

Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra mikroelektroniky

Systém pro podlahové vytápění rodinného domu pomocí zónové regulace

Bc. Roman Labovský

Vedoucí: Ing. Vladimír Janíček, Ph.D.

Obor: Elektronika

Studijní program: Elektronika a komunikace

Leden 2021

Poděkování

Prohlášení

Abstrakt

Klíčová slova:

Vedoucí: Ing. Vladimír Janíček, Ph.D.
České vysoké učení technické v Praze,
Elektrotechnická fakulta, Katedra
mikroelektroniky
Technická 2,
Praha 6

Abstract

Keywords:

Title translation: System for
underfloor heating of a family house
using zone control

Obsah			
1 Úvod	1		
Část I			
Teoretická část			
2 Rešerše	5		
2.1 Podlahové topení	5		
2.2 Zónová regulace vytápění	7		
2.2.1 Principy zónové regulace	8		
2.2.2 Dostupné komerční řešení zónové regulace podlahového vytápění.....	9		
3 Návrh konceptu řídicího systému	15		
3.1 Popis celkového konceptu	15		
3.1.1 Hardwarová část	16		
3.1.2 Softwarová/komunikační část	19		
3.2 Řídicí systém.....	26		
3.2.1 Home Assistant	26		
3.2.2 Inteligentní část systému	29		
		4 Závěr	31
		Přílohy	
		A Literatura	35

Obrázky

2.1 Vertikální průběh teploty vzduchu u podlahové topení.	6	3.8 Zapojení 1-Wire sběrnice ve dvouvodičovém provedení.	25
2.2 Porovnání rozložení teplot při použití podlahové topení a radiátorů. 6		3.9 Průběhy na sběrnici 1-Wire. ...	25
2.3 Obecný princip zónové podlahové regulace topení.	8	3.10 Přehled řízení domácí automatizace HA.....	27
2.4 Jednotlivá zařízení systému Elektrobock PocketHome.....	10	3.11 Jádru architektury HA.....	28
2.5 Jednotlivá zařízení systému Honeywell Evohome.	11	3.12 Znázornění využití komponent v HA.....	29
2.6 Jednotlivá zařízení systému Danfoss Danfoss Link.	12		
3.1 Otopná soustava v domě.	16		
3.2 Návrh hardwarové části systému. 18			
3.3 Návrh softwarové části systému. 20			
3.4 Základní funkční schéma MQTT komunikace.....	21		
3.5 Zapojení I ² C sběrnice.....	22		
3.6 Příklad I ² C datové komunikace se 7-bitovou adresací.	23		
3.7 Zapojení 1-Wire sběrnice ve trojvodičovém provedení.	24		

Tabulky

2.1 Srovnání funkcí jednotlivých komerčních systémů.	13
--	----



Kapitola 1

Úvod



Část I

Teoretická část

Kapitola 2

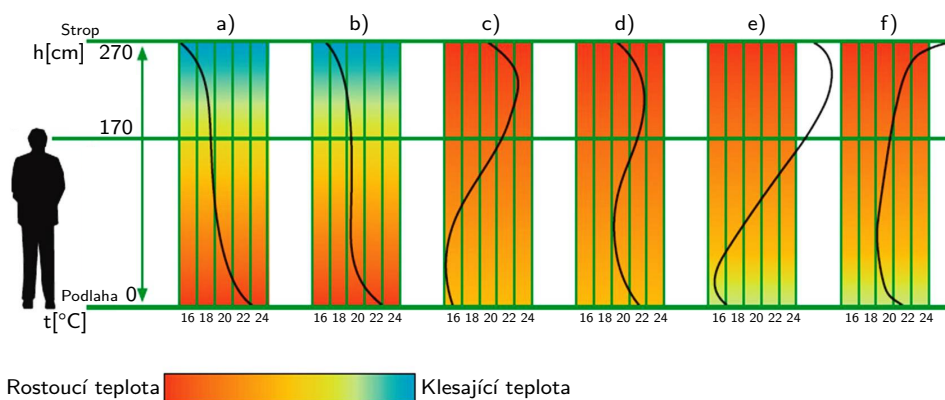
Rešerše

2.1 Podlahové topení

U podlahového vytápění dochází k přenosu tepla do vytápěného prostoru převážně sáláním. Což má za následek, že se od sálajících plochy ohřívají plochy osálané a teprve od sálajících a osálaných ploch se ohřívá okolní vzduch (druhá konvenkční složka z celkového tepelného toku). Naproti tomu při přenosu tepla pomocí tradičních radiátorů dochází k přenosu pomocí proudění (konvekční složka). Teplota otopné plochy je poměrně nízká pohybuje se mezi 25 až 34 °C u podlahového vytápění a tedy i teplota teplonosné látky je nízká (otopná plocha je zahřívána buď teplou vodou, teplým vzduchem nebo elektricky). Proto je tento typ vytápění vhodné využít při zapojení s nízkoteplotním zdrojem, jako jsou tepelná čerpadla, kondenzační kotle či solární panely.

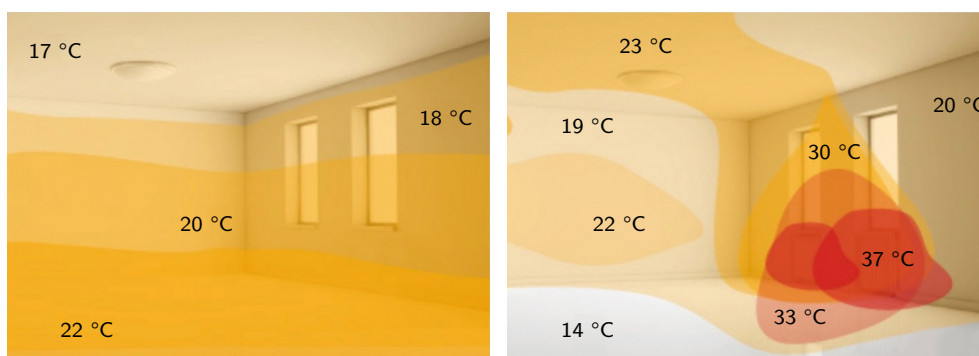
Důležitým parametrem pro příjemný pobyt v místnosti je prostorové rozložení teploty, jak ve vertikální tak horizontální rovině. Na vertikální rozložení teplot ve vytápěné místnosti je způsobeno nerovnoměrným přívodem tepla a nerovnoměrným ochlazování jednotlivých stěn místnosti. Vertikální nerovnoměrnost teplot je tím větší, čím vyšší je povrchová teplota otopné plochy. Vzhledem k tomu, že teplota u podlahové vytápění je povrchová teplota otopné vody ze všech druhů velkoplošného vytápění (podlahové, stropní, stěnové) nejnižší, je vertikální rozložení teplot skoro ideální, viz obrázek 2.1a. Optimální vytápění by mělo zajistit, aby v oblasti hlavy stojícího člověka byla teplota minimálně o 2 °C nižší než je v úrovni kotníků. Takovému ideálnímu průběhu teplot odpovídá obrázek 2.1b. Dále jsou na obrázku 2.1 jsou další druhy vytápění s vertikálními průběhy teplot. Na obrázku 2.2 je prosto-

rově porovnání teplot podlahové vytápění a vytápění při využití radiátorů s vyznačenými oblastmi teplot.



Obrázek 2.1: Vertikální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti při různém způsobu vytápění.

a) Ideální požadovaný průběh. b) Podlahové vytápění. c) Vytápění radiátory (vnitřní stěna). d) Vytápění radiátory (venkovní stěna). e) Teplovzdušné vytápění (podlahové konvektory). f) Stropní vytápění. Upraveno z [13].



(a) : Rozložení teplot při použití podlahové topení.

(b) : Rozložení teplot při použití radiátorů.

Obrázek 2.2: Porovnání rozložení teplot při použití podlahové topení a radiátorů. Upraveno z [14].

■ Výhody

- Je vhodné zejména tam, kde je nízkoteplotní zdroj tepla (tepelné čerpadlo, kondenzační kotel, solární panely, ...).
- Větší užitný prostor (místo nezabírají otopná tělesa).

- Cirkulace vzduchu je nižší oproti radiátorům, proto je víření prachu v místnosti menší.
- Téměř rovnoměrná teplota místnosti.

■ Nevýhody

- Zvýšené náklady na realizaci.
- Nezbytná pečlivá montáž a stavební dozor.
- Vyšší tepelná setrvačnost otopné soustavy.
- Vyšší nároky na řízení podlahové otopné plochy (zejména hlídání maximální vstupní otopné vody).

■ 2.2 Zónová regulace vytápění

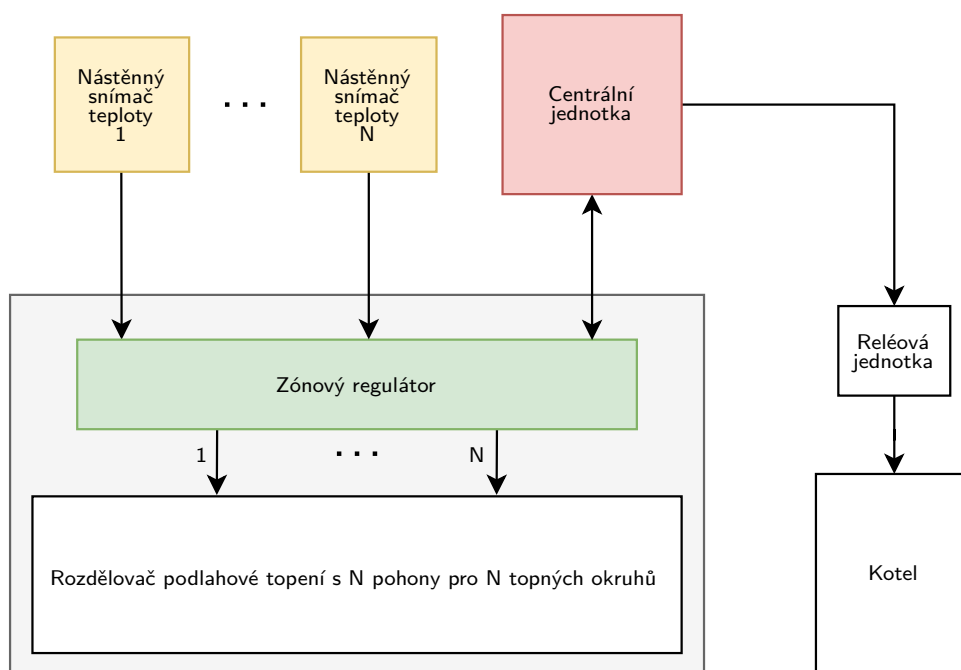
Význam zónové regulace spočívá v systému umožňující individuální vytápění v jednotlivých místnostech (každá místnost nebo spojení více místností označuje zónu) na požadovanou teplotu. Základ zónové regulace je centrální řídicí jednotka, která přijímá data od jednotlivých místností (zejména jejich aktuální teplotu) a dává povely na zařízení, které ovládá (otevírání/zavírání pohonů u jednotlivých topných okruhů apod.). Přístup k řídicí jednotce je nejčastěji pomocí displeje, webového rozhraní nebo jejich kombinace. V řídicí jednotce se dá celý systém vytápění nastavit (nastavení časových a teplotních programů pro jednotlivé zóny a mnohé další).

Zónové systémy vytápění se rozdělují na dvě hlavní skupiny. První tvoří zónové systémy propojené pomocí vodičů a druhou skupinu tvoří bezdrátová technologie propojující centrální řídicí jednotku a jednotlivé zóny.

Hlavní částí zónového systému je centrální řídicí jednotka. Mezi další komponenty patří, nástěnné snímače vnitřní teploty, snímač venkovní teploty, termoelektrické pohony, elektronické regulátory otopných těles, reléová spínací jednotka. Mezi komponenty, které přispívají ke komfortu zónové regulace jako senzor intenzity slunečního záření, senzor rychlosti větru, různé spínací jednotky, jednotky pro ovládání žaluzií, moduly pro dálkové ovládání pomocí GSM a další.

2.2.1 Principy zónové regulace

Jak již bylo řečeno, základem celého systému je centrální řídicí jednotka. Další důležitou komponentou je zónový regulátor, který slouží pro ovládání komponent, které jsou k zónovému regulátoru připojeny. Mezi hlavní komponenty, který zónový regulátor ovládá jsou termoelektrické pohony. Termoelektrický pohon je podobný termostatické hlavici, která se nasazuje na radiátorový ventil, ale je jej možné ovládat elektrickým napětím. Samotná regulace vytápění probíhá tak, že řídicí jednotka je propojena se zónovým regulátorem. K zónovému regulátoru jsou připojeny jednotlivé nástěnné snímače prostorové teploty a termoelektrické pohony, které jsou nasazeny na termostatické ventilech otopných okruhů/těles. V centrální jednotce jsou nastaveny časové programy (různé požadované teploty pro různé časové úseky). Centrální jednotka posílá do zónového regulátoru požadované teploty pro všechny zóny. Tyto teploty jsou v zónovém regulátoru porovnávány s aktuálními prostorovými teplotami měřenými nástěnnými jednotkami. V případě, že je prostorová teplota příslušné zóny nižší než požadovaná teplota (nastavená v centrální jednotce), ovládá zónový regulátor odpovídající pohon, který otevírá/zavírá daný ventil a umožňuje proudění otopné vody do topného okruhu/tělesa, čím dochází ke změně teploty v místnosti. Pokud je připojen například kotel, je pak hořák kotle ovládán při požadavku vytápění v jakékoliv místnosti. Princip zónové regulace je zobrazen na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3: Obecný princip zónové podlahové regulace topení.

Další možné zapojení může být takové, že jednotlivé nástěnné snímače prostorové teploty jsou přímo propojeny s centrální jednotkou, která následně podle časového programu posílá zónovému regulátoru požadavky na ovládání jednotlivých pohonů.

Mezi další ovládaná zařízení při regulaci vytápění mohou být čerpadla, směšovací ventily zejména pro podlahové vytápění, kde je nutné udržovat teplotu otopné vody v daných mezích.

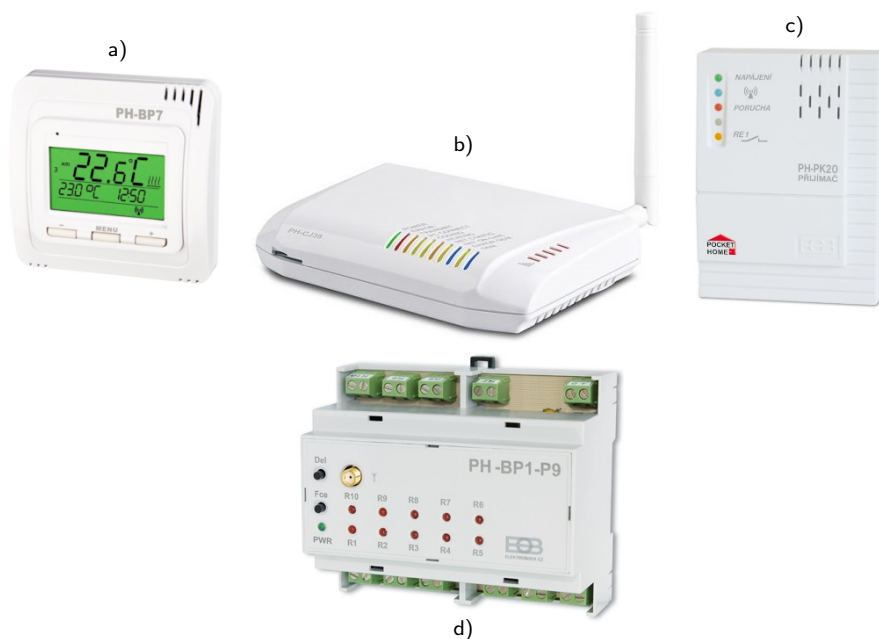
2.2.2 Dostupné komerční řešení zónové regulace podlahového vytápění

Optimální systém pro otopnou soustavu, kterou hodlám řídit z obrázku 3.1 se skládá z řízení ovládání kotle, spínání čerpadel v případě zatopení v krbech a následnou indikaci uživateli, jak moc je zásobník otopné vody natopen, dále z jednotlivých topných okruhů (12 pohonů pro 9 zón) a čerpadla podlahového topení. Pro zónovou regulaci se používá pouze patro.

Elektrobock

Česká firma Elektrobock nabízí bezdrátové řešení pro řízení podlahové topení. Systém řízení je zastřešené pod aplikaci PocketHome. Jednotlivé zařízení systému mohou fungovat samostatně bez nebo s centrální řídicí jednotkou. Tato centrální jednotka je zastřešené pod aplikaci PocketHome. Řídicí systém se skládá z centrální jednotky, nástěnných snímačů prostorové teploty pro jednotlivé místnosti a zónového regulátoru pro ovládání jednotlivých topných okruhů (celkově je možné ovládat 9 zón) a oběhového čerpadla, dále je k dispozici zařízení pro zapínání/vypínání kotle nebo komunikace pomocí protokolu OpenTherm. Na obrázku 2.4 jsou zobrazeny jednotlivé zařízení systému. Jistou nevýhodou může být bezdrátová komunikace na frekvenci 433,92 MHz, v případě delší vzdálenosti a především umístění na jiném patře centrální jednotky a lokální termostatů, zónového regulátoru může docházet k problémům s komunikací, zejména pokud se jedná o zástavbu z železobetonu, kde odrazivost a neprůchodnost signálu je poměrně značná. Jednotlivé prvky mohou pracovat samostatně bez centrální jednotky, na druhou stranu se tímto ztrácí přehled o celém systému a komfortu nastavování z jednoho místa. Systém se může nastavovat pomocí PC (systém Windows) nebo pomocí chytrého telefonu/tabletu (systém Android, iOS). Systém počítá s jedním zdrojem tepla, tedy kotlem (elektrickým, plynovým, automatickým),

neuvažuje se s otopnou soustavou, kde je začleněn např. krb s tepelným výměníkem, jak z pohledu řízení čerpadel, tak i případnou indikaci o stavu natopení zásobníku s otopnou vodou. Další otázkou je využití tohoto řídicího systému při použití centrální zásobníku na otopnou vodu, zejména při použití nízko teplotních zdrojů. Kde distribuce otopné vody pochází primárně z tohoto zásobníku, je nutné sledovat teplotu a na základě toho spínat kotel pro dobíjení případně jiných zdrojů tepla. Problém bezdrátového heterogénního



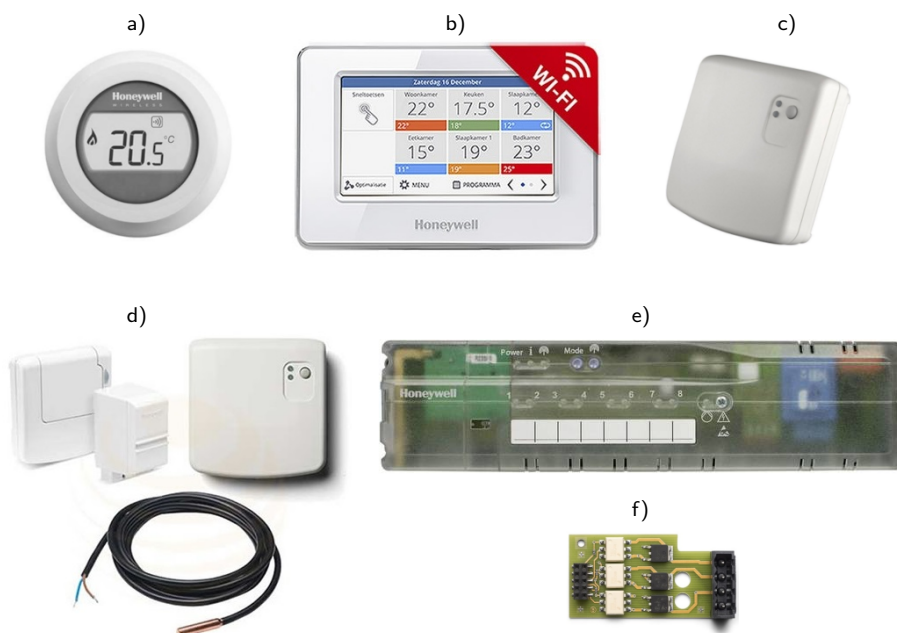
Obrázek 2.4: Jednotlivá zařízení systému Elektrobock PocketHome.

a) Nástěnný snímač prostorové teploty. b) Centrální jednotka. c) Spínací jednotka kotle. d) Zónový regulátor. Upraveno z [15, 16, 17, 18].

Honeywell

Honeywell nabízí bezdrátový systém regulace podlahové topení. Systém řízení je zastřešené pod aplikaci Evohome. Skládá se z centrální jednotky s dotykovým displejem, nástěnných snímačů prostorové teploty pro jednotlivé místnosti, zónového regulátoru pro ovládání jednotlivých topných okruhů (celkově je možné ovládat 5 zón, s rozšiřovacím modulem je možné se dostat na 8 zón). Systém je možné rozšířit o dobíjení TUV, pro sledování teploty na zásobníku je možné umístit teplotní čidlo, ze kterého je teplota odesílána do centrální jednotky. Na obrázku 2.5 jsou zobrazeny jednotlivé zařízení systému. Systém však při dobíjení zásobníku TUV počítá se zdrojem tepla pouze s kotlem, takže v případě využití krbů s výměníkem nastává problém. V neposlední řadě umožňuje zapojit směšovací ventil pro optimální teplotu

do podlahového topení. Systém je možné ovládat lokálně nebo řídit vzdáleně odkudkoliv, je zapotřebí se zaregistrovat si účet a spárovat ho s centrální jednotkou. Vzdálený server přijímá požadavky na změny režimů či nastavení teplot, a zasílá je do řídicí jednotky. Server průběžně shromažďuje různá data o chování soustavy, a může je na základě žádosti poskytnout. Z toho vyplývá, že pro lepší řízení a nastavení vytápění je nutné zřídit vzdálený přístup a samotné vyhodnocení a dání povelů, pak dochází na vzdáleném serveru, nemáme moc pod kontrolou data a životnost takového systému do budoucnosti. Otázka je i při využití pouze lokálního režimu, zda regulace nepřichází o výhody cloudového řešení. Problém bezdrátového řešení může být opět prostup signálu mezi zařízeními a centrální jednotkou (popsaný u předchozího systému), zejména prostup železobetonovými podlahami a to především při komunikaci mezi centrální jednotkou umístěnou v patře a komunikací mezi se zařízeními ve sklepech (nutný průchod dvěma podlahami) a je nutná výměna baterií v zařízeních po určité době. Komunikace mezi zařízeními probíhá na frekvenci 868 MHz, připojení k centrální jednotce pomocí mobilní aplikace je pomocí WiFi (respektive centrální jednotka je připojena na domácí WiFi router, komunikace pak probíhá mezi aplikací, vzdáleným serverem a centrální jednotkou).

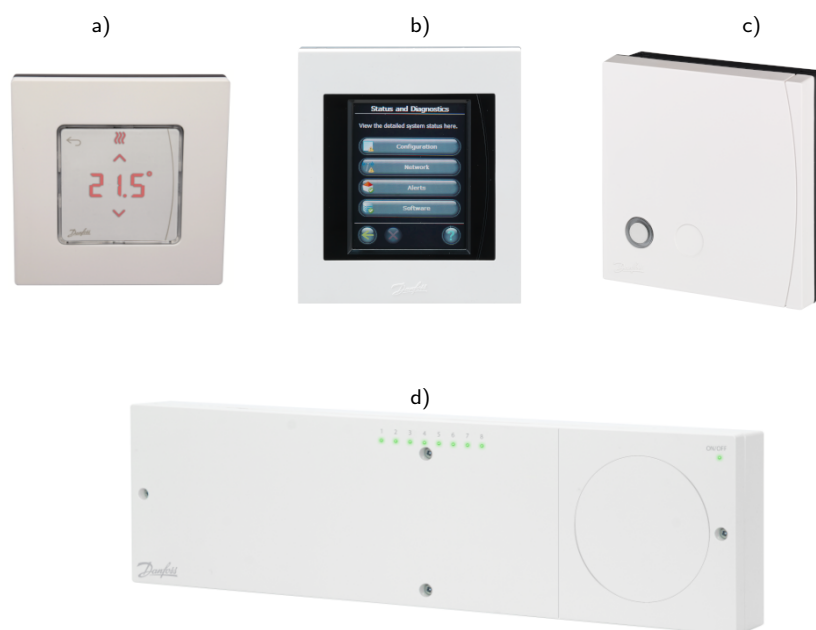


Obrázek 2.5: Jednotlivá zařízení systému Honeywell Evohome.

a) Nástěnný snímač prostorové teploty. b) Centrální jednotka. c) Spínací jednotka kotle. d) Řízení dobíjení TUV. e) Zónový regulátor. f) Rozšiřující modul pro zónový regulátor. Upraveno z [19, 20, 21, 22, 23, 24].

■ Danfoss

Danfoss nabízí bezdrátový systém regulace podlahové topení. Systém řízení je zastřešené pod aplikaci Danfoss Link. Řídicí systém se skládá z centrální jednotky s dotykovým displejem, nástěnných snímač prostorové teploty pro jednotlivé místnosti a zónového regulátoru pro ovládání jednotlivých topných okruhů (celkově je možné ovládat 10 zón), oběhového čerpadla a řízení kotle. Na obrázku 2.6 jsou zobrazeny jednotlivé zařízení systému. Obdobným problémem jako u PocketHome je počítání pouze s jedním zdrojem tepla, nepočítání s centrálním zásobníkem teplé vody. Vzdálené ovládání umožněno přes mobilní aplikaci pomocí cloudové řešení. Systém má absenci v řízení dobíjení TUV, respektive zásobníku na otopnou vodu a použití více zdrojů tepla (viz předchozích systémy). Opětovnými problémy může být šíření bezdrátového



Obrázek 2.6: Jednotlivá zařízení systému Danfoss Danfoss Link.

a) Nástěnný snímač prostorové teploty. b) Centrální jednotka. c) Spínací jednotka kotle. d) Zónový regulátor. Upraveno z [25, 26, 27, 28].

Pokud shrnu hlavní nedostatky zmíněných systému pro řízení podlahové vytápění, tak mezi ně patří bezdrátové ovládání, zejména tedy možný problém komunikace mezi centrální jednotkou a zařízeními, výměna baterií po určité době. Dále absence počítání s více zdroji tepla a s centrálním zásobníkem otopné vody, systém od firmy Honeywell počítá alespoň s ohřevem TUV. Další možným nedostatkem může být cloudové řešení z pohledu dlouhodobé garance fungování služby, další věcí pak je že vzdálené ovládání neprobíhá přímo s centrální jednotkou, ale se vzdáleným serverem. Další zjištěním bylo, že všechny systémy jsou nabízeny jako bezdrátové, což je samozřejmě

pochopitelné jak z pohledu jednoduchého nainstalování, již do stávajících obydlí, kde s takovým to systémem nebylo počítáno (zejména staré zástavby), též není nutné provádět žádné stavební úpravy. Pokud jsou nabízené drátové řešení, tak zde není žádná centrální jednotka, ovládání probíhá přes drátové lokální termostaty připojené přímo na zónový regulátor, který následně ovládá jednotlivé topné okruhy. Tabulka ?? zobrazuje přehled možností systémů zmíněné výše.

Funkce \ Systém	Elektrobock (PocketHome)	Honeywell (Evohome)	Danfoss (Danfoss Link)
Napojení na více zdrojů tepla	Ne	Ne	Ne
Napojení na centrální zásobník topné vody	Ne	Ne	Ne
Ohřev TUV	Ne	Ano	Ne
Bezdrátové/drátové řešení	Ano	Ano	Ano
Možnosti ovládání	PC chytrý telefon	dotykový displej chytrý telefon	chytrý telefon
Cloudové řešení	Ne	Ano	Ano
Centrální řídicí jednotka	(PH-CJ39-WIFI, 1×) 3 678 Kč	(ATC928G3026, 1×) 5 994 Kč	(014G0288, 1×) 8 694 Kč
Zónový regulátor	(PH-BP1-P9, 1×) 3 388 Kč	(HCE80, 1×) 5 622 Kč	(088U1031, 1×) 4 299 Kč
Nástěnný snímač prostorové teploty	(PH-BP7-V, 9×) 9 036 Kč	(T87RF2083, 9×) 12 141 Kč	(088U1081, 9×) 19 476 Kč
Spínací jednotka kotle	(PH-PK20, 1×) 1 498 Kč	(BDR91A1000, 1×) 1 100 Kč	(014G0272, 1×) 2 190 Kč
Řízení dobíjení TUV		(ATF500DHW, 1×) 3 818 Kč	
Rozšiřující modul pro zónový regulátor		(HCS80, 1×) 1 897 Kč	
Celková cena včetně DPH ^a	17 600 Kč	30 572 Kč	34 659 Kč

^a Ceny stanoveny ke dni 26. 11. 2020.

Tabulka 2.1: Srovnání funkcí jednotlivých komerčních systémů.

V tabulce ?? chybí v části ceny pohony pro ovládání jednotlivých topných okruhů pomocí zónového regulátoru. Pro výše zmíněné systémy, zónový

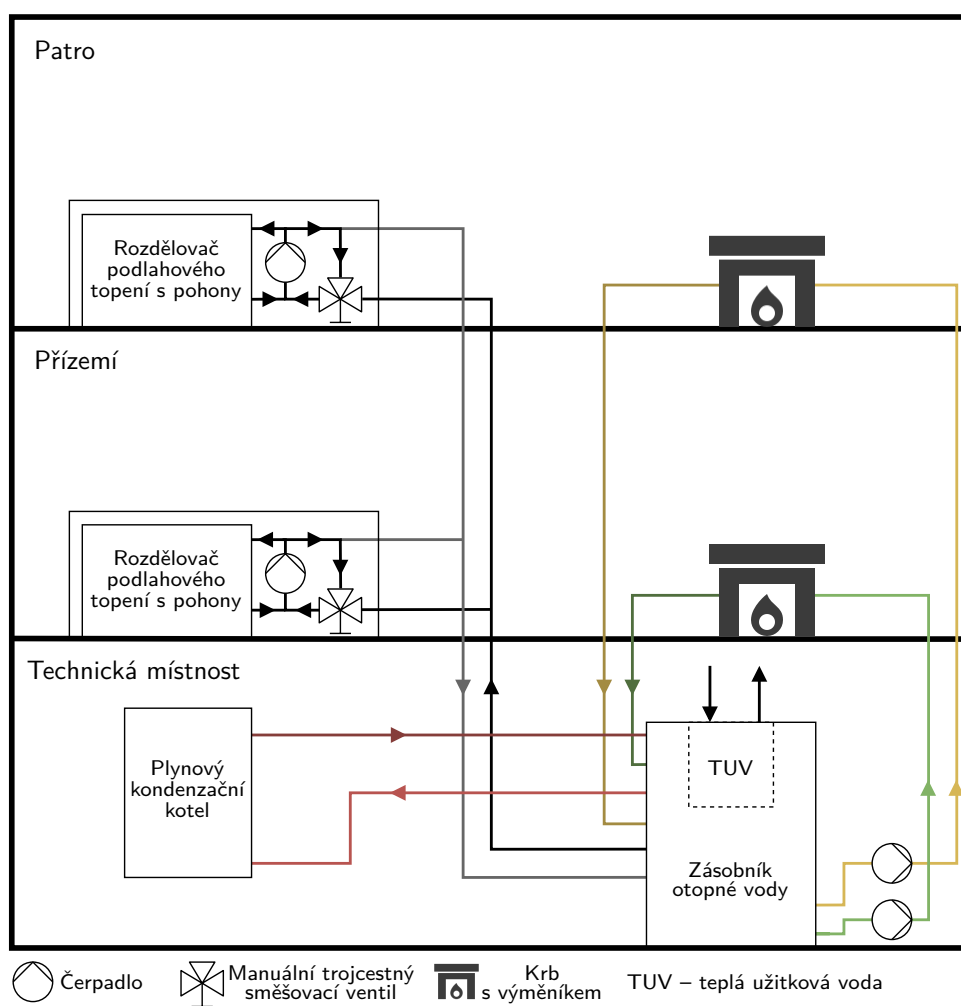
regulátor podporuje pohony na 230 V AC, pohony je možné koupit přímo od daného výrobce nebo od jiného, na samotnou funkčnost to nemá vliv. Jediný rozdíl může být v pořizovací ceně, kde pro termoelektrické pohony je cena od 400 do 800 Kč, pro servopohony může být cena ještě vyšší. Celková cena za 12 pohonů se pohybuje v řádu jednotek tisíc. Někteří výrobci jako Danfoss nabízejí pro jejich systém zesilovače/opakovače signálu pro bezdrátový systém, v případě špatného průchodu signálu je možné zakoupit toto zařízení, ale nutné počítat s dalšími náklady na víc (řády jednotek tisíc). V případě, že systém neumí ovládat kotel pro dobíjení TUV, případně nesplňuje požadavky, které bychom chtěli, pak je nutné využít jiné řešení/systém, což se dále promítá do dalších nákladů a hlavně se jedná o nejednotnost jednoho systému.

Kapitola 3

Návrh konceptu řídicího systému

3.1 Popis celkového konceptu

Otopná soustava domu je zobrazena na obrázku 3.1. Skládá v současné době pouze z jednoho zdroje tepla a to krbů v přízemí a v patře s teplovodními výměníky. Krby s teplovodním výměníkem slouží k ohřevu otopné vody proudící skrz vložku krbu, které dobíjí zásobník otopné vody, dále pak vzniká teplo ze samotného ohně sálající do místnosti. Na každém patře je rozdělovač podlahové topení s 12 topnými okruhy, kde každý okruh se dá ovládat zvlášť (průtok otopné vody). Dále je zde čerpadlo a manuální trojcestný směšovací ventil pro nastavení optimální teploty do podlahového topení. Druhým zdrojem tepla je plynový kondenzační kotel, který není v současnosti pořízen, nicméně se s ním počítá do budoucna. Bude sloužit k ohřívání otopné vody, pokud nebudou využiti krby s teplovodním výměníkem, zejména v letním období pro ohřev teplé užitkové vody (dále jen TUV). Oba zdroje tepla ohřívání otopnou vodu do centrálního zásobníku (objem je 1 500 l). Kde je přibližně v jedné horní třetině výšky zásobníku umístěna nádoba TUV (objem je 120 l). Navržený systém řídí ovládání čerpadel u rozdělovačů podlahové topení, čerpadel pro krby s výměníkem a pohonů pro jednotlivé okruhy podlahové topení. K ovládání čerpadel, topných okruhů dochází při požadavku topení nebo pokud dojde k zatopení v krbech. Řízení podlahové topení respektive pohonů dochází pouze v patře, kde je více obytných místností, dochází ke stoupání teploty z přízemí a proto je výhodnější toto patro regulovat.



Obrázek 3.1: Otopná soustava v domě.

3.1.1 Hardwarová část

Centrální jednotka je jednodeskový počítač s periferiemi jako ethernetový port, USB, univerzálními vstupy/výstupy, případně s alternativní funkcí pinů jako sběrnice I²C nebo dalšími typy periferií. Dále by měla disponovat dostatečnou velikostí RAM paměti a relativně výkonným procesorem pro snadné zpracování vstupní/výstupních dat či povelů.

Bezdrátové nástěnné snímače prostorové teploty jsou napájeny z lokálních síťových adaptérů, každý modul má své napájení. Nástěnný snímač prostorové teploty se skládá z displeje pro zobrazení aktuální a požadované teploty a dalších nastavení. Dále ze tří tlačítek pro vstup do menu a tlačítek pro zvý-

šení/snížení požadované teploty a teplotního senzoru. Komunikace s centrální jednotkou je zajištěna pomocí WiFi modulu skrz WiFi router.

Kabelové nástěnné snímače prostorové teploty jsou napájeny pomocí switchu s POE. Nástěnný snímač prostorové teploty se skládá z displeje pro zobrazení aktuální a požadované teploty a dalších nastavení. Dále ze tří tlačítek pro vstup do menu a tlačítek pro zvýšení/snížení požadované teploty a teplotního senzoru. Komunikace s centrální jednotkou je zajištěna skrz zmíněného switchu.

Indikátor stavů je propojen přímo s centrální jednotkou, skládá z části indikující stavy pomocí LED pro jednotlivé teploty měřené v zásobníku otopné vody rozmístěné v jednotlivých částech nádrže. Dále je zde sběrnice pro komunikaci LCD displejem a centrální jednotkou pro zobrazení teplot ze zásobníku, respektive dvou teplot ze spodní části. LED diody a LCD displej jsou umístěny u krbů v každém patře.

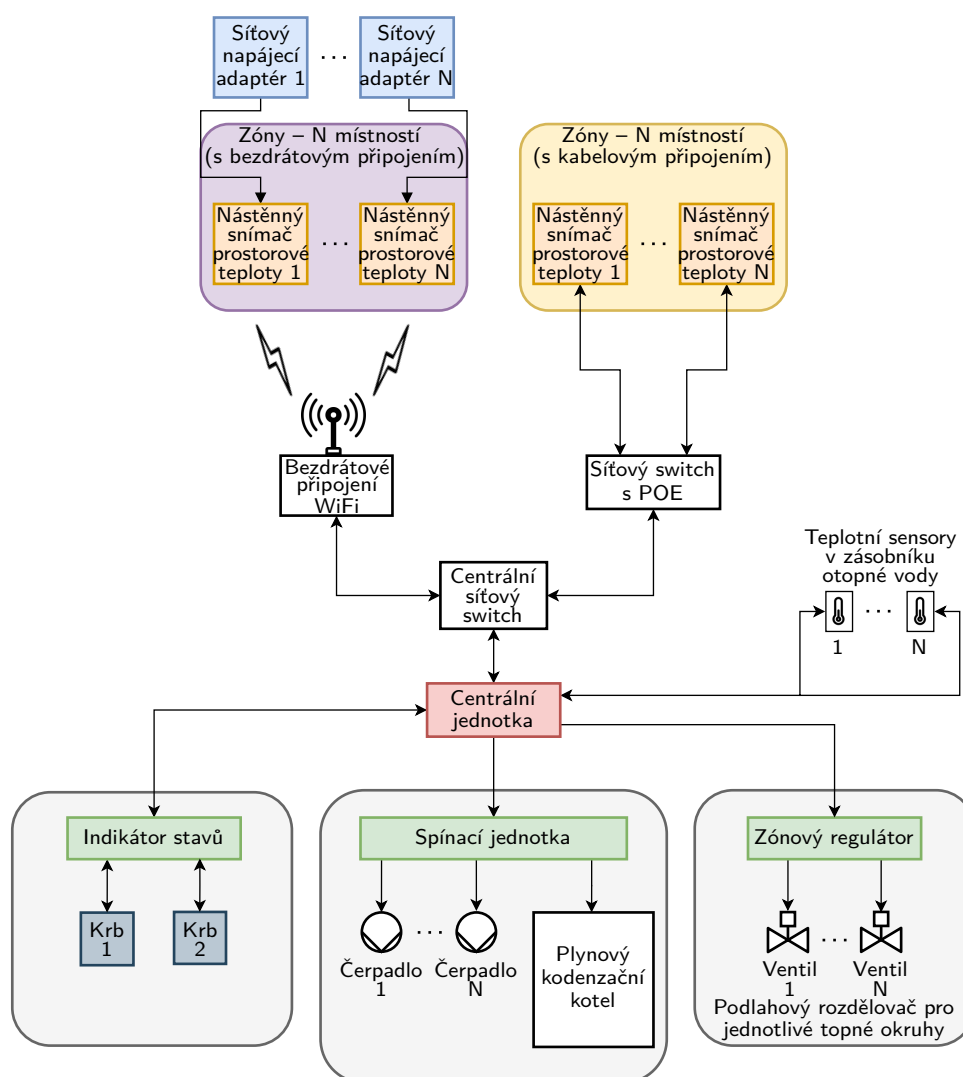
Spínací jednotka se skládá z relé modulů pro ovládání jednotlivých čerpadel pro oběh otopné vody do podlahové topení v jednotlivých patrech. Dále jsou zde ovládány čerpadla pro cirkulaci vody z krbových výměníků. V neposlední řadě je zde případné ovládání plynové kondenzačního kotle.

Zónový regulátor je umístěn v daném patře v rozdělovači pro jednotlivé topné okruhy. Komunikace mezi zónovým regulátorem a centrální jednotkou je pomocí sběrnice. Zónový regulátor ovládá jednotlivé pohony pro místnosti pomocí PWM signálu. Pohony jsou přímo připojené na zónový regulátor.

Síťové prvky se skládají z centrálního switchu, switchu s POE a domácího WiFi routeru. Centrální switch sdružuje veškerou komunikaci jak z kabelových nástěnných snímačů prostorové teploty, tak i bezdrátových. Bezdrátové nástěnné snímače prostorové teploty jsou připojeny pomocí WiFi routeru a ten následně do centrální switchu, který přepojuje komunikaci do centrální jednotky. Kabelové nástěnné snímače prostorové teploty jsou připojeny přes switch s POE, který zařízení napájí a přeposílá komunikaci do centrálního switchu, který přepojuje komunikaci do centrální jednotky.

Teplotní senzory v zásobníku otopné vody jsou rozmístěné ve třech částech zásobníku. Dále jsou teplotní senzory na kouřovodech u jednotlivých krbů pro detekci topení. Všechny senzory jsou napojeny na jednu sběrnici.

Výše popsany hardwarový koncept je nakreslen na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Návrh hardwarové části systému.

■ Teplotní čidla

Jak bylo zmíněno výše, teplotní čidla jsou potřebná na snímání teplot na kouřovodech krbů pro následné sepnutí oběhového čerpadla. Teplota na kouřovodech se může dosáhnout až 300 °C (optimální teplota se však pohybuje přibližně mezi 120 °C až 240 °C, kdy je nejvyšší účinnost kamen a hoření paliva), proto je nutné zvolit takové čidlo, které je na tyto teploty vhodné. Mezi takové teplotní čidlo patří odporové teplotní čidlo (teplotní rozsahy od -240 °C až 600 °C) nebo termočlánek (teplotní rozsahy od -260 °C až 2 300 °C). Pro zjištění teploty není nutná velmi velká přesnost, citlivost, jistým požadavkem je robustnost čidla (nejen ochrana čidla, ale i převodních

kabelů), vzhledem k umístění u krbu, kde je dosahováno vyšších teplot.

Princip termočlánku spočívá v Seebeckově efektu, jsou-li spojeny dva vodiče z různých kovů, tak v místě spojení je generováno napětí. Velikost napětí je závislá na vnější teplotě a materiálu článku. Linearita výstupního napětí článku je závislá na typu termočlánku a rozsahu teplot.

Další teplotní čidla jsou nutná pro nástěnné teplotní snímače pro každou místnost, zásobník otopné vody a venkovní čidlo. Teplotní rozsah těchto čidel nemusí být tak vysoký jako u měření teplot na kouřovodech. Teplotní rozsah stačí v řádů desítek stupňů jak pro kladné, tak i záporné hodnoty teploty. Vzhledem ke vzdálenostem teplotních čidel a centrální jednotky bude lepší zvolit digitální teplotní čidla, které výslednou změřenou teplotu zpracuje poše po sběrnici v digitální podobě. Není pak nutná další elektronika pro zpracování hodnot teploty jako například u termočlánku či teplotně odporového čidla.

3.1.2 Softwarová/komunikační část

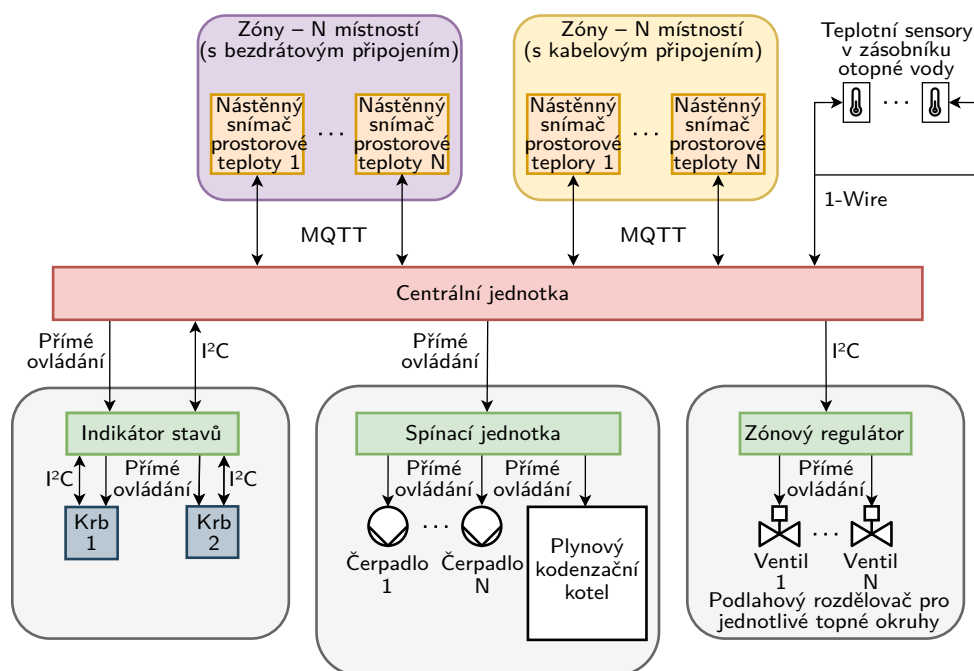
Komunikace mezi centrální řídicí jednotkou a bezdrátovými i kabelovými nástěnnými snímači prostorové teploty je zajištěny pomocí protokolu MQTT. Centrální jednotka dostává informace z jednotlivých nástěnných snímačů prostorové teploty, zároveň je možné některá parametry nastavovat přímo přes centrální jednotku, která následně dané nastavení pošle do daných zařízení.

Indikátor stavů komunikuje s centrální jednotkou pomocí sběrnice I²C pro zobrazení hodnot na LCD displeji. Zároveň je zde přímé připojení na vstupní/výstupní piny centrální jednotky pro ovládání indikačních LED diod.

Spínací jednotka je přímo připojena do centrální jednotky pro spínání daných čerpadel pro podlahové topení, čerpadel pro krbové výměníky a kondenzačního plynového kotle.

Zónový regulátor komunikuje s centrální jednotkou pomocí I²C sběrnice, následně ovládání pohonů pro topné okruhy je přímo zónovým regulátorem.

Teplotní senzory umístěné v zásobníku otopné vody a na kouřovodech krbů komunikují s centrální jednotkou pomocí 1-Wire sběrnice.

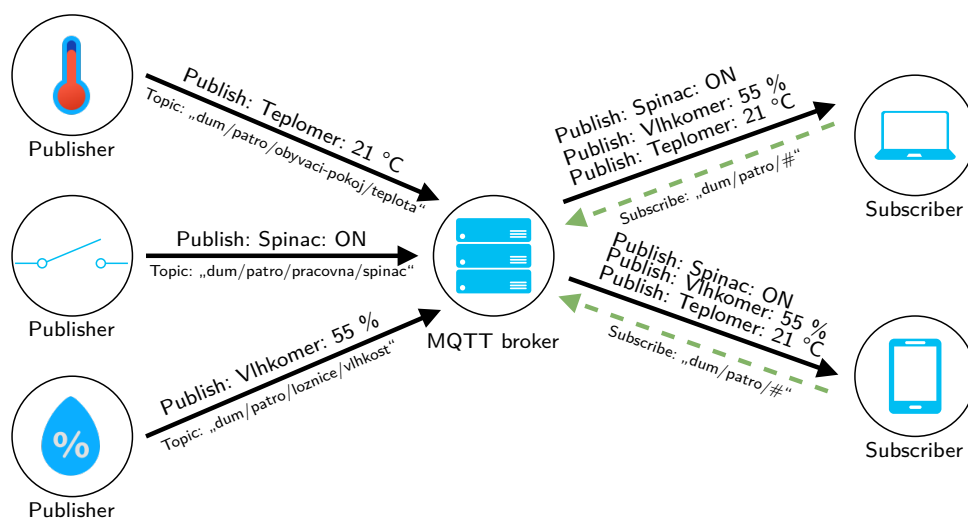


Obrázek 3.3: Návrh softwarové části systému.

MQTT protokol

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) je jednoduchý a nenáročný M2M/„Internet Of Things“ komunikační protokol. Protokol je založen na principu předávání zpráv mezi klienty přes centrální server (broker). Centrální server přijímá zprávy od poskytovatele zprávy (tzv. publisher), které následně předává k přečtení čtenářům, kteří tuto zprávu odebírají (tzv. subscribers). Publisher obvykle představuje nějaký sensor či měřící jednotku, která vysílá naměřené hodnoty na broker, zatímco subscriber obvykle tvoří nějaká řídicí jednotka, která hodnoty odebírá (přijímá) a dále s nimi pracuje nebo je zobrazuje.

Přenášené zprávy jsou tříděny do témat (topic). Každá zpráva patří právě do jednoho tématu, přičemž témata definuje přímo publisher. Subscriber pak musí předem znát jméno (označení) tématu, aby se mohlo přihlásit u brokeru k jeho odběru. Subscriber nemusí znát umístění ani komunikační adresu publisheru. Musí jen znát komunikační adresu (umístění) brokeru. Témata jsou hierarchická a oddělená lomítky. Příklad struktury tématu: „dum/patro/loznice/sensor/teplota“, lze tak přehledně roztrdit jednotlivá umístění zařízení a případné rozšiřování systému je pak snadné. Příklad schématu komunikace a struktury topiců je zobrazena na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4: Základní funkční schéma MQTT komunikace. Příklad přenosu hodnot do koncových zařízení. Znak # nahrazuje jednu či více úrovní, budou přijímány subscribers všechny zprávy tykající se prvního patra domu.

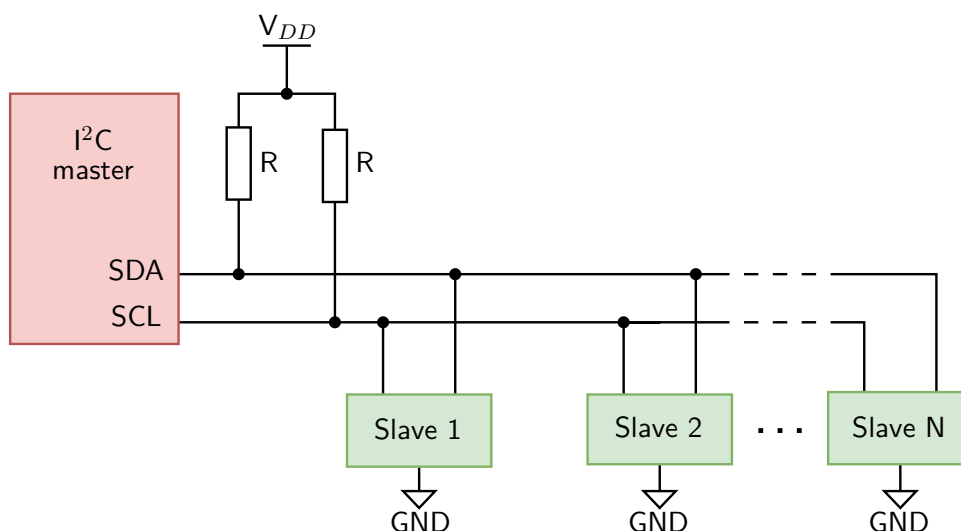
Obsahem zprávy není přesně definován. Nejčastěji se používá formát (způsob zápisu) dat JSON (*JavaScript Object Notation*), BSON (*Binary JSON*) nebo textové zprávy. Velikost zprávy je pak v aktuální verzi protokolu omezena na necelých 256 MB, ale vzhledem k využití „Internet of Things“ bývá většina zpráv mnohem menší.

Protokol MQTT popisuje jen samotný popis struktury přenášených zpráv, ale nedefinuje způsob přenosu. K tomu se využívá TCP/IP protokol. Protokol definuje tři úrovně potvrzování zpráv QoS (*Quality of Service*). QoS 0 – Zpráva je odeslána bez potvrzení a není zaručeno její doručení. QoS 1 – Publisher zprávu odešle a přes broker je od odběratelů posláno potvrzení, broker může poslat potvrzení, aniž by měl potvrzení od všech odběratelů (závisí na implementaci). QoS 2 – Publisher zprávu odešle, broker pošle publisherovi potvrzení o přijetí na kterou publisher odpoví potvrzením, broker zprávu smaže a potvrdí zprávou, tím je komunikace mezi publisherem a brokerem uzavřena. Tato komunikace probíhá i mezi brokerem a odběrateli.

V přihlašovací sekvenci se využívá identifikace klienta pomocí ID a pak volitelně i pomocí uživatelské jména a hesla. MQTT díky podpoře SSL/TLS umožňuje přihlášení pomocí klientského SSL certifikátu.

I²C sběrnice

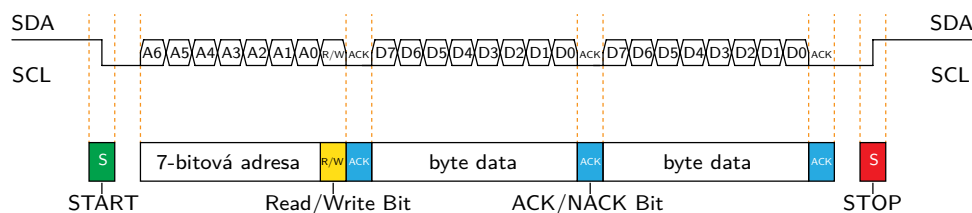
Jedná se o sériovou, synchronní sběrnici. Komunikace probíhá na dvou vodičích, jeden tvoří hodinový vodič (SCL – *Synchronous Clock*) a datový vodič (SDA – *Synchronous Data*). Vodiče jsou sdílené mezi připojenými zařízeními, proto je možné aby kdokoliv komunikoval s kýmkoliv (komunikace je v této konfiguraci náročnější na zpracování). Typické zapojení sběrnice je v konfiguraci jeden Master, který veškerou komunikaci řídí, a několik zařízení Slave, viz obrázek 3.5. Nicméně existuje varianta s více Mastersy, existuje sada pravidel, jak se musí chovat, aby mohli na sběrnici pracovat společně a neovlivňovali se. Na vodičích SCL a SDA je připojen „pull-up“ rezistor (R), v neutrálním stavu je na vodičích log. 1. Připojená zařízení po sběrnici komunikují pomocí otevřeného kolektoru (mohou sběrnici stáhnout k zemi (log. 0), po odpojení je na sběrnici opět log. 1).



Obrázek 3.5: Zapojení I²C sběrnice. Jedno zařízení pracuje v režimu „master“, ostatní zařízení v režimu slave „slave“.

Komunikace vždy začíná START sekvencí (na SDA se vygeneruje sestupná hrana, na SCL je držena log. 1) a končí STOP sekvencí (na SDA se vygeneruje vzestupná hrana, na SCL je držena log.). SDA nesmí nikdy měnit svojí hodnotu, když je SCL v log. 1. Přenos jednoho bitu zprávy probíhá, takže SCL je v log. 0, změni vysílač hodnotu SDA na takovou, jak potřebuje. Poté nastaví SCL do log. 1. Se vzestupnou hranou pak přijímač čte hodnotu na SDA. Vysílač opět vrátí SCL do log. 0 a celý proces se opakuje s dalším bitem zprávy. Zpráva se skládá z 9 bitů. Prvních 8 bitů je datových a devátý bit je potvrzovací (log. 0 pro potvrzení nebo log. 1 a vysílač z toho vyrozumí, že zpráva není potvrzená). Nejednodušší tvar zprávy se skládá ze START

sekvence, 8 bitů, potvrzovací devátý bit a STOP sekvence. Prvních 7 bitů po START sekvenci tvoří adresu zařízení (každý Slave má unikátní adresu, jinak dojde ke kolizi) a osmí bit rozhoduje o směru toku dat (zda se bude zapisovat log. 1 či číst log. 0), každý byte se potvrzuje devátým bitem, buď potvrzuje Slave, když Master posílá data nebo naopak Master potvrzuje, když posílá Slave. Tak to se potvrzuje až na poslední byte, tím se zařízení dozví, že komunikace končí a má uvolnit SDA linku. Poté se odešle STOP sekvence. Zobrazení komunikace je na obrázku 3.6.



Obrázek 3.6: Příklad I²C datové komunikace se 7-bitovou adresací. Upraveno z [29].

Adresace je možná pomocí 7 bitů (128 unikátních adres, číslo je však poníženo ještě o speciální adresy, např. broadcast adresa apod.) nebo 10 bitů (1024 unikátních adres), zde se pak adresy přenáší ve dvou bytech (pro první byte se používá vyhrazená adresa, kde jsou uloženy dva nejvyšší bity adresy, v druhém byte je dolních osm bitů adresy).

Podle verze sběrnice je frekvence SCL 100 kHz, 400 kHz, 1 MHz nebo až 3,4 MHz. Rychlost je pak přizpůsobena nejpomalejšímu zařízení na sběrnici. Pull-up rezistory jsou v řádech jednotek kiloohmů, s rostoucí frekvencí nebo delší vzdáleností sběrnice se jejich velikosti volí menší.

1-Wire sběrnice

Jedná se o sériovou sběrnici. Komunikace probíhá na jednom vodiči, dalšími vodiči jsou napájení (V_{DD}) a zem (GND) to je v případě konfigurace pomocí tří vodičů (obrázek 3.7), další typ konfigurace sběrnice je pomocí jen dvou vodičů, kde napájení a komunikace probíhá na jednom vodiči, druhý vodič je zem (obrázek 3.8), během neutrálního stavu na sběrnici (log. 1) dochází k nabíjení interního kondenzátoru, který se následně chová jako zdroj energie při log. 0 na sběrnici (komunikace), v tomto režimu je nutné splnit vhodné podmínky pro napájení a časování pro správnou komunikaci. Sběrnice se skládá z řídicího obvodu master a jednoho či více připojených zařízení slave. Na vodiči data je připojen „pull-up“ rezistor (R), v neutrálním stavu je na

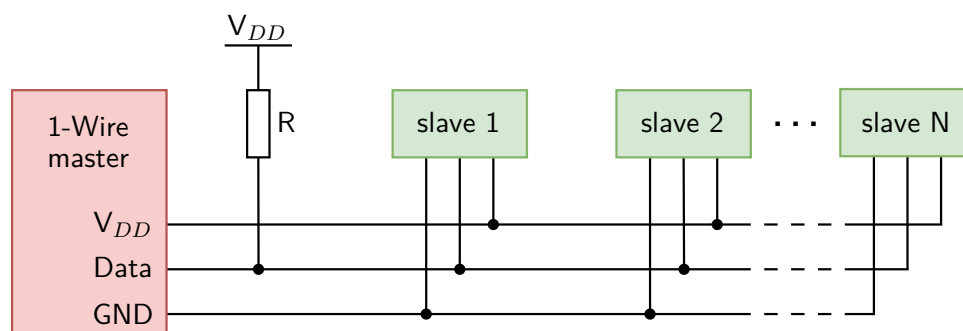
vodiči log. 1. Připojená zařízení po sběrnici komunikují pomocí otevřeného kolektoru (mohou sběrnici stáhnout k zemi (log. 0), po odpojení je na sběrnici opět log. 1).

Komunikaci zahajuje vždy master reset pulsem. Dojde ke vygenerování sestupné hrany na datovém vodiči na log. 0 po dobu minimálně 480 μs . Pak master sběrnici uvolní (opět se objeví log. 1) a naslouchá. Pokud je na sběrnici připojené zařízení, tak detekuje tuto vzestupnou hranu a po prodlevě (15–60 μs) stáhne sběrnici na 60–240 μs k log. 0. Průběh komunikace je zobrazena na obrázku 3.9a. Pokud se zařízení správně ohlásí, může master začít vysílat a přijímat data, která jsou vysílána v tzv. time slotech. Slot je dlouhý 60–120 μs a během jednoho slotu je vyslán nebo přijat jeden bit informace. Mezi jednotlivými sloty musí být minimálně 1 μs mezera, kdy je sběrnice v klidu.

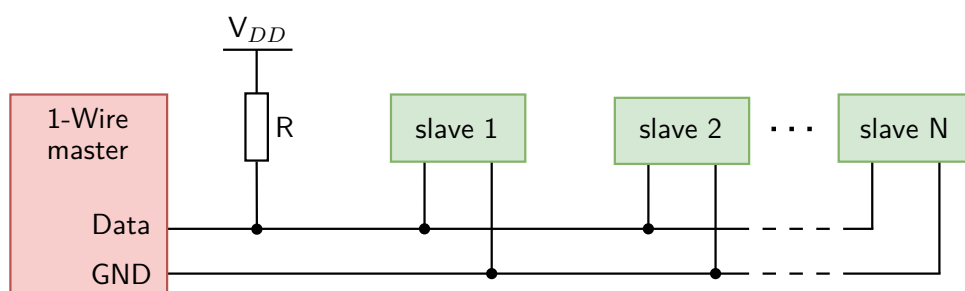
Existují 4 ruhy slotů: zápis 1, zápis 0, čtení 1 a čtení 0. Sloty pro zápis slouží k tomu, aby master vyslal data do zařízení. Zápis 1 probíhá tak, že master stáhne sběrnici k log. 0 minimálně na 1 μs a nejpozději do 15 μs od začátku ji opět uvolní a ponechá volnou. Zápis 0 probíhá tak, že master stáhne sběrnici k log. 0 a ponechá ji tak po celý slot, tedy minimálně 60 μs . Zařízení vzorkuje stav na datovém vodiči zhruba 30 μs po začátek time slotu. Průběh komunikace je zobrazena na obrázku 3.9b.

Čtecí sloty inicializuje master, stáhne sběrnici k log. 0 na minimálně 1 μs a opět ji uvolní. Po tomto zahájení může zařízení vyslat 1 bit, ponechá sběrnici v klidu (log. 1) nebo je stáhne k zemi (log. 0). Průběh komunikace je zobrazena na obrázku 3.9c.

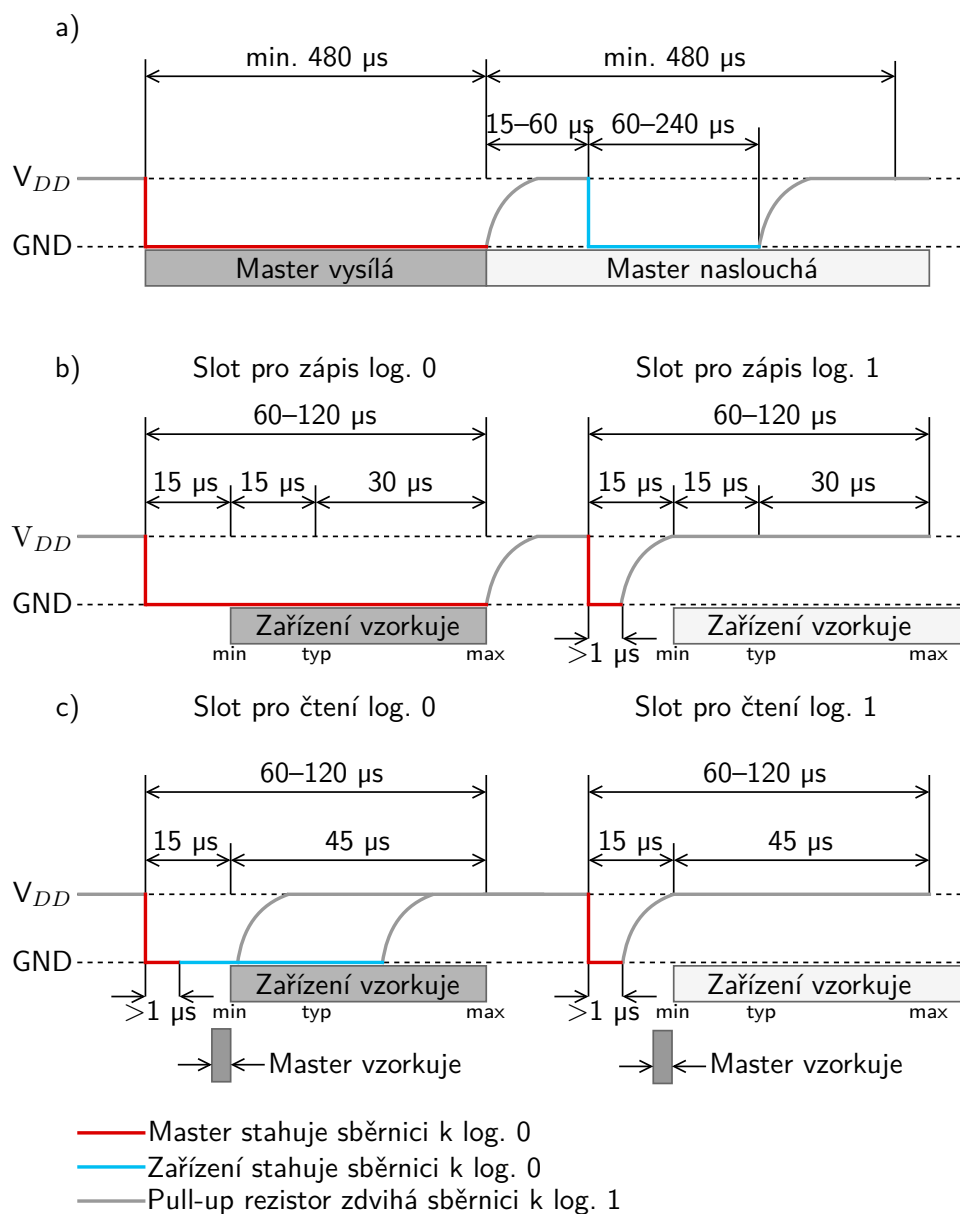
Každé zařízení má v sobě paměť ROM, která obsahuje 64bitové unikátní číslo, která slouží k odlišení jednotlivých zařízení na sběrnici. Po RESET pulsu je třeba vyslat příkaz Match ROM, pak 64bitový kód zařízení, se kterým se má pracovat, a teprve poté se posílá příkaz.



Obrázek 3.7: Zapojení 1-Wire sběrnice ve trojvodičovém provedení.



Obrázek 3.8: Zapojení 1-Wire sběrnice ve dvou vodičovém provedení.



Obrázek 3.9: Průběhy na sběrnici 1-Wire. a) Reset. b) Zápis dat. c) Čtení dat. Upraveno z [30].

3.2 Řídicí systém

V současné době existuje poměrně dost open-source projektů pro monitorování a ovládání domácí automatizaci. Do které lze zařadit inteligentní řízení vytápění. Mezi velké projekty lze jmenovat systém Home Assistant a OpenHab. Oba jsou poměrně podobní, liší programovacím jazykem, který je použit pro jejich systémové jádro, dále syntaxí pro zápis automatizací, množstvím integrovatelných zařízení (např. zařízení z IKeEi, Google, ...), množstvím vydávaných aktualizací, složitostí vytváření či přidávání zařízení do systému, přehlednou a dostupnou dokumentací a uživatelskou základnou, případně dalšími vlastnostmi. Na základě zkušenosti se systémem Home Assistant jak z pohledu dobré zkušenosti ze strany komunity, široké nabídky možnosti nastavení a relativně rychlou tvorbou automatizace jsem tento systém zvolil pro řízení vytápění rodinného domu.

3.2.1 Home Assistant

Home Assistant (dále jen HA) je systém naprogramovaný v jazyce Python 3 a podporuje mnoho technologií používaných v oblasti domácí automatizace. HA podporuje několik stovek zařízení či služeb (obecně komponent) od desítek velkých firem (např. Nest, Ikea, Google, ...). Přesněji sdružuje jejich společné ovládání a vzájemnou propojenost automatizací. Vše je tak na jednom místě a možné ovládat přes jednoduché grafické rozhraní.

Všechna data jsou uložena na vlastním úložišti, tedy vlastní počítač, nas, Raspberry Pi apod. Není tedy potřeba zakládat účet pro využívání služeb (některé služby však potřebují internetové připojení pro stahování informací např. předpověď počasí) a posílat data třetím stranám.

Systém se skládá ze samotné aplikace HA a z operačního systému na kterém HA běží. HA je možné nainstalovat na systém Linux, Windows, macOS. Též je přímá oficiální podpora pro Raspberry Pi, Asus Tinkerboard, Odroid a Intel NUC nicméně lze najít varianty pro další podobná zařízení. Existují čtyři varianty instalace systému, liší nutnými zkušenostmi pro správu HA tak i operačního systému, možnostmi správy aktualizací či obnovování, vracení nastavení, dále způsoby zálohování, možnostmi operačního systému (zda je předinstalován omezený OS nebo se jedná o plnohodnotnou verzi) v neposlední řadě zda je využit kontejner Docker či je HA nainstalován přímo v operačním systému nebo lépe při využití virtuálního prostředí.

Architektura Home Assistantu

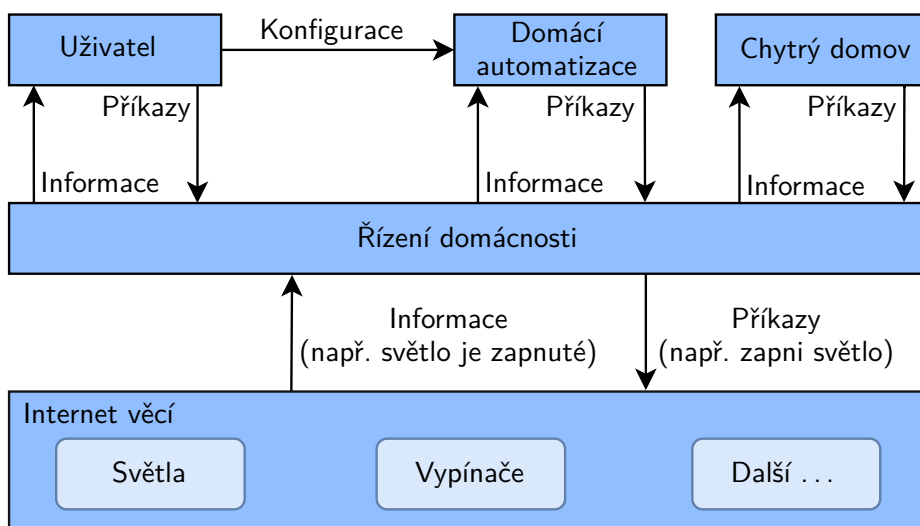
Obecně není stanoven otevřený standard pro komunikaci inteligentních zařízení. Tato skutečnost zamezuje vzájemnou komunikaci mezi zařízeními a především většina zařízení není určena k řízení jiných zařízení. V HA se takové zařízení, která spravuje všechny ostatní nazývá **rozbočovač**.

Minimum, co by rozbočovač měl umět, je sledovat stav připojených zařízení a schopnost je řídit. Například u světel nás zajímá informace, zda jsou rozsvícená či nikoliv a umožnit změnit jejich stav. U senzoru sledujeme jeho hodnotu. Rozbočovač s těmito možnostmi umožňuje **řízení domácnosti**.

Jistým krokem k domácí automatizaci je spuštění **uživatelsky nadefinovaných nastavení** na základě informací z domácí vrstvy řízení (například zatažení žaluzií při nadměrném osvětlení slunečními paprsky). Rozbočovač s těmito schopnostmi je schopný **domácí automatizace**.

Poslední kategorie, která je stále v budoucnu se nazývá **chytrý domov**. Samoučící a adaptivní systém, který rozhoduje, která událost by měla ovlivnit jiná zařízení.

Výše popsany z přehled řízení domácí automatizace HA je na obrázku 3.10.

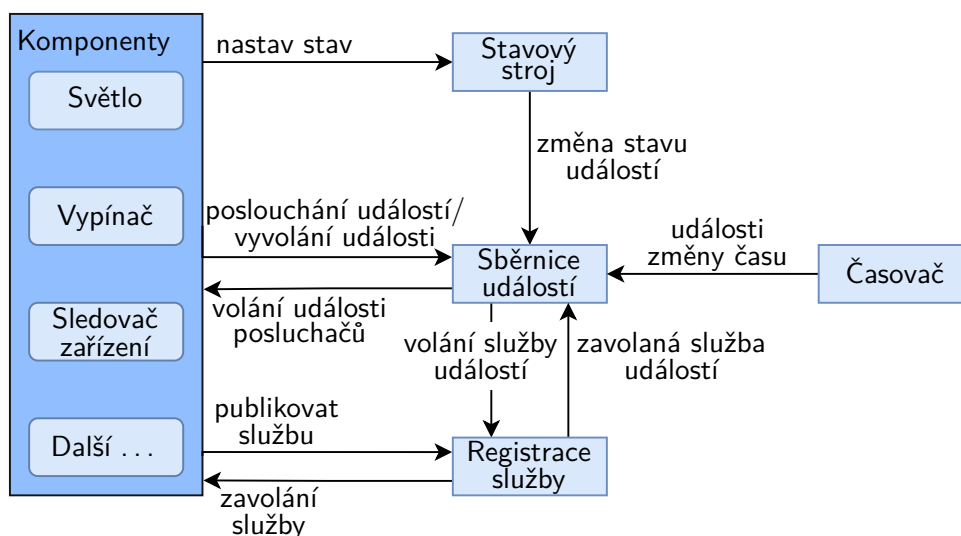


Obrázek 3.10: Přehled řízení domácí automatizace HA. Upraveno z [31].

Jádro architektury Home Assistant

Jádro HA odpovídá za domácí řízení. HA se skládá ze čtyř částí, které to umožňují (obrázek 3.11):

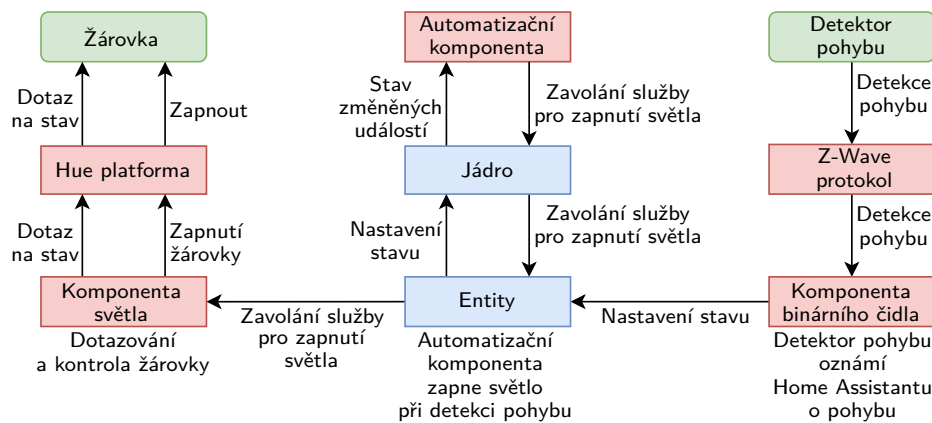
- Sběrnice událostí – umožňuje vyvolání a poslech událostí – „srdce“ HA.
- Stavový stroj – sleduje stave zařízení a spustí **změnu stavu** událostí, pokud došlo ke změně.
- Registr služeb – poslouchá sběrnici událostí pro **volání služby** událostí a umožňuje jinému kódu registrovat služby.
- Časovač – posílá události **změny času** každou jednu sekundu na sběrnici událostí.



Obrázek 3.11: Jádro architektury HA. Upraveno z [31].

Architektury komponent

HA je možné rozšiřovat přes tzv. komponenty. Každá komponenta odpovídá za určitou oblast v rámci HA. Komponenty mohou poslat spouštěcí události, nabízet služby a řídit/měnit stavy (obrázek 3.12). Komponenty jsou napsány v Pythonu. Sám HA nabízí několik stovek takovýchto komponent k použití.



Obrázek 3.12: Znázornění využití komponent v HA. Upraveno z [31].

Jsou zde dva typy komponent v rámci HA. První typ komponent, které interagují se zařízeními „Internet of Things“ (například inteligentní žárovky). Druhý typem jsou komponenty, které reagují na událost ke kterým dojde v HA (například nastavená automatizace).

3.2.2 Inteligentní část systému

Pro co největší využití centrálního řízení podlahového vytápění je vhodné využít různé metody pro její optimalizaci, což se následně promítne do nákladů energie, tak též i do teplotního komfortu uživatelů. Velmi častá situace je, že domy jsou vytápěny podle momentální teploty. Toto řešení není ideální, zejména v zateplených domech, případně s podlahovým topením. Problémem jsou hlavně podzimní a zimní dny, kdy teplota nad ránem prudce klesne. Reakce vytápěcího systému je poměrně rychlá a začne přitápět. Vzhledem k setrvačnosti otopné soustavy a to především u podlahového topení dojde k pomalé teplotní změně, což v případě ranní mrazíku se projeví tak, že může být dávno pryč nebo opačný problém, odpoledne začne pražit slunce do oken, čímž máme nepříjemně přetopeno. Výsledkem je nepříjemný uživatelský komfort a zbytečná platba za energii.

Jednou z metod je využití předpovědi počasí, kdy dopředu víme teplotní předpověď, kterou můžeme začlenit do teplotních programů (časově definované úsek pro vytápění) definované uživatelem a základě předpovědi se rozhodnout, zda je nutné v místnosti přitápět dříve v případě snížení venkovní teploty nebo naopak s vytápěním počkat.

Samoučící funkci lze dosáhnout pro každou místnost optimální zahájení vytápění, kdy systém si danou místnost „osahá“ a rozhodne, jak dlouho bude vytápění trvat na danou teplotu. Tím lze eliminovat nepříjemný uživatelský komfort, kdy v daný čas není nastavena požadovaná teplota.

Výhodnou funkcí je detekce otevřeného okna. V případě otevření okna, dojde k poklesu vnitřní teploty místnosti, tento pokles lze vyhodnotit a lze tak zakázat vytápění pro danou místnost, dojde tak k úspoře zbytečně vynaložených nákladů za energii.

Co se týče nastavení teplot pro vytápění. Jsou zde dvě možnosti, využití takzvaného manuálního režimu, kdy na základě nastavené teploty se vytápění jednotlivé místnosti, uživatel si musí vytápění zapínat na základě svých potřeb (tím se značně eliminuje inteligentní část vytápění), lze daný režim rozšířit o zapínání v daný čas a topit po definovanou dobu. Druhou možností je vytápění podle uživatelsky definovaných časových pásmech po celý týden, tím lze zajistit optimální vytápění pro konkrétní hodiny, kdy se v domě někdo nachází, vše je automatizované podle všedních zvyklostí. Tento režim je možné rozšířit o možnosti popsané výše. Dalšími možnostmi je například snížení teploty v noci na uživatelsky komfortní teplotu, kdy dochází k temperování teploty po celou noc na nižší teploty, čím lze v ranních hodinách zajistit poměrně rychlé vytopení na danou teplotu pro ranní vstávání a zajistit, tak příjemný ranní teplotní komfort. V období, kdy dům po určitou dobu nikdo neobývá, zejména v období dovolené, lze nastavit režim dovolená a temperovat dům na nižší teploty po návratu opět dojde k přenastavení do klasického režimu.

Další nutným prvkem pro řízení je dobíjení TUV. Tato volba se hlavně týká teplých měsíců, kdy většinou je v nádrži otopné vody zásobník TUV. Proto je nutné mít podobné režimy pro dobíjení jako výše.

Pokud je v domě více zdrojů tepla, pak je nutné přihlídnout k provozní ceně těchto zdrojů, zejména tedy použitého paliva. V mém případě se jedné o plynový kondenzační kotel (zatím ještě nepořízen) a krby s teplovodním výměníkem. Je nutné optimalizovat, kdy se jaký má použít. Primárním cílem je použití krbů, kvůli současné ceně dřeva. Proto je nutné upozorňovat uživatele, zda je nutné topit například podle teplotních plánů či naopak přestat topit kvůli natopení celého zásobníku otopné vody. V případech kdy uživatel nezačal topit (z důvodu, že není přítomen nebo jedná se o noc), pak systém by měl rozhodnout, zda použije plynový kondenzační kotel, který je samoobslužný.



Kapitola 4

Závěr



Přílohy

Příloha A

Literatura

- [1] BAŠTA, Jiří. Velkoplošné vytápění (I): Úvod do problematiky. *Tzbinfo* [online]. Praha, 26. 6. 2006n. l., 2006 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/3383-velkoplosne-vytapani-i>
- [2] MATZ, Václav. Zónové regulační systémy a jejich využití při úsporném efektivním vytápění. *TZB-info* [online]. Praha, 2010 [cit. 2020-11-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6203-zonove-regulacni-systemy-a-jejich-vyuziti-pri-uspornem-efektivnim-vytapani>
- [3] , Redakce. Podlahové vytápění - přehled trhu. *TZB-info* [online]. Praha, 2008 [cit. 2020-11-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/4667-podlahove-vytapani-prehled-trhu>
- [4] MALÝ, Martin. Protokol MQTT: komunikační standard pro IoT. *Root.cz* [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/protokol-mqtt-komunikacni-standard-pro-iot/>
- [5] VOJÁČEK, Antonín. IoT MQTT prakticky v automatizaci - 1.díl - úvod. *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. Praha: HW server, 2017 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/iot-mqtt-prakticky-v-automatizaci-1dil-uvod.html>
- [6] OLEJÁR, Martin. Stručný popis sběrnice I2C a její praktické využití k připojení externí eeprom 24LC256 k mikrokontroléru PIC16F877. *Vyvoj.hw.cz: profesionální elektronika* [online]. Praha: HW server, 2000 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/strucny-popis-sbernice-i2c-a-jeji-prakticke-vyuziti-k-pripojeni-externi-eeeprom-24lc256>

- [7] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Komunikace po sériové sběrnici I2C. *Root* [online]. Praha, 2009 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbornici-isup2supc/>
- [8] DUDKA, Michal. I2C — Relativně jednoduše. *Tajned* [online]. 2016 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <http://www.tajned.cz/2016/10/i2c-relativne-jednoduse/>
- [9] DUDÁČEK, Karel. *Http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhvani.pdf* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2002. Dostupné také z: http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhvani.pdf
- [10] VALTER, Jaroslav. *Regulace v praxi: aneb Jak to dělám já*. Praha: BEN — technická literatura, 2010. ISBN 9788073002565.
- [11] *DPS: Elektronika od A do Z* [online]. 11. Liberec: CADware, 2020 [cit. 2020-11-29]. ISSN 1805-5044. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/e-archiv/detail/id:68995/3-2020>
- [12] *DPS: Elektronika od A do Z* [online]. 3. Liberec: CADware, 2012 [cit. 2020-11-29]. ISSN 1804-4891. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/e-archiv/detail/id:10370/4-2012>
- [13] VERMEULEN, Gavin. Heating and Wellbeing [obrázek]. In: *Heat Pumps* [online]. Austrálie [cit. 2020-11-05]. Dostupné z: <http://www.adelaidehydronicheating.com.au/heatpumps.html>
- [14] Velkoplošné sálavé systémy — revoluce ve vytápění a chlazení [obrázek]. In: *Asb* [online]. Praha, 2016, 29. 9. 2016 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vytapeni/velkoplosne-salave-systemy-revoluce-ve-vytapeni-a-chlazení>
- [15] Bezdrátový vysílač pro podlah.topení PH-BP7-V [obrázek]. In: *Eletrobock* [online]. Kuřim, 2017 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.elektrobock.cz/bezdratovy-vysilac-pro-podlah-topeni/p275>
- [16] Produkty — centrální jednotky [obrázek]. In: *Pocket home* [online]. Kuřim [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://pockethome.cz/cs/centralni-jednotky/>
- [17] Přijímač kotle-nástěnný PH-PK20 [obrázek]. In: *Eletrobock* [online]. Kuřim [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.elektrobock.cz/prijimac-kotle-nastenny/p104>
- [18] 9-ti kanálový přijímač pro podlah.topení PH-BP1-P9 [obrázek]. In: *Eletrobock* [online]. Kuřim, 2016 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.elektrobock.cz/9-ti-kanalovy-prijimac-pro-podlah-topeni/p199>

- [19] Bezdrátový jednozónový prostorový termostat Honeywell Round T87RF2083 [obrázek]. In: *Bola: Měřicí, regulační a topenářská technika* [online]. Praha [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/bezdratovy-jednozonovy-prostorovy-termostat-honeywell-round-t87rf2025>
- [20] Řídící jednotka Evohome Touch Wi-Fi Honeywell ATC928G3026 [obrázek]. In: *Bola: Měřicí, regulační a topenářská technika* [online]. Praha [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/ridici-jednotka-evohome-touch-wi-fi-honeywell-atc928g3026>
- [21] Bezdrátová reléová jednotka Honeywell Evohome BDR91A1000 [obrázek]. In: *Bola: Měřicí, regulační a topenářská technika* [online]. Praha [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/bezdratova-releova-jednotka-honeywell-evohome-bdr91a1000>
- [22] Sada Evohome TV Honeywell ATF500DHW [obrázek]. In: *Bola: Měřicí, regulační a topenářská technika* [online]. Praha [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/sada-evohome-tv-honeywell-atf500dhw>
- [23] Honeywell Home podlahový termostat Honeywell evohome HCE80 [obrázek]. In: *Conrad* [online]. Praha [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/honeywell-home-podlahovy-termostat-honeywell-evohome-hce80-1205666>
- [24] Rozšiřující modul pro HCC80 a HCE80 Honeywell Evohome HCS80 [obrázek]. In: *Bola: Měřicí, regulační a topenářská technika* [online]. Praha [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/rozsirujici-modul-pro-hcc80-a-hce80-honeywell-evohome-hcs80>
- [25] Regulační prvky podlahového vytápění, Danfoss Icon 088U1081 [obrázek]. In: *Danfoss* [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://store.danfoss.com/cz/cs/Vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD-a-d%C3%A1lkov%C3%A9-vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD/Teplovodn%C3%AD-podlahov%C3%A9-vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD/Prostorov%C3%A1-regulace/Regula%C4%8Dn%C3%AD-prvky-podlahov%C3%A9ho-vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD%2C-Danfoss-Icon/p/088U1081>
- [26] Danfoss Link, Central controller, Power supply: PSU 014G0288 [obrázek]. In: *Danfoss* [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://store.danfoss.com/en/Heating-and-District-Energy/Smart-Heating/Danfoss-Link---Smart-Heating/Central-Controller/Danfoss-Link%E2%84%A2%2C-Central-controller%2C-Power-supply%3A-PSU/p/014G0288>
- [27] Regulační prvky podlahového vytápění, Danfoss Icon, 230.0 V, Výstup - napětí [V] AC: 230, 8 088U1031 [obrázek]. In: *Danfoss* [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://store.danfoss.com/cz/cs/Vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD-a-d%C3%A1lkov%C3%A9-vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD>

%AD/Teplovodn%C3%AD-podlahov%C3%A9-vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD
/Prostorov%C3%A1-regulace/Regula%C4%8Dn%C3%AD-prvky-podlah
ov%C3%A9ho-vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD/2C-Danfoss-Icon%2C-230-0-
V%2C-V%C3%BDstup---nap%C4%9Bt%C3%AD-%5BV%5D-AC%3A-230%2C-8
/p/088U1031

- [28] Kotlové relé pro systém Danfoss Link, 868.42 MHz 014G0272 [obrázek]. In: *Danfoss* [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://store.danfoss.com/cz/cs/Kotlov%C3%A9-rel%C3%A9-pro-syst%C3%A9m-Danfoss-Link%2C-868-42-MHz/p/014G0272>
- [29] I2C Part 1 - Introducing I2C [obrázek]. In: *ABelectronics UK* [online]. Swanage, 2020 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.abelectronics.co.uk/kb/article/1090/i2c-part-1---introducing-i2c>
- [30] MALÝ, Martin. Sběrnice 1-Wire [obrázek]. In: *Vyvoj.hw.cz: profesionální elektronika* [online]. Praha, 2004 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/sbornice-1-wiretm.html>
- [31] SCHOUTSEN, Paulus. Architecture [obrázek]. In: *Home Assistant Developer Docs* [online]. 2020 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: https://developers.home-assistant.io/docs/architecture_index