

## WILGOĆ W ZAMKNIĘTYCH PRZESTRZENIACH TRANSPORTU ZRĘBKÓW LEŚNYCH

### MOISTURE IN CLOSED SPACE OF WOOD CHIPS TRANSPORT

**Słowa kluczowe:** wykraplanie pary wodnej, transport biomasy, zamglenie zamkniętych przestrzeni

*Key words:* steam condensation on the walls, biomass transport, haze closed space

**Abstract.** The paper presents the problem of steam condensation in closed store – room for wood chips. The methods of this effect elimination are described. One of this methods is precisely described. The examples of results of calculations are shown.

### WSTĘP

Elektrociepłownie i elektrownie w ostatnim czasie wyposaża się w kotły spalające biomasę, do której między innymi zaliczamy zrębki leśne. Do elektrociepłowni zrębki są zwykle przywożone samochodami. Zakłady muszą być wyposażone w samochodowe stacje rozładownicze, w których zrębki są przeładowywane do magazynów. Ze stacji rozładowniczych transportowane są one, taśmociągami do magazynu biomasy. Z magazynu do kotła zrębki są transportowane za pomocą taśmociągów. Początkowo transport odbywa się tunelami umieszczonymi pod magazynem zrębków. Zrębki z magazynu na taśmociągi najczęściej są pobierane, poprzez okna zlokalizowane po obu stronach wzdłuż magazynu, za pomocą przesuwających się wzdłuż tunelu przenośników śrubowych. Biomasa transportowana jest następnie do stacji przesypowych i dalej taśmociągiem do kotła, w którym jest spalana. We wszystkich tunelach gdzie transportowana jest biomasa następuje odparowywanie z niej wody, która w okresie niskich temperatur wykrapla się częściowo w powietrzu - tworząc mgłę i krople na ścianach tuneli oraz kałuże na posadzce. W okresie zimowym ściany i posadzka mogą pokrywać się szronem i lodem.

### OKREŚLENIE PRZYCZYŃ WYSTĘPOWANIA ZAMGLENIA POMIESZCZEŃ I WYKRAPLANIA WILGOCI NA PRZEGRODACH

Spalana biomasa jest wilgotna – zawiera wodę. Wilgotność biomasy zmienia się, w czasie, zależy od transportu i warunków składowania.

W przypadku magazynowania zrębków na składowisku, na wolnym powietrzu w grubej warstwie o dużej objętości są one narażone na długotrwałe wpływy atmosferyczne (zmiany temperatury i zmieniająca się wilgotność powietrza oraz

opady wpływają na wilgotność zrębków), a oprócz tego zachodzą procesy fizyczne i chemiczno-biologiczne powodujące samozagrzewanie hałdy [Suski 2008].

Poniżej w Tabeli 1 pokazano szacunkowe wartości –określone na podstawie pomiarów, zawartości popiołu  $A^r$  i wilgotności  $W_i^r$  dla zrębek, upraw i peletu. Podano procent wagowy wartości minimalnej, średniej i maksymalnej.

**Tab. 1.** Szacunkowe wartości zawartości popiołu  $A^r$  i wilgotności  $W_i^r$  dla zrębek, upraw i peletu

	Szacunkowa wartość	Zawartość popiołu $A^r$ [%]	Zawartość wilgoci $W_i^r$ [%]
zrębka	minimalna	0,63	11,3
	średnia	1,56	26,1
	maksymalna	3,91	48,4
uprawy	minimalna	1,33	10,8
	średnia	1,91	31,0
	maksymalna	2,92	51,1
pelet	minimalna	3,15	4,3
	średnia	4,83	8,7
	maksymalna	12,28	17,0

Źródło: [Szaflik 2012]

Samozagrzewanie jest to samorzutny wzrost temperatury składowanych w hałdzie zrębków wynikający z chemicznego utleniania i biologicznego rozkładu przez mikroorganizmy przechowywanej biomasy. W wyniku tych procesów powstaje ciepło, które, ze względu na izolacyjne właściwości zrębków i zawartego pomiędzy nimi powietrza powoduje wzrost temperatury hałdy.

Temperatura i wilgotność zrębków jest zmienna i może wahać się w dużym przedziale. Najczęściej temperatura zrębków mieści się w zakresie 30 – 50°C (ale może przekraczać 100°C), a wilgotność w przedziale 40-55%. Z powyższego wynika, że pobierane z hałdy na taśmę zrębki mają znaczną wilgotność i podwyższoną temperaturę, można przyjąć, że średnia temperatura zrębków wynosi około 40°C.

W okresie zimowym temperatura powietrza w tunelach jest znacznie niższa od temperatury biomasy. Na taśmociągach znajdują się zawilgocone zrębki leśne, cieplejsze od kilku do kilkudziesięciu stopni od znajdującego się nad nimi zimnym powietrzem, w takim przypadku zaczyna się tworzyć tzw. mgła z parującej ze zrębków wody (tzw. mgła z wyparowania). Niska temperatura powietrza wynika częściowo z dopływu zimnego powietrza z zewnątrz i wychładzania wnętrza na skutek strat ciepła przez niezaizolowane ściany tuneli. Mechanizm tworzenia się mgły z wyparowania i wykraplania się pary wodnej na przegrodach jest (w uproszczeniu) następujący:

- znacznie chłodniejsze od transportowanej biomasy, powietrze ogrzewa się od niej,
- w trakcie ogrzewania powietrza obniża się gwałtownie jego wilgotność względna,
- obniżanie wilgotności względnej prowadzi do gwałtownego wzrostu parowania z wilgotnej i ciepłej biomasy transportowanej na taśmociągach,
- ciepłe i wzbogacone w parę wodną powietrze odrywa się od powierzchni transportowanych zrębków i unosi,
- w trakcie unoszenia się tego powietrza zachodzi turbulентne mieszanie się z powietrzem otaczającym i temperatura "wymieszanego" powietrza spada,
- w momencie, gdy temperatura wymieszanego powietrza spadnie poniżej temperatury jego punktu rosy, rozpoczynają się procesy kondensacji i tworzy się mgła, powietrze to jest nasycone (ma wilgotność 100%).
- temperatura tego powietrza jest wyższa od temperatury wewnętrznych powierzchni przegród, a wilgotność jego wynosi 100 %, w związku z czym następuje wykraplanie się pary wodnej na przegrodach zewnętrznych,
- wykraplanie pary wodnej powoduje zmniejszenie stężenia pary wodnej w powietrzu,
- ponieważ stężenie wilgoci przy powierzchniach przegród zewnętrznych jest mniejsze, para wodna dąży do wyrównania stężeń i dyfunduje w te miejsca podtrzymując proces kondensacji,

### **METODY WYELIMINOWANIA ZAMGLENIA POMIESZCZEŃ I WYKRAPLANIA SIĘ PARY WODNEJ NA PRZEGRODACH**

Jak omówiono w punkcie poprzednim, przyczyną zamglenia i wykraplania się pary wodnej na przegrodach budowlanych tuneli i stacji przesypowych magazynu zrębków leśnych jest emisja pary wodnej do powietrza ze zrębków na taśmociągach, w ilości przekraczającej granicę nasycenia powietrza w tunelach i przy ścianach.

Aby wyeliminować zamglenia i wykraplanie się pary można zastosować łącznie lub osobno dwa sposoby, które polegają na:

- pierwszy, na zmniejszeniu emisji pary wodnej ze zrębków do takiej ilości, aby po zmieszaniu się jej z powietrzem w tunelach, wilgotność powietrza była niższa niż wilgotność powietrza nasyconego dla temperatury powietrza w tunelach i dla temperatury powierzchni wewnętrznej przegród,
- drugi, na nawiewaniu powietrza świeżego o niższej wilgotności, w takiej ilości aby po zmieszaniu z odparowaną ze zrębków wodą, wilgotność powietrza była niższa niż wilgotność powietrza nasyconego dla temperatury powietrza i temperatury powierzchni wewnętrznych przegród, oraz na wywiewaniu powietrza wilgotnego. Można również podwyższyć temperaturę powierzchni wewnętrznych przegród i tym samym podnieść temperaturę punktu rosy.

Zmniejszenie emisji pary wodnej ze zrębków można osiągnąć poprzez obniżenie ich wilgotności (wysuszenie) przed transportem do kotła, lub też na zmniejszeniu emisji pary wodnej poprzez szczelne obudowanie taśmociągów

oddzielającą transportowane paliwo od przestrzeni komunikacyjnej tuneli. Suszenie zrębków przed transportem do kotła nie ma sensu technologicznego i ekonomicznego. Obudowanie taśmociągów nie wszędzie jest możliwe i komplikowało by załadunek biomasy, wynikający przede wszystkim z technologii jej załadunku.

Drugi sposób można zrealizować poprzez nawiewanie do tuneli podgrzewanego powietrza i wyciąganie powietrza zawilgoconego, spowoduje to podwyższenie temperatury powietrza w tunelach i na wewnętrznych powierzchniach przegród budowlanych. Dodatkowo należałoby jeszcze ocieplić przegrody zewnętrzne, spowoduje to podwyższenie ich temperatury i zmniejszy możliwość wykraplania się pary wodnej na ich powierzchniach.

### **OBLICZANIE TEMPERATURY I STRUMIENIA POWIETRZA ZAPOBIEGAJĄCEGO ZAMGLENIU i WYKRAPLANIU PARY WODNEJ**

Obliczeń temperatury i strumienia powietrza nawiewanego, dla przyjętego sposobu zapobiegania zamgleniu i wykraplaniu pary wodnej, dla tunelu taśmociągów pod magazynem zrębków dokonano metodą kolejnych przybliżeń. Obliczenia temperatury i strumienia powietrza wentylacyjnego przeprowadzono w następujący sposób:

- dla przyjętych temperatury zewnętrznej, temperatury średniej w tunelu i grubości izolacji obliczono straty ciepła przez przenikanie,
- dla przyjętego schłodzenia nawiewanego powietrza określono strumień powietrza wentylacyjnego i określono temperatury powietrza nawiewanego oraz wywiewanego na końcu tunelu,
- dla temperatury powietrza wywiewanego określono temperaturę powierzchni wewnętrznej najbardziej niekorzystnej przegrody,
- określono prędkość powietrza w tunelu i metoda kolejnych przybliżeń określono ilość odparowanej wody z taśmociągów,
- określono wilgotność bezwzględną powietrza na końcu tunelu,
- dla temperatury wywiewanego powietrza określono ciśnienie nasycenia na powierzchni najbardziej niekorzystnej przegrody.

Straty ciepła przez przenikanie można określić dla przestrzeni zamkniętych magazynu biomasy (tuneli taśmociągów) zgodnie z normami: PN-EN ISO 6946 oraz PN-EN 12831:2006 wykorzystując program obliczeniowy AUDYTOR OZC. Obliczenia strumieni powietrza wentylacyjnego  $V$  przeprowadzono dla różnych schłodzeń nawiewanego powietrza, z poniższego wzoru:

$$V = \frac{Q_{strat}}{\rho c_p \Delta t} \quad [m^3/s] \quad (1)$$

gdzie:

$Q_{strat}$  - straty ciepła przez przenikanie przegród [kW]

$\rho$  - gęstość powietrza [1,2 kg/m<sup>3</sup>],

$c_p$ - ciepło właściwe powietrza [1,005 kJ/(kgK)]

$\Delta t$  - schłodzenie nawiewanego powietrza w pomieszczeniu [K]

Temperaturę powietrza nawiewanego do przestrzeni zamkniętych magazynu biomasy  $t_n$  określano ze wzoru:

$$t_n = t_{sr} + \frac{\Delta t}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

gdzie:

$t_{sr}$  – średnia temperatura w tunelu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Zaś temperaturę powietrza wywiewanego (usuwanego) z pomieszczeń ze wzoru:

$$t_n = t_{sr} - \frac{\Delta t}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

Temperaturę powierzchni wewnętrznej najbardziej niekorzystnej przegrody określono z równania opisującego w niej rozkład temperatur:

$$t_{si} = t_i - \frac{R_i}{\Sigma R} (t_i - t_e) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4)$$

Prędkość powietrza w tunelu obliczano z zależności:

$$v = \frac{V}{A_t} \quad [\text{m/s}] \quad (5)$$

gdzie:

$A_t$  – przekrój poprzeczny tunelu [ $\text{m}^2$ ]

Ilość odparowanej wody określono, jak dla powierzchni wody parującej w powietrzu, z równania *Merkela* [1]:

$$m_w = \sigma A_o (x_s - x) w \quad [\text{kg/h}] \quad (6)$$

gdzie:

$\sigma$  – współczynnik odparowania wg analogii między wymianą ciepła i masy  $\sigma = 25 - 19, \text{kg}/(\text{m}^2 \text{h})$ , przyjęto minimalną wartość współczynnika odparowania ( $\sigma = 19$ ),

$A_o$  – powierzchnia parowania, [ $\text{m}^2$ ],

$x$  – zawartość wilgoci w powietrzu, [ $\text{kg}/\text{kg}$ ]

$x_s$  – zawartość wilgoci w powietrzu nasyconym dla  $t_o$ , [ $\text{kg}/\text{kg}$ ],

$t_o$  – temperatura powierzchni wody, [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$w$  – prędkość powietrza, [ $\text{m/s}$ ]

Ciśnienie pary wodnej w stanie nasycenia, w funkcji temperatury  $t$  [°C] obliczano z zależności *Glücka* [Recknagel, Sprenger, Schramek 2008], o następującej postaci:

$$p_s(t) = 611 \exp(-1.91275 \cdot 10^{-4} + 7,258 \cdot 10^{-2}t + [Pa] \quad (7)$$

$$- 2,939 \cdot 10^{-4}t^2 + 9,841 \cdot 10^{-7}t^3 - 1,92 \cdot 10^{-9}t^4)$$

Zaś zawartość wilgoci w stanie nasycenia przy określonej temperaturze powietrza, z następującego wzoru:

$$x_s = 0,622 \frac{P_s}{p - p_s} \quad [kg/kg] \quad (8)$$

gdzie:

$p_s$  – ciśnienie nasyconej pary wodnej [Pa]

$p$  – ciśnienie bezwzględne powietrza (przyjęto, że wynosi 1 atmosfera fizyczna - 101325 [Pa])

## WYNIKI OBLICZEŃ SYMULACYJNYCH

Obliczenie temperatury i strumienia nawiewanego powietrza zapobiegającego zamgleniu i wykraplaniu się pary wodnej przeprowadzono dla tunelu pod magazynem zrębków zgodnie z podana wcześniej metodyką.

Obliczono zapotrzebowanie ciepła przy następujących założeniach

- brak ciepła na podgrzewanie powietrza wentylacyjnego,
- izolacja ścian i stropu tunelu styropianem od wewnątrz lub stropu i ścian do poziomu gruntu od zewnątrz,
- brak izolacji termicznej posadzki,
- przyjęto wymiary tunelu  $L \times B \times H$  to  $100,0 \times 7,5 \times 3,3$  [m] (przyjęto przykrycie zrębkami stropu tunelu na minimum 70% powierzchni).

W okresie zimowym parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla I strefy klimatycznej (w tej strefie zlokalizowano kocioł opalany zrębkami)) według PN - 76/B - 03420 wynoszą:

Temperatura suchego termometru $t_s$	-16 °C,
Temperatura mokrego termometru $t_m$	-16 °C,
Entalpia powietrza	-13,4 kJ/kg,
Wilgotność bezwzględna $x$	1,1 g/kg,
Wilgotność względna $\phi$	100 %.

Wyniki obliczeń strat ciepła, dla różnych temperatur średnich i dla różnej grubości warstwy izolacji ze styropianu zamieszczono w tabeli 2.

Ze względu na konieczność zachowania odpowiednich odległości maksymalna grubość izolacji nie powinna przekraczać 6 cm. Poniżej, dla tej grubości izolacji i przyjętych schłodzeń, w tabeli 3 zamieszczono obliczone strumienie powietrza.

Dalej w tabeli 4 zestawiono zapotrzebowanie na moc grzejną potrzebną do ogrzania powietrza nawiewanego z zewnątrz.

**Tab. 2.** Wyniki obliczeń strat ciepła [kW], dla różnych temperatur wewnątrz tunelu pod magazynem zrębków, temperatura zewnętrzna wynosi -16 °C

Lp.	Średnia temperatura w tunelu [°C]	Grubość izolacji styropianowej [cm]				
		6	5	4	3	0
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1.	<b>8</b>	10,8	12,4	14,6	17,7	52,9
2.	<b>10</b>	11,7	13,4	15,8	19,2	57,3
3.	<b>12</b>	19,2	21,2	24,0	28,0	71,9
4.	<b>14</b>	23,2	25,4	28,5	32,8	81,0
5.	<b>16</b>	27,2	29,6	32,9	37,7	90,1
6.	<b>18</b>	31,2	33,8	37,4	42,6	99,3
7.	<b>20</b>	35,1	38,0	41,9	47,4	108,4

Źródło: [Szaflik 2012]

**Tab. 3.** Wyniki obliczeń strumienia powietrza [m<sup>3</sup>/s] dla różnych schłodzeń i dla różnych temperatur wewnątrz tunelu pod magazynem zrębków, temperatura powietrza nawiewanego wynosi -16 °C, izolacja przegród 6 cm styropianu

Lp.	Średnia temperatura w tunelu [°C]	Schłodzenie powietrza [°C]				
		12	10	8	6	4
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1.	<b>8</b>	0,746	0,896	1,119	1,493	2,239
2.	<b>10</b>	0,808	0,970	1,213	1,617	2,425
3.	<b>12</b>	1,327	1,592	1,990	2,653	3,980
4.	<b>14</b>	1,603	1,924	2,405	3,206	4,809
5.	<b>16</b>	1,879	2,255	2,819	3,759	5,638
6.	<b>18</b>	2,152	2,583	3,229	4,305	6,457
7.	<b>20</b>	2,425	2,910	3,638	4,851	7,276

Źródło: [Szaflik 2012]

Przyjęto, że w tunelu znajdują się dwa taśmociągi. Dla danej prędkości powietrza i taśmociągu oraz wilgotności bezwzględnej przyjętej z normy metodą kolejnych przybliżeń określono ilość odparowywanej pary wodnej ze zrębków. Ze względu na niską temperaturę i niską wilgotność pominięto emisję pary wodnej ze zrębków w oknach przenośników śrubowych. Założono, że długość taśmociągu wynosi około 100 m, szerokość robocza taśmy 85 cm, a prędkość posuwu taśmy wynosi 1,1 [m/s]. Ze względu, że temperatura zrębków (40 - 48 °C) może być znacznie wyższa od temperatury powietrza przyjęto, że odparowanie wody odbywa

**Tab. 4.** Wyniki obliczeń zapotrzebowania na całkowitą moc grzejącą [kW] dla różnych schłodzeń i dla różnych temperatur wewnątrz tunelu, temperatura zewnętrzna wynosi -16°C, izolacja przegród 6 cm styropianu

Lp.	Średnia temperatura w tunelu [°C]	Schłodzenie powietrza [°C]				
		12	10	8	6	4
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1.	<b>8</b>	27,000	31,320	37,800	48,600	70,200
2.	<b>10</b>	31,200	36,270	43,875	56,550	81,900
3.	<b>12</b>	54,400	63,360	76,800	99,200	144,000
4.	<b>14</b>	69,600	81,200	98,600	127,600	185,600
5.	<b>16</b>	86,133	100,640	122,400	158,667	231,200
6	<b>18</b>	103,833	121,485	147,963	192,092	280,350
7	<b>20</b>	122,850	143,910	175,500	228,150	333,450

Źródło: [Szaflik 2012]

się tylko kosztem ciepła ze zrębków. Zrębki o początkowej temperaturze schładzają się na taśmociągu, przyjęto, że średnia temperatura zrębków wynosi 30 °C. Następnie obliczono wilgotność powietrza w miejscu wywiewu. W tabeli 5 przedstawiono różnicę pomiędzy zawartością wilgoci w powietrzu wylotowym z tunelu a wilgotnością powietrza nasyconego dla wewnętrznej powierzchni ściany tunelu. Zaś w tabeli 6 pokazano różnicę pomiędzy zawartością wilgoci w powietrzu

**Tab. 5.** Różnica pomiędzy wilgotnością powietrza wylotowego z tunelu a wilgotnością powietrza nasyconego dla temperatury wewnętrznej powierzchni ściany tunelu [g/kg powietrza], temperatura zewnętrzna wynosi -16 °C, izolacja przegród 6 cm styropianu, napełnienie taśmociągów 100%

Lp.	Średnia temperatura w tunelu [°C]	Schłodzenie powietrza [°C]				
		12	10	8	6	4
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1.	<b>8</b>	15,54	13,22	10,63	7,68	4,32
2.	<b>10</b>	14,05	11,75	9,19	6,32	3,07
3.	<b>12</b>	8,37	6,45	4,37	2,12	-0,32
4.	<b>14</b>	6,00	4,20	2,27	0,21	-2,01
5.	<b>16</b>	3,94	2,22	0,40	-1,54	-3,60
6.	<b>18</b>	2,04	0,38	-1,37	-3,23	-5,19
7.	<b>20</b>	0,21	-1,41	-3,13	-4,93	-6,84

Źródło: [Szaflik 2012]



**Tab. 6.** Różnica wilgotności powietrza wylotowego z tunelu i powietrza nasyconego [g/kg powietrza], temperatura zewnętrzna -16 °C, izolacja przegród 6 cm styropianu, napełnienie taśmociągów 100%

Lp.	Średnia temperatura w tunelu [°C]	Schłodzenie powietrza [°C]				
		12	10	8	6	4
1	2	3	4	5	6	7
1.	8	15,24	12,88	10,25	7,25	3,84
2.	10	13,67	11,33	8,71	5,79	2,48
3.	12	7,89	5,91	3,78	1,47	-1,04
4.	14	5,42	3,55	1,55	-0,58	-2,88
5.	16	3,22	1,43	-0,47	-2,50	-4,65
6.	18	1,17	-0,74	-2,42	-4,38	-6,44
7.	20	-0,83	-2,56	-4,38	-6,30	-8,33

Źródło: [Szaflik 2012]

wylotowym z tunelu a wilgotnością powietrza nasyconego o tej samej temperaturze.

Ze względu na duże zapotrzebowanie ciepła przeanalizowano dodatkowo dwa warianty.

Do pierwszego wariantu przyjęto następujące założenia:

- praca taśmociągów odbywa się w ten sposób, że sumaryczna długość taśmy na której znajdują się zębki wynosi 50 % całkowitej jej długości w tunelu, więc emisja pary wodnej taśmy jest praktycznie dwa razy mniejsza,

**Tab. 7.** Wyniki obliczeń parametrów nawiewanego powietrza dla tunelu [kW], dla różnych temperatur wewnątrz pomieszczeń i grubości izolacji 6 cm, temperatura zewnętrzna wynosi -16 °C.

L.p.	Temperatura zewnętrzna [°C]	Grubość izolacji	Parametry				
			Średnia temperatura w tunelu	Temperatura nawiewu	Temperatura wywiewu	Strumień powietrza	Moc grzejna
	[°C]	[cm]	[°C]	[°C]	[°C]	[m <sup>3</sup> /s]	[kW]
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	-16*	6	18	22	14	3,23	148,0
2.	-16**	6	14	19	9	1,93	81,2
3.	-8**	6	16	21	11	1,70	59,2

Uwagi:

\* - 100 % obciążenie taśmy zębami

\*\* - 50 % obciążenie taśmy zębami

Źródło: [Szaflik 2012]

- izolacja przegród bez zmian - 6 cm styropianu

Przy drugim wariancie dodatkowo:

- dopuszczono możliwość występowania w części obiektu zamglenia i wykraplania się pary wodnej na ścianach przy temperaturach niższych od  $-8^{\circ}\text{C}$ ,

- przyjęto następujące parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego:

- temperatura suchego termometru  $t_s$   $-8^{\circ}\text{C}$ ,

- temperatura mokrego termometru  $t_m$   $-8^{\circ}\text{C}$ ,

- entalpia powietrza  $-3,3\text{ kJ/kg}$

- wilgotność bezwzględna  $x$   $1,93\text{ g/kg}$

- wilgotność względna  $\phi$   $100\%$

Najważniejsze wyniki przeprowadzonych obliczeń dla wariantów charakteryzujących się najmniejszym zapotrzebowaniem na moc grzejącą przedstawiono w tabeli 7.

### WNIOSKI

Z przeprowadzonych obliczeń wynikają następujące wnioski:

1. Zmniejszenie długości taśmy na której transportowane są zębki powoduje obniżenie emisji pary wodnej i w związku z tym obniżenie zapotrzebowania na powietrze wentylacyjne o około 40 % i obniżenie zapotrzebowania na moc grzejącą o około 45 %

2. Przyjęcie wyższej temperatury zewnętrznej  $-8^{\circ}\text{C}$  zamiast  $-16^{\circ}\text{C}$  i zmniejszenie długości taśmy na której transportowane są zębki powoduje ponad dwu i półkrotne obniżenie zapotrzebowania ciepła na podgrzanie powietrza.

3. Temperatura powierzchni wewnętrznej przegrody jest niższa niż temperatura wyciąganego powietrza przy wentylatorze wyciągowym, więc wilgotność powietrza nasyconego dla temperatury powierzchni wewnętrznej przegrody jest niższa niż wyciąganego powietrza.

4. Przy przyjętym powyżej założeniu wynika, że:

- dla temperatury zewnętrznej  $-16^{\circ}\text{C}$ , przy 100 % obciążeniu taśmy zębkiem optymalnymi parametrami wydają się być średnia temperatura w tunelu  $18^{\circ}\text{C}$  i schłodzenie powietrza  $8^{\circ}\text{C}$  (parametry powietrza  $20^{\circ}\text{C}/12^{\circ}\text{C}$ ), zapotrzebowanie ciepła dla tych parametrów wynosi około 140-150 kW.

- dla temperatury zewnętrznej  $-16^{\circ}\text{C}$ , przy 50 % obciążeniu taśmy zębkiem optymalnymi parametrami wydają się być średnia temperatura w tunelu  $14^{\circ}\text{C}$  i schłodzenie powietrza  $10^{\circ}\text{C}$  (parametry powietrza  $19^{\circ}\text{C}/9^{\circ}\text{C}$ ), zapotrzebowanie ciepła dla tych parametrów wynosi około 80-90 kW.

- dla temperatury zewnętrznej  $-8^{\circ}\text{C}$ , przy obciążeniu 50% taśmy zębkiem optymalnymi parametrami wydają się być średnia temperatura w tunelu  $16^{\circ}\text{C}$  i schłodzenie  $10^{\circ}\text{C}$  (parametry powietrza  $15^{\circ}\text{C}/9^{\circ}\text{C}$ ), zapotrzebowanie ciepła dla tych parametrów wynosi około 60 kW.

5. Ze względów BHP nie powinno się dopuszczać do powstawania mgły, natomiast okresowo można dopuścić wykraplanie pary wodnej na powierzchni wewnętrznej przegrody w okresie kiedy temperatury zewnętrzne są równe lub mniejsze niż przyjęte w obliczeniach.

## LITERATURA

- Recknagel H, Sprenger E., Schramek E. R. Praca zbiorowa [2008]: Kompendium wiedzy Ogrzewnictwa i Klimatyzacji, OMNI SCALA Wrocław.
- Suski S. [2008]: Właściwości drewna w hałdzie paliwa znajdującego się na wolnym powietrzu. Elektroenergetyka nr 7, str.536-537
- Szaflik W. [2012]: Ekspertyza techniczna dotycząca założeń do projektu instalacji zabezpieczającej przed zamgleniem i wykraplaniem wilgoci części zamkniętych otwartego magazynu zrębków leśnych i stacji rozładunkowych. Maszynopis, Szczecin.

## STRESZCZENIE

W referacie omówiono występowania zamglenia i wykraplania się pary wodnej na przegrodach zamkniętych pomieszczeń służących do transportu zrębków leśnych. Określono przyczyny występowania tego zjawiska oraz omówiono metody jego wyeliminowania. Dokładnie omówiono metodę polegającą na ograniczeniu strat ciepła pomieszczeń przez odpowiednią izolację i nawiewaniu do nich odpowiedniej ilości gorącego powietrza. Dla przyjętego w przykładzie tunelu transportowego zrębków podano wyniki obliczeń.

## SUMMARY

The paper presents the problem of haze and steam condensation on the walls of closed rooms that are used for wood chips transport. The reasons of this phenomenon as well as the methods of its elimination are described. One of this method is precisely characterised. It consists in restriction of rooms' heat losses. It is made by proper insulation and by hot air proper volume supply. The results of calculations for the given example of wood chips transport tunnel are shown.