

WPŁYW USYTUOWANIA BUDYNKU INWENTARSKIEGO NA UZYSK CIEPŁA SŁONECZNEGO

Krzysztof Wiśniewski¹, Agata Pawłat-Zawrzykraj² ✉

¹ Instytut Inżynierii Lądowej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

² Instytut Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

STRESZCZENIE

Praca dotyczy wpływu usytuowania budynku inwentarskiego względem stron świat na absorpcję energii słonecznej, szczególnie w okresach niskiej i wysokiej temperatury na zewnątrz. Punktem wyjścia było zróżnicowanie przestrzenne w dystrybucji promieniowania słonecznego w Polsce. Wykorzystano metodykę wyznaczania zysków ciepła od promieniowania słonecznego zgodnie z normą PN-EN 13790. Obliczenia wykonano dla teoretycznego budynku chlewni dla czterech wariantów usytuowania rozpatrywanego budynku względem stron świata w osiach N–S, W–E, NW–SE oraz NE–SW. Przyjęto teoretyczne lokalizacje budynku w trzech strefach klimatycznych Polski: w strefie II reprezentowanej przez Poznań, w strefie III (Warszawa i Jelenia Góra) oraz w strefie IV (Białystok). Uzyskane wyniki nie potwierdziły w pełni trafności powszechnie stosowanej zasady sytuowania budynku w osi N–S. Niemniej jednak od kwietnia do września jest to lokalizacja rzeczywiście korzystna w niektórych strefach klimatycznych kraju (strefy II i IV). W okresach niskiej temperatury najbardziej optymalne jest usytuowanie w osiach W–E (stefy II, III i IV) oraz NW–SE dla strefy II.

Słowa kluczowe: pasywne pozyskiwanie ciepła, pasywne chłodzenie, dobrostan zwierząt, mikroklimat

WSTĘP

Zapewnienie odpowiedniego mikroklimatu w budynkach inwentarskich stanowi kompleksowe zagadnienie. Uzyskanie optymalnych warunków temperatury, ruchu powietrza (wentylacji), wilgotności i promieniowania słonecznego jest wyzwaniem zarówno na etapie projektowania budynku, jak i utrzymania. Maksymalną wydajność produkcji uzyskuje się w warunkach jak najbardziej zbliżonych do neutralnych, tzn. niezależnych od otoczenia, w zakresie temperatury odpowiedniej dla danego gatunku hodowanego zwierzęcia i jego stadium rozwoju. Stan neutralny termicznie to zakres temperatury między dolną a górną temperaturą krytyczną. Zwierzęta utrzymują normalną temperaturę ciała, bez potrzeby wykorzystania energii pozyskanej

z paszy na przyspieszenie lub spowolnienie standardowego tempa metabolizmu (Firfiris, Martzopoulou i Kotsopoulos, 2019; Martzopoulou, Firfiris i Kotsopoulos, 2020). Uzyskanie tego rodzaju warunków wiąże się utrzymaniem równowagi cieplnej między zwierzętami a ich otoczeniem, które jest wypadkową zysków ciepła z promieniowania słonecznego, ciepła wytwarzanego przez zwierzęta oraz strat ciepła przez przegrody zewnętrzne (Albright, 1990). Optymalizacja produkcji zwierzęcej wymaga więc zbilansowania zysków i strat cieplnych, a te z kolei wynikają z zastosowanych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych oraz zewnętrznych warunków meteorologicznych. Badania prowadzone dla budynku zlokalizowanego w brytyjskim Staffordshire (Jackson, Guy, Edwards, Sturm i Bull, 2017) pokazują, że w świetle przewidywanego

Krzysztof Wiśniewski <https://orcid.org/0000-0002-5859-1400>; Agata Pawłat-Zawrzykraj <https://orcid.org/0000-0001-9570-979X>

✉ agata_pawlat_zawrzykraj@sggw.edu.pl

wzrostu temperatury na lata 2030, 2050 i 2080, utrzymanie wymaganej temperatury wewnętrznej będzie coraz większym wyzwaniem.

Utrzymanie optymalnej temperatury oraz wilgotności w budynku inwentarskim tradycyjnie uzyskuje się przede wszystkim poprzez zastosowanie prostej formy przestrzennej, niewielkiego nachylenia dachu, ograniczenia liczby i powierzchni otworów okiennych, ale przede wszystkim przez skonstruowanie przegród zewnętrznych, tj. ściany i dach, o bardzo wysokim wskaźniku izolacyjności cieplnej. Duża izolacyjność cieplna przegród budynków zazwyczaj kojarzy się z ochroną przed nadmiernym schładzaniem wnętrza w okresie niskiej temperatury, lecz prawidłowo zaprojektowane przegrody zewnętrzne chronią również wnętrze przed nadmiernym wzrostem temperatury w okresie letnim. Szczególną uwagę skupia się obecnie na bardzo dobrym izolowaniu cieplnym dachu, który jest bezpośrednio poddawany operacji słonecznej, a tym samym może być źródłem nadmiernego zwiększania temperatury wewnątrz budynku inwentarskiego. Systemowe rozwiązania w strukturze materiałowo-konstrukcyjnej budynku pozwalają również na dogrzewania ciepłem słonecznym wnętrza budynku, a tym samym ograniczenie zapotrzebowania na moc grzewczą ze sztucznych źródeł ciepła (Żelazny, 2008).

Rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne mogą i powinny być wspomagane dodatkowymi działaniami. Firfilis i in. (2019) podzielili je na dwie podstawowe kategorie:

- techniki pasywnego chłodzenia polegające na bezpośrednim zacienianiu budynku stałymi lub okresowo wykorzystywanymi formami zacienienia,
- techniki pasywnego chłodzenia, których celem jest pośrednie ograniczenie promieniowania słonecznego.

W pierwszym przypadku to przede wszystkim nasadzenia z drzew liściastych, odpowiednio zaprojektowane pod względem wysokości oraz odległości od budynku, tak by nie ograniczać naturalnej wentylacji w budynku (Alberta Agriculture and Rural Development, 2014; Valtorta, 2010). W regionach o silnej ekspozycji słonecznej w okresach letni, głównie w hodowli bydła i owiec, stosowane są również sztuczne pokrywy zacieniające rozpościerane nad budynkiem lub w jego sąsiedztwie. Do tego typu rozwiązań moż-

na też zaliczyć okapy, które w okresie letnim ograniczają penetrację promieni słonecznych.

Do pasywnych technik chłodzenia pośrednio wpływających na termikę budynku należą forma przestrzenna budynku oraz jego położenie, w tym przede wszystkim orientacja względem stron świata. Badania pokazują, że optymalne pod względem ilości absorbowanego ciepła są budynki na rzucie prostokąta, przykryte dachem o nachylenie ok. 15° (Mrema, Gumbe, Chepete i Agullo, 2011; Vox, Maneta i Schettini, 2016) oraz pokryte materiałem o wysokim współczynniku odbicia promieniowania słonecznego (albedo) i z dużą emisją termiczną. Dla tzw. chłodnych dachów (ang. *cool roofs*) wartości te wynoszą odpowiednio co najmniej 0,70 oraz 0,75 (Bianchi, Desjarlais, Miller i Petrie, 2007).

Wpływ usytuowania budynku na absorpcję energii słonecznej jest zależny od warunków lokalnych, takich jak: ukształtowanie terenu, pokrycie terenu, temperatura i kierunek przeważających wiatrów. Dodatkowym czynnikiem jest też usytuowanie budynku względem stron świat. Warunki zabudowy i zagospodarowania działki rzadko umożliwiają swobodne usytuowanie budynku, niemniej jednak należy dążyć do optymalnego jego położenia, analizując ten aspekt na etapie przedprojektowym.

Badania uwzględniające orientację budynku inwentarskiego względem stron świata prowadzono przede wszystkim dla obszarów o gorącym klimacie. Wielu autorów jest zgodnych, że budynek inwentarski powinien być ustawiony osią poziomą prostopadle do kierunku panujących lokalnie wiatrów, dzięki czemu można zwiększyć naturalną wymianę powietrza (Mescher i Veenhuizen, 2006; Liberati i Zappavigna, 2010).

W Polsce dystrybucja promieniowania słonecznego jest zróżnicowana przestrzennie oraz w ujęciu czasowym. Na sześć miesięcy w okresach wiosennym i letnim (od kwietnia do września) przypada 80% rocznego nasłonecznienia. Maksymalny okres nasłonecznienia latem wynosi 16 h. Gęstość promieniowania słonecznego na płaszczyźnie poziomej wynosi od 950 do 1250 kWh·m⁻² (Żochowska, Kingsbury i Kobuszynska, 2012). Dla warunków polskich (przeważające zachodnie wiatry) na ogół zalecane jest usytuowanie budynku dłuższą osią w kierunku N-S z dopuszczeniem niewielkiego odchylenia (Marciniak, 2008). Powstaje pytanie, czy tak ogólnie sformułowana zasada

nie wymaga doprecyzowania w zależności od lokalizacji planowanego obiektu w danej strefie klimatycznej.

Dla okresu letniego (czerwiec–wrzesień) badania dla budynków dla bydła prowadzili Angrecka, Herbut, Nawalany i Sokołowski (2017). Uwzględniono w nich położenie geograficzne, azymut i kąty nasłonecznienia. Analizowano budynki o orientacjach N–S i E–W oraz odchylone o 30% od osi N–S. Przedmiotem badań była też zależność między rozmiarem okapu a nasłonecznieniem. Za najkorzystniejsze uznano wydłużenie okapu do 1 m oraz odchylenie o 30% od osi N–S. Oceną zróżnicowania temperatury powietrza w budynkach chlewni z pasywnym systemem zysków bezpośrednich oraz naturalnym rozdziałem pozyskanego ciepła przez otwory komunikacyjne zajmował się Żelazny (2008). Jego badania dotyczyły pozyskiwania, akumulacji i rozdziału ciepła słonecznego do pomieszczeń w różnych częściach budynku usytuowanego dłuższą osią w kierunku N–S. Autor stwierdził, że dogrzewanie ciepłem słonecznym pomieszczeń inwentarskich w celu poprawy warunków termicznych lub zmniejszenia zapotrzebowania na moc grzewczą ze sztucznych źródeł ciepła jest możliwe tylko w przypadku zastosowania systemowych rozwiązań w strukturze materiałowo-konstrukcyjnej budynku. W celu zabezpieczenia budynku przed solarnym nadmiernym nagrzewaniem się w okresie letnim autor zalecał stosowanie różnego rodzaju rozwiązań technicznych (żaluzje, rolety) i biologicznych (zadrzewienia z gatunków liściastych).

Implementacja różnych form pasywnego (biernego) pozyskiwania ciepła oraz schładzania budynku może być efektywna, a co za tym idzie opłacalna ekonomicznie. Poza tym ograniczenie zapotrzebowania na dodatkowe źródła ciepła, a przede wszystkim na mechaniczną wentylację ogranicza emisję dwutlenku węgla, jest to więc przyjazne dla środowiska przyrodniczego.

Celem badań było określenie wpływu ustawienia budynku chlewni na działce siedliskowej na zyski solarne w okresie niskiej i wysokiej temperatury na zewnątrz w wybranych regionach Polski. W zimie mniejsze zyski solarne przekładają się na większą potrzebę uzupełnienia energii cieplnej przez system ogrzewania. Nadmiar zysków solarnych w okresie letnim może sprzyjać podwyższaniu temperatury wewnętrznej, która w krytycznych przypadkach prowadzi do powstawania u zwierząt stresu cieplnego, co

zazwyczaj powoduje konieczność zastosowania dodatkowej wentylacji mechanicznej. Powyższe skrajne sytuacje mają szkodliwy wpływ na wydajność produkcji, dobrostan zwierząt oraz ogólną efektywność energetyczną procesu produkcyjnego (Jackson i in., 2017). Celem praktycznym pracy było wskazanie usytuowania chlewni względem stron świata optymalnego dla analizowanych stref klimatycznych.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wykorzystano metodykę wyznaczania zysków ciepła od promieniowania słonecznego zgodnie z normą PN-EN 13790. Zyski ciepła od promieniowania słonecznego dla analizowanego budynku wyznaczono według wzoru:

$$Q_{sol} = \sum_i C_i \cdot A_i \cdot I_i \cdot F_{sh} \cdot F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \text{ [kWh} \cdot \text{miesiąc}^{-1}]$$

gdzie:

- C_i – udział pola powierzchni oszklonej do całkowitego pola powierzchni okna [-],
- A_i – pole powierzchni okna lub drzwi balkonowych w świetle otworu w przegrodzie [m^2],
- I_i – wartość energii promieniowania słonecznego w rozpatrywanym miesiącu na płaszczyznę pionową, w której usytuowane jest okno o powierzchni A_i , według danych dotyczących najbliższego punktu pomiarów promieniowania słonecznego [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{miesiąc}^{-1}$],
- F_{sh} – czynnik redukcyjny ze względu na zacienienie od przegród zewnętrznych (ustalono zgodnie z normą PN-EN 13790),
- $F_{sh,gl}$ – czynnik redukcyjny ze względu na zacienienie dla ruchomych urządzeń zacinających,
- g_{gl} – współczynnik przepuszczalności energii promieniowania słonecznego przez oszklenie [-].

Do badań wybrano chlewnie ze względu na ich specyficzne wymagania cieplno-wilgotnościowe zależne od struktury stada oraz technologii chowu. Największe wymagania cieplne odnoszą się do chowu trzody chlewniej na podłodze szczelinowej i w zależności od stadium rozwoju wynoszą: maciory zaszane 18–20°C, lochy karmiące 18–22°C, warchlaki 22–30°C, tuczniaki 18–20°C. Wymagane jest zachowanie wilgotności powietrza na poziomie 60–70% (Wardal, Romaniuk i Borusiewicz, 2018).

Obliczenia wykonano dla teoretycznego budynku chlewni o powierzchni 1125 m², co odpowiada wymiarom 12,5 × 90 m. Zgodnie z wymaganiami powierzchnia otworów oświetleniowych powinna być nie mniejsza niż wartość 1 : 25 powierzchni podłogi (wartość dla chowu tuczników – tab. 1). Według tego kryterium powierzchnia otworów okiennych została określona na poziomie 22,68 m² na dwóch bokach podłużnych ścian ze-

wnętrznych, tj. 22 okna o wymiarach 90 × 90 cm. Łączna powierzchnia otworów okiennych wynosi 45,36 m².

Dla założonych parametrów analizowanego budynku obliczono miesięczne zyski ciepła od promieniowania słonecznego przenikającego do przestrzeni ogrzewanej przez okna, drzwi lub powierzchnie oszklone bez uwzględnienia energii promieniowania słonecznego (tab. 2).

Tabela 1. Zalecany stosunek powierzchni okien do powierzchni podłogi i natężenie sztucznego oświetlenia (Wardal i in., 2018)

Table 1. Recommended ratio of window area to floor area and intensity of artificial lighting (Wardal et al., 2018)

Przeznaczenie pomieszczeń Designation of particular building parts	Oświetlenie dzienne (okno : podłoga) Daylighting (window : floor)	Zalecane natężenie oświetlenia Recommended light intensity [lx]
Pomieszczenia zagrodowe, korytarz paszowy oraz korytarz dla pracowników nadzorujących Homesteads, feed corridor and corridor for supervisors	1 : 15	50
Pomieszczenia pracownicze – Staff rooms	1 : 10	200
Lochy luźne i prośne, knury – zalecenie ogólne Loose and covered sows, boars – general recommendation	1 : 15	100
Lochy luźne i knury – miejsce pracy Loose sows and boars – working area	1 : 15	200
Karmiące lochy i prosięta – Farrowing sows and piglets	1 : 15	100
Warchlaki – Weaners	1 : 18	50
Tuczniki – Porkers	1 : 25	50

Tabela 2. Parametry stałe charakteryzujące przeszklenie stolarki okiennej wymagane do ustalenia miesięcznych zysków ciepła od promieniowania słonecznego przenikającego do przestrzeni ogrzewanej przez okna, drzwi lub powierzchnie oszklone w ścianach podłużnych (opracowanie własne)

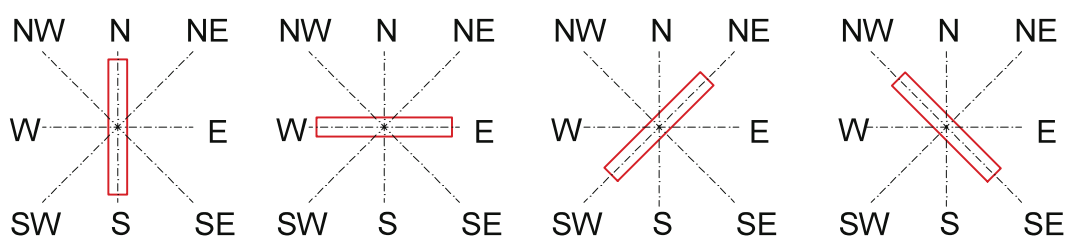
Table 2. Constant parameters reflecting window glazing required to determine the monthly heat gain from solar radiation penetrating into the space heated by windows, doors or glazed surfaces (own elaboration)

Parametry stałe stolarki okiennej Constant parameters for windows	Ściany I i II Walls I and II
A_i [m ²]	22,68
C_i [-]	0,70
g_{gl} [-]	0,75
$F_{sh,gl}$ [-]	1,00
F_{sh} [-]	0,91
$A_i \cdot C_i \cdot F_{sh,gl} \cdot F_{sh} \cdot g_{gl}$ [kWh·miesiąc ⁻¹]	10,84

Obliczenia miesięcznych zysków ciepła od promieniowania słonecznego wykonano dla czterech wariantów usytuowania rozpatrywanego budynku względem stron świata w osiach: N–S, W–E, NW–SE oraz NE–SW (rys. 1). Przyjęto teoretyczne lokalizacje budynku w obrębie trzech stref klimatycznych Polski: II, III i IV (rys. 2). Wybrano strefy

największe obszarowo oraz charakteryzujące się największą koncentracją produkcji zwierzęcej.

W nawiązaniu do wybranych do badań stref klimatycznych Polski w pracy wykorzystano dane dotyczące natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię o kącie nachylenia 90° dla następujących stacji meteorologicznych: Poznań i Zielona Góra



Rys. 1. Rozpatrywane warianty usytuowania budynku inwentarskiego względem stron świata (opracowanie własne)

Fig. 1. Variants of livestock building orientation in relation to the cardinal points (own elaboration)



Rys. 2. Mapa stref klimatycznych Polski według normy PN-EN 12831

Fig. 2. Map of climate zones in Poland according to PN-EN 12831 standard

w strefie II; Warszawa-Okęcie w strefie III, Białystok w strefie IV (tab. 3).

Ze względu na istotne różnice w zapotrzebowaniu na ciepło w ciągu roku przyjęto podział na następujące podstawowe okresy:

- największego zapotrzebowania na ciepło – od stycznia do marca (okres I) oraz od października do grudnia (okres III);
- małego zapotrzebowania na ciepło – od kwietnia do września (okres II).

Tabela 3. Średnie natężenie promieniowania słonecznego [$W \cdot m^{-2}$] na powierzchni o kącie nachylenia 90° na stacjach meteorologicznych Zielona Góra, Warszawa-Okęcie, Poznań, Białystok (dane Ministerstwa Inwestycji i Rozwoju, https://archiwum.miiir.gov.pl/media/51869/wmo122950iso_stat.txt; dostęp: 20.07.2020)

Table 3. Average intensity of solar radiation [$W \cdot m^{-2}$] on an area with an inclination angle of 90° at the Zielona Góra, Warszawa-Okęcie, Poznań, Białystok weather stations (Ministry of Investment and Economic Development data, https://archiwum.miiir.gov.pl/media/51869/wmo122950iso_stat.txt; accessed: 20.07.2020)

Stacja meteo Weather station	Miesiąc Month	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Poznań	1	19 241	19 241	21 238	35 265	41 961	35 348	21 297	19 241
	2	26 199	26 291	31 767	42 636	46 701	38 852	29 029	26 202
	3	42 750	45 132	58 272	74 973	83 279	72 005	55 748	44 530
	4	70 449	76 410	89 941	100 343	101 065	92 981	82 760	73 618
	5	89 166	99 104	112 763	118 903	117 014	118 943	112 972	99 359
	6	105 766	115 739	126 620	127 463	120 112	122 194	121 404	113 630
	7	103 360	114 830	125 457	125 280	116 839	117 409	115 626	108 797
	8	83 226	89 710	100 133	105 883	104 123	101 087	95 324	877 06
	9	58 860	60 783	68 623	77 966	82 774	77 289	68 053	60 653
	10	36 131	36 162	39 164	47 711	54 433	50 677	41 388	36 342
	11	19 772	19 772	21 476	32009	39 347	35 218	23 745	19 772
	12	19 241	19 241	21 238	35 265	41 961	35 348	21 297	19 241
Zielona Góra	1	17 955	17 955	19 282	27 386	31 283	27 373	19 272	17 955
	2	21 803	21 966	26 735	36 902	42 198	35 711	25 777	21 803
	3	46 657	47 864	55 772	65 790	69 060	60 861	51 750	47 104
	4	72 088	77 225	87 079	94 383	95 824	92 291	84 650	75 881
	5	87 730	95 822	106 328	109 920	105 981	105 233	101 386	93 520
	6	101 624	110 696	118 393	117 309	110 549	113 286	113 130	107 277
	7	99 880	108 067	116 359	116 564	110 143	110 151	109 041	104 132
	8	83 602	88 336	96 618	102 202	102 489	100 278	94 620	87 434
	9	56 993	58 475	65 459	72 803	76 123	71 948	65 383	59 222
	10	34 608	34 751	40 978	52 190	57 292	49 433	39 056	34 791
	11	19 512	19 512	20 866	27 068	31 070	28 301	21 738	19 512
	12	17 373	17 373	17 728	22 601	24 766	22 600	17 727	17 373

Tabela 3, cd. / **Table 3**, cont.

Stacja meteo Weather station	Miesiąc Month	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Warszawa Okęcie	1	21 215	21 215	23 781	36 976	42 377	35 382	22 654	21 215
	2	25 556	25 560	30 316	39 465	43 845	37 612	29 072	25 653
	3	49 314	50 400	60 328	72 337	75 781	65 528	55 256	50 035
	4	69 001	73 481	83 772	91 229	91 948	87 481	80 623	72 776
	5	94 223	105 591	119 230	123 107	116 562	115 826	111 366	101 751
	6	100 296	109 514	121 408	124 392	119 523	123 109	121 406	110 795
	7	103 727	115 765	128 871	130 639	122 667	124 096	121 712	112 185
	8	88 775	97 388	110 036	116 699	115 216	113 390	106 225	95 307
	9	61 523	63 298	69 620	77 342	82 852	79 904	71 775	63 785
	10	36 646	36 756	40 044	48 980	55 856	51 806	42 118	36 862
	11	18 022	18 022	19 296	24 269	27 615	25 342	20 055	18 022
	12	15 549	15 549	16 029	21 025	23 280	21 006	16 016	15 549
Białystok	1	16 621	16 621	17 689	26 798	31 390	27 330	18 065	16 621
	2	19 661	19 661	24 546	34 680	38 689	31 558	22 343	19 667
	3	44 456	45 407	53 018	62 951	66 414	58 506	49 586	44 998
	4	67 540	72 441	81 634	88 016	88 435	84 351	77 581	70 375
	5	82 570	92 897	106 619	112 036	108 768	110 918	105 906	93 007
	6	98 772	110 604	122 118	122 759	114 660	113 784	110 726	103 470
	7	97 053	108 048	119 738	121 606	114 238	112 722	109 164	101 977
	8	82 851	88 503	100 486	108 519	107 238	100 264	92 732	85 792
	9	55 048	58 182	69 636	81 789	87 131	79 254	67 353	57 489
	10	31 294	31 386	34 272	42 429	48 759	45 157	36 281	31 499
	11	15 817	15 817	17 521	23 244	25 906	22 659	17 108	15 817
	12	15 043	15 043	15 196	17 548	18 748	17 778	15 359	15 043

W pracy ustalono usytuowanie budynku, w jakim uzyskuje się największy zysk energii od słońca w danej strefie klimatycznej w okresie największego zapotrzebowania na ciepło (okresy I i III). Ponadto wskazano warianty usytuowania budynku, dla których obliczono najmniejsze sumaryczne zyski ciepła w okresie letnim, w którym zyski energii cieplnej od słońca mogą być przyczyną podwyższenia temperatury wewnętrznej w chlewni (okres II).

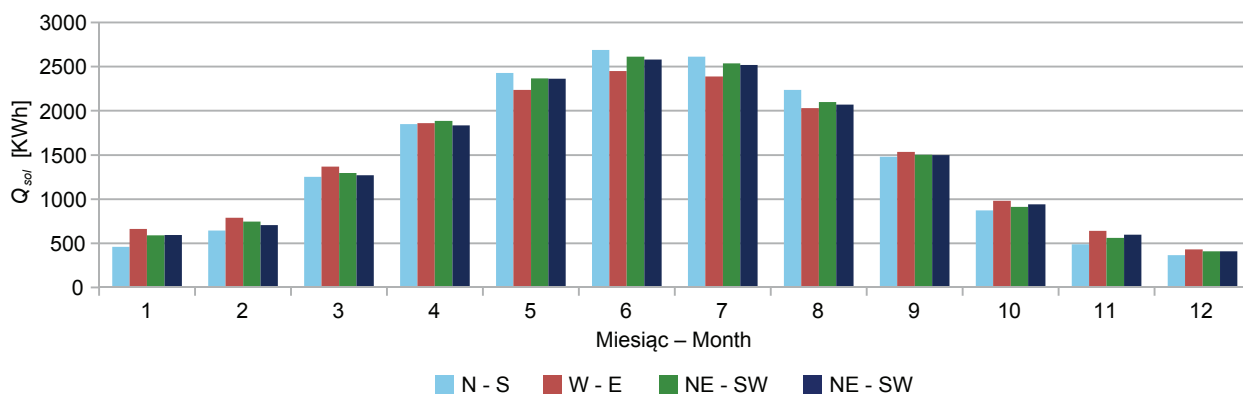
WYNIKI I DYSKUSJA

Zyski solarne w okresie jesienno-zimowym (październik–marzec) stanowią korzystną dawkę energii cieplnej, wpływającą pozytywnie na wyniki bilansu cieplnego chlewni. Inaczej jest od kwietnia do września, gdy uzyskiwana ilość energii wpływa niekorzystnie na bilans cieplny chlewni i może być przyczyną niepotrzebnego zwiększania temperatury wewnętrznej, aż

do osiągnięcia temperatury sprzyjającej powstawaniu stresu cieplnego. O ile w kwietniu i maju bywają okresy niskiej temperatury, o tyle zyski energii słonecznej mogą w tym czasie znacząco uzupełniać braki energetyczne związane z dogrzewaniem pomieszczeń, w których przebywają zwierzęta. Największe zyski ciepła występują oczywiście w miesiącach letnich takich jak czerwiec, lipiec, sierpień (tab. 3). Jak wspomniano,

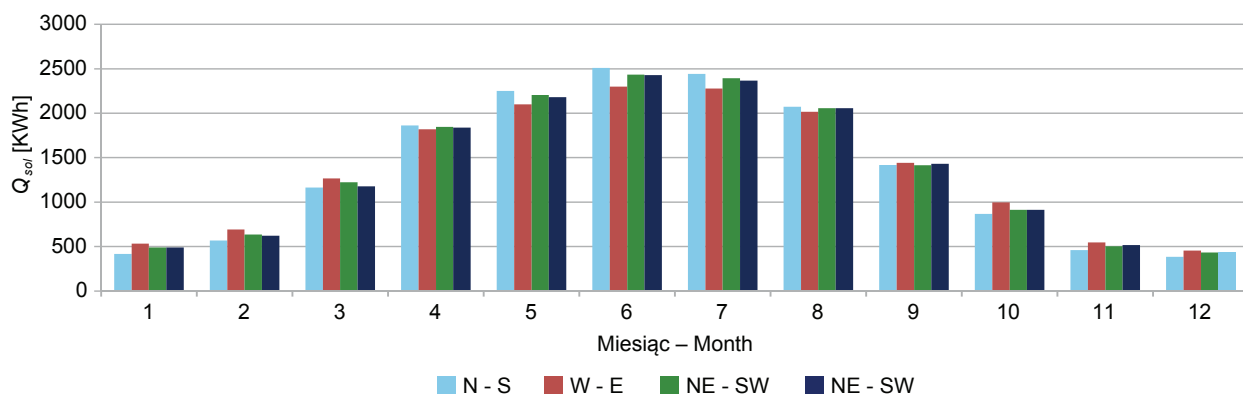
w tym okresie zyski solarne są wręcz utrudnieniem w utrzymaniu optymalnej temperatury wewnętrznej na poziomie 20°C.

Wyniki obliczeń zysków ciepła z promieniowania słonecznego w poszczególnych miesiącach dla analizowanego modelowego budynku inwentarskiego w przyjętych do analizy lokalizacjach przedstawiono na rysunkach 3–6 oraz w tabelach 4 i 5.



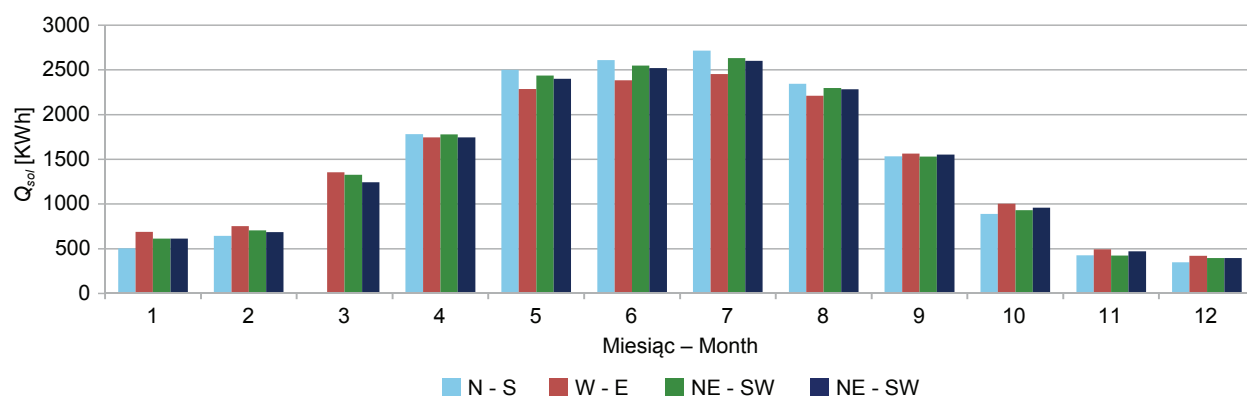
Rys. 3. Rozkład uzysków energii od słońca przez stolarkę okienną w poszczególnych miesiącach i różnym położeniu budynku względem stron świata na podstawie danych ze stacji meteorologicznej Poznań (opracowanie własne)

Fig. 3. Distribution of energy gain from solar radiation through window joinery in individual months and different location of the building in relation to cardinal points based on data from the weather station Poznań (own elaboration)



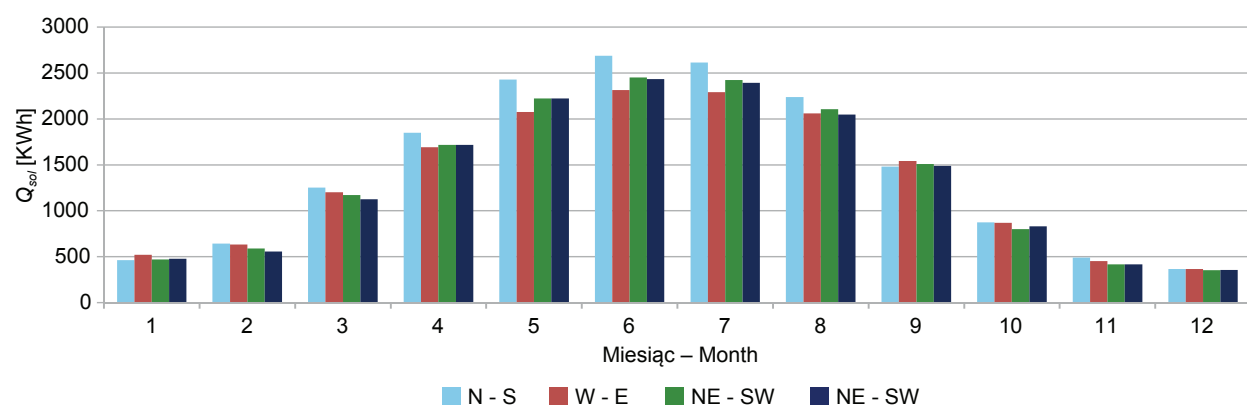
Rys. 4. Rozkład uzysków energii od słońca przez stolarkę okienną w poszczególnych miesiącach i różnym położeniu budynku względem stron świata na podstawie danych ze stacji meteorologicznej Zielona Góra (opracowanie własne)

Fig. 4. Distribution of energy gain from solar radiation through window joinery in individual months and different location of the building in relation to cardinal points based on data from the weather station Zielona Góra (own elaboration)



Rys. 5. Rozkład uzysków energii od słońca przez stolarkę okienną w poszczególnych miesiącach i różnym położeniu budynku względem stron świata na podstawie danych ze stacji meteorologicznej Warszawa-Okęcie (opracowanie własne)

Fig. 5. Distribution of energy gain from solar radiation through window joinery in individual months and different location of the building in relation to cardinal points based on data from the weather station Warszawa-Okęcie (own elaboration)



Rys. 6. Rozkład uzysków energii od słońca przez stolarkę okienną w poszczególnych miesiącach i różnym położeniu budynku względem stron świata na podstawie danych ze stacji meteorologicznej Białystok (opracowanie własne)

Fig. 6. Distribution of energy gain from solar radiation through window joinery in individual months and different location of the building in relation to cardinal points based on data from the weather station Białystok (own elaboration)

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w przypadku obliczeń wykonanych dla lokalizacji w strefie II – dane dla stacji meteorologicznej Poznań (rys. 3, tab. 5 i 6), najbardziej korzystnym pod względem zysków ciepła od słońca zarówno w okresie jesienno-zimowym, jak i w letnim jest kierunek w osi NW–SE.

Wyniki dla strefy II ze stacji meteorologicznej Zielona Góra (rys. 4, tab. 5 i 6) sugerują, że usytuowanie budynku w osi N–S generuje największe

zyski ciepła od słońca w okresie jesienno-zimowym. Takie położenie jest tradycyjnie uznawane za najkorzystniejsze. Przykładowo różnica w wartości zysków ciepła między kierunkiem N–S a W–E wynosi 21,5%. Jednocześnie zyski ciepła dla wariantu N–S od kwietnia do września są nieznacznie większe niż w pozostałych wariantach, a różnica w odniesieniu do kierunku W–E wynosi tylko 4,78%. Najmniejsze zyski ciepła dla okresu letniego uzyskano dla położenia w osi W–E.

Tabela 4. Zyski energii od promieniowania słonecznego dla różnego usytuowania budynku chlewni względem stron świata oraz wybranych stref klimatycznych w poszczególnych miesiącach (opracowanie własne)
Table 4. Energy gain from solar radiation for different locations of the pigpen building exposition with regard to cardinal points and selected climate zones in particular months (own elaboration)

		Zyski ciepła od promieniowania słonecznego – Heat gain from solar radiation															
		Q_{sol} [kWh·miesiąc ⁻¹]															
Miesiąc – Month		Stacja meteo Poznań – strefa klimatyczna II Weather station Poznań – climate zone II			Stacja meteo Zielona Góra – strefa klimatyczna III Weather station Zielona Góra – climate zone III			Stacja meteo Warszawa-Okęcie – strefa klimatyczna III Weather station Warszawa-Okęcie – climate zone III			Stacja meteo Białystok – strefa klimatyczna IV Weather station Białystok – climate zone IV						
		N-S	W-E	NE-SW	NW-SE	N-S	W-E	NE-SW	NW-SE	N-S	W-E	NE-SW	NW-SE				
1		461,08	663,43	590,84	591,74	417,93	533,74	491,49	491,49	503,36	689,34	613,51	613,51	461,08	520,44	470,66	476,43
2		643,29	790,24	746,20	706,15	569,23	693,77	636,36	623,45	643,77	752,31	705,88	684,78	643,29	632,51	589,12	555,21
3		1252,93	1366,15	1295,41	1269,76	1165,54	1267,46	1223,77	1178,58	1252,93	1356,03	1326,51	1244,89	1252,93	1201,83	1170,17	1126,42
4		1848,91	1859,21	1885,74	1836,19	1861,54	1820,17	1845,66	1837,55	1782,04	1744,69	1777,81	1744,83	1848,91	1690,77	1716,96	1716,96
5		2429,56	2234,99	2365,96	2363,63	2251,62	2099,83	2205,29	2179,44	2499,66	2284,91	2437,46	2400,16	2429,56	2074,10	2222,67	2222,67
6		2688,58	2448,52	2613,45	2579,19	2509,71	2299,95	2434,51	2427,96	2608,49	2382,84	2549,43	2521,63	2688,58	2313,60	2452,32	2432,37
7		2613,34	2386,96	2537,39	2517,47	2443,34	2276,65	2392,34	2365,48	2716,32	2454,11	2632,21	2600,09	2613,34	2290,39	2423,64	2393,15
8		2236,92	2030,86	2098,50	2068,24	2073,02	2017,23	2055,65	2055,65	2344,27	2211,26	2298,14	2284,83	2236,92	2060,56	2106,33	2046,23
9		1481,57	1535,31	1502,63	1496,70	1418,33	1442,98	1413,78	1431,15	1532,72	1565,02	1529,82	1552,31	1481,51	1541,22	1509,77	1489,81
10		873,18	981,71	911,13	941,33	867,57	996,19	912,55	912,55	890,64	1002,72	930,53	960,01	873,18	867,77	801,38	829,73
11		490,17	640,85	561,31	596,09	461,83	548,31	504,93	518,29	426,57	494,70	423,27	470,07	490,19	452,28	417,08	417,08
12		365,86	429,78	409,76	410,69	384,33	456,79	433,32	433,31	347,37	420,91	396,46	396,26	365,86	366,29	353,29	355,78

^aMiesiące 1–3: okres I – Months 1–3: period I; Miesiące 4–9: okres II – Months 4–9: period II; Miesiące 10–12: okres III – Months 10–12: period III.

Tabela 5. Zbiorcze zestawienie zysków od słońca w analizowanych strefach klimatycznych i przy różnych usytuowaniach budynku względem stron świata (opracowanie własne)

Table 5. Aggregate summary of solar gain in the analysed climate zones and different locations of the building with regard to cardinal points (own elaboration)

Strefa klimatyczna – stacja meteo Climate zone – weather station	N–S		W–E		SW–NE		NW–SE	
	$Q_{sol\ 1-3; 10-12}^a$	$Q_{sol\ 4-9}^b$	$Q_{sol\ 1-3; 10-12}$	$Q_{sol\ 4-9}$	$Q_{sol\ 1-3; 10-12}$	$Q_{sol\ 4-9}$	$Q_{sol\ 1-3; 10-12}$	$Q_{sol\ 4-9}$
Strefa II – Poznań	4 086,54	13 483,51	3 506,01	12 495,85	4 514,67	13 003,68	4 515,78	12 861,43
Strefa II – Zielona Góra	5 727,97	12 557,56	4 496,27	11 956,81	4 202,43	12 347,25	4 157,68	12 297,24
Strefa III – Warszawa	4 065,64	13 483,51	4 716,01	12 642,83	4 396,16	13 224,88	4 369,52	13 103,86
Strefa III – Białystok	4 086,54	13 298,89	4 041,13	11 970,66	3 801,69	12 431,69	3 760,65	12 301,18

^aZyski ciepła dla okresów I i III – solar gain in periods I and III.

^bZyski ciepła dla okresu II – solar gain in period II.

Wnioski dotyczące lokalizacji w strefach III i IV (dane dla stacji meteorologicznej Warszawa-Okęcie i Białystok) są zbliżone. Od stycznia do marca oraz od października do grudnia zyski ciepła od słońca są największe w przypadku usytuowania budynku w osi W–E. Z kolei w okresie letnim najmniejsze zyski ciepła od słońca w strefie III są w budynku położonym w osi W–E, a w strefie IV w osi N–S. Przy czym w tym ostatnim przypadku różnica między wartościami dla orientacji N–S i W–E jest nieznaczna i wynosi 9,99%.

W tabeli 6 pokazano sumaryczne zestawienie najkorzystniejszych wariantów usytuowania budynków w analizowanych strefach klimatycznych. Rozbieżności między optymalnym usytuowaniem dla okresu letniego a jesienno-zimowego widoczne są przede

wszystkim w przypadku strefy II dla stacji meteorologicznej Zielona Góra. O ile różnica w okresie letnim w zakresie zysków ciepła od słońca jest niewielka (wspominane 4,78%), o tyle różnica w okresie zwiększonego zapotrzebowania na ciepło (od października do marca) jest już znacząca, bo wynosi 21,5%. W takim przypadku należałoby rozpatrzyć, co jest korzystniejsze – czy przeznaczenie większej ilości energii na dogrzewanie wnętrza w tzw. okresie grzewczym, czy wykorzystanie form pasywnej ochrony budynku przed przegrzewaniem wnętrza.

We wszystkich analizowanych przypadkach, w pełni optymalnych z punktu widzenia zaprezentowanych wyników, zasadne jest poszukiwanie dodatkowych rozwiązań wpływających na zyski solarne w budyn-

Tabela 6. Najkorzystniejsze warianty usytuowania budynków w analizowanych strefach klimatycznych

Table 6. The most advantageous variants of building location in the analysed climate zones

Strefa klimatyczna Climate zones	Stacja meteo Weather station	Optymalna orientacja budynku w przyjętych okresach Optimal orientation of the building in the accepted periods	
		okresy I i III periods I and III	okres II period II
II	Poznań	NW–SE	NW–SE
II	Zielona Góra	N–S	W–E
III	Warszawa	W–E	W–E
IV	Białystok	N–S (opcjonalnie W–E)	W–E

kach inwentarskich. Rozwiązaniem uniwersalnym, które będzie sprawdzać się zarówno w okresie letnim, jak i zimowym, są zewnętrzne rolety okienne. Rolety okienne skutecznie chronią przed nadmierną utratą ciepła przez stolarkę okienną w okresie niskiej temperatury (od zmierzchu do świtu), a w okresie letnim pozwalają na ograniczenie zysków solarnych przy jednoczesnym ograniczeniu dopływu światła dziennego, co może wymagać czasowego doświetlenia wnętrza światłem sztucznym, aby zapewnić odpowiednie natężenie światła związane z obsługą zwierząt. Jednakże rolety zewnętrzne można dowolnie opuszczać lub podnosić w celu uzyskania optymalnych warunków cieplnych oraz doświetlenia wnętrza. Innym rozwiązaniem może być stworzenie osłony biologicznej w formie zadrzewień, tak aby chronić budynek przed penetracją słońca w okresie letnim i jednocześnie umożliwiającą dopływ energii cieplnej od słońca w okresie zimowym. Takie rozwiązanie jest możliwe jedynie w przypadku osłony z drzew liściastych lub modrzewi.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analiza zysków ciepła od promieniowania słonecznego w zależności od położenia osi budynku względem stron świata pozwala projektantowi na dostosowanie budynku pod względem zachowania prawidłowego dobrostanu zwierząt (trzody chlewnej) poprzez poprawę ochrony biernej i czynnej przed przegrzewaniem wnętrza oraz odpowiedniego doboru izolacyjności cieplnej przegród, w tym także przegród przeziernych.

Uzyskane teoretyczne wyniki zysków ciepła od słońca przy różnych położeniach osi budynku względem stron świata przeczą powszechnie przyjmowanej w literaturze przedmiotu opinii, że najkorzystniejszy jest wariant osi N–S. Tego rodzaju orientacja budynku została potwierdzona jedynie w obliczeniach wykonanych dla strefy II według danych dla stacji meteorologicznej Zielona Góra. Z przedstawionych analiz dla wybranych stref klimatycznych kraju wynika, że znacznie korzystniejszy może być wariant usytuowanie budynku dłuższą osią w kierunku W–E lub NW–SE.

Z uwagi na to, że zyski ciepła od promieniowania słonecznego są ważnym składnikiem bilansu cieplnego budynku inwentarskiego, w przypadku wstępnych analiz na potrzeby konkretnych budynków inwen-

tarskich należy w większym stopniu niż dotychczas brać pod uwagę dane meteorologiczne opisujące lokalne warunki klimatyczne i uzyskane zyski ciepła od promieniowania słonecznego dla danego przypadku. Tego rodzaju dane mogą być pomocne w podejmowaniu wstępnych decyzji na temat usytuowania budynku najkorzystniejszego pod względem zysku ciepła w okresie niskiej temperatury oraz ewentualnego przegrzewania wnętrza w okresie letnim.

Indywidualny wkład autorów

Koncepcja pracy: K.W. i A.P.-Z.; metodyka: K.W.; oprogramowanie: K.W.; walidacja danych: K.W. i A.P.-Z.; analiza formalna: K.W. i A.P.-Z.; badania: K.W. i A.P.-Z.; kompilacja i opracowanie danych: K.W. i A.P.-Z.; sporządzenie wstępnej wersji artykułu: A.P.-Z.; redakcja i korekta artykułu: A.P.-Z.; wizualizacja i oprawa graficzna: K.W. i A.P.-Z.; nadzór: A.P.-Z.; zarządzanie projektem: A.P.-Z.

Wszyscy autorzy zapoznali się z przeznaczoną do publikacji wersją manuskryptu.

PIŚMIENNICTWO

- Alberta Agriculture and Rural Development (2014). *Shelterbelts for livestock farms in Alberta: Planning, planting and maintenance – Open Government*. Edmonton: University of Alberta. Pobrano z lokalizacji: <https://open.alberta.ca/dataset/8102ce49-c99d-4713-af48-2bb0a9ff0da4/resource/3f735573-1905-46af-be33-754e180465b0/download/6740700-2014-shelterbelts-livestock-farms-alberta-planning-planting-maintenance-400-092-2.pdf>
- Albright, L. D. (1990). *Environment control for animals and plants*. New York: American Society of Agricultural Engineers. Pobrano z lokalizacji: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19912450648>
- Angrecka, S., Herbut, P., Nawalany, G. i Sokołowski, P. (2017). The impact of localization and barn type on insolation of sidewall stalls during summer. *Journal of Ecological Engineering*, 18 (4), 60–66. <https://doi.org/10.12911/22998993/74398>
- Bianchi, M. V., Desjarlais, A. O., Miller, W. A. i Petrie, P. T. W. (2007). Cool roofs and thermal insulation: energy savings and peak demand reduction. W *Proceedings of the ASHRAE Conference in Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings*, 10, 1–6. Clearwater, FL, 12.2007. ASHRAE Transactions.

- Firfiris, V. K., Martzopoulou, A. G. i Kotsopoulos, T. A. (2019). Passive cooling systems in livestock buildings towards energy saving: A critical review. *Energy and Buildings*, 202, 109368. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109368>
- Jackson, P., Guy, J., Edwards, S.A., Sturm, B. i Bull, S. (2017). Application of dynamic thermal engineering principles to improve the efficiency of resource use in UK pork production chains. *Energy and Buildings*, 139, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.090>
- Liberati, P. i Zappavigna, P. (2010). A simulation model to predict the internal climatic conditions in livestock houses as a tool for improving the building design and management. W *Proceedings of XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR)*, Quebec City, 13–17.06.2010. Pobrano z lokalizacji: <http://www.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2010/CSBE100548.pdf>
- Marciniak, A. M. (2008). Ocena poziomu oświetlenia naturalnego w oborach wolnostanowiskowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 16 (2), 109–114.
- Martzopoulou, A., Firfiris, V. i Kotsopoulos, T. (2020). Application of urban passive cooling systems and design techniques in livestock buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 410, 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012029>
- Mescher, T. M. i Veenhuizen, M. A. (2006). *Livestock Housing Ventilation: Natural Ventilation Design and Management for Dairy Housing*. Pobrano z lokalizacji: <https://www.dairyvietnam.com/en/Housing-Construction/Livestock-Housing-Ventilation-Natural-Ventilation-Design-and-Management-for-Dairy-Housing.html>
- Mrema, G. C., Gumbe, L. O., Chepete, H. K. i Agullo, J. O. (2011). *Rural Structures in the Tropics – Design and Development*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pobrano z lokalizacji: <http://www.fao.org/3/I2433e/i2433e.pdf>
- PN-EN 12831. Charakterystyka energetyczna budynków. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- Valtorta, S. (2010). Development of Microclimate Modification Patterns in Animal Husbandry. W K. Stigter (red.), *Applied Agrometeorology* (pp. 803–805). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74698-0_92
- Vox, G., Maneta, A. i Schettini, E. (2016). Evaluation of the radiometric properties of roofing materials for livestock buildings and their effect on the surface temperature. *Biosystems Engineering*, 144, 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.01.016>
- Wardal, W. J., Romaniuk, W. i Borusiewicz, A. (2018). *Innowacyjne rozwiązania technologiczno-budowlane w chowie trzody chlewnej*. Łomża: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Agrobiznesu.
- Żelazny, H. (2008). Temperatura powietrza w przestrzeniach budynków inwentarskich Poddanych ekspozycji słonecznej. *Inżynieria Rolnicza*, 2 (100), 331–337.
- Żochowska, M., Kingsbury, A. i Kobuszyńska, M. (2012). *Renewable Energy and Bio-fuel Situation in Poland (GAIN report PL 1235)*. Warsaw: USDA Foreign Agricultural Service. Pobrano z lokalizacji: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Renewable%20Energy%20and%20Bio-fuel%20Situation%20in%20Poland_Warsaw_Poland_12-28-2012.pdf

IMPACT OF LIVESTOCK BUILDING LOCATION ON SOLAR HEAT OUTPUT

ABSTRACT

The article concerns the influence of the location of livestock building in relation to the cardinal points and the absorption of solar energy, especially in periods of low and high external temperatures. The starting point was the spatial variation in the distribution of solar radiation in Poland. The methodology of determining heat gains from solar radiation in accordance with PN-EN 13790 standard was applied. The calculations were made for a theoretical pigsty building, for four orientations: the N–S, W–E, NW–SE and NE–SW. Theoretical locations of the building were assumed in three climate zones of Poland: zone II represented by city of Poznań, zone III (Warsaw and Jelenia Góra) and zone IV (Białystok). The obtained results do not entirely confirm the accuracy of the commonly applied principle of N–S building orientation. However, during April–September period this location is indeed favourable in case of some climate zones in Poland (zones II and IV). In periods of lower temperatures the most optimal is W–E orientation (zones II, III and IV) and NW–SE for zone II.

Key words: passive heating recovery, passive cooling, animal welfare, microclimate