

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická



Bakalářská práce

**Návrh algoritmů pro řízení vzduchotechnických
jednotek**

Petr Bartoš

Vedoucí práce: Ing. Jan Široký, Ph.D.

Studijní program: Kybernetika a robotika

Obor: Systémy a řízení

Květen 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 26.5.2016

.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mě podporovali a kteří mi v mé práci pomáhali při řešení problémů. Především děkuji:

- *Ing. Janu Širokému, Ph.D.* – za vedení práce
- *Ing. Filipu Petrovici a Ing. Michalu Hroudovi* – za konzultace

Abstrakt

Tato práce se zabývá analýzou v praxi používaných řídicích algoritmů vzduchotechnických jednotek a následným navržením univerzálních řídicích programových bloků, na základě obecných poznatků, pro snadnější programování algoritmů různých druhů vzduchotechnik. Ve spolupráci s firmou Energocentrum Plus s.r.o., jíž bude v případě úspěchu sloužit výsledek této práce, byly vytipovány vzduchotechnické jednotky v budově ČVUT Fakulty strojí, pro místnosti 436, 438. Obecné návrhy bloků vytvořené v jazyce ST, dle normy IEC 61131-3, budou aplikovány na tyto vzduchotechnické jednotky. V průběhu práce byl návrh algoritmů pro tyto vzduchotechniky simulačně ověřen, k jeho nahrání na samotnou vzduchotechnickou jednotku již bohužel z časových důvodů nedošlo.

Abstract

This thesis is focused on analysis used by control algorithm of air handling units and proposing of general control program blocks for different types of air conditioning. These proposals of blocks were created in a ST language, according to standard IEC 61131-3. In cooperation with company Energocentrum Plus s.r.o. were chosen air handling units at the Faculty of Mechanical Engineering under the CTU. In case of success the company will use the outcome of this thesis. Control blocks were verified by simulations, but due to lack of time have not been applied yet on these air handling units.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Petr Bartoš**

Studijní program: Kybernetika a robotika
Obor: Systémy a řízení

Název tématu: **Návrh algoritmů pro řízení vzduchotechnických jednotek**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se problematikou řízení vzduchotechnických jednotek zejména na základě dodaných řídicích algoritmů z praxe.
2. Vypracujte návrh obecného přístupu k řízení vzduchotechnických jednotek, zohledňující rozdílnou vybavenost vzduchotechnických jednotek.
3. Navržené řešení implementujte v jazyce structured text normy IEC 61131-3 a otestujte na reálné vzduchotechnické jednotce.

Seznam odborné literatury:

- [1] DRKAL F., ZMRHAL V., SCHWARZER J. a LAIN M. Vzduchotechnika [online]. 2009
- [2] BAŠTA J., HEMZAL V. Regulace v technice prostředí [online]. 2009

Vedoucí: Ing. Jan Široký, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017

L.S.

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 24. 2. 2016

Obsah

Seznam obrázků	xiii
1 Úvod	1
2 Představení problematiky řízení vzduchotechnik	3
2.1 Popis vzduchotechnické jednotky	3
2.1.1 Klapky	3
2.1.2 Ventilátory	4
2.1.3 Filtry	4
2.1.4 Ohřívač	5
2.1.5 Chladič	5
2.1.6 Zpětné získávání tepla	5
2.1.7 Zvlhčovač	6
2.1.8 Senzory	7
2.2 Řídicí algoritmy vzduchotechnické jednotky	8
2.2.1 Řízení komfortu	9
2.2.2 Ostatní funkční požadavky	10
3 Návrh algoritmů	11
3.1 Blok regulace kvality vzduchu	12
3.1.1 Vstupy	13
3.1.2 Výstupy	13
3.2 Blok regulace teploty	13
3.2.1 Vstupy	13
3.2.2 Výstupy	14
3.3 Blok regulace teploty s rekuperací	14
3.3.1 Vstupy	15
3.3.2 Výstupy	16
3.4 Blok regulace vlhkosti	17
3.4.1 Vstupy	17
3.4.2 Výstupy	17
3.5 Blok alarmů	18
3.5.1 Vstupy	18
3.5.2 Výstupy	18
4 Otestování navržených algoritmů	21
4.1 Test bloku regulace kvality vzduchu	21

4.2	Test bloku regulace teploty s rekuperací	23
4.2.1	Test vytápění	23
4.2.2	Test chlazení	25
5	Závěr	27
6	Literatura	29

Seznam obrázků

2.1	Příslušenství vzduchotechnické jednotky [1]	3
2.2	Příklady některých tepelných výměníků	6
2.3	Jímkové odporové čidlo teploty [6]	7
2.4	Čidlo tlakové difference [7]	7
2.5	Čidlo protimrazové ochrany [8]	8
2.6	Vývojové prostředí Merbon IDE [9]	9
3.1	Příklad algoritmu v prostředí <i>SoftPLC IDE</i>	11
3.2	Funkční blok regulace kvality vzduchu	12
3.3	Funkční blok regulace teploty	14
3.4	Funkční blok regulace teploty s rekuperací	15
3.5	Funkční blok regulace vlhkosti	17
3.6	Funkční blok alarmů	19
4.1	Graf simulačního otestování regulace kvality vzduchu	22
4.2	Graf simulačního otestování regulace teploty s rekuperací (vytápění)	24
4.3	Graf simulačního otestování regulace teploty s rekuperací (chlazení)	26

1 Úvod

Motivací výběru této bakalářské práce bylo usnadnění a zefektivnění vytváření řídicích algoritmů vzduchotechnických jednotek.

Jelikož vzduchotechnika je velmi komplexní zařízení, které obsluhuje nejen cirkulaci a obměnu vzduchu v objektu, ale také mimo jiné vytápění nebo chlazení místnosti, je tedy nutné zajištění správné funkce a chování vzduchotechniky za všech podmínek. V případě, že nastane situace, která brání chodu nebo správné funkci vzduchotechniky (např.: zanesený filtr, nefungující ventilátor), musí řídicí systém vyslat obsluze odpovídající chybové hlášení a zajistit, aby do doby odstranění poruchy nedošlo k případnému trvalému poškození.

Cílem práce je analýza v praxi používaných řídicích algoritmů pro vzduchotechnické jednotky a návrh jejich zjednodušení nebo zlepšení. Ve výsledku se jedná o rozčlenění do univerzálních programových celků, které se dají jednoduše upravit a sestavit dohromady podle rozdílných požadavků a vybavenosti konkrétní vzduchotechniky.

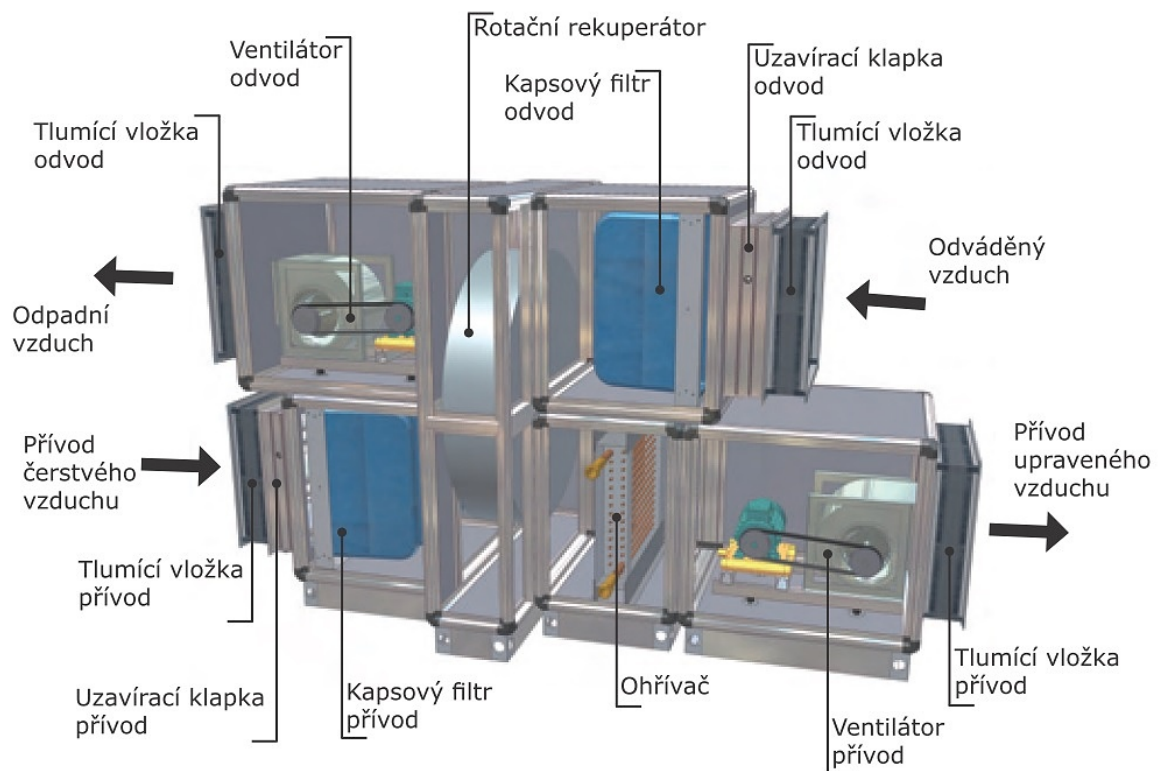
2 Představení problematiky řízení vzduchotechnik

Tato kapitola je rozdělena následující dvě části:

- *Popis vzduchotechnické jednotky*
- *Řídicí algoritmy vzduchotechnické jednotky*

Jejich obsahem je představení funkčních částí a různého vybavení běžných vzduchotechnických jednotek, a také teoretický rozbor problematiky jejich řízení.

2.1 Popis vzduchotechnické jednotky



Obrázek 2.1: Příslušenství vzduchotechnické jednotky [1]

2.1.1 Klapky

Klapky jsou součástí každé vzduchotechnické jednotky. Jsou většinou vícelisté a slouží pro uzavření vzduchové cesty nebo omezení průtoku vzduchu.

Druhy klapek:

- *dvoupolohové* – mají pouze polohy (otevřeno/zavřeno), slouží k uzavření průřezu při vypnutém stavu vzduchotechniky nebo při nebezpečí zamrznutí (dále např.: havarijní klapky)

4 KAPITOLA 2. PŘEDSTAVENÍ PROBLEMATIKY ŘÍZENÍ VZDUCHOTECHNIK

- *regulační* – regulují průtok vzduchu, směšování dvou proudů vzduchu, nebo obtok výměníku tepla

Listy klapky mohou být ovládány jednotlivě, nebo jako celek a to mechanicky nebo servopohonem.

2.1.2 Ventilátory

Každá vzduchotechnická jednotka musí obsahovat ventilátory, ty právě zajišťují přivádění a odvádění vzduchu z objektu. Důležité parametry jsou: celkový dopravní tlak, objemové množství vzduchu a příkon. Dělí se podle následujících druhů [2]:

- *Podle směru průtoku vzduchu*
 - **axiální** (vzduch proudí ve směru osy otáčení)
 - **radiální** (nasávání vzduchu v axiálním směru, výtlak ve směru kolmém na osu rotace)
 - **diagonální** (nasávání v axiálním směru, výtlak pod úhlem menším než 90°)
 - **diametrální** (vzduch proudí po vnějším obvodu oběžného kola)
- *Podle celkového dopravního tlaku* – nízkotlaké, středotlaké, vysokotlaké
- *Podle pohonu* – na přímo, na spojku, na řemen
- *Podle použití* – bytové, potrubní, nástřešní, nevýbušné, atd.

2.1.3 Filtry

Vzduch obsahuje znečišťující látky, ať už v pevné, kapalné nebo plynné formě. Tyto částice je nutné odfiltrovat z vnějšího i vnitřního ovzduší a tím snížit jejich koncentraci pod hygienické limity.

Hlavní rozdělení filtrů je podle nároků na čistotu ovzduší, tedy na stupně filtrace [3]:

- *hrubá* – třídy G1 až G4
- *jemná* – třídy F5 až F9
- *vysoce účinná* – (HEPA a ULPA filtry) třídy H10 až H14

a dále podle konstrukce filtrů [2]:

- *rámečkové* – kovový rám, ve kterém je plochá filtrační vrstva ze syntetických vláken; v klimatizačních zařízeních působí jako hrubý předfiltr
- *kapsové* – filtry z netkané textilie (syntetická nebo skleněná vlákna), šité do filtračních kapes klínovitého tvaru; v nižších třídách jako předfiltr, ve vyšších třídách jako II. stupeň filtrace

- *kazetové* – v rámečku je vložena filtrační skládaná vložka papírové struktury ze skleněných vláken; filtry třídy H10 a vyšší, slouží pro klimatizace prostorů s vysokými nároky na čistotu vzduchu

Použití filtrů však nezávisí jen na požadované čistotě vzduchu uvnitř objektu, ale také na kvalitě vnějšího ovzduší.

Důležitým parametrem filtrů je **frakční odlučivost**, vyjadřující účinnost filtrace částic o velikosti v řádu μm , a také **tlaková ztráta filtru**, což je důležitá provozní charakteristika, určující tlakovou ztrátu v závislosti na konstrukci filtru, podle níž lze také přibližně určit míru zanesení filtru.

2.1.4 Ohříváč

Jelikož chceme většinou regulovat také teplotu vzduchu v objektu je součástí téměř každé vzduchotechniky ohříváč. K ohřívání vzduchu dochází v tzv. výměnících tepla, většinou z žebrových či lamelových trubek, jimiž proudí teplonosná látka. Nejčastějším typem je vodní ohříváč, kde teplonosnou látkou je voda (existují ještě parní, elektrické a chladivové).

V tomto případě existují dva způsoby regulace [3]:

- *kvalitativní* – nemění se průtok vody, ale mění se její teplota
- *kvantitativní* – teplota zůstává konstantní, ale mění se průtok vody

Při ohřívání dochází ke změně teploty, ale měrná vlhkost se nemění.

2.1.5 Chladič

Dalším požadavkem na regulaci teploty může být chlazení. V principu se jedná o podobný systém jako u ohřevu. Teplonosnou látkou je buď voda, nebo vypařující se chladivo.

Rozlišují se dva případy chlazení vzduchu:

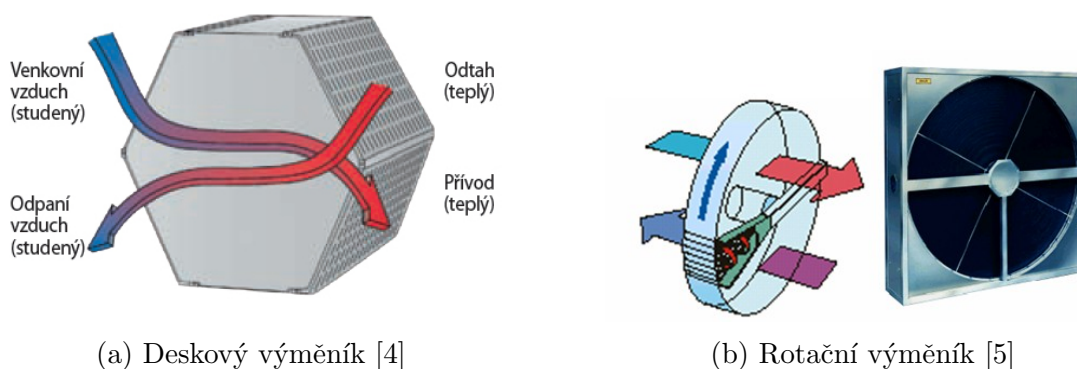
- *suché* – povrchová teplota chladiče je vyšší než teplota rosného bodu přiváděného vzduchu
- *mokrý* – povrchová teplota chladiče je nižší než teplota rosného bodu přiváděného vzduchu (dochází ke kondenzaci)

2.1.6 Zpětné získávání tepla

Pro zvýšení efektivity regulace teploty má dnes již téměř každá vzduchotechnika zařízení pro zpětné získávání tepla. Jedná se o zařízení, které využívá teplo odváděného vzduchu z objektu. Má ovšem nezanedbatelné tlakové ztráty. Lze jej rozdělit na systémy:

- *rekuperační* – teplo se předává mezi přiváděným a odváděným vzduchem přímo přes stěnu výměníku (deskové a trubkové výměníky)
- *regenerační* – teplo se z odváděného vzduchu předává do akumulární hmoty a z ní se pak uvolňuje do přiváděného vzduchu (rotační a přepínací výměníky)
- *s pomocnou tekutinou* – teplo se z odváděného vzduchu předává do pomocné tekutiny a z ní se pak uvolňuje do přiváděného vzduchu

Účinnost zařízení ovlivňuje nejen jeho dimenzování, ale i jeho provoz. Základním parametrem je velikost teplosměnné plochy, což je velikost výměníku vzhledem k průtoku vzduchu. Dalším důležitým parametrem ovlivňujícím účinnost je poměr průtoku přiváděného a odváděného vzduchu. Dále výrazně ovlivňuje účinnost i kondenzace vlhkosti odváděného vzduchu. Je-li jeho vlhkost vyšší, roste jeho teplota rosného bodu, a tím i součinitel přestupu tepla na stěně výměníku. [2]



Obrázek 2.2: Příklady některých tepelných výměníků

2.1.7 Zvlhčovač

Existují následující druhy zvlhčování:

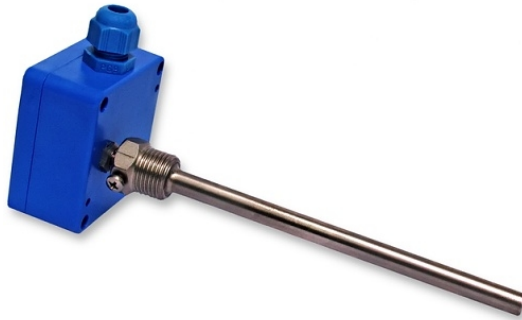
- *parní zvlhčovače*
- *rozprašování vody*
- *adiabatické pračky*

K nejčastěji používaným patří parní zvlhčovače. Zaujaly místo dříve velmi rozšířených praček vzduchu, jejichž uplatnění omezilo riziko bakteriálního znečištění. V našich podmínkách se však mnoho nepoužívají.

2.1.8 Senzory

Zde je několik nejvíce používaných senzorů pro řízení vzduchotechnických jednotek:

- **Čidla teploty** jsou nejvíce využívané senzory v oblasti technického zařízení budov. Nejčastěji se používají odporová teplotní čidla z platiny (Pt100, Pt1000) nebo z niklu (Ni 1000). Dále je lze rozdělit podle aplikace na: venkovní, prostorová, jímková, příložná a kapilárová.



Obrázek 2.3: Jímkové odporové čidlo teploty [6]

- **Čidla tlaku** se v oblasti vzduchotechnických zařízení nejvíce používají pro měření tlakové diference. Ta nám pomáhá určit například stav zanesení filtru nebo chod ventilátoru, atp. Klasický tlakový senzor se používá pouze ve speciálních případech, kdy je nutná regulace vzduchotechniky podle tlaku v objektu.



Obrázek 2.4: Čidlo tlakové diference [7]

- **Čidlo kvality vzduchu**, jak už jeho název napovídá, pomáhá určit stav kvality ovzduší, neboli koncentraci oxidu uhličitého a jiných látek v místnosti. V

uzavřených místnostech, kde se shromažďuje více lidí, je z hygienických důvodů nutná regulace kvality vzduchu dostatečným větráním.

- **Protizámrazový termostat** slouží jako ochranný prvek proti zamrznutí a tím pádem i možnému zničení částí vzduchotechnické jednotky. Funguje jako spínací kontakt. Jeho kapilára je navinutá na tepelném výměníku a jakmile teplota klesne pod nastavenou mez, dojde k sepnutí.



Obrázek 2.5: Čidlo protimrazové ochrany [8]

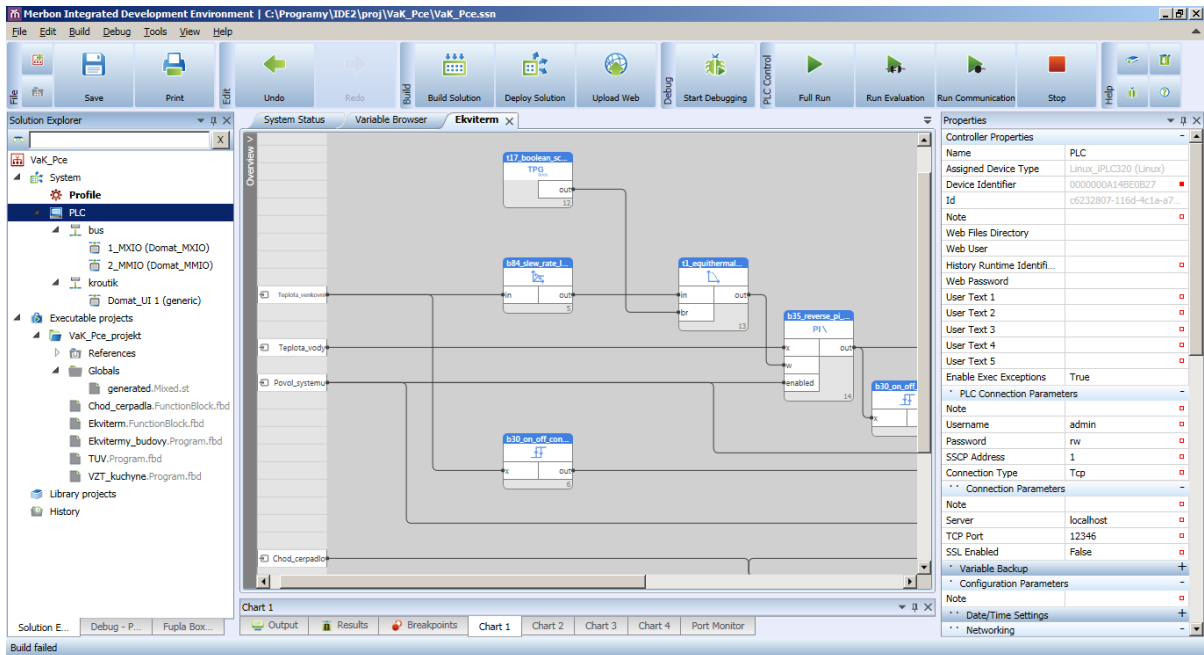
- **Čidlo vlhkosti** se využívá pouze v případech, kdy je nutná regulace vlhkosti v objektu.

2.2 Řídicí algoritmy vzduchotechnické jednotky

Software (*Merbon IDE*), nástupce staršího softwaru *SoftPLC IDE*, je nové vývojové prostředí, ve kterém se programují a konfiguruji procesní programovatelné stanice IPLC¹. Nejdůležitější změnou oproti staré verzi je, že podléhá normě *IEC 61131-3*, standardizující programovací jazyky pro programovatelné automaty, což výrazně zvyšuje univerzálnost a přenositelnost kódu. Další z hlavních výhod tohoto vývojového prostředí je možnost libovolného členění algoritmu do bloků a vytváření vlastních knihovnic prvků. Tato vlastnost velmi napomáhá zpřehlednění práce. Software také umožňuje programování dvěma způsoby:

- *funkční bloky (FBD)* – usnadňují rychlou tvorbu aplikací a zvyšují přehlednost
- *strukturovaný text (ST)* – vhodný pro složitější funkce

¹viz. Domat control system, dostupné z: <http://domat-int.com/o-systemu/regulatory-podstanice-mark>



Obrázek 2.6: Vývojové prostředí Merbon IDE [9]

V praxi se často pro urychlení práce využívají části dříve realizovaných algoritmů vzduchotechnických jednotek. Tento postup ovšem vnáší do nových programů chyby způsobené kopírováním a tvoří je nepřehlednými. Proto je nutné, pro efektivní tvorbu algoritmů, vytvořit bloky pro různé druhy regulací, které lze používat univerzálně.

První otázkou při vytváření algoritmu řízení vzduchotechnické jednotky je, jakou veličinu v objektu chceme kontrolovat. Regulace vzduchotechniky může být řízena podle těchto veličin:

- *přívodní teplota*
- *odtahová teplota*
- *prostorová teplota*
- *kvalita vzduchu*
- *vlhkost*

Samozřejmě existují i další druhy regulací, které jsou složitější a vzájemně provázané, tato práce je však zaměřena na ty nejvíce používané.

2.2.1 Řízení komfortu

Regulace teploty je nejběžnější, ale i zároveň nejkomplikovanější druh řízení. Tato regulace může být ještě doplněna o rekuperační, nebo regenerační zařízení. Lze ji tedy

rozdělit na regulaci samotné teploty a na regulaci teploty se zpětným získáváním tepla. V obou případech však jde o řízení ohřívače, nebo případně chladiče, podle toho, zda-li je potřeba vzduch ohřívat nebo chladit. Výkon ohřívače se reguluje pomocí ventilu, na kterém je umístěn servopohon. Ten je ovládán regulátorem (nejčastěji PI), který porovnává požadovanou hodnotu s hodnotou senzoru regulované teploty. [3] Výkon chladiče se reguluje obdobným způsobem.

Při regulaci se zpětným získáváním tepla se na ohřívač (případně chladič) snižují výkonové nároky. Většina tepla se totiž předá již v rekuperačním nebo regeneračním zařízení a ohřívač už jen vzduch přihřeje na požadovanou teplotu.

V případě řízení chlazení existuje ještě tzv. **volné chlazení**, což je situace, kdy se chladí prostor bez použití chladiče, pouze přiváděním venkovního vzduchu do objektu. Tento způsob lze samozřejmě realizovat pouze v případě, je-li venkovní teplota nižší než teplota v daném objektu. [10]

Řízení kvality vzduchu je jednoduché řízení podle hodnoty čidla kvality. Překročili-li hodnota nastavenou mez, otevřou se přívodní a odtahové klapky a hodnota čidla se přepočítá na výkon ventilátorů v procentech. Po vyčištění vzduchu dojde k vypnutí ventilátorů a zavření klapek.

Regulace vlhkosti je další jednoduché řízení, které se ale v našich klimatických podmínkách moc nepoužívá. Při nedostatečné vlhkosti přívodního vzduchu se zapne zvlhčovač ovládaný regulátorem, který porovnává požadovanou hodnotu vlhkosti s hodnotou vlhkosti vzduchu odtahu.

2.2.2 Ostatní funkční požadavky

Bohužel všechna tato řízení komfortu a jiné regulace nemohou fungovat současně nezávisle na sobě, ale jsou různě podmíněné a vzájemně provázané.

Jedním ze zásadních bezpečnostních opatření je **protimrazová ochrana**. Při jejím sepnutí je nutné zavřít klapky, vypnout ventilátory a nastavit na 100% ohřev a případnou rekuperaci. Stejným způsobem funguje **předehřev** vzduchotechniky. Ten je nutný hlavně v zimním období, kdy je potřeba nejdříve vzduchotechniku předehřát, aby nedošlo k jejímu zamrznutí při spuštění.

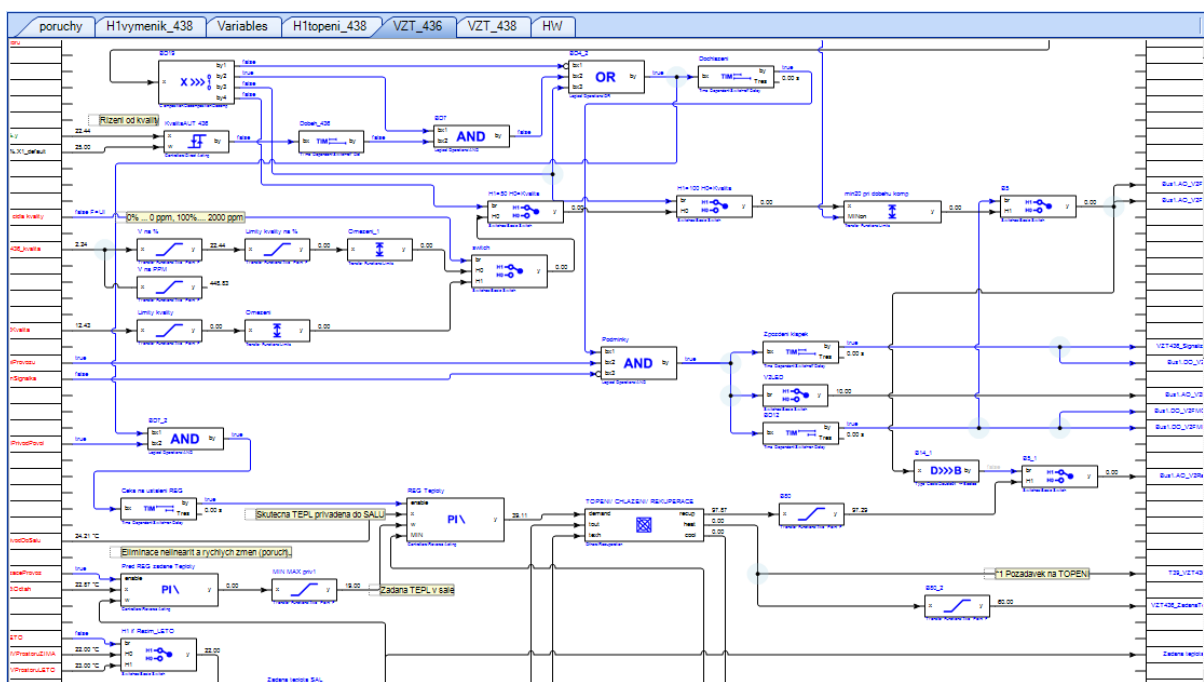
Posledním hlavním opatřením, do kterého lze zahrnout i protimrazovou ochranu jsou **alarmy**. Ty avizují jakékoliv problémy v celé vzduchotechnice. Nefungující ventilátory, ucpané filtry, nefungující čerpadla nebo kompresor a již zmíněnou protimrazovou ochranu.

3 Návrh algoritmů

Hlavním výchozím materiálem pro tuto práci byly řídicí algoritmy vzduchotechnik, navržené ve vývojovém prostředí *SoftPLC IDE*. Toto prostředí bylo vytvořené firmou *Energocentrum Plus s.r.o.* Vývoj algoritmů je zde podobný funkčním blokovým schémátům, ale nepodléhá žádnému standardu. Kromě toho zde neexistuje snadné a přehledné dělení algoritmu. To přináší velké potíže, zvláště pak pokud se některé části, nebo i celé algoritmy pro urychlení práce kopírují. To výsledný algoritmus ještě více zneprůhledňuje a vnáší chyby.

Tyto i jiné nedostatky řeší nové vývojové prostředí *Merbon IDE*, ve kterém je možné si libovolné části algoritmu rozdělit například do funkčních bloků a tím pádem jednoduše vytvářet i nové knihovní bloky. Pro složitější funkce (nejčastěji větší matematické výpočty) existuje možnost vytváření algoritmu ve formě strukturovaného textu. Z toho plyne další podstatná výhoda, že tento software je standardizovaný normou *IEC 61131-3*. Tím je zaručena přenositelnost kódu.

Velmi užitečné jsou v obou těchto vývojových prostředích knihovny, které obsahují mimo



Obrázek 3.1: Příklad algoritmu v prostředí *SoftPLC IDE*

standardních knihovních prvků, jako jsou matematické a logické operátory, také speciální bloky používané právě pro řízení vzduchotechnických jednotek. Jedná se zvláště o knihovnu *HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning)*, obsahující bloky jako: řízení zpětného získávání tepla, ekvitemní křivka, časová programová tabulka, tříbodové řízení ventilů a další.

Pomocí těchto knihovních bloků a analyzováním starších, již fungujících algoritmů, je

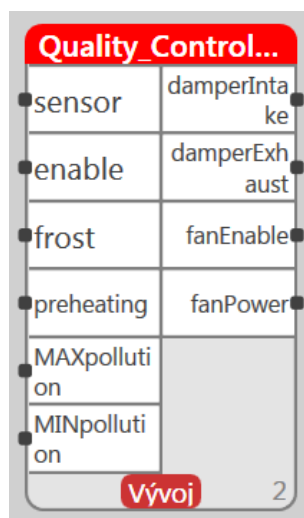
rozdělení programu do funkčních bloků následující:

- *Regulace kvality vzduchu*
- *Regulace teploty*
- *Regulace teploty s rekuperací*
- *Regulace vlhkosti*
- *Alarmy*

Každý z těchto bloků lze použít samostatně, nebo v součinnosti s ostatními bloky. To už záleží na tom, jaké požadavky jsou kladeny na konkrétní vzduchotechniku. Jedinou výjimkou je blok *Alarmy*, který je nutný v úplně každém algoritmu jakékoliv regulace.

3.1 Blok regulace kvality vzduchu

Jedná se o regulaci s hysterezí. Hodnota senzoru se přepočítá na procenta z rozsahu. Pokud je povolena regulace a hodnota znečištění překročí maximální nastavenou mez, dojde k otevření klapky a spuštění ventilátorů, jejichž výkon je maximální při maximálním povoleném znečištění a postupně se s procenty znečištění snižuje. Jakmile znečištění vzduchu klesne pod nastavenou mez minima, dojde k vypnutí ventilátorů a zavření klapky. V případě přehřívání nebo aktivace protimrazové ochrany zůstávají klapky zavřené a ventilátory vypnuté.



Obrázek 3.2: Funkční blok regulace kvality vzduchu

3.1.1 Vstupy

- *sensor* – datový typ real, hodnota senzoru kvality vzduchu (0-10V)
- *enable* – datový typ bool, určuje povolení chodu regulace
- *frost, preheating* – datový typ bool, aktivní v případě nebezpečí zamrznutí, nebo při nahřívání vzduchotechniky před jejím spuštěním
- *MAXpollution, MINpollution* – datový typ real, určují mezní hodnoty znečištění ovzduší v procentech rozsahu senzoru

3.1.2 Výstupy

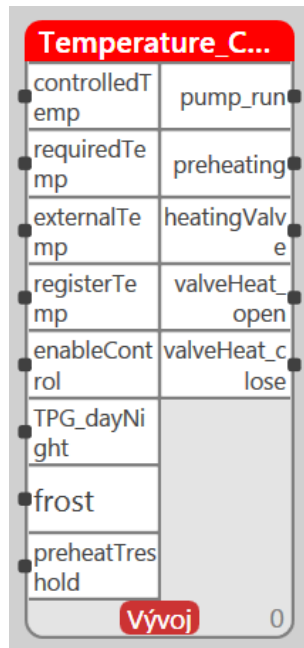
- *damperIntake, damperExhaust* – datový typ bool, určuje otevření nebo zavření přívodní a odtahové klapky
- *fanEnable* – datový typ bool, povel k frekvenčnímu měniči pro zapnutí ventilátorů
- *fanPower* – datový typ real, povel k frekvenčnímu měniči pro nastavení výkonu ventilátorů v procentech

3.2 Blok regulace teploty

Blok obsahuje PI regulátor, který řídí otevření ventilu ohřívače. Regulátor porovnává regulovanou teplotu s požadovanou teplotou a teplotu registru topné vody s výstupem bloku ekvitermní křivky, což je další speciální blok vypočítávající požadovanou teplotu vody ústředního topení, podle venkovní teploty a denního nebo nočního režimu. Z výstupů těchto dvou poměrů se vypočítá maximum, čímž se také předchází nebezpečí zamrznutí. Dojde-li přeci jen k nebezpečí zamrznutí, ventil se otevře na 100%. Při přehřívání vzduchotechniky dojde také k plnému otevření ventilu, avšak jen po dobu časového limitu.

3.2.1 Vstupy

- *controlledTemp* – datový typ real, hodnota řízené teploty
- *requiredTemp* – datový typ real, požadovaná hodnota teploty
- *externalTemp* – datový typ real, venkovní teplota
- *registerTemp* – datový typ real, teplota registru topné vody
- *enableControl* – datový typ bool, určuje povolení chodu regulace



Obrázek 3.3: Funkční blok regulace teploty

- *preheatThreshold* – datový typ real, nastavení minimální venkovní teploty pro spouštění přehřevu
- *TPG_dayNight* – datový typ bool, časový program pro řízení ekvitermní křivky (denní, nebo noční režim)
- *frost* - datový typ bool, aktivní v případě nebezpečí zamrznutí

3.2.2 Výstupy

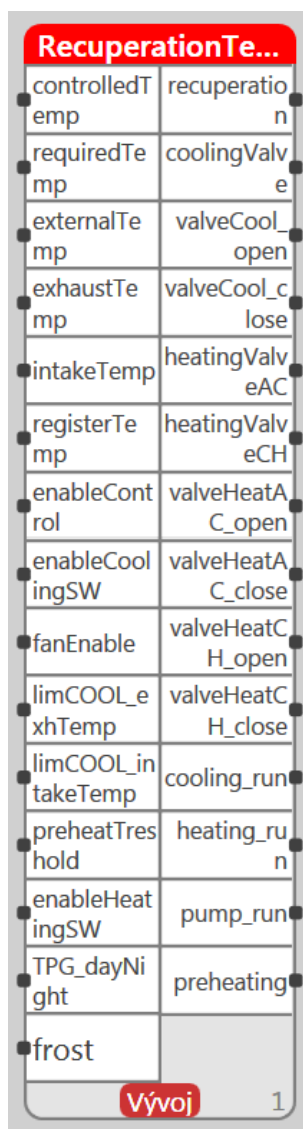
- *heatingValve* – datový typ real, povely pro míru otevření ventilu ohříváče v procentech
- *valveHeat_open*, *valveHeat_close* – datový typ bool, povely pro otevírání a zavírání ventilu ohříváče (3-bodové řízení)
- *pump_run* – datový typ bool, signalizace a povel pro chod čerpadla
- *preheating* – datový typ bool, signalizace přehřívání

3.3 Blok regulace teploty s rekuperací

Z hodnoty řízené teploty a požadované teploty se vypočítá požadavek pro speciální funkční blok *Recuperation*. Tento blok řídí poměr vytápění, chlazení a zpětného získávání tepla pro vzduchotechniku. Dalšími vstupy pro tento blok, ze kterých provádí výpočet,

jsou venkovní teplota a teplota odváděného vzduchu z objektu. Chlazení je však ještě omezeno dalšími podmínkami pro spuštění jako limit teploty přívodního vzduchu a limit otáček ventilátorů. PI regulátor porovnává teplotu registru topné vody s výstupem bloku ekvitermní křivky. Výstup regulátoru řídí ventil ústředního topení. Při otevření ventilů se okamžitě spouští čerpadlo pro oběh topné vody.

Dojde-li k nebezpečí zamrznutí, rekuperace a ohřev se spustí na plný výkon a setrvávají v tomto stavu, dokud nebezpečí neodezní. V případě přehřívání vzduchotechniky se jedná o to samé, avšak jen po dobu časového limitu.



Obrázek 3.4: Funkční blok regulace teploty s rekuperací

3.3.1 Vstupy

- *controlledTemp* – datový typ real, hodnota řízené teploty

- *requiredTemp* – datový typ real, požadovaná hodnota teploty
- *externalTemp* – datový typ real, venkovní teplota
- *intakeTemp*, *exhaustTemp* – datový typ real, teploty přívodního a odváděného vzduchu
- *registerTemp* – datový typ real, teplota registru topné vody
- *enableControl* – datový typ bool, určuje povolení chodu regulace
- *enableCoolingSW*, *enableHeatingSW* – datový typ bool, softwarové povolení chlazení a vytápění
- *fanEnable* – datový typ bool, signalizace chodu ventilátorů
- *limCOOL_exthTemp*, *limCOOL_intakeTemp*, *limCOOL_fanPower* – datový typ real, nastavení limitů výkonu ventilátorů, odtahové a přívodní teploty pro povolení spouštění chlazení
- *preheatTreshold* – datový typ real, nastavení minimální venkovní teploty pro spouštění předeřevu
- *TPG_dayNight* – datový typ bool, časový program pro řízení ekvitermní křivky (denní, nebo noční režim)
- *frost* – datový typ bool, aktivní v případě nebezpečí zamrznutí

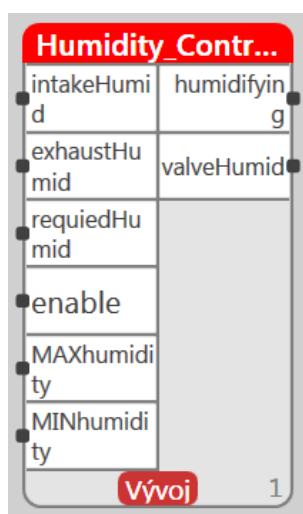
3.3.2 Výstupy

- *recuperation* – datový typ real, určuje výkon rekuperačního (regeneračního) zařízení
- *coolingValve* – datový typ real, povel pro míru otevření ventilu chladiče v procentech
- *valveCool_open*, *valveCool_close* – datový typ bool, povely pro otevírání a zavírání ventilu chlazení (3-bodové řízení)
- *heatingValveAC*, *heatingValveCH* – datový typ real, povely pro míru otevření ventilu ohřívače vzduchotechniky (AC = Air Condition) a ventilu ústředního topení (CH = Central Heating) v procentech
- *valveHeatAC_open*, *valveHeatAC_close*, *valveHeatCH_open*, *valveHeatCH_close* – datový typ bool, povely pro otevírání a zavírání ventilu ohřívače a ventilu ústředního topení (3-bodové řízení)
- *cooling_run*, *heating_run* – datový typ bool, signalizace chodu vytápění a chlazení

- *pump_run* – datový typ bool, signalizace a povel pro chod čerpadla
- *preheating* – datový typ bool, signalizace přehřívání

3.4 Blok regulace vlhkosti

Hodnoty senzorů vlhkosti jsou přepočítány na procenta. Je-li povolená regulace a hodnota vlhkosti přívodního vzduchu klesne pod minimální nastavenou hodnotu, spustí se PI regulátor, ovládající ventil zvlhčovače, který porovnává požadovanou hodnotu vlhkosti s hodnotou vlhkosti odváděného vzduchu.



Obrázek 3.5: Funkční blok regulace vlhkosti

3.4.1 Vstupy

- *intakeHumid*, *exhaustHumid* – datový typ real, hodnoty senzorů vlhkosti přívodního a odtahového vzduchu
- *requiredHumid* – datový typ real, požadovaná hodnota vlhkosti v objektu
- *MINhumidity*, *MAXhumidity* – datový typ real, určují mezní hodnoty vlhkosti přívodního vzduchu pro aktivaci zvlhčování
- *enable* – datový typ bool, určuje povolení chodu regulace

3.4.2 Výstupy

- *humidifying* – datový typ bool, informuje o chodu zvlhčování
- *valveHumid* – datový typ real, povel k ventilu zvlhčovače

3.5 Blok alarmů

Logickými operacemi se vyhodnotí hodnoty vstupních proměnných. Pokud je například aktivní povel pro zapnutí ventilátoru, ale podle čidla tlakové difference ventilátor neběží, dojde k vyhodnocení, že se jedná o poruchu. Před samotným předáním hodnoty na výstup je vždy časový interval 30s, kvůli přechodovým jevům, jako například roztáčení ventilátoru.

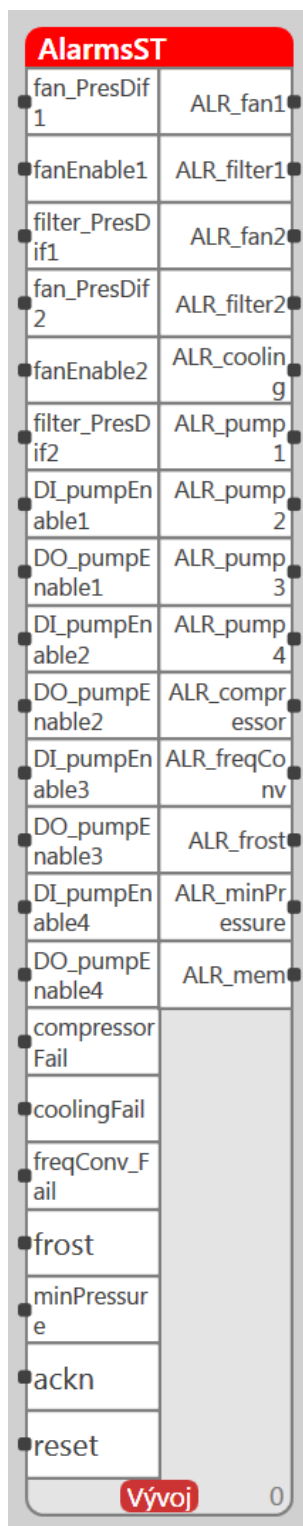
Všechny vstupy a výstupy mají datový typ bool.

3.5.1 Vstupy

- *fan_PresDif1*, *fan_PresDif2* – údaj čidla tlakové difference zda ventilátory běží, či nikoliv
- *fanEnable1*, *fanEnable2* – povel k frekvenčnímu měniči pro zapnutí ventilátorů
- *filterPresDif* – údaj čidla tlakové difference indikující zanesení filtru
- *DI_pumpEnable* – indikace běhu čerpadla (DI = Digital Input)
- *DO_pumpEnable* – povel pro běh čerpadla (DO = Digital Output)
- *compressorFail*, *coolingFail*, *freqConv_Fail* – hlášení poruchy od kompresoru (od chlazení, od frekvenčního měniče)
- *minPressure* – hodnota senzoru tlaku vody pod minimem
- *reset* – resetování všech alarmů

3.5.2 Výstupy

- *ALR_fan*, *ALR_filter*, *ALR_pump*, *ALR_frost*,... – při logické hodnotě 1 indikují poruchu nebo nežádoucí stav konkrétního zařízení
- *ALR_mem* – indikuje jedno nebo více alarmových hlášení (používá se jako tzv. sumární porucha)



Obrázek 3.6: Funkční blok alarmů

4 Otestování navržených algoritmů

Výše popsané funkční bloky byly navrženy na základě obecných poznatků, nejen teoretických, ale i praktických z algoritmů použitých v praxi. Ve spolupráci s firmou *Energocentrum Plus s.r.o.* byly vytipovány vhodné vzduchotechnické jednotky, na které bude algoritmus aplikován. Tyto jednotky se nacházejí v Dejvicích, v budově Fakulty strojní ČVUT, pro místnosti 436 a 438.

Před samotným nahráním algoritmu do řídicí jednotky je ještě provedeno simulační otestování funkčních bloků, což zároveň umožňuje již dříve zmíněné vývojové prostředí, ve kterém byly bloky navrhnuty. Simulace má za úkol otestovat správnost chování bloků, v závislosti na jejich měnících se vstupních hodnotách. Pro simulační otestování byly vybrány bloky *Regulace kvality vzduchu* a *Regulace teploty s rekuperací*, protože tyto funkce má již zmíněná vzduchotechnická jednotka. Druhým důvodem zvolení těchto bloků byl také fakt, že jde o nejkompexnější druhy regulací.

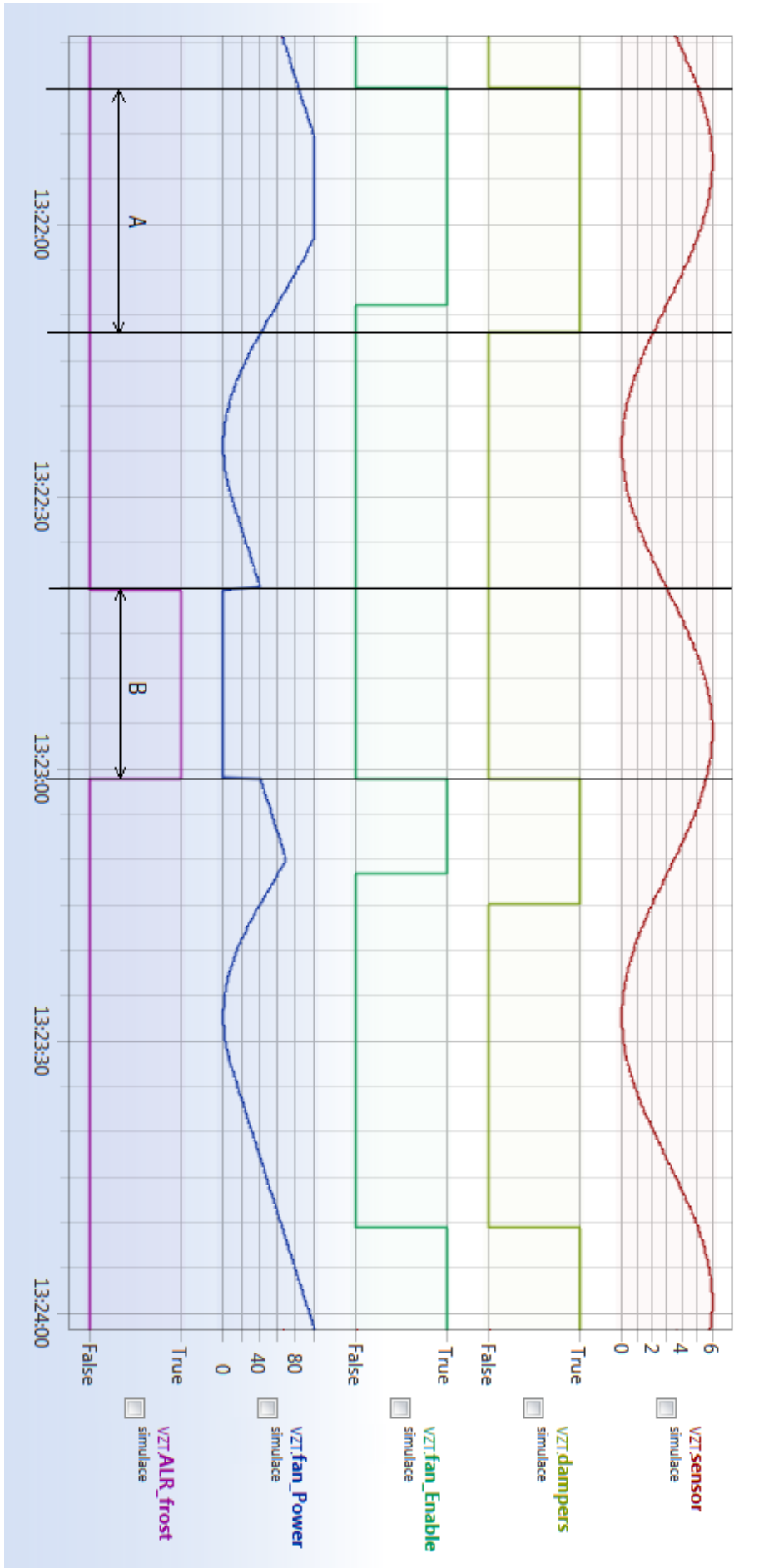
Pro testování bloků a pozorování změn na jejich výstupech byl použit sinusový průběh vstupního signálu.

4.1 Test bloku regulace kvality vzduchu

Vstupní hodnota kvality vzduchu (*sensor*), simulující výstupní napětí senzoru kvality vzduchu, se pohybuje od 0V do 6V. Nastavení mezních hodnot pro regulaci je 30% pro spodní hodnotu hystereze a 50% pro horní hodnotu hystereze, což odpovídá rozsahu 600 až 1000ppm znečištění.

V grafu 4.1 lze vidět, že v závislosti na hodnotě senzoru (signál *sensor*) se neustále přepočítává procentuální hodnota výkonu pro ventilátory (signál *fan_Power*). Avšak po vel pro spuštění ventilátorů (*fan_Enable*) na požadovaný výkon přichází až ve chvíli, kdy hodnota senzoru překročí nastavenou horní mez hystereze, tedy 50%. Jak je vidět ve vyznačené oblasti **A**, ve stejnou dobu dochází i k otevření přívodních a odtahových klapků (signál *dampers*). Jakmile hodnota senzoru klesne pod 30%, neboli pod nastavenou dolní mez hystereze, dochází k vypnutí ventilátorů. K zavření klapků však dochází až se zpožděním 3s.

V případě, že dojde k nebezpečí zamrznutí (signál *ALR_frost*), jak je vyznačeno v oblasti **B**, program po celou dobu nepovolí spuštění ventilátorů a otevření klapků. Po odeznění nebezpečí se vrátí do původního režimu.



Obrázek 4.1: Graf simulačního otestování regulace kvality vzduchu

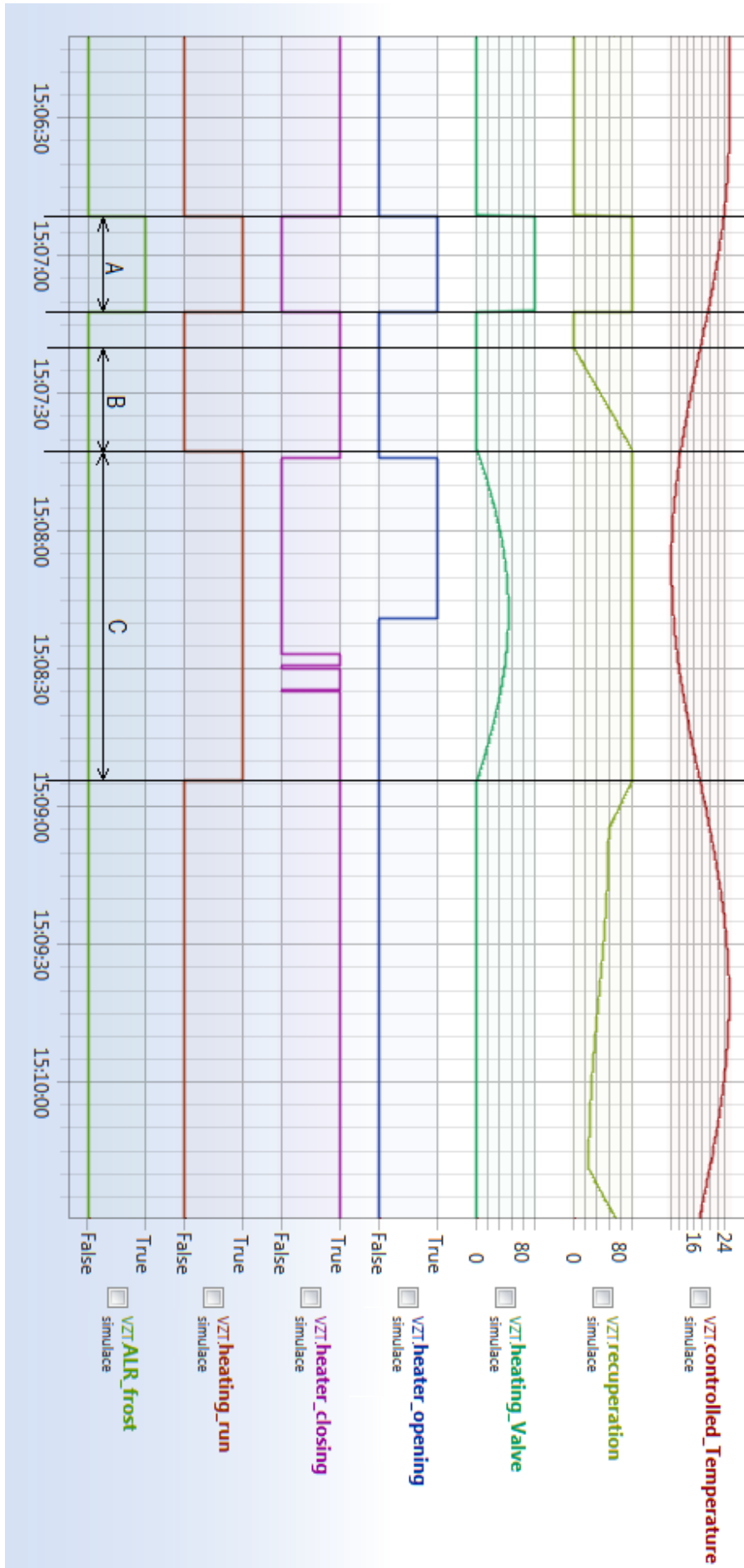
4.2 Test bloku regulace teploty s rekuperací

4.2.1 Test vytápění

Řízená teplota (signál *controlled_Temperature*) se pohybuje od 10°C do 25°C. Ostatní vstupní hodnoty byly nastaveny jako konstanty následovně: venkovní teplota = 8°C, teplota odváděného vzduchu = 13°C, požadovaná teplota = 20°C.

Při vytápění objektu se nejprve v závislosti na řízené teplotě spouští jednotka zpětného získávání tepla (signál *recuperation*), jak je vidět v grafu 4.2, ve vyznačené oblasti **B**, kdy rekuperace postupně dosáhne 100%. Vzápětí se přidává regulace otevření ventilu ohřívače (signál *heating_Valve*, nebo reprezentováno 3-bodovým řízením signály *heater_opening* a *heater_closing*), jak lze pozorovat v oblasti **C**. Signál *heating_run* je aktivní v případě, má-li ventil nenulovou hodnotu otevření. Je-li ventil opět uzavřen, začíná klesat výkon jednotky zpětného získávání tepla.

Dojde-li k nebezpečí zamrznutí (signál *ALR_frost*), je jako ochranný prvek vzducho-techniky nastaveno vytápění a rekuperace po celou dobu na maximální hodnotu, jak je vyznačeno v oblasti **A**.



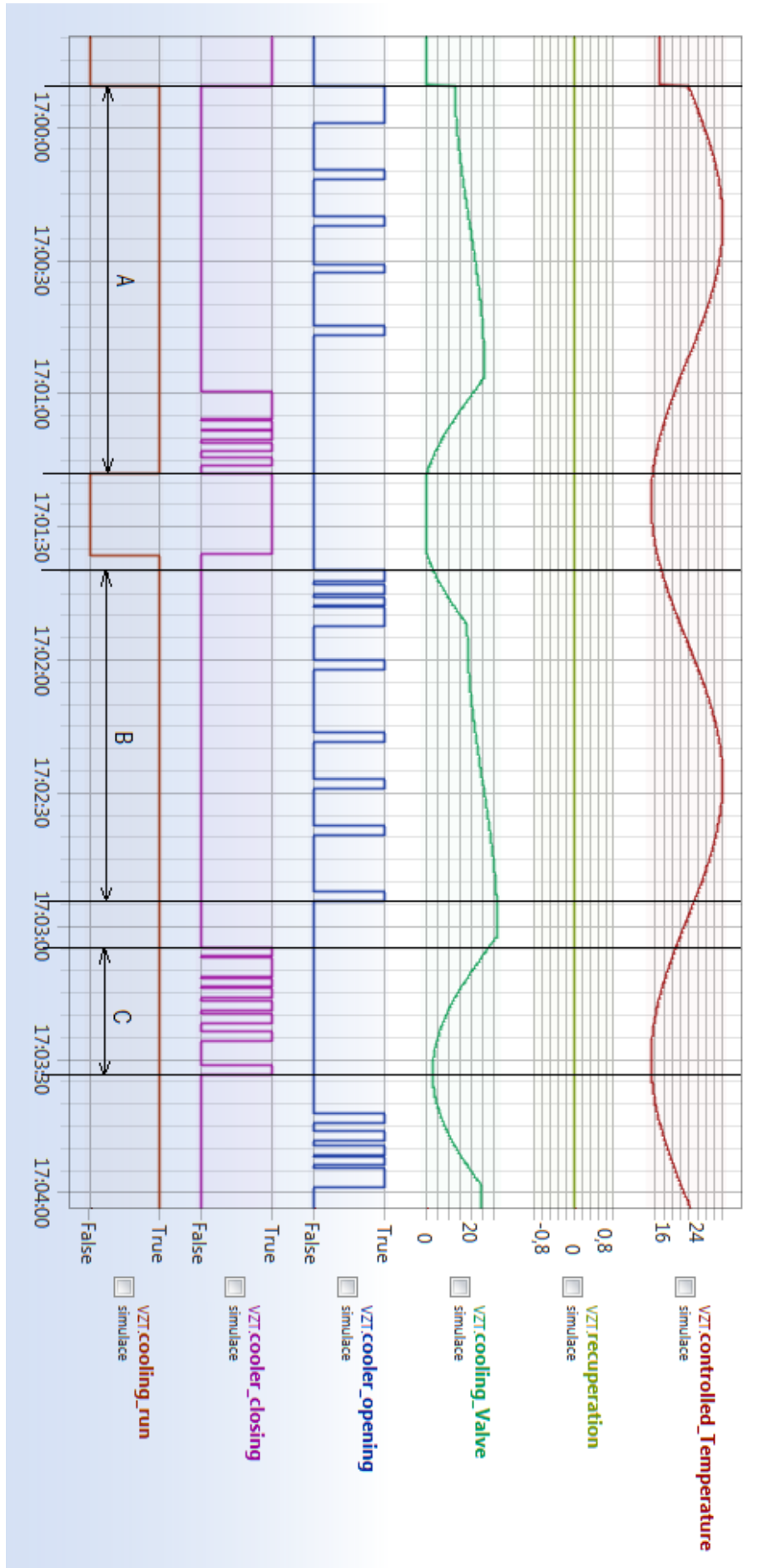
Obrázek 4.2: Graf simulačního otestování regulace teploty s rekuperací (vytápění)

4.2.2 Test chlazení

Řízená teplota (*controlled_Temperature*) se tentokrát mění od 13°C do 30°C. Ostatní vstupní veličiny mají opět konstantní hodnoty: venkovní teplota = 21°C, teplota odvodu vzduchu = 21°C, požadovaná teplota = 20°C.

Při chlazení je jednotka zpětného získávání tepla aktivní pouze tehdy, je-li venkovní teplota vyšší, než teplota odváděného vzduchu. Tehdy je rekuperace nastavena na 100%, v ostatních případech je vypnutá.

Z grafu 4.3, v oblasti **A** vidíme, jak míra otevření ventilu chladiče (signál *cooling_Valve*, nebo reprezentováno 3-bodovým řízením signály *cooler_opening* a *cooler_closing*) reaguje na změnu řízené teploty (signál *controlled_Temperature*). V tomto grafu je také nejlépe vidět pulzně-šířková modulace 3-bodového řízení ventilu. V oblasti **B** je modulace povelů pro otevírání ventilu a v oblasti **C** je modulace pro zavírání ventilu. Výstup *cooling_run* signalizuje, je-li aktivní chlazení, aneb má-li ventil nenulovou hodnotu otevření.



Obrázek 4.3: Graf simulačního otestování regulace teploty s rekuperací (chlazení)

5 Závěr

Navržené regulační bloky se zakládají na obecných teoretických poznatcích, a také na základě praktických poznatků analyzováním algoritmů z různých provozů v praxi. Bloky sice nepokrývají veškeré druhy řízení, jedná se však o nejběžnější typy regulací, které jsou součástí téměř každé vzduchotechniky. Použití těchto bloků je do jisté míry univerzální a s určitostí ulehčí práci při tvorbě řídicích algoritmů nových i stávajících vzduchotechnických jednotek.

V původním stavu byla tvorba řídicích algoritmů velmi pracná a zdlouhavá, protože byly k dispozici pouze základní bloky. Docházelo tedy, pro urychlení práce, k překopírovávání algoritmů a tím pádem k zneřehlednění a vnášení chyb. Navíc vývojové prostředí a tím pádem i program nepodléhaly žádné normě. Převedením algoritmů do normované formy (podle *IEC 61131-3*) a rozdělením do funkčních bloků podle různých druhů regulace, se výrazně zvýšila univerzálnost těchto algoritmů a efektivita práce s nimi. Simulačním otestováním byla ověřena správnost fungování jednotlivých bloků, které budou aplikovány na reálnou vzduchotechnickou jednotku. Jejich aplikace se bohužel z časových důvodů do doby odevzdání této práce nestihla.

V návaznosti na tuto práci bude tedy následovat otestování algoritmů na reálné vzduchotechnické jednotce i podílení se, ve spolupráci s firmou *Energocentrum Plus s.r.o.*, nadále na rozvoji a vylepšování současných i dalších regulačních bloků potřebných při řízení vzduchotechnických jednotek a jejich uvádění do praxe. Konkrétně se jedná o větší zobecnění, ladění regulace a celkového fungování vzduchotechniky pro ekonomičtější provoz, na což jsou v dnešní době kladeny stále větší nároky.

6 Literatura

- [1] Vzduchotechnická jednotka WINDMAX Z. In: *4heat* [online]. © 2012 4heat. [vid. 7.5.2016]. Dostupné z: <http://www.4heat.cz/produkty/vzduchotechnicke-jednotky/vzt-jednotky-storm-z/>.
- [2] DRKAL F., ZMRHAL V., SCHWARZER J. a LAIN M. *Vzduchotechnika* [online]. 2009. [vid. 6.5.2016]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/VZT/Vzduchotechnika.pdf.
- [3] LOM, Michal, Václav MATZ. Model řízení vzduchotechnické jednotky. In: *TZB-info* [online]. Topinfo s.r.o., 2013. [vid. 6.5.2016]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/regulace-vetrani-klimatizace/9796-model-rizeni-vzduchotechnicke-jednotky>.
- [4] Princip rekuperace tepla. In: *Rekuperace tepla Paul* [online]. © 2014 SMART-VAC s.r.o.. [vid. 7.5.2016]. Dostupné z: <http://www.rekuperace-tepla-paul.cz/rekuperace-tepla>.
- [5] Schéma a fotografie rotačního regeneračního výměníku. In: *TZB-info* [online]. Topinfo s.r.o., 2013. [vid. 7.5.2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>.
- [6] Snímač do VZT potrubí Regmet P13P 150-100. In: *Bola* [online]. © 2016 Bola s.r.o.. [vid. 8.5.2016]. Dostupné z: <http://www.bola.cz/snimac-do-vzt-potrubi-regmet-p13p-150-100.html>.
- [7] Differential pressure switch. In: *Domat Control System* [online]. © 2013 Domat Control System s.r.o.. [vid. 8.5.2016]. Dostupné z: <http://products.domat-int.com/en/pressure-switches/296-differential-pressure-switch-20200-pa.html>.
- [8] Čidlo protimrazové ochrany. In: *Multi-VAC* [online]. © 2016, Multi-VAC spol. s r.o.. [vid. 8.5.2016]. Dostupné z: <http://www.multivac.cz/produkty/po>.
- [9] Vývojové prostředí Merbon IDE. In: *Domat control system* [online]. © 2013 Domat Control System s.r.o.. [vid. 6.5.2016]. Dostupné z: http://domat-int.com/o-systemu/regulatory-podstanice-mark/vyvojove-prostredi-merbon-ide?gclid=CjwKEAjjwgbG5BRDp3oW3qdPiuCwSJAAQmoSDKbgwZBLkd9ZVGmMbgJn6b0pEk7Brto-BwUP6_h1NAhoCIDzw_wcB.

- [10] BAŠTA J., HEMZAL V. *Regulace v technice prostředí staveb* [online]. 2009. [vid. 6.5.2016]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/REG/Basta_Hemzal_Regulace.pdf.