



REGULACE PARAMETRŮ PŘÍVODNÍHO VZDUCHU U ZAŘÍZENÍ PRO ÚPRAVU VZDUCHU – PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI.

Ing. Karel Matějčík

Inženýrská činnost provozů TZB

karel@ingmatejcek.cz

ANOTACE

Přednáška pojednává o provozních zkušenostech s regulací parametrů přívodního vzduchu ze zařízení pro úpravu vzduchu – převážně ze vzduchotechnických jednotek s důrazem na optimální mikroklima v prostoru a maximální efektivitu provozu.

ÚVOD

Regulace parametrů přívodního vzduchu ze zařízení pro úpravu vzduchu, ve většině případů vzduchotechnických (VZT) jednotek, je realizována pomocí systémů měření a regulace (MaR). Aby tyto systémy byly schopny zajistit požadované parametry mikroklima ve větraných / klimatizovaných prostorech, musí z těchto prostorů vycházet požadavky na parametry přívodního vzduchu vlastních VZT jednotek. I tyto požadavky jsou zpracovávány systémy MaR vlastních zařízení. Jde o tzv. vlečnou regulaci kaskádou dvou PID regulátorů. Výsledek prvního regulátoru z požadavků na parametry mikroklima v prostoru je žádaná vstupní hodnota pro druhý regulátor vlastního zařízení. Základní výhoda je v tom, že je možné zadávat pásma pro min. a max. hodnoty požadovaných veličin parametrů přívodního vzduchu. Druhou výhodou je celková stabilita regulačního procesu – zatlumení.

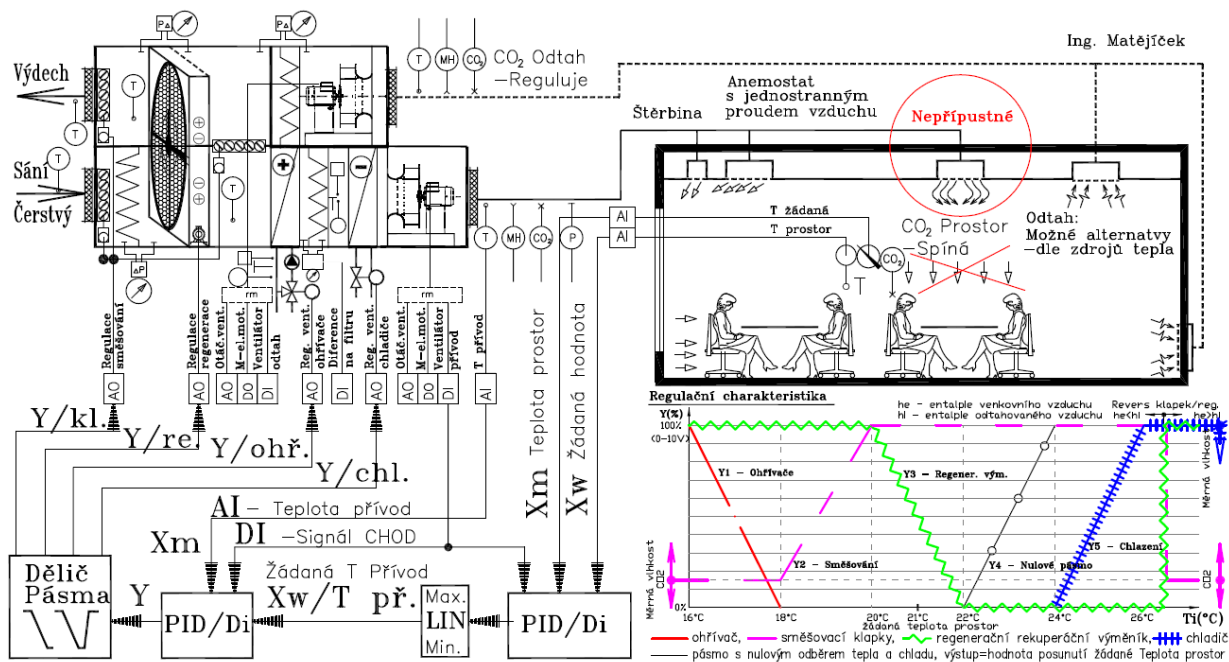
PARAMETRY PŘÍVÁDĚNÉHO VZDUCHU

Teplota příváděného vzduchu

Hodnota žádané teploty přívodního vzduchu může být

- Konstantní - např. zajištění přívodu čerstvého vzduchu bez pokrytí tepelných ztrát/zisků prostoru.
- Vlečně přestavována v závislosti na:
 - Výstupu z regulace teploty vnitřního vzduchu – většinou jeden reprezentativní prostor.
 - Teplotě venkovního vzduchu – vliv venkovní teploty, oslunění, ...
 - Od individuální regulace více prostorů dle – regulace na „Otevřený/Uzavřený ventil“ – cíl je, aby nedocházelo k chlazení v prostoru, který je ohříván přívodním vzduchem nebo naopak v letním období, kdy se vychladí přívodní vzduch, ale v některém prostoru se musí zpětně ohřát.
 - Počtu otevření / uzavření vnitřních zdrojů systémů pro pokrytí tepelných ztrát / zisků - např. u regulace indukčních jednotek systémů VTK
 - Výběru minimálního signálu ze všech prostor
 - Výběru maximálního signálu ze všech prostor
 - Výběr z obou min. i max. pro oblast s nulovým pásmem – pokud tepelné ztráty/zisky stačí pokrýt vzduch o venkovní teplotě.

Ve všech případech musí být zadána projektantem vzduchotechniky/technologem minimální a maximální hodnota teploty přívodního vzduchu. Mezní hodnoty teplot přívodního vzduchu v prostoru vždy vychází ze způsobu distribuce vzduchu v prostoru a z druhu/typu použití přívodních koncových distribučních prvků. Důležité jsou také vzdálenosti a směry toků proudů vzduchu od místa vyústění přívodního vzduchu do místa zóny pobytu lidí, event. požadavků technologie. Musí být vždy zajištěn dosah proudu vzduchu s požadavkem na provětrání prostoru za podmínky min./max. rychlosti příváděného vzduchu v zóně pobytu lidí. Na to vše má zásadní vliv teplota přívodního vzduchu.



Obr 1 Jednoduchá regulace teploty přívodního vzduchu VZT zařízení pro jeden prostor

Měrná vlhkost přívodního vzduchu v g/kg suchého vzduchu

V závislosti na požadované relativní vlhkosti v prostoru je regulována/přestavována žádaná měrná vlhkost přívodního vzduchu, vypočítaná z měřené aktuální teploty v prostoru a žádané relativní vlhkosti daného prostoru. Žádaná relativní vlhkosti v prostoru je rozdílná při požadavku na vlhčení (většinou zimní provoz) a při požadavku na odvlhčování (letní provoz), který se realizuje regulací teploty chlazené vody a výkonu chladiče a následně dohřevem vzduchu. Vychází to z rozdílných požadavků relativní vlhkosti v prostoru v létě a v zimě. Např. požadavek zima 35% a léto 60% - tomu odpovídá požadovaná měrná vlhkost např. při tlaku 100kPa a vnitřní prostorové teplotě zima 22°C, 35% r.v. → cca 6g/kg, léto 26°C, 60% r.v. → cca 10g/kg. Algoritmus výpočtu je součástí systému MaR. Při požadavku na vlhčení je konkrétní způsob regulace měrné vlhkosti závislý na způsobu a použití zdroje vlhkosti.

- Adiabatická pračka vzduchu nízkotlaká s vanou. Tlak do trysek cca 2,5 bar.

- Čerpadlo pračky CHOD:

Dle požadované měrné vlhkosti přívodního vzduchu se přestavuje žádaná teplota vzduchu pro měřenou teplotu v pračce, event. za pračkou/eliminátorem kapiček – pokud, tam není těsně nainstalován dohřev vzduchu. Od této žádané a měřené teploty vzduchu se regulují komponenty VZT jednotky mimo dohřevem za pračkou. Výstupní teplota přívodního vzduchu se ještě následně upravuje dohříváčem za pračkou, event. zónovými ohříváči.

- Čerpadlo pračky STOP a měřená měrná vlhkost menší jak max. žádaná měrná vlhkost léto:

Dle požadované teploty přívodního vzduchu na výstupu z jednotky – ideálně za přívodním ventilátorem, se regulují veškeré komponenty VZT jednotky bez ohledu na měřenou měrnou vlhkost vzduchu.

- Adiabatická pračka vzduchu vysokotlaká bez vany. Tlak do trysek cca 70 bar.

Dle požadované měrné vlhkosti přívodního vzduchu se spíná vysokotlaké čerpadlo pračky a následně otevírají spínáním solenoidů jednotlivé větve s vysokotlakými tryskami. Žádaná teplota přívodního vzduchu se reguluje jednotlivými komponenty jednotky bez ohledu na požadovanou měrnou vlhkost. Teplotu je vhodné měřit až za ventilátorem přívod.

- Vlhčení parou. Např. Vytvořením páry, centrálním zdrojem páry, ...

Dle požadované měrné vlhkosti přívodního vzduchu se reguluje množství přívodu páry. Žádaná teplota přívodního vzduchu se reguluje jednotlivými komponenty jednotky bez ohledu na požadovanou měrnou vlhkost. Teplotu je vhodné měřit až za ventilátorem přívod.

ALARM – převlhčení přívodního vzduchu se aktivuje od překročení relativní vlhkosti přívodního vzduchu – nutné u parního vlhčení.

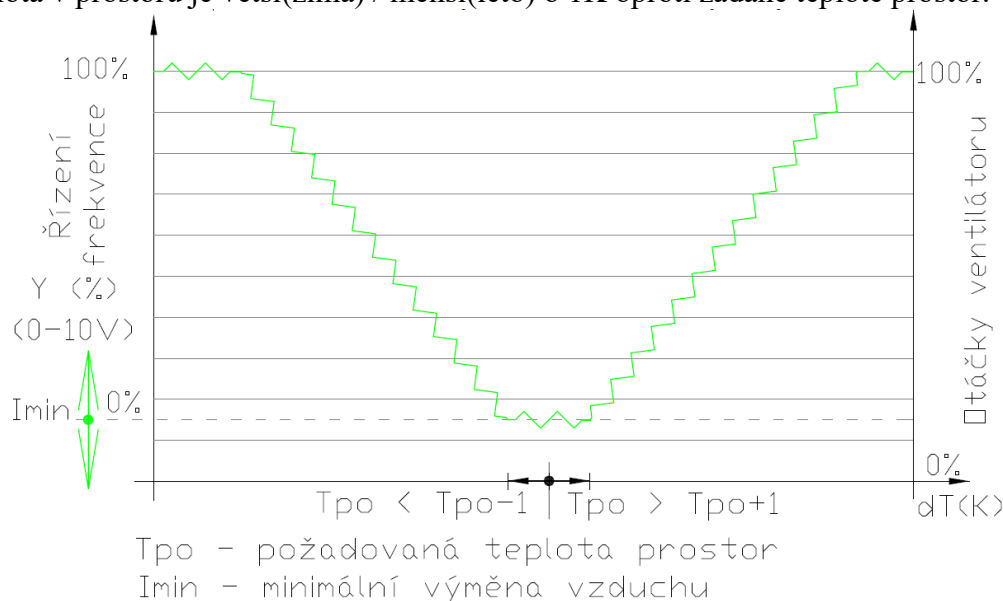
Přetlak vzduchu v potrubí přívod/množství vzduchu přívod, množství vzduchu odtah

Musí být stanoveno požadované množství přívodního vzduchu

- Požadované minimální množství přívodního vzduchu – minimální množství přívodního vzduchu pro dané prostory (var.: obsazenost prostoru – počty lidí, požadovaná výměna, měření CO₂ odtah jeden prostor / více prostorů – max. hodnota, dosah proudu vzduchu, min. množství čerstvého vzduchu, atd.)
- Požadované maximální množství přívodního vzduchu – musí zajistit pokrytí maximálních tepelných ztrát, tepelných zisků, min. množství čerstvého vzduchu pro max. obsazenost, atd.

Otáčky přívodního ventilátoru jsou regulovány dle požadovaného přetlaku vzduchu přívod, který je přestavován v mezích množství vzduchu uvedených výše dle dosažení požadované teploty a kvality vzduchu prostor (např. max. hodnota CO₂ prostor) a při tom je měřeno celkové množství přívodního vzduchu. Od tohoto množství vzduchu přívod je regulováno množství vzduchu odtah přestavování otáček ventilátoru odtah. Základní podmínky realizace regulace množství přívodního vzduchu:

- Množství přívodní vzduchu je možné regulovat za podmínky, že je k tomu realizován odpovídající způsob distribuce vzduchu v prostoru tak, aby bylo vždy zajištěno řádné provětrání prostoru i při minimálním množství přívodního vzduchu.
- Navyšovat žádané množství přívodního vzduchu nad minimální množství je nutno, když je dosažena max. (zima), min. (léto) teplota přívodního vzduchu a teplota v prostoru je menší(zima)/větší(léto) víc jak o 1K oproti žádané. Snižovat množství je možné, když teplota v prostoru je větší(zima) / menší(léto) o 1K oproti žádané teplotě prostor.



Obr. 2 Regulace množství přívodního vzduchu od teploty prostor pro režim zima

Režim ZIMA nebo LÉTO se stanoví dle toho, zda je regulace VZT jednotky v oblasti pod nulovým pásmem - ZIMA, nebo nad nulovým pásmem - LÉTO dle regulační charakteristiky. Cíl je takový, aby se dosáhlo požadované parametry mikroklima v prostoru jen venkovním vzduchem, o aktuální venkovní, teplotě bez aktivace zdrojů tepla a chladu v VZT jednotce. Navíc bylo mnoha experimenty zjištěno, že se s rostoucím množstvím přiváděného čerstvého vzduchu do daného prostoru, se snižuje počet osob pociťujících diskomfort (Např.: Allen et al. (Harvard), 2016 — kontrolovaná expozice (Green vs Conventional office, Wargocki et al. — přehledy a experimenty (2008, 2013 a další)). Základní parametr, který má vliv na pocit diskomfortu je obsah CO₂ ve vzduchu. Viz další kapitola.

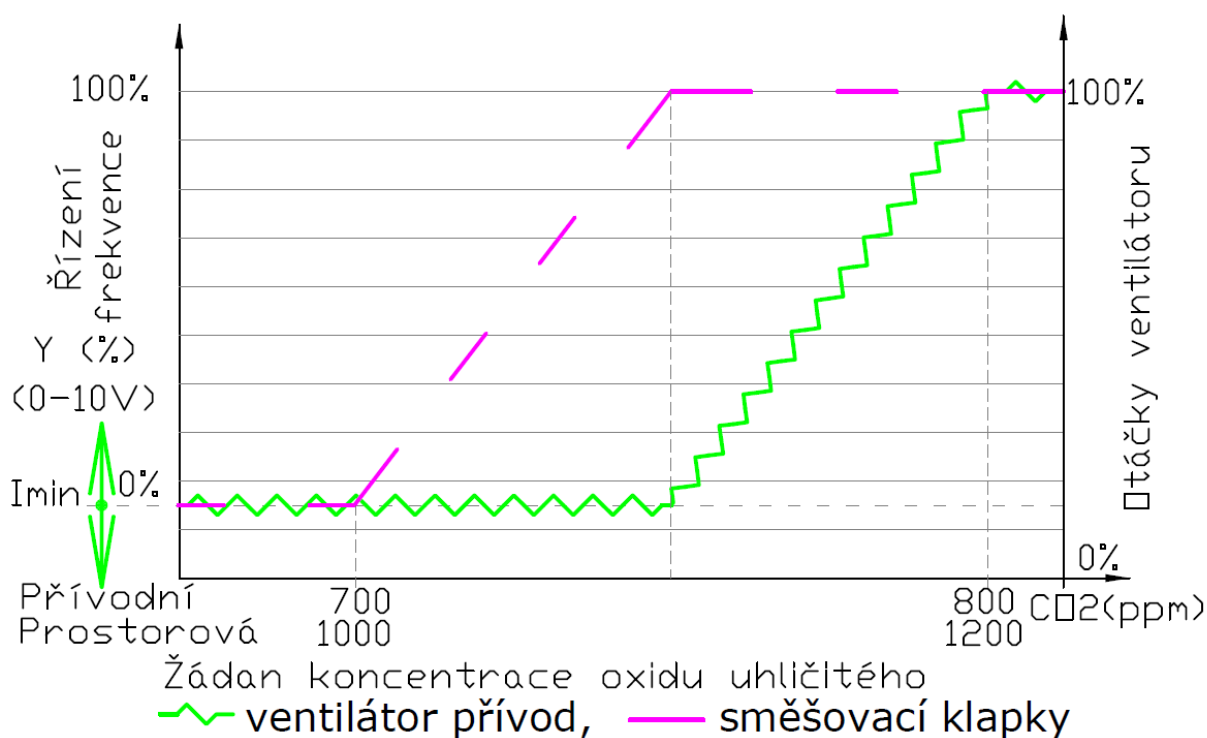
Kvalita vzduchu – obsah CO₂ ve vzduchu přívod, prostor, odtah

Obecně je vhodné měřit obsah CO₂ ve vzduchu

- Přívod – dle této hodnoty se omezuje množství přimíchávání odtahovaného vzduchu do přívodního čerstvého vzduchu funkcí směšování (má-li zařízení VZT směšování). Většinou se nastavuje na hodnotu: Vzduch Přívod 700 až 800 ppm - proporcionálně

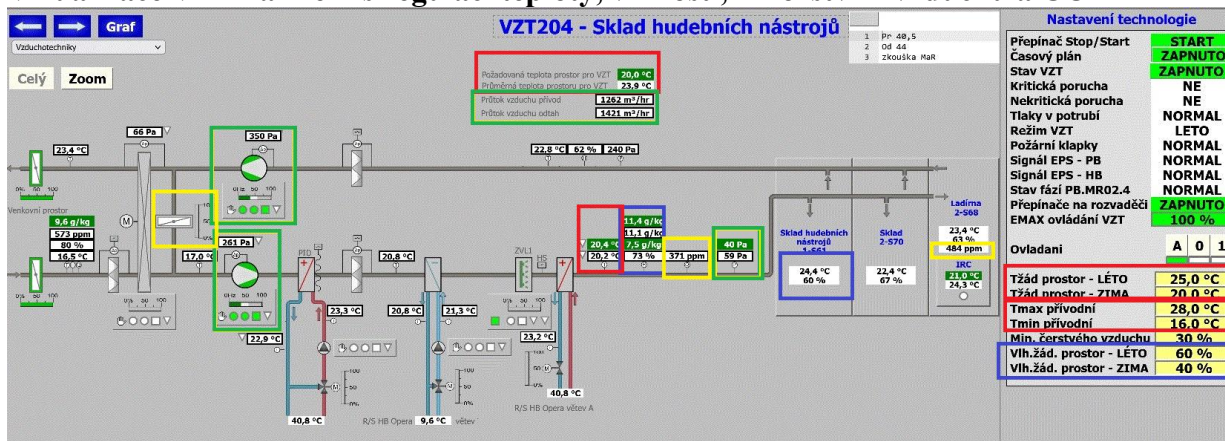
- Prostor – dle této hodnoty (překročení 1400ppm) se aktivuje, mimo jiné, chod zařízení a pokud VZT zařízení nezajišťuje větrání jen jednoho prostoru, výběr max. naměřené hodnoty CO₂ ze všech měřených prostorů, reguluje klapky směšování a následně množství přírodního vzduchu.
- Odtah – pokud zařízení zajišťuje větrání jednoho prostoru, tak dle této hodnoty se reguluje kvalita přírodního vzduchu systémem klapky směšování a následně množstvím přírodního čerstvého vzduchu. Odtah, prostor může mít 1000 až 1200 ppm – proporcionálně. Pokud je zařízení pro více prostorů, tato hodnota se neměří – o ničem nevypovídá.

Základní požadavek na regulaci dle CO₂: Regulační algoritmus množství čerstvého vzduchu musí být vždy PROPORCIONÁLNÍ. To znamená, že např. při CO₂ naměřeno v přírodním vzduchu 700 ppm je požadavek regulace na minimální množství čerstvého vzduchu od CO₂. Při CO₂ naměřeno 800 ppm, je požadavek regulace na maximální množství čerstvého vzduchu od CO₂. Tato závislost je lineární. Není možné použít integrační, ani derivační složku regulátoru. Odůvodnění: Při příchodu většího množství lidí do klimatizovaného prostoru dochází k nárůstu hodnoty CO₂ v řádech minut a tomu musí odpovídat i požadavek na okamžitý nárůst množství čerstvého vzduchu. Pokud daný prostor lidé opustí, je pokles hodnoty CO₂ relativně pozvolný, než se prostor vyvětrá. Z tohoto důvodu nehrozí kmitání regulace při použití samostatné proporcionální regulace. Hodnoty CO₂ mezi 700 a 800 ppm přívod a 1000 a 1200ppm odtah jsou v roce 2026 přípustné – viz publikace: Větrání obytných budov od Vladimír Zmrhal (2025).



Obr. 3 Regulace otáček ventilátoru přívod a směšování od obsahu kysličníku uhličitého (CO₂) ve vzduchu

Vizualizace VZT zařízení s regulací teploty, vlhkosti, množstvím vzduchu a CO2



Obrázek 4 Vizualizace provozu VZT zařízení pro sklad hudebních nástrojů v Státní opere Praha

Legenda k obrázku:

Červené orámování

- Měřená/Žádaná teplota prostor LÉTO (25,0°C) žádaná teplota prostor ZIMA(20,0°C)
- Vypočítaná žádaná teplota prostor (20,0°C), průměrná měřená teplota prostor (23,9°C). Mezi spodní hranicí teploty/ZIMA a horní/LETO je NULOVÉ PÁSMO odběru energie (tepla a chladu) pro zařízení VZT
- Žádaná (20,4°C) a měřená teplota přívodního vzduchu(20,2°C)
- Žádaná minimální (16,0°C) a maximální (28°C) hodnota teploty přívodního vzduchu

Modré orámování

- Měřená/Žádaná relativní vlhkost prostor LÉTO (60%), ZIMA (40%)
- Měřená/Žádaná měrná vlhkost přívodního vzduchu Vypočítaná z aktuální průměrné teploty prostor (23,9°C). Běžná žádaná měrná vlhkost přívodního vzduchu LÉTO (11,4g/kg), ZIMA (7,5g/kg)
- Relativní vlhkost přívod – aktivace ALARM při překročení

Zelené orámování

- Žádaný přetlak přívod (40 Pa), měřený přetlak přívod (59 Pa)
- Regulace otáček ventilátoru a množství vzduchu přívod (1262 m3/hod), jako žádaná pro odtah (1421m3/hod)

Žluté orámování

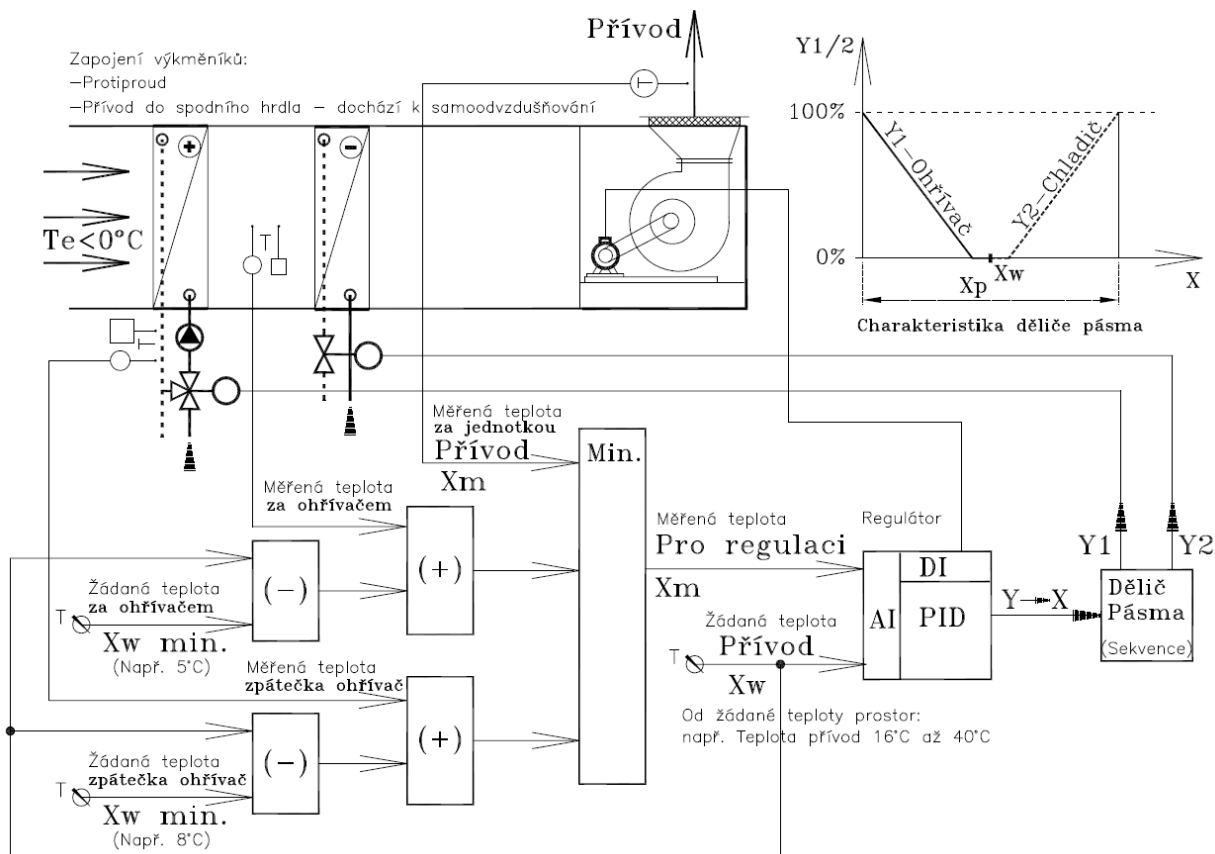
- Koncentrace CO2 přívod (371 ppm) – limit 700 až 800ppm, prostor (484 ppm) – limit 1000 až 1200ppm, ALARM 1400ppm.

Algoritmus protizámrazové ochrany ohřivače – ideální řešení s jedním regulátorem

Pokud vzduchotechnická jednotka nasává vzduch s podnulovou teplotou, tento návrh možného řešení protizámrazové ochrany ohřivače zajišťuje plynulé „přecházení“ regulace regulačního signálu z regulace dle teploty přívodního vzduchu na regulaci dle min. teploty zpátečky z ohřivače, event. na regulaci dle teploty vzduchu za ohřivačem. Stačí zadat žádané hodnoty:

- Žádaná teplota přívodního vzduchu
- Žádaná minimální teplota zpátečky z ohřivače
- Žádaná minimální teplota teploty vzduchu za ohřivačem – před chladičem

Popis funkce: Základní algoritmus je regulace teploty přiváděného vzduchu. Tato teplota může být buď zadána jako parametr (při požadavku na zadanou teplotu přívodního vzduchu) nebo jako výsledek PID regulátoru z požadavku, že teplota přívodního vzduchu je výsledek žádané teploty přívodního vzduchu, z požadavku na žádanou a měřenou teplotu v prostoru – tzv „vlečná regulace“. Měřená hodnota této teploty přívodního vzduchu se přivede do modulu výběru minima „Min“, společně s měřenou teplotou ve zpátečce ohřivače a teplotou vzduchu za ohřivačem. K těmto dalším dvěma teplotám se ale přičte rozdíl mezi teplotou žádanou přívod a teplotou žádanou pro zpátečku ohřivače a teplotou žádanou pro teplotu vzduchu za ohřivačem. Výsledkem je, že vždy ta teplota, která je menší jak žádaná „přebírá“ řízení celého systému.

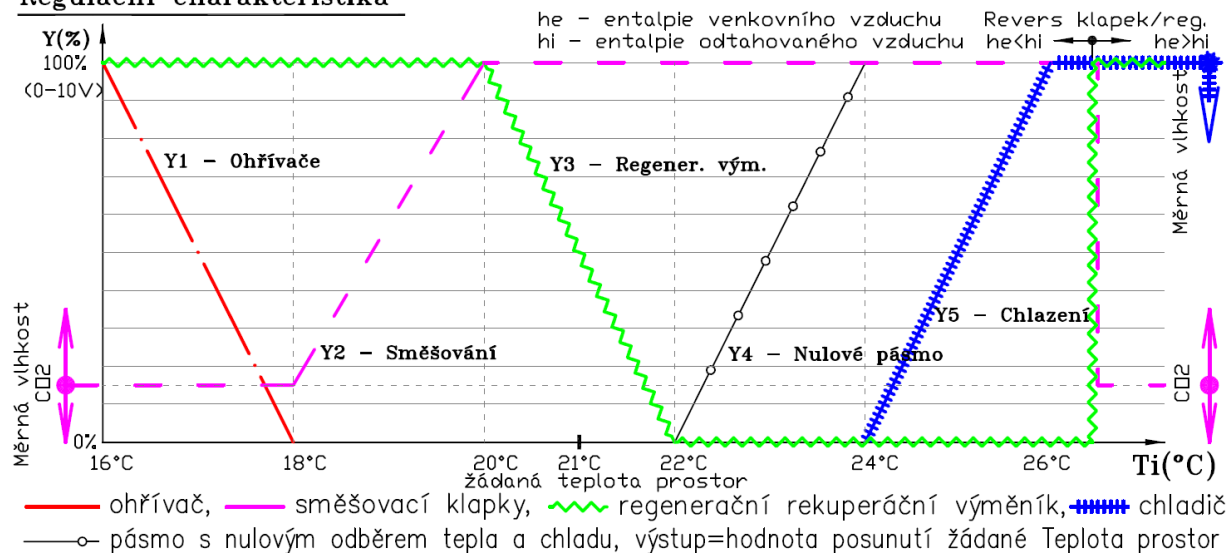


Obr 5 Vývojový diagram algoritmu regulace teploty vzduchu prívod s protimrazovým opatřením

Regulační algoritmus řízení VZT jednotky pro žádanou Teplotu, Relativní vlhkost prostor a obsah CO2 v prívod i odtah/prostor, dle zadané regulační charakteristiky.

Ke každému schéma VZT zařízení by měl projektant vzduchotechniky přikládat mimo jiné podrobný popis co a jak požaduje regulovat, regulační charakteristiku, kde je znázorněna funkcionální jednotlivých komponent schématu a požadavky na jednotlivé parametry a funkce.

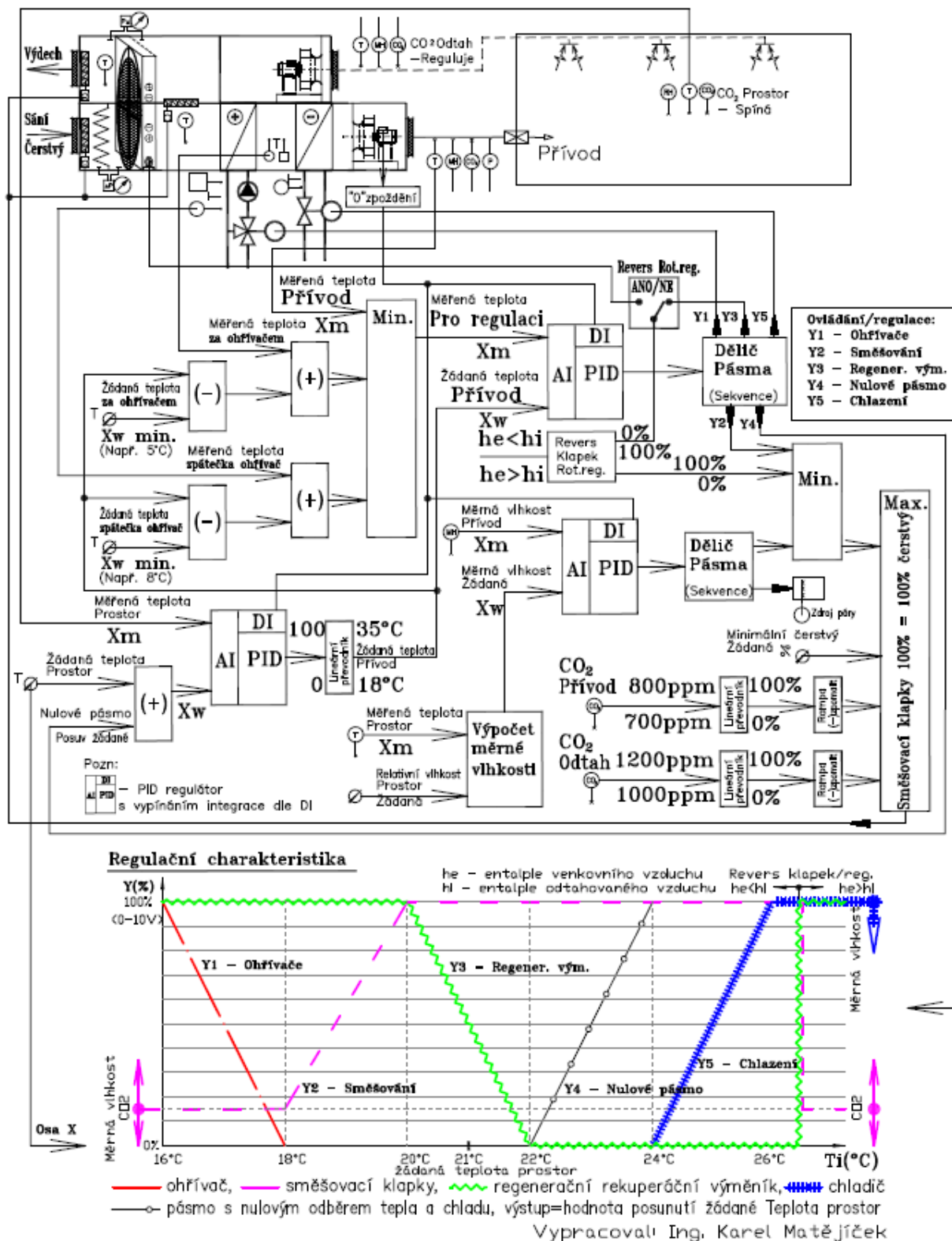
Regulační charakteristika



Obr. 6 Regulační charakteristika VZT zařízení

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Zařízení	Množství min./max [m3/hod]	Regulace teploty přívodního vzduchu (IR - Individuální regulace prostoru)				Teplota prostor [°C]		Teplota přívodu [°C]		Vlhkost prostor [%]		Obsah CO2 [ppm]			°Energie		Reku perace		Směšování			
Číslo	Název	Přívod	Odtah	Kons tantní	Prostor	Odtah	IR	Od zon	zima	leto	min	max	Zima - Léto	Přívod	Prostor	Odtah	Alarm	Diference od žádané	ano	ekonom ické	min. čerstvého	CO2
1	Sál	600/1500	500/1400	-	ano	-	-	-	22	25	18	35	30-70	700-500	1000-1200		1400	3°C	ano	ano	ano	ano
X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	
Ohřev	Chlazení	Dohřev	Vlhčení	CO2	Zony	Protizámraz [°C]	Vlhčení pára	Regulace množství od				Start zařízení			Předběh			Teplota nižší než	Teplota vyšší než	Časový program		
ano	ano	-	ano	ano	-	8	5	98	ano	ano	ano	CO2/tep	-	ano	ano	ano	ano	ano	30	18	28	

Obrázek 7 Příklad požadavků a parametrů pro řídicí algoritmus VZT zařízení - proměnné



Obr. 8 Regulační algoritmus kompletní VZT jednotky

Vypracoval: Ing. Karel Matějčíček

Příklad regulačního algoritmu kompletní VZT jednotky s:

Filtrační komorou, regeneračním rotačním výměníkem(Y3), směšováním(Y2), ohřivačem(Y1), chladičem (Y5), ventilátorem, řízeným dle přetlaku (P), CO₂, měrné vlhkosti přívodního vzduchu, která je počítaná z relativní vlhkosti prostoru, s použitím PID regulátorů(Xw-žádaná hodnota, Xm-měřená hodnota, AI-analogový vstup, DI-digitální vstup, Yx-analogový výstup). Tento regulační algoritmus je vypracován na základě výše uvedených požadavků a zadané regulační charakteristiky, doplněné o protimrazovou ochranu, revers klapek a regeneračního výměníku pro letní období, mezní hodnoty teplot přívodního vzduchu a nulové pásmo energie(Y4). Nulové pásmo energie, v našem případě pro vnitřní teplotu od 22°C do 24°C umožňuje provozovat zařízení s přívodem vzduchu bez dodávky tepla a chladu. Navíc nebude docházet k překmitávání regulace mezi požadavkem na ohřev a chlazení přívodního vzduchu.

ZÁVĚR

Je nezbytné, aby projektanti vzduchotechnických zařízení (VZT) v souladu s požadavky ČSN EN 16798-1, ČSN EN 13053 a souvisejících technických norem jednoznačně specifikovali v projektové dokumentaci:

1. **Požadované parametrické podmínky pro jednotlivé prostory**, zejména
 - požadované množství vzduchu pro prostor (min. max množství, intenzitu výměny),
 - teplotu vnitřního vzduchu (zimní i letní režim) – nutné nulové pásmo,
 - relativní vlhkost (zimní i letní režim),
 - požadovanou kvalitu vnitřního prostředí (kategorie IEQ/IDA dle ČSN EN 16798-1),
 - požadavky na přetlaky a podtlaky v chráněných nebo technologických prostorách.
 - atd. ...
2. **Parametry přiváděného vzduchu (supply air)** pro jednotlivé VZT jednotky a jejich provozní režimy, včetně
 - minimálních a maximálních průtoků v režimu komfort/útlum,
 - min. množství venkovního čerstvého vzduchu,
 - teploty přiváděného vzduchu (min. i max.),
 - relativní vlhkosti (pokud je parní – alarm od překročení). Měrná se počítá,
 - požadovanou kvalitu přívodního, event. odvodního vzduchu,
 - požadavků na filtraci dle ČSN EN ISO 16890,
 - účinnosti rekuperace dle ČSN EN 308/ ČSN EN 13053.
 - min. teploty protizámraz (vzduch, voda)
 - atd. ...
3. **Detailní popis funkcí a provozních vazeb jednotlivých komponent VZT**, který slouží jako jednoznačný podklad pro zpracování projektu měření a regulace (MaR/BMS), zejména
 - funkce ohřivačů, chladičů, zvlhčovačů a rekuperačních výměníků - formou regulační charakteristiky,
 - regulace ventilátorů (přívod/odvod), včetně typů regulace (např. konstantní tlak, konstantní průtok, variabilní průtok),
 - řízení směšovací a uzavíracích klapek,
 - alarmy/hlášení o nedosažení nastavených/požadovaných parametrů
 - bezpečnostní a havarijní funkce (protimrazová ochrana, havarijní vypnutí, limitní stavy),
 - požadavky na komunikaci a integraci do nadřazeného systému řízení (MaR/BMS).
 - Atd. ...

Takto zpracovaný popis slouží jako závazný podklad pro návrh algoritmů řízení MaR/BMS, zajišťuje jednoznačný výklad funkce systému a umožňuje správné nastavení regulačních procesů v souladu s legislativními a normativními požadavky.