

HANNA ONYSYK¹⁾

ANALIZA ZMIAN TEMPERATURY STALOWEJ KONSTRUKCJI MOSTU PRZEZ WISŁĘ W PUŁAWACH

STRESZCZENIE. W artykule przedstawiono dane dotyczące temperatury konstrukcji stalowego mostu przez Wisłę w Puławach. Dane na temat wartości temperatury w poszczególnych punktach mostu pozyskano z podsystemu monitoringu konstrukcji, który działa w ramach systemu monitorowania różnych wielkości fizycznych na obiekcie. Dotyczą one okresu od maja 2009 roku do kwietnia 2011 roku. Na ich podstawie przeanalizowano zakres zmienności temperatury, wartości ekstremalne oraz różnice między tymi wartościami w obszarze danego rodzaju elementu (łuki, wieszaki, pomost) oraz porównano różnice pomiędzy poszczególnymi elementami. Zaprezentowano dane na temat poziomu temperatury konstrukcji mostu stalowego z jazdą pośrednią, a wybrane wartości porównano z wartościami normatywnymi polskiej normy (PN-85/S-10030) oraz Eurokodu.

SŁOWA KLUCZOWE: monitoring konstrukcji, most łukowy, most stalowy, temperatura konstrukcji stalowej

1. WSTĘP

Istotnym czynnikiem wpływającym na siły wewnętrzne powstające w konstrukcji mostowej są oddziaływania środowiskowe. W przypadku mostów dużej rozpiętości lub nietypowej konstrukcji, efekty powstałe w konsekwencji oddziaływań środowiskowych istotnie wpływają na wyężenie konstrukcji, często znacznie bardziej niż obciążenia eksploatacyjne.

¹⁾ mgr inż. – doktorantka, Zakład Mostów w Instytucie Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej

W artykule przedstawiono dane na temat temperatury konstrukcji mostu stalowego przez Wisłę w Puławach pozyskane z systemu monitoringu konstrukcji, który zapewnia ciągły pomiar elektroniczny różnych wielkości fizycznych [1], [2]. Przedstawiono zakres zmienności temperatury w określonych punktach konstrukcji w skali dobowej oraz rocznej, a także różnice między ekstremalnymi wartościami poszczególnych elementów obiektu. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie rzeczywistych wartości temperatury konstrukcji, zakresu ich zmienności oraz danych na temat wartości ekstremalnych występujących w istniejącym obiekcie o określonej lokalizacji i przedziale czasowym. Biorąc pod uwagę fakt, iż temperatura konstrukcji uzależniona jest przede wszystkim od czynników klimatyczno-topograficznych, w jakich eksploatowany jest most, a także uwzględniając konieczność długiego czasu obserwacji mierzonych wartości, a następnie ich statystycznej analizy, zaprezentowano dane, które dają pogląd na temat pól temperatury występujących w mostach łukowych z jazdą pośrednią, ale nie mogą być uogólniane do określenia wartości normatywnych.

2. TEMPERATURA KONSTRUKCJI MOSTU W PUŁAWACH

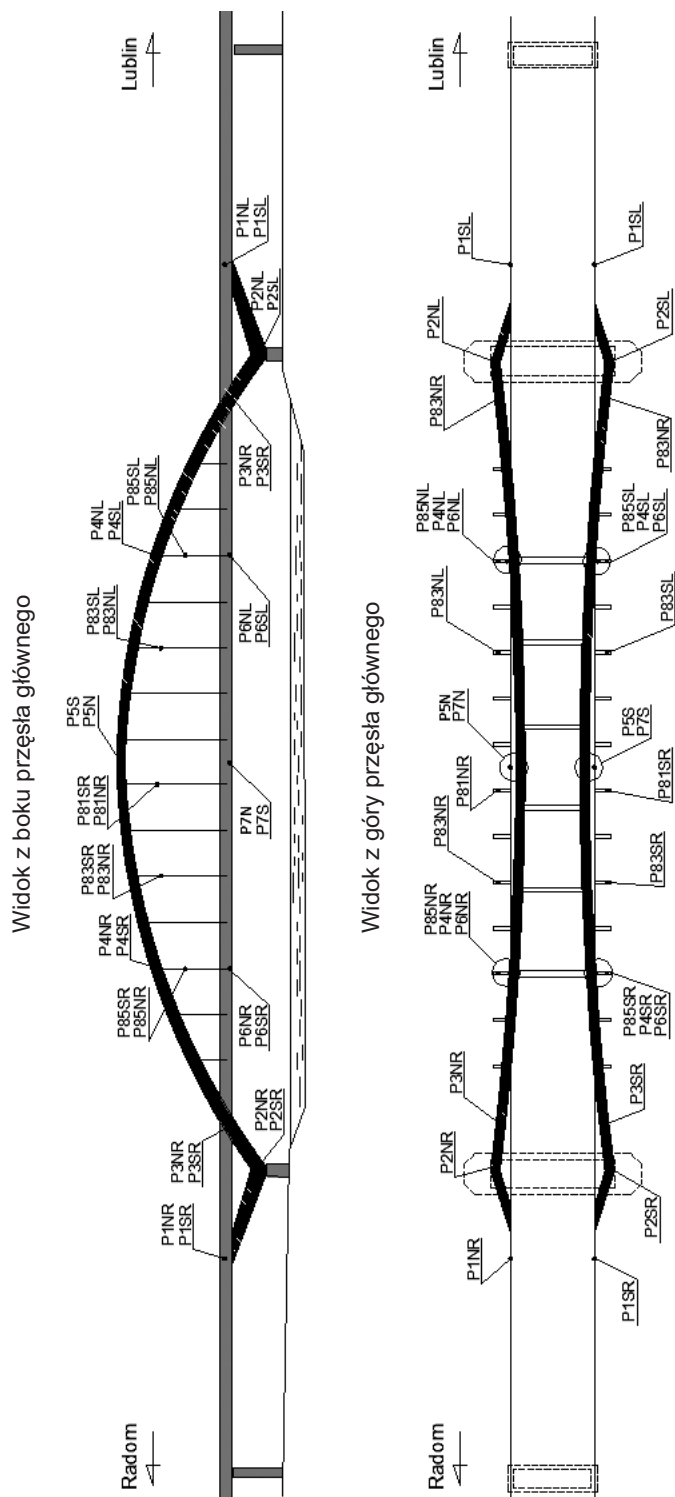
2.1. TEMPERATURA ŁUKU

Sposób działania systemu monitorowania mostu w Puławach, wraz z opisem poszczególnych podsystemów oraz rodzajem, liczbą i lokalizacją czujników zainstalowanych na obiekcie opisano szczegółowo w pracy [2]. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych, z których pozyskano dane na temat temperatury, przedstawiono na rysunku 1.

W dalszej części artykułu przedstawiono wyniki pomiarów, o których mowa w p. 1 dla poszczególnych elementów konstrukcji w skali rocznej i dobowej oraz dokonano porównania temperatury elementów między sobą.

Czujniki do pomiaru temperatury w punktach łuku zainstalowano na obu dźwigarach łukowych (północnym i południowym). Na każdy łuk przypada pięć czujników zlokalizowanych na górnej krawędzi przekroju skrzynkowego oraz po jednym na wezłowiach łuku – w tym miejscu czujniki umieszczone są na dolnej krawędzi przekroju.

Początkowo przeanalizowano pomierzone wartości w skali rocznej. W tablicy 1 zestawiono ekstremalne miesięczne temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych obu dźwigarów łukowych – od P3 do P5 w okresie czasu od maja 2009 do kwietnia 2011, wraz z podaniem daty dnia, w jakim dana wartość wystąpiła. Zaprezentowane wyniki stanowią obwiednię ekstremalnych wartości na długości łuku (rys. 2). Maksymalna temperatura zarejestrowana została w kluczu łuku południowego i wynosiła $50,01^{\circ}\text{C}$ i jest porównywalna z maksymalną temperaturą łuku północnego $49,68^{\circ}\text{C}$ (także w kluczu). Wartości te wystąpiły 15 lipca 2010 roku, a więc ponad 20 dni po najdłuższym dniu w roku. W tym dniu maksymalna ilość energii promieniowania dociera do obiektu, a najwyższa temperatura otoczenia i obiektu osiągana jest kilka tygodni później [3]. Z kolei minimalna temperatura wystąpiła w łuku północnym (o wartości $-24,19^{\circ}\text{C}$) i była o dwie setne stopnia niższa niż minimalna temperatura w łuku południowym.

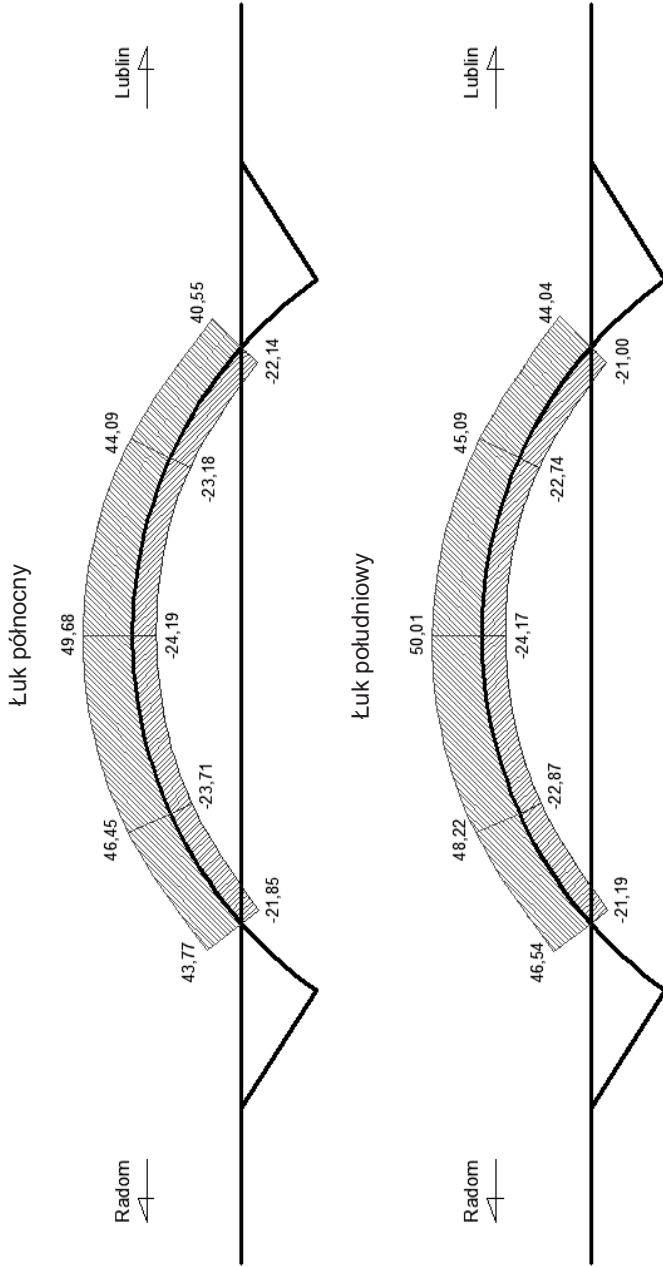


Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych
Fig. 1. Localization of the test points

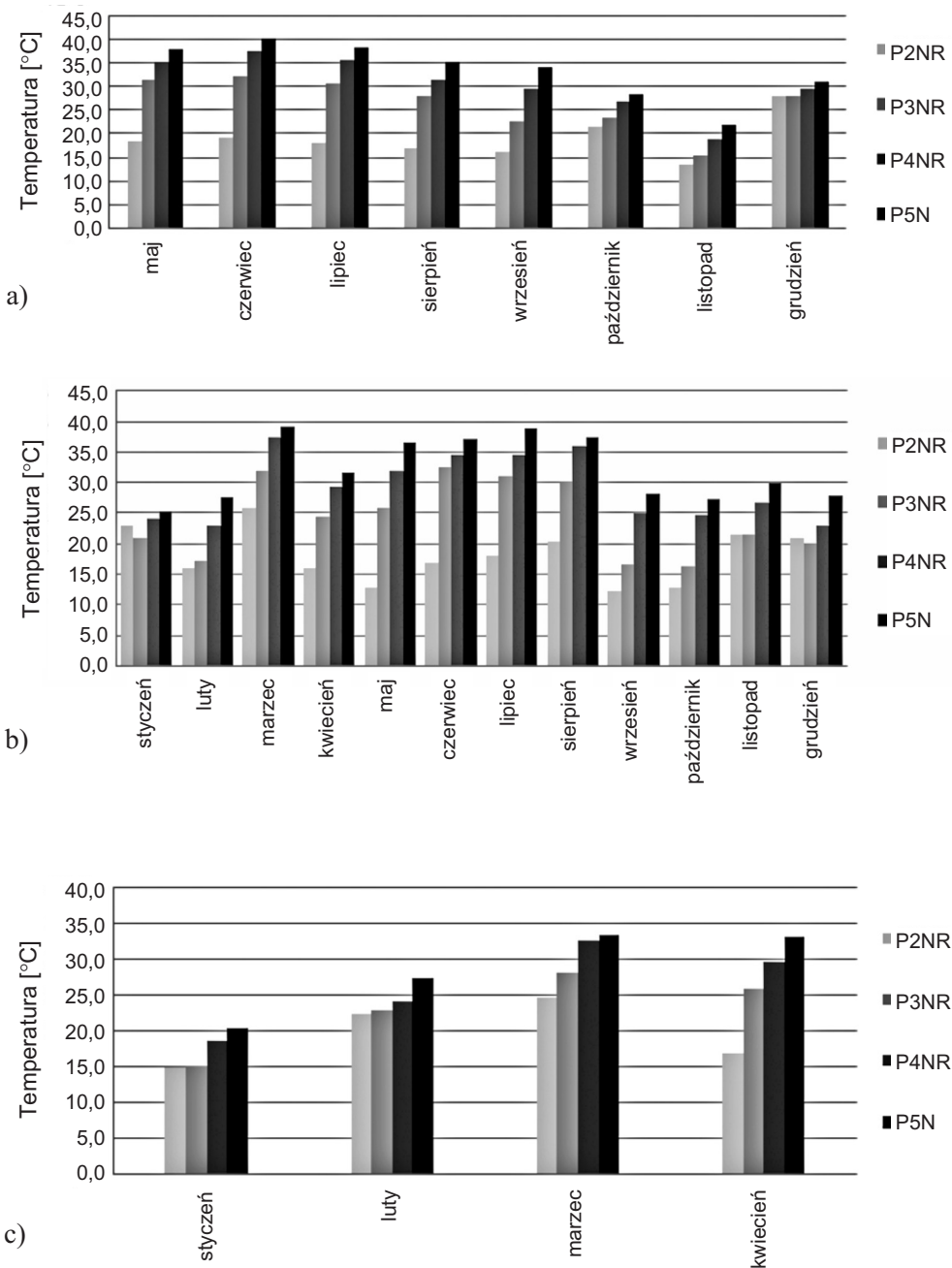
Tablica 1. Ekstremalne miesięczne wartości temperatury w punktach pomiarowych na łukach (maj 2009 ÷ kwiecień 2011)
 Table 1. Extreme temperatures from the test points in the arches from May 2009 to April 2011

Wartości maksymalne					
łuk północny			łuk południowy		
oznaczenie punktu pomiarowego	temperatura [°C]	data	oznaczenie punktu pomiarowego	temperatura [°C]	data
P3NR	43,77	2010.07.22	P3SR	46,54	2010.07.22
P3NL	40,55	2010.07.17	P3SL	44,04	2010.07.17
P4NR	46,45	2010.07.22	P4SR	48,22	2010.07.22
P4NL	44,09	2010.07.15	P4SL	45,09	2010.07.15
P5N	49,68	2010.07.15	P5S	50,01	2010.07.15
Wartości minimalne					
łuk północny			łuk południowy		
oznaczenie punktu pomiarowego	temperatura [°C]	data	oznaczenie punktu pomiarowego	temperatura [°C]	data
P3NR	-21,85	2010.01.26	P3SR	-21,19	2010.01.26
P3NL	-22,14	2010.01.26	P3SL	-21,00	2010.01.26
P4NR	-23,71	2010.01.26	P4SR	-22,87	2010.01.26
P4NL	-23,18	2010.01.26	P4SL	-22,74	2010.01.26
P5N	-24,19	2010.01.26	P5S	-24,17	2010.01.26

Na podstawie zebranych danych na temat ekstremalnych wartości temperatury łuków w danym okresie czasu, zauważyć można istotne różnice tych wartości w zależności od położenia punktu na łuku. Ponadto zaprezentowane wyniki wskazują na większą zmienność zakresu temperatury maksymalnej w stosunku do wartości minimalnych, co jest zgodne także z intuicją. Aby potwierdzić tę prawidłowość, przeanalizowano zakres zmian temperatury w skali rocznej w poszczególnych punktach łuku północnego w części od strony Radomia, które przedstawiono na rysunku 3. Wykresy te uzyskano na podstawie ekstremalnej temperatury z poszczególnych miesięcy. Zauważalne są różnice w zakresach zmian temperatury w zależności od położenia punktu pomiarowego na wysokości łuku, co już w części przedstawiono na poprzednim rysunku. Zakres zmian jest największy w kluczu i maleje odpowiednio w punktach niżej położonych (rys. 3). Najmniejszy zakres zmian dotyczy punktu P2NR, w którym czujnik zainstalowany jest na dolnej krawędzi dźwigara, dlatego jest to punkt mniej miarodajny jeśli chodzi o porównywanie wyników pomiarów z pozostałymi.



Rys. 2. Wykres ekstremalnych wartości temperatury w łukach (maj 2009 + kwiecień 2011), [°C]
 Fig. 2. Graph of extreme temperatures of the arches (May 2009 + April 2011), [°C]



Rys. 3. Wykresy miesięcznych zakresów zmian temperatury w poszczególnych punktach łuku w roku: a) 2009, b) 2010, c) 2011

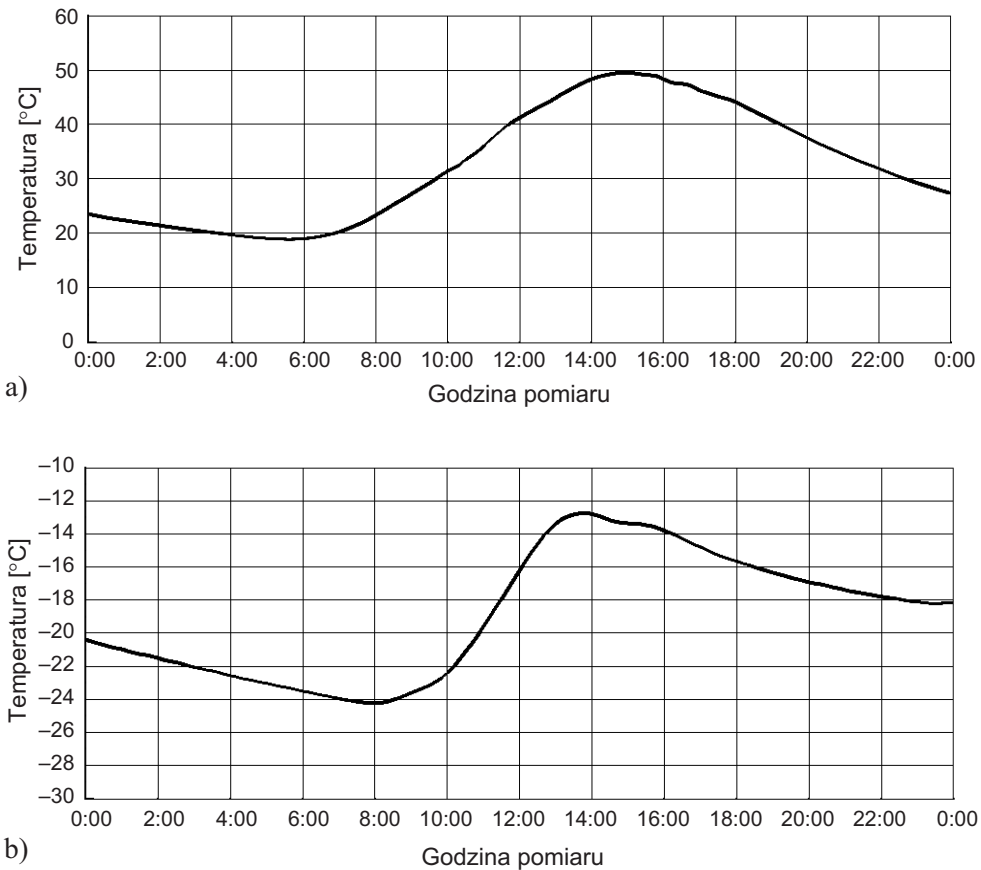
Fig. 3. The ranges of extreme temperature changes in the points of the arches from particular months in year: a) 2009, b) 2010, c) 2011

Drugą istotną rzeczą, która wynika z przedstawionych wykresów, jest właśnie zmienność zakresu ekstremalnych wartości temperatury w zależności od pory roku. Maksymalna zmiana ekstremalnych wartości temperatury w ciągu miesiąca wyniosła w punkcie: P5N = 40,2°C (czerwiec 2009 r.), P4NR = 37,7 °C (czerwiec 2009 r.), P3NR = 32,5°C (czerwiec 2010 r.). Natomiast minimalne zakresy zmian wynosiły odpowiednio: 20,3°C, 18,6°C oraz 15,0°C i wszystkie wystąpiły w styczniu 2011 r.

Analizując wartości temperatury w skali dobowej, można stwierdzić, że w ciągu dnia – niezależnie od pory roku – następuje zwykle przyrost temperatury konstrukcji. Jest to spowodowane dominującym oddziaływaniem bezpośredniego i dyfuzyjnego promieniowania słonecznego, które dociera do powierzchni konstrukcji [3]. Maksymalne natężenie promieniowania słonecznego notowane jest w południe, a maksymalna temperatura obiektu kilka godzin później. W tabelicy 2 przedstawiono ekstremalne miesięczne wartości temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych wybranego łuku (maj 2009 ÷ kwiecień 2011) z podaniem godziny, w której dana wartość wystąpiła. Tuż przed świtem lub we wczesnych godzinach porannych notowana jest minimalna temperatura konstrukcji, która jest wynikiem procesów wymiany ciepła prowadzących do równowagi energetycznej układu obiekt - otoczenie, jak również równowagi wewnątrz samej konstrukcji [3]. Zmiany wartości temperatury konstrukcji w ciągu doby w wybranym punkcie pomiarowym przedstawiono na rys. 4.

Tablica 2. Ekstremalne miesięczne wartości temperatury łuku północnego (maj 2009 ÷ kwiecień 2011) i czas wystąpienia tych wartości w skali doby
Table 2. Extreme temperatures in the northern arch from particular months (May 2009 ÷ April 2011) and time of occurrence of these values in a daily cycle

Łuk północny				
oznaczenie punktu pomiarowego	wartości maksymalne		wartości minimalne	
	godzina pomiaru	temperatura [°C]	godzina pomiaru	temperatura [°C]
P3NR	14:50	43,77	-21,85	08:30
P3NL	12:50	40,55	-22,14	08:00
P4NR	14:50	46,45	-23,71	07:20
P4NL	13:00	44,09	-23,18	07:10
P5N	13:00	49,68	-24,19	06:50



Rys. 4. Wykresy dobowych zmian wartości temperatury dla punktu w kluczu łuku północnego (P5N) z wybranych dni: a) 15.07.2010, b) 26.01.2010

Fig. 4. Graphs of temperature changes in the crown segment of the northern arch (P5N) in a daily cycle: a) 15.07.2010, b) 26.01.2010

2.2. TEMPERATURA WIESZAKÓW

Praca wieszaków (wykonanych z nieosłoniętych prętów stalowych) monitorowana była przy pomocy czujników, w tym czujników temperatury, zainstalowanych na pięciu elementach każdego z dźwigarów łukowych (razem 10 punktów pomiarowych). Oznaczenie punktów pokazano na rys. 1.

Podobnie jak w przypadku danych dotyczących temperatury łuków, zestawiono ekstremalne miesięczne wartości temperatury wszystkich wieszaków (na których zainstalowano czujniki) w okresie od maja 2009 do kwietnia 2011, wraz ze wskazaniem dnia, w jakim dana wartość wystąpiła (tabl. 3). Obserwuje się, że maksymalne wartości temperatury wieszaków łuku południowego są nieznacznie wyższe od wartości temperatury wieszaków łuku północnego. Maksymalną temperaturę w badanym czasie uzyskał

wieszak środkowy łuku południowego i wynosiła ona 37,10°C (sierpień 2010 roku). Minimalna temperatura wieszaka (w łuku północnym) wynosiła -24,66°C (styczeń 2010 roku). Obserwowane różnice w wartościach ekstremalnych poszczególnych wieszaków są niewielkie w stosunku do różnic występujących w różnych punktach łuków. Nie przekraczają one 1,81°C dla wartości maksymalnych i 0,75°C dla minimalnych. Stwierdzić można, że temperatura wieszaka w małym stopniu zależy od lokalizacji tego elementu na długości i szerokości pomostu.

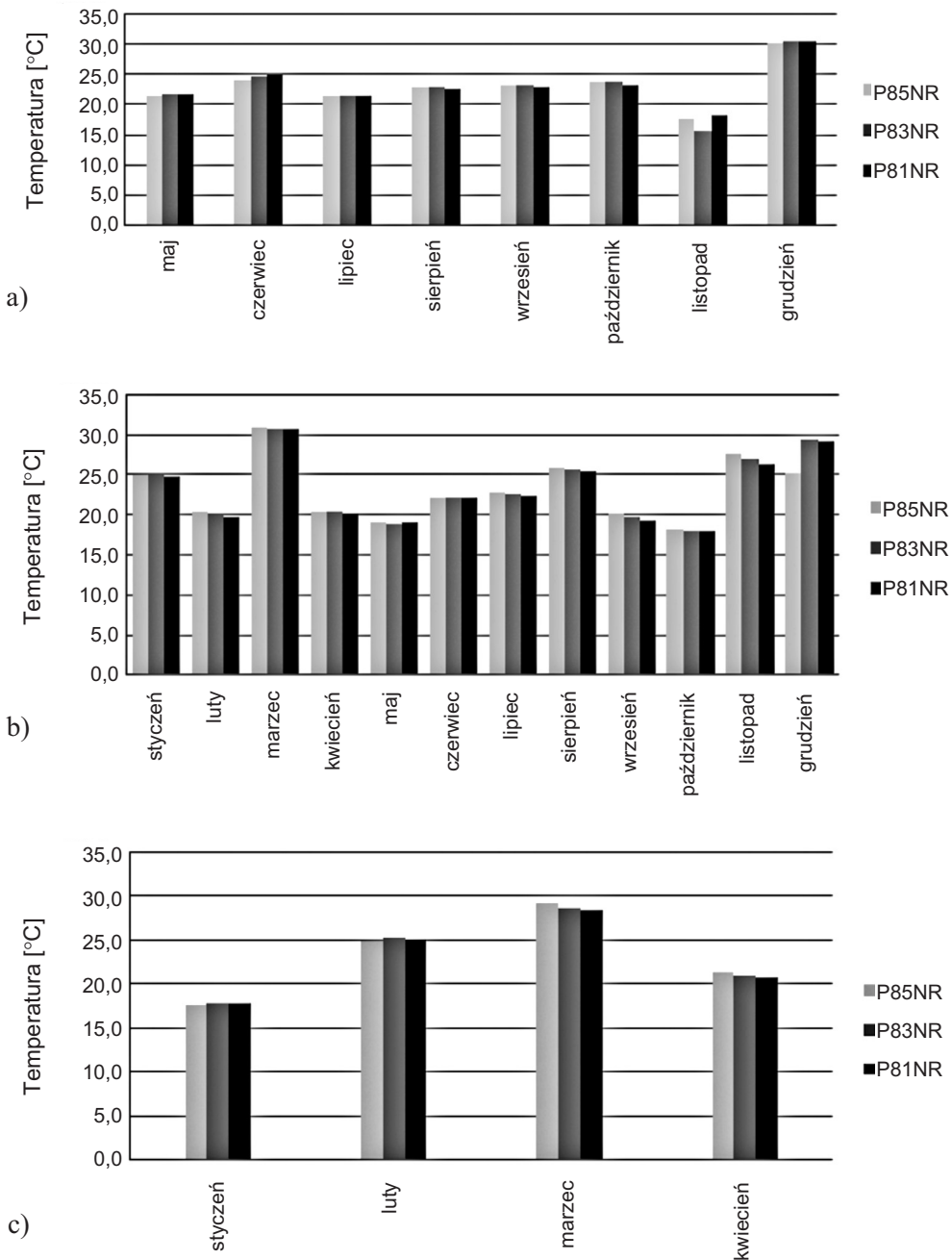
Tablica 3. Ekstremalne miesięczne wartości temperatury wieszaków
(maj 2009 ÷ kwiecień 2011)

Table 3. Extreme temperatures in the hangers from particular months
(May 2009 ÷ April 2011)

Oznaczenie punktu pomiarowego	Wartości maksymalne		Wartości minimalne	
	data pomiaru	temperatura [°C]	data pomiaru	temperatura [°C]
P81NR	2010.08.15	35,50	2010.01.25	-23,99
P81SR	2010.08.14	36,23	2010.01.25	-24,19
P83NR	2010.08.15	35,29	2010.01.25	-24,47
P83SR	2010.08.15	35,93	2010.01.25	-24,65
P83NL	2010.08.14	35,47	2010.01.25	-24,66
P83SL	2010.08.14	36,60	2010.01.25	-24,61
P85NR	2010.08.14	35,99	2010.01.25	-23,91
P85SR	2010.08.15	36,01	2010.01.25	-24,14
P85NL	2010.08.14	36,29	2010.01.25	-24,04
P85SL	2010.08.14	37,10	2010.01.25	-23,96

Zakres zmienności temperatury wieszaków w skali rocznej dokładniej obrazują wykresy na rys. 5 wykonane na podstawie ekstremalnych miesięcznych amplitud temperatury. Potwierdzają one zbliżone zakresy temperatury między poszczególnymi wieszakami w określonym miesiącu. Widoczna jest także zmienność zakresów w zależności od pory roku, ale nie jest ona tak wyrazista jak w przypadku łuku. Pewne odchylenia wystąpiły w zimie 2010 roku oraz w grudniu 2009 roku, kiedy to zdarzyły się relatywnie duże wartości temperatury powietrza w ciągu dnia, np. 13°C – maksymalna temperatura powietrza w grudniu 2009 roku, podczas, gdy minimalna wyniosła -18°C. Maksymalna zmiana ekstremalnej temperatury trzech wybranych wieszaków łuku północnego w ciągu miesiąca (w analizowanym okresie czasu) wyniosła: P81NR = 31,0°C, P83NR = 37,7 °C, P85NR = 32,5°C (wszystkie w marcu 2010 r.). Natomiast minimalne zakresy zmian wynosiły odpowiednio: 17,7°C (styczeń 2011 r.), 15,7°C (listopad 2009 r.) oraz 17,9°C (styczeń 2011 r.).

Jeśli chodzi o zmiany temperatury w ciągu doby, występuje podobieństwo czasów chłodzenia i nagrzewania się elementów. Maksymalne wartości temperatury występują w godzinach południowych lub wczesnych popołudniowych. Minimalne wartości



Rys. 5. Wykresy miesięcznych zakresów zmian temperatury wybranych wieszaków w danym roku: a) 2009, b) 2010, c) 2011

Fig. 5. The ranges of temperature changes in selected hangers from particular months in specific year: a) 2009, b) 2010, c) 2011

temperatury występują trochę wcześniej niż w łuku, np. wszystkie wartości minimalne, które zestawiono w tabelicy 3 wystąpiły o godzinie 6³⁰ rano. Dla porównania, analogiczne wartości w punktach na łuku występowały w przedziale od 6⁵⁰ do 8³⁰ (tabl. 2).

2.3. TEMPERATURA DŹWIGARÓW POMOSTU

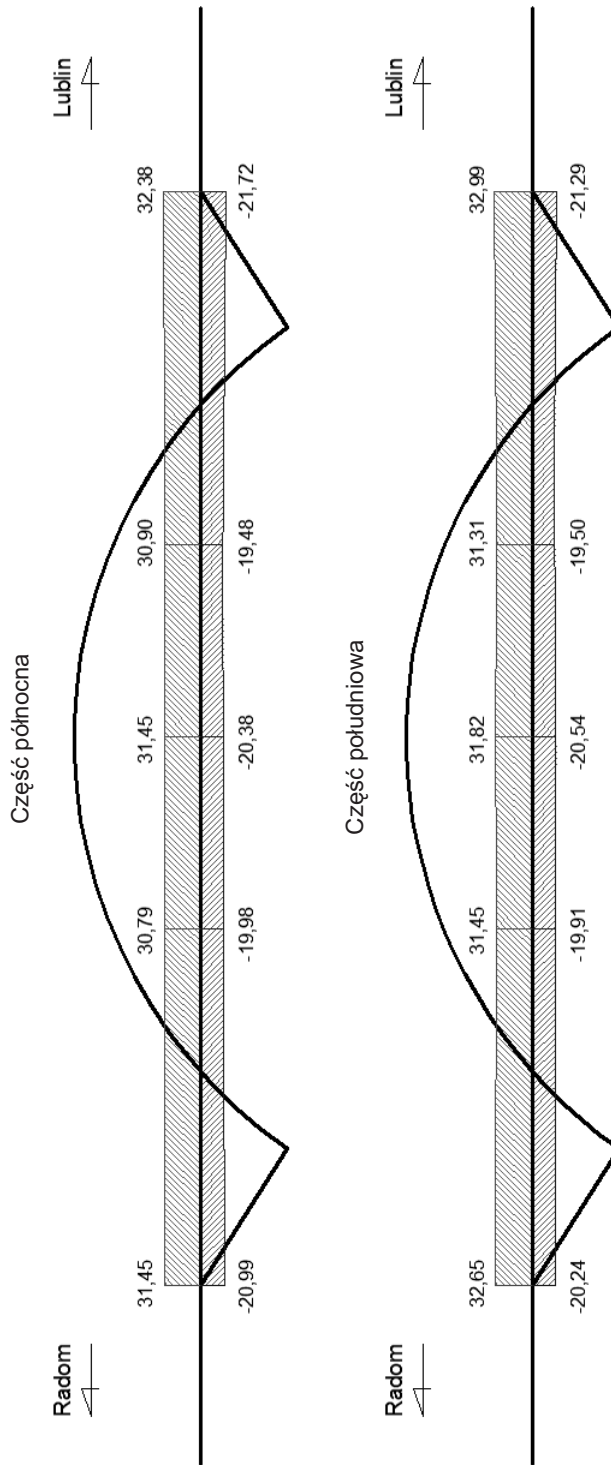
Pomost obiektu stanowi stalowy ruszt składający się z dźwigarów podłużnych oraz poprzecznic, zespolony z żelbetową płytą pomostową. Dźwigary pomostu uformowano w postaci czterech blachownic zgrupowanych w dwa tandemy po dwie blachownice. Czujniki do pomiaru temperatury w konstrukcji pomostu zainstalowano na dolnych półkach dwóch blachownic – od strony północnej oraz południowej. Są to punkty P1, P6 i P7 z odpowiednimi symbolami literowymi w zależności od lokalizacji na konstrukcji (rys. 1).

Z zebranych danych z przedziału czasu od maja 2009 roku do kwietnia 2011 roku wybrano ekstremalne wartości temperatury w poszczególnych punktach pomostu, które zestawiono w tabelicy 4. Maksymalną temperaturę zarejestrowano w lipcu w punkcie P1SL (blachownica południowa) i wynosiła ona 32,99°C. Minimalna temperatura wystąpiła w blachownicy północnej w styczniu 2010 roku, jej wartość wyniosła –21,72°C. Na rys. 6 przedstawiono wykres ekstremalnych wartości temperatury na długości obiektu, uzyskany na podstawie danych z analizowanych punktów pomiarowych w danym okresie czasu, stanowiący obwiednię temperatury blachownic pomostu. W punktach blachownicy południowej temperatura konstrukcji jest nieznacznie wyższa niż w blachownicy północnej.

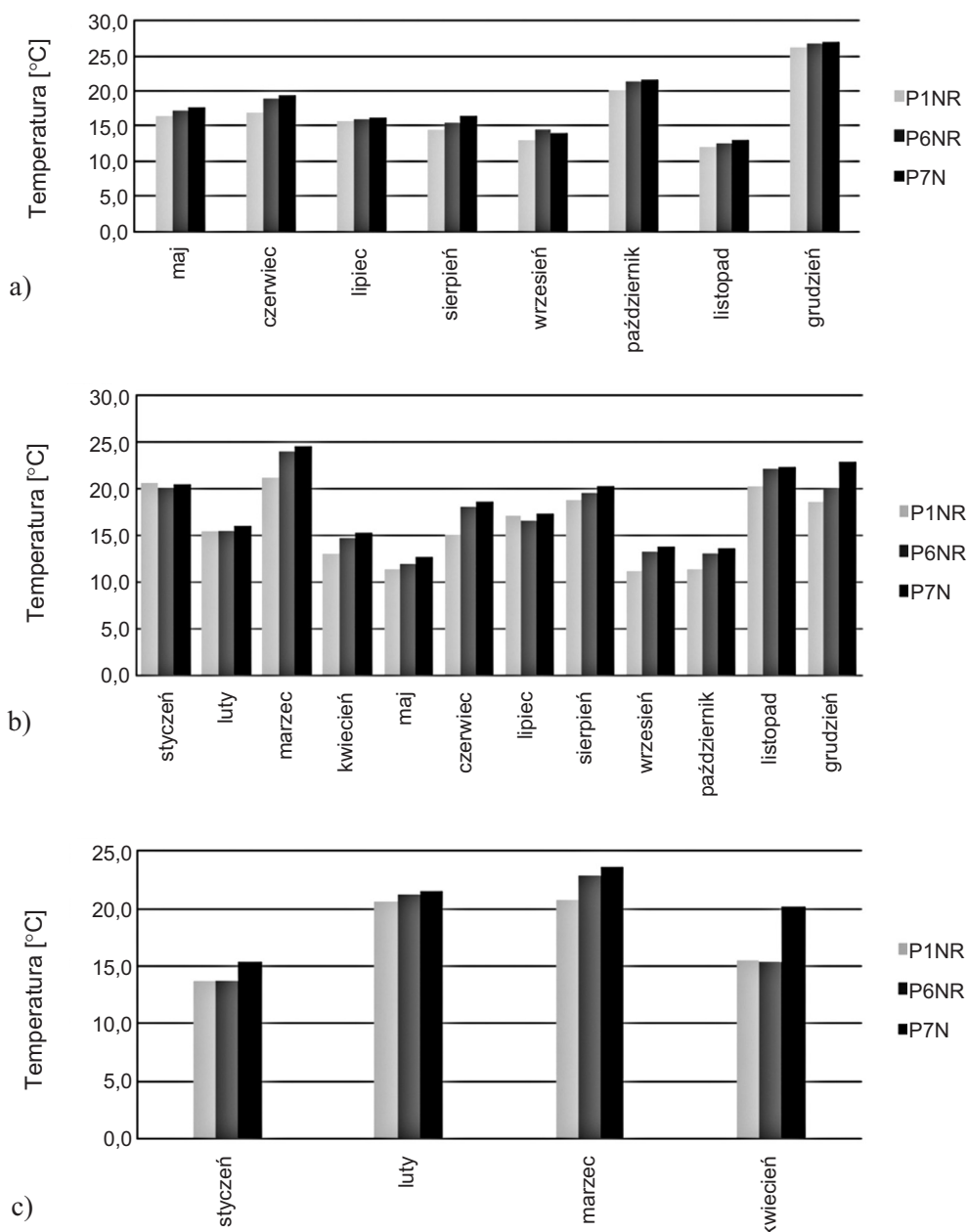
Tablica 4. Ekstremalne miesięczne wartości temperatury w punktach blachownic pomostu (maj 2009 ÷ kwiecień 2011)

Table 4. Extreme temperatures of the plate girders of the deck (May 2009 ÷ April 2011)

Oznaczenie punktu pomiarowego	Wartości maksymalne		Wartości minimalne	
	data pomiaru	temperatura [°C]	data pomiaru	temperatura [°C]
P1NR	2010.07.17	31,45	2010.01.26	-20,99
P1SR	2010.07.17	32,65	2010.01.26	-20,24
P1NL	2010.07.17	32,38	2010.01.26	-21,72
P1SL	2010.07.17	32,99	2010.01.26	-21,29
P6NR	2010.08.15	30,79	2010.01.26	-19,98
P6SR	2010.08.15	31,45	2010.01.26	-19,91
P6NL	2010.07.17	30,90	2010.01.26	-19,48
P6SL	2010.08.15	31,31	2010.01.26	-19,50
P7N	2010.08.15	31,41	2010.01.26	-20,38
P7S	2010.08.15	31,82	2010.01.26	-20,54



Rys. 6. Wykres ekstremalnych wartości temperatury [°C] na dolnej półce blachownicy pomostu (maj 2009 ÷ kwiecień 2011)
 Fig. 6. Graph of extreme temperatures [°C] on the lower shelf of the plate girder of the deck (May 2009 ÷ April 2011)



Rys. 7. Wykresy miesięcznych zakresów zmian temperatury w punktach pomostu od strony północnej w danym roku: a) 2009, b) 2010, c) 2011

Fig. 7. The ranges of temperature changes of the northern plate girder of the deck from particular months in specific year: a) 2009, b) 2010, c) 2011

Na rys. 7 przedstawiono zakres zmienności temperatury blachownicy od strony północnej w skali rocznej na podstawie ekstremalnych miesięcznych amplitud temperatury. Zakresy temperatury punktów pomostu w określonym miesiącu są do siebie zbliżone. Zauważyć można, że badane elementy pomostu są, podobnie jak wieszaki, bardziej wrażliwe na jednostkowe skoki temperatury powietrza (grudzień 2009 r., marzec, listopad i grudzień 2010 r.) niż dźwigary łukowe (por. rys. 3 z rys. 5 i 7). Maksymalna zmiana ekstremalnych wartości temperatury punktów blachownicy północnej wyniosła: P1NR = 26,2°C, P6NR = 26,6°C, P7N = 26,9°C (wszystkie w grudniu 2009 r.). Minimalne zakresy zmian wynosiły odpowiednio: 11,3°C (wrzesień 2010 r.), 12,1°C (maj 2010 r.), 12,8°C (maj 2010 r.).

W ciągu doby blachownice osiągają maksymalną i minimalną temperaturę z opóźnieniem w stosunku do dźwigarów łukowych oraz wieszaków. Wykazano to w tablicy 5 na przykładzie ekstremalnych wartości temperatury miesięcznej, z podaniem godziny, w jakiej dana wartość wystąpiła. Opóźnienie to, spowodowane jest zapewne „schowaniem” blachownic pod żelbetową płytą pomostu i brak bezpośredniego oddziaływania promieniowania słonecznego.

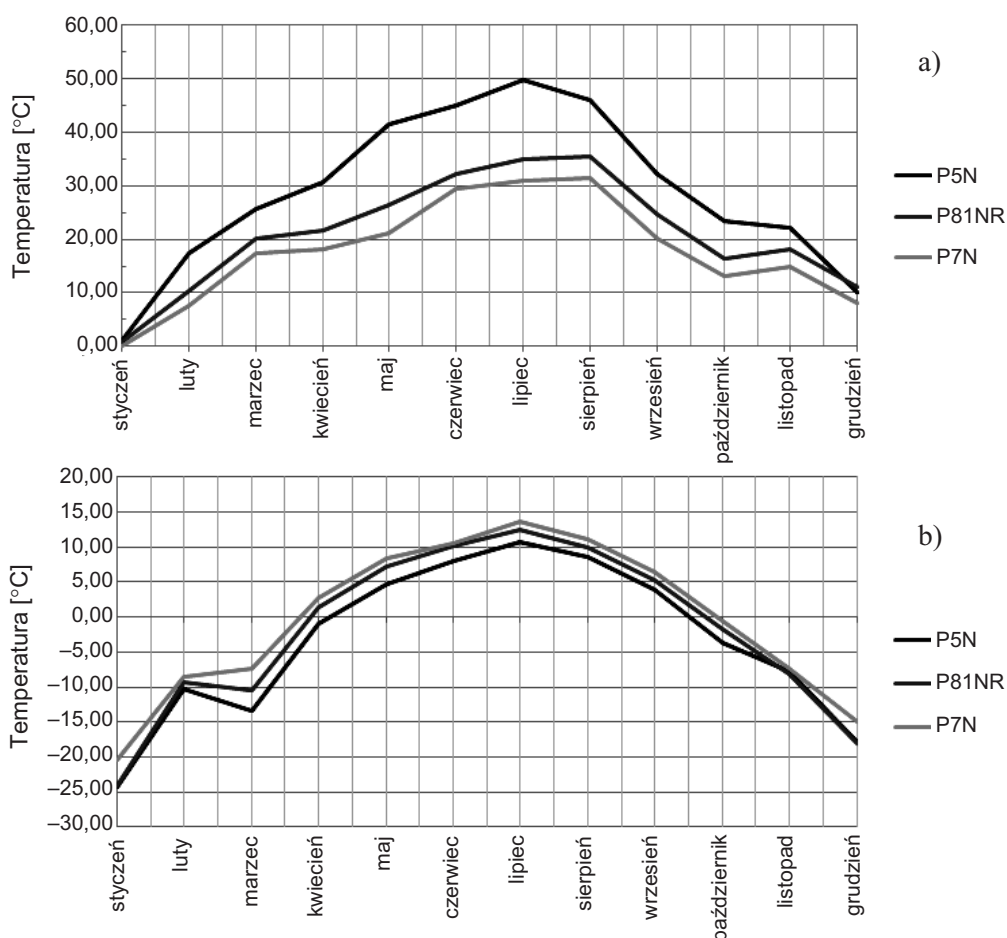
Tablica 5. Ekstremalne miesięczne wartości temperatury w punktach blachownic pomostu (maj 2009 ÷ kwiecień 2011) i czas wystąpienia tych wartości w skali doby
Table 5. Extreme temperatures of the plate girders of the deck
(May 2009 ÷ April 2011) and time of occurrence of these values in a daily cycle

Oznaczenie punktu pomiarowego	Wartości maksymalne		Wartości minimalne	
	godzina pomiaru	temperatura [°C]	godzina pomiaru	temperatura [°C]
P1NR	16:50	31,45	08:00	-20,99
P1SR	14:20	32,65	07:50	-20,24
P1NL	17:00	32,38	07:30	-21,72
P1SL	15:10	32,99	07:20	-21,29
P6NR	14:30	30,79	08:20	-19,98
P6SR	14:20	31,45	07:50	-19,91
P6NL	16:30	30,90	08:00	-19,48
P6SL	14:20	31,31	07:40	-19,50
P7N	14:10	31,41	06:00	-20,38
P7S	14:20	31,82	07:10	-20,54

2.4. PORÓWNANIE TEMPERATURY POSZCZEGÓLNYCH ELEMENTÓW MOSTU

Największe maksymalne miesięczne wartości temperatury spośród trzech przeanalizowanych rodzajów elementów mostu w Puławach (dane z okresu czasu od maja 2009 r. do kwietnia 2011 r.) występują w punktach dźwigarów łukowych (rys. 8).

Nieznacznie wyższe wartości temperatury zarejestrowano na łuku południowym. Minimalne wartości temperatury łuków oraz wieszaków są porównywalne. Najmniejsze wartości ekstremalne rejestrowane są na blachownicach pomostu, co wynika z położenia tych elementów w aspekcie oddziaływania bezpośredniego promieniowania słonecznego. W tabelicy 6 zestawiono maksymalne miesięczne wartości temperatury trzech wybranych elementów, które zostały zmierzone w ciągu 2010 roku, i porównano różnice w wartościach między elementami w określonym miesiącu. Największe różnice występują między temperaturą łuku i blachownicy pomostu (w maju 2010 r. wynosiła ona 20,20°C). W tym samym miesiącu wystąpiła największa różnica między temperaturą w punkcie łuku i jednym z wieszaków – nie przekroczyła ona 15,06°C. Różnice między wieszakiem i punktem na blachownicy są na poziomie kilku stopni.



Rys. 8. Porównanie ekstremalnych miesięcznych wartości temperatury poszczególnych elementów mostu w roku 2010: a) maksymalne wartości, b) minimalne wartości
Fig. 8. Comparison of extreme temperatures of selected elements from particular months in 2010: a) maximum values, b) minimum values

Tablica 6. Porównanie maksymalnych miesięcznych wartości temperatury w punkcie łuku, wieszaku i belce pomostu (2010 r.)

Table 6. Comparison of extreme temperatures in the arch, hanger and deck beam from particular months in 2010

Miesiąc	Maksymalne wartości miesięcznej temperatury konstrukcji w ciągu 2010 roku			Różnice maksymalnej miesięcznej temperatury między elementami konstrukcji		
	P5N	P81NR	P7N	$\Delta(TP5N-TP81NR)$	$\Delta(TP5N-TP7N)$	$\Delta(TP81NR-TP7N)$
styczeń	1,21	0,84	0,16	0,37	1,04	0,68
luty	17,27	10,33	7,61	6,94	9,66	2,72
marzec	25,63	20,20	17,35	5,44	8,28	2,85
kwiecień	30,73	21,69	18,07	9,04	12,66	3,62
maj	41,36	26,30	21,16	15,06	20,20	5,14
czerwiec	45,03	32,25	29,35	12,77	15,68	2,90
lipiec	49,68	34,86	30,98	14,82	18,70	3,88
sierpień	46,06	35,50	31,41	10,56	14,66	4,10
wrzesień	32,06	24,57	20,21	7,49	11,85	4,36
październik	23,52	16,31	13,19	7,22	10,33	3,12
listopad	22,19	18,24	15,00	3,95	7,19	3,24
grudzień	10,17	11,02	8,07	-0,85	2,11	2,96

Z tymi wartościami powiązane są zakresy zmian temperatury elementów, jakie występują w skali rocznej (rys. 3, 5 i 7). Mniej zależą one położenia punktu pomiarowego danego rodzaju elementu na szerokości lub długości obiektu, natomiast istotne zmiany zachodzą wraz ze zmianami sezonowymi warunków pogodowych. Największe zróżnicowanie zakresów zmian temperatury występuje na łukach (rys. 3). W przypadku poszczególnych wieszaków i punktów pomiarowych na długości obu blachownic, różnice te można uznać za pomijalne (rys. 5 i 7).

Wieszaki oraz konstrukcje łuków osiągają maksymalną temperaturę w skali doby wczesnym popołudniem, kilka godzin po maksymalnym natężeniu promieniowania słonecznego, natomiast minimalną – nad ranem w godzinach od około 6 rano do około 8³⁰. Największe opóźnienie, jeśli chodzi o nagrzewanie się i stygnięcie konstrukcji, występuje w blachownicach pomostu, co jest związane z usytuowaniem tych elementów.

3. PORÓWNANIE WARTOŚCI POMIARZONYCH Z WARTOŚCIAMI NORMOWYMI

Przedstawione rezultaty pomiarów dają pogląd na temat rzeczywistych rozkładów temperatury w moście łukowym z pośrednim usytuowaniem pomostu. Polska norma [4] określa ekstremalne wartości temperatury konstrukcji, które dla mostów stalowych

wynoszą od -25°C do $+55^{\circ}\text{C}$. Maksymalna temperatura w analizowanym przedziale czasu wystąpiła w łuku południowym (w kluczu) i wynosiła $50,01^{\circ}\text{C}$, w łuku północnym maksymalna wartość wynosiła $49,68^{\circ}\text{C}$. W pozostałych punktach konstrukcji maksymalne wartości temperatury są co najmniej o kilka stopni niższe. Minimalne wartości temperatury poszczególnych elementów są bardziej wyrównane i zbliżone do wartości normowej. Minimalna zarejestrowana wartość temperatury wynosiła $-24,66^{\circ}\text{C}$ (wieszak).

Ważnym wynikiem przeprowadzonych obserwacji jest stwierdzenie o dużych różnicach temperatury pomiędzy poszczególnymi elementami konstrukcji (łuki, pomost, wieszaki). Zjawisko to nie jest uwzględnione w polskiej normie.

Norma europejska [5] natomiast podaje ogólne zalecenia dotyczące oddziaływań termicznych i stosowania poszczególnych składowych oddziaływań termicznych, którymi są składowa równomierna temperatury i składowe różnicy temperatury. Składowe różnicy temperatury wynikają z nagrzewania i stygnięcia górnej powierzchni pomostu mostowego, co powoduje zmianę rozkładu temperatury na wysokości pomostu. Dla tej składowej podane są zalecane wartości dla różnych rodzajów pomostów.

Dla składowej równomiernej temperatury, która zależy od minimalnej i maksymalnej temperatury mostu, podaje się jedynie sposób określenia zakresu zmienności tej składowej. Wartości temperatury wynikają z minimalnej/maksymalnej temperatury powietrza w cieniu dla konkretnej lokalizacji mostu, którą określa się na podstawie map izotermicznych. Norma [5] podaje natomiast wartości różnic składowej równomiernej temperatury między różnymi elementami konstrukcji, a efekty stąd wynikające należy uwzględniać jako dodatkowe do efektów wynikających z działania składowej równomiernej temperatury we wszystkich elementach mostu. Zalecanymi wartościami są 15°C pomiędzy głównymi elementami konstrukcji (np. między ściągami i łukiem) oraz 10°C i 20°C , odpowiednio dla jasnego i ciemnego koloru, między linami mostów wiszących i podwieszonych oraz pomostem (pylonem). Dla porównania maksymalna różnica temperatury maksymalnej między łukiem i wieszakiem wyniosła 15°C (tabl. 6), a między łukiem i belką pomostu niecałe 19°C .

Wyniki prowadzonych obserwacji mogą stanowić podstawę do opracowania polskiego załącznika do EN.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Instrukcja programu do obsługi systemów monitorowania mostu przez rz. Wisłę w ciągu obwodnicy miasta Puławy, marzec 2009
- [2] *Biliszczuk J., Barcik W., Sieńko R.*: System monitorowania mostu w Puławach. Mosty nr 4/2009, 12 - 17
- [3] *Zobel H.*: Naturalne zjawiska termiczne w mostach. WKŁ, Warszawa 2003, 231 s.
- [4] PN-85/S-10030 Obiekty mostowe Obciążenia
- [5] PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-5: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne

INFORMACJE DODATKOWE

Przeprowadzone badania zostały wykonane w ramach umowy z Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Lublinie.

PODZIĘKOWANIE

Autorka dziękuje GDDKiA o/Lublin za możliwość wykorzystania danych z systemu oraz Profesorowi dr hab. inż. *Janowi Biliszczukowi* za pomoc w realizacji zadania.

ANALYSIS OF THE TEMPERATURE CHANGES IN THE STEEL STRUCTURE OF PUŁAWY BRIDGE OVER THE VISTULA RIVER

Abstract

The paper presents results of the temperature measurements of the steel bridge in Puławy over the Vistula River. Measurement data were obtained from the construction monitoring system which is the one of three subsystems of which the monitoring system is composed to measure various physical quantities. Presented data refer to period of time from May 2009 to April 2011. Based on the gathered measurement data, the ranges of temperature changes, extreme values and differences between the values for specific types of the elements were analyzed. The differences between various types of the elements were analyzed as well. Presented data give the overview of the temperature level of the steel bridge with mediate localization of the deck. A comparison of selected values with normative values in Polish code (PN-85/S-10030) as well as in Eurocode has been made.

Keywords

Arch bridge, steel bridge, structural health monitoring system, temperature of steel structure