

dr inż. Bartłomiej Grzesik^{1)*}
dr inż. Wojciech Sorociak²⁾

Wykorzystanie energii odnawialnej w drogownictwie

Use of renewable energy in road engineering

DOI: 10.15199/33.2019.04.09

Streszczenie. W artykule opisano założenia innowacyjnej technologii nawierzchni drogowej wykorzystującej energię pochodzącą z odnawialnych źródeł energii (geotermalną i słoneczną). Przy wspomaganiu pomp ciepła uzyskana energia jest wykorzystywana nie tylko w obrębie nawierzchni, ale również w obiektach zlokalizowanych w jej otoczeniu. W Polsce technologia może znaleźć zastosowanie także w obszarach miejskich wysp ciepła.

Słowa kluczowe: nawierzchnia drogowa; sonda geotermalna; pompa ciepła.

Abstract. The article presents the assumptions of an innovative pavement technology which uses energy from renewable energy sources (geothermal and solar). With the support of heat pumps, obtained energy is used not only in the range of pavement, but also in facilities located in its close proximity. The technology can also be applied in Poland, especially in the urban areas of heat islands.

Keywords: pavement; geothermal probe; geothermal heat pump.

Obecnie coraz większy nacisk kładzie się na parametry użytkowe nawierzchni drogowej, takie jak szorstkość czy właściwości akustyczne. Parametry te pozwalają na uzyskanie drogi, z której korzystanie jest bezpieczniejsze (poprawa szorstkości skraca drogę hamowania pojazdów), a także mniej uciążliwe dla otoczenia (redukcja emisji hałasu z kół pojazdów).

Kolejnym krokiem jest wykorzystanie nawierzchni drogowej, wykraczające daleko poza podstawowe przeznaczenie dróg. Przykładem może być **nawierzchnia z wbudowanymi materiałami piezoelektrycznymi** umożliwiającymi przekształcenie energii mechanicznej w elektryczną. Poruszające się po drodze pojazdy, powodując ugięcie nawierzchni, produkują energię elektryczną, którą można wykorzystać w obrębie drogi (oświetlenie, sygnalizacja świetlna) bądź odprowadzić poza drogę [6]. Podobną technologią jest **nawierzchnia z ogniwami fotowoltaicznymi** [7]. Takie rozwiązania wydają się szczególnie przydatne na parkingach i placach manewrowych.

Innym przykładem jest **nawierzchnia drogowa** oczyszczająca powietrze, zawierająca dwutlenek tytanu [8].

Drogi ogrzewane energią odnawialną

Wygodę utrzymania i bezpieczeństwo użytkownika drogi w okresie zimowym w naszej szerokości geograficznej może zapewnić podgrzewana nawierzchnia. W celu uzyskania wspomnianego efektu najprostszym rozwiązaniem jest **ułożenie pod nawierzchnią przewodów grzewczych bądź maty grzewczej**. Ogrzewanie następuje po dostarczeniu energii elektrycznej do układu [4]. Kolejną generacją to nawierzchnia autonomiczna pod względem usuwania lodu i śniegu z powierzchni oraz obniżenia temperatury w okresie letnim [5, 11]. Rozwiązanie takie zostało zastosowane już m.in. we Francji, a jego główną zaletą jest wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Zasada działania polega na wykorzystaniu energii generowanej przez promieniowanie słoneczne w nawierzchni drogowej (głównie w okresie letnim) i energii pochodzącej z gruntu (głównie w okresie zimowym) oraz zarządzaniu tą energią za pomocą systemu wykorzystującego pompy ciepła.

Zasada wykorzystania ciepła z gruntu

Zazwyczaj w warstwie wiążącej tuż pod warstwą wierzchnią drogi umieszczane są tzw. wymienniki ciepła, czyli polipropylenowe przewody rurowe z płynem (niezamarzająca woda z glikolem w ustalonych proporcjach) przedstawione na fotografii 1. Płyn przepływa w przewodach, których pętle dołączone są do kolektorów zbiorczych (fo-



Fot. 1. Układanie przewodów grzewczych
Photo 1. Pipe assembly

tografia 2). Układ ten jest pierwszą częścią systemu omawianej technologii, natomiast drugą stanowią **sondy geotermalne**, pogrążane w gruncie nawet do głębokości przeszło 100 m (rysunek 1). W sondach znajduje się ten sam płyn co w przewodach umieszczanych w nawierzchni, a ponieważ sondy osiągają głębokość, na której temperatura gruntu jest niezależna od warunków pogodowych (rzędu kilkunastu °C), płyn poruszając się wytraca temperaturę latem i ogrzewa się zimą. Zamodelowany efekt wymiany ciepła w przykładowym zakresie temperatury od 8,5°C (w gruncie, kolor granatowy)

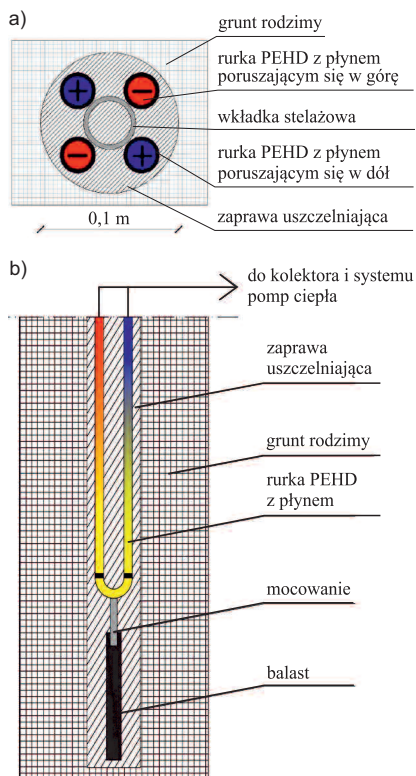


Fot. 2. Kolektor
Photo 2. Manifold

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

²⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; Eurovia Polska S.A.

^{*}) Adres do korespondencji: bartlomiej.grzesik@polsl.pl

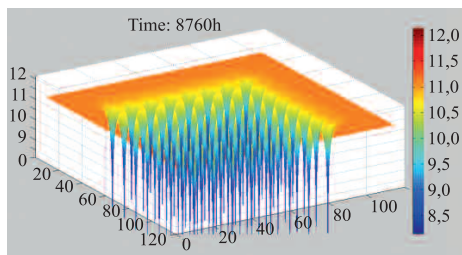


Rys. 1. Przekrój przez sondę geotermalną: a) poprzeczny; b) podłużny
 Fig. 1. Geothermal probes: a) cross-section; b) profile

do 12°C (na powierzchni, kolor czerwony) pokazano na rysunku 2.

Trzecią część systemu stanowią **odbiorniki ciepła** – miejsca zagospodarowania ciepła przez człowieka. Technologia ta umożliwia np. ogrzanie domów bądź wody użytkowej.

Na przykładzie technologii Powerroad firmy Eurovia przedstawimy zasadę działania zmodyfikowanej nawierzchni w zależności od typowych warunków atmosferycznych panujących w kolejnych porach roku.



Rys. 2. Zamodelowany efekt wymiany ciepła między gruntem a nawierzchnią w przykładowym zakresie temperatury od 8,5°C (kolor granatowy) do 12°C (kolor czerwony)
 Fig. 2. 3D model of heat exchange effect between soil and road pavement ranging from 8,5 Celsius degrees (navy blue) to 12 Celsius degrees (red)

Okres letni. Nawierzchnia asfaltowa podczas bezchmurnych dni, ze względu na ciemną barwę, nagrzewa się do temperatury przekraczającej 50°C. Prowadzi to do zjawiska zwanego „miejską wyspą ciepła”, której powstanie skutkuje podniesieniem temperatury powietrza w miastach o kilka stopni Celsjusza w stosunku do obszarów nieurbanizowanych. Energia ta może zostać wykorzystana. Znajdujące się w nawierzchni przewody z płynem nagrzewają się. Po uruchomieniu obiegu płynu energia cieplna zostaje odprowadzona z nawierzchni drogowej, np. do ogrzewania basenów, które nawet w okresie letnim wymagają dostarczenia energii cieplnej lub gospodarstw domowych, zaopatrywanych w ciepłą wodę bieżącą (rysunek 3a).

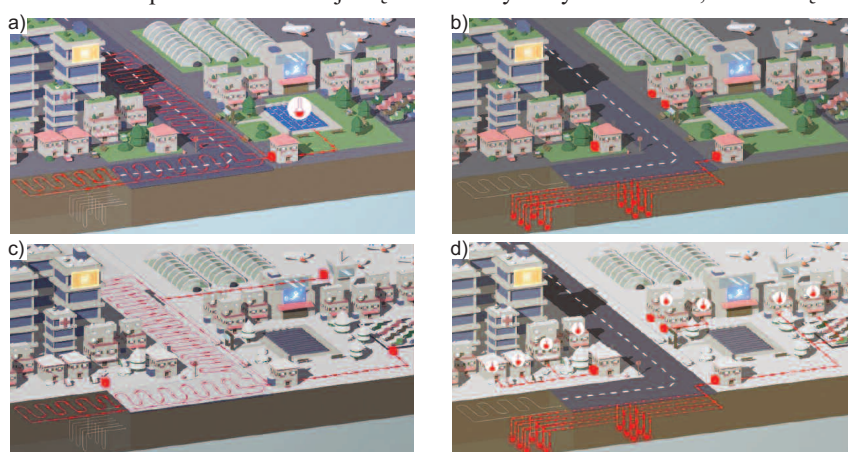
W przypadku, gdy nie ma możliwości natychmiastowego wykorzystania energii cieplnej, odprowadzonej z nawierzchni drogi, można wprowadzić ją do gruntu za pomocą sond geotermalnych. Podniesiona zostaje temperatura gruntu, umożliwiając akumulację części przetransportowanej energii, w celu jej wykorzystania w późniejszym okresie (rysunek 3b).

Okres zimowy. W okresie zimowym energia cieplna pobierana jest z gruntu za pomocą sond geotermalnych i dostarczana na powierzchnię. Przyjmuje się, że temperatura na głębokości 10 – 15 m jest stała i równa średniej rocznej temperaturze na powierzchni gruntu [9]. Na terenie Polski temperatura ta kształtuje się na

poziomie 8 – 9°C [1, 2]. Wraz ze zwiększaniem głębokości następuje wzrost temperatury. Zjawisko to jest opisywane przez stopień geotermiczny, określający różnicę głębokości, na której temperatura zmienia się o 1°C. Średni stopień geotermiczny w Polsce wynosi ok. 47 m/°C, co oznacza, że temperatura panująca na głębokości 100 m wynosi kilkanaście °C [3].

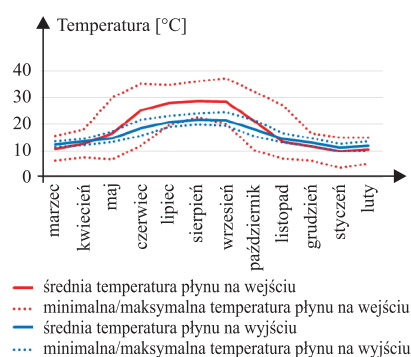
Energia cieplna pobrana z gruntu za pomocą sond geotermalnych może zostać wykorzystana do usunięcia śniegu i lodu z dróg zimą za pomocą tych samych wymienników ciepła, które służą do „zabierania” ciepła z nawierzchni latem. Podniesienie temperatury nawierzchni o kilka stopni może, poza poprawą bezpieczeństwa użytkowników drogi, ograniczyć także liczbę cykli zamrażania i rozmrażania wody oraz ilość zużytych środków odśnieżających, co wpłynie pozytywnie na trwałość warstwy ścieralnej (rysunek 3c). W przypadku, gdy nie ma konieczności dostarczania energii do nawierzchni drogowej, ciepło z sond geotermalnych, za pośrednictwem pomp ciepła, może zostać wykorzystane w indywidualnych gospodarstwach domowych bądź w obiektach użyteczności publicznej (rysunek 3d).

Na rysunku 4 przedstawiono roczne zmiany temperatury płynu w sondach o długości 205 m zlokalizowanych w Haute Garonne we Francji. Można zauważyć, że różnica temperatury płynu wchodzącego i wychodzącego z sondy w miesiącach zimowych wynosi kilka °C, a w miesiącach



Rys. 3. Zasada działania systemu Powerroad: a) odprowadzanie nadmiaru ciepła do odbiorników poza nawierzchnią; b) odprowadzenie nadmiaru ciepła z nawierzchni w głąb gruntu; c) wykorzystanie ciepła zgromadzonego w ziemi do ogrzania nawierzchni; d) wykorzystanie nadmiaru ciepła zgromadzonego w gruncie do celów innych niż ogrzanie nawierzchni

Fig. 3. Powerroad's system working principle: a) transfer of excessive thermal energy to receiver outside of road pavement; b) transfer of excessive thermal energy into soil; c) use of thermal energy gathered in soil to heat the road surface; d) use of excessive thermal energy, gathered in ground to other purposes than road surface heating



Rys. 4. Zmiana temperatury płynu w sondach o długości 205 m w Haute Garonne we Francji
Fig. 4. Temperature change of liquid in geothermal probes of 205 m length in Haute Garonne in France

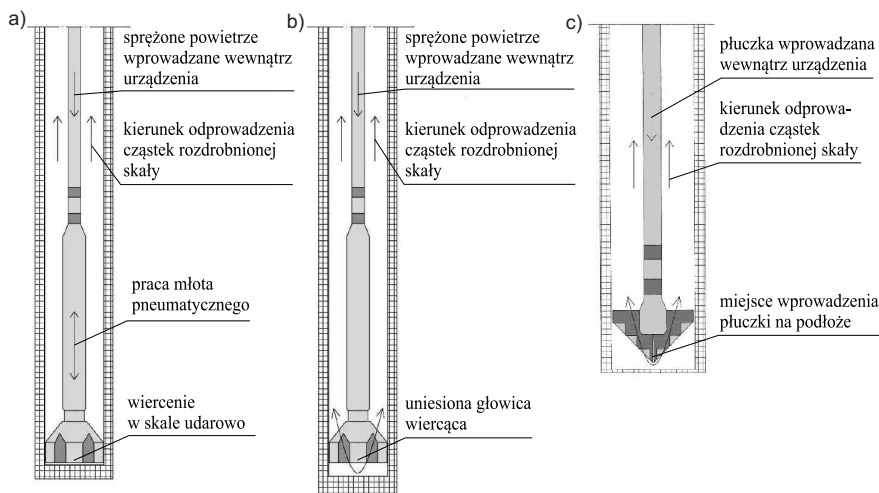
letnich nie przekracza 10°C. Ze względu na odmienny klimat w Polsce należy się spodziewać, że różnica temperatury płynu zimą będzie większa niż latem i to właśnie o tej porze roku system ten mógłby lepiej sprawdzać się w naszej szerokości geograficznej. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż o ile różnica temperatury płynu nie jest imponująco duża w kontekście wykorzystania do ogrzewania nawierzchni czy obiektów niezwiązanych z komunikacją, to system ten wspomagany jest pompą ciepła.

Sposób wykonywania sond

Istnieją różne metody wykonywania otworów na sondy geotermiczne. Przykładem jest wiercenie udarowe za pomocą podwójnej głowicy z wykorzystaniem kompresorów powietrza. Metoda wiercenia pneumatycznego MFT zalecana jest do wiercenia w twardych skałach (np. granity) lub w skałach osadowych (wapień). Jest to wiercenie dwufazowe (rysunek 5a i 5b). Alternatywną metodą jest użycie jednej głowicy obrotowej w przypadku gruntów nieskalistych. Wówczas wiercenie odbywa się jedynie przez ścieranie gruntu, bez użycia udaru (rysunek 5c). Jest wykonywane na mokro, a urobek wyprowadza się na powierzchnię wraz z płynem wiertniczym. Sondy rozmieszcza się w taki sposób, aby były oddalone od siebie o 3 – 5 m.

Perspektywy wdrożenia technologii w Polsce oraz uwarunkowania prawne

Oprócz ciepła Ziemi istotne w opisanej technologii jest również **nasłonecznienie powierzchni**. Przy rocznej sumie nasłonecznienia w Polsce określanej



Rys. 5. Wykonywanie otworów na sondy geotermiczne: a) faza kruszenia metodą wiercenia pneumatycznego MFT; b) faza wydmuchiwania w metodzie wiercenia pneumatycznego MFT; c) wiercenie głowicą obrotową

Fig. 5. Realisation of geothermal probes boreholes: a) crushing phase with use of pneumatic drilling; b) phase of blowing in pneumatic drilling method MFT; c) drilling with rotary head

średnio na ok. 1000 kWh/m² panują wystarczająco dobre warunki do stosowania tej technologii na obszarach większych miast. Jej wyboru należy dokonywać po szczegółowej analizie temperatury źródła ciepła (geotermia niskiej entalpii) w wybranej lokalizacji. Pod tym względem dogodne warunki występują przede wszystkim w zachodniej części Polski. Na terenie jednego ze śląskich miast planowane jest w najbliższym czasie wykonanie pierwszej w kraju, eksperymentalnej instalacji tego typu. Następnie będą prowadzone badania nad możliwością implementacji technologii w warunkach krajowych.

W Polsce aktem prawnym regulującym proces planowania, wykonania i dokumentowania wykopów oraz otworów wiertniczych w celu wykorzystania ciepła Ziemi jest ustawa Prawo Górnicze i Geologiczne [10]. Nie ma ona jednak zastosowania do otworów wiertniczych o głębokości do 30 m, o ile nie są one wykonywane na terenie górniczym. Zgodnie z ustawą należy wykonać projekt robót geologicznych, który podlega zgłoszeniu staroście, jeżeli wiercenia prowadzone w celu wykorzystania ciepła Ziemi mają głębokość 30 – 100 m. W przypadku odwiertów głębszych niż 100 m należy stosować odpowiednio przepisy dotyczące zakładu górniczego i jego ruchu oraz ratownictwa górniczego.

Fotografie oraz rysunki 2 i 3 – Eurovia Polska S.A.

Literatura

[1] Bielec-Bąkowska Zuzanna, Katarzyna Piotrowicz. 2013. „Temperatury ekstremalne w Polsce w latach 1951 – 2006”. *Prace Geograficzne*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, zeszyt 132: 59 – 98. Kraków.
 [2] Bujok Petr, Martin Klempa, Jiří Koziorek, Robert Rado, Michal Porzer. 2012. „Ocena wpływu warunków klimatycznych na bilans energetyczny górotworu na obszarze poligonu badawczego VSB-TU Ostrava”. *AGH drilling Oil Gas*, vol. 29, No. 1.
 [3] Książkiewicz Włodzimierz. 2006. *Geologia dynamiczna*. Warszawa. PWN.
 [4] Lai Jinxing, Junling Qiu, Jianxun Chen, Fan Habo, Ke Wang. 2015. „New technology and experimental study on snow-melting heated pavement system in tunnel portal”. *Advances in Materials Science and Engineering*.
 [5] Liu Xiaobing, J. Simon Rees, D. Jeffrey Spitler. 2007. „Modeling snow melting on heated pavement surfaces. Part II: Experimental validation”. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, Issues 5-6, p. 1125 – 1131.
 [6] Noor Fatima, Mustafa Jiyaul. 2012. „Production of electricity by the method of road power generation”. *International Journal of Advances in Electrical and Electronics Engineering*, No. 1, p. 9 – 14.
 [7] Pragma Sharma, Harinarayana Tirumalachetty. 2013. „Solar energy generation potential along national highways”. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, p. 4 – 16.
 [8] Sorociak Wojciech. 2018. „Nawierzchnia drogowa zwalczająca zanieczyszczenie powietrza”. *Magazyn Autostrady* 10: 20.
 [9] Staniec Maja. 2007. „Rozkład temperatury w gruncie wokół budynków częściowo lub całkowicie w nim zagłębionych”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Budownictwo*, z. 112.
 [10] Ustawa z 9 czerwca 2011 r. *Prawo geologiczne i górnicze* (Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981).
 [11] Wang Huajun, Limbo Liu, Zhihao Chen. 2010. „Experimental investigation of hydronic snow melting process on the inclined pavement”. *Cold Regions Science and Technology*, vol. 63, no. 1-2, pp. 44 – 49.

Przyjęto do druku: 11.01.2019 r.