

ASPEKTY EKONOMICZNE I EKOLOGICZNE WYBORU WENTYLACJI GARAŻU DLA AUTOBUSÓW

W artykule przedstawione zostały koszty obsługi garażu dla autobusów, jako integralnej części procesu logistyki. Określono koszty wpływające na cały proces logistyczny, ze szczególnym uwzględnieniem kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych związanych z systemem wentylacji garażu. Przeprowadzono analizę trzech rozwiązań systemu wentylacji na przykładzie wybranego garażu dla autobusów. Zaproponowano trzy rodzaje systemów wentylacyjnych: wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną (realizowaną przez wentylatory dachowe i ściennie), wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną z recyrkulacją oraz wentylację z krzyżowym wymiennikiem ciepła. Dla proponowanych rozwiązań wykonano analizy dzięki którym wykazano wariant wentylacji uzasadniony ekonomicznie i ekologicznie dla budynku.

WSTĘP

Garaż jest to samodzielny element systemu logistycznego, w którym przechowuje się i obsługuje pojazdy mechaniczne, np. autobusy. Jedną z podstawowych funkcji tej budowli jest przechowywanie pojazdu; ponadto zaliczyć można również inne funkcje, takie jak:

- utrudniona próba kradzieży pojazdu,
- pojazd jest zabezpieczony przed uszkodzeniem przez osoby trzecie (np. aktami dewastacji czy wandalizmu),
- zabezpieczenie pojazdu przed działaniem czynników zewnętrznych np. warunkami atmosferycznymi,
- zapewnienie miejsca do parkowania pojazdu [1].

Garaże można budować w dwojaki sposób:

- jako pomieszczenia zamknięte,
- jako pomieszczenia częściowo otwarte.

Wymagania odnośnie budowy garażu zdefiniowane są w [2].

Garaże możemy podzielić także ze względu na

- a) liczbę miejsc postojowych; wtedy rozróżniamy:
 - garaże jednostanowiskowe,
 - garaże wielostanowiskowe.
- b) liczbę poziomów parkowania:
 - garaże jednopoziomowe,
 - garaże wielopoziomowe,
 - garaże wielokondygnacyjne [1].

Do kosztów eksploatacji garażu wchodzi wydatki pieniężne związane z ilością zużytej energii na cele ogrzewania i wentylacji, dobór odpowiedniego systemu wentylacyjnego wpływa na koszty eksploatacyjne i inwestycyjne. W garażach głównie stosuje się wentylację naturalną (grawitacyjną) oraz mechaniczną.

W dalszej części pracy przedstawiono wyniki obliczeń symulacyjnych dla garażu autobusowego, jednokondygnacyjnego, dwustanowiskowego, w którym zastosowana jest wentylacja naturalna. Ze względu na cele niniejszego opracowania autorzy zaproponowali następujące warianty wentylacji dla niniejszego budynku: mechaniczną nawiewno-wywiewną, wentylację mechaniczną z recyrkulacją i wentylację z odzyskiem ciepła. Ponadto zaprezentowane zostały obliczenia cieplne związane z budynkiem oraz koszty inwestycyjne i eksploatacyjne wyznaczone dla omawianych wariantów.

1. PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA

Obiekt, dla którego wykonano obliczenia, to garaż, przeznaczony dla autobusów, dla którego przyjęto warunki wyjściowe, przedstawione w tabeli 1.

Tab. 1. Podstawowe dane do obliczeń

L.p		
1.	Strefa klimatyczna	III
2.	Projektowa temperatura zewnętrzna	- 20 °C
3.	Średnia roczna temperatura zewnętrzna	7,6 °C
4.	Lokalizacja - stacja meteorologiczna	Opole
5.	Całkowita powierzchnia pomieszczeń ogrzewanych	245,5 m ²
6.	Kubatura budynku	1780 m ³
7.	Powierzchnia naświetla dachowego	16,2 m ²
8.	Liczba pomieszczeń	1
9.	Utrzymywana temperatura wewnątrz garażu	16°C
10.	Norma na wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła U dla przegród budowlanych	PN-EN ISO 6946
11.	Norma na obliczenie projektowego obciążenia cieplnego F	PN-EN 12831:2006
12.	Norma na obliczenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania Q _E	PN-EN ISO 13790

Budynek wykonany jest w technologii szkieletowej (obciążenia przenoszone są przez słupy stalowe); ściany zewnętrzne wykonano z płyt warstwowych (rdzeń z pianki poliuretanowej). Stropodach wykonany jest ze stalowej blachy trapezowej oraz warstw: paroizolacyjnej, termoizolacyjnej i wodochronnej. Okna są wykonane z PCV, wyposażone w szyby zespolone. Bramy wjazdowe wykonane są w postaci segmentowej (z prześwietleniem). W celu doświetlenia garażu, w połaci dachu zamontowano świetliki dachowe łukowe. Wentylacja naturalna realizowana jest poprzez kominki wentylacji grawitacyjnej.

W tabeli nr 2 zestawiono rodzaje przegród budowlanych w budynku

i odpowiadające im współczynniki przenikania ciepła. Wszystkie przegrody spełniają normy określone w [2].

Tab. 2. Współczynniki przenikania ciepła U przegród

Opis przegrody	Współczynnik przenikania ciepła U [W/m ² *K]
Stropodach	0,20
Brama segmentowa	1,70
Podłoga na gruncie	0,30
Ściana zewnętrzna	0,25
Świetlik okienny	1,30
Okno zewnętrzne	1,30

Podczas obliczeń założono, iż garaż ogrzewany jest za pomocą kotła gazowego z zamkniętą komorą spalania. W celu obliczenia projektowanego obciążenia cieplnego oraz rocznego zapotrzebowania energii na ogrzewania i wentylację, wykorzystano branżowe oprogramowanie - Audytor OZC Pro v. 6.6.

2. ZAPOTRZEBOWANIE CIEPLNE BUDYNKU

Projektowane obciążenie cieplne budynku jest to moc jaką dostarczyć należy w celu pokrycia maksymalnych strat, wynikających z przenikania ciepła przez przegrody budynku oraz traconych przez wentylację. Wszystkie przedstawione w niniejszym artykule obliczenia zostały wykonane zgodnie z obowiązującymi przepisami [3-9]. Budynek zlokalizowany jest w województwie opolskim.

Zgodnie z [2], w garażu ogrzewanym należy zapewnić krotność wymiany powietrza nie mniejszą niż $n=1,5$; w związku z tym w analizowanym budynku w ciągu godziny należy wymienić 2670 m³ powietrza zużytego. Ponadto przyjęto, iż w garażu będą wykonywane podstawowe przeglądy i naprawy pojazdów, dlatego w budynku utrzymywana będzie temperatura 16°C.

Aby móc obliczyć roczne zużycie gazu potrzebnego do pokrycia strat związanych z przenikaniem i wentylacją, należy znać średnią całkowitą sprawność systemu grzewczego, którą wyraża wzór (1)[10]:

$$\eta_{H,tot} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s} \quad (1)$$

gdzie:

$\eta_{H,tot}$ – średnia sezonowa sprawność całkowita systemu ogrzewczego,

$\eta_{H,g}$ – średnia sezonowa sprawność wytwarzania ciepła z nośnika energii lub energii dostarczanych do źródła ciepła,

$\eta_{H,e}$ – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w przestrzeni ogrzewanej,

$\eta_{H,d}$ – średnia sezonowa sprawność przesyłu ciepła ze źródła ciepła do przestrzeni ogrzewanej,

$\eta_{H,s}$ – średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu grzewczego.

Wykorzystując informacje zawarte w rozporządzeniu [10], ustalono średnie cząstkowe wartości sezonowych sprawności, które wynoszą:

$$- \eta_{H,g} = 0,87,$$

$$- \eta_{H,e} = 0,77,$$

$$- \eta_{H,d} = 0,95,$$

$$- \eta_{H,s} = 1,0.$$

Podstawiając te wartości do równania (1) uzyskuje się średnią sezonową sprawność całkowitą systemu ogrzewczego:

$$\eta_{H,tot} = 0,64. \quad (2)$$

2.1. Wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna - wariant I

W niniejszym wariantcie wentylacja budynku realizowana będzie przez jeden wentylator nawiewny umieszczony w ścianie budynku o wydajności $V=2670$ m³/h natomiast wywiew przez dwa wentylatory dachowe o wydajności 1335 m³/h każdy.

Dla założonych danych obliczono projektowe obciążenie cieplne. Określono moc cieplną urządzeń wymaganą do zaspokojenia potrzeb na cele ogrzewania i wentylacji garażu. Ponadto wyznaczono roczne zapotrzebowanie na energię potrzebną na ogrzanie analizowanego budynku, wraz z wskaźnikiem sezonowego zapotrzebowania ciepła. Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 3.

Tab. 3. Charakterystyka energetyczna dla wariantu I

L.p.	Rodzaj danych	Wartość
1.	Projektowe obciążenie cieplne budynku Φ_{HL} , w tym:	60,1 kW
2.	Projektowa strata ciepła na wentylację Φ_V	40,1 kW
3.	Roczne zapotrzebowanie na energię na wentylację Q_{ve}	69 286 kWh/rok
4.	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania ciepła EA_H	424,5 kWh/(m ² ·rok)

Projektowana strata ciepła na wentylację w wariantcie wentylacji mechanicznej nawiewno wywiewnej wyniosła 40,1 kW; natomiast całkowite obciążenie budynku 60,1 kW przy rocznym zapotrzebowaniu na ciepło dla zaspokojenia strat na ogrzewanie i wentylację, wynoszącym 69 286 kWh/rok.

2.2. Wentylacja mechaniczna z recyrkulacją - wariant II

W niniejszym wariantcie wentylacja budynku realizowana będzie przez układ wentylacji mechanicznej z recyrkulacją. Recyrkulacja powietrza polegać będzie na częściowym zawróceniu powietrza wywiewanego i ponownym skierowaniu go do komory mieszania centrali wentylacyjnej. W komorze mieszania następuje wymieszanie dwóch strumieni powietrza w stosunku 1335 m³/h powietrza świeżego i 1335 m³/h powietrza wywiewanego z garażu. Wentylacja odbywać się będzie poprzez system rur i kształtek wentylacyjnych; nawiew przez anemostaty nawiewne, wywiew centralnie przez kratkę wentylacyjną. Należy pamiętać, iż udział powietrza zewnętrznego nie może być mniejszy niż wynika to z wymagań higienicznych [2]. Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 4.

Tab. 4. Charakterystyka energetyczna wariantu II

L.p.	Rodzaj danych	Wartość
1.	Projektowe obciążenie cieplne budynku Φ_{HL} , w tym:	42,3 kW
2.	Projektowa strata ciepła na wentylację Φ_V	22,3 kW
3.	Roczne zapotrzebowanie na energię na wentylację Q_{ve}	38 261 kWh/rok
4.	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania ciepła EA_H	298,8 kWh/(m ² ·rok)

Projektowana strata ciepła na wentylację w wariantcie wentylacji mechanicznej z recyrkulacją wyniosła 22,3 kW; natomiast całkowite obciążenie cieplne budynku 42,3 kW.

2.3. Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła - wariant III

Trzeci wariant obejmuje wentylację garażu dla autobusów poprzez centralę wentylacyjną z odzyskiem ciepła. Wentylacja również odbywać się będzie poprzez system rur i kształtek wentylacyjnych; nawiew przez anemostaty nawiewne, wywiew centralnie przez

kratkę wentylacyjną. Ilość powietrza wentylacyjnego nawiewanego i wywiewanego $V=2670 \text{ m}^3/\text{h}$. Sezonowa sprawność odzysku ciepła wynosi 56%. Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli 5.

Tab. 5. Charakterystyka energetyczna wariantu III

L.p.	Rodzaj danych	Wartość
1.	Projektowe obciążenie cieplne budynku Φ_{HL} , w tym:	31,7 kW
2.	Projektowa strata ciepła na wentylację Φ_V	11,7 kW
3.	Roczne zapotrzebowanie na energię na wentylację Q_{ve}	33 736 kWh/rok
4.	Wskaźnik rocznego zapotrzebowania ciepła EAH	288,9 kWh/(m ² ·rok)

Podsumowując dane zawarte w powyższej tabeli, projektowana strata ciepła na wentylację w wariantcie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła wyniosła 11,7 kW; natomiast całkowite obciążenie cieplne budynku 31,7 kW.

W tabeli 6 zestawiono zapotrzebowanie na ciepło w poszczególnych miesiącach, oprócz tego w tabeli zawarto straty spowodowane przez przenikanie przez przegrody i wentylację poszczególnych rozwiązań. Należy nadmienić, iż w każdym przypadku ilość energii potrzebnej na pokrycie strat spowodowanych przenikaniem przez przegrody budowlane jest taka sama.

3. ANALIZA EKOLOGICZNA

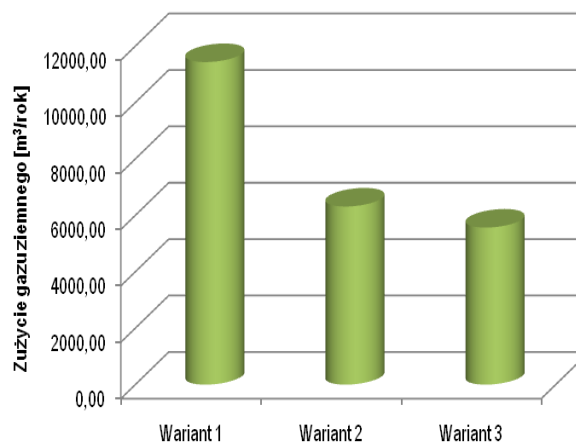
Analiza ekologiczna proponowanych wariantów polegać będzie na określeniu emisji poszczególnych związków emitowanych do atmosfery podczas eksploatacji systemu wentylacyjnego budynku. Należy nadmienić, że w analizie obliczenia wykonano jedynie dla systemów wentylacyjnych - pominięto zużycie energii pokryte na straty związane z przenikaniem przez przegrody. Jako że budynek ogrzewany jest za pomocą kotłów gazowych, w analizie ekologicznej wartości emisji odniesiono są gazu ziemnego GZ-50, według metodyki obliczeń Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzanie Emisjami.

Ponadto założono, że zapotrzebowanie na energię końcową dla urządzeń pomocniczych systemu wentylacji pokrywane jest przez konwencjonalnie produkowaną energię elektryczną.

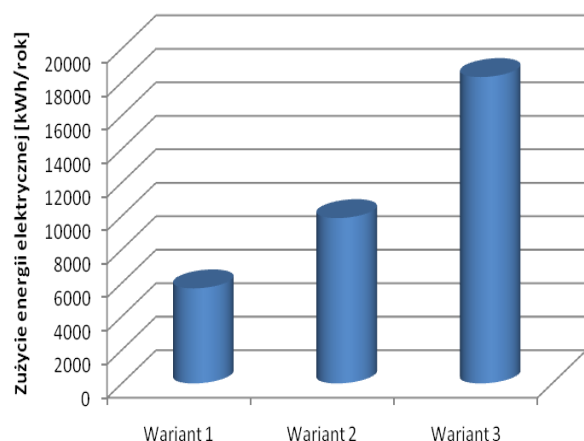
Analizę ekologiczną przeprowadzono przy użyciu specjalistycznego programu - Audytor EKO v.1.0.

ZUŻYCIE PALIW

Na rysunku 1 zestawiono zużycie gazu ziemnego na pokrycie strat związanych z ogrzaniem powietrza wentylacyjnego (po uwzględnieniu sprawności systemu) przez poszczególne warianty; analogicznie na rysunku 2 pokazano zużycie energii elektrycznej przez urządzenia pomocnicze systemu wentylacji.



Rys. 1. Zużycie gazu ziemnego poszczególnych wariantów



Tab. 6. Bilans energii cieplnej poszczególnych wariantów

L.p.	Miesiąc	L _{d,m} dni	T _{em,m} °C	Q _D GJ/rok	Q _{ve} GJ/rok			Q _{H,nd} GJ/rok		
					I	II	III	I	II	III
1.	Styczeń	31	-0,6	29,36	45,8	18,46	25,29	72,64	52,13	49,67
2.	Luty	28	-0,2	26,86	44,7	18,01	24,68	68,76	48,74	46,34
3.	Marzec	31	4,3	23,77	32,28	13,01	17,83	51,52	37,07	35,33
4.	Kwiecień	30	8,9	15,73	19,59	7,89	10,82	29,9	21,15	20,1
5.	Maj	31	12,9	8,6	8,55	3,45	4,72	11,05	7,43	12,86
6.	Czerwiec	30	17,7	0	0	0	0	0	0	0
7.	Lipiec	31	16,9	0	0	0	0	0	0	0
8.	Sierpień	31	18,4	0	0	0	0	0	0	0
9.	Wrzesień	30	13,9	2,03	5,79	2,33	3,2	3,77	1,58	0
10.	Październik	31	9,4	9,49	18,21	7,34	10,06	24,43	16,27	15,29
11.	Listopad	30	4,7	17,37	31,18	12,56	17,22	45,99	32,03	30,35
12.	Grudzień	31	0,3	26,06	43,32	17,46	23,92	67,1	47,7	45,38
13.	W sezonie	365	8,9	159,26	249,43	100,51	137,74	375,16	264,11	255,33

gdzie:

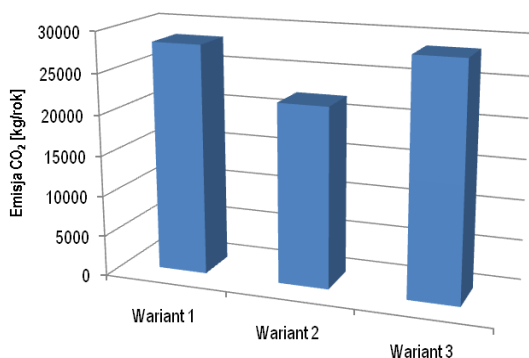
- L_{d,m} – liczba dni ogrzewania w miesiącu,
- T_{em,m} – średnia temperatura zewnętrzna w miesiącu sezonu grzewczego,
- Q_D – straty energii cieplnej przez przegrody budowlane,
- Q_{ve} – straty energii wywołane przez powietrze wentylacyjne,
- Q_{H,nd} – łączne zapotrzebowanie na energię.

Rys. 2. Zużycie energii elektrycznej poszczególnych wariantów

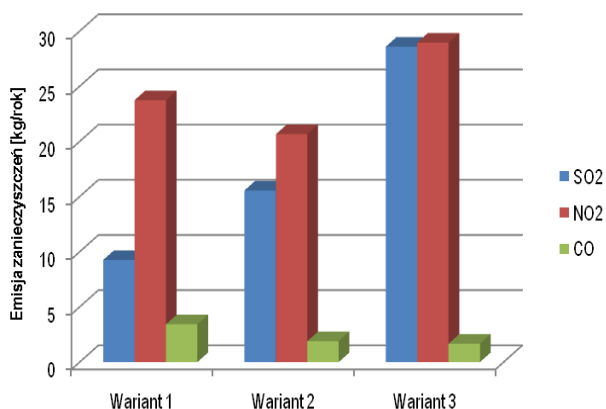
Analizując wyniki, pokazane na rys. 1 można stwierdzić, że najwięcej gazu zużywa garaż z wentylacją nawiewno-wywiewną, realizowaną przez wentylatory mechaniczne. Aby pokryć straty ciepła, należy spalić ponad 11400 m³ gazu ziemnego; wariant II i III zużywają znacznie mniej gazu, odpowiednio 6315 i 5568 m³. Natomiast w przypadku zużycia energii elektrycznej (rys. 2) najbardziej energochłonnym rozwiązaniem jest wentylacja z odzyskiem ciepła, która zużywa nieco ponad 18300 kWh, natomiast warianty I i II, odpowiednio 5678 i 9876 kWh.

EMISJA SZKODLIWYCH ZANIECZYSZCZEŃ

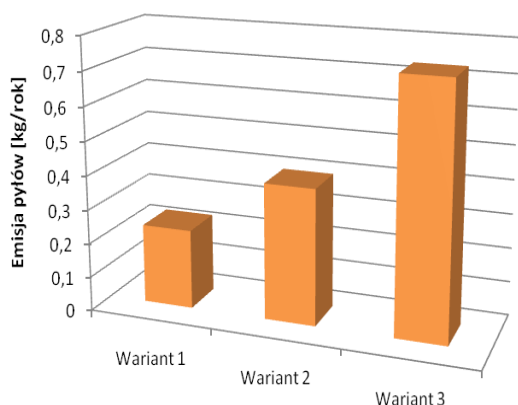
Na poniższych rysunkach: 3-5 przedstawiono emisję szkodliwych zanieczyszczeń, tj. dwutlenku węgla, dwutlenku siarki, dwutlenku azotu, tlenku węgla i pyłów przez rozpatrywane warianty.



Rys. 3. Emisja dwutlenku węgla



Rys. 4. Emisja dwutlenku siarki, dwutlenku azotu i tlenku węgla



Rys. 5. Emisja pyłów

Analizując emisję szkodliwych zanieczyszczeń rozpatrywanych wariantów stwierdzić można, że w przypadku emisji dwutlenku węgla, najlepszym rozwiązaniem jest wariant II - emituje on do atmosfery nieco ponad 22100 kilogramów rocznie CO₂; wariant III emituje nieznacznie ponad 28700 kilogramów, najwięcej wariant I - niecałe 28330 kilogramów rocznie dwutlenku węgla.

Nieco inaczej wygląda emisja dwutlenku siarki: najlepszy okazuje się wariant I (9,26 kg/rok), następnie wariant II (15,56 kg/rok) i wariant III (28,59 kg/rok). Z kolei przy emisji dwutlenku azotu kolejność wygląda następująco: wariant II, wariant I i wariant III; emitując kolejno 20,66; 23,74 i 28,96 kilogramów NO₂ rocznie. Pod względem emisji tlenku węgla do atmosfery najlepszy okazuje się wariant III (1,67 kg/rok), następnie wariant II (1,90 kg/rok) oraz wariant I (3,43 kg/rok); jeżeli chodzi o emisję pyłów, to najgorzej wypadł wariant III (emitując 0,73 kg/rok), następny był wariant II (0,39 kg/rok), najlepszym okazał się wariant I (0,23 kg/rok).

5. ANALIZA EKONOMICZNA

Podczas analizy ekonomicznej rozpatrywane będą dwie grupy kosztów: inwestycyjne i eksploatacyjne. W skład kosztów inwestycyjnych zaliczono koszty związane z zakupem urządzenia wentylacyjnego oraz wykonania instalacji wentylacji mechanicznej (tylko w przypadku wariantów II i III), natomiast w skład kosztów eksploatacyjnych zaliczono opłaty jednostkowe związane z wybranym paliwem oraz opłaty za energię elektryczną.

WARIANT I

Przyjmując, że wartość opałowa gazu GZ-50 wynosi 34,5 MJ/m³, roczne zużycie gazu na potrzeby ogrzania powietrza wentylacyjnego dla budynku wyniesie

$$n = 11436 \frac{m^3}{rok} \quad (3)$$

Ilość zużytego gazu jednoznacznie wskazuje na konieczność zastosowania taryfy gazowej, oznaczonej jako W.4. Wg taryfy obowiązującej w Polskiej Spółce Gazowniczej, której zasięg obejmuje również Opole, koszty kształtują się następująco:

- cena gazu – 0,10847 PLN/kWh netto,
- abonament – 15,85 PLN/m-c netto,
- opłata stała – 164,58 PLN/m-c netto,
- opłata zmienna – 0,03427 PLN/kWh netto.

Uwzględniając powyższe wartości oraz konieczność zapłaty 23% podatku VAT, otrzymuje się 24885,7 PLN/rok brutto jako koszt paliwa gazowego. Z kolei przy kosztach związanych z energią elektryczną oraz założeniu cen rynkowych dla taryfy całodobowej C11 w Opolu [12] opłaty dla mocy zamówionej równej 20kW wynoszą:

- cena energii elektrycznej – 0,4235 PLN/kWh brutto,
- opłata handlowa – 20,91 PLN/m-c brutto,
- składnik zmienny stawki sieciowej + stawka jakościowa – 194,09 PLN/MWh brutto,
- składnik stały stawki sieciowej – 2,64 PLN/kW/m-c brutto,
- stawka opłaty przejściowej – 1,07 PLN/kW/m-c brutto,
- abonament okres 1 mies. – 5,90 PLN/m-c brutto.

Stąd koszty związane z zużyciem energii elektrycznej w skali roku na poziomie 4720 PLN brutto.

Do kosztów inwestycyjnych w tym wariantcie zaliczono koszt zakupu 3 wentylatorów (1 ścienny i 2 dachowe); wg cennika producenta [13] wynosi on 6730 PLN brutto.

WARIANT II

W wariantcie II, w którym zastosowana została wentylacja mechaniczna z recyrkulacją, roczne zużycie gazu wyniosło

$$n = 6315 \frac{m^3}{rok} \quad (4)$$

Przy takim zużyciu obiekt kwalifikuje się do grupy taryfowej W.3, w której opłaty są następujące:

- cena gazu – 0,10847 PLN/kh netto,
- abonament – 6,28 PLN/m-c netto,
- opłata stała – 23,34 PLN/m-c netto,
- opłata zmienna – 0,03945 PLN/kWh netto.

Całkowity koszt poniesiony na zakup paliwa gazowego wyniósł 13154 PLN/rok brutto; natomiast koszt związany z zakupem energii elektrycznej wyniósł 7311 PLN brutto.

Do kosztów inwestycyjnych w tym wariantcie zaliczono koszt zakupu centrali wentylacyjnej nawiewno wywiewnej z recyrkulacją (bez automatyki, z falownikami) - 15462 PLN brutto [14]. W kosztach inwestycyjnych należy również uwzględnić koszt związany z wykonaniem instalacji wentylacji mechanicznej, który przyjęto na poziomie 5000 PLN brutto (cena podana na podstawie rozeznania wśród miejscowych firm).

WARIANT III

System wentylacyjny w wariantcie III opierał się na zastosowaniu wentylacji mechanicznej z krzyżowym wymiennikiem ciepła; według obliczeń roczne zużycie gazu wyniosło

$$n = 5568 \frac{m^3}{rok} \quad (5)$$

Przy takim zużyciu obiekt również kwalifikuje się do grupy taryfowej "W.3". Koszt związany z zakupem paliwa gazowego wyniósł 11650 PLN/rok brutto, a koszt związany z zakupem energii elektrycznej 12515 PLN brutto.

Do kosztów inwestycyjnych w tym wariantcie zaliczono koszt zakupu centrali wentylacyjnej nawiewno wywiewnej z recyrkulacją (bez automatyki, z falownikami) i wynosi on 25034 PLN brutto [14]; ponadto należy uwzględnić również koszt instalacji wentylacji mechanicznej na poziomie 5000 PLN brutto.

ANALIZA OPLACALNOŚCI

W tabeli 7 zawarte zostało zestawienie poszczególnych wydatków omawianych wariantów systemu wentylacji garażu.

Tab. 7. Zestawienie zbiorcze kosztów

Rodzaj kosztów	Jednostka	Wariant systemu wentylacyjnego			
		istn.	I	II	III
eksploatacyjne	PLN brutto	22563	29605	20465	24164
inwestycyjne		-	6730	20462	30034

Analizując dane zawarte w tabeli 7 można zauważyć, że najtańszym rozwiązaniem pod względem inwestycyjnym okazał się wariant I wyniósł on niecałe 6730 PLN brutto; kolejny był wariant II (20462 PLN brutto) oraz wariant III (30034 PLN brutto). Pod względem eksploatacyjnym koszty wyglądają następująco: 29605; 20465 oraz 24164 PLN brutto kolejno dla wariantów I, II i III.

CZAS ZWROU PONIESIONYCH NAKŁADÓW

Analiza opłacalności zostanie odniesiona do stanu istniejącego, czyli zastosowanej wentylacji naturalnej w garażu, której rocznej zużycie gazu ziemnego wynosi

$$n = 10241 \frac{m^3}{rok} \quad (6)$$

Przekłada się to na roczne wydatki w wysokości 22563 PLN brutto. W tabeli 8 przedstawiono proste okresy zwrotu poszczególnych wariantów wentylacji, w porównaniu do stanu istniejącego wentylacji naturalnej.

Tab. 8. Prosty okres zwrotu wariantów

Lp.	Omówienie	Jedn.	Warianty		
			1	2	3
1	Roczna oszczędność kosztów ΔO_{ru}	PLN brutto/rok	-7042	2098	-1601
2	Koszt realizacji usprawnienia N_U	PLN brutto	6730	20462	30034
3	SPBT = $N_U/\Delta O_{ru}$	lata	-1,0	9,8	-18,8

Biorąc pod uwagę, że koszt inwestycyjny wariantu II wynosi 20462 PLN brutto i jest on mniejszy o niecałe 10000 PLN brutto od wariantu III; z kolei koszt eksploatacyjny jest o ponad 9000 PLN brutto mniejszy od wariantu I, możemy wnioskować, że rozwiązanie wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z recyrkulacją w analizowanym przypadku jest najbardziej uzasadnione pod względem ekonomicznym, gdyż charakteryzuje się najmniejszym SPBT = 9,8 lat.

PODSUMOWANIE

Wybór odpowiedniego systemu wentylacji może znacznie wpłynąć na obniżenie kosztów eksploatacyjnych budynku. W niniejszym artykule przedstawiono trzy warianty wentylacji dla autobusu: wentylację mechaniczną realizowaną przez wentylatory, wentylację mechaniczną nawiewno wywiewną realizowaną przez centralę wentylacyjną z recyrkulacją powietrza wywiewanego oraz wentylację z odzyskiem ciepła. Dla rozważanych wariantów przeprowadzono analizę ekologiczną, która polegała na określeniu emisji szkodliwych zanieczyszczeń podczas eksploatacji analizowanych systemów wentylacyjnych; pod względem ekologicznym najlepszym rozwiązaniem okazał się wariant II - wentylacja mechaniczna z recyrkulacją. Ponadto wykonana została analiza ekonomiczna proponowanych rozwiązań, w której również najkorzystniejszym rozwiązaniem okazał się wariant II.

BIBLIOGRAFIA

1. Szolginia W., Architektura, SIGMA NOT, Warszawa 1992.
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami).
3. PN-B-03420: 1976: Wentylacja i klimatyzacja – parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.
4. PN-EN 12831: 2006: Instalacje ogrzewcze w budynkach - Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
5. PN-EN ISO 13370: Ciepłone właściwości użytkowe. Przenożenie ciepła przez grunt.
6. PN-EN ISO 13790: 2009: Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
7. PN-82-B-02402: Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach.
8. PN-82-B-02403: Temperatury obliczeniowe zewnętrzne.
9. PN-83-B-03430: Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2014 poz. 888).

11. <http://oferta.pgnig.pl/czym-jest-gaz-ziemny>, dostęp w dniu 15.03.2016 r.
12. <http://www.tauron.pl/Firma/Ceny-energii-i-taryfy/taryfy/Firma-wygodna/Strony/firma-wygodna-c11.aspx>, dostęp w dniu 15.02.2016 r.
13. http://hurtwent.pl/cenniki/venture/venture_cennik_wentylatory.pdf, dostęp w dniu 15.02.2016r.
14. Wycena central wentylacyjnych VTS, otrzymana w dniu 25.02.2016 r.

Economical and environmental aspects choice of the bus garage ventilation.

The article presents the operating costs of the garage for buses, as an integral part of the logistics process . The costs affecting the entire logistics process, with particular emphasis on investment and operating costs related to the ventila-

tion system garage was shown. An analysis of the three solutions of the ventilation system on the example of the garage for buses was carry out. Authors proposes three types of ventilation systems : mechanical ventilation intake - exhaust (implemented by the fans roof and wall) , mechanical ventilation supply and exhaust recirculation and ventilation with the plate heat exchanger. For the proposed solutions was conducted through analysis that showed a variant of the ventilation justified economically and ecologically for the building.

Autorzy:

mgr inż. **Arkadiusz Guźda** – Politechnika Opolska w Opolu, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, email: a.guzda@doktorant.po.edu.pl

dr hab. inż. **Norbert Szmolke**, prof. PO – Politechnika Opolska w Opolu, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, email: n.szmolke@po.opole.pl