

Mateusz FLIS*

ANALIZA PORÓWNAWCZA 2D I 3D KLASYCZNEGO I BEZSTYKOWEGO ELEKTRYCZNEGO OGRZEWANIA ROZJAZDÓW KOLEJOWYCH

Elektryczne ogrzewanie rozjazdów jest istotnym problemem technicznym i ekonomicznym. Z tych względów istnieje potrzeba prowadzenia badań w celu optymalizacji systemu ogrzewania rozjazdów kolejowych. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analizy numerycznej układów ogrzewania rozjazdów kolejowych metodą klasyczną oraz z zastosowaniem grzejników odizolowanych termicznie od stopki szyny. Przeprowadzono analizę 2D i 3D rozpatrywanych układów, na podstawie której wykazano zasadność zastosowania do obliczeń modelu 2D. Obliczenia numeryczne procesu ogrzewania rozjazdów przeprowadzono w programie ANSYS.

SŁOWA KLUCZOWE: elektryczne ogrzewanie rozjazdów EOR, bezstykowe ogrzewanie rozjazdów, analiza FEM, przepływ ciepła, obliczeniowa dynamika płynów CFD

1. WSTĘP

Rozjazd kolejowy jest newralgicznym elementem drogi kolejowej. Zachowanie zdolności manewrowej rozjazdu jest konieczne z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa i płynności ruchu kolejowego. W warunkach zimowych, podczas opadów śniegu, marznącego deszczu czy w okolicznościach nawiewania zalegającego śniegu przez wiatr oraz nadjeżdżające pociągi krytyczne elementy rozjazdów muszą być ogrzewane, tak aby przestrzeń robocza rozjazdu (przestrzeń między szyną a iglicą) pozostawała wolna od śniegu i oblodzeń. Zapewnienie skutecznej ochrony rozjazdów w Polsce jest realizowane za pomocą systemów ogrzewania elektrycznego z wykorzystaniem grzejników rezystancyjnych płasko-owalnych mocowanych do stopki szyny. Moc zainstalowana urządzeń grzejnych wynosi około 110 MW, a koszty związane z ich użytkowaniem około 30 mln zł rocznie. System klasyczny charakteryzuje się znaczną energochłonnością, dlatego istotne staje się zagadnienie optymalizacji.

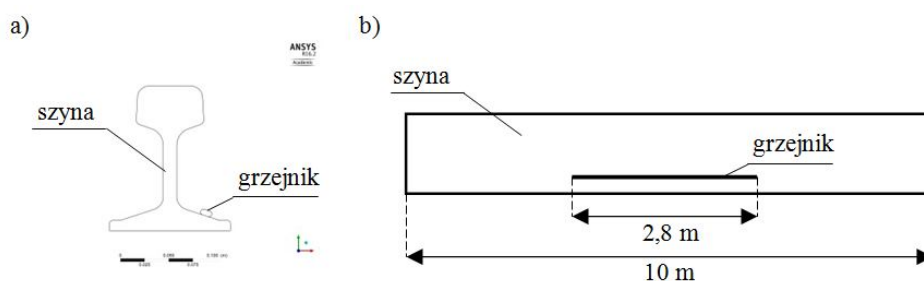
W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analizy numerycznej układów ogrzewania klasycznego oraz z grzejnikiem bezstykowym. Uzasadniono zasadność zastosowania w obliczeniach modelu 2D na podstawie analizy porównaw-

* Politechnika Gdańska.

czej wyników symulacji w geometrii 2D i 3D. Proces nagrzewania analizowano metodą symulacji komputerowej w programie ANSYS 2015.

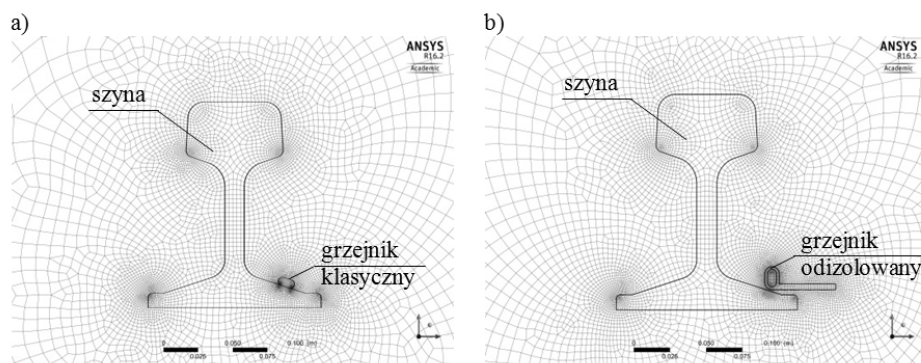
2. MODELE OBIEKTU

Proces ogrzewania rozjazdów kolejowych analizowano w układzie 2D oraz w układzie 3D. Dla potrzeb analizy 2D rozpatrzono długą szynę kolejową z grzejnikiem rezystancyjnym (rys. 1a). Natomiast do rozważań w analizie 3D przyjęto szynę kolejową o długości 10 m z grzejnikiem rezystancyjnym o długości 2,8 m (rys. 1b).

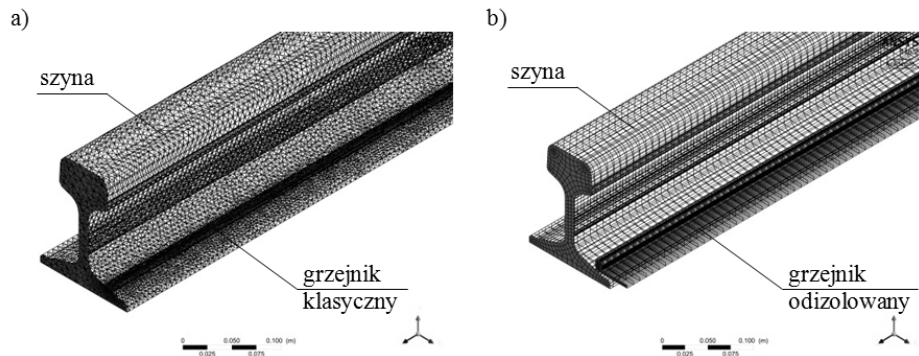


Rys. 1. Układ z grzejnikiem klasycznym: a) model 2D, b) rzut modelu 3D

Rozpatrzono układy dla dwóch grzejników o różnych kształtach. Założono, że w jednym przypadku grzejnik klasyczny o profilu płasko-owalnym jest przymocowany do stopki szyny (rys. 2a i 3a), a w drugim, że grzejnik o zwiększonej powierzchni oddawania ciepła jest odizolowany termicznie od stopki szyny cienką przekładką izolacyjną (rys. 2b i 3b). Przyjęto, że układ szyna - element grzejny otoczony jest powietrzem.



Rys. 2. Siatka elementów skończonych w analizie 2D dla układu z grzejnikiem: a) klasycznym, b) odizolowanym od stopki szyny



Rys. 3. Siatka elementów skończonych w analizie 3D dla układu z grzejnikiem:
a) klasycznym, b) odizolowanym od stopki szyny

W analizowanych układach przepływ ciepła wynika z trzech mechanizmów: przewodnictwa cieplnego, konwekcji oraz promieniowania, dla których rozwiązywane są odpowiednie równania. Przyjęto, że transport ciepła w szynie i grzejniku odbywa się na drodze przewodnictwa i promieniowania, natomiast pomiędzy grzejnikiem i szyną a otaczającym powietrzem dodatkowo mechanizmem konwekcji. Badany obszar obliczeniowy podzielono na odpowiednie podobszary opisywane poniższymi równaniami.

Przewodnictwo cieplne opisane jest prawem Fouriera:

$$q_p = -k\nabla T \quad (1)$$

gdzie: q_p – strumień ciepła, k – współczynnik przewodności cieplnej, T – temperatura.

Zjawisko konwekcji opisane jest prawem Newtona:

$$q_c = h(T_s - T_f) \quad (2)$$

gdzie: q_c – konwekcyjny strumień ciepła, h – średni współczynnik konwekcyjnej wymiany ciepła, T_s – temperatura ciała stałego, T_f – temperatura otaczającego płynu.

Wymiana ciepła przez promieniowanie opisana jest prawem Stefana-Boltzmana:

$$q_r = \varepsilon\sigma T^4 \quad (3)$$

gdzie: q_r – strumień ciepła wypromieniowany, ε – współczynnik emisyjności powierzchni ciała, σ – stała Stefana-Boltzmana, T – temperatura powierzchni ciała promieniującego.

W analizie 2D przyjęto jednostkową moc grzejnika rezystancyjnego 330 W/m, natomiast w analizie 3D założono dla grzejnika o długości 2,8 m ekwiwalentną moc równą 924 W. Na granicach obszaru obliczeniowego przyję-

to następujące warunki brzegowe: ciśnienie względne 0 Pa, temperatura zewnętrzna 250 K. Do obliczeń przyjęto tablicowe wartości poszczególnych parametrów dla poszczególnych ośrodków.

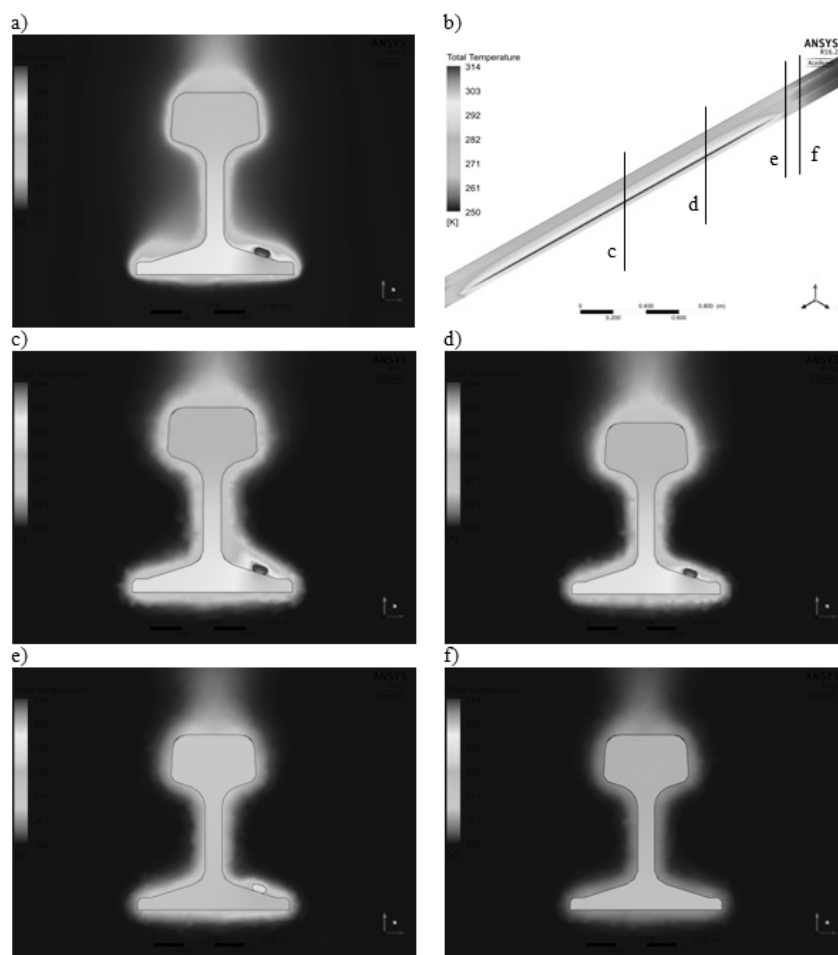
3. WYNIKI ANALIZY NUMERYCZNEJ

W analizie przyjęto, że temperatura początkowa układu jest jednakowa w całym obszarze obliczeniowym i wynosi 250 K. Rozpatrzono rozwiązanie stanu ustalonego procesu nagrzewania.

Na rys. 4 przedstawiono rozkład temperatury w rozważanym układzie z grzejnikiem klasycznym mocowanym do stopki szyny. Na rys. 4a zaprezentowano rozkład pola temperatury otrzymany w analizie modelu 2D. Temperatura elementu grzejnego wynosi około 315 K, stopka szyny nagrzewa się do temperatury 297 K, a główka szyny do 284 K. Na rys. 4b przedstawiono rozkład temperatury w modelu 3D w rzucie izometrycznym i zaznaczono położenie płaszczyzn c, d, e oraz f, dla których wykonano odrębne ilustracje rozkładu pola temperatury. Na rys. 4c zaprezentowano pole temperatury dla przekroju c znajdującego się w środku układu szyna – grzejnik. Temperatura grzejnika osiąga około 314 K, natomiast stopka i główka szyny nagrzewają się do temperatur odpowiednio 295 K i 282 K. Różnice temperatury tych elementów w modelu 2D i 3D w tym przypadku wynoszą odpowiednio: 1 K, 2 K oraz 2 K. Na rys. 4d przedstawiono rozkład temperatury dla przekroju d znajdującego się w odległości $\frac{1}{4}$ długości grzejnika od centrum układu szyna – grzejnik równej 0,7 m. Poszczególne elementy układu nagrzewają się do temperatur nieznacznie niższych niż w przypadku przedstawionym na rys. 4c i wynoszą odpowiednio: 313 K, 294,5 K, 281,5 K. Na rys. 4e zaprezentowano pole temperatury dla przekroju e znajdującego się na końcu grzejnika w odległości równej 1,4 m od centrum układu szyna – grzejnik. W tym przypadku temperatura grzejnika wynosi około 300 K, stopka szyny nagrzewa się do temperatury 275 K, a główka szyny do temperatury 268 K. Różnice temperatury tych elementów w modelu 2D i 3D w tym przypadku wynoszą odpowiednio: 15 K, 22 K i 16 K. Na rys. 4f przedstawiono rozkład temperatury dla przekroju f znajdującego się w obszarze poza grzejnikiem w odległości równej 0,1 m od końca grzejnika. Stopka szyny nagrzewa się do temperatury 265 K, a główka szyny osiąga temperaturę 263 K.

W tym przypadku wartości temperatur dla układu 2D i 3D oraz ich różnice podano w tabeli 3.1.

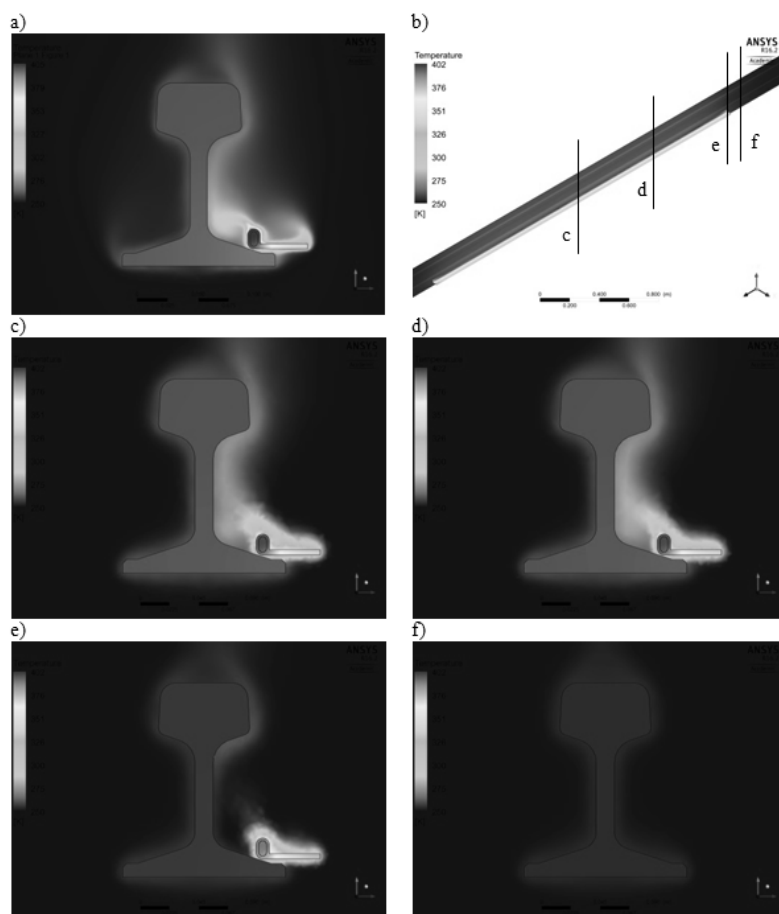
Na rys. 5 zaprezentowano rozkład temperatury w rozpatrywanym układzie z grzejnikiem o zwiększonej powierzchni oddawania ciepła odizolowanym termicznie od stopki szyny.



Rys. 4. Rozkład pola temperatury w układzie z grzejnikiem klasycznym: a) wynik analizy 2D, b) wynik analizy 3D, c) przekrój w środku grzałki, d) przekrój w 1/4 długości grzałki, e) przekrój na końcu grzałki, f) przekrój 10 cm poza grzałką

Tabela 3.1. Wartości temperatur oraz ich różnice dla układu grzejnika klasycznego w modelu 2D i 3D

Obszar	T_{2D}	T_{3D}	ΔT	T_{3D}	ΔT	T_{3D}	ΔT	T_{3D}	ΔT
	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Grzejnik	315	314	1	313,0	2,0	300	15	-	-
Stopka	297	295	2	294,5	2,5	275	22	265	33
Główka	284	282	2	281,5	2,5	268	16	263	21



Rys. 5. Rozkład pola temperatury w układzie z grzejnikiem odizolowanym: a) wynik analizy 2D, b) wynik analizy 3D, c) przekrój w środku grzałki, d) przekrój w $\frac{1}{4}$ długości grzałki, e) przekrój na końcu grzałki, f) przekrój 10 cm poza grzałką

Na rys. 5a przedstawiono pole temperatury otrzymane w analizie modelu 2D. Temperatura elementu grzejnego wynosi około 406 K, stopka szyny osiąga temperaturę 262 K, a główka szyny 261 K. Na rys. 5b zaprezentowano rozkład temperatury w modelu 3D w rzucie izometrycznym i zaznaczono położenie płaszczyzn c, d, e oraz f, dla których wykonano odrębne ilustracje pola temperatury. Na rys. 5c przedstawiono rozkład temperatury dla przekroju c znajdującego się w centrum układu szyna – grzejnik. Temperatura grzejnika wynosi około 402 K, natomiast stopka i główka szyny osiągają temperaturę odpowiednio 261 K i 260 K. Różnice temperatury tych elementów w modelu 2D i 3D dla tego przypadku równe są odpowiednio: 4 K, 1 K oraz 1 K. Na rys. 5d zaprezentowano pole tem-

peratury dla przekroju d znajdującego się w odległości $\frac{1}{4}$ długości grzejnika od środka układu szyna – grzejnik równej 0,7 m. Poszczególne elementy układu osiągają temperaturę nieznacznie niższą w porównaniu z przypadkiem przedstawionym na rys. 5c i równe są odpowiednio: 401 K, 260,5 K i 259,5 K. Na rys. 5e przedstawiono rozkład pola temperatury dla przekroju e znajdującego się na końcu grzejnika w odległości równej 1,4 m od środka układu szyna – grzejnik. W tym przypadku grzejnik osiąga temperaturę około 380 K, natomiast stopka i główka szyny nagrzewa się do temperatury 256 K. Różnice temperatury tych elementów w modelu 2D i 3D w tym przypadku równe są odpowiednio: 26 K, 6 K oraz 5 K. Na rys. 5f zaprezentowano pole temperatury dla przekroju f znajdującego się w obszarze poza grzejnikiem w odległości równej 0,1 m od końca grzejnika. Stopka szyny oraz główka szyny osiągają temperaturę 253 K.

Dla tego przypadku wartości temperatur dla układu 2D i 3D oraz ich różnice podano w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Wartości temperatur oraz ich różnice dla układu grzejnika odizolowanego w modelu 2D i 3D

Obszar	T _{2D}	T _{3D}	ΔT	T _{3D}	ΔT	T _{3D}	ΔT	T _{3D}	ΔT
	K	c	c	d	d	e	e	f	f
Grzejnik	406	402	4	401,0	5,0	380	26	-	-
Stopka	262	261	1	260,5	1,5	256	6	253	9
Główka	261	260	1	259,5	1,5	256	5	253	8

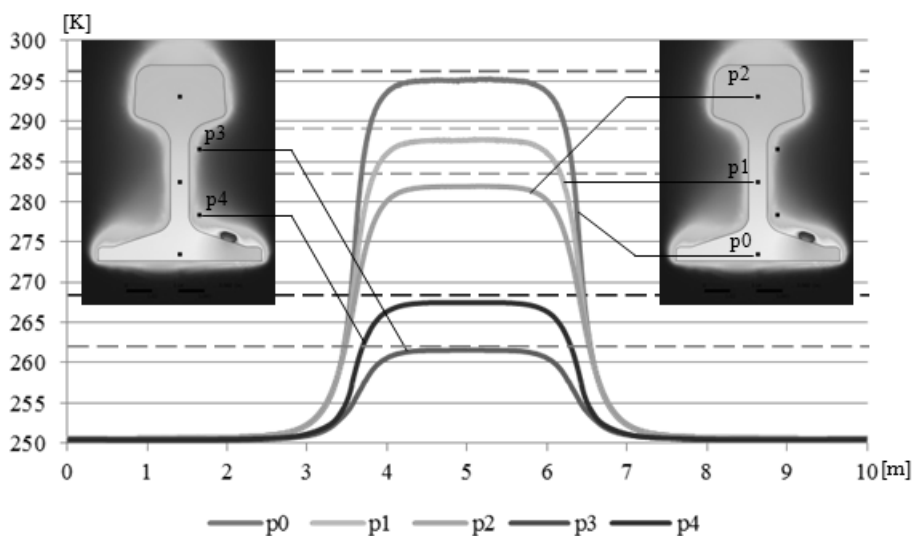
Na rys. 6 przedstawiono wykresy temperatury w funkcji długości szyny dla wybranych punktów obliczeniowych w rozpatrywanym układzie z grzejnikiem klasycznym mocowanym do stopki szyny. Liniami ciągłym zaznaczono rozkład temperatur otrzymany w analizie 3D, natomiast liniami przerywanymi odpowiednie wartości temperatur otrzymane w analizie 2D. Dla wybranych punktów obliczeniowych wartości temperatur wykreślone na podstawie analizy 2D są wyższe niż temperatury w środku szyny dla modelu 3D. W tym przypadku różnica temperatury w środku szyny w punkcie p0 wynosi 2 K, p1 – 2 K, p2 – 2 K, p3 – 1 K, p4 – 1K. Wartość temperatury na końcu grzałki, czyli w odległości 1,4 m od środka szyny, w punkcie p0 równa się 277 K, p1 – 272 K, p2 – 269 K, p3 – 256 K, p4 – 260 K. Różnice temperatury na końcu grzałki względem jej środka są zatem znaczne i wynoszą odpowiednio: p0 – 18 K, p1 - 15 K, p2 – 13 K, p3 – 6 K, p4 – 7 K. Istotny spadek temperatury obserwowany jest jednak dopiero na krańcach elementu grzejnego. Na podstawie rys. 6 można stwierdzić, że w zakresie 85% długości grzałki, tj. dla przedziału od 3,8 m do 6,2 m, temperatura osiągnięta w poszczególnych punktach obliczeniowych ulega niewielkim zmianom. Wartość bezwzględna zmiany obliczona jako różnica temperatury

występującej w odległości 1,2 m od środka układu szyna – grzałka i temperatury w środku układu 3D wynosi poniżej 5 K.

Wartości temperatury oraz ich różnice dla modeli 2D i 3D zestawiono w tabeli 3.3.

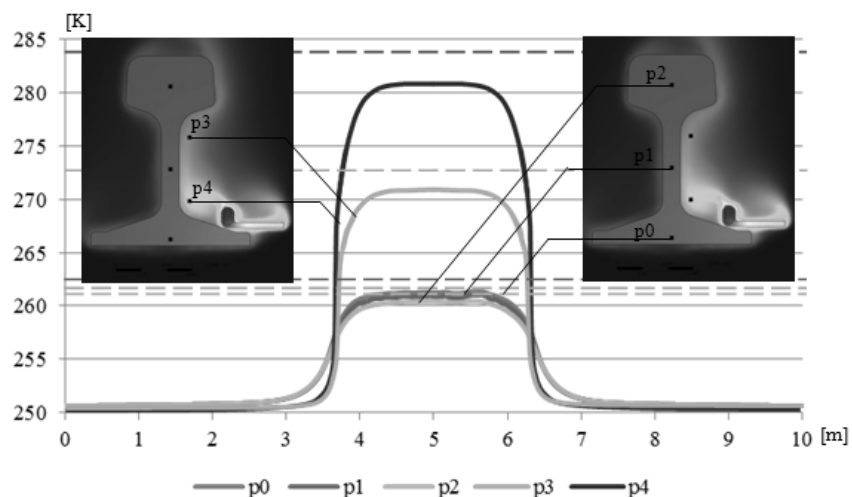
Tabela 3.3. Wartości temperatur oraz ich różnice dla układu grzejnika klasycznego w modelu 2D i 3D

Punkt obliczeniowy	T_{2D}	T_{3Dc}	ΔT_c	T_{3De}	ΔT_e
	K	K	K	K	K
p0	297	295	2	277	18
p1	289	287	2	272	15
p2	284	282	2	269	13
p3	263	262	1	256	6
p4	268	267	1	260	7



Rys. 6. Wykres temperatury w funkcji długości szyny dla zaznaczonych punktów pomiarowych dla układu grzałki klasycznej

Na rys. 7 zaprezentowano wykresy temperatury w funkcji długości szyny dla wybranych punktów obliczeniowych w analizowanym układzie z grzejnikiem o zwiększonej powierzchni oddawania ciepła odizolowanym termicznie od stopki szyny. Liniami ciągłym zaznaczono wartości temperatury otrzymane w analizie 3D, natomiast liniami przerywanymi odpowiednie temperatury osiągnięte w analizie 2D.



Rys. 7. Wykres temperatury w funkcji długości szyny dla zaznaczonych punktów pomiarowych dla układu grzałki odizolowanej termicznie od stopki szyny

Dla wybranych punktów obliczeniowych wartości temperatury wyznaczone na podstawie analizy 2D są wyższe niż temperatury osiągnięte w środku szyny dla modelu 3D. Dla tego przypadku różnica wartości temperatury w punkcie p0 wynosi 1,0 K, p1 – 1,0 K, p2 - 1,0 K, p3 – 2,0 K, p4 – 3,0 K. Temperatura osiągnięta w odległości 1,4 m od środka szyny, czyli na końcu grzałki, w punktach p0, p1, p2 równa się 256 K, a w punktach p3 oraz p4 wynosi 253 K.

Tabela 3.4. Wartości temperatur oraz ich różnice dla układu grzejnika odizolowanego w modelu 2D i 3D

Punkt obliczeniowy	T _{2D}	T _{3D} _c	ΔT _c	T _{3D} _e	ΔT _e
	K	K	K	K	K
p0	262,5	261,0	1,0	256,0	5,0
p1	261,5	260,5	1,0	256,0	4,5
p2	261,5	260,0	1,0	256,0	4,0
p3	273,0	271,0	2,0	253,0	18,0
p4	284,0	281,0	3,0	253,0	29,0

W tym przypadku różnice temperatury względem środka układu szyna – grzejnik są niepomijalne i wynoszą: p0 - 5,0 K, p1 – 4,5 K, p2 – 4,0 K, p3 – 18,0 K, p4 – 29,0 K. Znaczący spadek temperatury występuje jednak dopiero w odległości, która odpowiada końcom elementu grzejnego. Na podstawie rys. 7 moż-

na zauważyć, że dla 85% długości grzałki, tj. w zakresie od 3,8 m do 6,2 m, wartość temperatury, jaka jest osiągnięta w poszczególnych punktach obliczeniowych, ulega nieznacznym zmianom. Wartość bezwzględna tej zmiany obliczona jako różnica temperatury osiągniętej w odległości 1,2 m od centrum układu szyna – element grzejny i temperatury w środku układu 3D wynosi poniżej 5 K.

Wartości temperatury osiągniętej w poszczególnych punktach obliczeniowych oraz ich różnice dla modeli 2D i 3D zestawiono w tabeli 3.4.

4. PODSUMOWANIE

Analiza porównawcza efektywności ogrzewania dwóch układów grzejników wykazała, że układ klasyczny charakteryzuje się znaczną energochłonnością. Odizolowanie elementu grzejnego od szyny wpływa na ukierunkowanie dystrybucji ciepła w obszar roboczy rozjazdu, co zmniejsza straty związane z pasożytniczym nagrzewaniem szyny.

Analiza porównawcza przeprowadzona dla modelu 2D i 3D wykazała, że wyniki obliczeń w układzie 2D z dużą dokładnością odpowiadają wynikom otrzymanym w analizie 3D. Rezygnacja z modelu 3D w znaczący sposób wpływa na istotne zmniejszenie czasu obliczeń.

LITERATURA

- [1] Jakubiuk K., Zimny P., Wołoszyn M., Flis M., Modelowanie układów ogrzewania rozjazdów kolejowych, IC-SPETO XXXVII 2014.
- [2] Brodowski D., Grzejniki bezstykowe do przyspieszonego wytapiania śniegu w rozjazdach kolejowych, Informacja Techniczna, Instytut Kolejnictwa 2012.
- [3] ANSYS Fluent Theory Guide, November 2013.
- [4] Brodowski D., Andrulonis J., Ogrzewanie rozjazdów kolejowych, Problemy Kolejnictwa, Zeszyt 135, Warszawa 2002.
- [5] Szychta E., Szychta L., Luft M., Kiraga K., Application of 3D Simulation Methods to the Process of Induction Heating of Rail Turnouts, *Infrastruct. Des. Signal. Secur. Railw. InTech Croat.*, 2012.
- [6] Wolff C.A., Mounting guidelines for electric point-heating-systems, Wolff Weichenheizungen & Oberbau GmbH, 2006.
- [7] Laughton M.A., Warne D.F., *Electrical engineer's reference book*, Newnes 2003.
- [8] K. Kiraga, E. Szychta, J. Andrulonis, "Wybrane Metody Ogrzewania Rozjazdów Kolejowych - Artykuł Przeglądowy," *Przegląd Elektrotechniczny*, no. 2/2010, pp. 247 – 252.
- [9] D. Brodowski, "Badania Grzejników EOR Nowej Generacji Firmy Termorad," *Konferencja Nowoczesne Technologie w Realizacji Projektów Inwestycyjnych Transportu Kolejowego*, Jurata, 2012, pp. 79–82.
- [10] A. Białoń, J. Mikulski, "Wpływ Typu Ogrzewania Rozjazdów Kolejowych na Zużycie Energii Elektrycznej," *Przegląd Elektrotechniczny*, no. 9/2009, pp. 37–39.

2D AND 3D ANALYSIS OF RESISTIVE CLASSICAL AND CONTACTLESS HEATING OF RAILWAY TURNOUTS

Electric heating of railway turnouts is a significant technical and economic problem. For these reasons, research is needed to optimise the heating system of railway turnouts. This paper presents a comparative analysis of railway turnouts heating efficiency performed using two different methods. In addition, comparative analysis of 2D and 3D numerical modelling was performed. The simulation of the heating of railway was carried out using the ANSYS 2015 computer simulation software.

(Received: 15. 02. 2016, revised: 8. 03. 2016)