

# **Řízení systémů tvorby prostředí – součást integrovaných řídicích systémů budov.**

Control of HVAC systems - a part of integrated control systems of modern buildings with application on specific project.

Bc. Pavel Plšek



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav automatizace a řídicí techniky

akademický rok: 2007/2008

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Pavel PLŠEK

Studijní program: N 3902 Inženýrská informatika

Studijní obor: Automatické řízení a informatika

Téma práce: Řízení systémů tvorby prostředí – součást integrovaných řídicích systémů moderních budov s aplikací na konkrétní projekt – Tropický pavilon YUCATAN – ZOO Zlín.

Zásady pro vypracování:

Předmětem DP je návrh řízení vzduchotechnických a vytápěcích systémů budov a monitorování jejich funkce v kontextu integrovaných systémů v budovách, především se zaměřením na budovy v terciární sféře.

Úkolem je provést:

1. Parametry základních veličin prostředí budov a odvozené parametry funkčních veličin.
2. Rozbor systémů řízení předmětných technologií.
3. Rozbor funkčních vazeb a závislostí.
4. Rozbor konkrétního zadání.
5. Analýza předmětných technologií.
6. Sestavení technologického schématu a jeho popis.
7. Návrh systému řízení.
8. Aplikace konkrétního řídicího systému.
9. Technicko ekonomické hodnocení návrhu.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. "Smarthouse Code of Practice CWA 50487:2005\, CENELEC, 2005.
2. Zálešák, M., Vašek, V.: Problems of intelligent buildings control and communication systems. Proceedings of 16th International DAAM Symposium, 2005.
3. ISO 16484 Building Automation and Control Systems.
4. EN 50090 Home and building electronic system.
5. PrEN 14908 Control Networks Protocol.
6. ISO/IEC 15045-1: Information technology -- Home electronic systém (HES) getaway.
7. "Open system Design Guide. Designing Open Building Control Systems Based on LONWORKS® Technology\, Version 2.0.
8. ECHELON CORPORATION - "Open system Specification Framework. A Framework Systems with LONWORKS® Technology\, Version 4.0.
9. JOHNSON CONTROLS : "Katalog výrobků 2007 na CD ".
10. JOHNSON CONTROLS : "Technická dokumentace na webovém portálu <http://www.myjohnsoncontrols.com> .

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Martin Zálešák, CSc.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

**22. února 2008**

Termín odevzdání diplomové práce:

**6. června 2008**

Ve Zlíně dne 22. února 2008

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce si klade za cíl seznámit čtenáře s problematikou prostředí budov, jeho tvorbou a s automatizační technikou a jejími principy, které je možno použít k řízení prostředí v budovách.

Ve druhé části popisuje nasazení automatizační techniky na řízení prostředí konkrétní budovy a popisuje zkušenosti získané při aplikaci.

Doplněno ukázkami z konkrétní vizualizace.

### **Klíčová slova:**

Systémy řízení budov, prostředí budov, základní veličiny prostředí budov, technologie tvorby prostředí budov,

## **ABSTRACT**

The diploma thesis aims to introduce problems in the field of building environment, its creation and with automation technology and for technology process control.

The work is supplemented with the technical drawings and particulars.

### **Keywords:**

Building services management systems, building environment, fundamental variables of building environment, technology of creation building environment

### **Poděkování :**

Na tomto místě bych chtěl vyjádřit poděkování Ing. Martinu Zálešákovi CSc., který jako garant této diplomové práce poskytl potřebné „komentáře“ k dosažení patřičné úrovně práce a své dlouholeté zkušenosti z oblasti techniky prostředí budov, dále všem pedagogům Fakulty aplikovaného inženýrství za všechny předané vědomosti a odborné i životní zkušenosti.

Další dík patří mé ženě, která mne po celou dobu studia psychicky podporovala a chápala.

Poděkovat bych chtěl také celému kolektivu spolužáků za vytvoření příjemného prostředí ke studiu.

Motto z mých oblíbených ( a vždy platných ) Murphyho zákonů:

### **Weberovo pravidlo :**

**Odborník je člověk, který toho ví čím dál víc o čím dál méně věcech. Dokonalosti dosahuje ve chvíli, kdy ví absolutně všechno o ničem.**

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....  
Podpis diplomanta

# OBSAH

ÚVOD.....	9
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1 PARAMETRY ZÁKLADNÍCH VELIČIN PROSTŘEDÍ BUDOV A ODVOZENÉ PARAMETRY FUNKČNÍCH VELIČIN .....</b>	<b>11</b>
1.1 TEPLOTA .....	11
1.1.1 Operativní teplota.....	11
1.1.2 Střední tepelný pocit lidí.....	13
1.1.3 Podíl nespokojených osob.....	14
1.2 VLHKOST.....	14
1.2.1 Mollierův diagram.....	15
1.2.2 Měrná vlhkost vzduchu .....	16
1.2.3 Relativní vlhkost .....	17
1.2.4 Absolutní vlhkost .....	17
1.2.5 Rosný bod.....	18
1.2.6 Entalpie vlhkého vzduchu .....	19
1.3 VÝMĚNA VZDUCHU .....	19
1.3.1 Přirozené větrání .....	19
1.3.2 Nucené větrání .....	20
1.3.3 Rychlost proudění .....	21
1.3.4 Rekuperace vzduchu .....	22
1.4 OSVĚTLENÍ.....	23
1.4.1 Přirozené denní osvětlení .....	23
1.4.2 Umělé osvětlení.....	23
1.4.3 Řízení osvětlení.....	24
1.5 HLUK .....	25
<b>2 ROZBOR SYSTÉMŮ ŘÍZENÍ PŘEDMĚTNÝCH TECHNOLOGIÍ.....</b>	<b>27</b>
2.1 ČLENĚNÍ ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ .....	28
2.1.1 Centralizovaný řídicí systém.....	28
2.1.2 Decentralizovaný systém .....	28
2.1.3 Hierarchický systém.....	28
2.1.4 Sběrníkový systém .....	28
2.2 PERIFERIE.....	29
2.3 REGULÁTORY PODLE PRINCIPU FUNKCE .....	29
2.3.1 DDC regulátory .....	29
2.3.2 PLC regulátory .....	29
2.4 REGULÁTORY PODLE PROVEDENÍ .....	30
2.4.1 Kompaktní regulátory .....	30
2.4.2 Embedded regulátory .....	30
2.4.3 Modulární regulátory .....	31

2.5	CENTRÁLNÍ ŘÍDICÍ JEDNOTKY .....	31
2.6	UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ.....	32
2.6.1	Lokální ovládání v místě technologie .....	32
2.6.2	Vzdálené ovládání .....	32
2.7	KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE. ....	34
<b>3</b>	<b>ROZBOR FUNKČNÍCH VAZEB A ZÁVISLOSTÍ .....</b>	<b>36</b>
3.1	TEPELNÉ ZTRÁTY .....	36
3.2	VLHKOST – ENERGIE .....	36
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>ROZBOR KONKRÉTNÍHO ZADÁNÍ.....</b>	<b>39</b>
4.1	ZÁKLADNÍ PROJEKČNÍ PARAMETRY BUDOVY .....	39
4.1.1	Stavební :.....	39
4.1.2	Energetické :.....	39
4.2	POŽADAVEK NA NÍZKOU ENERGETICKOU NÁROČNOST .....	40
4.2.1	Konstrukční požadavky.....	40
4.2.2	Provozní požadavky .....	41
4.3	POŽADAVEK STABILNÍ TEPLoty A VLHKOSTI .....	42
4.4	SROVNÁNÍ PROJEKTOVANÝCH PARAMETRŮ SE SKUTEČNOSTÍ.....	42
4.4.1	Spotřeba tepla.....	42
4.4.2	Spotřeba vody.....	43
4.4.3	Spotřeba elektrické energie .....	44
<b>5</b>	<b>ANALÝZA PŘEDMĚTNÝCH TECHNOLOGIÍ - POŽADAVKY NA ŘÍZENÍ.....</b>	<b>45</b>
5.1	VYTÁPĚNÍ .....	45
5.2	VĚTRÁNÍ .....	46
5.2.1	Vzduchotechnika.....	49
5.2.2	Otvírání oken.....	49
5.3	OSVĚTLENÍ.....	50
5.4	ŘÍZENÍ HLADIN .....	51
<b>6</b>	<b>SESTAVENÍ TECHNOLOGICKÉHO SCHEMATU A JEHO POPIS .....</b>	<b>53</b>
6.1	TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ŘÍDICÍHO SYSTÉMU .....	53
6.2	TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ŘÍZENÍ VZDUCHOTECHNIKY .....	53
6.3	TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA STROJOVNY VYTÁPĚNÍ.....	54
6.4	TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA OVLÁDÁNÍ OKEN.....	54
<b>7</b>	<b>NÁVRH SYSTÉMU ŘÍZENÍ.....</b>	<b>55</b>

7.1	VYTÁPĚNÍ .....	55
7.2	VZDUCHOTECHNIKA.....	56
7.3	OTVÍRÁNÍ OKEN .....	57
7.4	OSVĚTLENÍ.....	58
7.5	ZVLHČOVÁNÍ.....	58
7.6	SPOTŘEBA ENERGIE .....	59
<b>8</b>	<b>APLIKACE KONKRÉTNÍHO ŘÍDICÍHO SYSTÉMU .....</b>	<b>60</b>
8.1	REGULÁTORY .....	60
8.2	PERIFERIE.....	62
8.3	ROZVÁDĚČE .....	63
8.4	SÍŤOVÁ ŘÍDICÍ JEDNOTKA – NAE .....	63
8.5	EXPORTNÍ UTILITA .....	64
8.6	TVORBA UŽIVATELSKÉHO SOFTWARE.....	65
8.7	PŘIPOJENÍ DO INTERNETU .....	66
8.8	VIZUALIZACE .....	67
<b>9</b>	<b>TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU.....</b>	<b>69</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>71</b>
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>79</b>



## ÚVOD

Člověk si v moderních budovách vytváří umělé prostředí, ve kterém dnešní lidská populace tráví většinu svého času, ať už pracovního, tak volného. Často osm až dvanáct hodin denně pracujeme uvnitř budovy, potom se přesuneme klimatizovaným vozem (vlastním nebo vozem hromadné dopravy) do budovy, ve které více (bowling, squash, tenis) či méně (kino, divadlo, restaurace) aktivně odpočíváme. Odtud se přesuneme domů. S výjimkou přesunů z místa na místo a „zdravotních“ procházek trávíme uvnitř budov v podstatě většinu svého času.

Proto je velmi důležité budovat a provozovat tyto budovy tak, aby v nich člověk žil zdravě a pohodlně. Z této na první pohled jednoduché věty vyplývá nekonečné množství požadavků, někdy korespondujících, mnohdy si však odporujících a je úkolem celých týmů odborníků počínaje architekty, projektanty jednotlivých profesí až po konečné realizátory stavby všechny tyto požadavky uvést do vzájemného souladu. Všichni společně potom obvykle bojují s požadavkem na snížení investičních nákladů.

Dalo by se jednoduše říci, že nelehkým úkolem odborníků podílejících se na realizaci řídicích systémů, je „řídít představy architektů podle peněženky investora ke spokojenosti uživatele“.

Díky mému zajímavému zaměstnání jsem se mohl podílet mimo běžných rutinních staveb také na realizaci velmi netypické budovy – Tropického pavilonu YUCATAN v ZOO Zlín – Lešná. (viz. obrázek č. 12) řízením realizace dodávky řídicího systému. Právě proto, že se jedná o ojedinělou stavbu s velmi specifickými a přísnými požadavky na dodržení požadovaných parametrů (protože vzácná zvířata ani rostliny na rozdíl od lidí nemohou sdělit provozovateli své požadavky a připomínky k prostředí), díky práci týmu kvalitních odborníků všech profesí po celou dobu realizace a také proto, že jsem se zúčastnil celého projektu od samého počátku, mohl jsem načerpat cenné zkušenosti nejen z realizace, ale díky úzké spolupráci s provozovatelem také po celou dobu zkušebního a dalšího provozu až dodnes, o které bych se s Vámi chtěl v této diplomové práci podělit.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 PARAMETRY ZÁKLADNÍCH VELIČIN PROSTŘEDÍ BUDOV A ODVOZENÉ PARAMETRY FUNKČNÍCH VELIČIN

Prostředí budov je dnes velmi často diskutovaným tématem, ať už v souvislosti s energetickými úsporami, s přibývajícím počtem lidí s různými alergiemi (na prach, na plísně, na průvan apod.) Toto je určeno množstvím stavebně – technických předpisů, norem, vyhlášek a zákonů, které se zabývají jak postupem při projektování nových objektů, tak postupy při jejich provozu a údržbě. Velmi cenným zdrojem kvalitních informací k celé problematice prostředí budov mi byl zejména internetový portál <http://www.tzb-info.cz>, který i v každodenní praxi velmi často využívám.

V následujících odstavcích si v teoretické rovině stručně popíšeme základní veličiny, kterými je prostředí budov definováno.

## 1.1 Teplota

Teplota je jednou ze základních veličin určujících kvalitu prostředí budovy. Tato má vliv nejen na komfort, ale je také jedním ze zásadních parametrů určujících energetickou náročnost budovy. V tomto ohledu se posuzuje teplota vzduchu, teplota vnitřních povrchů a teplota prostředí, která zahrnuje oba tyto parametry, včetně parametrů dalších – jedná se potom o operativní teplotu, vnitřní teplotu apod.

### 1.1.1 Operativní teplota

Pro celkovou tepelnou pohodu člověka je důležité, aby byl zachován příznivý poměr mezi tepelnými ztrátami lidského těla prouděním a sáláním. Tento poměr může být nepříznivě ovlivněn, je-li člověk příliš blízko od povrchu stěny s nízkou teplotou. V takovém případě dochází k intenzivní výměně tepla sáláním mezi částí těla přivráceného k chladné stěně a člověk tuto situaci pociťuje jako nadměrné ochlazování (tento jev se označuje také jako studené či negativní sálání). Ještě citelněji se projevuje dotyk nohou se studenou podlahou. Proto se při návrhu tepelně technických vlastností vychází také z požadované teploty na vnitřním povrchu stavebních konstrukcí, popř. z přípustného rozdílu teploty vzduchu v místnosti a vnitřní povrchové teploty.

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [1] uvádí pojem operativní teplota . Jedná se o teplotu v prostoru, která zohledňuje kromě teploty vzduchu také rychlost proudění vzduchu a střední radiační teplotu.

Operativní teplota,  $t_o$ , [°C] je jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by tělo sdílelo radiací a konvencí stejně tepla, jako ve skutečném teplotně nehomogenním prostředí. Při známé střední radiační teplotě,  $t_r$  [°C] (účinnou teplotou okolních ploch) a teplotě vzduchu,  $t_a$  [°C] se určí ze vztahu (1) :

$$t_o = A \cdot t_a + (1 - A)t_r \quad [^\circ\text{C}] \quad (1)$$

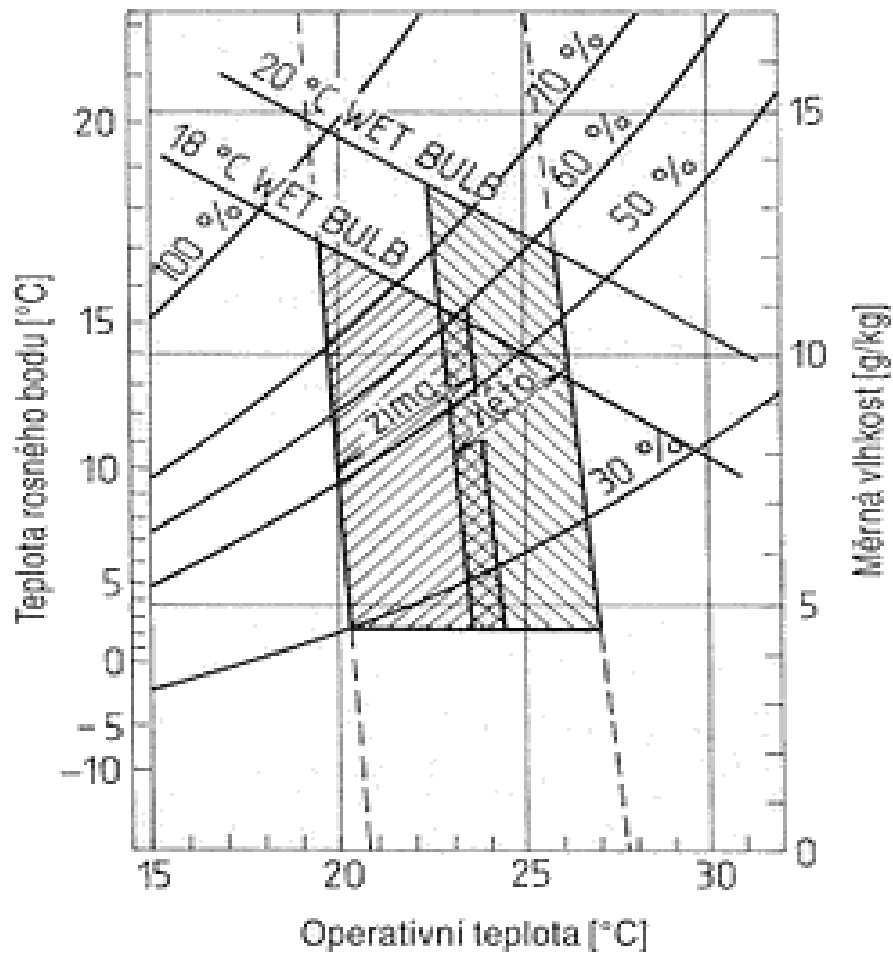
kde  $t_o$  [°C] je střední operativní teplota  
 $t_a$  [°C] teplota vzduchu  
 $t_r$  [°C] střední radiační teplota  
 $A$  [-] hodnota závislá na rychlosti proudění vzduchu podle tabulky  
 č. 1

Tabulka č 1: Závislost součinitele  $A$  pro výpočet operativní teploty  $t_o$ , na rychlosti proudění

vzduchu  $v_a$

$v_a$ (m/s)	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>
$A$ (-)	0,50	0,60	0,65	<b>0,7</b>	<b>1</b>

Americká norma ANSI/ASHRAE 55-1992 (Tepelné parametry interiéru obývaného člověkem) se zabývá tepelnou pohodou v interiérech, kde běžně pobývají lidé a uvažuje s 80% spokojeností osob pobývajících v daném interiéru . Doporučené hodnoty operativní teploty pro dosažení celkové tepelné pohody, stanovené tímto předpisem, jsou uvedeny na obrázku č. 1.



Obrázek 1: Přípustné rozmezí operativní teploty a vlhkosti vnitřního vzduchu pro typické letní a zimní oblečení [5].

### 1.1.2 Střední tepelný pocit lidí

ČSN ISO 7730 zavádí pro hodnocení tepelného komfortu v budově pojem střední tepelný pocit lidí  $PMV$  ( Predicted Mean Vote ). Tento ukazatel navíc zohledňuje také různé druhy lidské činnosti.

Z řešení tepelné bilance je odvozena rovnice pro výpočet středního tepelného pocitu  $PMV$  (2) [4]:

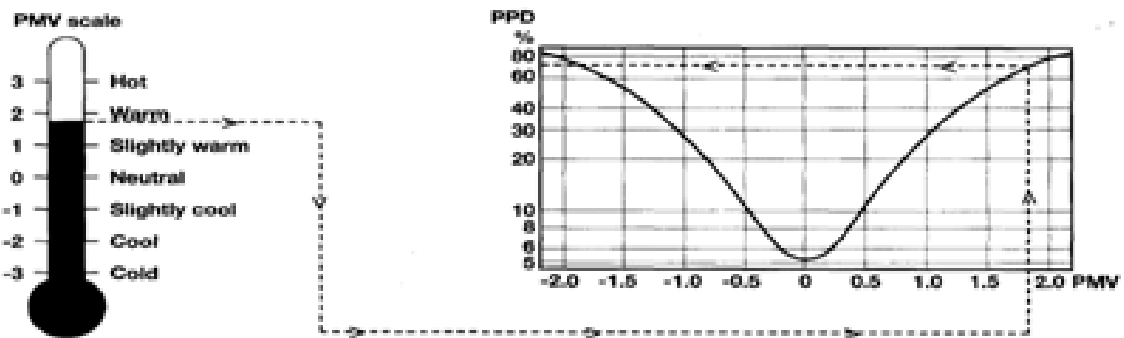
$$PMV = (0,303 \cdot \exp^{(-0,036 \cdot M)} + 0,028) \cdot L \quad [-] \quad (2)$$

kde  $M$  [W] je energetický výdej člověka

$L$  [W] rozdíl energetického výdeje a tepla odvedeného bez mokrého pocení

### 1.1.3 Podíl nespokojených osob

Dalším pojmem v oblasti řízení teploty v budovách je podíl nespokojených osob s aktuální teplotou *PPD* ( Predicted Percentage of Dissatisfied ). Maximálně přijatelné procento *PPD* je 10%. Z grafu na obrázku č. 2 můžeme vidět, že procentu nespokojených 10% odpovídá odchylka skutečné teploty od požadované  $\pm 0,5$  °C. Udržení tak malého rozptylu hodnot je v praxi poměrně velmi náročné a vyžaduje dobře navržený celý systém a precizní řídicí algoritmy.



Obrázek 2 : Graf předpovědi procentuálního podílu nespokojených [4].

## 1.2 Vlhkost

Vlhký vzduch podle obsahu vlhkosti dělíme :

- nenasycený (parciální tlak vodních par ve vzduchu je menší než tlak sytých par při téže teplotě  $p V < p V''$ )
- nasycený  $p V = p V''$
- přesycený (nasycený vzduch, který obsahuje ještě další vodu v kapalném nebo tuhém skupenství)

Stavová rovnice pro vlhký vzduch (3) má tvar :

$$p = \frac{R}{m_n} \cdot \rho \cdot T \quad [\text{Pa}] \quad (3)$$

kde	$p$	[Pa]	je	celkový tlak vzduchu,
	$R$	[J/kmol.K]		univerzální plynová konstanta ( $R = 8\,314,3$ J/kmol.K)
	$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]		hustota (měrná hmotnost) vlhkého vzduchu,
	$T$	[K]		termodynamická teplota,
	$m_n$	[kg/kmol]		střední molekulová hmotnost vlhkého vzduchu,

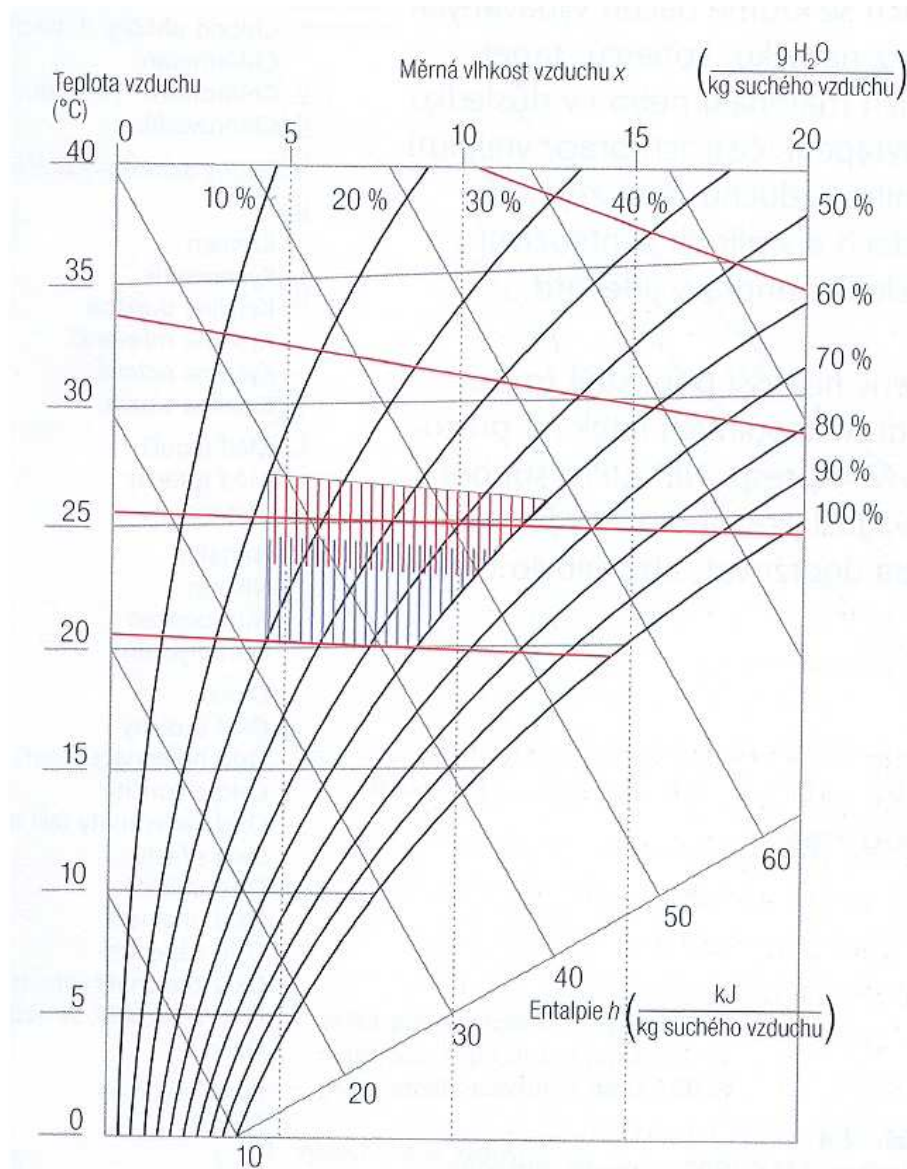
Kromě vlastního tepelného pocitu lidí v budově má vlhkost velký vliv na jejich zdraví. Zvýšená vlhkost má za následek vzniku plísní, při nízké vlhkosti dochází k vysušování sliznic a dýchacím potížím.

Při návrhu klimatizačního zařízení objektu je nezbytné provést správné dimenzování pomocí psychrometrických výpočtů. Používá se grafická metoda s využitím tzv. h-x diagramu (Mollierův diagram) . K výpočtům můžeme využít v nejjednodušším případě vytištěný Mollierův h-x diagram, dále jednoduchý program ve formě tabulkového procesoru až po specializované programy různých výrobců a dodavatelů vzduchotechnických a klimatizačních zařízení sloužící ke komplexnímu návrhu budovy.

### 1.2.1 Mollierův diagram

Základním prostředkem pro pochopení vlastností vlhkého vzduchu jak v budovách tak ve venkovním prostředí je tzv. Mollierův diagram, někdy také označovaný i-x, h-s nebo h-x diagram podle os použitých pro označení. Jedná se o stavový diagram vyjadřující vzájemnou závislost vlhkosti vzduchu a teploty v izobarických dějích. Překlopením a otočením dostaneme někdy také zmiňovaný psychrometrický diagram.

Z diagramu můžeme odvodit pro daný stav vzduchu teplotu, relativní vlhkost, měrnou vlhkost, entalpii vzduchu, teplotu rosného bodu. Pro určení stavu vzduchu nám stačí dvě veličiny, jejichž vynesením do grafu získáme přesnou polohu bodu definujícího vlastností vzduchu. Na obrázku č. 3 můžeme vidět vymezení optimálního pásma tepelné pohody v h-x diagramu vlhkého vzduchu.



Obrázek 3 : Optimální pásmo tepelné pohody v h-x diagramu vlhkého vzduchu [21].

### 1.2.2 Měrná vlhkost vzduchu

Je číslo udávající hmotnost vody resp. vodní páry obsažené v 1 kg suchého vzduchu. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších způsobů určení spolu s relativní vlhkostí vyjádřený vztahem (4) :

$$x = \frac{M_V}{M_A} \tag{4}$$



kde  $M_V$  [kg] je hmotnost vodní páry ve vzduchu

$M_A$  [kg] hmotnost suchého vzduchu,

Vzhledem k velmi nízkému obsahu vody ve vzduchu se v praxi obvykle používá jako jednotka [g/kg].

### 1.2.3 Relativní vlhkost

Relativní vlhkost, vyjádřená v %, je poměr skutečného množství vlhkosti ve vzduchu a maximálního množství vlhkosti, které je vzduch při dané teplotě schopen pojmout. Relativní vlhkost 100 % tedy znamená, že vzduch je vodními parami nasycen a není už schopen pojmout další vlhkost. Relativní vlhkost 0 % vyjadřuje, že vzduch neobsahuje žádnou vlhkost. Pro relativní vlhkost platí vztah (5):

$$\varphi = \frac{m}{M} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

kde  $m$  [kg] je hmotnost vodní páry obsažené ve vzduchu

$M$  [kg] hmotnost vodní páry obsažené ve stejném objemu vzduchu nasyceném vodní párou

Relativní vlhkost nám nejlépe vyjadřuje stav vzduchu z pohledu subjektivního vnímání člověkem.

### 1.2.4 Absolutní vlhkost

Absolutní vlhkost vzduchu je hmotnost vodní páry obsažené ve vzduchu je vyjádřena vztahem (6).

$$\Phi = \frac{m}{V} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (6)$$

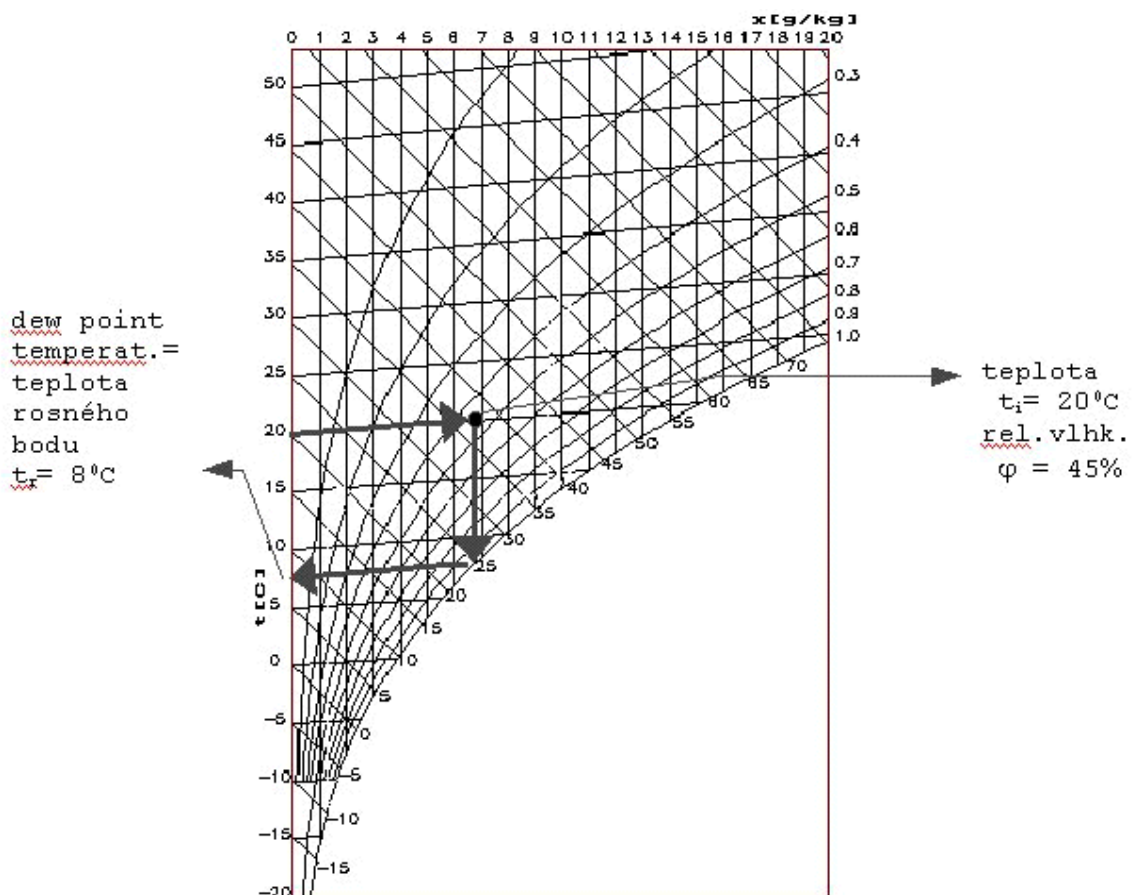
kde  $m$  [kg] je hmotnost vodní páry obsažené ve vzduchu;

$V$  [m<sup>3</sup>] objem vzduchu.

Mezi absolutní vlhkostí, teplotou a relativní vlhkostí platí fyzikální vztah. Čím teplejší je vzduch, tím více páry je schopen pojmout. Jinými slovy - daná absolutní vlhkost znamená nižší relativní vlhkost při vyšší teplotě než při teplotě nižší.

### 1.2.5 Rosný bod

Nebo také teplota rosného bodu vyjadřuje teplotu vzduchu, při které je vzduch zcela nasycen vodními parami, relativní vlhkost je tedy 100%. Při poklesu teploty pod tento dochází ke kondenzaci vody obsažené ve vzduchu. Teplotu rosného bodu opět můžeme odečíst z h-x diagramu, viz. obrázek č. 4.



Obrázek 4 : Určení rosného bodu z h-x diagramu [20].

### 1.2.6 Entalpie vlhkého vzduchu

Entalpie vyjadřuje množství tepelné energie v látce. Pro entalpii směsi 1 kg suchého vzduchu a  $x$  kg vodní páry platí vztah (7):

$$h = h_A + x \cdot h_V \quad (7)$$

kde  $h_A$  [J.kg<sup>-1</sup>] je entalpie suchého vzduchu;

$x$  [-] měrná vlhkost;

$h_V$  [J.kg<sup>-1</sup>] entalpie vodní páry.

## 1.3 Výměna vzduchu

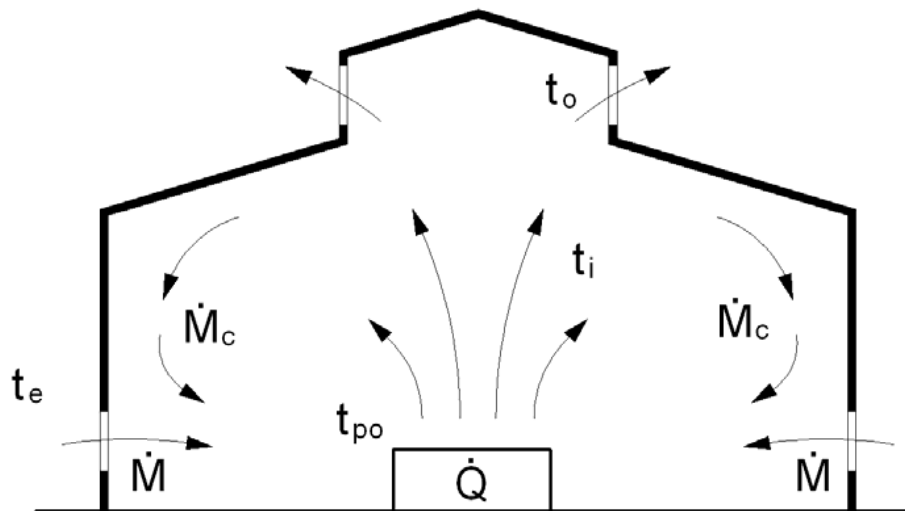
Výměna vzduchu v budově je nezbytná pro zajištění odvodu škodlivin (např. CO<sub>2</sub>) z objektu a nahrazení znečištěného, resp. znehodnoceného vzduchu čerstvým vzduchem přivedeným z venku. Doporučené hodnoty výměny vzduchu uvádí ČSN 73 0540. Intenzita výměny vzduchu udává čas v hodinách, za který se vymění v místnosti všechn vzduch. Zajištění dostatečné výměny vzduchu je hlavním je jedním ze základních požadavků při tvorbě zdravého a příjemného prostředí v moderních budovách.

Dnešní moderní budovy se utěšňují a přirozená výměna vzduchu klesá až na hodnoty  $n = 0,1$  až  $0,15 \text{ h}^{-1}$ . Hygienický požadavek na výměnu vzduchu je asi 15 -ti násobně vyšší.

### 1.3.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání funguje na principu gravitačních (vztlakových) sil, způsobených rozdílem hustot vzduchu uvnitř budovy a venkovního viz. obrázek č. 5. Působením vztlakových sil vzniká v horní části větraného prostoru přetlak, v dolní části podtlak (vzhledem k tlaku atmosférickému). Může být zajištěno buď prostou netěsností oken, dveří a dalších stavebních otvorů, nezanedbatelná je také výměna vzduchu průchodem lidí dveřmi. Toto jsou tzv. samovolné způsoby přirozeného větrání. Další, řízené přirozené větrání probíhá například větracími okny, otvíravými světlíky (tzv. komínový efekt, kdy teplý vzduch stoupá vzhůru a tím pádem ven z budovy). Přirozené větrání nemusí být však vždy žádoucí. Například ve výškových budovách (obecně cca od 10 pater výšky) dochází ke komínovému

efektu, který způsobuje podtlak v přízemních částech a přetlak ve vyšších patrech, díky kterému může docházet k nežádoucím tlakovým poměrům v jednotlivých patrech, vysávání znečištěného vzduchu z nižších pater a jeho vtláčování do horních pater.



Obrázek 5 : Princip přirozeného větrání [10].

Stanovení množství větracího vzduchu,  $M$ , (dle [10]) je vyjádřeno vztahem (8):

$$M = \frac{Q}{c \cdot (t_o - t_e)} \quad (8)$$

kde	$Q$	[W]	je	tepelná zátěž prostoru;
	$c$	[J/kg.K]		měrná tepelná kapacita vzduchu;
	$t_o$	[°C]		teplota odváděného vzduchu;
	$t_e$	[°C]		teplota venkovního vzduchu.

### 1.3.2 Nucené větrání

Nucené větrání se zajišťuje pomocí mechanických zařízení – vzduchotechnických jednotek, samostatných přívodních nebo odtahových ventilátorů. Přívod i odvod vzduchu se regulují tak, aby byly v rovnováze nebo také podle požadavků mohou zajišťovat podtlakové nebo přetlakové větrání. Celý systém větrání a výměny vzduchu v budově je velmi složitým komplexem vlastních vzduchotechnických zařízení, potrubí, regulačních klapek, výustek a regulačních zařízení, který musí být kvalitně navržen, zrealizován, seřízen ale také provozován a udržován.

Velmi důležitou fází je zregulování celého systému po jeho montáži, kdy se jednak podle projektové dokumentace a také podle platných předpisů musí celé zařízení seřadit tak, aby v každém místě budovy byl zajištěn přísun správného množství vzduchu o správných parametrech včetně rychlosti proudění. Rychlost proudění je zejména důležitá v místech s trvalou přítomností lidí.

### 1.3.3 Rychlost proudění

Vysoká rychlost proudícího vzduchu v objektu ať už v důsledku přirozeného nebo nuceného větrání (lidově řečeno průvan) může mít velmi negativní vliv jak na lidské zdraví, tak na růst rostlin nebo na zdraví zvířat. Příliš rychle proudící vzduch zesiluje ochlazující účinky a může způsobit lokální nebo celkové podchlazení člověka nebo zvířat i rostlin. Optimální rychlost proudění se pohybuje  $0,1 - 0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Rychlost proudění je dána v první řadě správným návrhem celého systému větrání a ventilace (vhodně dimenzované vzduchotechnické jednotky, rozvody, výustky, vhodné stavební řešení tak udržováním celého systému VZT v provozuschopném stavu (kontrola filtrů, měření rychlosti proudícího vzduchu a v neposlední řadě revize) . Průtok potrubím je dán vztahem (9) :

$$Q = S \cdot v \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (9)$$

kde  $S$   $[\text{m}^2]$  je průřez potrubí;

$v$   $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$  rychlost proudění.

Rychlost proudění je závislá na hmotnostním průtoku  $m$  podle vztahu (10) :

$$v = \frac{m}{\rho \cdot S} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10)$$

kde  $m$   $[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$  je hmotnostní průtok;

$\rho$   $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$  hustota;

$S$   $[\text{m}^2]$  průřez potrubí.

### 1.3.4 Rekuperace vzduchu

Tepelná ztráta způsobená výměnou vzduchu je popsána vztahem (11) :

$$Q_v = 1300 \cdot V \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (11)$$

kde	1300	[J.m <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup> ]	je	tepelná kapacita vzduchu;
	V	[m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> ]		objemový tok větracího vzduchu;
	t <sub>i</sub>	[°C]		teplota vzduchu v prostoru;
	t <sub>e</sub>	[°C].		teplota přívodního vzduchu.

Tento vztah uvažuje výměnu vzduchu ve výši 0,5 h<sup>-1</sup> předepsaný normou ČSN 060210. Vidíme, že ztráty vzniklé prostou výměnou vzduchu bez rekuperace jsou vysoké. Z tohoto důvodu se dnes již ve většině případů instalují vzduchotechnická zařízení všech velikostí s rekuperací vzduchu. V rekuperátoru předává odváděný vzduch tepelnou energii vzduchu přiváděnému. Účinnost se pohybuje typicky v rozmezí 40 % – 80 %.

Nejběžnější je deskový rekuperátor, buď s by-pasem nebo bez něj. Má nejnižší účinnost (kolem 50 %), řízení tohoto rekuperátoru ztěžuje v zimě namrzání vzdušné vlhkosti vysrážené na žebrech rekuperátoru. V tomto případě musíme část vzduchu vést mimo rekuperátor, aby došlo k odmrazení.

Rotační rekuperátor se používá buď s konstantními otáčkami nebo s plynule řízenými otáčkami. Jeho výhodou může být možnost přenosu vlhkosti, která nám snižuje náklady na dodatečné vlčení prostoru. Nevýhodou je společná teplosměnná plocha pro oba směry proudění a tím vyšší nároky načištění. Typické otáčky se pohybují v rozmezí 10 – 12 otáček za minutu.

Tepelné čerpadlo představuje nejdokonalejší způsob rekuperace tepla. Výparníkem tepelného čerpadla prochází odcházející vzduch, chladičem prochází přiváděný vzduch. Účinnost tohoto řešení se pohybuje kolem 90%.

## 1.4 Osvětlení

Tělesa vyzařují elektromagnetické záření o různých vlnových délkách. Při zahřátí tělesa nad 600 °C vnímá člověk toto záření jako světlo. Základním parametrem světla je světelný tok nebo také světelný výkon  $\Phi$  se základní jednotkou 1 lumen [lm]. Jednotkou svítivosti zdroje je 1 candela [cd] . V praxi se nejčastěji můžeme setkat s jednotkou osvětlení  $E$  1 lux [lx] .

Požadavky na řízení osvětlení se neustále zvyšují. Dostatečné ale zejména také kvalitní osvětlení má velký vliv jak na zdraví člověka a zvířat, na správný růst rostlin a také na pracovní výkonnost a bezpečnost práce a vůbec veškerého pohybu v objektu. Dalším hlediskem hodnocení osvětlení je také tzv. zraková pohoda. V neposlední řadě hraje výběr vhodného světlení závažnou roli v energetické náročnosti budovy.

### 1.4.1 Přirozené denní osvětlení

Přirozené osvětlení denním světlem je dalším ze základních požadavků na techniku prostředí moderních budov. Lze jej dosáhnout mnoha různými způsoby od základního průniku denního světla do objektu okny ve venkovních stěnách, různými způsoby architektonických řešení např. atria, světlíky nebo anglické dvorky a v poslední době také moderními světlovody, které umožňují přivést přirozené světlo i do místností dispozičně situovaných uvnitř objektu, mimo obvodové stěny.

Základní požadavky na osvětlení jsou definovány v ČSN 73 0580 - Denní osvětlení budov.

### 1.4.2 Umělé osvětlení

V případech, kdy přirozené osvětlení nemáme k dispozici (ať už v důsledku dispozičního umístění nebo jednoduše pokud je venku tma), musíme osvítit daný prostor pomocí umělého osvětlení.

Požadavky na umělé osvětlení uvádí ČSN 36 0450 Umělé osvětlování ve vnitřních prostorech a zejména pak ČSN 36 0452 Umělé osvětlení obytných budov. Tato norma stanoví základní rozsahy intenzit osvětlení a jejich nejnižší přípustné hodnoty pro různé druhy činností a různé typy vnitřních prostorů. Je specifikováno, kde musí být celkové a kde místní

osvětlení a jaké typy světelných zdrojů lze v obytném prostředí použít. Na rozdíl od amerických zvyklostí převládá v Evropě obliba celkového osvětlení s místním přisvětlením.

Pro výpočet umělého osvětlení existuje velké množství programů od jednoduchých volně dostupných na webu, přes dokonalejší software výrobců osvětlení až po sofistikované systémy pro projektanty a architekty.

Návrh osvětlení neznamena jenom výpočet intenzity světla. A už vůbec neplatí mnohdy publikovaný názor „, čím více světla – tím lépe “. Důležitými parametry osvětlení je správné dispoziční rozmístění svítidel s ohledem na požadavky pracoviště a pohyb pracovníků, zabránění oslnění, stínů a zejména ostrých kontrastů. Dalšími parametry jsou správnost barvy neboli teploty světla s ohledem na místo použití a index podání barev světelných zdrojů. V neposlední řadě je nutné se také zabývat provozní náročností osvětlení z pohledu výměny zdrojů a spotřeby elektrické energie, resp. účinnosti.

Pro výpočet osvětlení se používají následující metody :

- Bodová metoda – určení osvětlení v rovině kolmé k paprsku svítivosti a následná korekce na rovinu osvětlovanou
- Toková metoda – počítá celkový tok zdrojů a jejich účinnost. Respektuje např. znečištění a pokles účinnosti zdrojů, dispoziční řešení místnosti
- Metoda poměrného příkonu – při výpočtu vnitřního osvětlení určuje příkon světelných zdrojů

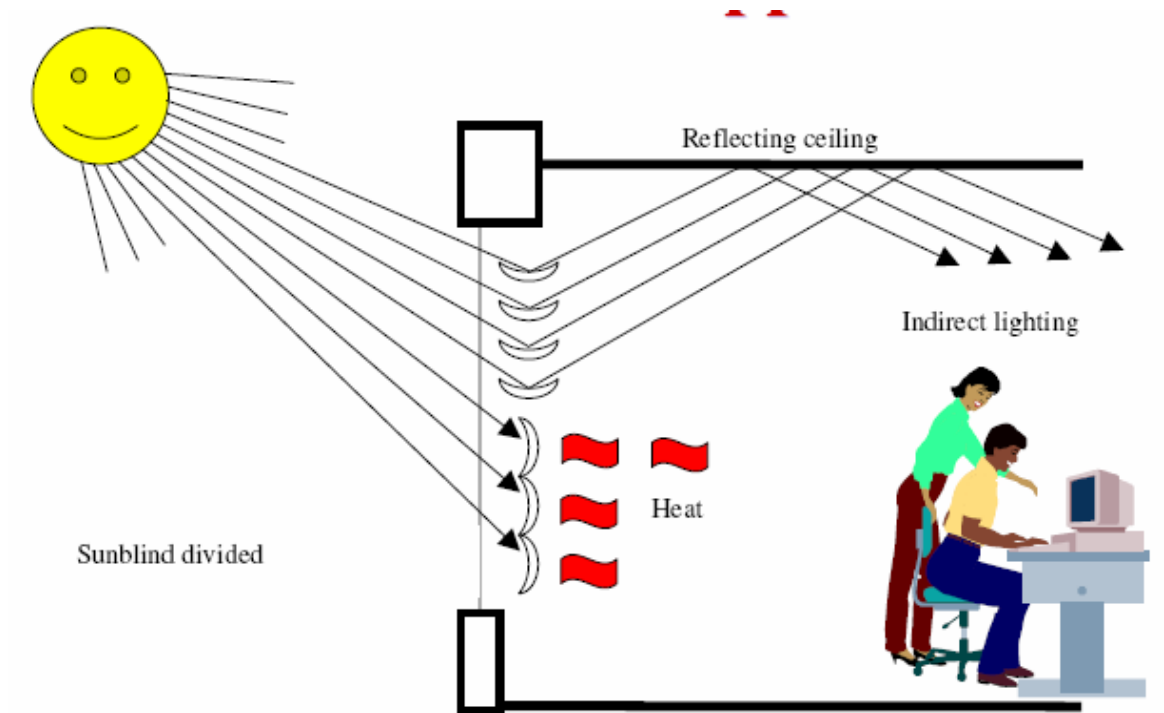
### 1.4.3 Řízení osvětlení

V moderní inteligentní budově je systém řízení osvětlení integrován do systému řízení celé budovy. Vazba na přístupový systém umožňuje svítit v jednotlivých prostorách jen v případě přítomnosti osob, nastavení individuálních požadavků jednotlivých uživatelů na osvětlení, časové programy. Umělé osvětlení je řízeno tak, aby pokud možno doplňovalo přirozené světlo. Přirozené světlo je řízeno ovládním žaluzií podle intenzity venkovního osvětlení a podle polohy slunce vůči objektu. Viz. obrázek č. 6.

Jedním z možných nových standardů v řízení osvětlení je DALI (Digital Addressable Lighting Interface, IEC 62386 ). Systém složený z prvků podle tohoto standardu umožňuje



programování světelné scény, rozdělování energie, integraci do subsystémů. Samozřejmostí je kompatibilita s komunikací pře Ethernet.



Obrázek 6 : Princip řízení přirozeného osvětlení [14].

## 1.5 Hluk

Hluk je další z veličin prostředí, která se ukazuje zejména v poslední době jako velmi problematická. Hluk v budovách je dvojího druhu, a to hluk způsobený vlastním objektem a jeho provozem – vzduchotechnickým a klimatizačním systémem, výrobními zařízeními atd. a dále hluk pronikající do objektu zvenčí. Vlastní hluk objektu je nutné eliminovat již v návrhu stavby a jejích provozních podmínkách a dodržováním těchto navržených a vyprojektovaných parametrů v provozu. Hluk pronikající do objektu je eliminován navržením vhodných obalových stavebních konstrukcí budovy a také řešením vnitřního povrchu.

Nadměrný hluk velmi negativně působí na zdraví a výkonnost lidí a z dlouhodobého hlediska může způsobovat vážné škody na zdraví, zejména poruchy nervového systému.

Měření hluku se obvykle provádí pouze při kolaudaci objektu. Měření hluku můžeme provádět jako měření jednotlivého zařízení nebo jako měření prostředí.

Důležitými parametry hluku jsou hladina hluku resp. hladina akustického tlaku, spektrum hluku – tj. kmitočtové rozložení hladin akustického tlaku a třetím parametrem je směrová charakteristika – tj. hladina akustického tlaku jako funkce směru.

Základní veličinou je hladina akustického tlaku  $L_p$  [dB], vztažená k referenčnímu akustickému tlaku  $20 \mu\text{Pa}$ , který odpovídá prahu slyšení na kmitočtu 1000 Hz.

Vyjádření úrovně hluku v decibelech jednak vystihuje fyziologii slyšení, kdy lineární přírůstek sluchového vjemu odpovídá relativní změně podnětu (Fechner-Weberův zákon), jednak umožňuje přehlednější třídění hlukových údajů, neboť dynamický rozsah od prahu slyšení  $20 \mu\text{Pa}$  do prahu bolesti  $200 \text{ Pa}$ , tj. 7 řádů, je pokryt rozsahem 140 dB. Hladina akustického tlaku je energetická veličina a lineární přírůstky hladin odpovídají kvadratickému nárůstu akustického tlaku. Například těsně nad prahem slyšení je nárůst hladiny akustického tlaku o 2 dB nevýznamný, na 100 dB však stejný nárůst znamená podstatné zvýšení.

Jednotlivé výrobky instalované v budově musí splňovat předepsané úrovně vyzařování hluku. Důležitější je ale měření celkového hluku v prostředí, kde se projeví nejenom zdroje hluku, ale také izolační a absorpční vlastnosti konstrukce objektu.

Legislativní požadavky na předepsané hlukové vlastnosti prostředí a materiálů budov jsou specifikovány v ČSN 73 0532/2000 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků.

## 2 ROZBOR SYSTÉMŮ ŘÍZENÍ PŘEDMĚTNÝCH TECHNOLOGIÍ

Prostředí dnešních moderních budov je ovlivňováno množstvím technologií. Na prostředí budovy je nutné pohlížet jako na ucelený komplex ve kterém všechny instalované technologie spolu souvisí a společně s budovou by měly vytvářet harmonický celek.

Každou z těchto jednotlivých technologií můžeme více či méně jednoduše samostatně ovládat a řídit. K dosažení harmonického celku musíme ovšem použít integrovaný systém řízení, který řízení všech jednotlivých požadavků spojí a zohlední vzájemné vazby.

V minulosti bylo ovládání jednotlivých regulačních okruhů řešeno buď ručně, později jednoduchými přímočinnými mechanickými regulátory typu odstředivý regulátor otáček, plovákové zařízení, bimetalový termostat.

Dalším stupněm bylo použití jednoúčelových elektronických analogových regulátorů s tranzistorovou technologií, které umožnily realizaci PID regulátorů. Nastavování jednotlivých složek se provádělo pomocí potenciometrů nebo trimrů.

Potom následovaly první jednoduché PID regulátory s mikroprocesory a displejem pro každý regulovaný obvod podobné těm, které můžeme vidět ještě dnes. Z hlediska funkce jsou však dnešní i jednoduché regulátory nesrovnatelné zejména v možnostech komunikace, ukládání hodnot do paměti, různých dalších funkcích jako watch-dog (automatické sledování vlastní funkce s možností autoresetu), autotuning (automatické nastavení parametrů) a hlavně rychlostí a kvalitou regulace.

Dnes můžeme v technologiích pro řízení budov vidět zejména volně programovatelné DDC regulátory v kompaktním provedení. Rozšiřitelnost těchto zařízení a možnost komunikace ať vzájemné nebo hierarchické je dnes již samozřejmostí. Běžnou součástí je propojení řídicího systému budovy se systémem ERP ( Enterprise Resource Planning ). Sjednocujícím prvkem těchto technologií je možnost komunikace po síti Ethernet a využití protokolů TCP/IP.

## 2.1 Členění řídicích systémů

### 2.1.1 Centralizovaný řídicí systém

Je postavený na centrálním prvku, kterým může být například síťová řídicí jednotka (viz. popis v kapitole 8.1. diplomové práce), počítač s příslušným softwarem nebo v jednodušších případech regulátor fungující v menší síti jako master. Centralizace může mít několik úrovní, velikost centralizovaného systému může začínat od jednoduchého systému např. pro řízení jednoho provozu až po centralizovaný řídicí systém celé továrny nebo společnosti.

### 2.1.2 Decentralizovaný systém

V nejjednodušším případě sestává z několika nezávislých větších či menších systémů, které pracují zcela v autonomním režimu. Mohou si mezi sebou vyměňovat potřebné informace nebo zasílat do centra data k zálohování a dalšímu zpracování.

Decentralizované systémy se používají v menších, autonomních systémech, typické velikosti rodinného domku nebo samostatného technologického celku. Často využívají vzájemné komunikace pomocí naprogramovaných algoritmů, fungují bez potřeby komunikace s nadřazeným řídicím systémem.. Jedná se často o tzv. uzavřené systémy.

### 2.1.3 Hierarchický systém

Hierarchické systémy mají obvykle pevně danou strukturu, každá úroveň plní svůj úkol a bývá řízena nadřazenou úrovní. V případě výpadku komunikace nebo části systému pracuje zbývající část systému nadále podle posledních známých příkazů. Pro hierarchický systém je typická komunikace pouze mezi dvěma sousedními úrovněmi, někdy mohou komunikovat mezi sebou i prvky na stejné úrovni.

### 2.1.4 Sběrníkový systém

Typickým příkladem sběrníkového systému je systém na bázi komunikační sběrnice EIB/KNX. Každý prvek připojený na sběrnici má svoji „inteligenci“, tzn. pracuje samostatně, s dalšími prvky na sběrnici si pouze vyměňuje potřebné údaje (obousměrně). Sběrníkový systém je charakterizován absencí řídicího prvku.

## 2.2 Periferie

Z pohledu připojení periferií máme několik možností. Standardním a osvědčeným způsobem je použití periferií připojených do regulátoru unifikovanými řídicími signály (4 – 20mA, 0 – 10V, PWM, ...). Výhody : jednoduché uvedení do provozu, jednoduchý servis, v případě výpadku jednoho prvku nebo části zbytek pracuje dále, jednoduchá diagnostika.

Další možností je použití sběrnicevého systému, tzn. že každý periferní prvek ( teploměr, snímač tlaku, servopohon, vypínač, ... ) umožňuje přímé napojení na komunikační sběrnici. Výhodou tohoto uspořádání je možnost vzájemné výměny informací a požadavků. Nevýhodou je, že v případě výpadku sběrnice je celý systém mimo provoz. Obtížná bývá také diagnostika poruchy, zejména v případě velkého počtu prvků na sběrnici a navíc při kombinaci prvků od různých výrobců. Další nevýhodou je stále také vyšší cena daná menším počtem vyrobených a nasazených aplikací.

## 2.3 Regulátory podle principu funkce

### 2.3.1 DDC regulátory

DDC regulátory jsou hlavním stavebním kamenem integrovaných řídicích systémů pro technologie budov. Jsou mnohem lépe přizpůsobeny k použití v HVAC než PLC regulátory . Výrobci je produkují ve velkých sériích, z toho plyne i nižší cena a širší podpora jako je přívětivé programátorské rozhraní, široké možnosti komunikace, množství uživatelských programů v grafické podobě atd. Bývají více specializované a méně variabilní a stavebnicové než PLC. Programovací nástroje bývají dnes většinou s grafickým rozhraním a obsahují mnohdy mnoho přeprogramovaných bloků a maker, které programátor pouze skládá do celku a parametruje. Ukázka programových bloků v programovacím nástroji FX-TOOL pro programování DDC regulátorů Johnson Controls je zobrazena v příloze č. 6.

### 2.3.2 PLC regulátory

PLC regulátory byly původně vyvinuty pro automatizaci průmyslových aplikací, dnes se s nimi můžeme často potkat i v systémech pro řízení HVAC v budovách .

Hlavním důvodem jejich použití je nízká cena. V mnoha případech však PLC regulátory nemají kompletní podporu pro použití v HVAC, ať už je to vlastní funkce, programovací jazyky, mnohdy úplná absence analogových výstupů.

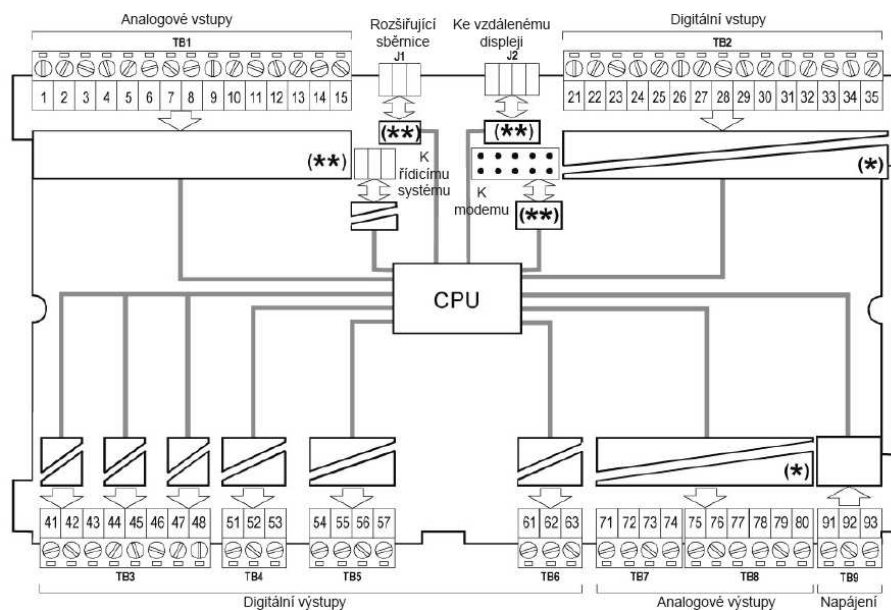
Větší a výkonnější PLC se dnes řadí také do kategorie PAC (Programmable Automation Controller), ty jednodušší naopak řadíme do kategorie programovatelných relé.

Nejznámější producenti dnešních PLC jsou Siemens, Allen-Bradley, ABB, Mitsubishi, General Electric.

## 2.4 Regulátory podle provedení

### 2.4.1 Kompaktní regulátory

Kompaktní regulátory obsahují řídicí jednotku, určitý počet vstupů a výstupů, komunikační rozhraní, někdy integrovaný displej, jednotku reálného času, obvykle bývají jednoduše rozšiřitelné, umožňují připojení do nadřazeného systému. Viz schéma na obrázku č. 7.



Obrázek 7 : Schéma kompaktního regulátoru [14].

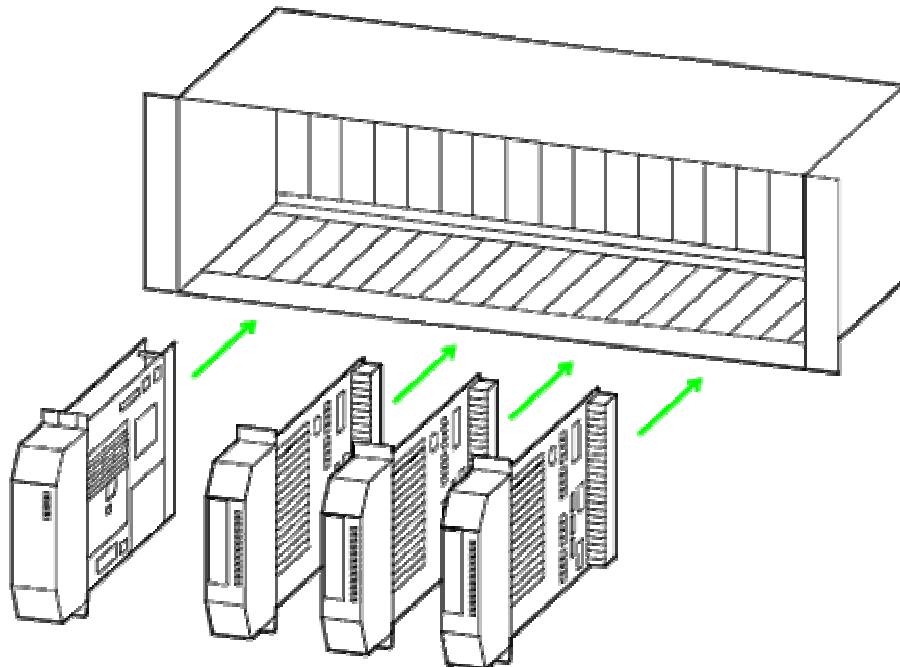
### 2.4.2 Embedded regulátory

Embedded regulátory jsou často OEM regulátory různých výrobců zabudované přímo do vlastního zařízení – například v tepelném čerpadle, ve frekvenčním měniči, .... Obvykle ve

formě instalovaného plošného spoje nebo černé skříňky přímo v zařízení, naprogramované přímo z výroby.

### 2.4.3 Modulární regulátory

Potřebnou konfiguraci modulárního regulátoru sestavíme z jednotlivých modulů, obvykle poskládaných vedle sebe na DIN liště a propojené komunikačními a napájecími propojkami nebo osazených na speciální liště sloužící zároveň jako komunikační a napájecí sběrnice. Schematické znázornění modulárního vidíme na obrázku č. 8.



Obrázek 8 : Schéma modulárního regulátoru.

## 2.5 Centrální řídicí jednotky

Centralizované řídicí systémy mohou být buď s centrální řídicí jednotkou nebo bez ní, pouze na bázi software instalovaného na běžném PC. Obě řešení mají své výhody a nevýhody.

Centrální síťová jednotka poskytuje systému větší spolehlivost, protože se obvykle jedná o bezdiskové průmyslové PC s proprietárním operačním systémem. Tato jednotka skýtá širší

komunikační možnosti, toto řešení je obvykle investičně dražší. V nejvyšší úrovni, dnes již jako standard, může tato jednotka obsahovat i vlastní webové rozhraní.

Druhou možností je instalace centrálního software na standardní PC, obvykle s operačním systémem Windows. Toto řešení je jednodušší a levnější, již na první pohled však můžeme vidět potenciální problémy – nespolehlivost operačního systému, nespolehlivost a trvanlivost vlastního PC, problémy se zabezpečením v síti. Toto „jednodušší“ řešení se z mého pohledu v průběhu provozu stává pro uživatele náročnějším.

## **2.6 Uživatelské rozhraní**

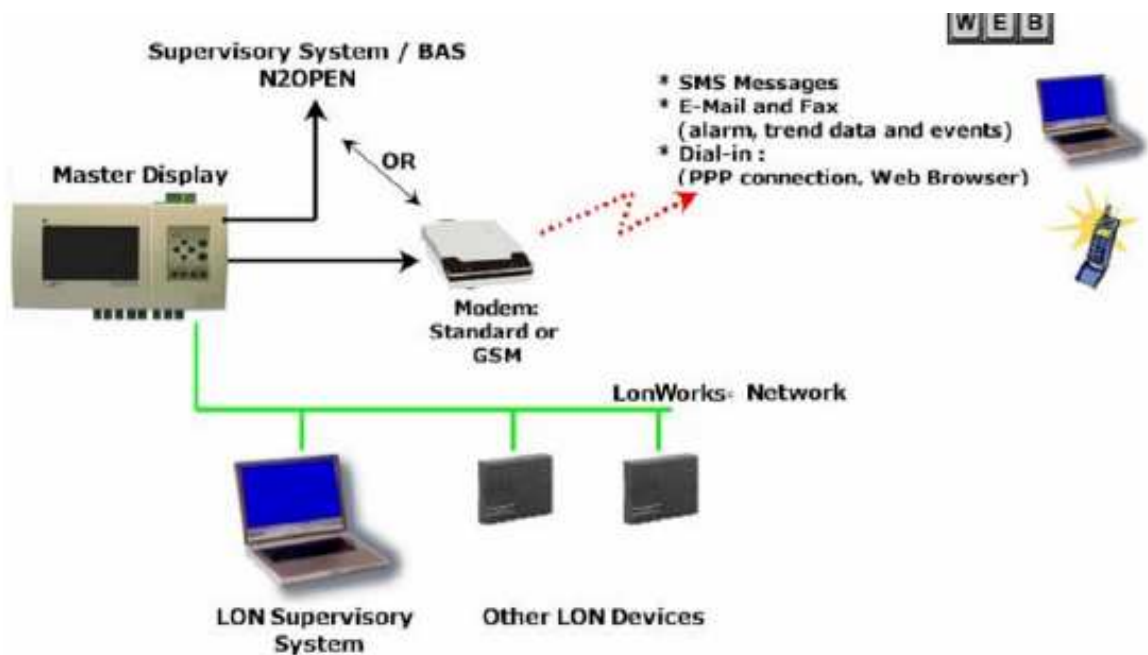
### **2.6.1 Lokální ovládání v místě technologie**

každý regulátor může mít svůj displej nebo každá technologie nebo rozvaděč může mít jeden displej pro více regulátorů v zapojení master – slave. Další možností je v poslední době instalace síťového displeje ( v zapojení peer to peer ) obvykle dotykového, ze kterého je přístup do všech nadefinovaných regulátorů v síti. Toto řešení se obvykle používá v průmyslové automatizaci.

### **2.6.2 Vzdálené ovládání**

Nejjednodušší a nejlevnější varianta ovládání pomocí vzdáleného displeje, propojeného s regulátory v místě technologie obvykle pomocí rozhraní RS485. Společný master displej může v dnešní době zastávat mnoho funkcí a nahradit tak svým způsobem dispečerské pracoviště. Možnou konfiguraci řídicího systému s master displejem můžeme vidět na obrázku č. 9.





Obrázek 9 : Schéma možného zapojení Master Display [14].

Další variantou je instalace dispečerského PC, které je s regulátory propojeno buď rozhraním RS485 nebo Ethernet. Toto řešení již poskytuje obsluze vysoký komfort obsluhy, vizualizaci, trendování historických dat a ukládání trendů, v závislosti na výrobci také možnost integrace zařízení od více výrobců a práci s různými protokoly .

Nejvyšší variantou je webové rozhraní, umožňující přístup jak z intranetu tak z internetu.

Za zmínku stojí také SCADA systémy - Supervisory Controls And Data Acquisition. Jak již vyplývá z anglického, názvu slouží k získávání dat a práci s nimi. Zcela podrobné informace o SCADA systémech můžeme najít na stránkách zdroje National Communications System [15].

Tato softwarová řešení nabízí mnoho nejenom zahraničních ale také domácích dodavatelů. Jejich rozšíření napomohla otevřenost komunikačních protokolů jako BacNet, LonWorks<sup>®</sup>, PROFIBUS, MODBUS<sup>®</sup>, M-BUS, N2-OPEN, které se staly komunikačními standardy pro většinu dodavatelů hardware pro řídicí systémy budov a umožnily tak do jednoho SCADA systému připojit několik technologií osazených různým hardware.

Když už hovoříme o SCADA systémech, je nutné zmínit také OPC server . Jedná se o softwarovou aplikaci která pracuje jako aplikační programové rozhraní nebo také překla-

dač protokolů. Umožňuje otevřenou konektivitu pomocí otevřených standardů. [16]. Připojuje se do jednotlivých automatizačních zařízení a zprostředkovává data z nich získaná pomocí standardizovaného formátu OPC. Umožňuje také propojení mezi automatizační úrovní a informačními systémy. Velkému rozmachu OPC napomohla také jeho implementace společností Microsoft do operačního systému Windows.

## 2.7 Komunikační sběrnice.

Každý řídicí systém má jednu, někdy i více komunikačních sběrnic. Dnešní trend směřuje k použití otevřených komunikačních protokolů, které umožňují kombinaci různých prvků od různých výrobců na jednom objektu.

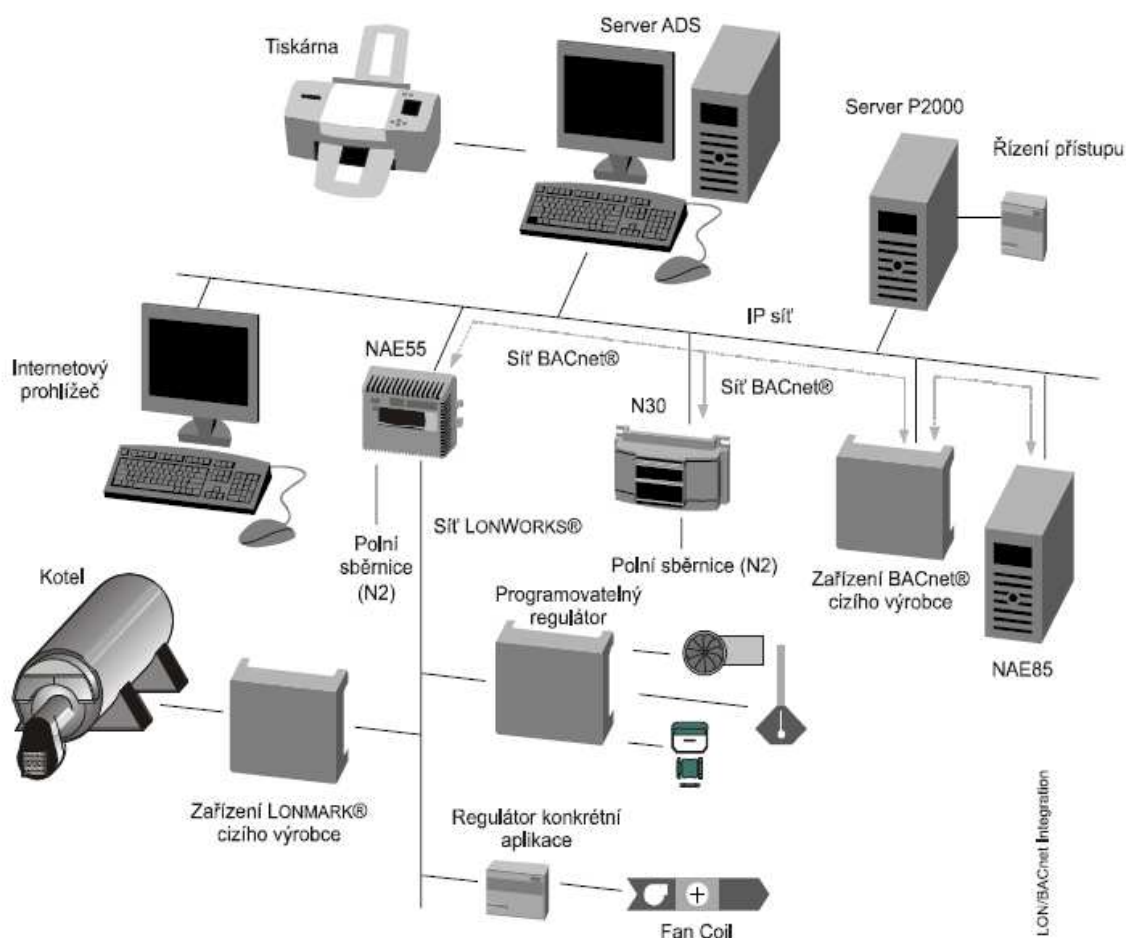
Zde můžeme vidět příklady některých proprietárních protokolů jednotlivých výrobců :

- SAIA                      S-BUS
- Allen-Bradley        DF1 Allen-Bradley
- AEG                      SEAB F1
- Johnson Controls    N2-BUS
- Mitsubishi            HDLC

Univerzální protokoly jsou vyjmenovány v předchozí kapitole.

V současnosti můžeme zaznamenat největší rozmach komunikační platformy BacNet, která je rozšířená na americkém trhu a nyní expanduje i v Evropě, čím dál častěji se také setkáváme s přímým použitím protokolů TCP/IP.

Na obrázku č. 10 můžeme vidět současnou možnost aplikace METASYS<sup>®</sup> společnosti Johnson Controls – integraci cizích zařízení využitím otevřených protokolů.



Obrázek 10 : Integrace několika různých protokolů do systému METASYS® .

### 3 ROZBOR FUNKČNÍCH VAZEB A ZÁVISLOSTÍ

Moderní budova jako celek tvoří mnohorozměrný dynamický systém, který se mění v čase. Pro návrh kvalitní budovy musíme všechny jednotlivé vazby a závislosti dokonale definovat, prostudovat a vyvodit ze získaných poznatků správné závěry. Musíme brát v potaz, že se nejedná se o uzavřený, izolovaný systém, ale o otevřený a dynamicky měnící se systém.

#### 3.1 Tepelné ztráty

Postup výpočtu dodávky tepla nutného k dosažení výpočtové vnitřní teploty popisuje norma ČSN EN 12831.

Norma popisuje výpočet návrhového topného výkonu (tepelné ztráty):

- pro jednotlivé místnosti nebo vytápěný prostor pro dimenzování otopných ploch;
- pro celou budovu nebo její funkční část pro dimenzování tepelného výkonu.

Je také základním dokumentem pro stanovení tepelné ztráty obálkovou metodou při výpočtu potřeby tepla na vytápění pro modelové řešení budovy. Také uvádí zjednodušenou výpočtovou metodu, postupy pro výpočet návrhové tepelné ztráty a návrhového tepelného výkonu pro standardní případy při návrhových podmínkách.

Standardní případy zahrnují všechny budovy:

- s omezenou výškou místnosti (nepřesahující 5 m);
- s vytápěním do ustáleného stavu při návrhových podmínkách.

Užije se pro:

- obytné budovy, kancelářské a administrativní budovy, školy, knihovny, nemocnice, budovy pro ubytování, věznice, budovy pro stravování, obchodní domy;
- další budovy, užívané pro obchodní účely, průmyslové budovy.

Velmi kvalitní podklady pro výpočty tepelných ztrát můžeme najít na [www stránkách http://vytapani.tzb-info.cz](http://vytapani.tzb-info.cz) .

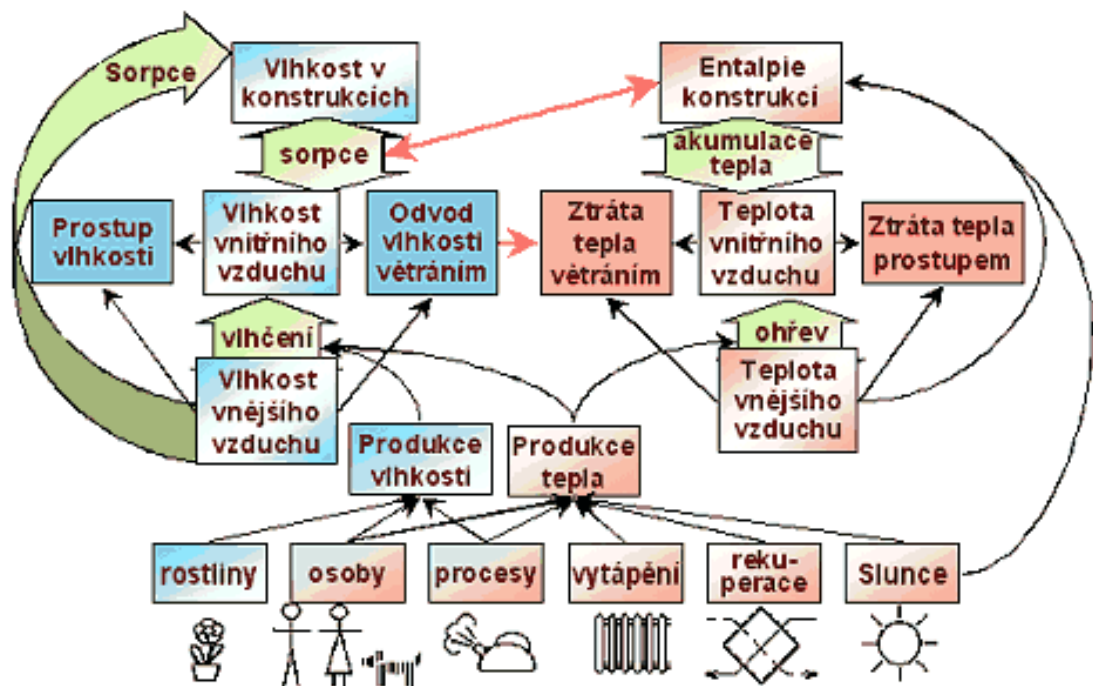
#### 3.2 Vlhkost – energie

Na obrázku č. 11 vidíme bilanci vlhkosti a bilanci energie, které jsou vzájemně svázány prostřednictvím výparné entalpie vlhkosti. Vnitřní vlhkost závisí mimo jiné na velikosti

výměny vzduchu. Snížení výměny vzduchu způsobí zvýšení vlhkosti vnitřního vzduchu a naopak. [9]

Při požadované hodnotě relativní vlhkosti kolem 85 % a velikosti vodních ploch s vodou o vysoké teplotě vidíme z hx-diagramu, že odpar vody do vzduchu bude poměrně vysoký.

Při požadavcích na dodržení tropického klimatu se jedná o další dva protichůdné požadavky. Zajištěním požadované výměny vzduchu jak v letním ale zejména v zimním období přivádíme do prostoru sušší venkovní vzduch. Ten musíme potom vlhčit,



Obrázek 11 : Závislost bilance vlhkosti a bilance tepla [9].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 ROZBOR KONKRÉTNÍHO ZADÁNÍ

Z projektové dokumentace [18] vyplývá, že se jedná o novou budovu postavenou v areálu ZOO Zlín – Lešná, v místě bývalého pavilonu šelem. Charakter budovy je definován jako „skleník“. Objekt bude napojen na stávající inženýrské sítě ZOO. K vytápění bude použita volná kapacita plynové kotelny ve stávajícím objektu stájí. Pro zajištění nouzového provozu bude mít objekt vlastní náhradní zdroj elektrické energie. Plášť objektu je tvořen hliníkovou konstrukcí kotvenou na nosnou ocelovou konstrukci. Pro celoplošné zasklení je použit hliníkový fasádní systém SCHÜCO FW 60+ HI s přerušeným tepelným mostem. Zasklení je provedeno izolačním bezpečnostním dvojsklem s maximálním požadovaným součinitelem prostupu tepla  $U = 1,7 \text{ [W/(m}^2\text{.K)]}$ . Fotografie skutečného objektu krátce po dokončení můžeme vidět na obrázku č. 12.

Účelem navrhovaného řídicího systému je zajištění automatizovaného provozu s občasným dohledem obsluhy, s možností dálkového přístupu pro kontrolu nebo změnu parametrů.

### 4.1 Základní projekční parametry budovy

#### 4.1.1 Stavební :

Zastavěná plocha .....	1 051 m <sup>2</sup>
Obestavěný prostor .....	9 800 m <sup>3</sup>
Maximální výška .....	13,5 m

#### 4.1.2 Energetické :

Potřeba tepla pro  $t_e = -12 \text{ °C}$  a  $t_i = 23 \text{ °C}$  :

Vytápění trubková tělesa .....	70 kW
VZT zařízení – vytápění .....	95 kW
VZT zařízení – výměna vzduchu .....	45 kW
Ohřev vody pro jezírka .....	40 kW
Vypočtená roční spotřeba tepla .....	559 MWh / rok

Tepelné zisky z oslunění v topném období .....	80 kW
Roční spotřeba tepla po odečtení zisků .....	479 MWh
Celková potřeba pitné vody roční .....	8839 m <sup>3</sup>
Odpar vody v jezírkách .....	175 m <sup>3</sup>
Zálivka rostlin .....	1 100 m <sup>3</sup>
Vlhčení prostoru .....	480 m <sup>3</sup>
Elektrická energie – instalovaný výkon :	
Vzduchotechnika .....	30 kW
Osvětlení .....	7 kW
Elektrický ohřev .....	15 kW
Ostatní elektroinstalace .....	22 kW

## 4.2 Požadavek na nízkou energetickou náročnost

### 4.2.1 Konstrukční požadavky

Již z přehledu základních parametrů můžeme vidět, že konstrukce celé budovy je v podmínkách ČR ojedinělá.

Vlastní konstrukce celého objektu byla navržena s důrazem na architektonickou čistotu, otázka energetické náročnosti se řešila jako druhá. Hlavní ocelová konstrukce s pomocnou hliníkovou s celoskleněným pláštěm není na první pohled z pohledu energetické náročnosti vhodná, další opatření však vedla k eliminaci této prvotní nevýhody.

Požadavkem projektanta bylo dosažení maximální hodnoty součinitele prostupu tepla pro celou zasklenou konstrukci  $U = 1,7$  [W/(m<sup>2</sup>K)] .





Obrázek 12 : Fotografie konstrukce budovy Tropickeho pavilonu YUCATAN.

#### 4.2.2 Provozní požadavky

Jedním z hlavních cílů integrovaného systému řízení budovy je zajištění ekonomicky nejvýhodnějšího režimu provozu a to v automatickém režimu bez zásahu obsluhy, pouze s občasným dohledem. Řídicí systém musí automaticky volit z naprogramovaných algoritmů ty, které nejlépe vyhovují energetickým prioritám.

Hlavními cestami k úsporám správným jsou :

- přesné dodržování maximální prostorové teploty – každé přetápění vede ke zvýšení spotřeby
- dodržování časových programů – topit na vyšší teplotu pouze v době kdy je požadavek
- maximální využití energie slunce – ve slunečných dnech je podle rostoucí intenzity venkovního osvětlení korigována náběhová teplota topné vody
- maximální využití povolených limitů cirkulace vzduchu v zimě

- minimalizace provozu vzduchotechnických jednotek – provoz VZT zařízení je sám o sobě náročný na spotřebu elektrické energie, v zimě i při maximální cirkulaci vzduchu uvnitř budovy vede ke zvýšení odpařování a tím

Vzhledem k očekávané energetické náročnosti budovy byla volba kvalitního a moderního řídicího systému investicí do budoucna, která umožní provozovateli provozní náklady držet na co nejnižší úrovni.

### 4.3 Požadavek stabilní teploty a vlhkosti

Vzhledem ke skutečnosti, že pro tropickou halu Yucatan bylo dovezeno 3 000 rostlin až dalekého z Yucatanu (v ceně okolo 3 mil. Kč), který je z větší části pokryt tropickým deštivým pralesem a byla zde umístěna ze stejné lokality i fauna, byly požadavky na simulaci tropických podmínek velmi striktní. Každý výpadek řídicího systému ať v zimě nebo v létě delší než několik málo hodin by znamenal nenahraditelné škody jak na flóře, tak na fauně uvnitř objektu.

### 4.4 Srovnání projektovaných parametrů se skutečností.

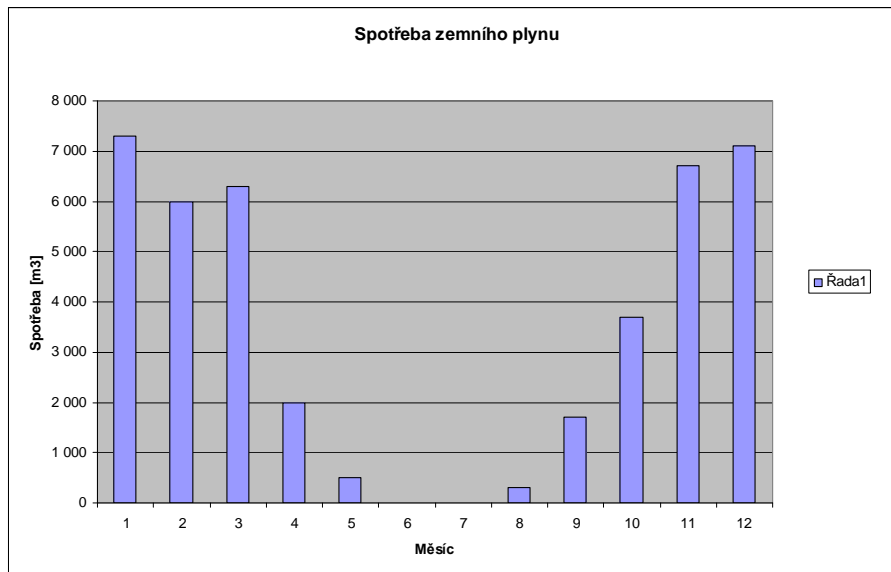
Po jednom a půl roce provozu můžeme porovnat, jak se projektantům podařilo odhadnout nebo spočítat spotřeby energií. Vzhledem k tomu, že nebyly instalovány měřiče jednotlivých energií na jednotlivých technologiích, máme k dispozici pouze údaje za celý objekt, které jsou však také zajímavé. Budeme používat zjištěné údaje za rok 2007. Musíme na obranu projektantů říci, že veškeré výpočty spotřeb energií pro takto neobvyklý objekt jsou opravdu složité a vyžadují velkou dávku zkušeností.

#### 4.4.1 Spotřeba tepla

Vypočítaná roční spotřeba tepla : 479 MWh.

Pokud vyjdeme z údaje na stránkách společnosti RWE, kde je uváděna pro spalné teplo zemního plynu ve výši 10,5 kWh/m<sup>3</sup>, vyjde nám skutečná spotřeba plynu pro vytápění objektu byla za rok 438 MWh. Vzhledem ke skutečnosti, že obě předcházející zimy byly teplotně podprůměrné, můžeme konstatovat, výpočty projektanta byly velmi přesné. Sku-

tečná hodnota dosáhla 91 % vypočítané. Roční průběh spotřeby zemního plynu můžeme vidět na grafu na obrázku č. 13.



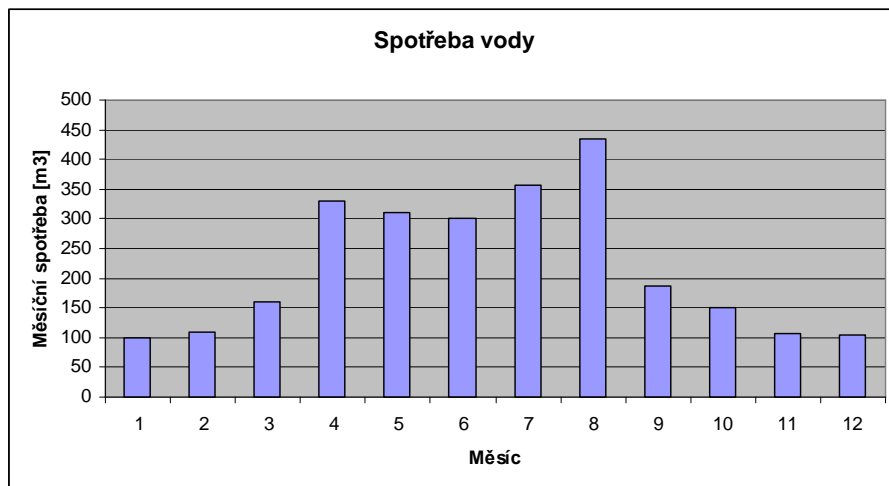
Obrázek 13 : Graf roční spotřeby zemního plynu za rok 2007.

#### 4.4.2 Spotřeba vody

Vypočítaná roční spotřeba vody :

8 839 m<sup>3</sup>

Skutečný údaj spotřeby pitné vody za rok 2007 byl podle údajů odečtených z vodoměru 2 650 m<sup>3</sup>. Z grafu na obrázku č. 14 zobrazujícího průběh měsíčních spotřeb pitné vody můžeme vidět, že největší spotřeba pitné vody byla v letních měsících. V tomto období je větší odpar vody v jezírkách a také větší spotřeba vody pro mlžení používané k adiabatickému chlazení. Skutečná hodnota dosahuje necelých 30 % vypočítané spotřeby.



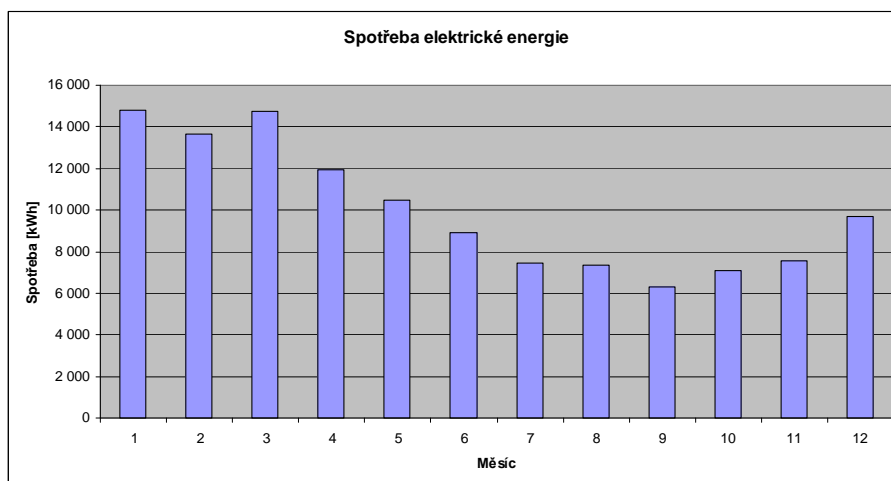
Obrázek 14 : Graf roční spotřeby pitné vody za rok 2007.

#### 4.4.3 Spotřeba elektrické energie

Vypočítaná roční spotřeba elektrické energie : 250 MWh

Skutečně spotřebovaná roční elektrická energie činila 120 MWh, tj. 48 % vypočítané.

Je těžko říci, zda skutečně nižší spotřeba elektrické energie proti vypočtené je dána chybou ve výpočtu nebo kvalitním řídicím systémem. Pravda bude jako vždy asi někde uprostřed. Průběh roční spotřeby můžeme vidět na grafu na obrázku č. 15.



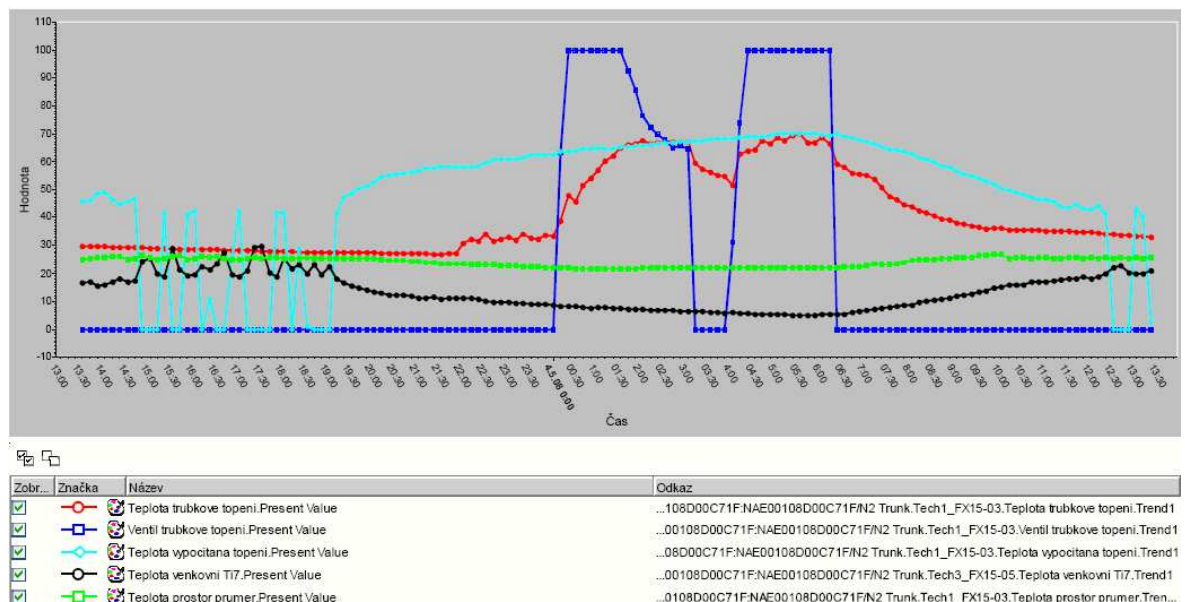
Obrázek 15 : Graf roční spotřeby elektrické energie za rok 2007.

## 5 ANALÝZA PŘEDMĚTNÝCH TECHNOLOGIÍ - POŽADAVKY NA ŘÍZENÍ

Níže zobrazené grafy jsou získány s využitím vzdáleného připojení do síťové řídicí jednotky NAE pomocí internetu a zobrazují historické trendy skutečně naměřených hodnot ve vzájemných souvislostech. Z průběhu grafů si můžeme vytvořit představu o reálném chování objektu a jeho konkrétních technologií resp. konkrétních veličin při různých okolních podmínkách. Nejedná se o simulace. Na spodní ose grafu můžeme vidět konkrétní časový údaj, kdy byla zobrazená hodnota získána. Údaje jsou pro přehlednost exportovány vždy za dobu T – 24 hodin.

### 5.1 Vytápění

Vytápění objektu je zajištěno napojením budovy pomocí předizolovaného potrubí na vedlejší objekt stájí s plynovou kotelnou se dvěma dvoustupňovými plynovými kotli. Výpočtový tepelný spád je 90/70 °C. Z kotelny do našeho objektu je přiváděna neregulovaná teplá voda pomocí samostatného čerpadla. Předregulace teploty výstupní vody z kotlů je prováděna spínáním příslušného počtu jednotlivých stupňů kotlů tak, aby výstupní teplota byla vždy asi o 10 °C vyšší než nejvyšší požadovaná teplota jednotlivých spotřebičů.

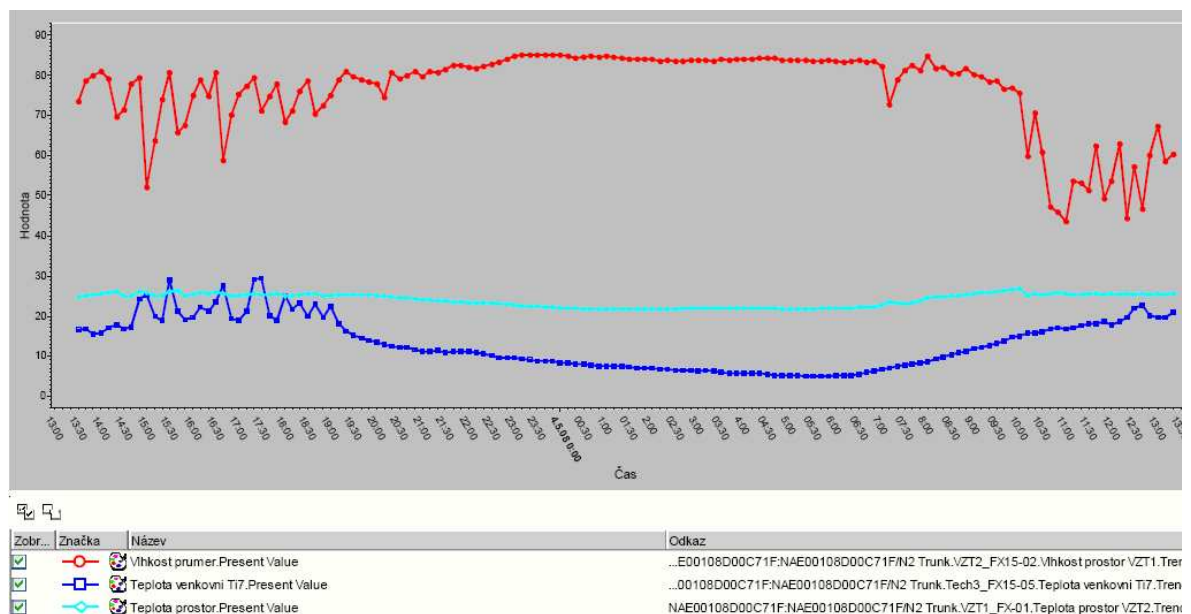


Obrázek 16 : Průběh teplot v regulačním obvodu vytápění.

Jak můžeme vidět z grafu na obrázku č. 16 průměrnou teplotu uvnitř haly se daří udržovat v rozmezí 22 °C – 23 °C i přes velké výkyvy venkovní teploty v rozmezí 5 °C – 30 °C. Teplota v prostoru má poměrně velkou setrvačnost, což můžeme vidět na grafu, kdy venkovní teplota od 19 hodin klesá poměrně prudce dolů, průměrná teplota v hale však i při vypnutém topení klesá velmi pomalu. Je to dané velkým objemem vody v jezírkách, stavební mohutností podlahové a základové části.

## 5.2 Větrání

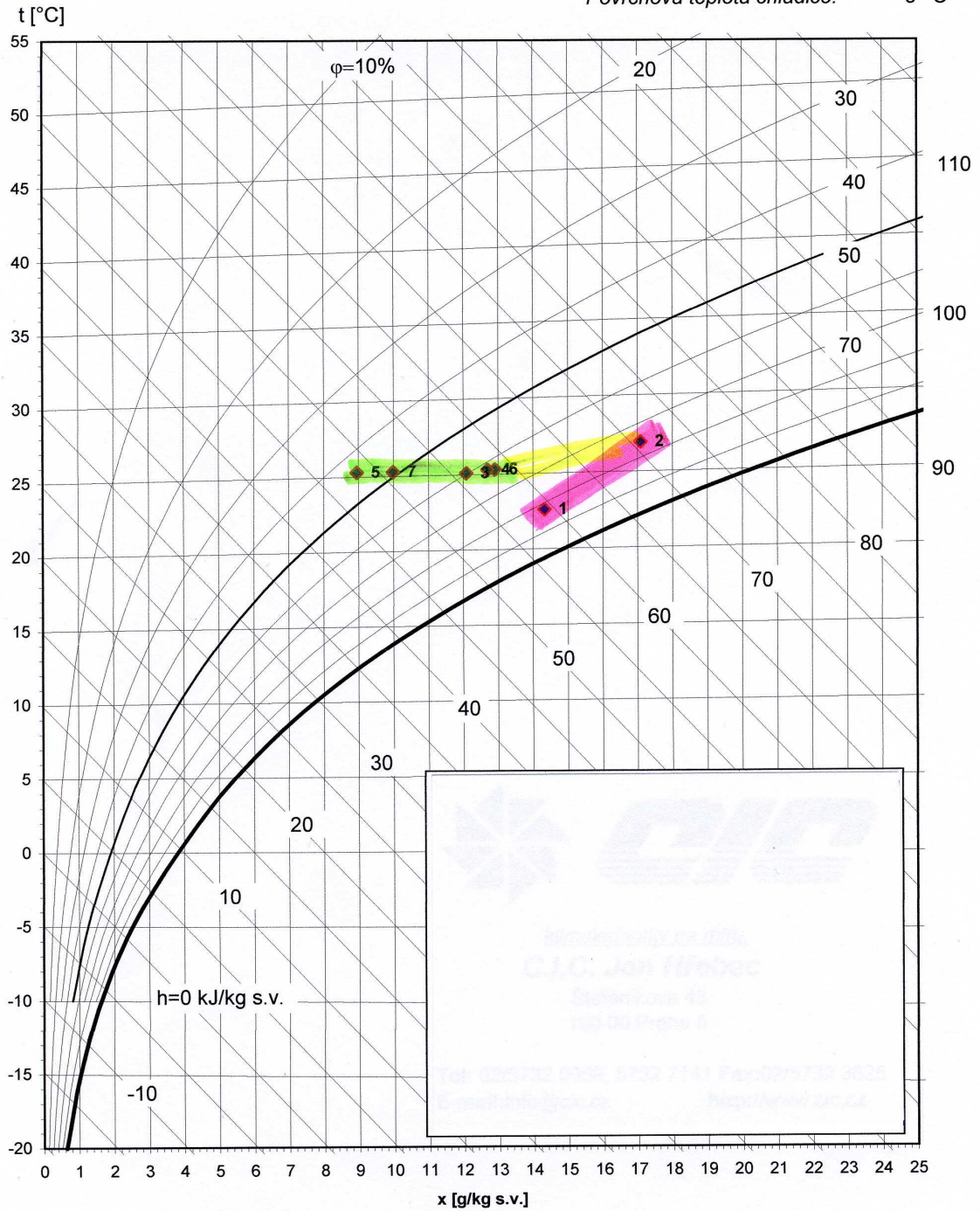
Na konkrétním h-x diagramu zpracovaném na obrázku č. 17 je vidět pracovní pásmo v naší konkrétní aplikaci získané zadáním konkrétních hodnot prostředí do tabulkového procesoru Excel.



Obrázek 17 : Průběh vlhkosti, teploty vnitřního vzduchu, teploty venkovní.

Psychrometrický diagram dle Molliera

Tlak vzduchu: 100 kPa  
 Max. vlhkost při úpravách: 100 %  
 Povrchová teplota chladiče: 5 °C



Obrázek 18 : H-x diagram s vyznačením konkrétních hodnot.

Bod 1 :  $T = 22,6$       R.V.V. = 82,1       $\tau = 07:00$

Bod 2 :  $T = 26,9$       R.V.V. = 75,4       $\tau = 08:00$

Bod 3 :  $T = 25,1$       R.V.V. = 60,0       $\tau = 10:00$

T                    [°C]                    teplota

R.V.V.              [%]                    relativní vlhkost vzduchu

$\tau$                     [hod]                    čas

Z grafu průběhu skutečných hodnot ze dne 4.5.2008 na obrázku č. 20 vidíme, že v 8:00 hodin dal řídicí systém pokyn k otevření oken skupiny 1 z důvodu rostoucí teploty a relativní vlhkost začala mírně klesat. V 10:00 se otevřely okna ve skupině 2, tím vznikl okamžitý komínový efekt a vidíme okamžitou reakci relativní vlhkosti – prudký pokles na 60%. V následujícím textu jsou popsány děje barevně zvýrazněné na h-x diagramu na obrázku č. 17.

**Červeně vyznačená změna z bodu 1 do bodu 2 :**

- Prudce roste teplota
- Mírně roste relativní vlhkost
- Prudce roste entalpie vzduchu

**Žlutě vyznačená změna z bodu 2 do bodu 3 :**

- Mírný pokles teploty
- Mírný pokles relativní vlhkosti
- Prudký pokles entalpie vzduchu

**Zelené pásmo změn :**

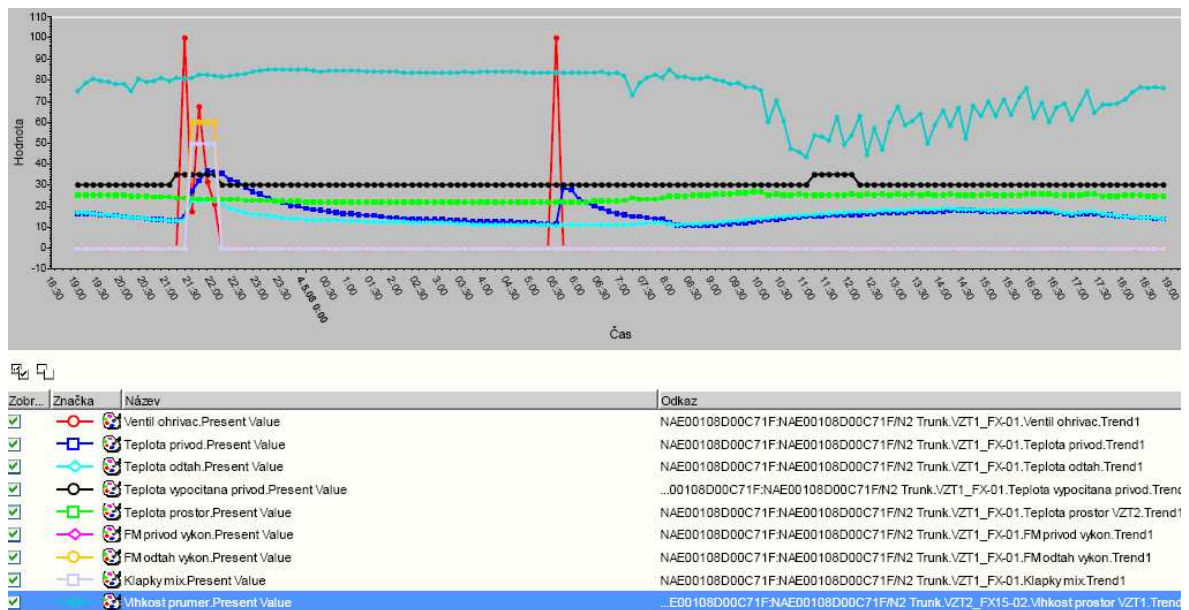
- Téměř konstantní teplota
- V závislosti na otevírání oken a umělém vlhčení pravidelně kolísá relativní vlhkost a entalpie vzduchu



Obrázek č. 18 zobrazuje velmi stabilní hodnoty průměrné teploty vnitřního vzduchu, průběh venkovní teploty a průběh průměrné relativní vlhkosti. Skoky průměrné relativní vlhkosti jsou způsobeny otevíráním a zavíráním oken a vlhčením. Největší problém způsobuje vlhčení vodní mlhou, které není technologicky uzpůsobeno k plynulému vlhčení a je možno pouze zapínat nebo vypínat dvě vlhčicí jednotky.

### 5.2.1 Vzduchotechnika

Ve sledovaný den můžeme vidět podle záznamu trendových dat na obrázku č. 19 že vzduchotechnika byla spuštěna jen na 1 hodinu ve večerních hodinách, byly otevřeny směšovací klapky a bylo provedeno krátkodobé intenzivní provětrání budovy čerstvým vzduchem. Cílem regulačních algoritmů je používat vzduchotechnické jednotky co nejméně a to jednak z důvodu vlastní vysoké energetické náročnosti a také z důvodu tepelných ztrát větráním. Proto nejčastější druh provozu je při 100% cirkulaci k rychlému zvýšení teploty prostoru.

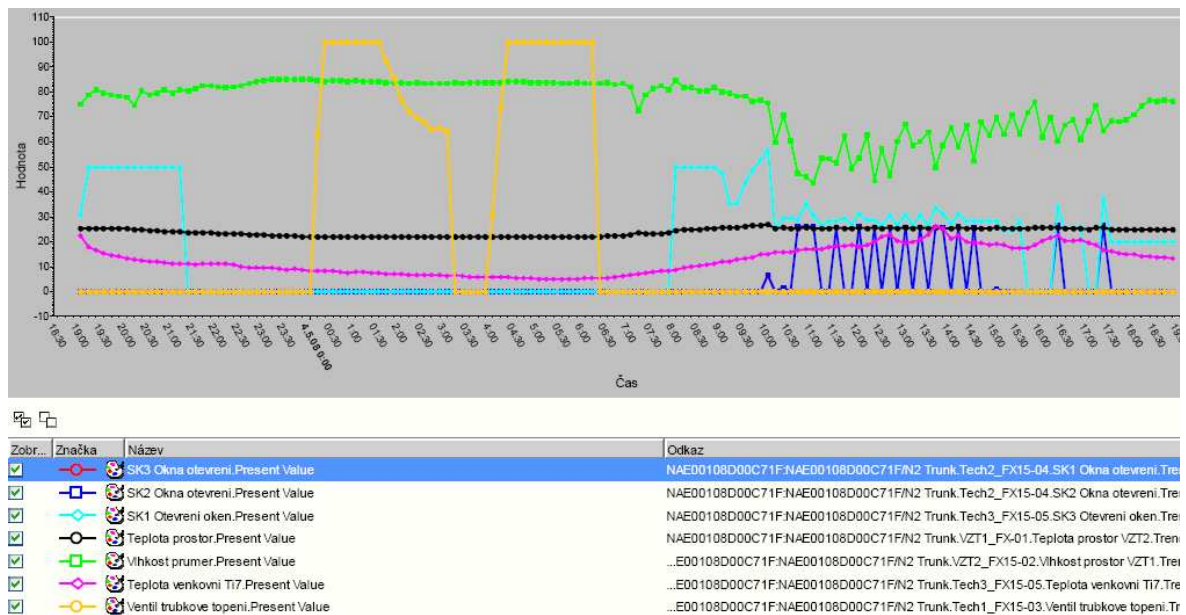


Obrázek 19 : Záznam údajů ze systému o chodu vzduchotechniky ze dne 4.5.2008.

### 5.2.2 Otvírání oken

Na obrázku č. 20 můžeme vidět závislosti vlhkosti a teploty v prostoru na otevírání jednotlivých sekcí oken pláště budovy. Vidíme, že skupina oken SK3 je v tomto ročním období trvale zavřená, skupina SK1 začíná otevírat od 8.00 hodin, kdy vychází slunce a tepelné

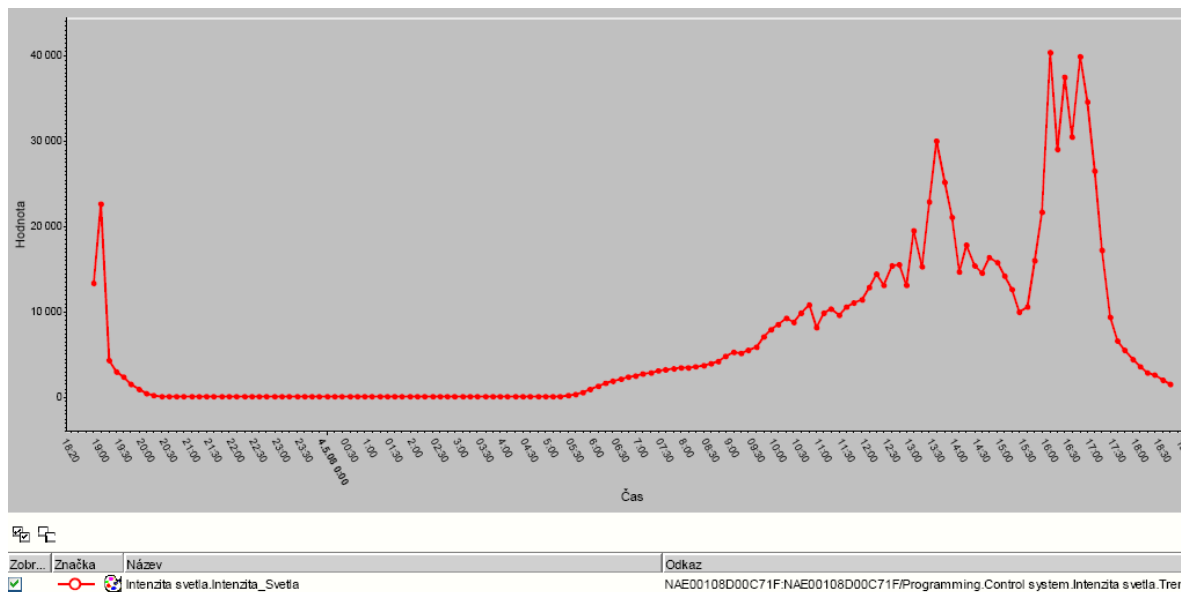
zisky budovy ze slunečního záření jsou vyšší než potřeba tepla. Otevření sekce SK1 v časovém intervalu 19:00 – 21:30 slouží k večernímu provětrání a snížení teploty, které má simulovat ochlazení vzduchu při západu slunce ve volné přírodě. V časovém intervalu od 10:00 hodin můžeme vidět prudký pokles relativní vlhkosti vyvolaný otevřením oken při téměř konstantní průměrné teplotě v prostoru.



Obrázek 20 : Průběhy teploty a vlhkosti pro otevírání oken.

### 5.3 Osvětlení

Na obrázku č.21 můžeme vidět 24 hodinový průběh intenzity venkovního osvětlení dne 4.5.2008. Skokové změny od 10:30 hodin zachycují vývoj oblačnosti, kdy mraky zakrývající slunce mají velký vliv na intenzitu. V zimní období je prodlužováno denní období umělým osvětlením, spínaným při poklesu intenzity venkovního osvětlení pod nastavenou úroveň.



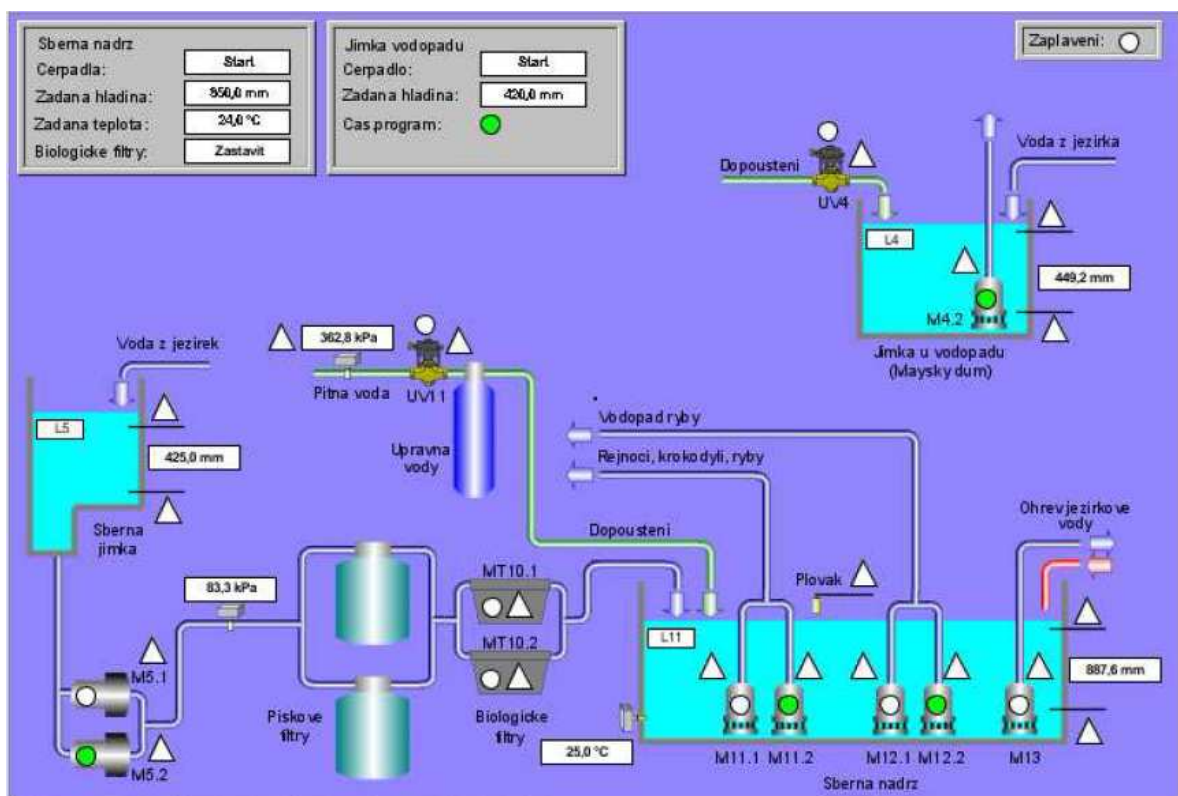
Obrázek 21 : Průběh intenzity venkovního osvětlení.

## 5.4 Řízení hladin

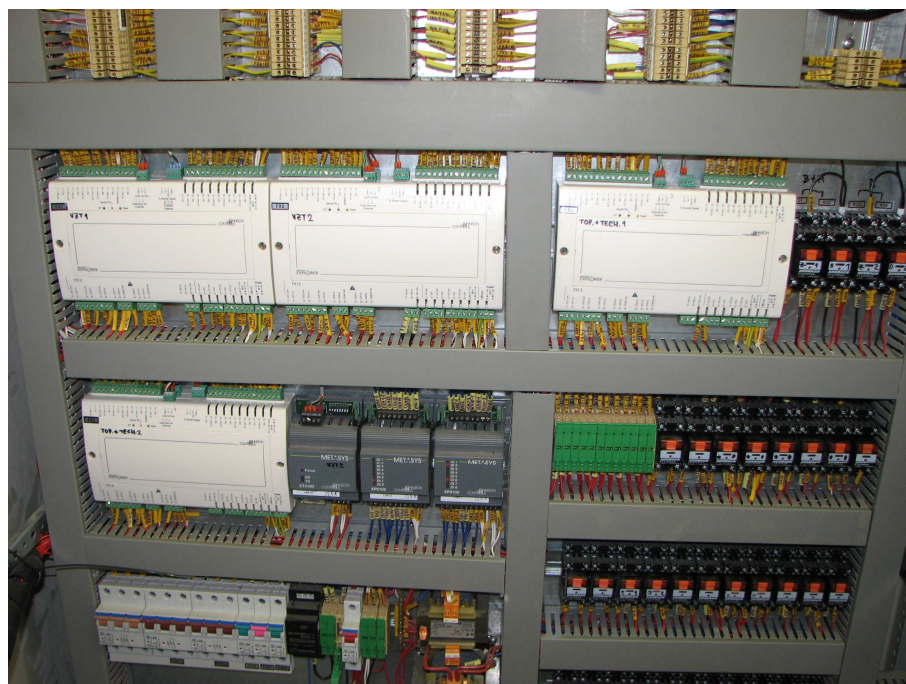
Na obrázku č. 22 můžeme vidět ukázkou grafického zobrazení technologického schéma řízení hladin vody v jezírkách zobrazeného na obrazovce počítače. Zde si může obsluha nastavovat výšky jednotlivých hladin a také sledovat tlak na vstupní straně pískových filtrů, jehož zvýšení nám signalizuje zanesení filtrů a nutnost spuštění zpětného proplachu.

Výška hladin je snímána kontinuálně kapacitními snímači s výstupem 4-20 mA. Řídicí systém zajišťuje minimalizaci spotřeby vody, tak aby všechny hladiny byly v požadované výši a nebylo nutné dopouštět vodu zbytečně odtečenou do přeplavu.

Dohřev vody v jezírkách je sice instalovaný, teplota vody v jezírkách se však trvale pohybuje kolem 25 °C, tudíž dohřev není nutný. Dohřívá se pouze voda doplněná do systému při zpětném praní filtrů.



Obrázek 22 : Grafická obrazovka – schéma řízení hladin



Obrázek 23 : Fotografie vnitřní výzbroje rozvaděče.

## 6 SESTAVENÍ TECHNOLOGICKÉHO SCHEMATU A JEHO POPIS

Technologické schéma už podle svého názvu poskytuje schématický náhled funkce jednotlivých zařízení. Prvotní návrh by měl zpracovat projektant daného technologického celku, projektant systému řízení jej doplní resp. upraví tak, aby poskytlo požadované údaje pro zpracování uživatelského software a v neposlední řadě slouží uživateli pro přehled o funkčnosti celého zařízení. V lépe zpracovaných technologických schématech můžeme vidět i přiřazení jednotlivých napojených prvků ke vstupům a výstupům řídicího systému. Každý prvek na schématu je číslován pro zvýšení přehlednosti shodně s číslováním v zapojovacích schématech rozvaděčů i s číslováním prvků na půdorysu. V ideálním případě jsou prvky shodně očíslovány ve všech profesích. V následujících odstavcích jsou stručně popsána technologická schémata jednotlivých celků, vytvořená v programu AutoCAD.

### 6.1 Technologické schéma řídicího systému

Na tomto schématu (Příloha č. 1) můžeme vidět v přehledné formě skladbu hlavních prvků řídicího systému a jeho vzájemných vazeb. Řídicí systém instalovaný v novém rozvaděči DT11 je komunikační sběrnici propojen s řídicím systémem plynové kotelny ve vedlejším objektu, do toho je napojeno také hlášení chodu a poruchy z náhradního zdroje. Pomocí sběrnice RS485 je připojen řídicí systém z rozvaděče DT11 do síťové řídicí jednotky NAE. Z té je výstup do routeru, který již zprostředkovává připojení z intranetu i internetu. Do routeru je také napojeno lokální PC pro místní obsluhu..

### 6.2 Technologické schéma řízení vzduchotechniky

Technologické schéma vzduchotechniky (Příloha č. 2) je shodné pro obě vzduchotechnické jednotky, protože tyto pracují trvale v paralelním režimu. Každá jednotka se skládá z přívodního a odtahového ventilátoru spojitě řízeného pomocí frekvenčního měniče, z ohřívače včetně topného uzlu s trojcestným regulačním ventilem, filtrů, uzavíracích klappek s havarijní funkcí a ze směšovací klapky řídicí poměr mezi čerstvým a cirkulujícím vzduchem. Samostatnou částí VZT zařízení je i zvlhčování. Také zde můžeme vidět systematické popisy jednotlivých prvků s jejich napojením na vstupy a výstupy řídicího systému.

### 6.3 Technologické schéma strojovny vytápění

V příloze č. 3 vidíme schematické znázornění zapojení strojovny vytápění umístěné v suterénu budovy. Přívodní potrubí topné vody z plynové kotelny je přivedeno do vyrovnávače hydraulických tlaků, tzv. anuloidu, odtud potom do sdruženého rozdělovače – sběrače, ze kterého jsou napojeny všechny spotřebiče budovy. Trubkové vytápění je osazeno směšovacím ventilem, vývod pro vzduchotechniku a ohřev jezírek je osazen pouze cirkulačním čerpadlem, vlastní regulace výkonu se provádí až u spotřebiče. Ze schématu jsou patrné také zabezpečovací prvky plynové strojovny.

### 6.4 Technologické schéma ovládání oken

Toto technologické schéma (Příloha č. 4) popisuje princip ovládání jednotlivých oken, jejich přiřazení do tří ovládacích sekcí a dispoziční umístění v jednotlivých sekcích. Na obrázku můžeme vidět půdorys a dva boční pohledy se znázorněným přiřazením otevíracích oken do jednotlivých skupin.



Obrázek 24 : Fotografie automaticky otevíracích bočních oken.

## 7 NÁVRH SYSTÉMU ŘÍZENÍ

V této části nebudu detailně popisovat technické parametry a funkční detaily jednotlivých prvků, spíše se zaměřím funkci řídicího systému a jeho aplikaci jako celku.

Hlavním stavebním kamenem systému řízení budou volně programovatelné DDC regulátory v kompaktním provedení s upevněním na din lištu v rozvaděči.

Ovládání bude mít tři úrovně přístupu : lokální ovládání v místě strojovny bude pomocí LCD displeje, centrální ovládání prostřednictvím grafického rozhraní pomocí počítače v technické místnosti objektu, vzdálené ovládání pomocí řídicí jednotky s webovým serverem, umožňujícím přístup přes internet pomocí internetového prohlížeče internet explorer.

Kompaktní regulátory musí být samozřejmě vybaveny komunikačním rozhraním pro komunikaci s nadřazeným řídicím prvkem.

Periferie řídicího systému budou propojeny s DDC regulátory pomocí unifikovaných signálů (většinou 0 – 10 V). Tento způsob je ve srovnání s nově nastupujícími sběrníkovými systémy (LonWorks<sup>®</sup>, EIB, KNX, TCP/IP) levný, vyzkoušený, umožňuje snadnou instalaci, údržbu, diagnostiku závad.

Síťová řídicí jednotka komunikuje s připojenými DDC regulátory pomocí sběrnice N2-OPEN. Slouží také jako zdroj dat pro komunikační rozhraní pro obsluhu. Umožňuje tvorbu a provádění časových programů a řídicích algoritmů, zajišťuje výměnu a sdílení informací mezi jednotlivými podřízenými DDC regulátory.

Řídicí systém zajišťuje funkční vazby následujících technologických celků :

### 7.1 Vytápění

Plynová kotelna ve vedlejší budově – spouštění a řízení výkonu plynových kotlů v závislosti na požadavcích objektu, výstupní teplota z kotelny je regulována na povýšenou ekvitemní křivku (vyšší teplota umožňuje kvalitní regulaci na trojcestných směšovacích ventilech jednotlivých odběrů), rozhodující je vždy požadavek na vyšší teplotu – v době chodu vzduchotechniky je to požadavek na vstupní teplotu do ohřívačů vzduchu. Ve vlastním objektu je umístěna strojovna ÚT s rozdělovačem a sběračem (viz. obrázek č. 25), kde řídicí systém zajišťuje řízení regulačních ventilů, ovládání čerpadel, měření jednotlivých

teplot v prostoru (6 lokálních měření dislokovaných půdorysně i výškově) a výpočet průměrných hodnot pro potřeby regulace, doplňování vody, kontrolu poruchových a havarijních stavů.

Požadovaná teplota v prostoru (stejná i pro regulaci VZT) je řízena časovým programem. Jsou dvě teploty žádané - pro den a noc. Podle venkovní teploty se vypočítává teplota pro topnou vodu (ekvitermní křivka). Ekvitermní křivka je korigována výstupem z P-regulátoru, jehož výstup je závislý na teplotě žádané pro prostor a skutečné teplotě v prostoru (průměr z pěti teploměrů). Součtem výstupu z ekvitermní křivky a P-regulátoru je dána teplota vypočítaná pro topnou vodu podle níž se řídí otevření ventilu ÚT.

Trubkové topení má velkou setrvačnost (cca 5 hod podle venkovní teploty), proto při překročení žádané teploty v prostoru se vypíná, při poklesu opět zapíná.



Obrázek 25 : Fotografie sruženého rozdělovače – sběrače ÚT.

## 7.2 Vzduchotechnika

Budova je osazena dvěma stejnými vzduchotechnickými jednotkami v sestavě, kterou můžeme vidět na technologickém schématu v příloze. Přívodní a odtahové ventilátory jsou řízeny frekvenčními měniči, které umožňují plynulé nastavení několika provozních režimů. Tepelný výkon vzduchotechnického ohřívače je regulován v závislosti na teplotě výstupní-



ho vzduchu pomocí směšovacího regulačního ventilu na přívodu topné vody. Ohřívač je vybaven protimrazovou ochranou na straně vody i vzduchu a má vlastní oběhové čerpadlo. V zimním období s venkovní teplotou pod bodem mrazu při odstaveném zařízení bude pevně nastavena poloha směšovacího ventilu na 15% otevření, oběhové čerpadlo zapnuto pro temperaci výměníku. V případě aktivace mrazové ochrany s aktivní kapilárou na straně vzduchu nebo poklesu teploty vratné vody pod  $+ 10^{\circ}\text{C}$  se směšovací ventil otevírá na 100% a je hlášena obsluze porucha zařízení.

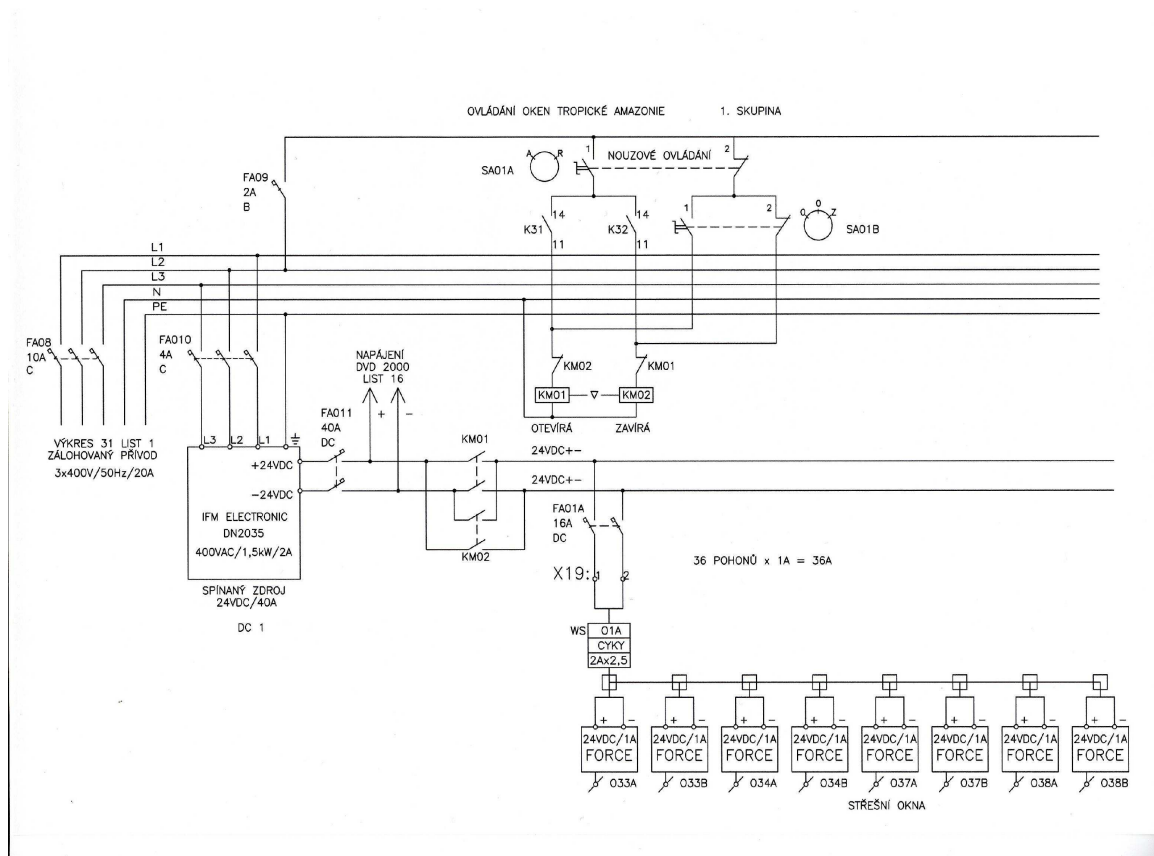
Směšovací poměr cirkulačního vzduchu je řízen dle nastavené teploty směšování s omezením koncových poloh směšovacích klapek na 15 % přívodu čerstvého vzduchu.

### 7.3 Otvírání oken

Okna jsou rozdělena do tří sekcí. Na střeše objektu je osazen detektor větru a deště, který blokuje otevření oken v případě překročení stanovené rychlosti větru (z důvodu velké plochy oken a z toho plynoucího nebezpečí poškození) a v případě deště. Sekce jsou voleny tak, aby bylo možno zajistit několik různých režimů větrání.

Otvírání oken je plynulé v rozmezí 0% až 100% (PAT výstup). Poloha otevření je dána křivkou (dva body, závislost teplota v prostoru a otevření) pro každou skupinu (celkem tři křivky). V regulátoru je definována min. délka pulzu (např. 2 sek.), aby nechodily pulzy do servopohonu při malých změnách (např. 0.5%). Musí být změřena nebo odečtena doba z jedné krajní polohy do druhé. Tento čas se zadá do regulátoru a ten už pak sám přepočítá čas na polohu. Otevření oken je blokováno také venkovní teplotou, při nízkých se některé skupiny neotevírají.

Ruční ovládání je možné na monitoru dispečinku nebo z nouzového ovládacího panelu. Jednou za týden je u všech oken provedeno vymezení krajní polohy zavřeno. Napájení servopohonů otvíravých oken je ze zálohovaného zdroje napětí. Schéma zapojení ovládání můžeme vidět na obrázku č. 23, skutečné provedení na fotografii na obrázku č. 24.



Obrázek 26 : Schéma zapojení ovládní střešních oken – 2. skupina

## 7.4 Osvětlení

Přesto, že je budova v podstatě celá prosklená, je instalováno umělé osvětlení prostoru a jezírek výbojkovými světly. Osvětlení slouží k simulaci světelných podmínek v tropickém pásmu pomocí odpovídajícího časového programu a intenzity osvětlení. V zimě je venkovní intenzita osvětlení v našem zeměpisném pásmu často velmi nízká a potřebné světlo pro růst tropických rostlin je proto doplňováno uměle. Automatické ovládní osvětlení bylo na objektu realizováno až dodatečně, protože bylo zjištěno, že lidský faktor při ručním ovládní je velmi nespolehlivý.

## 7.5 Zvlhčování

V prostoru haly jsou osazené dva vysokotlaké zvlhčovací systémy s rozprašovacími tryskami – spínání vysokotlakých čerpadel sloužících k vytvoření vodní mlhy, slouží ke zvyšování vlhkosti a zároveň adiabatickým dějem pomáhá v létě snižovat teplotu.

V systému je zadána požadovaná relativní vlhkost, pokud je skutečná relativní vlhkost (vypočítaná průměrná hodnota ze signálů 5-ti snímačů vlhkosti) menší než žádaná, je spuštěno mlžení. Mlžení je řízeno časově, v noci se nemlží. Pokud jsou okna zavřena mlžení se nespouští, protože v prostoru je nadbytek vlhkosti. Je to dáno hlavně ranní zálivkou rostlin. Otevřením oken v prostoru prudce klesá relativní vlhkost až na 50% . V létě se mlží téměř neustále, v zimě vůbec. Absolutní vlhkost je jen pro informaci. Umístění vlhčící trysky v prostoru můžeme vidět na obrázku č. 38.

## 7.6 Spotřeba energie

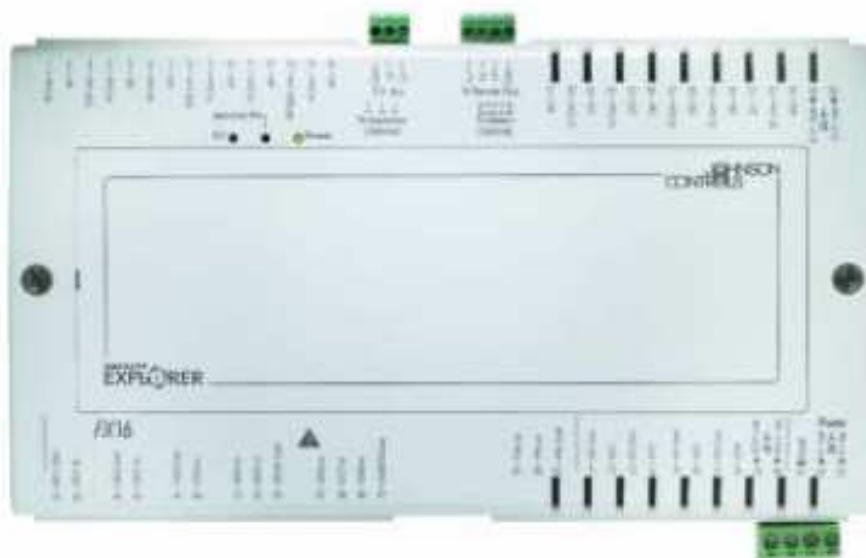
Dodatečně bylo instalováno zařízení pro odečet spotřeby elektrické energie. Fakturační elektroměr je osazen optoddělovačem z důvodu galvanického oddělení (hlavně však je to požadavek dodavatele elektrické energie). Přes optoddělovač je spínán beznapětový kontakt na binárním čítačovém vstupu DDC regulátoru. Zaznamenané údaje se ukládají v paměti řídicího systému a v pravidelném intervalu jsou spolu s dalšími daty ukládány pomocí exportní utility MS-EXPORT na pevný disk počítače pro potřeby vyhodnocování. Získané hodnoty se nepoužívají k řízení.

## 8 APLIKACE KONKRÉTNÍHO ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

Základem pro výběr součástí řídicího systému byla komponentová základna Johnson Controls. Hlavním důvodem této volby byla jednak ucelená škála všech potřebných prvků od periférií přes regulátory až po webové servery a grafická rozhraní a dále dobrá dostupnost technické podpory přímo ve Zlíně – projekční, softwarové a servisní.

### 8.1 Regulátory

Pro řízení všech technologií byly navrženy kompaktní DDC regulátory Johnson Controls řady FX, osazené komunikační kartou s protokolem N2-OPEN. Rozšíření kapacity v hlavním rozvaděči je realizováno kombinací hlavního master regulátoru FX16 a k němu přiřazených regulátorů FX15.



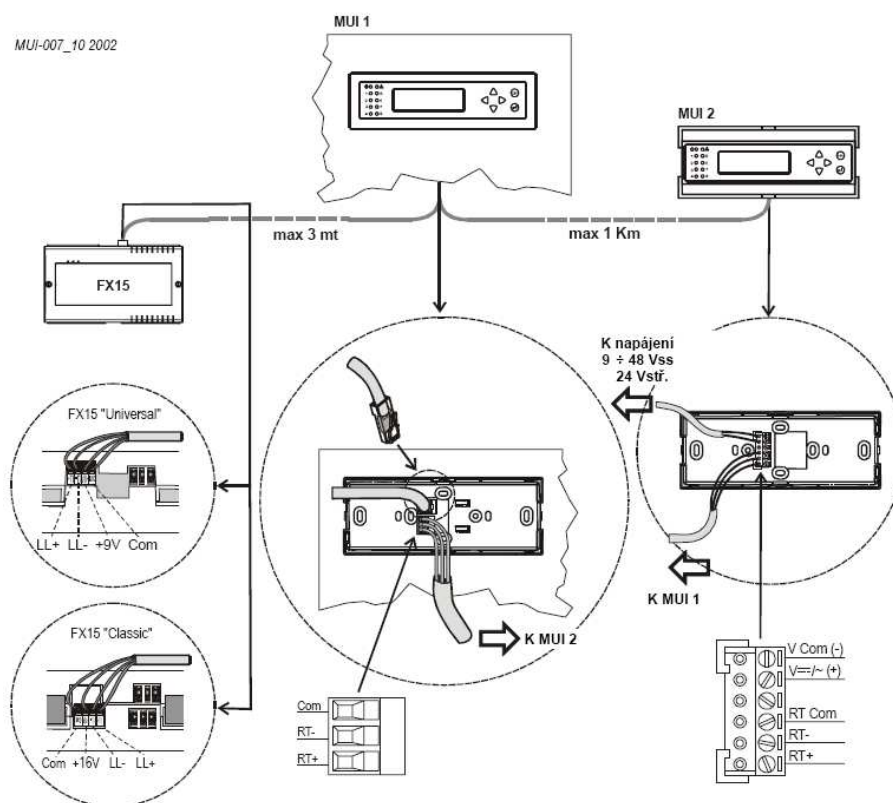
Obrázek 27 : Obrázek regulátoru FX16 – Master. [14]

Jako uživatelské rozhraní je k regulátoru FX16 (viz. obrázek č. 27) připojen LCD displej pro místní ovládání, ze kterého je možno obsluhovat i ostatní regulátory připojené do FX16. Obrázek LCD displeje MUI (Medium User Interface) v provedení k zabudování do dveří rozvaděče můžeme vidět na obrázku č. 28 . Informace jsou zobrazovány v textovém formátu na podsvíceném LCD displeji 4x20. Displej je plně konfigurovatelný pomocí utility FX-TOOLS. Některé funkce mohou být chráněny hesly se třemi úrovněmi oprávnění.



Obrázek 28: Obrázek displeje MUI. [14]

Konkrétní schéma zapojení a maximální délky připojovacích vodičů můžeme vidět na obrázku č. 29.



Obrázek 29 : Schéma možných zapojení uživatelského rozhraní MUI. [14]

## 8.2 Periferie

Všechny periferní prvky jsou napojeny do řídicího systému pomocí unifikovaných signálů 0 – 10V. Tento signál je sice obecně náchylnější k rušení, v tomto typu budovy však žádná rušení nebyla předpokládána. Kromě snad frekvenčních měničů které však byly osazeny odrušovacími filtry RFI. Připojení všech periferií bylo provedeno stíněným vodičem JYTY4x1,0.

Zajímavým problémem bylo umístění prostorových snímačů vlhkosti a teploty (z důvodu úspory kabeláže byly použity kombinované snímače vlhkosti a teploty) . Bylo vyzkoušeno několik dispozičních řešení rozmístění, než bylo nalezeno to neoptimálnější. Důvodem byly velké rozdíly v naměřených hodnotách – na mnoha místech byly naměřené hodnoty silně zkresleny přímým slunečním osvitem, přímým vlivem vlhčení nebo průvanem od otevíracích oken.



Obrázek 30 : Fotografie umístění kombinovaného vlhkoměru na umě-  
lém stromu s krytem proti zvířatům.

### 8.3 Rozváděče

Rozváděče řídicího systému byly umístěny v suterénu ve strojovně. Jedná se o oceloplechovou skříň velikosti (š x h x v) 1 600 x 400 x 2 200 mm, složenou ze dvou polí. Umístění bylo zvoleno jednak vzhledem k nedostatku místa v 1.NP a také vzhledem k blízkosti co největšího počtu připojených prvků – minimalizace kabeláže.



Obrázek 31 : Fotografie rozváděče řídicího systému ve strojovně budovy

### 8.4 Síťová řídicí jednotka – NAE

Z hlediska konstrukce se jedná o průmyslový počítač typu SBC (Single Board Computer). Připojuje se přímo k síti Ethernet. Tato jednotka má zabudováno uživatelské rozhraní a podporuje přístup přes internetový prohlížeč z několika míst současně a využívá ochranu heslem a zabezpečovací metody používané v IT.

Jednotka NAE používá komunikační technologie z oblasti průmyslové automatizace budov, včetně protokolu BACnet, sítě LonWorks<sup>®</sup> a N2 Bus. Může být instalována na stávající IT infrastrukturu v rámci budovy nebo podniku a používá standardní IT komunikační služby přes podnikový intranet, WAN

Uživatel má přístup k datům v jednotce NAE přes jakýkoliv PC, na kterém je instalován standardní internetový prohlížeč s plug-inem Java. Zařízení uživatelského rozhraní nevyžaduje speciální software pracovní stanice, pouze internetový prohlížeč a Java® plug-in. Jednotka NAE rozpoznává legitimní uživatele tak, že v uživatelském rozhraní internetového prohlížeče zadáte uživatelské ID a heslo. Uživatelská přístupová data jsou při přenosu a v databázi NAE zakódována a administrátor uživatelského zabezpečení spravuje profily a účty uživatelů v lokalitě nebo na úrovni systému. Rozsah úrovní oprávnění je od konfigurování kompletního systému až k pouhému zobrazování jedné části systému nebo lokality. Systémový administrátor přiděluje uživatelská ID, hesla a specifická privilegia přístupu k datům NAE pro každý uživatelský účet. Jednotka NAE podporuje trendování jakékoliv monitorované hodnoty v uživatelem definovaných periodách v rozsahu od několika vteřin až po jeden týden.



Obrázek 32 : Fotografie síťová řídicí jednotka NAE35 [14]

## 8.5 Exportní utilita

Exportní utilita je programový doplněk nainstalovaný na PC, který používá obsluha objektu jako uživatelské rozhraní. Umožňuje získat ze systému data historických trendů, alarmů a jiných událostí a ukládat je do různých obecně použitelných formátů (MS Excel, MS Access, ...) pro další zpracování nebo archivaci. Veškeré akce se dají naplánovat tak, aby



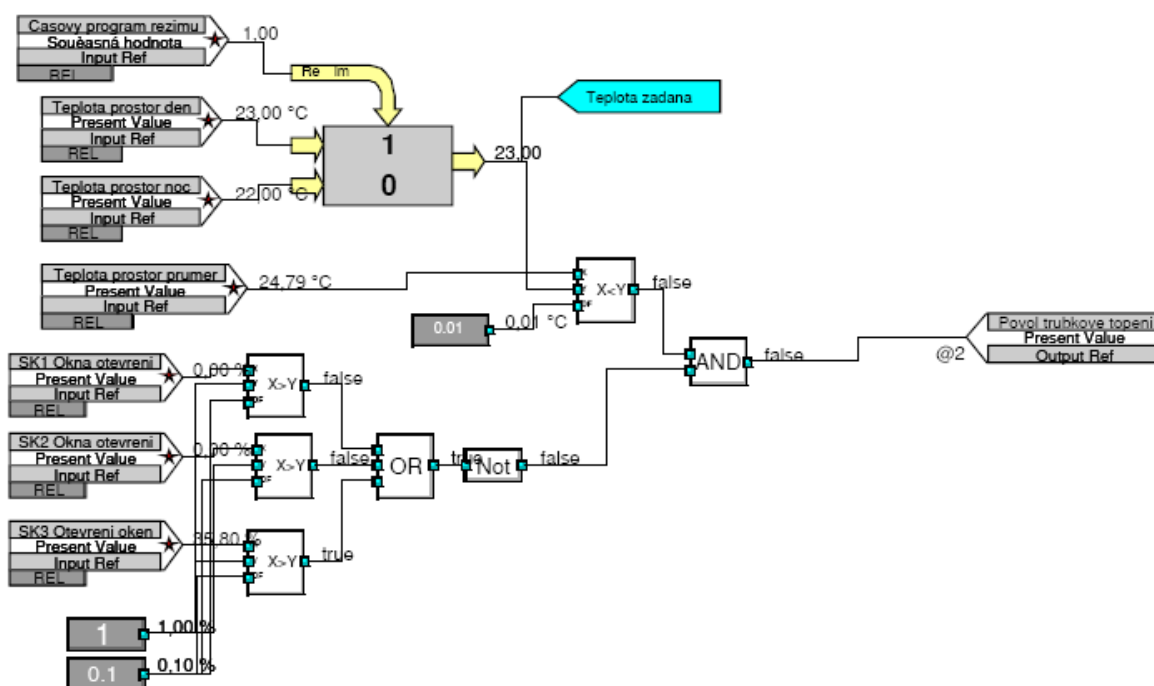
export dat probíhal automaticky podle zvoleného schématu. Plánovač funguje jako služba operačního systému Microsoft Windows. Rozsah možných aktivit exportní utility vidíme na obrázku č. 33.



Obrázek 33 : Schéma aktivit exportní utility [14]

## 8.6 Tvorba uživatelského software

Uživatelský software představuje nastavení parametrů všech vzájemných vazeb mezi vstupy a výstupy řídicího systému. Programátor obvykle na základě technologického schématu, zapojovacího schématu a vlastních znalostí o provozu jednotlivých technologií i celé budovy vytvoří uživatelský software, který se nahraje do EPROM paměti regulátoru resp. síťové řídicí jednotky. Pro programování regulátorů Johnson Controls řady FX se používá sada programovacích nástrojů FX-TOOLS a FX-BUILDER – grafický nástroj pro tvorbu uživatelského software, s množstvím přeprogramovaných funkcí a maker, FX-COMMPRO N2 – nástroj pro upload software do regulátoru a jeho odladění. Na obrázku č. 34 vidíme kontrolní výstup řídicího algoritmu v grafické podobě pro kontrolu programátora v programovacím nástroji FX-TOOLS.



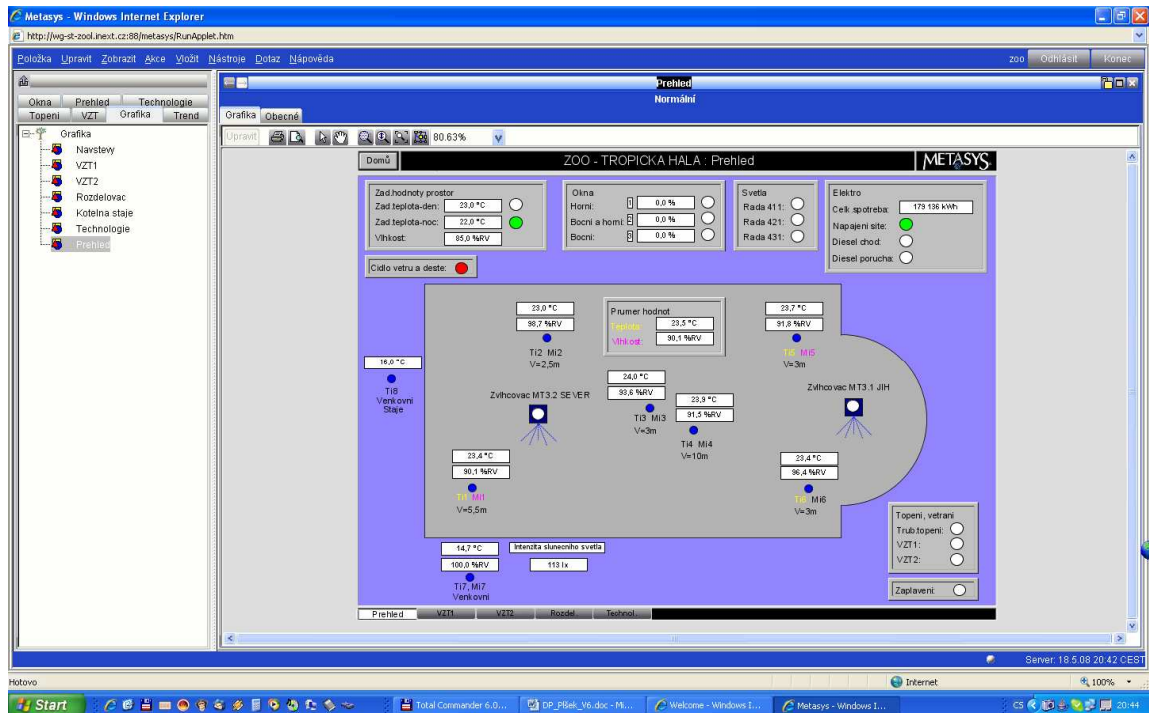
Obrázek 34 : Ukázka grafického výstupu programovací utility FX-TOOLS

## 8.7 Připojení do internetu

Router osazený v objektu tropického pavilonu je metalickým kabelem propojen pomocí Ethernetu do hlavní serverovny na zámku. Uživatel z intranetu se připojuje stejným způsobem jako uživatel z internetu na adrese <http://wg-st-zool.inext.cz:88/metasys>.

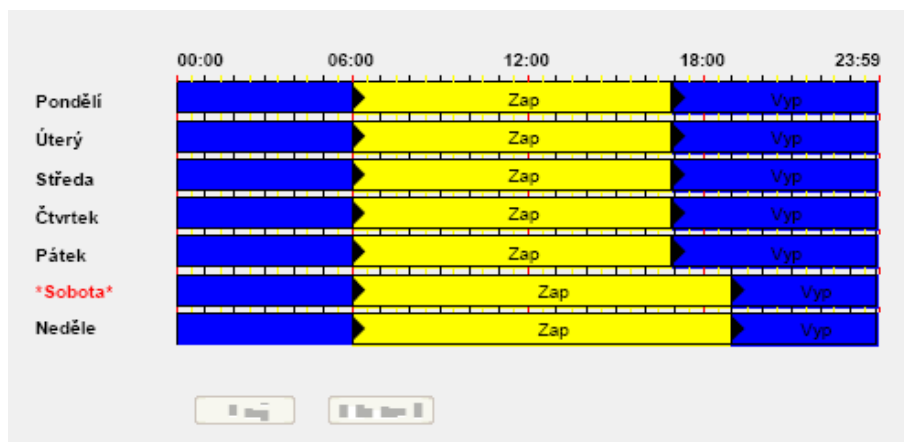
Webový server instalovaný v síťové řídicí jednotce NAE používá grafické rozhraní na programové platformě Java™. Nevýhodou tohoto řešení je to, že uživatel musí mít nainstalován ve svém prohlížeči plug-in právě té verze, která je použita ve webovém serveru. Takže když jsem omylem povolil na svém PC aktualizaci Java™, výsledkem bylo, že se mi požadovaná přihlašovací stránka vůbec nezobrazila. Pomohla odinstalace poslední verze a návrat zpět k verzi 1.5.0. Tento nedostatek je možno odstranit provedením upgrade firmware síťové řídicí jednotky NAE, které bude provedeno v rámci pravidelné údržby při periodické prohlídce řídicího systému.

### 8.8 Vizualizace



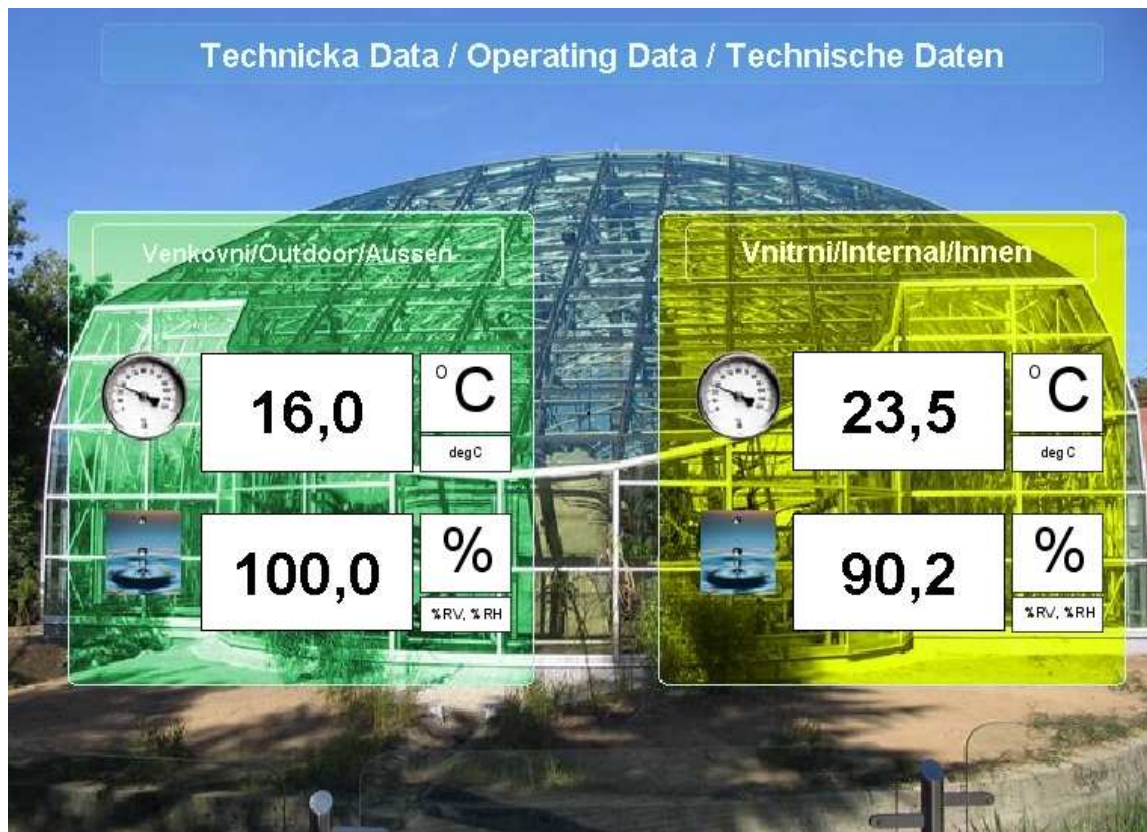
Obrázek 35 : Ukázka grafické obrazovky přehledu hodnot

Na obrázku č. 35 můžeme vidět jednu z cca dvaceti grafických obrazovek, která se zobrazí autorizovanému uživateli při vzdáleném přístupu přes internet – zde se jedná o přehledovou obrazovku, kde jsou graficky přehledně zobrazeny všechny důležité údaje pro okamžitou kontrolu obsluhy bez nutnosti dalšího prohledávání.



Obrázek 36 : Ukázka nastavování časového programu

Na obrázku č. 36 vidíme obrazovku časových programů jak ji vidí uživatel při přístupu jak z lokálního PC tak přes internet, jednoduše myší nastaví požadovaný časový interval chodu zařízení.



Obrázek 37 : Ukázka zobrazení aktuálních údajů na externím displeji

Na obrázku č. 37 vidíme ukázkou lokální obrazovky – umístěné uvnitř objektu pro informaci návštěvníků. K počítači v technické místnosti je připojen pomocí druhé grafické karty další monitor, na kterém jsou návštěvníkům trvale zobrazovány aktuální údaje získávané ze síťové řídicí jednotky NAE.

## 9 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU

Budova tropického pavilonu není běžným typem komerčního objektu. Od počátku bylo cílem vybudovat unikátní stavbu sloužící pro poučení i odpočinek návštěvníků i za cenu vyšších provozních nákladů a proto ani požadavky na energetickou náročnost nebyly vždy upřednostňovány.

Podobná stavba byla realizována v pražské ZOO - Indonéska džungle – s termínem dokončení v roce 2004. Jedná se také o prosklený objekt, míra prosklení je ale menší a základová část objektu je mnohem masivnější, z čehož vyplývají mnohem delší časové konstanty všech řízených dějů. Matematické simulace chování tohoto objektu však nekorespondují v některých případech s našimi zkušenostmi z řízení skutečného objektu. Zejména překvapivá je akumulární schopnost objektu, který má lehčí charakter stavby než simulovaný objekt, kdy při výpadku topení v zimním období při teplotě kolem  $-10^{\circ}\text{C}$  došlo během cca 8 hodin k neočekávaně nízkému poklesu vnitřní prostorové teploty.

Přesto, že přípravě a návrhu celého objektu bylo již v projektové fázi věnováno značné úsilí, odladění celého řídicího systému trvalo jeden rok, protože bylo nutné odladit a vyzkoušet všechny provozní režimy všech ročních období, denních období a také postihnout rozmary počasí.

Některé provozní stavy se nedaly mnohdy vůbec předvídat, takže jejich řešení bylo nalezeno za provozu společnými silami na základě zkušeností programátora, projektanta VZT a provozovatele. Velkým zjednodušením při uvádění do provozu byla také možnost vzdáleného přístupu do řídicího systému přes internet, kdy provozovatel i projektant mohli online sledovat kdykoliv a odkudkoliv skutečné chování budovy a programátor mohl následně požadované změny vzdáleně ihned realizovat a dále také možnost trendování a ukládání historických dat, jejichž zpětné vyhodnocení pomohlo zjistit, jak se objekt chová při změně podmínek.

Vzhledem k tomu, že budova tropické haly YUCATAN je součástí rozsáhlého areálu ZOO Zlín – Lešná, nedá se zpracovat ekonomické hodnocení, protože nelze stanovit výnosy vztahené na tento konkrétní objekt, nemůžeme hovořit o úsporách plynoucích z realizace. Navíc je ZOO Zlín – Lešná neziskovou organizací, jejímž cílem není generování zisků ale obecně prospěšná činnost s cílem poskytovat poučení, zábavu a možnost rekreace široké-

mu okruhu obyvatel. Veškeré výpočty by byly pouze na základě hrubých odhadů, tudíž v podstatě bezcenné. Pro ilustraci uvádím základní parametr v obecném tvaru :

### Doba splacení - diskontovaná - $T_{sd}$

Diskontovaná doba návratnosti  $T_{sd}$ , se stanoví jako rok, v němž tvorba peněžních prostředků (kladný cash flow, postupně kumulovaný během doby provozu) převáží nad počátečními (investičními) výdaji. Při výpočtu se uvažuje diskont a proto se postupně kumulují hodnoty diskontovaného, odúročeného peněžního toku  $CF_t$ . Stanoví se ze vztahu

$$T_{sd} = ((\lg(1 + IN / A \cdot ((1 + \alpha) - (1 + r_1)))) / \lg((1 + \alpha) / (1 + r_1))) \quad (12)$$

kde  $IN$  [ Kč] je investiční náklady projektu;  
 $r_1$  [-] nominální diskont;  
 $\alpha$  [-] inflace;  
 $A$  [ Kč] čisté roční přínosy projektu



Obrázek 38 : Fotografie umístění a funkce mlžícího zařízení

## ZÁVĚR

S odstupem času lze celý záměr hodnotit jako úspěšný. Návštěvnost celého areálu ZOO se díky tomuto objektu výrazně zvýšila a podařilo se přilákat návštěvníky ze širšího okolí. Energetická náročnost provozu objektu byla tak ekonomicky vyvážena zvýšenou návštěvností a výsledkem byl ekonomický přínos.

Tento projekt byl výzvou pro všechny zúčastněné strany, od investora přes architekty, technology subdodavatele jednotlivých technologií až po generálního dodavatele.

Stavba skončila úspěšným dokončením a předáním do užívání uživateli. Tento okamžik však odstartoval nejtěžší etapu pro všechny specialisty, podílející se na dodávce a oživení řídicího systému.

Museli jsme společně navrhnout způsob řízení jednotlivých technologií samostatně stejně jako jejich společnou funkci, odladit všechny reakce budovy jako systému na změny okolních podmínek.

Současný provoz objektu je díky námi navrženému řídicímu systému plně automatizovaný, bezchybný a úsporný, pouze s občasným dohledem a kontrolou ze strany programátora..

## CONCLUSION

In the course of the time, it is possible to consider the whole intention as successful. Visit rate of all ZOO premises expressively increased thanks to this building and managed to attract visitors from wide neighbourhood. Energy consumption of running the object has become economically balanced by increasing visit rate which results into economic benefit.

This project was a challenge for all parties concerned – the investor, architects, subcontractors of particular technologies and the general contractor. The construction was successfully finished and it was handed over to the user. However, this moment launched the hardest period for all specialists participating on construction and start-up of automation system.

Present running of the object is due to design control system fully automatic and economic, trouble less, with only occasional supervision of the attendance and verification by the software engineer required.

I appreciate that I could co-operate with this unique project since the start by the proposal of the automation system; construction state as well and it enable me to obtain valuable experience.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., *O ochraně zdraví při práci*.
- [2] ČSN EN ISO 7730, *Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody*
- [3] ZMRHAL, Vladimír. *Operativní teplota v prostoru s chladícím stropem*. [online]. Dostupné na [http://www.fsid.cvut.cz/~zmrhal/Publikace/OT2\\_2006.pdf](http://www.fsid.cvut.cz/~zmrhal/Publikace/OT2_2006.pdf)
- [4] JANEČKA, Jan, ZUTH, Daniel. VUT Brno. *Systémy monitorování tepelné pohody člověka*. [online]. dostupné na <http://www.asicr.cz/brezen-2008/#article-2>
- [5] KABELE, Karel, VEVERKOVÁ, Zuzana. *ČVUT Praha - Modelování operativní teploty*, [online], citace z 15.11.2004, dostupné na <http://www.tzb-info.cz>
- [6] WIKIPEDIE, *Mollierův diagram*. [online]. Dostupné na [http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Feuchte\\_Luft\\_h-x-Dia.jpg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Feuchte_Luft_h-x-Dia.jpg)
- [7] JANDÁK, Zdeněk. Státní zdravotní ústav. *Hluk v pracovním prostředí*
- [8] ELEKTRODESIGN, *Rekuperace a větrání, všeobecné informace*. [online]. Dostupné na : <http://www.elektrodesign.cz/index.php?LNG=cz&P=down&CID=31>
- [9] BECHNÍK, Bronislav. *Vztah vlhkostní a energetické bilance stavby*, [online], citace z 26.3.2004, dostupné na <http://www.tzb-info.cz>
- [10] SCHWARZER, Jan. ČVUT v Praze. *Studijní materiály pro předmět Technika prostředí*. [online]. Dostupné na <http://www.fsid.cvut.cz/~schwarze>
- [11] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Požadavky na vnitřní prostředí budov*. [online]. Dostupné na <http://si.vega.cz/clanky/pozadavky-na-vnitri-prostredi-budov>
- [12] ENCYKLOPEDIE ENERGETIKY DOMU, [online]. Dostupné na <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/>
- [13] WIKIPEDIE, *Psychrometrický diagram*. [online]. Dostupné na : <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:PsychrometricChart-SeaLevel-SI.jpg>
- [14] JOHNSON CONTROLS, *CD Technický katalog 2007*
- [15] NATIONAL COMMUNICATIONS SYSTEM, *TECHNICAL INFORMATION BULLETIN 04-1*. . [online]. Dostupné na : [http://www.ncs.gov/library/tech\\_bulletins/2004/tib\\_04-1.pdf](http://www.ncs.gov/library/tech_bulletins/2004/tib_04-1.pdf)

- [16] OPC FOUNDATION, *What is OPC ?* . [online]. Dostupné na : [http://www.opcfoundation.org/Default.aspx/01\\_about/01\\_whatIs.asp?MID>AboutOPC](http://www.opcfoundation.org/Default.aspx/01_about/01_whatIs.asp?MID>AboutOPC)
- [17] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Kvalita vnitřního prostředí v bytech*. [online]. Dostupné na : <http://www.izolace.cz/index.asp?module=ActiveWeb&page=WebPage&DocumentID=2151#javascript>
- [18] ASTRA92 a.s. Tropická AMAZONIE. Projektová dokumentace pro provedení stavby
- [19] ZÁLEŠÁK, Martin. *Řízení systémů tvorby prostředí – součást integrovaných řídicích systémů budov*. [online]. Dostupné na : <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4421>
- [20] C14.CZ . *HX diagram a jeho použití*. [online]. Dostupné na : <http://c14.siliconhill.cz/data/bakalari/EEB2/ukoly/Hx%20Diagram.doc>
- [21] ZÁLEŠÁK, Martin. *Technika prostředí, vytápění, vzduchotechnika*. Materiály pro studium. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky
- [22] LAIN, Miloš. Barták, Martin. Drkal, František. L-M.HENSEN, Jan. *Počítačové simulace pro návrh klimatizace pavilonu Indonéská džungle ZOO Praha*. Praze [online]. Dostupné na <http://www.tzb-info.cz>
- [23] CENTNEROVÁ, Lada. *Energetické simulace tradičního vs. adaptivního modelu tepelné pohody*. [online]. Dostupné na : [http://www.bwk.tue.nl/bps/hensen/publications/01\\_vvi\\_comf.pdf](http://www.bwk.tue.nl/bps/hensen/publications/01_vvi_comf.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
PWM	Pulse Wide Modulation
DDC	Direct Digital Controller
PLC	Programmable Logic Controller
VZT	vzduchotechnika
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
PID	Proportional – Integral - Derivative
ERP	Enterprise Ressource Planning
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
EIB	European Installation Bus
PAC	Programmable Automation Controller
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
DIN	Deutsches Institut für Normung
OEM	Original Equipment Manufacturer
PC	Personal Computer
OPC	OLE for Process Control
SCADA	Supervisory Controls And Data Acquisition

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Přípustné rozmezí operativní teploty a vlhkosti vnitřního vzduchu pro typické letní a zimní oblečení [5].	13
Obrázek 2 : Graf předpovědi procentuálního podílu nespokojených [4].	14
Obrázek 3 : Optimální pásmo tepelné pohody v h-x diagramu vlhkého	16
Obrázek 4 : Určení rosného bodu z h-x diagramu [20].	18
Obrázek 5 : Princip přirozeného větrání [10].	20
Obrázek 6 : Princip řízení přirozeného osvětlení [14].	25
Obrázek 7 : Schéma kompaktního regulátoru [14].	30
Obrázek 8 : Schéma modulárního regulátoru.	31
Obrázek 9 : Schéma možného zapojení Master Display [14].	33
Obrázek 10 : Integrace několika různých protokolů do systému METASYS®	35
Obrázek 11 : Závislost bilance vlhkosti a bilance tepla [9].	37
Obrázek 12 : Fotografie konstrukce budovy Tropického pavilonu YUCATAN.	41
Obrázek 13 : Graf roční spotřeby zemního plynu za rok 2007.	43
Obrázek 14 : Graf roční spotřeby pitné vody za rok 2007.	44
Obrázek 15 : Graf roční spotřeby elektrické energie za rok 2007.	44
Obrázek 16 : Průběh teplot v regulačním obvodu vytápění.	45
Obrázek 18 : Průběh vlhkosti, teploty vnitřního vzduchu, teploty venkovní.	46
Obrázek 17 : H-x diagram s vyznačením konkrétních hodnot.	47
Obrázek 19 : Záznam údajů ze systému o chodu vzduchotechniky ze dne 4.5.2008.	49
Obrázek 20 : Průběhy teploty a vlhkosti pro otevírání oken.	50
Obrázek 21 : Průběh intenzity venkovního osvětlení.	51
Obrázek 22 : Grafická obrazovka – schéma řízení hladin	52
Obrázek 23 : Fotografie vnitřní výzbroj rozvaděče.	52
Obrázek 24 : Fotografie automaticky otevíraných bočních oken.	54
Obrázek 25 : Fotografie sdruženého rozdělovače – sběrače ÚT.	56
Obrázek 26 : Schéma zapojení ovládání střešních oken – 2. skupina	58
Obrázek 27 : Obrázek regulátoru FX16 – Master. [14].	60
Obrázek 28: Obrázek displeje MUI. [14]	61
Obrázek 29 : Schéma možných zapojení uživatelského rozhraní MUI. [14]	61

Obrázek 30 : Fotografie umístění kombinovaného vlhkoměru na umělém stromu s krytem proti zvířatům. ....	62
Obrázek 31 : Fotografie rozváděč řídicího systému ve strojovně budovy .....	63
Obrázek 32 : Fotografie síťová řídicí jednotka NAE35 [14].....	64
Obrázek 33 : Schéma aktivit exportní utility [14] .....	65
Obrázek 34 : Ukázka grafického výstupu programovací utility FX-TOOLS.....	66
Obrázek 35 : Ukázka grafické obrazovky přehledu hodnot .....	67
Obrázek 36 : Ukázka nastavování časového programu .....	67
Obrázek 37 : Ukázka zobrazení aktuálních údajů na externím displeji.....	68
Obrázek 38 : Fotografie umístění a funkce mlžícího zařízení .....	70

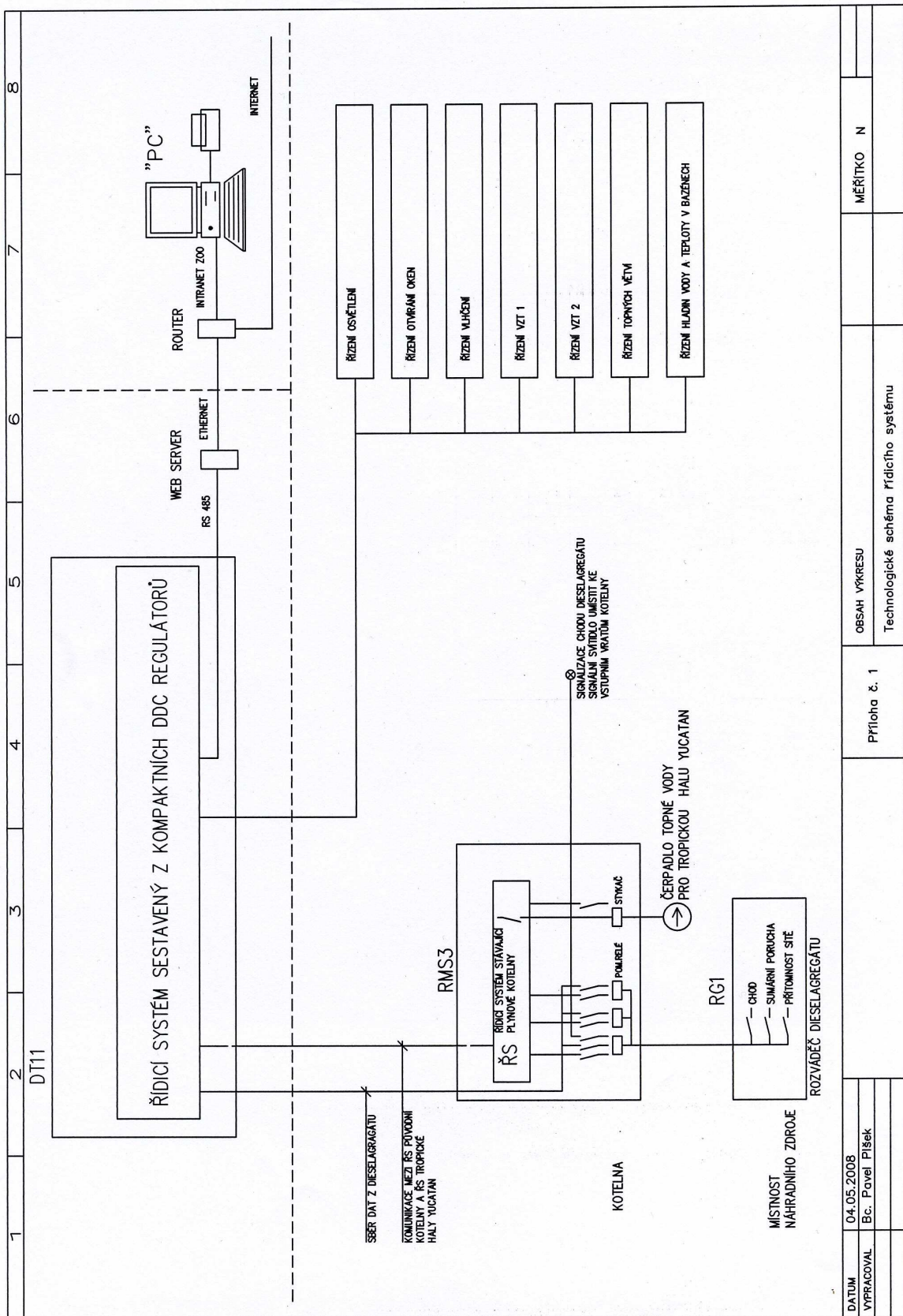
**SEZNAM TABULEK**

Tabulka č 1: Závislost součinitele $A$ pro výpočet operativní teploty $t_o$ , na rychlosti proudění.....	12
--	----

**SEZNAM PŘÍLOH**

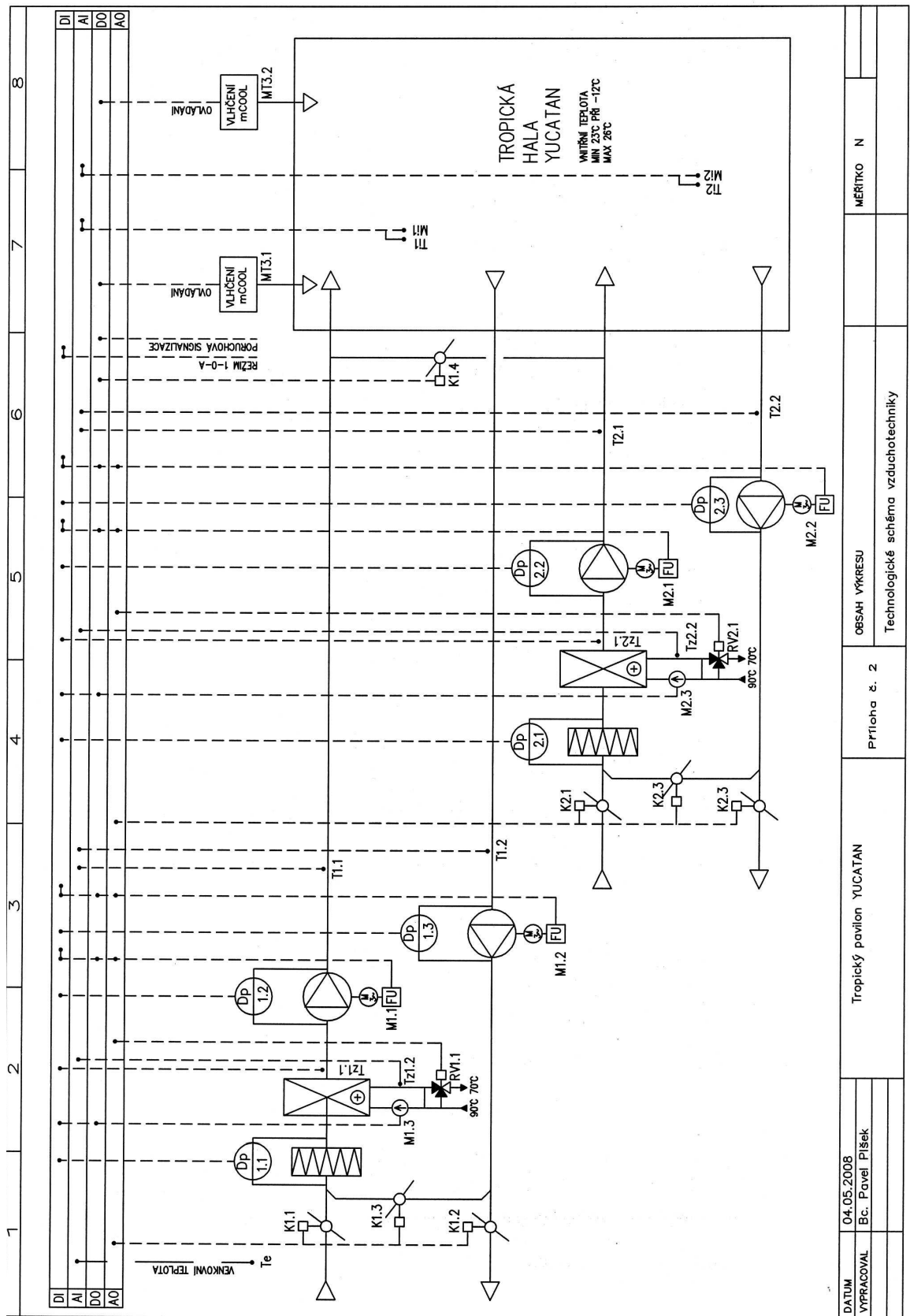
Příloha 1 : Technologické schéma řídicího systému .....	80
Příloha 2 : Technologické schéma vzduchotechniky.....	81
Příloha 3 : Technologické schéma řízení vytápění.....	82
Příloha 4 : Technologické schéma řízení oken.....	83
Příloha 5 : Mollierův hx-diagram vlhkého vzduchu [6] .....	84
Příloha 6 : Ukázka blokového schéma při tvorbě software, FX-TOOLS.....	85

Příloha 1 : Technologické schéma řídicího systému





Příloha 2 : Technologické schéma vzduchotechniky



DATAUM	04.05.2008
VYPRACOVAV	Bc. Pavel Pišek

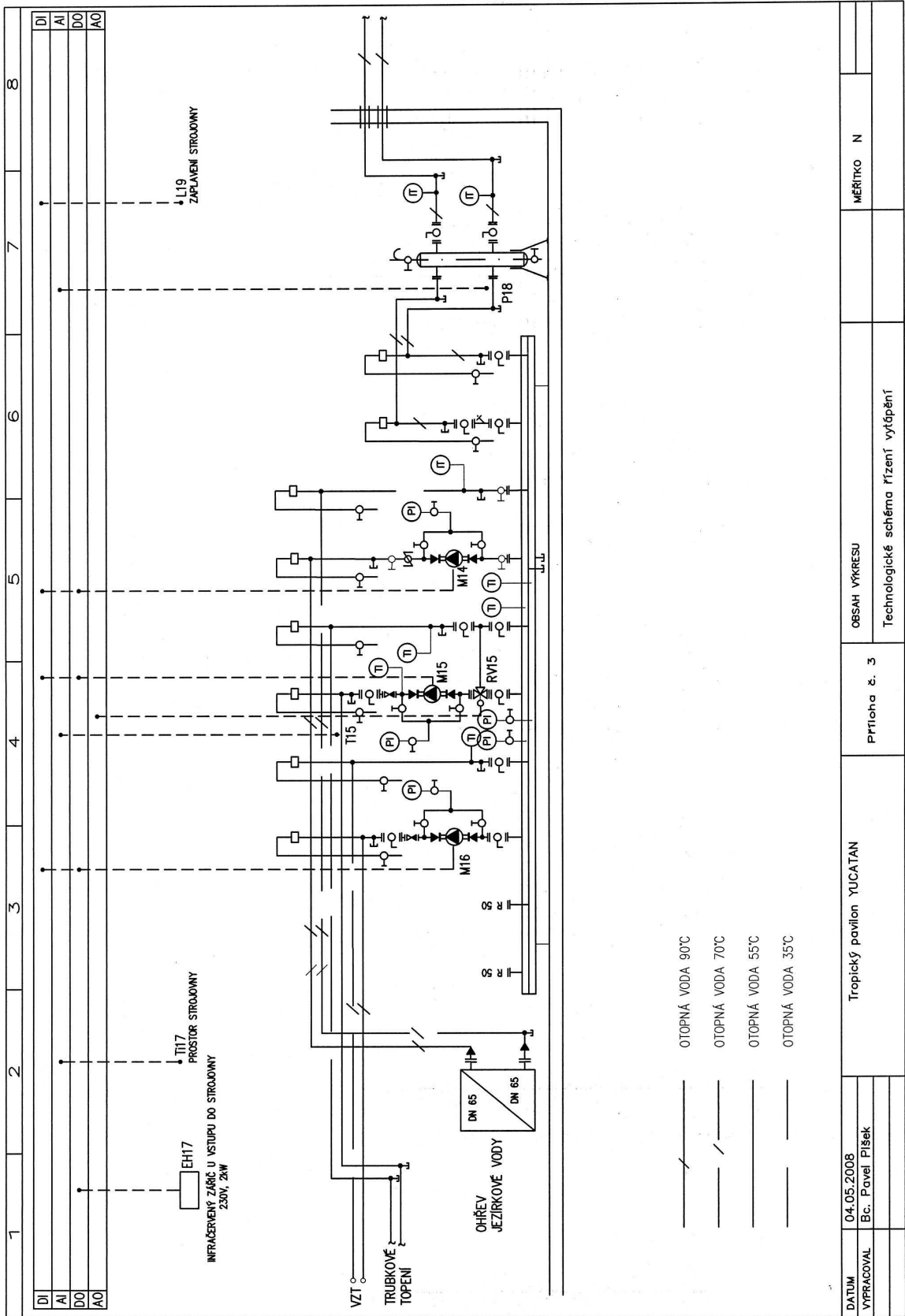
Tropický pavilon YUCATAN

Příloha č. 2

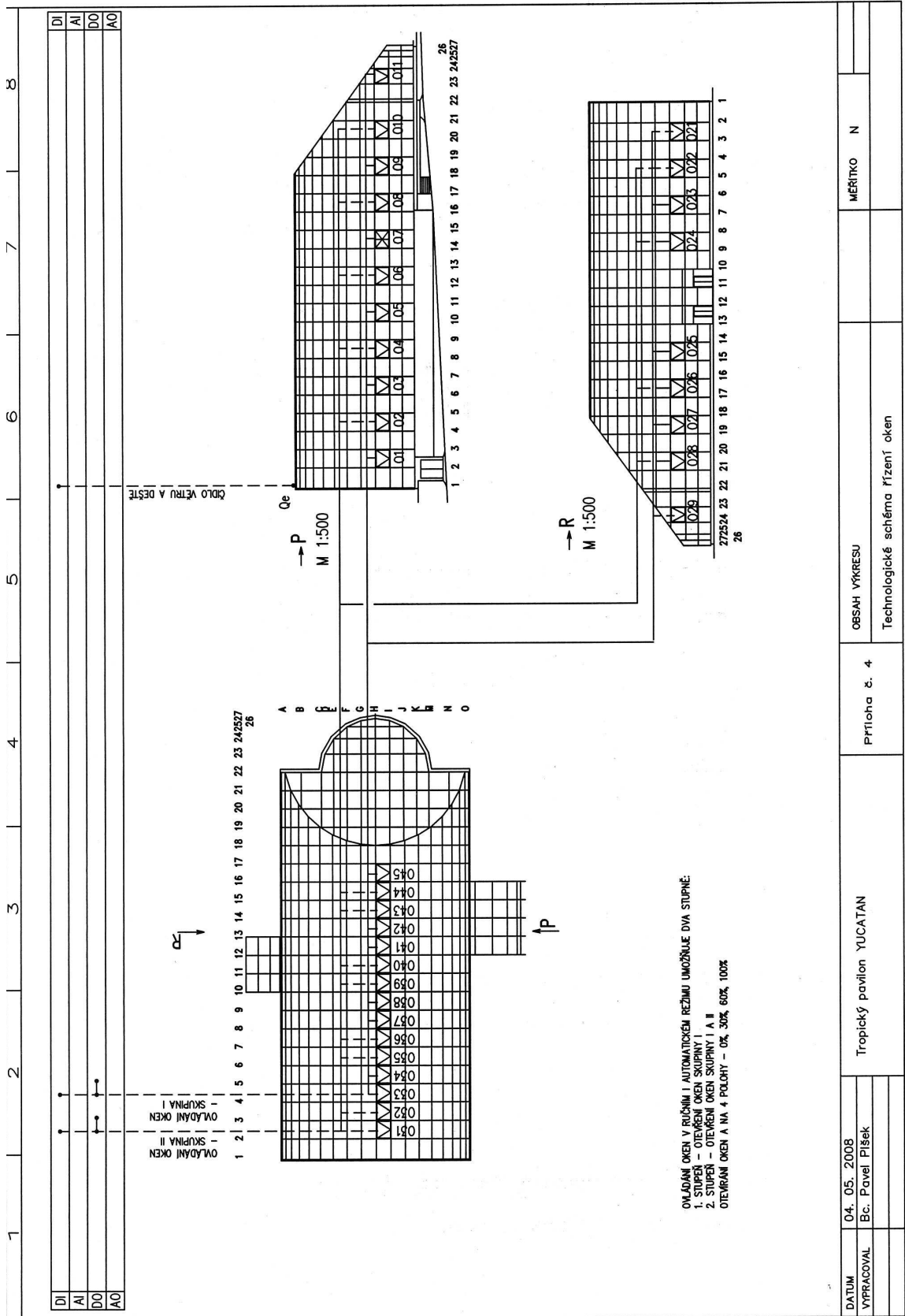
OBSAH VÝKRESU  
Technologické schéma vzduchotechniky

MĚŘÍTKO	N
---------	---

Příloha 3 : Technologické schéma řízení vytápění



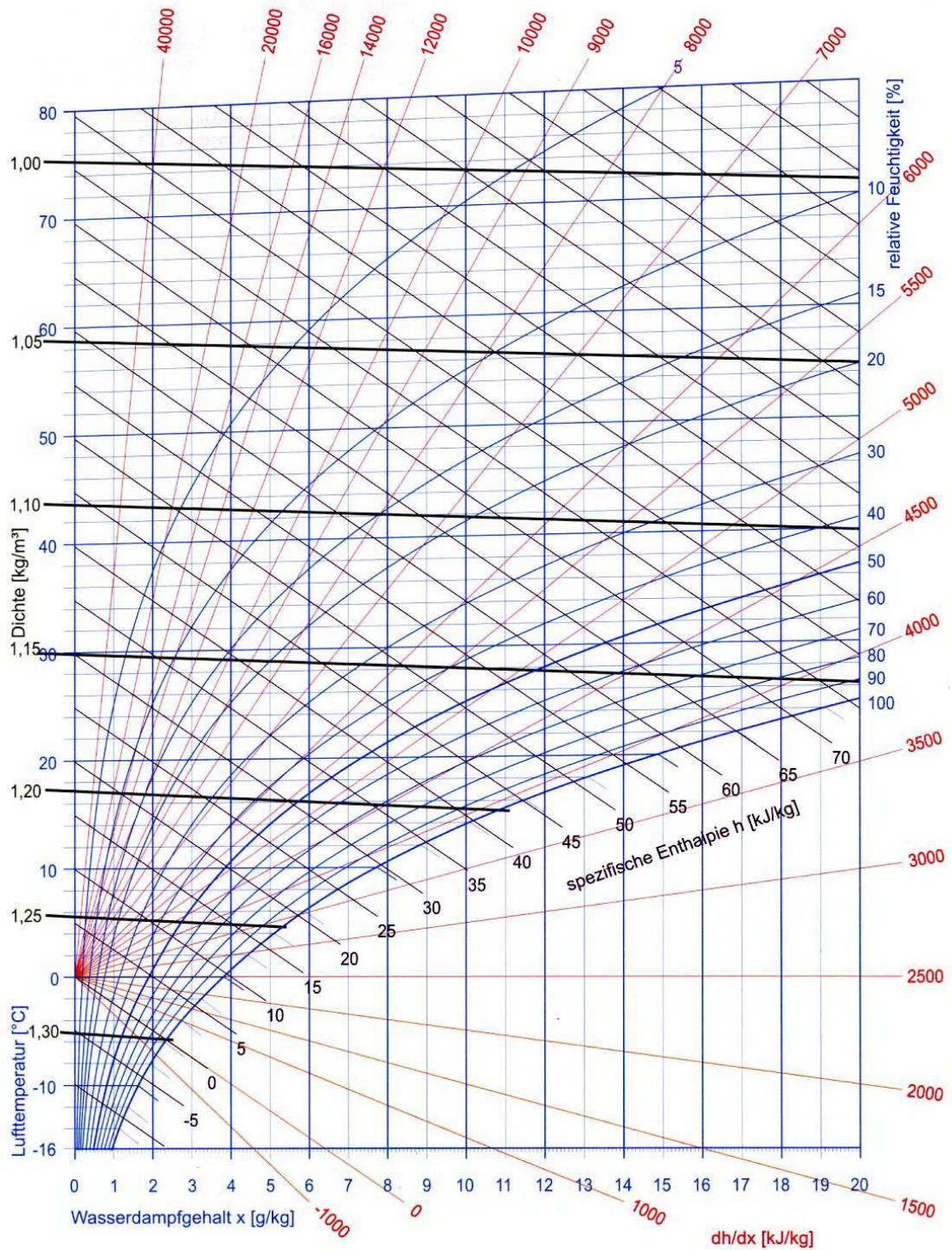
Příloha 4 : Technologické schéma řízení oken



DATUM VYPRACOVAL	04. 05. 2008 Bc. Pavel Pišek	Tropický pavilon YUCATAN	Příloha č. 4	OBSAH VÝKRESU Technologické schéma řízení oken	MĚŘÍTKO N
---------------------	---------------------------------	--------------------------	--------------	---	--------------

# Příloha 5 : Mollierův hx-diagram vlhkého vzduchu [6]

Mollier-h,x-Diagramm für feuchte Luft für  $p = 1 \text{ bar}$



Příloha 6 : Ukázka blokového schéma při tvorbě software, FX-TOOLS

