

Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku na rusztowaniach budowlanych w wybranych województwach Polski

mgr inż. Tomasz Nowobilski (ORCID: 0000-0002-0599-7108),
 prof. dr hab. inż. Bożena Hoła (ORCID: 0000-0001-6630-8065),
 Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska

1. Wprowadzenie

Duża i niekontrolowana liczba zagrożeń dla bezpieczeństwa pracy, która występuje podczas prowadzonych prac budowlanych [1] często prowadzi do powstawania wypadków. Potwierdzeniem tak postawionej tezy są m.in. dotychczasowe wyniki analiz danych statystycznych oraz szeroko prowadzone badania na całym świecie, według których budownictwo zaliczane jest do jednej z najbardziej niebezpiecznych gałęzi gospodarki [2–5].

Znaczna część wypadków w budownictwie związana jest z pracą na wysokości, w tym na rusztowaniach budowlanych [6, 7]. Praca na tych stanowiskach obarczona jest dużym ryzykiem zawodowym, a ewentualne konsekwencje wypadku najczęściej są bardzo poważne. Ponadto niekorzystne sytuacje związane z pracą na wysokości są wynikiem dużej liczby zaniedbań ze strony pracodawców i pracowników wykonujących te prace [8]. Jak wynika z raportu kontroli 4779 polskich budów przeprowadzonych przez Państwową Inspekcję Pracy w 2018 roku [9], w 62% przypadków stwierdzono naruszenia przepisów związanych z bezpieczną pracą na wysokości, a w 47% skontrolowanych budów stwierdzono nieprawidłowości związane bezpośrednio z użytkowaniem rusztowań. Nieprawidłowości te obejmowały m.in. braki w konstrukcji rusztowań oraz dopuszczenie do użytkowania konstrukcji pomimo braku odpowiedniego odbioru.

Celem przeprowadzonych badań było właściwe rozpoznanie zjawiska wypadkowości na tego typu konstrukcjach, a zwłaszcza: częstości wypadków z udziałem rusztowań. Wyniki badań w tym zakresie umożliwią opracowanie skutecznych narzędzi pozwalających na kontrolę zagrożeń i opracowanie sposobów zapobiegania wypadkom przy pracy w przeszłości.

2. Zakres badań własnych

Badaniami objęto 5 regionów Polski, a mianowicie region: dolnośląski, lubelski, łódzki, mazowiecki i wielkopolski.

Każdy z badanych regionów podzielony jest administracyjnie na gminy. Łączna liczba gmin we wszystkich analizowanych regionach wynosi 1099. Badania empiryczne dotyczące populacji rusztowań budowlanych użytkowanych w wytypowanych gminach Polski odbywały się w okresie od 2016 roku do 2018 roku. W celu uzyskania informacji o liczbie wypadków z udziałem rusztowań budowlanych przeprowadzono analizę protokołów powypadkowych będących w zasobach Okręgowych Inspektoratów Państwowej Inspekcji Pracy. Badania te obejmowały okres od 2011 do 2017 roku.

Aby oszacować retrospektywne prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku przy pracy z udziałem rusztowania budowlanego, należało określić:

- liczbę rusztowań eksploatowanych w regionie objętym badaniami,
- liczbę wypadków przy pracy, które związane były z użytkowaniem tych rusztowań.

2.1. Oszacowanie liczby rusztowań eksploatowanych na terenie objętym badaniami

Określenie liczby rusztowań, eksploatowanych w badanych regionach, jest zadaniem bardzo pracochłonnym i kosztownym, a ze względu na skalę zagadnienia niemożliwym wręcz do wykonania. Dlatego też podjęto próbę opracowania modeli matematycznych służących do predykcji liczby rusztowań eksploatowanych w poszczególnych gminach badanych regionów. W tym celu opracowano autorską metodykę badań, na którą składają się poniższe etapy.

- Empiryczne określenie liczby użytkowanych rusztowań budowlanych na reprezentatywnych obszarach badanego regionu. W ramach realizacji tego etapu wykonano zliczanie rusztowań w wytypowanych reprezentatywnych obszarach. Do badań wybrano 30 miejscowości w 5 regionach Polski. W każdej przyjętej do analizy miejscowości wytypowano tzw. „obszary zliczania”, które w sposób reprezentatywny oddają charakter zabudowy danej miejscowości. Przedmiotem zliczania objęte były wszystkie rusztowania budowlane, zlokalizowane w ogólnodostępnych

miejscach wytypowanych obszarów zliczania, pełniące funkcję tymczasowej konstrukcji umożliwiającej wykonywanie prac na wysokości. Ostatecznie liczba rusztowań uzyskanych w obszarach reprezentatywnych została przeskalowana na obszar całej gminy z uwzględnieniem jej charakteru zabudowy.

- Opracowanie modeli matematycznych pozwalających prognozować liczbę rusztowań budowlanych w całym regionie na podstawie wybranych wskaźników społeczno-gospodarczych oraz liczby rusztowań ujawnionych w obszarach reprezentatywnych. W ramach tego etapu, w pierwszej kolejności wytypowano kilkanaście wskaźników gospodarczych I_m , które charakteryzują regiony pod kątem rozwoju społeczno-gospodarczego. Następnie opracowano cztery różne modele matematyczne, łączące wytypowane wskaźniki społeczno-gospodarcze oraz liczbę rusztowań budowlanych, określoną w wyniku zliczania. Opracowane modele pozwalają na prognozowanie liczby eksploatowanych rusztowań w poszczególnych gminach, różniących się m.in. stopniem zurbanizowania. Do budowy modelu autorzy badań zaproponowali zastosowanie regresji liniowej.

- Predykcja liczby rusztowań eksploatowanych w regionie objętym badaniami. Ostatnim etapem było oszacowanie za pomocą opracowanych modeli regresji liniowej, liczby rusztowań budowlanych w wybranych województwach.

2.2. Wyznaczenie prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku

Protokoły powypadkowe stanowią bardzo szczegółowe źródło informacji ilościowych i jakościowych na temat wypadków przy pracy, które miały miejsce w przeszłości [10–12]. W ramach przeprowadzonych badań wykonano analizę protokołów powypadkowych pozyskanych z zasobów Okręgowych Inspektoratów Państwowej Inspekcji Pracy. Spośród

wszystkich przeanalizowanych protokołów do dalszych analiz wybrano protokoły zawierające informacje na temat wypadków powiązanych z rusztowaniami budowlanymi. Analizie poddano wypadki lekkie, ciężkie oraz śmiertelne. Jeżeli w wypadku uszkodzona była więcej niż jedna osoba, to każdą uszkodzoną osobę traktowano jako oddzielny przypadek obliczeniowy.

Wykonana w ten sposób analiza pozwoliła na wyznaczenie liczby wypadków związanych z rusztowaniami budowlanymi z podziałem na poszczególne regiony kraju oraz lata. W połączeniu z oszacowaną liczbą rusztowań budowlanych, dane te umożliwiły wyznaczenie wskaźnika częstości wypadków W według poniższej formuły:

$$W = \frac{A}{S} \cdot 10\,000 \left[\frac{l. \text{wypadków}}{10\,000 \text{ rusztowań}} \right]$$

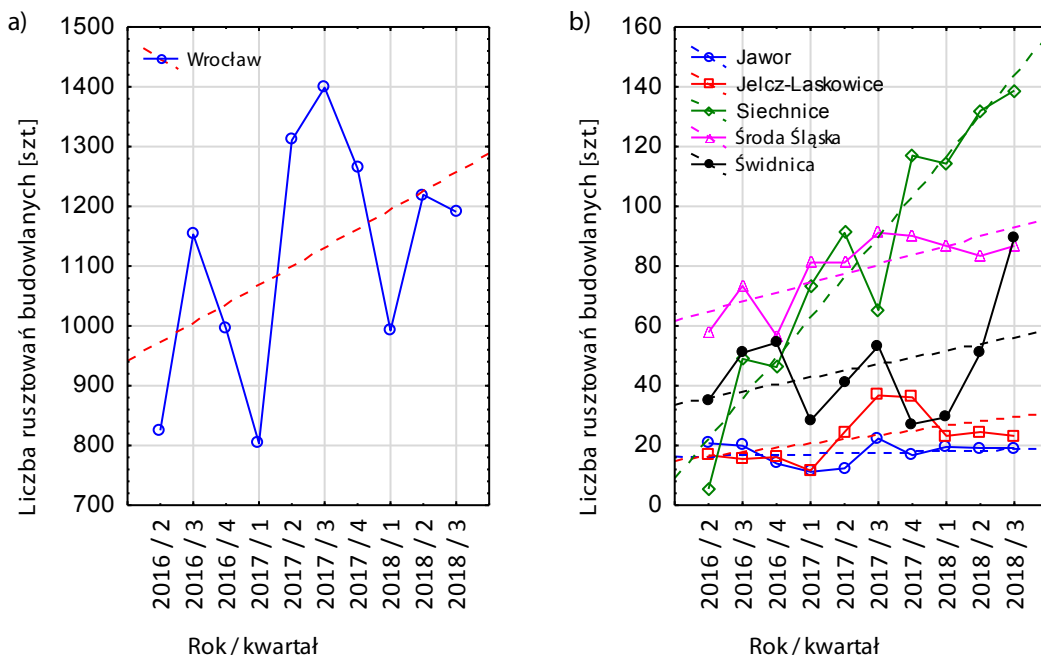
3. Uzyskane wyniki

3.1. Empiryczne określenie liczby użytkowanych rusztowań

Fragment uzyskanych wyników badań empirycznych dla miejscowości regionu dolnośląskiego przedstawiono na rysunku 1.

Na podstawie przebiegu wykresów można zauważyć zdecydowaną różnicę w liczbie eksploatowanych rusztowań w gminie Wrocław i w pozostałych gminach regionu dolnośląskiego. Widoczna jest również, zwłaszcza w dużych gminach, różnica w liczbie rusztowań użytkowanych w poszczególnych kwartałach roku, a także tendencja wzrostowa liczby eksploatowanych rusztowań budowlanych.

Ze względu na różnice społeczno-gospodarcze występujące pomiędzy wszystkimi gminami, wchodzącymi w skład analizowanych regionów Polski, konieczne było wcześniejsze ich



Rys. 1. Zidentyfikowana liczba rusztowań w wybranych miejscowościach regionu dolnośląskiego w okresie od 2016 do 2018 roku: a) stolica regionu, b) pozostałe analizowane miejscowości

Tabela 1. Charakterystyka otrzymanych grup gmin

Grupa	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
Liczebność gmin	4 gminy	791 gmin	129 gmin	175 gmin
Przykładowe gminy wchodzące w skład grupy	<ul style="list-style-type: none"> • Wrocław • Łódź • M. st. Warszawa • Poznań 	<ul style="list-style-type: none"> • Łęczna • Kępno • Dzierżoniów • Kutno 	<ul style="list-style-type: none"> • Lublin • Jawor • Świdnica • Puławy 	<ul style="list-style-type: none"> • Jelcz-Laskowice • Grójec • Piaseczno • Ostrzeszów

Tabela 2. Opracowane modele regresji liniowej

Grupa	Opracowany model liniowy
G ₁	$N_{r,y,q} = 331,47 + 0,19 \cdot I_{1,r,y,q} - 260,18 \cdot p_I + 25,39 \cdot p_{II} + 168,49 \cdot p_{III}$
G ₂	$N_{r,y,q} = 5,68 \cdot I_{2,r,y,q}$
G ₃	$N_{r,y,q} = 0,16 \cdot I_{3,r,y,q} - 13,94 \cdot p_I + 2,97 \cdot p_{II} + 9,67 \cdot p_{III}$
G ₄	$N_{r,y,q} = 0,31 \cdot I_{4,r,y,q} + 0,71 \cdot I_{5,r,y,q} - 0,002 \cdot I_{6,r,y,q} +$

gdzie:
 $N_{r,y,q}$ – przeciętna liczba rusztowań na zabudowaną powierzchnię gmin,
 I_1 – liczba przedsiębiorstw budowlanych realizująca roboty związane z wznoszeniem budynków [szt.],
 I_2 – liczba przedsiębiorstw budowlanych realizująca roboty związane z budową obiektów inżynierii lądowej i wodnej [szt.],
 I_3 – liczba przedsiębiorstw budowlanych realizująca roboty specjalistyczne [szt.],
 I_4 – powierzchnia gminy [km²],
 I_5 – liczba nowo oddanych do użytkowania budynków mieszkalnych [szt.],
 I_6 – liczba mieszkańców w miastach [szt.],
 p_j – parametr pomocniczy, który może przyjmować wartości 0, 1 lub -1, uwzględniający kwartał roku,
 r – gmina ($r = 1, 2, 3, \dots, 1099$),
 y – rok ($y = 1, \dots, 9$),
 q – kwartał roku ($q = 1, \dots, 4$).

Tabela 3. Zestawienie parametrów charakteryzujących opracowane modele matematyczne

Lp.	Nazwa parametru charakteryzującego	Grupa			
		G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
1	Współczynnik korelacji wielorakiej R_p	0,965	0,959	0,932	0,804
2	Współczynnik determinacji R^2	0,931	0,919	0,869	0,646
3	Skorygowany współczynnik determinacji R_s^2	0,923	0,915	0,865	0,634

pogrupowanie. W tym celu wykorzystano Analizę skupień, a otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Dla każdej opracowanej grupy gmin zbudowano własny model predykcji liczby rusztowań. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano cztery modele liniowe, które zamieszczono w tabeli 2.

W celu zbadania jakości dopasowania opracowanych modeli matematycznych do wartości empirycznych wyznaczono wartości statystyk: R_p , R^2 , R_s^2 , które zamieszczono w tabeli 3. Bardzo wysokie wartości wszystkich statystyk świadczą o bardzo dobrym dopasowaniu modeli do wartości rzeczywistych.

Opracowane modele posłużyły do predykcji liczby eksploatowanych rusztowań we wszystkich gminach analizowanych

regionów. Sumując wartości uzyskane dla poszczególnych gmin wchodzących w skład regionu, otrzymano liczbę eksploatowanych rusztowań budowlanych w analizowanych pięciu regionach kraju. Oszacowaną liczbę rusztowań budowlanych dla każdego regionu w okresie od 2011 do 2018 roku, z podziałem na kwartały przedstawiono na rysunku 2.

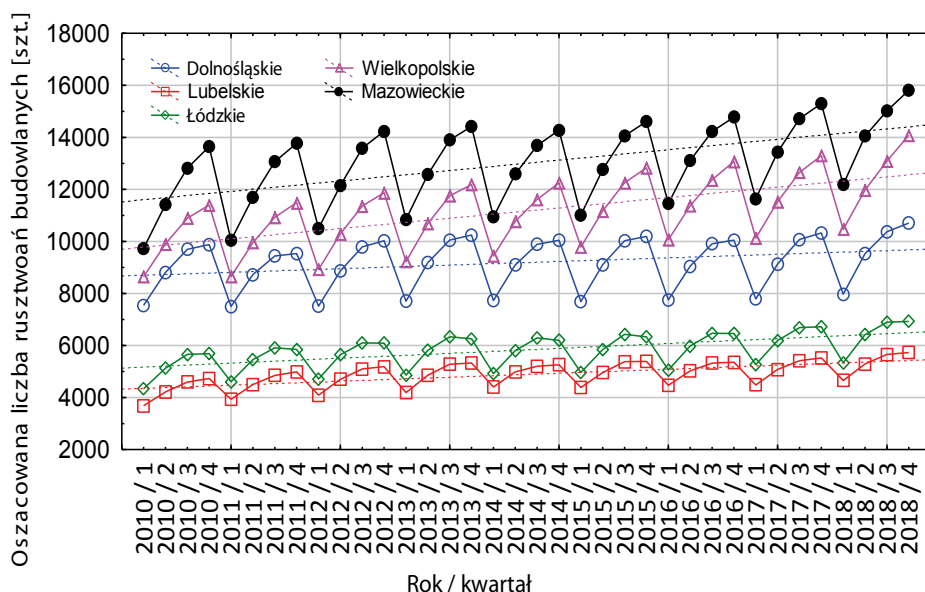
Otrzymane wyniki wskazują, że największa liczba rusztowań występuje w regionie mazowieckim, wielkopolskim i dolnośląskim, a mniejsza w regionie łódzkim i lubelskim. Fakt ten może być spowodowany m.in. odpowiednio mniejszą liczbą inwestycji oraz mniejszą powierzchnią regionu łódzkiego i lubelskiego. Obserwuje się również wyraźną sezonowość w liczbie użytkowanych rusztowań, a mianowicie mniejszą liczbę eksploatowanych rusztowań w kwartale pierwszym

Rys. 2. Oszacowana za pomocą modeli regresji liniowej liczba rusztowań budowlanych w wybranych województwach

oraz większą w kwartałach drugim, trzecim i czwartym. Średnia liczba użytkowanych rusztowań budowlanych wykazuje tendencję rosnącą.

3.2. Oszacowanie prawdopodobieństwa a posteriori wystąpienia wypadku

Dane dotyczące liczby wypadków z udziałem rusztowań budowlanych oraz liczby osób poszkodowanych w tych wypadkach, z podziałem na regiony i lata zamieszczono w tabeli 4. Ilościowa analiza zidentyfikowanych wypadków, w połączeniu z oszacowaną populacją rusztowań, pozwoliła na oszacowanie częstości wystąpienia wypadku z udziałem rusztowania budowlanego w odniesieniu do wszystkich eksploatowanych rusztowań budowlanych. Wyliczone wartości częstości wypadków dla poszczególnych lat i regionów zostały przedstawione w tabeli 5 w postaci wskaźnika częstości wypadków *W* w odniesieniu do 10 000 rusztowań.



Wyznaczona średnia wartość wskaźnika częstości wypadków przy pracy na rusztowaniu budowlanym *W*, w poszczególnych regionach w analizowanym przedziale czasu wahała się w granicach od 3,20 w regionie łódzkim do 0,98 w regionie mazowieckim. W pozostałych regionach kształtowała się następująco: w regionie wielkopolskim 1,94 w regionie dolnośląskim 1,61, w regionie lubelskim 1,72. Wartość średnia dla wszystkich regionów w badanym przedziale czasu wynosi 1,89. We wszystkich regionach jest zauważalna minimalna tendencja malejąca wypadkowości. Można zauważyć wyraźną zmienność częstości wypadków w przypadku

Tabela 4. Zestawienie liczby zidentyfikowanych wypadków przy pracy związanych z rusztowaniami budowlanymi w poszczególnych regionach i latach (w nawiasie podano liczbę osób poszkodowanych)

Region	Rok							SUMA (Region)
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Dolnośląski	8 (8)	6 (6)	7 (7)	4 (4)	7 (7)	4 (4)	6 (6)	42 (42)
Lubelski	4 (4)	3 (4)	5 (5)	1 (1)	5 (5)	2 (2)	3 (3)	23 (24)
Łódzki	6 (7)	7 (9)	6 (7)	12 (12)	3 (3)	7 (7)	6 (6)	47 (51)
Mazowiecki	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (6)	5 (5)	5 (5)	35 (36)
Wielkopolski	8 (9)	8 (11)	8 (10)	8 (8)	8 (8)	5 (6)	8 (8)	53 (60)
SUMA (Rok)	31 (39)	29 (35)	31 (34)	30 (30)	28 (29)	23 (24)	28 (28)	200 (213)

Tabela 5. Wartość wskaźnika częstości wypadków z udziałem rusztowań budowlanych *W* dla badanych regionów i przedziału czasu od 2011 do 2017 roku

Region	Wskaźnik częstości wypadków z udziałem rusztowań budowlanych <i>W</i>							Wartość średnia (Region)
	Rok							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Dolnośląski	2,27	1,62	1,84	1,07	1,89	1,08	1,50	1,61
Lubelski	2,26	1,99	2,53	0,48	2,36	0,99	1,45	1,72
Łódzki	3,12	4,06	3,07	5,40	1,28	2,88	2,58	3,20
Mazowiecki	1,08	0,95	0,93	0,97	1,08	0,97	0,86	0,98
Wielkopolski	2,27	2,63	2,34	1,76	1,60	1,32	1,70	1,94
Wartość średnia (Rok)	2,20	2,25	2,14	1,93	1,64	1,45	1,62	1,89

regionu łódzkiego, lubelskiego i dolnośląskiego. W przypadku pozostałych regionów zmienność ta nie jest już tak wyraźnie obserwowana.

4. Podsumowanie

Celem podjętych i opisanych w niniejszym artykule badań było oszacowanie prawdopodobieństwa powstania wypadku na rusztowaniach budowlanych. Badaniami objęto 5 regionów Polski, a do rozwiązania postawionego zadania zastosowano powszechnie znane narzędzia matematyczne.

Otrzymane wyniki badań i analiz ukazują skalę zjawiska wypadkowości związanego z użytkowaniem rusztowań budowlanych w badanych regionach kraju. Stanowią one podstawę porównania regionów pod względem bezpieczeństwa pracy na rusztowaniach budowlanych. Mogą być również wykorzystane do predykcji prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku w przyszłości. Uzyskana w wyniku badań wiedza może być wykorzystana w procesie zarządzania bezpieczeństwem pracy na rusztowaniach budowlanych.

Artykuł jest wynikiem realizacji przez autorów projektu badawczego nr 244388 „Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań”, finansowanego przez NCBiR w ramach Programu Badań Stosowanych na podstawie umowy nr PBS3/A2/19/2015.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hoła B., Nowobilski T., Szer I., Szer J., Identification of factors affecting the accident rate in the construction industry, in *Procedia Engineering*, tom 208, 2017, str. 35–42. doi: 10.1016/j.proeng.2017.11.018
- [2] Mohamed S., Safety Climate in Construction Site Environments, *Journal of Construction Engineering and Management*, tom 128, 5/2002, str. 375–384, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:5\(375\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:5(375))
- [3] Hoła B., Szóstak M., Analysis of the State of the Accident Rate in the Construction Industry in European Union Countries, *Archives of Civil Engineering*, tom 61, 4/2015, doi: 10.1515/ace-2015-0033
- [4] Safety and Health at Work: A Vision for Sustainable Prevention. Frankfurt: International Labour Organization, 2014
- [5] Rikhardsson P. M., Impgaard M., Corporate cost of occupational accidents: An activity-based analysis, *Accident Analysis and Prevention*, tom 36, 2/2004, doi: 10.1016/S0001-4575(02)00147-1
- [6] Halperin K. M., McCann M., An evaluation of scaffold safety at construction sites, *Journal of Safety Research*, 2004, doi: 10.1016/j.jsr.2003.11.004
- [7] Jahangiri M., Solukloei H. R. J., Kamalinia M., A neuro-fuzzy risk prediction methodology for falling from scaffold, *Safety Science*, tom 117, 2019, doi: 10.1016/j.ssci.2019.04.009
- [8] Sawicki M., Szóstak M., Impact of alcohol on occupational health and safety in the construction industry workplaces with scaffoldings, *Applied Sciences*, tom 10, 19/2020, doi: 10.3390/APP10196690
- [9] Państwowa Inspekcja Pracy, Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2018 roku, Warszawa, Państwowa Inspekcja Pracy, 2019
- [10] Drozd W., Badania cech terenu budowy i ich wpływu na bezpieczeństwo prowadzenia robót budowlanych przy obiektach nieliniowych, Kraków, Monografie Politechniki Krakowskiej, seria Inżynieria Lądowa, 2017
- [11] Nowobilski T., Hoła B., The Qualitative and Quantitative Structure of the Causes of Occupational Accidents on Construction Scaffolding, *Archives of Civil Engineering*, tom 65, 2/2019, doi: 10.2478/ace-2019-0023
- [12] B. Hoła and M. Szóstak, Methodology of Analysing the Accident Rate in the Construction Industry, 2017. doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.040

ArCADia-TERMOCAD

Świadectwa Charakterystyki Energetycznej



Funkcjonalność i możliwości ArCADia-TERMOCAD ŚCHE (świadectwa charakterystyki energetycznej)

- Wbudowany edytor graficzny TERMOCADIA.
- Wbudowany edytor tekstowy ArCADia-TEXT.
- Precyzyjna mapa OpenStreetMap.
- Raport „Zestawienie przegród”.
- Możliwość eksportu świadectw do Centralnego Rejestru Charakterystyki Energetycznej Budynków lub zapisu ŚCHE do plików XML.
- Sporządzanie świadectw charakterystyki energetycznej dla wszystkich rodzajów budynków (również z chłodzeniem i oświetleniem).
- Obliczanie świadectwa energetycznego według WT 2008/2014/2017/2021 oraz według rozporządzenia MI z dn. 6.11.2008 r., rozporządzenia MIIIR z dn. 3.06.2014 r. i rozporządzenia MIIIR z dn. 27.02.2015 r.
- Obliczanie świadectwa dla budynku wielofunkcyjnego EPm.
- Obliczanie emisji CO₂ i wskaźnika UOZE.
- Obliczanie parametrów przegród niejednorodnych.
- Obliczanie współczynnika przenikania U okien na podstawie PN-EN ISO 10077: 2007.
- Obliczanie współczynnika btr i temperatury stref nieogrzewanych na podstawie PN-EN ISO 13789.
- Definiowanie wielu źródeł dla systemów ogrzewania i przygotowania c.w.u.
- Praca grupowa – import zdefiniowanych stref cieplnych i struktury budynku.
- Automatyczne obliczanie mostków cieplnych.
- Podgląd wartości EP podczas obliczeń.
- Zapis szablonów zdefiniowanych danych adresowych, przegród, źródeł ciepła/chłodu/oświetlenia.
- Automatyczne sprawdzanie aktualizacji.
- Kalkulator do obliczeń powierzchni i objętości, funkcja Cofnij, Powtór, kopia zapasowa.
- Edycja baz danych stacji meteorologicznych, aktynometrycznych i klimatycznych.
- Obliczenia strat ciepła z wykorzystaniem struktury budynku.
- Generowanie stref cieplnych na podstawie temperatur i grup pomieszczeń.
- Zestawienie systemów wentylacji w budynku.
- Współpraca z programami ArCADia-ARCHITEKTURA i Ceninwest.
- Automatyczne obliczanie mostków na podstawie projektu budynku stworzonego w programie ArCADia-ARCHITEKTURA.
- Możliwość definiowania EPH+W, ΔEPC, ΔEPL i U_{max}.
- Obliczanie współczynnika btr i temperatury stref niechłodzonych na podstawie PN-EN ISO 13789.
- Definiowanie wielu źródeł dla systemów chłodu i oświetlenia.
- Obliczenia rocznego zapotrzebowania na energię końcową dla instalacji oświetlenia według PN-EN 15193:2010.