

Jolanta FIEDUCIK, dr

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Nauk Technicznych,
ul. Oczapowskiego 11, 10-900 Olsztyn
email: jfieduci@uwm.edu.pl

Adam GAWROŃSKI, mgr inż.

Zespół Szkół Mechaniczno-Energetycznych w Olsztynie
al. Piłsudskiego 61, 10-499 Olsztyn
email: adamgaw@wp.pl

SUSZENIE I SPALANIE OSADÓW ŚCIEKOWYCH JAKO METODA ICH UTYLIZACJI NA PRZYKŁADZIE SPALARNI W OLSZTYNIE

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono nowopowstałą inwestycję w Olsztynie, w której realizowane jest skojarzone suszenie i spalanie osadów w Oczyszczalni Ścieków Łyna. Przedstawiono również powszechnie stosowane metody utylizacji osadów ściekowych. Wykazano zalety termicznej metody utylizacji osadów ściekowych. Przeanalizowano aspekty ekologiczne i ekonomiczne tej inwestycji.

1. WPROWADZENIE

Oczyszczanie ścieków powstałych w skutek działalności człowieka w dzisiejszych czasach jest koniecznością. Nowoczesne, trzystopniowe oczyszczalnie ścieków umożliwiają usuwanie zanieczyszczeń ze skutecznością sięgającą powyżej 90%. Tak oczyszczoną wodę można wprowadzać bezpośrednio do naturalnych odbiorników, najczęściej rzek.

Nieodzownym elementem procesu oczyszczania ścieków jest wytwarzanie osadów ściekowych. Wraz ze wzrostem skuteczności oczyszczania ścieków, wzrasta ilość wytwarzanego osadu, który ze względu na zagrożenie epidemiologiczne i ekologiczne, należy bezwzględnie poddawać procesowi unieszkodliwiania. Metodę utylizacji dobiera się biorąc pod uwagę szereg czynników, między innymi wielkość oczyszczalni ścieków, ilość wytwa-

rzanych w niej osadów oraz ich skład chemiczny i sanitarny a także koszt budowy instalacji do utylizacji osadów oraz koszty eksploatacyjne.

2. METODY UNIESZKODLIWIANIA I PRZETWARZANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Osady są w oczyszczalniach kłopotliwym odpadem, który musi zostać poddany unieszkodliwianiu. Zgodnie z Ustawą o Odpadach z dnia 27.04.2001 r.: „unieszkodliwianie odpadów polega na poddaniu ich procesom przekształcania biologicznego, fizycznego lub chemicznego w celu doprowadzenia ich do stanu, który nie stwarza zagrożeń dla życia lub zdrowia ludności oraz środowiska”. Proces unieszkodliwiania osadów ściekowych, w zależności od przyjętej w danej oczyszczalni ścieków technologii może przebiegać w jednym lub kilku etapach. Zasadniczo im więcej poszczególnych procesów, tym wyższy jest stopień unieszkodliwienia.

2.1. Stabilizacja osadów

Stabilizacja osadów jest pierwszym, wstępnym etapem procesu unieszkodliwiania osadów. Ma na celu taką zmianę składu chemicznego osadów, żeby zlikwidować ich zdolność do zagniwania. Związki organiczne zawarte w osadzie zostają zmineralizowane.

Osad przed stabilizacją nazywa się surowy, zaś poddany procesowi stabilizacji, ustabilizowany.

Metody stabilizacji osadów podzielono na:

- A) Biologiczne
 - fermentacja,
 - stabilizacja tlenowa,
 - kompostowanie,
- B) Chemiczne
 - wapnowanie,
- C) Termiczne
 - mokre spalanie lub piroliza,
 - spalanie,
 - termokondycjonowanie [2].

2.2. Odwadnianie osadów

Odwadnianie osadów polega na zmniejszeniu ilości wody zawartej w osadzie. Ma na celu zmniejszenie ich masy oraz ułatwienie dalszej przeróbki i transportu. Proces odwadniania osadów można przeprowadzać metodami naturalnymi, lub mechanicznymi [1].

2.3. Kompostowanie osadów

Kompostowanie przeprowadza się w bardziej korzystnych warunkach tlenowych, lub mniej korzystnych, obciążonych licznymi wadami warunkach beztlenowych. Dopuszcza się kompostowanie osadu surowego, jednak bardziej korzystne jest kompostowanie osadu ustabilizowanego.

2.4. Chemiczna stabilizacja osadów

Chemiczna stabilizacja osadów polega na mieszaniu ich z odpowiednimi reagentami chemicznymi, które powodują zmianę właściwości cząstek osadów. Osad należy wstępnie odwodnić przed wymieszaniem go z reagentami. Metodę chemiczną można stosować zarówno do stabilizacji osadów surowych, jak i poddanych wcześniej fermentacji lub tlenowej stabilizacji.

2.5. Termokondycjonowanie

Termokondycjonowanie, jest procesem przebiegającym w wyniku podgrzania osadu w czasie 0,5-1h do temperatury 120-150°C, przy ciśnieniu 0,5-2,0 MPa. Ogrzanie osadu wywołuje denaturację białek oraz zmianę struktury osadu. Metodę tę stosuje się przede wszystkim dla osadów surowych

2.6. Mokre spalanie

Mokre spalanie jest technologią zbliżoną do termokondycjonowania. Zasadnicza różnica polega na wprowadzaniu do reaktora dodatkowego tlenu, w celu częściowego utlenienia związków organicznych. Proces mokrego spalania przeprowadza się w czasie 0,5-1h, przy temperaturze 175-315°C i ciśnieniu do 20 MPa.

2.7. Piroliza

Piroliza, proces niepełnego spalania związków organicznych znajdujących się w osadzie. Jest to proces endotermiczny, wymagający doprowadzenia ciepła z zewnętrznego źródła.

2.8. Suszenie

Uzyskanie osadu o wilgotności mniejszej niż 40% wymaga suszenia termicznego. W procesie suszenia, ubytek wody związanej kapilarnie oraz wolnej wody, uzyskuje się poprzez parowanie. Przed poddaniem osadu procesowi suszenia należy go odwodnić. Najczęściej stosuje się prasy ramowe i komorowe, dzięki którym można uzyskać uwodnienie na poziomie poniżej 55%. Do suszenia osadów stosuje się przede wszystkim suszarki rozpyłowe i obrotowe. W suszarkach rozpyłowych, czynnikiem suszącym są spaliny pochodzące z pieca do spalania osadów lub strumień gorącego powietrza, podgrzany z użyciem zewnętrznego źródła ciepła.

Suszenie osadów zazwyczaj jest zabiegiem przygotowującym osad do spalania. Wyszuszony termicznie osad może też zostać zagospodarowany w inny sposób, na przykład na cele rolnicze. Zaletą suszenia termicznego jest uzyskiwanie osadu o wysokiej zawartości suchej masy, nawet powyżej 90% oraz stosunkowo krótki czas suszenia. Działanie wysokiej temperatury dodatkowo higienizuje osad. Gazy odlotowe, w tym woda odparowana z osadu mogą być poddawane filtracji, co pozwala na zmniejszenie wpływu procesu oczyszczania ścieków na środowisko. Zasadniczą wadą tej metody unieszkodliwiania osadów jest jej energochłonność oraz wysokie koszty budowy linii technologicznej.

2.9. Spalanie

Spalanie jest procesem pełnego utleniania związków organicznych zawartych w osadzie, w temperaturze 800-1000°C [4]. Spalanie może być przeprowadzane samoistnie lub z wykorzystaniem dodatkowego paliwa zewnętrznego (np. gaz ziemny). Spalanie jest

procesem szybko przebiegającym, dzięki któremu uzyskuje się całkowite unieszkodliwienie osadów. Popiół powstały ze spalania osadu stanowi ok. 20% suchej masy osadu. Spalanie jest możliwe również wtedy, gdy osady zawierają metale ciężkie. Powstały wówczas popiół traktuje się jako odpad niebezpieczny i deponuje na składowisku odpadów niebezpiecznych. Popiół wolny od metali ciężkich może być stosowany np. jako podsypka do budowy dróg lub na inne cele gospodarcze. Spalanie osadów przeprowadza się w piecach półkowych, fluidalnych oraz rusztowych. Możliwe jest także współspalanie osadów wraz z odpadami komunalnymi.

Osady przed spalaniem należy odwodnić i wysuszyć. Ma to na celu ułatwienie procesu spalania oraz zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do całkowitego spalania osadu. Często stosowanym rozwiązaniem jest kojarzenie suszarni i spalarni osadów w jedną linię technologiczną. Energię cieplną powstałą w procesie spalania wykorzystuje się w przebiegu procesu suszenia osadu. Tak pracujące suszarnia i spalarnia mogą przejawiać deficyt energetyczny i wymagać dodatkowego paliwa.

Spalaniu można poddać zarówno osad surowy jak i ustabilizowany. Ze względu na ciepło spalania bardziej uzasadnione jest spalanie osadu surowego.

Tabela 2.1. Wartość opałowa osadu [2]

Table 2.1. Sludge net calorific value [2]

Rodzaj osadu	Wartość opałowa [kJ/kg suchej masy]
Surowy	23000 - 29000
Ustabilizowany	9000 - 14000

3. SUSZARNIA I SPALARNIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH PRZY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW „ŁYNA” W OLSZTYNIE

Utylizacja osadów ściekowych w oczyszczalni ścieków „Łyna” w Olsztynie odbywa się pięciu, sekwencyjnie następujących po sobie procesach. Pierwszy, fermentacja beztlenowa w zamkniętych komorach fermentacyjnych, przy udziale bakterii saprofitycznych i metanowych. W procesie tym wydziela się biogaz, który jest ujmowany i służy jako paliwo do zasilania lokalnej kotłowni gazowej oraz dwóch kogeneratorów elektrycznych. Drugim etapem jest fermentacja w warunkach tlenowych, przeprowadzana w otwartych basenach fermentacyjnych. Zmineralizowany w procesie dwustopniowej fermentacji osad kierowany jest do stacji mechanicznego odwadniania osadów. Stacja składa się z dwóch pras taśmowych i towarzyszących im urządzeń. Odwodniony mechanicznie osad transportowany jest do suszarni, a następnie spalarni osadów.

3.1. Charakterystyka parametrów instalacji do suszenia i spalania osadu

Instalacja przeznaczona jest do pracy ciągłej przez 365 dni w roku. Funkcje paliwa głównego i pomocniczego pełni gaz ziemny. Czynnikiem grzewczym w sekcji suszenia jest olej termiczny. Podstawowe parametry pracy suszarni przedstawiono w tabeli 3.1 [3]

W wyniku spalania wysuszonego osadu powstają odpady stałe, zgodnie z katalogiem odpadów z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. z 2001r. nr 112 poz. 1206) zakwalifikowane do grup:

19 01 12 – popioły lotne zawierające substancje niebezpieczne

19 01 07 – odpady stałe z oczyszczania gazów – odpady niebezpieczne.

Tabela 3.1. Parametry pracy suszarni według projektu [3]

Table 3.1. Drying plant parameters according to the project [3].

Parametr	Wartość
Średnia wydajność	1400 kg/h
Maksymalna wydajność	2000 kg/h
Średnia zawartość suchej masy w osadzie	20%
Zawartość suchej masy w osadzie wysuszonym	80 – 90 %
Średnia ilość wytwarzanego popiołu	132 kg/h
Zawartość węgla organicznego w popiele	<3% wagowo

3.2. Zasada działania instalacji

Przefermentowany osad jest przepompowywany z otwartych basenów fermentacyjnych do stacji mechanicznego odwadniania osadów, w której jest odwadniany na dwóch prasach taśmowych. Odcieki trafiają do lokalnej kanalizacji sanitarnej, w celu ponownego oczyszczenia. Za pośrednictwem przenośników ślimakowych osad o zawartości suchej masy około 20% transportowany jest na zewnątrz budynku stacji, gdzie może zostać zdeponowany na podstawionych przyczepach lub poprzez system podajników trafić do zbiornika magazynowego [3].

W przypadku awarii systemu przenośników osad może być dowożony przyczepami do punktu przyjęcia osadu, skąd drugim systemem przenośników zostanie przetransportowany do tego samego zbiornika magazynowego.

Termiczna obróbka osadu prowadzona jest dwuetapowo. Etap pierwszy, suszenie, odbywa się w turbosuszarce i trwa w zależności od stopnia odwodnienia osadu na początku procesu oraz żądanych parametrów wyjściowych około 2-3 minuty. Całkowita szczątkowa zawartość wody w osadzie wysuszonym wynosi 10-20%. Drugi etap polega na spopieleniu osadu, trwa około 60 minut. Wynikiem spopielenia jest redukcja węgla poniżej 3% dla każdej cząsteczki. Przyjęta technologia zapobiega przegrzaniu osadów, co mogłoby spowodować ich samozapłon lub eksplozję w sekcji suszenia oraz eksplozję w sekcji spopielenia. Poprzez dozownik odwodniony osad kierowany jest do turbosuszarki, w której przebywa około trzy minuty [3].

Turbosuszarka jest podstawowym elementem sekcji suszenia. Odparowana z osadu woda staje się wraz z powietrzem gazem procesowym. Po opuszczeniu turbosuszarki gaz procesowy wraz z wysuszonym osadem trafia do sekcji odzysku osadu wysuszonego. Jej pierwszym elementem jest cyklon, w którym następuje oddzielenie większych cząstek osadu. Mniejsze, pyliste cząstki są odseparowywane w filtrze workowym.

Kolejnym elementem instalacji jest sekcja kondensacji oparów. Pozbawiony osadu gaz procesowy kierowany jest do kolumny kondensacyjnej, w celu skondensowania zawartej w nim pary wodnej. Kondensat zbiera się w dolnej części kolumny i rurociągiem pompowany jest do wymiennika ciepła w celu schłodzenia. Wymiennik połączony jest ze znajdującą się na zewnątrz budynku wieżą wyparną. Część schłodzonej cieczy jest recyrkulowana do kolumny kondensacyjnej, gdzie służy jako czynnik płuczaco-chłodzący, a nadmiar odprowadzany jest do kanalizacji w celu ponownego oczyszczenia. Nie kondensujący gaz zebrany w górnej części kolumny kondensacyjnej kierowany jest do znajdującej się na zewnątrz budynku sekcji oczyszczania powietrza złownego.

Odseparowany w cyklonie i filtrze workowym osad zostaje poddany peletyzacji, następnie systemem podajników trafia do zbiornika pośredniego osadu wysuszonego. Stąd osad może być dystrybuowany na środki transportu lub kierowany do sekcji spopielenia. Piec służący do spalania osadu wyposażony jest w trzy palniki gazowe, o maksymalnej mocy 220 kW, czterostopniowy ruszt schodkowy o napędzie hydraulicznym oraz system automatycznego usuwania popiołu. Piec posiada także sekcję niekatalitycznej redukcji NO_x przy obecności mocznika [3].

Gazy spalinowe kierowane są do sekcji odzysku ciepła, w której ogrzewany jest olej termiczny będący czynnikiem grzewczym w procesie suszenia osadu, a następnie do sekcji oczyszczania gazów odlotowych, składającej się z cyklonu i filtra workowego. Zatrzymane tutaj zanieczyszczenia wywożone są na składowisko odpadów niebezpiecznych. Gazy odlotowe są na bieżąco monitorowane i w przypadku przekroczenia norm emisji, są recykulowane do sekcji redukcji NO_x . W przypadku pracy jedynie sekcji suszenia, możliwe jest ogrzewanie oleju termicznego w przeznaczonym do tego kotle zasilanym gazem ziemnym.

3.3. Ekologiczny aspekt budowy instalacji termicznego przetwarzania osadów

Głównym celem wybudowania suszarni i spalarni osadów ściekowych jest zmniejszenie szkodliwego wpływu procesu oczyszczania ścieków na środowisko. Cel ten uzyskuje się poprzez utylizację osadu na drodze termicznego przetwarzania. Proces ten powoduje całkowitą redukcję związków organicznych, w tym bakterii, wirusów i przetrwalników pasożytów do H_2O i CO_2 .

Mechaniczne odwadnianie osadu daje możliwość skierowania odsączonej wolnej wody zawartej w osadzie do ponownego oczyszczania w oczyszczalni ścieków. Odwadnianie osadu w warunkach atmosferycznych na poletkach osadowych nie daje takiej możliwości, a więc zanieczyszczona woda, zwana odciekami oraz jej pary trafiają bezpośrednio do środowiska. Dodatkowo procesowi temu towarzyszy wytwarzanie odorów, które również należy traktować jako zanieczyszczenia środowiska.

Woda odparowana z osadu w procesie suszenia krąży w układzie zamkniętym, bez możliwości niekontrolowanego przedostania się do środowiska. Nadmiar pary jest kondensowany i w postaci wody kierowany do oczyszczenia.

Sekcja oczyszczania powietrza złowonnego uniemożliwia emitowanie do otoczenia uciążliwych odorów.

Wysuszony osad, już przed spopieleniem jest czysty sanitarnie. W wyniku procesu spopielenia jego objętość zostaje zmniejszona co najmniej piętnastokrotnie, zaś masa zmniejsza się co najmniej dziewięciokrotnie. Masa 1 m^3 popiołu powstałego w wyniku spalania osadu wynosi około 850 kg [4].

Zmniejszenie objętości i masy osadu w rzeczywistości oznacza mniejsze zapotrzebowanie na środki transportu, podczas wywożenia odpadów na składowisko lub do zagospodarowania. Przekłada to się bezpośrednio na zużycie paliwa potrzebnego do zasilania środków transportu wykorzystywanych w celu wywieżenia odpadów, co w konsekwencji ogranicza emisję spalin do atmosfery. Ponadto zmniejszony zostaje ruch na traktach komunikacyjnych.

Na podstawie badań popiołu powstałego w wyniku spalania osadu wytworzonego w Oczyszczalni Ścieków „Łyna” w Olsztynie, przeprowadzonych przed rozpoczęciem

inwestycji, przewidziano możliwość wykorzystania wspomnianego popiołu w drogownictwie. W przypadku braku takiej możliwości, popiół będzie deponowany na składowisku odpadów. Co najmniej piętnastokrotna redukcja objętości popiołu względem wysuszonego osadu w znaczący sposób obniży koszty składowania odpadów, a także ograniczy stopień i szybkość zapełniania składowisk.

Temperatura spalania osadu zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21.03.2003r. jest nie mniejsza niż 850°C. Warunek ten pozwala uzyskać normy emisji gazów odlotowych odprowadzanych do atmosfery na poziomie zgodnym z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 04.08.2003 w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz. U. Nr 163, poz. 1584). Przykładowe wartości parametrów emisji zanieczyszczeń z linii spalania osadu do atmosfery przedstawiono w tabeli 3.2.

Tabela 3.2 Wartości parametrów emisji z linii spalania [3]

Tabel 3.2. Values of incineration line emission parameters [3]

Parametr	Wartość [mg/dm ³]
CO	<50
dioksyny	<0,1
NO _x	<200
związki organiczne	<10
HCl	<10
SO ₂	<50
pył ogółem	<10

3.4. Ekonomiczny aspekt budowy i eksploatacji stacji termicznego przetwarzania osadów

Nakłady finansowe ponoszone na utylizację osadów ściekowych poprzez ich termiczne przetwarzanie, są stosunkowo wysokie w odniesieniu do dotychczas stosowanej przez Oczyszczalnię Ścieków Łyna w Olsztynie metody kompostowania i rolniczego zagospodarowania osadów.

Na wysoki koszt metody termicznej składają się koszty amortyzacji instalacji, koszty energii elektrycznej, paliwa gazowego (gazu ziemnego), reagentów oraz koszty ponoszone na zatrudnienie pracowników obsługi. Wartość kontraktu na budowę suszarni i spalarni osadów ściekowych wynosi około 6.700.000 euro.

Rzeczywiste koszty eksploatacji instalacji termicznego przetwarzania osadów (ITPO) są objęte tajemnicą handlową. Na podstawie przewidzianego w projekcie zużycia paliwa gazowego, energii elektrycznej oraz wody pitnej oszacowano koszt utylizacji jednej tony osadu na 84,04 [zł]. W przypadku pracy jedynie sekcji suszenia, koszt utylizacji osadu wzrośnie do 148,42 [zł] za tonę. Różnica ta wynika z konieczności zastąpienia energii cieplnej powstałej podczas spalania osadu, energią gazu ziemnego [4].

Rzeczywiste koszty pracy suszarni i spalarni osadów są znacznie wyższe, ponieważ przy szacowaniu kosztów, z powodu braku danych, nie uwzględniono nakładów ponoszonych na zatrudnienie pracowników obsługi, amortyzacji instalacji oraz kosztów ponoszonych na zakup reagentów i składowanie lub zagospodarowanie powstałych podczas

spalania popiołów. Rzeczywisty koszt dotychczas stosowanej metody utylizacji, poprzez kompostowanie i rolnicze wykorzystanie osadu wynosi 80 [zł].

3.5. Wnioski

Utylizacja osadów ściekowych na drodze termicznego przetwarzania jest zgodna z najnowszymi trendami ekologicznymi i Dyrektywą unijną. Metoda ta pozwala na znaczące ograniczenie szkodliwego wpływu procesu oczyszczania ścieków na środowisko naturalne.

Olsztyńska instalacja suszenia i spalania osadów ściekowych spełnia wymagania normy emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Umożliwia przeprowadzenie pełnego procesu utylizacji osadu w stosunkowo krótkim czasie. Oczyszczalnia jest niezależna logistycznie od zewnętrznych firm zajmujących się utylizacją i zagospodarowaniem osadów. Poprzez użytkowanie ITPO praktycznie wyeliminowano uciążliwe odory powstające podczas suszenia osadów na poletkach osadowych. Poprawi to komfort życia mieszkańców pobliskiego osiedla domów jednorodzinnych „Podkówka”, a także walory rekreacyjne przyległego do oczyszczalni Lasu Miejskiego Olsztyn.

Koszt termicznej utylizacji osadu przewyższa koszt kompostowania lub rolniczego zagospodarowania osadu, jednak korzystny wpływ metody termicznej na środowisko naturalne, przemawia za jej stosowaniem. Z ekonomicznego punktu widzenia, nie uzasadnione jest użytkowanie tylko linii suszenia osadów, ze względu na około 78% wzrost kosztów eksploatacji. W przyszłości należy rozważyć możliwość współspalania wysuszonego osadu wraz z węglem kamiennym.

4. LITERATURA

- [1] Bernacka J., Pawłowska L., Przeróbka i zagospodarowanie osadów z miejskich oczyszczalni ścieków, Wydawnictwo Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa 1996 r.
- [2] Dymaczewski Z., Oleszkiewicz J.A., Sozański M.M., Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków, Wydanie PZLiTS, Poznań 1997
- [3] Zaprojektowanie i wykonanie suszarni i spalarni osadów na terenie Oczyszczalni Ścieków „Łyna” w Olsztynie (dokument wewnętrzny)
- [4] Gawroński A., Suszenie i spalanie osadów ściekowych jako metoda ich utylizacji, na przykładzie olsztyńskiej Oczyszczalni Ścieków „Łyna”, UWM 2009 r.

SEWAGE SLUDGE DRYING AND COMBUSTION AS A METHOD OF ITS UTILISATION BASED ON THE EXAMPLE OF INCINERATION PLANT IN OLSZTYN

SUMMARY

This paper presents widely used methods of sludge disposal. It focuses particularly on the associated sludge drying and combustion based on the example of “Łyna” Sewage Treatment Plant in Olsztyn. The advantages of thermal method of sewage sludge disposal were proved.

Halina GARBALIŃSKA, dr hab. inż. prof. nadzw. ZUT
Magdalena BOCHENEK, mgr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mail: Halina.Garbalinska@zut.edu.pl, Magdalena.Bochenek@zut.edu.pl

ANALIZA PORÓWNAWCZA PRZEBIEGU IMPLEMENTACJI I REALIZACJI DYREKTYWY 2002/91/EC W WYBRANYCH KRAJACH UNII EUROPEJSKIEJ

STRESZCZENIE

W referacie zaprezentowano stan przepisów prawnych w wybranych krajach Wspólnoty Europejskiej po wejściu w życie postanowień Dyrektywy 2002/91/EC. Dokonano analizy porównawczej dotyczącej Polski, Niemiec, Wielkiej Brytanii, Danii i Holandii. Przedstawiono różnice w przepisach prawnych obowiązujących w tych krajach, różnice w tempie wdrożenia postanowień dyrektywy, przygotowaniu metodologii oraz przeszkoleniu i kwalifikacji fachowców. Omówiono również kryteria oceny charakterystyki energetycznej w odniesieniu do każdego z rozpatrywanych państw. W opracowaniu przedstawiono sposób realizacji postanowień Dyrektyw w wybranych krajach, omówiono kwestie odpowiedzialności za system certyfikacji budynków w tych państwach oraz skutki społeczne wprowadzenia Dyrektywy.

1. WPROWADZENIE

Dyrektywa 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 roku nałożyła na kraje członkowskie Unii Europejskiej obowiązek poprawy efektywności energetycznej budynków. Narzucenie tego typu działań pozostawało w bezpośrednim związku z bezpieczeństwem energetycznym Europy, której grozi nadmierne uzależnienie od dostawców surowców energetycznych, ale równocześnie miało służyć ograniczeniu emisji CO₂.

Według prognozy podanej w Green Paper „Towards a European Strategy for the security of energy supply” – przy zachowaniu efektywności wykorzystania energii na dotychczasowym poziomie, tzn. bez podjęcia działań oszczędnościowych – w 2030 roku aż 70% energii i surowców energetycznych musiałoby być importowane spoza obszaru UE.

Dyrektywa 2002/91/EC w swoich podstawowych założeniach nawiązuje do koncepcji zrównoważonego rozwoju, która polega na: oszczędnym wykorzystaniu surowców energetycznych oraz na ochronie środowiska, w celu zachowania tych dóbr dla przyszłych pokoleń.

Aby uzyskać oczekiwane w tym względzie efekty niezwykle istotne było narzucenie spójnych działań wszystkim krajom UE – z wyznaczeniem granicznych terminów ich realizacji. Wdrożenie postanowień dyrektywy w poszczególnych krajach wiązało się m.in. ze zmianami przepisów prawa, przygotowaniem metodologii, przeszkoleniem fachowców. Terminem wdrożenia postanowień Dyrektywy był 4 stycznia 2006 roku. Kraje, w których brak było wykwalifikowanych fachowców w dziedzinie charakterystyki energetycznej, uzyskały możliwość wydłużenia wprowadzenia art. 7, 8, 9 o dodatkowe 3 lata. Jednym z takich krajów była Polska.

2. WDROŻENIE POSTANOWIEŃ DYREKTYWY W WYBRANYCH KRAJACH UNII EUROPEJSKIEJ

Wszystkie Państwa członkowskie włożyły wiele wysiłku, aby wdrożyć postanowienia Dyrektywy 2002/91/EC we właściwym czasie. Każdy kraj w innym stopniu był przygotowany do wdrożenia Dyrektywy. Jedne kraje robiły szybkie postępy, inne radziły sobie dużo gorzej.

W Polsce zdecydowano, że wdrożenie postanowień Dyrektywy zostanie dokonane przez nowelizację ustawy Prawo budowlane. Uzasadniano taką decyzję faktem, że kwestie związane z ograniczeniem zużycia energii są integralnie związane z procesem projektowania, budowy i właściwej eksploatacji obiektów budowlanych. Dnia 19 września 2007 r. Parlament RP przyjął ustawę o zmianie ustawy – Prawo budowlane. Ustawa ta zobowiązywała do wydania Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [4], które ukazało się 6 listopada 2008 r. Obowiązek sporządzania świadectw energetycznych wszedł w Polsce w życie 1 stycznia 2009 r.

W Niemczech nowelizację ustawy „Energieeinsparverordnung” wprowadzono 24 lipca 2007 roku. Świadectwa dla budynków zbudowanych przez rok 1965 obowiązują od 1 lipca 2008, zaś dla budynków zbudowanych po 1966 roku od 1 stycznia 2009. Od 1 lipca 2009 wprowadzono obowiązek certyfikacji dla budynków niemieszkalnych.

W Anglii 14 czerwca 2006 właściwy Minister zapowiedział wprowadzenie certyfikatów energetycznych jako elementu „Home Information Pack”. Świadectwa dla nowych budynków mieszkalnych oraz nowych lub podlegających zbyciu i wynajmowi budynków innych niż mieszkalne o powierzchni użytkowej większej niż 10000 m² zaczęły obowiązywać od 6 kwietnia 2008 roku, a od 1 lipca 2008 przy powierzchni > 2500 m². Natomiast od 1 października 2008 świadectwo charakterystyki energetycznej musi posiadać każdy budynek mieszkalny podlegający wynajmowi lub zbyciu oraz każdy budynek inny niż mieszkalny oddawany do użytkowania bądź przeznaczony na sprzedaż i wynajem.

16 czerwca 2005 w duńskim prawie budowlanym wprowadzono zapis o wymaganiach dotyczących charakterystyki energetycznej. W tym dniu parlament duński przyjął ustawę o oszczędności energii w budynkach. Nowe prawo wdrożyło postanowienia Dyrektywy. System certyfikacji energetycznej zaczął obowiązywać od stycznia 2006 r. Dania wdrożyła dwa systemy znakowania energetycznego budynków: ELO system (dla dużych budynków powyżej 1500m²) oraz EM system (dla małych obiektów, np. domów

jednorodzinnych, budynków mieszkalnych poniżej 1500m²). Nowe metody obliczeń zapotrzebowania na energię wprowadzono w 2005 roku.

W Holandii rozporządzenie w sprawie charakterystyki energetycznej budynków zostało opublikowane w grudniu 2006 roku. Świadectwa są obowiązkowe od stycznia 2008. W styczniu 2010 wprowadzono zmiany dotyczące formy świadectwa.

3. METODOLOGIA ORAZ KRYTERIA OCENY CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ

W Polsce w świadectwie charakterystyki energetycznej podaje się trzy wskaźniki: EP, EK oraz wskaźnik wg WT 2008. Pierwszy z nich, wskaźnik EP, wyraża wielkość rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza, a podawany jest w kWh/(m²/rok). Wskaźnik EK przedstawia roczne zapotrzebowanie na energię końcową, wyrażone w kWh/(m²/rok). Wskaźnik wg Warunków Technicznych stanowi wartość referencyjną dla obliczonego w oparciu o dane rzeczywiste budynku EP. Porównanie wskaźnika EP z wartością referencyjną stanowi jakościową ocenę energetyczną budynku. Zapotrzebowanie na energię obejmuje energię zużywaną na ogrzewanie, wentylację, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, chłodzenie oraz, w przypadku budynków użyteczności publicznej, oświetlenie. W świadectwie podaje się wartości powyższych wskaźników, nie ma klas energetycznych. Ponadto nie podaje się wskaźnika emisji CO₂.

W Niemczech w świadectwie charakterystyki energetycznej („Energieausweis”) podaje się „Energiebedarf”, czyli zapotrzebowanie na energię pierwotną wyliczone na podstawie EnEV, w przypadku budynków nowych i modernizowanych. Zaś w przypadku budynków istniejących (mieszkalnych i niemieszkalnych) podaje się „Energieverbrauch”, czyli zapotrzebowanie na energię ustalone na podstawie zużycia energii w ostatnich trzech latach lub „Energiebedarf” wyliczone na podstawie EnEV. Ponadto podaje się wskaźnik referencyjny obliczony w oparciu o EnEV. Zapotrzebowanie na energię obejmuje energię zużywaną na ogrzewanie, wentylację, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, chłodzenie oraz oświetlenie. W Niemczech, podobnie jak w Polsce, nie ma klas energetycznych. Podanie w świadectwie wskaźnika emisji CO₂ nie jest obowiązkowe.

W Wielkiej Brytanii w świadectwie energetycznym („Energy Performance Certificate”) oblicza się „asset rating”, zapotrzebowanie na energię na podstawie SAP 2005, w przypadku budynków nowych i modernizowanych. Dla budynków użyteczności publicznej w świadectwach („Display Energy Certificate”) podaje się „operational rating”, czyli zapotrzebowanie na energię ustalone na podstawie zużycia energii w ostatnich latach. Angielskie świadectwo energetyczne ma około osiem stron i zawiera graficzną prezentację aktualnej i szacowanej efektywności energetycznej budynku (klasyfikacja na klasy energetyczne A–G), graficzną prezentację szacowanej emisji CO₂, podział na poszczególne elementy budynku i ich udział w klasyfikacji, zalecenia w celu obniżenia emisji dwutlenku węgla i poprawy jakości energetycznej budynku, zaszeregowanie według kosztów inwestycyjnych i szacunkowych rocznych oszczędności. Zapotrzebowanie na energię obejmuje energię zużywaną na ogrzewanie, wentylację, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, chłodzenie oraz, w przypadku budynków niemieszkalnych, oświetlenie.

Duńskie świadectwa energetyczne („Energimaerkning”) są najbardziej rozbudowane. Mają około dziewięciu stron i podają wielkość rocznego zapotrzebowania na energię

pierwotną. Zawierają szczegółowe zalecenia dotyczące poprawy jakości energetycznej budynku. Obowiązują klasy energetyczne: A–G (przy czym klasa A dzieli się na A1 i A2). Obligatoryjne jest podanie wskaźnika emisji CO₂. Zapotrzebowanie na energię obejmuje energię zużywaną na ogrzewanie, wentylację, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, chłodzenie oraz, w przypadku budynków niemieszkalnych, oświetlenie.

W Holandii stosuje się współczynnik wydajności energetycznej EPC „Energy Performance Coefficient” dla budynków nowych i modernizowanych. Im niższy współczynnik tym bardziej energooszczędny budynek. Współczynnik EPC dla nowych budynków nie może przekroczyć wartości 0,8. Obliczenia EPC przeprowadza się w oparciu o holenderskie standardy NEN 2916 oraz NEN 5128. Dla budynków istniejących stosuje się EI („Energy Index”) wyliczany na podstawie BRL 9501. W Holandii tak jak w dwóch poprzednich krajach w świadectwie („Energieprestatiecertificaat”) podaje się klasy energetyczne od A do G oraz wskaźnik emisji CO₂.

We wszystkich porównywanych krajach świadectwo charakterystyki energetycznej jest ważne 10 lat. Wyjątkiem jest Dania, gdzie świadectwo jest ważne 5 lat.

4. OSOBY SPORZĄDZAJĄCE ŚWIADECTWA ENERGETYCZNE

W Polsce instytucją prowadzącą rejestr osób uprawnionych do wystawiania świadectw energetycznych jest Ministerstwo Infrastruktury. Świadectwa może sporządzać praktycznie każdy, kto posiada zdolność do czynności prawnych, ukończył studia magisterskie oraz odbył szkolenie i złożył z pozytywnym wynikiem egzamin państwowy. Równorzędne z odbyciem szkolenia i zdaniem egzaminu jest ukończenie nie mniej niż rocznych studiów podyplomowych. Wydawać certyfikaty energetyczne mogą także osoby posiadające uprawnienia budowlane w specjalności architektonicznej, konstrukcyjno-budowlanej lub instalacyjnej. Od stycznia 2010 osoby wydające certyfikaty muszą posiadać obowiązkowe ubezpieczenie od odpowiedzialności cywilnej.

W Niemczech osoby uprawnione do wydawania świadectw charakterystyki energetycznej to absolwenci uczelni wyższych o kierunkach budowlano-architektonicznych, które dodatkowo ukończyły studia o specjalizacji budownictwo energooszczędne lub mają dwuletnie doświadczenie w tym kierunku. Ponadto od tych osób wymagane jest odbycie szkolenia, przy czym nie ma obowiązku zdania egzaminu.

W Anglii osoby sporządzające świadectwa to m.in. inspektorzy budowlani, rzeczoznawcy, agenci nieruchomości. Osoby te muszą być członkami Accreditation Scheme.

W Danii świadectwa charakterystyki energetycznej mogą sporządzać architekci, inżynierowie, technicy budowlani, którzy udokumentują 3 lata praktyki w ostatnich pięciu latach oraz przeszli kilku dniowy kurs szkoleniowy i zdali egzamin składający się z dwóch części: testu oraz części praktycznej. Wymagane jest także, aby osoby sporządzające świadectwa posiadały ubezpieczenie od odpowiedzialności cywilnej.

W Holandii do sporządzania świadectw uprawnieni są absolwenci uczelni technicznych, którzy ukończyli odpowiedni kurs i zdali egzamin.

5. SKUTKI SPOŁECZNE WPROWADZENIA DYREKTYWY

Wdrożenie postanowień Dyrektywy we wszystkich krajach Unii Europejskiej miało za zadanie zwiększyć świadomość społeczeństwa w zakresie konieczności oszczędzania energii. Zamierzeniem była poprawa jakości energetycznej budownictwa, zachę-

canie do wznoszenia energooszczędnych budynków, podniesienie cen nieruchomości zużywających mniej energii.

Certyfikat energetyczny miał być obiektywną informacją o jakości energetycznej budynku i kosztach usług energetycznych w eksploatacji budynku. System certyfikacji miał zwracać uwagę właścicielowi budynku, że istnieją możliwości oszczędzania energii.

Jednak to, czy dany budynek posiada czy też nie certyfikat energetyczny, nie ma żadnego wpływu na poziom zużycia energii przez ten budynek. Certyfikat jest tylko informacją, która, aby była zrozumiała przez każdego właściciela budynku powinna być napisana w sposób jasny i przejrzysty. Pojawia się wiele wątpliwości, czy np. oznakowanie zużycia poziomu energii wyrażane w kWh/(m²/rok), naniesione na skali (tak jak to jest w Polsce i Niemczech) jest czytelne i zrozumiałe dla przeciętnego człowieka. Wydaje się być bardziej jasnym oznakowanie zużycia energii według klas energetycznych A–G, tak jak to przyjęto w pozostałych porównywanych krajach.

W chwili obecnej nie we wszystkich krajach certyfikaty spełniają swoją rolę. Przykładowo w Polsce jest to tylko kolejny „wymagany” dokument, którego poprawności wykonania nikt nie kontroluje. Brak jest rejestru wydawanych świadectw. Do wykonywania certyfikatów uprawnione jest bardzo szerokie grono osób. Inaczej jest np. w Anglii, gdzie świadectwa przechowywane są w centralnej bazie rządowej przez minimum 20 lat czy w Danii, gdzie prowadzi się wrywkowe kontrole poprawności jego wykonania.

6. PODSUMOWANIE

Referat obrazuje występujące w poszczególnych krajach różnice, pojawiające się na etapie przygotowania, wdrażania i realizacji postanowień Dyrektywy. W każdym kraju obowiązują odrębne przepisy w specyficzny sposób rozwiązujące kwestie szczegółowe związane z certyfikacją energetyczną. Wszystkie kraje w dalszym ciągu systematycznie zmieniają i dostosowują przepisy prawa, wprowadzając poprawki i nowelizacje.

Planowana jest również nowelizacja Dyrektywy 2002/91/EC – od 1 stycznia 2021 roku wszystkie obiekty nowe, jak również istniejące poddane modernizacji mają być zeroemisyjne. Obecnie obowiązujące wytyczne, iż obiekty mają być „prawie zeroemisyjne” są niejasne i umożliwiają krajom członkowskim ustalanie własnych, różniących się od siebie standardów. Należy mieć nadzieję, że w Europie i na świecie kontynuowane będzie poszukiwanie metod na zmniejszenie zapotrzebowania na energię budynków, dzięki czemu w nieodległej przyszłości będą powstawać budynki mieszkalne o zerowym zapotrzebowaniu na energię.

7. LITERATURA

- [1] Dyrektywa 2002/91/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [2] Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 r., wraz z późniejszymi zmianami
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wraz ze zmianami
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej

- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 21 stycznia 2008 r. w sprawie przeprowadzania szkolenia oraz egzaminu dla osób ubiegających się o uprawnienia do sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynku, lokalu mieszkalnego oraz części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego, wraz z późniejszymi zmianami
- [7] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24 Juli 2007
- [8] Statutory Instruments 2007 No. 991 Building and buildings, England and Wales, "The Energy Performance of Buildings (Certificates and Inspections) Regulation 2007".
- [9] Statutory Instruments 2000 No. 2531 Building and buildings, England and Wales, "The Building Regulations 2000", The Queen's Printer of Acts of Parliament, 2000.
- [10] SAP 2005 The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings, BRE, 2005.
- [11] Lov om fremme af energibesparelser i bygninger (LOV nr 585 af 24.06.2005, geldende), Klima-og Energiministeriet, 2005
- [12] Dansk Energi Management A/S, "Handbog for energikonsulenter" (ang. Handbook for Energy Consultants), The Danish Energy Authority, 2008.
- [13] Nederlandse norm NEN 2916:2004 "Energieprestatie van utiliteitsgebouwen – Bepalingsmethode"
- [14] Nederlandse norm NEN 5128:2004 "Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen – Bepalingsmethode"
- [15] Nationale Beoordelingsrichtlijn 9501 d.d. 15.08.2006 "Methoden voor het bepalen van het Energiegebruik van gebouwen en de energetische en financiële gevolgen van energiebesparingsmaatregelen".

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION AND REALIZATION PROCESS OF THE ENERGY PERFORMANCE OF BUILDING DIRECTIVE 2002/91/EC IN SELECTED COUNTRIES OF THE EUROPEAN UNION

SUMMARY

The report presents the status of the legislation in selected countries of the European Union after the entry into force of the provisions of Directive 2002/91/EC. The comparative analysis of Poland, Germany, Great Britain, Denmark and Netherlands was made. The report also shows differences of the legislation in force in these countries, differences in the pace of directive implementation, preparation methodology and the training and qualifications of professionals. The criteria for assessing the energy performance for each of countries were also discussed. The study shows the way of implementation of Directives in selected countries and issues related with responsibility for the certification system of buildings in these countries and the social impact of the introduction of the Directive.

Halina GARBALIŃSKA, dr hab. inż., prof. nadzw. ZUT
Agata SIWIŃSKA, dr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
Al. Piastów 50, 70-311 Szczecin
e-mail: Halina.Garbalinska@zut.edu.pl, siwinska@zut.edu.pl

WARUNKI POMIARU A WARTOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA PRZEWODZENIA CIEPŁA

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki badań współczynnika przewodzenia ciepła przeprowadzonych metodą niestacjonarną w odniesieniu do zaprawy cementowej czystej, modyfikowanej i cementowo-wapiennej. Pomiary zrealizowano na próbkach o różnych kształtach i gabarytach, przy czym próbki badane były w dwóch stanach: suchym i nasączonym wodą. Pomiary przeprowadzono aparatem ISOMET2104 z wykorzystaniem sondy przylgowej. Zebrane w eksperymencie wyniki poddano ocenie porównawczej, której celem było oszacowanie wpływu cech geometrycznych próbek na wartości współczynnika przewodzenia ciepła danego materiału, otrzymane przy pomocy zastosowanej techniki pomiarowej.

1. WPROWADZENIE

Współczynnik przewodzenia ciepła λ materiału budowlanego zależy od wielu czynników. W bogatej literaturze przedmiotu mówi się o wpływie rodzaju substancji, z jakiej wykonany jest szkielet materiału, gęstości objętościowej, struktury porów, temperatury, kierunku przepływu ciepła, stopnia zawilgocenia, czasu jaki upłynął od jego wyprodukowania i innych. Oczywiście poszczególne czynniki ujawniają się w różnym stopniu, w zależności od rodzaju materiału i warunków jego testowania. Szerokiego przeglądu tych zagadnień dokonano w ramach pracy [4], posiłkując się licznymi publikacjami naukowymi. Niestety brakuje w nich najczęściej odniesienia się do warunków, w jakich przeprowadzone zostały pomiary. Tymczasem dotychczasowe doświadczenia autorek wskazują na istotny wpływ samej techniki pomiarowej na uzyskiwane rezultaty. Przedstawione np. w pracy [1] wyniki, zebrane przy pomocy techniki stacjonarnej (aparat

płytkowy GHP8302.3) oraz niestacjonarnej (aparat ISOMET 2104) świadczyły o dużym ich zróżnicowaniu.

W niniejszej pracy podjęto się oceny, czy i w jakim stopniu rodzaj próbek użytych do badań oddziałuje na ich wyniki. Ograniczono się do przetestowania metody niestacjonarnej, a badaniom oceniającym poddano dwa typy próbek, wykonanych z trzech zapraw, a kondycjonowanych w różnych warunkach cieplno-wilgotnościowych.

2. PRÓBKİ DO BADAŃ

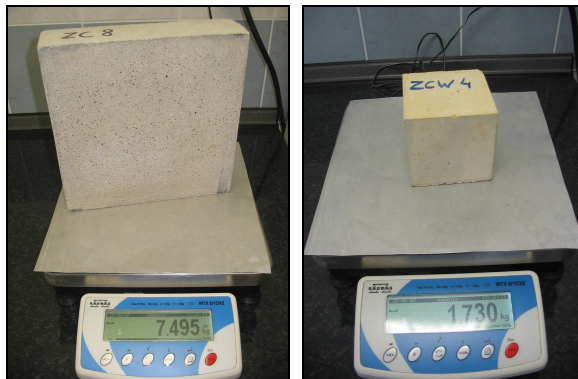
Badaniom poddano próbki z zaprawy cementowej czystej, modyfikowanej i cementowo-wapiennej przygotowane we własnym zakresie w warunkach laboratoryjnych. Wszystkie zaprawy wykonywane były na bazie cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R oraz naturalnego piasku kwarcowego o ziarnach do 2 mm. Poszczególne mieszanki, w przeliczeniu na 1 dm³, sporządzono według następujących receptur [4]:

- zaprawa cementowa (ZC): cement 490 g, woda 270 g, piasek 1519 g, w/c=0,55;
- zaprawa modyfikowana (ZM): cement 490 g, woda 270 g, piasek 1519 g, włókna polipropylenowe dł. 3 mm, w ilości 0,9 g, w/c=0,55;
- zaprawa cementowo-wapienna (ZCW): cement 194 g, wapno 194 g, woda 336 g, piasek 1164 g, w/c=1,73, w/s=0,87.

Z każdej mieszanki wykonywane były dwie grupy próbek, wylewane w formach o wymiarach 25×25×6 cm oraz 10×10×10 cm.

Bezpośrednio po rozformowaniu elementy umieszczano w kąpeli wodnej. W tych warunkach przechowywano je przez okres około 1 roku, aż do wygaśnięcia procesów hydratacji. Następnie próbkom 25×25×6 cm wyrównano powierzchnie czołowe na profesjonalnych szlifierkach. Natomiast przeznaczone do badań powierzchnie boczne próbek kostkowych wyrównano papierem ściernym. Dzięki temu w trakcie badań współczynnika λ sondy pomiarowe w każdym przypadku dokładnie przylegały do powierzchni badanych próbek, bez niebezpieczeństwa pojawienia się warstwy powietrza, wprowadzającej niezamierzone błędy pomiarowe.

Przed rozpoczęciem badań współczynnika λ przeprowadzono kontrolne pomiary gęstości. Gęstość określona na próbkach suchych o wymiarach 25×25×6 cm dla poszczególnych zapraw wynosiła: ZC – 2,066 g/cm³; ZM – 2,020 g/cm³; ZCW – 1,737 g/cm³. Natomiast gęstość suchych próbek o wymiarach 10×10×10 cm wynosiła: ZC – 2,041 g/cm³; ZM – 2,016 g/cm³; ZCW – 1,732 g/cm³. Pełen zestaw wyników dotyczących badań gęstości w różnych stanach nasycenia wodą i po wysuszeniu w różnych temperaturach (40°C i 105°C) zamieszczono w pracy [4]. Powyższe dane, podane w referacie w celach ilustracyjnych, świadczą o tym, że technika układania i zagęszczania mieszanki w różnych formach (co do rozmiaru i kształtu) nie doprowadziła do zróżnicowania zapraw pod względem jakości materiałowej. Różnice w gęstości na poziomie dokładności pomiarowej wskazują, że przeprowadzone na dwóch typach próbek pomiary λ dotyczą w przypadku każdej z zapraw materii zbliżonego rodzaju, o tej samej gęstości.

*Rys. 1. Próbkki do badań**Fig. 1. Samples for the test*

3. POMIARY

Generalnie do pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła λ stosuje się przyrządy wykorzystujące bądź zjawisko ustalonego, bądź nieustalonego przepływu ciepła, [2, 3]. Przyrządy pomiarowe pierwszej grupy nadają się głównie do badania materiałów suchych. W tym przypadku czas trwania pomiarów jest na tyle długi, że w zawilgoconej próbce dochodzi do przemieszczania się wilgoci połączonego z przemianami fazowymi. Zjawiskom tym towarzyszą dodatkowe efekty cieplne, które mogą doprowadzić do zafałszowania wyników pomiarów. Stąd zaleca się, aby badając materiały w stanie zawilgocenia wyższym niż powietrzno-suchy, stosować tzw. szybkie metody pomiarowe wykorzystujące zjawisko nieustalonego przepływu ciepła. Metody te pozwalają na skrócenie czasu pomiaru do kilkunastu minut.

W opisanych w referacie badaniach posłużono się aparatem ISOMET2104. Jest to wygodny w użyciu, przenośny, wielofunkcyjny instrument pomiarowy, służący do wyznaczania m.in. współczynnika przewodzenia ciepła [W/(mK)], dyfuzyjności cieplnej [m²/s], pojemności cieplnej [J/(m³K)]. Wyposażony jest w różne typy opcjonalnych sond pomiarowych: igłowych – do badania materiałów miękkich oraz przylgowych – do badania materiałów twardych. Zastosowana w badaniach sonda przylgowa (widoczna na rys. 2) wymaga, aby przeznaczona do badań próbka miała gładką, płaską powierzchnię o średnicy co najmniej 60 mm. Minimalna grubość przewidzianego do badań materiału powinna wynosić zgodnie z zaleceniami od 10 mm do 15 mm w zależności od jego przewodnictwa. Przygotowane do badań dwie grupy próbek pod względem gabarytowym spełniały te wymagania wyjściowe.

Pomiary współczynnika λ poszczególnych zapraw przeprowadzone zostały w dwóch etapach. W pierwszym etapie badania dotyczyły materiałów suchych (próbki wysuszone do stałej masy w temperaturze 40°C i 105°C). W drugim etapie badaniom poddawane były materiały powtórnie nasycone wodą (po uprzednim wysuszeniu w temperaturze 40°C i 105°C).

Do badań współczynnika λ przygotowano z każdej zaprawy (ZC, ZM, ZCW) dwa typy próbek różniących się wielkością i kształtem. Badania na próbkach 25×25×6 cm

wykonywano typując za każdym razem jeden punkt pomiarowy na każdej próbce – w jej części centralnej. W każdym miejscu pomiarowym wykonywano po trzy odczyty. Oprócz próbek płytowych badaniom poddano również próbki kostkowe o wymiarach 10×10×10 cm. W tym przypadku wybierano trzy miejsca pomiarowe, a w każdym wykonywano po trzy pomiary (rys. 2).



Rys. 2. Pomiar aparatem ISOMET2104

Fig. 2. Measurements with apparatus ISOMET2104

4. WYNIKI

Badania przeprowadzone przy wykorzystaniu aparatu ISOMET2104 pozwoliły na ocenę wpływu wymiarów i kształtu próbek na wyniki pomiarów. Analizy porównawcze dotyczyły trzech testowanych zapraw, które do badań współczynnika λ uformowane zostały w postaci próbek płytowych 25×25×6 cm oraz kostkowych 10×10×10 cm. Uśrednione wyniki badań dla obu typów próbek przy różnych warunkach ich kondycjonowania zebrano odpowiednio w tabeli 1 oraz tabeli 2.

Tabela 1. Wyniki badań λ [W/(mK)] przeprowadzone na próbkach płytowych o wymiarach 25x25x6 cm.

Table 1. Test results λ [W/(mK)] conducted on plate samples with dimensions 25x25x6 cm.

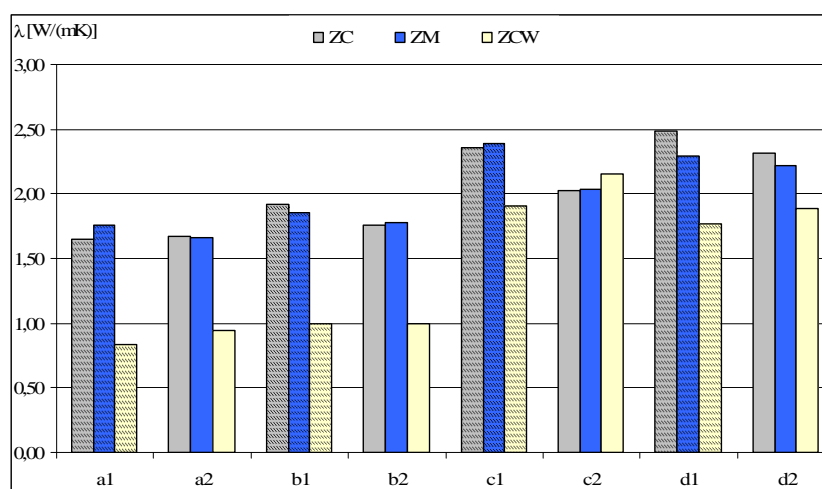
Materiał	Współczynnik λ [W/(mK)] – próbki płytowe			
	Materiał suchy (105°C)	Materiał suchy (40°C)	Materiał nasycony wodą (40°C)	Materiał nasycony wodą (105°C)
	a1	b1	c1	d1
ZC	1,65	1,92	2,35	2,48
ZM	1,76	1,86	2,39	2,29
ZCW	0,84	0,99	1,91	1,77

Tabela 2. Wyniki badań λ [W/(mK)] przeprowadzone na próbkach kostkowych o wymiarach 10x10x10 cm.

Table 2. Test results λ [W/(mK)] conducted on cubical samples with dimensions 10x10x10 cm.

Materiał	Współczynnik λ [W/(mK)] – próbki kostkowe			
	Materiał suchy (105°C)	Materiał suchy (40°C)	Materiał nasycony wodą (40°C)	Materiał nasycony wodą (105°C)
	a2	b2	c2	d2
ZC	1,67	1,76	2,03	2,31
ZM	1,66	1,78	2,04	2,22
ZCW	0,94	1,00	2,15	1,89

Na rysunku 3 sporządzono graficzne zestawienie danych zebranych w tabeli 1 oraz 2, grupując je w zależności od rodzaju zaprawy, typu próbek użytych do badań oraz zróżnicowanych warunków cieplno-wilgotnościowych ich kondycjonowania. Symboliczne oznaczenia na rys. 3 przyjęto analogicznie jak w tabelach 1, 2.



Rys. 3. Zestawienie wyników badań aparatem ISOMET2104 dla trzech zapraw, dwóch typów próbek i czterech warunków termiczno-wilgotnościowych

Fig. 3. Comparison of results of tests conducted with apparatus ISOMET2104 for three mortars, two types of samples and four thermal-moisture conditions

5. PODSUMOWANIE

Analiza porównawcza wyników uzyskanych przy pomocy aparatu ISOMET2104 wskazuje, iż kształt i wymiary próbek wywierają zróżnicowany wpływ na wyniki

pomiarów współczynnika λ , zależny od rodzaju badanej zaprawy oraz warunków, w jakich była ona do badań przygotowywana. W przypadku ZC wpływ ten oscylował w granicach od 1% do 16%, dla ZM od 3% do 17%, a dla ZCW zamykał się w granicach od 1% do 11%. Przy czym największe odnotowane różnice wynoszące od 11% do 17% wystąpiły w przypadku próbek nasyconych wodą, po uprzednim wysuszeniu w temperaturze 40°C. Natomiast we wszystkich niemal pozostałych przypadkach (poza ZCW – wysuszoną w 105°C) wpływ kształtu próbek nie przekraczał 10%.

Analizując poszczególne wyniki należy jednak zwrócić uwagę na fakt uzyskania dla zaprawy czystej i modyfikowanej generalnie większych wartości λ dla próbek płytowych w stosunku do kostkowych. W przeciwieństwie do nich dla zaprawy cementowo-wapiennej otrzymano wyższe wartości współczynnika λ wyznaczonego na próbkach kostkowych. W rezultacie zestawiając ze sobą wyniki pomiarów dwóch różnych materiałów (np. ZC oraz ZCW, czy ZM oraz ZCW) przeprowadzone tą samą techniką, ale na próbkach odmiennej geometrii musimy liczyć się już z niemal 30% rozbieżnością składowych wyników. Wartości współczynników λ jednych materiałów mogą być bowiem wyznaczane z nadmiarem, inne z niedomiarem. Z tego wniosek, że należy zachować należyta ostrożność przy porównywaniu wyników pomiarów przeprowadzonych nawet tym samym przyrządem, ale na próbkach różniących się kształtem i gabarytami.

6. LITERATURA

- [1] Garbalińska H., Siwińska A.: Ocena porównawcza stacjonarnej i niestacjonarnej techniki pomiaru przewodności cieplnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 252, Budownictwo i Inżynieria Środowiska z. 47, II Konferencja Solina 2008, s. 123-130
- [2] PN-EN 12664:2002 Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego. Suche i wilgotne wyroby o średnim i małym oporze cieplnym
- [3] PN-ISO 8302:1999 Izolacja cieplna. Określanie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym. Aparat płytowy z osłoniętą płytą grzejącą
- [4] Siwińska A.: Związek między izotermą sorpcji a współczynnikiem przewodzenia ciepła porowatego materiału budowlanego. Rozprawa doktorska, Szczecin 2008

MEASUREMENT CONDITIONS AND VALUE OF THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT

SUMMARY

The paper presents results of tests for the thermal conductivity coefficient, conducted with the non-stationary method, on pure cement, modified and cement-lime mortars. The measurements were performed on samples of various shapes and sizes, whereas the samples were either dry or soaked with water. The measurements were conducted with apparatus ISOMET2104, using a contact probe. The results collected in the experiment underwent a comparative assessment in order to evaluate influence of geometric characteristics of the samples on value of the thermal conductivity coefficient for each material, obtained by the means of the applied measurement technique.

Renata GNATOWSKA, dr inż.

Politechnika Częstochowska
Instytut Maszyn Ciepłych
ul. Armii Krajowej 21, 42-201 Częstochowa
e-mail: gnatowska@imc.pcz.czyst.pl

PROBLEMY KOMFORTU WIATROWEGO W OBSZARACH ZABUDOWANYCH

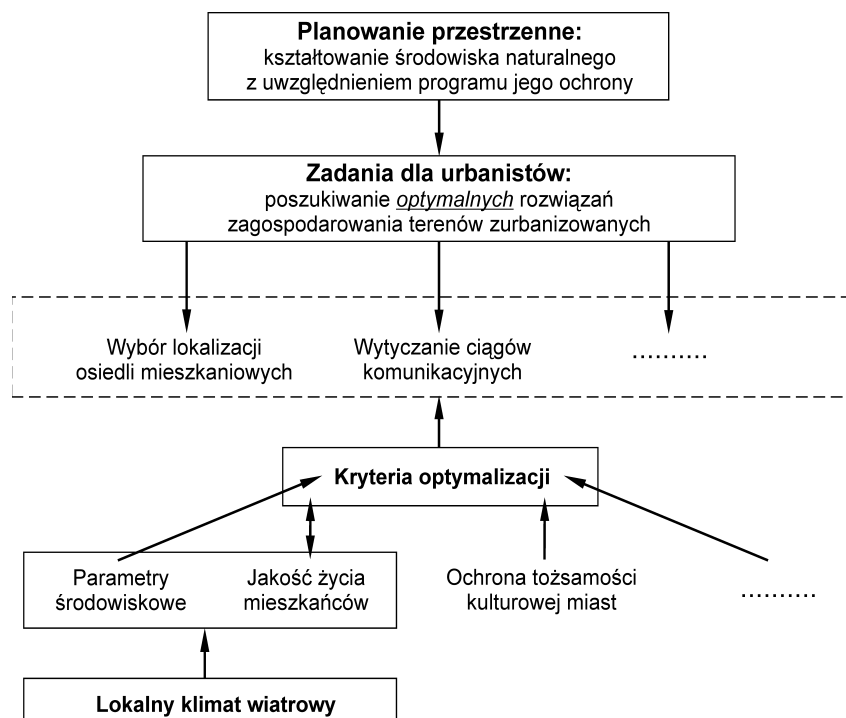
STRESZCZENIE

Kształtowanie lokalnego klimatu obszarów zabudowanych, w celu zapewnienia wysokiej jakości życia ich mieszkańcom, jest jednym z kluczowych czynników zrównoważonego rozwoju miast i powinno stać się integralnym elementem planowania przestrzennego. Dlatego też, w ostatnich kilku latach analiza aerodynamiczna obszarów zurbanizowanych w odniesieniu do komfortu pieszych nabiera coraz większego znaczenia. Struktura pola wiatru w strefie przyziemnej jest bowiem czynnikiem o istotnym znaczeniu, wpływającym na warunki klimatyczne i zdrowotne obszarów zabudowanych, determinującym wymaganą wytrzymałość konstrukcji budowlanych, wspomagającym naturalną wentylację oraz rzutującym na straty ciepła. Klimat wiatrowy w obszarach zabudowanych i jego wszelkie implikacje inżynierskie (projektowanie architektoniczne, zagospodarowanie terenów) stanowią zatem ważny przedmiot zainteresowania urbanistów, projektantów, wykonawców budowlanych. W niniejszym artykule omówiono zagadnienia planowania przestrzennego obszarów zabudowanych z uwzględnieniem kryteriów komfortu wiatrowego. W artykule podano metody eksperymentalnego i numerycznego określania lokalnych warunków wiatrowych w strefie zurbanizowanej, a także zaproponowano sposób doboru optymalnej konfiguracji elementów zabudowy zapewniającej właściwy komfort użytkownikom obszaru.

1. WPROWADZENIE

Zrównoważony rozwój obszarów zabudowanych wiąże się z ich wielofunkcyjnością, kształtowaniem warunków dla różnorodnej działalności z równoczesnym formułowaniem programu ochrony środowiska, rozwojem funkcji społecznych i kulturalnych oraz dbałości o zapewnienie mieszkańcom warunków życia na właściwym poziomie. Zintegro-

wane podejście do planowania zagospodarowania przestrzennego z uwzględnieniem czynników zrównoważonego rozwoju oznacza w tym przypadku interdyscyplinarność wykorzystywanej wiedzy, wywodzącej się z szeregu dziedzin, jak np.: budownictwo ekologiczne, lokalne systemy zaopatrzenia w energię, kształtowanie klimatu wiatrowego (Aerodynamika Środowiska). Zagadnienia planowania przestrzennego nurtujące urbanistów, jak np. optymalne rozmieszczenie osiedli mieszkaniowych lub wytyczanie ciągów komunikacyjnych to integralny element planowania stanowiący oddziaływanie na lokalne warunki wiatrowe (Rys. 1).



Rys. 1. Zintegrowane podejście do planowania przestrzennego [2]

Fig. 1. The integrated approach to spatial planning [2]

Kształtowanie lokalnego klimatu wiatrowego obszarów zabudowanych, w celu zapewnienia wysokiej jakości życia ich mieszkańcom, jest jednym z kluczowych czynników zrównoważonego rozwoju miast i powinno stać się integralnym elementem planowania przestrzennego. Miasta i osiedla składają się z regularnie rozłożonych obiektów o zbliżonych rozmiarach zagadnienia komfortu pieszych analizowane są najczęściej dla fragmentów rzeczywistych obszarów zabudowanych. Obecność budynków w istotny sposób zmienia lokalny klimat zewnętrzny w miejscu jego usytuowania. Do czynników, które składają się na zewnętrzny klimat budynków należą między innymi od: kształt, wymiary i orientacja budynków względem kierunku napływu wiatru, interakcja z bu-

dynkami sąsiednimi lub innymi obiektami w otoczeniu, jak np. drzewa czy elementy małej architektury, zanieczyszczenie powietrza, unoszonych z wiatrem kropli deszczu oraz nasłonecznienie.

Nieprawidłowe konfiguracje obiektów w strefie zabudowanej prowadzą do niekorzystnych dla ludzi warunków wiatrowych zwanych dyskomfortem, a objawiających się:

- lokalnymi strefami ciszy wiatrowej (obszary zastoju pozbawione możliwości naturalnej aeracji),
- lokalnymi strefami silnych podmuchów o dużej prędkości wiatru i wysokim poziomie jego turbulencji prowadzące do odczucia dyskomfortu a nawet zagrożenia pieszych, ale również strat cieplnych w budynkach, czy uszkodzeń strukturalnych budowli,
- obszarami o obniżonej prędkości wiatru, co powoduje kumulowanie się zanieczyszczeń różnego pochodzenia, jak spaliny samochodowe, kurz, gazy przemysłowe, odory,
- niedostatecznym doświetleniem budynków oraz/lub zacienianiem otoczenia przez budynki,
- nieprzyjemnymi efektami akustycznymi

Efektywne przewietrzanie (aeracja) obszaru jest więc niezbędne dla osiągnięcia czystości powietrza, ale zapewnienie właściwego komfortu wiatrowego jest nie mniej ważnym celem. Niezbędne jest zatem osiągnięcie kompromisu. Wszelkie poczynania i analizy mające na celu poprawę warunków życia mieszkańców również pod względem zdrowotnym i bezpieczeństwa winny mieć miejsce we wczesnej fazie projektowej, kiedy możliwe jest łatwe wprowadzenie korekt.

2. POJĘCIE KOMFORTU WIATROWEGO

Wpływ wiatru na pieszych zależy od wielu czynników: prędkości wiatru, temperatury i wilgotności względnej powietrza, stopnia nasłonecznienia, opadów atmosferycznych, wychłodzenia ciała, aktywności i czasu ekspozycji pieszych, wieku, płci, stanu zdrowia i innych. Sposób zabudowy (kształt i wysokość budynków, rozmieszczenie względem siebie, stopień zagęszczenia) może wpływać na tzw. komfort wiatrowy (wietrzny) przechodniów (ang. pedestrian level wind comfort). Istnieje kilka metod definiowania i charakterystyki stopnia komfortu wietrznego przechodniów, gdzie parametrami są: prędkość wiatru (maksymalna, średnia, ekwiwalentna itp.), temperatura powietrza i sposób aktywności pieszych, częstość pojawiania się wiatrów o określonej sile.

W praktyce ocenę komfortu pieszych przeprowadza się w oparciu o współczynniki zdefiniowane na znacznie mniejszej liczbie parametrów. Wymienić tu należy indeks określający wychłodzenie ciała (*WCI – Wind Chill Index*) [4] zdefiniowany na podstawie prędkości wiatru i temperatury powietrza oraz *Humidex* [5] – indeks bazujący na temperaturze i względnej wilgotności powietrza. Istnieje również możliwość oceny całkowitego komfortu pieszych wyłącznie w oparciu o wymagania stawiane w analizie aerodynamicznej obszaru zabudowanego. Z definicji komfortu wiatrowego brzmiące następująco: „*dyskomfort pieszych oznacza taką siłę oddziaływania wiatru i związane z tym nieprzyjemne odczucia, na tyle częste, że w zachowaniu ludzi pojawia się naturalna*

tendencja do schronienia się przed wiatrem” [1] wynika, że właściwe kryterium komfortu wiatrowego powinno zawierać określenie granicy dyskomfortu oraz stopnia prawdopodobieństwa przekroczenia tej granicy. Granicę dyskomfortu stanowi minimalna prędkość wiatru, przy której warunki wiatrowe noszą znamiona dyskomfortu i zapisywana jest najczęściej w postaci:

$$U_e = U + g \cdot \sigma_U \geq U_{THR} \quad (1)$$

gdzie:

U_e - prędkość wiatru [3],

U - średnia prędkość wiatru,

σ_U - odchylenie standardowe prędkości wiatru od wartości średniej (*RMS*),

U_{THR} - graniczna (*ang. threshold*) wartość prędkości stanowiąca granicę komfortu,

g - współczynnik turbulencji.

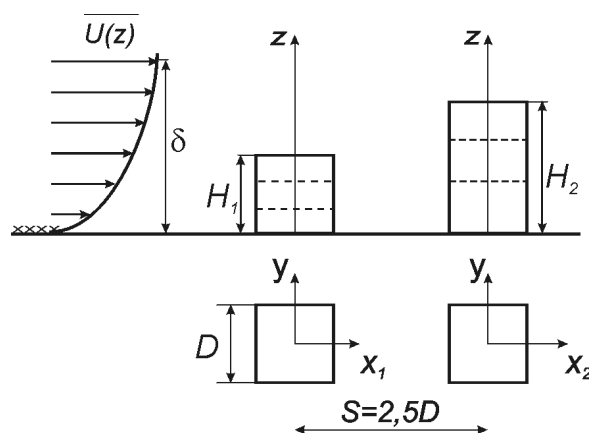
Wszystkie te wielkości dotyczą tzw. wysokości na poziomie pieszych tj. wysokości 1,75m nad podłożem. Niezwykle istotna staje się więc znajomość rozkładu prędkości wokół zabudowy zarówno istniejącej jak i projektowanej. Badania eksperymentalne w skali rzeczywistej i w tunelach aerodynamicznych były przez długi czas dominującym narzędziem stosowanym w celu scharakteryzowania przepływu w turbulentnej warstwie przyziemnej. Obecnie, dzięki dynamicznemu rozwojowi modeli matematycznych oraz postępowi technologicznemu, coraz powszechniej stosowaną metodą staje się symulacja numeryczna.

3. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA METOD MODELOWYCH

Techniki modelowe znajdują zastosowanie w wielu zagadnieniach inżynierii wiatrowej. Dzięki zastosowaniu eksperymentalnych i numerycznej analiz przepływu powietrza możemy określić warunki wiatrowe w istniejącym układzie zabudowy jak również przewidzieć zmiany wywołane wprowadzeniem nowych obiektów w istniejący układ osiedli mieszkaniowych. Przepływ powietrza w skali osiedla czy prostych struktur zabudowy jest zjawiskiem niezwykle złożonym. Na kierunek i prędkość strug powietrza wpływa bowiem zarówno sama zabudowa, jej wielkość, układ, jak również cechy podłoża czy turbulencja. Układ budynków może niekiedy wywoływać wzrost prędkości i burzliwości przepływu powietrza prowadząc do niekorzystnych zjawisk takich jak: dyskomfort wiatrowy, rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń czy straty ciepłe w budynkach. Jednocześnie budynki stanowią w pewnych sytuacjach barierę dla przepływającego powietrza, powodując problemy związane z przewietrzaniem obszarów zabudowanych. Zastosowanie technik modelowych pozwoliło uzyskać obrazy struktury przepływu wokół elementów zabudowy, które dostarczają cennych informacji na temat lokalizacji stref stagnacji powietrza oraz rejonów charakteryzujących się wyraźnym wzrostem gradientów prędkości.

Zmianę położenia obszarów dyskomfortu pieszych pokazano dla wybranej konfiguracji dwóch, ustawionych w jednej linii, obiektów o zróżnicowanej wysokości $H_1/H_2=0,6$ (Rys. 2). Odległość między elementami układu była stała i wynosiła $S=2,5D$. Rozpatrywany przypadek dotyczy napływu powietrza od strony niższego obiektu, co

skutkuje wystąpieniem tzw. efektu „down-wash”. Polega on na spływaniu po ścianie czołowej obiektu zawietrznego dużych mas powietrza, czego efektem jest silna cyrkulacja powietrza w przestrzeni między obiektami. Jak widać na rysunku 3 przedstawiającym wyniki powierzchniowej wizualizacji olejowej, największe zmiany pola przepływu obserwuje się więc w przestrzeni między obiektami oraz na zewnątrz układu obiektów. Technika powierzchniowej wizualizacji olejowej uznawana jest za przydatne narzędzie eksperymentalne wykorzystywane w detekcji charakterystycznych stref przepływu wiatru wokół przeszkód posadowionych na podłożu, a tym samym lokalizację stref ciszy wiatrowej i obszarów charakteryzujących się jej podwyższoną prędkością.

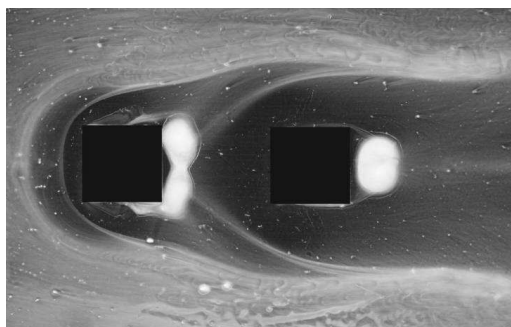


Rys. 2. Schemat rozpatrywanej konfiguracji obiektów w układzie tandem
Fig. 2. Schematic diagram of objects configuration in tandem arrangement

Rozwijane obecnie numeryczne metody modelowania przepływu wiatru w obszarach zabudowanych dostarczyć mogą dobrych narzędzi dla architektów i urbanistów. Zagadnienie detekcji stref dyskomfortu, uzyskanymi jako rezultaty symulacji numerycznych, omówiono przy zastosowaniu często cytowanego kryterium wiatrowego przyjmowanego dla strefy handlowej miasta $U_{THR}=6\text{m/s}$ [1]. Zakres i kształt obszarów dyskomfortu determinowany jest przez wiele czynników m.in. odległość między elementami, stosunek ich wysokości, stopień „zanurzenia” obiektów w warstwie przyściennej. W analizowanym układzie obszary charakteryzujące się wysokim dyskomfortem klimatu wiatrowego obejmują przestrzeń między obiektami oraz obszary zewnętrzne układu obiektów, co jest efektem zjawiska „down-wash”. Silna cyrkulacja powietrza stabilizuje przepływ między obiektami co prowadzi do prawie całkowitego wytlumienia oscylacji prędkości w przestrzeni między nimi ale z drugiej strony powoduje znaczny wzrost średniej prędkości przepływu przy gruncie a w konsekwencji wzrost dyskomfortu.

Podkreślić należy duży wpływ turbulencji, który uwzględniany jest poprzez parametr g – uwzględniający istnienie porywów losowych wiatru. Według pracy Bottemy i in. [1] wartość tego współczynnika przyjmowana w zakresie $3 < g < 4$ charakteryzuje

obszary o znacznej intensywności turbulencji (obszary zabudowane). W stosunku do przypadku referencyjnego $g=3,5$ (z uwzględnieniem porywów wiatru), pole powierzchni obszaru dyskomfortu wiatrowego wyznaczone wyłącznie na podstawie prędkości średniej ($g=0$) powoduje zawężenie obszarów dyskomfortu.



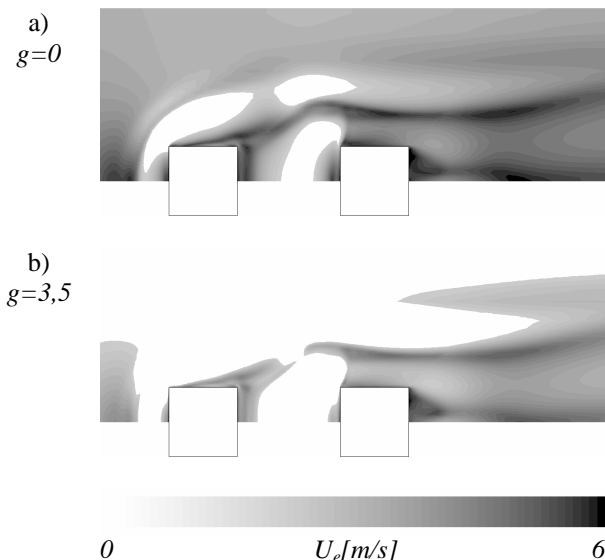
Rys. 3. Wyniki wizualizacji olejowej przepływu wokół konfiguracji dwóch obiektów w układzie tandem $H_1/H_2=0,6$.

Fig. 3. Results of oil flow visualization around two objects in tandem arrangement $H_1/H_2=0,6$.

4. PODSUMOWANIE

Badania eksperymentalne w skali rzeczywistej i w tunelach aerodynamicznych były przez długi czas dominującym narzędziem stosowanym w celu scharakteryzowania przepływu w turbulentnej warstwie przyziemnej. Dzięki dynamicznemu rozwojowi modeli matematycznych oraz postępowi technologicznemu, coraz powszechniej stosowanymi metodami są numeryczne metody modelowania przepływu wiatru w obszarach zabudowanych (dobre narzędzia dla architektów i urbanistów), przy czym celowym wydaje się połączenie symulacji numerycznych z metodami modelowania eksperymentalnego. W celu znalezienia rozwiązań optymalnych, niezbędna jest analiza dużej liczby układów przepływowych zależnych od wzajemnej konfiguracji obiektów budowlanych, ich geometrii i usytuowania względem napływu wiatru.

Efektywne przewietrzanie (aeracja) obszaru jest niezbędne dla uzyskania odpowiedniej jakości powietrza, ale z drugiej strony nie mniej ważnym celem jest zapewnienie właściwego komfortu wiatrowego pieszym czyli ograniczenie maksymalnej prędkości wiatru. Zazwyczaj problem zanieczyszczenia powietrza dotyczy obszarów osłoniętych tj. stref ciszy wiatrowej, w których występuje brak możliwości naturalnej aeracji, ale w których z kolei panuje wysoki stopień komfortu wiatrowego. Konieczne jest zatem osiągnięcie kompromisu. Dlatego dąży się do maksymalizacji obszarów o prędkościach wiatru gwarantujących zarówno odpowiedni komfort wiatrowy ale i dla odpowiedniej jego aeracji.



Rys. 4. Rozkłady prędkości wiatru (U_e) oraz położenie obszarów dyskomfortu na poziomie pieszych ($z/D=0.01$) dla kryterium prędkości $>6\text{m/s}$ dla dwóch wartości współczynnika amplitudy podmuchu: $g=0$ i $g=3,5$.

Fig. 4. Distributions of wind speed (U_e) and location of the discomfort of pedestrian level for the velocity criterion $>6\text{m/s}$ for two values of the gust amplitude factor: $g=0$ and $g=3,5$.

Przywiązywanie zbyt małej uwagi do warunków klimatycznych może doprowadzić do wielu problemów takich jak zanieczyszczenie powietrza, zbyt intensywny lub osłabiony dopływ promieniowania słonecznego, niedostateczne doświetlenie budynków. Wzmógłony przepływ powietrza w obrębie ulic, placów i innych przestrzeni miejskich staje się często przyczyną dyskomfortu pieszych, strat cieplnych w budynkach, czy uszkodzeń strukturalnych budowli. Niezwykle istotna staje się więc znajomość rozkładu prędkości wokół zabudowy zarówno istniejącej jak i projektowanej

Decydujące znaczenie w ocenie komfortu pieszych na podstawie analizy aerodynamicznej ma sposób definicji prędkości wiatru. Zasadniczy problem stanowi tutaj opis niestacjonarności wiatru, która przejawia się między innymi w podmuchach wiatrowych generowanych przez obiekty. Dlatego zasadnym wydało się przeanalizowanie wpływu turbulencji przepływu generowanych przez obiekty na dokładność oceny komfortu wiatrowego pieszych za pomocą modelowania numerycznego. Przeprowadzona w ten sposób analiza wpływu istotności fluktuacji przepływu na obszary dyskomfortu wskazuje, że istnieje możliwość oszacowania maksymalnej prędkości podmuchu wiatrowego poprzez analizę stacjonarną zjawiska przyjmując w definicji prędkości wiatru odpowiednią wartość współczynnika turbulencji g .

Dobór optymalnej konfiguracji elementów zabudowy zapewniającej właściwy komfort użytkownikom obszaru zabudowanego wymaga konieczności uwzględnienia większej liczby często sprzecznych kryteriów. Zmusza to do ustalenia priorytetu i nadania

każdemu z kryteriów odpowiedniej wagi. Połączenie symulacji numerycznych z wielokryterialnymi procedurami optymalizacyjnymi jest sposobem na stworzenie praktycznego narzędzia obliczeniowego, przydatnego w fazie projektowania zabudowy. Umożliwia ono modelowanie lokalnych warunków wiatrowych dla określenia położenia stref dyskomfortu wiatrowego oraz optymalizację warunków zabudowy dla przyjętych kryteriów komfortu pieszych z uwzględnieniem szeregu zmiennych decyzyjnych.

5. LITERATURA

- [1] Bottema M.; A method for optimization of wind discomfort criteria, *Building and Environment*, 35, 2000,
- [2] Jarża A., Huptas M.; Kształtowanie lokalnego klimatu wiatrowego jako elementu planowania przestrzennego obszarów zurbanizowanych, *Zrównoważone systemy energetyczne – monografia pod red. Waldemara Wójcika*; Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin, 2005,
- [3] Koss H. H.; On differences and similarities of applied wind comfort criteria, *J. of Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 94, 2006,
- [4] Soligo M.J., Irwin P.A., Williams C.J., Schuyler G.D.; A comprehensive assessment of pedestrian comfort including thermal effects, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 77&78, 1998, 3
- [5] Stathopoulos T.; Pedestrian level winds and outdoor human comfort, *J. of Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 94, 2006,

WIND COMFORT PROBLEMS IN BUILT-UP AREAS

SUMMARY

Wind comfort in an built-up areas may be affected by a wide range of parameters, including wind speed, air temperature, relative humidity, solar radiation, air quality, human activity, clothing level, age, etc. Several criteria have been developed in the wind engineering community for evaluating only the wind-induced mechanical forces on the human body and the resulting pedestrian comfort and safety. All existing criteria for wind comfort are absolute criteria, which specify the threshold values or comfort ranges for respective weather parameters. This article discusses issues of spatial planning built-up areas including wind comfort criteria. This paper will discuss the experimental and computational assessment of pedestrian level wind conditions in the urban environment.

Marek GOSZTYŁA, dr hab. inż. prof. PRz*

Lech LICHOLAŁ, dr hab. inż. prof. PRz**

Politechnika Rzeszowska

Zakład Konserwacji Zabytków*

Zakład Budownictwa Ogólnego**

ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów

e-mail: zbo@prz.edu.pl

MIEJSKA INFRASTRUKTURA WODOCIĄGOWA TWIERDZY PRZEMYSŁ

STRESZCZENIE

Budowa Twierdzy Przemyśl zaliczana jest do jednych z większych europejskich przedsięwzięć inżynierskich przełomu XIX i XX wieku. Zadania inwestycyjne realizowano z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć technicznych. Do znaczących infrastrukturalnych przedsięwzięć zaliczyć można wodociągi miejskie i kanalizację w garnizonie przemyskim. W niniejszym referacie przedstawiono osiągnięcia inżynierskie z zakresu infrastruktury wodociągowej na przykładzie ujęcia wodnego zlokalizowanego na stoku Winna Góra w przemyskiej dzielnicy Zasanie.

1. WPROWADZENIE

Budowę przemyskich wodociągów miejskich należy łączyć z datą 9 października 1890 roku, kiedy w miejscowej prasie „Gazeta przemyska” zamieszczono informację z posiedzenia Rady Miejskiej, na której omawiano między innymi sprawy dotyczące zaopatrzenia miasta w wodę. Po wielokrotnych interpelacjach kierowanych przez radnych do burmistrza, dopiero w roku 1892 podjęta została decyzja o budowie pierwszej studni próbnej w Prałkowcach.¹ Pierwsze badania hydrogeologiczne przeprowadził inż. Salbach z Drezna w roku 1893, wydając pozytywną opinię o możliwości budowy ujęcia wodnego w Prałkowcach. Dwa lata później zlecenie na budowę studzien w Prałkowcach otrzymała

¹ Kronika Wodociągów i Kanalizacji miasta Przemyśla od 1532 do 1975, Przemyśl luty 1975, s. 2-3.

firma Rumpel-Niklas z Cieplic. Zakład ten wykonał pierwsze projekty wodociągów.² Kolejne projekty wodociągów w latach 1897-1900 wykonywała firma Rumpel-Waldek.

2. LOKALIZACJA UJĘĆ WODY

W przemyskich dzielnicach: Zasanie oraz Zniesienie, znajdującej się powyżej Starego Miasta, technicy i inżynierowie w oparciu o wcześniejsze rozpoznania geologiczne wykonali ujęcia wodne na znajdujących się tam stokach. Warto dodać, że wzniesienia w tamtym okresie stanowiły zlewnie wodne. Wykorzystywano naturalne źródła wody ujmowane prostym systemem rur podziemnych i prowadzono kolektorami oraz omówionym w artykule akweduktem. Obiekty te zasilają infrastrukturę wojskową miasta.



Fot. 1. Akwedukt na Winnej Górze
Phot. 1. The aqueduct on Winna Góra

Do budowy systemu wodnego wykorzystano zlewnie wodne na naturalnych stokach: Winnej Górze oraz Zniesieniu, które dostarczały wodę do zespołów koszarowych, szpitali, magazynów, zakładów mięsnych i spożywczych. Wybudowany wojskowy wodociąg na Zniesieniu założony został na naturalnej zlewni wód stoku północnego. Ułożone rurki drenarskie dochodziły do studzienek, od których wyprowadzone rury kierowały gromadzoną wodę do odmulaczy i odstojników. Kolejnym ogniwem systemu wodnego był zbiornik tzw. wyrównawczy, który ulokowany powyżej zespołu miejskiego funkcjonował jak wieża ciśnień. Od tego zbiornika rurami woda prowadzona była do poszczególnych obiektów.³

² Tamże, s.4-5,

³ B. Motyl, Infrastruktura Twierdzy Przemyśl. Wodociągi Wojskowe. System dostawy wody, Rocznik Historyczno-Archiwalny, Przemyśl 2003, T.XVII, s.3,

3. UJĘCIE WODY NA STOKU WINNA GÓRA

Na Winnej Górze system ujęcia wody składa się z trzech obiektów. Na szczególne zainteresowanie inżynierskie zasługuje zachowany środkowy obiekt posiadający charakterystyczny akweduktowy kształt. Powyżej akweduktu znajduje się obiekt ujęcia wody, natomiast poniżej akweduktu w kierunku południowym zachował się obiekt pełniący funkcję odmulacza i odstojnika.

Część zasadnicza akweduktu jako obiektu jednoprzęsłowego wykonana została z betonu gruboziarnistego, pokrytego tynkiem wapiennym. Natomiast przyczółki wzniesiono z kamienia w postaci regularnego piaskowca łączonego spoinami wklęsłymi. Korona konstrukcji wyłożona została dobrze wypaloną cegłą ceramiczną. Lico korony konstrukcji posiada wykończenie muru o wątku główkowym.



Fot. 2. Korona akweduktu
Phot. 2. The Crown of the aqueduct

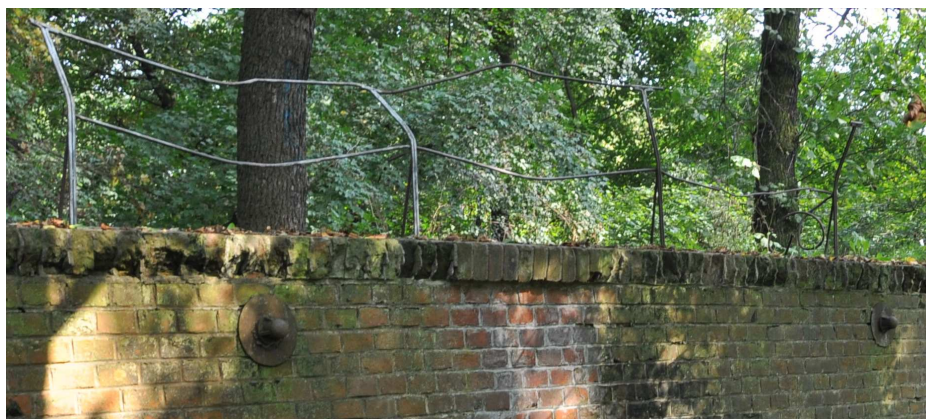
Cegły warstwy wieńczącej ułożone są na rąb. Na szerokość korony komponuje się 6 i 1/2 cegły (196 cm). Użyto cegieł o następujących wymiarach: długość 29,5 cm, wysokość 14 cm szerokość 7 cm. Grzbiet korony ukształtowany został w postaci łuku koszowego. Do łączenia cegieł użyto zaprawy wapiennej. Na ceglach zachowały się znaki identyfikacyjne: KKF. Grzbiety cegieł posiadają widoczne profilowania (ścięcia, które pozwalają zachować linię koszową).

Woda przepływała w rurach ułożonych w wykształconym korycie, w związku z tym budowniczowie wykonali podwójne sklepienia koron. Sklepienia wyższe oparte zostały na gzymsach (uskokach), z ceglami układanymi podłużnie do linii kanału.



Fot. 3. Grzbiet korona akweduktu
Phot. 3. The Edge of the crown of the aqueduct

Cegły tworzące łuk niższy układane są również prostopadle do linii kanału. Grubość ścian bocznych wynosi 44 cm (1 i 1/2 cegły).



Fot. 4. Stalowe kotwy i poręcze w koronie akweduktu
Phot. 4. Steel-handles and balustrades in the crown of the aqueduct

Grubość całego sklepienia o podwójnej warstwie cegieł wynosi 36 cm. Konstrukcje korony spinają stalowe kotwy w liczbie 6 sztuk na całej rozpiętości pomostu (fot. 4).

Badany akwedukt osłonięty został kasztanowcami, posadzonymi w układzie liniowym. Na koronie akweduktu zachowały się poręcze z prętów stalowych (fot. 4).

Znajdująca się poniżej stacja odmulaczy i odstojników wybudowana została w formie symetrycznej bryły, z której wyrastają kominy wentylacyjne. Do dwóch wejść prowadzą schody betonowe, płaszczyzny, których wzmocnione zostały stalowymi kątownikami

Powyżej akweduktu w kierunku północnym w odległości 60 metrów zachował się punkt poboru wody (*fol. 5*). Konstrukcja wybudowana została jako bryła symetryczna, trapezoidalna z wyprowadzonymi kominami wentylacyjnymi. Wewnątrz obiektu widoczna jest studzienka z poręczami przykryta stalowym włazem.



Fot. 5. Punkt poboru wody
Phot. 5. Point of the water intake

4. PODSUMOWANIE

Zachowany obiekt jest widocznym świadectwem budowlanej sztuki inżynierskiej wykorzystywanej przy wznoszeniu dzieł infrastrukturalnych Twierdzy Przemyśl. Obiekt spełniał należycie swoje zadanie, zaopatrując mieszkańców w wodę. Solidność wykonania pozwoliła na jego funkcjonowanie przez długie dziesiątki lat. Zastosowano materiały budowlane o należytych cechach technicznych. Obecnie obiekt, choć ukryty na zadrzewionym stoku Winnej Góry, jest atrakcją architektoniczną przemyskiej Twierdzy.



Fot. 6. Widok akweduktu w zadrzewionym stoku Winnej Góry
Phot. 6. The view of the aqueduct in the wooded slope of the Winna Góra

5. LITERATURA

- [1]. Motyl B., Infrastruktura Twierdzy Przemyśl. Wodociągi Wojskowe. System dostawy wody, Rocznik Historyczno-Archiwalny, Przemyśl 2003, T.XVII,
- [2]. Kronika Wodociągów i Kanalizacji miasta Przemyśla od 1532 do 1975, Przemyśl luty 1975,
- [3]. 90 lat Przemyskich Wodociągów 1919-2009, praca zbiorowa, PW i K Spółka z. o.o. w Przemyślu, Przemyśl 2009

THE MUNICIPAL WATER-SUPPLY INFRASTRUCTURE OF THE PRZEMYŚL FORTRESS

SUMMARY

Building of the Fortress Przemyśl is one of the greater European engineer realization of the turn XIX and XX age. Investment works were realized with the utilization of the newest technical successes. To significant infrastructural realization we can number municipal water-supplies and canalization system in the Przemyśl garrison. This paper introduce engineer successes connected with the water-supply-infrastructure on the example of the water intake situated on the slope Winna Góra in the Przemyśl district Zasanie.

Marek GOSZTYŁA, dr hab. inż. prof. PRz
Rafał OLESZEK, mgr

Politechnika Rzeszowska
Zakład Konserwacji Zabytków
ul. Wincentego poła 2, 35-959 Rzeszów
e-mail: gosztyla@prz.edu.pl

OBRAZ PRZEMYŚLA W ŚWIETLE NOWYCH DOKUMENTÓW

STRESZCZENIE

Prowadzone badania i poszukiwania dokumentów mających przybliżyć rozwój struktury miasta Przemyśla, co pewien czas przynoszą nowy zbiór dokumentacji, z którego stopniowo można odczytywać kształtowanie się organizmu miejskiego. Zamieszczone fragmenty źródłowe pozwalają wskazać kilka istotnych szczegółów-elementów w zmieniającą się przestrzeń miejską. Nowa tkanka miejska tworzona była w oparciu o nadawane przywileje, tworzone prawo, decyzje właścicieli dóbr ziemskich, czy wreszcie w wyniku dążeń mieszkańców do spełniania własnych zamierzeń, ambicji i aspiracji. Kłótnie i spory można uznać za jeden z czynników stymulujących przekształcenia tkanki miejskiej.

Z archiwaliów zebranych w wyniku kwerendy wyłania się mało znany do tej pory obraz Przemyśla. Być może dlatego, iż większość materiałów, które udało się wyszukać dotyczyło spraw sądowych i administracyjnych. Albo też, jest to wynikiem roli kościoła, dużo większej dawniej niż w dniu dzisiejszym. Niemniej biorąc pod uwagę profil „znalezisk” możemy XIX wieczny Przemyśl określić miastem kościołów, zakonów i polityki.

W poniższej prezentacji wyszukanych podczas kwerendy dokumentów przyjęto kryteria chronologiczne, o ile datowanie było możliwe, rozpoczęto je od kart najstarszych, jeżeli chodzi o kryteria ilościowe; jest to oczywiście wybór.

Cytując fragmenty znalezionych dokumentów pisownię starano się zachować oryginalną, tłumaczenie z łaciny jest autorskie.

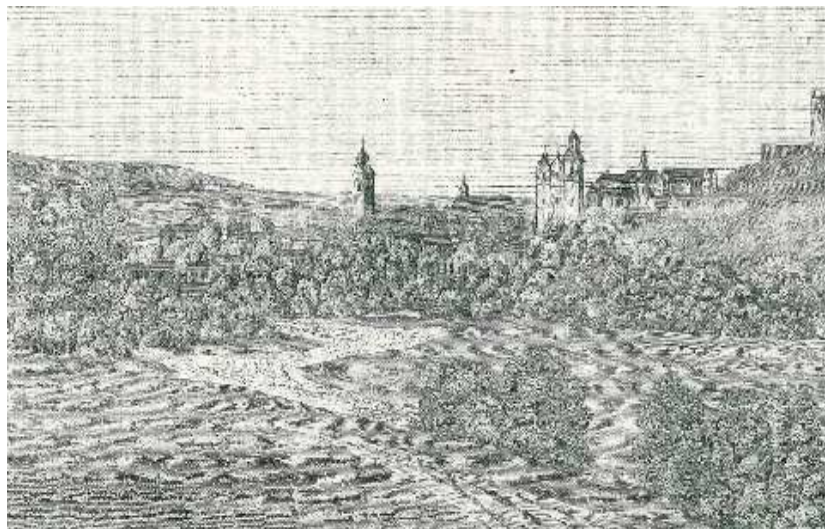
Gazeta *Przyjaciół dzieci*, dwutygodnik który w roku 1864 można było nabyć za 2 złote 50 centów, prowadziła cykl artykułów pt. *Znaczniejsze miasta krajowe*, który dziś scharakteryzowalibyśmy najprawdopodobniej jako rodzaj przewodnika turystycznego.

Autor wysiadając na stacji kolejowej w Przemyślu, rozpoczyna opis miasta Przemyśl tymi słowy: (...) *Za rzeką położony jest kościół i klasztor panien Benedyktynek. Jest tutaj szkółka dziewcząt, w której oprócz zwykłych naukowych przedmiotów, uczą także tego co potrzebnie kobiecie umieć przy gospodarstwie, mianowicie gotowania i ręcznych robót. Za świetnych czasów Przemyśla było tu więcej kościołów i klasztorów, obróconych dziś na składy rządowe lub upadłych. Okazały kościół mieli tu Jezuici, oprócz tego klasztory Dominikanów Misjonarzy, Dominikanek i Karmelitów. Dzisiaj pozostało tutaj tylko trzy zakony wyżej przytoczone: Reformaci, Franciszkanie i PP. Benedyktynki. Przemyśl jest siedzibą dwóch biskupów, rzymsko katolickiego i unickiego.*

Zamek przemyski i początki parku opisane są następująco: (...) *w dawnych więzieniach po Tatarach stoi dziś bilard i siedzą nad piwem. Na bastjonach, w dziedzińcu straży zamkowej wszędzie dziś szynki i tak odmienni ludzie. Nad jednymi drzwiami przybity jest napis: >>Wejść mospanie Na śniadanie! <<.*

Z omawianych zapisków o Przemyślu w „Przyjacielu dzieci” zachowało jedynie się kilka kart.

Przemyśl w Galicy nad Sanem opisywany jest także w *Przyjacielu Ludu*, periodyku drukowanym około 1838 roku w Lesznie. Ówczesny stan badań nad historią Przemyśla formułowany jest tymi słowy: *Przemyśl, dawniej stolica udzielnego księstwa, był jednym z najważniejszych miast w królestwie Galicy. Nestor w II. wieku wspomina o nim jako o wielkim grodzie ruskim. W roku 1098 dobywał go Koloman, król węgierski; w roku 1498 złupiony był i spalony przez Tatarów, których najazdy ponawiane w 1502, 1524 i 1575 niepokoiły przemyską ziemię.*



Rys. 1. Przemyśl w Galicyi nad Sanem, Przyjaciół Ludu No. 41, Leszno, 14 Kwietnia 1838 rok. Widok najprawdopodobniej od strony obecnego osiedla Kmiecice.

Fig. 1. Przemyśl in Galicia on the San river, People's Friend, No 41, Leszno, 14 April 1838. The view taken probably from the present Kmiecice housing estate's side.

Na uwagę zasługują również ciekawe informacje zamieszczone w *Gazecie Lwowskiej*, dotyczące miasta Przemyśla. Przykładowo w numerze z 22 sierpnia 1816 roku znaleźć możemy dane o początku przemyskiego sierocińca. Z dziale – Z Przemyśla – czytamy co następuje: *Jego Królewiczowska Mość najdosłojniejszy Arcyksiążę Austrijski Ferdynad D'Este raczył ofiarować 100 zr. mon. kon¹. Na stawiać się mający dom dla >>Instytutu sierot<< w Przemyśle, pod zarządem JMoi księdza Ziemiańskiego.*

Ważnym znaleziskiem są niewątpliwie *Actum Premislia*, dokumenty głównie z XVI, XVII wieku zapisane po polsku i łacinie; odszukano ich kilka – różnie datowanych – poniżej przedstawiono wybór niektórych spraw dotyczących miasta, które udało się na chwilę obecną odczytać.

Actum Premislia, Die Luna vigesima prima Marty, anno domini Millenio sexcentesimo sigesimna secundo². Testament Pani Reginy Barbary Bemuci sporządzony przez księdza Mikołaja Wąglikowskiego, będącego rektorem *Collegium Societatis* zapisujący wielebnym OO. Jezuitom folwark (z sadem i ogrodem, rolami i użytkami) nad Sanem na Przedmieściu Przemyskim. Testatorka przekazuje w nim też różne inne ruchomości, dobra.

W *Actum Premislia teria Tertia ante festum Sancta Catarina Virginis et Martyris proxima, Anno Domini Millesimo, Sexcentesimo, Vigersimo Septimo³.* Znajdujemy m.in. informację *Burmistrz y Rayca Miasta Przemyśla komu to wiedzieć należy, wszem i wobec y każdemu z osobna czynimy iż przychylając się do przywilejów królewskich mości Pana naszego miłościwego (...).* Materiały te należały do miasta, jak wynika z treści dokumentu miały zostać spożytkowane na naprawę murów, bramy i baszty „szewskiej”; a zostały przywilejem królewskim przyznane na naprawę kościoła OO. Jezuitów.

Zachował się także spis dekanatów i kościołów w 1723, istniejących w roku 1646 w Diecezji Przemyskiej. Stan ten przedstawiał się następująco: Przemyski z 17 kościołami, Jarosławski z 19, Krośnieński z 16, Sanocki z 21, Samborski z 21, Mościcki z 13, Leżajski z 14, Dynowski z 13, Rzeszowski z 20. Razem w diecezji 9 dekanatów 158 kościołów.

Spis ten to zaledwie 2 kartki, mamy jednak podstawy sądzić iż był on sporządzony przez OO jezuitów, świadczą o tym litery O. A. M. D. G. stanowiące dewizę Jezuitów (*Ad maiorem Dei Gloriam⁴*) umieszczone na końcu strony.

OO. Jezuiti odgrywali dużą rolę w mieście Przemyśle. Ich historia jest powszechnie znana i nie wypada jej w tym miejscu powtarzać, warto jednak przytoczyć kilka – być może nowych – faktów, odnalezionych w omawianych dokumentach.

W drugiej połowie XIX wieku Przemyśl nawiedziła powódź, która zerwała most nad rzeką San. Odnaleziona została karta tytułowa zbioru o nazwie: *Zbiór tańców na fortepian skomponowanych i ofiarowanych J.O. Księżnie Jadwidze Sapieżynie z hrabiów*

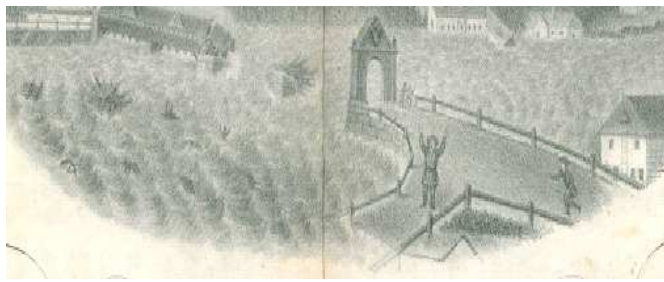
¹ Chodzi najprawdopodobniej o 100 koron w złotych monetach

² Akta przemyskie, pierwsza kwadra Marca, roku pańskiego tysiąc sześćset siedemdziesiątego drugiego

³ Akta przemyskie, trzecia niedziela po święcie świętej Katarzyny dziewicy i Maryi świetlis-
tej/chwalebnej?

⁴ Na większą chwałę Boga

Zamoyskich przez Józefę z Korodyskich Kęszyckę. *Na korzyść ubogich*. Przedstawiająca to wydarzenie ilustracja – o wspomnianej karcie tytułowej znajduje się poniżej.



Rys. 2. Zerwany w wyniku powodzi most na rzece San w Przemyślu, widok od strony obecnego kościoła SS. Benedyktynek.

Fig. 2. Bridge washed away as a result of flood on the San rive. The view taken probably from the present Benedictine Church' side.

Księżna Jadwiga Sapieżyna (ur. 9 lipca 1806, zm. 1890) o której mowa, córka Stanisława Kostki Zamoyskiego prowadziła zakrojoną na szeroką skalę działalność charytatywną – na rzecz ubogich.

Sprowadziła się ona do Krasiczyna po powstaniu styczniowym w roku 1864, można więc domniemywać, że wspomniana powódź miała miejsce w latach 1864-1890. Zbiór tańców zaś - o karcie tytułowej wymienionej powyżej - sporządzony i ofiarowany został *na korzyść ubogich*, tj. powodźnian.

Uwieczniony został także wizerunek miasta Przemyśla w tych latach (w górnej części karty). Widać na nim – od lewej – Kościół OO. Franciszkanów, Katedrę Przemyską i Zamek Królewski. Poniżej znajdują się kamienice – aż do rzeki San.



Rys. 3. Widok na miasto Przemyśl w latach 1864-1890 d strony obecnego kościoła SS Benedyktynek.

Fig. 3. View of Przemyśl between 1864-1890 taken from from the present Benedictine Church' side.

Zachowały się także dokumenty procesowe, a dokładniej przesłuchanie publiczne i szczegółowe świadków w sprawie sporu o drogę między OO. Jezuitami i Karmelitami. Zapiski te są bardzo szczegółowe, pozwalają z dużą dokładnością oddać ówczesny stan miasta. Warto przytoczyć wybrane fragmenty (archaizmy i błędy w pisowni są oryginalne):

*Interrogatoria specialia*⁵. W pierwszej części przesłuchania szczegółowego świadek odpowiada na pytania dotyczące drogi od obecnego placu na Bramie, w górę ulicą Władycze aż do obecnego kościoła Ojców Karmelitów – prawdopodobnie w celu ustalenia własności nieruchomości przy tej drodze się znajdujących. Tekst pisany jest odręcznie, niezbyt wyrazie, kopista popełnił także kilka błędów (zachowanych w oryginalnej pisowni poniżej), m.in. w liczebnikach rozpoczynających kolejne paragrafy.

Primo: Jeżeli świadek nie pamięta, jako z dawna ojcowie Jezuiti trzymają te wszystkie place między Kościołem Karmelitańskim, a między niezą? Krawiecką aż do Bramy? Przy tej wieży. Causa scientia.

Secundo: Jeżeli na tych placach były domy takie przedtem? Jeżeli te domy ciągnęły się wzdłuż od drogi idącej od stary na władycze, aż do tej drogi pod wałem i murem? Także jeżeli przy tych domach w tyle były ogródki i drzewa sadowe, y gdzie się domy podziały? Causa scientia.

Tertio: Jeżeli świadek nie pamięta, jako te obiedwie drodże, to jest jedna między wałem y murem, a druga idąca od fary ku Władyczowi szerokie były na jeden czy na dwa fenze? Causa scientia.

Quattro: Jeżeli świadek nie pamięta, że po kupili że place Ojcowie Jezuiti z dawna zażywali ich, najmując domy, składając drewna, materię y cegły na murowanie kościoła swego. Causa scientia.

Qwintis: Jeżeli świadek nie pamięta że Ojcowie Jezuiti bronili i niedopuszczali Ojcom Karmelitom wioząc drzewo na swój kościół, y materię składać na tych placach. Causa scientia.

Quatro: Jeżeli świadek nie pamięta. Że na tym miejscu gdzie teraz jest obmurowanie koło Klasztoru Franciszkańskiego idąc ku Wujtowstwu był parkan drewniany przed ogniem miasta w roku 1638, czyli też mur taki jaki teraz jest. Causa scientia.

Quinto: Jeżeli świadek nie pamięta że Ojcowie Jezuiti, swego własnego gruntu ustąpili Ojcom Karmelitom żeby była szersza ta droga, i szersza ścieżka do ich Kościoła i Klasztoru. Causa scientia.

Septo: Jeżeli świadek nie pamięta, że Ojcowie Karmelici jako z dawna mieli, tak i teraz mają dość przestronne przejście do Kościoła i Klasztoru Causa scientia.

Septimo: Jeżeli świadek nie pamięta że około tej drogi była taka Commisja między Ojcami Karmelitami a Jezuitami że jako dawno! Na czym się skończyła albo na czym nie skończyła, jeżeli sznuru jakiego mierniczego używano na tej Commisji y od którego i do którego miejsca y znaku sznur na ten czas prowadzono przy Komijasach? Causa scientia.

*Interrogatoria generalis gremium Inter alia*⁶. Druga część to przesłuchanie publiczne, wobec gremium. Przesłuchanie zmierza do ustalenia granic i przebiegu drogi

⁵ Przesłuchanie szczegółowe

⁶ Przesłuchanie generalne gremium wobec wszystkich

zmierzającej ku kościołowi OO. Karmelitów. *Interrogatorium specialis ad presentem Causam*.⁷

Primo: Jeżeli świadek nie pamięta ulicę y drogę która idzie od Ojców Franciszkanów w górę na Władycze, y ku kościołowi Karmelickiemu? Causa scientia.

Secundo: Jeżeli świadek nie y pamięta, jako ta ulic ay droga była szeroka czyli na ieden tylko morg? czyli szersza? Jeżeli przy tej drodze była ścieżka jaka, y jeśli ta ścieżka tak szeroka była przedtem jako jest teraz ? Y jeśli była przedtem z dawna brukowana ? Jako jest teraz? Causa scientia.

Tertio: Jeżeli świadek nie y pamięta, skąd się ta ścieżka szeroka y brukowana wzięła? Kto ją brukował? Y dawno to brukowanie? Skąd się te wierzby wzięły przy tej drodze? Y dawno? Y na co? Jeżeli ścieżka była jaka tam, gdzie teraz są schody do kościoła Karmelitańskiego? Causa scientia.

Septio: Jeżeli świadek nie pamięta albo słyszał że między Ojcami Karmelitami a Jezuitami była zdawna jaka Intercyza albo kontrakt około tych dróg, gruntów, placów, Które sobie byli Ojcowie Jezuita podarowali? dobrze przed tym niżeli Ojcowie Karmelici Przyszli do Przemyśla. Causa scientia.

Septmo: Jeżeli świadek nie pamięta że Ojcowie utrzymywali wszystkie place y grunty y drogi jako z dawna, także i do tych czasów utrzymują i onych zażywają. Causa scientia.

Jak z tych fragmentów wynika, klasztory toczyły spór o granice parcel.

Stan dóbr majątkowych OO. Jezuitów można oszacować także na podstawie dokumentów niezależnych, tj. pisma komisarzy odpowiedzialnych za zaopatrzenie wojska na zimę - z 1710 roku: *My komisarze od wybierania Hybernij od Rzepitej wyznaczeni dobra duchownych Ojców Jezuitów Przemyckich od Dydaczyn? (...) Leżące stanowią się do prawa o Hybernij napisanego. Ilość i stan dóbr jest tu adekwatny do ich obłożenia podatkiem. W tym wypadku jest to złotych polskich 103 dla pierwszej wymienionej wsi, inne kwoty są dla dalszych.*

Interesującym znaleziskiem jest dokument pożyczki udzielonej przez kahał w Przemyśle, decyzją sądu grodzkiego udzielonej „*Panom Filozofom Przemyckim*”, oddający dość dobrze relacje społeczne w mieście w okresie swego sporządzenia. *My niżej na podpisie wyrażenie zeznajemy tą asekuracją daną w ręce Ich mościom Panom Filozofom Przemyckim iż zadość czyniąc powinności naszej bożnicy przesądzonej decyzją Grodu Przemyckiego, a teraz wiedząc w Roku Tysięcznym Siedemsetnym Czterdziestym Szóstym, Dnia Dziesiątego Lipca (...) złotych pięć każda para,*

Dalej, z archiwalnych dokumentów związanych *stricte* z prawem i nieruchomościach zachował się kontrakt najmu lokalu w kamienicy, czy też raczej wzór kontaktu dla lokatorów (o czym świadczą puste pola na wstawienie danych osobowych) z 1863 roku, WP. Franciszka Ichanowicza regulujący kwestię opłat za czynsz, korzystanie z ogródka i piwnicy i inne.

⁷ Przesłuchanie szczegółowe w przedstawionej sprawie

Odnaleziono także wyciąg z metryki gruntowej Przemysł Błonie, z opisem sporu, który toczył się przed sądem w roku 1820, pomiędzy miastem a *martroną mieszkającą na zasaniu*. Przedmiotem sporu była dzierżawa *praczkarni i karczmy na Bakończycach*.

Liczbę ludności zamieszkałą w ówczesnym czasie w gminie miejskiej Przemysł, jej majątek oraz roczne dochody możemy oszacować na podstawie dokumentu, z 22 listopada 1866, którym jest petycja do *Wysokiego Sejmu o udzielenie jej⁸ osobnego statutu*. Zalety gminy przedstawione są tam następująco⁹: (...) *że miasto Przemysł liczy przeszło 10.000 ludności, posiada majątek zwyż 500.030 zh. i ma rocznego dochodu blisko 70.000 ztr., jest rezydencją iwóich biskupów i połączonych z ten wysokich władz i dygnitarzy kościelnych; jest siedzibą wielu władz rządowych, że nadto posiada liczne zakłady naukowe i dobroczynne; wreszcie, że położone przy kolei żelaznej i przy spławnej rzece Sanie, ma handel i przemysł znamienity, który wobec projektowanej nowej drogi żelaznej do Węgier na przyszłość znacznie podnieść się może.*

Jak widać ówcześni rajcy¹⁰ miejscy przedstawili nie tylko aktualny stan majątkowy i liczbę ludności w gminie, ale także określili perspektywy jej rozwoju.

Przemysł miał także prawo *obierania własnego posła na Sejm krajowy* – był zaliczany do znaczniejszych miast w kraju.

Interesujący może się wydać także sam sposób obierania statutu, a mianowicie: (...) *Co się tycze przedłożonego przez gminę miasta Przemysła projektu statutu, ten komisya znalazła zgodny z projektami statutów dla miast Tarnowa i Rzeszowa, — a przeto porobiła w nim te same zmiany, i w ogóle nadała mu ten sam ustrój, jaki mają statuta wspomnianych miast, tylko z zachodzącą różnicą nazwisk.*

Pochodzenie statutu gminy miasta Przemysła zostało, jak widać, ukazane tu w zupełnie nowym świetle.

Petycja zakończona jest prośbą o uchwalenie tegoż statutu w prezentowanej formie: *Wysoki Sejm raczy gminie miasta Przemysła przyznać osobny statut, i takowy podług statut dla miasta Rzeszowa, z odmianami tu wskazanemi, uchwalić.*

Podsumowując powyższe stwierdzić należy, iż większa część odnalezionych dokumentów wymaga jeszcze sporego wkładu pracy w celu opracowania umożliwiającego bliższe się z nimi zapoznanie, tj. przepisania i umiejscowienia w czasie. Osobny problem stanowią teksty łacińskie, w których to zapisane są najstarsze z dokumentów. Osoby zapisujące wspomniane dokumenty posługiwały się najczęściej językiem – dla siebie – potocznym. Łacina, którą władały daleka jest od łaciny klasycznej, sporo w niej błędów oraz zapożyczeń z innych, najczęściej – ze zrozumiałych względów – niemieckiego, polskiego i rosyjskiego, języków. Jako taka też jest trudna w interpretacji.

Ważną część zbioru stanowią dokumenty urzędowe, formalne. Składają się na nie m.in. taryfy celne, różnego rodzaju spisy mienia i majątków (szczególnie dla Kolegium Przemyskiego), inwentarze stanu, rozporządzenia urzędowe. Gro ich zapisane jest,

⁸ Tu: Gminie

⁹ Pisownia oryginalna

¹⁰ Dokument sygnowany jest przez Przewodniczącego Komisji p. Rutowskiego, oraz przez sprawozdawcę, p. Czajkowskiego

z wspomnianych już powodów historycznych, w języku niemieckim. Pochodzą one w większości z XVIII i XIX wieku.

Powyższa próba prezentacji zebranej w wyniku kwerendy dokumentacji odnosi się do archiwaliów odnalezionych w zbiorach określanych jako tzn. *Teki Schneidera*¹¹, znajdujących się w posiadaniu Archiwum Państwowego w Krakowie, filii Wawel. Z przyczyn obiektywnych nie uwzględniono w niej archiwaliów odnalezionych w wyniku kwerendy przeprowadzonej w innych archiwach.

THE PICTURE OF PRZEMYSŁ IN THE LIGHT OF NEW DOCUMENTS

ABSTRACT

The research which is carried out as well as the process of seeking documents concerning the development of the structure of Przemysł, from time to time bring a new set of documentation, from which there can be progressively read out the shape of the urban organism. Fragments which are found in the source texts give important details-elements of urban space which is constantly changing. The new picture of city life was created on the basis of privileges given, law which was then created, the decisions of landowners, and finally as a result of eagerness of residents to meet their own goals, ambitions and aspirations. Quarrels and disputes among city dwellers can be considered as one of the factors that stimulated the transformation of the urban structure of the town.

¹¹ Od nazwiska profesora który owe zbiory archiwum zapisał

Mirosława GÓRECKA, dr inż. arch.

SGGW

Katedra Budownictwa i Geodezji

ul. Nowoursynowska 166. 02-787 Warszawa

e-mail: mirosława_gorecka@sggw.pl

NURT TRADYCYJONALNY W ARCHITEKTURZE DOMU NISKOENERGOCHŁONNEGO

STRESZCZENIE

W artykule na wstępie wyjaśniono pojęcie budynku niskoenergochłonnego. Następnie przedstawiono nurt tradycyjny charakteryzujący architekturę regionalną uzupełnianą dodatkowo nowymi elementami systemów niskoenergochłonnych. Reprezentowany jest on przede wszystkim przez budynki o racjonalnej charakterystyce termoenergetycznej zachowujące społecznie akceptowalny poziom nakładów finansowych. Analizę architektury nurtu tradycyjnego przeprowadzono na wybranych przykładach budynków niskoenergochłonnych zrealizowanych w Niemczech i w Polsce.

1. WPROWADZENIE

W drugiej połowie XX wieku pojawił się nowy rodzaj budownictwa, jak twierdzi L. Laskowski niezbyt trafnie określany mianem „energooszczędnego” (a raczej niezbyt trafnie przetłumaczony na język polski), o zmniejszonym zużyciu energii i wykorzystującym odnawialne źródła energii dla pokrywania potrzeb energetycznych. Jego cechą jest raczej niskoenergochłonność, czyli relatywnie niskie zapotrzebowanie na energię w okresie całego cyklu życia technicznego budynku tj. od pozyskania surowców i materiałów poprzez transport i budowę, na eksploatacji i likwidacji kończąc. Niskoenergochłonność budynku powinna więc prowadzić do traktowania go w szerokiej kategorii dom, czyli system, ponieważ obiekt powinien być traktowany jako całość, a o jego efekcie eksploatacyjnym powinien decydować łączny bilans energii, a nie poszczególne składniki.

Pojęcie „budynek energooszczędny” znane stosunkowo od niedawna, w polskich przepisach jeszcze nie jest jednoznacznie i ostatecznie zdefiniowane. Termin został wprowadzony do polskiej literatury technicznej pod koniec XX wieku z przetłumaczenia z języka angielskiego pojęcia „low energy house – LEH”. Zazwyczaj terminem tym określa się budynek, który nie przekracza ustalonej obligatoryjnie granicznej wartości wskaźnika EP,

określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia.

L. Laskowski, w celu ujednolicenia terminologii oraz ułatwienia dokonywania oceny charakterystyki termoeenergetycznej, przedstawia interesujący podział budynków mieszkalnych na kategorie uzależnione od wartości współczynnika E. Zaproponowana klasyfikacja odnosi się bezpośrednio do sezonowego zapotrzebowania na ciepło, w której za poziom odniesienia przyjęto graniczne wartości wskaźnika E0, jako kryterium prawnie obowiązujące. Od 2009 r. obowiązuje w Polsce wspomniany wcześniej wskaźnik EP. Można się domyślać, że już wkrótce powstanie nowa klasyfikacja kategorii budynków mieszkalnych uzależniona od jego wartości.

Charakterystyka energetycznych standardów budownictwa obejmuje budynki: substandardowe (BUSS), standardowe (BUST), o racjonalnej charakterystyce termoeenergetycznej (BURT) oraz o zminimalizowanych potrzebach cieplnych (BUMQ).

Wymienione kategorie budynków uzależnione od charakterystyki termoeenergetycznej mogą mieć różny wpływ na ich architekturę, a więc wiążą się z trudniejszymi do oceny zagadnieniami kontrowersyjnymi estetyczno-formalnymi. W artykule przedstawiono nurt tradycyjny charakteryzujący architekturę regionalną, uzupełnianą dodatkowo nowymi elementami systemów niskoenergochłonnych i reprezentowany przede wszystkim przez budynki o racjonalnej charakterystyce termoeenergetycznej.

Upowszechniająca się architektura budynków niskoenergochłonnych w wielu krajach i pod różnymi szerokościami geograficznymi, pozwala zauważyć różnicowania regionalne, pomimo stosowania podobnych rodzajów rozwiązań niskoenergochłonnych. Wdrożone rozwiązania zagraniczne pokazują, że ograniczanie energochłonności nie musi oznaczać utraty tradycyjnego charakteru budynku i z powodzeniem może podbudować indywidualny charakter regionalnej architektury. Przykładem mogą być interesujące rozwiązania domów wiejskich w Niemczech, Austrii, Szwajcarii, Szwecji, Francji i Holandii. Szeroko znane są badania prowadzone w tej dziedzinie na Wydziale Architektury Uniwersytetu w Stuttgarcie gdzie wprowadzono również zasady ekologiczne do planowania urbanistycznego.

2. FORMY TRADYCJONALNE ARCHITEKTURY W ASPEKCIE CHARAKTERYSTYKI TERMOENERGETYCZNEJ BUDYNKU

Budynek o racjonalnej charakterystyce termoeenergetycznej (BURT) zachowuje społecznie akceptowalny poziom nakładów finansowych. W Polsce jest on, jak wspomniano wcześniej, często określany mianem „energooszczędny”. Według L. Laskowskiego za charakterystykę racjonalną należy przyjąć wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło na poziomie $E < 0,7E_0$. Warunkuje to obniżenie wskaźnika E o co najmniej 30% w stosunku do wartości granicznej. W Polsce umownym standardem budownictwa niskoenergochłonnego można określić tzw. standard Muratora, charakteryzujący rozwiązania ekonomiczne, wypracowane m.in. na podstawie konkursów. Rekomenduje on współczynniki przenikania ciepła przez obudowę zewnętrzną na poziomie niższym od zawartych w aktualnych normach i otrzymane w wyniku rachunku ekonomicznego. Budynki o racjonalnej charakterystyce termoeenergetycznej cechuje dobra izolacja termiczna, szczelność i wyposażenie w system kontrolowanej wentylacji, co wiąże się ze zwiększonymi kosztami, lecz akceptowanymi przez

przeciętnie zamożnych inwestorów. Z czasem budynki tej kategorii stają się budynkami standardowymi.

Do wyodrębnionej kategorii budynków BURT można zakwalifikować: budynek superizolowany (BUSI), charakteryzujący się wskaźnikiem $E \leq 0,5E0$ i kładący nacisk na bierną ochronę ciepłą pomieszczeń oraz budynek helioaktywny (BUHA), charakteryzujący się wskaźnikiem $E \leq 0,4E0$ i przystosowany do pasywnego, semiaktywnego, a także aktywnego wykorzystania słonecznych zysków ciepła.

R. Wnuk, w zależności od ilości potrzebnego oleju opałowego potrzebnego do pokrycia zapotrzebowania na energię, wyszczególnia w grupie budynków BURT budynek 3-litrowy, który jest kolejnym krokiem w dążeniu do ograniczenia energochłonności energetycznej budynków. Zużywa on 3 litry oleju opałowego na 1 m² powierzchni mieszkalnej w ciągu roku co odpowiada zużyciu około 30 kWh/m² (dokładnie 28,9 kWh/m² przy wartości opałowej oleju 43 400 KJ/kg). Standard budynku 3-litrowego osiągany jest m.in. dzięki bardzo dobrej izolacji termicznej, wentylacji mechanicznej z rekuperacją oraz odpowiedniej szczelności powłoki.

W ostatnich latach coraz częściej nagłaśniana jest koncepcja tzw. domu pasywnego, który jest rozwinięciem idei domu niskoenergochłonnego. W zależności od lokalnych uwarunkowań i priorytetów, jest to obiekt w różnej proporcji łączący w sobie cechy kategorii BUSI, BUHA, a nawet BUMQ. Dom pasywny jest coraz popularniejszy w Europie. Standard wznoszenia obiektów budowlanych wyróżniają głównie bardzo dobre parametry izolacyjne przegród zewnętrznych oraz zastosowanie wielu rozwiązań minimalizujących zużycie energii w trakcie eksploatacji. Koncepcja domu pasywnego polega na bardzo zaawansowanej integracji budynku z jego infrastrukturą techniczną, co ma zminimalizować, a w przyszłości z pewnością i wyeliminować potrzebę korzystania z konwencjonalnych źródeł energii. Ponieważ rozwiązania architektoniczne domów pasywnych są zawsze podporządkowane oszczędnościom energetycznym, mocno akcentując wymogi technologiczne i instalacje systemów energooszczędnych, dlatego reprezentowane są one częściej przez formy tzw. energooszczędnego formalizmu. Nurt ten charakteryzuje budynki wyrafinowaną, obcą naturze człowieka architekturą, śmiałą konstrukcją oraz nowatorską technologią budowlaną, często nie uwzględniającą walorów estetycznych.

Niskoenergochłonne budynki reprezentujące formy tradycyjne w architekturze można również traktować jako niskoenergochłonne domy dostępne, pomimo, że intuicyjnie wyczuwa się sprzeczność wynikającą z faktu, iż zapewnienie określonej energooszczędności wymaga poniesienia z tego tytułu nieuniknionych nakładów inwestycyjnych na środki ją warunkujące (urządzenia, materiały). Dostępność domów należy przecież rozumieć jako realną możliwość nabycia na własność i użytkowania przy niewygórowanych kosztach eksploatacyjnych budynków przez średnio zarabiających obywateli, często określanych mianem przedstawicieli klasy średniej. Budynki mogą być nowoczesnymi domami dostępnymi i jednocześnie niskoenergochłonnymi. Ten racjonalny kompromis jest uzyskiwany między poziomem energochłonności budynków a ich dostępnością, czyli między: minimalizowaniem wszystkimi sposobami i za każdą cenę zapotrzebowania na ciepło do granic aktualnych możliwości technicznych oraz realnymi możliwościami finansowymi zainteresowanych takim rodzajem indywidualnego budownictwa inwestorów, będącymi pochodną stopnia zamożności określonego społeczeństwa. Doświadczenie

pokazało, że zapotrzebowanie na energię w budynkach pasywnych może być nawet ośmiokrotnie mniejsze, niż w tradycyjnych wznoszonych według obowiązujących aktualnie norm. Dom pasywny ma być podobno domem „dostępnym” cenowo, ponieważ rezygnuje się w nim z osiągnięcia zerowego zapotrzebowania na energię do ogrzewania upraszczając systemy energetyczne. Jednak obecna rzeczywistość indywidualnego budownictwa mieszkaniowego w Polsce, w tym ograniczona zdolność kredytowa większości potencjalnych inwestorów, nie sprzyja szybkiemu upowszechnieniu tak zdefiniowanego wcześniej standardu budynku. Oczywiście nie przekreśla to jednak szans jego wdrożenia w przyszłości. Pocieszającym jest fakt, że w Polsce rośnie świadomość energetyczna, a inwestorzy indywidualni poszukują nowych rozwiązań. Dostępne są również materiały, które można zastosować w realizacji domów pasywnych, a także podejmowane są próby pierwszych realizacji. Niestety rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne oraz technologiczne domu pasywnego są jeszcze na polskim rynku zdecydowanie droższe od tradycyjnych.

3. WSPÓŁCZESNE PRZYKŁADY ARCHITEKTURY TRADYCYJNALNEJ DOMÓW NISKOENERGOCHŁONNYCH

Budynki niskoenergochłonne, zrealizowane głównie w Europie Zachodniej prezentują struktury architektoniczne nawiązujące do klimatu oraz środowiska naturalnego i kulturowego miejsca swego zlokalizowania. Niektóre z tych rozwiązań kładą duży nacisk na wykorzystanie naturalnego ukształtowania terenu. Odsłonięte są tu często elewacje południowe w celu biernego wykorzystania energii słonecznej, a zasypane gruntem ściany północne a nawet dach. Zaprojektowane są tak, by mieszkając poza miastem, można było korzystać ze współczesnych wygod, ale też nie tracić charakterystycznych dla wsi atrybutów życia w kontakcie z przyrodą. Dla uzyskania tego efektu praktykowane są zarówno proekologiczne rozwiązania techniczno-materiałowe (na przykład celulozowa izolacja termiczna), jak również architektoniczno-krajobrazowe (zielone dachy). Domy te stanowią przykład harmonijnego wpisania funkcji użytkowych domu w środowisko naturalne integrując się z nim.

Wybrane spośród wielu przykłady budynków niskoenergochłonnych reprezentują najczęściej tradycyjną architekturę, doskonale powiązaną z otaczającym krajobrazem (rys.1). Jednocześnie domy te promują współczesne proekologiczne rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne. Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania kształtuje się w tych budynkach w granicach 30-70 kWh/m²rok.

Wybór domów niskoenergochłonnych z charakterystyką ich elementów funkcjonalno-przestrzennych dotyczy przykładów obiektów wybudowanych nie tylko za granicą ale także w kraju. Z obserwacji stwierdzono, że w Polsce jest jeszcze mała liczba zrealizowanych budynków proekologicznych. Najczęściej inwestorami takich domów są indywidualne osoby posiadające „świadomość ekologiczną” oraz będące jednocześnie współautorami projektów i z reguły organizujące cały „front robót”. Zdarza się również, że niektórzy z nich dysponują wiedzą zdobytą za granicą a dotyczącą nowatorskich rozwiązań ograniczających energochłonność budynku.

Dom mieszkalny w Gönnerstdorf został zaprojektowany w kształcie plastra miodu (rys. 1a). Dzięki temu ogród zimowy stanowiący ciepłarnię otworzył się na południe, wschód i zachód, dzięki czemu efektywnie korzysta z energii słonecznej. Dach jest

dwuspadowy, wielopołaciowy, pokryty naturalnym łupkiem i zwieńczony przeszkłą „wieżyczką”, która zapewnia dobre oświetlenie położonej pod nią pracowni i umożliwia podziwianie otaczających wzgórz. Ściany zewnętrzne zostały zaprojektowane w drewnianej konstrukcji ramowej z termoizolacją oraz drewnianym oszalowaniem.

Dom mieszkalny w Euskirchen w pełni uwzględnia wymagania budownictwa proekologicznego (rys. 1b). Jest to budynek dwurodzinny, w którym zastosowano wyłącznie naturalne materiały: ściany zewnętrzne i wewnętrzne z cegły, dach pokryty dachówką ceramiczną, belkowe stropy drewniane, izolacja cieplna z ekologicznego materiału, jakim jest ekofiber (materiał wykonany z włókna celulozowego pochodzącego z makulatury gazetowej i impregnowanego związkami boru) i korka, drewniane okna z włoskiej sosny z termoizolacyjnymi szybami. Energię ciepłą dostarczają kolektory słoneczne, stały piec kaflowy i zlokalizowany od południa ogród zimowy, stanowiący charakterystyczny element helioaktywny architektury słonecznej.

W Polsce w ostatnich latach zrealizowano wiele budynków izolowanych gruntem. Reprezentują one najczęściej tradycyjną architekturę doskonale powiązaną z otaczającym krajobrazem. W Magdalence pod Warszawą powstało kilka takich obiektów, które w maksymalny sposób wykorzystują naturalne ukształtowanie terenu.

Przykładem rozwiązania, w którym zastosowano dach biotyczny może być duży (600 m² powierzchni użytkowej) wielopokoleniowy dom ekologiczny zaprojektowany przez kolegę architekta Dariusza Śmiechowskiego i wybudowany w 1992 roku (rys. 1c). Budynek ten może stanowić interesujący przykład umiejętnego wkomponowania fragmentów zielonego dachu w całość bryły obiektu. Zwiększenie efektu akumulacji ciepła uzyskano przez kombinatoryczne połączenie elementów energetycznych, czyli zastosowanie zielonego dachu oraz ciepłarni. Efekt ten wykorzystano w licznych domach Europy Zachodniej. Przykładem jest m.in. dom jednorodzinny zlokalizowany w Schwalmtal w Niemczech, zrealizowany według projektu arch. Horsta Shmitgesa.

Przedstawiony dom w Magdalence reprezentuje aktywne połączenie budynku z ogrodem biocenotycznym (tzn. takim, w którym w sposób sztuczny stwarza się warunki do rozwoju różnych biocenoz, czyli ekosystemów roślinnych), ukształtowanie architektury w sposób świadomie energetyczny – odpowiednie usytuowanie na działce i pozyskiwanie energii słonecznej, ochrona przed ucieczką ciepła, zastosowanie rekuperacji, odzyskiwanie wody w obrębie działki. Na uwagę zasługują pomieszczenia stanowiące „bufor cieplny” budynku oraz skarpa ziemna, będąca również dodatkowym buforem cieplnym od strony północnej obiektu. Wskaźnik energochłonności budynku stanowi około 45 kWh/m² rocznie.

W domach niskoenergochłonnych izolowanych gruntem, dzięki połączeniu wiedzy budowlanej z wiedzą o wymianie ciepła, udało się osiągnąć znaczne ograniczenie energochłonności, w dużym stopniu redukujące koszty ogrzewania. Budynki zlokalizowane na stoku przyczyniają się do osiągnięcia wielu korzyści, w tym przede wszystkim do ekonomicznego zbilansowania robót ziemnych.

W Niemczech, m.in. w Gutach i Hermagor, powstało kilka takich obiektów. Niektóre z nich zostały zrealizowane na ekstremalnie spadzistych zboczach. Charakteryzują się one „zamknięciem” od strony północnej i „otwarcie” na pozyskiwanie energii promieniowania słonecznego od południowej, jednocześnie stwarzając dodatkowo możliwość

oglądania szczytów sąsiadujących gór. W celu skutecznej ochrony budynków przed napływem wody ze zbocza, konieczne było wykonanie specjalnych, często pracochłonnych i wymagających szczególnej precyzji uszczelnień.

Budynek w Hermagor, został osadzony w skale stoku alpejskiego i reprezentuje tradycję budowlaną doskonale powiązaną z otaczającym krajobrazem (rys. 1d). Dążność do zapewnienia pomieszczeniom mieszkalnym południowej ekspozycji i umożliwienia prostego, a zarazem oszczędnego przeprowadzenia robót budowlanych doprowadziła do ukształtowania wąskiej i długiej bryły budynku „opadającej” ku dolinie. Z zadaszonego placu przed domem oraz umiejętnie wkomponowanego w zbocze garażu dochodzi się przez osłonięte szklanym dachem schody do przyziemia i wyżej do kondygnacji mieszkalnej. Do dawnej tradycji budowlanej nawiązano dzięki konstrukcji mieszanej (kamień, drewno), balkonom od strony stoku, pochyleniu połaci, widocznym krokwiom i płatwiom, okapom, znacznym szczytowym nadwieszeniom dachu oraz przede wszystkim dzięki odpowiednim proporcjom bryły budynku.

Przedstawione budynki są niskoenergochłonne w eksploatacji i zachowują harmonię z otoczeniem, stanowiąc dobry przykład architektury proekologicznej. Prezentują strategię, która jest wynikiem troski o środowisko naturalne, zachowując je również dla przyszłych pokoleń. Istotnym aspektem w projektowaniu budownictwa proekologicznego jest jego poszanowanie wartości kulturowych. Podobnych rozwiązań architektonicznych można przytoczyć znacznie więcej. Dotyczą one budynków powstałych także w Austrii, Szwajcarii i Francji.

4. PODSUMOWANIE

Z obserwacji zauważa się, że architektura budynków o racjonalnej charakterystyce termooenergetycznej jest na tyle elastyczna, by można było różnicować formy w zależności od regionalnych tradycji budowlanych, jak również by móc uczestniczyć w ciągle zmieniających się kierunkach i prądach architektonicznych. Dążenie do coraz większego ograniczenia energochłonności energetycznej domów wiąże się z jednoczesnym ograniczeniem tej elastyczności przy jednoczesnym wzroście kosztów inwestycyjnych.

Formy tradycyjne są reprezentowane przede wszystkim przez budynki o racjonalnej charakterystyce termooenergetycznej i cechują architekturę regionalną, uzupełnianą dodatkowo nowymi elementami systemów energooszczędnych.

Ponieważ rozwiązania architektoniczne domów pasywnych są w większości przypadków podporządkowane oszczędnościom energetycznym, mocno akcentując wymogi technologiczne i instalacje systemów energooszczędnych, dlatego reprezentowane są one częściej przez formy tzw. energooszczędnego formalizmu. Nurt ten charakteryzuje budynki wyrafinowaną, obcą naturze człowieka architekturą, śmiałą konstrukcją oraz nowatorską technologią budowlaną, często nie uwzględniającą walorów estetycznych.

Przedstawione w artykule wybrane przykłady budynków niskoenergochłonnych nurtu tradycyjnego w architekturze reprezentują struktury funkcjonalno-przestrzenne doskonale powiązane z otaczającym środowiskiem. Wykorzystują one zarówno proekologiczne rozwiązania techniczno-materiałowe, jak również architektoniczno-krajobrazowe. Kontynuują estetykę architektoniczną w sposób utrwalający walory budownictwa regionalnego z zasadami dotyczącymi obniżania energochłonności. Wydaje się, że sama technika w budownictwie, bez piękna i humanistycznych celów nie ma przesłania, natomiast

architektura nurtu tradycyjnego podporządkowuje technikę jego humanistycznym celom i potrzebom, uwzględniając istotę poszanowania wartości kulturowych.



Rys. 1. Przykłady domów niskoenergochłonnych reprezentujących nurt tradycyjny w architekturze; a – budynek mieszkalny, Gönnerstdorf, Niemcy; b - dwurodzinny budynek mieszkalny w Euskirchen, Niemcy; c - Budynek mieszkalny z zielonym dachem w Magdalence pod Warszawą; d - budynek osadzony w skale stoku alpejskiego w Hermagor, Niemcy; e - niskoenergochłonny dom wiejski dla Kaszub wg autorskiej propozycji (oprac. autor)

Fig. 1. Examples of low energy-consuming houses representing the traditional trend in architecture; a – dwelling house, Gönnerstdorf, Germany; b - two-family dwelling house in Euskirchen, Germany; c - dwelling house with a green roof in Magdalenka near Warsaw; d - building set in an Alpine slope rock, in Hermagor, Germany; e - low energy-consuming country house for Casubia according to the proposition of Author (worked out by author)

5. LITERATURA

- [1] Bauer-Böckler H.P.: Häuser richtig planen, individuell bauen, Blottner Fachverlag GmbH & Co. KG, Taunusstein 1997.
- [2] Budynki i ich elementy przystosowane do uzysku i akumulacji energii cieplnej ze źródeł odnawialnych promieniowania słonecznego i ciepła powierzchniowych warstw gruntu. Praca zbiorowa. IPPT PAN. Warszawa 1990.
- [3] Gauzin-Müller D.: Sustainable architecture and urbanism. Concepts, technologies, examples. Birkhäuser Publishers for Architecture 2002.
- [4] Górecka M.: Architektura energooszczędnego domu mieszkalnego polskiej wsi w aspekcie zrównoważonego rozwoju. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2004.
- [5] Kłosak D., Kłosak A.: Energooszczędny budynek mieszkalny widziany okiem architekta, w: Konferencja Naukowo-Techniczna nt „Energooszczędne budownictwo mieszkaniowe”. Mrągowo 30.05 – 1. 06. 2001.
- [6] Laskowski L.: Spójność oraz sprzeczności zasad projektowania energooszczędnych budynków mieszkalnych. Gospodarka Paliwami i Energią 45 (1997), 10.
- [7] Laskowski L.: Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczne budynku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [8] Wnuk R.: Budowa domu pasywnego w praktyce. Przewodnik budowlany. Warszawa 2006.
- [9] Wołoszyn M.: Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodinnym. COIB. Warszawa 1991.

TRADITIONAL TREND IN ARCHITECTURE OF LOW ENERGY-CONSUMING HOUSE

SUMMARY

At the beginning, the paper explains the term of low energy-consuming building. Next, the traditional trend is presented, which characterizes the regional architecture additionally complemented by some new elements of low energy-consuming systems. This trend is represented mainly by the buildings with rational thermo-energetic characteristics, which maintain socially accepted level of financial outlays. The analysis of the traditional architecture has been carried out using some chosen examples of low energy-consuming buildings realized in Germany and Poland.

Sławomir GRABARCZYK, dr inż.

Politechnika Warszawska
Szkoła Nauk Technicznych i Społecznych
Zakład Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock
e-mail: slawekg@pw.plock.pl

WPLYW ZMIENNOŚCI PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO NA ZUŻYCIE ENERGII CIEPLNEJ W SZKLARNI

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu zmienności promieniowania słonecznego na zużycie energii cieplnej w szklarni. Podstawą analiz były badania wykonane w szklarni eksploatowanej całorocznie. Celem tych badań było określenie wielkości zużycia energii cieplnej w okresie funkcjonowania szklarni bez ekranu termoizolacyjnego w zależności od współczynnika zmienności całkowitego promieniowania słonecznego.

1. WPROWADZENIE

Promieniowanie słoneczne, oprócz strumienia cieplnego z systemu ogrzewczego, jest najistotniejszym składnikiem bilansu cieplnego szklarni. Zyski ciepła od promieniowania słonecznego w istotny sposób ograniczają zużycie ciepła, mogą być także źródłem znaczącego przyrostu temperatury wewnątrz szklarni.

Celem badań było określenie wpływu zmienności promieniowania słonecznego na wielkość zużycia energii cieplnej w szklarni.

Szklarnie to budynki niemalże w 100% przeszklone. Efektem tego jest znaczące zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania tych budynków w okresie zimowym z uwagi na dużą wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody zewnętrznej, skutkiem czego znaczące są straty ciepła. Są zatem obiektami w których nie sposób pominąć zysków ciepła od nasłonecznienia w ogólnym bilansie strumieni ciepła.

Wcześniejsze prace autora miały na celu ustalenie ogólnych zależności zużycia energii cieplnej od promieniowania słonecznego [1] lub zmierzały do analitycznego określenia wielkości zysków ciepła od promieniowania słonecznego [2]. Obecne badania

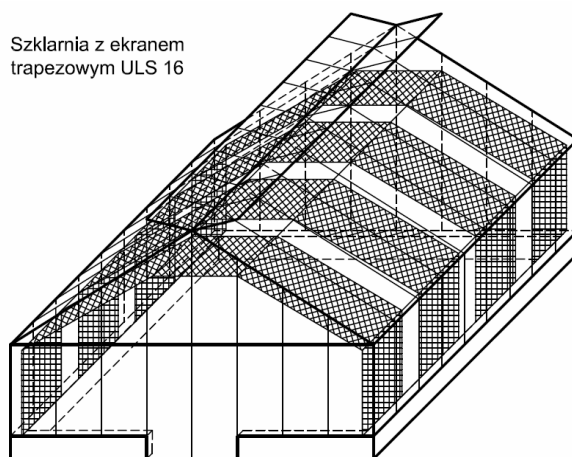
zmierzają do ustalenia rzeczywistych wielkości zysków ciepła od promieniowania słonecznego i określenia wpływu na zużycie energii cieplnej. Oznacza to, że wyniki badań dotyczą pory dziennej, gdy temperatura wewnątrz szklarni jest wyższa od temperatury powietrza zewnętrznego.

2. ZAŁOŻENIA DO BADAŃ

Podstawą wykonanych analiz są badania w obiekcie rzeczywistym, wykonane w warunkach eksploatacyjnych. Założono, że właściwym byłoby przedstawienie wyników badań dla okresu, obejmującego cały rok kalendarzowy.

2.1. Obiekt badań

Badania przeprowadzono w szklarni wolnostojącej, z pokryciem przegrody zewnętrznej ze szkła o gr. 4mm. Na powierzchni ścian bocznych i szczytowych przytwierdzono od strony zewnętrznej grubą folię pęcherzykową (ABF). Wewnątrz szklarni równoległe do ścian bocznych i połaci dachowej zainstalowano ekran termoizolacyjny ULS 16 o właściwościach cieniująco-energooszczędnych, funkcjonujący zależnie od zewnętrznych warunków klimatycznych. Kubatura szklarni z ekranem, ograniczona przez jego powierzchnię oraz powierzchnię pozostałych przegród, stanowi 88,4% kubatury szklarni bez dodatkowych osłon (rys. 1).



Rys. 1. Szklarnia pojedyncza z ekranem termoizolacyjnym
Fig. 1. Free-standing greenhouse with thermal screen

Ekran ULS 16 to tkanina pasków poliestru i aluminium. Otwieranie i zamykanie ekranu termoizolacyjnego w szklarni jest sterowane automatyką pogodową. Ekran jest zamykany nocą podczas niskich temperatur i stanowi wtedy drugą wewnętrzną osłonę szklarni. W ciągu dnia ekran jest otwierany tak, aby nie ograniczał dostępu światła do wnętrza szklarni, przy czym nadmierna intensywność promieniowania słonecznego jest ograniczana przez częściowe przemykanie ekranu. Na przegrodach pionowych szklarni po

stronie zewnętrznej przytwierdzono dodatkową osłonę z folii pęcherzykowej. Ogólny współczynnik przenikania ciepła szklarni z pokryciem pojedynczym ze szkła zwykle przyjmuje się, że wynosi $7,56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [3], natomiast dla badanej szklarni współczynnik ten jest równy $U' = 4,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [4][5]. Podstawowe właściwości materiałów, z których wykonane są przegrody szklarni podano w tab. 1.

Tabela 1. Rodzaj i właściwości pokrycia szklarni. Oznaczenia w tabeli:

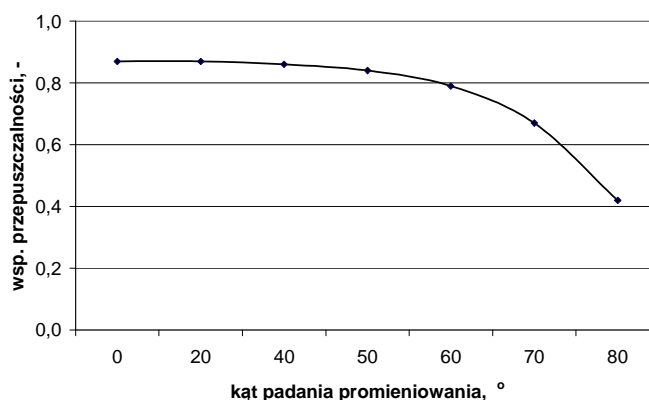
GL – pojedyncze szkło, TS – ekran termoizolacyjny, ABF – gruba folia pęcherzykowa

Table 1. Description and properties to cover of greenhouse. Symbol in table:

GL – single glass, TS – thermal screen, ABF – air bubble film

Przepuszczalność promieniowania słonecznego	Materiał pokrycia szklarni		
	GL szkło (4mm)	TS ekran ULS 16	Folia ABF
bezpośredniego	zmienna wg [6]	0.36	0.84
rozproszonego	0.79	0.34	0.84

Założono, że przepuszczalność promieniowania słonecznego przez przegrody szklane badanego obiektu, jest zgodna z przedstawioną na rys. 2 zależnością od kąta padania promieni słonecznych.



Rys. 2. Współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego przez szkło pojedyncze o grubości 4 mm od kąta padania (wg ASHRAE) [6]

Fig. 2. Solar transmittance for a single glasspane as function of the angle of incidence (by ASHRAE) [6]

Podłoże szklarni jest przystosowane do prowadzenia upraw doniczkowych. Grunt rodzimy jest przykryty warstwą piasku o grubości ok. 20 cm. Wierzchnią warstwę podłoża stanowi 2 cm izolacja termiczna (styropian) pokryta tkaniną z tworzywa sztucznego typu LS Hortiweef Black o grubości 2 mm.

Analiza działania wyposażenia technicznego w badanej szklarni pozwoliła na określenie występowania stanów funkcjonowania obiektu szklarniowego w warunkach eksploatacyjnych w przekroju pełnego roku kalendarzowego. Stany funkcjonowania szklarni opisano symbolami, pozwalającymi na ich łatwą identyfikację i można je scharakteryzować następująco:

- **stan 2P** (dwie przegrody: szkło + ekran) – stan występujący w zasadzie w przekroju całego roku w okresie nocnym; mający istotne znaczenie gdy temperatury zewnętrzne są niższe niż temperatura wewnątrz szklarni (okres zimowy i przejściowy);
- **stan 2P+W** (dwie przegrody i wietrzenie) – stan występujący w porze nocnej, gdy zaistnieje potrzeba przewietrzenia szklarni (otwarcie wietrzników);
- **stan O-Z** (otwieranie-zamykanie) – stan opisujący zmianę położenia ekranu, można wyróżnić tu dwie typowe sytuacje: otwieranie ekranu termoizolacyjnego w godzinach porannych (zmiana stanu z 2P na 1P) oraz zamykanie wieczorem (zmiana z 1P na 2P);
- **stan 1P** (jedna przegroda: szkło) – przegrodę szklarni stanowi pokrycie ze szkła, ekran po otwarciu nie ogranicza wnikania promieniowania słonecznego do wnętrza szklarni, ogólny współczynnik przenikania ciepła dla szklarni z pojedynczym pokryciem ze szkła wynosi $U' = 7,56 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ [3];
- **stan 1P+W** (jedna przegroda (szkło) i wietrzenie) – promieniowanie słoneczne powoduje we wnętrzu szklarni przyrost temperatury, którego efektem może być przekroczenie granicznej wartości temperatury wewnętrznej; skutecznym zabiegiem jest wtedy wietrzenie szklarni przez otwarcie wietrzników;
- **stan C+W** (cieniowanie i wietrzenie) – intensywne promieniowanie słoneczne powoduje znaczący przyrost temperatury w szklarni, oprócz wietrzenia konieczne jest również cieniowanie powierzchni szklarni.

Z powyższego wynika, że analizę wpływu promieniowania słonecznego na zużycie energii cieplnej należy przeprowadzić dla stanu 1P (jedna przegroda ze szkła). Jest to istotne zwłaszcza z powodu, że stan ten określa jednocześnie że ekran termoizolacyjny nie stanowi dodatkowej bariery ograniczającej strat ciepła.

2.2. Okres badań

Pomiary będące podstawą analiz wykonano w 2007 i 2008 roku. Zgromadzony materiał badawczy obejmuje wyniki pomiarów z pełnego roku kalendarzowego, wykonanych z interwałem 10 minutowym. Taki czas między kolejnymi pomiarami pozwala na dość dokładne odzwierciedlenie funkcjonowania wyposażenia technicznego w szklarni, obiekcie o istotnym wpływie zewnętrznych warunków klimatycznych na mikroklimat i zużycie energii cieplnej. Łączna ilość danych zgromadzonych w okresie badań wynosi 52 560 rekordów.

W okresie przeprowadzania badań rejestrowano szereg parametrów, min.: całkowite promieniowanie słoneczne na płaszczyznę poziomą, stan zamknięcia ekranu termoizolacyjnego, stan otwarcia wietrzników, zużycie energii cieplnej oraz temperatury: zewnętrzną i wewnątrz szklarni. Pomiary realizowano przez system kontroli mikroklimatu szklarni zintegrowany z lokalną stacją pogodową, uzupełniony o zestaw do pomiaru i rejestracji zużycia energii cieplnej.

Łączna liczba danych opisujących stan funkcjonowania szklarni z jedną przegrodą ze szkła wynosi 9 877 rekordów.

3. WYNIKI BADAŃ

Ogólną charakterystykę występowania całkowitego promieniowania słonecznego w okresie badawczym oraz w okresie funkcjonowania szklarni z jedną przegrodą zewnętrzną przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Miesięczne sumy całkowitego promieniowania słonecznego dla Skierniewic w okresie badawczym oraz dla stanu 1P

Table 2. Monthly sums of total solar radiation for Skierniewice in throughout the period of research and to the state 1P

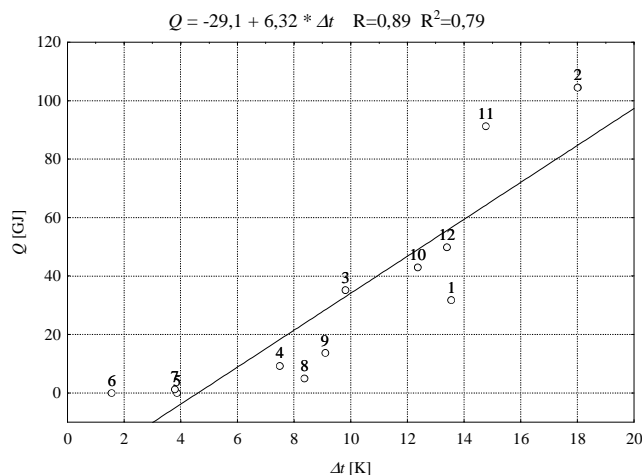
Suma I_c [kWh/m ²]	miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
w okresie badawczym	8,9	18,0	63,6	128,2	152,0	154,0	122,6	112,4	61,2	27,7	8,9	5,7
dla stanu obiektu 1P	2,0	10,8	8,6	5,0	4,6	3,4	5,2	4,9	6,2	9,3	5,4	2,6

Przedstawione w tab. 2 sumy miesięczne całkowitego promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę poziomą wraz z sumami dla okresów funkcjonowania szklarni z jedną przegrodą ze szkła pozwalają określić orientacyjnie, jaka część zysków ciepła może zostać wykorzystana. Należy tu zaznaczyć, że wpływ na to ma również długość czasu trwania danego stanu w poszczególnych miesiącach.

Ponieważ zakładano uwzględnienie także zmienności promieniowania słonecznego, określono współczynnik zmienności WZ dla promieniowania słonecznego, definiowany jako stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej. Współczynnik WZ wyrażany w procentach, ustalono na podstawie obserwacji występujących dla stanu funkcjonowania obiektu szklarniowego określonego jako 1P (1 przegroda – szkło).

Stan 1P trwał w okresie roku łącznie przez 1646 godzin (ok. 68 dni). Zużycie energii cieplnej w tym czasie wyniosło 384.4GJ, co stanowi 19.6% energii cieplnej zużytej w okresie całego roku eksploatacji szklarni. Zużycie energii cieplnej jest zależne głównie od różnicy temperatur Δt co przedstawiono na rys. 3. Wykres sporządzono w oparciu o średnie miesięczne wartości różnicy temperatur jakie obserwowano w czasie eksploatacji szklarni, gdy przegrodę zewnętrzną stanowiło tylko pokrycie ze szkła (stan 1P).

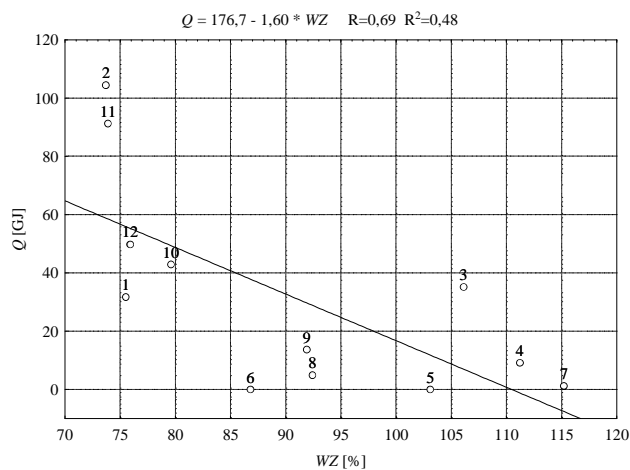
W miesiącach od maja do lipca zużycie energii cieplnej jest praktycznie równe zero. Oznacza to, że szklarnia przy różnicach temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego nie przekraczających ok. 4K w praktyce nie wykazuje zapotrzebowania na energię cieplną. Największe zużycie energii cieplnej obserwuje się w miesiącach od października do lutego, gdzie średnia różnica temperatur w warunkach eksploatacji szklarni z jedną przegrodą wynosi min. 12K.



Rys. 3. Zużycie energii cieplnej w szklarni bez ekranu termoizolacyjnego (stan 1P) w zależności od średniej różnicy temperatur

Fig. 3. Thermal energy consumption in greenhouse without thermal screen (state 1P) in dependences from average difference of temperatures

Na rys. 4 przedstawiono zależność zużycia energii cieplnej od współczynnika zmienności występowania całkowitego promieniowania słonecznego, padającego na płaszczyznę poziomą.



Rys. 4. Zużycie energii cieplnej w szklarni bez ekranu termoizolacyjnego (stan 1P) w zależności od współczynnika zmienności promieniowania słonecznego

Fig. 4. Thermal energy consumption in greenhouse without thermal screen (state 1P) in dependences from the coefficient of variation of solar radiation

Wartość współczynnika WZ, określona na podstawie wartości chwilowych, nie przekracza 80% (rys. 4) w miesiącach o niższej temperaturze zewnętrznej (od października do lutego). Są to jednocześnie miesiące, w których sumy całkowitego promieniowania słonecznego nie przekraczają 30 kWh/m^2 na miesiąc. W miesiącach o wyższych temperaturach zewnętrznych, gdzie różnica temperatur nie przekracza 10 K, zmienność promieniowania słonecznego opisana wielkością WZ waha się w granicach od około 85 do 115%.

4. PODSUMOWANIE

Wyniki badań wskazują na istnienie odwrotnej zależności między zmiennością promieniowania słonecznego a zużyciem energii cieplnej (rys. 4). Szczególnie miesiące o sumach całkowitego promieniowania słonecznego poniżej 30 kWh/m^2 i zmienności WZ poniżej 80% charakteryzują się znaczącym zużyciem energii cieplnej w szklarni. Dotyczy to jednocześnie miesięcy o najniższych temperaturach zewnętrznych. W przypadku pozostałych miesięcy nie obserwuje się zdecydowanego trendu, opisującego wpływ zmienności całkowitego promieniowania słonecznego na wielkość zużycia energii cieplnej. Dzieje się tak głównie za sprawą zmienności stopnia jak i rodzaju zachmurzenia w skali poszczególnych miesięcy, a to przekłada się sumy miesięczne całkowitego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą.

Analizy dotyczące wpływu promieniowania słonecznego na zużycie energii cieplnej zamierza się kontynuować, z uwzględnieniem zmieniającej się charakterystyki termicznej obiektu, opisanej stanami funkcjonowania szklarni.

5. LITERATURA

- [1] Wolski L., Grabarczyk S., Wpływ wybranych czynników na zużycie energii cieplnej w szklarni pojedynczej i zblokowanej. XLVIII Konferencja Naukowa „Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa” KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB, Opole-Krynica 2002, s. 145 – 152,
- [2] Grabarczyk S., Modelowanie zysków ciepła od promieniowania słonecznego w szklarni z ekranami termoizolacyjnymi. Czasopismo Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Tom II, Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, Łódź 2007, str. 73-78,
- [3] Zabeltitz Ch., Szklarnie - projektowanie i budowa. PWRiL, Warszawa 1991,
- [4] Grabarczyk S.; Wpływ zastosowania ekranów termoizolacyjnych w obiektach szklarniowych na zużycie energii, Praca doktorska, Politechnika Warszawska, Płock 1999,
- [5] Grabarczyk S.; Wolski L., Ogólny współczynnik przenikania ciepła w wymiarowaniu termicznym nowoczesnych obiektów szklarniowych, XLVI Konferencja Naukowa „Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa” KILiW PAN i Komitet Nauki PZITB. Wrocław-Krynica 2000, s. 147-154,
- [6] ASHRAE Handbook Fundamentals. ASHRAE, Atlanta, 2005,

**EFFECT OF VARIABILITY SOLAR RADIATION ON THERMAL ENERGY
CONSUMPTION IN THE GREENHOUSE****SUMMARY**

The paper presents the result of studies on the effect of variation of solar radiation on thermal energy consumption in greenhouse. The basis of research studies have been done in the greenhouse operated year-round. The aim of this study was to determine the size of thermal energy consumption during operation of the greenhouse without screen insulating depending on the coefficient of variation of total solar radiation.

Sławomir GUŁKOWSKI, mgr;
Krzysztof CIEŚLAK, mgr;
Jan M. OLCHOWIK, prof. dr hab. inż.

Politechnika Lubelska
Zakład Fizyki Technicznej
ul. Nadbystrzycka 38, 20-618 Lublin
e-mail: s.gulkowski@pollub.pl

MODELOWANIE PROCESU OTRZYMYWANIA CIENKICH WARSTW EPITAKSYJALNYCH W ZASTOSOWANIU DO OGNIW SŁONECZNYCH



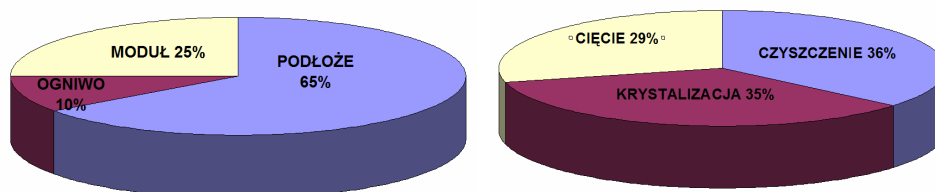
STRESZCZENIE

W pracy przedstawione zostały rezultaty komputerowego modelowania wzrostu cienkich warstw epitaksjalnych otrzymywanych z roztworu. Obliczenia szybkości wzrostu interfejsu warstwy prowadzone były w oparciu o strumienie dyfuzyjne składnika Si rozpuszczonego w roztworze binarnym Si-Sn. Cienkie warstwy epitaksjalne otrzymywane metodą LPE mogą prowadzić do obniżenia kosztów produkcji ogniw fotowoltaicznych, co ma fundamentalne znaczenie w badaniach nad technologią otrzymywania energii ze źródeł odnawialnych.

1. WPROWADZENIE

Promieniowanie słoneczne jest bardzo obiecującym źródłem energii alternatywnej w stosunku do źródeł konwencjonalnych ze względu na jego wszechobecność, proekologiczność, a także uwzględniając zwrot kosztów inwestycji w budowę instalacji fakt, że jest to energia darmowa. Technologia termicznego wykorzystania promieniowania słonecznego jest na tyle dobrze opracowana, że obecnie staje się konkurencyjna w stosunku do ogrzewania tradycyjnego i to nie tylko w krajach południowej Europy, gdzie do ogrzewania wody użytkowej praktycznie nie wykorzystuje się już energii elektrycznej[1-2]. Równie dynamicznie rozwijają się technologie fotowoltaiczne, w których z energii słonecznej otrzymuje się energię elektryczną. Dynamika rozwoju produkcji modułów fotowoltaicznych często przyrównywana jest do dynamiki wzrostu przemysłu elektronicznego w początkowym okresie jego rozwoju. Całkowita światowa produkcja modułów

PV osiągnęła 7,9GWp w 2008 roku, co oznacza wzrost o 85% w porównaniu do 2007 roku. Moc otrzymywana z nowo zainstalowanych systemów w 2008r. w porównaniu z rokiem 2007 wzrosła o 129%. Prognozuje się, że w 2030 roku światowa skumulowana moc systemów PV będzie wynosić od 912GWp do 1864GWp. Dla porównania w roku 2008 wyniosła 14,7GWp [3]. Istotnym czynnikiem hamującym powszechne wykorzystanie systemów fotowoltaicznych jako źródła energii są wciąż zbyt wysokie ceny modułów PV, na które składa się zarówno koszt materiałów bazowych jak i koszt technologii wytwarzania modułów. Rys. 1. przedstawia podział kosztów, które składają się na cenę ogniwa słonecznego. Znaczna część kosztów ogniwa to koszt wytworzenia płytki bazowej (65%), na który składa się mniej więcej jednakowo koszt oczyszczania (23%), krystalizacji (23%) oraz cięcia (19%) [4].



Rys. 1. Podział kosztów produkcji modułu słonecznego i płytki krzemowej. Źródło: [4]

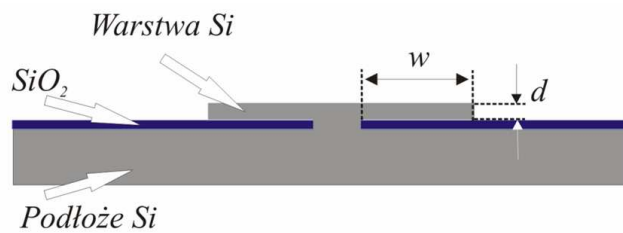
Fig. 1. Cost distribution for module and silicon wafers. Source: [4]

Technologie cienkowarstwowe umożliwiają uniknięcie kosztownego procesu cięcia, który prowadzi do znacznych strat materiału[4]. Z tego względu technologie cienkowarstwowe, przy zwiększeniu sprawności konwersji fotowoltaicznej i zastosowaniu większych powierzchni cienkich warstw, mogą prowadzić do znacznego obniżenia ceny modułów i zwiększyć konkurencyjność tej formy pozyskiwania energii wśród tradycyjnych form. Obecnie fotowoltaika znajduje się w fazie przejścia z technologii opartej na płytkach krzemowych do technologii produkcji ogniw cienkowarstwowych. Są to tzw. ogniwa słoneczne II generacji. Koszt wytworzenia najlepszych modułów cienkowarstwowych mieści się w zakresie 0,5 – 1\$/W, podczas gdy koszty wytwarzania modułów opartych na płytkach wśród większości producentów wynosi 2-3\$/W [1].

2. CIENKOWARSTWOWE STRUKTURY LATERALNE

Ponieważ zjawisko fotowoltaiczne zachodzi na stosunkowo niewielkiej głębokości od powierzchni warstwy, do konwersji energii świetlnej w elektryczną wystarczy niewielka ilość materiału o obniżonej gęstości defektów, czyli dobrej jakości, wykrystalizowana w postaci cienkiej warstwy na podłożu o niskiej jakości (czyli łatwiejszym do otrzymania i tańszym) [5]. Wytworzenie takiej struktury jest możliwe dzięki metodzie selektywnego wzrostu epitaksjalnego na częściowo maskowanym podłożu (z ang. ELO – Epitaxial Lateral Overgrowth). Główną ideą metody jest użycie amorficznej maski, która blokuje proces propagowania się defektów obecnych w podłożu do tworzącej się warstwy epitaksjalnej[6]. Spośród takich metod wytwarzania cienkowarstwowych struktur ELO jak epitaksja molekularna czy gazowa na szczególną uwagę zasługuje metoda epitaksji z fazy

ciekłej (LPE), która jest najtańszym sposobem technologicznym, umożliwiającym powstawanie warstw o jakości porównywalnej do warstw otrzymywanych innymi metodami [4]. Rysunek 2 przedstawia schematycznie warstwę lateralną wraz z jej charakterystycznymi parametrami: szerokością (w), grubością (d) oraz tzw. wydłużeniem względnym zdefiniowanym jako iloraz szerokości skrzydła warstwy i jej grubości.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny warstwy ELO.

Fig. 2. Schematic cross section of ELO layer.

Bardzo ważne jest, w przypadku badań nad otrzymywaniem cienkich warstw lateralnych metodą LPE, aby wydłużenie względne otrzymywanych warstw było jak największe. Istotne jest więc dobranie optymalnych parametrów prowadzenia procesu oraz geometrii maski aby minimalizować szybkość wzrostu w kierunku normalnym przy jednoczesnym zwiększaniu szybkości wzrostu w kierunku lateralnym. Z tego powodu prowadzone są zarówno badania doświadczalne [7, 8] jak i symulacje komputerowe [9-10], które odgrywają dużą rolę w poznaniu fundamentalnych procesów wzrostu warstw. Iloraz szybkości wzrostu lateralnego do szybkości wzrostu normalnego określany jest również jako współczynnik aspect ratio.

3. MODELOWANIE WZROSTU WARSTW Z ROZTWORU

Istotną rolę w procesie wzrostu warstw epitaksjalnych z roztworu pełni transport masy składnika krystalizującego, w tym przypadku krzemu, przez objętość roztworu w kierunku podłoża wzrostowego. Przy założeniu braku konwekcji transport masy dany jest wzorem (1):

$$\frac{\partial C(\vec{r}, t)}{\partial t} = \nabla \cdot (D_l \cdot \nabla C(\vec{r}, t)), \quad (1)$$

gdzie C – oznacza koncentrację składnika w roztworze a D_l – dyfuzję Si w fazie ciekłej. Dla przypadku dwuwymiarowego (por. Rys.2.) wzór (1) będzie miał postać (2):

$$\frac{\partial C(x, y, t)}{\partial t} = D_l \left(\frac{\partial^2 C(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C(x, y, t)}{\partial y^2} \right), \quad (2)$$

Zakładając dyfuzyjny model wzrostu, co oznacza, że procesy kinetyczne na powierzchni są szybkie i wzrost ograniczony jest wyłącznie dyfuzją, warunek brzegowy dla interfejsu warstwy określony jest z warunku zachowania masy[4].

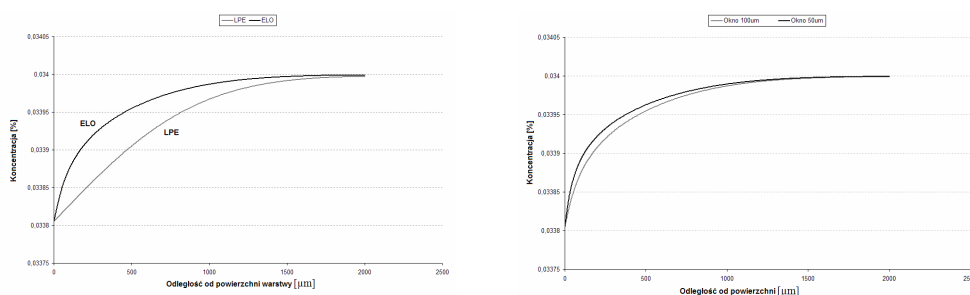
$$D_s \left. \frac{\partial C}{\partial n} \right|_{\text{int}} - D_l \left. \frac{\partial C}{\partial n} \right|_{\text{int}} = v_n (C_{eq}^s - C_{eq}), \quad (3)$$

gdzie C_{eq} oznacza koncentrację równowagową, którą dla roztworu Si-Sn można znaleźć w bazie danych roztworów [12]; v_n - oznacza szybkość przemieszczania się frontu krystalizacji.

Równanie (3) określa szybkość przemieszczania się interfejsu warstwy (lokalnie) w trakcie procesu wzrostu. Należy w tym miejscu podkreślić, że omawiane zagadnienie wymaga zmiany położenia brzegu warstwy w trakcie transportu masy. Szybkość określana jest na podstawie gradientów koncentracji w kierunkach normalnych do lokalnej krzywizny interfejsu. Do rozwiązania zagadnienia, ze względu na konieczność precyzyjnego określania położenia interfejsu, wybrana została metoda śledzenia frontu. Szczegółowy opis zastosowanego podejścia znajduje się w [13].

4. REZULTATY ORAZ WNIOSKI

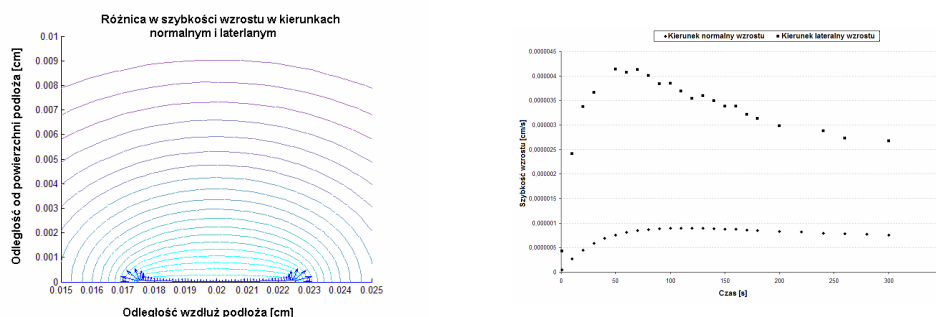
Na podstawie równania (3) można stwierdzić, że szybkość wzrostu warstwy epitaksjalnej w dużym stopniu zależy od strumienia dyfuzji krzemu w roztworze Si-Sn. Badając profile koncentracji w kierunku prostopadłym do powierzchni próbki można stwierdzić z całą pewnością, że geometria podłoża wzrostowego ma istotny wpływ na wartość koncentracji w pobliżu warstwy. Jest to dobrze widoczne wówczas, gdy porównamy profile koncentracji dla przypadku LPE, w którym na całej powierzchni podłoża następuje wzrost, z profilami otrzymanymi dla podłoża pokrytego maską, gdzie wzrost następuje wyłącznie dla otwartym w masce okna Si (Rys. 3.).



Rys. 3. Profile stężenia Si w roztworze otrzymane w kierunku prostopadłym do powierzchni podłoża. Porównanie stężeń dla przypadku LPE i ELO (z lewej) oraz ELO dla różnych rozmiarów okien krzemowych (z prawej).

Fig. 3. Concentration profiles of Si in Si-Sn rich solution obtained in perpendicular direction to surface of the substrate. Concentration for LPE and ELO (left) and ELO for different window sizes (right).

Widoczna jest również różnica w wartości koncentracji dla różnych rozmiarów okien w metodzie ELO. Rys. 3. przedstawia profile koncentracji dla przypadku podłoża z oknami o rozmiarach $50\mu\text{m}$ i $100\mu\text{m}$. Okna o rozmiarach $100\mu\text{m}$ stanowią większą powierzchnię krystalizacji dla składnika Si stąd, zauważalne jest mniejsze stężenie w obszarze nad powierzchnią podłoża. Można przypuszczać także, że w takim przypadku wzrost w kierunku lateralnym będzie mniejszy niż w przypadku okien o mniejszych rozmiarach.



Rys. 4. Normalna i lateralna składowa szybkości wzrostu w funkcji czasu
Fig. 4. Normal and Lateral growth rate vs. growth time.

Rysunek 4 przedstawia szybkość wzrostu poszczególnych węzłów stanowiących interfejs warstwy. Widoczna jest znaczna różnica w szybkości wzrostu w kierunkach lateralnym i normalnym w funkcji czasu. Należy zwrócić uwagę na fakt, że wartości obydwu składowych szybkości zmieniają się w czasie. Duża przewaga składowej lateralnej nad normalną w początkowym etapie procesu związana jest z dużym strumieniem masy z obszarów maski w kierunku rosnącej warstwy, co skutkuje wysokim gradientem koncentracji w tym kierunku. Transport masy z obszarów maski prawdopodobnie skutkuje również obserwowanym na Rys. 3. zwiększeniem koncentracji w obszarach wzrostu normalnego w porównaniu do metody LPE. Przypuszczać można zatem, że na kształt rosnącej warstwy mają wpływ nie tylko takie parametry technologiczne procesu jak temperatura czy szybkość chłodzenia ale także i geometria podłoża wzrostowego.

5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawione zostały rezultaty obliczeń profili koncentracji dla różnych procesów wzrostu epitaksjalnego z roztworu. Pokazany został wpływ strumieni dyfuzyjnych na szybkość wzrostu. Ze względu na zwiększoną koncentrację składnika w obszarze wzrostu lateralnego zaobserwowana została znaczna przewaga składowej lateralnej nad składową normalną, co oznacza duży współczynnik wydłużenia względnego warstwy. Ostatecznie pokazano również wpływ geometrii podłoża oraz rozmiaru okien Si na profile stężenia składnika a więc także na szybkości wzrostu i ostateczny kształt otrzymywanej warstwy.

6. LITERATURA

- [1] Lewandowski W. ; Proekologiczne źródła energii odnawialnej, WNT, 2002
- [2] Klugmann E.; Klugmann-Radziemska E.; Ogniwa i moduły fotowoltaiczne oraz inne niekonwencjonalne źródła energii, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, 2005
- [3] red. Pietruszko S.; Światowy Rynek Fotowoltaiki, Centrum Fotowoltaiki, 2009
- [4] Koch W., Endros A. L. et al.; Bulk Crystal Growth and Wafering for PV w Handbook of Photovoltaic Science and Engineering pod redakcją Antonio Luque'a i Steven'a Hegedus'a, Wiley, 2003
- [5] Olchowik J.M.; Cienkie warstwy w strukturach baterii słonecznych, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 2004
- [6] Zytkeiwicz Z. R.; Thin Solid Films, 412 (2002) 64
- [7] Jóźwik I., Olchowik J.M.; Materials Science-Poland, Vol. 24, No. 4,2006
- [8] Jozwik I.,Olchowik J.M.; Journal of Crystal Growth 294 (2006) 367-372
- [9] Yan Z., Naritsuka S., Nishinaga T.; Journal of Crystal Growth 209 (2000) 1 - 7
- [10] Liu Y. C., Zytkeiwicz Z. R.,Dost S.; Journal of Crystal Growth 275 (2005) e953-e957
- [11] Dost S., Lent B.; Single Crystal Growth of Semiconductors from Metallic Solutions, Elsevier 2007
- [12] http://www.crct.polymtl.ca/fact/documentation/SGTE/SGTE_Figs.htm
- [13] Gułkowski S, Cieślak K., Olchowik J. M.; Symulacje komputerowe wzrostu warstw epitaksjalnych w Technologie informacyjne w zastosowaniach, Wydawnictwo PSW, 2009

MODELLING OF THIN EPILAYER GROWTH FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS

SUMMARY

This work presents results of calculation of the concentration profiles of Si in the Si-Sn rich solution. Influence of the stream of silicon on concentration gradients near the interface and growth rate in normal and lateral direction has been presented. Aspect ratio of the grown layer has been calculated. Technology of the obtaining thin epitaxial layer can lead to decrease the total cost of silicon solar cells production. It is a great of importance for obtaining energy form renewable sources.

