

Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce

Architektura, technika i inżynieria



www.mlodzi naukowcy.com

Poznań 2020

Redakcja naukowa

dr Jędrzej Nyćkowiak

dr hab. Jacek Leśny, prof. UPWR

Wydawca

Młodzi Naukowcy

www.mlodzinaukowcy.com

wydawnictwo@mlodzinaukowcy.com

ISBN (całość 978-83-66392-59-5)

ISBN (wydanie online 978-83-66392-98-4)

ISBN (wydanie drukowane 978-83-66392-99-1)

Ilość znaków w książce: 428 tys.

Ilość arkuszy wydawniczych: 10,7

Data wydania: wrzesień 2020

Niniejsza pozycja jest monografią naukową. Jej rozdziały zostały wydrukowane zgodnie z przesłanymi tekstami po ich zaakceptowaniu przez recenzentów. Odpowiedzialność za zgodne z prawem wykorzystanie użytych materiałów ponoszą autorzy poszczególnych rozdziałów.

Spis treści

1.	O jednorodności zabudowy zespołu staromiejskiego w Przemyślu- wstęp do badań	7
	<i>Natalia Stojak</i>	
2.	Rewitalizacja obszarów nadwodnych oraz metody łączenia ich z miastem na przykładzie Kopenhagi i Szczecina	15
	<i>Sylvia Łangowska</i>	
3.	Mieszkańcy o atrakcyjności i potencjale swojej (małej) miejscowości – na przykładzie gminy Drelów	21
	<i>Magdalena Cieślikowska</i>	
4.	Teoria przestrzeni obronnych i koncepcje projektowe Oscara Newmana	27
	<i>Mazur Aleksandra</i>	
5.	Metody obróbki czopów wałów korbowych samochodowych silników spalinowych	33
	<i>Cieślar Kacper, Śliwka Mateusz</i>	
6.	Wykorzystanie Metody Różnic Skończonych w analizie cienkiej płyty prostokątnej	41
	<i>Cieślar Kacper, Śliwka Mateusz, Kubok Tymoteusz</i>	
7.	Analiza i porównanie metod optymalizacji topologicznej z wykorzystaniem MES	50
	<i>Maciej Krulak, Bogdan Dybała</i>	
8.	Analiza parametryczna przestrzeni mezoplace w historycznych jednostkach urbanistycznych	58
	<i>Volha Kur</i>	
9.	EHighway – droga do ekologicznej przyszłości	64
	<i>Łajewska Dominika, Błażejczyk Sylwia</i>	
10.	Możliwości termomodernizacyjne budynków objętych ochroną konserwatorską	72
	<i>Małgorzata Małyшко</i>	
11.	CPTED w projektowaniu architektonicznym i urbanistycznym	79
	<i>Justyna Maślowska</i>	
12.	Kompozytowe rury z lekkim rdzeniem ścianki nośnej - badania wstępne	86
	<i>Raźny Natalia, Barcicki Krzysztof, Filipiak – Kaczmarek Adrianna</i>	
13.	Kompozyty polimerowe jako wzmocnienie konstrukcji betonowych – przegląd rozwiązań	93
	<i>Raźny Natalia, Filipiak – Kaczmarek Adrianna</i>	
14.	Badanie nośności gwintu w polimerowym elemencie wykonanym technologią FDM	100
	<i>Śliwka Mateusz, Cieślar Kacper</i>	
15.	Mechanizmy dezaktywacji komórek bakteryjnych w obecności TiO₂ modyfikowanego jonami lub nanocząstkami srebra	109
	<i>Mateusz Dubicki, Ewelina Kusiak-Nejman</i>	
16.	Mechanizmy dezaktywacji drobnoustrojów w obecności TiO₂ modyfikowanego nanocząstkami miedzi	114
	<i>Mateusz Dubicki, Ewelina Kusiak-Nejman</i>	
17.	Otrzymywanie cennych związków organicznych w procesie przekształcenia terpenów	120
	<i>Jadwiga Tołpa, Agnieszka Wróblewska</i>	
18.	Aktywność olejków eterycznych wobec bakterii Gram-ujemnych i Gram-dodatnich	127
	<i>Jadwiga Tołpa, Agnieszka Wróblewska</i>	

Przedmowa

Szanowni Państwo, wydawnictwo „Młodzi Naukowcy” oddaje do rąk czytelnika kolekcję trzynastu monografii naukowych dotyczących szerokiego spektrum nauk. Znajdują się tutaj pozycje dotyczące nauk przyrodniczych, nauk medycznych i nauk o zdrowiu, szeroko pojętych nauk humanistycznych i społecznych oraz nauk technicznych i inżynierskich.

W prezentowanych monografiach poruszany jest bardzo szeroki przekrój zagadnień, jednak każda z osobna składa się z kilkunastu rozdziałów, spójnych tematycznie, dających jednocześnie bardzo dobry przegląd tematyki naukowej jaką zajmują się studenci studiów doktoranckich lub ich najmłodsi absolwenci, którzy uzyskali już stopień doktora.

Czytelnikom życzymy wielu przemyśleń związanych z tematyką zaprezentowanych prac. Uważamy, że doktoranci i młodzi badacze z pasją i bardzo profesjonalnie podchodzą do swojej pracy, a doświadczenie jakie nabierają publikując prace w monografiach wydawnictwa „Młodzi Naukowcy”, pozwoli im udoskonalać swój warsztat pracy. Dzięki temu, z pewnością wielu autorów niniejszych prac, z czasem zacznie publikować prace naukowe w prestiżowych czasopismach. Przyczyni się to zarówno do rozwoju nauki, jak i każdego autora, budując jego potencjał naukowy i osobisty.

Redakcja

1. O jednorodności zabudowy zespołu staromiejskiego w Przemyślu- wstęp do badań

The homogeneity of the Old Town complex in Przemyśl - introduction to the research

Natalia Stojak

Doktorat z wolnej stopy

Opiekun naukowy: : dr hab. inż. arch. Dominika Kuśnierz-Krupa, prof. PK

Natalia Stojak: natalaistojak@wp.pl

Słowa kluczowe: jednorodność, wielokulturowość, Pomnik Historii

Streszczenie

W 2018 r. Przemyśl uzyskał dwa wpisy na listę Pomników Historii, jeden z nich dotyczy Zespołu Staromiejskiego. W uzasadnieniu autorzy powołują się na „*wartości historyczne, artystyczne, naukowe, przestrzenne i krajobrazowe (...) zespołu staromiejskiego, bogatego w liczne zabytki architektury sakralnej z różnych epok, będącego świadectwem wielokulturowej i wielowyznaniowej historii miasta i regionu*”.

Ponieważ Pomnik Historii jest wpisem odnoszącym się do dziedzictwa materialnego, tj. budynków, układu urbanistycznego i reliktyw na danym obszarze- określonym jasnymi granicami w Rozporządzeniu- a nie do miasta jako całości- postawiona teza, iż znajdujący się tam zasób świadczy o wielokulturowości obszaru, jest co najmniej dyskusyjna.

Ze względu na „cenzurę wieków” na przedmiotowym obszarze przetrwały tylko świątynie prezentujące sobą estetykę rzymsko- katolickiego baroku (nawet jedyna świątynia gotycka), natomiast większość zabudowy mieszkalnej na obszarze została przebudowana w okresie zaborów i ma elewacje dziewiętnastowieczne.

Zabytki świadczące o wielowyznaniowości regionu mają charakter archeologiczny i w większości pozostają niewyeksponowane, natomiast historyczne dzielnice wydzielone dla danych grup etnicznych albo nie istnieją, albo w wyniku stylistycznej homogenizacji przez liczne przebudowy uległy zatarciu.

W związku z powyższym, stawianą w Rozporządzeniu tezę- iż zabudowa Zespołu Staromiejskiego w Przemyślu jest bogata w zabytki świadczące o wielokulturowej i wielowyznaniowej historii regionu- uważam za błędną.

1. Wstęp

W 2018 roku Przemyśl, miasto powiatowe położone w południowo- wschodniej Polsce, uzyskało dwa wpisy na listę Pomników Historii. Jeden dotyczy Twierdzy Przemyśl, drugi natomiast Zespołu Staromiejskiego.

Pomnik Historii to jedna z pięciu form ochrony zabytków wymienionych w ustawie o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami z 2003 roku. Jest to wyróżnienie prestiżowe, zarezerwowane dla najważniejszych, najcenniejszych obiektów zabytkowych na terenie Polski. Nie niesie jednak za sobą prawnych konsekwencji w zakresie ochrony obiektów, nie stawia też przed administracją konserwatorską żadnych nowych obowiązków. Jest to odznaczenie honorowe.

Przemyśl jest miastem niezwyklej urody, charakteryzujący się spiętrzeniem zabytkowej zabudowy, wyeksponowanej na tarasowo uformowanych wzgórzach.

Niemniej jednak treść oraz zakres wpisu Zespołu Staromiejskiego w Przemyślu budzi wiele pytań i wątpliwości u osób znających miasto. Owszem: nie można odmówić omawianej zabudowie dużych walorów estetycznych oraz wartości historycznej. Stawiana jednak w treści rozporządzenia teza, iż przemyski Zespół Staromiejski jest świadectwem wielokulturowości i wielowyznaniowości miasta nie znajduje odzwierciedlenia w przekazie kulturowym zasobu budowlanego, znajdującego się na terenie wpisu.

Celem pracy jest analiza znajdujących się na terenie Pomnika Historii budowli w celu zidentyfikowania ich przynależności stylowej, oraz określenie przeważającego przekazu kulturowego. Analiza badawcza skupiać się będzie na zabytkach nieruchomych budownictwa, gdyż do nich (poza kwestiami urbanistycznymi) odnosi się idea ochrony roztoczonej przez Pomnik Historii. Badanie pomijać będzie kwestie etniczne i mniejszościowe obecnych mieszkańców, jako nie wchodzących w zakres ochrony ww. Rozporządzenia.

W Rozporządzeniu Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej z 10.12.2018r. czytamy:

„Celem ochrony pomnika historii wymienionego w § 1 jest zachowanie, ze względu na wartości historyczne, artystyczne, naukowe, przestrzenne i krajobrazowe, zespołu staromiejskiego o ponad 1000-letniej historii, bogatego w liczne zabytki architektury sakralnej z różnych epok, będącego świadectwem wielokulturowej i wielowyznaniowej historii miasta i regionu.”
(www.nid.pl/)

2. Materiał i metody

O zespole Staromiejskim w Przemyślu w kontekście wielokulturowości pisze Marek Gosztyła w swojej pracy pt. *„Krajobraz wielokulturowy Przemyśla”*. Opis przemian urbanistycznych, zachodzących w mieście opisany został w książce pt. *„Zabytkach urbanistyki i architektury w Polsce”* (Mach Piątek 1986) pod redakcją Wiktora Zina i Wojciecha Kalinowskiego. *„Monografia Miasta Przemyśla”* Leopolda Hausnera to publikacja powstała oryginalnie w 1883 roku, w której zebrano ówczesną wiedzę o historii miasta. Z kolei liczne publikacje dotyczące kamienic przyrynkowych w Przemyślu M. Gosztyły mają nie tyle na celu opis ich przynależności kulturowej, co opis stosowanych w budownictwie technologii oraz przemian, i są bardziej opracowaniami z zakresu archeologii i badań architektonicznych. Praca zbiorowa Krzysztofa Barana, Marcina Leśko, Henryk Wachty polegająca na cyfrowej rekonstrukcji dzielnicy żydowskiej przygotowana została na podstawie zdjęć archiwalnych i jest elementem dyskusji na temat zagospodarowania przestrzennego placu po dzielnicy żydowskiej, oraz granicach odbudowy.

Analiza prowadzona będzie metoda porównawczą- zasobu ze stawianą w rozporządzeniu tezę oraz literaturę przedmiotu.

3. Wyniki i dyskusja

Treść Rozporządzenia zwanego z wpisem Zespołu Staromiejskiego w Przemyślu na listę Pomników Historii jest, zdaniem Autorki, dość lakoniczna i może dać czytającemu błędne wyobrażenie dotyczące przemyskiego Zespołu (rys.1).

Po pierwsze: granice Pomnika Historii przebiegają głównie po linii dawnych murów miejskich powiększonych o Zamek (który NIE BYŁ w środku historycznych fortyfikacji), przestrzeń pomiędzy miastem a Zamkiem, oraz klasztor Karmelitanek Bosych. Ten ostatni jest realizacją z pocz. XX w., otoczoną co prawda murami, ale ze względu na datowanie nie można nazwać ich fortyfikacjami, gdyż ich celem nie była obrona sióstr przed agresją militarną (www.nid.pl).

Wpis inkastelowanych klasztorów Reformatów (poza murami miejskimi) oraz Benedyktynek (pomimo, iż znajduje się na Zasaniu) broni się i datowaniem i przez historyczne i funkcjonalne związki z zespołem Staromiejskim.

Myśl przewodnia poprowadzenia w ten sposób granic wpisu nie w rozporządzeniu wyjaśniona, a jedynie opisana przez wyliczenie działek ewidencyjnych, po których to rozgraniczenie przebiega.

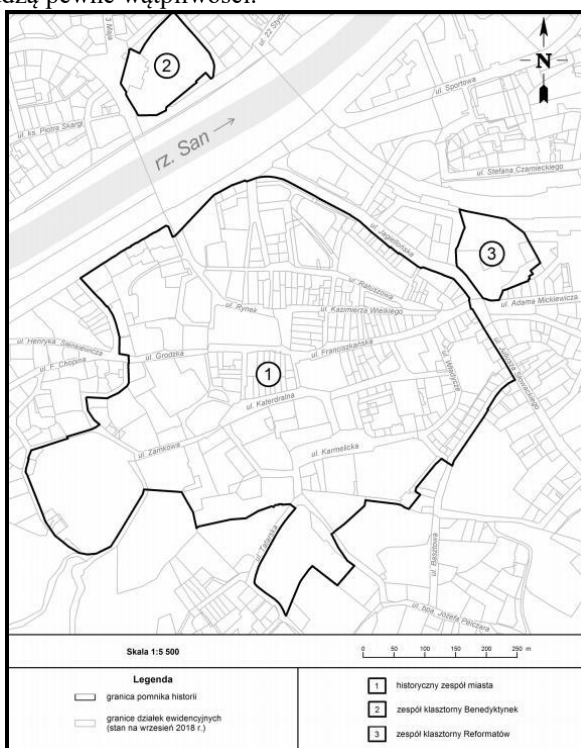
Oczywiście ograniczenie terenu będącego przedmiotem wpisu do obszaru wewnątrz murów jest jak najbardziej historycznie uzasadnione, gdyż aż do momentu gwałtownego skoku liczby ludności w XIX w. miasto nie „wychodziło” z zabudową poza fortyfikacje (Mach Piątek 1986). Powiększenie tego obszaru o Wzgórze Zamkowe- ze względu na jego datowanie również się broni. Natomiast Klasztor Karmelitanek Bosych pozostawał poza obrysem historycznych murów miejskich, nie broni się więc ani datowaniem ani lokalizacją, a jedynie sporymi walorami estetycznymi oraz dużym wyeksponowaniem w panoramie.

Przemyskie mury miejskie w większości zostały rozebrane, a widoczne i dostępne w przestrzeni miejskiej fragmenty są w b. złym stanie technicznym. Rozbiórka murów ruszyła już w 1776r. kiedy to „*rząd austriacki, nie obawiając się po rozbiorze ze strony Rosji jako sprzymierzeńca swojego, kroków nieprzyjacielskich, a chcąc utrwalić stanowisko swoje w zabranym kraju, rozpoczął gospodarkę w mieście naszym od tego, że zniósł warownię miasta*” (Hausner 1883r.)

W chwili obecnej widoczne są fragmenty murów od południowo- wschodniej strony Starego Miasta- wzdłuż ul. Basztowej, łączące się z nimi fortyfikacje należące do inkastelowanego klasztoru Karmelitów Bosych oraz resztki na tyłach posesji wzdłuż wybrzeża Piłsudzkiego- czyli fragment północny. Te ostatnie pełnią funkcję murów oporowych i znajdują się częściowo w katastrofie budowlanej.

Dla osoby z zewnątrz to rozgraniczenie w obszarze wpisu jest więc nieczytelne.

Pozostałe, zawarte w rozporządzeniu twierdzenia- po odniesieniu ich do wydzielonego w mieście obszaru- też budzą pewne wątpliwości.



Rys.1- mapa obszaru, załącznik do Rozporządzeniu Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej z 10 .12.2018r.

Na przedmiotowym terenie znajduje się wiele budynków o funkcji sakralnej. Nadużyciem jest jednak stwierdzenie, „że są one świadectwem wielokulturowej i wielowyznaniowej historii miasta i regionu” (www.nid.pl.)

Na terenie Pomnika Historii „Zespół Staromiejski” znajdują się: 1) Archikatedra św. Jana Chrzciciela 2) sobór św. Jana Chrzciciela 3) Kościół Franciszkanów 4) Kościół pw. św. Teresy z klasztorem Karmelitów Bosych 5) oraz znajdujący się zaraz za dawnymi murami miejskimi zespół klasztoru Reformatów 6) ulokowany na Zasaniu Zespół Klasztoru Benedyktynów 7) opisane już Karmelitanki Bose- w stylu neogotyckim

Jedyna znajdująca się w obszarze wpisu świątynia grekokatolicka, to. sobór św. Jana Chrzciciela, pełniący rolę kościoła archikatedralnego. Postał on jednak jako świątynia jezuicka a od 1904r. pełnił funkcję kościoła garnizonowego, by w 1991r zostać przekazanym grekokatolikom. Posiada on więc architekturę barokowego kościoła jezuickiego- a co za tym idzie rzymskokatolicką (www.zabytkowekoscioly.net) .

Pozostałe świątynie powstały i wciąż użytkowane są jako rzymskokatolickie. Na dodatek wszystkie są barokowe- z wyjątkiem wielokrotnie przebudowywanej Bazyliki Archikatedralnej, która- oryginalnie gotycka- uzyskała barokowy wystrój wnętrza, oraz neogotyckich Karmelitanek Bosych, których jednak zwiedzać nie można, bo to klasztor zamknięty.



Rys. 2. Fragment austriackiej mapy inwentaryzacyjnej z 1852r. przedstawiającej teren wewnątrz d. murów miejskich. Miejsce przechowywania: Archiwum Państwowe w Przemyśle

Jednym obiektem na terenie zbudowanym jako grekokatolicki z założenia jest d. dzwonnica nigdy nie wybudowanej archikatedry grekokatolickiej (Mach Piątek 1986). zlokalizowania przy placu Niepodległości. Niemniej jednak jej forma jest barokowa, a ona sama nie jest świątynią

W związku z powyższym na terenie objętym wpisem do „Pomnika Historii” nie ma ani jednej ISTNIEJACEJ świątyni, której bryła, forma, detal oraz korzenie nie były rzymskokatolickie.

Marek Gosztyła w swoim artykule pt. „*Krajobraz wielokulturowy Przemysła*” wymienia cały szereg budynków świadczących o wielokulturowości Przemysła, o funkcji sakralnej takich jak: 1) renesansowa synagoga w dzielnicy żydowskiej- nieistniejąca 2) cerkiew katedralna ufundowana na początku XIIw. – nieistniejąca, obrys jej murów jest uwidoczniiony na dziedzińcu Zamku Kazimierzowskiego, 3) cerkiew katedralna na Władyczu- wg. Gosztyły Św. Jana Chrzciciela, wg. „Zabytków Urbanistyki i Architektury w Polsce” pod redakcją Wiktora Zina pw. św. Iwona- nieistniejąca 5) wymienia też inne cerkwie: „w. *Mikołaja na Podgórzu, św. Michała Anioła (św. Eliasza Proroka) na Podzamczu, Narodzenia Pańskiego nad Sanem, Wszystkich Świętych w pobliżu późniejszej ulicy Wodnej*”- wszystkie nieistniejące (Gosztyła 2004).

Warto zauważyć więc, że wyliczone budowle nie funkcjonują już w przestrzeni miejskiej a jedynie cerkiew katedralna z XIIw (tzw. Wołodara). uwidoczniła jest na dziedzińcu zamku Kazimierzowskiego, w postaci murowanego obrysu ścian fundamentowych. Razem z zespołem rotundy i pallatium prezentującym spuściznę rzymskokatolicką. Z archeologicznych znalezisk sakralnych mamy jeszcze w obrębie murów miejskich rotundę św. Mikołaja w udostępnionych do zwiedzania podziemiach Bazyliki Archikatedralnej. Niemniej jednak to również jest spuścizna rzymskokatolicka.

Są oczywiście w Przemyślu budynki innych obrządków niż rzymskokatolicki. W mieście są dwie historyczne Synagogi: obie poza obszarem ujętym w d. mury miejskie. Jedna znajduje się na ul.

Słowackiego (nieużytkowana), a druga, przy placu Unii Brzeskiej czyli na Zasaniu (TPN 1974), obecnie w katastrofie budowlanej (zawalona więźba dachowa).

Poza wymienionym już soborem św. Jana Chrzciciela mamy w tym momencie następujące cerkwie: 1) Matki Bożej Bolesnej- znajduje się na Zasaniu, 2) cerkiew Zaśnięcia NMP przy ul. Wilczańskiej tj. przy obwodnicy miasta 3) cerkiew połowa Narodzenia Bogurodzicy przy Mariackiej 4A, tj. koło przejazdu kolejowego. Wszystkie trzy poza obrębem zespołu staromiejskiego, ale w użytkowaniu.

Oczywiście o „wielokulturowej i wielowyznaniowej historii miasta i regionu” świadczą nie tylko zabytki architektury sakralnej. W „teatrze krajobrazu”- jak to ładnie zacytował „niektórych badaczy” M. Gosztyła- bardzo dużą rolę dogrywa tło, tj. zabudowa mieszkalna. Jeśli weźmiemy pod lupę zespół staromiejski Przemyśla, to- z wyjątkiem nielicznych współczesnych plomb- mówimy tu o zwartej zabudowie ujętej w miejskie pierzeje, upchniętej na wydzielonych średniowieczu działkach (Mach Piątek 1986) .

W swoim „Krajobrazie wielokulturowym Przemyśla” M.Gosztyła” wymienia Władycze, nazywając je dzielnicą ruską (również TPN 1974) Dziś jest to ulica poprowadzona po łuku od placu Niepodległości do inakstelowanego klasztoru Karmelitów Bosych.

Monografia opisuje: „nazwę ta nadano południowo- zachodniej części miasta, w pośród której stał katedra obrządku greckiego wzniesiona około roku 1500. Plac wielki cerkiew tę otaczający z początku był wolny, niezabudowany. Dopiero w 1550 otrzymał grecki biskup przemyski, Antoni Radyłowski: przywilej od Króla Augusta (...) mocą którego pozwolił mu Król to miejsce zabudować pod warunkiem, że otoczy je od strony wschodniej murem, któryby służył dla obrony miasta” (Hausner 1883). Co ciekawe ww. plac to nie plac Niepodległości jak można by się spodziewać.

Pl. Niepodległości pokryty był wtedy zwartymi pierzejami zabudowy (Mach Piątek 1983) Przestrzeń na którym stała gotycka, jednonawowa cerkiew św. Iwona (Hausner 1883) św. Jana Chrzciciela to dziś boisko piłkarskie Szkoły Podstawowej nr 11 im. Henryka Jordana.

Pl. Niepodległości pojawił się dopiero po II Wojnie Światowej, w wyniku zniszczeń wojennych. W mapie inwentaryzacyjnej miasta z 1852 r. zabudowa na miejscu tego placu nadal jest, cerkwi św. Iwona/ Jana Chrzciciela już nie ma. Hausner opisując przeszłą chwałę miasta podaje że na „na tem miejscu stoi szpital powszechny i miejska wieża zegarowa”, czyli dziś szkoła im. Jordana oraz d. dzwonnica.

Na mapie inwentaryzacyjnej z 1852r. dz. ul. Władycze zabudowana jest jedynie w części południowo-wschodniej, co odpowiada obserwacjom w terenie.

Obiekty po północno- zachodniej stronie tej ulicy są dwupiętrowymi kamienicami czynszowymi na wysokim parterze i z podpiwniczeniem, z bogatym, kwietnym i historyzującym detalem architektonicznym. Natomiast licząca zaledwie 5 numerów zabudowa pierzei południowo-wschodniej to przysadziście, piętrowe budynki z piwnicami wymuszonymi dużym spadkiem terenu, o oknach niższych i skromniejszych niż ich sąsiedzi zza jezdni.

Budynki z pierzei południowo- wschodniej mają detal w postaci gzymsu wieńczącego i gzymsu międzypiętrowego oraz opasek okiennych z podparapetnikami, przy czym okna nie są połączone ze sobą obiegającymi fasadę gzymsami, ustawione są raczej każde sobie osobno, w większości budynków w układzie zbliżonym do symetrii. Najbardziej ozdobna z kamienic o nr 17 ma pod gzymsem międzypiętrowym rząd arkad z niewielkimi guzami w osiach, oraz centralnie usytuowany, boniowany ryzalit, zwieńczony skromnym tympanonem, mieszczącym wejście główne do budynku.

Konfrontacja mapy inwentaryzacyjnej z 1852 r. z zasobem w terenie wykazuje, iż z dzielnicy ruskiej tylko 3 z tych 5 numerów stało przed momentem wykonania obmiarów, cała reszta obiektów uległa bezpardonowej modernizacji w okresie austriackim. Stojąc więc przed budynkami nr 11,13 i 17 na ul. Władycze można poświęcić chwilę na refleksję, jak bardzo wyraz estetyczno- funkcjonalny tych elewacji emanuje kulturą ruską. W mojej ocenie w ogóle. Tak jak cerkiew św. Iwona zbudowano jako gotyką (Hausner 1883), a nie w stylu bizantyjskim, tak samo budowniczy dzielnicy Władycze czerpali z tych samych wzorów co cała reszta mieszkańców miasta. Skromny wyraz estetyczny tych elewacji jest raczej wyznacznikiem do datowania momentu postawienia, niż zróżnicowania kulturowego tejże zabudowy.

Oczywiście badania archeologiczne w terenie na pozostałych obiektach na tym obszarze z pewnością wykazałyby relikty budowli wcześniejszych, zwłaszcza w okolicach przyziemia. W kamienicy nr 13 podczas prac remontowych odnaleziono w piwnicach sklepienia z ozdobnymi głowicami (zaobserwowano w terenie podczas prac remontowych). Niemniej jednak należy sobie zadać pytanie, czy fakt, że pod dzisiejszą kamienicą wcześniej faktycznie w tym miejscu coś stało świadczy o różnicowaniu kulturowym tej zabudowy teraz.

We wspomnianym już „*Krajobrazie wielokulturowym Przemysłu*” (Gosztyła 2004) wymienia się również dzielnicę żydowską. Granice tego obszaru były raczej niematerialne- nie miała ona własnych murów obronnych. Od północy zamknięta była murem miejskim, a od miasta oddzielona ul. Żydowską, odpowiadającą fragmentowi ul. Ratuszowej i Kazimierza Wielkiego. Wg. „*Monografii (...)*” ul. Żydowska zaczynała się od kościoła św. Rocha- zlokalizowanego na działkach ul. Jagiellońskiej 3 i 5 (Mach 1978), przy murze miejskim - i biegła równolegle z ul. Lwowską (dz. Kazimierza Wielkiego), a kończyła się na ul. Wodnej (Hausner 1883). „*Bożnicę Izraelitów*” opisuje Hausner jako „*zbudowaną na ul. Na Wale w końcu XVI w. Z biegiem czasu dobudowano do niej nowe części i przekształcono ją nie raz, mimo to jednak zachowała ona po dziś dzień w swojej budowie cechę wieku, w którym powstała*”. M.Gosztyła podaje, że była to bożnica renesansowa. Píše też, że dzielnica składała się ze 102 domów, przeważnie drewnianych przy 11 uliczkach. W końcu XVII w. miało być tam pięć kamienic trzypiętrowych oraz pięć kamienic dwupiętrowych.

Przedwojenna zabudowa dzielnicy- łącznie ze starą renesansową Synagogą, bożnicą Tempel oraz Sądem Grodzkim- została w sposób bardzo udany zrekonstruowana przez Krzysztofa Barana, Marcina Leśko i Henryka Wachtę w publikacji pod bardzo stosownym tytułem „*Wizualizacja przedwojennej dzielnicy żydowskiej w Przemyśle*”. Jest to też jeden z niewielu sposobów, w który możemy podziwiać rozwiązania formalne i estetyczne tych elewacji, oraz rozpatrywać wpływ kultury fundatorów na kształt ostateczny budynków (Baran, Leśko, Wachta 2017). Oglądanie tego zasobu w naturze jest bowiem niemożliwe, ze względu na jego całkowitą destrukcję. Na miejscu dzielnicy żydowskiej znajduje się dziś Muzeum Narodowe Ziemi Przemyskiej, oraz plac Berka Joselewicza, bardziej znany jako Parking Manhattan.

Całkowita destrukcja tego zasobu nie oznacza jednak iż na terenie Starego Miasta nie można dopatrzyć się elementów kultury Żydowskiej. Np. na rogu ul. Komisji Edukacji Narodowej i Władycze (która jak pamiętamy- jest identyfikowana jako dzielnica ruska) znajduje się kamienica z narożnymi balkonami z motywem uproszczonej menory. Kamienica jest późnodziętnastowieczna i nie jedyna wyposażona w taką barierkę. Identyczna znajduje się w dzielnicy Garbarze, na rogu Bohaterów Getta i Rokitniańskiej- czyli poza zespołem staromiejskim.

Słowem klucz jest tu nawarstwianie się. Dzielnice identyfikowano jako przynależne do danych nacji w okresie przedrozbiorowym. Duże wyburzenia, wewnętrzna polityka Austro- Węgier oraz dynamiczny rozwój miasta, który zatarł czytelność podziału układu staromiejskiego spowodowały nieaktualność wcześniejszych podziałów przestrzennych i liczne inwestycje postępowych Żydów nie tylko w obrębie murów, lecz również na nowo zasiedlanych terenach, poza murami miasta.

Pozostałe obszary zabudowy zespołu staromiejskiego, nie kojarzone jednoznacznie z żadną nacją- zostały gruntownie przebudowane i zagęszczone w okresie austriackim i prezentują sobą szeroką wachlarz z palety historyzmu i secesji- jednak kulturowo dość monochromatyczny (TPN 1974).

Dodać tu należy, że uwaga ta nie dotyczy kamienic południowo- wschodniej pierzei rynku, których odznaczający się od reszty miasta wyraz estetyczny spowodowany jest datowaniem i usunięciem części modyfikacji z okresu austriackiego (np. przez przywrócenie dekoracji sgraffitowej, czy drożności podcieni), a nie ich kulturową odmiennością od reszty tkanki miejskiej.

4. Wnioski

Zespół Staromiejski w Przemyśle- pomimo swojej urody i malowniczości w chwili obecnej, w prezentowanym przez siebie zasobem daje świadectwo bardziej monochromatyczności niż różnorodności kulturowej i religijnej.

Wszystkie istniejące na rzeczonym terenie obiekty sakralne z wyjątkiem Bazyliki Archikatedralnej powstały w okresie baroku, natomiast sama Archikatedra została wtedy przebudowana. Karmelitanki Bose nie powinny być we wpisie ujęte zupełnie, ze względu na swój zamknięty charakter a co za tym idzie niedostępność dla osób z zewnątrz, datowanie XIX wieczne oraz lokalizacje poza historycznym terenem Starego Miasta.

Nieliczne zabytki archeologiczne będące dowodami na różnicowanie kulturalne i religijne miasta są niewyeksponowane. Nawet cerkiew katedralna (tzw. Wołodara)- na Zamku Kazimierzowskim- której obrys uwidoczniono na dziedzińcu- pozostaje dla zwiedzających niewidoczna. Dzieje się tak gdyż zabronione jest wchodzenie na trawniki i murki stanowiące znak w przestrzeni, a chodniki przeznaczone do spacerowania przebiegają w pewnej odległości od ekspozycji. Również specyfika ukształtowania dziedzińca zamkowego- pełnego nasypów i pagórków, nie pomaga w ekspozycji. Relikty cerkwi katedralnej są widoczne z baszty widokowej- lecz turyści wychodząc na nią nie patrzą w kierunku dziedzińca, lecz podziwiają panoramę miasta. To samo tyczy się pallatium z rotundą. Uwidocznienie tych reliktyw na dziedzińcu najłatwiej zaobserwować na Google maps.

Dzielnica żydowska nie istnieje, a budynki należące lub zbudowane przez obywateli austriackich żydowskiego pochodzenia w okresie rozbiorowym mają charakter kosmopolityczny, uzyskany przez stosowanie prefabrykowanego detalu architektonicznego oraz wzorców estetycznych popularnych wtedy w całych Austro- Węgrzech.

Po analizie zasobu w dzielnicy Władycze uznaje się, iż większość obiektów została przebudowana w okresie rozbiorowym, a nieliczne nieprzebudowane nie charakteryzowały się detalem odmiennym od tego stosowanego na innych budynkach z okresu.

Wszystkie świątynie innych obrządków niż rzymskokatolicki, znajdujące się w Przemysłu ulokowane są poza granicami Pomnika Historii o nazwie „Zespół Staromiejski w Przemysłu”.

Podsumowując: miasto w przeszłości faktycznie było wielowyznaniowe i wielokulturowe, lecz świadcząca o tym zabudowa już nie istnieje a charakter miasta zatarł się ulegając podczas rozbiorów homogenizacji. Można oczywiście stosować fantomy nieistniejących budynków w przestrzeni- jak w przypadku cerkwi Wołodara na zamku Kazimierzowskim, nie zmieni to jednak dość jednolitych charakteru ostaje zabudowy.

W związku z powyższym uważa się tezę iż obszar ten stanowi przykład różnicowania kulturowego i religijnego za fałszywą.

Co w żaden sposób nie ujmuje to jednak urokowi i malowniczości miasta, oraz zupełnie nie ujętych w tych rozważaniach wartości artystycznej obszarów XIX wiecznej architektury historyzującej, eklektycznej i secesyjnej, oraz budynków obsługi Twierdzy Przemysł.

Wbrew myśleniu życzeniowemu wielokulturowość i różnicowanie religijne Przemysłu nie przejawia się w jego budownictwie, czy zabytkach, lecz w historii miasta oraz w jego obecnych mieszkaniach.

Zabudowa niestety ma to do siebie iż często pada ofiarą historycznych narracji, poczynionych przez siły o zapędach autorytarnych. Niestety wykonane na zabytkowym zasobie korekty często mają charakter nieodwracalny, a zdarza się, że nieliczne ślady stanu pierwotnego można później odnaleźć jedynie w archiwaliach oraz w podczas prac archeologicznych.

Niemniej jednak, pomimo duchowej, niematerialnej i niepodważalnej wartości tych prawd historycznych nie można mówić iż dominują one dzisiejszą przestrzeń miejską, oraz wpływają na odbiór Zespołu Staromiejskiego przez turystów. Przypadkowa osoba, znajdująca się w tej przestrzeni będzie bowiem wystawiona na działanie starannie wyselekcjonowanego przez wieki rzymskokatolickiego baroku i „*odpowiadającego najnowszy, burżuazyjnym gustom stylu raczkującego kapitalizmu*”- jak posumował budownictwo XIX w. Miłobędzki (Miłobędzki 1978).

5. Literatura

Baran K, Leško M Wachta H (2017) Wizualizacja przedwojennej zabudowy dzielnicy żydowskiej w Przemysłu. Czasopismo Inżynierii Łądowej Środowiska i Architektury. JCEEA t. XXXIV z. 64 (4/17): 171-178.

Goszyła M (2004) Krajobraz wielokulturowy Przemysłu. Wiadomości Konserwatorskie: 12-17

- Gosztyła M (1982) Ustrój nośny kamienicy Rynek 16 w Przemyślu jako podstawa formy i funkcji obiektu mieszczańskiego z XVI w. Materiały i studia muzealne: 209-215
- Gosztyła M (1990) Zachowanie wartości historyczno- konserwatorskich kamienicy przy Rynku Przemyskim nr 11. Materiały i studia muzealne: 155-162
- Hausner L (1991) Monografia Miasta Przemyśla: 159-169, 275-309
- Mach J, Piątek A (1986) Zabytki urbanistyki i architektury w Polsce- Odbudowa i konserwacja cz1. Miasta historyczne: 381-404
- Miłobędzki A (1978) Zarys dziejów architektury w Polsce: 292-300
- Towarzystwo Przyjaciół Nauk w Przemyślu (1974) Tysiąc lat Przemyśla- cz.II- praca zbiorowa: 49-85

2. Rewitalizacja obszarów nadwodnych oraz metody łączenia ich z miastem na przykładzie Kopenhagi i Szczecina

Revitalization of waterside areas and methods of connecting them with the city on the example of Copenhagen and Szczecin

Sylwia Łangowska

Katedra Projektowania Architektonicznego, Wydział Budownictwa i Architektury,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Opiekun naukowy: mgr inż. arch. Alicja Świtalska

Łangowska Sylwia: sylwialangowska98@gmail.com

Słowa kluczowe: Finger Plan, waterfront, idea, obszary portowe

1. Wstęp

Możliwość rozwijania handlu była jedną z głównych przyczyn rozwijania się miast na terenach nadwodnych. Obiekty przemysłowe i stoczniowe lokalizowano właśnie przy nabrzeżach, co pozwalało na wygodne rozmieszczenie funkcji. Rola handlu przenosiła się następnie głębiej w kierunku łądu, tworząc dzielnice portowe. Podział na części przybrzeżne i lądowe przetrwał do dnia dzisiejszego.. W związku z tym w wielu miejscach powstały widoczne granice zamiast współistniejących, uzupełniających się części miast. Problem pojawił się wtedy, kiedy gwałtowny rozwój funkcji przemysłowych oraz wprowadzenie nowych technologii spowodowało jeszcze większą separację miasta i portu. Również rozbudowane obszary portowe wygenerowały ogromne powierzchnie odcinające ludzi od wody, całkowicie pozbawiając te części miasta waterfrontu, mimo że częściowo zaczął on się rozwijać (Lorens 2013). Przykrym efektem są ogromne, często opuszczone lub zdegradowane tereny, które nie mają większych relacji z wodą i są zamknięte na resztę miasta. Nie jest to jednak równoznaczne z tym, że nie mogą być atrakcyjne (Lorens 2013). Wręcz przeciwnie – drzemie w nich ogromny potencjał, jednak nie w każdym mieście wykorzystano go w odpowiedni sposób.

2. Opis zagadnienia

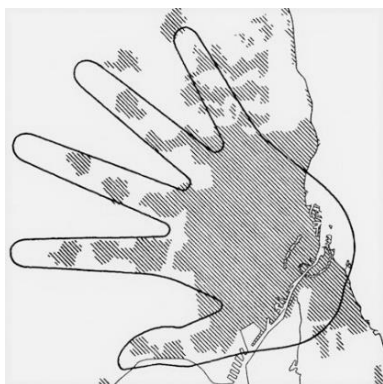
Celem poruszanego zagadnienia jest zwrócenie uwagi na problem związany z rewitalizacją obszarów portowych oraz wskazanie możliwych rozwiązań na przykładach zrealizowanych, których na świecie jest wiele. Opisanie wyżej zmiany spowodowały, że ze względu na zmieniający się charakter terenów nadbrzeżnych, wymagane jest nowatorskie podejście do rozwiązywania tych kwestii.

Miast, które bardzo dobrze poradziły sobie z problemem nieatrakcyjnych obszarów portowych jest wiele. Przykłady tworzenia relacji między nabrzeżem a głębią łądu można znaleźć w Amsterdamie, Rotterdamie, Londynie, Bilbao, Sztokholmie czy Hamburgu. W Polsce prym wiodzie Gdańsk, jednak również Szczecin zasługuje na coraz większą uwagę w tej kwestii. Miastem wyróżniającym się pod względem przekształceń terenów jest Kopenhaga – stolica Danii. Została założona między innymi na przecięciu ważnych szlaków handlowych, jest to dowód na to, jak wielkie miało to znaczenie w kształtowaniu miast historycznych. Obecnie duńskie podejście do architektury i urbanistyki wydaje się być w wielu przypadkach bardzo globalne i innowacyjne. Dąży się do tworzenia miejsc generujących poczucie przynależności, biorąc pod uwagę dobro ogółu, widoczna jest dbałość o szczegóły, ale przede wszystkim funkcjonalność i równowaga. Sam obiekt architektoniczny nie jest również jedynie bryłą, ale obiektem z przynależną mu przestrzenią korelującą z resztą otoczenia. Urbanistyka natomiast nie polega jedynie na stawianiu „klocków” w wybranym obszarze, ale tworzy połączenia z innymi częściami miasta. Już na tym etapie warto zwrócić uwagę na to, że sposób myślenia duńskich twórców nie ogranicza się do najbliższej okolicy projektu, ale odnosi się do skali miasta, co układa się w integralną całość (Dutka 2017).

3. Przegląd literatury

Warto zwrócić uwagę na to, że duńskie myślenie o wspólnocie jest widoczne w wielu aspektach projektowania. Carl Theodor Sørensen, architekt krajobrazu doby modernizmu, jest odpowiedzialny za stworzenie pierwszego placu zabaw w Emdrup w Kopenhadze. Uważał, że dzieci powinny bawić się na terenach zielonych, w słońcu i otwartej przestrzeni. Dziś wiadomo, że takie myślenie jest jak najbardziej słuszne. Powszechna jest informacja, że przebywanie na terenach zielonych, a najlepiej jeszcze w otoczeniu wody, poprawia samopoczucie, a nawet samoocenę. W budownictwie mieszkaniowym coraz częściej proponowane były części wspólne, a złożone projekty uwzględniały odległości od szkół, przedszkoli czy sklepów, a także dużo zieleni (Dutka 2017). Wszystkie te drogi ostatecznie prowadzą do koncepcji Steena Eilera Rasmussena z 1947 roku przyrównującej lokowanie elementów przyrody do charakterystycznego rysunku dłoni z palcami skierowanymi od wody w stronę lądu. Współpracował z Peterem Bredsdorffem, tworząc złożony plan rozwoju Kopenhagi (Vajre i in. 2016).

Projekt Rasmussena, tzw. Finger Plan (duński: *fingerplanen*) obejmował strategię rozwoju obszaru metropolitalnego w Kopenhadze. Plan zakładał koncentrowanie się głównych szlaków rozwoju wzdłuż palców dłoni. W tym miejscu znajdują się również główne arterie komunikacyjne w mieście. Jednak jak już było to wcześniej widoczne – w Danii nie liczy się tylko to co wydaje się najważniejsze na pierwszy rzut oka, ale również to co dookoła. Tutaj chodzi dosłownie o przestrzenie między palcami. Rasmussen pomyślał również o tych miejscach, planując zielone kliny mające służyć jako tereny rekreacyjne i rolnicze. Główna część dłoni stanowi – jak można się domyślać – centrum miasta (Petryshyn 2016).



Rys.1. Finger Plan, 1947, S. E. Rasmussen
(www.scandinaviastandard.com).



Rys.2. Finger Plan, 2019.

Taki plan wygenerował kilka kierunków rozwoju. Mianowicie, tereny najbardziej oddalone od części głównej założenia okazały się być najtańsze, przez co przyciągnęły duże ilości mieszkańców. Oddalanie się mieszkańców w inne rejony spowodowało wiele kłopotów gospodarczych w centrum. Ostatecznie w 2007 roku wprowadzono ustawę, która nie przewiduje przekształcania terenów zielonych w miejscu klinów w obszary zurbanizowane (Petryshyn, 2016). Jest to dowód na to, iż Duńczycy są wierni idei utworzonej ponad siedemdziesiąt lat temu. Jest to niewątpliwie wyraz szacunku dla pracy architektów z XX wieku. Nie oznacza to jednak, że w Kopenhadze nie ma miejsca na nowe rozwiązania i innowacje. Projekty nie są głęboko zakorzenione w tradycji, ale czerpią z niej inspiracje i jest w nich uwzględniana, co pozwala na tworzenie nierażącego przejścia między przeszłością a teraźniejszością czy przyszłością.

Dowodem na to są również kontynuacje Finger Planu. W XX wieku brak pewnych rozwiązań technologicznych uniemożliwiał rozciągnięcia planu w innych kierunkach – między innymi do wyspy Amager. Mimo, że Rasmussen nie jest odpowiedzialny za plan tego „palca”, to został on uwzględniony właśnie w ramach tej samej idei. Obecnie jest on rozciągnięty aż do Szwecji dzięki połączeniu mostowemu. Jest to most Øresund, który częściowo biegnie nad wodą, a częściowo

jest w formie podwodnego tunelu. Ørestad to obszar miejski rozwijający się w Kopenhadze na zasadzie tego samego planu. Czerpie z tych założeń, jednak sięga po bardziej nowoczesne aspekty. Obszar ten jest ściśle powiązany z koncepcją rozwoju metra, która umożliwia jeszcze lepsze połączenia między „palcami” układu. Część ta funkcjonuje w zgodzie z założeniami koncepcji rozwoju zorientowanej na transport (TOD). Cały projekt został wyłoniony na mocy międzynarodowego konkursu z 1995 roku. Podczas gdy Finger Plan nadal funkcjonował i nie był pomijany, utworzono „kręgosłup”, czyli właśnie linię metra. W okolicy głównych stacji kolejowych ma się rozwijać najgęstsza zabudowa, stopniowo słabnąca w dalszych rejonach. Mimo pewnych problemów, głównie finansowych, realizacja planu ma zostać ukończona w 2025 roku.

Idea Finger Planu to dobra podstawa do kształtowania miast portowych. Należy zauważyć, że nawet rysunek dłoni na mapie nie kończy się na nabrzeżu, ale wnika dalej w wodę. Oznacza to, iż miasto nie powinno się na nią zamykać (Poklewski-Kozieł 2018). Niestety wspomniane wcześniej zmniejszenie ważności portów w miastach spowodowało odwrócenie się rozwoju miast od wody. Postępował on w zupełnie odwrotną stronę, więc przez długi czas obszary nadwodne pozostawały niezrewitalizowane. Dopiero na przełomie lat '80 i '90 XX wieku miasta ponownie zaczęły zwracać się w kierunku wody (Salmonowicz 2008). W wielu miejscach zauważono potencjał turystyczny – i słusznie, ale wzięto również pod uwagę tworzenie przestrzeni publicznych dla mieszkańców. Równocześnie rozwijała się idea waterfrontu pozwalająca na tworzenie wielu relacji między wodą a lądem, ale również – co bardzo istotne – między dwoma sąsiadującymi brzegami. Pozwala to na tworzenie wielu powiązań i relacji między poszczególnymi częściami miast, co ostatecznie tworzy spójną całość. Jest to dobry sposób na nawiązanie np. do Finger Planu.

Przenoszenie wielu funkcji w kierunku wody jest widoczne między innymi w obszarze portowym Nordhavnen w Kopenhadze (Poklewski-Kozieł 2018). Funkcje portowe są przenoszone na obrzeża, ze względu na niewystarczającą ilość miejsca dla obecnych potrzeb. Obszary poportowe otwierają się więc dla ludzi, umożliwiając większy rozwój – powstaje wiele budynków mieszkaniowych, obiektów sportowych, biurowców, ale również przestrzeni publicznych i rekreacyjnych. Ulokowano mariny i bulwary umożliwiające ludziom spędzanie czasu nad wodą i korzystanie z jej pod różnymi względami. Wszystko to w otoczeniu zieleni, która stopniowo ma się zwiększać dalej w kierunku „palców” założenia. Dzięki temu między nowymi budynkami planuje się również wiele przestrzeni publicznych. Uwzględnia się w tym również kanały wodne, które mają stanowić miejsca atrakcyjne rekreacyjnie. Przekształcenia Nordhavnen wynikają poniekąd ze spodziewanego wzrostu zaludnienia, a więc konieczności zapewnienia odpowiedniego miejsca do mieszkania (Poklewski-Kozieł 2018). Przeniesienie portów na obrzeża umożliwia otwarcie się na inne funkcje, a więc nowe drogi dochodów. Jest to wzbogacenie i zróżnicowanie terenów pod względem ekonomicznym. Obszary portowe często znajdują się w bliskim sąsiedztwie części miast, które są wartościowe historycznie. Pozwala to stworzyć wiele korelacji między walorami estetycznymi, turystycznymi oraz szacunkiem dla historii. W Kopenhadze zachowano dawną tożsamość miasta, nie naruszając jej charakteru. Wzbogacono ją jedynie o szereg dodatkowych funkcji, co z pewnością zachęca mieszkańców do odwiedzania tego miejsca (Petryshyn 2015). Oprócz dobrych połączeń drogowych skupiono się również na sieci komunikacji rowerowej i pieszej oraz komunikacji zbiorowej. Jest to niewątpliwy atut, ponieważ Nordhavnen jest miejscem znajdującym się w największej części „dłoni”, a więc sieć komunikacyjna jest tam najgęstsza. Umożliwia to więc swobodną komunikację ludzi niekoniecznie przy użyciu samochodu. Wszystko to buduje przyjazne środowisko do życia oraz wzbogaca przestrzeń nadwodną, tworząc krajobraz pełen rowerów, zieleni, schodów czy kawiarnianych ogródków (Poklewski-Kozieł 2018). Warto zwrócić uwagę, iż wiele tych założeń idzie w parze z ideologią utworzoną przez Jana Gehla, którą opisywał szeroko w „Mieście dla ludzi”. Również Michael Colville-Andersen w swojej, nieco nowszej niż Gehla, książce „Być jak Kopenhaga (...)” podkreśla, że rower jest kluczowym elementem wpływającym na zadowolenie mieszkańców. Przekonuje, że sprawdzające się w Kopenhadze rozwiązania nie są nieosiągalną utopią, ale czymś, co jest realne (Colville-Andersen 2018).

Przy okazji omawiania miasta, które jest uznawane za posiadające jedno z najlepiej przeobrażonych nabrzeży warto zwrócić uwagę na inne miasta. Przykładem jest Szczecin – polskie miasto w województwie zachodniopomorskim. Relacje między miastem a portem i dzielnicami

przyportowymi obecnie były przed II Wojną Światową (Salmonowicz 2008). Podobnie jak w przypadku Kopenhagi szlaki wodne są integralną częścią miasta, choćby dlatego, że Szczecin jest pod tym względem ważnym węzłem komunikacyjnym. W przedwojennym Szczecinie życie przybrzeżne kwitło. Nietrudno znaleźć czarno-białe zdjęcia z lat '20 XX wieku (rys. 3,4), gdzie mieszkańcy przesiadują w lokalach przy samym brzegu Odry. Jest to widok, którego przez wiele lat w Szczecinie nie było. Podobnie z kursującymi statkami tzw. „białej floty”, które były nie tylko jedną z form komunikacji, ale również istotną atrakcją turystyczną (Salmonowicz 2008).



Rys.3. Nabrzeże na Gocławiu, Szczecin, lata '20 XX wieku



Rys.4. Bulwary nadodrzańskie, Szczecin zdj. z około 1905 r.

Obecność wyżej wymienionych terenów to jeden z kilku nierozwiązanych problemów. W wielu miastach nadwodnych mosty stanowią integralną część miasta łączącą dwa brzegi. Mogą pełnić różne funkcje. Od typowo turystycznych (jak np. Tower-Bridge w Londynie) do otwartych na ludzi, zazielenionych i uatrakcyjnających przestrzeń. Trasa Zamkowa im. Piotra Zaremby, która jest jedną z dróg łączących lewobrzeżną część Szczecina i powiat policki z Prawobrzeżem i resztą Polski, budzi wiele kontrowersji. Przy wjeździe do Szczecina rozpościera się widok na panoramę miasta. Może być on dostępny jednak również z innych miejsc. Ostatecznie ta arteria komunikacyjna uniemożliwia swobodną kontynuację waterfrontu, gdyż stanowi barierę wizualną. Ponadto, ma niekorzystny wpływ na możliwości zagospodarowania sąsiadującej z nią Łasztowni. Most Długi natomiast jest zabytkowy, przyjemny dla oka – stanowi jednak tylko łącznik (Salmonowicz 2008).

Mimo wielu trudności rewitalizacja postępuje. Od kilku lat Szczecin, który był odwrócony plecami do wody ponownie staje do niej przodem. Obecne w Kopenhadze zróżnicowanie funkcji pojawia się również w Szczecinie. Niewielkie odległości między Starym Miastem i Wałami Chrobrego pozwoliły utworzyć ciągi bulwarów, które usprawniają komunikację między ważnymi obiektami, jednocześnie tworząc bardziej przyjazną i atrakcyjną przestrzeń zintegrowaną z wodą. Na bulwarach ulokowane zostały restauracje, pojawił się tramwaj wodny, a Morskie Centrum Nauki jest w budowie. Nadwodne obszary przemysłowe nadal wymagają jednak wielu zmian, ale dzięki temu w dalszym ciągu są obiektem zainteresowania wielu inwestorów. Drogą jest nauka na dobrych przykładach, myślenie o mieście jako o całości oraz udostępnianie miejsc, do których dostęp jest aktualnie niemożliwy lub utrudniony.

Idea „Floating Garden” wywodzi się z tego, że w Szczecinie istnieje nagromadzenie zielonych wysp, kanałów i zatok, co może tworzyć „pływający ogród”. Pojawił się wniosek, że należy zwiększyć skalę planowania, aby w pełni wykorzystać potencjał miasta i regionu. Jednym z najważniejszych komunikatów płynących z idei jest myślenie wszechstronne i długodystansowe. Dzięki temu sprecyzowano szereg elementów, których należy przestrzegać przy wprowadzaniu wizji w życie. Postawiono również wartości, którymi mają się kierować osoby odpowiedzialne za przebieg procesu, takie jak otwartość, wolność oraz szacunek dla ludzi i przyrody. Można więc dostrzec wiele korelacji z ideą Finger Planu.



Rys.5. Nabrzeże na Gocławiu, Szczecin, Obecnie.



Rys.6. Zagospodarowane bulwary po lewej stronie Odry, Szczecin (www.szczecin.eu).

4. Podsumowanie

Rewitalizacja obszarów poportowych jest procesem złożonym i wymaga wielokierunkowego spojrzenia na przestrzeń w odpowiednio dużej skali. Poprowadzenie relacji z całym miastem umożliwiłoby utworzenie sieci różnych połączeń. Warto również zwrócić uwagę na to, że istnieje wiele miast europejskich i nie tylko, w których obszary te zostały całkowicie lub częściowo bardzo dobrze zrewitalizowane. Kształtowanie tych przestrzeni nie jest więc żadną enigmą ani tajemnicą, a oprócz zupełnie innowacyjnych, nigdzie wcześniej niezrealizowanych elementów, istnieją takie, które są sprawdzone i warte uwagi. Niestety planowanie takich rewitalizacji jest o tyle trudne, że wymaga nie tylko niewątpliwie ogromnych nakładów finansowych, ale przede wszystkim całego zespołu wielu ludzi z różnych branż pracujących w imię jednej idei (Lorens 2013). Współpraca architektów, urbanistów, konstruktorów, władz miast i szeregu innych ludzi może wydać się bardzo trudna do opanowania, ale nie niemożliwa.

5. Literatura

- Salmonowicz H (2008) Port i miasto portowe, monografia: Bałtycki rynek żeglugowy (praca zbiorowa).
- Petryshyn H (2016) Kształtowanie terenów nadwodnych Kopenhagi w kontekście rozwoju metropolitalnego, *Przestrzeń i Forma*, nr 25, ISSN 1895-3247: 223-240.
- Petryshyn H (2015) Kulturowe waterfronty Kopenhagi, *Przestrzeń i Forma*, nr 24/2, ISSN 1895-3247: 95-112.
- Poklewski-Koziół D (2018) Rola terenów nadbrzeżnych i parków kieszonkowych w kształtowaniu środowiska mieszkaniowego na przykładzie osiedla Nordhavnen w Kopenhadze.
- Dutka A (2017) Architektura duńska, czyli dobrze mieszkać, żyć szczęśliwie, blog: Szkice Nordyckie - blog skandynawistki, czyli o Północy na co dzień.
- Lorens P (2013) Obszary poportowe – problemy rewitalizacji: 11-19; 128-131.
- Gazińska O (2016) Przestrzenie publiczne duńskich miast w modelu smart city. Waterfronty w Aarhus i Aalborg, *Technical Issues*, 4/2016.
- Vejre H, Primdahl J, Brandt J (2016) The Copenhagen finger plan. Keeping a green space structure by a simple planning metaphor, 311-313.
- www.bryla.pl.
- www.wikipedia.org.
- www.trojmiasto.pl.
- Rys.1. <https://www.scandinaviastandard.com/wp-content/uploads/2015/04/Copenhagen-Five-Finger-Plan-Scandinavia-Standard.jpg>

Rys.2.

<https://static1.squarespace.com/static/51ab7a87e4b04de64ca395f2/t/5c9781429b747a3f922cb947/1550646716066/Finger+Plan.jpeg?format=1500w>

Rys.3. https://d-pt.ppstatic.pl/kadry/k/r/1/c5/b5/5a9fb3ddf07ca_o.jpg?1520791669

Rys.4.

https://dawnafotografia.muzeum.szczecin.pl/images/joomgallery/originals/szczecin_w_dawnej_fotografii_18/szczecin_na_dawnej_fotografii_20/bulwary_nadodraskie_30/bulwary_nadodraskie_10_20180125_1443130001.jpg

Rys.6.

https://www.szczecin.eu/odwiedz_szczecin/warto_byc_i_zobaczyc/bulwary_szczecinskie.html

3. Mieszkańcy o atrakcyjności i potencjale swojej (małej) miejscowości – na przykładzie gminy Drelów

Residents about the attractiveness and potential of their (small) town - on the example of the Drelow commune

Magdalena Cieślikowska

Wydział Filozofii i Socjologii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

Magdalena Cieślikowska: cieslikowskamagda@onet.pl

Słowa kluczowe: mała miejscowość, lokalność, mieszkańcy, potencjał turystyczny

Streszczenie

W niniejszym artykule autorka przedstawia wyniki badań własnych, w których prezentuje opinie mieszkańców na temat atrakcyjności i potencjału turystycznego swojej miejscowości. Całość artykułu prezentuje szczegółowy opis procesu metodologicznego oraz dokładną analizę i opis uzyskanych wyników.

1. Wstęp

Na terenie województwa lubelskiego znajduje się wiele punktów (miejscowości, jednostek administracyjnych, fragmentów terenu), które charakteryzują się znacznym potencjałem turystycznym. Jednym z takich punktów jest gmina Drelów, położona w powiecie bialskim, pomiędzy dwoma większymi miastami - Białą Podlaską a Międzyrzeczem Podlaskim. Układ przestrzenny miejscowości ukształtowany został po wybudowaniu kościoła w XVII wieku. Wieś miała charakter ulicówki z zabudowaniami po obu stronach. Okna oraz ściany szczytowe domostw „wychodziły” bezpośrednio na główną drogę. Osadnictwo na terenach drelowskich, z czasem zaczynało przybierać charakter powszechny i masowy. Dobrze usytuowane tereny rolnicze oraz grunty nadające się pod zabudowę podnosiły atrakcyjność miejscowości. Przybywało coraz więcej osób młodych, które zakładały rodziny i aktywnie działały na rzecz rozwoju swojej miejscowości.

Istotny postęp, można dostrzec głównie w obszarze infrastruktury techniczno-społecznej. W Drelowie zaczęły funkcjonować różne punkty, które świadczą swoje usługi dla mieszkańców oraz przyjeżdżających. Wśród nich należy wskazać :

- Gminną Spółdzielczą Samopomoc Chłopską,
- Bank Spółdzielczy,
- Sklep spożywczo-monopolowy,
- Ośrodek Zdrowia wyposażony w gabinet lekarski i stomatologiczny,
- Aptekę,
- Ochotniczą Straż Pożarną (mającą własną remizę oraz sprzęt strażacki),
- Tartak,
- Posterunek Policji,
- Zakład Fryzjerski,
- Spółdzielnię Kótek rolniczych czy zakłady mechaniki samochodowej oraz zakłady stolarskie.

Mówiąc o rozwoju Drelowa, warto wypunktować działalności podejmowane w sferze kultury oraz edukacji. Na terenie gminy funkcjonuje dobrze prosperująca Szkoła Podstawowa, Publiczne Gimnazjum oraz Przedszkole. Od dawna działa Gminny Ośrodek Kultury, który wspiera rozwój najmłodszych oraz pielęgnuje pamięć historyczną wydarzeń, które miały miejsce na terenie Drelowa.

Zmianie uległa, także architektura badanej miejscowości (szacuje się, że głównie miało to miejsce w latach 1944-1994). Wówczas powstało bardzo dużo gospodarstw murowanych, krytych blachą, posiadających ogrzewanie centralne, urządzenia elektryczne oraz bieżącą wodę. W tym okresie, wybudowano również blok zamieszkalny oraz przestronne osiedle jednorodzinnych

domków, które niegdyś należało do pracowników samorządowych, pobliskich nauczycieli oraz ich rodzin.

Drelów w województwie lubelskim jest ważnym ośrodkiem kulturalnym, gospodarczym oraz administracyjnym. Posiada liczne walory krajobrazowe takie jak: miejsca pamięci, pomniki, zabytkowy kościół, ścieżki rowerowe czy rezerwat przyrody. Coraz częściej, szczególnie w okresie wakacyjnym, miejscowość przybiera charakter wypoczynkowy, głównie dzięki oddaleniu od większego miasta oraz ścisłej łączności z naturą.

Interesujący, z perspektywy społecznej, wydaje się fakt postrzegania atrakcyjności i potencjału turystycznego tej niewielkiej gminy przez jej mieszkańców. W celu zbadania niniejszego zagadnienia przeprowadzono badanie na terenie Drelowa, w którym poproszono lokalnych tubylców o zaprezentowanie swoich opinii i przemyśleń. Poniżej wskazano główne założenia oraz wyniki prowadzonych eksploracji.

2. Założenia metodologiczne

Celem prowadzonych eksploracji była próba diagnozy czterech zasadniczych problemów, które w swej istocie stanowią o atrakcyjności i potencjale turystycznym badanej miejscowości. Wśród nich podjęto zapytanie dotyczące: atrakcyjności turystycznej gminy Drelów oraz działania władz gminy na rzecz rozwoju potencjału turystycznego miejscowości, opinii mieszkańców na temat spędzania wolnego czasu w miejscu swojego zamieszkania, atrakcyjności gminy dla osób z zewnątrz oraz odbioru oferty turystycznej przez przedstawicieli młodego pokolenia mieszkańców.

Na podstawie wskazanych problemów badawczych sformułowano kilka hipotez, które w dobie prowadzonych analiz poddano weryfikacji i sprawdzeniu.

Przyjęte założenia:

- Na terenie Gminy Drelów istnieje znaczna ilość atrakcji turystycznych.
- Władze gminy Drelów dbają o potencjał turystyczny miejscowości.
- Mieszkańcy gminy Drelów chętnie spędzają czas wolny w swojej miejscowości.
- Gmina Drelów swym potencjałem turystycznym przyciąga dużo osób z zewnątrz.
- Osoby starsze częściej wskazują na potencjał turystyczny Drelowa aniżeli osoby młodsze.

W realizowanym projekcie badawczym zastosowana została metoda badań ilościowych, dane zebrane zostały z użyciem techniki ankiety audytoryjnej. Jako narzędzie badawcze posłużył specjalnie przygotowany kwestionariusz zawierający pytania zamknięte oraz otwarte, w których respondenci mieli możliwość wyrażenia własnych opinii i przemyśleń. Respondenci zostali wybrani w sposób celowy – metodą kuli śnieżnej. Próba badawcza liczyła łącznie dwadzieścia sześć osób - stale zamieszkujących badaną gminę. Badania zostało zrealizowane w okresie 8-10 czerwca 2019 r.

Najwięcej badanych osób reprezentowały przedziały wiekowe 18-29 oraz 50-59 lat. Nieco mniej mieściło się w dwóch środkowych grupach 30-39 oraz 40-49 lat. Jedynie dwójka badanych znajdowała się w najstarszej kohorcie wiekowej tj. 60 lat i więcej. Łącznie zbadano trzynaście kobiet i trzynastu mężczyzn. Dziesięciu respondentów posiadało wykształcenie wyższe, Po siedmiu ankietowanych posiadało wykształcenie średnie i zawodowe. Tylko dwie osoby wskazały na wykształcenie gimnazjalne.

3. Analiza wyników badań

Poniżej zaprezentowano wyniki badań dotyczące czterech zasadniczych problemów, które w swej istocie stanowią o atrakcyjności i potencjale turystycznym badanej miejscowości

3.1 Atrakcyjność badanej miejscowości

Znaczna większość badanych, w sumie dziewiętnaście osób, uważa, że gmina Drelów jest atrakcyjna ze względu na występujące tu walory turystyczne. Z kolei siedmiu badanych nie podziela tego stanowiska i nie dostrzega walorów turystycznych na terenie swojej miejscowości. Wartości turystyczne częściej dostrzegają najmłodsi respondenci znajdujący się w przedziale wiekowym 18-29 lat oraz nieco starsi 30-39 lat, a także osoby posiadające wykształcenie wyższe.

Respondenci z wykształceniem gimnazjalnym, w ogóle nie dostrzegają czynników stanowiących o atrakcyjności swojej miejscowości.

Mieszkańcy, do atrakcji turystycznych, najczęściej zaliczali: rezerwy przyrody (siedemnaście wskazań), zabytki (dziesięć wskazań), organizacja imprez, festynów oraz dożynek (dziewięć wskazań), a także trasy/ścieżki rowerowe (siedem wskazań). Nieliczni ankietowani wspominali o centrum kultury, terenach zielonych czy zbiornikach retencyjnych.

3.2 Działania władz gminy na rzecz rozwoju potencjału turystycznego miejscowości

Przeważająca większość badanych osób, w sumie siedemnaście, uważa, że władze gminy dbają o rozwój Drelowa.

Starania władz gminy na rzecz rozwoju miejscowości zdecydowanie dostrzega najmłodsza grupa wiekowa. Co ciekawe, badani znajdujący się w grupie wiekowej 30-39 lat, częściej nie dostrzegają należytej troski i zainteresowania rozwojem potencjału turystycznego.

Aspekt wykształcenia, w tym przypadku również nie jest bez znaczenia. Osoby posiadające wyższe wykształcenie zdecydowanie częściej dostrzegają politykę rozwojową gminy, podobnie jest z osobami mającymi wykształcenie średnie. Respondenci deklarujący najniższe wykształcenie, w większości przypadków nie dostrzegają ingerencji władz gminy w rozwój terenu.

Bezpośrednie przykłady realizacji polityki rozwoju Drelowa, prezentuje poniższy wykres.



Rys.1. Najczęściej zlecane i wykonywane inwestycje.

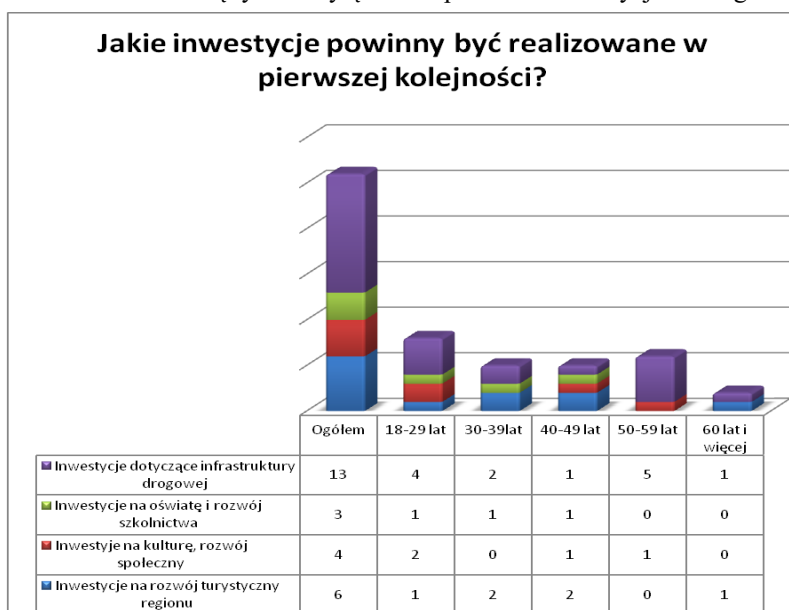
Jak pokazuje powyższy wykres, w opinii mieszkańców gminy, dokonywane inwestycje najczęściej dotyczyły rozwoju kulturowego (piętnaście wskazań), infrastruktury środowiskowej (dziewięć wskazań) oraz infrastruktury drogowej (osiem wskazań). Najmniej funduszy przeznaczono w promocję gminy.

Na tle poprzedniego wykresu pojawiła się zapytanie, które z inwestycji powinny być realizowane w pierwszej kolejności. Przemyślenia respondentów prezentuje wykres poniżej.

Na decyzje dotyczące kolejności realizowanych inwestycji wyraźny wpływ ma wiek respondentów. W większości przypadków najmłodsi mieszkańcy Drelowa wskazują konieczność realizacji inwestycji dotyczących infrastruktury drogowej oraz inwestycji na kulturę i rozwój społeczny. W grupie wiekowej 30-39 lat badani, w większości opowiadają się za inwestycjami drogowymi oraz związanymi z rozwojem turystycznym regionu. Ciekawym wnioskiem wydaje fakt, że osoby w grupie wiekowej 50-59 lat widzą przede wszystkim potrzebę modernizacji infrastruktury drogowej.

Co ważne, osoby z wyższym wykształceniem mówią o potrzebie inwestycji na rozwój turystyczny regionu oraz na infrastrukturę drogową. Osoby ze średnim wykształceniem, w zdecydowanej większości podkreślają potrzebę modernizacji infrastruktury drogowej. Osoby posiadające wykształcenie zawodowe opowiadają się za inwestycjami na kulturę i rozwój społeczny

oraz podobnie, jak pozostali widzą potrzebę poprawy infrastruktury drogowej. Mieszkańcy Drelowa z wykształceniem średnim mówią tylko i wyłącznie o potrzebie inwestycji na drogi.



Rys. 2. Kolejność realizowanych inwestycji w podziale na wiek.

3.3 Opinie mieszkańców na temat spędzania wolnego czasu w miejscu swojego zamieszkania

W zainicjowanym badaniu, zdecydowana większość tubylców, przyznała, że chętnie spędza czas wolny, na terenie swojej miejscowości (dziewiętnaście wskazań)

Osoby najstarsze, w wieku 50-59 lat oraz 60 lat i więcej, zdecydowanie podkreślają, że chętnie spędzają czas wolny na terenie swojej miejscowości. Wśród najmłodszych grup wiekowych 18-29 lat oraz 30-39 lat, częściej można dostrzec chęć i potrzebę wyjazdu poza okolice swojej miejscowości.

Wśród respondentów z wyższym wykształceniem częściej można dostrzec tych, którzy chętnie spędzają czas wolny na terenie Drelowa oraz stosunkowo dużo osób, które niechętnie spędzają czas wolny w swojej gminie. Co ciekawe, osoby z wykształceniem średnim, w zdecydowanej większości wolą spędzać czas wolny na terenie swojej miejscowości.

Interesująco kształtują się odpowiedzi dotyczące sposobu spędzania wolnego czasu. Najwięcej osób badanych, na pytanie w jaki sposób spędzają czas wolny w swojej miejscowości odpowiedziało, że aktywnie (jedenaście wskazań). Sześciu respondentów przyznało, że spędzają czas biernie, a kolejnych sześciu, że różnie (raz biernie, raz aktywnie). Niewielka liczba badanych, w czasie wolnym wyjeżdża po za teren swojej miejscowości (w sumie trzy wskazania).

3.4 Atrakcyjność gminy dla osób z zewnątrz

Zebrane wyniki badań pokazały, że ponad połowa respondentów widzi turystów na terenie swojej miejscowości (piętnaście wskazań). Mniejsza liczba badanych, w sumie jedenaście osób, twierdzi, że nie widzi turystów na terenie Drelowa.

Co ciekawe, grupa respondentów w najmłodszym i średnim wieku (18-29 lat oraz 30-39 lat) rzadko dostrzega osoby obce na terenie gminy. Stosunkowo częściej, osoby przejezdne widzą przedstawicieli najstarszych kohort wiekowych (50-59 lat oraz 60 lat i więcej).

Obserwacje prowadzone względem przyjezdnych są też zróżnicowane ze względu na wykształcenie. Osoby lepiej wykształcone oraz pracujące rzadziej zwracają uwagę na turystów odwiedzających ich teren.

Zdaniem ankietowanych, turystykę zewnętrzną najczęściej napędzają liczne atrakcje kulturowe np. organizowane festyny, dożynki, pokazy multimedialne. Część badanych wskazała również na szlaki rowerowe, rezerваты i tereny zielone.

Istotna część badanych uważa, że gmina Drelów charakteryzuje się dużym potencjałem turystycznym (jedenaście wskazań) oraz średnim potencjałem turystycznym (dziesięć odpowiedzi). Na niewielki potencjał wskazały jedynie trzy osoby, z kolei na bardzo duży – zaledwie dwóch mieszkańców.

Nierzadko, to najmłodsi mieszkańcy (18-29 lat) wskazują na duży potencjał turystyczny swojej miejscowości. Osoby nieco starsze w wieku 40-49 i 50-59 lat twierdzą, że gmina charakteryzuje się średnim potencjałem rozwojowym. Z kolei przedstawiciele najstarszej kohorty wiekowej podkreślają, że gmina cechuje małym potencjałem rozwojowym.

4. Wnioski i zakończenie

Po dokonaniu szczegółowej analizy zebranego materiału badawczego potwierdzenie zyskało założenie jakoby na terenie gminy Drelów funkcjonuje znaczna baza atrakcji turystycznych. Ponad trzy czwarte badanych mieszkańców uważa, że gmina Drelów jest bardzo atrakcyjna i ciekawa turystycznie. Dla mieszkańców interesujące są rezerваты przyrody oraz liczne zabytki występujące na terenie (kościół oraz pomniki pamięci). Osoby badane zwracały też uwagę na istniejące trasy i ścieżki rowerowe oraz często organizowane imprezy i festyny.

Kolejna hipoteza również została potwierdzona. Przeszło połowa badanych mieszkańców sądzi, że władze gminy dbają o potencjał turystyczny miejscowości. Osoby, które wzięły udział w badaniu w większości stwierdzały, że organy sprawujące władzę dokonują inwestycji na rewitalizację regionu. Najczęściej inwestują w rozwój kulturowy, infrastrukturę środowiskową, a także w wymagające remontu drogi.

Zrealizowane badania potwierdziły również kolejne założenie - przeszło trzy czwarte badanych mieszkańców chętnie spędza czas wolny na terenie swojej miejscowości, aktywnie korzystając z dostępnych możliwości. Wskazywano: szlaki rowerowe, oferty kulturowe czy możliwości zwiedzania zabytków Drelowa. Dla większości, badany teren charakteryzuje się dużym potencjałem turystycznym i ma szansę na znaczący rozwój ruchu turystycznego - może się rozwijać i doskonalić w przyszłości. Dodatkowo, nieco ponad połowa badanych widzi na terenie swojej miejscowości turystów zainteresowanych atrakcjami kulturowymi, szlakami turystycznymi czy ścieżkami rowerowymi. Podkreślano również znaczenie istniejących na terenie gminy gospodarstw turystycznych

Ostatnia z hipotez zakładająca jakoby starsi mieszkańcy częściej dostrzegali potencjał turystyczny miejscowości nie znalazła potwierdzenia w toku prowadzonych analiz. W dużej mierze to młodsi mieszkańcy gminy Drelów dostrzegają potencjał turystyczny i atrakcyjność swojej miejscowości. Starsze osoby bowiem patrzą na walory estetyczne i możliwość rozwoju Drelowa, nie dostrzegają również ciekawej oferty turystycznej dla osób z zewnątrz.

Przeprowadzone badanie pozwoliło na ocenę różnych aspektów potencjału turystycznego badanego terenu. Autorka uzyskała opinie dotyczące walorów turystycznych i bazy turystycznej. Udowodniono, że gmina dysponuje znaczącą atrakcyjnością dla turystyki, a władze gminy są dobrze przez mieszkańców oceniane w związku ze swą działalnością ukierunkowaną na rozwój turystyki. Potwierdzeniem istniejących walorów jest fakt, iż lokalni mieszkańcy coraz chętniej spędzają wolny czas na terenie swych miejscowości. Udowodniono również, że młodsi mieszkańcy są w większym stopniu zainteresowani inwestycjami gminy w rozwój ofert turystycznej, upatrując w jej udoskonalaniu nadziei na możliwości zatrudnienia oraz rewitalizacji pobliskich okolic.

5. Literatura

Urząd gminy Drelów (2002) Gmina Drelów 2002: ku przyszłości. Drelów: Wydawnictwo Urząd gminy w Drelowie.

Turski S (2006). Ziemia Bialska najciekawsze zabytki i miejsca. Lublin: Wydawnictwo Proinfo

Źródła internetowe

<http://www.visit-east.eu/pl/zabytki/drelow/more,82857656>

http://www.drelow.pl/asp/pl_start.asp?typ=14&sub=2&menu=13&strona=1

<http://mapa.nocowanie.pl/drelow/zdjecia/8318257>

4. Teoria przestrzeni obronnych i koncepcje projektowe Oscara Newmana

The defensible space theory and design concepts of Oscar Newman

Mazur Aleksandra

Katedra Projektowania Architektonicznego, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Opiekun naukowy: mgr inż. arch. Alicja Świtalska

Mazur Aleksandra: 1aleksandra.mazur1@gmail.com

Słowa kluczowe: patologie społeczne, terytorialność manifestowana, świadome kształtowanie

Streszczenie

Teoria Defensible Space Oskara Newmana została stworzona w odpowiedzi na rozpowszechniające się osiedla zamknięte i problem polaryzacji społecznej. Najważniejszymi punktami tej teorii jest zwrócenie uwagi na poczucie tożsamości jednostki społecznej z danym terytorium oraz jego kontrolę nieformalną. Znaczącą rolę w kształtowaniu zabudowy osiedli mieszkaniowych ma czynnik ludzki, a więc specyfika danych grup społecznych. Na jej podstawie można dostosować odpowiednią zabudowę, jej rozmiar i podział przestrzeni na prywatną i publiczną. Koncepcje projektowe zastosowane przez Oskara Newmana zniwelowały problemy wielu osiedli mieszkaniowych takich jak Five Oaks czy Clason Point. Duże znaczenie w tych rozwiązaniach mają relacje międzyludzkie i wspólnota mieszkańców osiedla. Współcześnie można zauważyć jednak problem związany z zanikaniem kontaktów sąsiedzkich.

1. Wstęp

Odczucie zagrożenia wynikającego ze środowiska zewnętrznego jest wpisane w ludzką naturę. Historia pokazuje, że czynnikami, które pchnęły naszych przodków ku tworzeniu schronień są niebezpieczeństwa płynące nie tylko ze strony dzikich zwierząt, czy zjawisk atmosferycznych, ale przede wszystkim drugiego człowieka. W odniesieniu do współczesności, ludzkie lęki zostały zmanifestowane w latach 60. i 70. XXw. Wtedy to w USA, RPA jak i krajach Europy zachodniej, w skutek różnic etnicznych i ekonomicznych dochodziło do aktów agresji i rasizmu (Kłopotowska 2010; Tokajuk 2014)). Niebezpieczeństwo wynikające z zaistniałego podziału społecznego było bezpośrednim impulsem do powstawania osiedli strzeżonych tzw. „gated communities”, które tylko w teorii miały poprawić panującą sytuację. W rzeczywistości dochodziło do polaryzacji mieszkańców na elitę i ludzi ekonomicznie wykluczonych. Pojawiło się pytanie, jak stworzyć bezpieczną przestrzeń, która nie będzie stanowiła odizolowanej enklawy. Rozwiązaniem tego problemu zajmowało się wielu badaczy i planistów na całym świecie. Bardzo ważną rolę w odegrała Jane Jacobs, która skupiła się na relacjach między rodzajem zabudowy, fizycznym ukształtowaniem terenu a poziomem przestępczości w dużych miastach w Stanach Zjednoczonych (Marczuk 2014). To zainteresowanie elementem społecznym stopniowo przerodziło się w skupienie głównie na czynnikach związanych bezpośrednio z fizycznym ukształtowaniem przestrzeni i możliwymi rozwiązaniami architektonicznymi. Przełom nastąpił w latach 70. XX w., kiedy to amerykański architekt Oskar Newman zainspirowany między innymi spostrzeżeniami J.Jacobs przedstawił swoją ideę „przestrzeni obronnej” (Defensible Space) na łamach książki o tym samym tytule.

2. Opis zagadnienia

Koncepcja przestrzeni obronnych opiera się na tezie, że osiedle należy kształtować poprzez podział przestrzeni w zależności od sposobu jej wykorzystania na publiczną, półpubliczną, półprywatną i prywatną. Taki podział umożliwia nieformalną kontrolę osiedla przez jego mieszkańców. Przestrzeń publiczna jest dostępna bez żadnych ograniczeń jednak stanowi niewielki, niezbędny procent przestrzeni. Obszar półpubliczny jest użytkowany czasowo i posiada wyraźne oznaki, że do kogoś należy. Przestrzeń półprywatna posiada czytelne granice i jest własnością

dzieloną z innymi mieszkańcami, a wejść na nią można tylko osoba zaproszona przez któregoś z mieszkańców. Wreszcie przestrzeń prywatną stanowią mieszkania, wnętrza domów i wszystkie miejsca dostępne tylko określonym mieszkańcom.

W procesie projektowania wyżej wymienionych przestrzeni, Newman wyróżnił cztery główne zasady, które wyeliminują potencjalną działalność przestępczą. Są to:

- terytorialność manifestowana (territoriality)
- nadzór (surveillance)
- naturalna kontrola dostępu (image)
- bezpieczne środowisko (safe zones)

3. Przegląd literatury

Oskar Newman w swojej teorii kładł szczególny nacisk na terytorialność manifestowaną, czyli odczuwalne wydzielenie przestrzeni sąsiedzkich (Mordwa 2009). Zabieg ten stymuluje poczucie tożsamości mieszkańców z danym obszarem, jako własnością ściśle określonej grupy sąsiedzkiej. Z kolei dom stanowił swoistą przestrzeń świętą, był oazą każdej z rodzin. Jako kolejną zasadę kształtowania przestrzeni obronnej podał konieczność kontroli społecznej (surveillance). Polegała ona na takim rozmieszczeniu otworów okiennych i przeszkleń w budynkach, które pozwalałyby mieszkańcom stale nadzorować wspólną przestrzeń osiedla nawet podczas wykonywania codziennych czynności domowych. Należy więc eliminować ślepe narożniki budynków oraz obiekty zasłaniające sobą martwe przestrzenie. Nie zaleca się również stosowania żywopłotów przekraczających wysokością linie wzroku, które dają poczucie pełnej izolacji, sprzyjającej przestępcom. Zbawienne dla nieformalnej kontroli społecznej jest także odpowiednie rozwiązanie systemu oświetlenia, który niweluje powstawanie stref, za którymi nie widać przestrzeni (Cybulski, Krawczyk 2009). Ważna jest ciągłość widoczności wzdłuż wszystkich tras uczęszczanych przez mieszkańców. Wiąże się to z kolejnym ważnym czynnikiem w procesie projektowym jakim jest korzystny wizerunek przestrzeni (image). Widoczna dbałość o teren, zorganizowany sposób rozmieszczenia wejść i przebieg chodników stanowi naturalną możliwość kontroli dostępu na teren osiedla. Istotnym elementem jest także właściwy dobór gatunków tzw. zieleni obronnej, która wyznacza trasy publiczne tak, że uniemożliwia dostęp osób nieuprawnionych do stref prywatnych i zwiększających poczucie bezpieczeństwa osób uprawnionych. Newman w swojej teorii zwraca uwagę na środowisko w jakim znajduje się dany kompleks (safe zones). Warto przemyśleć usytuowanie osiedla w taki sposób by znajdowało się w pobliżu często uczęszczanej ulicy czy ruchliwej dzielnicy handlowej. Środowisko łączy się ściśle z sąsiedztwem, czyli obszarami przylegającymi. Zespoły mieszkaniowe powinny stykać się ze świadomie wybranymi przestrzeniami uważanymi za bezpieczne (Newman 1996).

Ważnym elementem projektowym według O. Newmana była sama specyfikacja budynków mieszkalnych oraz przestrzenie bezpieczne w ich wnętrzu w nawiązaniu do zamieszkałych w nich grup społecznych. Badacz zwrócił uwagę nie tylko na odpowiednie kreowanie osiedli jako zespołu budynków, ale na każdy z jego elementów. Grupowanie jednostek mieszkaniowych w różnych konfiguracjach budynków tworzy wewnętrzne i zewnętrzne „niezespalone” przestrzenie o różnym charakterze. Zabudowę można podzielić na trzy główne kategorie, które przedstawiają się następująco: domy jednorodzinne, domy typu walk-up oraz budynki wysokie.

Pierwsze z nich mogą stanowić domy wolnostojące, bliźniaki lub domy szeregowy. Chociaż wszystkie trzy typy budynków jednorodzinnych wyglądają inaczej to łączy je jedna cecha wspólna: w czterech ścianach każdego rodzaju budynku znajduje się prywatna przestrzeń danej rodziny. Nie istnieją w nich publiczne formy wewnętrzne lub które nie należą do nikogo. Wszystkie przestrzenie wewnętrzne są zatem prywatne. Gdy spojrzymy na tereny otaczające te trzy typy budynków jednorodzinnych okazuje się, że wszystkie zostały przypisane do konkretnej jednostki mieszkaniowej, a więc wszystkie są prywatne. Każdy budynek jest zaprojektowany tak, by miał swoje własne podwórko dostępne jedynie od wewnątrz oraz ogród przeddomowy bezpośrednio przylegający do ulicy. Właściwie tylko chodnik można uznać za przestrzeń półprywatną, jednak w rzeczywistości jego bliskość z domostwem sprawia, że odczuć można jego przynależność do danej rodziny. W ten

sposób kształtuje się przestrzeń idealną do zamieszkania przez rodziny z dziećmi, ponieważ taka zabudowa zapewnia największą kontrolę społeczną.

Przechodząc do budynku typu walk-up należy wyjaśnić jego założenia. Jest to struktura piętrowa zamieszkała przez od trzech do sześciu rodzin, posiadająca wspólną strefą komunikacyjną. Wprowadzenie nowego elementu wewnętrznej przestrzeni półprywatnej całkowicie zmienia charakter zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz budynku. Walk-up dla sześciu rodzin jest tworzony tak, że wszyscy mieszkańcy dzielą wspólny portal wejściowy oraz schody. Każde piętro przeznaczone jest na dwa mieszkania oraz posiada współdzielone lobby. Takie rozwiązanie sprawia, że przestrzeń półprywatna nadal nie pozostaje anonimowa oraz określona grupa ludzi utożsamia się z tym terenem i o niego dba. Wspólne wejścia do budynku znajdują się z przodu i z tyłu bryły, prowadząc na półprywatne podwórko na którym mogą znajdować się na przykład parkingi. Tych obszarów nie można już uznać za prywatne dlatego ważne jest zaprojektowanie ich w taki sposób, by wydzielić częściowo działki przypisane do poszczególnych rodzin. Tereny z przodu walk-up'a podobnie jak to miało miejsce w domach jednorodzinnych sąsiadują z ulicą i chodnikiem, jednak ilość użytkowników sprawia, że nie jest ona już tak wyraźnie przypisana do poszczególnych rodzin.

Ostatnim z wymienionych przez Newmana typów budynków jest wieżowiec, który zwykle występuje w dwóch rozmiarach w zależności od rodzaju zastosowanej windy. Najtańszym rozwiązaniem jest winda hydrauliczna mogąca obsłużyć sześć pięter. Z kolei winda elektryczna pozwala na komunikację w budynku nawet trzydziestopiętrowym, lecz najczęściej stosuje się rozwiązania 10-16 poziomowe. Przykładowy budynek 15 piętrowy jest dzielony przez 195 rodzin i posiada wspólne strefy wewnętrzne. Ze względu na dużą liczbę osób, które je dzielą, te wewnętrzne obszary mogą być oznaczone jako półpubliczne lub nawet publiczne. Korytarze na każdym piętrze są wspólne dla 13 rodzin i są dostępne z 2 zestawów schodów i 2 wind, które są współużytkowane. Tereny zewnętrzne, ze względu na ich odłączenie od poszczególnych jednostek oraz fakt, że dzielą je 195 rodzin, można oznaczyć tylko jako publiczne. Wydawać by się mogło, że wracamy do punktu wyjścia i takie konstrukcje prowadzić będą do niekontrolowanych wtargnięć. Należy jednak zwrócić ponownie uwagę na grupę użytkową takich przestrzeni. Prawdą jest, że budynek wysokościowy nie sprawdzi się dla rodzin z dziećmi, ale przy zachowaniu odpowiednich zasad jest świetną alternatywą dla osób w podeszłym wieku. Starsi ludzie nie lubią lub nie są w stanie używać schodów dlatego doceniają budynki z windą. Emeryci w podeszłym wieku często mieszkają z dala od swoich dzieci, a ich starsi sąsiedzi stają się ich nową rodziną. Jeśli parter zostanie zaprojektowany jako część komunalna i rekreacyjna, można stworzyć przestrzeń wspólną łączące starsze społeczeństwo.

Poczucie tożsamości z danym terytorium maleje proporcjonalnie do wzrostu liczby rodzin, które je dzielą. W związku z tym, gdy tylko kilka rodzin dzieli ten sam obszar, czy to wewnętrzny komunikacyjny, czy tereny na zewnątrz, stosunkowo łatwo jest uzyskać nieformalne porozumienie co do tego, co stanowi dopuszczalne formy użytkowania. Gdy liczby rosną, szansa na osiągnięcie takiego niejawnego porozumienia zmniejsza się do tego stopnia, że żadne użycie poza spacerowaniem po okolicy jest naprawdę niemożliwe, ale każde użycie jest dozwolone. Im większa liczba osób, które dzielą wspólną przestrzeń, tym trudniej jest zidentyfikować ją jako swoją lub poczuć, że ma prawo kontrolować lub określać aktywność w niej zachodzącą. Osobom z zewnątrz łatwiej jest uzyskać dostęp i pozostać w wewnętrznych częściach budynku współdzielonym przez 24 do 100 rodzin niż wspólnym dla 6 do 12 rodzin.

Problemy związane z brakiem kontroli społecznej i przestępczością występowały w wielu amerykańskich miastach, w których postanowiono zastosować postulaty Oscara Newmana. Przykładem takiego miejsca jest osiedle „Five Oaks” w Dayton w stanie Ohio. Zespół składał się z domów jedno oraz dwu-rodzinnych oraz małych budynków wielorodzinnych i zamieszkały był przez ok. 5000 osób. Lokalizacja w pobliżu centrum miasta determinowała kolejne problemy takie jak duże natężenie ruchu oraz wszechobecna działalność handlarzy narkotyków. Huk pistoletów był słyszalny w ciągu dnia i nocy, a mieszkańcy bali się wychodzić na ulicę. Five Oaks borykało się również z problemami społecznymi. Dynamika zmian populacji w społeczności doprowadziła do wzrostu napięcia między starszymi, stałymi właścicielami domów a nowymi, przejściowymi najemcami. Brak wspólnych wartości i aspiracji wśród sąsiadów wzmógł poczucie izolacji i poczucie bycia samemu. Nawet najbardziej niewinne zachowania, takie jak zabawa dzieci na ulicy lub jeden

sąsiad proszący drugiego o bardziej ostrożne wywóz śmieci, były postrzegane jako nietolerancja i niegodziwość. Panujący chaos zaniepokoił policję w Dayton, której kierownik zainteresował się teorią Oskara Newmana. Architekt został poproszony o przedstawienie swoich teorii mieszkańcom osiedla i tak też się stało.

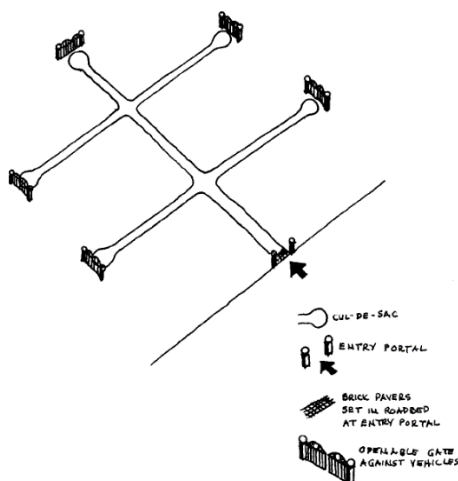
Oskar Newman proces „leczenia” Five Oaks rozpoczął od spotkań z kluczowymi urzędnikami i pracownikami miasta oraz wykładów zarówno dla personelu miasta, jak i całej społeczności. Na jednym z takich wykładów Newman poprosił przypadkowego mieszkańca, by zaznaczył na mapie swój dom oraz obszar, który uważa za swoje sąsiedztwo, a następnie pytał o zdanie resztę społeczności i wprowadzał ewentualne zmiany. W ten sposób osiągnął konsensus, dzieląc osiedle na mini-sąsiedztwa, w których każdy znał swoje miejsce i identyfikował się z nim. Newman wiedział, że przekształcenia należy wprowadzać w zgodzie ze społecznością jak i zarządem, słuchając ich potrzeb i obaw. W wyniku takiego działania każdy mieszkaniec wiedział dokładnie jakie zmiany zostaną wprowadzone, która ulica zostanie zamknięta lub przekształcona na sięgacz oraz w jaki sposób zmieni się komunikacja kołowa.

W celu stworzenia mini- dzielnic charakter ulic musiał ulec zmianie. Dzięki wprowadzeniu bram ograniczających dostęp samochodowy, długie obciążone ruchem ulice zamieniły się w przestrzenie stwarzające idealne warunki do interakcji społecznych oraz bezpiecznej zabawy dzieci. Od teraz drogi wewnętrzne umożliwiały jedynie dojazd do konkretnych parceli, a nie służyły już jako główne arterie komunikacyjne. Ograniczając dostęp kołowy, ulice są postrzegane jako kontrolowane przez mieszkańców. Mniej samochodów ułatwia rozpoznawanie sąsiadów i obcych. Dostęp do nowo zdefiniowanych mini-dzielnicy, które zawierały od trzech do sześciu ulic, był ograniczony tylko do jednego wjazdu z ulicy arterialnej. Potencjalny przestępca nie mógłby uciec inną drogą, niż tą którą dostał się na dany obszar. Bramy nie ograniczały natomiast ruchu pieszego, więc mieszkańcy mogli poruszać się w taki sam sposób. Taki podział na mini-sąsiedztwa zachęcał mieszkańców do wspólnego spędzania czasu, chociażby podczas doglądania dzieci bawiących się na ulicy. Koszty związane z funkcjonowaniem bram i utworzeniem mniejszych zespołów mieszkalnych nie były wysokie, a dawały poczucie własności i odpowiedzialności za daną inwestycję, a przecież właśnie o to chodzi w teorii Defensible Space- o poczucie przynależności i odpowiedzialności za dany teren.

Idealną formą mini- dzielnic był plan greckiego krzyża z jedną najdłuższą ulicą przeciętą dwiema poprzecznymi (rys.1.). Wszystkie ulice były zakończone sięgaczami. Ponadto każdy zespół został zdefiniowany na podstawie podobieństwa wielkości domów i działek, materiałów konstrukcyjnych oraz tego, czy zawierały budynki jednorodzinne czy wielorodzinne. W wyniku wszelkich zmian, ostatecznie Five-Oaks zostało podzielone na 10 mini- dzielnic, a 35 ulic zostało wyłączonych z ogólnodostępnego ruchu kołowego. W dwóch zespołach- Corpus Christi i Grandview- znajdowały się główne szkoły i kompleks szpitalny. Pozostałe osiem mini-dzielnicy miało przede wszystkim charakter mieszkalny - jedna obejmowała część kompleksu szpitalnego. Każda mini-dzielnica zawierała od trzech do sześciu ulic oraz jeden portal wejściowy- bramę flankowaną filarami. Przy każdej bramie widniał symbol terenu prywatnego oraz nazwa mini-dzielnicy. Drogi wewnętrzne miały inną, brukowaną nawierzchnię, co podkreślało ich odmienny, prywatny charakter. Zmiany dokonane w Five Oaks miały pozytywny wpływ na całe miasto. Przeciętny ruch kołowy został zmniejszony o 67%, a poziom przestępstw zmniejszył się o 50%.

Five Oaks, to nie jedyne osiedle, w którym Oskar Newman wprowadził założenia teorii Defensible Space. Innym wartym uwagi przykładem jest nowojorski kompleks o nazwie Clason Point zlokalizowany w dzielnicy South Bronx, które znane było z wysokiego poziomu przestępstw. Osiedle składało się z 46 budynków, z których większość stanowiła domy szeregowe, a pozostałe były małymi walk-up'ami dla seniorów. Gęstość zabudowy była bardzo duża, ponieważ pierwotnie było to osiedle dla pracowników wojskowych w czasie II Wojny Światowej. Domy zbudowane były z odsłoniętych betonowych bloków, co przywoływało na myśl koszary wojskowe. Po wojnie zespół budynków miał zostać wyburzony, lecz zamiast tego stał się osiedlem mieszkalnym. Jednak ze względu na opłakany stan budynków, wyróżniających się na tle pobliskich domów z czerwonej cegły sprawiło, że 30% zabudowy pozostawało pustostanami. Projekt nosił piętno mieszkań komunalnych, a własność publiczna oznaczała, że prawa mieszkańców ograniczały się do wnętrza ich jednostek. Można odnieść wrażenie, że wtargnięcie nieznajomych i nieproszonych gości na teren osiedla było niczym

nieograniczone. Ponadto osiedle było zamieszkałe przez Afroamerykanów, Puerto Rikańskie rodziny, oraz ludzi białej rasy w różnym wieku, a brak jasno wyznaczonej przynależności terytorialnej powodował konflikty międzypokoleniowe i międzyrasowe. Otwarta przestrzeń publiczna dawała także możliwość zbuntowanej młodzieży na miejsce grupowych spotkań wzbudzając postrach wśród reszty mieszkańców. Newman postanowił to zmienić. Celem jego projektu był podział przestrzeni publicznych, tak by mieszkańcy utożsamiali się z nimi i czuli nad nimi kontrolę. Kolejną zmianą miało być wyeliminowanie mniej użytkowanych, lecz licznych ścieżek pieszych, które dawały możliwość niekontrolowanego wejścia na terytorium. Bardzo ważne było również odrestaurowanie budynków oraz zastosowanie zróżnicowanej kolorystyki, która wzbudziłaby poczucie tożsamości z danym miejscem zamieszkania. Z kolei rozwiązaniem konfliktów społecznych miało być wprowadzenie specjalnie zaprojektowanych obszarów dla trzech grup wiekowych.



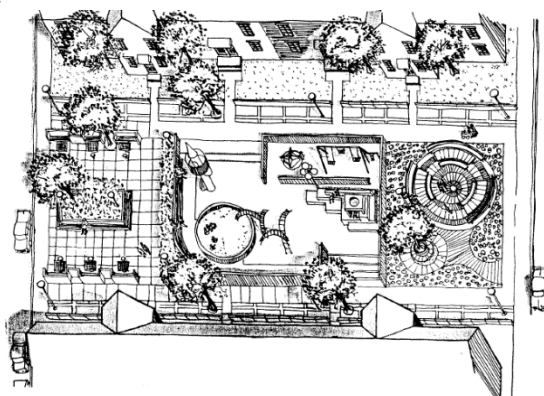
Rys. 1. Idealny plan mini-dzielnicy.

W celu wydzielenia obszarów prywatnych i półprywatnych, Newman zastosował ogrodzenia okalające tereny z tyłu posiadłości, które wcześniej były dostępne publicznie. Niestety to posunięcie nie dało oczekiwanych rezultatów, ponieważ część rodzin nie potrafiło ze sobą współpracować, gdy dzielili jedno podwórkę. Wkrótce jednak Newman wprowadził dodatkowe podziały a także bariery symboliczne takie jak niską zieleń, która sprawiła, że każda rodzina była odpowiedzialna za swój własny ogródek. Tereny przeddomowe zostały z kolei ograniczone poprzez krawężnik z wysokich blozków betonowych. Niebawem smutne i szerokie publiczne ulice zamieniły się w zielone, porośnięte trawą ogródki przeddomowe. Dzięki temu chodnik przylegający do ogródka, był traktowany jako jego przedłużenie, a każdy dbał o strefę wokół swojej własności.

Kolejnym krokiem powziętym przez Newmana było wprowadzenie oświetlenia ulic. Zaprojektował on nietypowe, niskie, zakończone okrągłą głowicą latarnie połączone z miejscem do siedzenia oraz niską roślinnością, które umieszczał na osi ulic. Dawało to poczucie bezpieczeństwa oraz przytulną atmosferę. Władze obawiały się, że tak niskie latarnie zostaną w krótkim czasie zdewastowane, jednak tak się nie stało. Mieszkańcy dobrze czuli się w takiej przestrzeni, więc nie było podstaw, by niszczyć jej elementy. Newman podkreślał, że zachowania ludzkie nie biorą się znikąd, lecz wywołane są złym traktowaniem i nieodpowiednim projektowaniem przestrzeni mieszkalnej. Z kolei władze podchodziły do tematu zgoła inaczej, a w obliczu wandalizmu stosowali coraz bardziej odstraszające materiały i rozwiązania, tak że mieszkańcy czuli się jakby byli w więzieniu. Newman postanowił to zmienić poprzez wprowadzenie materiałów wyższej jakości oraz pytając mieszkańców o kolorystykę każdego budynku. W ten sposób społeczność czuła się doceniona i objęta opieką, a także miała poczucie tożsamości z danym budynkiem.

Problem zbyt dużego obszaru publicznego Newmana rozwiązał poprzez podział tego terenu na trzy zupełnie inaczej zaprojektowane strefy (rys.2.). Obszar dla osób starszych zaprojektował w

sposób konserwatywny, uporządkowany i powściągliwy (na rys. pierwsza strefa od lewej). Natomiast obszar dla nastolatków został zaprojektowany przy użyciu krzywoliniowych wzorów, intensywnych kolorów i dużych kamiennych płyt (na rys.2 strefa po prawej stronie). Te dwa obszary, reprezentujące głównych pretendentów do każdego projektu mieszkaniowego, zostały oddzielone dużym, zdefiniowanym centralnym obszarem zabaw dla młodszych dzieci. To rozwiązanie jednak po pewnym czasie okazało się nieefektywne, ponieważ młodzież nie szanowała wyznaczonych symbolicznie granic. Podsumowując wszystkie newmanowskie zabiegi można zauważyć kilka błędów, dzięki którym zdobył też nowe doświadczenie, jednak ogólny efekt przekształceń jest zdecydowanie pozytywny. Poziom przestępstw spadł o 54% w zaledwie rok od wprowadzonych zmian (Newman 1996).



Rys. 2. Podział przestrzeni na trzy strefy.

4. Wnioski

Zasadniczym problemem w zastosowaniu idei Newmana współcześnie jest fakt, iż opiera się ona przede wszystkim na różnorodnych przejawach czujności sąsiedzkiej. W dzisiejszych czasach borykamy się jednak z alarmującym zjawiskiem swoistego wygaszania i zanikania więzi społecznych. Media społecznościowe i nadmiar bodźców sensorycznych sprawiają, że coraz więcej, szczególnie młodych ludzi zamyka się w sobie i traci otwartość na drugiego człowieka, choćby mieszkającego tuż za ścianą. Aktualnie mieszkańcy ogólnie projektowanych osiedli zdecydowanie preferują poczucie własnej prywatności i indywidualności, która stawiana jest ponad poczuciem lokalnej wspólnoty. Można zatem założyć, że idee Newmana mające swoich zwolenników jak i przeciwników, współcześnie są i będą realizowane z wykorzystaniem rozwiązań typowych dla osiedli strzeżonych.

5. Literatura

- Cybulski M, Krawczyk E (2009) Zdrowie lokalnych społeczności a kształtowanie bezpiecznego otoczenia. *Pielęgniarstwo Polskie*: 160-164.
- Kłopotowska A (2010) Czynniki obronności we współczesnej architekturze zespołów mieszkalnych. *Budownictwo i architektura* 6: 51-61.
- Marczuk K (2014) Zapobieganie przestępczości przez projektowanie bezpiecznych przestrzeni na przykładzie doświadczeń Wielkiej Brytanii i Stanów Zjednoczonych. *Trzy wymiary współczesnego bezpieczeństwa*: 158–189.
- Mordwa S (2009) Bezpieczeństwo a kształtowanie przestrzeni. *Space- Society -Economy* 09: 92-93.
- Newman O (1996) *Creating Defensible Space*: 17-48; 66-79.
- Tokajuk A (2014) Projektowanie bezpiecznych struktur mieszkaniowych. *Architecturae et Artibus* 4: 96-100.

5. Metody obróbki czopów wałów korbowych samochodowych silników spalinowych

Methods of machining the crankshaft pins for automotive combustion engines

Cieślak Kacper⁽¹⁾, Śliwka Mateusz⁽²⁾

⁽¹⁾ Katedra Samochodów i Silników, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

⁽²⁾ Katedra Podstaw Budowy Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Opiekun naukowy: dr inż. Jerzy Kopec, jkopec@ath.bielsko.pl

Cieślak Kacper: kcieslar@ath.bielsko.pl

Słowa kluczowe: czop korbowy, czop główny, frezowanie planetarne, frezowanie obrotowe.

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane metody obróbki czopów wałów korbowych, szczególnie tych stosowanych w samochodach osobowych. Analizując wytwarzanie części maszyn, jakimi są wały korbowe, można stwierdzić, że procesy technologiczne są bardzo złożone, a realizacja wybranych operacji technologicznych jest bardzo skomplikowana. Dodatkowo sam wał korbowy musi charakteryzować się wysokimi właściwościami mechanicznymi oraz odpornością na ścieranie pracujących powierzchni czopów. O zastosowaniu danej metody obróbki decydują przede wszystkim: wielkość produkcji, wymagania odnośnie dokładności wykonania, możliwości produkcyjne danego przedsiębiorstwa. W przypadku produkcji jednostkowej i małoseryjnej wałów korbowych wykorzystuje się mało wydajne sposoby obróbki, jak np. toczenie. Natomiast w wielkoseryjnej i masowej produkcji wałów korbowych stosuje się wysoko wydajne sposoby obróbki, jak frezowanie obrotowe wewnętrzne i zewnętrzne specjalnymi głowicami tarczowymi z ostrzami mocowanymi w kasetach oraz frezowanie obrotowe z użyciem zespołu frezów zewnętrznych (a więc zastosowanie koncentracji technologicznej).

1. Wstęp

Wał korbowy jest elementem układu korbowego przejmującym poprzez tłok i korbowód oddziaływanie sił gazowych, powstałych w wyniku spalania paliwa w cylindrze i dokonującym zamiany tych sił na moment obrotowy, który to jest przekazywany dalej poprzez zespół napędowy. Tym sposobem wał korbowy zamienia ruch posuwisto – zwrotny tłoków na swój ruch obrotowy. Dodatkowo wał korbowy napędza pomocnicze mechanizmy silnika, takie jak wentylator, pompa wody czy układ rozrządu. Ze względu na to, że obecnie tłokowe silniki spalinowe są wysilonymi maszynami cieplnymi, elementy układu korbowego poddawane są działaniu znacznych obciążeń cieplnych i mechanicznych. Dodatkowo prędkość obrotowa silników spalinowych obecnie wytwarzanych znacznie wzrosła i dla silników wysokoprężnych osiąga nawet 5500 obr./min, a w przypadku silników o zapłonie iskrowym nawet 9000 obr./min. Więc aby zapewnić właściwą pracę silnika, jego elementy muszą być wykonane bardzo dokładnie, a występujące luzy pomiędzy współpracującymi ze sobą elementami nie mogą przekraczać setnych części milimetra. Budowa wału korbowego jak i wzajemne położenie wykorbień zależne jest od ilości i układu cylindrów silnika, liczby czopów głównych wału oraz założonego stopnia wyrównoważenia silnika. Najczęściej spotykane są silniki rzędowe, gdzie cylindry ustawione są jeden za drugim, przy czym ograniczeniem tego typu konstrukcji, wynikającym ze sztywności kadłuba i wału korbowego jest liczba sześciu cylindrów. Wał korbowy w silniku ułożyskowany jest w kadłubie, rzadziej w podstawie. Łożyska główne, w których wał się obraca, przejmują siły gazowe jak i siły bezwładności pochodzące od części znajdujących się w ruchu. Wał podlega więc ścisnaniu, zginaniu, ścinaniu, rozciąganiu i skręcaniu. Siły działające okresowo powodują powstawanie niebezpiecznych drgań skrętnych (Wajand 2005).

Współczesne silniki spalinowe wykazują znaczący wzrost średniego ciśnienia użytecznego powodującego zwiększone obciążenie wału korbowego, w wyniku czego musi on być ułożyskowany między każdym cylindrem, co powoduje wzrost sztywności wału. W przypadku silnika rzędowego liczba czopów korbowych jest równa liczbie cylindrów (w przypadku silników widlastych jest dwa razy mniejsza), a ustalając jego wymiary bierze się pod uwagę wielkość nacisków czopa na panewkę, smarowanie czopa oraz pracę tarcia w łożysku. Średnica czopa korbowego jest zazwyczaj o 20% mniejsza od średnicy czopa głównego, tak aby zapewnić większą sztywność wału. Dodatkowo promień przejścia między ramieniem wału, a czopem wynosi zwykle $0,05 \div 0,1$ średnicy czopa, dzięki czemu uzyskuje się korzystniejszy rozkład naprężeń (prs.pl). Często również czopy korbowe są drażnione aby zmniejszyć masę wykorbień i przeciwcieżarów, przy czym oś drażenia jest dodatkowo przesunięta względem osi czopa, co istotnie zmniejsza siły odśrodkowe. Na przednim zakończeniu wału umieszcza się koła pasowe napędu alternatora, pompy wspomagania, sprężarki klimatyzacji i innych mechanizmów pomocniczych. Tylnie zakończenie wału posiada otwory do montażu koła zamachowego oraz dodatkowy otwór pod łożysko wałka sprzęgłowego. Końce wału ze względu na ich umieszczenie poza skrzynią korbową wymagają starannego uszczelnienia za pomocą pierścieni Simmera (Zajac 2009).

2. Opis zagadnienia

Dokładność obróbki głównych powierzchni wałów korbowych jest bardzo wysoka. Czopy główny jak i korbowe, wykonuje się zazwyczaj według 2 klasy dokładności. Dopuszczalna stożkowatość wałów samochodowych wynosi zwykle $0,01 \text{ mm}$, a wałów ciągnikowych $0,015 \text{ mm}$. Dopuszczalna owalność czopów wałów samochodowych to $0,006 \text{ mm}$, wałów samochodów ciężarowych $0,01 \text{ mm}$ i ciągnikowych $0,015 \text{ mm}$. Dopuszczalna nierównoległość osi czopów głównych i korbowych silników ciągnikowych nie może przekraczać $0,02 \text{ mm}$ na długości 100 mm , a wałów silników samochodowych nie przekracza $0,01 \text{ mm}$ na całej długości czopa korbowego. Mimośrodowość czopów i odchylenie od prostoliniowości osi mieści się w przedziale $0,025 \div 0,035 \text{ mm}$. Wały korbowe wyważa się dynamicznie, przy czym niewyważenie nie powinno przekraczać $150 \div 400 \text{ Gmm}$ zależnie, od przeznaczenia, ilości czopów i liczby obrotów na minutę silnika, w którym zostanie umieszczony (Masłow i in. 1956).

Półfabrykaty wałów korbowych otrzymuje się przez kucie w foremnikach zamkniętych, przy czym by zapewnić odpowiednią jakość należy zapewnić prawidłowy układ włókien materiału poprzez wykorzystanie foremników ze specjalnymi wykrojami (Feld, Kaczmarek, Szadkowski 1994). Wydajniejszą obróbkę zapewnia tłoczenie na specjalizowanych szybkobieżnych prasach mechanicznych. Zastosowanie tej metody umożliwia uzyskanie półfabrykatu o większej dokładności wykonania (Masłow i in. 1956).

Półfabrykaty wałów korbowych do silników samochodowych i ciągnikowych można również odlewać zwłaszcza w przypadku silników o niezbyt dużym stopniu sprężania. Odlewane półfabrykaty wykonuje się ze stali stopowych i żeliw wysokowytrzymałych z dodatkiem manganu.

Do zalet odlewania wałów należą:

- krótszy czas cyklu produkcji względem kucia,
- mniejsza pracochłonność obróbki mechanicznej dzięki otrzymaniu dokładniejszych półfabrykatów.

Do wad należą:

- mniejsza wytrzymałość w porównaniu do wałów kutych,
- możliwe występowanie dużej ilości wad odlewniczych (pęcherze, rzadzizny itp.).

Trudności przy obróbce wałów korbowych wynikają zarówno z ich złożonego kształtu i koniecznej do uzyskania wysokiej dokładności, ale również z małej ich sztywności w wyniku czego podczas obróbki wały mogą się skrecać i wyginać.

Kolejność realizacji poszczególnych operacji obróbki mechanicznej będzie zależała od:

- dążenia do ograniczenia odkształceń niezbyt sztywnego półfabrykatu podczas obróbki, zwłaszcza podczas wstępnych operacji, kiedy to usuwana jest warstwa zwiększonej głębokości skrawania,

- wykonywania jednoczesnej obróbki kilku powierzchni, które można określić jako elementarne formy obrabiane, dla których występuje podobieństwo,
- stosowania sztywnych obrabiarek z oparciem półfabrykatu w wielu miejscach przy dwustronnym napędzie,
- operacji powodujących odkształcenia trwałe, należy wtedy prostować przedmiot.

Typowy proces technologiczny wałów korbowych składa się zwykle z następujących po sobie operacji, których kolejność realizacji zaznaczono poprzez przyjęcie i przypisanie operacjom numeracji rosnącej (Płonka i in. 2013):

1. Prostowanie półfabrykatu na prasie
2. Obróbka baz pomocniczych
 - a. Frezowanie czół wału
 - b. Wiercenie nakiełków
 - c. Frezowanie baz pomocniczych do kąтового ustawienia wału
3. Prostowanie ze sprawdzeniem bicia w kłach
4. Obróbka (toczenie lub frezowanie) czopów korbowych, ramion czopów i końców wału
5. Wstępne szlifowanie czopów głównych i końców wału
6. Obróbka czopów głównych i płaszczyzn ramion
7. Wstępnie szlifowanie czopów korbowych
8. Obróbka otworów:
 - a. W kołnierzu (do mocowania koła zamachowego)
 - b. Kanałów olejowych w czopach wału
9. Mycie wału i kontrola
10. Hartowanie powierzchniowe i odpuszczanie czopów wału.
11. Mycie wału, kontrola twardości i prostowanie wału.
12. Wygładzające szlifowanie czopów łożyskowych i końców wału oraz czopów korbowych.
13. Prostowanie wału w kłach.
14. Wyważanie dynamiczne.
15. Obróbka wykańczająca czopów.
16. Mycie i ostateczna kontrola wału.

Ze względu na bardzo dynamiczny rozwój technik obróbki skrawaniem oraz coraz większy nacisk na czynniki ekonomiczne, jak i dokładność obróbki czopy wałów korbowych obrabiane są obecnie na wiele sposobów (Placuch 2009).

Sposoby obróbki czopów głównych i korbowych wałów korbowych podano m.in. w opracowaniu (Placuch 2009):

1. Obróbka zgrubna i kształtująca:
 - a. Czopów głównych:
 - i. toczenie,
 - ii. obtaczanie,
 - iii. frezowanie obrotowe zewnętrzne,
 - iv. frezowanie obrotowe wewnętrzne,
 - v. przeciąganie przeciągaczem prostoliniowym,
 - vi. toczenie-przeciąganie.
 - b. Czopów korbowych:
 - i. toczenie,
 - ii. toczenie metodą trzech wałów,
 - iii. obtaczanie,
 - iv. frezowanie obrotowe zewnętrzne,
 - v. frezowanie obrotowe wewnętrzne,
 - vi. frezowanie planetarne.
2. Obróbka wykończeniowa czopów głównych i korbowych:
 - a. szlifowanie.
3. Obróbka dokładna i gładkościowa:
 - a. szlifowanie,

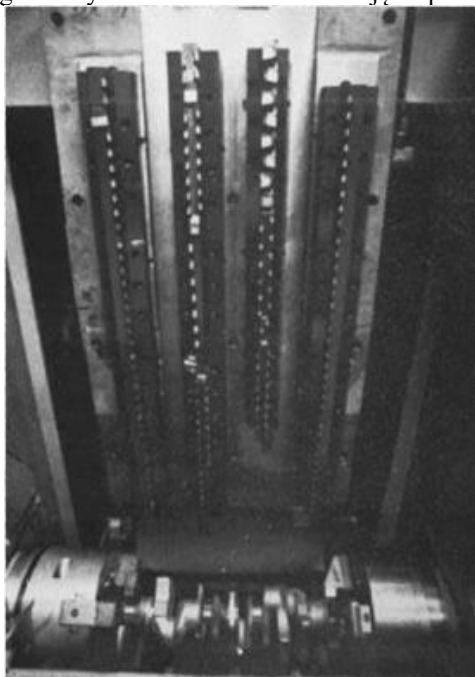
- b. docieranie płótnem ściernym,
- c. dogładzanie oscylacyjne.

2.1 Toczenie

Toczenie stanowi najstarszą metodę obróbki zarówno czopów głównych jak i korbowych. W przypadku toczenia czopów głównych toczenie jest z technologicznego punktu widzenia proste - oś obrotu czopa pokrywa się z osią wrzeciona tokarki. Natomiast obróbka czopów korbowych wymaga zastosowania dodatkowego oprzyrządowania, umożliwiającego przesunięcie osi czopa korbowego, tak aby oś ta pokrywała się z osią wrzeciona. Układ taki natomiast trudno wyrównoważyć mimo zastosowania przeciwcieżarów. Przekłada się to na spadek trwałości narzędzia i dokładności wymiarowej obrabianego wału korbowego (Turek 2003). Ze względu na zbyt małą wydajność toczenia, metoda ta została obecnie zastąpiona frezowaniem obrotowym wewnętrznym oraz frezowaniem planetarnym.

2.2 Przeciąganie za pomocą przeciągacza liniowego

W metodzie tej wał korbowy wykonuje ruch obrotowy, a narzędzie jakim jest ostrze przeciągacza wykonuje ruch prostoliniowy. Do zalet tej metody należy łagodne zagłębianie się ostrza w obrabiany czop korbowy, co przekłada się na mniejsze niż w przypadku toczenia siły skrawania oraz mniejszy poziom drgań. Wadami tej metody są znaczne gabaryty przeciągacza oraz długi czas realizacji jego biegu jałowego. Na rysunku 1 zamieszczono zdjęcia przeciągacza liniowego.



Rys. 1. Przeciąganie czopów głównych za pomocą przeciągaczy liniowych (Zawadzki 2016).

2.3 Toczenie - przeciąganie za pomocą przeciągacza obrotowego

Metoda ta wykorzystywana jest do obróbki czopów głównych. Narzędziem jest przeciągacz o kształcie walca, który wraz z obrabianym wałem wykonują ruch obrotowy w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Do zalet tej metody należy łagodne zagłębianie się i wychodzenie narzędzia z materiału, co zmniejsza obciążenia mechaniczne i cieplne. Metodę tą można zarówno wykorzystać do obróbki czopów głównych jak i odsadzeń ramion wału korbowego.

Rozwój technologii CNC spowodował możliwość wykorzystania do obróbki czopów głównych i korbowych głowic frezarskich na specjalnych obrabiarkach półautomatycznych, gdzie występuje wysoka intensyfikacja procesu skrawania oraz ograniczenie czasów pomocniczych.

Obróbka tego rodzaju jest obecnie dominującą metodą w realizacji obróbki mechanicznej (sandvik.coromant.com/pl).

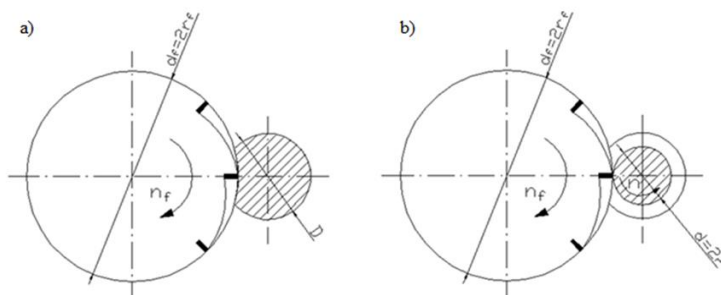
Rozróżnia się frezowanie:

- obrotowe zewnętrzne, czyli frezowanie głowicami frezarskimi z płytkami skierowanymi na zewnątrz,
- obrotowe wewnętrzne, czyli frezowanie głowicami frezarskimi z płytkami skierowanymi do wewnątrz,
- planetarne głowicami frezarskimi z płytkami skierowanymi do wewnątrz.

Obróbka poprzez frezowanie umożliwia obróbkę wszystkich powierzchni w jednym ustaleniu i zamocowaniu, co przekłada się na wysoką dokładność wymiarową, ale powoduje możliwość występowania błędów kształtu obrabianej powierzchni, przez co wymagana jest pracochłonna obróbka wykończeniowa.

2.4 Frezowanie obrotowe zewnętrzne głowicami frezowymi z płytkami skierowanymi na zewnątrz

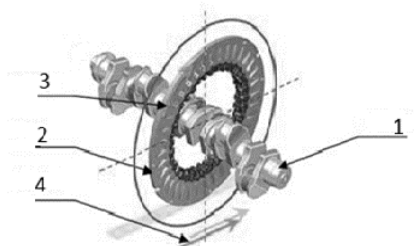
Frezowanie obrotowe zewnętrzne polega na ruchu obrotowym czopa wału korbowego oraz głowicy, która wykonuje również ruch nadążny, posuwisto – zwrotny za obrabianym czopem korbowym, a obróbka czopa następuje po jednym obrocie wału korbowego. Obrabiany jest zarówno czop korbowy jak i ramiona korb. Schemat realizacji obróbki zamieszczono na rysunku 2



Rys. 2. Schemat frezowania czopa wału korbowego głowicą frezarską z płytkami skierowanymi na zewnątrz: a) wcinanie przy nieruchomym wale, b) obróbka czopa przy obracającym się wale korbowym (Zawadzki 2016).

2.5 Frezowanie obrotowe wewnętrzne głowicami z płytkami skierowanymi do wewnątrz

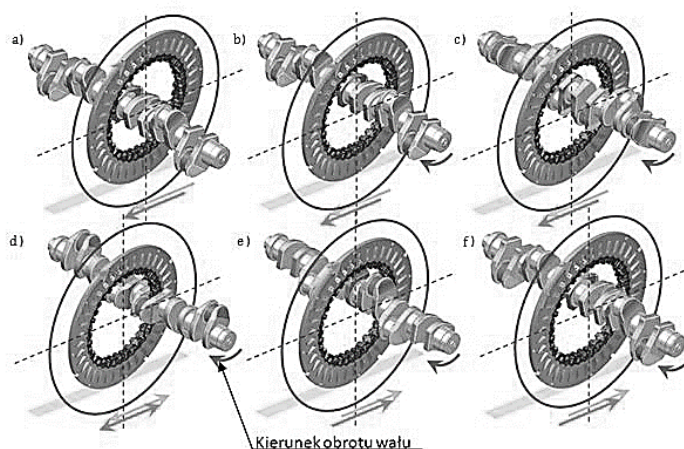
Ogólny schemat metody frezowania obrotowego wewnętrznego przedstawiono na rysunku 3 natomiast na rysunku 4 ukazano kolejne etapy realizacji tej metody frezowania.



Rys. 3. Ogólny schemat frezowania obrotowego wewnętrznego głowicą frezarską z płytkami skierowanymi do wewnątrz: 1-obrabiany wał korbowy, 2- pierścieniowa głowica frezarska, 3-kierunek obrotów głowicy, 4-kierunek nadążnego ruchu posuwisto-zwrotnego głowicy frezarskiej (Placuch 2009).

Po ustaleniu i zamocowaniu wału początkowo oś głowicy frezarskiej pokrywa się z osią główną wału. Następnie obracająca się głowica zagłębia się w obrabianym czopie na wartość ustalonego na tą operację naddatku (Rys. 4a) W następnej kolejności włączony zostaje napęd wrzeciona i obrabiany wał zaczyna się obracać. Obracająca się głowica wykonuje ruch nadążny za obracającym się wałem korbowym (Rys. 4b) W następnym ukazanym położeniu (Rys. 4c) czop

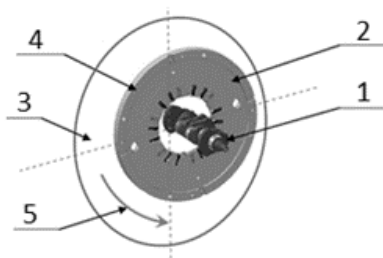
korbowy obrócony jest o 90° względem początkowego położenia. Głowica frezarska wykonuje nadal ruch poprzeczny, tak by nadażyć za obracającym się wałem. Kolejne położenie to obrót wału o 180° ; 270° ; 360° (Rys. 4 d,e,f). Czop zostaje obrobiony po jednym obrocie wału korbowego. Istotą tej obróbki jest taki ruch posuwisto-zwrotny głowicy frezarskiej, aby ta głowica zachowywała stałą wartość wcięcia podczas obróbki. Obróbkę tą można podzielić na zgrubną i kształtującą zależnie od prędkości skrawania. Po obróbce jednego czopa głowica frezarska przesuwana się wzdłuż wału i obrabia kolejny czop korbowy (Płonka i in. 2013).



Rys. 4. Schemat różnych położen głowicy frezarskiej, przy frezowaniu obrotowym czopa korbowego, głowicą z płytkami skierowanymi do wewnątrz (Placuch 2009).

2.6 Frezowanie planetarne

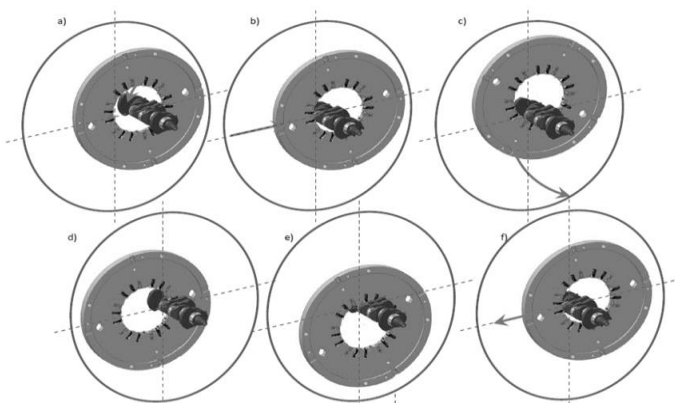
W przypadku frezowania planetarnego wał korbowy się nie obraca, tylko głowica frezarska wykonuje ruch planetarny, na który składają się ruch obrotowy głowicy i ruch obiegowy środka głowicy frezarskiej wokół osi obrabianego czopa korbowego (ruch obiegowy głowicy w mimośrodowej obudowie). Czop zostaje obrobiony w czasie ruchu obiegowego mimośrod o kąt 360° . Frezowanie planetarne zapewnia możliwość uzyskania wysokiej dokładności kształtowo-wymiarowej oraz zdecydowanie mniejszej chropowatości powierzchni niż w przypadku toczenia. Możliwe jest to do uzyskania dzięki dużej sztywności układu narzędzie - przedmiot obrabiany. Rysunek 5 przedstawia ogólny schemat metody, natomiast na rysunku 6 zamieszczono przedstawienie graficzne realizacji kolejnych etapów frezowania planetarnego czopa wału korbowego.



Rys. 5. Ogólny schemat frezowania planetarnego czopów wału korbowego: 1- obrabiany wał korbowy, 2- pierścieniowa głowica frezowa, 3- mimośród, 4- kierunek obrotu głowicy frezowej, 5- kierunek posuwu głowicy frezowej (Zawadzki 2016).

Początkowo głowica jest odsunięta od czopa korbowego (Rys. 6a), a w dalszym etapie obróbki realizowany jest dosuw poprzeczny obracającej się głowicy (Rys. 6b). Płytki głowicy zagłębiają się w obrabiany materiał czopa korbowego na zadaną głębokość skrawania, równą

naddatkowi wymaganemu na realizację tej operacji. Włączony zostaje posuw obwodowy samej obudowy mimośrodowej, w której znajduje się głowica frezarska (Rys. 6c) Posuw obwodowy realizowany jest przez obrót obudowy po torze kołowym wokół osi czopa korbowego, tak że zostaje on obrobiniony po jednym pełnym obrocie obudowy mimośrodowej. Rysunki c, d, e, f (Rys. 6c, d, e, f) pokazują kolejne położenia głowicy frezowej po obrocie o kąt 90° , 180° , 270° i 360° , aż do pozycji początkowej (Rys. 6g)



Rys. 6. Różne położenia głowicy frezowej podczas frezowania planetarnego czopa korbowego (Zawadzki 2016).

3. Podsumowanie

Obecnie podstawowym sposobem obróbki czopów głównych i korbowych jest frezowanie. Frezowanie stosowane jest zarówno, jako obróbka zgrubna jak i półwykończeniowa. Jako obróbkę wykończeniową stosuje się szlifowanie, zaś jako obróbkę gładkościową dogładzanie oscylacyjne foliami ściernymi. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku produkcji seryjnej, gdzie może do obróbki wykończeniowej czopów wałów korbowych być zastosowane szlifowanie gładkościowe płótnami i papierami ściernymi. Proces wytwarzania wałów korbowych zaczyna się od sprowadzenia osi bezwładności półfabrykatu do jego osi obrotu. W następnej kolejności realizowane jest planowanie czół i wykonanie nakiełków. Bazując na nakiełkach w procesie technologicznym przystępuje się do realizacji kolejnej operacji, jaką jest toczenie skrajnych czopów głównych. W przypadku produkcji masowej frezowanie zgrubne czopów głównych, powierzchni bocznych, przeciwcieżarów oraz czopów korbowych odbywa się metodą planetarną (wał jest nieruchomy, a głowica wykonuje ruch obrotowy i nadążny). Frezowanie kształtujące czopów głównych odbywa się zwykle metodą tocenio-przeciągania, zaś czopów korbowych frezowaniem obrotowym (inaczej zwanym również interpolacyjnym).

Frezowanie może być realizowane głowicami frezarskimi z płytkami skierowanymi do wewnątrz lub na zewnątrz. W produkcji masowej stosuje się dwie głowice z płytkami skierowanymi na zewnątrz i obrabia się po dwa czopy jednocześnie. Natomiast w produkcji seryjnej stosuje się frezowanie głowicą frezarską z płytkami skierowanymi do wewnątrz (dwa rodzaje frezowania – obrotowe i planetarne).

4. Literatura

Feld M, Kaczmarek A, Szadkowski J (1994) Poradnik inżyniera. Obróbka skrawaniem. T.3, Półfabrykaty, automatyzacja procesów technologicznych, projektowanie procesów technologicznych poszczególnych elementów maszyn, automatyzacja projektowania, wybór ekonomicznego wariantu procesu technologicznego. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa.

- Masłow PD, Sasow WW, Nizański GP (1956) Technologia budowy maszyn: Samochody i Ciągniki. Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa.
- Placuch K (2009) Modelowanie śladów obróbki czopa korbowego wału silnika 4C90 głowicą frezową na obrabiarce firmy Heller. Praca dyplomowa magisterska, ATH, Bielsko-Biała.
- Płonka S, Pytlak B, Placuch K (2013) Modelowanie zgrubnego frezowania obrotowego czopów wałów korbowych. Mechanik 86 (12): 1021-1025.
- Płonka S, Pytlak B, Placuch K (2013) Geometrical Modeling Rough Rotary Milling of Crankshaft Pins. Archives of Mechanical Technology and Automation 33 (3): 62 -68.
- Turek M (2003) Technologia obróbki wałów korbowych na obrabiarkach sterowanych numerycznie. Praca dyplomowa magisterska, ATH, Bielsko-Biała.
- Wajand JA (2005) Tłokowe silniki spalinowe średnio i szybkoobrotowe. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa.
- Zajac P (2009) Silniki pojazdów samochodowych. Podstawy budowy oraz główne zespoły i układy mechaniczne. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Zawadzki S (2016) Modelowanie kształtu czopa korbowego wału silnika 4C90 frezowanego planetarnie na obrabiarce firmy Steyr. Praca dyplomowa inżynierska, ATH, Bielsko-Biała.
- <https://www.sandvik.coromant.com/pl-pl/industrysolutions/automotive/engine/pages/crankshaft-solutions.aspx>, data odczytu 22.04.2020.
- https://www.prs.pl/uploads/p8p_pl.pdf, data odczytu 22.04.2020.

6. Wykorzystanie Metody Różnic Skończonych w analizie cienkiej płyty prostokątnej

The use of Finite Differences Method in thin rectangular plate analysis

Cieślak Kacper⁽¹⁾, Śliwka Mateusz⁽²⁾, Kubok Tymoteusz⁽³⁾

⁽¹⁾ Katedra Samochodów i Silników, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

⁽²⁾ Katedra Podstaw Budowy Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

⁽³⁾ Kierunek Automatyka i Robotyka, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Cieślak Kacper: kcieslar@ath.bielsko.pl

Słowa kluczowe: metody numeryczne, zastosowanie szeregów trygonometrycznych, metoda Naviera, płyta prostokątna.

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wykorzystanie metody różnic skończonych w analizie cienkiej płyty prostokątnej. Istnieje wiele metod analizy tego typu zagadnień począwszy od metod analitycznych, czyli metod bazujących na przykład na szeregach trygonometrycznych (metoda Naviera) oraz metod numerycznych. Metody numeryczne pozwalają często zastąpić złożony problem niemożliwy do rozwiązania analitycznie prostszym dającym się zaprogramować. W przypadku płyt równanie ugięcia wyrażone jest równaniem różniczkowym cząstkowym 4-tego rzędu. W metodzie różnic skończonych zastępuje się je analogami różnicowymi, w przypadku niniejszego artykułu różnicami skończonymi centralnymi. Wyniki otrzymane za pomocą MRS porównano z metodą elementów skończonych oraz metodą analityczną. Od wyboru schematu, rodzaju siatki, sposobu aproksymacji pochodnych zależy stabilność i dokładność metody numerycznej.

1. Wstęp

Metoda różnic skończonych jest jedną z najstarszych metod numerycznych, polegających na zastępowaniu równań różniczkowych i warunków brzegowych ilorazami różnicowymi. Zagadnienie rozwiązania równania różniczkowego z warunkami brzegowymi sprowadza się do rozwiązania układu równań algebraicznych lub do problemu wartości i wektorów własnych macierzy (Pietrzak 1986). Jest to więc metoda przybliżona i w przeciwieństwie do metod analitycznych rozwiązanie otrzymuje się nie w całym rozpatrywanym obszarze, ale tylko w pewnych jego punktach - węzłach. Zbiór wszystkich węzłów obszaru zwany jest siatką, która w MRS jest regularna. W przypadku równania różniczkowego o pochodnych cząstkowych najczęściej stosowana jest regularna siatka kwadratowa (prostokątna) dla zagadnień 2D lub sześcienna (prostopadłościenna) w zagadnieniach trójwymiarowych. Funkcja $u(x,y)$ aproksymowana jest na siatce prostokątnej o wymiarach oczek $\Delta x \times \Delta y$, a wartość tej funkcji zależy od współrzędnych dyskretnych wyrażonych jako $u(i\Delta x, j\Delta y)$, gdzie i, j , są numerami kolumny i wiersza (Roknuzzaman i in.2017).

$$u_{i,j} = u(x_0, y_0),$$

$$u_{i+1,j} = u(x_0 + \Delta x, y_0),$$

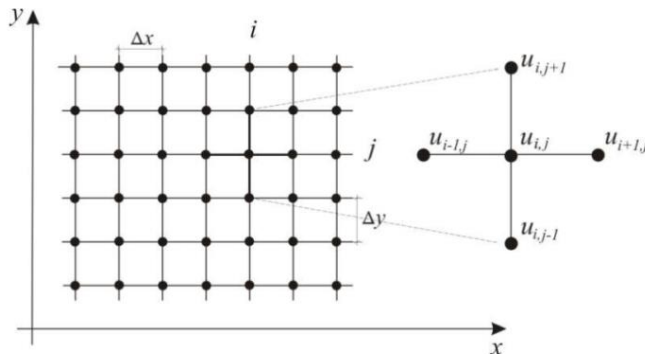
$$u_{i-1,j} = u(x_0 - \Delta x, y_0),$$

$$u_{i,j+1} = u(x_0, y_0 + \Delta y)$$

$$u_{i,j-1} = u(x_0, y_0 - \Delta y)$$

Klasyczną metodą konstruowania analogu różnicowego jest rozwinięciem w szereg Taylora funkcji $u(x,y)$ ciągłej i różniczkowalnej w otoczeniu punktu x_0 :

$$u(x_0 + \Delta x, y_0) = u(x_0, y_0) + \frac{\Delta x}{1!} \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x_0} + \frac{\Delta x^2}{2!} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Big|_{x_0} + \frac{\Delta x^3}{3!} \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} \Big|_{x_0} + \dots$$



Rys. 7. Prostokątna siatka różnicowa (<http://www.strzelecki.net.pl/media/pliki/informatyka-pp/Projekt%207-%20Metoda%20Roznic%20Skonczonych%20Cz.%201.pdf>).

Rozwinięcie w szereg Taylora jest najbardziej znanym sposobem wyprowadzania analogów różnicowych. Istnieje jednakże szereg innych metod, a jedną z nich jest wyrażenie pochodnej funkcji przez sumę wartości funkcji w sąsiednich węzłach siatki przemnożonych przez nieznane współczynniki (<http://www.strzelecki.net.pl/media/pliki/informatyka-pp/Projekt%207-%20Metoda%20Roznic%20Skonczonych%20Cz.%201.pdf>).

2. Materiał i metody

Analizie poddano płytę prostokątną o wymiarach:

$$a = 250 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 1 \text{ mm}$$

Obciążoną w pierwszym przypadku siłą skupioną:

$$P = 60 \text{ N}$$

oraz w drugim przypadku obciążoną równomiernie na całym obszarze $p(x,y)=q$:

$$p = \frac{P}{a \cdot b} = \frac{60}{250 \cdot 150} = 0,0016 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Materiał płyty to stal o parametrach:

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,3$$

Równanie płyty to (Jemioło i Szwed 2015):

$$K \Delta \Delta w = p$$

gdzie:

p – jednostkowe obciążenie powierzchniowe płyty

w – ugięcie płyty

K – sztywność płytowa

$$K = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

W celu wyznaczenia funkcji ugięcia zastosowano metodę analityczną – metodę Naviera wykorzystującą podwójne szeregi trygonometryczne.

2.1 Zastosowanie równań Naviera

Równanie ugięcia płyty obciążonej siłą skupioną

Równanie ugięcia płyty obciążonej siłą skupioną na środku (w punkcie uv) ma postać (Jemioło i Szwed 2015):

$$w(x_1x_2) = \frac{4P}{abK\pi^4} \sum_m \sum_n \frac{\sin \frac{m\pi u}{a} \sin \frac{n\pi v}{b}}{\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)^2} \sin \frac{m\pi x_1}{a} \sin \frac{n\pi x_2}{b}$$

gdzie:

$$u = x_1 = \frac{a}{2} = 125 \text{ mm}$$

$$v = x_2 = \frac{b}{2} = 75 \text{ mm}$$

$$m = n = 1$$

K – sztywność płytowa

$$w_{\max} = 0,94 \text{ mm}$$

Równanie ugięcia płyty obciążonej równomiernie

Funkcję obciążenia przedstawia się w postaci podwójnego szeregu sinusowego, o współczynnikach (Jemioło i Szwed 2015):

$$\alpha_m = \frac{(2m-1)\pi}{a}$$

$$\beta_n = \frac{(2n-1)\pi}{b}, m, n \in N$$

Obciążenie jest funkcją stałą na obszarze płyty, całkowanie wykonuje się po obu zmiennych – współrzędnych (Jemioło i Szwed 2015):

$$\begin{aligned} q_{mn} &= \frac{4q}{ab} \int_0^a \sin \alpha_m x dx \int_0^b \sin \beta_n y dy = \frac{4q}{ab} \left[-\frac{1}{\alpha_m} \cos \alpha_m x \right]_0^a \left[-\frac{1}{\beta_n} \cos \beta_n y \right]_0^b = \\ &= \frac{4q}{ab \alpha_m \beta_n} (1 - \cos m\pi)(1 - \cos n\pi) = \frac{16q}{ab \alpha_m \beta_n}, \text{ dla } m, n = 1, 3, 5, \dots \end{aligned}$$

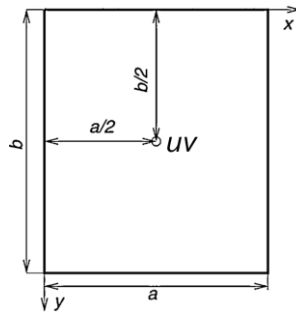
Współczynniki rozwinięcia funkcji obciążenia q_{mn} i ugięcia w_{mn} :

$$q_{mn} = \frac{16q}{ab \alpha_m \beta_n}$$

$$w_{mn} = \frac{q_{mn}}{D(a_m^2 + \beta_n^2)^2}$$

Funkcja ugięcia ma postać (Jemioło i Szwed 2015):

$$w(x_1x_2) = \frac{16qa^4b^4}{D\pi^6} \sum_m \sum_n \frac{\sin\left[\frac{(2m-1)\pi}{a} x_1\right] \sin\left[\frac{(2n-1)\pi}{b} x_2\right]}{(2m-1)(2n-1)[(2m-1)^2 b^2 + (2n-1)^2 a^2]^2}$$



Rys. 8. Płyta prostokątna.

gdzie:

$$u = x_1 = \frac{a}{2} = 125 \text{ mm},$$

$$v = x_2 = \frac{b}{2} = 75 \text{ mm},$$

$$m = n = 1,$$

$$q = 0,0016 \text{ N / mm}^2,$$

$$w_{\max} = 0,38 \text{ mm}.$$

2.2 Metoda różnic skończonych

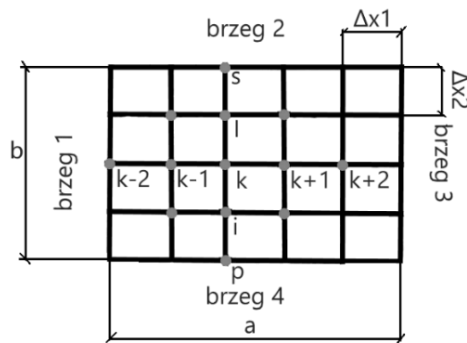
$$k\Delta\Delta w = p,$$

gdzie:

$p(x,y)$ – obciążenie płyty,

K – sztywność płyty,

$$\Delta = \left(\frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k \right) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k \right) = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right).$$



Rys. 9. Podział płyty przy pomocy siatki różnicowej.

$$\Delta\Delta w = \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p}{K}.$$

Jest to równanie różniczkowe cząstkowe 4-tego rzędu. Należy zastąpić pochodne cząstkowe różnicami skończonymi, w celu uzyskania postaci różnicowej (Jemioło i Szwed 2015):

$$\frac{\Delta^4 w_k}{\Delta x^4} + 2 \frac{\Delta^4 w_k}{\Delta x^2 \Delta y^2} + \frac{\Delta^4 w_k}{\Delta y^4} = \frac{p_k}{K}.$$

Poszczególne różnice skończone po wyprowadzeniu w punkcie k i wstawieniu do równania powyżej daje:

$$\begin{aligned} & 20w_k - 8(w_{k-1} + w_I + w_{k+1} + w_i) + 2(w_{i-1} + w_{I-1} + w_{i+1} + w_{I+1}) + w_{k-2} + w_p + w_{k+2} + w_s \\ & = \frac{p_k s^4}{D}, \\ & 20w_{k-1} - 8(w_{k-2} + w_{I-1} + w_k + w_{i-1}) + 2(w_{i-2} + w_{I-2} + w_i + w_I) + w_{k-3} + \\ & + w_{p-1} + w_{k+1} + w_{s-1} = \frac{p_{k-1} s^4}{D}. \end{aligned}$$

Jest to postać różnicowa cząstkowego równania różniczkowego ugięcia jednorodnej płyty, poddanej zewnętrznemu obciążeniu p , przy założeniu, że $\Delta x_1 = \Delta x_2$ (stała siatka podziału). Rozpisując równania różnicowe dla poszczególnych węzłów siatki podziału płyty należy dodatkowo uwzględnić tak zwane warunki brzegowe w postaci różnicowej.

Brzeg 1

$$\begin{aligned} w_{I-2} &= w_{k-2} = w_{i-2} = w_{p-2} = 0 \\ w_{k-1} &= -w_{k-3} \\ w_{I-1} &= -w_{I-3} \\ w_{i-1} &= -w_{i-3} \\ w_{p-1} &= -w_{p-3} \end{aligned}$$

Brzeg 2

$$\begin{aligned} w_{I+3} &= w_{k+3} = w_{i+3} = w_{p+3} = 0 \\ w_{k+2} &= -w_{k+4} \\ w_{I+2} &= -w_{I+4} \\ w_{i+2} &= -w_{i+4} \\ w_{p+2} &= -w_{p+4} \end{aligned}$$

Brzeg 3

$$\begin{aligned} w_{I-2} &= w_{I-1} = w_I = w_{I+1} = w_{I+2} = w_{I+3} = 0 \\ w_s &= -w_k \\ w_{s-2} &= -w_{k-2} \\ w_{s-1} &= -w_{k-1} \\ w_{s+1} &= -w_{k+1} \\ w_{s+2} &= -w_{k+2} \\ w_{s+3} &= -w_{k+3} \end{aligned}$$

Brzeg 4

$$w_{p-2} = w_{p-1} = w_p = w_{p+1} = w_{p+2} = w_{p+3} = 0$$

$$w_i = -w_r$$

$$w_{i-2} = -w_{r-2}$$

$$w_{i-1} = -w_{r-1}$$

$$w_{i+1} = -w_{r+1}$$

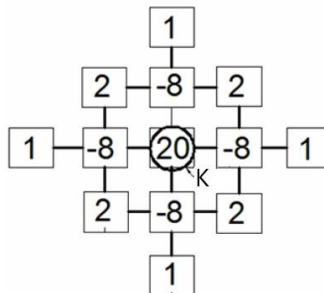
$$w_{i+2} = -w_{r+2}$$

$$w_{i+3} = -w_{r+3}$$

Rozwiązania dla MRS otrzymano przy pomocy dodatku Solver w programie Excel, korzystając z równania:

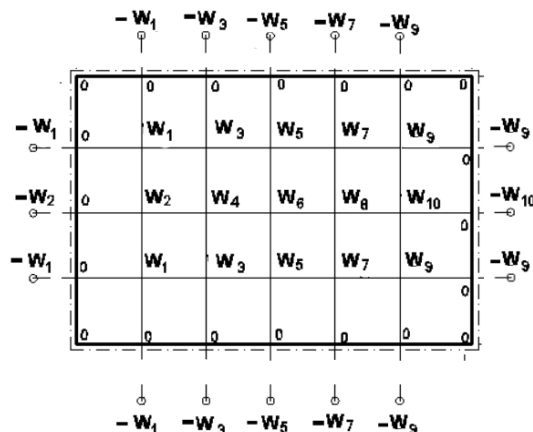
$$20w_k - 8(w_{k-1} + w_l + w_{k+1} + w_i) + 2(w_{i-1} + w_{l-1} + w_{i+1} + w_{l+1}) + w_{k-2} + w_p + w_{k+2} + w_s = \frac{p_k s^4}{D}$$

Każdy punkt w_k wymaga do obliczeń znajomości wartości punktów sąsiadujących (tworzy się układ równań, jak na zdjęciu poniżej).



Rys. 10. Graficzna prezentacja współczynników wyrażen dla węzłów MRS dla różnych lokalizacji węzłów.

To wymaga również dodania fikcyjnych punktów znajdujących się poza obszarem płyty, przy czym wartości tych punktów zależne są od sposobu podparcia płyty. Dla przypadku jak w zadaniu czyli płyty swobodnie podpartej punkt sąsiadujący z podparciem (dla którego ugięcie wynosi 0) jest równy co wartości punktowi dodatkowemu (niezbędnemu do obliczeń MRS), ale m a przeciwny znak (jak na zdjęciu poniżej – dla przypadku jak w zadaniu).



Rys. 11. Graficzna prezentacja węzłów płyty.

Wyniki otrzymane przy pomocy programu EXCEL:

Równanie ugięcia płyty obciążonej siłą skupioną:

		Fikcyjne węzły							
		Podpora							
x→	y↓								
			-0,12656	-0,2516	-0,33271	-0,2516	-0,12656		
		0	0	0	0	0	0	0	
		-0,12656	0	0,12656	0,2516	0,33271	0,2516	0,12656	-0,12656
		-0,18714	0	0,18714	0,38631	0,55336	0,38631	0,18714	0
		-0,12656	0	0,12656	0,2516	0,33271	0,2516	0,12656	-0,12656
		0	0	0	0	0	0	0	0
			-0,12656	-0,2516	-0,33271	-0,2516	-0,12656		

Rys. 12. Ugięcie płyty w węzłach dla siły skupionej.

Liczba węzłów wynosi 15. Do znalezienia rozwiązania wykorzystano poniższą zależność:

$$\frac{p_k s^4}{D} = 1,95 \text{ mm}$$

gdzie:

$$s = \Delta x_1 = \Delta x_2 = 50 \text{ mm}.$$

Dla obciążenia skupionego 60 N maksymalne ugięcie:

$$w_{k \max} = 0,553 \text{ mm}.$$

Ugięcie płyty obciążonej równomiernie

		Fikcyjne węzły							
		Podpora							
x→	y↓								
			-0,1016	-0,16504	-0,18595	-0,16504	-0,1016		
		0	0	0	0	0	0	0	0
		-0,1016	0	0,101598	0,16504	0,185952	0,16504	0,10160	-0,1016
		-0,14055	0	0,140552	0,2292	0,258553	0,2292	0,14055	0
		-0,1016	0	0,101598	0,16504	0,185952	0,16504	0,1016	-0,1016
		0	0	0	0	0	0	0	0
			-0,1016	-0,16504	-0,18595	-0,16504	-0,1016		

Rys. 13. Ugięcie płyty w węzłach dla obciążenia równomiernego.

Liczba węzłów wynosi 15. Do znalezienia rozwiązania wykorzystano poniższą zależność:

$$\frac{p_k s^4}{D} = 0,13 \text{ mm}$$

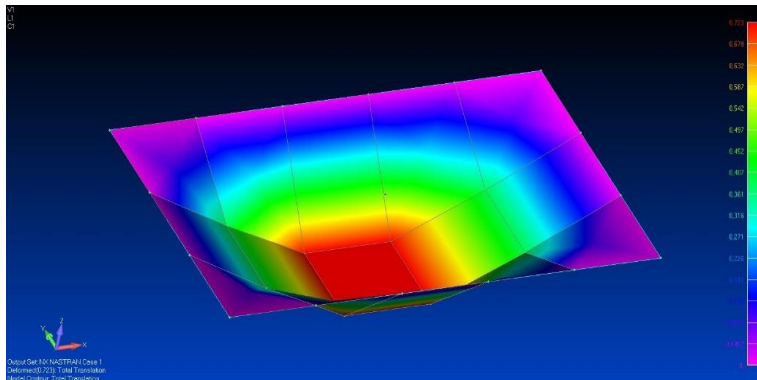
gdzie:

$$s = \Delta x_1 = \Delta x_2 = 50 \text{ mm},$$

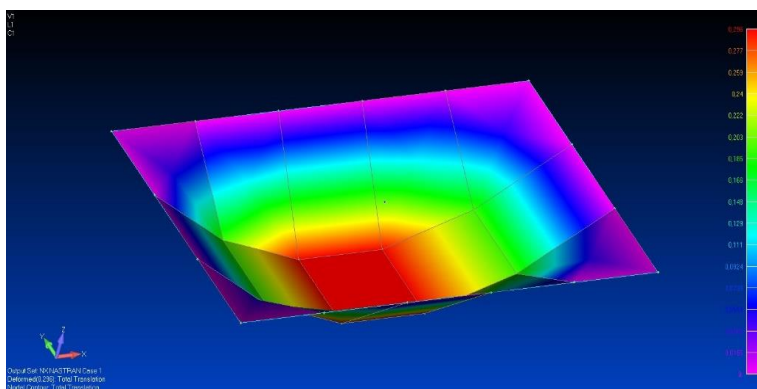
Dla obciążenia ciągłego równomiernego (60 N na powierzchni 250x150 mm) maksymalne ugięcie:

$$w_{k \max} = 0,259 \text{ mm}$$

Modelowanie ugięcia płyty obciążonej siłą skupioną zostało przeprowadzone również z wykorzystaniem programu FEMAP dla 15 elementów. Obliczenia MES miały na celu stwierdzenie poprawności wykonania obliczeń metodą różnic skończonych. Pracę w programie rozpoczęto od zdefiniowania punktów narożnych: 1 = (125,75,0), 2 = (125,-75,0), 3 = (-125,75,0), 4 = (-125,-75,0) modelowanej płyty (a = 250 mm, b = 150 mm). Następnie wybrano materiał płyty (stal o stałych materiałowych: E=210 GPa i ν=0,3). Wybrano element płytowy i określono jego grubość: 1 mm. Kolejnym etapem było zdefiniowanie rozmiaru wielkości elementu skończonego siatki dyskretyzującej model $\Delta x_1 = \Delta x_2 = 50 \text{ mm}$ oraz określenie warunków brzegowych (płyta podparta na wszystkich czterech brzegach przegubowo), odebranie stopni swobody. Zadano obciążenie prostopadłe do płyty w jej środku o wartości F = 60 N. Wyniki analizy ugięcia płyty obciążonej siłą skupioną w środku przy F = 60 N przedstawiono na rysunku poniżej. Maksymalne ugięcie $w_{\max}$ wynosi 0,723 mm.



Rys. 14. Siła skupiona – ugięcie, mm.



Rys. 15. Obciążenie równomierne – przemieszczenie, mm.

W oparciu o obliczenia numeryczne wykorzystujące MES symulowana płyta obciążona na powierzchni dozna maksymalnego ugięcia na poziomie 0,296 mm. Przedstawiona płyta została podzielona na 15 elementów. Taki podział może wpływać na dokładność obliczeń. Wyniki ugięć płyty wyznaczone na podstawie symulacji MES, MRS oraz ze wzorów Naviera zgromadzono w Tab. 1. W tablicy zestawiono również błędy metod numerycznych względem wyników uzyskanych z równań Naviera.

Tab. 1. Zestawienie wyników dla dwóch przypadków obciążenia.

Obciążenie skupione				
Równ. Naviera	MRS		MES	
w_{max}	w_k	Błąd	w_{max}	Błąd
mm	mm	%	mm	%
0,94	0,553	41,17%	0,723	23,09%
Obciążenie ciągłe na powierzchni				
Równ. Naviera	MRS		MES	
w_{max}	w_k	Błąd	w_{max}	Błąd
mm	mm	%	mm	%
0,38	0,259	31,84%	0,296	22,11%

3. Dyskusja

Metoda różnic skończonych umożliwia rozwiązanie złożonych zagadnień inżynierskich. Zależnie od rodzaju zagadnienia wykorzystuje się różne metody różniczkowania. Przykładowo dla zagadnienia początkowego najprostszą metodą różniczkowania jest metoda Eulera. W metodzie tej aproksymujemy pochodną ilorazem różnicowym, wykorzystując różnice przednie. Zasadniczą wadą jawnej metody Eulera jest obliczanie wartości y w następnym kroku na podstawie pochodnej odpowiadającej wartościom zmiennych z poprzedniego kroku. Metodę różnic skończonych można na przykład poprawić, jeśli wykorzystamy do aproksymacji pochodnej w równaniu różniczkowym różnice centralne zamiast różnic przednich (tą metodę wykorzystano w zadaniu ze względu na jego charakter). W przypadku płyty równanie różniczkowe cząstkowe 4-tego rzędu zastępujemy różnicami skończonymi co znacznie ułatwia obliczenia. Przy czym należy pamiętać, że rozpisując równania różnicowe dla poszczególnych węzłów siatki podziału płyty należy uwzględnić warunki brzegowe w postaci różnicowej. Rozłożenie siły 60 N na powierzchni całej płyty spowodowało prawie trzykrotnie mniejsze ugięcie niż w przypadku siły skupionej w środku płyty. Dodatkowo zwiększenie liczby węzłów powoduje zwykle otrzymanie dokładniejszego wyniku. Otrzymane wyniki metodami MES i MRS wykazały znaczny błąd względem metody analitycznej. Poprawa wyniku wymagałaby zagęszczenia siatki dla obu metod. Walidacja modelu numerycznego oraz modyfikacja siatki będą celem dalszych prac.

4. Literatura

- Jemioło S, Szwed A (2015) Płyty i membrany oraz skręcanie prętów pryzmatycznych. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej.
- Pietrzak J, Rakowski G, Wrześniowski K (1986) Macierzowa analiza konstrukcji. PWN.
- Roknuzzaman M, Ahmed TU, Hossain MB (2017) Application of Finite Difference Method for the Analysis of a Rectangular Thin Plate with Eccentric Opening. International Conference on Planning, Architecture and Civil Engineering, At Rajshahi University of Engineering & Technology, Rajshahi, Bangladesh: 89-94
- <http://www.strzelecki.net.pl/media/pliki/informatyka-pp/Projekt%207%20Metoda%20Roznic%20Skonczonych%20Cz.%201.pdf>

7. Analiza i porównanie metod optymalizacji topologicznej z wykorzystaniem MES

Analysis and comparison of topology optimization algorithms using FEM

Maciej Krulak^(1, 2), Bogdan Dybała⁽¹⁾

⁽¹⁾ Katedra Technologii Laserowych, Automatyzacji i Organizacji Produkcji, Politechnika Wrocławska

⁽²⁾ UTC Aerospace Systems Wrocław

Maciej Krulak: maciej.krulak@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: projektowanie, wytwarzanie przyrostowe, metody obliczeniowe

Streszczenie

Optymalizacja Topologiczna jest metodą pozwalającą na optymalne rozmieszczenie materiału w konstrukcji biorąc pod uwagę zbiór wymagań jakie dana konstrukcja ma spełniać. Stosowanie optymalizacji topologicznej w połączeniu z metodą elementów skończonych pozwala na znalezienie rozwiązań konstrukcyjnych, które byłyby nieosiągalne poprzez wykorzystanie tradycyjnych metod projektowania. Tematem artykułu jest przegląd najpopularniejszych dostępnych algorytmów optymalizacji topologicznej oraz ich porównanie. W celu oceny możliwości oraz cech charakterystycznych wybranych metod, zaprezentowane będą rezultaty działania algorytmów dla strukturalnych problemów dwuwymiarowych przy różnych warunkach obciążenia. Dodatkowo w porównaniu uwzględniony zostanie wpływ parametrów wejściowych, właściwych dla każdego algorytmu, na przebieg procesu optymalizacji. Rozpatrywanym zagadnieniem będzie poszukiwanie takiego rozkładu materiału, który będzie minimalizował podatność konstrukcji przy zadanym stosunku objętości początkowej do objętości docelowej. Na podstawie otrzymanych wyników, wskazane zostaną potencjalne korzyści oraz problemy wynikające z wykorzystania poszczególnych algorytmów optymalizacji topologicznej.

1. Wstęp

Wraz z rozwojem przyrostowych metod wytwarzania wzrasta swoboda projektowania. Konstrukcje o kształtach, których wcześniej nie dało się wytworzyć, lub takie które były bardzo kosztowne do wytworzenia, teraz mogą być dosyć łatwo wyprodukowane przy pomocy technologii przyrostowych („druku 3d”). Na rynku wciąż pojawiają się nowe systemy wytwórcze, pozwalające na wykorzystywanie nowych materiałów oraz zapewniające coraz wyższą jakość wytwarzanych elementów. Swoboda kształtowania elementów, które mogą być wytwarzane przyrostowo, sprawia, że wzrasta potrzeba stworzenia narzędzi, które pozwolą inżynierom konstruktorom na wykorzystanie w pełni potencjału nowych technologii. Jednym z rozwiązań może być wykorzystanie optymalizacji.

Techniki optymalizacji można podzielić na takie, które są wykorzystywane na wczesnym etapie projektowania, w fazie koncepcyjnej, oraz takie, które służą do poprawienia istniejącej już konstrukcji. Technikami optymalizacji, które wspomagają konstruktorów w fazie koncepcyjnej są optymalizacja topologiczna oraz optymalizacja topograficzna. Optymalizacja topograficzna jest dedykowana głównie do struktur cienkościennych, w związku z tym nie znajduje zastosowania w optymalizacji części wytwarzanych metodami przyrostowymi. Optymalizacja topologiczna odpowiada na pytanie jak rozmieścić materiał wewnątrz konstrukcji, aby w sposób optymalny spełniał wymagania stawiane przed konstrukcją. W związku z tym optymalizacja topologiczna jest naturalnym kandydatem do wykorzystania przy projektowaniu części przeznaczonych do wytwarzania metodami przyrostowymi.

W praktyce konstrukcyjnej każdy projektowany element musi spełniać wymagania, które są zdefiniowane bezpośrednio dla tego elementu lub dla systemu, do którego należy. Niezbędnym elementem oceny spełnienia tych wymagań jest metoda obliczeniowa, która pozwoli ocenić jak pod wpływem zadanych obciążeń/wymuszeń zachowa się projektowany element. Taką metodą jest metoda elementów skończonych. Jest ona powszechnie stosowanym narzędziem w biurach

konstrukcyjnych na całym świecie w rozwiązywaniu m.in. zagadnień strukturalnych, termicznych, przepływowych. W trakcie optymalizacji topologicznej obliczenia z wykorzystaniem MES dostarczają kluczowych informacji: czy element nie narusza spełnianych wymagań konstrukcyjnych oraz jak wprowadzane zmiany wpływają na wartości funkcji celu. Mimo, że obliczenia są nieodłączną częścią optymalizacji topologicznej, sam solver obliczeniowy nie musi wchodzić w skład algorytmu. Można wykorzystać do tego celu komercyjne pakiety obliczeniowe, należy jednak zapewnić przepływ informacji między algorytmem, a solverem obliczeniowym.

2. Opis zagadnienia

Zadanie optymalizacji topologicznej sprowadza się do rozmieszczenia materiału w narzuconej z góry przestrzeni konstrukcyjnej. Rozmieszczenie materiału jest opisane funkcją $\rho(x)$ – gęstość w funkcji położenia. Celem optymalizacji jest znalezienie rozmieszczenia materiału, która minimalizuje funkcję celu F , przy uwzględnieniu wytycznych zdefiniowanych poprzez funkcje ograniczeń G_i . Do znanych wytycznych należą zadane obciążenia, miejsca podparcia elementu/połączeń ze współpracującymi elementami oraz opcjonalnie dodatkowe ograniczenia, np. rozmiar i rozmieszczenie otworów. Rozmiar, kształt oraz zarys struktury nie są z góry narzucone (Bendsøe i Sigmund 2004). Matematyczne sformułowanie problemu, przyjmując notację zaproponowaną w (Sigmund i Maute 2013) można przedstawić następująco:

$$\begin{aligned} \min_{\rho} \quad & F(u(\rho), \rho) = \sum_i \int_{\Omega_i} f(u(\rho_i), \rho_i) dV && F: \text{funkcja celu} \\ \text{przy: } \quad & G_o(\rho) = \sum_i v_i \rho_i - V_0 \leq 0 && G: \text{funkcje ograniczeń} \\ & : G_j(u(\rho), \rho) \leq 0, j = 1, \dots, M && \rho(x) - \text{gęstość} \\ & : 0 \leq \rho_i \leq 1, i = 1, \dots, N \end{aligned}$$

Funkcja celu definiuje kryterium optymalizacji. Do najczęściej stosowanych kryteriów należą minimalizacja masy, minimalizacja podatności – maksymalizacja sztywności. Funkcje ograniczeń w praktycznych zastosowaniach dotyczą dopuszczalnych poziomów napreżeń, deformacji, dopuszczalnej temperatury w danym punkcie. Klasyczna definicja optymalizacji topologicznej dopuszcza, aby funkcja gęstości przyjmowała wartości 0 lub 1. Przy takim podejściu wartość 0 oznacza brak materiału, a 1 obecność materiału w punktach należących do przestrzeni konstrukcyjnej Ω . Takie podejście, mimo że najbardziej intuicyjne, niesie ze sobą pewne ograniczenia. Nie pozwala na wykorzystanie efektywnych technik optymalizacyjnych opierających się na wyliczaniu gradientu. Rozwiązaniem jest założenie, że gęstość może przyjmować wartości z ciągłego przedziału od 0 do 1 (Sigmund i Maute 2013). Wadą tego podejścia są trudne w interpretacji wyniki. W praktyce ten problem rozwiązuje się poprzez arbitralne przyjęcie wartości ρ , przy której punkty nadal są traktowane jako część zoptymalizowanej struktury, natomiast punkty z ρ mniejszym od tej wartości są traktowane jako brak materiału.

3. Przegląd literatury

Środowisko naukowe zajmujące się zagadnieniem optymalizacji topologicznej podjęło się publikowania algorytmów optymalizacji topologicznej w postaci zwięzłych kodów pozwalających na rozwiązanie prostych przypadków 2D. Jako pierwszy swój kod opublikował (Sigmund 2001). Udostępnił skrypt w programie Matlab, który w 99 liniach kodu, rozwiązuje zadanie optymalizacji topologicznej metodą SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization). Kolejna wersja tego algorytmu została opublikowana przez (Andreassen i in. 2011), kod został skrócony do 88 linii, została w nim dodana kolejna metoda filtrowania bazująca na wrażliwości. Metoda Level-Set została udostępniona w postaci skryptu przygotowanego w Matlabie przez (Challis 2010). Kod opublikowany przez (Otomori i in. 2015) połączył metodę Level-Set z metodą pochodnej topologicznej, która

uzupełnia metodę level-set o możliwość generowania otworów w strukturze bez potrzeby reinicjalizacji funkcji level-set.

Kolejną rodziną algorytmów optymalizacji topologicznej są algorytmy ewolucyjne. Najbardziej popularnymi przedstawicielami algorytmów ewolucyjnych są: algorytm ESO – Evolutionary Structural Optimization (Xie i Steven 1993) oraz jego zmodyfikowana forma algorytm BESO – Bidirectional Evolutionary Structural Optimization (Yang i in. 1999). Kod algorytmu BESO został udostępniony m.in. w formie zwięzłego kodu napisanego w Matlabie (Xia i in. 2018). Według (Plocher i Panesar 2019) do algorytmów, które są wykorzystywane w oprogramowaniu pozwalającym na optymalizację topologiczną, należą: algorytmy bazujące na gęstości – 50% (do tej grupy zalicza się algorytm SIMP), algorytmy hybrydowe – 33%, algorytmy Level-Set – 11% oraz algorytmy ewolucyjne – 5%. W dalszej części artykułu opisane zostanie działanie algorytmu SIMP, Level-Set oraz BESO. Działanie algorytmu SIMP oraz Level-Set zostanie pokazane na przykładach.

W metodzie SIMP przestrzeń konstrukcyjna jest zdyskretyzowana siatką elementów skończonych. Każdy z elementów e ma przypisaną gęstość ρ_e , która wpływa na jego sztywność poprzez przypisany do elementu moduł Younga E_e . Zależność między tymi wartościami jest wyrażona równaniem:

$$E_e = E_{min} + \rho_e^p (E_0 - E_{min}), \rho_e \in [0,1]$$

E_0 odpowiada sztywności materiału, E_{min} przyjmuje bardzo małą wartość, która zapobiega przyjęciu przez E_e wartości zerowej, co spowodowałoby osobliwość macierzy sztywności. Wartość parametru p jest współczynnikiem penalizacji, który wiąże wartość gęstości z sztywnością elementu. Wpływ parametru p na otrzymane wyniki zostanie zweryfikowany na przykładach. Bardzo ważnym elementem algorytmów bazujących na gęstości jest filtrowanie. Filtrowanie polega na uwzględnianiu w wynikach dla pojedynczego elementu wyników z elementów sąsiednich. Ilość elementów, która zostanie uwzględniona w uśrednianiu, zależy od parametru r_{min} . Wpływ parametru r_{min} na otrzymane rozwiązanie zostanie zweryfikowany na przykładach.

Filtr bazujący na gęstości jest opisany równaniem:

$$\widetilde{\rho}_e = \frac{1}{\sum_{i \in N_e} H_{ei}} \sum_{i \in N_e} H_{ei} \rho_i$$

H_{ei} w równaniu jest współczynnikiem wagi, zależy od parametru r_{min} i wyraża się następująco:

$$H_{ei} = \max(0, r_{min} - \Delta(e, i))$$

$\Delta(e, i)$ oznacza odległość między środkami elementu e oraz sąsiedniego elementu i . N_e jest zbiorem elementów, dla których $\Delta(e, i)$ jest mniejsze od r_{min} .

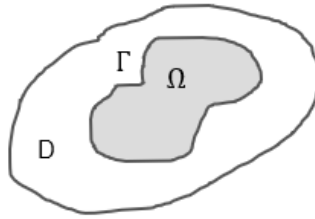
Wadą filtrowania bazującego na gęstości jest to, że gęstość traci w niej swoje fizyczne znaczenie i faktycznym fizycznym rozwiązaniem staje się $\widetilde{\rho}_e$. Alternatywną metodą filtrowania jest metoda bazująca na wrażliwości. Wrażliwością określa się pochodną funkcji celu po gęstości elementu. Po zastosowaniu filtrowania wyraża się wzorem:

$$\frac{\partial \widehat{c}}{\partial \rho_e} = \frac{1}{\max(\gamma, \rho_e) \sum_{i \in N_e} H_{ei}} \sum_{i \in N_e} H_{ei} \rho_i \frac{\partial c}{\partial \rho_i}$$

Parametr $\gamma (=10^{-3})$ występuje w równaniu, aby uniknąć dzielenia przez 0.

Metoda Level-Set, inaczej niż poprzedni algorytm, skupia się na brzegach/konturze optymalizowanej części (Rys. 16). Optymalizacja odbywa się poprzez ewolucję konturu części. Dzięki takiemu podejściu, inaczej niż w przypadku poprzedniego algorytmu, rozwiązanie jest zero-jedynkowe, elementy w przestrzeni ograniczonej konturem, stosując konwencje z poprzedniego

algorytmu, ρ_e przyjmują wartość 1 – obecność materiału. Wszystko, co jest poza konturem, przyjmuje wartość 0.



Rys. 16. Reprezentacja przestrzeni optymalizacji w metodzie Level-Set.

Matematyczna reprezentacja problemu może być opisana:

$$\inf_{\chi\Omega} F|\chi\Omega| = \int_D f_d(x, \chi\Omega) d\Omega + \int_{\Gamma} f_b(x, \chi\Omega) d\Gamma$$

$$\chi\Omega(x) = \begin{cases} 1 & \forall x \in \Omega \\ 0 & \forall x \in D \setminus \Omega \end{cases}$$

D jest przestrzenią konstrukcyjną, Ω jest domeną materiału, Γ jest konturem części.

Algorytm nie byłby kompletny bez możliwości wprowadzania otworów do optymalizowanej części. W implementacji zaproponowanej w (Otomori i in. 2015) jest to realizowane z wykorzystaniem koncepcji pochodnej topologicznej. Wykorzystanie pochodnej topologicznej, nazywane również metodą bąbelkową, zostało zaproponowane do wykorzystania w optymalizacji w (Eschenauer i in. 1994). Metoda polega na wprowadzaniu nieskończenie małych otworów do optymalizowanego obszaru, co następnie, jeżeli okaże się korzystne, będzie skutkowało poszerzaniem się otworu. Ta idea została przystosowana do metody level-set, koncepcja jest przedstawiona na Rys. 17.



Rys. 17. Wprowadzanie otworów do optymalizowanego obszaru.

Nasilenie pojawiania się nowych otworów wewnątrz optymalizowanej przestrzeni rzutuje na to, jak bardzo skomplikowany będzie kształt zoptymalizowanej części. Aby umożliwić kontrolę nad tym istotnym parametrem, autorzy algorytmu wprowadzili parametr regulacyjny τ , który determinuje częstotliwość wprowadzania otworów. Wpływ parametru τ na wyniki zostanie zweryfikowany na przykładach.

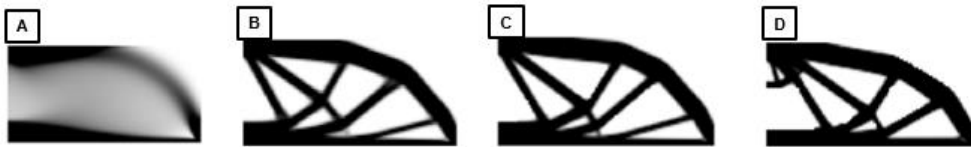
Metoda ewolucyjna w swoich założeniach bazuje na obserwacji przyrody. Struktura drzew, kości, roślin osiąga swój kształt w ramach procesu ewolucji adaptując się do warunków środowiska. Metoda ESO w swojej początkowej wersji bazowała na obliczeniach MES struktury i usuwaniu elementów, w których naprężenie zredukowane były mniejsze niż przyjęta wartość graniczna. Obliczenia są wykonywane iteracyjnie i ostatecznie zostają tylko te elementy, które mają największą rolę w przenoszeniu obciążenia. Wartość graniczna naprężenia, która wpływa na to czy element będzie usunięty, może być sukcesywnie zwiększana między iteracjami. Metoda BESO w porównaniu do metody ESO została rozszerzona o możliwość dodawania elementów. Elementy są „wskrzeszane” w sąsiedztwie elementów, w których naprężenia są wysokie, jednocześnie zachowując podejście algorytmu ESO i usuwając elementy tam, gdzie naprężenia są niskie. Jest to korzystne w sytuacji, gdy algorytm w początkowych iteracjach usunie elementy, które poprawiłyby wyniki dla kształtu, który powstał w późniejszych iteracjach.

Przykłady obliczeniowe zostały przeprowadzone z wykorzystaniem algorytmów opublikowanych w pracach (Andreassen i in. 2011; Otomori i in. 2015).

Badanym zagadnieniem w celu porównania algorytmów i wpływu parametrów na wyniki będzie minimalizacja podatności obiektu z zadaniem ograniczeniem na objętość końcową.

$$\begin{aligned} \min_x c(x) &= U^T K U && \text{U: wektor przemieszczenia} \\ \text{przy: } \frac{V(x)}{V_0} &= f && \text{F: wektor siły} \\ K U &= F && \text{K: macierz sztywności} \\ 0 \leq x &\leq 1 && \text{f: zadany stosunek objętości materiału końcowego} \\ &&& \text{do objętości początkowej} \end{aligned}$$

Rozpatrywane zagadnienie jest 2-wymiarowe. Zastosowane są elementy 4 węzłowe, każdy element ma 2 stopnie swobody na kierunku x i y. Pierwszy przypadek to belka podparta swobodnie z możliwością przesuwu po osi x na jednym końcu oraz po osi y na drugim na całej długości elementu. Taki sposób podparcia w tym zadaniu jest równoznaczny z zadaniem warunku symetrii na krótszym boku. Siła jest przyłożona wzdłuż osi y na podpartym wzdłuż osi x krótszym boku. Drugi przypadek to belka jednostronnie utwierdzona z siłą zadaną na środku wzdłuż 1/16 krawędzi. Miejsce przyłożenia siły nie podlega optymalizacji.



Rys. 18. Wpływ parametru penalizacji na wyniki otrzymane metodą SIMP.

Pierwszy badany przypadek to wpływ parametru penalizacji p na wynik optymalizacji przeprowadzanej metodą SIMP. Parametry użyte w zadaniu są umieszczone w Tab. 2. Wynik optymalizacji jest przedstawiony na Rys. 18. Przyjęcie parametru $P=1$ odpowiada liniowej zależności między gęstością a sztywnością elementów. Skutkuje to rozmyciem wyników, wyniki są dalekie od rozkładu 0-1 i nie mają praktycznego zastosowania. Najlepsze rozwiązanie uzyskano dla parametru $P=3$.

Tab. 2. Wpływ parametru penalizacji w metodzie SIMP: dane wejściowe.

Rozmiar siatki	100x50 A	100x50 B	100x50 C	100x50 D
V/V_0	0.5	0.5	0.5	0.5
P	1	2	3	5
r_{min}	1.5	1.5	1.5	1.5

Drugi badany przypadek to wpływ parametru r_{min} na wyniki otrzymane metodą SIMP. Dane wejściowe zostały opisane w Tab. 3

Tab. 3. Wpływ parametru r_{min} w metodzie SIMP: dane wejściowe.

Rozmiar siatki	100x50 A	100x50 B	100x50 C
V/V_0	0.5	0.5	0.5
P	3	3	3
r_{min}	1	1.5	3

Wpływ filtrowania ma ogromne znaczenie w metodzie SIMP, wyniki zostały przedstawione na Rys. 19. Wpływ parametru r_{min} na wyniki otrzymane metodą SIMP. W przypadku A promień filtrowania był zbyt mały, by objąć sąsiednie elementy, wskutek czego możemy zaobserwować efekt szachownicy: naprzemienne elementy o gęstości 1 i 0. Filtrowanie stosuje się m.in. właśnie po to, by zniwelować efekt szachownicy. W przypadku C można zaobserwować rozmycie konturu oraz znaczące uproszczenie struktury w porównaniu do tej uzyskanej w przypadku B. Zastosowanie zbyt dużego promienia filtrowania może skutkować rozmyciem konturu i prostszą strukturą.

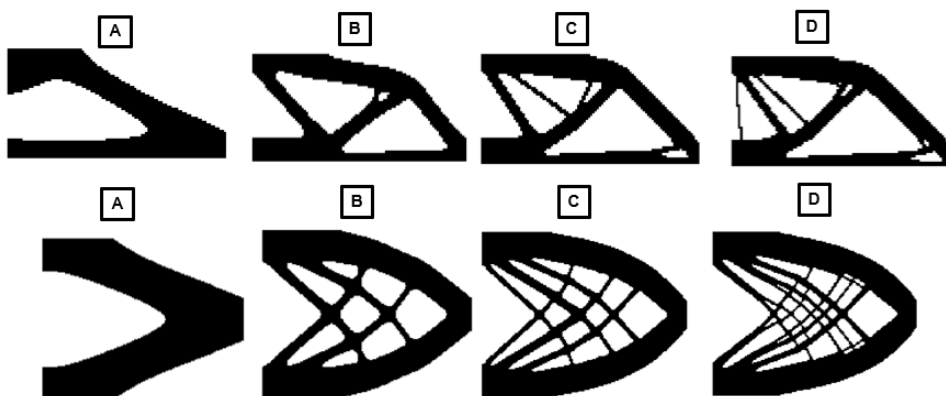


Rys. 19. Wpływ parametru r_{min} na wyniki otrzymane metodą SIMP.

Trzeci badany przypadek to wpływ parametru τ na wyniki uzyskane metodą Level-Set. Został sprawdzony na dwóch przypadkach obciążenia. Wyniki na Rys. 20 pokazują, że parametr regulacyjny τ pozwala na wpływanie na stopień skomplikowania uzyskanej struktury. Wraz z obniżaniem parametru struktura staje się coraz bardziej skomplikowana. Wyniki różnią się znacząco, oznacza to, że parametr ten powinien być świadomie dobierany adekwatnie do pożądaných rezultatów.

Tab. 4. Wpływ parametru τ na metodę Level-Set: dane wejściowe.

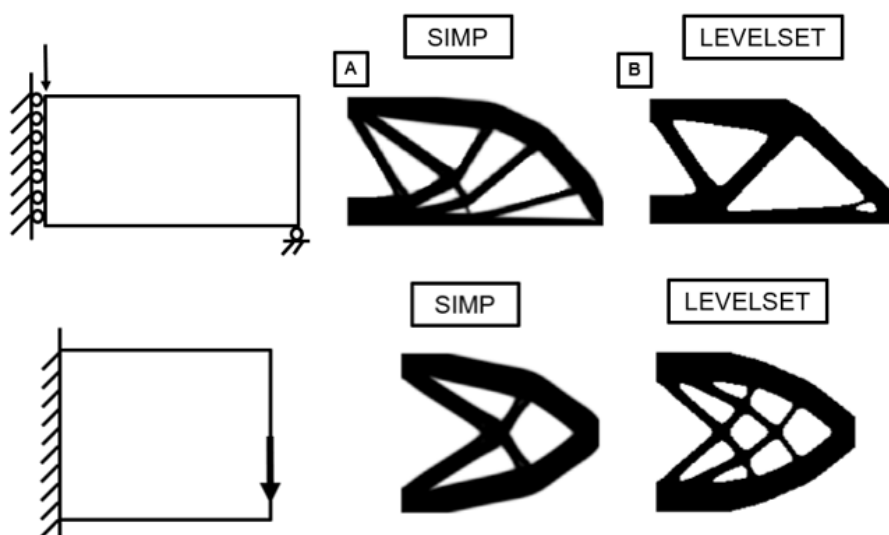
Rozmiar siatki [1]	100x50 A	100x50 B	100x50 C	100x50 D
Rozmiar siatki [2]	160x128 A	160x128 B	160x128 C	160x128 D
V/V_0	0.5	0.5	0.5	0.5
τ -parametr regulacyjny	2e-2	2e-4	2e-5	2e-6



Rys. 20. Wpływ parametru τ na wyniki otrzymane metodą Level-Set.

Ostatni z eksperymentów to porównanie metody Level-set oraz SIMP na dwóch przypadkach obciążenia (Rys. 21). Porównując metodę SIMP i Level-SET dla drugiego przypadku obciążenia widać, że wyniki metody SIMP są bardziej gładkie, ale też mniej skomplikowane. Wyniki metody LS są natomiast bardziej wyraźne, rozkład jest 0/1. Oba rozwiązania są akceptowalne.

W pierwszym przypadku algorytm SIMP wygenerował bardziej skomplikowaną strukturę, w drugim przypadku algorytm Level-Set wygenerował bardziej skomplikowaną strukturę. Należy pamiętać, że inny dobór parametrów mógłby znacząco zmienić rezultaty.



Rys. 21. Porównanie metody SIMP i Level-Set dla dwóch przypadków obciążenia.

4. Podsumowanie i wnioski

Metody SIMP i Level-Set dają dobre wyniki na prostych przykładach, które były rozważane w tej pracy. Warunkiem jest jednak dobór odpowiednich parametrów. Filtrowanie w metodzie SIMP z jednej strony zapobiega efektowi szachownicy, z drugiej strony niesie ze sobą pewne “rozmycie” wyników, co utrudnia ich interpretację. Zaletą metody Level-Set w porównaniu do metody SIMP jest zero-jedynkowość wyników. Parametr τ w przedstawionej metodzie Level-set pozwala na kontrolowanie stopnia skomplikowania otrzymanej konstrukcji. Wyniki otrzymywane w metodzie SIMP, porównując je do wyników metody Level-Set, są bardziej wygładzone przy tych samych rozmiarach zastosowanej siatki.

Przeprowadzone eksperymenty pokazały, że wyniki optymalizacji topologicznej silnie zależą od przyjętych parametrów oraz wykorzystanego algorytmu. Inżynierowie korzystający z optymalizacji topologicznej powinni poznać zasadę działania algorytmów, z których korzystają. Dzięki temu będą znali mocne i słabe strony danej metody oraz będą wiedzieli, które parametry zmieniać, jeśli wynik optymalizacji nie będzie satysfakcjonujący. Pozwoli to na otrzymanie lepszej jakości wyników i ominięcie wielu potencjalnych problemów. Warto rozważyć czy konkretne zadania skorzystałyby na zmianie algorytmu na inny.

Kolejnym krokiem oceny algorytmów jest wykorzystanie do ich oceny komercyjnych pakietów obliczeniowych jako solvera dla iteracji obliczeniowych. Pozwoli to na dodanie ograniczeń na poziom naprężeń w konstrukcji, co jest wymagane w większości praktycznych zastosowań. Podjęta zostanie również próba identyfikacji czy istnieje klasa przypadków/części konstrukcyjnych, w których dany algorytm radzi sobie szczególnie dobrze.

5. Literatura

- Andreassen E, Clausen A, Schevenels M et al. (2011) Efficient topology optimization in MATLAB using 88 lines of code. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 43(1): 1–16.
- Bendsøe MP, Sigmund O (2004) *Topology Optimization - Theory, Methods and Applications*, 1st ed., Springer

- Challis VJ (2010) A discrete level-set topology optimization code written in Matlab. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 41(3): 453–464.
- Eschenauer HA, Kobelev VV, Schumacher A (1994) Bubble method for topology and shape optimization of structures. *Structural Optimization* 8: 42-51.
- Otomori M, Yamada T, Izui K et al. (2015). Matlab code for a level set-based topology optimization method using a reaction diffusion equation. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 51(5): 1159–1172.
- Plocher J, Panesar A (2019) Review on design and structural optimisation in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures. *Materials and Design* 183: 108164.
- Sigmund O (2001) A 99 line topology optimization code written in Matlab. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 21(2): 120–127.
- Sigmund O, Maute K (2013) Topology optimization approaches: A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 48(6): 1031–1055.
- Xia L, Xia Q, Huang X et al. (2018). Bi-directional Evolutionary Structural Optimization on Advanced Structures and Materials: A Comprehensive Review. *Archives of Computational Methods in Engineering* 25(2): 437–478.
- Xie YM, Steven GP (1993). A simple evolutionary procedure for structural optimization. *Computers and Structures* 45: 885-896.
- Yang XY, Xie YM, Steven GP et al. (1999). Bidirectional evolutionary method for stiffness optimization. *AIAA Journal* 37(11): 1483-1488.

8. Analiza parametryczna przestrzeni mezoplace w historycznych jednostkach urbanistycznych

Parametric analysis of mesoplace spaces in historical urban units

Volha Kur

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, WBiA, Katedra Projektowania architektonicznego

Volha Kur: volhakur@gmail.com

Słowa kluczowe: Jednostka urbanistyczna, mezoplace, przestrzeń

Streszczenie

Architektura obejmuje dziedzinę kultury materialnej związanej z tworzeniem sztucznego środowiska. Jedną z najważniejszych funkcji architektury jest realizacja różnych form działalności człowieka. Aby to zrobić, architekci tworzą sztuczne przestrzenie i dzielą je na części. Zasadniczo przestrzeń architektoniczną definiuje się jako całość faktów dotyczących sztucznego środowiska. Należy zauważyć, że jego tworzenie wiąże się z procesami, które pozwalają osobie nie tylko poruszać się w przestrzeni, ale także wdrażać relacje urbanistyczne między ludźmi: ukrywać się przed kimś lub starać się spotkać. W tym celu człowiek tworzy osobiste systemy przestrzenne, które odgrywają rolę prywatnego regulatora. W artykule przedstawiono analizę parametryczną oraz porównawczą wybranych zespołów architektonicznych na podstawie różnych charakterystyk i parametrów w jednej przestrzeni: centralny plac w Krumlovie, plac królewski w Brukseli oraz dziedziniec arkadowy zamku w Krakowie.

1. Wstęp

Place odgrywają dużą rolę w kształtowaniu zarówno miejskiej przestrzeni publicznej, jak i środowiska jako całości. W rzeczywistości są to dość duże częściowo otwarte obszary miejskie, na których skoncentrowana jest duża liczba miejsc ważnych dla mieszkańców miasta. W zależności od celu mogą to być budynki administracyjne, zabytki, centra handlowe, obiekty kulturalne i rozrywkowe. Ogólnie rzecz biorąc, place miejskie można warunkowo przypisać rekreacyjnemu terytorium miasta, ponieważ między innymi można tutaj odpocząć, spotkać się z innymi, spędzić większość wolnego czasu. Dziś wśród ludności miejskiej rośnie zainteresowanie przestrzeniami publicznymi, ponieważ mieszkańiec miasta ma coraz więcej wolnego czasu, który stara się spędzić poza domem.

Narzędzia urbanistyczne tworzą mechanizmy, za pomocą których poszczególne struktury i kompleksy terytorialne łączą się w znaczący łańcuch wydarzeń architektonicznych, kubaturowych i przestrzennych. W każdej działalności związanej z organizacją środowiska architekt i projektant zajmują się przestrzenią trójwymiarową. Osoba obserwująca ocenia świat wizualnie, porównując jego właściwości: płaskość, objętość, głębokość i jego pozycję w stosunku do części tego świata: wewnętrznej lub zewnętrznej. Wrażenia wizualne tworzą pomysły na temat różnych rodzajów przestrzeni jako obiektów projektu. Hierarchia dotyczy różnic poszczególnych form łączących kształty i lokalizację (Królikowski i in. 2017). Przede wszystkim postrzegana jest wielkość i kształt ograniczenia przestrzeni. Place, zgodnie z zasadami urbanistyki, powinny być głównie dla pieszych i służyć do komunikacji między ludźmi. Od kilkadziesiąt lat zachodni planiści miejscy rozwiązują problemy transportowe w megamiastach, przekształcając miasta samochodowe w miasta rowerowe, w miarę możliwości, z różnym powodzeniem.

Mieszkańcy środowiska miejskiego mają tendencję do różnicowania przestrzeni mieszkalnej według kategorii architektonicznych, odpowiadających jej gradacjom wymiarowym. Hierarchią kieruje *superspace* - miasto z jego budynkami i arteriami komunikacyjnymi; jako środkowe ogniwo przestrzenne - *mezospace* - postrzegane strefy mieszkalne, publiczne i przemysłowe, które tworzą funkcjonalnie odrębną integralność; do *mezospace* można również przypisać te części przestrzeni budynków, które są buforowane po przejściu do środowiska zewnętrznego (ulica); *mezoplace* -

ważna część krajobrazu miejskiego, jednostka urbanistyczna która pełni funkcję społeczną, czyli dąży do poprawy jakości środowiska miejskiego, osiągając to za pomocą tych samych zespołów, małych form architektonicznych, drzew, terenów spacerowych itp. Każdy z tych typów przestrzeni ma swoje specyficzne formy organizacji architektonicznej, zwłaszcza jako przedmiot projektowania.

Przedmiotem badań jest *mezoplace* zaprojektowany metodą izolowania różnych przestrzeni w jednej przestrzeni funkcjonalnej, obejmujące prawa strukturalne kształtowania przestrzennego obiektów architektonicznych, określając ich integralności oraz możliwość istnienia jako systemów architektonicznych i przestrzennych. W badaniu fundamentów geometrycznych układu przestrzennego bardzo ważny jest problem podziału całości na części, które muszą być przekazywane w sposób organiczny oraz parametryczny. Układy urbanistyczne budowane przez strefowanie, tak wytrwale propagowane przez modernistów, a przez ich następców negatywnie ocenione (Krier 2001). Struktura strukturalna formy przestrzennej obiektów architektonicznych jest rozpatrywana jako część jej głównych cech: forma geometrycznego podziału przestrzeni na części (*locum*), forma połączenia przestrzeni ze sobą; holistyczno-systemowa formacja, która definiuje sam obiekt architektoniczny i jego nacisk na otoczenie zewnętrzne. Poczucie świętości miejsca, jako czegoś jednolitego weszło w obszar innych wartości - psychologicznych i historycznych (Królikowski i Rylke 2010). Zazwyczaj pojęcie integralności wiąże się z cechą wewnętrzną jedności obiektu, z jego względną niezależnością. Dla architekta taka integralność przestrzenna, jak mieszkanie, podłoga, dom, dzielnica, jednostka urbanistyczna itp., które są zwykle podzielone na niezależne obiekty projektowania.

Podejście do obiektu architektonicznego jako systemu pozwala nam ocenić mechanizm interakcji komponentów w danym systemie, znaczenie indywidualnych wymagań, które determinują decyzję w związku ze zrozumieniem całości, oraz gwarantuje wszechstronność i kompletność rozpatrywania obiektu w interakcji z otoczeniem. Przy tworzeniu dzieła architektonicznego współdziała wiele sił - czynniki stałe i zmienne, których rola nie jest jednoznaczna: planowanie urbanistyczne, planowanie klimatyczne, funkcjonalne, warunki strukturalnie techniczne oraz wymagania architektoniczne, artystyczne, ekonomiczne i operacyjne. Pojęcie „integralności” pojawia się w definicji systemu jako jego zasadniczej właściwości. Patrząc na obiekt z zewnątrz, pojęcie integralności wiąże się z izolacją i niezależnością.

Należy wziąć pod uwagę historyczne precedensy formy miejskiej - jest to udowodnione w teorii i praktyce. Znacznie mniej uwagi poświęca się jednak precedensom opisującym funkcjonowanie miasta lub związek między formą a funkcją.

2. Centralny plac w Krumlovie.

Cesky Krumlov to starożytne miasto położone w południowo-zachodniej części Czech, kilka kilometrów od granicy z Austrią (Rys.1) Słynie z tego, że prawie każdy budynek w nim jest zabytkiem. W rzeczywistości całe miasto znajduje się teraz pod ochroną UNESCO. Miasto wraz z zamkiem kilkakrotnie niszczone było przez pożary. Dzielnice również je odbudowywano lub przebudowywano zgodnie z obowiązującą ówczesnie modą. Co ciekawe, rozwój przemysłu w XIX w. nie wpływa na wygląd starego centrum miasta. Dlatego też przechadzając się dziś uliczkami Českého Krumlova możemy nadal czuć jego średniowieczny i renesansowy charakter. Jego historyczne centrum to unikalny zespół architektoniczny składający się z trzystu starych domów i zamku. Zamek i otaczające go budynki są dziś jedynym przykładem europejskiego średniowiecznego miasta, które zachowało się nietknięte przez ponad pięć wieków. Główny plac Cesky Krumlov nazywa się Place de la Concorde (nám. Svornosti). Na placu znajduje się ratusz, zbudowany w 1519 roku, z herbami Czech, Cesky Krumlov, Rozhemberg i Schwarzenberg. Dziś w ratuszu znajduje się centrum informacyjne, w którym można uzyskać informacje o mieście, oraz muzeum tortur. Na środku placu stoi kolumna zarazy z połączanymi elementami, wzniesiona na początku XVIII wieku. Kolumnę zdobowią posągi ośmiu świętych, patronów miasta i obrońców zarazy. Filar wieńczy figura Matki Boskiej.



Rys. 1. Fragment mapy miasta Krumlov (Plac centralny).

3. Plac Królewski w Brukseli.

Plac Królewski znajduje się w Koudenbergu / Coudenberg, naturalnym wzgórzu na obrzeżach średniowiecznego centrum miasta. Tutaj książę Brabancji zbudował swój zamek w XI wieku. Jego następcy opuścili miasto Leuven, które było starożytną stolicą księstwa, i wybrali zamek w Brukseli jako swoją stałą rezydencję. W ciągu następnych stuleci książęta Burgundii, a później królowie i cesarze Habsburgów dostosowali zamek do swoich potrzeb i życzeń. W latach 1452–1459 Filip z Burgundii zbudował Dziedziniec Magna. Wokół tego placu wiele szlacheckich rodzin budowało swoje rezydencje i budynki. Sam zamek pozostał rezydencją władców i gubernatorów Holandii austriackiej do nocy 3 lutego 1731 r. Tej nocy w kuchni w rezydencji wybuchł pożar. Do następnego dnia cały kompleks królewski leżał w ruinie i nie mógł już być używany. Na szczęście udało się uratować dużą liczbę gobelinów, obrazów i innych dzieł sztuki. W 1769 r. Między władzami miasta Brukseli a dziedzińcem wiedeńskim (cesarzowa Maria Teresa) zdecydowano, że dawny pałac Balinplin powinien zostać odrestaurowany w ówczesnym stylu neoklasycystycznym, stylu oświecenia. Inne europejskie miasta, takie jak Paryż, Nancy i Reims, miały już kwadraty w tym stylu. Odzwierciedlało to nowe pomysły francuskich filozofów Kartezjusza i Woltera. Woleli urbanizację miast zgodnie z planami i ściśle określonymi zasadami, a nie według nielogicznych i dziwacznych metod budowy średniowiecza (Rys. 2).

Do tego czasu Bruksela była w zasadzie typowym średniowiecznym miastem z krętymi uliczkami i małymi bocznymi uliczkami; budowa nowego placu królewskiego nie była możliwa, ponieważ wymagała znacznych przekształceń, które przeprowadzono tylko za panowania króla Leopolda II w XIX wieku. Szlacheckie rodziny kupiły część placu, aby zbudować nowe domy, które jednak musiały przestrzegać surowych zasad architektonicznych, aby zachować jedność stylu. Nowy opat kościoła św. Jakuba zgodził się także zbudować nowy kościół i dwa budynki w zamian za mianowanie go opatem i członkiem Rady Brabancji. Ten neoklasycystyczny kościół został później zwieńczony małą wieżą, która tak naprawdę nie pasuje do stylu reszty budynku.



Rys. 2. Fragment mapy miasta Bruksela (Plac Królewski).

4. Dziedziniec Arkadowy w Krakowie.

Zamek, zbudowany w XV wieku, był rezydencją książąt mazowieckich. Po przeniesieniu stolicy z Krakowa stała się siedzibą króla i władz. Zamek był wielokrotnie przebudowywany, a podczas II wojny światowej został zniszczony. Został zrekonstruowany w latach 1971–1988 przy użyciu zachowanych fragmentów. Od strony Wisły gruntownie odrestaurowano Arkady Kubickiego, które wspierały przybrzeżne zbocze Zamkiem, nadając monumentalny wygląd elewacji parku. Po powstaniu w 1831 r. Zamieniono je w stajnie i koszarzy, a następnie w garaże. Arcade to oryginalny budynek, który nie został zniszczony podczas II wojny światowej. Obecnie można obejrzeć wystawę archeologiczną i dwór. Na zewnątrz, od strony Wisły, znajdują się Arkady Kubickiego, które wcześniej wspierały zbocze wybrzeża Zamkiem Królewskim i nadały monumentalny wygląd elewacji parku. Te arkady to oryginalne budynki, które nie zostały zniszczone podczas wojny. Ale budynek nie dotarł do nas w oryginale, po tym, jak został splądrowany i częściowo zniszczony przez Szwedów podczas wojny północnej. Jan Sobieski sfinansował renowację zamku, następnie August III kontynuował tę działalność. Przede wszystkim odbudowa zamku dotyczyła Stanisława Augusta Poniatowskiego - ostatniego króla Polski. Zamek nabył wiele nowych sal i budynków. Pod nim pojawiło się nowe skrzydło wzdłuż Wisły. Polacy zawsze słyną ze swojego podejścia do dziedzictwa historycznego. Po zakończeniu wojny, na początku ubiegłego wieku, kompleks został starannie odrestaurowany. Ale teraz budynek w takiej formie jest niemożliwy do zobaczenia. Naziści go nie oszczędzili. Zamek był systematycznie niszczone przez miny. Następnie rozpoczęto restaurację budowli z fragmentów i fotografii do stanu, w którym podobno była na początku XVII wieku. Odzyskiwanie trwało 17 lat. W 1988 r. Zamek ponownie przyjął gości, choć w niektórych częściach kontynuowano prace. Na przykład arkady Kubickiego, mimo że ucierpiały mniej niż reszta zamku, były otwarte dla turystów dopiero w 2009 roku. Były one ostatnio używane jako stajnie przed zniszczeniem. Teraz odtworzył oryginalny wygląd. Wszystkie arkady są wolne od murów.

5. Wyniki

Historia rozwoju architektury wskazuje na naturalne pragnienie pewnych ideałów i modeli doskonałości. Idealna organizacja sztucznego środowiska od wielu stuleci kojarzona jest z niezmiennymi, wiecznymi formami. Architektura została zinterpretowana jako przestrzenna realizacja ustalonego zestawu wymagań i parametrów - na tej podstawie przeprowadzono poszukiwanie idealnych schematów. Metodologia projektowania stawia zadanie ujawnienia zawartości obiektu jako połączenia celu budynku i przestrzeni nierozdzielnie z nim związanej, a stosunek formy i treści w kompozycji obiektu architektonicznego pojawia się w jedności struktury i funkcji. Funkcja organizuje strukturę a struktura definiuje funkcję. Wewnętrzne sieci organizują unikalność i autentyczność danego typu struktury, jej specyficzne cechy. Organizacja wolumetrycznej struktury przestrzennej jest jakościowym kryterium wewnętrznej konstrukcji obiektu. Wiązki tworzące strukturę w obiekcie architektonicznym mogą być funkcjonalne, zależne od określonej czynności i wyrażone jako komunikacja (ruch pieszy i transportowy). Relacje kompozycyjne są wyrażane jako bezpośredni kontakt wzrokowy lub jako sekwencja ramek wizualnych, które tworzą przestrzenno-czasowy łańcuch wrażeń obiektu, który następnie staje się pojedynczym syntetyzującym obrazem artystycznym.

Podstawowe zasady ogólnej teorii systemów, wykorzystane w tej pracy są ograniczone do następujących przepisów:

- 1) zestaw elementów systemu jest traktowany jako całość, a nie jako ich prosta kombinacja;
- 2) właściwości systemu nie są ograniczone do sumy właściwości jego elementów, tj. system może posiadać własne właściwości;
- 3) systemu nie można rozpatrywać autonomicznie, w oderwaniu od środowiska, tj. analizowany system może być częścią (podsystem) bardziej ogólnego systemu

Wybrane zespoły różnią się wielkością miast w których się znajdują. Wyniki przedstawiony w Tab. 1.

Tab.1 Wyniki badań parametrycznych.

Nazwa Parametr	Centralny plac w Krumlovie	Plac Królewski w Brukseli	Dziedziniec Arkadowy w Krakowie
Powierzchnia całkowita	2625 m ²	7805 m ²	1973 m ²
Długość zabudowy	203 m	365 m	232 m
Ilość kondygnacji	2-3	2	2
Kolorystyka elewacyjna zabudowy	11 kolorów	1 kolor	1 kolor
Ilość bram i przejazdów	5	7	2
Ilość budynków	16	7	2

6. Podsumowanie

Zewnętrzny kształt obiektu wyraża konstrukcję wewnętrzną i jest tworzony w połączeniu z innymi obiektami środowiska przestrzennego, w którym obiekt się znajduje.

Specyficzne ukierunkowanie obiektu na otaczającą przestrzeń działa jako jakościowa osobliwość jego konstrukcji, należy pamiętać, że konstrukcja wewnętrzna jest bezpośrednio związana ze strukturą zewnętrzną i jest jej funkcją, zarówno pod względem funkcjonalnym, jak i kompozycyjnym. Zaprojektowanie obiektu jako systemu pozwala zrozumieć powiązanie obiektu ze środowiskiem zewnętrznym. W naszych przykładach „inteligentny plac” przedstawiona skomplikowana (naturalna, techniczna, historyczna) morfologia w formowaniu elementów obszarów miejskich, formowaniu lub rekonstrukcji utraconego szczególnego ducha miejsca lub „genius loci”; wyrównanie granic między przestrzenią wewnętrzną i zewnętrzną w środowisku miejskim.

6.1 Centralny plac w Krumlovie

Przed wszystkim ten przedmiot badań jest formacją urbanistyczną, łączącą nie tylko organizację przestrzeni, ale także harmonijne połączenie i wykorzystanie środowiska architektonicznego. Zastosowane formy są hermetyczne, kształt przestrzeni jest ograniczony czterema ścianami utworzonymi przez fasady blokowanych budynków. Wszystkie budynki nie są wysokie, harmonijnie ze sobą współdziałają. Kolorystyka elewacji nie wydaje się kłócić ze sobą, pomimo wielu użytych barw. W tym przykładzie stosuje się najwięcej kolorów.

6.2 Plac Królewski w Brukseli

Plac Królewski ma prawidłowy kształt geometryczny, kształt prostokąta łączącego pięć autostrad. W porównaniu z poprzednim przedmiotem badań, Plac Królewski tworzy bardziej ścisłą regularność przestrzeni, wszystkie elementy przestrzeni architektonicznej są do siebie podporządkowane, wszystkie są w tym samym harmonijnym zakresie. Budynki również nie są wysokimi kondygnacjami. Położony na wzgórzu z dokładną dominantą i przechodzącą przez jednostkę urbanistyczną strefę ruchu miejskiego i samochodowego.

6.3 Dziedziniec Arkadowy w Krakowie

Arkady są wizualną bazą tego obiektu, reprezentującą jednolitość. Śledzony jest prawidłowy kształt geometryczny, harmonijne połączenie zaokrąglonego kształtu łuków budynku pałacowego i samej arkady jest nie tylko relacją między obiektem a krajobrazem, ale ma również funkcjonalne połączenie i cel. Idealne połączenie w kontekście miejskim z wykorzystaniem zamknięcie osi widokowej.

Wszystkie obiekty podjęte do badań są unikatowymi przykładami edukacji miejskiej, przestrzegającymi zasad i technik projektowania, harmonii, organizacji przestrzeni i estetyki. Podejście do planowania urbanistycznego definiuje każdy obiekt architektoniczny jako system będący częścią innego, bardziej złożonego systemu przestrzennego; w stosunku do niego pierwszy system działa jako komponent. Tak, budynek mieszkalny jest systemem w odniesieniu do jego elementów - sekcji i mieszkań, a jednocześnie jest jednym z elementów systemu przestrzennego - grupy domów lub zespołu. Struktura zewnętrzna i wewnętrzna są zawsze w jedności i przenikają się.

7. Literatura

Królikowski T, Rybak-Niedziółka K, Rykała E (2017) Projektowanie krajobrazu miasta
Krier L (2001), Architektura wybór czy przeznaczenie
Królikowski i Rylke (2010) Społeczno - kulturowe podstawy gospodarowania przestrzenią

9. EHighway – droga do ekologicznej przyszłości

EHighway - a path to an ecological future

Łajewska Dominika, Błażejczyk Sylwia

Instytut Logistyki, Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego

Opiekun naukowy: mjr dr inż. Borucka Anna

Łajewska Dominika: dominika.lajewska@gmail.com

Błażejczyk Sylwia: sylwia.blazejczyk@student.wat.edu.pl

Słowa kluczowe: silnik hybrydowy, autostrada, pantograf, sieć trakcyjna, redukcja CO₂

Streszczenie

Rozwój samochodów z napędem alternatywnym stopniowo zwiększa ich liczbę na drogach, tym samym stwarzając potrzebę rozbudowy niezbędnej dla tych pojazdów infrastruktury. Dodatkowo mając na uwadze ciągły rozwój sektora usług przemysłu transportowego dąży się do redukcji emisji dwutlenku węgla. Uwzględniając te dwie kwestie, powstało nowe rozwiązanie – eHighway, które omówiono w niniejszym artykule. System ten umożliwi ciężarówkom hybrydowym pobieranie mocy oraz ładowanie akumulatorów z linii napowietrznych, jak to ma miejsce w przypadku istniejących systemów trolejbusów i tramwajów. Trolejbusy, autobusy ładujące się z podobnych linii napowietrznych, są używane w setkach miast na całym świecie, m.in. w Moskwie, Atenach, Pekinie czy Gdyni (Siemens Mobility GmbH, 2019). Według The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) wolumen globalnego transportu ładunków potroi się między 2000, a 2050 rokiem, jednak tylko ok. 1/3 będzie mogła być transportowana koleją. Ze względu na powyższe przewiduje się, że emisja dwutlenku węgla do roku 2050 ulegnie podwojeniu. Z uwagi na przedstawione informacje istotnym jest, aby poszukiwać sposobów redukcji emisji CO₂.

1. Wstęp

EHighway, czyli elektryczna autostrada stanowi innowację transportu, która łączy efektywność technologii kolejowej z elastycznością dróg transportowych. Artykuł oparty jest na analizie systemu testowanego w Niemczech, jednak nie jest to jedyny kraj, w którym prowadzone są próby. Technologia eHighway firmy Siemens została już przetestowana i wykorzystana w Szwecji i Kalifornii. Szwecja zainstalowała również podziemne szyny, które umożliwiają ładowanie samochodów na jednej ze swoich dróg.

Wprowadzony na autostradzie system jest formą eksperymentu. Ma on za zadanie rozstrzygnąć, czy korzystne (pod względem ekonomicznym oraz ekologicznym) będzie wybudowanie odcinka o znacznie większych długościach.

2. EHighway w Niemczech

Opracowany przez firmę Siemens system eHighway został zaprojektowany do współpracy z niestandardową hybrydową ciężarówką Scania. W ramach realizacji programu Klimaschutz 2020 niemieckie Ministerstwo Środowiska zakładało zmniejszenie emisji CO₂ w transporcie towarowym do roku 2020 o 40% w stosunku do roku 1990. Aktualnie jednak przewiduje się, że redukcja CO₂ zostanie osiągnięta na poziomie 32%. Niemieckie Ministerstwo środowiska przeznaczyło 50 000 000 euro na rozwój trzech odcinków testowych eHighway (E-Highway: LKW mit Oberleitung künftig auf mehreren Strecken zu sehen, 2020). W projekcie zaznaczono, iż prąd w całości pozyskiwany jest ze źródeł odnawialnych. Różnice wynikające z długości tras na mapie, a w tekście spowodowane są faktem, iż dane na mapach dotyczą roku 2017 i obejmują fazę planowania, jednak ostatecznie odcinki tras, według danych z 2019 i 2020 roku, zostały zmodyfikowane:

- a) Odcinek autostrady A5 między Frankfurt, a Darmstadt. Użytkowanie odcinka rozpoczęto 7.05.2019. Jego długość wynosi 10 km, natomiast koszt wybudowania na nim infrastruktury

wynosi 15 000 000 euro. Badania związane z analizą efektywności szacowane są natomiast na kolejne 15 000 000 euro (E-Highway: LKW mit Oberleitung künftig auf mehreren Strecken zu sehen, 2020). Analizy te pozwolą na zdecydowanie, czy opłacalnym jest rozszerzenie eHighway na inne części kraju. Autostrada A5 jest najczęściej użytkowaną autostradą w Niemczech. Każdego dnia jeździ na niej średnio 135 000 pojazdów, z czego 14 000 to ciężarówki (E-Highway: LKW mit Oberleitung künftig auf mehreren Strecken zu sehen, 2020).

- b) Autostrada A1, odcinek między miejscowością Reinfeld, a Lübeck. W tym miejscu znajdują się dwa pięć-kilometrowe odcinki użytkowane dla celów badawczych. W testach będzie brało udział do pięciu pojazdów w każdym kierunku podróży między Lubeką a Reinfeldem. Koszt inwestycji na tej trasie wynosi 19 000 000 euro (Carstens 2019). Testowe odcinki znajdują się między portem tranzytowym w Lubece i terminalem towarowym a centrum spedycji i logistyki Reinfeld, co pozwoli na ocenę nowej technologii w rzeczywistych warunkach, odzwierciedlających duże natężenie kursujących wahadłowo ciężarówek. Na odcinku autostrady między Reinfeld a Lubeką podróżuje ok. 60 000 pojazdów, z czego 8 000 to ciężarówki (E-Highway auf A1: Testbetrieb erneut verschoben, 2019).
- c) Droga krajowa B462 między Kuppenheim, a Gernsbach- Obertsrot (region Baden-Württemberg). Długość odcinka testowego wynosi 18 km, z czego tylko 6 km zasilane jest energią elektryczną. Lokalizacja sieci uzasadniona jest m.in. ze względu na fakt, iż w Kuppenheim znajduje się centrum dystrybucyjne, realizujące wiele stałych połączeń w tym połączenie Obertsrot-Kuppenheim. Na tej trasie przewożone jest codziennie ponad 500 000 t papieru toaletowego i tektury przez 24 h/dobę. Odpowiada to ok. 64 podróżom ciężarówek dziennie. Koszt infrastruktury na tym odcinku wynosi 17,6 mln EUR, w tym koszty planowania i wsparcia (Randelhoff 2019).

Badania odcinków testowych są związane m.in. z analizą opłacalności ich wdrożenia do codziennego użytku oraz poszerzenia ich zasięgu. Według rzecznika niemieckiego Ministerstwa Środowiska Stephana Haufe badania odcinków testowych mają za zadanie również wyodrębnienie najkorzystniejszego modelu, który stanowiłby potencjalny wariant rozwiązania do implementacji w przyszłości. Zakończenie testów na odcinku na autostradzie A5 planowane jest na rok 2022.

3. Napęd hybrydowy

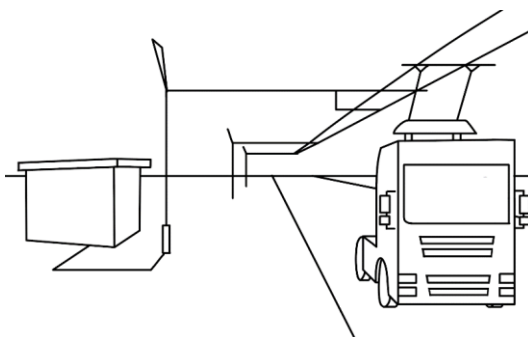
Działanie systemu eHighway opiera się na wykorzystaniu ciężarówek hybrydowych. Zrozumienie sposobu funkcjonowania silnika hybrydowego jest istotne ze względu na jego współzależność z systemem eHighway. Istota napędu hybrydowego opiera się na połączeniu dwóch rodzajów napędu do poruszania jednego urządzenia.

Napęd hybrydowy złożony jest z silnika spalinowego i maszyny elektrycznej. Maszyna elektryczna może pracować jako silnik, jeżeli doprowadza się do niej energię elektryczną lub jako prądnica, jeśli obraca się jej wałem. Podczas pracy jako prądnica ładuje ona akumulatory pojazdu, a także może pełnić funkcję hamulca. W samochodzie z napędem hybrydowym jest zastosowany silnik spalinowy, silnik elektryczny, bateria akumulatorów oraz sterownik (Fundowicz, Radzimierski, Wieczorek 2010).

Podczas powolnej jazdy (np. w mieście) rolę silnika przejmuje maszyna elektryczna, natomiast w trakcie szybkiej jazdy, pracuje silnik spalinowy. Silnik spalinowy uruchamia się w momencie, gdy stan naładowania akumulatorów jest poniżej normy, a w tym czasie maszyna elektryczna działa jako prądnica. Możliwe jest także jednoczesne wykorzystywanie maszyny elektrycznej oraz silnika spalinowego jako napędu, np. podczas intensywnego przyspieszania.

4. Infrastruktura i działanie eHighway

Infrastruktura trasy eHighway składa się z podstacji trakcyjnych oraz dwubiegunowej linii energetycznej, która jest instalowana nad drogą za pomocą systemu masztowego (Rys. 1.). Podstacje trakcyjne zasilają sieci trakcyjne na trasie pojazdów, które z kolei zasilane są z publicznej sieci elektroenergetycznej (Feldversuch eHighway Schleswig-Holstein- Oberleitungsinfrastruktur, 2020).

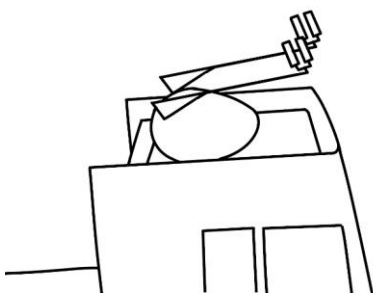


Rys. 1. Sieć trakcyjna system eHighway (Siemens AG/Siemens Mobility GmbH, 2017).

System masztów składa się z masztów z poprzecznymi urządzeniami podporowymi i innymi elementami mocującymi, które podtrzymują linie energetyczne. Maszty ustawione wzdłuż trasy mają wysokość około 12 metrów. Poprzeczne urządzenia podtrzymujące linie energetyczne zamontowano na maszcie na wysokości około 8 metrów, które wystają ponad prawy pas autostrady. Odległość między poszczególnymi systemami masztów zależy od lokalnych warunków i wynosi od 20 do 60 metrów (Feldversuch eHighway Schleswig-Holstein- Oberleitungsinfrastruktur, 2020).

Długość sieci trakcyjnej jest technicznie ograniczona do około 1,5 kilometra. Bezpośrednie przejście z jednego łańcucha do drugiego odbywa się w tak zwanych polach równoległych. W tych obszarach zakończenie i nowo uruchomiona sieć trakcyjna są prowadzone równolegle, aby zapewnić nieprzerwaną dostawę energii. System ten umożliwia dostarczenie energii do silnika nawet przy prędkości 90 km / h (Siemens AG, 2017).

Kluczową innowacją systemu eHighway jest aktywny pantograf, który umożliwi łączenie i rozłączanie pojazdu z linii jezdnych przy wszystkich prędkościach (Rys. 2.). Przenosi on energię bezpośrednio z linii energetycznych (overhead contact line) do silnika elektrycznego ciężarówki. Specjalnie zaprojektowana technologia czujników umożliwia ruchomemu pantografowi automatyczne dostosowanie pozycji pod linią elektryczną, w celu minimalizacji bocznych ruchów pojazdu. Mechanizm zmniejsza również zużycie pantografu, by zapewnić jego długą żywotność.



Rys. 2. Pantograf zainstalowany na dachu pojazdu (Siemens AG/Siemens Mobility GmbH, 2017).

Podczas hamowania maszyny elektryczne działają jak generatory, co pozwala na zgromadzenie niewykorzystanej energii elektrycznej w pokładowym magazynie energii lub przekierowanie jej z powrotem do linii energetycznych, skąd będzie czerpana w razie potrzeby przez inne ciężarówki na eHighway.

5. Ciężarówki Scania

Projekt wdrożenia systemu eHighway na terenie Niemiec realizowany jest aktualnie we współpracy z firmą Scania, należąca do koncernu VW Group. Scania otrzymała zamówienie na zapewnienie 15 ciężarówek napędzanych hybrydowo. Koszt jednej tego typu ciężarówki wynosi 250

000 euro (Carstens 2019). Napęd hybrydowy w danych ciężarówkach opiera się na współpracy napędu elektrycznego oraz napędu spalinowego (diesla). Jednakże system eHighway zastosowanie innych źródeł energii takich jak CNG/LNG.

Ciężarówka ładowana jest podczas jazdy za pomocą linii napowierzchniowych, jednocześnie działa silnik elektryczny. Po odłączeniu od linii ciężarówka przemieszcza się dzięki energii zgromadzonej w akumulatorze. Ciężarówka po odłączeniu od linii może przemieszczać się wykorzystując energię elektryczną tylko na krótkie odległości. Według Scanii parametry akumulatora pozwalają na pokonanie od 10 do 15 km, przy zasilaniu ciężarówki energią elektryczną. Napęd elektryczny zapewnia silnik elektryczny. W momencie rozładowania akumulatora ciężarówka przemieszcza się dzięki wykorzystaniu napędu diesla, bądź innemu zastosowanemu źródłu energii.. Na terenie Niemiec wykorzystywane są m.in. ciężarówki Scania R 450 Hybrid (Scania liefert 15 LKW für deutsche e-highways aus, 2020).

Dodatkowo system otwarty jest na adaptację różnych konfiguracji hybrydowych. W zależności od zastosowanego układu w ciężarówce hybrydowej, równoległego lub szeregowego, jej elementy mogą się różnić od siebie. Zależnie od potrzeb można zastosować różnej wielkości silnik spalinowy czy akumulatory, a także różne układy.

6. Wykorzystanie eHighway

System eHighway jest rozpatrywany szczególnie w przypadku specyficznych połączeń transportowych. Zastosowanie systemu eHighway może być korzystne przy połączeniach wahadłowych (shuttle transport), czyli powtarzających się regularnie.

EHighway może stanowić wartościowe rozwiązanie dla regularnych i częstych połączeń na krótkie i średnie odległości, takie jak na przykład połączenia portów z centrami logistycznymi. Prowadzi to m.in. do zmniejszenia zużycia paliwa. Ponadto umożliwia wydłużenie żywotności pojazdu, a także redukcję zanieczyszczenia powietrza oraz hałasu na tych obszarach (Siemens AG 2017).

Kolejne zastosowanie systemu eHighway obejmuje połączenia między kopalniami i wykopami, a miejscami przechowywania lub tranzytu surowców. Zelektryfikowany transport kopalniany to ekonomiczne rozwiązanie pozwalające na jednoczesną minimalizację szkodliwych emisji. Zastosowanie systemu dla kopalń jest uzasadnione, ze względu na wolumen oraz częstotliwość transportowanych surowców.

EHighway znajduje swoje zastosowanie również w transporcie dalekobieżnym. Inwestycja w infrastrukturę eHighway wiąże się z przetestowaniem wybranych odcinków. Szczególnie istotnym może być zastosowanie systemu eHighway na autostradach (lub drogach krajowych), gdzie występują częste i stałe połączenia związane z transportem towarów. Istotnym jest, aby podjąć działania zmierzające do redukcji zużycia paliw kopalnych i zastosowania alternatywnych technologii (Siemens AG, 2017).

7. Analiza SWOT

Analiza SWOT jest jedną z podstawowych metod strategicznych. Pozwala na uporządkowanie posiadanych informacji na cztery grupy w celu ich analizy (Stabryła 2015): mocne strony, słabe strony, szanse i zagrożenia.

Poniżej przedstawiono analizę SWOT, związaną z wdrożeniem systemu eHighway, która pozwoliła na ocenę zasadności inwestycji w ten system. Optymalność wdrożenia i zależeć może od wielu czynników, m.in. od środowiska aplikowania (kraju). Poniższa tabela (Tab. 1) przedstawia ogólne korzyści i wady związane z inwestycją, bez uwzględniania warunków wewnętrznych miejsca, w którym mogłoby nastąpić potencjalne wdrożenie.

W tabeli zagadnienia przedstawione zostały w postaci skróconej (Tab. 1). Ze względu na powyższe, wybrane zagadnienia zostały rozwinięte. Ułatwi to dokładne zrozumienie aspektów stanowiące mocne strony, słabe strony, szanse oraz zagrożenia związane z wdrożeniem przedsięwzięcia.

Tab. 1. Analiza SWOT systemu eHighway.

S – mocne strony	W – słabe strony
- potencjalnie mniejsza emisja dwutlenku węgla, tlenków azotu oraz osadów z oleju napędowego; - możliwość magazynowania energii w akumulatorze; - możliwość przebycia pewnej odległości bez podłączenia do linii, przy wykorzystaniu energii elektrycznej; - bezproblemowe przystosowanie się kierowcy do nowego pojazdu; - możliwość realizacji bezpośrednich połączeń; - alternatywa dla transportu kolejowego; - kompatybilność z innymi paliwami i technologiami uzupełniającymi; - możliwość współdzielenia drogi z pojazdami konwencjonalnymi; - możliwość podróżowania z wykorzystaniem tylko energii elektrycznej.	- konieczność zwiększenia uwagi kierowcy w momencie podłączania się pantografu do linii energetycznych; - koszty nowych ciężarówek i ich utrzymania; - problemowość w określeniu ekonomiczności przedsięwzięcia; - duży wysiłek poświęcony na wybudowanie systemu i jego elementów oraz przeprowadzenie testów; - konieczność ustalenia kwestii rozliczeń za użytkowanie systemu; - zakłócanie krajobrazu przez sieć trakcyjną - problematyczność i wyższe koszty budowy w przypadku pogorszonych warunków na trasie; - konieczność uziemienia linii napowietrznych w razie wypadków; - ekologiczne nie we wszystkich przypadkach.
O - szanse	T - zagrożenia
- ekologiczne rozwiązanie w przypadku wykorzystania odnawialnych źródeł energii; - zmniejszenie poziomu uciążliwości hałasem; - wyeliminowanie problemu związanego z wymaganiami normy Euro VI; - większe przyspieszenie, przewaga na trasach o ekstremalnych wartościach nachylenia; - zmniejszenie uzależnienia od ropy w sektorze transportu; - atrakcyjność dla klientów firm spedycyjnych.	- czas poświęcany na zgłoszenie braku dostawy energii elektrycznej do systemu; - koszty i czas związany ze szkoleniami; - wyniki testów mogą okazać się mniej korzystne, niż przewidywano; - ryzyko zderzenia pojazdu z masztami; - ryzyko przerwania dostaw energii do systemu; - utrudnione lądowanie ratowników medycznych.

Źródło: Na podstawie: OECD (2014), Praxistest für E-Highway nimmt Fahrt auf (2020); Randelhoff M. (2019); E-Highway auf A1: Erster Lastwagen rollt (2019).

7.1 Mocne strony

- możliwość realizacji bezpośrednich połączeń - Ciężarówka ma możliwość dojazdu bezpośrednio do miejsca załadunku (np. kopalnia, port, centrum dystrybucyjne), a następnie przetransportowania ładunku do umówionego miejsca. Przyszłe połączenia mogą być zaprojektowane w taki sposób, aby realizując bezpośrednie połączenie ciężarówka mogła poruszać się wykorzystując tylko energię elektryczną. Wiąże się to z rozmieszczeniem linii energetycznych w odpowiednich odległościach od miejsca załadunku i rozładunku.
- kompatybilność z innymi paliwami i technologiami uzupełniającymi - ciężarówki hybrydowe poruszające się w systemie eHighway wykorzystywać mogą różne źródła energii (paliwa) dla wykorzystywanych układów napędowych oraz różne technologie wykorzystane w budowie pojazdu. Kombinacji technologicznych dokonywać można pomiędzy: typem ciągnika (liczba

osi, oś sztywna lub ruchoma) rodzajem układu napędowego, rodzajem pokładowego źródła energii, wielkością silnika;

7.2 Słabe strony

- a) problemowość w określeniu ekonomiczności przedsięwzięcia - system eHighway wykorzystuje energię elektryczną oraz paliwo diesla, które zasila silnik spalinowy w momencie rozładowania akumulatora. Szef firmy spedycyjnej Marc- Philipp Bode stwierdza, iż stworzenie bilansu ekonomicznego na podstawie otrzymywanych aktualnie wyników jest utrudnione. Aby określić, czy dane przedsięwzięcie jest opłacalne pod względem ekonomicznym potrzebne jest zebranie analiz utworzonych na przestrzeni odpowiedniego okresu (Praxistest für E-Highway nimmt Fahrt auf, 2020) ;
- b) konieczność ustalenia kwestii rozliczeń za użytkowanie systemu - pobieranie energii elektrycznej z systemu wiąże się z koniecznością zapłaty za nią. W związku z tym, konieczne jest, aby ustalić stawki odpowiednio zorganizować system rozliczeń;
- c) problematyczność i wyższe koszty budowy w przypadku pogorszonych warunków na trasie - koszty inwestycji zależą m.in. od warunków na trasie. W przypadku konstrukcji mostowych może być konieczne zastąpienie konstrukcji żelbetowym korytarzem jezdni, ponieważ niezbędnych masztów linii napowietrznej nie można zakotwiczyć bezpośrednio w konstrukcji mostu ze względów konstrukcyjnych. W przypadku niemieckich autostrad A1 do A9 o długości trasy około 5700 km spowodowałoby to koszty inwestycyjne w wysokości około 11,5 mld euro (Randelhoff 2019);
- d) konieczność uziemienia linii napowietrznych w razie wypadków - podczas uszkodzenia sieci trakcyjnej konieczne byłoby uziemienie linii napowietrznych oraz związane z tym zaopatrzenie w odpowiednie zestawy uziemienia oraz urządzenia pomocnicze;
- e) ekologiczne nie we wszystkich przypadkach - istotnym jest, aby energia zasilająca system eHighway pozyskiwana była z odnawialnych źródeł energii. W przypadku, gdy w danym kraju głównym surowcem energetycznym jest węgiel kopalny, wówczas zasilenie siedzi Ehighway wiązałoby się z emisją szkodliwych gazów (emitowanych podczas spalania węgla kopalnego).

7.3 Szanse

- a) wyeliminowanie problemu związanego z wymaganiami normy Euro VI - Norma Euro VI ograniczenia emisji szkodliwych substancji przez samochody ciężarowe. Silniki hybrydowe zmniejszą emisję szkodliwych substancji. Dodatkowo podczas korzystania z trasy eHighway wykorzystywany jest tylko silnik elektryczny, który podczas pracy nie emituje zanieczyszczeń do atmosfery;
- b) większe przyspieszenie, przewaga na trasach o ekstremalnych wartościach nachylenia - ciężarówka z napędem hybrydowym gromadzą energię z hamowania, która następnie może być wykorzystana do przyspieszania. Ponadto, w przypadku wykorzystania układu równoległego możliwe jest zastosowanie lżejszego silnika spalinowego (o mniejszej pojemności) i efektywnego silnika elektrycznego. Dzięki współpracy obu napędów oraz energii zgromadzonej podczas hamowania możliwe jest uzyskanie większych wartości przyspieszenia, niż w przypadku konwencjonalnych ciężarówek;
- c) zmniejszenie uzależnienia od ropy w sektorze transportu (Randelhoff 2019) - dzięki silnikom hybrydowym zmniejszy się zużycie paliwa do silników spalinowych, co przedkłada się na mniejsze wykorzystywanie ropy naftowej na rynku. Ropa naftowa stanowi nieodnawialne i cenne źródło energii, którego zużycie redukować można poprzez zastosowanie alternatywnych źródeł energii;

7.4 Zagrożenia

- a) czas poświęcany na zgłoszenie braku dostawy energii elektrycznej do systemu - w przypadku, gdy kierowca ciężarówka realizował będzie transport, a zasilanie systemu będzie wyłączone konieczne jest zgłoszenie sytuacji osobie odpowiedzialnej. Związane jest to z poświęceniem dodatkowego czasu na realizację tej czynności. Może stanowić to problem, w przypadku, gdy liczy się czas dostawy;

- b) wyniki testów mogą okazać się mniej korzystne, niż przewidywano - ze względu na zróżnicowanie regionów, w których potencjalnie wdrożony ma być system eHighway istnieje ryzyko nieosiągnięcia zamierzonych wyników.. Wyniki opracowane na podstawie analizy testów, bądź funkcjonowania systemu w różnych obszarach mogą różnić się od siebie. Sukces związany z wdrożeniem inwestycji w danym regionie nie oznacza, iż takie same wyniki zostaną osiągnięte w innym regionie;

8. Podsumowanie i wnioski

Głównym celem, którego osiągnięcie wiąże się z wprowadzeniem systemu eHighway jest ochrona środowiska (minimalizacja emisji dwutlenku węgla). Ponadto, istotnym jest, aby napęd elektryczny wspomagany był napędem wykorzystującym odnawialne źródła energii oraz aby energia elektryczna, którą zasilany jest system, także pozyskiwana była ze źródeł odnawialnych.

Pomimo konieczności poniesienia kosztów związanych z budową systemu eHighway pojawiający się nacisk na ochronę środowiska naturalnego sprawia, że wiele organizacji gotowych jest podjąć się ich pokrycia, uwzględniając także przewidywane zwroty z inwestycji. Siemens informuje, iż możliwe jest osiągnięcie 16000 euro oszczędności na paliwie przez 40 tonową ciężarówkę przejeżdżającą 100000 km na trasie eHighway (przy kosztach paliwa 1,25 euro/l diesla i 0,15 euro za 1 kWh prądu elektrycznego). Ponadto, 11% oczekiwanych przychodów z bramek na autostradzie pokryje inwestycje na budowę 4000 km sieci (Siemens AG/Siemens Mobility GmbH, 2017).

W związku z obowiązującymi normami emisyjnymi, szczególnie na obszarach o wysokiej częstotliwości użytkowania, należy wciąż poszukiwać rozwiązań, które przyczynią się do zmniejszenia emisji szkodliwych gazów do atmosfery. Wdrożenie systemu eHighway na odcinkach o dużym natężeniu ruchu może przyczynić się nie tylko do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla, ale także do oszczędności energii. Istotnym jest, aby przeprowadzić odpowiednie pomiary stosunku poniesionych kosztów do osiągniętych wyników zmniejszenia emisji szkodliwych spalin. Związek Przemysłu Niemieckiego (BDI) przewiduje, że wprowadzenie systemu eHighway na 4000 km niemieckich autostrad stanowi oszczędną metodę ograniczania emisji dwutlenku węgla.

Ze względu na znaczenie osiąganych wyników redukcji emisji szkodliwych spalin do zasilania sieci eHighway należy wykorzystywać odnawialne źródła energii. Wprowadzenie omawianego systemu nie jest uzasadnione w krajach, w którym głównym surowcem energetycznym jest węgiel kopalny. Państwa, które mają możliwość pozyskania znacznych ilości energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych wdrożenia systemu eHighway mogą liczyć na szczególne korzyści.

9. Literatura

- A Stabryła A (2015) Praktyka projektowania systemów organizacyjnych przedsiębiorstwa pod redakcją Adama Stabryły, s. 84
- Carstens M (2019) E-Highway: Testphase startet mit nur einem Lkw https://www.ln-online.de/Lokales/Stormarn/E-Highway-bei-Luebeck-Testphase-startet-mit-nur-einem-Lkw?fbclid=IwAR117_WAscICjrkVbuxJsKbnqpZ1mru7s7iJTzVhVuknEMH_6UwJtP6JaPc (dostęp z dnia 09.03.2020)
- E-Highway – Solutions for electrified road freight transport (2020) Siemens AG/Siemens Mobility GmbH https://press.siemens.com/global/en/feature/ehighway-solutions-electrified-road-freight-transport?fbclid=IwAR3od7D6uqIcnY7q_Zs4-J7Nx6_jfrDLG3JZ3AynrADGKqTtI0xqzn-T214 (dostęp z dnia 07.03.2020)
- E-Highway auf A1: Erster Lastwagen rollt (2019) <https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/E-Highway-auf-A1-Erster-Lastwagen-rollt,ehighway134.html?fbclid=IwAR0kYNfyEFyjm50EjCEV11BgY7K9Amd8wCsFIga3i3z-IVv8khv4LMcnX9c> (dostęp z dnia 11.03.2020)
- E-Highway auf A1: Testbetrieb erneut verschoben (2019) Schleswig-Holstein Magazin <https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/E-Highway-auf-A1-Testbetrieb-erneut-verschoben,ehighway146.html> (dostęp z dnia 11.03.2020)

- E-Highway: LKW mit Oberleitung künftig auf mehreren Strecken zu sehen (2020)
<https://www.bussgeldkatalog.org/e-highway/?fbclid=IwAR3H251N-SA3kQxyNBI3Ec0nNKMAJh1c6fvWzyTL9wUKMPusXMsRQXYUdZE> (dostęp z dnia 12.03.2020)
- Fundowicz P., Radzimierski M., Wieczorek M. (2010) Konstrukcja pojazdów samochodowych, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne S.A, s. 209-210.
<https://www.ehighway-sh.de/de/technik.html> (dostęp z dnia 11.03.2020)
- <https://www.scania.com/ch/de/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2018/12/e-highway.html> (dostęp z dnia 13.03.2020)
- Infographic: Electrified road freight traffic – the eHighway by Siemens,
<https://press.siemens.com/global/en/feature/ehighway-solutions-electrified-road-freight-transport> (dostęp z dnia 07.03.2020)
- OECD (2014), The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport, OECD Publishing.
doi: 10.1787/9789264210448-en
- Praxistest für E-Highway nimmt Fahrt auf (2020) <https://www.kfz-betrieb.vogel.de/praxistest-fuer-e-highway-nimmt-fahrt-auf-a-906355/> (dostęp z dnia 13.03.2020)
- Randelhoff M. (2019) Siemens eHighway, Hybrid-NFZ, LNG: Fahrt der Straßengüterverkehr der Zukunft elektrisch? <https://www.zukunft-mobilitaet.net/9593/zukunft-des-automobils/elektromobilitaet/ehighway-siemens-hybrid-lkw-elektroantrieb/?fbclid=IwAR2hhYapO-co6RkH-X2ZCH3LWdiDM5nv3voQAt75ezrql2kPaR7OdCDdGg> (dostęp z dnia 12.03.2020)
- Siemens AG (2017) eHighway, Innovative electric road freight transport, s.5-7.
- Siemens Mobility GmbH (2019) eHighway – the backbone for electrified freight transport by road, Background Information, s. 1-4.

10. Możliwości termomodernizacyjne budynków objętych ochroną konserwatorską

Thermomodernization possibilities of buildings under conservation protection

Małgorzata Małysko

Katedra Klimatyzacji Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska

Promotor: prof. dr hab. Jan Danielewicz (jan.danielewicz@pwr.edu.pl)

Promotor pomocniczy: dr inż. Marta Laska (marta.laska@pwr.edu.pl)

Słowa kluczowe: izolacja przegród, budynki zabytkowe, zielone ściany

Streszczenie

Budynki objęte ochroną konserwatorską są obiektami, których termomodernizacja może być utrudniona. Zabytkowe konstrukcje, zdobione fasady czy dawne posadzki stanowią poważne wyzwanie dla projektantów. W artykule zostały ukazane możliwości wykonania dociepleń przegród poziomych i pionowych budynków dawnych oraz przedstawiono popularne materiały izolacyjne. W opracowaniu zawarto informacje dotyczące niekonwencjonalnego wykorzystania roślinności na przegrodach, która także może pełnić funkcje izolacyjne.

Przegląd literatury wykazał konieczność wykonywania analiz ciepłno-wilgotnościowych podczas modernizacji obiektów zabytkowych z uwagi na możliwość wykrapłania się wilgoci na powierzchniach przegród.

1. Wstęp

W Polsce, na dzień 16 stycznia 2020 roku, według rejestru zabytków nieruchomości, który został sporządzony przez Główny Urząd Statystyczny, znajduje się ponad 78 tys. obiektów objętych ochroną konserwatorską. Większość z nich wymaga remontów oraz modernizacji ze względu na stan, który często zagraża zdrowiu i życiu lokatorów lokali mieszkalnych i usługowych, a także z powodu ich wysokiej energochłonności.

Wykonanie zabiegów rewitalizacyjnych wymaga złożonych działań, które zatwierdzić musi konserwator zabytków. Jego decyzje opierają się na utrzymaniu obiektu w jak najlepszej formie przy jednoczesnym zachowaniu pierwotnego kształtu i jak najmniejszej ingerencji w elementy zabytkowe. Otoczenie budynku objętego ochroną konserwatorską również podlega konsultacji z odpowiednim organem.

2. Opis zagadnienia

Obiekty objęte ochroną konserwatorską posiadają wartość historyczną. Zabytki znajdujące się w obszarze miejskim, to najczęściej budowle zlokalizowane w najstarszej części miasta. Należą do nich budynki jednorodzinne oraz wielorodzinne, kamienice, ale także większe obiekty na przykład przemysłowe. Obszar ten w wielu przypadkach jest bardzo atrakcyjny turystycznie, dlatego też zabytki przekształcane zostają m.in. na hotele, biura, miejsca eventowe (Rogała 2017). By osiągnąć ten cel niezbędne są prace remontowe budynków, związane nie tylko ze zmianą ich przeznaczenia, ale także dotyczące termomodernizacji, czy samego docieplenia przegród.

Znaczną część obiektów objętych ochroną konserwatorską stanowią budynki mieszkalne. W samym mieście Wrocław obiekty zamieszkiwane stanowią prawie połowę wszystkich zabytków (bip.um.wroc.pl). Znajdują się one w różnym stanie technicznym. Niektóre z nich wymagają gruntownych remontów.

Zabytkami mogą być również zespoły obiektów przemysłowych np. dawny browar, nieczynna kopalnia, opuszczone fabryki czy zajezdnie tramwajowe. Obiekty te, ze względu na ich wielkość, mogą znajdować się zarówno w centrach miast jak i w jego pobliżu (Wesołowska 2018). W jednym z artykułów (Baborska-Narożny 2012) wyszczególnionych zostało pięć scenariuszy rewitalizacji tego typu obiektów. Wśród nich wymieniła możliwość utworzenia bazy noclegowej,

zabudowy mieszkaniowej oraz usługowej oraz wznowienia działalności przemysłowej uzupełnionej innymi funkcjami.



Rys. 22. Wizualizacja rewitalizowanego obszaru browaru Piast we Wrocławiu (archicom.pl)

3. Przegląd literatury

Tematyka związana z termomodernizacją budynków objętych ochroną konserwatorską została poruszona w wielu publikacjach. Autorzy w dużej mierze nakładają nacisk na obniżenie energochłonności budynku za pośrednictwem tradycyjnych metod docieplenia budynku oraz wymiany instalacji wewnętrznych wraz ze źródłem ciepła. Także w aktach prawa miejscowego oraz w ustawodawstwie odnaleźć można opracowania, w których znajdują się wytyczne do wykonywania czynności nad zabytkami.

3.1 Regulacje

Wiodącym aktem prawnym w Polsce w tematyce ochrony i opieki nad zabytkami jest ustawa z dnia 23 lipca 2003 roku (Dz. U. 2003 nr 162 poz. 1568 z póź. zm.). Jej treść określa wszelkie aspekty związane z nadzorem konserwatorskim obiektów oraz definiuje formy i sposób ich ochrony.

Miejscowy Plan Zagospodarowania Przestrzennego jest jednym z instrumentów służących do ochrony dziedzictwa kulturowego (Ogrodnik 2013). W przypadku jego bardzo szczegółowej treści, może ograniczać modernizację obiektu, tyczy się to także budynków nie będących zabytkami. Na tym samym szczeblu, inne opracowanie planistyczne np. gminny program opieki nad zabytkami, dodatkowo może narzucać pewne zakazy, nakazy oraz ograniczenia dotyczące opieki nad zabytkami (Ogrodnik 2013).

Ważnym dokumentem, który ma wpływ na prace remontowe jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 30 maja 2018 roku (Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council), która zmienia treść innych dyrektyw dotyczących charakterystyki i efektywności energetycznej budynków. Zawarte w niej wytyczne zobowiązują państwa należące do Unii Europejskiej do dalszej redukcji emisji gazów cieplarnianych. Założenie to może być zrealizowane poprzez zmniejszenie zużycia energii przez budynki już istniejące. Odniesienie do tego warunku znajduje się m.in. w warunkach technicznych (Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 z póź. zm.). W dokumencie tym określone zostały parametry, które powinny zostać spełnione podczas prac związanych z budową, bądź modernizacją obiektu istniejącego. Należy jednak zwrócić uwagę na to, iż w tym opracowaniu nie zostały wskazane budynki objęte ochroną konserwatorską. Jest to w szczególności istotne, gdy wytyczne konserwatorskie oraz wykorzystywane materiały i techniki nie pozwalają na spełnienie wymagań zawartych w powyższym rozporządzeniu (Drozdowicz i Laska 2016).

3.2 Najczęściej stosowane materiały do izolacji przegród

Metody termomodernizacji obiektów zabytkowych opierają się na zmniejszeniu energochłonności poprzez:

- a) wymianę stolarki okiennej i drzwiowej,
- b) docieplenie przegród pionowych oraz poziomych,
- c) wymianę lub modernizację instalacji wewnętrznych, w tym źródła ciepła.

Wybór najkorzystniejszej z zaproponowanych modernizacji powinien być oparty na analizie ekonomicznej. Dlatego też pierwszym podjętym działaniem w kierunku termomodernizacji powinno być wykonanie audytu energetycznego. Wyznaczenie optymalnego rozwiązania nie jest jedyną przyczyną wykonywania audytu, wykorzystuje się go także przy pozyskiwaniu środków finansowych do premii termomodernizacyjnych (Wesołowska 2018).

Podczas wykonywania audytu energetycznego istnieje konieczność wyboru materiałów dociepleniowych dla przegród, które poddane zostaną dalszej analizie. Izolacjami, które są najczęściej stosowane podczas termomodernizacji budynków zabytkowych są styropian, wełna mineralna, płyty klimatyczne oraz aerożel.

Każdy z powyższych materiałów posiada inne właściwości (Tab. 5). Najmniejszy współczynnik przewodzenia ciepła posiada aerożel, który wynosi blisko 0,015 W/(m·K). Płyty klimatyczne są materiałem najbardziej porowatym, na co wskazuje największa gęstość objętościowa. Jednocześnie jest to izolator posiadający najwyższą klasę odporności ogniowej A1 oraz największą izolacyjność akustyczną.

Tab. 5. Właściwości wybranych materiałów izolacyjnych (Rogała 2017; Wesołowska 2018; termomodernizacja.pl; izolacje.com.pl).

Parametr	Styropian	Wełna mineralna	Płyty klimatyczne	Aerożel
Współczynnik przewodzenia ciepła deklarowany przez producentów [W/(m·K)]	0,031-0,042	0,030-0,045	0,059-0,065	0,014-0,016
Gęstość objętościowa [kg/m ³]	10-50	135-170	200-240	1,9-150
Odporność ogniowa, klasa reakcji na ogień	Klasa E (samogasnący, gaśnie po usunięciu źródła ognia)	Klasa A (niepalny)	Klasa A1 (niepalny)	Klasa A lub D (trudnozapałny, niekapiący i nieodpadający pod wpływem ognia)
Izolacyjność akustyczna	Miała	Bardzo dobra	Dobra	Bardzo dobra
Współczynnik paroprzepuszczalności [Pa·m·s]	3·10 ⁻⁹	133·10 ⁻⁹	6,7·10 ⁻⁹	Powyżej 45·10 ⁻⁹
Zachowanie w kontakcie z wodą	Odporny na działanie wody i wilgoci, nie absorbuje wody z powietrza	Mniejsza trwałość w warunkach większego zawilgocenia, higroskopijność i nasiąkliwość	Posiadają zdolność do bardzo szybkiego wysychania	Wyjątkowo odporny na działanie wody i wilgoci, hydrofobowy, zwilżalny przez oleje

Wykonanie izolacji oraz użytkowanie pomieszczeń docieplonych danym materiałem ma wpływ na osoby w nich przebywające. Żaden z wymienionych izolatorów nie jest szkodliwy dla eksploatatora, jednak wełna mineralna i aerożel mogą podrażniać skórę i drogi oddechowe wykonawców robót montażowych.

3.3 Metody izolacji przegród

Izolacja przegród pionowych może być wykonywana po obu stronach. Jednakże w większości obiektów objętych ochroną konserwatorską dużą wartość historyczną oraz architektoniczną posiada elewacja. W związku z tym, w budynkach ze zabytkowymi fasadami, poprawa izolacyjności ścian zewnętrznych odbywa się zazwyczaj po stronie wewnętrznej. Należy jednak pamiętać, że ten rodzaj montażu izolacji wiąże się ze zmniejszeniem powierzchni użytkowej budynku.

Metoda docieplenia powinna być dostosowana do materiału z jakiego wykonana jest ściana. Przykładowo, przegrody pionowe wykonane z cegły można izolować wełną mineralną. W takim przypadku, na ruszcie drewnianym umieszczonym 2÷3cm od ściany montuje się materiał izolacyjny z izolacją paroszczelną, a następnie zabudowuje się płytami gips-kartonowymi (Jaworska-Michałowska 2009). Izolację w postaci płyt klimatycznych i styropianu przykleja się bezpośrednio do przegrody, z tym wyjątkiem, że spieniony polistyren należy zakotwić i pokryć płytami g/k (Wesołowska 2018).

Stosunkowo nowym rozwiązaniem w dziedzinie izolacji cieplnych jest aerożel i jego pochodne. Jest to materiał posiadający najniższy współczynnik przewodzenia ciepła (Adamczyk-Królak 2015), dzięki czemu do uzyskania tych samych wartości współczynnika przewodzenia ciepła wykorzystać można mniejszą grubość izolatora. Ponadto aerożel jest substancją, którą konserwatorzy zabytków wskazują jako materiał właściwy do docieplania przegród obiektów monumentalnych (Ryńska 2015). Co istotne, materiał ten nie powoduje tak dużej zmiany w kubaturze budynku w porównaniu do innych materiałów.

Tynki ciepłochronne, to kolejna metoda izolacji budynków zabytkowych. W zależności od rodzaju mogą być one stosowane na zewnątrz jak i wewnątrz obiektu. Jak podają producenci, można łączyć je z innymi rodzajami izolacji, zmniejszając dodatkowo współczynnik przenikania ciepła przegród (termomodernizacja.pl).

Wełna mineralna, styropian i płyty klimatyczne również mogą mieć zastosowanie dla docieplenia przegród poziomych. W wypadku izolacji obiektów już istniejących, należy jednak pamiętać, że ze względów technicznych nie zawsze jest to możliwe.

Specyficznym rodzajem przegrody budowlanej jest podłoga na gruncie. W tym przypadku materiał izolacyjny musi charakteryzować się dużą twardością, gęstością oraz odpornością na odkształcenia. Ponadto niezbędne jest, by materiał był hydrofobowy. Właściwości te posiadają m.in. płyty wykonane z wełny mineralnej oraz styropianu o odpowiedniej gęstości.

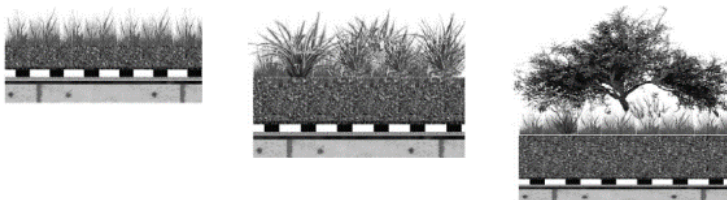
Najpopularniejszym materiałem do dociepleń stropodachów jest wełna mineralna. Jej cechą jest odporność na wysokie temperatury, dzięki czemu pełni rolę dodatkowego zabezpieczenia przeciwpożarowego. Należy tu jednak zwrócić uwagę na ryzyko wystąpienia kondensacji wewnątrzwarstwowej. Istotne jest, że w przypadku zetknięcia wełny mineralnej z wilgocią znacznie spada jej izolacyjność (Byrdy 2016).

Wykonując izolację przegród zewnętrznych od wewnątrz budynku należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość wykroplenia się wilgoci na ich powierzchniach. W tym celu przed rozpoczęciem prac budowlanych wykonać należy analizy cieplno-wilgotnościowe. Wykonanie ich pozwala na dobór izolacji, która w negatywny sposób nie będzie wpływać na lokalizację punktu rosy.

3.4 Niekonwencjonalne rozwiązania w dziedzinie termoizolacji

Dyrektywa (Dyrective (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council) w jednym z punktów zwraca uwagę na wykorzystanie rozwiązań naturalnych w celu obniżenia popytu na energię przez budynek. Ściany i dachy pokryte materiałem biologicznym przeżywają renesans. Dawniej pełniły tylko rolę estetyczną, dzisiaj także wykorzystuje się je jako materiał izolacyjny. Zastosowanie roślinności na przegrodach w budynkach dawnych jest jedną z możliwości rewitalizacyjnych. Zieleń jest wykorzystywana jako narzędzie podczas zmiany charakteru obiektu.

Obszary o gęstej zabudowie stają się bardziej dostępne dla użytkowników w przypadku pojawienia się roślinności, której zastosowanie wiąże się z poprawą komfortu jak i samopoczucia osób przebywających w ich pobliżu. W tym wypadku komfort, to nie tylko doznania związane z temperaturą powietrza, ale także z jego prędkością i wilgotnością.



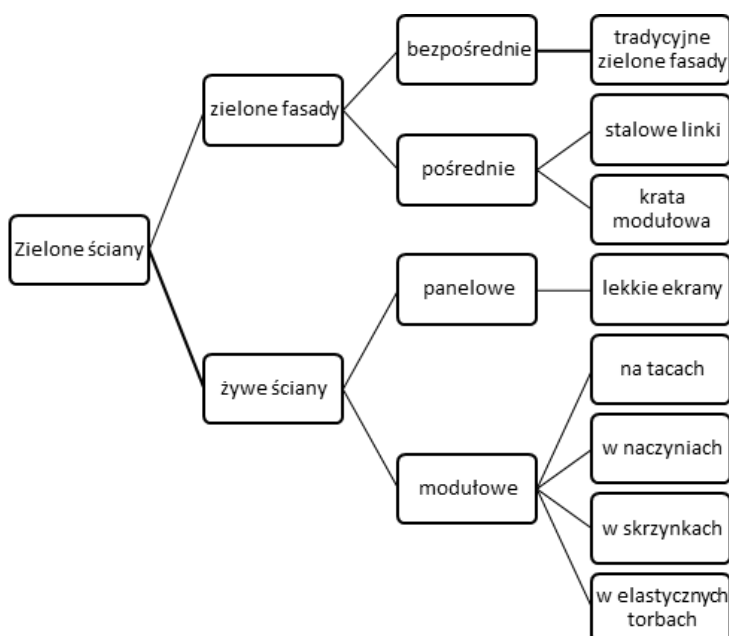
Rys. 23. Klasyfikacja zielonych dachów a) ekstensywny, b) półintensywny, c) intensywny (Besir i Cuce 2018).

Wszystkie nasadzenia zwiększają powierzchnię biologicznie czynną w krajobrazie miejskim, co pozytywnie wpływa nie tylko na ludzi mieszkających i przebywających w ich pobliżu, ale również na środowisko. Roślinność redukuje zanieczyszczenia powietrza, tłumi hałas, odciąża sieć kanalizacyjną oraz obniża zużycie energii w budynku. Zielone dachy i ściany chronią budynek latem przed jego przegrzaniem oraz zimą obniżając współczynnik przenikania ciepła przegród (Ksit i Majcherek 2013).

W literaturze (Kowalczyk 2011; Ksit i Majcherek 2013) odnaleźć można wady i zalety stosowania ogrodów wertykalnych i dachowych. Niewątpliwą zaletą, która przeważa zastosowanie roślinności na przegrodach nad tradycyjnym dociepleniem, jest niezmnieszenie kubatury pomieszczeń budynku. Należy jednak zwrócić szczególną uwagę na konstrukcję elementu, na którym zostanie wykonana zielona przegroda. W przypadku obiektów objętych ochroną konserwatorską, których konstrukcja nie powinna być zmieniana ze względu na jej zabytkowy charakter, niemożliwym wydaje się być założenie ogrodu na dachu. W wielu przypadkach rozwiązanie to wymaga wzmocnień konstrukcji przegrody poziomej ze względu na jej duże obciążenie (Besir i Cuce 2018).

Nieco inaczej jest w przypadku zastosowania roślinności na ścianach. Mnogość rozwiązań konstrukcyjnych (Rys. 3) pozwala na dostosowanie metody montażu do możliwości obciążenia danej przegrody. Przy ścianie dostosowanej do założeń zielonej fasady, najmniejszą ingerencją na mur charakteryzuje się bezpośrednia zielona fasada. Rozwiązanie to nie posiada elementów wsporczych, które niezbędne są w przypadku innych systemów. Jednakże należy pamiętać o doborze rośliny, która wykorzystuje swoje zdolności do „przyczepiania się” do ściany (Besir i Cuce 2018). Przy odpowiedniej pielęgnacji oraz dla przegród wykonanych z materiałów zalecanych do tego typu rozwiązania np. mur z cegły na zaprawie cementowo-wapiennej, bezpośrednia zielona fasada może być wykorzystywana na obiektach zabytkowych.

Ponadto, duże miasta prowadzą gospodarkę w myśl zrównoważonego rozwoju. Jednym z punktów tych założeń jest ograniczenie zapotrzebowania na energię dla budynków. W ramach intensyfikacji terenów zielonych Rada Miejska Wrocławia uchwaliła dokument (Uchwała nr XV/268/15 Rady Miejskiej Wrocławia), który dotyczy zwolnień z podatku od nieruchomości. Dotyczy on budynków, gdzie wykonane zostały zielone dachy oraz powierzchnia ogrodów wertykalnych wynosi nie mniej niż 15m² (szczegółowe założenia znajdują się w dokumencie). Jedynym warunkiem nieprzyznania zwolnienia jest niemożność prowadzenia działalności gospodarczej na powierzchni użytkowej obiektu. Podobne rozwiązania stosowane są w innych polskich miastach np. Kraków czy w ośrodkach zagranicznych, gdzie zastosowanie roślinności na przegrodach jest bardziej powszechne.



Rys. 24. Klasyfikacja zielonych ścian ze względu na ich konstrukcję (Wesołowska 2018; Besir i Cuce 2018).

4. Podsumowanie

Termomodernizacja budynku jest kompleksowym zagadnieniem, w którego skład wchodzi izolacja przegród. Modernizacja budynków zabytkowych jest bardziej skomplikowana. Podejmowane działania uzależnione są od decyzji wojewódzkiego konserwatora zabytków. Poprzez co możliwości termomodernizacyjne mogą być w znacznym stopniu ograniczone. Najbardziej popularną metodą docieplenia budynku posiadającą zabytkową elewację jest zastosowanie izolacji od wewnątrz. Metoda ta bazuje na zastosowaniu styropianu i wełny mineralnej oraz coraz bardziej powszechnego aerożelu i tynku ciepłochronnego. Przy czym należy pamiętać o wcześniejszym wykonaniu obliczeń wilgotnościowych w celu uniknięcia kondensacji pary wodnej na powierzchni przegrody.

Dyrektywa parlamentu europejskiego (Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council) kładzie nacisk na wsparcie badań naukowych dotyczących poprawy charakterystyki energetycznej obiektów istniejących, w tym zabytkowych. W związku z tym punktem, w szczególności duże miasta, poszukują niestandardowych rozwiązań dociepleniowych. Jednym z nich jest wykorzystanie zielonych ścian i dachów na obiektach, które poprawiać mogą warunki cieplne oraz posiadające szereg zalet dla klimatu miejskiego.

5. Literatura oraz materiały źródłowe

- Adamczyk-Królak I (2015) Aerożele i pianki poliuretanowe – nowoczesne materiały termoizolacyjne w budownictwie. Budownictwo o Z optymalizowanym Potencjale Energetycznym 2(16): 9–14.
- Baborska-Narożny M (2012) Revitalisation of Industrial Areas – Transformation Models on Selected Examples. Czasopismo Techniczne Architektura 12: 275–279.
- Besir AB, Cuce E (2018) Green roofs and facades: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 82: 915–939.
- Byrdy A (2016) Wpływ zastosowania izolacji termicznej o wysokiej sprawności na funkcjonalność dachów skośnych. Materiały Budowlane 4(524): 93–94.

- Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency.
- Drozdowicz M i Laska M (2016) Thermomodernization of tenement houses. Rynek Instalacyjny 10: 1–6.
- <https://bip.um.wroc.pl/arttykul/204/3068/zabytki-wroclawia> (dostęp 29.05.2020).
- [https://www.archicom.pl/inwestycje-mieszkaniowe/browary-wroclawskie/?iproduct\[investition_group_id\]=49](https://www.archicom.pl/inwestycje-mieszkaniowe/browary-wroclawskie/?iproduct[investition_group_id]=49), (dostęp 07.01.2020).
- <http://www.izolacje.com.pl/>, (dostęp 08.01.2020).
- <http://termomodernizacja.pl/kategoria/docieplenia/>, (dostęp 08.05.2020).
- Jaworska-Michałowska M (2009) Ochrona historycznej elewacji w procesie termomodernizacji - wybrane zagadnienia. Budownictwo Czasopismo Techniczne 9(9): 151–161.
- Kowalczyk A (2011) Zielone dachy szansą na zrównoważony rozwój terenów zurbanizowanych. Zrównoważony Rozwój - Zastosowania (2): 66–81.
- Ksist B i Majcherek M.(2013) Green Walls, czyli zielone ściany jako ekologiczne przegrody budowlane - cz . I. Inżynier Budownictwa - Materiały i Technologie: 1–6.
- Ogrodnik K (2013) Ochrona Dziedzictwa Kulturowego W Miejsowym Planie Zagospodarowania Przestrzennego. ARCHITECTURAE et ARTIBUS 2: 13–24.
- Rogała W (2017) Warunki techniczne w odniesieniu do termomodernizacji obiektów zabytkowych. Acta Sci. Pol. Architectura 16 (2): 77-84.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 z póź. zm.
- Ryńska E (2017) Coraz bardziej SMART. Builder: 24–28.
- Uchwała nr XV/268/15 Rady Miejskiej Wrocławia w sprawie zwolnień od podatku od nieruchomości powierzchni użytkowych lokali mieszkalnych w ramach projektu intensyfikacji powstawania terenów zieleni w obrębie Miasta Wrocławia.
- Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami, Dz. U. 2003 nr 162 poz. 1568 z póź. zm.
- Wesołowska M (2018) Building energy audit and analysis of possibility of using green facades improving condition and humidity of the object: Master Thesis. Wrocław University of Science and Technology.

11. CPTED w projektowaniu architektonicznym i urbanistycznym

CPTED (Crime Prevention Through Environmental Design) in architecture design and urban planning

Justyna Masłowska

Katedra Projektowania Architektonicznego, Wydział Budownictwa i Architektury,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Opiekun badawczy: mgr inż. arch. Alicja Świtalska

Justyna Masłowska: j.maslowskaa@gmail.com

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, społeczeństwo, komfort, przestępstwo

Streszczenie

Na przestrzeni wieków tworzyły się różne grupy społeczne zakładając osady, dzielnice i miasta. W każdym obszarze kluczowym do spokojnego życia było ogólne poczucie bezpieczeństwa. Aby je osiągnąć ludzie stosowali różne metody. W czasach osadniczych tworzone grody z liniami palisad i fosą, aby oddzielić się od potencjalnego zagrożenia. Z czasem to ewoluowało i w czasach współczesnych osiedli ogranicza się do innych zabiegów. Systematyzuje je teoria CPTED (*Crime Prevention Through Environmental Design*), która była opracowywana na różnych płaszczyznach: architektury, interakcji społecznych, technologii i planowania przestrzennego.

1. Wstęp

Bezpieczeństwo jest jedną z podstawowych potrzeb w życiu człowieka, a jednym z jego aspektów jest brak poczucia zagrożenia w miejscu zamieszkania. Zapewnienie bezpieczeństwa swoim obywatelom należy do najstarszych i najbardziej istotnych zadań państwa. Zgodnie z art. 5. Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej „... (państwo) strzeże niepodległości i nienaruszalności swojego terytorium, zapewnia wolność i prawa człowieka i obywatela oraz bezpieczeństwo obywateli”. Jak wskazuje Trybunał Konstytucyjny, „ochrona niepodległości państwa i niepodzielności jego terytorium oraz zapewnienie bezpieczeństwa i nienaruszalności jego granic jest konstytucyjnym zadaniem Prezydenta RP, Rady Ministrów oraz wszelkich innych organów władzy publicznej”. Zapisy te wynikają z naturalnej potrzeby poczucia bezpieczeństwa, której, konieczność zaspokojenia uaktywnia się zaraz po zaspokojeniu potrzeb fizjologicznych. Powiązanie między ukształtowaniem danego terenu i jego zarządzaniem a ryzykiem pokrzywdzenia czynem przestępczym zaczęto dostrzegać już w latach 60. XX wieku.

2. Opis zagadnienia

Czym jest w takim razie komfort psychiczny, co się składa na jego zaspokojenie i dlaczego jest on taki ważny w naszym codziennym życiu? Człowiek znajduje się w warunkach komfortu psychicznego wówczas, gdy nie przeżywa nadmiernych stresów i ma zapał do działania. Stwarzamy je sobie sami, a także nasi najbliżsi, rodzina i inni przez swoje przemyślenia, emocje oraz zachowanie. Dodatkowo definiują je środki masowego przekazu oraz politycy odpowiedzialni za klimat polityczny, w których żyjemy. Oczywiście znaczącą kwestią jest otoczenie w jakim przebywamy. Otwarte przestrzenie wypełnione zielenią, dające poczucie przytulności i swojskości korzystnie wpływają na nasze samopoczucie. Jest to uwarunkowane tym, że dany teren sprawia wrażenie bezpiecznego, a zatem muszą być zastosowane odpowiednie zabiegi kształtowania przestrzeni publicznej.

3. Przegląd literatury

Według *defensible space theory* (teoria przestrzeni obronnej) O. Newmana, ogłoszonej w monografii tego autora z 1972 r. pod tożsamym tytułem, istnieje wzajemna relacja między formą zabudowy a ryzykiem przestępczości. Wśród cech przestrzeni, które zmniejszają ryzyko stania się

obiektem przestępczego ataku, O. Newman wskazał: (1) terytorialność, (2) nadzór, (3) zadbanie oraz (4) użytkowanie. Na przestrzeni lat te cztery aspekty ewoluowały i w latach 70. XX wieku C. Jeffry jako pierwszy użył terminu CPTED (*Crime Prevention Through Environmental Design*). Oznacza on wielobranżowy cel zmniejszenia przestępczości poprzez projektowanie urbanistyczne i środowiskowe oraz wykorzystanie obecnie istniejących przestrzeni. Strategie CPTED celują w zmniejszenie ofiar kryminalnych precedensów oraz budowę poczucia bezpieczeństwa. Zwiększają one w ten sposób poczucie więzi i odpowiedzialności publicznej oraz zmniejszają możliwości popełnienia zbrodni, a co za tym idzie, redukują obawę mieszkańców przed byciem potencjalną ofiarą (Zbroszczyk i Borkowski 2018). Jest to również podprogowe i behawioralne zniechęcenie sprawcy do ataku na danym terenie przy jednoczesnym braku nadmiernej rozbudowy barier fizycznych odgraniczających chroniony teren od reszty świata. Należy jednak pamiętać, że do stworzenia przestrzeni, która zniechęci potencjalnego sprawcę do ataku, jest współpraca podmiotów publicznych (przede wszystkim Policji) oraz mieszkańców danej wspólnoty lokalnej.

Wyróżnia się sześć podstawowych obszarów koncepcji programu CPTED I generacji:

- Wyodrębnienie terenu (*territoriality*)
- Nadzór (*surveillance*)
- Kontrola dostępu (*access control*)
- Wzmocnienie celu (*target gardening*)
- Zarządzanie i konserwacja (*management and maintenance*)
- Wsparcie aktywności/użytkowania (*activity suport*)

Pierwszym z nich jest wyodrębnienie terenu. Polega to na rozdzieleniu przestrzeni publicznej od niepublicznej przy pomocy granic wyraźnie informujących o przynależności danego obszaru. Mogą przyjąć różną formę barier rzeczywistych (np. ogrodzenie, żywopłot) lub symbolicznych (inny kolor kostki brukowej, znak, napis). Oddzielenie powinno być jasne i wyraźne. O. Newman wyróżnił 4 rodzaje przestrzeni:

- publiczną – „dla każdego”, dostępna nieodpłatnie
- półpubliczną – znajdującą się pod kontrolą administracyjną, ale wiele osób może z niej korzystać, czasem konieczne jest uiszczenie opłaty
- półprywatną – właściwą dla pewnych grup, współdzielona przez mieszkańców
- prywatną – właściwą dla jednostek, osobista.

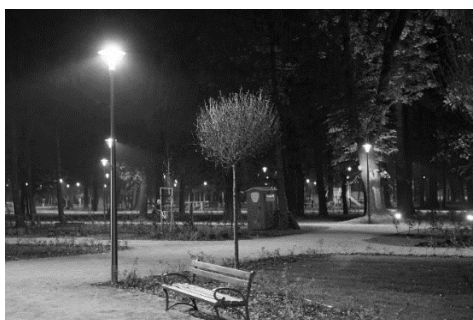
Środowisko zaprojektowane w celu wyraźnego wyznaczenia przestrzeni prywatnej ma dwie funkcje. Po pierwsze, tworzy poczucie własności. Właściciele mają szczególny interes i są bardziej skłonni rzucić wyzwanie intruzom lub zgłosić je policji. Po drugie, poczucie posiadanej przestrzeni tworzy środowisko, w którym wyróżniają się „nieznajomi” lub „intruzi” i są łatwiej rozpoznawalni. Wykorzystując budynki, ogrodzenia, chodniki, znaki, oświetlenie i krajobraz do wyrażenia własności i zdefiniowania przestrzeni publicznej, półpublicznej i prywatnej, dochodzi do naturalnego wzmocnienia terytorialnego. Ponadto cele te można osiągnąć poprzez przydzielenie miejsca wyznaczonym użytkownikom w wcześniej nieprzypisanych lokalizacjach. Dodatkowo należy pamiętać o nasadzeniu drzew w obszarach mieszkalnych. Wyniki badań wskazują, że w przeciwieństwie do tradycyjnych poglądów w środowisku organów ścigania, zewnętrzne przestrzenie mieszkalne z większą liczbą drzew są postrzegane jako znacznie bardziej atrakcyjne, bezpieczniejsze i bardziej prawdopodobne, że zostaną wykorzystane niż podobne przestrzenie bez drzew. Znaczące jest unikanie ogrodzenia z ogniw łańcucha i zwieńczenia drutu kolczastego, ponieważ informuje to o braku fizycznej obecności i zmniejszonym ryzyku wykrycia (Sulowski i Brzeziński 2014)

Kolejnym zagadnieniem jest naturalny nadzór. Polega on na rozmieszczeniu oświetlenia, zieleni, urządzeń małej architektury oraz stref ludzkiej aktywności tak, aby maksymalnie zwiększyć pole obserwacji otoczenia. Są to zabiegi, które bazują na podstawowych formach polepszenia poczucia bezpieczeństwa. Przeciętny człowiek postawiony przed krótką, ale źłą, bądź całkowicie nieoświetloną ścieżką, podświadomie szuka innej możliwości dojścia do wybranego celu. Jest to spowodowane tym, że naturalnie kojarzymy ciemność z niebezpieczeństwem. Nasz zmysł wzroku

ulega ograniczeniu, zaczynamy się stresować niemożnością dostatecznego zarejestrowania sytuacji w najbliższej okolicy. Dodatkowo w momencie, w którym maleje możliwość pełnego wykorzystania sprawności naszych oczu, wyostają się pozostałe zmysły. Tym, który przoduje w takich sytuacjach, jest nasz słuch (Saville i Cleveland 2008). Zaczynamy zwracać uwagę na każdy szmer, zgrzyt, świst etc. interpretując je jako możliwość zagrożenia. W ten sposób stres spowodowany utratą przejrzystej oceny sytuacji eskaluje w zastraszającym stopniu. Jest to niebezpieczne, ponieważ człowiek zalany falą niezidentyfikowanych na ogół bodźców, może je mylnie interpretować, a co gorsza nie odróżnić naturalnych od niebezpiecznych. Przestępcy doskonale wiedzą, że ciemność to ich najlepszy sprzymierzeniec w zbrodni. Z tego powodu często wybierają miejsca niedoświetlone na swoją chwilową kryjówkę, aby móc ze spokojem obserwować swoją ofiarę i napaść na nią w odpowiednim momencie.



Rys.1. Park Centralny w Świdnicy, Polska (<https://swidnica24.pl>).



Rys.2. Park w Petersburgu, Rosja (<https://www.tapeciarnia.pl>).

Dodatkowo poziom zagrożenia podwyższa wszechobecna niezagospodarowana zieleń w centrum miast i na przedmieściach. Nawiązuje to do *broken windows theory* (teorii wybitych szyb) J. Wilsona i G. Kellinga, którzy zakładali, że stan zaniedbania, nieporządku, dezorganizacji w danym społeczeństwie może skłonić potencjalnego sprawcę do ataku. Aby temu zapobiec, należy zagospodarować wszechobecne tereny nieurządzonej zieleni publicznej w taki sposób, aby były one przyjazne dla użytkownika, dostępne dla każdego oraz odpowiednio doświetlone.

Dochodzimy w ten sposób do trzeciego aspektu, który zakłada CPTED, czyli naturalna kontrola dostępu do przestrzeni prywatnej i nadzoru części publicznej. Należy jednak pamiętać, że celem tego założenia nie jest tworzenie zamkniętych twierdz izolujących mieszkańców osiedla od przestępczości. W Polsce istnieje powszechny nawyk, aby odgradzać się od ludzi w taki sposób, by potencjalny wścibski przechodzień nie mógł zajrzeć na nasze podwórko. Ma to negatywne skutki zarówno ze strony właściciela, jak i przechodniów. W momencie, w którym w części publicznej następuje akt wandalizmu, kradzież, bądź bijatyka – sprawcy pozostają anonimowi. Wysokie krzewy jakie ludzie zasadzają, by osłonić się przed gapiami, zakrywają również to, co aktualnie dzieje się przed posesją. Ofiary napaści nie mają możliwości zwrócić na siebie uwagi i ubiegać się o pomoc, ponieważ nikt nie będzie w stanie zauważyć zaistniałej sytuacji. Tymczasem w krajach, w których świadomość publiczna jest na nieco wyższym poziomie, odwrócone są tendencje dzielenia przestrzeni

publicznej i prywatnej. Zwiększa to odczucie bycia obserwowanym i zmniejszenie anonimowości. Aby to umożliwić, teren powinien być odpowiednio przystosowany, np. poprzez stawianie ażurowego ogrodzenia. W Norwegii rzadko kiedy można natknąć się na płoty, bądź wysokie krzewy na granicy działki. Zobaczmy natomiast szerokie pasma niskich nasadzeń – strojnych rabat między chodnikiem a niską zielenią prywatną (Rys. 3,4).



Rys. 3. Norweskie miasteczko Nordwijk (4safe – Koncepcja CPTED ALBO „Bezpieczne otoczenie” dla każdego, prawie... - 03.07.2007r. – Piotr Ichniowski – zdjęcia autorskie).

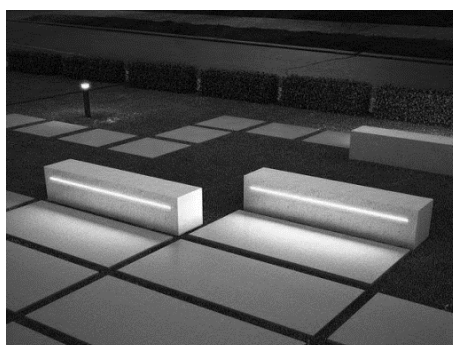


Rys. 4. Norweskie miasteczko Nordwijk (4safe – Koncepcja CPTED ALBO „Bezpieczne otoczenie” dla każdego, prawie... - 03.07.2007r. – Piotr Ichniowski – zdjęcia autorskie).

Kolejnymi aspektami działania CPTED jest zastosowanie technicznych środków ochrony i dostępu czyli zarządzanie i konserwacja oraz wzmocnienie celu. Oznacza to użycie stosownych do miejsca i okoliczności odpowiednich zabezpieczeń mechanicznych i elektronicznych podnoszących poziom ochrony osobistej i ochrony przestrzeni publicznej. Jest to dodatkowe założenie usprawniające wyżej wymienione zasady. Można w tym celu zamontować monitoring w przestrzeni zwiększonego ryzyka napaści, aby zniechęciło to kryminalistę do popełnienia wykroczenia, bądź zbrodni. Stosuje się też dodatkowe formy ochrony. W witrynach sklepowych montuje się drzwi i rolety antywłamaniowe, zakłada się alarmy ochronne, domofony i dzwonki. Do tej grupy działań należy zaliczyć także używanie materiałów trwałych i odpornych na zniszczenia, np. stosowanie ławek betonowych zamiast drewnianych. Pogorszenie jakości elementów wspólnych wskazuje na mniejszą kontrolę przez zamierzonych użytkowników strony i wskazuje na większą tolerancję zaburzenia. Teoria *broken windows* jest cennym narzędziem w zrozumieniu znaczenia konserwacji w zapobieganiu przestępczości. Obecność wybitego okna zachęca wandalę do wybijania większej ich liczby w pobliżu. Im szybciej rozbite szyby zostaną naprawione, tym mniej prawdopodobne jest, że taki incydent nastąpi w przyszłości. Tak samo sytuacja wygląda odnośnie graffiti – im szybciej zostanie zamalowane, tym mniejsza szansa na ponowienie aktu wandalizmu, ponieważ nikt nie widział, co zostało zrobione. Można więc jednoznacznie stwierdzić, że tworzenie, utrzymywanie, promowanie pozytywnego wizerunku środowiska zabudowanego powoduje, że okolica funkcjonuje bez zakłóceń. Dajemy potencjalnemu sprawcy („outsiderowi”) wrażenie, że ktoś dba o teren, obserwuje go i w razie potrzeby zawiadomi odpowiednie służby. (Cozens i in. 2005)



Rys.5. Wizualizacja betonowych ławek z oświetleniem (<http://pl.pl.allconstructions.com>).



Rys 6. Monitoring osiedla w Gdańsku przy ulicy Łańcuckiej (<https://tgz.com.pl>).

Program CPTED II generacji polega przede wszystkim na stworzeniu sprawnie działającego środowiska wewnętrznego, budowaniu relacji pomiędzy użytkownikami przestrzeni publicznej i zachęcaniu ich do działań poprawiających bezpieczeństwo. Można w niej wyróżnić:

- spójność społeczną (*social cohesion*)
- łączność (*connectivity*)
- kulturę wspólnoty (*community culture*)
- próg wytrzymałości (*threshold capacity*)

Spójność społeczna to więź między jednostkami i grupami. Ta więź jest niezbędna, by ludzie normalnie funkcjonowali w społeczeństwie, zasadniczo zapewniając niepisane reguły społeczne między sobą dotyczące sposobu działania i tego, co jest społecznie akceptowalne. Spójność społeczną można wydzielić na kilka tematów; obejmują one tolerancję, odpowiedzialność, uczestnictwo demokratyczne i wzajemny szacunek. Ten ostatni aspekt jest tym, co reguluje poziom współpracy między jednostkami w kontekście społecznym.

Bardzo ważna jest również łączność czyli komunikacja wewnątrz określonej grupy społecznej. Na osiedlach dobrze jest wytworzyć grupę, która decyduje o działalności wspólnoty. W ten sposób wyznaczone są osoby odpowiedzialne za decyzje podejmowane na obszarze osiedla. Dzięki ustalonej grupie zarządzającej wiadomo do kogo można zwrócić się o pomoc w wypadku zauważonego aktu wandalizmu lub ogólnego problemu dotyczącego właściwego terenu. W ten sposób wzrasta poczucie wspólnoty i komunikacji międzyludzkiej. Mieszkańcy przestają być dla siebie anonimowi i integrują się ze sobą. Społeczność nie może funkcjonować w izolacji i powinna posiadać zdolność do nawiązywania relacji z grupami z zewnątrz np. nawiązywać kontakty z lokalnymi mediami w celu promocji lokalnych wydarzeń (Jongejan 2005). Istotne jest również zapewnienie infrastruktury lokalnego transportu publicznego.

Jednym z podstawowych zarzutów wobec klasycznej koncepcji CPTED było to, że wraz ze zmniejszającą się liczbą przestępstw popełnianych na ulicach nie malała liczba przestępstw

popelnianych wewnątrz domów. Dlatego należy szerzyć działalność edukacyjną przez organizację różnego rodzaju festiwali lub innych sportowych lub kulturalnych wydarzeń, co przyczyni się do wzmocnienia lokalnej kultury, będzie budzić poczucie przynależności i skłaniać do ochrony wspólnego terytorium oraz członków wspólnoty przez siebie nawzajem (Crowe 2000).

Zmniejszenie liczby opuszczonych budynków i tworzenie bezpiecznych miejsc dla młodzieży spowoduje, że ludzie zwrócą się ku czynnościom produktywnym społecznie. Jeśli natomiast wzrośnie liczba opuszczonych miejsc, może to prowadzić do wzrostu przestępczości. Równowaga społeczna pozwoli ludziom rozwijać silne poczucie wspólnoty i podzielanych wartości, co może mieć pozytywny wpływ na wskaźnik przestępczości w regionie. To zjawisko można inicjować, tworząc np. wspólne ogrody.

Jaka jest rola architekta w projektowaniu zgodnym z CPTED? Pierwsza generacja zapobiegania przestępczości przez projektowanie środowiskowe (CPTED) kładzie nacisk na fizyczne ukształtowanie przestrzeni, nie koncentrując się na kwestiach społecznych. Z kolei druga generacja CPTED uwzględnia czynnik ludzki, jednocześnie czyniąc architekta kluczową postacią w procesie planowania, projektowania i umiejętnego wykorzystania takich warunków środowiskowych, jak: kontrola dostępu, kontrola społeczna oraz wzmocnienie roli terytorium (terytorialność). Planowanie i projektowanie zabudowy w miastach powinno uwzględniać takie rozwiązania, które będą przyjazne dla mieszkańców i jednocześnie będą się przyczyniać do zwiększenia poczucia ich bezpieczeństwa. Bezpieczeństwo jednostki ludzkiej staje się zatem nadrzędnym celem. Zgodnie z założeniami *human security* to właśnie człowiek jest podmiotem bezpieczeństwa, a kluczową sprawą staje się zaspokojenie jego głównej potrzeby – poczucia bezpieczeństwa, w tym przypadku rozumianego w sposób bezpośredni i konkretny, a zatem jako możliwość zamieszkiwania w przyjaznym i bezpiecznym miejscu, niegenerującym przestępczości i patologii, lecz umożliwiającym harmonijny, zrównoważony rozwój jednostek i całej społeczności lokalnej (Randall I. Atlas 2008). Zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju konieczne jest poszanowanie środowiska naturalnego. Miejscem, które będzie spełniać powyższe warunki, powinno być współczesne miasto. Zatem dochodzi tu do styku problematyki przestrzennych uwarunkowań bezpieczeństwa z przesłankami *human security*, a łącznikiem między nimi będzie idea zrównoważonego rozwoju w warunkach miejskich. Współcześnie obserwuje się tendencję do czynienia bezpieczeństwa jednostki ludzkiej celem nadrzędnym, dokonując planowania, projektowania bądź rewitalizacji ośrodków miejskich. Co więcej, kluczowe znaczenie w tym procesie mają nie tylko procesy projektowy i planistyczny, lecz również praktyka deweloperska oraz wdrażanie właściwych działań w ramach prowadzonej polityki społecznej i ochrony środowiska, zwłaszcza przez lokalne władze. Tym samym nadrzędne staje się całościowe podejście do kształtowania bezpiecznych obszarów zurbanizowanych. Argumentem potwierdzającym te twierdzenia jest chociażby przyjmowanie programów promujących zrównoważony rozwój miast oraz ich rewitalizację. Celem ma być tworzenie ośrodków miejskich, które są przyjazne dla mieszkańców i środowiska naturalnego.

4. Podsumowanie

Założenia CPTED zakładają działania na wielu płaszczyznach zarówno indywidualnej, zbiorowej, jak i zawodowo-publicznej. Wszystkie te poziomy stanowią integralną całość, która w efekcie daje możliwość spokojnego funkcjonowania w otoczeniu. Zaczynając od procesu projektowego, przywydywania potrzeb użytkowników oraz tworzenia przyjaznej, zabezpieczonej przestrzeni poprzez wspólnotę, nawiązywanie kontaktów i integracji, po dbałość o dobro wspólne. Dzięki tym zabiegom, świadomości publicznej i indywidualnej jesteśmy w stanie zapewnić sobie środowisko, w którym każdy będzie czuł się bezpiecznie i komfortowo.

5. Literatura

- Jongejan A, (2005) The Police Label Secured Housing: annex 13 (et. al.)
Zbroszczyk D, Borkowski K (2018) Zapobieganie przestępczości przez kształtowanie przestrzeni – założenia programu CPTED wraz z przykładami jego realizacji na osiedlu Grenadierów w Warszawie: 85-112

- Saville G, Cleveland G (2008) Second-Generation CPTED. The Rise and Fall of Opportunity Theory: 127-164 (et. al.)
- Cozens P, Saville G, Hillier D, (2005) Crime prevention through environmental design (CPTED): a review and modern bibliography: 328-356 (et. al.)
- Atlas RI (2008) 21st Century Security and CPTED – Designing for Critical Infrastructure Protection and Crime Prevention: 79-90, 112-156 (et. al.)
- Sulowski S, Brzeziński M (2014) Trzy wymiary współczesnego bezpieczeństwa: 70-210
- Crowe T (2000) Crime Prevention Through Environmental Design: applications of Architectural Design and Space Management Concepts (2nd ed.): s. 92-137

12. Kompozytowe rury z lekkim rdzeniem ścianki nośnej - badania wstępne

Composite pipes with lightweight load-bearing core – preliminary studies

Raźny Natalia ⁽¹⁾, Barcicki Krzysztof ⁽²⁾, Filipiak – Kaczmarek Adrianna ⁽³⁾

⁽¹⁾Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska

⁽²⁾Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska

⁽³⁾Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Wojciech Błażejewski

Raźny Natalia: nataliarazny@gmail.com

Słowa klucze: sieci wodociągowe, materiały przekładkowe, wytrzymałość na ściskanie, granulaty szklane

Streszczenie

W artykule przedstawiono projekt i wstępne badania wytrzymałościowe rur kompozytowych o lekkim rdzeniu ścianki nośnej wykonanym ze spienionego granulatu szklanego. Celem prowadzonych badań było znalezienie materiału zastępującego konwencjonalne rury do transportu mediów wymagających izolacji termicznej. W próbach wytworzenia elementów wykorzystano metodę nawijania; gotowe elementy poddano analizie mikroskopowej SEM, zbadano geometrię oraz przeprowadzono próby wytrzymałości na ściskanie. Otrzymane w badaniu wyniki pozwoliły stwierdzić, że wzrost ilości syciwa w elementach pozwala na uzyskanie większej gęstości, a próbki o większej sztywności osiągają większą wytrzymałość na ściskanie promieniowe.

1. Wstęp

Wraz ze wzrostem uprzemysłowienia i rozbudową osiedli mieszkalnych wzrasta potrzeba doprowadzania mediów. Transport jest często prowadzony za pomocą rur ukrytych pod ziemią. Tak przygotowane sieci są narażone na serię trudnych warunków, a najważniejszym z nich jest obciążenie wywierane przez grunt na rurę. Innymi czynnikami obciążającymi są: szerokość wykopu, typ stosowanych do wypełnienia wykopu kruszyw czy też stopień zagęszczenia wypełnienia.

W ostatnich latach nastąpił znaczny rozwój w technologii produkcji i wytwarzania rur kanalizacyjnych. Coraz częściej stosuje się materiały kompozytowe, które spełniają większość wymagań stawianych potencjalnym materiałom do zastosowań w dziedzinie transportu mediów (takich jak woda czy ścieki). Szczególnie należy tu zwrócić uwagę na możliwość używania cienkich ścianek, co wiąże się z lekkością gotowego elementu, ze względu na wysoką wytrzymałość właściwą. Innym istotnym parametrem przemawiającym za zastosowaniem materiałów kompozytowych jest brak podatności na korozję oraz dobra odporność chemiczna, przez co obniżone są koszty profilaktyki czy konieczności wymiany zniszczonych elementów. Obecnie stosuje się profile z tworzyw sztucznych do transportu gazów (Marzejon 2012; Szruba 2017).

Rury transportowe są oddawane do użytku tylko w wypadku spełniania serii warunków dyktowanych przez normy. Klasyfikowane są one ze względu na właściwości sprężyste, dlatego wyróżnia się: przewody sztywne (dopuszczalne względne odkształcenie wynosi około 0) wykonywane z materiałów konwencjonalnych – betonu, żeliwa, przewody półsztywne (dopuszczalne względne odkształcenie około 0,5%) – wykonywane z kompozytów włóknistych, zazwyczaj włókno szklane i żywica epoksydowa, oraz przewody elastyczne – podatne na odkształcenia do około 5%, wykonywane z tworzyw, między innymi polietylenu PE, polipropylenu PP, czy poli(chlorku winylu) PVC (Marzejon 2012). Szczegóły podają normy: PN-EN 805:2002 oraz PN-EN 476:2011.

Do produkcji rur kompozytowych wykorzystuje się bardzo często metodę nawijania, która jest stosowana w przypadku produkcji stosującej włókna ciągłe. Najczęściej wykorzystywana jest przy produkcji zbiorników ciśnieniowych, rur i butli, ponieważ pozwala na wytwarzanie elementów posiadających symetrię względem osi obrotu. Elementy wykonane tą metodą cechuje lekkość, duża trwałość, gładka powierzchnia zewnętrzna oraz wysoka wytrzymałość na ściskanie promieniowe. Sprawia to, że tego typu produkty stanowią poważną konkurencję dla elementów o podobnej budowie

wykonanych z metalu, betonu czy ceramiki. Ogromnym plusem jest także ich niska porowatość, przez co nadają się między innymi do przechowywania gazów o niskiej masie cząsteczkowej.

Idea metody polega na tym, że rdzeń obraca się wzdłuż poziomej osi, a specjalny przesuwany uchwyt podaje przesycony roving, układając go na rdzeniu według określonego wzoru. Kąt nawijania można regulować za pomocą programów sterowania numerycznego, jednak należy mieć na uwadze, że, poza określonymi przez program wytycznymi, może zależeć on też od lepkości żywicy czy szybkości posuwu ramienia podającego wiązkę. Ten typ metody nawijania nazywany jest sposobem obrabiarkowym. Istnieje także możliwość nawijania w systemie planetarnym, jednak metoda zastosowana w badaniu jest zbliżona do opisanego wcześniej typu (Królikowski 2012).

W metodzie nawijania jako wzmocnienie stosuje się włókna ciągłe, tkaniny oraz maty. Konieczne jest użycie żywicy o stosunkowo niskiej lepkości, które będą dobrze zwilżały zanurzone w nich włókna. Popularne żywice to między innymi: nienasycona żywica poliestrowa, żywica winylowa czy żywica epoksydowa. (Boczkowska i in. 2000; Błażejowski i in. 2005; Królikowski 2012).

Postanowiono wykonać rury kompozytowe o lekkim rdzeniu ścianki nośnej, których cechą charakterystyczną będzie, poza zmniejszoną masą w stosunku do materiałów stosowanych komercyjnie, izolacyjność. Takie rozwiązanie pozwalałoby na obniżenie kosztów nie tylko produkcji, transportu oraz instalacji rur, ale także zmniejszyłoby straty generowane podczas przesyłania ciepłej wody i innych substancji, które mogą wymagać utrzymania temperatury w trakcie transportu. Uznano, że dobrym rozwiązaniem tej kwestii może być kompozyt przekładkowy, którego budowa zagwarantuje sztywność konstrukcji – okładki systemu będą odpowiedzialne za właściwości mechaniczne, sztywność i wytrzymałość na ściskanie oraz pracę z gruntem. Z kolei wypełnienie wykonane zostanie z materiału cechującego się dobrą izolacyjnością.

2. Materiał i Metody

Przy doborze materiałów skupiono się na właściwościach, którymi cechować ma się gotowa rura. Ze względu na konieczność zapewnienia sztywnych okładek postanowiono zastosować żywicę epoksydową oraz tkaniny szklane. Na rdzeń wybrano ekologiczny materiał o niskiej przewodności cieplnej, który w połączeniu z żywicą powinien dać wytrzymały na ściskanie, kruchy rdzeń konstrukcji.

Materiały do poniższych badań zostały udostępnione przez firmy Solvachem sp. z o.o. oraz Dennert Poraver GmbH.

2.1 Zastosowane materiały

Poraver® jest lekkim wypełniaczem powstającym z recyklingu szkła. Granulat powstaje z drobno zmielonej stłuczki wytworzonej ze szkła odpadowego. Półprodukt ten po odpowiednim rozdrobnieniu formowany jest w granulki, a następnie spiekany i jednocześnie spieniany w obrotowym piecu w temperaturze ok. 780 °C. W efekcie otrzymywane są lekkie granulki o kulistym kształcie z zamkniętą, komórkową porowatą strukturą wewnętrzną. Przesianie produktu pozwala na podzielenie go na pięć standardowych oraz trzy specjalne rozmiary ziaren w zakresie od 0,04 do 4 mm. Każdy rozmiar określa pewien zakres średnicy ziarna.

Produkt wykazuje wiele zalet w odniesieniu do proponowanego zastosowania. Przede wszystkim oferuje dobrą wytrzymałość na ściskanie ze względu na swoją niewielką gęstość. Wykazuje właściwości termoizolacyjne, co utrudnia przenikanie ciepła pomiędzy transportowanym medium a otoczeniem rury. Ponadto jest wykonany z obojętnego surowca jakim jest szkło, zatem nie wprowadza dodatkowych zanieczyszczeń do środowiska wskutek uszkodzenia lub naturalnej degradacji rurociągu. Właściwości fizyczno-mechaniczne deklarowane przez producenta przedstawione są w Tab. 1.

Standardowe zastosowania granulatu Poraver® obejmują w większości branżę budowlaną. Produkt ten jest wykorzystywany jako lekki wypełniacz zapraw murarskich oraz tynków. Jego dodatek obniża zużycie samej zaprawy, jak i jej gęstość. Ułatwia także ręczne rozprowadzanie różnego rodzaju zapraw na powierzchniach poprzez „efekt łożyska kulkowego”. Stosowany jest wszędzie tam, gdzie wymagane są: zmniejszenie masy elementów, izolacja cieplna, absorpcja

dźwięku lub niepalność. Znane są także rozwiązania w innych branżach, jak na przykład wypełnienie farb do ścian tworzące interesującą fakturę powierzchni, czy nawet w motoryzacji - w konstrukcji elementów pochłaniających energię zderzenia. Modyfikacja produktu Poraver® o nazwie Extover® stosowana jest jako czynnik gaśniczy w gaśnicach do pożarów klasy D lub materiał wypełniający opakowania zawierające produkty niebezpieczne, na przykład ogniwa litowo-jonowe (Materiały promocyjne producenta 2019).

Tab. 6. Wybrane właściwości dla konkretnych zakresów granulacji granulatu ze spienionego szkła (Karta techniczna produktu).

Dostępne zakresy granulacji							
Wielkość ziarna [mm]	0,1-0,3	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-4	0,04-0,125	0,5-1,25
Gęstość nasypowa [kg/m ³]	400 ± 60	340 ± 30	270 ± 30	230 ± 30	190 ± 20	530 ± 70	260 ± 30
Gęstość cząstek [kg/m ³]	950 ± 150	700 ± 80	500 ± 80	400 ± 60	320 ± 40	1400 ± 300	490 ± 80
Wytrzymałość na ściskanie [N/mm ²]	≥ 2,8	≥ 2,6	≥ 2,0	≥ 1,6	≥ 1,4	-	≥ 1,9
Przewodność cieplna [W/mK]	-	-	-	-	0,07	-	-

Do wykonania prób użyto w roli osnowy żywicy EPOLAM 2015 wraz z utwardzaczem EPOLAM 2016. Jest to system epoksydowy przeznaczony do pracy metodami laminowania kontaktowego, podciśnieniowego oraz niskociśnieniowego wtrysku. Produkt charakteryzuje się niską lepkością oraz odpornością na działanie wody. Na wzmocnienie zewnętrznej i wewnętrznej warstwy rury zostały zastosowane fragmenty szklanej tkaniny, która stanowiła okładki systemu. Użyto dwóch rodzajów splotów: tkaniny o splotcie rzędkowym oraz tkaniny dwuosiowej wiązanej nicią obcą o kącie między pasmami rovingów wynoszącym 45°.

2.2 Założenia prac

Zakres prac obejmował wstępne opracowanie i sprawdzenie technologii otrzymywania rur kompozytowych o lekkim rdzeniu ścianki nośnej, a także zbadanie ich podstawowych właściwości mechanicznych. Potencjalne korzyści płynące z takiego rozwiązania to przede wszystkim: zmniejszenie masy rur przy zachowaniu odpowiedniej wytrzymałości (do pracy w gruncie), zwiększenie izolacyjności cieplnej (dzięki wykorzystaniu porów granulatu), obniżenie kosztów produkcji względem produktów wykonanych wyłącznie z włókna szklanego, a także zastosowanie materiału powstającego z recyklingu.

Plan zakładał wytworzenie rur o średnicy wewnętrznej 100 mm i grubości ścianki 10 mm z wykorzystaniem technologii nawijania. Zewnętrzną warstwę miała stanowić tkanina z włókna szklanego przesyconego żywicą. Wewnątrz ścianki nośnej (zakresowany obszar) znajduje się mieszanina granulatu Poraver® o wielkości ziaren 1 - 2 mm z tą samą żywicą mającą za zadanie utrzymanie wypełnienia we względny bezruchu. Wewnątrz, podobnie jak na zewnątrz, warstwą bezpośrednio stykającą się z przepływającym medium miała być szklana tkanina przesycona żywicą. Docelowo, produkowanymi elementami mają być rury o długości 2m.

2.3 Przebieg prób nawijania

Przygotowano powierzchnię rdzenia, nakładając na niego warstwę środka antyadhezyjnego Spacewax 300. Miało to na celu ułatwienie oddzielenia gotowej rury od formy. Następnie nałożono

warstwę tkaniny szklanej wieloosiowej. Żeby nie przesuwiała się wzdłuż ani wokół rdzenia, na wierzch dość ściśle nawinięto kilka prześń szklanego rovingu. Za pomocą pędzla przesycono warstwę wewnętrzną tkaniny żywicą. Pierwsze nawinięcie miało za zadanie ustalenie optymalnego składu mieszaniny stanowiącej ściankę (żywica z wypełnieniem Poraver®) i sprawdzenie technologii budowy warstwy ścianki przy pomocy ręcznych narzędzi bezpośrednio na obracającej się formie. Przygotowano mieszaninę mającą stanowić wypełnienie ścianki nośnej. Odmierzono 330 cm³ granulatu i połączono z 140 cm³ żywicy z dodatkiem utwardzacza wg instrukcji producenta. Dokładne wymieszanie dało efekt w postaci równomiernego powleczenia granulek żywicą. Produkt o konsystencji przypominającej pastę wykazywał spójność. Przeciwwstawił się sile grawitacji pomimo obrócenia na szpatułce w stronę podłoża. Przygotowana ilość wystarczyła na pokrycie około 10 cm długości formy warstwą o przybliżonej grubości 1 cm. Pokrycia dokonano ręcznie, z użyciem drewnianej szpatułki, co wpłynęło na nierównomierność grubości ścianki. Następnie, zgodnie z założeniami, warstwę granulatu przykryto pasem szklanej tkaniny owiniętej pasmem rovingu, aby zapobiec samoczynnemu przemieszczaniu. Zewnętrzny pas tkaniny został przesycony żywicą.

Nawinięcie drugiej próbki zostało przeprowadzone w inny sposób, po uwzględnieniu niedogodności, które napotkano poprzednio w uzyskaniu równomiernej grubości ścianki, a także długi czas nakładania warstwy granulatu na rdzeń. Przygotowano pas tkaniny o szerokości równej szerokości formy i długości potrojonego obwodu formy z dodatkami na poszczególne warstwy. Odmierzono objętość granulatu mającą stanowić ściankę grubości 1 cm i połączono z 160 cm³ żywicy, a następnie ułożono ją równomiernie na środkowy fragment tkaniny. Jeden ze skrajnych prostokątów tkaniny przesycono przy użyciu żywicy epoksydowej z utwardzaczem, a następnie nałożono na rdzeń. Przygotowanie materiału w taki sposób pozwoliło na nawinięcie go na rdzeń w jednym prostym kroku (Rys.1). Zewnętrzną warstwę tkaniny po owinięciu wokół warstwy ścianki również przesycono żywicą. Na przesyconie tkanin żywicy zużyto 100 cm³. Wykonanie trzeciej próbki odbyło się w analogiczny sposób. Różnicę stanowiło wykorzystanie większej ilości żywicy do przygotowania wypełnienia ścianki oraz przesyconia skrajnych warstw szklanej tkaniny. Do mieszaniny z granulatkami Poraver trafiło 350 cm³, natomiast przesyconie skrajnych warstw tkanin pochłonęło 210 cm³.

Wszystkie próbki po nawinięciu owijano tkaniną delaminazową, pozostawiano do utwardzenia w temperaturze około 25 °C . Po utwardzeniu umieszczono wszystkie w rozgrzanym piecu na osiem godzin w celu dotwardzenia żywicy i uzyskania najlepszych właściwości mechanicznych.



Rys. 25. Tkanina z ułożoną mieszanką żywiczną i granulatem podczas nawijania środkowej części rury na rdzeń.

2.4 Przygotowanie próbek

Utwardzone fragmenty rur przygotowano do badań poprzez pocięcie na odcinki o długości ok. 60 mm. Próbkę oznaczono numerami: A.B – gdzie: A-numer nawijania, B-kolejny numer odciętego fragmentu. Uzyskano tylko jedną próbkę pierwszej serii oraz po sześć sztuk z dwóch pozostałych.

2.5 Obserwacje mikroskopowe

Fragmenty rury pierwszej próby zostały poddane oględzinom na mikroskopie elektronowym. Analiza mikroskopowa SEM (Scanning Electron Microscopy) jest dedykowana do badań mikrostruktur ze względu na dużą rozdzielczość obrazu i wysoką głębię ostrości, dzięki czemu świetnie odwzorowuje powierzchnię badanego elementu. (Henning i Adhikari 2017).

2.6 Badanie wytrzymałości na ściskanie

Plan pilotażowych badań zakładał przeprowadzenie prób ściskania w celu bezpośredniego porównania siły niszczącej ze względu na ściskanie promieniowe. Z każdej przygotowanej rury wycięto próbki o szerokości 60 mm, a następnie wytypowano po trzy. Dokonano niezbędnych pomiarów i wyznaczono średnie gęstości każdej z próbek. Pierwsza próba pozwoliła na przygotowanie tylko jednej próbki do badań.

Jako kryterium zniszczenia założono osiągnięcie maksymalnej siły podczas przebiegu ściskania ze stałą szybkością 5 mm min^{-1} . Próbkę umieszczano kolejno między stalowym talerzem a fragmentem teownika z gumowymi przekładkami, żeby uniknąć przesuwania podczas pomiarów (Rys.2). Wykorzystano hydrauliczną maszynę wytrzymałościową MTS o maksymalnej sile nacisku 4,5 kN.



Rys. 26. Próbkę podczas badania wytrzymałości na ściskanie promieniowe.

3. Wyniki i Dyskusja

3.1 Pomiar geometrii i masy otrzymanych elementów

Wymiary geometryczne wszystkich otrzymanych próbek zostały zmierzone. Ponadto wyznaczono ich masę oraz obliczono średnią gęstość. Jednym z założeń było otrzymanie rury o równomiernej grubości ścianki na całym obwodzie wynoszącej 10 mm, dlatego wielkość tę zmierzono dla każdej próbki w trzech punktach rozmieszczonych co 120° na obwodzie. Średnie grubości ścianki oraz gęstości poszczególnych próbek przedstawia (Tab.2).

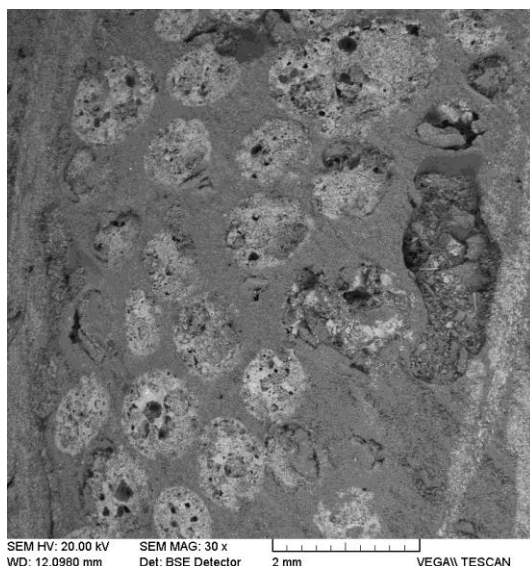
Tab.7 Średnie grubości ścianki i gęstości próbek.

Numer próbki	1.1	2.3	2.6	3.5	3.6
Średnia grubość ścianki [mm]	9.25	11.70	11.65	11.41	10.53
Średnia gęstość ρ [g/cm ³]	0,91	0,50	0,48	0,65	0,64

3.2 Obserwacja mikroskopowa

Badanie to pozwoliło na uzyskanie cennych informacji na temat budowy wewnętrznej wykonanych elementów. Oględziny mikroskopowe przy powiększeniu 30x pozwoliły na stwierdzenie, że osnowa epoksydowa dobrze wypełniła przestrzeń między poszczególnymi

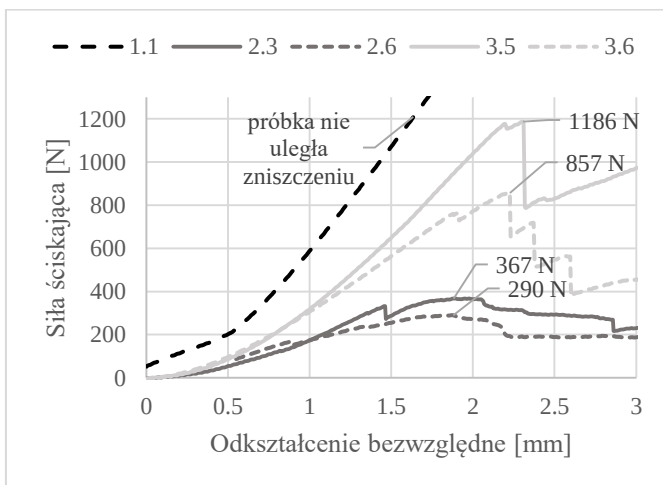
granulkami. Poraver® natomiast po zachował swoją porowatość (nie uległ zgnieceniu podczas nawijania próbek). Można zatem stwierdzić, że wykorzystanie tego materiału w taki sposób pozwoli na wykorzystanie jego wspomnianych wcześniej właściwości wynikających z porowatości. Rys.3 przedstawia zdjęcie mikroskopowe uzyskane w badaniu. Widoczne na nim jaśniejsze, porowate, kuliste struktury prezentują ziarna wypełniacza.



Rys. 27. Zdjęcie mikroskopowe z analizy SEM przedstawiające granule wypełniacza nieprzesączone wewnątrz żywicy.

3.3 Badanie wytrzymałości na ściskanie

Przebiegi badań przedstawiono w formie wykresów zależności siły nacisku F od przemieszczenia powierzchni ściskającej Δd (Rys.4). Zaznaczono punkty, w których została osiągnięta największa siła dla każdej z próbek. Próbka nr 1. nie uległa zniszczeniu mimo wygenerowania maksymalnej możliwej siły nacisku przez maszynę. Jej ugięcie wyniosło wówczas niespełna 5 mm. Zniszczenie próbek serii 2. nastąpiło przy ugięciu ok. 1,8 mm. Z kolei próbki z serii 3. zostały zniszczone przy ugięciu około 2,25 mm.



Rys. 28. Przebieg prób ściskania promieniowego wraz z opisanymi największymi wartościami sił ściskających dla każdej próby.

Zestawienie sił niszczących poszczególne próbki z ich średnimi gęstościami przedstawiono w Tab.3. Wynika stąd, że wzrost gęstości próbek (spowodowany zwiększeniem udziału osnowy) powoduje zwiększenie siły potrzebnej do zniszczenia ponad trzykrotnie. Największą rolę w tym wypadku odegrała żywica i zastosowane na ścianki tkaniny szklane, które przeniosły największe obciążenia. Sam rdzeń jest materiałem bardzo kruchym.

Tab. 3. Zestawienie sił niszczących wraz ze średnimi gęstościami poszczególnych użytych w badaniu próbek.

Numer próbki	1.1	2.3	2.6	3.5	3.6
Sila niszcząca $F_{\max}$ [N]	nie osiągnięto	367	290	1186	857
Średnia gęstość ρ [g cm ⁻³]	0,91	0,50	0,48	0,65	0,64

4. Wnioski

- Zaproponowany sposób wytworzenia jest technologią, która mogłaby być wykorzystywana w produkcji na małą skalę. Technologia jest stosunkowo szybka, dokładna i powtarzalna. Jednak, ze względu na niski stopień zautomatyzowania procesu, może okazać się nieopłacalną.
- Obserwacja mikroskopowa SEM potwierdziła słuszność zastosowania granulatu ze spienionego szkła jako wypełnienia ścianki nośnej konstrukcji. Zawarte wewnątrz granul powietrze gwarantuje dobre właściwości izolacyjne materiału, przez co wykonana z nich rura może zostać użyta do transportu ciepłej wody przy ograniczeniu strat ciepła.
- Na podstawie wyników próby ściskania promieniowego można zauważyć, że wzrost gęstości spowodował znaczny, prawie czterokrotny, przyrost wytrzymałości. Świadczy to o dużym wpływie wytrzymałości żywicy na właściwości gotowego elementu.
- Przedstawione badania nie są wystarczające do pełnego stwierdzenia o użyteczności materiałów. Otrzymane wyniki utwierdzają jednak w przekonaniu, że utworzony materiał ma predyspozycje do stosowania w systemach wodociągowych. Konieczne jest wykonanie dodatkowych badań, jak na przykład badanie powstawania odkształceń trwałych przy obciążaniu siłą mniejszą niż niszcząca.
- Praca jest pierwszą z serii i przedstawia koncepcję wykonania elementów. W kolejnych krokach planowane jest przeprowadzenie testów przy zmiennym obciążeniu, które symulować będą przepływ pulsacyjny, a także badania określające zachowanie spoiny między dwiema rurami w warunkach symulujących warunki użytkowania. Niezbędnym będzie także wykonanie badań w celu określenia rozszerzalności cieplnej materiału.

5. Literatura

- Błażejowski W, Hufenbach W, Czulak A i in. (2005) Wytwarzanie i badanie kompozytowych próbek rurowych. *Kompozyty (Composites)* 5: 67–71.
- Boczkowska A i in. (2000) *Kompozyty*.
- Henning S, Adhikari R (2017) *Scanning Electron Microscopy, ESEM, and X-ray Microanalysis. Microscopy Methods in Nanomaterials Characterization*: 1–30.
- Karta techniczna produktu Lightweight aggregate according to DIN EN 13055-1.
- Królikowski W (2012) *Polimerowe kompozyty konstrukcyjne*.
- Marzejon K (2017) Różnice w projektowaniu sieci z tworzyw sztucznych w porównaniu z sieciami z materiałów tradycyjnych. <https://www.prik.pl/wp-content/uploads/2017/07/K.-MarzejonR%C3%B3wnanie-w-projektowaniu-sieci-z-tworzyw-sztucznych-w-por%C3%B3wnaniu-z-sieciami-z-materia%C5%82%C3%B3w-tradycyjnych.pdf> . Dostęp z dnia 14.11.2019.
- Materiały promocyjne producenta (2019) Poraver. The functional lightweight aggregate from post-consumer recycled glass.
- Szruba M (2017) Rury w infrastrukturze. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne* 1: 42–47.

13. Kompozyty polimerowe jako wzmocnienie konstrukcji betonowych – przegląd rozwiązań

Polymer composites as a reinforcement of concrete structures - overview

Raźny Natalia ⁽¹⁾, Filipiak – Kaczmarek Adrianna ⁽²⁾

⁽¹⁾Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska

⁽²⁾Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Wojciech Błażejewski

Raźny Natalia: nataliarazny@gmail.com

Słowa kluczowe: pręty zbrojeniowe, włókno szklane, taśmy kompozytowe, włókno bazaltowe

Streszczenie

Konstrukcje żelbetowe są szeroko stosowane w budownictwie. Tradycyjne zbrojenia stalowe wykazują się gamą zalet (m.in. uplastycznienie materiału przed zerwaniem, łatwość w formowaniu), ale nie są wolne od wad, jak brak odporności na działanie agresywnych środowisk. Alternatywą jest wzmocnienie z polimerowych materiałów kompozytowych. Często stosuje się taśmy kompozytowe skomponowane z różnego rodzaju włókien (węglowe lub szklane) oraz żywicy (epoksydowa, poliestrowa lub winyloestrowa) do wzmacniania istniejących konstrukcji (betonowych lub drewnianych), które nie zaburzają pierwotnego wyglądu zabytkowych elementów. W literaturze można znaleźć badania wytrzymałościowe i materiałowe tych elementów. Zazwyczaj są to badania wytrzymałościowe i/lub badania starzeniowe. Do drugiej grupy kompozytowego wzmocnienia konstrukcji zalicza się pręty - obecnie stosowane jako uzupełnienie prętów stalowych, najczęściej spotykane w obiektach mostowych. W literaturze dostępne są badania belek zbrojonych prętami kompozytowymi, gdzie najczęściej wykorzystuje się pręty z włókna węglowego lub szklanego. Badania wytrzymałościowe belek to zazwyczaj zginanie trójpunktowe.

1. Wstęp

Konstrukcje żelbetowe od lat są szeroko stosowane w budownictwie. Ich ogólna dostępność, duża wytrzymałość mechaniczna, wygoda w formowaniu oraz niska cena zdecydowały, że obecnie są najczęściej stosowanymi formami w przemyśle budowlanym. Nie są one jednak wolne od wad, dlatego wymagają wielu zmian i stosowania niekonwencjonalnych rozwiązań. Należą do nich między innymi brak odporności na agresywnego środowisko.

Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie polimerowych materiałów kompozytowych, które pozwalają na tworzenie zarówno izotropowych jak i anizotropowych elementów konstrukcyjnych (takich jak taśmy, pręty, profile, płyty), które są łatwe w formowaniu, mają niską masę. Do tego cechują się bardzo dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi.

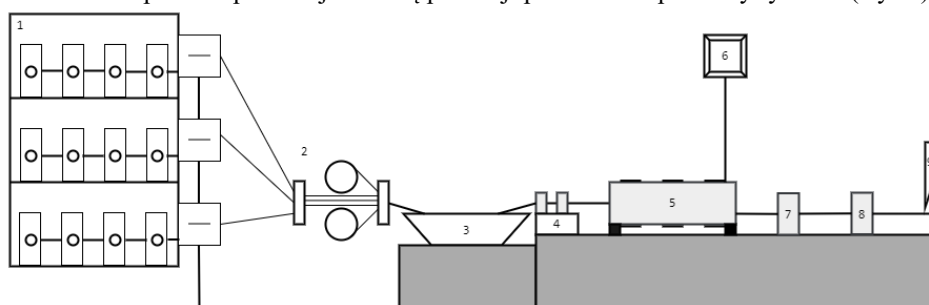
Obecnie prowadzone są liczne badania wytrzymałościowe i materiałowe z wykorzystaniem wzmocnienia kompozytowego w różnej postaci, które odgrywają kluczową rolę w ich stosowaniu. Niniejsza praca ma na celu zaprezentowanie wybranych rozwiązań przedstawionej w światowej literaturze, standardowo prowadzonych badań oraz możliwych zastosowań opisanych elementów.

2. Opis zagadnienia

Przyczyn i konieczności wzmacniania konstrukcji betonowych za pomocą kompozytowych wzmocnień może być wiele. Najpowszechniejszymi powodami kierującymi konstruktorów na zastosowanie materiałów kompozytowych są: konieczność zwiększenia wytrzymałości, uchronienie konstrukcji przed niekorzystnym działaniem środowiska, zachodzące zmiany prowadzące do zniszczenia konstrukcji, które można jeszcze uratować ze względu na użyteczność czy walory kulturowo – historyczne budowli.

W budownictwie stosuje się materiały o dużej wytrzymałości, dlatego szczególnym powodzeniem cieszą się wzmocnienia na osnowie duroplastycznej – żywicach epoksydowych, poliestrowych czy winylowych, wzmocnione włóknami syntetycznymi, jak szkło, węgiel czy bazalt. Kompozyty polimerowe wzmocniane włóknem szklanym charakteryzują się lekką strukturą, odpornością na korozję i wysokie naprężenia rozciągające, dzięki czemu mogą poprawiać wiele właściwości klasycznych materiałów, dodatkowo nie psują estetyki (Aydin i Saribiyik 2013). Włókna węglowe z kolei znalazły zastosowanie w wielu branżach, jak lotnictwo, motoryzacja, sport, technologie kosmicznych. Zawdzięczają to wysokiej wytrzymałości przy niskiej gęstości. W budownictwie stosowane są na coraz szerszą skalę, ponieważ poprawiają właściwości mechaniczne, jak nawet trzykrotne zwiększenie granicznej wytrzymałości elementu i wzrost wytrzymałości zmęczeniowej (Piekarczyk i in. 2005).

Większość typowych wzmocnień kompozytowych stosowanych w budownictwie wytwarzanych jest metodą pultruzji. Nazwa metody pochodzi od angielskiego słowa „pull” oznaczającego ciągnąć. Metoda ta polega na przeciąganiu wzmocnienia przez specjalnie przygotowany układ przesączający i utwardzający w celu otrzymania profili o określonym kształcie. Schemat procesu produkcji metodą pultruzji przedstawia poniższy rysunek (Rys.1).



Rys. 1. Schemat procesu pultruzji: 1 – szpule z rowingiem; 2 – system naprowadzający z możliwością dodatkowego owóju; 3 – wanna z kąpielą żywiczną; 4 – rolki usuwające nadmiar żywicy; 5 -forma; 6 – panel terowania; 7,8 – układ ciągaczy; 9 – system tnący.

Proces rozpoczyna się od szpul z nawiniętym rowingiem. Wiązka z każdej szpuli jest wprowadzana do systemu niezależnie tak, by rozkładały się one równomiernie i nie pętały podczas dalszej obróbki. System specjalnie przygotowanych ekranów łączy stopniowo wiązki w podzespoły aż do uzyskania jednej. Tak przygotowany materiał zanurzany jest w kąpieli z syciwa, na które składa się żywica wraz z dodatkami: pigmentami, środkami poślizgowymi, stabilizatorami UV, antyspianiaczami itp. Przygotowaną wiązkę następnie przeciąga się przez zestaw rolek i ekran, których zadaniem jest usunięcie nadmiaru żywicy, eliminacja nieprzesączonych miejsc i wstępne nadanie określonego kształtu. Materiał trafia do ogrzewanej formy, gdzie zachodzi proces żelowania i utwardzania w określonym kształcie profilu końcowego. Po wyciągnięciu z formy gotowy profil przechodzi przez układ ciągadeł, których siła ciągnięcia definiuje szybkość zachodzenia całego procesu. Na koniec profil jest cięty na określonej długości elementy lub nawijany na szpule.

Proces cieszy się dużą popularnością, szczególnie ze względu na małą wadliwość otrzymywanych produktów, niezmienną jakość na przestrzeni partii produkcyjnej, dużą szybkość wytwarzania (przy odpowiednich parametrach może to być nawet do 5 metrów profilu na minutę) oraz wysoką sztywność otrzymanych elementów. Niestety, jak każda metoda, i ta nie jest pozbawiona wad, do największych z nich zalicza się kosztowność wprowadzenia technologii do zakładu – po rozpoczęciu produkcji koszty znacznie spadają. Inną wadą jest często czasochłonne ustawienie prawidłowych parametrów procesu (Błazejewski i in. 2013; Dyńka 2013; Fairuz i in. 2014).

3. Przegląd literatury

W literaturze jest przedstawionych wiele badań, zarówno materiałowych jak i wytrzymałościowych wszelkiego rodzaju wzmocnień kompozytowych. Poniższy diagram (Rys.2)

przedstawia wybrane typy wzmocnień stosowanych w budownictwie, które zostaną omówione w poniższej pracy.



Rys. 2. Wybrane wzmocnienia kompozytowe stosowane w budownictwie.

Typ zastosowanego zbrojenia zależy od szeregu zmiennych, przede wszystkim od tego, czy dane wzmocnienie stosowane będzie na konstrukcji już istniejącej i umieszczone będzie na zewnątrz, czy być może będzie zastępowało konwencjonalne zbrojenie stalowe, tworząc tym samym szkielet nowej konstrukcji.

3.1 Pręty zbrojeniowe

Wzmacnianie konstrukcji betonowych z wykorzystaniem prętów zbrojeniowych jest obecnie jedną z najbardziej popularnych metod. Najczęściej są one wykorzystywane w konstrukcjach żelbetonowych, które są bardzo powszechne w budownictwie zarówno usługowym jak i mieszkaniowym. Konstrukcje żelbetowe cechują się niską ceną oraz możliwością uzyskania dowolnych kształtów i form. Jednak ich stosowanie w różnego rodzaju agresywnych środowiskach jest ograniczone, ze względu na możliwość wystąpienia korozji - głównie są to środowiska nadmorskie. W takich przypadkach idealnym rozwiązaniem są kompozytowe pręty zbrojeniowe. Zaletą takiego wzmocnienia jest jego lekkość, większa trwałość w środowiskach agresywnych, takich jak woda morską czy też beton oraz niska cena. Niestety tak samo jak zbrojenie stalowe, to kompozytowe również ma swoje wady. Po pierwsze trwałość kompozytowych prętów zbrojeniowych zależy od tego jakie materiały zostały wykorzystane na stworzenie kompozytu - chodzi tu o rodzaj wykorzystanego włókna oraz żywicy. Dodatkowo kształtowanie z nich zagiętych kształtów jest utrudnione po tym jak żywica spolimeryzuje (powinno to być zrobione jeszcze przed tym procesem).

W literaturze dostępnych jest wiele artykułów, w których można znaleźć informacje o badaniach kompozytowych prętów zbrojeniowych. Dostępne są informacje na temat badań materiałowych samych prętów, gdzie sprawdzane są ich właściwości mechaniczne, trwałość oraz struktura wewnętrzna po testach starzeniowych. Grupy badawcze z różnych ośrodków testują wytrzymałość kompozytowych prętów zbrojeniowych w różnych warunkach środowiskowych, takich jak duże zasolenie (symulacja środowiska morskiego, w którym najczęściej pracuje takie wzmocnienie), czy też różne warunki atmosferyczne: wysokie temperatury, duża wilgotność powietrza czy też działanie promieniowania UV.

Oprócz określenia wpływu czynników środowiskowych na właściwości mechaniczne, badana jest również degradacja materiału polimerowego osłony – w tym celu wykonywane są m.in. testy sprawdzające jak zmienia się porowatość próbek, czy też zwykły pomiar masy przed i po inkubacji w danym płynie. Najczęściej powierzchnię danego materiału sprawdzana jest za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej, dzięki czemu można określić jak duże są zmiany.

Z badań przedstawionych w literaturze można wywnioskować, że największy wpływ na trwałość kompozytowych prętów zbrojeniowych ma środowiska agresywne (np. słone, zasadowe). Powodują one pogorszenie właściwości wytrzymałościowych i materiałowych kompozytowych prętów zbrojeniowych – jest to niekorzystne w przypadku konstrukcji obiektów użytku publicznego oraz mostowych (Micelli i Nanni 2004; Won i Park 2006; Wang i in. 2017).

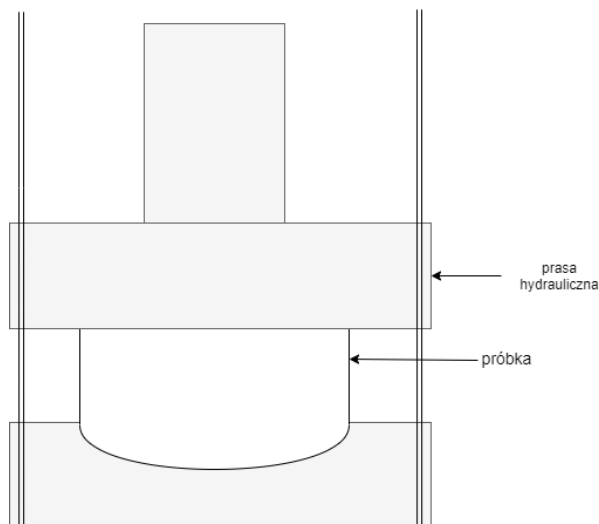
3.2 Taśmy

Kolejnym typem wzmocnienia kompozytowego stosowanego w budownictwie są taśmy kompozytowe, czyli cienkie płaskowniki wykonywane najczęściej przy użyciu żywicy epoksydowej oraz włókien i tkanin. W przeciwieństwie do prętów, które są stosowane wewnątrz konstrukcji, taśmy aplikowane są na gotowy element. W zależności od zastosowania taśmy te mogą być jedno lub wielokierunkowe. W przypadku wzmocnień konstrukcji betonowych, takich jak mosty, często stosuje

się jednokierunkowe taśmy węglowe na osnowie epoksydowej. Istotny jest w tym wypadku także kierunek ułożenia włókien w taśmach wzmacniających element. Stosuje się wiele sposobów umieszczania tego typu wzmocnień na konstrukcjach. Większość metod wymaga wstępnego naprężenia konstrukcji i taśmy w celu odpowiedniego założenia wzmocnienia. Metody sprężania taśm kompozytowych opracowane przez Polskich inżynierów, opisał Łagoda (Łagoda 2012). Kotynia (Kotynia i Staśkiewicz 2013) przedstawia jedną z pierwszych metod naprężania taśmami - było odwrotne wyginanie elementów, doklejanie taśm, a następnie luzowanie naprężenia. Wtedy wzmocnienie naprężało się zgodnie z przewidywanym kierunkiem, jednak nie można było w pełni kontrolować siły naciągu, co w niektórych przypadkach wprowadzało wiele komplikacji. Kotynia przedstawia też inne rozwiązania, które zaproponowali badacze, jednak wszystkie dowodzą, że stosowanie taśm jedno - lub wielokierunkowych jako wzmocnienia konstrukcji podlegających wysokim obciążeniom przynosi bardzo wysoką skuteczność. Lechman (Lechman 2002) z kolei zwraca uwagę na wady i zalety zastosowania taśm węglowych w budownictwie. Jako zalety podaje mały ciężar właściwy, wysoką wytrzymałość zmęczeniową, łatwość aplikacji czy odporność na korozję. Nie można jednak stwierdzić, że jest to materiał bez wad, do których zalicza w swojej publikacji anizotropię tego typu materiałów, która powoduje niską wytrzymałość, a co za tym idzie niski moduł Younga prostopadle do ułożenia włókien.

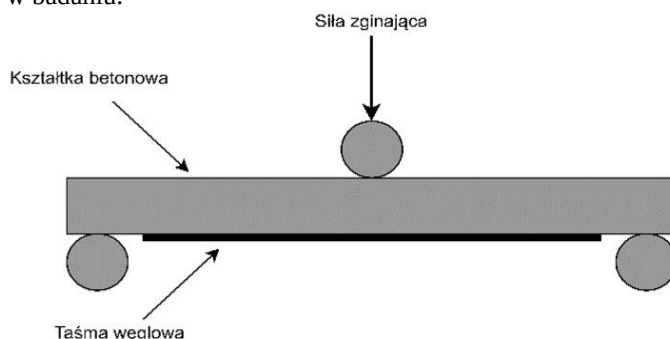
W celu zbadania zmian wytrzymałości elementów konstrukcyjnych, jak belki i kolumny betonowe poddaje się serii badań wytrzymałościowych. Najczęściej stosowane to zginanie trój- lub czteropunktowe, ściskanie, a także opisane wcześniej badania starzeniowe. Należy jednak wziąć pod uwagę, że taśmy wykonywane w procesie produkcji seryjnej nie są często przedmiotem badań laboratoryjnych. Na potrzeby testów przygotowuje się taśmy i płaskowniki w procesach małoseryjnych, jak przesączanie ręczne czy infuzja w skali laboratoryjnej.

Badanie na ściskanie wykonywali m.in. Madupu i inni (Madupu i Ram 2019). Badaniu podlegały wcześniej przygotowane kolumny betonowe, które następnie obklejano taśmami dwukierunkowymi. W skład taśm wchodziła dwukierunkowa tkanina kompozytowa z włókna szklanego oraz żywica epoksydowa. Kolumny o wybranych wymiarach były poddawane wzmocnieniu taśmami o różnej szerokości i na różnej powierzchni bocznej. Taśma przyklejona była za pomocą żywicy epoksydowej. Po jej utwardzeniu belkę umieszczano w prasie hydraulicznej i poddawano próbie ściskania (Rys.3). Przedstawione w publikacji wykresy prezentują dane dla każdego ze sposobów obklejeń kolumny. Na przykładzie kolumny o wymiarach przekroju poprzecznego 140×143 mm widać wyraźnie, że taka sama kolumna bez wzmocnienia jest w stanie unieść obciążenie o wartości około 550 kN, natomiast po wzmocnieniu dwiema warstwami taśm o szerokości 83,3 mm maksymalne obciążenie wzrosło prawie dwukrotnie, osiągając wartość około 880 kN.



Rys. 3. Schemat umieszczenia próbki w prasie hydraulicznej (Madupu i Ram 2019).

Innym stosowanym badaniem, o którym wspomniano wcześniej, jest próba wytrzymałości na zginanie. Badanie takie przeprowadzili w swojej pracy Piekarczyk i inni (Piekarczyk i in. 2005). Wykonali oni zginanie trójpunktowe beleczek betonowych z doklejoną jednokierunkową taśmą węglową. Taśma umieszczona była na dolnej powierzchni zginanej belki, kierunek włókien w taśmie był prostopadły do działających sił zginających. Schemat badania przedstawia Rys.4. Przebadano w ten sposób kształtki wykonane z różnego rodzaju betonu. Niezależnie od typu betonu, obserwuje się znaczny wzrost wytrzymałości belek na zginanie, jednak maleje znacznie powtarzalność wyników otrzymywanych w badaniu.



Rys. 4. Schemat badania próbek na zginanie trójpunktowe (Piekarczyk i in. 2005).

3.3 Wzmacnianie belek

Wcześniej wspomniano, że belki betonowe można wzmacniać przy użyciu taśm kompozytowych czy płaskowników. Nie jest to jedyna możliwość, ponieważ, ze względu na różnorodność zastosowania i wymagań, stosuje się zróżnicowane systemy. Zdecydowano więc poświęcić temu zagadnieniu osobny podrozdział i skupić się na zastosowaniach w typie szalunków i profili skrzynkowych. Stosowane bardzo często jako szalunki tracone, cieszą się dużą popularnością już od ponad 20 lat (Idris i Ozbakkaloglu 2016).

W literaturze prowadzone jest wiele badań na temat wzmocnień tego typu. Wszystkie badane konstrukcje są do siebie zbliżone. Jest to zawsze zamknięty profil, pusty w środku, wykonany z kompozytu polimerowego, który następnie jest wzmacniany, lub nie, dodatkowym materiałem, na przykład stalą lub piaskiem, a na koniec wypełniany jest mieszanką betonową (Aydin i Saribiyik 2013; Idris i Ozbakkaloglu 2016; Huang i in. 2017). Nie ma reguły w stosowanych materiałach. Badane są zarówno profile węglowe, jak i wykonane z włókien szklanych czy aramidowych. Badania wytrzymałościowe, jakim najczęściej poddaje się tak przygotowane profile, to ścisnienie osiowe, zginanie czteropunktowe oraz próby uderowe.

Huang i inni (Huang i in. 2017) przedstawili metodę wzmocnienia kolumny dodatkową spiralą stalową, która znajdowała się pomiędzy mieszanką betonową a laminatem szklanym. Przygotowane do badań walce poddano próbie uderowej - podczas próby zmieniano wysokość opadu młota i jego masę. Badaniom poddano zarówno wzmacniane, jak i nie wzmacnione próbki. Otrzymane przez nich wyniki jasno wskazały, że zastosowanie podwójnego zbrojenia, tzn. zastosowanie laminatu kompozytowego oraz spirali stalowej pomiędzy kompozytem a betonem znacząco podnosi wytrzymałość kolumny na zniszczenie uderowe. Zaobserwowali też, że w przypadku walców zbrojonych dwoma wzmocnieniami, w materiale utrzymuje się dłużej naprężenie po uderzeniu, co pokazuje, że zbrojenie takie pozwala na lepsze rozproszenie energii w materiale.

W przypadku badań wykonywanych przez Idris i Ozbakkaloglu (Idris i Ozbakkaloglu 2016), kluczowym było określenie sztywności i wytrzymałości na ścisnienie osiowe kolumn o różnym przekroju i stopniu wypełnienia. Testy dowiodły, że poprzez manipulowanie układem, składem i kształtem kolumny, można zaprojektować plastyczne zachowania kolumny podczas ścisnienia osiowego i cyklicznego obciążania bocznego. Z badań wynikało również, że w przypadku kolumn o przekroju kwadratowym występują większe przemieszczenia niż w przypadku tych o przekroju kołowym.

Innym badaniom poddawał wypełnione betonem profile skrzynkowe z włókna szklanego Aydin i inni (Aydin i Saribiyik 2013). Ich zastosowaniem może być deskowanie, traktuje się je wtedy jako szalunek tracony i nie ma potrzeby stosowania dodatkowych materiałów formujących wylewany beton. Przygotowany profil (zamknięty, o przekroju prostokątnym) wyklejono od wewnątrz piaskiem w celu zwiększenia przyczepności umieszczonego tam w następnym kroku betonu do ścianek profilu. Tak przygotowaną belkę wzmocniono dodatkowo włóknem szklanym. Gotowe próbki poddawano testom zginania czteropunktowego. Zbadano w ten sposób: pusty profil skrzynkowy, profil wypełniony betonem, profil wypełniony betonem i obsypany piaskiem, a także profil wypełniony betonem i wzmocniony filcem szklanym z oraz bez piaskowej obsypki. Badanie to dowiodło, że dodatkowa warstwa filcu umieszczona po zewnętrznej stronie profilu zwiększa wytrzymałość na zginanie nawet trzykrotnie w porównaniu do pustego profilu i dwukrotnie w porównaniu do belek wypełnionych betonem.

3.4 Inne

Ze względu na wiele dodatkowych możliwości, jakie daje stosowanie wzmocnień kompozytowych w budownictwie, zdecydowano się na podjęcie kroków w celu zwiększenia ich udziału w tworzonych nowych konstrukcjach. W niektórych przypadkach stosowanie betonu jest całkowicie wypierane na rzecz materiałów polimerowych (Miśkiewicz i in. 2014), w innych wypadkach częściowo zastępuje konwencjonalnie stosowane struktury żelbetowe.

He i inni (He i in. 2012) przedstawili koncepcję pomostu wykonanego z połączenia kompozyt polimerowy - beton. W pracy zaprezentowali wyniki badania i symulacji metodą elementów skończonych dla przygotowanych elementów. Projekt zakłada wykonanie pomostu, którego szalunkiem będzie falista płyta, wykonana z kompozytu polimerowego zbrojonego włóknem szklanym, metodą pultruzji. Jej odpowiedni kształt, z teowymi wybrzuszeniami, pozwala na umieszczenie w płycie prętów zbrojących konstrukcję. Tak przygotowana podstawa zostaje wypełniona mieszanką betonową i pozostawiona do utwardzenia. Przygotowano sześć próbek, z których każda różniła się zastosowanymi prętami zbrojeniowymi - stosowano zarówno kompozytowe pręty zbrojeniowe jak i klasyczne stalowe. Próby różniły się także obróbką powierzchni zewnętrznej kompozytów i stali - w połowie prób materiały pokryto piaskiem w celu sprawdzenia, czy przyczepność betonu do kompozytu wzrośnie. Dowiedziono, że taka obróbka powierzchni faktycznie zwiększyła przyczepność pomiędzy kompozytem a betonem, dzięki czemu nastąpił wzrost wytrzymałości i sztywności całej konstrukcji. Potwierdzono też, że tego typu pomosty spełniają wszystkie wymagania i mogą być stosowane jako jedno z rozwiązań konstrukcyjnych.

Istniejącą już konstrukcję mostową powstałą w Polsce opisuje Siwowski (Siwowski 2017). Konstrukcja mostu wzmacniana kompozytami powstała w Białowieży w 2015 roku. Dźwigary zostały wykonane metodą infuzji z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym, pomost z kolei wzmocniono kompozytowymi prętami, z których powstało zbrojenie dla lekkiego betonu stanowiącego materiał na płytę pomostu.

4. Podsumowanie

Przedstawione w powyższej pracy przykłady stosowanych wzmocnień są jedynie niewielką namiastką prac, jakie można znaleźć w źródłach literaturowych. Jednak można zauważyć, że kompozytowe wzmocnienie można stosować na różne sposoby. Pierwszy to stosowanie ich już na etapie produkcji danego elementu konstrukcyjnego. Drugi to zastosowanie w gotowych konstrukcjach w postaci taśm kompozytowych. Wiele z przedstawionych rozwiązań jest obecnie stosowanych, jednak nie zawsze jest to samodzielne wzmocnienie.

Prowadzone są liczne badania wytrzymałościowe na wzmocnieniach wykonanych z polimerowych materiałów kompozytowych. W zależności od elementu, jego przeznaczenia oraz miejsca w jakim ma ono pracować, stosowane są różnego rodzaju testy wytrzymałościowe (ściskanie, rozciąganie, zginanie trój- i czteropunktowe) oraz badania starzeniowe.

5. Literatura

- Aydin F, Saribiyik M (2013) Investigation of flexural behaviors of hybrid beams formed with GFRP box section and concrete. *Construction and Building Materials* 41: 563–569.
- Błażejowski W, Juskowiak E, Liszka I (2013) Wytwarzanie profili kompozytowych o wzmocnieniu ciągłym metodą pultruzji -metoda przeciągania. *Materiały kompozytowe* 1: 51–54.
- Dyńska M (2013) Właściwości kompozytów epoksydowo-bazaltowych wytwarzanych metodą pultruzji. *Politechnika Warszawska*.
- Fairuz AM, Sapuan S, Zainudin E i in. (2014) Polymer composite manufacturing using a pultrusion process: A review. *American Journal of Applied Sciences. Science Publications* 11(10): 1798–1810.
- He J, Liu Y, Chen A i in. (2012) Experimental investigation of movable hybrid GFRP and concrete bridge deck. *Construction and Building Materials* 26(1): 49–64.
- Huang L, Sun X, Yan L i in. (2017) Impact behavior of concrete columns confined by both GFRP tube and steel spiral reinforcement. *Construction and Building Materials. Elsevier Ltd* 131: 438–448.
- Idris Y, Ozbakkaloglu T (2016) Behavior of square fiber reinforced polymer-high-strength concrete-steel double-skin tubular columns under combined axial compression and reversed-cyclic lateral loading. *Engineering Structures. Elsevier Ltd* 118: 307–319.
- Kotynia R, Staśkiewicz M (2013) Analiza efektywności wzmocnień żelbetowych elementów zginanych za pomocą wstępnie naprężonych kompozytów CFRP. *Budownictwo i Architektura* 12(1): 131–138.
- Lechman M (2002) wybrane właściwości wytrzymałościowe taśm kompozytowych z włókien węglowych. *Building research institute - quarterly* 4(4):85–92.
- Łagoda M (2012) Wzmacnianie konstrukcji mostowych kompozytami wstępnie sprężonymi , cz. 1. *Nowe Budownictwo Inżynieryjne* 3: 52–55.
- Madupu LNKS, Ram KSS (2019) Strengthening of axially loaded reinforced concrete rectangular columns with GFRP strips. *Materials Today: Proceedings. Elsevier Ltd*: 3758–3765.
- Micelli F, Nanni A (2004) Durability of FRP rods for concrete structures. *Construction and Building Materials* 18(7): 419–503.
- Miśkiewicz M, Rucka M, Chrościelewski J i in. (2014) Kompozyt przekładkowy GFRP z rdzeniem PET w powłokowej konstrukcji kładki dla pieszych. *Budownictwo i Architektura* 13: 183–190.
- Piekarczyk J, Macherzyńska B i Błażewicz S (2005) Badania nad wykorzystaniem laminatów węglowych do wzmacniania kształtek betonowych (study on application of carbon fibers laminates for strengthening of concrete samples). *Kompozyty (composites)* 5(2): 33–39.
- Siwowski T (2017) Pierwsze polskie obiekty mostowe z kompozytów FRP. *Drogownictwo* 11: 352–358.
- Wang Z, Zhao X, Xian G i in. (2017) Durability study on interlaminar shear behaviour of basalt-, glass- and carbon-fibre reinforced polymer (B/G/CFRP) bars in seawater sea sand concrete environment. *Construction and Building Materials. Elsevier Ltd* 156: 985–1004.
- Won JP, Park CG (2006) Effect of environmental exposure on the mechanical and bonding properties of hybrid FRP reinforcing bars for concrete structures. *Journal of Composite Materials* 40(12): 1063–1076.

14. Badanie nośności gwintu w polimerowym elemencie wykonanym technologią FDM

Testing of the load capacity of the thread in the polymer element made using FDM technology

Śliwka Mateusz⁽¹⁾, Cieślak Kacper⁽²⁾

⁽¹⁾ Katedra Podstaw Budowy Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

⁽²⁾ Katedra Samochodów i Silników, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Jerzy Madej, prof. ATH

Mateusz Śliwka: msliwka@ath.bielsko.pl

Słowa kluczowe: połączenie rozłączne, gwint metryczny, badania mechaniczne, druk 3D.

Streszczenie

Rozwój technologii przyrostowych umożliwia zastępowanie stalowych elementów konstrukcji drukowanymi elementami polimerowymi, które cechują się znacznie mniejszym ciężarem i stosunkowo dużą wytrzymałością. W niniejszej pracy zaprezentowano wyniki badań nośności połączenia śrubowego, składającego się z stalowej śruby M10 klasy 3.6 oraz elementu, który wydrukowano na drukarce w technologii FDM. Sporządzono dwie serie próbek różniące się techniką wykonania otworu gwintowanego. Pierwszy rodzaj stanowiły próbki w kształcie graniastosłupa z otworem, w którym ręcznie wykonano gwint za pomocą gwintownika. W drugim rodzaju próbek kształt linii śrubowej gwintu w otworze został zamodelowany i wydrukowany na drukarce. W tak przygotowane próbki wkręcono śruby stalowe M10. Połączenie poddano badaniu nośności w próbie rozciągania. Na podstawie przeprowadzonych badań sprawdzono wpływ technologii wykonania gwintu na nośność i sposób zniszczenia połączenia.

1. Wstęp

Druk 3D jest technologią przyrostową, w której materiał jest spajany zazwyczaj warstwa po warstwie w efekcie czego powstaje gotowy przedmiot. Technologię zapoczątkowano w 1993 roku na Massachusetts Institute of Technology w zespole pod kierownictwem prof. Sachs (Bose i in. 2013).

Istnieje kilka technologii druku przestrzennego, które różnią się stosowanym materiałem, sposobem nanoszenia kolejnych warstw oraz ich utwardzaniem (Berman 2012). Klasyczną i powszechnie stosowaną metodą druku jest technologia FDM (Fused Deposition Modelling), wykorzystująca polimerowy materiał w postaci drutu (filamentu), który po podgrzaniu jest wyciskany przez dyszę (Cieślak i in. 2019).

Wobec postępującego rozwoju technologii druku 3D obiekty wydrukowane znajdują coraz więcej zastosowań praktycznych (Paciorek 2012; Stachowski 2001). Najpierw technologia druku 3D była wykorzystywana w prototypowaniu, dzisiaj druk 3D stosowany jest w przemyśle na skalę masową dzięki swej dokładności i powtarzalności (Dodziuk 2019). Znaczenia nabiera też możliwość uzyskania nowych właściwości mechanicznych wydruków różniących się od właściwości materiału filamentu (Madej i Śliwka 2017). Zjawisko to narzuca konieczność wykonywania badań wytrzymałościowych struktur powstałych w wyniku drukowania (Choi i in. 2011; Śliwka i in. 2016). W procesie drukowania techniką FDM można uzyskiwać struktury porowate o różnych właściwościach mechanicznych w zależności od stopnia wypełnienia (Madej i Śliwka 2017). Właściwości te mogą jednak ulec zmianie w trakcie eksploatacji w wyniku oddziaływania czynników zewnętrznych takich jak promieniowanie UV czy podwyższona temperatura (Madej i in. 2019; Mal i in. 2016).

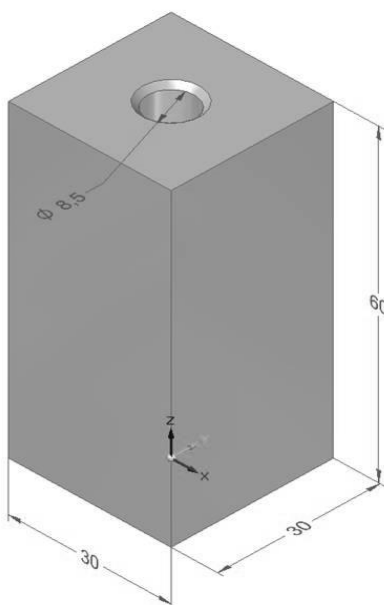
Niewątpliwą zaletą druku 3D jest możliwość wytwarzania przedmiotów o bardzo skomplikowanych kształtach, których wykonanie tradycyjnymi metodami jest bardzo utrudnione.

Ważnym problemem, z którym muszą mierzyć się konstruktorzy jest anizotropia produktów wytwarzanych metodami przyrostowymi. Właściwości mechaniczne gotowego wyrobu w kierunku normalnym do podstawy, na której nanoszone są kolejne warstwy materiału i pozostałymi dwoma kierunkami kartezjańskiego układu współrzędnych znacznie się od siebie różnią (Cieślar i in. 2019).

2. Materiały i metody

Obiektem badań była stalowa śruba M10, którą wkręcono w drukowany polimerowy element prostopadłościenny o wymiarach 30x30x60 mm. Na płaszczyźnie czołowej wykonany został otwór gwintowany o rozmiarze M10. Badania nośności przeprowadzone zostały na dwóch rodzajach próbek różniących się technologią wykonania otworu gwintowanego.

W próbkach pierwszego rodzaju otwór gwintowany został wykonany ręcznie za pomocą gwintownika ze śrubowym rowkiem gwintowym. Śrubowy nakrój gwintownika (www.sandvik.coromant.com) umożliwia wyprowadzenie wiórów w górę otworu podczas gwintowania. Narzędzie takie przeznaczone jest do wykonywania otworów nieprzelotowych. Ten rodzaj próbek został oznaczany jako GR (Gwint Ręcznie wykonany). W celu wykonania wydruku przygotowano model bryłowy próbki w programie Solid Edge 2019, który przedstawiony został na rys.1.



Rys. 1. Model 3D próbki typu GR.

W modelu wykonano otwór o średnicy $\varnothing 8,5$ mm i głębokości 15 mm. Tak przygotowany model przestrzenny próbki został zapisany w formacie STL a następnie wprowadzony do programu CURA 3.6.0. Zdefiniowano następujące parametry: wysokość warstwy na 0,1 mm, grubość ścianek zewnętrznych na 1,5 mm oraz stopień wypełnienia 50 %. Dla takich wartości parametrów wygenerowano kod sterujący (G-code), który następnie został wprowadzony do drukarki. W ten sposób wydrukowano trzy próbki GR.

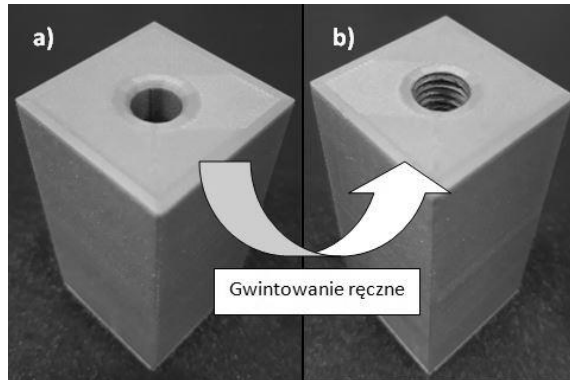
Na rys. 2 a) przedstawiona została wydrukowana próbka z otworem niegwintowanym, a na rys.2b) próbka z gotowym gwintem.

Struktura wewnętrzna próbki (50 % zagęszczenia) przedstawiona została na Rys.3.

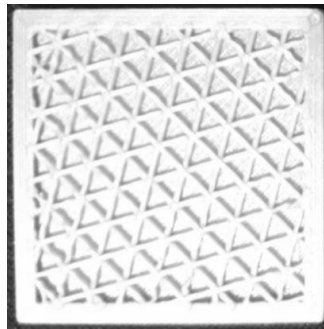
Do druku wykorzystany został filament Polilaktydowy (PLA) w kolorze Silver Metallic jak na Rys.2 i 3. PLA jest materiałem biodegradowalnym, który w grupie polimerów podlegających procesom biodegradacji uchodzi za materiał najbardziej popularny i chętnie używany. Znajduje on zastosowanie w inżynierii tkankowej do powolnego uwalniania leków (Nampoothiri i in. 2010) oraz

wytwarzania implantów, śrub i nici chirurgicznych (Ruśkowski i Gadomska-Gajadur 2017). Wyroby wykonane przy użyciu PLA cechują się wysoką jakością wydruków, łatwością drukowania oraz niską odpornością na podwyższone (powyżej 50°C) temperatury (Nampoothiri i in. 2010).

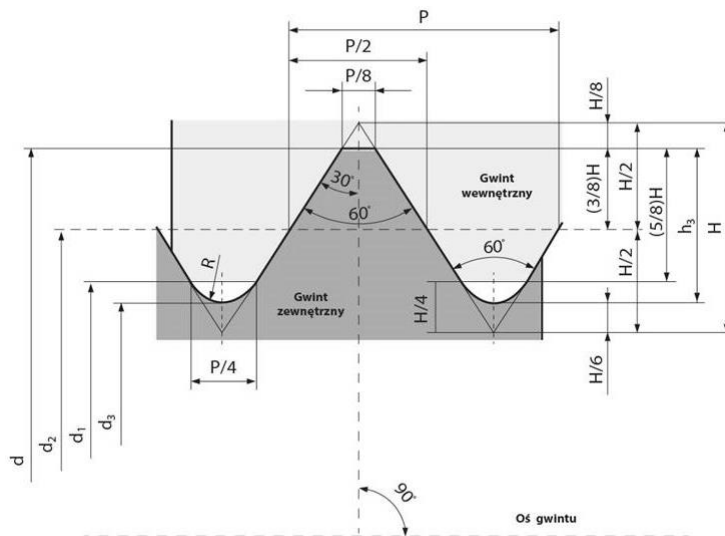
W próbkach drugiego rodzaju gwint został wykonany w procesie drukowania. Próbki te zostały oznaczone jako GD (Gwint Drukowany). Na Rys.4 przedstawiono kształt zarysu oraz wymiary otworu gwintowanego i śruby M10 w złożeniu.



Rys. 2. a) wydrukowana próbka GR bez gwintu, b) próbka GR z naciętym gwintem.



Rys. 3. Widok wypełnienia próbki w przekroju poprzecznym próbki.



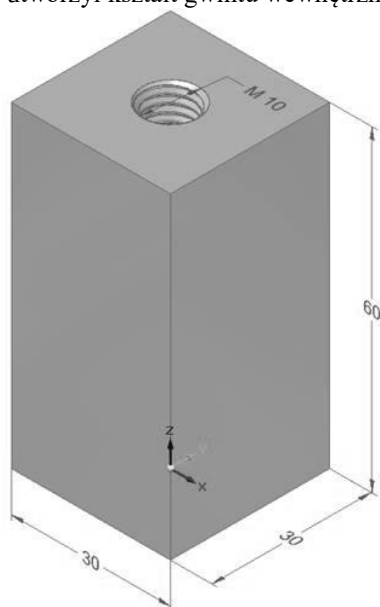
Rys. 4. Kształt i zarys gwintu (www.artykulytechniczne.pl).

W Tab.1 przedstawione zostały wartości wymiarów połączenia gwintowanego M10 odnoszące się do Rys.4.

Tab. 1. Wymiary gwintu metrycznego M10.

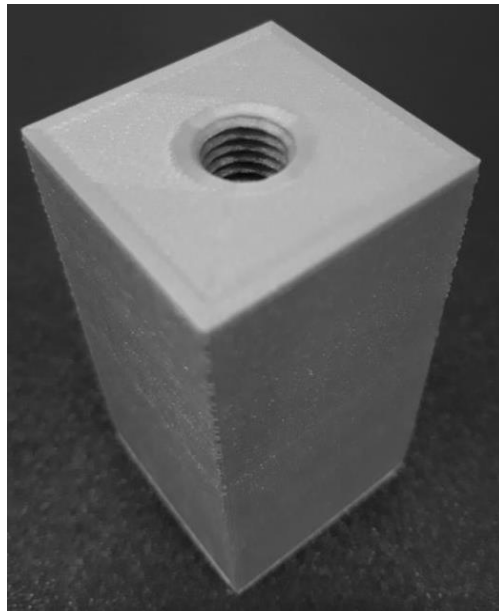
Nazwa	Symbol	Wartość, mm
Wysokość	H	1,299
Odległość	H/2	0,665
	5/8H	0,812
	3/8H	0,487
	H/4	0,325
	H/6	0,217
	H/8	0,162
Podziałka	P	1,500
Połowa podziałki	P/2	0,750
Ścięcie wierzch. zarysu	P/4	0,375
Ścięcie dna zarysu	P/8	0,188
Średn. zew. nom.	d	10,000
Średn. wew. nom.	d ₁	8,377
Średn. podz. nom.	d ₂	9,027
Średnica rdzenia	d ₃	8,161
Promień zaokrąglenia	R	0,188

Wcześniej przygotowany model z Rys.1 został zmodyfikowany poprzez dodanie szkicu (w oparciu o dane z Rys.4 oraz Tab.1) w płaszczyźnie przechodzącej przez oś otworu, który po przeciągnięciu po linii śrubowej utworzył kształt gwintu wewnętrznego M10 (Rys.5).



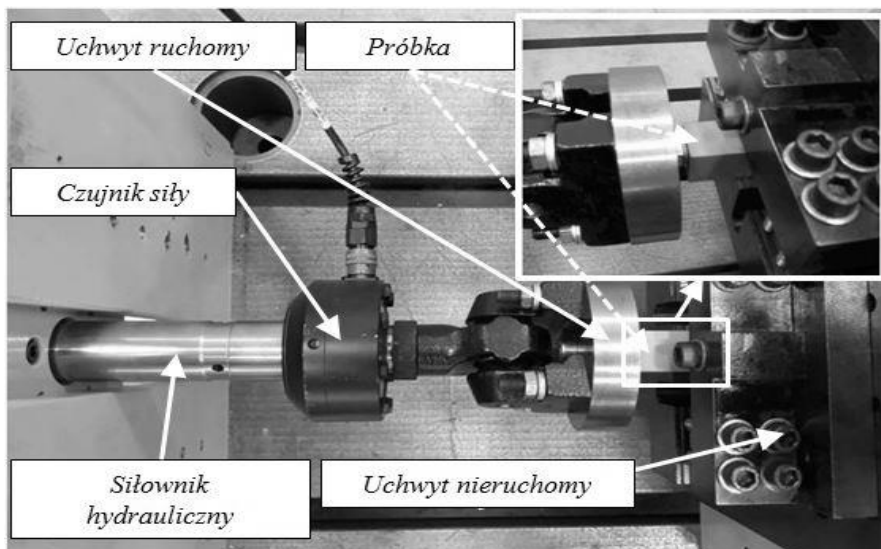
Rys. 5. Model 3D próbki typu GD.

Według tak przygotowanego modelu zapisanego w formacie STL wydrukowano 3 próbki. Przykładową próbkę GD z gotowym gwintem przedstawiono na Rys.6.



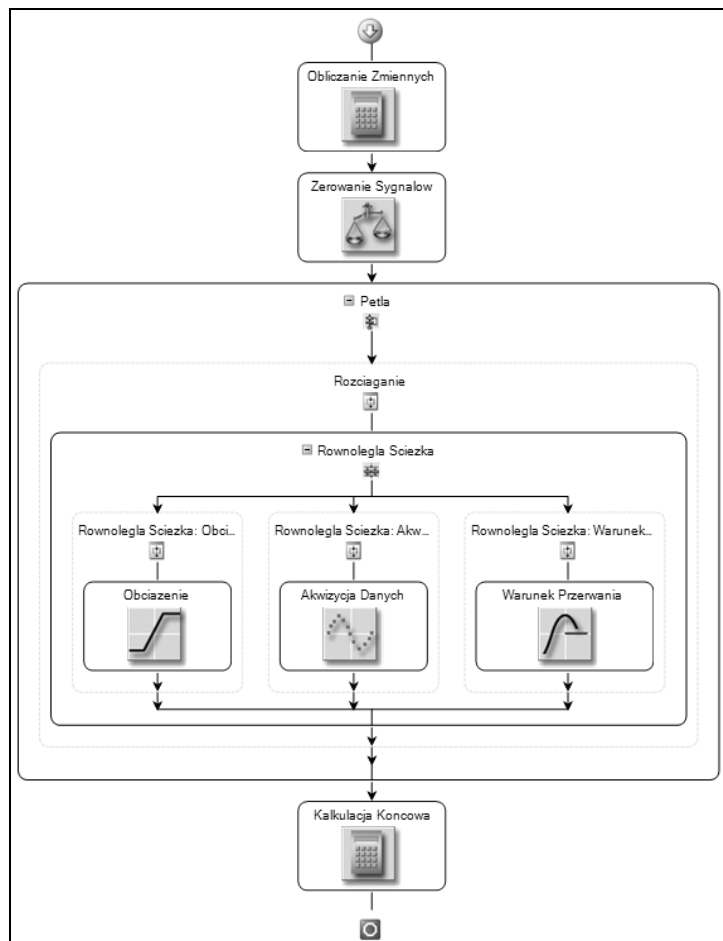
Rys. 6. Wydrukowana próbka typu GD.

Badania nośności zostały przeprowadzone przy użyciu systemu pomiarowego MTS, składającego się z siłownika hydraulicznego o zakresie pracy ± 75 mm i sile ± 25 kN, czujnika siły i przemieszczenia oraz odpowiednich adapterów mocujących. W przygotowaną próbkę wkręcono śrubę, którą następnie zamocowano w uchwycie ruchomym hydraulicznego systemu pomiarowego MTS. Druga powierzchnia czołowa próbki została zamocowana na długości 30 mm w uchwycie nieruchomym. Stanowisko pomiarowe przedstawiono na Rys.7.



Rys. 7. Widok stanowiska pomiarowego.

W programie MTS TestSuite przygotowana została procedura badawcza, w której podczas obciążania rejestrowano dwa sygnały - przemieszczenie Δl oraz siłę F obciążającą próbkę. Procedura w postaci schematu blokowego przedstawiona została na Rys.8.



Rys. 8. Schemat blokowy procedury badawczej.

W schemacie blokowym dwa pierwsze elementy są odpowiedzialne za obliczenie zmiennych wejściowych oraz wyzerowanie sygnałów. Następnie realizowana jest równoległa ścieżka, w której równocześnie wykonywane są trzy bloki procedury. W bloku obciążenia zawarte są parametry i sposób realizacji obciążania próbki ze stałą prędkością 5 mm/min. W bloku akwizycji danych zawarte są parametry rejestracji danych. Warunek przerwania próby określa parametry zakończenia testu. Następnie realizowane są obliczenia zmiennych po zakończeniu testu.

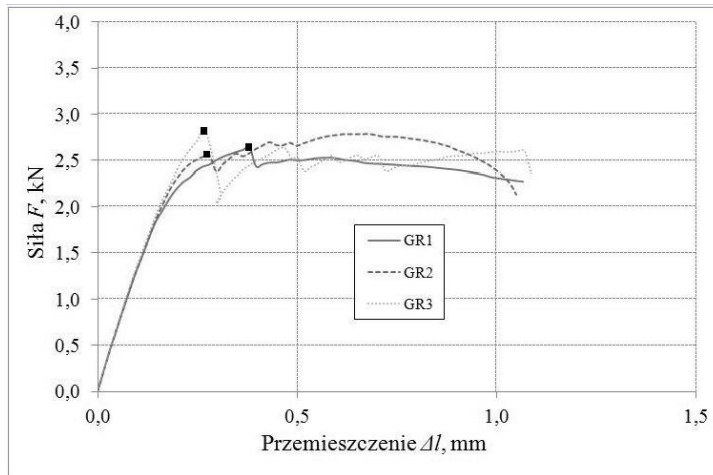
3. Wyniki i dyskusja

Na podstawie zarejestrowanych sygnałów z próby rozciągania został opracowany wykres, na którym przedstawiono charakterystyki siła-przemieszczenie $F(\Delta l)$ dla trzech próbek GR (rys.9).

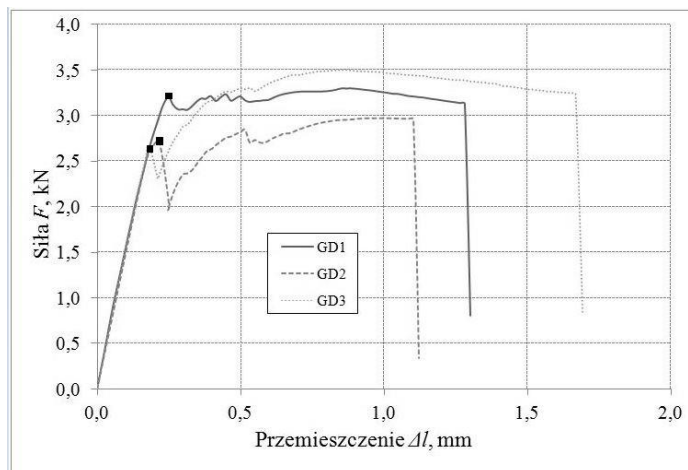
Analogiczne badania zostały wykonane dla próbek GD. Otrzymane charakterystyki przedstawiono na wykresie (Rys.10).

W oparciu o wyznaczone charakterystyki $F(\Delta l)$ dla dwóch rodzajów próbek różniących się technologią wykonania otworu gwintowanego można zauważyć, że próbki, których gwint został wydrukowany przenoszą średnio o 19 % większą siłę. Założono, że uszkodzenie gwintu występuje przy pierwszym gwałtownym spadku przyłożonej siły F oznaczonego na wykresie znacznikiem w postaci zaczernionego kwadratu. Próbki GD ulegają uszkodzeniu przy przemieszczeniu mniejszemu o 33% niż próbki GR. Średnie wartości oraz niepewności pomiaru Δx_a siły i przemieszczenia dla dwóch rodzajów próbek zestawiono w Tab.2. Przedział ufności wyznaczony

został za pomocą rozkładu t-Studenta i obliczony jako iloczyn odchylenia standardowego i współczynnika t-Studenta dla poziomu ufności $\alpha=0,90$ i trzech pomiarów (Gardoń 2011).



Rys. 9. Wykres $F(\Delta l)$ dla próbek typu GR.

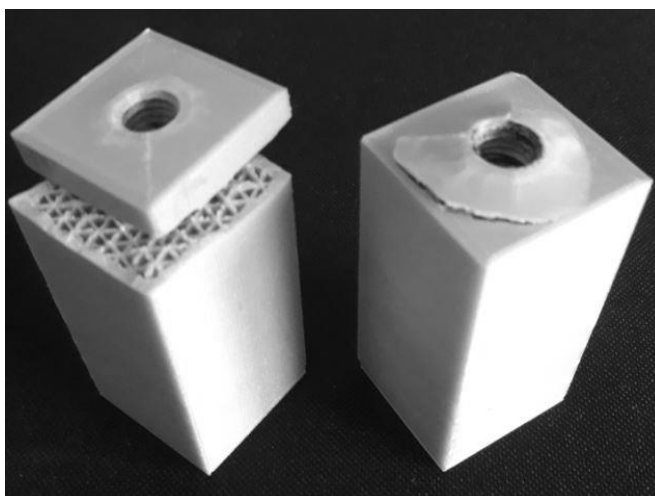


Rys. 10. Wykres $F(\Delta l)$ dla próbek typu GD.

Tab. 2. Zestawienie wyników badań połączeń gwintowanych.

Nr	F_{max} , kN		Przem. Δl przy uszkodzeniu, mm		Zniszczenie	
	GR	GD	GR	GD	GR	GD
Próbka 1	2,64	3,30	0,37	0,24	I	II
Próbka 2	2,78	2,97	0,28	0,22	I	II
Próbka 3	2,82	3,50	0,27	0,18	I	II
Średnia	2,75	3,26	0,31	0,21		
Δx_α	0,26	0,78	0,16	0,09		

W dwóch ostatnich kolumnach Tab.2 określony został sposób zniszczenia badanych próbek. Zniszczenie typu I oznacza wyrwanie gwintu z próbki (Rys.11 z prawej), a typ II rozerwanie próbki na dwie części (Rys.11 z lewej). Wyrwanie gwintu i mniejsza siła nośna próbek GR spowodowana jest przez usuwanie materiału gwintownikiem czyli otwór został osłabiony, co jest charakterystyczne przy obróbce ubytkowej.



Rys. 11. Próbkki po zniszczeniu. Z lewej próbka GD - rozerwana, z prawej GR – wyrwany gwint.

4. Wnioski

Podsumowując, można stwierdzić, że połączenie, w którym gwint wewnętrzny został wydrukowany na drukarce wykazuje nośność przy osiowym rozciąganiu większą o 19% w stosunku do próbek ręcznie gwintowanych. Próbkki GD ulegają uszkodzeniu przy mniejszym o 33% wydłużeniu podłużnym niż próbki GR, co świadczy o ich większej sztywności. Mniejsza nośność próbek GR jest spowodowana tym, że proces gwintowania powoduje przerwanie ciągłości materiału. Próbkki GD wykazują lepsze właściwości wytrzymałościowe, gdyż grubość ścianki nagwintowanej nie została uszkodzona przez gwintownik jak w próbce typu GR. Lepsze właściwości mechaniczne oraz prostsze wykonanie (gdyż unika się procesu gwintowania) uzasadniają wybór drukowania gwintu na drukarce. Ponadto przy ręcznym gwintowaniu powstaje problem zapewnienia współosiowości gwintownika względem otworu podczas gwintowania. Gwintowanie ręczne jest również czasochłonne, kłopotliwe i niesie za sobą ryzyko uszkodzenia gwintu w polimerowym materiale.

5. Literatura

- Berman B (2012) 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons* 55: 155-162.
- Bose S, Vahabzadeh S, Bandyopadhyay A (2013) Bone tissue engineering using 3D. *Materials Today* 16: 496-504.
- Choi J, Medina F, Kim C i in. (2011) Development of a mobile fused deposition modeling system with enhanced manufacturing flexibility. *Journal of Materials Processing Technology* 211: 424-432.
- Cieślak K, Śliwka M, Kubok T (2019) Badanie wpływu stopnia wypełnienia próbek drukowanych na własności wytrzymałościowe. *Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce. Nauki techniczne i inżynieryjne Cz. 2*: 22-28.
- Dodziuk H (2019) Zastosowania przemysłowe druku 3D zwanego wytwarzaniem przyrostowym. *Wstęp. Napędy i sterowanie* 5: 88-99.
- Gardoń A (2011) Rozkład statystyki t-Studenta przy danej wariancji z próby o rozkładzie normalnym. *Didactics of Mathematics* 8(12): 17-30.
- Madej J, Śliwka M (2017) Badanie parametrów mechanicznych struktur drukowanych o różnym zagęszczeniu. *Mechanik* 11: 1072-1074.
- Madej J, Śliwka M, Trzcionka W (2019) Influence of UV Radiation on the Mechanical Properties of Specimens Printed with the Use of the FDM Technique at Different Density Levels. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 134: 78-83.
- Mal P, Ghosh A, Majumdar A i in. (2016) Engineering of Knitted Cotton Fabrics for Optimum Comfort in a Hot Climate. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 116: 102-106.

- Nampoothiri KM, Nari NR, John RP (2010) An overview of the recent development in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology* 101(22): 8493-8501.
- Paciorek J (2012) Materiały porowate – właściwości i zastosowanie. *Trendy ve vzdelavani*: 229-232.
- Ruśkowski P, Gadomska-Gajadur A (2017) Polilaktyd w zastosowaniach medycznych. *Tworzywa Sztuczne w Przemysle* 2: 32-35.
- Stachowski A (2001) Materiały porowate przyszłościowym zastosowaniem w konstrukcji. *Kompozyty* 2: 224-227.
- Śliwka M, Jabłoński A, Rajzer I (2016) Właściwości mechaniczne polimerowych rusztowań wytworzonych metodą druku 3D. "Inżynier XXI wieku": VI Międzynarodowa Konferencja Studentów oraz Doktorantów: 833-838.
- www.artykulytechniczne.pl/blog/kalkulator-gwintow/, data odczytu 05.04.2020.
- www.sandvik.coromant.com/pl-pl/knowledge/threading/tapping/pages/how-to-choose-tap-type.aspx, data odczytu 10.05.2020.

15. Mechanizmy dezaktywacji komórek bakteryjnych w obecności TiO_2 modyfikowanego jonami lub nanocząstkami srebra

Mechanisms of bacterial cell deactivation in the presence of TiO_2 modified with silver ions or nanoparticles

Mateusz Dubicki, Ewelina Kusiak-Nejman

Katedra Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Opiekun naukowy: dr hab. inż. Ewelina Kusiak-Nejman, prof. ZUT

Mateusz Dubicki: mateusz.dubicki@zut.edu.pl

Słowa kluczowe: fotokatalityczna inaktywacja bakterii, ditlenek tytanu, nanocząstki srebra, jony srebra

Streszczenie

Powietrze atmosferyczne jest mieszaniną gazów i innych stałych składników. Jednakże równowaga ta zostaje zachwiana poprzez różne zanieczyszczenia, w tym mikrobiologiczne. W pomieszczeniach biurowych odnotowuje się ciągle pogarszanie się jakości powietrza wewnętrznego spowodowane przez bakterie, pleśnie oraz drożdże. Mikroorganizmy i ich formy przetrwalnikowe powodują zaburzenia oddychania, mogą wywoływać poważne schorzenia płuc oraz reakcje alergiczne. Zespół ogółu dolegliwości oraz dyskomfortu związanego z negatywnym oddziaływaniem budynku na organizm człowieka nazywany jest syndromem chorego budynku (SBS), natomiast zespół chorób wywołanych długotrwałym przebywaniem w budynkach zanieczyszczonych rozwijającymi się w nich mikroorganizmami chorobotwórczymi został określony mianem zespołu chorób związanych z budynkiem (BRI). W związku z tym poszukuje się tanich i szybkich rozwiązań, mających na celu skuteczną dezynfekcję powietrza wewnętrznego. Efektywnymi metodami unieszkodliwiania chorobotwórczych komórek bakteryjnych są m.in. procesy zaawansowanego utleniania, w tym proces fotokatalitycznego utleniania, wspomagany działaniem promieniowania UV. Jednym z najczęściej wykorzystywanych fotokatalizatorów jest ditlenek tytanu, a jego modyfikacja za pomocą jonów lub nanocząstek srebra skutecznie podnosi efektywność procesu inaktywacji mikroorganizmów. Mechanizm dezaktywacji komórek bakteryjnych polega głównie na degradacji zewnętrznej ściany komórkowej oraz membrany, czego efektem jest wpływ organelli cytoplazmatycznych. Do degradacji komórki bakteryjnej dochodzi wówczas, gdy w wyniku wzbudzenia TiO_2 promieniowaniem UV generowane są reaktywne formy tlenu, głównie rodniki hydroksylowe. Efektywność fotokatalitycznej degradacji komórek bakteryjnych może zostać podwyższona wskutek modyfikacji ditlenku tytanu za pomocą jonów (Ag^+) lub nanocząstek srebra (AgNPs). W przypadku srebra dochodzi do otoczenia komórki bakteryjnej przez nanocząstki lub jony Ag, następnie do lizy komórkowej, dezaktywacji materiału genetycznego oraz całkowitej mineralizacji komórki bakteryjnej.

1. Wstęp

Mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniach użytkowych jest znaczącym problemem negatywnie oddziałującym na organizmy ludzkie. Wilgotne warunki w pomieszczeniach bytowania ludzi stanowi jeden z parametrów rozijania się mikroorganizmów patogennych (Mathew i in. 2018). Powietrze wdychane przez ludzi zawiera w swoim składzie duże ilości bioaerozoli (Hannan i in. 2013). Co więcej, zanieczyszczenia mikrobiologiczne mogą powodować zaburzenia oddychania oraz negatywne skutki dla zdrowia ludzkiego (Górny i in. 2002). Aby wyeliminować lub zmniejszać częstotliwość zachorowania przeprowadza się badania epidemiologiczne, mające na celu poznanie stanu zdrowia danej populacji. W przypadku zanotowania wysokiego stężenia mikroorganizmów w powietrzu, np. w pomieszczeniach wewnętrznych, może dochodzić do zwiększenia wystąpienia reakcji alergicznych, a w niektórych przypadkach poważnych chorób układu oddechowego. Szacuje się, że ok. 30% wszystkich problemów zdrowotnych jest związanych z jakością powietrza w pomieszczeniach (Górny i in. 2002; Hannan i in. 2013). Problemy

zdrowotne wynikają z oddziaływania bakterii oraz pleśni na organizm, co jest związane ze zbyt długim czasem przebywania ludzi w zanieczyszczonych budynkach. Mikroorganizmy przedostają się do wnętrza pomieszczeń za pomocą systemów wentylacyjnych lub wentylacji pasywnej. Niektóre z gatunków bakterii są emitowane przez źródła wewnętrzne, do których zaliczyć można donice z kwiatami, jedzenie, obecność zwierząt, a także kosze na śmieci. W większości przypadków jest to nieszkodliwa mikroflora, która nie zagraża życiu lub zdrowiu. Pomimo to spędzanie kilkunastu godzin dziennie w pomieszczeniach zamkniętych prowadzi do pogorszenia jakości powietrza, mogącego wpływać negatywnie na zdrowie i kondycję fizyczną człowieka (Hannan i in. 2003).

Jednym z nowocześniejszych rozwiązań, mającym na celu polepszenie jakości powietrza wewnętrznego zarówno pod kątem eliminacji zanieczyszczeń gazowych jak i mikrobiologicznych, są wszelkiego rodzaju produkty, w których wykorzystuje się efekt fotokatalitycznego utleniania. Materiały budowlane wzbogacone o związki o właściwościach fotokatalitycznych, są powszechnie stosowane na zewnętrznych lub wewnętrznych ścianach budynków jako samooczyszczające inteligentne powłoki lub farby. Najczęściej wykorzystywanym dodatkiem do materiałów budowlanych jest ditlenek tytanu (TiO_2), który dzięki swoim właściwościom fotokatalitycznym wykazuje działanie biobójcze, bakteriostatyczne oraz grzybobójcze. Efektywność takich rozwiązań można podwyższyć stosując dodatkowo modyfikację TiO_2 za pomocą różnych chemicznych form srebra, w przypadku którego udowodniono silne działanie antybakteryjne. Srebro posiada szerokie spektrum aktywności antybakteryjnej zarówno wobec bakterii gram-ujemnych (np. *Escherichia coli* czy *Pseudomonas aeruginosa*) jak i gram-dodatnich (m.in. *Staphylococcus aureus* oporny na metycylinę), co zostało udowodnione przez Mathew i in. (2018), Durango-Giraldo i in. (2019) oraz Korshed i in. (2017).

Antybakteryjne działanie nanocząstek srebra tłumaczy się trzema różnymi mechanizmami. Pierwszy z mechanizmów oparty jest na uwalnianiu toksycznych jonów metali, które hamują produkcję adenylotryfosforanu (ATP) z jednoczesnym hamowaniem replikacji kwasu deoksyrybonukleinowego (będącego podstawowym czynnikiem przetrwania dla komórki). Drugi mechanizm zaznacza się w obrębie produkcji reaktywnych form tlenu, które generują stres oksydacyjny, w konsekwencji prowadząc do śmierci komórki bakteryjnej. Trzeci natomiast polega na uszkodzeniu błony komórkowej w wyniku bezpośredniego kontaktu z nanocząstkami Ag. Dlatego też modyfikacja TiO_2 za pomocą srebra wykorzystuje połączenie wielu zalet obu związków, uzyskując materiał o lepszych właściwościach antybakteryjnych (Durango-Giraldo i in. 2019, Korshed i in. 2017).

2. Opis zagadnienia

W niniejszej pracy szczegółowo omówione zostały mechanizmy dezaktywacji komórek bakteryjnych w wyniku fotokatalitycznego działania ditlenku tytanu z osadzonymi na powierzchni jego aglomeratów nanocząstkami srebra (AgNPs/TiO_2) oraz ditlenku tytanu modyfikowanego jonami srebra (Ag/TiO_2).

3. Mechanizmy dezaktywacji komórek bakteryjnych w obecności modyfikowanego TiO_2

3.1 Mechanizm inaktywacji w obecności AgNPs/TiO_2

W wyniku aktywowania TiO_2 promieniowaniem UV-A dochodzi do jego wzbudzenia i wytwarzania reaktywnych form tlenu, m.in. w postaci rodników hydroksylowych, których działanie na zewnętrzną ścianę komórkową prowadzi do jej degradacji, a w ostatecznym etapie do dezaktywacji komórki bakteryjnej. Mechanizm ten prowadzi do wzmożonej produkcji organicznych rodników, które następnie inicjują peroksydację łańcucha rodnikowego fosfolipidowej błony cytoplazmatycznej (LPS) oraz fosfatydylo-etanolcholino (PA) u bakterii gram-ujemnych, np. *Escherichia coli*. Mechanizm ten powoduje degradację komórki bakteryjnej począwszy od niszczenia zewnętrznych warstw ochronnych jakimi są ściana oraz błona komórkowa. W budowie zewnętrznej błony znajdują się wiązania acylowe, polisacharydowe, amidowe, a także wiązania $-\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$, które ulegają rozpadowi. Podczas krótkich czasów naświetlania promieniowaniem UV-A dochodzi do zanikania izolowanych wiązań $\text{C}=\text{C}-\text{H}$, wiązań oligosacharydowych oraz LPS u *E. coli*. Równolegle

z zanikaniem poszczególnych składników błon oraz ściany komórkowej, obserwuje się tworzenie produktów peroksydacji: kwasów karboksylowych, ketonów oraz aldehydów. W dalszych etapach dochodzi do całkowitej dezintegracji poszczególnych warstw ściany komórkowej. Rozpad warstw ochronnych komórki bakteryjnej umożliwia zapoczątkowanie peroksydacji lipidów oraz lizy bakteryjnej (Kiwi i Nadtchenko 2005).

Obecnie stosowane są modyfikacje ditlenku tytanu, który w połączeniu z metalem, oddziałuje z większą efektywnością na komórki bakteryjne. W związku z tym mechanizm działania antybakteryjnego TiO_2 modyfikowanego AgNPs prowadzi do wzmocnienia efektu dezynfekcyjnego, który z jednej strony związany jest z powstawaniem m.in. wolnych rodników, z drugiej zaś z antybakteryjnym działaniem nanocząstek srebra, co prowadzi do uszkodzeń oksydacyjnych membran oraz błon zewnętrznych komórek bakteryjnych (Ali i in. 2018).

Nanocząstki srebra jako środek antybakteryjny są zaliczane do grupy słabych kwasów. Udział AgNPs w inaktywacji komórek bakteryjnych związany jest z ich powinowactwem do pierwiastków stanowiących budulec kwasów nukleinowych w komórkach bakteryjnych, jak np. siarka czy fosfor. Reakcje pomiędzy kwasem nukleinowym a nanocząstkami srebra prowadzą do zatrzymania procesów replikacyjnych lub translacji, a struktura kwasu deoksyrybonukleinowego zostaje zniszczona. Obserwuje się także procesy defosforylacji białek wiążących ssDNA (reszty tyrozynowe substratów białkowych). Ponadto obserwuje się kilka różnych interakcji nanocząstek srebra z komórkami bakteryjnymi. Jednym z możliwych wczesnych etapów dezaktywacji bakterii jest akumulacja metali w jej zewnętrznych strukturach komórkowych. Zewnętrzne powłoki u bakterii pełnią funkcje ochronne, uniemożliwiając przenikanie niszczących substancji do wnętrza komórki. Gdy dojdzie do zniszczenia zewnętrznej bariery ochronnej, tworzą się pory, w budowie których obserwuje się nieregularne brzegi, co wpływa na utrudnienia w transporcie jonów. Niekontrolowany transport jonów wraz z rozpadem struktury błony zewnętrznej, są etapami ostatecznymi, prowadzącymi do śmierci bakterii (Speruda i in. 2017; Goei i Lim 2014).

Innym z mechanizmów dezaktywacji komórek bakteryjnych za pomocą AgNPs są interakcje z białkami, w efekcie których dochodzi do ich denaturacji i zaniku ich funkcji. Związane jest to z powinowactwem metalu do grup sulfhydrylowych (tiolowych), które wskutek działania metalu ulegają inaktywacji. Kolejne działanie antybakteryjne AgNPs polega na denaturacji białek S6, znajdujących się w podjednostkach 30S. Obok tych procesów może równocześnie dochodzić do interakcji z rybosomami, powodując zaburzenia biosyntezy białek. W procesach dezaktywacyjnych bakterii ważnym etapem jest również zaburzenie wewnętrznego metabolizmu komórkowego, który uzależniony jest od funkcjonowania białek katalitycznych, pełniących istotne role w produkcji adenosynotrifosforanu. Do współistniejących procesów zalicza się także zahamowanie albo zaburzenie funkcjonowania łańcucha oddechowego. Skutkiem jest zwiększenie wewnątrzkomórkowego stężenia reaktywnych form tlenu z jednoczesnym zaburzeniem procesów oddechowych komórki bakteryjnej. Ponadto dochodzi do wystąpienia szoku termicznego, a w wyniku dalszych zmian obserwuje się zmiany dezintegracyjne na poziomie komórkowym. Głównie zalicza się tutaj zahamowanie transdukcji sygnału (u bakterii G(-)) i denaturację komórki bakteryjnej. Końcowym etapem jest śmierć bakterii, która wynika z całkowitego zahamowania procesów metabolicznych (Speruda i in. 2017).

Modyfikacja z zastosowaniem AgNPs wzmacnia działanie fotokatalityczne, jak również działanie antybakteryjne TiO_2 , między innymi poprzez zmniejszenie szybkości rekombinacji fotoindukowanych par elektron-dziura. Co więcej, same nanocząstki srebra mają zastosowanie w takich dziedzinach jak: systemy antybakteryjne, systemy podawania leków, biosensory i urządzenia fotoniczne.

3.2 Mechanizm inaktywacji w obecności Ag/ TiO_2

Jony srebra przyczyniają się do zaburzenia transportu enzymatycznego i przepływu jonów z wnętrza komórki bakteryjnej do środowiska zewnętrznego, w efekcie prowadząc do dezintegracji komórki bakteryjnej (Speruda i in. 2017). Modyfikacja TiO_2 jonami srebra skutecznie wydłuża czas życia fotoindukowanych nośników ładunku. Jony srebra wiążą się także z enzymami o niskim potencjale w bakteryjnym łańcuchu oddechowym, co prowadzi do wytworzenia dużych ilości

anionorodników ponadtlenkowych ($O_2^{\cdot-}$) (Hou i in. 2015). Jony srebra są zdolne do opóźnienia wzrostu komórek bakteryjnych i denaturacji białek obecnych w ich ścianach (Gupta i in. 2013; Ali i in. 2018). W tym względzie najprostszym mechanizmem aktywności fotokatalitycznej jonów srebra jest ich uczestnictwo w reakcjach utlenienia pomiędzy atomami wodoru grupy tiolowej i cząsteczkami tlenu w komórce bakteryjnej. W wyniku połączenia się grup tiolowych kowalencyjnie przez wiązania dwusiarczkowe (R-S-S-R), dochodzi do blokowania oddychania na poziomie komórkowym, a tym samym do śmierci komórek bakteryjnych (Gupta i in. 2013; Ali i in. 2018).

Aktywność przeciwbakteryjna jonów srebra (Ag^+) jest wprost proporcjonalna do stężenia jonów srebra w środowisku. Ze względu na działanie oligodynamiczne, srebro wykazuje wysoką skuteczność przeciwbakteryjną nawet w niskich stężeniach.

Działanie antybakteryjne jonów srebra można opisać w kilku etapach. Najpierw Ag^+ wchodzi w interakcje z błoną komórki bakteryjnej. W tym momencie dochodzi do destabilizacji błony zewnętrznej, czego efektem jest utrata jonów K^+ oraz obniżenie poziomu ATP związanych z fosfolipidami. Kolejne interakcje Ag^+ dotyczą kwasów nukleinowych oraz enzymów. Efektem tego etapu jest zahamowanie procesów replikacyjnych. Obok powyższych interakcji, obserwuje się także generowanie reaktywnych form tlenu. Podkreśla się, że interakcja Ag^+ z błoną bakteryjną to najważniejszy mechanizm toksyczny jonów srebra. Po procesie akumulacji Ag^+ w otocze komórki bakteryjnej następuje oddzielenie błony cytoplazmatycznej (CM) od ściany komórkowej zarówno u bakterii G(+), jak i G(-). U bakterii grupy karboksylowe w kwasie glutaminowym i grupy fosforanowe w kwasie teichoinowym są głównie odpowiedzialne za wiązanie jonów srebra. U obu typów komórek bakteryjnych traktowanych Ag^+ , komórki ulegają lizie i we wszystkich przypadkach obserwuje się wyciek cytoplazmy. Jony Ag^+ wywołują także stres u bakterii, jony srebra dostają się do komórek G(-) przez główne białka błony zewnętrznej (OMP), zwłaszcza OmpF (i jego homologu OmpC), który jest białkiem transbłonowym (Kędziora i in. 2018). Jony srebra Ag^+ zaburzają procesy transportu elektronów w układzie oddechowym w fosforylacji oksydacyjnej i ograniczają syntezę enzymów łańcucha oddechowego albo utrudniają penetrację błon przez protony i fosforany. Jony Ag^+ mogą tworzyć kompleksy z kwasami nukleinowymi, gdzie preferencyjnie oddziałuje z nukleozydami oraz interkalować między parami zasad purynowych i pirymidynowych, zaburzając wiązania między parami zasad antyrównoległych nici DNA, co ostatecznie zapobiega podziałowi i reprodukcji komórek. Ag^+ jako jon metalu ciężkiego może powodować wzrost stresu oksydacyjnego w komórkach drobnoustrojów. Ag^+ (uwolniony z AgNPs) wchodzi w interakcję z białkami łańcucha oddechowego na błonie, przerywając wewnątrzkomórkową redukcję O_2 i indukuje produkcję RTF.

Mechanizm dezaktywacji bakterii z grupy G(+) jest podobny jak w przypadku bakterii G(-). Ogólnie przyjąć można, że zarówno TiO_2 w połączeniu z AgNPs czy Ag^+ wykazuje podobne działanie antybakteryjne. Rozwój bakterii zostaje zahamowany poprzez bezpośrednie niszczenie błon i membran bakterii. Zastosowanie Ag/ TiO_2 przeciwko ujemnie naładowanym lipopolisacharydom na powierzchni komórki powoduje zmiany ładunku powierzchniowego i jego hydrofobowość, które dodatkowo wpływają na przepuszczalność membran. Ponadto dezynfekcja przy użyciu Ag/ TiO_2 może prowadzić do zmniejszenia ekspresji białek rozpuszczalnych poprzez hamowanie syntezy kwasów nukleinowych, które dodatkowo hamują wzrost *S. aureus*. Zastosowanie Ag/ TiO_2 powoduje niewielkie zmiany w zmianie przepuszczalności membrany, bez jej rozkładu, co uwidacznia się w dalszych etapach hamowania syntezy kwasu nukleinowego w przypadku *S. aureus* oraz zmniejszeniu ekspresji białek rozpuszczalnych. Jednakże różnica w mechanizmie działania Ag/ TiO_2 na G(+) nie prowadzi do rozpadu nieuszkodzonych komórek G(+) oraz nie wywołują wycieku makromolekuł jakimi są DNA lub RNA (Jiang i in. 2017).

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych wyżej studiów literaturowych wywnioskować można, że procesy fotokatalitycznego utleniania z wykorzystaniem ditlenku tytanu należą do grupy, które mogą znaleźć zastosowanie w procesach inaktywacji mikroorganizmów. Dodatkowo modyfikacja ditlenku tytanu za pomocą jonów lub nanocząstek srebra wpływa na podwyższenie efektywności procesu inaktywacji, co jest wynikiem połączenia zalet obu stosowanych związków (fotokatalityzatora i srebra). W wyniku procesu fotoaktywacji TiO_2 generowane są reaktywne formy tlenu, które dezaktywują

zarówno komórki bakterii G(+) oraz G(-), endospory znajdujące się w powietrzu oraz w wodzie czy mikroby osadzone na materiałach i powierzchniach. (Srebro wykazuje wiele korzystnych cech fizykochemicznych w kontekście dezaktywacji mikrobiologicznej Foster i in. 2011). Modyfikacja fotokatalizatorów srebrem zwiększa ich wydajność, ponieważ Ag jest metalem bardzo efektywnym, posiadającym wysoką stabilność oraz dobre przewodnictwo elektryczne i termiczne. W wyniku immobilizacji Ag na powierzchni materiałów wzmocnieniu ulega aktywność fotokatalityczna wskutek spowalniania rekombinacji fotowzbudzonych nośników ładunku e^-_{CB}/h^+_{VB} (Nigussie i in. 2018).

Podziękowania: Artykuł został sfinansowany w ramach projektu badawczego LIDER/31/0115/L-9/17/NCBR/2018 przyznanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

5. Literatura

- Ali T, Ahmed A, Alam U, et al. (2018) Enhanced photocatalytic and antibacterial activities of Ag-doped TiO₂ nanoparticles under visible light. *Materials Chemistry and Physics*, 212: 325-335.
- Durango-Giraldo G, Cardona A, Zapata JF, et al. (2019) Titanium dioxide modified with silver by two methods for bactericidal applications. *Heliyon*, 5(5): 1-6.
- Foster HA, Ditta IB, Varghese S, et al. (2011) Photocatalytic disinfection using titanium dioxide: spectrum and mechanism of antimicrobial activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90(6): 1847-1868.
- Goei R, Lim TT (2014) Ag-decorated TiO₂ photocatalytic membrane with hierarchical architecture: Photocatalytic and anti-bacterial activities. *Water Research* (59): 207-218.
- Górny RL, Tkiewicz DU (2002) Bacterial and fungal aerosols in indoor environment in Central and Eastern European Countries. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 9: 17-23.
- Gupta K, Singh RP, Pandey A, et al. (2013) Photocatalytic antibacterial performance of TiO₂ and Ag-doped TiO₂ against *S. aureus*, *P. aeruginosa* and *E. coli*. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 4: 345-351.
- Hannan H, Yassin NA, Hussien SA, et al. (2013) Evaluation Microbiological Air Contamination in Al Majmaah University. *International Journal of Science and Research* 438(3): 2141-2144.
- Hou X, Ma H, Liu, F, et al. (2015). Synthesis of Ag ion-implanted TiO₂ thin films for antibacterial application and photocatalytic performance. *Journal of Hazardous Materials*, 299: 59-66.
- Jiang X, Lv B, Wang Y, et al. (2017) Bactericidal mechanisms and effector targets of TiO₂ and Ag-TiO₂ against *Staphylococcus aureus*. *Journal of medical Microbiology* 66: 440-446.
- Kędziora A, Speruda M, Krzyżewska E (2018) Similarities and Differences between Silver Ions and Silver in Nanoforms as Antibacterial Agents. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(2): 1-17.
- Kiwi J, Nadochenko V (2005) Evidence for the Mechanism of Photocatalytic Degradation of the Bacterial Wall Membrane at the TiO₂ Interface by ATR-FTIR and Laser Kinetic Spectroscopy. *Langmuir*, 21(10): 4631-4641.
- Korshed P, Li L, Liu Z, et al. (2017) Antibacterial mechanisms of a novel type picosecond laser-generated silver-titanium nanoparticles and their toxicity to human cells. *International Journal of Nanomedicine*, 13: 89-101.
- Mathew S, Ganguly P, Rhatigan S, et al. (2018) Cu-Doped TiO₂: Visible Light Assisted Photocatalytic Antimicrobial Activity. *Applied sciences* 8(2067): 1-20.
- Nigussie GY, Tesfamariam GM, Tegegne BM et al. (2018) Antibacterial Activity of Ag-Doped TiO₂ and Ag-Doped ZnO Nanoparticles. *International Journal of Photoenergy*, : 1-7.
- Speruda M, Kędziora A, Bugla-Płoskońska G (2017) Antybakteryjne działanie nanocząstek srebra syntetyzowanych metodą zielonej chemii. *Medycyna doświadczalna i mikrobiologia* 69: 281-288.

16. Mechanizmy dezaktywacji drobnoustrojów w obecności TiO₂ modyfikowanego nanocząstkami miedzi

Inactivation mechanisms of microorganisms utilizing TiO₂ modified with copper nanoparticles

Mateusz Dubicki, Ewelina Kusiak-Nejman

Katedra Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Opiekun naukowy: dr hab. inż. Ewelina Kusiak-Nejman, prof. ZUT

Mateusz Dubicki: mateusz.dubicki@zut.edu.pl

Słowa kluczowe: fotokatalityczna inaktywacja bakterii, ditlenek tytanu, nanocząstki miedzi, jony miedzi

Streszczenie

Mikroorganizmy stanowią jeden z najczęstszych czynników mających istotny wpływ na pogorszenie się jakości powietrza w pomieszczeniach. Wytwarzają one zanieczyszczenia takie jak zarodniki, alergeny czy toksyny, które negatywnie wpływają na zdrowie ludzi. Długotrwała ekspozycja na tego typu czynniki może prowadzić do różnych problemów zdrowotnych, w tym przewlekłych chorób układu oddechowego oraz infekcji skórnych. Na przestrzeni kilku ostatnich lat potwierdzono, że nanocząstki (ang. nanoparticles, NPs) metali, takich jak srebro, złoto czy miedź wykazują silne właściwości cytotoksyczne wobec szerokiej gamy patogenów chorobotwórczych. Ze względu na swoje niewielkie rozmiary (<100 nm), NPs posiadają większy współczynnik powierzchni do objętości i cechują się zwiększoną aktywnością chemiczną. W literaturze tematycznej przeważają informacje dotyczące mikrobójczych i mikrostatycznych właściwości nanocząstek srebra (AgNPs) oraz złota (AuNPs). Mniej uwagi natomiast poświęca się nanocząstkom miedzi (CuNPs). Podobnie jak Ag i Au, Cu wykazuje znaczną aktywność oligodynamiczną, która obejmuje nie tylko szerokie spektrum chorobotwórczych bakterii i grzybów, ale również wirusów. Z uwagi na relatywnie niski koszt oraz dużą dostępność, metal ten coraz częściej stosowany jest jako alternatywny, tańszy środek aktywny przy produkcji materiałów o działaniu antymikrobowym. W ostatnich latach nanocząstki miedzi były także wykorzystywane do otrzymywania materiałów kompozytowych na bazie ditlenku tytanu (TiO₂), który również wykazuje silne właściwości cytotoksyczne. Mechanizm działania kompozytów CuNPs/TiO₂ jest nadal dyskutowany.

1. Wstęp

Nadmierne stosowanie antybiotyków doprowadziło do częstszego występowania u różnych gatunków bakterii genów oporności na antybiotyki. W przypadku wielu uznanych środków przeciwdrobnoustrojowych wykazano oporność takiego genu u co najmniej jednego gatunku mikroorganizmu (Bonetta i in. 2013; Usman i in. 2013). Z tego też względu pojawienie się w ostatnich latach nowej dziedziny jaką jest nanotechnologia wzbudziło ogromne zainteresowanie oceną przeciwdrobnoustrojowego działania różnych związków produkowanych w skali nano. Nanocząstki (ang. nanoparticles, NPs) zostały zdefiniowane przez Encyclopedia of Pharmaceutical Technology jako stałe cząstki koloidalne o wielkości od 1 do 100 nm (Kreuter 2007). NPs wykazują szereg potencjalnie użytecznych zastosowań do celów biomedycznych i farmaceutycznych, takich jak zdolność do precyzyjnego kierowania („celowania”) leku w miejsce działania, co zwiększa efektywność samego leku, oraz zmniejszenie ryzyka wystąpienia ogólnoustrojowych skutków ubocznych. Ponadto, postęp w dziedzinie nanotechnologii umożliwił rozpoczęcie prac badawczych nad nową klasą materiałów przeciwdrobnoustrojowych, opartych na zastosowaniu nanocząstek metali takich jak srebro (AgNPs) (Sotiriou i Pratsinis 2010), złoto (AuNPs) (Pissuwan i in. 2010) czy miedź (CuNPs) (Parikh i in. 2014). Potwierdzono, że tego typu cząstki są w stanie łatwo oddziaływać na błony bakteryjne. Na podstawie badań (Tiwari i in. 2008) przeprowadzonych z wykorzystaniem różnych technik mikroskopowych, w tym mikroskopii sił atomowych, elektronowej mikroskopii transmisyjnej i laserowej mikroskopii konfokalnej, po zastosowaniu CuNPs jako środka

przeciwbakteryjnego, integralność błon komórkowych bakterii uległa zauważalnej zmianie, powodując śmierć komórek bakteryjnych.

W odróżnieniu do srebra i złota, miedź jest łatwiej dostępnym metalem i jednym z podstawowych pierwiastków śladowych występującym w większości żywych organizmów. Związki zawierające miedź, takie jak CuSO_4 i $\text{Cu}(\text{OH})_2$, stosuje się jako tradycyjne nieorganiczne środki przeciwbakteryjne (Raffi i in. 2010). Również wodne roztwory miedzi lub polimery zawierające miedź wykorzystywane są jako środki przeciwwgrzybicze. W postaci jonowej (Cu^+ i Cu^{2+}) miedzi wykazały działanie przeciwdrobnoustrojowe wobec szerokiej gamy mikroorganizmów, takich jak *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteric*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* i *Listeria monocytogenes* (Gyawali i in. 2011). Ponadto, w porównaniu do droższych metali jak srebro i złoto, w niektórych przypadkach, metal ten cechował się lepszą skutecznością w działaniu przeciwdrobnoustrojowym. Przykładowo, Ruparelia i in. (2018) potwierdzili, że CuNPs wykazywały lepsze działanie przeciwbakteryjne wobec *Escherichia coli* niż AgNPs. Podobny wpływ CuNPs i AgNPs na przeżywalność bakterii *Bacillus subtilis* został już wcześniej opisany przez Yoon i in. (2007).

Odrębną grupę związków chemicznych o właściwościach mikrobójczych i mikrostatycznych stanowią nanometryczne fotokatalizatory. Głównym przedstawicielem tej grupy jest ditlenek tytanu (TiO_2), który oprócz silnych właściwości cytotoksycznych, cechuje się również znaczną hydrofilowością i zdolnością do usuwania chemicznych zanieczyszczeń wody oraz powietrza. Silne oddziaływanie TiO_2 na szerokie spektrum zanieczyszczeń chemicznych, jak i mikrobiologicznych jest bezpośrednio powiązane z unikalną strukturą elektronową tego związku oraz zdolnością do generowania reaktywnych form tlenu (RFT – ang. ROS), odpowiedzialnych m.in. za dezaktywację mikroorganizmów. Szczegółowy opis tego procesu został zawarty w dalszej części pracy.

2. Opis zagadnienia

W oparciu o dostępne doniesienia literaturowe w niniejszej pracy przedstawiono mechanizmy działania przeciwdrobnoustrojowego nanocząstek miedzi oraz ditlenku tytanu, stanowiących elementy składowe materiałów kompozytowych CuNPs/ TiO_2 .

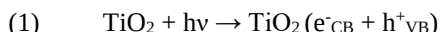
3. Przegląd literatury

W odróżnieniu do nanocząstek srebra AgNPs, mniej jest badań nad mechanizmami działania nanocząstek miedzi (CuNPs) na mikroorganizmy patogenne. W związku z tym w ostatnich latach skupiano się na badaniach związanych z potencjałem antybakteryjnym CuNPs. Mechanizm przeciwdrobnoustrojowego działania miedzi nie jest całkowicie jasny. Zakłada się jednak, że ma on dwuetapowy przebieg. W pierwszym etapie, nanocząstki Cu gromadzą się na powierzchni komórki bakteryjnej. Interakcja z błoną bakteryjną powoduje zmniejszenie elektrochemicznego potencjału transmembranowego bakterii, co prowadzi do zaburzenia integralności błony. W kolejnym etapie, jony miedzi przenikają do komórek bakterii i uszkadzają kwasy nukleinowe. Po akumulacji nanocząstek Cu otwory utworzone na powierzchni komórki powodują wyciekanie składników wewnątrzkomórkowych, a następnie dochodzi do dalszej penetracji CuNPs do wnętrza komórki. Nanocząstki Cu mogą także uwalniać jony miedzi (Cu^{2+}), które mogą przyspieszyć produkcję RFT, czego efektem końcowym jest zakłócenie metabolizmu białek, lipidów, oraz przebiegu procesu oddychania komórki, co ostatecznie prowadzi do jej obumarcia. Jony miedzi mogą również zespalać informacyjny RNA i w ten sposób dezaktywować wirusy (Makvandi i in. 2019).

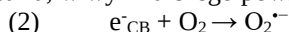
W oparciu o powyższy mechanizm, CuNPs wykazują aktywność przeciwdrobnoustrojową wobec różnych rodzajów mikroorganizmów. Stwierdzono, że nanocząstki miedzi są skuteczne w inaktywacji różnych zbiorowisk bakterii, takich jak *S. aureus*, *E. coli* i *S. mutans* (Arfat i in. 2017). Mimo, że miedź jest niezbędnym pierwiastkiem dla większości form życia, jednak w nadmiarze może być toksyczna dla mikroorganizmów. (ATP-aza transportująca kationy miedziowe odgrywa kluczową rolę w organizmach żywych, utrzymując odpowiednio poziom miedzi w komórkach i tkankach. Wykazano, że w przypadku komórek bakteryjnych silne właściwości toksyczne CuNPs sprowadzają się do hamowania aktywności enzymów komórkowych oraz zaburzeń związanych

z funkcjonowaniem ATP (Ivanova i in. 2019). CuNPs wykazują wysoką aktywność przeciwdrobnoustrojową wobec *Bacillus subtilis*, ponieważ powierzchnia komórkowa *B. subtilis* charakteryzuje się większą ilością amin i grup karboksylowych, a CuNPs mają większe powinowactwo do tych grup.

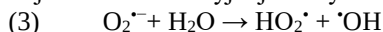
W przypadku materiałów kompozytowych CuNPs/TiO₂, obecność ditlenku tytanu umożliwia również inaktywację drobnoustrojów, w oparciu o odrębny mechanizm, polegający na aktywacji TiO₂ światłem UV i wytworzenia reaktywnych form tlenu (ROS), takich jak: rodniki hydroksylowe ([•]OH), rodniki wodoronadtlenowe (HO₂[•]) czy anionorodniki ponadtlenkowe (O₂^{•-}). Prawdopodobny przebieg tego mechanizmu został przedstawiony przez Raut i in. (2016). Aktywacja TiO₂ obejmuje etapy: adsorpcji-desorpcji, produkcji pary elektron/dziura (e⁻_{CB} / h⁺_{VB}), rekombinacji pary elektronów oraz innych reakcji fotochemicznych. Gdy fotokatalizator jest napromieniowany fotonami o energii równej lub większej niż energia pasma wzbronionego, wówczas elektrony (e⁻_{CB}) są wzbudzone z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa z jednoczesnym wytworzeniem dziur (h⁺_{VB}):



hν jest kwantem promieniowania o energii niezbędnej do przeniesienia elektronu z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa. Elektrony wytworzone w wyniku wzbudzenia promieniowaniem UV reagują z cząsteczką O₂, rozpuszczonego w wodzie lub dostępnego w powietrzu; w wyniku czego powstaje anionorodnik ponadtlenkowy O₂^{•-} (Raut i in. 2016):



O₂^{•-} jest utleniaczem o umiarkowanym potencjale redukcyjnym, który wystarcza do redukcji związków organicznych. W reakcji (3) przedstawiono mechanizm reakcji O₂^{•-} z H₂O, w wyniku której powstaje rodnik wodoronadtlenowy (HO₂[•]) i rodnik hydroksylowy ([•]OH), które biorą udział w degradacji struktur bakteryjnej ściany komórkowej (Raut i in. 2016):



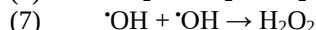
Równocześnie, wytworzone dziury w wyniku reakcji fotokatalitycznej, mogą reagować z cząsteczką wody, co może doprowadzić do powstania rodników hydroksylowych ([•]OH) (Raut i in. 2016):



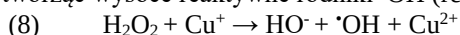
Na koniec reakcji rodnik [•]OH reaguje z powierzchnią mikroorganizmu, a jego ściana komórkowa ulega rozkładowi w wyniku utleniania, w następujący sposób (Raut i in. 2016):

(5) [•]OH + składniki ściany komórkowej + O₂ → dezaktywowany produkt (zawartość komórek i pozostałości po mikrobie).

Analogiczny przebieg mechanizmu generowania ROS z wykorzystaniem TiO₂ w obecności promieniowania UV, wody oraz tlenu, został zaproponowany przez Sunada i in. (2003). Jednakże, oprócz form [•]OH, HO₂[•] czy O₂^{•-}, autorzy zwracają również uwagę na możliwość powstawania nadtlenu wodoru (H₂O₂), zgodnie z reakcjami (6-7) (Raut i in. 2016):



Utworzony H₂O₂ przyczynia się do degradacji błony komórkowej bakterii. Sugeruje się również (Foster i in. 2011), że w przypadku obecności miedzi, jony Cu⁺ tego metalu mogą reagować z H₂O₂, tworząc wysoce reaktywne rodniki [•]OH (reakcja 8) (Raut i in. 2016):



Przy jednoczesnym zastosowaniu odpowiedniej ilości nanocząstek materiału kompozytowego wzmocnieniu ulega siła dezaktywacyjna wobec komórek mikrobów. Wówczas dochodzi do generacji wyższych poziomów ROS, aniżeli tych, które wytwarzane są przez zastosowane oddzielnie jednakowych ilości CuNPs czy nanocząstek TiO₂. CuNPs/TiO₂ doprowadzają do różnego rodzaju uszkodzeń komórek bakteryjnych, w szczególności: peroksydacji lipidów, zaburzeń w budowie ściany komórkowej oraz błonie komórkowej. Uwolniona zostaje materia wewnątrzkomórkowa, a także wydostaje się β-D-galaktozydaza z błon komórkowych, które produkowana jest przez żywe komórki *E. coli* (Chen i in. 2014).

Qiu i in. (2012), potwierdzili, że poprzez połączenie nanocząstek miedzi z ditlenkiem tytanu, uzyskuje się materiał kompozytowy CuNPs/TiO₂ o podwyższonej aktywności

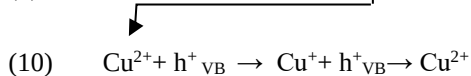
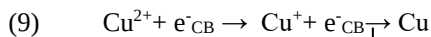
przeciwdrobnoustrojowej. Wykazano, że pod wpływem naświetlania światłem widzialnym elektrony w paśmie walencyjnym TiO_2 są transferowane do Cu^{II} pochodzących z Cu_xO . Jest to proces międzyfazowego transferu ładunku (ang. IFCT), co powoduje redukcję z Cu^{II} do Cu^{I} z jednoczesnym powstaniem dziury w paśmie walencyjnym. Tak powstały Cu^{I} może skutecznie redukować cząsteczki tlenu, a następnie powrócić do pierwotnego stanu (Cu^{II}). W wyniku zajścia tej reakcji dochodzi do zmiany wartościowości z Cu^{II} w Cu^{I} i wygenerowania dziur w paśmie walencyjnym (w postaci h^+_{VB}). h^+_{VB} powstałe w paśmie walencyjnym TiO_2 w połączeniu z miedzią (Cu^{I}) mogą doprowadzać do uszkodzeń błon zewnętrznych, białek i kwasów nukleinowych (w postaci DNA i RNA) wirusów oraz bakterii, doprowadzając do śmierci i inaktywacji mikrobów.

Kolejni autorzy (Li i in. 2013) wykorzystali biosensory bakteryjne do badania wywołanych stresem, mechanizmów toksyczności wytwarzanych przez CuNPs w komórkach bakterii *E. coli*. Działania opierały się na występowaniu stresu oksydacyjnego, uszkodzeniu białek, wraz z uszkodzeniami DNA i błony zewnętrznej, a także zahamowaniem wzrostu komórek bakteryjnych. Mechanizm antybakteryjny rozpoczyna się od produkcji H_2O_2 , w którym pośredniczą CuNPs. Podczas gdy utlenianie jonów Cu^{I} jest odpowiedzialne za powstawanie H_2O_2 , jony Cu^{II} mogą doprowadzać do uszkodzeń białek w cytoplazmie i błony zewnętrznej, nawet wpływając na zmiany w DNA (w przypadku wyższych stężeń Cu^{II}). Chakraborty i in. (2015) udowodnili, że mechanizm antybakteryjny nanocząsteczek CuO otrzymanych poprzez reakcje redukcji-utleniania CuCl_2 za pomocą polialkoholu winylowego prowadzi do generacji ROS, peroksydacji lipidów i chromosomalnej degradacji DNA komórek bakteryjnych. Nadto, obserwuje się utlenianie nienasyconych kwasów tłuszczowych zawartych w błonach zewnętrznych *E. coli*. CuONPs doprowadzają także do zmian w składzie kwasów tłuszczowych tj. zmianie ulegają właściwości fizykochemiczne dwuwarstwy lipidowej, zmniejszające płynność błon i aktywność integralnych białek błonowych.

Zaś w przypadku badań przeprowadzonych przez Das i in. 2013, pomiędzy interakcjami CuONPs oraz CuNPs z bakteriami zasugerowano, że CuNPs skuteczniej prowadzą do zahamowania wzrostu bakteryjnego. Natomiast w przypadku CuONPs, (o wielkości w granicach 15–30 nm) należy zastosować wyższe stężenia, aby efektywnie zahamować wzrost mikroorganizmów. Wynika to prawdopodobnie z bezpośredniej interakcji pomiędzy CuNPs (wielkość 3,5-11nm), a danym szczepem bakterii, w wyniku której dochodzi do większej penetracji komórki bakteryjnej i w efekcie pęknięcia jej błony zewnętrznej. Zakłócenia błony komórkowej mogą prowadzić do nieprawidłowego działania enzymów komórkowych i ostatecznie do śmierci komórki.

W badaniach przeprowadzonych przez Sunada i in. 2003, potwierdzono, że materiał CuNPs/ TiO_2 wykazuje właściwości bakteriobójcze zarówno przy zastosowaniu intensywnego światła UV, jak i w całkowitej ciemności. Efekt ten przypisuje się obecności jonów miedzi na powierzchni komórki bakteryjnej, które po przeniknięciu przez ścianę cytoplazmatyczną zaburzają strukturę helisy DNA. Ci sami autorzy zwracają również uwagę, że w przypadku uodpornienia się komórki na działanie cytotoksyczne miedzi (co charakteryzuje się niewielkimi ilościami białka porynowego w zewnętrznej membranie, w wyniku czego membrana zewnętrzna traci zdolność do transportu substancji rozpuszczonych, takich jak np. jony Cu z środowiska zewnątrzkomórkowego), proces inaktywacji komórki może przebiegać w oparciu o mechanizm, polegający na generowaniu ROS przez TiO_2 .

Co więcej, toksyczność CuNPs wynika także z jednoczesnego uwalniania jonów miedzi prowadząc do powstania wysokiego poziomu toksyczności dla komórek bakteryjnych. Należy podkreślić, iż w procesie bakteriobójczym kluczową rolę odgrywa wartościowość miedzi. Osadzanie jonów miedzi na cząstkach TiO_2 to mieszanina miedzi metalicznej (Cu^0) i jonów miedzi (Cu^+ i Cu^{2+}) (Hashimoto i in. 2005). Poprzez wzbudzenie CuNPs/ TiO_2 promieniowaniem UV, jony miedzi mogą ulegać redukcji do miedzi metalicznej poprzez fotogenerację elektronów (reakcja 9), a miedź metaliczna może zostać utleniona do jonów poprzez fotogenerację dziur (reakcja 10) (Sunada i in. 2003):



4. Podsumowanie

CuNPs/TiO₂ jest obiecującym środkiem antybakteryjnym, którego działanie oparte jest na dwóch mechanizmach inaktywacji. Pierwszy to akumulacja i penetracja nanocząstek przez błonę komórki bakteryjnej, co prowadzi do jej pęknięcia i wypłynięcia na zewnątrz substancji wewnątrzkomórkowych. Drugi zaś to wytwarzanie reaktywnych form tlenu (ROS), głównie rodników hydroksylowych, lub/i jonów miedzi, z późniejszym utlenianiem i uszkodzaniem wewnętrznych struktur komórkowych.

Podziękowania: Artykuł został sfinansowany w ramach projektu badawczego LIDER/31/0115/L-9/17/NCBR/2018 przyznanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

5. Literatura

- Arfat YA, Ahmed J, Hiremath N, et al. (2017) Thermo-mechanical, rheological, structural, and antimicrobial properties of bionanocomposite films based on fish skin gelatin and silver-copper nanoparticles. *Food Hydrocolloids* 62: 191-202.
- Bonetta S, Motta F, Strini A, et al. (2013) Photocatalytic bacterial inactivation by TiO₂-coated surfaces. *AMB Express* 3: 59.
- Chakraborty R, Sarkar RK, Chatterjee AK, et al. (2015) A simple, fast and cost-effective method of synthesis of cupric oxide nanoparticle with promising antibacterial potency: unraveling the biological and chemical modes of action. *Biochim. Biophys. Acta (BBA) -Gen. Subj.* 1850(4): 845-856.
- Chen S, Guo Y, Zhong H (2014) Synergistic antibacterial mechanism and coating application of copper/titanium dioxide nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 256: 238–246.
- Das D, Nath BC, Phukon P, Dolui SK. Synthesis and evaluation of antioxidant and antibacterial behavior of CuO nanoparticles. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2013,101: 430–433.
- Gyawali R, Ibrahim SA, Abu Hasfa SH, et al. (2011) Antimicrobial activity of copper alone and in combination with lactic acid against *Escherichia coli* O157: H7 in laboratory medium and on the surface of lettuce and tomatoes. *Journal of Pathogens* 2011: 650968.
- Hashimoto K, Irie H, Fujishima A, TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects. *Japanese Journal of Applied Physics* Vol.44, No 12. 8269-8285.
- Ivanova IA, Pavlova EL, Stoyanova DS, et al. (2019) Antibacterial effect of TiO₂:Cu:Ag thin coatings on *Pseudomonas* strain measured by microbiological and ATP assays. *Journal of Basic Microbiology* 59(12): 1-8.
- Kreuter J (2007) Nanoparticles – a historical perspective. *International Journal of Pharmaceutics* 331: 1-10.
- Li F, Lei C, Shen Q, et al. (2013) Analysis of copper nanoparticles toxicity based on a stress-responsive bacterial biosensor array. *Nanoscale* 5: 653-662.
- Parikh P, Zala D, Makwana BA (2014) Biosynthesis of Copper Nanoparticles and Their Antimicrobial Activity. *OALib Journal* 1: 1-15.
- Pissuwan D, Cortie CH, Valenzuela SM, et al. (2010) Functionalised gold nanoparticles for controlling pathogenic bacteria. *Trends Biotechnology* 28: 207-213.
- Qiu X, Miyauchi M, Sunada K, et al. (2012) Hybrid Cu₂O/TiO₂ Nanocomposites As Risk-Reduction Materials in Indoor Environments. *ACS Nano* 6(2): 1609–1618.
- Raffi M, Mehrwan S, Bhatti TM, et al. (2010) Investigations into the antibacterial behavior of copper nanoparticles against *Escherichia coli*. *Annals of Microbiology* 60: 75-80.
- Raut AV, Yadav HM, Gnanamani A, et al. (2016) Synthesis and characterization of chitosan-TiO₂:Cu nanocomposite and their enhanced antimicrobial activity with visible light. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 148: 566-575.
- Ruparelia JP, Chatterjee AK, Duttagupta SP, et al. (2008) Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles. *Acta Biomaterialia* 4: 707-716.
- Sotiriou GA, Pratsinis SE (2010) Antibacterial activity of nanosilver ions and particles. *Environmental Science & Technology* 44: 5649-5654.

- Sunada K, Watanabe T, Hashimoto K (2003) Bactericidal Activity of Copper-Deposited TiO₂ Thin Film under Weak UV Light Illumination. *Environmental Science & Technology* 37(20): 4785-4789.
- Tiwari DK, Behari J, Sen P (2008) Application of Nanoparticles in Waste Water Treatment. *World Applied Sciences Journal* 3: 417-433.
- Usman MS, El Zowalaty ME, Shameli K, et al. (2013) Synthesis, characterization, and antimicrobial properties of copper nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine* 8: 4467-4479.
- Yoon KY, Hoon Byeon J, Park JH, et al. (2007) Susceptibility constants of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* to silver and copper nanoparticles. *Science of the Total Environment* 373: 572-575.

17. Otrzymywanie cennych związków organicznych w procesie przekształcenia terpenów

Receiving valuable organic compounds in the terpenes conversion process

Jadwiga Tołpa, Agnieszka Wróblewska

Katedra Inżynierii Materiałów Katalitycznych i Sorpcyjnych, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Opiekun naukowy: prof. dr hab. inż. Agnieszka Wróblewska: agnieszka.wroblewska@zut.edu.pl

Jadwiga Tołpa: jadviga.tolpa@zut.edu.pl

Słowa kluczowe: olejki eteryczne, izoprenoidy, monoterpeny, α -pinen, β -pinen

Streszczenie

Artykuł jest pracą przeglądową, w której opisano transformacje terpenów (izoprenoidów) do użytecznych produktów. Związki te znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym, kosmetycznym, perfumeryjnym oraz w medycynie. Jedną z dróg przemian terpenów do wartościowych produktów są reakcje chemiczne (homogeniczne i heterogeniczne). Jako przykłady takich reakcji należy podać procesy: utleniania, izomeryzacji, kondensacji, cyklizacji, uwodorniania oraz odwodornienia (dehydrogenacji). Drugim rodzajem transformacji terpenów są reakcje biochemiczne. Reakcje te zachodzą przy użyciu naturalnych i rekombinowanych enzymów oraz komórek spoczywających. W pracy opisano również biotransformacje terpenów, które prowadzi się z zastosowaniem mikroorganizmów, roślin oraz zwierząt.

1. Wstęp

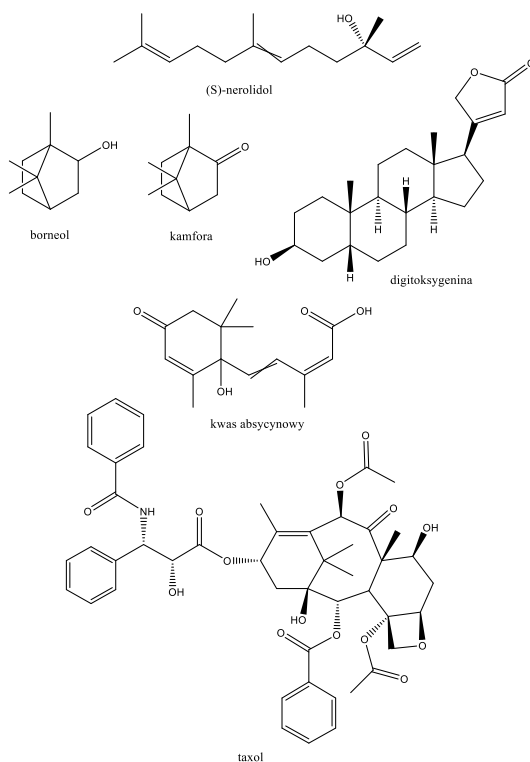
Rośliny stanowią ogromny potencjał dla przemysłu chemicznego jako opłacalne i przyjazne dla środowiska naturalnego systemy produkcyjne, które efektywnie wykorzystują energię świetlną i są źródłem surowców do produkcji paliw, produktów masowych oraz małotonażowych chemikaliów. Obecnie terpeny stanowią jedną z największych i najbardziej zróżnicowanych klas związków organicznych pozyskiwanych z roślin. Związki te można także otrzymywać drogą biosyntezy z jednostek izoprenowych, które składają się z pięciu atomów węgla. Terpeny, ze względu na ich dużą różnorodność, przyciągają uwagę wielu badaczy. Jako związki naturalne mogą one być przekształcane w nowe, wartościowe półprodukty dla przemysłu produkującego zapachy, perfumy, aromaty oraz farmaceutyki.

2. Opis zagadnienia

Rośliny wytwarzają różne rodzaje wtórnych metabolitów, które nie biorą bezpośredniego udziału we wzroście, rozwoju, czy w namnażaniu roślin. W przeciwieństwie do metabolitów pierwotnych, brak metabolitów wtórnych nie powoduje śmierci roślin, a prowadzi jedynie do niewielkich zmian w ich wyglądzie. Metabolity wtórne często odgrywają ważną rolę w obronie roślin przed roślinożercami. Ze względu na ogromne znaczenie metabolitów (leki i naturalne dodatki do żywności), od wielu lat są one szeroko badane (Balandrin i in. 1985; Maimone i Baran 2007; Pichersky i Gershenzon 2002).

Poza związkami fenolowymi oraz alkaloidami, terpeny stanowią największą i najbardziej zróżnicowaną klasę metabolitów wtórnych roślin. Z terpenów wyizolowano ponad 55 000 zdefiniowanych związków organicznych (Maimone i Baran 2007; Zwenger i Basu 2008). Związki te są chętnie wykorzystywane w przemyśle farmaceutycznym, spożywczym, w rolnictwie oraz w przemyśle chemicznym. Są też skutecznie stosowane jako: leki, wzmacniacze smaku, pestycydy oraz chemikalia wysokowartościowe (Martin i in. 2003). Do jednych z najważniejszych i najczęściej stosowanych terpenów należą: α -pinen, β -pinen, limonen, geraniol, linalol, mentol, borneol, kamfora, czy karwon. Inne, znane terpeny lub ich pochodne, to: α -farnezen, kwas abscysynowy, nerolidol, permetryna, taxol, digitoksygenina, hekogenina i zeaksantyna. Ponadto linalol jest stosowany jako syntetyczny prekursor witaminy A, kwas abscysynowy znany jest jako fitohormon stosowany do

regulatorów wzrostu i rozwoju roślin, a zeaksantyna znalazła zastosowanie jako dodatek do żywności. Jest ona również stosowana jako pasza dla zwierząt. Na Rys. 1 przedstawiono wzory strukturalne wybranych terpenów i ich pochodnych (Maimone i Baran 2007).



Rys. 1. Wzory strukturalne wybranych terpenów i ich pochodnych.

3. Przegląd literatury

3.1 Biosynteza terpenów

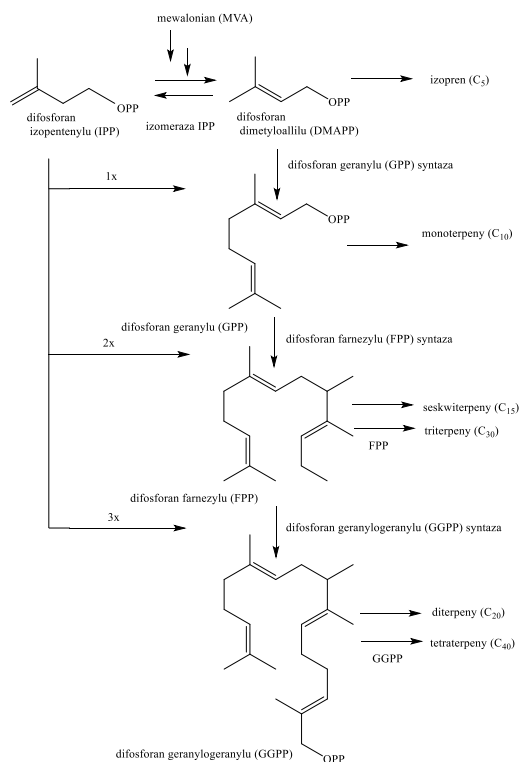
Biosynteza terpenów jest procesem złożonym. Kluczowym etapem biosyntezy terpenoidów jest enzymatyczna kondensacja difosforanu izopentenyłu (IPP) z difosforanem dimetyloallilu (DMAPP), która prowadzi do powstania mono- i wyższych terpenów, a ich prekursorami są odpowiednio: difosforan geranylu (GPP), difosforan farnezyłu (FPP) i difosforan geranylogeranylu (GGPP). Na Rys. 2 przedstawiono biosyntezę terpenów (Bick i Lange 2003).

3.2 Naturalne źródła terpenów

Olejek terpentynowy, produkt odpadowy z przemysłu celulozowo-papierniczego i olejek pomarańczowy, produkt uboczny z przemysłu produkującego soki pomarańczowe, stanowią źródła głównych monoterpenu (α -pinenu, β -pinenu i limonenu) (Swift 2004; Gallezot 2007). Główne składniki terpentyny, takie jak: α -pinen i β -pinen otrzymuje się poprzez destylację frakcyjną terpentyny, natomiast w procesie destylacji terpentyny indyjskiej i olejku pomarańczowego otrzymuje się głównie 3-karen i limonen. Poza wymienionymi związkami z olejków eterycznych pozyskuje się także terpenoidy, jak: mentol, linalol, cytral, citronellal oraz geraniol (Monteiro i Veloso 2004). α -Pinen, β -pinen i limonen, produkowane w największych ilościach (od 30 000 do 350 000 ton rocznie), stanowią łatwo dostępne surowce, wykorzystywane do syntez cennych produktów organicznych. W Tab. 1 przedstawiono olejki eteryczne będące głównym źródłem terpenów oraz główne składniki tych olejków (Swift 2004; Gallezot 2007; Monteiro i Veloso 2004).

Olejki eteryczne, które są głównymi źródłami terpenów, wykazują działanie hamujące wobec wielu gatunków bakterii (Trombetta i in. 2005). Ze względu na przeciwbakteryjne właściwości

terpenów są one stosowane jako składniki mydeł antybakteryjnych, kosmetyków oraz produktów gospodarstwa domowego.



Rys. 2. Transformacje zachodzące podczas biosyntezy terpenów.

Tab. 1. Główne źródła terpenów (Swift 2004; Gallezot 2007; Monteiro i Veloso 2004).

źródło terpenów	główne składniki olejku
olejek terpentynowy	α -pinen, β -pinen
olejek pomarańczowy	<i>R</i> -(+)-limonen
olejek cytronelowy	cytronelal
olejek geraniowy	geraniol
olejek z mięty pieprzowej (<i>Mentha piperita</i>)	mentol
olejek z trawy cytrynowej (<i>Cymbopogon citratus</i>)	cytral
olejek goździkowy	eugenol
olejek lawendowy	linalol

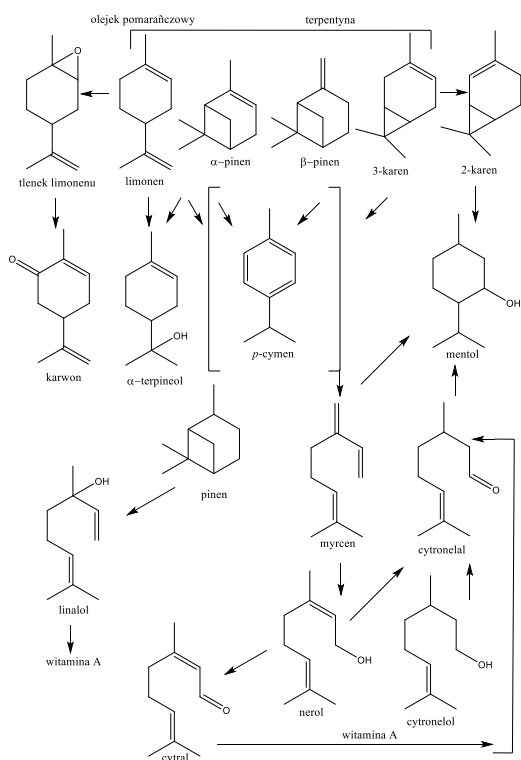
3.3 Transformacje terpenów

Rekcje chemiczne

Liczne doniesienia literaturowe opisują katalityczne przemiany terpenów do wartościowych produktów. Do przemian tych zalicza się zarówno reakcje chemiczne, biochemiczne, jak również biotransformacje.

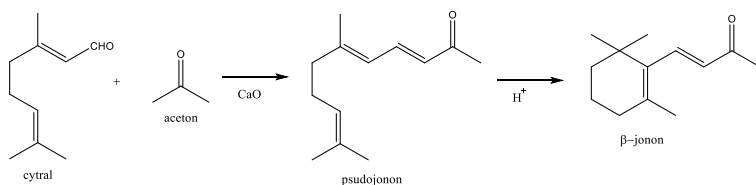
Heterogeniczne katalizatory są coraz częściej wykorzystywane w procesie transformacji terpenów. Główną zaletą katalizatorów heterogenicznych jest łatwość ich oddzielenia od mieszaniny

poreakcyjnej. Transformacje chemiczne terpenów obejmują takie procesy, jak: izomeryzacja, cyklizacja, kondensacja, uwodornienie, odwodornienie, utlenianie, aromatyzowanie, estryfikację, hydroformacja oraz alkirowanie (Swift 2004; Monteiro i Veloso 2004). Główne przemiany chemiczne wybranych terpenów przedstawiono na Rys. 3.



Rys. 3. Główne przemiany chemiczne wybranych terpenów (Swift 2004).

Jednymi z ważniejszych produktów, które powstają w wyniku przemian wyżej wymienionych terpenów są mentol i cytral. Mentol można otrzymać syntetycznie z myrcenu, cytralu oraz *R*-(+)-citronellolu. Cytral jest substratem do syntezy β-jononu, który jest cennym związkiem dla przemysłu spożywczego, perfumeryjnego i farmaceutycznego. β-Jonon jest stosowany jako prekursor do produkcji witaminy A, a związek ten otrzymuje się w reakcji cytralu z acetonem (Rys. 4) (Inoue i in. 1990; Takaya i in. 1987).

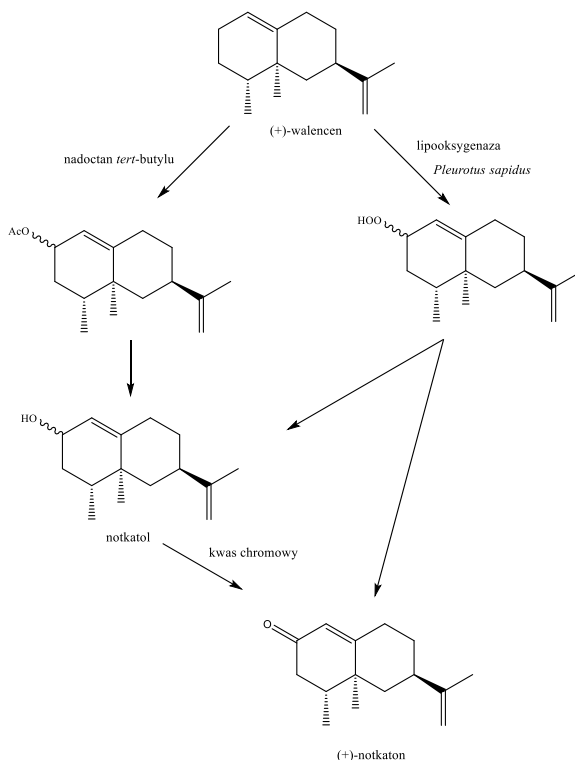


Rys. 4. Otrzymywanie β-jononu w reakcji cytralu z acetonem.

Rekcje biochemiczne

Metody biochemiczne przekształcania terpenów prowadzi się z zastosowaniem naturalnych i rekombinowanych enzymów. Alternatywnie, również komórki spoczynkowe wykorzystywane są do enzymatycznych transformacji terpenów (Schrader i in. 2004). Przeprowadzane reakcje biokatalityczne obejmują m.in. estryfikację, glikozylację, redukcję i utlenianie.

W wyniku biotechnologicznego przekształcania (+)-walencenu otrzymuje się (+)-notkaton, który jest stosowany jako naturalny aromat grejpfrutowy. Proces ten prowadzi się z zastosowaniem enzymu – lipooksygenazy. (+)-Notkaton otrzymuje się również w wyniku reakcji chemicznych, w których stosuje się nadoctan *tert*-butylu oraz kwas chromowy (Wilson i Shaw 1976). Przemiany (+)-walencenu do (+)-notkatonu przedstawiono na Rys. 5.



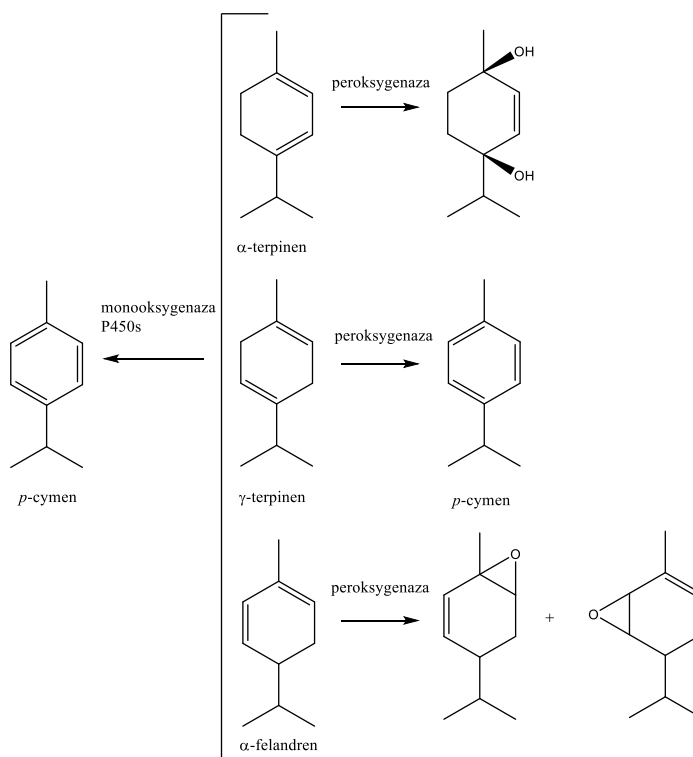
Rys. 5. Biotechnologiczne i chemiczne przekształcanie (+)-walencenu do (+)-notkatonu.

Przekształcenie olefin: α -terpinenu, γ -terpinenu oraz α -felandrenu z wykorzystaniem enzymu monooksygenazy P450s wyodrębnionego z lebiodki pospolitej (*Origanum vulgare*) i macierzanki tymianek (*Thymus vulgaris* L.) prowadzi do otrzymania p-cymenu. Z kolei biotransformacja tych samych monoterpenu lecz z zastosowaniem biokatalizatora – peroksygenazy, pozyskiwanego z pomidora zwyczajnego (*Solanum lycopersicum*), prowadzi do otrzymania różnych produktów (Rys. 6) (van Beilen i in. 2005; Poulouise i Croteau 1978).

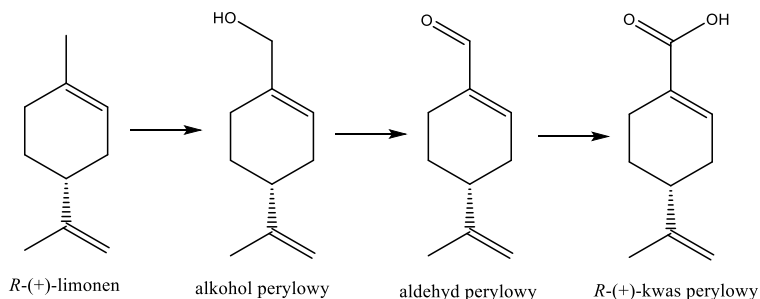
Biotransformacja

Biotransformacja terpenów przy użyciu mikroorganizmów, roślin i zwierząt pozwala na otrzymanie wielu cennych, naturalnych substancji zapachowych (Schrader i in. 2004). Reakcje biotransformacji obejmują: uwodornienie, izomeryzację, odwodornienie, koniugację, utlenianie oraz dekarboksylację. Mikrobiologiczna transformacja limonenu często prowadzi do powstania dużej liczby różnych metabolitów (Mars i in. 2001). Zastosowanie bakterii *Pseudomonas putidais*, odpornej na działanie rozpuszczalników, w procesie oksydacji *R*-(+)-limonenu prowadzi do otrzymania *R*-(+)-kwasu perylowego, który jest cenniejszy od samego limonenu (Rys. 7) (Mirata i in. 2009). Dla porównania, cena limonenu wynosi 3 €/kg, a cena kwasu perylowego waha się od 300 do 600 €/kg.

Poza szerokim spektrum właściwości przeciwdrobnoustrojowych, kwas perylowy posiada właściwości antyalergiczne. Dzięki tym właściwościom stanowi on obiecującą, naturalną alternatywę dla konwencjonalnych środków konserwujących, np. pochodnych formaldehydu przeznaczonych do stosowania w przemyśle kosmetycznym oraz farmaceutycznym.



Rys. 6. Biochemiczna transformacja α -terpinenu, γ -terpinenu oraz α -felandrenu.



Rys. 7. Otrzymywanie R -(+)-kwasu perylowego w procesie biotransformacji R -(+)-limonenu.

4. Podsumowanie i wnioski

Terpeny są związkami, które można pozyskać z surowców łatwo dostępnych i odnawialnych, co jest niewątpliwie główną ich zaletą. Jako przykłady takich surowców należy wymienić odpadową z przemysłu produkującego papier – terpentynę, z której można pozyskać głównie α -pinen oraz odpadowe z przemysłu produkującego soki owocowe – skórki pomarańczy, będące głównym źródłem limonenu.

Mimo, że rośliny są bogatym, naturalnym źródłem terpenów, przemiany chemiczne, biochemiczne i biotransformacja są opłacalnymi procesami produkcji tych cennych chemikaliów na dużą skalę. Terpeny i ich pochodne posiadają właściwości leczniczych, które mogą zostać wykorzystane w różnych gałęziach medycyny. Dlatego też warto skupić uwagę na dalszych badaniach nad tymi związkami, tzn. nad metodami pozyskiwania z nowych źródeł naturalnych lub metodami biochemicznymi wykorzystującymi enzymy.

5. Literatura

- Balandrin MF, Klocke JA, Wutele ES, et al. (1985) Natural plant chemical: Sources of industrial and medicinal materials. *Science*, 228: 1154–1160.
- Bick JA, Lange BM (2003) Metabolic cross talk between cytosolic and plastidial pathways of isoprenoid biosynthesis: Unidirectional transport of intermediates across the chloroplast envelope membrane. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 415: 146–154.
- Gallezot P (2007) Catalytic routes from renewable to fine chemicals. *Catalysis Today*, 121: 76–91.
- Inoue S, Takaya H, Tani K, et al. (1990) Mechanism of the asymmetric isomerization of allylamines to enamines catalyzed by 2,2'-bis(diphenylphosphino)-1,10-binaphthylrhodium complexes. *Journal of the American Chemical Society*, 112: 4897–4905.
- Maimone TJ, Baran PS (2007) Modern synthetic efforts toward biologically active terpenes. *Nature Chemical Biology*, 3: 396–407.
- Mars AE, Gorissen JPL, van den Beld I, et al. (2001) Bioconversion of limonene to increased concentrations of perillic acid by *Pseudomonas putida* GS1 in a fed-batch reactor. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 56: 101–107.
- Martin VJJ, Pitera DJ, Withers ST, et al. (2003) Engineering the mevalonate pathway in *Escherichia coli* for production of terpenoids. *Nature Biotechnology*, 21: 796–802.
- Mirata MA, Heerd D, Schrader J (2009) Integrated bioprocess for the oxidation of limonene to perillic acid with *Pseudomonas putida* DSM 12264. *Process Biochemistry*, 44: 764–771.
- Monteiro JLF, Veloso CO (2004) Catalytic conversion of terpenes into fine chemicals. *Top in Catalysis*, 27: 169–180
- Pichersky E, Gershenzon J (2002) The formation and function of plant volatiles: Perfumes for pollinator attraction and defense. *Current Opinion in Plant Biology*, 5: 237–243.
- Poulouse AJ, Croteau R (1978) Biosynthesis of aromatic monoterpenes: Conversion of g-terpinene to p-cymene and thymol in *Thymus vulgaris* L. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 187: 307–314.
- Schrader J, Etschmann MMW, Sell D, et al. (2004) Applied biocatalysis for the synthesis of natural flavour compounds—current industrial processes and future prospects. *Biotechnology letters*, 26: 463–472.
- Swift KAD (2004) Catalytic transformations of the major terpene feedstocks. *Top in Catalysis*, 27: 143–155.
- Takaya H, Ohta T, Sayo N, et al. (1987) Enantioselective hydrogenation of allylic and homoallylic alcohols. *Journal of the American Chemical Society*, 109: 1596–1597.
- Trombetta D, Castelli F, Sarpietro MG, et al. (2005) Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrob Agents Chemother*, 49: 2474–2478.
- van Beilen JB, Holtackers R, Lu ¨scher D, et al. (2005) Biocatalytic production of perillyl alcohol from limonene by using a novel *Mycobacterium* sp. cytochrome P450 alkane hydroxylase expressed in *Pseudomonas putida*. *Applied and Environmental Microbiology*, 71: 1737–1744.
- Wilson CW, Shaw PE (1976) Synthesis of nootkatone from valencene. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26: 1430–1432.
- Zwenger S, Basu C, Plant terpenoids: Applications and future potentials. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 3: 1–7.

18. Aktywność olejków eterycznych wobec bakterii Gram-ujemnych i Gram-dodatnich

Activity of essential oils against Gram-negative and Gram-positive bacteria

Jadwiga Tołpa, Agnieszka Wróblewska

Katedra Inżynierii Materiałów Katalitycznych i Sorpcyjnych, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Opiekun naukowy: prof. dr hab. inż. Agnieszka Wróblewska: agnieszka.wroblewska@zut.edu.pl

Jadwiga Tołpa: jadwiga.tolpa@zut.edu.pl

Słowa kluczowe: właściwości przeciwbakteryjne, monotereny, bakterie Gram-ujemne, bakterie Gram-dodatnie

Streszczenie

Rosnąca oporność mikroorganizmów na konwencjonalne chemikalia i leki jest poważnym problemem na całym świecie. W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie identyfikacją nowych biocydów o szerokim zakresie działania. Rośliny oraz ich składniki, takie jak: olejki eteryczne są często wykorzystywane w medycynie ludowej. W przyrodzie olejki eteryczne odgrywają kluczową rolę w ochronie roślin. Olejki eteryczne, metabolity wtórne syntetyzowane przez rośliny hamują wzrost bakterii, drożdży i pleśni. Ponadto olejki eteryczne i ich składniki wykazują szereg działań przeciwdrobnoustrojowych, które prowadzą do zmian w morfologii komórek mikroorganizmów. Artykuł jest pracą przeglądową, w której opisano aktywność olejków eterycznych i ich głównych składników wobec bakterii chorobotwórczych, takich jak: bakterie Gram-ujemne i Gram-dodatnie.

1. Wstęp

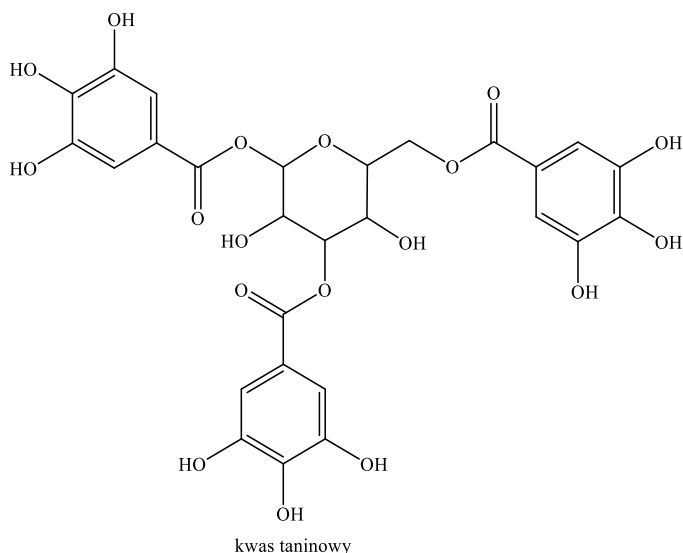
Rosnąca oporność mikroorganizmów na konwencjonalne chemikalia i leki skłoniła naukowców do poszukiwania nowych źródeł biocydów o szerokim zakresie działania (Abad i in. 2007). Od czasów starożytnych rośliny i pozyskiwane z nich olejki eteryczne były wykorzystywane w medycynie ludowej. W przyrodzie olejki eteryczne odgrywają kluczową rolę w ochronie roślin. Mogą one odstraszać niepożądane owady. W ten sposób olejki eteryczne pośredniczą w interakcji roślin ze środowiskiem (Bakkali i in. 2008). Olejki eteryczne są naturalnymi związkami o intensywnym zapachu. Pozyskiwane są one z roślin aromatycznych, jako metabolity wtórne. Olejki te są mieszaniną terpenów, głównie monoterenów i seskwiterpenów. W olejkach eterycznych rzadziej występują diterpeny. Są w nich również obecne inne związki, takie jak: kwasy, alkohole, aldehydy, węglowodory alifatyczne, estry acykliczne lub laktony. Olejki eteryczne to ciekłe, lotne związki o gęstości mniejszej od gęstości wody. Rozpuszczają się one w lipidach i w rozpuszczalnikach organicznych. Można je pozyskać z różnych części roślin, takich jak: pąki, kwiaty, liście, nasiona, gałązki, łodygi, owoce, korzenie, a także drewno lub kora (Bakkali i in. 2008).

W roślinach olejki eteryczne znajdują się w komórkach wydzielniczych, jamach, kanałach, trychomach gruczołowych lub w komorach naskórka. Pozyskuje się je z roślin aromatycznych w procesach: destylacji prostej, destylacji z parą wodną oraz poprzez ekstrakcję (dotyczy olejków cytrusowych). Rośliny będące źródłem olejków eterycznych zazwyczaj rosną w krajach o umiarkowanym lub ciepłym klimacie. Rośliny i obecne w nich olejki eteryczne mają szereg właściwości leczniczych, do których zaliczają się między innymi właściwości przeciwtleniające oraz antyseptyczne. Ponadto, ze względu na właściwości przeciwbólowe, uspokajające, przeciwzapalne, spazmolityczne i znieczulające, olejki eteryczne mogą być wykorzystywane w medycynie. W przemyśle spożywczym są one również stosowane jako naturalne konserwanty żywności (Bakkali i in. 2008). Rośliny syntetyzują szereg metabolitów wtórnych, do których zalicza się między innymi olejki eteryczne. Metabolity wtórne mogą efektywnie hamować wzrost bakterii, drożdży i pleśni (Chorianopoulos i in. 2008; Burt i Reinders 2004; De Martino i in. 2009).

2. Opis zagadnienia

2.1 Aktywność olejków eterycznych wobec bakterii Gram-ujemnych i Gram-dodatnich

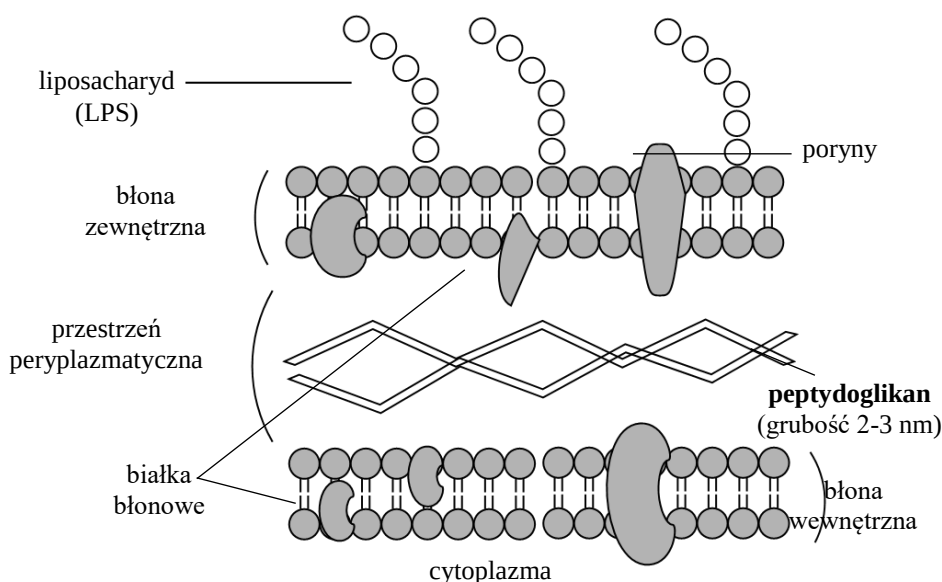
Wykazano, że bakterie Gram-ujemne są bardziej odporne na olejki eteryczne w porównaniu do bakterii Gram-dodatnich (Trombetta i in. 2005), a to zależy, między innymi od budowy ścian komórkowych tych bakterii. Około 90-95% ściany komórkowej bakterii Gram-dodatnich zbudowane jest z peptydoglikanu (Rys. 3), z którym związane są inne cząsteczki, takie jak: kwas taninowy (Rys. 1) i białka.



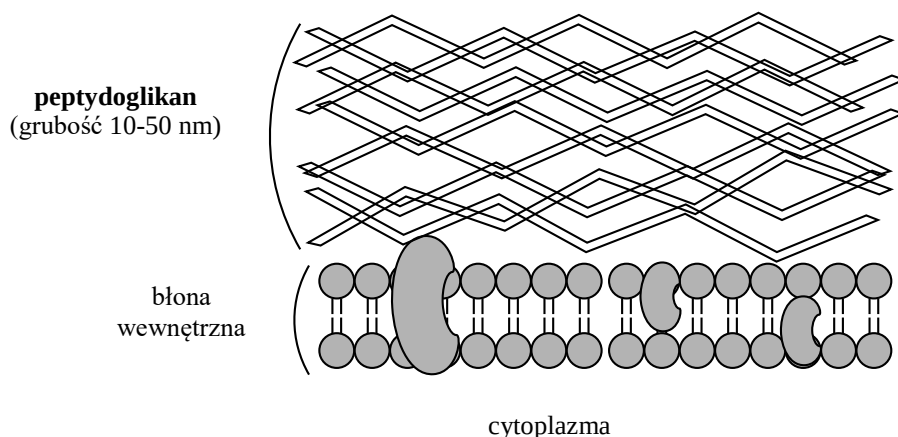
Rys. 1. Wzór strukturalny kwasu taninowego.

Struktura ściany komórkowej bakterii Gram-dodatnich pozwala cząsteczkom hydrofobowym łatwo przeniknąć do komórek i działać zarówno na ścianę komórkową, jak i w obrębie cytoplazmy. Związki fenolowe, które są również obecne w olejkach eterycznych wykazują aktywność przeciwbakteryjną wobec bakterii Gram-dodatnich. Ich działanie antybakteryjne zależy od ich ilości. W niskich stężeniach mogą one zakłócać działanie enzymów, które uczestniczą w produkcji energii, a w wyższych mogą denaturować (ściąć) białka (Tiwari i in. 2009). Ściana komórkowa bakterii Gram-ujemnych, podobnie jak bakterii Gram-dodatnich, zbudowana jest z peptydoglikanu. Warstwa tego składnika ściany komórkowej bakterii Gram-ujemnych ma grubość 2-3 nm i jest cieńsza w porównaniu do ściany komórkowej bakterii Gram-dodatnich (Rys. 2, Rys. 3). Stanowi ona około 20% suchej masy komórki.

Zewnętrzna membrana (błona zewnętrzna) bakterii Gram-ujemnych znajduje się poza cienką warstwą peptydoglikanu. Błona zewnętrzna i peptydoglikan związane są mocno przez lipoproteinę Brauna, która warunkuje stabilność ściany komórkowej i zewnętrznej membrany. Obecność zewnętrznej membrany w bakteriach Gram-ujemnych jest jedną z cech, która odróżnia je od bakterii Gram-dodatnich. Składa się ona z podwójnej warstwy fosfolipidów, która jest połączona z błoną wewnętrzną za pomocą lipopolisacharydów. Błona zewnętrzną dzięki obecności cząsteczek lipopolisacharydów zapewnia bakteriom hydrofilową powierzchnię. Związki o małych cząsteczkach i o charakterze hydrofilowym mogą swobodnie przechodzić przez zewnętrzną membranę za pośrednictwem licznych białek, które służą jako hydrofilowe kanały transmembranowe (Nikaido 1994; Vaara 1992). Zewnętrzna membrana jest jednak prawie, ale nie całkowicie, nieprzepuszczalna dla cząsteczek hydrofobowych (Plesiat i Nikaido 1992). Właśnie dlatego bakterie Gram-ujemne są stosunkowo odporne na antybiotyki hydrofobowe, leki oraz olejki eteryczne o działaniu przeciwbakteryjnym.



Rys. 2. Budowa ściany komórkowej bakterii Gram-ujemnych.

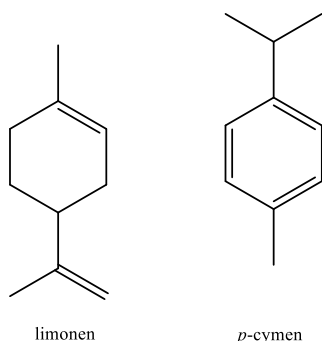


Rys. 3. Budowa ściany komórkowej bakterii Gram-dodatnich.

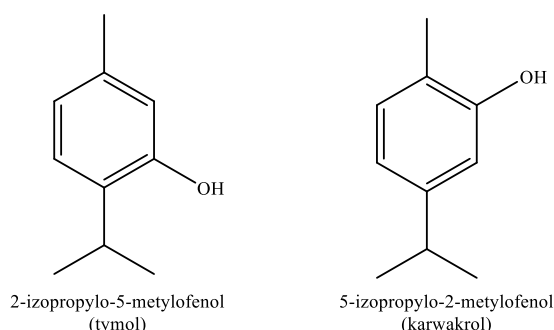
Mechanizm przeciwbakteryjnego działania olejków eterycznych może zależeć od ich składu chemicznego. Jako przykład można podać olejek pomarańczowy, którego główny składnik stanowi limonen oraz olejek tymiarkowy, który jest źródłem p-cymenu. Olejek pomarańczowy i jego główny składnik limonen wykazuje większą aktywność przeciwbakteryjną w porównaniu do olejku tymiarkowego i jego składnika p-cymenu, a aktywność przeciwbakteryjna tych składników zależy między innymi od obecności wiązań nienasyconych w cząsteczkach tych związków i ich wzajemnego położenia (między innymi w grupach alkilowych) (Nazzaro i in. 2013). Struktury chemiczne limonenu i p-cymenu przedstawiono Rys. 4.

Wykazano, że tymol, główny składnik olejku tymiarkowego oraz karwakrol, główny składnik olejku z oregano wykazują podobną aktywność przeciwbakteryjną wobec bakterii Gram-dodatnich, takich jak: laseczka woskowa (*Bacillus cereus*), gronkowiec złocisty (*Staphylococcus aureus*) oraz Gram-ujemnych, takich jak: pałeczka ropy błękitnej (*Pseudomonas aeruginosa*) pomimo, że grupy hydroksylowe tych związków znajdują się w innej pozycji (Nazzaro i in. 2013). Struktury

2-izopropyl-5-metylofenolu (tymolu) i 5-izopropyl-2-metylofenolu (karwakrolu) przedstawiono na Rys. 5.



Rys. 4. Wzór strukturalny limonenu i p-cymenu.

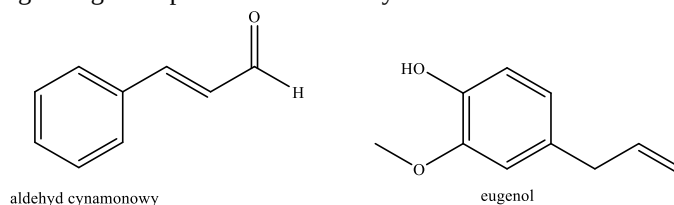


Rys. 5. Wzory strukturalne 2-izopropyl-5-metylofenolu (tymolu) i 5-izopropyl-2-metylofenolu (karwakrolu).

Jednak niektóre doniesienia literaturowe podają, że karwakrol wykazuje większą aktywność przeciwbakteryjną w porównaniu do p-cymenu (Nazzaro i in. 2013).

Olejki eteryczne i/lub ich składniki wykazują różne działania przeciwbakteryjne. Mogą one, lecz nie muszą, działając na bakterię, powodować zmiany w morfologii jej komórki. Na przykład, podobnie jak tymol i karwakrol, aldehyd cynamonowy może trafiać do głębiej położonych części komórki bakterii, gdzie hamuje wzrost bakterii Gram-ujemnych, takich jak: *Escherichia coli* (pałeczki okrężnicy) i *Salmonella typhimurium* (Salmonella czerwona) bez rozpadu zewnętrznej membrany lub wyczerpania wewnątrzkomórkowego ATP. Karwon działając antybakteryjnie również jest nieskuteczny wobec zewnętrznej membrany i nie wpływa na zmiany ATP w komórkach (Nazzaro i in. 2013).

Różne ilości związków mogą wpływać na aktywność przeciwdrobnoustrojową olejków eterycznych. Na przykład, wysokie stężenia aldehydu cynamonowego lub eugenolu, nadają olejkom eterycznym właściwości przeciwdrobnoustrojowe (Lis-Balchin i in. 1998). Struktury chemiczne aldehydu cynamonowego i eugenolu przedstawiono na Rys. 6.



Rys. 6. Wzory strukturalne aldehydu cynamonowego i eugenolu.

Niektóre związki obecne w bazylii, szalwii, hyzopie, rozmarynie, oregano i majeranku, są aktywne wobec bakterii Gram-ujemnych, takich jak: pałeczka okrężnicy (*Escherichia coli*), salmonella (*Salmonella typhimurium*) oraz Gram-dodatnich, takich jak: gronkowiec złocisty (*Staphylococcus aureus*), laseczka woskowa (*Bacillus cereus*), ale są mniej skuteczne wobec bakterii Gram-ujemnych, takich jak pałeczki ropy błękitnej (*Pseudomonas aeruginosa*), ze względu na powstawanie egzopolisacharydów, zwiększających ich oporność na olejki eteryczne (De Martino i in. 2009). Wykazano, że monoterpeny i fenole, obecne w olejkach eterycznych tymianku, szalwii i rozmarynu, mają działanie przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze i przeciwwirusowe (Pina-Vaz i in. 2004).

Trudno jest określić wrażliwość tego samego gatunku, czy szczepu bakterii na olejki eteryczne. De Martino i współpracownicy (De Martino i in. 2009) zaobserwowali, że dwa szczepy bakterii Gram-dodatnich, na przykład laseczka woskowa (*Bacillus cereus*), zachowywały się inaczej, gdy były narażone na te same olejki eteryczne i ich składniki. Zidentyfikowanie sposobu działania olejków eterycznych wymaga wielu badań surowca, rozpoczynając od momentu zidentyfikowania jego pojedynczych składników, a sposób działania powinien być badany dla wielu szczepów i gatunków mikroorganizmów.

3. Przegląd literatury

3.1 Terpeny

Terpeny są węglowodorami powstającymi w wyniku połączenia kilku jednostek izoprenowych (C_5H_8). Są one produktami szlaku kwasu miewalonowego, który zachodzi w mikrosomach i cytoplazmie komórki roślinnej (Nazzaro i in. 2013). Najczęściej spotykane w przyrodzie terpeny to monoterpeny ($C_{10}H_{16}$) i seskwiterpeny ($C_{15}H_{24}$). W komórce roślinnej obecne są również diterpeny ($C_{20}H_{32}$), triterpeny ($C_{30}H_{40}$). Wśród terpenów najbardziej znane są: limonen, pineny, terpinen, *p*-cymen oraz sabinen. *p*-Cymen, jeden z najważniejszych składników olejku eterycznego tymianku, nie wykazuje aktywności przeciwdrobnoustrojowej wobec wielu patogenów Gram-ujemnych. Wykazano, że inne terpeny, takie jak: limonen, α -pinen, β -pinen, γ -terpinen, 3-karen, (+)-sabinen i α -terpinen wykazują bardzo niską aktywność przeciwdrobnoustrojową wobec 25 rodzajów bakterii lub są wobec nich nieaktywne. Na podstawie badań *in vitro* stwierdzono, że terpeny wykazują nieskuteczną aktywność przeciwdrobnoustrojową, gdy są stosowane jako związki pojedyncze (Nazzaro i in. 2013).

3.2 Terpenoidy

Terpenoidy to tlenowe pochodne terpenów, które zawierają dodatkowe grupy funkcyjne. Tymol, karwakrol, linalol, mentol, geraniol, cytronelal i **piperyton** są najbardziej powszechnymi i znanymi terpenoidami. Aktywność przeciwdrobnoustrojowa większości terpenoidów jest związana z ich grupami funkcyjnymi, na przykład z grupą hydroksylową, karboksylową, czy karbonylową (Nazzaro i in. 2013).

Tymol i karwakrol mają unikatowe działanie dezintegracyjne wobec błony zewnętrznej bakterii. Związki te powodują zwiększenie przepuszczalności błony zewnętrznej bakterii.

Niektóre doniesienia literaturowe opisują, że *p*-cymen stosowany jako pojedynczy związek posiada właściwości przeciwdrobnoustrojowe. Ponadto związek ten może zwiększać aktywność przeciwdrobnoustrojową innych związków, takich jak jego pochodna karwakrol. *p*-Cymen wykazuje duże powinowactwo do błon bakteryjnych i może powodować ich rozszerzanie się, wpływając na potencjał błonowy nieuszkodzonych komórek (Nazzaro i in. 2013). Burt i współpracownicy (Burt i in. 2007) wykazali, że związek ten nie wpływa na syntezę białek w bakteriach Gram-ujemnych, takich jak pałeczka okrężnicy (*Escherichia coli*), lecz wpływa na potencjał błonowy. *p*-Cymen może obniżać entalpię i temperaturę topnienia błony (Nazzaro i in. 2013).

Tymol jest związkiem z grupy terpenoidów i fenoli. Podobna do **karwakrolu** aktywność przeciwdrobnoustrojowa tymolu powoduje zmiany strukturalne i funkcjonalne w błonie cytoplazmatycznej, a zmiany te mogą powodować uszkodzenie błony zewnętrznej i wewnętrznej bakterii. Związek ten może również wchodzić w interakcje z białkami błony. Oddziaływanie tymolu z błoną bakterii wpływa na jej przepuszczalność i powoduje uwalnianie jonów K^+ i ATP.

W niektórych przypadkach tymol może indukować uwalnianie lipopolisacharydów, ale nie wpływa na kationy chelatujące (Nazzaro i in. 2013).

Tymol integruje się w obrębie polarnych grup głowic dwuwarstwowej warstwy lipidowej, powodując zmiany w błonie komórkowej. Przy niskich stężeniach tymolu, błona może dostosować swój profil lipidowy do utrzymania funkcji i struktury błony. Tymol wchodzi również w interakcje z białkami, co wykazano na przykładzie układu modelowego z albuminą surowicy bydłowej. Interakcje tymolu z białkami zachodzą w różnych miejscach w obrębie komórki i mogą wpływać na różne funkcje komórkowe (Nazzaro i in. 2013).

Karwakrol to izomer tymolu, który jest głównym składnikiem olejku eterycznego oregano. Podobnie jak tymol, karwakrol działa na komórki drobnoustrojów i powoduje strukturalne i funkcjonalne uszkodzenia ich błon co prowadzi do zwiększenia ich przepuszczalności. Związek ten jest jednym z niewielu składników olejku, który powoduje rozpad membrany bakterii Gram-ujemnych. Powoduje on uwolnienie lipopolisacharydów (Nazzaro i in. 2013), a także działa na błonę cytoplazmatyczną, zmieniając transport jonów. Aktywność przeciwbakteryjna karwakrolu wydaje się być związana z obecnością grupy hydroksylowej, która może działać jako trans-membranowy nośnik kationów przenosząc H^+ do cytoplazmy komórkowej i transportując K^+ z powrotem (Ultee i in. 2002). Hipoteza ta jest sprzeczna z innymi doniesieniami literaturowymi, w których opisano, że aktywność przeciwdrobnoustrojowa karwakrolu nie jest związana z grupami hydroksylowymi, lecz z obecnością innych grup, nie hydroksylowych. Wydaje się jednak, że działanie przeciwbakteryjne karwakrolu polega na zwiększeniu płynności i przepuszczalności błon bakterii. Gdy komórki mikrobiologiczne są narażone na działanie karwakrolu, mogą one zmieniać swój błonowy skład kwasów tłuszczowych. Jest to dobrze znany mechanizm, który pozwala komórkom na utrzymanie optymalnej struktury i funkcjonowanie błony. Zmiana składu kwasów tłuszczowych w odpowiedzi na działanie karwakrolu może wpływać nie tylko na płynność błon, ale także na ich przepuszczalność (Nazzaro i in. 2013).

Potwierdzono wpływ karwakrolu na przepuszczalność membran, monitorując wypływ H^+ , K^+ , karboksylfluoresceiny i ATP oraz napływ plam z kwasów nukleinowych (Helander i in. 1998). Istnieją również ograniczone dowody na to, że związek ten wpływa na enzymy peryferyjne i białka błonowe (Nazzaro i in. 2013). Burt i współpracownicy (Burt i in. 2007) wykazali, że komórki *Escherichia coli* hodowane w obecności karwakrolu o niskim stężeniu produkowały istotnie więcej białka *GroEL*, co wskazuje na wpływ tego związku na fałdowanie białek. Karwakrol hamował również syntezę innego białka drobnoustrojowego, flageliny. Ponadto bakterie pozbawione wici (*flagelli*), poddane działaniu karwakrolu, wykazywały zmniejszoną ruchliwość, która zależała od ilości karwakrolu, co wskazywało, że związek ten zmniejszał również siłę motoryczną protonów, niezbędną do prowadzenia ruchu bakterii (Gabel i Berg 2003).

4. Podsumowanie i wnioski

Rozprzestrzenianie się wielolekoopornych szczepów mikroorganizmów, w tym bakterii i zmniejszona liczba dostępnych leków o działaniu antybakteryjnym, spowodowały konieczność odkrycia nowych klas związków hamujących mechanizm działania tych mikroorganizmów, na przykład bakterii. Olejki eteryczne i wyizolowane z nich związki wykazują działanie przeciwbakteryjne wobec różnych szczepów bakterii Gram-ujemnych i Gram-dodatnich. Aktywność przeciwdrobnoustrojowa olejków eterycznych, podobnie jak wszystkich naturalnych związków, zależy od ich składu chemicznego i ilości poszczególnych składników. Warzywa, a także przyprawy i owoce są doskonałym źródłem naturalnych olejków eterycznych, a więc również źródłem związków o aktywności przeciw różnym mikroorganizmom. Związki te mogą być obecne w postaci aktywnej w roślinie lub mogą być aktywowane przez określone enzymy, gdy organizm roślinny jest poddawany szczególnemu stresowi biotycznemu lub abiotycznemu (Holley i Patel 2005).

Właściwości przeciwbakteryjne olejków eterycznych mogą zostać w przyszłości wykorzystane w różnych gałęziach medycyny. Dlatego też warto skupić uwagę na dalszych badaniach nad nimi.

5. Literatura

- Abad MJ, Ansuategui M, Bermejo P (2007) Active antifungal substances from natural sources. *Arkivoc*, 7: 6-145.
- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, et al. (2008) Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46: 446-475.
- Burt SA, Reinders RD (2003) Antibacterial activity of selected plant essential oils against *Escherichia coli* O157: H7. *Letters in applied microbiology*, 36: 162-167.
- Burt SA, van der Zee R, Koets AP (2007) Carvacrol induces heat shock protein 60 and inhibits synthesis of flagellin in *Escherichia coli* O157: H7. *Applied and Environmental Microbiology*, 73: 4484-4490.
- Chorianopoulos NG, Giaouris ED, Skandamis PN, et al. (2008) Disinfectant test against monoculture and mixed-culture biofilms composed of technological, spoilage and pathogenic bacteria: bactericidal effect of essential oil and hydrosol of *Satureja thymbra* and comparison with standard acid–base sanitizers. *Journal of applied microbiology*, 104: 1586-1596.
- De Martino L, De Feo V, Nazzaro F (2009) Chemical composition and in vitro antimicrobial and mutagenic activities of seven Lamiaceae essential oils. *Molecules*, 14: 4213-4230.
- Gabel CV, Berg HC (2003) The speed of the flagellar rotary motor of *Escherichia coli* varies linearly with protonmotive force. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100: 8748-8751.
- Helander IM, Alakomi HL, Latva-Kala K, et al. (1998). Characterization of the action of selected essential oil components on Gram-negative bacteria. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46: 3590-3595.
- Holley RA, Patel D (2005). Improvement in shelf-life and safety of perishable foods by plant essential oils and smoke antimicrobials. *Food microbiology*, 22: 273-292.
- Lis-Balchin M, Deans SG, Eaglesham E (1998) Relationship between bioactivity and chemical composition of commercial essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 13: 98-104.
- Nazzaro F, Fratianni F, De Martino L, et al. (2013) Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6: 1451-1474.
- Nikaido H (1994) Prevention of drug access to bacterial targets: permeability barriers and active efflux. *Science*, 264: 382-388.
- Pina-Vaz C, Gonçalves Rodrigues A, Pinto E, et al. (2004) Antifungal activity of *Thymus* oils and their major compounds. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 18: 73-78.
- Plesiat P, Nikaido H (1992) Outer membranes of Gram-negative bacteria are permeable to steroid probes. *Molecular microbiology*, 6: 1323-1333.
- Tiwari BK, Valdramidis VP, O'Donnell CP, et al. (2009) Application of natural antimicrobials for food preservation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57: 5987-6000.
- Trombetta D, Castelli F, Sarpietro MG, et al. (2005) Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 49: 2474-2478.
- Ultee A, Bennis MHJ, Moezelaar RJAEM (2002). The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68: 1561-1568.
- Vaara M (1992) Agents that increase the permeability of the outer membrane. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 56: 395-411.