje pouze v rámci vnitřní sítě, ale i se servery svých společností. Důvod je prostý, pokud chcete mít svůj systém pod kontrolou, když jste mimo domov musí s vámi vaše domácnost komunikovat přes internet.

Třetí nevýhodou by mohlo být ohrožení vašich osobních údajů a informací. Tím že váš domov je možné kontrolovat odkudkoliv, narůstá i šance zneužití těchto technologií. Na to je vhodné myslet hlavně při výběru routeru jeho nastavení a volbě přihlašovacích údajů do bezdrátové sítě.

Poslední nevýhodou je závislost na profesionálech v případě poruchy. Pokud vám přestane fungovat chytrá pračka, tak vám ji ledajaký opravář praček nezprovozní, ale budete muset zavolat odborníka. Od toho se opět odvíjí i cena za dané služby [4].

2 NUCENÉ VĚTRÁNÍ DOMŮ

Jednou z nejdůležitějších věcí při stavbě moderní ekonomické stavby je její schopnost udržet uvnitř domu konstantní teplotu. To v praxi znamená, zamezit samovolné výměně vzduchu s vnějším prostředím. Pokud ovšem takový dům vzduchově utěsníme a nebudeme větrat, začne nám v domě nebezpečně stoupat hladina CO₂, vlhkost a s ní i počet plísní a bakterií.

Moderní dům dokáže vyměnit vzduch v domě pomocí takzvaného nuceného větrání. To znamená že vzduch je rovnoměrně vyměňován v celém domě, pomocí systému ventilátorů a větracích průduchů.

2.1 Rozdělení podle tlaku v místnostech

V zásadě můžeme pracovat se třemi typy výměny vzduchu rozdělenými podle úrovně tlaku v který vzniká ve vnitřních prostorách domu.

2.1.1 Podtlakové větrání

Tento způsob výměny vzduchu zná prakticky každý z nás. Na toaletách, či v koupelnách se používá malý odtahový ventilátor který v případě potřeby zbaví místnost nežádoucí vlhkosti či zápachu. Do této kategorie patří i kuchyňský digestoř s přímým odtahem vzduchu. V místnosti s takovýmto zařízením vzniká podtlak, pro vyrovnání tlaku je potřeba zajistit přívod vzduchu který je nasáván z okolních prostor. Může se jednat o chodbu či venkovní prostor. Chybějící vzduch je pak přiváděn z okolí mezerami mezi okny a jejich rámy nebo pod křídlem dveří u podlahy. Toto v minulosti fungovalo velice dobře právě díky netěsnostem, kde mezery mohli být i několik milimetrů. Ovšem nedalo se zajistit rozdělení vzduchu pro jednotlivé místnosti. Stačilo lépe zavřít jedno okno a hned se proudění vzduchu v místnostech změnilo. Další nevýhodou bylo že těmito štěrbinami proudil do místnosti vzduch i v době kdy ventilátory stojí a dochází tak k neřízenému větrání. Pokud dojde k rekonstrukci a okna jsou vyměněna za nová která těsní je pak narušen přívod vzduchu do domu. To může vést i ohrožení života, pokud je k vytápění použit plynový kotel. V takovém případě může dojít k přísávání vzduchu přes komínové těleso kotle a spaliny z hoření (převážně CO – oxid uhelnatý) se dostávají do obytných místností. Možným řešením je instalace automatických prvků jako jsou přísávací uzavíratelné otvory. Přiváděný vzduch však není zbaven prachu, je složité ho ohřát a celkově nám vytváří diskomfort podobný tomu před instalací nových oken [5].

2.1.2 Přetlakové větrání

Tento typ větrání není příliš běžným řešením v bytech, kvůli prostorové náročnosti. Zde nevyužíváme ventilátorů pro odtah vzduchu z koupelen, kuchyní nebo toalet, ale naopak ventilátorem vzduch přivádíme do obytných místností.

Hlavní výhodou přetlakového větrání je kontrolovaný přívod čerstvého vzduchu, možnost jeho ohřevu a také filtrace. Vzduch pak z objektu uniká netěsnostmi. Takový to systém má své výhody i nevýhody. Pokud chceme například přiváděný vzduch zbavit prachu a pylu pak je toto vhodnějším řešením než podtlakové systémy. Instalováním filtrů na přívodní cestu můžeme dosáhnout velmi dobré kvality vzduchu. Můžeme zvolit filtr například tkaninový, ale i elektrostatický.

Dalším kladem je přiváděný vzduch můžeme ohřívat, a tak lépe kontrolovat teplotu v domě. Důležité je pořadí, v jakém tyto prvky instalujeme. Filtr by měl být před ohřívačem vzduchu, aby nedocházelo k přepalování prachu. Přiváděný vzduch je po vyvedení na chodbu odkud se dále rozšiřuje do ostatních obytných místností. V nich tak vzniká přetlak a vzduch se snaží dostat ven jakoukoli mezerou. Tento teplý a vlhký vzduch se snaží dostat ven netěsnostmi mezi oknem a jejím rámem, kde se ochlazuje a dochází tak ke kondenzaci vlhkosti v odváděném vzduchu. Výsledkem mohou být zamrzlá okna a tvorba plísní. Pro odvedení vlhkého vzduchu z toalet, koupelen a kuchyní se přetlakový systém nehodí. Jistým řešením je přetlakový systém zkombinovat se systémem podtlakovým v místnostech se zvýšenou vlhkostí. Problém ovšem nastává, pokud nedochází k souběžnému běhu obou systémů [6].

2.1.3 Rovnotlakové větrání

Tím se dostáváme k třetímu typu vzduchových systémů, a to jsou rovnotlaké systémy. V zásadě platí, že množství vzduchu, které jeden ventilátor přivede musí druhý ventilátor opět odvést. Tím nám nedochází k pohybu vzduchu netěsnostmi stavby. Velkou výhodou je, že nad vzduchem máme maximální kontrolu a můžeme tím snadno měnit jeho vlastnosti.

V praxi takové zapojení funguje tak že čerstvý vzduch je hnán do pokojů a obytných místností, kde dochází k malému přetlaku oproti ostatním částem interiéru. Odtahový ventilátor naopak vytváří mírný podtlak v ostatních místnostech, kde se tvoří nejvíce nežádoucího vzduchu jako jsou koupelny, kuchyně a toalety. Tímto rozvržením pak dochází k maximální výměně vzduchu s vysokým obsahem Oxidu Uhličitého za vzduch čerstvý [7].

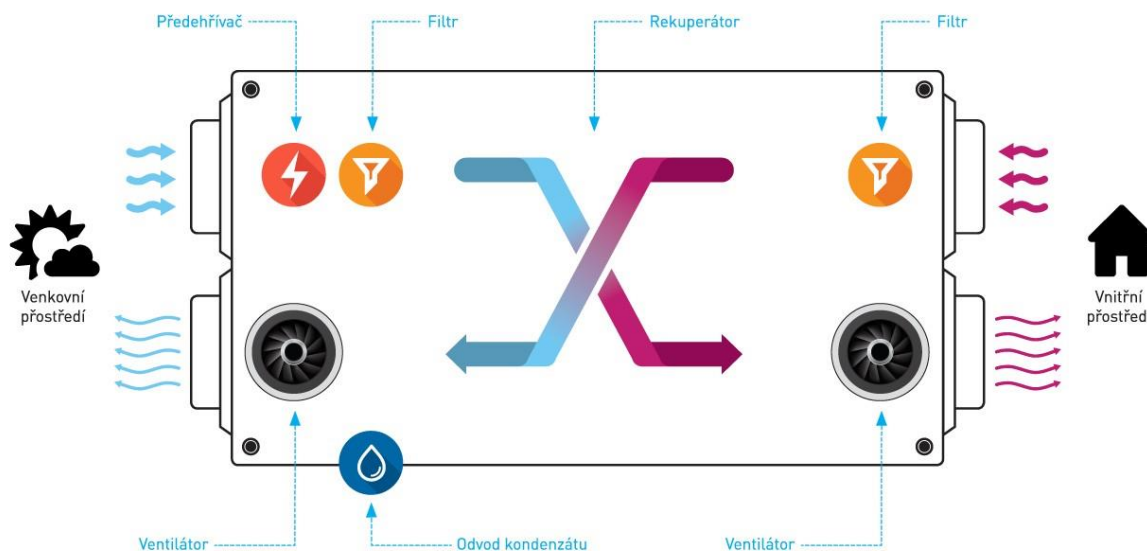
2.2 Způsoby ohřívání vzduchu

Vzduch se dá ohřívát celou řadou způsobů. Jedním z nich je pomocí vodního ohříváče, který se skládá z hliníkových lamel na měděných trubičkách, kterými pak proudí horká voda pod vysokým tlakem. Vzduch procházející těmito lamelami je pak ohříván na požadovanou teplotu. Hlavní nevýhodou je pak nebezpečí zamrznutí těchto jednotek. Ty musí být zapojeny za proti mrazovou ochranou složenou z teplotního čidla a přímého elektrického ohřevu. Dalším z možných způsobů ohřevu je použití vysokoteplotní elektrické spirály s teplotou až 300 °C. Zde ale může docházet k nežádoucímu přesušování prachu ve vzduchu. Proto poslední dobou se se objevují tzv. PTC elektrické články dosahující jejichž teplota je okolo 60 °C.

Takové a podobné systémy jsou poměrně nákladné na provoz. Ovšem v posledních letech se rozmohly systémy na bázi tepelných čerpadel, kde tepelný výkon je několika násobně vyšší než jejich spotřeba elektrické energie. Tepelná čerpadla využívají rozdíl teplot mezi dvěma prostředími k ohřívání čerstvého vzduchu, který přivádíme do domu. Naopak v létě mohou tento vzduch chladit a udržovat tak příjemnější klima v domě [6].

2.3 Zpětný zisk tepla – rekuperace

Jak již je napsáno výše rovnotlakové systémy nám nabízejí velkou kontrolu nad vlastnostmi vzduchu. Při větrání domu může mít vzduch odvětrávaný z koupelny či kuchyně o několikanásobně vyšší teplotu oproti vzduchu přiváděnému z exteriéru. Pro zachování komfortu v domě je potřeba venkovní teplotu vzduchu co nejvíce přiblížit teplotě vzduchu odváděného. Při klasickém ohřevu vzduchu se spotřebováno relativně velké množství energie abychom takových teplot dosáhli. Pokud ovšem využijeme zpětný zisk tepla je možné ušetřit až 94 % energie, kterou bychom na ohřev vzduchu spotřebovali. Takovým zařízením je například rekuperační jednotka.



Obrázek 4 Schéma rekuperační jednotky Zdroj: [8]

V rekuperační jednotce dochází k výměně tepla mezi vstupním a výstupním proudem vzduchu, aniž by docházelo k jejich přímému mísení. Základním prvkem jsou dva křížící se vzduchové proudy, které odděleně procházejí teplosměnnou deskou. Tu si můžeme představit jako soustavu kanálků které jsou na sebe kolmé a zároveň v těsném kontaktu, aby docházelo k maximální výměně tepla. Na obrázku číslo 4 můžeme vidět model vykreslující funkci rekuperační jednotky. Dochází zde k tepelné výměně vzduch-vzduch [9] [10].

2.4 Rekuperace v kombinaci s tepelným čerpadlem

Rekuperační jednotky lze i kombinovat s tepelnými čerpadly. Jak už název napovídá tepelná čerpadla přečerpávají teplo z jednoho prostoru do druhého. V našem případě z venkovního prostředí do zapojeného systému rekuperační jednotky. Pokud tyto dvě zařízení chceme kombinovat budeme využívat tepelného čerpadla vzduch – voda. Předávání tepla zajišťují tři hlavní části. První z nich je výparník, zde dochází k odpařování kapaliny, která je dále stlačena kompresorem. Díky tomu dosahuje teploty až 60 °C. V kondenzátoru pak toto teplo předá topnému okruhu domu a ochlazená kapalina putuje opět do výparníku.

Takový systém může fungovat v třech různých režimech podle okolní teploty [11].

2.4.1 Vytápění

Prvním režimem bude rekuperace tepla tedy vytápění. Provozní teploty se liší podle provedení tepelného čerpadla ve většině případů se nám bude tepelné čerpadlo fungovat do -5 °C některá čerpadla dokáží efektivně fungovat až do -15 °C.

Princip vytápění je obecně následující:

1. Odpadní vzduch prochází přes výměník vzduch – médium, tím je mu odebrána tepelná energie a ochlazený odpadní vzduch putuje ven.
2. Energie nashromážděná v médiu jde do tepelného čerpadla, kde se její energie znásobí.
3. Energie v médiu dále putuje do výměníku vzduch – médium. Zde je předána čistému příchozímu vzduchu ten se ohřeje a putuje dále do vzduchových rozvodů v domě.

2.4.2 Chlazení

Teplotní rozmezí pro provoz tepelného čerpadla v reverzním cyklu je až do 40 °C.

Postup chlazení je pak následující:

1. Čistý venkovní vzduch je přiveden přes prachový filtr až do výměníku, kde je mu tepelná energie odebrána a pak putuje do vzduchových rozvodů v domě.
2. Odebraná energie jde přes tepelné čerpadlo, kde je část energie uvolněna do venkovního prostoru.
3. Zbytek tepelné energie je pak přes druhý výměník předán odpadnímu vzduchu.

2.4.3 Větrání

Režim větrání typicky probíhá, pokud je venkovní vzduch stejné teploty jako je ta požadovaná v domě. Tepelné čerpadlo pak není aktivní a vzduch je pouze filtrován. Typický teplotní rozsah pro větrání je od 16 °C do 22 °C [12].

2.5 Popis řízení rekuperačních jednotek

Významnou částí systému s rekuperační jednotkou je jeho řízení. To se velice liší podle jejich velikosti, množství oddělitelných okruhů, schopnosti řídit vlhkost vzduchu, případně možností kombinace s dalšími topnými systémy. Na řízení tak rozsáhlých větracích systémů je pak zapotřebí, aby tyto systémy uměly nejen fungovat podle předem daného plánu, ale zároveň se automaticky přizpůsobovat. Samozřejmostí je pak centrální ovládání poskytující informace o energetické spotřebě systému. Dalšími schopnostmi bývá vzdálený přístup přes počítač ve stejném rozsahu jako z centrálního ovládání a v neposlední řadě ovládání pomocí chytrých telefonů.

Nejrozsáhlejší systémy pro rekuperační jednotky jsou určené pro tovární haly. Ty musí pracovat s velkým množstvím senzorů pro kontrolu kvality ovzduší a teploty. Spolupracovat s protipožárním systémem, aby v případě požáru došlo k uzavření vzduchových odvodů. Samozřejmostí pak musí být i vysoká úroveň kybernetického zabezpečení, jelikož bez správného odvětrávání je provoz v těchto halách nemožný. Cena takového řídicího systému bývá pak úměrně vysoká rozsahu výrobních hal.

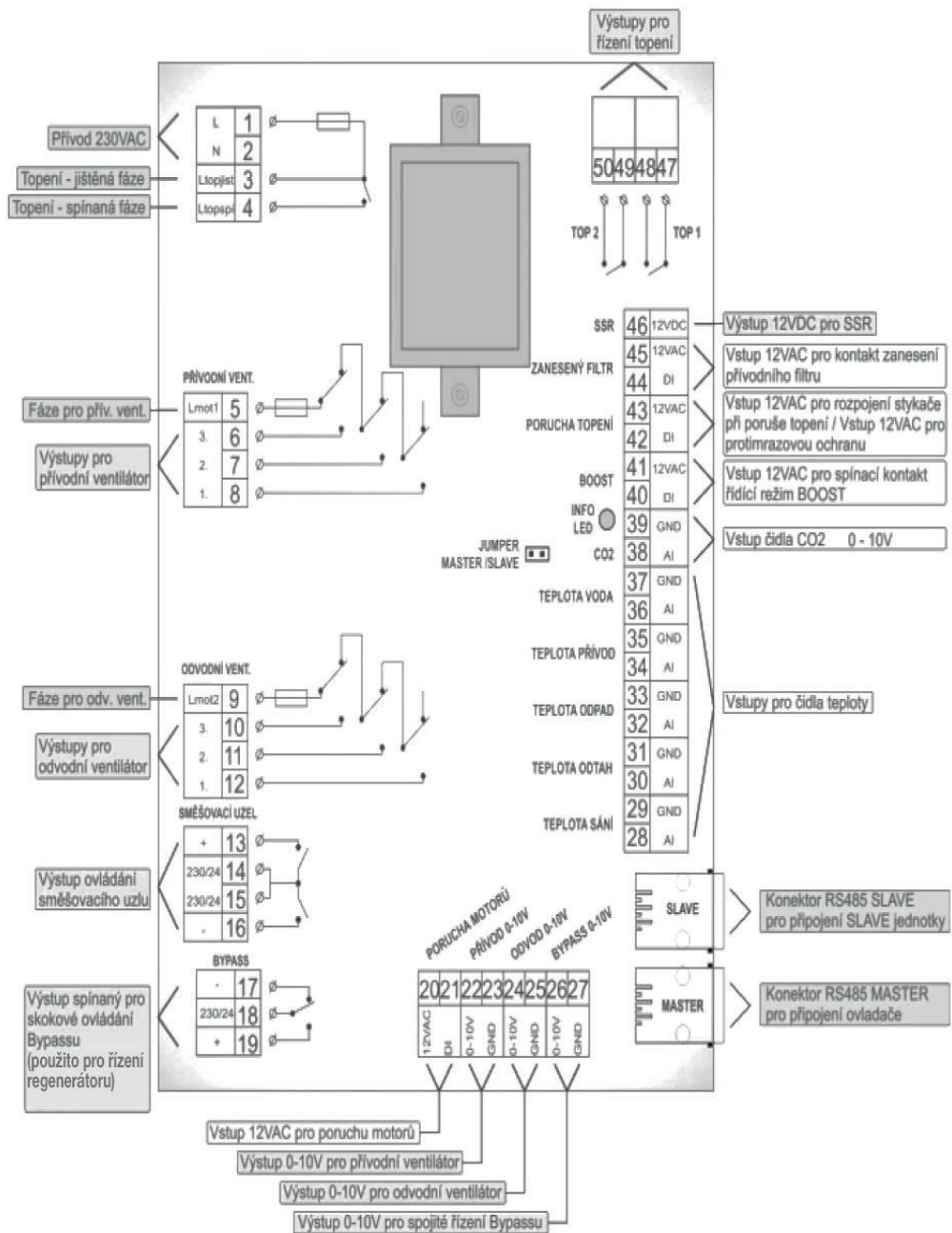
Další kategorií jsou pak systémy pro kancelářské budovy a vícepodlažní bytové domy. Každý byt či kancelář je pak často vybaven vlastním ovládáním. Tím v kombinaci s regulačními boxy lze pak větrat každý byt nezávisle.

Poslední kategorií jsou systémy pro rekuperační jednotky pro samostatné domy či byty. Tyto systémy nejsou tak rozsáhlé, ale možnosti jejich ovládání jsou poměrně omezené. Často mají pouze jedno centrální ovládání a poměrně jednoduchý plánovač. V dnešní době by bylo dobré mít možnost spouštět rekuperační jednotku pomocí mobilního telefonu zapojit celý systém do naší chytré domácnosti. Vytvoření takového systému pro řízení rekuperační jednotky nemusí být tak složité [12].

3 NÁVRH ŘEŠENÍ OVLÁDÁNÍ REKUPERAČNÍ JEDNOTKY – HARDWAROVÁ ČÁST

3.1 Požadavky na řízení

Primárním cílem bylo vytvořit systém pro řízení rekuperační jednotky ROVENTO 220 D, který lze implementovat do chytré domácnosti, ovládat hlasem, nastavit dotykovým rozhraním a zároveň se udržet v rozumné cenové relaci. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny veškeré vstupy pro ovládání rekuperační jednotky ROVENTO 220 D.



Obrázek 5 Rozhraní pro ovládání ROVENTO 220 D Zdroj:

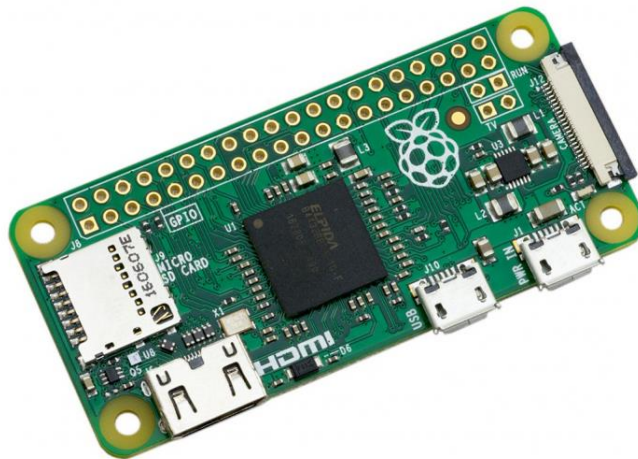
Pro ovládání této jednotky nám však bude stačit spínat přívod rekuperační jednotku a regulovat vstup pro rychlost otáček ventilátoru. Celý systém řízení rekuperace pak bude součástí chytré domácnosti.

Pro externí ovládání má rekuperační jednotka ROVENTO 220 D čtyři externí vstupy. 2x bezpotenciálový kontakt pro spínání rekuperační jednotky a 2x potenciálový kontakt 0 – 10 V pro řízení výkonu.

3.2 Použité komponenty

3.2.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je značka malých dostupných počítačových zařízení. Jejich hlavní předností velká komunitní podpora a nízká cena. Základní jednotka nazvaná Raspberry Pi Zero poskytuje jedno jádrový procesor s frekvencí 1GHz, 512 MB RAM, Mini HDMI, microUSB pro periferní zařízení jako je myš a klávesnice, microUSB pro napájení, HAT kompatibilní 40 pinové rozhraní a CSI konektor pro kameru. Z těchto 40 pinů jich je 26 vstupně výstupních, 8 zemnicích, 2 s trvalým napětím 5 V a 2 s trvalým napětím 3,3 V. Mnoho z 26 výstupních pinů mají své specifické vlastnosti.



Obrázek 6 Raspberry Pi Zero W Zdroj: [13]

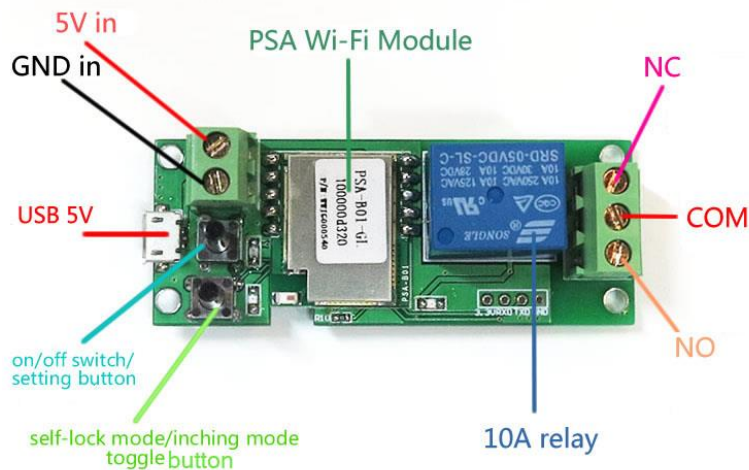
Model Raspberry Pi Zero (zobrazen na obrázku 6), byl zvolen kvůli své velikosti ceně a kompatibilitě s dotykovým displejem. Ten slouží k ovládání nastavení intenzity větrání a času po který jednotka poběží. Jedná se o kapacitní dotykový displej značky Adafruit velikosti 3,5 palce s rozlišením 480x320 pixelů. [13]

3.2.2 Sonoff

Sonoff je značka chytrých spínačů od stejnojmenné firmy. Jedná se zařízení, které kombinuje několik elektronických prvků a tvoří tak zařízení, se kterým lze udělat i z obyčejné pokojové lampy chytrý prvek domácnosti. Hlavní součástí je relé, které je kontrolováno pomocí čipu s podporou připojení do bezdrátové sítě. V zásadě pak máme dva druhy základního modulu jeden pouze pro spínání střídavého proudu, který je zároveň napájen ze vstupního zdroje. Tím druhým lze spínat jak stejnosměrný proud do 10 A s napětím do 30 V anebo střídavý proud do 10 A s napětím do 250 V. Tento typ musí být napájen z externího zdroje s napětím 5 V.

Spínače můžeme dále rozdělit do mnoha kategorií podle specifických vlastností. Sonoff vyrábí spínače které umí ovládat více obvodů najednou, měřit spotřebu připojeného zařízení, lze je spínat dálkovým rádiového ovladačem a jsou i modely které podporují senzory vlhkosti, teploty, světla, či pohybu.

V našem obvodu spíná zařízení Sonoff obvod stejnosměrného proudu, proto byl použit druhý typ tohoto zařízení. Celkově jsme využily dvě zařízení Sonoff, jedno pro spínání samotné rekuperační jednotky a druhé pro řízení výkonu ventilátoru. Na obrázku číslo 7 je zařízení Sonoff se základními popisky, které bylo použito.



Obrázek 7 Sonoff 5V Zdroj: [14]

Zařízení Sonoff je ovládáno pomocí aplikace eWeLink, která je popsána níže v kapitole [4.1.4 eWeLink](#). Sonoff může fungovat ve dvou režimech, jedním je klasický dvoustavový režim stejný jako u vypínače tedy v poloze ON jsou propojeny piny COM a NO, a naopak v poloze OFF jsou propojeny piny COM a NC. Druhým režimem je tzv „Inching“ tím dojde ke krátkému sepnutí a pinů COM a NO. Trvání tohoto sepnutí se dá nastavit v aplikaci eWeLink.

3.2.3 Ostatní

Dalšími důležitými součástkami jsou lineární stabilizátory napětí. V obvodu jsou použity stabilizátory 7810, 7808 a 7805. Stabilizátory snižují napětí na hodnotu danou posledními dvěma čísly v jejich názvu. Napětí 5 V používáme pro napájení zařízení Sonoff, Raspberry Pi Zero a soustavy relé. Napětí 5 V, 8 V a 10 V jsou možnými výstupními napětími pro ovládání rychlosti ventilátoru.

V obvodu dále používáme soustavu čtyř relé značky Arduino, které mají společné napájení 5 V a čtyři inicializační piny. Ty spínají při napětí 3 V, a tedy jsou ideální pro kombinaci s Raspberry Pi.

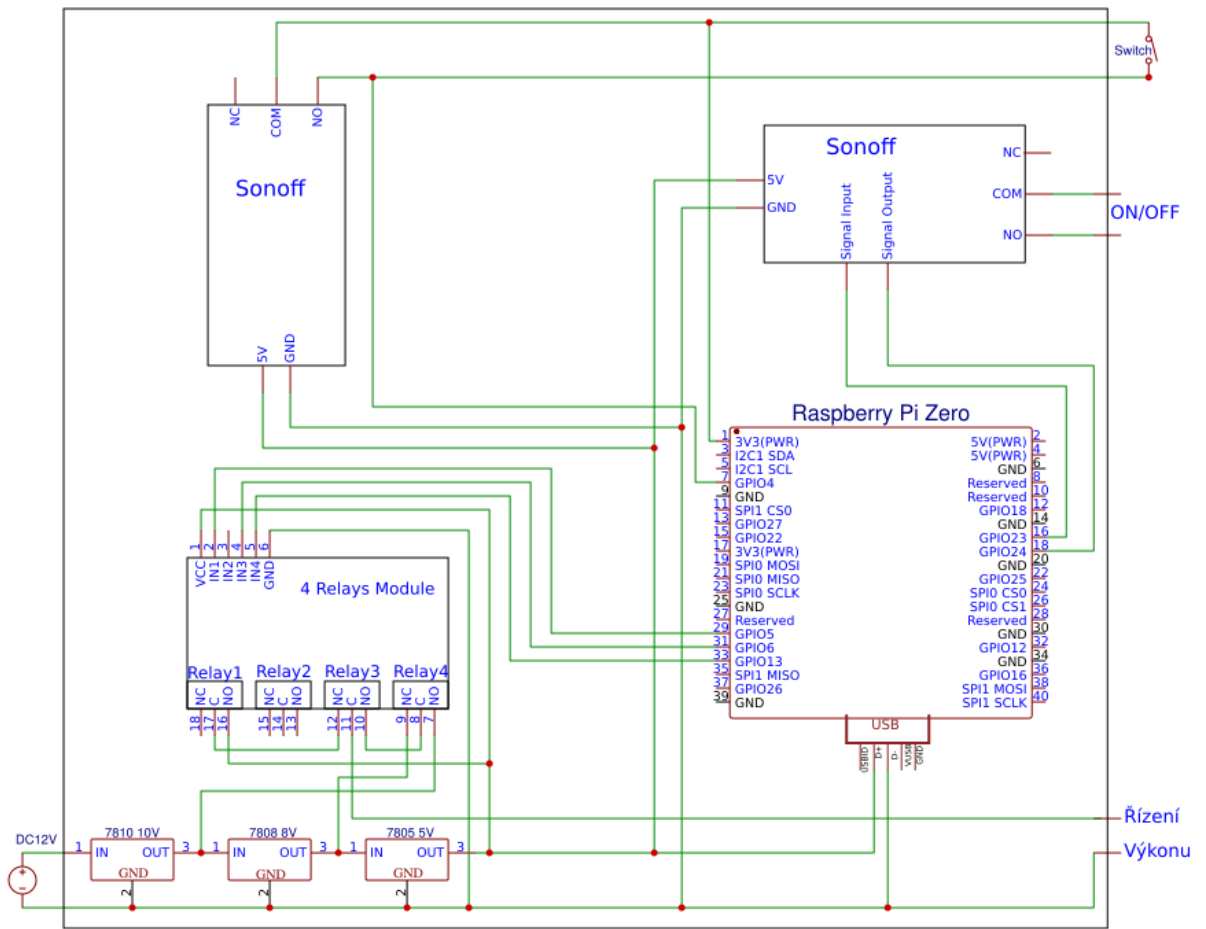
3.3 Návrh řešení

Celé řešení je pak kompaktně zapojeným obvodem uloženým v boxu (viz Obrázek 8) se vstupem pro napájení stejnosměrným proudem 2 A a napětím 12 V. Výstupem z jednotky je pak výstup pro spínač rychlého vyvětrání, spínání napájení rekuperační jednotky a ovládání rychlosti ventilátoru pomocí úrovně napětí mezi 0–10 V. Dalším rozhraním je pak dotykový displej pro nastavení rekuperační jednotky a její vypnutí.



Obrázek 8 Hotové řešení Zdroj: vlastní

Obvod se skládá ze třech lineárních stabilizátorů napětí zapojených za sebou v sérii. Napětí 10 V a 8 V se používá pouze jako výstupní napětí pro ovládání otáček ventilátoru. Napětí 5 V se používá k napájení obou zařízení Sonoff, jednotky Raspberry Pi, soustavy relé a možného výstupu pro ovládání otáček ventilátoru.



Obrázek 9 Schéma zapojení jednotlivých komponent. Zdroj: vlastní

Sonoff (vodorovně orientovaný) slouží pro spínání rekuperační jednotky, pro správné fungování je nutné, aby byl přepnutý ve dvoustavovém režimu. Do tohoto zařízení Sonoff je také připojen jeden vstup vedoucí z GPIO23 z Raspberry Pi, přes který je možné ho sepnout pomocí vyslání impulzu s napětím 3,3 V. Aktuální stav zařízení Sonoff kontrolujeme pomocí výstupního napětí, které je připojeno do Raspberry Pi na GPIO24. Pokud je zařízení sepnuto, pak je napětí na GPIO24 3,3V.

Sonoff (svisle orientovaný) je paralelně zapojen s vypínačem. Oba fungují pouze v impulzním režimu. Pokud pošlou impulz, Raspberry Pi ho přijmu na GPIO4 a pokud je to možné tak spustí rychle odvětrání. Systém kontroluje, zda neběží plánované větrání, aby nedošlo k jeho předčasnému přerušení.

4 NÁVRH ŘEŠENÍ OVLÁDÁNÍ REKUPERAČNÍ JEDNOTKY – SOFTWAREOVÁ ČÁST

Softwarovou část tvoří aplikace napsaná v jazyce Java, která se spouští při startu Raspberry Pi. Aplikace je spuštěna v režimu celé obrazovky a přebírá kontrolu nad grafickým rozhraním. Tím zabraňuje nechtěnému zásahu od uživatele do běhu systému a aplikace.

4.1 Použité technologie

Pro tuto Java aplikaci muselo být zkombinováno grafické rozhraní pro dotykový displej a ovládaní GPIO pro rozhraní Raspberry Pi.

4.1.1 Pi4J

Projekt Pi4J vznikl, aby poskytl přívětivé objektově orientované API rozhraní pro vývoj Java aplikací pro platformu Raspberry Pi. Implementací knihoven pro Javu tak dosáhneme využití plného potenciálu našeho zařízení. Tento projekt využívá nízko úrovněového nativní rozhraní pro zpřístupnění Java vývojářům možnost zaměřit se čistě na logiku jejich programu.

Pi4J je v neustálém vývoji, nicméně již několik let vychází stabilní verze. Aktuální verzí je 1.2 která přišla s upgradem Raspbianu a vyčlenila již některé knihovny do jádra systému.

4.1.2 JavaFX

JavaFX je platformou pro vývoj grafických aplikací pro desktopové i webové prostředí. Je tak přirozeným nástupcem platformy Swing, který byl původním grafickým rozhraním pro Java aplikace. JavaFX již nadále není a nebude součástí nových balíčků Java SDK. Vývoj ze strany Oracle skončil, přesto bude JavaFX podporována v dlouhodobé verzi Java SE 8 do roku 2022.

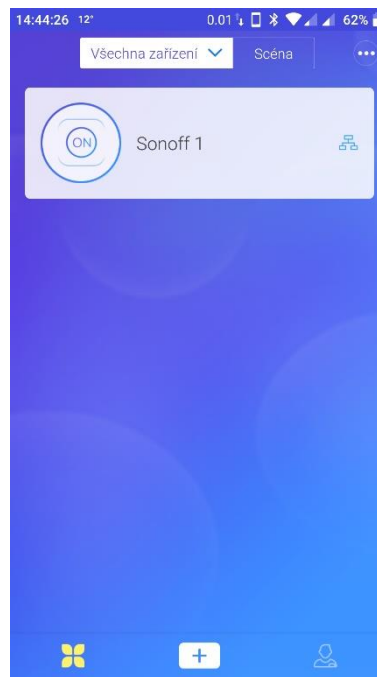
Pro systémy s ARM architekturou se JavaFX již nedodává jako součást balíčku JDK. Proto je potřeba tyto knihovny implementovat ručně. Aktuální verzí je JavaFX 12, ale pro tento projekt byla použita verze 8 kompatibilní s Java SE 8.

4.1.3 Raspbian

Je oficiálně podporovaný systém pro Raspberry Pi postavený na linuxové distribuci Debianu. Raspbian obsahuje předem nainstalovaný software pro vzdělávání, programování a obecné použití. Dále obsahuje podporu pro Python, Scratch, Sonic Pi, Java a mnoho dalších programovacích jazyků.

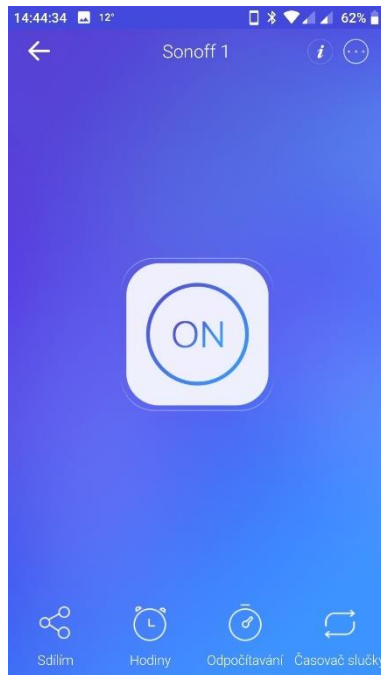
4.1.4 eWeLink

EweLink je mobilní aplikace komunikující se zařízeními Sonoff. Má přívětivé intuitivní ovládání a zařízení Sonoff díky ní získávají širokou funkcionalitu. Při otevření aplikace se nám zobrazí úvodní obrazovka (viz Obrázek 9) se všemi připojenými zařízeními. Můžeme zde vytvářet i různé scény, které umožňují ovládat více zařízení najednou, či reagovat na změnu stavu jiného zařízení.



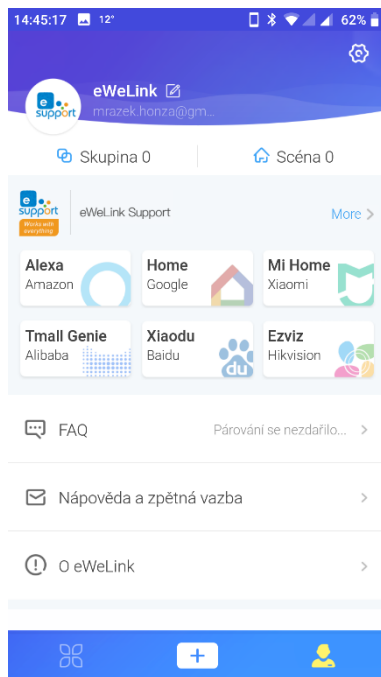
Obrázek 10 eWeLink úvodní obrazovka Zdroj: vlastní

Pokud si otevřeme detail zařízení (viz Obrázek 10), lze ho nasdílet pro ostatní členy domácnosti, nastavit časový rozvrh který se bude pravidelně opakovat nebo pouštět jen v určitý čas a datum.



Obrázek 11 Detailní pohled na zařízení Zdroj: vlastní

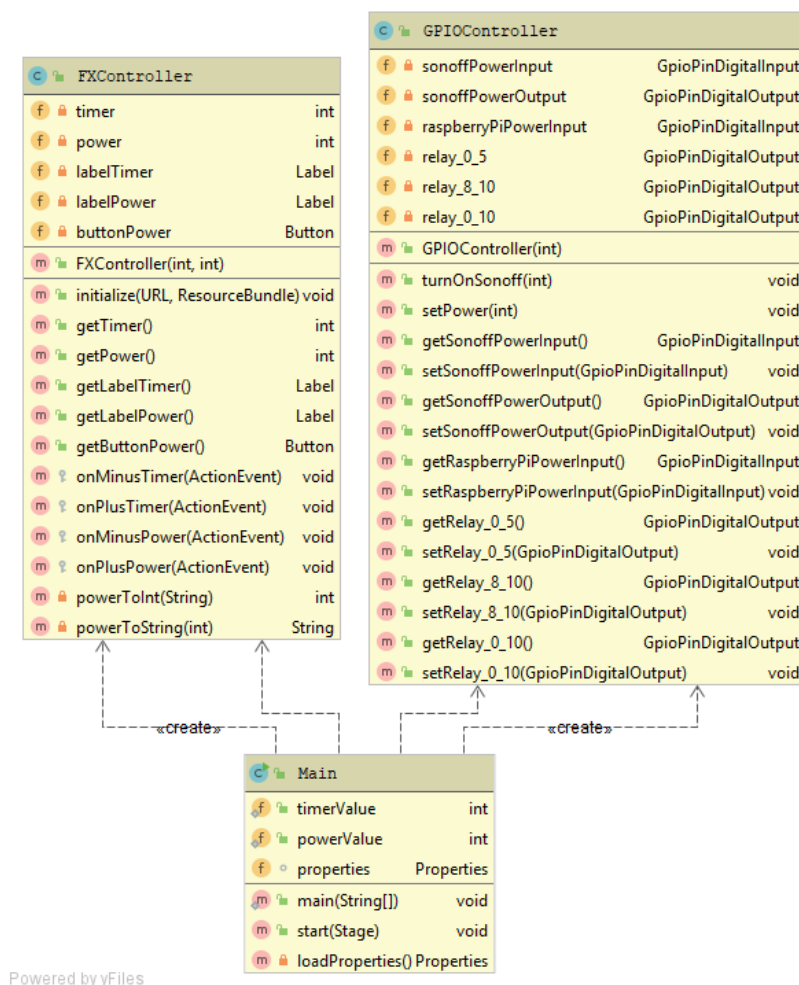
Na Obrázku číslo 11 můžeme vidět náš uživatelský profil s informacemi o podporovaných systémech chytrých domácností.



Obrázek 12 Profil uživatele a podporované systémy Zdroj: vlastní

4.2 Implementace

Aplikace, která řídí náš systém je napsaná v jazyce Java. Projekt je založen na šabloně pro JavaFX aplikaci a doplněn o externí knihovnu Pi4J. Aplikace se skládá ze tří základních tříd zobrazených v UML digramu (Obrázek 12).



Obrázek 13 UML diagram použitých tříd Zdroj: vlastní

Třída Main obsahuje hlavní metodu main, která spouští grafickou aplikaci. V metodě Start je vytvořena instance třídy FXController pro obsluhu grafických prvků (viz Zdrojový kód 1) a další dva listenery pro kontrolu změn v nastavení a případném signálu na spouštěcím pinu.

```

public void start(Stage primaryStage) throws Exception{

    final GPIOController gpioController = new GPIOController(powerValue);

    properties = loadProperties();
    FXMLLoader loader = new FXMLLoader(getClass().getResource("fxml/controls.fxml"));
    FXController controller = new FXController(properties);
    loader.setController(controller);
    GridPane gridPane = loader.load();
    primaryStage.setScene(new Scene(gridPane, 480, 320));
    primaryStage.setFullScreen(true);
    primaryStage.show();

    //listening to input pin for quick ventilation
    gpioController.getRaspberryPiPowerInput().addListener(new GpioPinListenerDigital() {
        @Override
        public void handleGpioPinDigitalStateChangeEvent(GpioPinDigitalStateChangeEvent
gpioPinDigitalStateChangeEvent) {
            gpioController.turnOnSonoff(controller.getTimer());
        }
    });
    //listening if power has been changed
    controller.getLabelPower().textProperty().addListener(new ChangeListener<String>() {
        @Override
        public void changed(ObservableValue<? extends String> observable, String oldValue,
String newValue) {

            gpioController.setPower(controller.getPower());

            try {
                saveProperties(controller.getTimer(), controller.getPower());
            } catch (IOException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
    });
}

```

Zdrojový kód 1 Metoda Start Zdroj: vlastní

V třídě FXController jsou důležité dvě metody (viz Zdrojový kód 2), které sledují změnu na dotykovém displeji a tu pak provedou.

```

@FXML protected void onMinusTimer(ActionEvent ev){

    int currentTimerValue = Integer.valueOf(labelTimer.getText());
    if(currentTimerValue>0){
        labelTimer.setText(String.valueOf(--currentTimerValue));
        timer = currentTimerValue;
    }
}

@FXML protected void onPlusTimer(ActionEvent ev){
    int currentTimerValue = Integer.valueOf(labelTimer.getText());
    if(currentTimerValue<1440){
        labelTimer.setText(String.valueOf(++currentTimerValue));
        timer = currentTimerValue;
    }
}

```

Zdrojový kód 2 Metody pro změnu času Zdroj: vlastní

Třída GPIOController pak obsahuje dvě důležité metody(viz Zdrojový kód 3). Tou první je turnOnSonoff, která dostane jako vstupní hodnotu počet minut, jak dlouho rekuperační jednotka poběží. Druhou metodou je pak setPower, která nastaví úroveň napětí na výstupu a určí tím rychlost ventilátoru rekuperační jednotky.

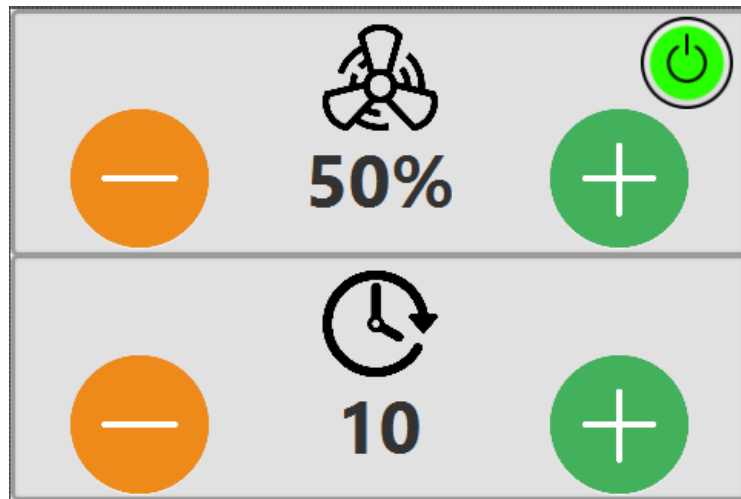
```
public void turnOnSonoff( int minutes){
    if(sonoffPowerInput.isLow()){
        sonoffPowerOutput.blink(minutes * 60000);
    }
}

public void setPower(int powerLevel){
    switch (powerLevel){
        case 0:
            relay_0_5.setState(PinState.HIGH);
            relay_0_10.setState(PinState.HIGH);
            break;
        case 1:
            relay_0_5.setState(PinState.LOW);
            relay_0_10.setState(PinState.HIGH);
            break;
        case 2:
            relay_8_10.setState(PinState.HIGH);
            relay_0_10.setState(PinState.LOW);
            break;
        case 3:
            relay_8_10.setState(PinState.LOW);
            relay_0_10.setState(PinState.LOW);
            break;
    }
}
```

Zdrojový kód 3 Klíčové metody v třídě GPIOController Zdroj: vlastní

4.3 Grafické rozhraní

Pro návrh grafického rozhraní byl použit jazyk JavaFX, nástrojem pro vytvoření Fxml souboru pak byl program SceneBuilder. Grafické rozhraní (Obrázek 13) obsahuje tlačítka pro změnu rychlosti ventilátoru a pro změnu času po který tento ventilátor poběží. Zelené tlačítko vpravo nahoře pak spustí rychlé vyvětrání.



Obrázek 9 Grafické rozhraní dotykového displeje Zdroj: vlastní

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout systém pro ovládání rekuperační jednotky pomocí Java aplikace spuštěné na Raspberry Pi, který bude podporovat mobilní i hlasové ovládání. Dalším cílem bylo, aby bylo možné ovládat intenzitu větrání a časový interval po který bude rekuperace aktivní. Tyto stanovené cíle se podařilo splnit v plném rozsahu.

Základním prvkem tohoto řešení je Raspberry Pi. Pro připojení systému do chytré domácnosti byla vybrána dvě hotová spínací zařízení pro která je k dispozici mobilní aplikace a dají se tak snadno ovládat. Časový interval a danou intenzitu větrání lze nastavit pomocí dotykového displeje připojeného k Raspberry Pi. Zde je spuštěna grafická aplikace, která ovládá logiku výstupů a přijímá vstupní informace.

Rekuperační jednotku lze spustit pomocí hlasového povelu nebo signálu z externího vypínače. Přes rozhraní mobilní aplikace pak můžeme nastavit časový plán větrání, nebo spustit větrání v závislosti na jiném zařízení chytré domácnosti.

Sestavení hardwarového řešení a vývoj aplikace byli úspěšně dokončeny a díky instalaci dotykového displeje bylo získáno řešení, které zadání práce nebylo očekáváno. Aplikaci by bylo možné v budoucnu rozšířit o podporu dalších hlasových povelů (pro nastavení intenzity a času větrání), či integrovat podporu čidel kvality ovzduší v domě.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ARM	(Advanced RISC Machine) označení architektury procesorů
COM	(Common) kontakt, který se překlápí mezi NO a NC po přivedení napětí na cívku
GND	(Ground) zemní kontakt
GPIO	(General Purpose Input Output) vstupně výstupní kontakt
HAT	(Hardware Attached on Top) zařízení připojené navrch
JDK	(Java Development Kit) sada nástrojů pro vývoj aplikací v jazyce Java
NC	(Normally Closed) kontakt, který je v klidovém stavu spojen s COM
NO	(Normally Open) kontakt, který je v klidovém stavu rozpojen s COM
VCC	(Voltage Common Collector) kontakt pro napájení

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Pasivní stavby. *Pasivní stavby s.r.o.* [online]. Na Požáře 2476, 760 01 Zlín: Flash-i-net, 2009 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.pasivni-stavby.com/pasivni-stavby.htm>
- [2] CHALUPA, Ondřej. Tepelná čerpadla - princip fungování. *GEROtop* [online]. Stráž nad Nisou - Liberec: GEROTop spol. s r.o., 2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/geotermalni-energie>
- [3] ČÍŽEK, Jakub. Vyzkoušeli jsme chytrou a bezdrátovou domácnost Fibaro. Ovládejte zásuvky, světla i topení z mobilu a PC. *Živě.cz* [online]. Živě.cz CZECH NEWS CENTER, a. s. Jakubská 5 602 00 Brno: CZECH NEWS CENTER, 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/vyzkoušeli-jsme-chytrou-a-bezdratovou-domacnost-fibaro-ovladejte-zasuvky-svetla-i-topeni-z-mobilu-a-pc/sc-3-a-183138/default.aspx>
- [4] Advantages and Disadvantages of Smart Homes. *PVS Builders & Developers* [online]. 2017 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://pvsbuilders.com/advantages-and-disadvantages-smart-homes/>
- [5] JINDRÁK, Martin. Co je podtlakové větrání, jak funguje a kdy se používá. *Estav.cz* [online]. Topinfo s.r.o., Křenova 438/3, 162 00 Praha 6: Topinfo, 2014-2019 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/2487.co-je-podtlakove-vetrani-jak-funguje-a-kdy-se-pouziva>
- [6] JINDRÁK, Martin. Přetlakové větrání – funkce, výhody a nevýhody. *Estav.cz* [online]. Topinfo s.r.o., Křenova 438/3, 162 00 Praha 6: Topinfo, c2014-2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/2570.pretlakove-vetrani-funkce-vyhody-a-nevyhody>
- [7] JINDRÁK, Martin. Rovnotlaké větrání s rekuperací tepla - co to je jak to funguje?. *Estav.cz* [online]. Topinfo s.r.o., Křenova 438/3, 162 00 Praha 6: Topinfo, c2014-2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3087.rovnotlake-vetrani-s-rekuperaci-tepla-co-to-je-jak-to-funguje>
- [8] Rekuperace - schéma. In: *Vzduchotechnika ventilace* [online]. Hradec Králové: UNITRADE HK, c2016-2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z:

<https://www.vzduchotechnika-ventilace.cz/web-data/92/images/kategorie/rekuperace-schema.jpg>

- [9] KLENCK, Thomas. How It Works: Heat Recovery Ventilator. *Popular mechanics* [online]. New York: Hearst Magazine Media, 2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.popularmechanics.com/home/interior-projects/how-to/a149/1275121/>
- [10] Rekuperace vzduchu. *Elmet* [online]. Přelouč: Elmet, b.r. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://zdravydum.elmet.cz/rekuperace-vzduchu.html>
- [11] *Abeceda čerpadel* [online]. 2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/>
- [12] *Atrea* [online]. Jablonec nad Nisou: Atrea, c1998-2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz>
- [13] *Raspberry Pi* [online]. b.r. [cit. 30. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/>
- [14] *Chytré Vypínače* [online]. Brno: Chytré vypínače, 2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.chytrevypinace.cz/Sonoff-5V-d32.htm>