



*Instytut Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza  
Wydział Inżynierii Środowiska  
Politechnika Wroclawska*

# WENTYLACJA I KLIMATYZACJA

## Przemiany na wykresach i-x

### Moc chłodnicy



Wrocław, 2020 r.

# Wprowadzenie

Aby określić **moc chłodnicy** należy wykreślić przemiany powietrza na wykresach i-x Molliera.

Maksymalne zapotrzebowanie mocy do **chłodzenia powietrza** w okresie ciepłym może wystąpić w warunkach obliczeniowych okresu ciepłego tzn. wtedy, gdy wartość bilansu zbędnego ciepła jawnego jest największa, lub gdy temperatura powietrza zewnętrznego jest największa (w Polsce w lipcu i sierpniu o godz. 15.00 czasu słonecznego).

Moc chłodnicy mokrej (gdy temperatura ścianki chłodnicy < temperatura punktu rosy) zależy od strumienia powietrza wentylującego oraz różnicy entalpii powietrza przed i za chłodnicą:

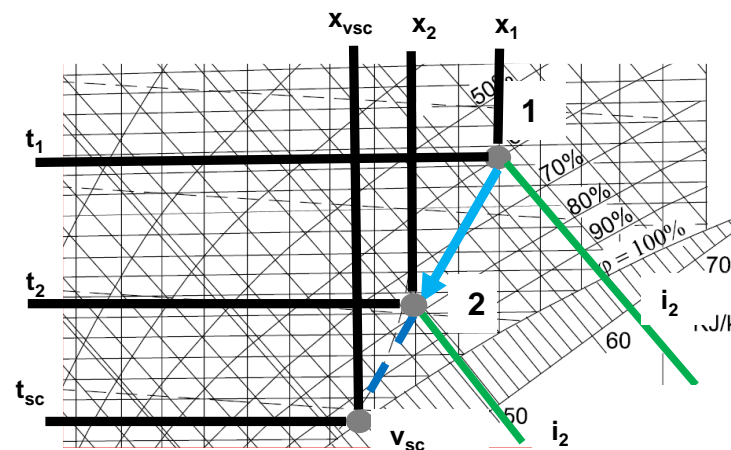
$$Q_{CH} = V \cdot \rho \cdot (i_1 - i_2)$$

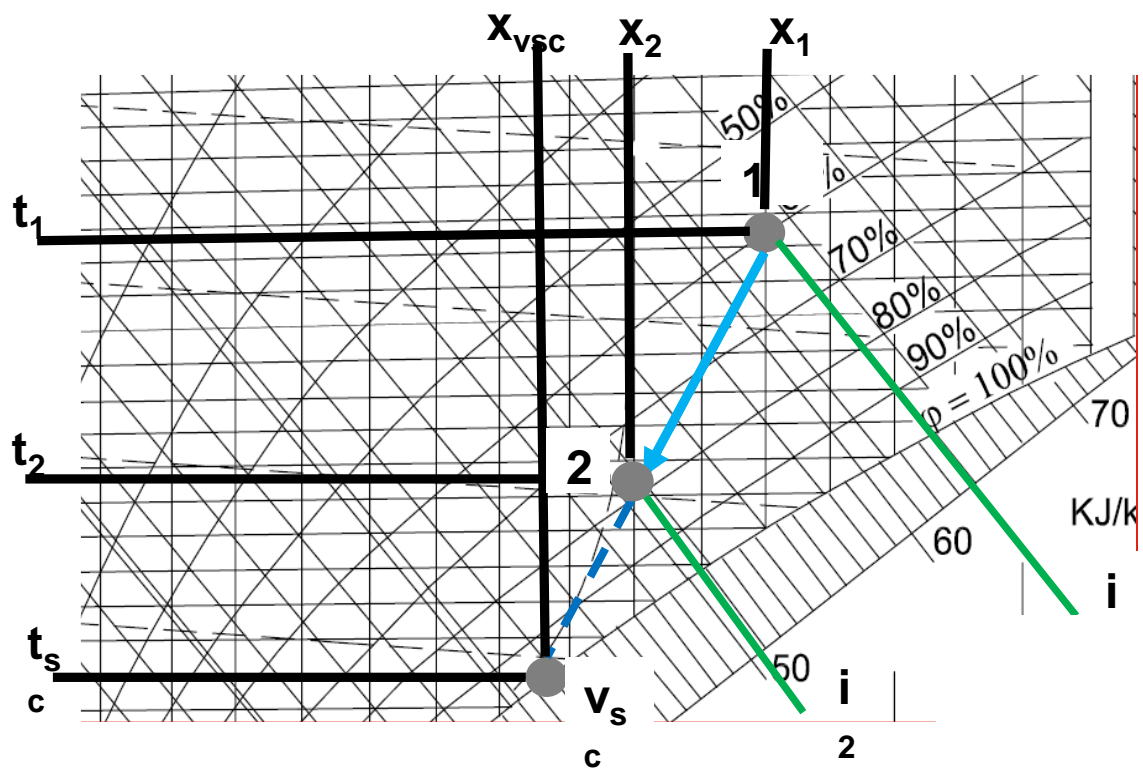
gdzie:

$V$  – strumień powietrza wentylującego,  $m^3/s$ ,

$i_1$  – entalpia właściwa powietrza przed chłodnicą,  $kJ/kg$ ,

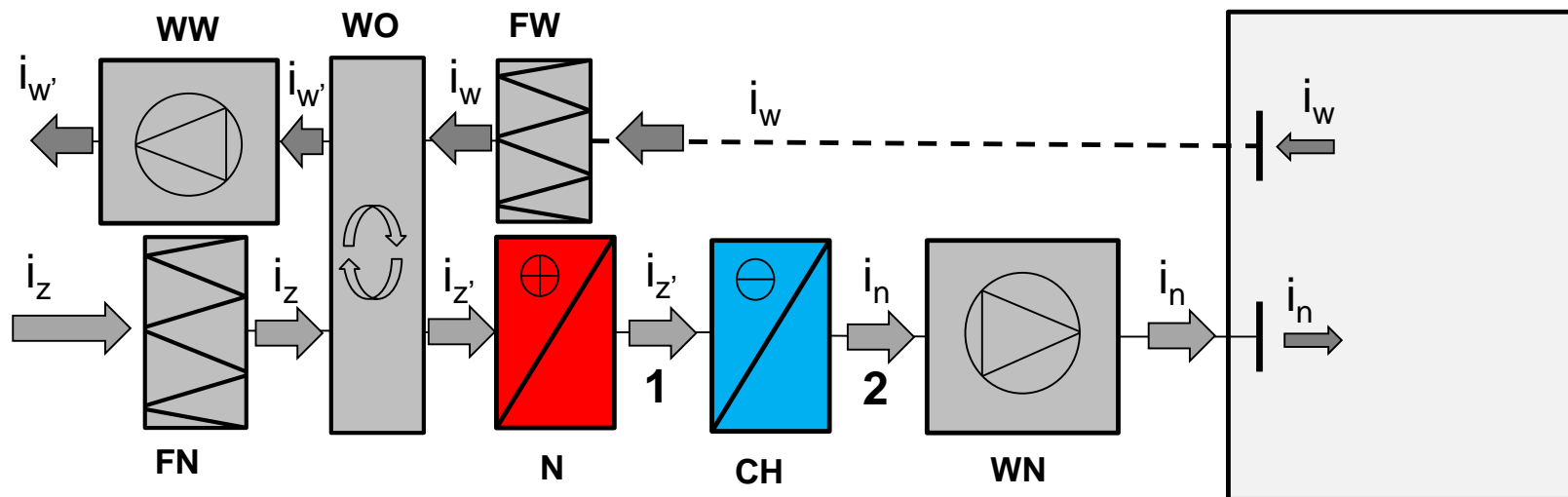
$i_2$  – entalpia właściwa powietrza za chłodnicą,  $kJ/kg$ .





## Moc chłodnicy

Analizując pracę układu widać, że w tym przypadku moc chłodnicy oblicza się z uwzględnieniem entalpii właściwej powietrza nawiewanego ( $i_n$ ) i za wymiennikiem do odzysku ciepła ( $i_z$ );



$$Q_{CH} = V \cdot \rho \cdot (i_{z'(oc)} - i_{n(oc)})$$

## Temperatura powietrza nawiewanego

Temperatura powietrza nawiewanego w okresie ciepłym ( $t_{n(oc)}$ ) zależy od bilansu ciepła jawnego w okresie ciepłym ( $Q_{zbj(oc)}$ ), od strumienia powietrza wentylującego ( $V$ ) oraz od temperatury powietrza w pomieszczeniu ( $t_{p(oc)}$ ):

$$t_{n(oc)} = t_{p(oc)} - \frac{Q_{zbj(oc)}}{\rho \cdot c_p \cdot V}$$

gdzie:

$Q_{zbj(oc)}$  – bilans ciepła zbędnego jawnego, w czasie gdy panuje maksymalna temperatura powietrza zewnętrznego lub gdy wystąpiły maksymalne zyski ciepła, kW,

$V$  – strumień powietrza wentylującego obliczony dla maksymalnych zysków ciepła w pomieszczeniu, m<sup>3</sup>/s,

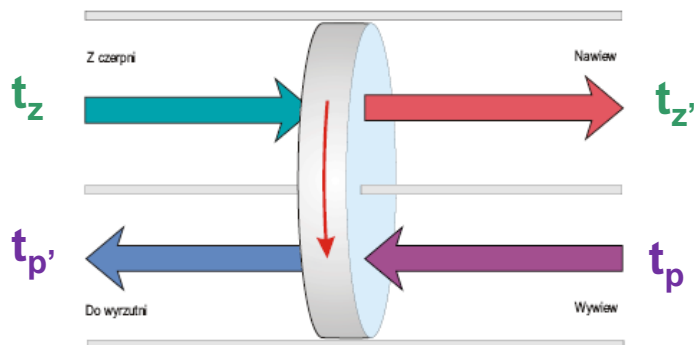
$t_{p(oc)}$  – temperatura powietrza w pomieszczeniu przy maksymalnej temperaturze zewnętrznej lub przy maksymalnych zyskach ciepła, °C.

# Temperatura powietrza za wymiennikiem

Temperatura powietrza za wymiennikiem do odzysku ciepła ( $t_{z'(oc)}$ ) zależy od sprawności temperaturowej wymiennika ( $\eta_t$ ) oraz od temperatury powietrza zewnętrznego ( $t_{z(oc)}$ ) i w pomieszczeniu ( $t_{p(oc)}$ ).

$$t_{z'(oc)} = t_{z(oc)} + \eta_t \cdot (t_{p(oc)} - t_{z(oc)})$$

Sprawność temperaturowa średnioroczna,  
np. dla wymiennika obrotowego 0,75,  
krzyżowego 0,6  
(wartości określa producent)



$$\eta_t = \frac{t_{z'(oc)} - t_{z(oc)}}{t_{p(oc)} - t_{z(oc)}}$$



# Temperatura ścianki chłodnicy

Temperatura **ścianki chłodnicy**  $\vartheta_{śc}$  zależy od rodzaju chłodnicy i medium znajdującego się wewnątrz rurociągów.

## CHŁODNICA POWIETRZA

WODNA

FREONOWA



Chłodnica wodna

Czynnik: woda, wodny r-r glikolu propylenowego/etylenowego

Parametry pracy np.: 3/8, 5/10, 7/12, 8/13, 9/14, 10/15 °C

Temp. ścianki: o 1K wyższa od temp. powrotu czynnika



Chłodnica freonowa

Czynnik: f-gaz R410A, R407C, R134a

Temp. odparowania np.: 4, 5, 6, 7 °C

Temp. ścianki: o 3K wyższa od temp. odpar.

## Dane z bilansów - do wykresów i-x - przykład

Przykładowe parametry dla określenia mocy chłodnicy i nagrzewnicy dla II strefy klimatycznej w okresie zimowym i letnim.

Warunki	max. temp.	max. zyski	min. temp.
Czas	Lipiec 15:00	Wrzesień 9:00	Zima
$Q_{zbc}$	4,0 kW	5,5 kW	-0,8 kW
$t_z$	30,0°C	21,0°C	-18,0°C
$t_z'$	27,0°C	nieopłacalny	12,0°C
$t_p$	26,0°C	22,0°C	22,0°C
$t_n$	21,5°C	16,0°C	23,0°C
$\Delta t$	4,5°C	6,0°C	-1,0°C
$Q_{zbc}$	8,0 kW	9,5 kW	-0,2 kW
$\varepsilon$	5000 kJ/kg	5900 kJ/kg	-3300 kJ/kg



# Współczynnik kątowy przemiany w pomieszczeniu

**Współczynnik kierunkowy** zmiany stanu powietrza w pomieszczeniu  $\varepsilon$  zależy od bilansu ciepła **całkowitego** ( $Q_{zbc}$ ) oraz od bilansu wilgoci w pomieszczeniu ( $W$ ):

$$\varepsilon_{(oc)} = \frac{Q_{zbc(oc)}}{W_{(oc)}}$$

gdzie:

$Q_{zbc(oc)}$  – bilans ciepła zbędnego całkowitego dla warunków obliczeniowych, kW,

$W_{(oc)}$  – zyski wilgoci (emisja pary wodnej) w warunkach obliczeniowych, kg/s.

$$Q_{zbc(oc)} = Q_{pn} + Q_{pp} + Q_{ośw} + Q_{Lc} + Q_{Tc}$$



$$Q_{Lc} = q_c \cdot n$$

$$W_{(oc)} = W_L + W_T$$



$$W_L = w \cdot n$$

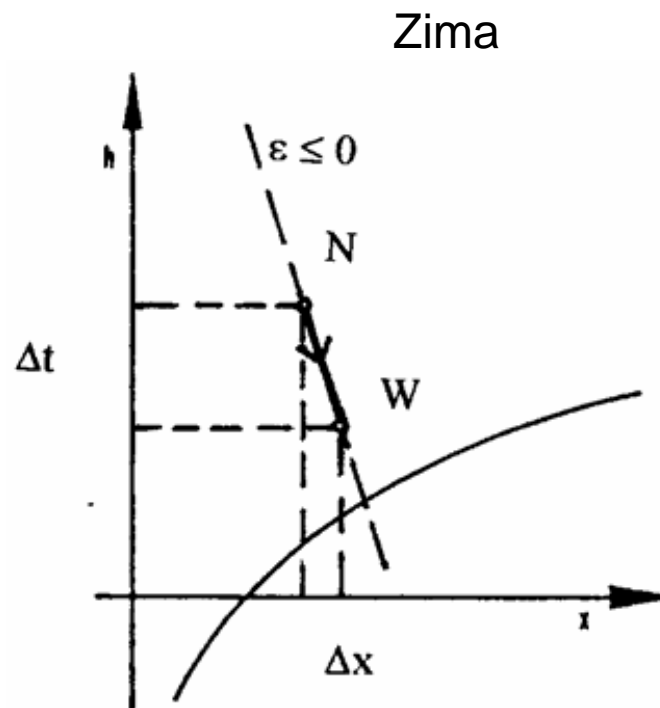
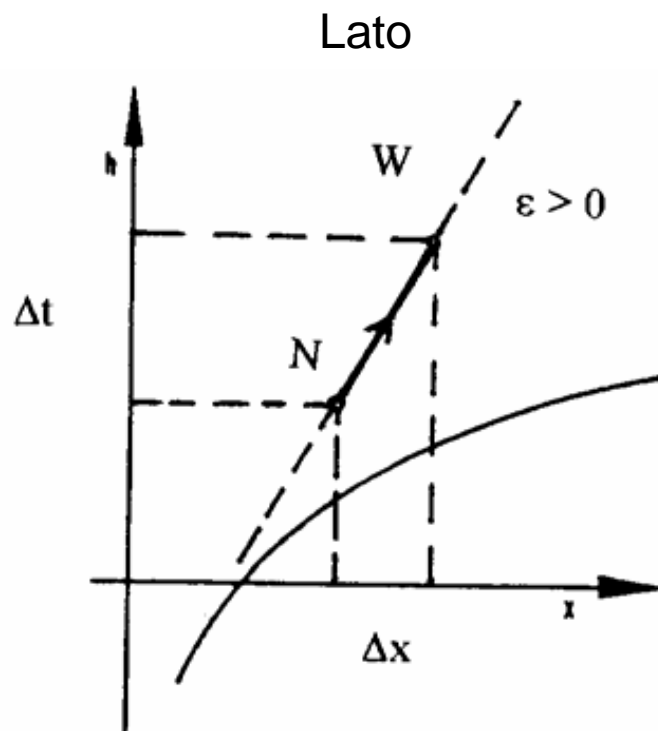
# Zyski ciepła całkowitego i wilgoć od ludzi

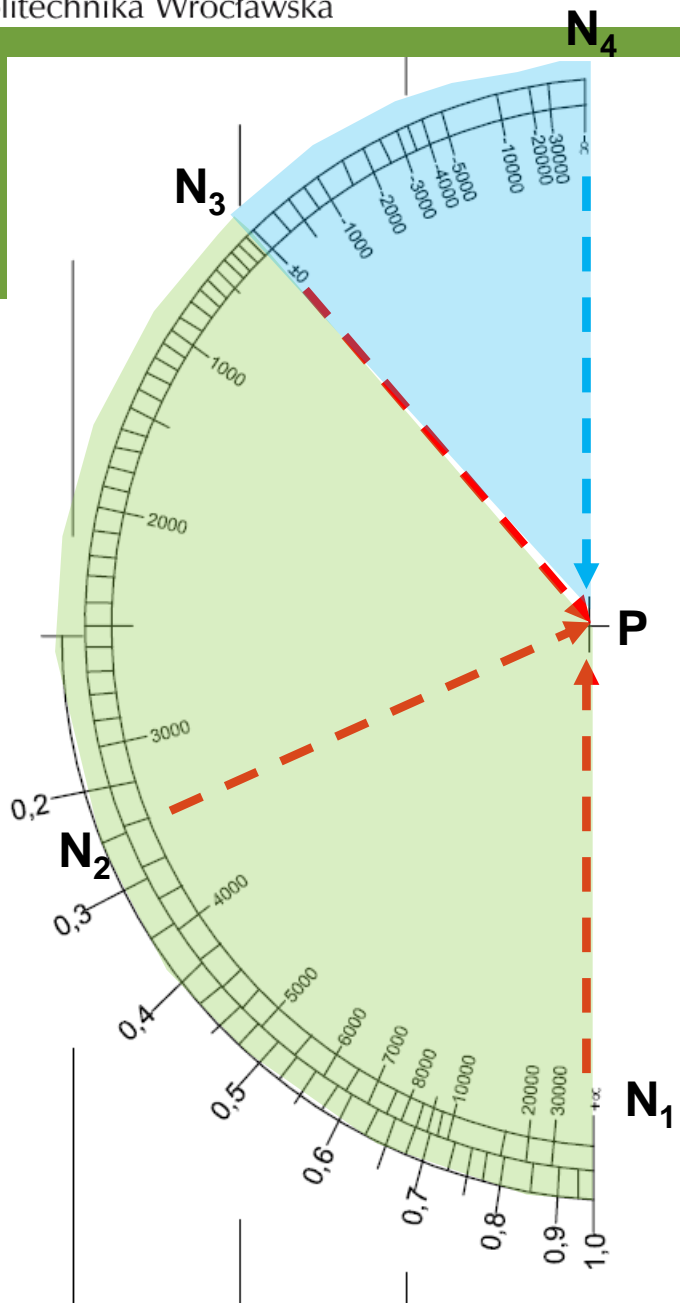
Zyski ciepła całkowitego  $q_c$ , W oraz ciepła jawnego  $q_j$ , W i wilgoci  $w$ ,  $10^{-6}\text{kg/s}$  w zależności od aktywności ludzi i od temperatury powietrza.

Temperatura	°C	18		20		22		24		26		28		30		32		34	
Aktywność	$q_c$	$q_j$	w	$q_j$	w	$q_j$	w	$q_j$	w	$q_j$	w	$q_j$	w	$q_j$	w	$q_j$	w	$q_j$	w
odpoczynek w pozycji siedzącej, np. widz w teatrze, uczeń w szkole	113	91	8,61	85	10,83	78	13,77	70	16,67	63	19,52	52	23,94	40	28,34	29	32,75	12	39,35
odpoczynek stojąc	127	99	10,96	91	14,08	83	17,20	75	20,45	66	23,82	53	29,01	39	34,19	26	39,37	13	44,55
praca lekka siedząc; aktywność mała; np. urzędnik, szwaczka, zegarmistrz	144	107	14,48	96	18,77	86	22,67	76	26,57	66	30,46	53	35,64	39	40,83	26	46,00	13	51,17
praca lekka stojąc; aktywność mała np. sprzedawca, ślusarz, spawacz	174	115	23,09	101	28,55	88	33,75	76	38,29	66	42,17	53	47,35	39	52,53	26	57,69	13	62,86
praca lekka stojąc; aktywność duża np. pracownik domu handlowego, wykładowca, pracownik w hotelu, aktor	193	120	28,57	108	33,25	93	39,22	79	44,67	66	49,59	53	54,77	39	59,94	26	65,10	13	70,26
praca średniociężka np. kowal, tokarz, tkaczka, farmaceuta, kelner w kawiarni,	251	145	41,48	130	47,33	111	54,86	94	61,21	81	66,38	64	73,01	48	79,02	34	84,44	20	89,84
praca ciężka np. tragarz, ładowacz, taniec, aerobik	293	158	52,83	141	59,45	122	66,98	106	72,93	95	77,32	78	83,78	62	90,23	45	96,68	28	102,1
praca b. ciężka np. górnik, szybki taniec, trening siłowy	407	203	79,84	180	88,79	161	96,30	145	102,2	134	106,6	113	114,9	91	123,1	70	131,3	49	139,6

## Współczynnik przemiany powietrza w pomieszczeniu

Dla lata  $\epsilon_{(oc)}$  jest większe od zera i przeważnie osiąga wartości ponad 3000 kJ/kg, natomiast dla zimy  $\epsilon_{(oz)}$  może być również mniejsze od zera.





Przykładowy wygląd wykresu dla

wykreślenia współczynnik

kierunkowego przemiany

powietrza w pomieszczeniu ( $\varepsilon$ ).

Kolor zielony:  $\varepsilon = < 0; +\infty$

Kolor niebieski:  $\varepsilon = (-\infty, 0)$

Czerne linie przerywane:

przykładowe kierunki przemiany

powietrza w pomieszczeniu:

$$\varepsilon_1 = +\infty;$$

$$\varepsilon_2 \cong 3500;$$

$$\varepsilon_3 = 0;$$

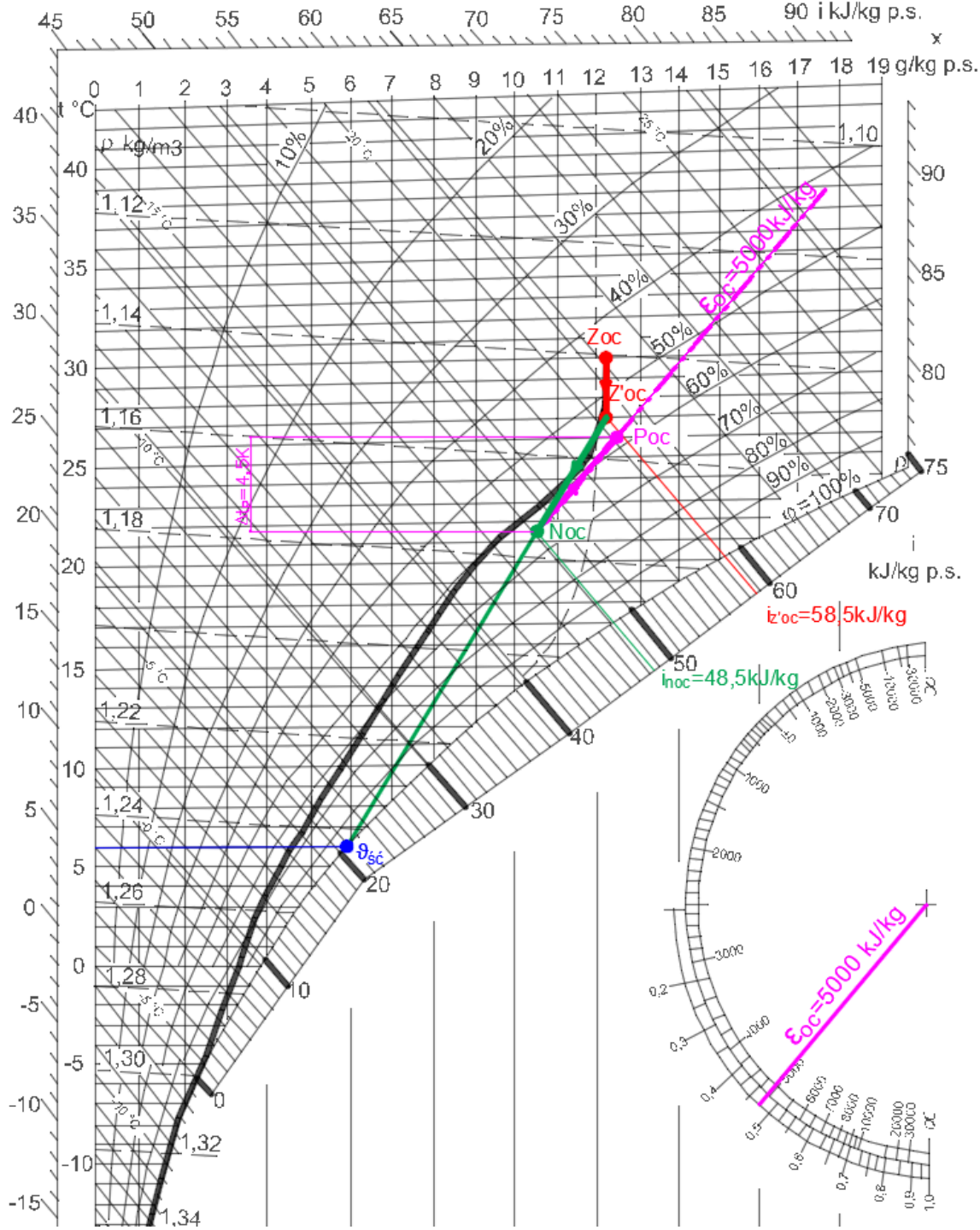
$$\varepsilon_4 = -\infty;$$



# Max $t_{z(oc)}$

Wykres przemiany parametrów powietrza w okresie ciepłym dla maksymalnej temperatury powietrza zewnętrznego.

Warunki	max. temp.
Czas	Lipiec 15:00
$Q_{zbj}$	4,0 kW
$t_z$	30,0°C
$t_{z'}$	27,0°C
$t_p$	26,0°C
$t_n$	21,5°C
$\Delta t$	4,5°C
$Q_{zbc}$	8,0 kW
$\epsilon$	5000 kJ/kg



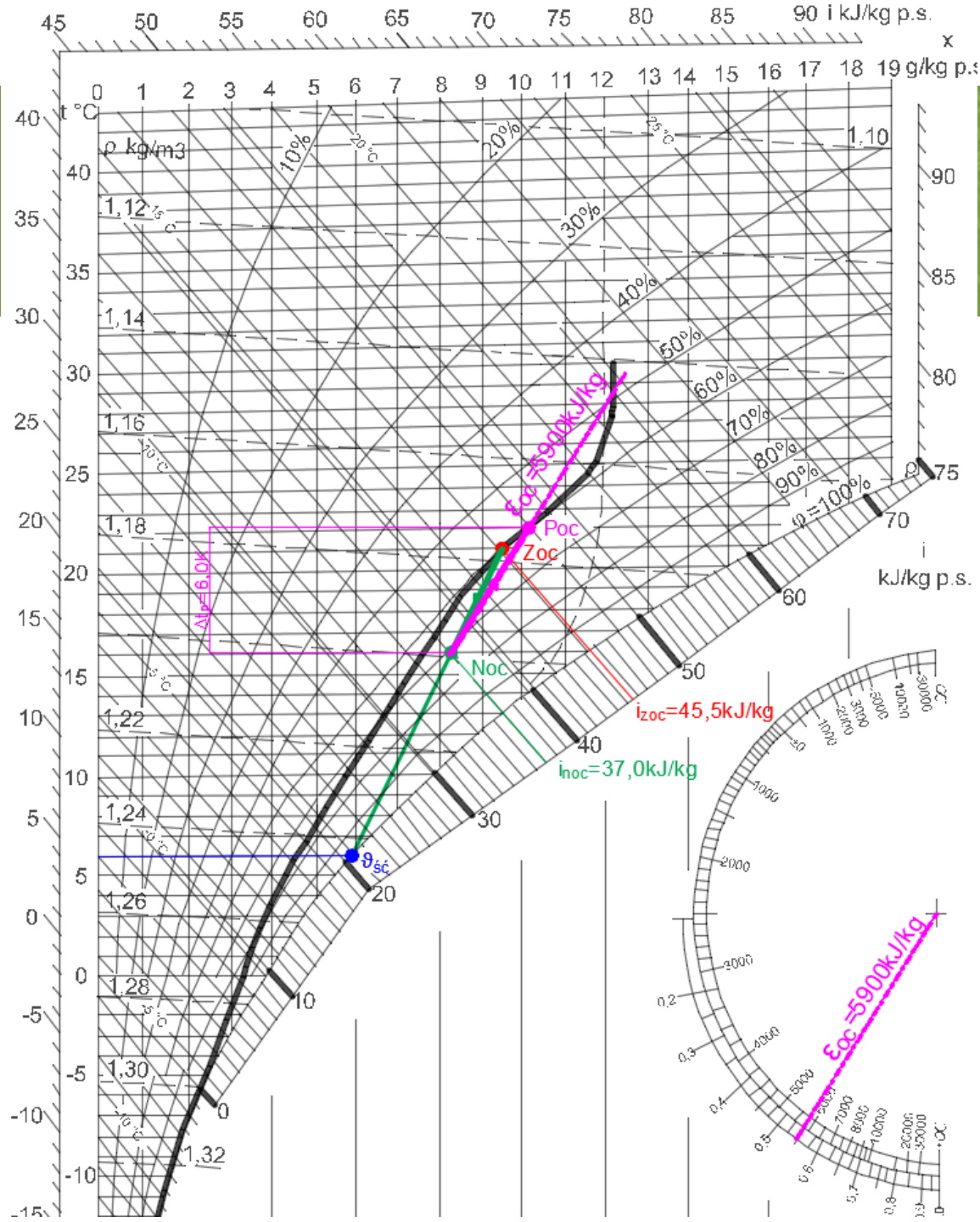




# Max $Q_{zbi}(oc)$

Wykres przemiany parametrów powietrza w okresie ciepłym dla maksymalnej wartości bilansu cieplnego.

Warunki	max. zyski
Czas	Wrzesień 9:00
$Q_{zbi}$	5,5 kW
$t_z$	21,0°C
$t_{z'}$	nieopłacalny
$t_p$	22,0°C
$t_n$	16,0°C
$\Delta t$	6,0°C
$Q_{zbc}$	9,5 kW
$\epsilon$	5900 kJ/kg

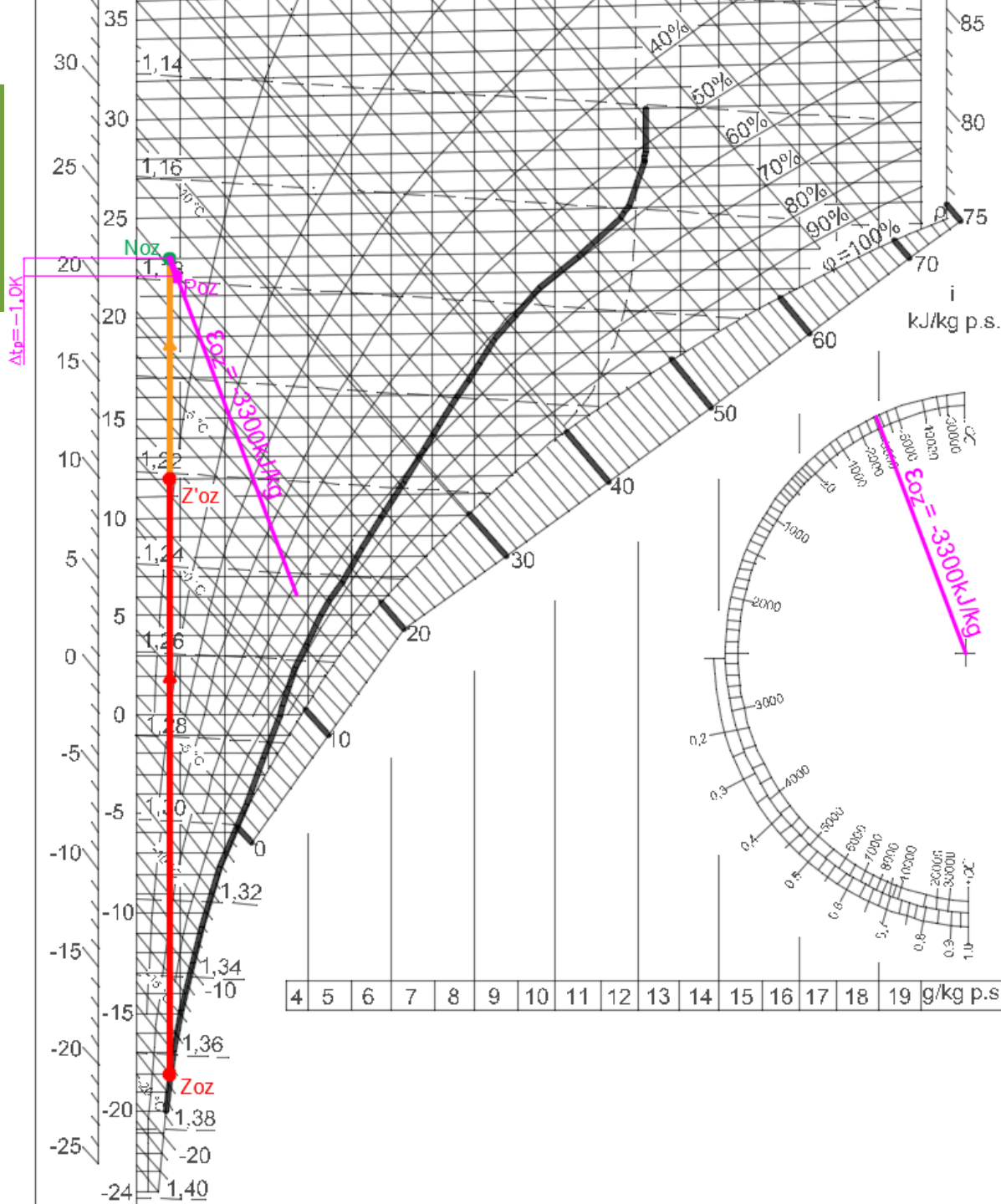




# Min $t_{z(oz)}$

Wykres przemiany parametrów powietrza w okresie zimowym dla minimalnej wartości bilansu cieplnego.

Warunki	min. temp.
Czas	Zima
$Q_{zbj}$	-0,8 kW
$t_z$	-18,0°C
$t_{z'}$	12,0°C
$t_p$	22,0°C
$t_n$	23,0°C
$\Delta t$	-1,0°C
$Q_{zbc}$	-0,2 kW
$\epsilon$	-3300 kJ/kg







# Krzywa klimatyczna

Temperatury i wilgotności względne powietrza zewnętrznego do wykreślenia krzywej klimatycznej (roku reprezentatywnego) na wykresie i-x dla wybranych miejscowości Polski.

Temperatura	BIALYSTOK	CHOJNICE	ELBLĄG	HEL	JELBIA GÓRA	KATOWICE	KIELCE	KOSZALIN	KRAKÓW	LEGNICA	LUBLIN	ŁĘBA	ŁÓDŹ	OLSZTYN	MŁAWA	POZNAŃ	RZESZÓW	SUWAŁKI	SZCZECIN	ŚWINDOUJŚCIE	WARSZAWA	WROCŁAW	ZAKOPANE	ZIELONA GÓRA
-26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66	-	-	-	-	-	-
-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	-	-	-	-	-	-
-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	-	-	-	-	-	-
-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	-	-	-	-	-	-
-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71	-	-	-	-	-	-
-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96	-	-	-	-	-	-
-20	-	-	-	-	-	83	83	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	91	-	-	-	-	-	-
-19	-	-	-	-	-	83	82	77	88	88	88	88	88	88	88	88	88	87	-	-	-	80	80	-
-18	68	-	-	-	91	83	77	-	78	86	87	-	-	-	-	-	89	84	-	-	-	79	-	-
-17	81	-	86	-	89	85	73	90	82	88	86	-	-	88	-	-	87	82	-	-	-	80	81	-
-16	85	78	86	-	89	83	67	91	83	89	86	-	-	86	-	86	89	80	-	-	-	82	81	-
-15	87	78	90	-	90	82	68	92	85	85	87	-	-	86	-	84	87	85	-	-	-	85	84	-
-14	86	80	86	-	88	83	66	89	83	85	86	90	-	85	-	87	88	86	92	-	-	87	83	-
-13	84	78	88	-	88	84	78	90	86	85	87	89	89	85	-	87	86	83	-	-	-	88	82	-
-12	86	78	86	-	87	84	78	92	84	82	85	90	88	82	89	85	85	86	89	-	77	88	83	84
-11	83	77	85	-	88	84	85	92	84	81	86	89	83	79	82	89	83	89	93	-	76	84	85	86
-10	81	79	88	-	88	86	87	91	83	84	86	89	83	83	83	89	81	89	90	-	76	86	84	85
-9	84	81	89	-	87	87	85	92	83	83	86	84	81	85	84	85	82	88	88	92	77	86	80	84
-8	85	83	88	92	86	86	85	86	83	82	83	87	76	83	82	84	83	88	85	91	79	86	83	85
-7	86	82	87	88	85	84	85	83	84	77	83	84	78	84	85	84	83	89	83	89	78	85	85	87
-6	84	87	88	84	86	86	83	86	83	80	84	84	81	83	85	83	82	89	84	87	82	83	84	86
-5	83	85	39	83	87	87	81	87	87	81	84	83	84	87	76	87	81	81	86	34	86	84	84	84
-4	81	89	84	85	84	85	83	86	86	85	87	82	85	86	89	85	82	87	87	88	81	83	84	83
-3	83	89	84	85	85	85	83	84	87	87	86	84	88	87	89	85	83	88	86	90	81	86	82	84
-2	85	88	86	87	86	84	86	83	87	85	86	87	89	88	89	87	86	88	89	88	84	89	84	86
-1	86	89	85	86	86	85	86	86	88	85	88	87	89	88	90	88	86	88	88	88	85	89	86	89
0	89	91	87	87	89	87	89	87	88	88	90	87	91	91	91	88	87	91	91	90	89	88	86	91
1	90	91	88	89	87	86	89	86	87	89	89	90	90	92	90	86	86	90	90	90	88	88	82	87
2	87	90	86	89	86	84	87	83	83	89	85	87	88	89	89	85	84	89	89	87	88	87	82	86
3	83	88	85	89	83	83	85	83	82	86	85	85	87	86	87	84	82	88	88	85	85	85	81	84
4	85	87	84	87	81	83	86	83	82	85	85	87	85	85	85	84	83	88	85	86	83	84	80	83
5	84	86	82	87	81	81	88	86	82	83	86	85	84	84	84	83	82	86	85	88	83	84	80	81
6	84	84	82	86	81	80	86	86	81	82	86	86	84	84	83	82	83	86	85	89	84	82	81	81
7	87	81	80	87	82	81	86	86	82	82	88	84	79	84	80	81	84	87	83	87	83	82	81	77
8	85	82	81	88	84	79	87	84	78	83	88	83	80	84	84	79	85	86	81	86	83	81	83	82
9	87	82	79	88	83	78	86	86	82	82	88	81	84	83	87	81	85	87	82	85	84	80	82	79
10	87	83	81	89	83	79	86	85	82	82	88	83	82	84	86	79	84	87	80	85	84	81	83	78
11	86	84	84	86	81	79	84	83	83	81	87	83	81	83	84	79	85	86	81	85	82	80	82	79
12	84	83	83	84	79	80	83	81	82	80	84	81	83	82	83	80	85	86	81	86	79	81	79	75
13	83	83	81	87	79	78	80	81	82	79	84	84	81	80	80	78	84	83	83	86	79	79	75	76
14	82	78	80	83	75	76	78	82	80	79	82	84	79	78	77	78	81	81	80	86	77	78	72	74
15	78	78	78	84	76	77	76	82	80	77	80	82	75	76	74	78	79	78	79	83	77	75	69	74
16	72	73	74	83	73	75	71	78	76	74	75	81	73	75	71	75	78	74	77	82	76	74	68	73
17	71	74	73	83	72	73	70	76	75	72	71	81	70	77	69	72	76	72	73	79	73	70	68	70
18	65	71	70	81	67	69	70	72	71	69	68	80	69	72	68	69	72	69	70	77	72	70	63	65
19	64	67	67	76	63	68	65	67	67	68	64	78	67	69	66	67	69	65	69	73	70	64	61	62
20	61	63	64	75	61	62	64	65	63	62	63	73	64	65	65	61	66	62	66	70	66	65	57	59
21	57	60	62	71	59	62	60	62	64	61	59	71	59	64	60	58	64	59	62	69	66	59	57	56
22	54	60	59	70	56	57	57	58	59	58	58	66	57	58	57	56	60	53	61	69	60	56	55	56
23	52	60	58	67	53	55	55	55	57	55	57	61	51	56	55	52	57	50	59	67	59	56	54	54
24	51	53	58	67	51	55	54	49	55	54	56	53	51	51	54	51	56	51	58	55	55	52	56	52
25	50	51	52	61	49	55	52	53	54	50	54	57	51	48	56	51	54	49	57	55	54	52	52	50
26	50	48	49	57	45	51	50	48	51	51	53	52	48	47	56	50	50	51	52	48	51	50	56	49
27	53	47	44	-	41	52	48	43	52	51	53	50	47	44	56	47	47	47	49	48	53	44	50	45
28	46	48	47	-	41	51	50	39	51	46	52	53	45	45	51	46	46	48	47	50	47	44	-	44
29	45	48	46	-	42	46	48	-	46	47	47	57	43	43	52	44	46	50	47	-	42	43	-	43
30	44	48	-	-	43	45	46	-	45	43	53	54	44	50	49	44	43	50	52	50	44	43	-	41
31	44	47	-	-	38	40	45	-	42	44	-	50	43	46	45	37	44	47	-	47	40	36	-	48
32	-	-	-	-	-	-	42	-	40	41	-	-	38	-	43	37	-	51	-	-	35	-	-	46
33	-	-	-	-	-	-	-	-	39	37	-	-	39	-	38	34	-	51	-	-	33	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	-	-	36	-	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	28	-	-	-	-	-	-	-	-

Wg norm archiwalnych:

Pora roku	Temperatura obliczeniowa [°C]	Wilgotność względna [%]	Uwagi
Zima	-18	100	PN-82/B-02403
Lato	+30	45	PN-76/B-03420



Dziękuję za uwagę