

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Program celoživotního vzdělávání 2024/2025
katedra 11125 TZB

" Technická zařízení budov pro energeticky
efektivní a zdravé budovy"

Závěrečná práce

na téma:

vliv umístění teplotního čidla na snímání teploty vzduchu a
výslednou tepelnou pohodu v místnosti

Vypracoval: Jiří LANG

Litovel 2025

Úvod

V této práci se pokusím popsat skutečnosti, zaznamenané při měření teploty vzduchu v místnosti několika různě rozmístěnými teplotními senzory. Vzhledem k různorodosti možných způsobů vytápění a jeho regulace se jedná jen o zlomek ze situací, které by bylo možno zkoumat. Nejde o laboratorní měření. Prezentuji data reálně použitého komerčního IRC regulačního systému.

Program s názvem ETHERM, jehož sesbíraná data jsem využil, je na webu výrobce použitého regulačního systému volně dostupný a je určený pro uživatelské ovládání a monitoring regulačního systému, ale i otopné soustavy .

Výběr situace jsem podřídil dostupnosti a četnosti výskytu tohoto konceptu vytápění v mé každodenní praxi.

Specifikace *podmínek*

- místem měření je pokoj o rozměrech 3*4*2,6m (š*d*v)
v podkroví RD bez strojového větrání
- 1 * vnější stěna , 3 * vnitřní stěny
(dva sousední pokoje, chodba)
- zdivo z duté cihly Heluz
vnější = 370mm, vnitřní = 140mm
- tepelná izolace pláště budovy = 100mm EPS70
- strop do nezateplené půdy = SDK + 320mm izolační vlny
- hydraulicky stabilní teplovodní otopná soustava
(Hydrolux), ústřední vytápění
- hlavním zdrojem tepla je plynový kotel ; alternativně se
přítápí kusovým dřevem v sálavých litinových kamech s
výkonem cca 5kW; umístěny jsou v přízemí
- teplotní spád topné vody = 55/40°C
- návrhové teploty : $\Theta_i = 22^{\circ}\text{C}$ $\Theta_e = -12^{\circ}\text{C}$
- otopným tělesem je třídeskový radiator pod oknem

- topný výkon radiátoru je proporcionálně řízen aktorem regulačního systému, jímž je servopohon HS. V tomto případě se jedná o spojitou regulaci, vnitřní, místní, automatickou, přímou

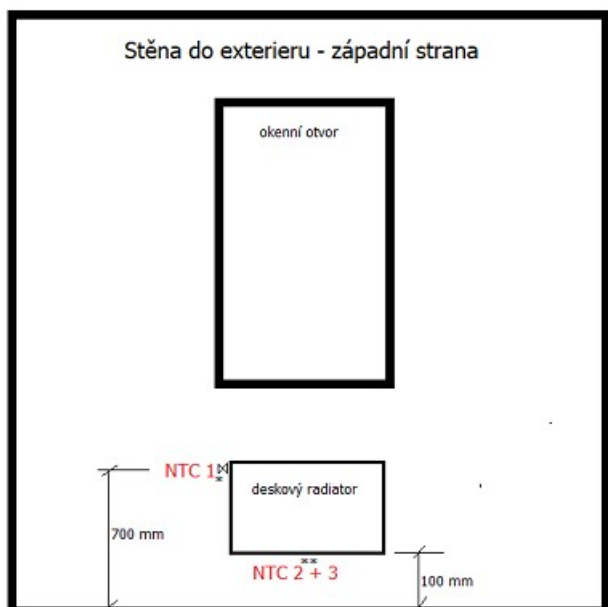
- v rámci místnosti (*Obr. 1a,1b*) jsou rozmístěny celkem 4 teplotní senzory (NTC termistory):

NTC 1 (*Obr. 2a,2b*) je integrovaný v regulační hlavici HS; tuto sestavu lze z pohledu snímání teploty připodobnit k obecně známé ruční termostatické hlavici

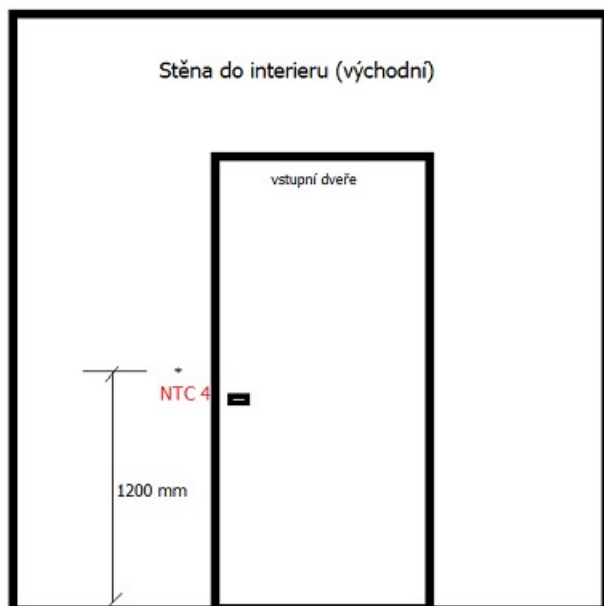
NTC 2 (*Obr. 3*) se nachází pod radiátorem, asi uprostřed jeho šířky

NTC 3 (*Obr. 4*) je umístěný shodně s NTC 2, fyzicky je však odlišný. Je v ochranném pouzdře, které zvětšuje jeho tepelnou kapacitu. Toto provedení je určeno např. do teploměrných jímek či vlhkého prostředí

NTC 4 (*Obr. 5*) jsem umístil na stěnu naproti radiátoru, do blízkosti světelného vypínače.



Obr. 1a



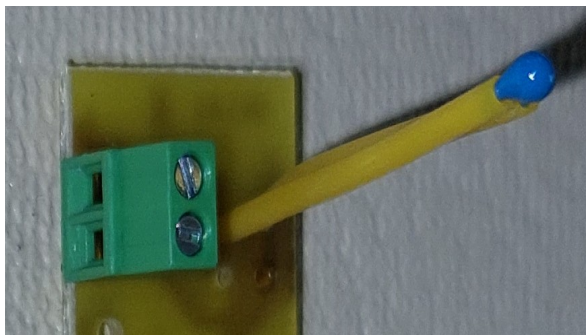
Obr. 1b

Obr. 2a



Obr.2b





Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5

NTC termistor

- je typ teplotního senzoru (*Obr. 6*), vyráběného spékáním oxidů různých kovů (např. Fe, Mn, Ni, Cu, Ti,

Výhody použití:

- malé rozměry
- energetická nenáročnost
- vysoká citlivost (+rychlost)
- nízká cena



Obr. 6

Nevýhody :

- nelineární průběh změny parametrů v rozsahu měřitelných teplot (náročnější výpočetní aplikace)

Charakteristickou vlastností negistoru (jak se také někdy NTC termistor nazývá) je snižující se elektrický odpor při vzrůstající teplotě okolí (*Obr. 7*)

t	R	t	R	t	R	t	R	t	R	t	R
°C	Ohmů	°C	Ohmů	°C	Ohmů	°C	Ohmů	°C	Ohmů	°C	Ohmů
5	53100,6	11	39113,5	17	29135,6	23	21935,1	29	16681,7	35	12808,6
6	50422,2	12	37211,6	18	27769,2	24	20942,3	30	15952,7	36	12267,9
7	47894,4	13	35413,2	19	26474,5	25	20000	31	15259,5	37	11752,9
8	45508,1	14	33711,9	20	25247,6	26	19105,4	32	14600,4	38	11262,4
9	43254,4	15	32102,1	21	24084,4	27	18255,7	33	13973,3	39	10795
10	41125,5	16	30578,4	22	22981,4	28	17448,6	34	13376,6	40	10349,5

Obr. 7

www.etatherm.cz

Poznámka: podobnou součástkou pro měření teploty je PTC termistor (nazývaný také pozistor), jehož reakce na změnu teploty okolí je opačná, tzn. se vzrůstající teplotou okolí roste hodnota jeho odporu.

Orientační určení tepelné ztráty

místnosti prostupem $\Phi_{T,i}$

Plocha stěny A_k do exteriéru -12°C $S_o = 7,8\text{m}^2$

Plocha okenního otvoru $A_{OD} = 1,4\text{m}^2$

Plocha stěny do exteriéru bez okna $A_{kso} = 6,4\text{m}^2$

Plocha stěn A_k do interieru $+22^\circ\text{C}$ $S_{n1} = 20,8\text{m}^2$

$A_{ksn1} = 20,8\text{m}^2$

Plocha stěny A_k do interieru $+15^\circ\text{C}$ $S_{n2} = 7,8\text{m}^2$

Plocha dveřního otvoru $A_{DN} = 1,6\text{m}^2$

Plocha stěny do interieru bez dveří $A_{ksn2} = 6,2\text{m}^2$

Plocha stropu A_k do půdy -12°C $S_{tr} = 12\text{m}^2$

$A_{kstr} = 12,0\text{m}^2$

Součinitel prostupu tepla U pro:

Heluz 37 $\approx 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; $\langle \text{Tepelný odpor } R_H = \text{cca } 2,4 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \rangle$

Heluz 14 $\approx 4,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; $\langle \text{Tepelný odpor } R_{14} = \text{cca } 0,22 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \rangle$

EPS 70/100mm $\approx 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; $\langle \text{Tepelný odpor } R_E = \text{cca } 2,5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \rangle$

URSA DF35/160mm $\approx 0,215 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; $\langle \text{Tepelný odpor } R_U = \text{cca } 4,55 \text{ m}^2\text{K}/\text{W} \rangle$

Okno FenStar = $U_{(OD)} \approx 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Dveře Sapeli = $U_{(DN)} \approx 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Vnější stěna $U_{(So)} = \text{Heluz 37} + \text{EPS 70}(100\text{mm}) = 1 / (R_H + R_E) = 1 / 4,9 \approx 0,2$

$U_{(So)} = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Vnitřní stěna $U_{(Sn)} = \text{Heluz 14}$

$U_{(Sn)} = 4,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Strop 320mm $U_{(Str)} = 1 / 2 \cdot R_U \approx 0,125$

$U_{(Str)} = 0,125 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Činitel teplotní redukce $b_{u,k}$:

(poměr rozdílů teplot uvnitř místnosti a vně měřené stěny
ku rozdílu teplot uvnitř místnosti a v exteriuru)

$$b_{u,k}(So) = [22 - (-12) / 22 - (-12)] = 1$$

$$b_{u,k}(Sn1) = [22 - 20 / 22 - (-12)] = 0,06$$

$$b_{u,k}(Sn2) = [22 - 15 / 22 - (-12)] = 0,21$$

$$b_{u,k}(Str) = [22 - (-12) / 22 - (-12)] = 1$$

$$b_{u,k}(OD) = [22 - (-12) / 22 - (-12)] = 1$$

$$b_{u,k}(DN) = [22 - 15 / 22 - (-12)] = 0,21$$

Součinitel tepelné ztráty konstrukčního prvku prostupem

$$\underline{H_{T,k} = A * b * U}$$

$$H_{T,k}(So) = 6,4 * 1 * 0,2 = 1,28 \text{ W/K}$$

$$H_{T,k}(Sn1) = 20,8 * 0,06 * 4,5 = 5,6 \text{ W/K}$$

$$H_{T,k}(Sn2) = 6,2 * 0,21 * 4,5 = 5,86 \text{ W/K}$$

$$H_{T,k}(Str) = 12 * 1 * 0,125 = 1,5 \text{ W/K}$$

$$H_{T,k}(OD) = 1,4 * 1 * 1,1 = 1,54 \text{ W/K}$$

$$H_{T,k}(DN) = 1,6 * 0,21 * 1,5 = 0,5 \text{ W/K}$$



celková hodnota součinitele tepelné
ztráty prostupem H_T je součtem
dílčích hodnot H_{Tk}

$$H_{T,k}(So) + H_{T,k}(Str) + H_{T,k}(OD) + H_{T,k}(Sn1) + H_{T,k}(Sn2) + H_{T,k}(DN) = 16,28 \text{ W/K}$$

$$\mathbf{H_T \approx 16,3 \text{ W/K}}$$

Celková tepelná ztráta prostupem
(potřebný přiváděný tepelný výkon) je pak

$$\Phi_{T,i} = H_T * (\Theta_i - \Theta_e) = 16,3 * [22 - (-12)] \approx 555 \text{ W}$$

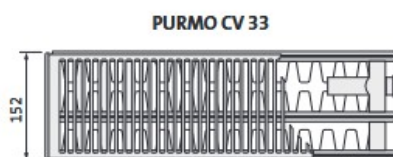
$$\mathbf{\Phi_{T,i} \approx 555 \text{ W}}$$

Přepočet výkonu radiátoru pro dostupný teplotní spád

Přepočet tabulkového výkonu pro vybraný teplotní spád
určen dle tabulek výrobce tělesa $\approx$ cca 605 W

VENTIL COMPACT Typ 33

Otopná desková
Tělesa



délka [mm]	parametry $t_z / t_p / t_l$	výška [mm]				
		300	450	500	600	900
400	75/65/20 °C	539	748	814	942	1304
	70/55/20 °C	431	596	649	750	1035
800	75/65/20 °C	1078	1495	1628	1885	2608
	70/55/20 °C	862	1193	1298	1499	2071
900	75/65/20 °C	1212	1682	1832	2120	2934
	70/55/20 °C	970	1342	1460	1687	2329
3000	75/65/20 °C	4041	5607	6105	7068	9780
	70/55/20 °C	3233	4473	4866	5622	7764
[W/m] 90/70/20 °C		1698	2363	2576	2988	4143
teplotní exponent n		1,3140	1,3313	1,3371	1,3486	1,3600

Tepelný výkon otopných deskových těles (W) je stanoven dle normy EN 442 pro teplotní spád 75/65/20 °C a 70/55/20 °C.

Přepočtové koeficienty

teplotní spád [°C]		přepočtové koeficienty otopných těles při jiných provozních podmínkách							
		teplota vzduchu v místnosti t_i [°C]							
t_1	t_2	5	8	12	16	18	20	22	24
95	90	0,48	0,50	0,54	0,57	0,59	0,61	0,64	0,66
	85	0,50	0,52	0,56	0,60	0,62	0,64	0,67	0,70
	80	0,52	0,55	0,59	0,63	0,65	0,68	0,70	0,73
	75	0,54	0,57	0,61	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78
	70	0,57	0,60	0,65	0,70	0,73	0,76	0,79	0,83
90	85	0,52	0,55	0,58	0,63	0,65	0,67	0,70	0,73
	80	0,54	0,57	0,61	0,66	0,68	0,71	0,74	0,77
	75	0,57	0,60	0,64	0,69	0,72	0,75	0,78	0,82
	70	0,59	0,63	0,67	0,73	0,76	0,80	0,83	0,87
	65	0,62	0,66	0,71	0,77	0,81	0,85	0,89	0,93
55	50	1,07	1,16	1,31	1,50	1,62	1,75	1,90	2,07
	45	1,15	1,26	1,43	1,66	1,80	1,96	2,15	2,37
	40	1,25	1,37	1,59	1,86	2,03	2,24	2,48	2,78
	35	1,47	1,65	1,94	2,36	2,63	2,96	3,38	3,92

Tabulka je zpracována pro teplotní exponent $n=1,3$

příklad:

Do místnosti, která má vypočítané tepelné ztráty 800 W, chceme navrhnout otopné těleso Purmo, které bude pracovat za provozních podmínek, kde výpočtová teplota místnosti je 20 °C a soustava bude pracovat na teplotním spádu 90/70 °C. Pro parametry 90/70/20 °C odečteme z tabulky hodnotu koeficientu 0,80. Vypočítané tepelné ztráty (800 W)

vynásobíme přepočtovým koeficientem (0,80) a získáme přepočítaný tepelný výkon (640 W), na základě kterého vybereme otopné těleso za provozních podmínek 75/65/20. Znamená to, že navržené otopné těleso dosáhne tepelný výkon 800 W při provozních podmínkách 90/70/20 a při parametrech 75/65/20 bude mít tepelný výkon 640 W.

124

<https://www.purmo.com/cz/produkty/otopna-deskova-telesa/purmo-ventil-compact.htm#tab-ke-stazeni>

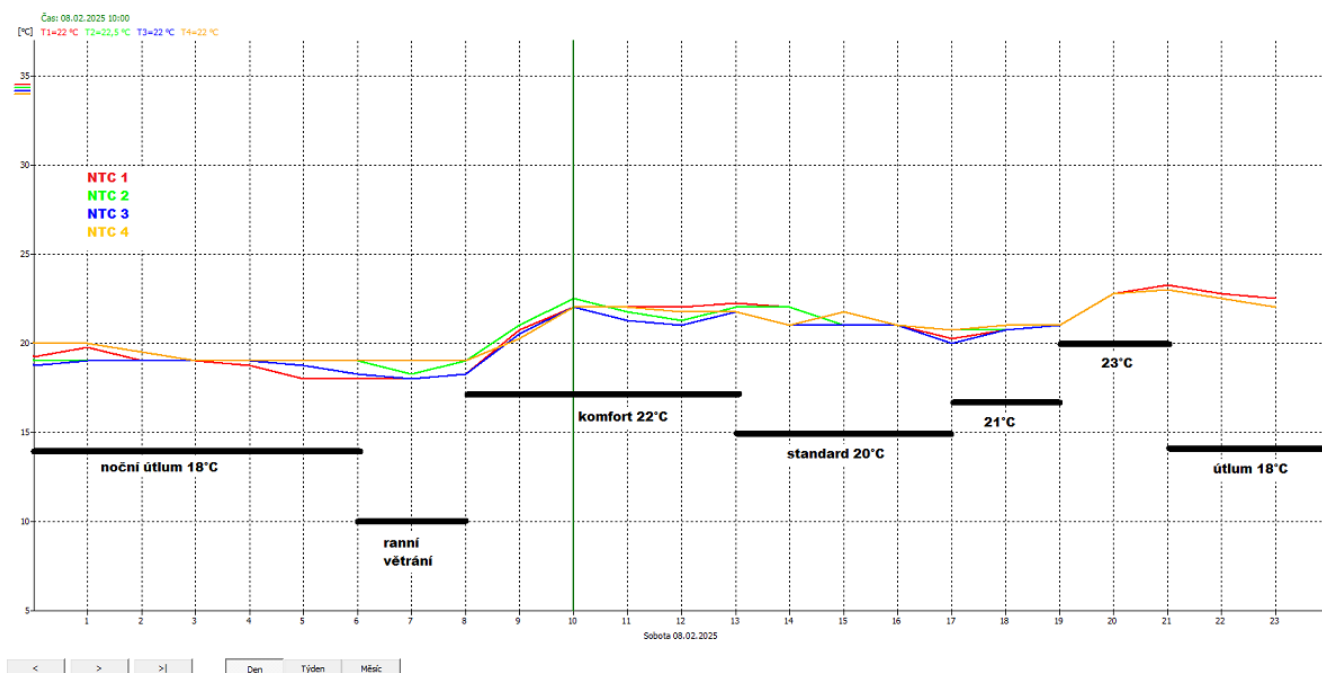
Zjištěná tepelná ztráta konstrukce prostupem cca 555 W bude pokryta výkonem topného tělesa cca 605 W při dostupném teplotním spádu 55/40 °C.

Tepelná ztráta větráním zůstává zanedbána, protože absence strojového větrání předurčuje místnost ke krátkodobému větrání otevřením okna.

Reálná situace 1

záznam průběhu teploty během dne

Zátop plynovým kotlem, dveře pokoje zavřeny. Uvedené hodnoty hodinových teplot jsou získávány aritmetickým průměrem ze čtyř po 15 minutách uložených hodnot za uplynulou hodinu. Uložená data průměrných teplot dále využívá regulační systém pro účely poměrového rozdělení topných nákladů mezi kontrolované teplotní zóny. Řízení výkonu radiátoru probíhá na základě údajů NTC 1 .

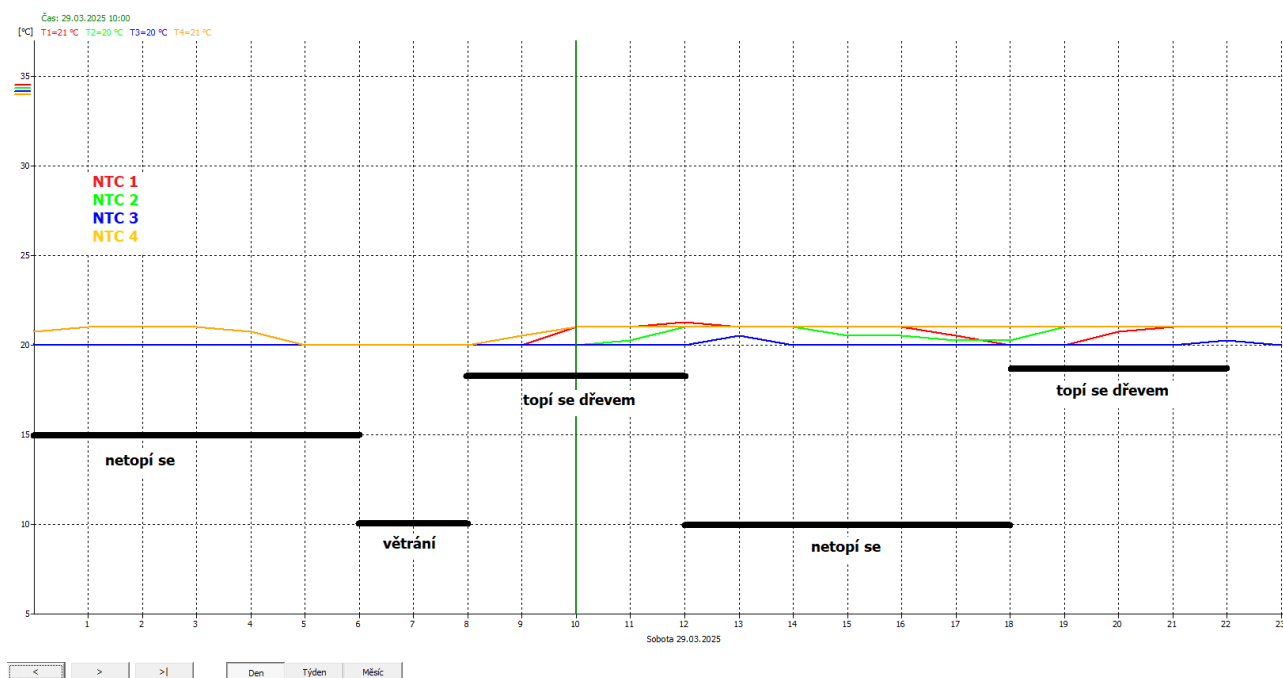


	Čas	NTC 1	NTC 2	NTC 3	NTC 4
8.2.2025	23:00	22.50	22.00	22.00	22.00
8.2.2025	22:00	22.75	22.50	22.50	22.50
8.2.2025	21:00	23.25	23.00	23.00	23.00
8.2.2025	20:00	22.75	22.75	22.75	22.75
8.2.2025	19:00	21.00	21.00	21.00	21.00
8.2.2025	18:00	20.75	20.75	20.75	21.00
8.2.2025	17:00	20.25	20.75	20.00	20.75
8.2.2025	16:00	21.00	21.00	21.00	21.00
8.2.2025	15:00	21.00	21.00	21.00	21.75
8.2.2025	14:00	22.00	22.00	21.00	21.00
8.2.2025	13:00	22.25	22.00	21.75	21.75
8.2.2025	12:00	22.00	21.25	21.00	21.75
8.2.2025	11:00	22.00	21.75	21.25	22.00
8.2.2025	10:00	22.00	22.50	22.00	22.00
8.2.2025	9:00	20.75	21.00	20.50	20.25
8.2.2025	8:00	18.25	19.00	18.25	19.00
8.2.2025	7:00	18.00	18.25	18.00	19.00
8.2.2025	6:00	18.00	19.00	18.25	19.00
8.2.2025	5:00	18.00	19.00	18.75	19.00
8.2.2025	4:00	18.75	19.00	19.00	19.00
8.2.2025	3:00	19.00	19.00	19.00	19.00
8.2.2025	2:00	19.00	19.00	19.00	19.50
8.2.2025	1:00	19.75	19.00	19.00	20.00
8.2.2025	0:00	19.25	19.00	18.75	20.00

Reálná situace 2

záznam průběhu teploty během dne

V této situaci se k vytápění využívá proudění vzduchu v rámci interieru objektu jako celku. Toto je aktivováno topícími kamny na kusové dřevo v obývacím pokoji o podlaží níže. Dveře do pokoje otevřeny.



	Čas	NTC 1	NTC 2	NTC 3	NTC 4
29.3.2025	23:00	21.00	21.00	20.00	21.00
29.3.2025	22:00	21.00	21.00	20.25	21.00
29.3.2025	21:00	21.00	21.00	20.00	21.00
29.3.2025	20:00	20.75	21.00	20.00	21.00
29.3.2025	19:00	20.00	21.00	20.00	21.00
29.3.2025	18:00	20.00	20.25	20.00	21.00
29.3.2025	17:00	20.50	20.25	20.00	21.00
29.3.2025	16:00	21.00	20.50	20.00	21.00
29.3.2025	15:00	21.00	20.50	20.00	21.00
29.3.2025	14:00	21.00	21.00	20.00	21.00
29.3.2025	13:00	21.00	21.00	20.50	21.00
29.3.2025	12:00	21.25	21.00	20.00	21.00
29.3.2025	11:00	21.00	20.25	20.00	21.00
29.3.2025	10:00	21.00	20.00	20.00	21.00
29.3.2025	9:00	20.00	20.00	20.00	20.50
29.3.2025	8:00	20.00	20.00	20.00	20.00
29.3.2025	7:00	20.00	20.00	20.00	20.00
29.3.2025	6:00	20.00	20.00	20.00	20.00
29.3.2025	5:00	20.00	20.00	20.00	20.00
29.3.2025	4:00	20.00	20.00	20.00	20.75
29.3.2025	3:00	20.00	20.00	20.00	21.00
29.3.2025	2:00	20.00	20.00	20.00	21.00
29.3.2025	1:00	20.00	20.00	20.00	21.00
29.3.2025	0:00	20.00	20.00	20.00	20.75

Vyhodnocení

Měření jsem prováděl za přibližně shodných venkovních teplot, které různá měření nezatížily viditelnou chybou . Grafy zaznamenávají mírné odlišnosti stoupající i klesající teploty na jednotlivých senzorech. Jsou měřitelné a rozhodně nejsou způsobeny odchylkou zaměnitelnosti jednotlivých kusů senzorů. Na strmosti, resp. času reakce lze sledovat, jak rychle teplota vzduchu reaguje dle umístění a intenzity zdroje tepla. Vždy však všechny senzory zareagují shodnou tendencí.

Dobře patrná je opožděná reakce **NTC 4** v situaci, kdy je zdrojem tepla na protější stěně umístěný radiátor (řízený proporcionální hlavicí HS s integrovaným **NTC 1**) a naopak jeho prvotní reakce na teplo přicházející ode dveří z chodby (topí se dřevem v obývacím pokoji v přízemí).

Zřetelná je i opoždějící se reakce **NTC 3** , způsobená zvětšenou tepelnou kapacitou v důsledku použití ochranného pouzdra. Chování **NTC 2** se mi jeví jako nejrychlejší a nejpresnější jak z pohledu regulace tak i z pohledu dosažené subjektivní tepelné pohody v místnosti.

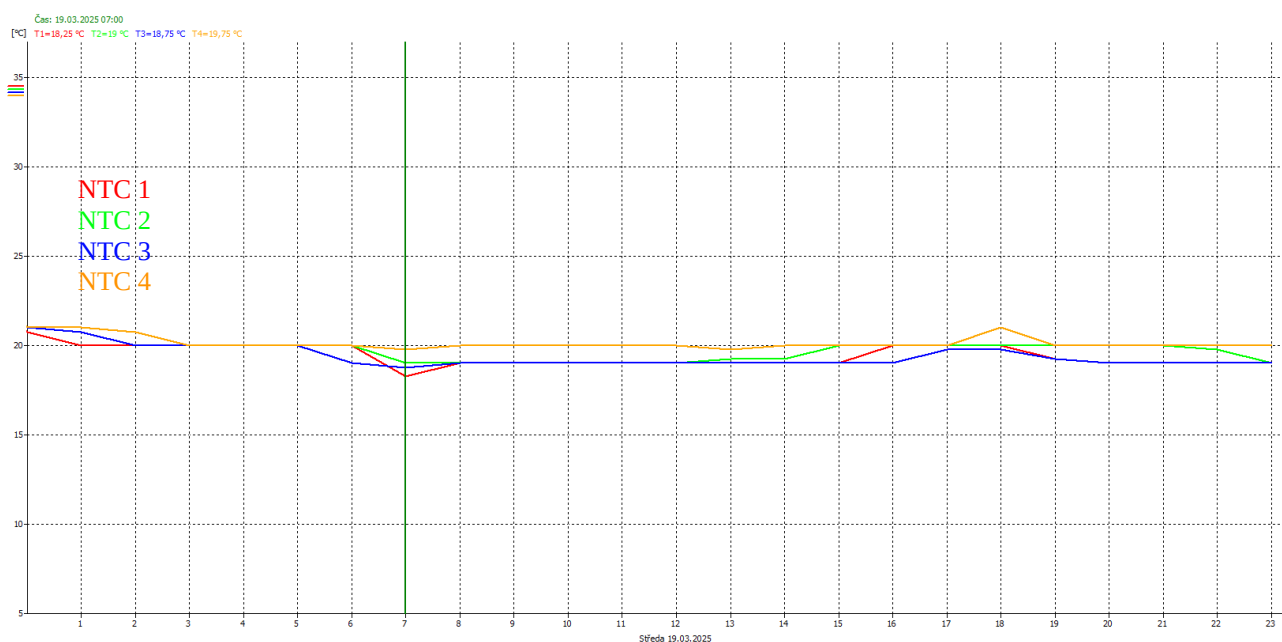
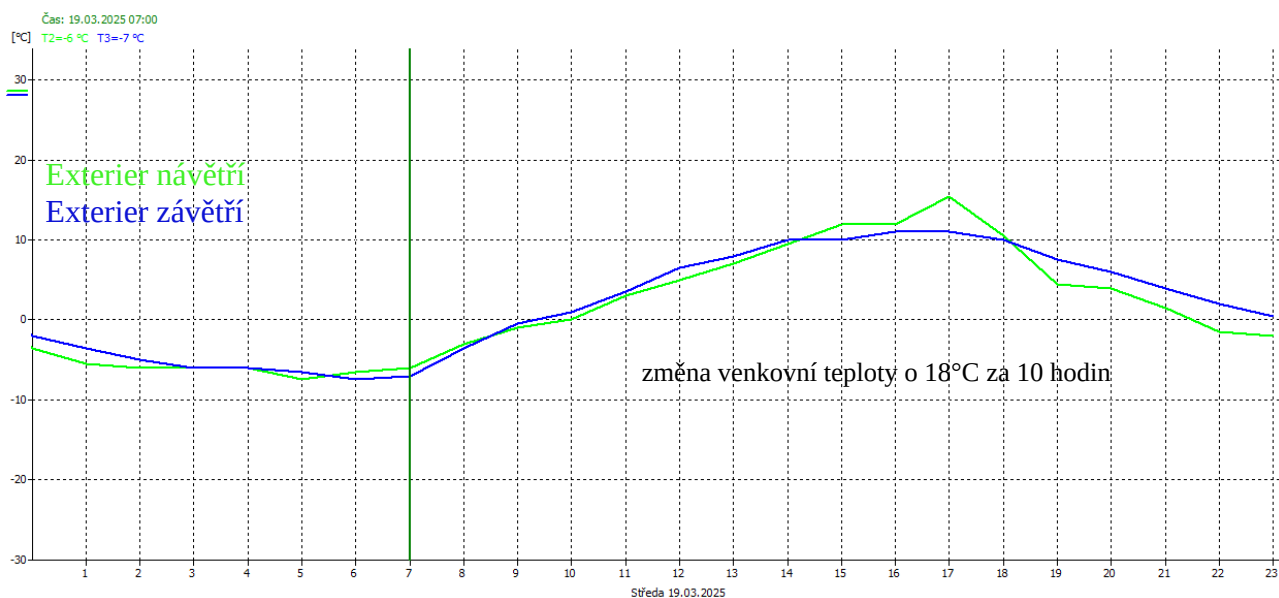
Velmi uspokojivý je však i přes častou obavu pozorovatelů průběh hodnot **NTC 1** pod krytem regulační hlavice. Zde se jednoznačně jedná o nejpraktičtější umístění z pohledu jednoduchosti montáže a funkční spolehlivosti.

Ukazuje se, že pokud je zabezpečeno plynulé proudění vzduchu zónou umístění radiátoru, je rozdíl ve snímání **NTC 1** pod krytem HS a **NTC 2** umístěného volně v proudu vzduchu nepatrný, zanedbatelný. Situace se dramaticky mění, když je proudění narušeno např. na radiátor a hlavici odloženými svršky. Pak se do výhody dostává umístění **NTC 2** , okolo kterého vzduch vždy „nějak“ proteče. Snímání v hlavici je v těchto situacích nevěrohodné - „zadušené“ . Těžko pak dosáhnout předvolené tepelné pohody, resp. teploty v místnosti.

Tepelná pohoda je vědecky popsaná a definovaná hodnota, leč v běžném životě je v širším rozsahu obtížně dosažitelná především kvůli subjektivnímu faktoru, kterým je člověk (rozmanitost lidí). I z tohoto důvodu je výhodné používat automatickou zónovou regulaci, nelépe společně s elastickým zdrojem tepelné energie. Toto umožní různě natápět jednotlivé místnosti s přijatelnou dynamikou.

Můžeme pak mluvit o zohlednění subjektivního vjemu uživatele = možnost nalezení takové hodnoty volitelného parametru technického zařízení, který se nejvíce blíží individuálním pocitům tepelné pohody a ekonomickým možnostem.

Pro zajímavost dávám k nahlédnutí porovnání průběhu
vnitřní teploty v pokoji a razantní teplotní změny exteriéru:



Závěr

Provedené měření v daných podmínkách ukázalo, jaký vliv má na měření teploty vzduchu v místnosti pozice teplotního senzoru.

Necht' si čtenář udělá závěr dle vlastních zkušeností.

Zvolena byla místa běžně dostupná a dosažitelná v každém interieru. Zajímavé by bylo porovnat naměřené hodnoty s hodnotami teploty měřené černou koulí v doporučeném umístění. Získání a využití této informace není pro posuzování dané situace nezbytné.

Měření dle mého názoru prokázalo, že důležitější než pozice teplotního senzoru je zajištění proudění okolo senzoru. Samotné měření teploty a regulace topného výkonu do nastavené hodnoty však není zárukou dosažení tepelné pohody. Nahlížejme na informace od teplotního čidla jako na referenční místo měření, které sleduje tendence průběhu teploty a od kterého se odvíjí následná regulace topení do nastavené hodnoty - příjemné teploty pro pobyt v místnosti.

Vytápění je dynamický děj ovlivněný mnoha neustále se měnícími faktory, z nichž nejsnáze řiditelným je tepelný výkon lokálního topidla.

Je užitečné efektivně regulovat teplotu v místnostech (teplotních zónách) nezávisle na sobě. Přínos je nejenom ve zvýšení místního tepelného komfortu, ale i ve snížení nákladů na spotřebovanou energii.