



**Politechnika Łódzka**

**Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska**

# **I SYMPOZJUM STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH**

2006

I Sympozjum, Studenckich

PB029706

Czytelnia Ogólna BBA



**Łódź, Suche, październik 2006**



**wbair**  
Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska  
Lódź

## **I SYMPOZJUM**

# **STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH**

Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska

Suche k.Zakopanego 2006 rok

## **I SYMPOZJUM**

# **STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH**

Łódź, Suche, październik 2006

Komitet organizacyjny: **doc. dr inż. Jan Jeruzal**  
**dr inż. Marek Sitnicki**  
**Tomasz Kotfasiński**  
**Krzysztof Majdas**

Pod patronatem

**Pani Dziekan prof. dr hab. inż. Marii Kamińskiej**



29706

Redakcja: dr inż.. Marek Sitnicki  
Wydawca: Pracownia Wydawnictw Katedralnych KFBiMB  
Druk: AnnGraf, Łódź, ul. M. Rataja 54

ISBN 978-83-88499-20-3

2D1-001/572/2007

## SPIS TREŚCI

|   |    |
|---|----|
| Borowski M., Borysowski Ł., Bukład E., Kokot M.,<br>Lewińska K., Sarlej A.: Karpaty wschodnie na Ukrainie -<br>Huculszczyzna 2006.                  | 9  |
| Jagielski P., Kowalski M.: Więżba kościoła ewangelickiego<br>w Pasyumi.   | 31 |
| Bąkiewicz A., Samusionek J.: Pasywny budynek biurowy.   | 39 |
| Urbaniak A.: Problematyka ogrzewania wewnątrz sakralnych.   | 55 |
| Piotrowicz M.: Stare „nowe paliwa”. Przegląd ekologicz-<br>nych paliw stałych wraz z krótką charakterystyką kotłów<br>stałopaliwowych.              | 61 |
| Osetek A.: Technologie i materiały stosowane w oczysz-<br>czaniu powietrza - filtry.  | 73 |
| Rębowski Ł.: Możliwości wykorzystania zrębków drzew-<br>nych w układach kogeneracyjnych. Obiekt wzorcowy: elek-<br>trociepłownia w Herning (Dania). | 81 |
| Majdas K.: Przeprawa przez rzekę Wartę - nowy przebieg<br>drogi krajowej numer 25.  | 89 |



wbair

# I SYMPOZJUM STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska  
Suche k.Zakopanego 2006 rok

## I Seminarium Kół Naukowych Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

W dniach 5 - 8 października 2006 roku w miejscowości Suche koło Zakopanego odbyło się I Seminarium Kół Naukowych Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Spotkanie to stanowiło część obchodów 50 - lecia Wydziału.



Uczestnicy spotkania

Swoją działalność przedstawiło pięć Kół Naukowych Wydziału:

Architektury i Urbanistyki „9. piętro”,  
Inżynierii Środowiska „Wentylator”,  
Budownictwa Ekologicznego,  
Budownictwa Zabytkowego,  
oraz Kreatywni Studenci Budownictwa KSB.

Pod opieką pracowników naukowych Wydziału, studenci prowadzili badania budownictwa zabytkowego na Ukrainie (Koło Naukowe Architektury - opiekun dr inż. arch. Włodzimierz Witkowski) oraz na terenie północno-wschodniej Polski (Koło Naukowe Budownictwa Zabytkowego - opiekun dr inż. Marek Sitnicki). Studenci z Koła Naukowego Budownictwa Ekologicznego pod opieką dr inż. Dariusza Heima, przedstawili ciekawy projekt techniczny budynku, w którym zastosowano takie rozwiązania architektoniczne i konstrukcyjne, aby zminimalizować zapotrzebowanie tego obiektu na energię.



Obrady - referują Michał Kowalski i Przemysław Jagielski



Obrady - referuje dr inż. Jacek Szer



Obrady - referuje Łukasz Rębowski

Problematyka produkcji energii była tematem referatu przygotowanego przez członków Koła Naukowego Inżynierii Środowiska, którego opiekunem naukowym jest dr inż. dr inż. Robert Cichowicz. Trudne problemy techniczne, jakie wystąpiły podczas prowadzonych prac na budowie mostu nad Wartą przedstawili studenci Koła Naukowego KSB, którzy uczestniczyli w wykonywanych tam pracach budowlanych i opracowali ciekawą dokumentację fotograficzną.

Poziom prezentacji referatów ocenić należy bardzo wysoko. Oglądając fotografie pięknych budowli sakralnych na Huculszczynie słuchaliśmy jednocześnie dźwięków ludowej muzyki z tamtych regionów.

W seminarium uczestniczył dr inż. Jacek Szer - Łódzki Wojewódzki Inspektor Nadzoru Budowlanego. z dużym zainteresowaniem wysłuchali studenci referatu nt. organizacji służb nadzoru budowlanego.

Uczestniczący w seminarium studenci to w znacznej części członkowie Samorządu Studenckiego. Podczas wspólnych spotkań i dyskusji zastanawiano się nad problemami i skutecznością działań Samorządu Studenckiego. Dyskutowano o nowym trójstopniowym systemie studiów oraz zastanawiano się nad wdrożeniem nowego regulaminu studiów. Ten trzydniowy pobyt wykorzystano też w celach turystycznych. Była to okazja do odbycia wspólnych wycieczek na górskich szlakach.

Doc. dr inż Jan Jeruzal  
Prodziekan d/s Studiów Dziennych



wbair  
Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska  
Politechniki Łódzkiej

## I SYMPOZJUM

### STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska

Suche k.Zakopanego 2006 rok

### Karpaty wschodnie na Ukrainie - Huculszczyzna 2006

IX Wyprawa Naukowa Studentów Architektury Politechniki Łódzkiej

#### 1. Jak żyliśmy na Ukrainie – relacje i impresje

Praktyki na Huculszczyźnie mają głównie na celu inwentaryzowanie cerkwi huculskich – obiektów drewnianych, które w zastraszającym tempie są „konserwowane” poprzez obijanie ich blachą. Naszym celem jest ocalenie tego, co się da, zanim z tych zabytków zostanie jedynie sterta desek.

Kolejnym powodem jest sama Ukraina. Obszar, w którym te praktyki się odbywają, jest inny – obcy, niemalże dziki. Ale czy na pewno? Dzięki tej wyprawie mieliśmy możliwość spotkać dużo interesujących osób, dowiedzieć się czegoś o nich, o ich historii, i tak naprawdę o nas.

##### 1.1. Lwów

Pierwszy poranek po całonocnej podróży autokarem był dla nas małym szokiem: obcy kraj, ludzie mówiący dziwnym językiem, wszędzie inne litery na szyldach. Na pewno każdy poczuł się nieco zdezorientowany, ale na szczęście dobry humor i chęć poznania wschodnich sąsiadów nas nie opuszczały. Pełni zapału ruszyliśmy w głąb kraju w góry.



Rys.1. Przysiółek w Maksymcu (rysował Piotr Dróżka)



## 1.2. Bystryca

Po chwili każdy już jakoś zaczął się odnajdywać w nowym otoczeniu, a przed nami był jeszcze kawał drogi. i tu miła niespodzianka. Środki transportu okazały się nie tak straszne jak nam mówiono, a nawet całkiem wygodne. w jednym z busów kierowca uraczył nas nawet współczesną muzyką huculską, która wywołała powszechną radość wśród uczestników.

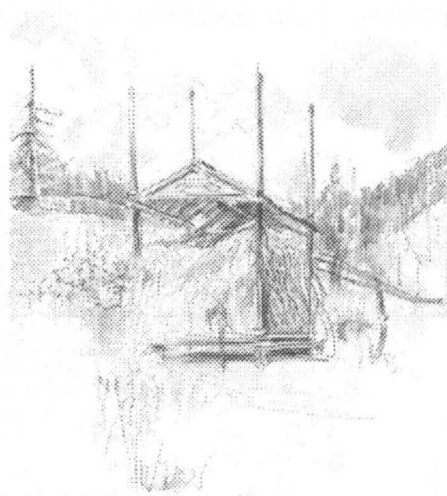
Z opowieści i zdjęć wiedzieliśmy, że namioty bierzemy na wszelki wypadek a mieszkać będziemy u ludzi. Jednak już pierwszego dnia zdaliśmy sobie sprawę, że będziemy spać pod namiotami co najmniej przez kilka dni. Niby nic wielkiego, ale kury, krowy i psy biegające po obozowisku bardzo skutecznie dały nam odczuć klimat życia na wsi. Do tego łaźienka w strumieniu górskim – fantastycznie! Wielu z nas po raz pierwszy kąpało się w rwącym potoku. Wszyscy musieliśmy się przestawić z dobrobytu i luksusu w domu na warunki polowe i jedzenie z puszki. Mały sprawdzian charakteru początek wytrzymałości na początek wyprawy.

Pierwsza cerkiew i już pierwsze doświadczenia. Całodzienny pomiar szedł dobrze do momentu przyjścia robotników. Poznaliśmy jak się wytwarza blaszane „ozdoby” na cerkwi i jaka mozolna to praca.

## 1.3. Góry po raz pierwszy i wyprawy

Pierwsza wycieczka w góry była dla nas małym testem – kto da rade pójść wyżej, a kto nie, no i tak naprawdę testem dla naszych nóg. Niewinny spacer powoli przekształcił się w wycieczkę, która była świetną okazją do nawiązania kontaktów z ludźmi. Nie odbyło się bez małego konfliktu, mianowicie za podeptaną przez nas łąkę, góral zażądał fantu w postaci noża. Dzięki nasze koleżance, już z błogosławieństwem gospodarza mogliśmy iść wyżej aż na grzbiet. Na górze rozległy się głosy przychodzących SMSów, gdyż okazało się, że jest zasięg telefonii komórkowej i po raz pierwszy od przyjazdu połączyliśmy się z krajem.

Po przygodach z nożem początek pierwszym nawiązanym kontakcie z ludźmi, zapragnęliśmy wiedzieć więcej i bardziej zagłębić się w kraj, w którym się znaleźliśmy. Zaobserwować i zobaczyć od samej podszewki. Poznaliśmy gościnność prostych ludzi, ich zainteresowanie nami, naszymi praktykami – z zaciekawieniem oglądali nasze prace, historie tych ludzi, w których często jest mowa o Polsce i o Polakach. Najlepszym pretekstem do nawiązania rozmowy, była prośba o wodę lub pytanie o drogę.

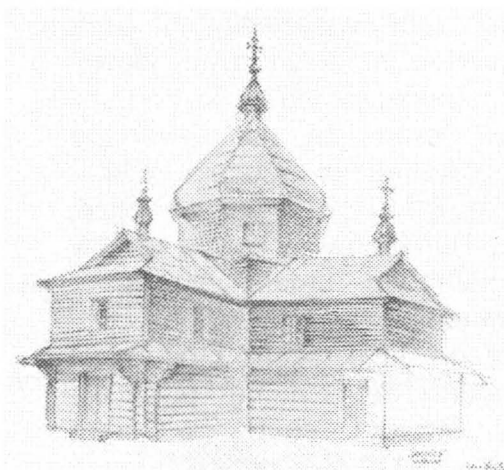


Rys.2. (rysowała Marta Gaszewska)

#### 1.4. Noclegi

Prace nad cerkwią czasem trwały do późna i nie zawsze był czas na to, aby rozejrzeć się za noclegiem. w tym miejscu ogromnie docenialiśmy niespodzianki takie jak bezinteresowna gościnność ludzi. Po mszy, w której braliśmy udział, jedna z kobiet podeszła i zapytała się czy mamy gdzie spać. Dzięki temu mogliśmy znowu przesiąknąć folklorem, który dla tych ludzi jest naturalny i nie traktowany jakoś specjalnie, a dla nas był bajecznym i nie do końca wyobraźalnym światem. Nie dość, że Pani przyniosła nam ręcznie haftowane poduszki i pościel na siano, to poczęstowała nas również przepyszną prawdziwą zupą – ukraińskim barszczem.

Rozbestwieni mieszkaniem u ludzi przestaliśmy rozbijać namioty, a zaczęliśmy szukać noclegów. Kolejne noce spędziliśmy w jednej z chat na prawdziwym wiejskim gospodarstwie, w którym mieszkały trzy pokolenia. Mieliśmy cały dom dla siebie. Tu gospodarze również okazali się bardzo pomocni i otwarci, jednak już za pieniądze, które – niestety - bardzo szybko przepijali.



Rys.3. Cerkiew w Jaremczy  
(rysowała Anna Derach)

#### 1.5. Jaremcze – podróż pociągiem i targ

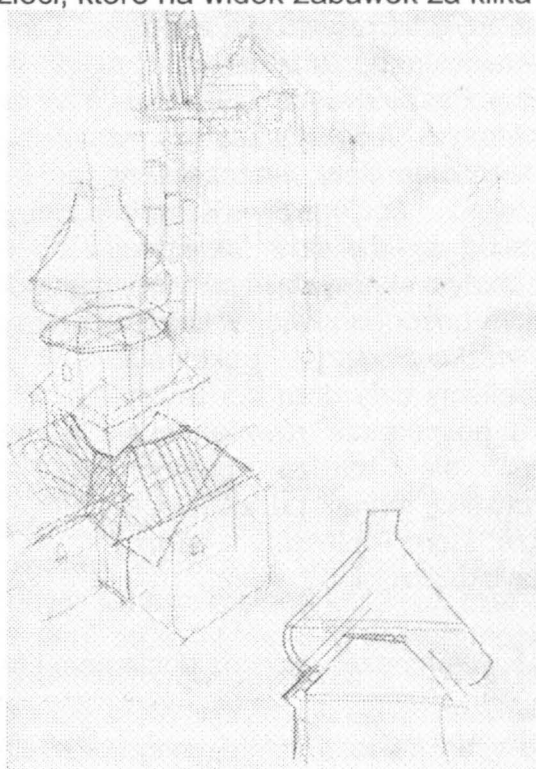
Na hasło „pociąg” wszyscy mieliśmy przed oczami nasze polskie pociągi PKP. Tutaj pod tym hasłem krył się monstrialny smok na ropę, który wiozł nas z prędkością 30 km/h w ścisiku i tłoku. Przez pierwsze kilka minut było to uciążliwe, ale za moment okazało się, że pociąg jest kolejnym ciekawym doświadczeniem. Panowała tu pełna kultura – ludzie widząc nas z dużymi plecakami, robili miejsca, pomagali wstawiać bagaże do środka. Byliśmy zupełnie zaskoczeni obwoźnym handlem, który odbywał się cały czas w całym pociągu. Można było kupić ciepłe pierogi, bluzki, podkoszulki, czereśnie lub m.in. worek ziemniaków. Jadąc na targ do Jaremcza wszyscy nastawiali się na duże i dzikie targowisko, a tu rozczarowanie. Targ okazał się bardzo podobny do naszych zakopiańskich Krupówek i całego związanego z tym kiczu. Każdy stragan podobny do poprzedniego; różniły się tylko cenami, które były bardzo wysokie. Efekt? Mało pamiątek, na które wszyscy byliśmy „napaleni”. a było co poprzymierzać – ręcznie haftowane męskie i damskie koszule lub robione na drutach swetry. Za to po targu spotkaliśmy panią Bronisławę, z którą jedna z uczestniczek robiła wywiad. Historia opowiadająca jak los kierował życiem pani Bronisławy i Jej męża, bardzo nami

wzruszyła, bo tylko Polacy na obczyźnie potrafili kochać Polskę tak mocno. Chwilami byliśmy aż zawstydzeni siłą patriotyzmu bijącą z tej osoby w dobie wyjazdów młodych ludzi z Polski „za chlebem”.

#### 1.6. Jabłonica – „góry” po raz drugi

Upragnione przez wszystkich góry nie były tego dnia zbyt wysokie, ale znów obfitowały w kontakty międzyludzkie. Po raz kolejny prośba o wodę stała się pretekstem do rozmowy i poznania ludzi żyjących w przysiółkach. Tu uderzyła nas bieda, także bieda dzieci, które na widok zabawek za kilka złotych, robiły wielkie szklane oczy i w zamian za te zabawki chciały nas zabierać ze sobą do domów. Dzięki temu, że dotarliśmy do przysiółka około południa, mogliśmy poznać i przyjrzeć się bliżej pracy Ukraińców. w czasie przerw na samogon i małą przekąskę opowiadali nam o swoich obowiązkach i zajęciach. Gospodyni gospodarstwa z dumą pokazała nam wnętrze chaty, w którym każda izba była przyozdobiona ręcznie robionymi gobelinami a na stołach leżały szydełkowane serwety. Dzieci, które chodziły boso, pokazywały nam najlepsze zabawki i poznawały nas z dziećmi z sąsiednich zagród. Mieliśmy wrażenie, że ożywił im dzień, a oni nam. Wszystko to nas bardzo cieszyło, ale i też przerażało. Dla nas to był obcy świat, świat, którego my – wychowani w innych warunkach, nie znamy.

Ciekawym doświadczeniem był również nocleg w poradzieckim schronisku, gdzie przeżyliśmy kolejne zdumienie. Nie było to miłe przytulne miejsce pełne ludzi, z wygodnymi łózkami i ciepłą wodą – byliśmy sami, na zarwanych pryczach i z prysznicem tylko z nazwy. Mimo usilnych starań, nie udało nam się z niego skorzystać. Kolejne widoczne różnice, przypominały sąsiednich uświadamiały nas, że ludzie w polskich wsiach w górach, żyli podobnie.



Rys.4. Schemat budowy cerkwi

(rysował Wojciech Pardała)

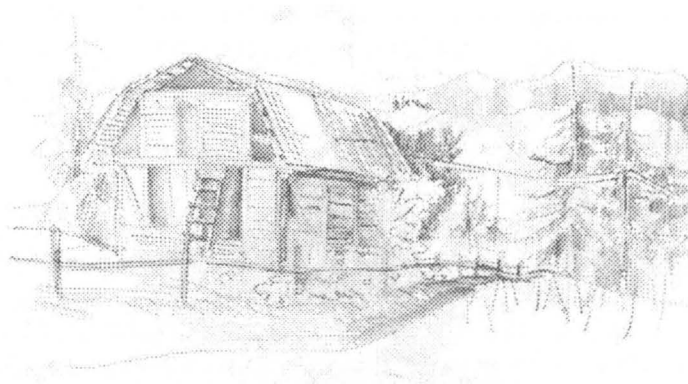


Rys.5. Przysiółek w Maksymcu (rysował Arkadiusz Sarlej)

## 1.7. Jasinia - PIETROS

Spotkane w pociągu siostry urszulanki z Kołomyi zaproponowały nam nocleg. Może nie w jakichś luksusowych warunkach, ale pod dachem, z dostępem do kuchni i z bieżącą wodą. Właśnie stąd wyruszyliśmy na jedyłą prawdziwie górską wyprawę - na Pietrosa (2020m.n.p.m.). Miała to być zwykła wycieczka w góry, ale okazała się ciężkim sprawdzianem naszej wytrzymałości i charakterów. w ulewie, w ostrym słońcu, przez las wspinaliśmy się na wciąż nieosiągalny szczyt. Wielu z nas narzekao na zmęczenie i zmasakrowane stopy. Ale dotarliśmy i było warto. Widok gór o zachodzie słońca, zabudowane doliny ulokowane między grzbietami, zapierały dech w piersiach, i utwierdzając nas w przekonaniu, że było warto i dodawały nam sił na drogę powrotną, która okazała się tak samo trudna i niebezpieczna jak wejście. Po drodze spotykaliśmy juhasów, którzy weszli wiosną na hale razem z bydłem i owcami a do wiosek zejda jesienią. Nikt z nas wcześniej nie był w górach 15 godzin jednorazowo. Góry pokazały nam swoje, inne niż na pocztówkach, oblicze. Nie jest to uśpiona, lecz żywa potęga natury, z którą trzeba postępować bardzo ostrożnie i z szacunkiem, szczególnie w szybko zmieniających się warunkach pogodowych.

Jasinia nie jest wsią, lecz miasteczkiem, które posiada bibliotekę, kantor, sklepy, a nawet dyskoteki dla młodzieży. w przydrożnych straganach warzywnych zaopatrywaliśmy się w podstawowy prowiant, np. w pomidory, które były luzem wrzucone do bagażnika samochodu.



Rys.6. (rysowała Marta Gaszewska)

### 1.8. Nocny pociąg do Lwowa

Kierując się w stronę Polski, do Kołomyi dojechaliśmy busikiem, a po całodniowym pobycie w tym mieście udaliśmy się nocnym pociągiem do Lwowa. Wagony były z wydzielonymi przedziałami, w których w jednym mieściło się sześć otwieranych ze ścian łóżek. Można było wypożyczyć do spania pościel za dodatkową opłatą. w pociągu wszystkie miejsca były już dawno wykupione. Jechaliśmy całą noc i korzystając z okazji rozmawialiśmy, graliśmy w karty z Ukraińcami. Zadziwił nas nadzwyczajny porządek w pociągu, nie tylko ład i czystość, ale organizacja i nadzorowanie wszystkiego przez tzw „panią wagonową”. w toaletach, które były zamykane w czasie postojów, znajdowało się mydło i ręcznik. U nadzorującej wagon istniała możliwość kupienia kawy, herbaty, piwa. Podróż pełna obaw z początku, minęła bardzo przyjemnie, a rytm stukotu kół uspił nas wystarczająco szybko i następnego dnia obudziliśmy się już we Lwowie.

Gdy wysiedliśmy z pociągu, zaniemówiliśmy. Nie mogliśmy uwierzyć, że jesteśmy na Ukrainie. Dworzec we Lwowie przypominał lotnisko: podświetlane napisy, neony również w języku angielskim, marmurowe podłogi, mnóstwo ochrony, bardzo dużo ludzi i to z wielu krajów, sama stalowa konstrukcja zadaszenia peronów robiła wrażenie; czysto i zadbanie. Najważniejszy budynek dla podróżnych powitał nas z klasą.

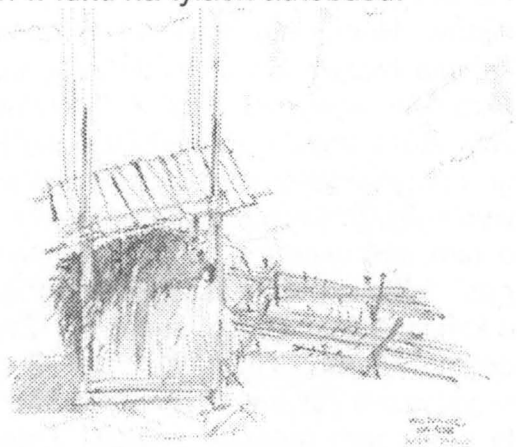
Niestety nie sposób jest zwiedzić Lwów w jeden dzień i to na dodatek kiedy cały czas padało. Dlatego postanowiliśmy sobie, że wrócimy tu na dłużej i poznamy miejsce styku historii dwóch krajów i wielu narodowości.

### 1.9. Łódź

Wracaliśmy do Łodzi tym samym autobusem, którym jechaliśmy dwa tygodnie wcześniej do Lwowa. Autobus najlepszy z linii ukraińskich na tej trasie pokazał nam swoją ukrytą stronę, bowiem całą drogę padał deszcz – również wewnątrz pojazdu, dlatego musieliśmy siedzieć pod parasolkami! Przykrą niespodzianką były również przemoknięte plecaki, które leżały na

wierzchu w luku bagażowym i dopiero po interwencji Straży Granicznej, kierowca się zgodził na umieszczeniu ich w luku na tyłach autobusu.

Patrząc na te incydenty z perspektywy przeżyć, wspomnień, doświadczeń, stają się one tak marginalne, że wręcz nieistotne. Najważniejsze jest to, że na takiej wyprawie, człowiek poznaje życie innych ludzi, które znacznie się różni od naszego, przez co się bardzo dużo uczy, nabiera pokory do natury, staje się bardziej wyrozumiałym. Nawet nie przypuszczaliśmy, że wyprawa może nam zaoferować dużo, dużo więcej niż same de facto góry, widoki i cerkwie.



Rys.7. Przysiółek w Maksymcu  
(rysował Arkadiusz Sarlej)

## 2. Fakty i ciekawostki Huculszczyzny

### 2.1. Położenie Huculszczyzny

Karpaty Ukraińskie rozciągają się od Przełęczy Łupkowskiej w Polsce do Przełęczy Predeal w Rumuni. Są to obszary słabo zaludnione, porośnięte dużą ilością gęstych lasów. Wierzchołki gór, widoczne nad lasami, wkraczają w obszar subalpejski obfitujący w kosodrzewinę i olchę zieloną. Zbudowane są przede wszystkim ze skał osadowych takich jak: łupki krystaliczne, wapień i piaskowiec. Karpaty Ukraińskie to obszar, który mimo wpływu cywilizacji oraz postępującej globalizacji zachował swoją odrębność kulturową i niepowtarzalny urok naturalnej przyrody.

### 2.2. Historia Ziemi

Przed i rozbiorem Polski Huculszczyzna znajdowała się w granicach naszego państwa. Zamieszkiwały ją wspólnoty pasterskie prowadzące koczowniczy lub półkoczowniczy tryb życia. Zasiadła te tereny również Polska szlachta, która asymilowała się z mieszkańcami tych obszarów. Ludność Huculszczyzny tworzyła bogatą mieszankę narodowościową i obyczajową. Po i rozbiore Polski tereny te znalazły się pod panowaniem Austro-Węgier. Zaborca zaczął narzucać Hucułom, tak jak i innym poddanym swoje prawa i powinności. Przyzwyczajeni do swobody górale mieli nakaz odbywania obowiązkowej służby wojskowej, która była dla nich bardzo dotkliwa, ponieważ musieli opuszczać swoje ukochane góry. Region ten wchodził w skład autonomicznej Galicji i należał do Austro-Węgier do i Wojny Światowej. Zbliżająca się wojna przyspieszyła nadzieje Polaków, Ukraińców na odzyskanie niepodległości, jednak oba narody chciały widzieć Huculszczyznę

w granicach swojego państwa. Tereny te wzbudzały również zainteresowanie Czechów, Słowaków, Węgrów i Rumunów, co było przyczyną wielu konfliktów. Huculi nie mieli wyraźnej świadomości Narodowej. Wspólny język i religia łączyły ich z Ukraińcami, lecz nie angażowali się w narodowy ruch ukraiński. w wyniku działań II Wojny Światowej Polska utraciła Huculszczyznę, która weszła w skład Związku Radzieckiego. Zmiana ustroju politycznego i przynależność naszego państwa do obozu socjalistycznego skutecznie wypłeniła ze świadomości Polaków pamięć o tym regionie. Nie wspominało o nim, ani w podręcznikach, ani w literaturze. Popularną pieśń „Czerwony pas” śpiewamy do dziś przy ogniskach, często nie zdając sobie sprawy, o kim ona jest i skąd pochodzi. Zniszczenia wojenne w znacznym stopniu dotknęły tereny Huculszczyzny. Zagładzie uległa niemal cała infrastruktura turystyczna i stylowa zabudowa. Mimo 60-cio letniej władzy ZSRR, pozostało tam sporo polskich śladów. Znajdujemy je na starych cmentarzach i pomnikach, w ruinach budowli jak np.: obserwatorium astronomiczne, resztkach schronisk, kościołów, pensjonatów, dworców kolejowych, czy dawnych willi. Wielu mieszkańców tych terenów, ma jednak świadomość polskiej i ukraińskiej przeszłości oraz niemałą wiedzę na temat tamtych czasów.

### 2.3. Huculi

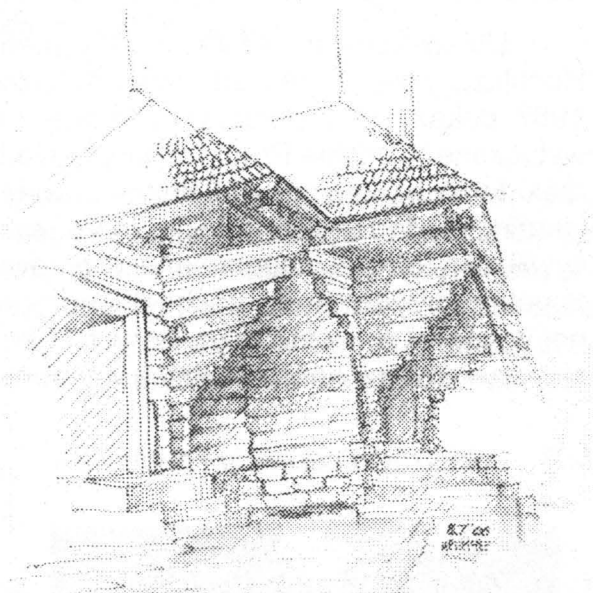
Huculi, to grupa etniczna górali pochodzenia ruskiego i wołoskiego, zamieszkałych na ukraińskiej i rumuńskiej części Karpat Wschodnich. w dorzeczu górnego Prutu, Czeremoszów (Białego i Czarnego) Oraz Cisy, na terenach odległych od głównych dróg i dużych miast, stworzyli własną kulturę regionalną. Głównym ich zajęciem jest: hodowla bydła, koni (piękne i wytrzymałe konie Huculskie), pasterstwo i myślistwo. Ślady osadnictwa na Huculszczyźnie sięgają czasów neolitu. Już od IX wieku rumuńskie Ludy koczownicze, z Wołoszczyzny, Mołdawii i Węgier, wędrowały wzdłuż gór w poszukiwaniu pastwisk dla swoich stad dochodząc niemal do Tatr. Na te tereny przybywali też Rusini, chroniący się przed najazdami Mongolskimi. Nacje te łączyła wspólna religia prawosławna, która doprowadziła do przemieszania się tych grup i wytworzenia jednego narzecza opartego na języku ruskim, z domieszką rumuńską węgierską i polską. Świadczyć o tym mogą rumuńskie nazwy miejscowości i gór, nazwy pospolite w budownictwie, muzyce i strojach ludowych.

### 2.4. Wieś Huculska

Wieś huculska posiadała charakter samotnicy. Nie stanowiła ona zwartej zabudowy, lecz poszczególne gospodarstwa porzucane były na licznych pagórkach otaczających dolinę i centrum wsi, dlatego też zajmowała ona znaczny obszar. Środek wsi stanowiła cerkiew z probostwem, urząd gminy, szkoła, gospoda, ulokowane w pobliżu drogi oraz rzeki lub strumienia. Później pojawiły się sklepy, a niekiedy wille letniskowe i pensjonaty.

Obecnie wieś zachowała swój pierwotny charakter, przybyły tylko budowle służące całej społeczności.

Domy wiejskie charakteryzowały się tym, że izbę mieszkalną obudowywano wieńcem pomieszczeń gospodarczych, usytuowanych od północy, wschodu i zachodu, aby chroniły ją przed mrozem i wiatrem. Połączenie dachu od strony zewnętrznej schodziły do samej ziemi. Dach miał konstrukcję krokwiowo-jętkową. Do budowy takiego gospodarstwa, używano drewna iglastego odpowiedniej jakości, które wcześniej gromadzono i sezonowano.



Rys.8. Cerkiew w Jaremczy  
(rysował Arkadiusz Sarlej)

## 2.5. Sztuka ludowa

Sztuka ludowa rozwinęła się samoistnie tworząc własne reguły, styl oraz szkołę artystyczną. Twórczość artystów stanowiła odrębność zauważalną nie tylko w Polsce, ale w całej Europie. Tworząc przedmioty codziennego użytku ozdabiano je głównie motywami geometrycznymi z zastosowaniem żywych kolorów, co wskazuje na wpływy wschodnie, które przedostały się na tereny Huculszczyzny w wyniku wojen tatarskich i tureckich. Rękodzieło artystyczne opierało się wyłącznie na naturalnych surowcach i barwnikach. Wyroby drewniane, tkackie, kuśnierskie, wyszywanki bogato zdobione znajdowały wielu nabywców wśród turystów i letników odwiedzających te strony.

## 2.6. Religia

Życie codzienne Hucułów podporządkowane jest życiu religijnemu. Czczą oni nie tylko Boże Narodzenie, Wielkanoc i niedziele, ale i święta kościelne przypadające w dni powszednie. Uwierają się wtedy w tradycyjne kolorowe stroje i nie wykonują żadnej pracy. Uwierają, że praca w te dni jest grzechem, za który mogą ich spotkać różne kary (pożary, choroby, kalectwo). Święto to cerkiew, odpoczynek i goście. Mimo, że Huculszczyzna przeżyła wiele dziesięcioleci oficjalnego, państwowego ateizmu i zacieklej walki z religią, cerkwie jej nigdy nie świeciły pustkami. Nawet w najgorszym radzieckim okresie pełne były wiernych pragnących uczestniczyć w Służbie Bożej.

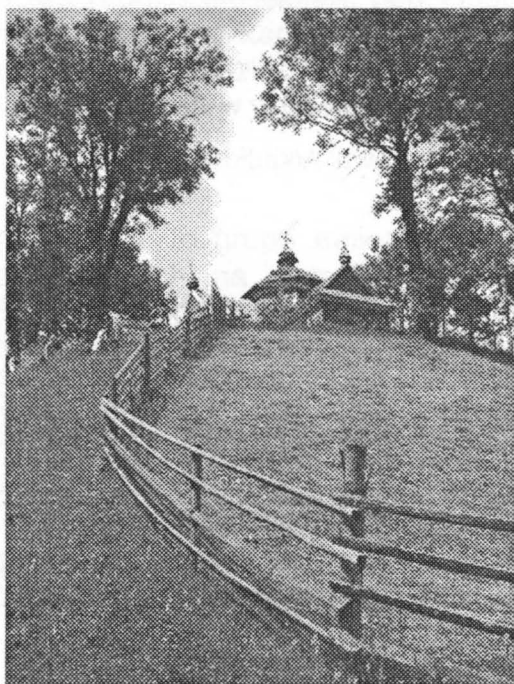
BIBLIOTEKA PŁ



## 2.7. Charakterystyka cerkwi drewnianych

Ubiegłoroczna wyprawa dokumentowała północny-zachodni obszar Huculszczyzny (wyznaczony wg. Autorów Ukraińskich ZSSR w latach 1958-1987 pokazywany przez U. Janicką- Krzywdę publ. 1991). Trasy zostały wytyczone w dolinie Prutu i Bystrycy Nadwórnianaskiej, dwóch największych rzek tamtego regionu. Mieliśmy również okazje podziwiać różne oblicza Ukrainy. Jedno z nich to takie, które jest zupełnie odizolowane od zdobyczy cywilizacji, dawno zapomniane w przewodnikach turystycznych, drugie zaś zupełnie przyjazne dla zachodnioeuropejskiego turysty. Podczas tegorocznej wyprawy zinwentaryzowaliśmy z 11 cerkwi, tworząc pełną ich dokumentację, oraz uzupełniając i ocalając wizerunek Huculszczyzny.

## 2.8. Lokalizacja cerkwi w krajobrazie



Zdj.1. Cerkiew Strukowska w Jasinej  
(fot. Piotr Dróżka)

*„W każdym miejscu, w którym spadnie kropla krwi Chrystusa wyrasta nowa cerkiew”* tak mówi stara Huculska kolęda. Są to miejsca na niewielkich wzniesieniach, na płaskich platformach, pagórkach, czy wręcz trudno dostępnych skarpach. Często znajdowały się one wśród gęstwiny drzew, w której skryte zostały helmy ich wież, i wieżyczkowe zwieńczenia. Często wspólnie stanowiąc silny akcent krajobrazowo- kolorystyczne- wrażeniowy. Wiele wskazuje również na to, że wkomponowanie świątyń w krajobraz było w początkowych realizacjach świadomie stosowanym zabiegiem, zrodzonym z doświadczenia uwzględniającego sumę wielu czynników.

## 2.9. Bramy wejściowe i ogrodzenia

Zanim dostaniemy się na teren cerkwi musimy najpierw minąć drewnianą bramę wejściową. Jest to trzyczęściowa rama z wejściem głównym, otwieranym tylko przy okazji większych uroczystości i dwóch wejść bocznych dla wiernych. Rama kryta jest dwuspadowym gontowym, różnie kształtowanym daszkiem. Ogrodzenie przyjmowało różne formy w zależności od wielu czynników w tym także od zamożności fundatora. Najczęściej było to pręśło żerdzi drewnianej (specjalnie do tego przygotowanej) wsparte na słupach

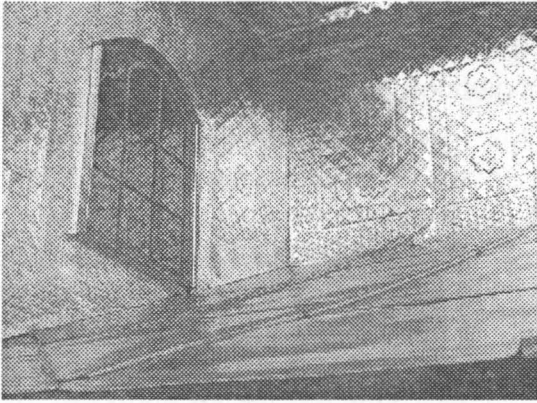
lub, jak to bywało w przypadku tradycyjnych odrodzeń, wsparte na, specjalnie wydłużonym do tego celu, przęśle żerdzi sąsiedniej. Na zakończeniach wiązane było sznurem otrzymywanym z giętkich gałęzi.

## 2.10. Cmentarze przycerkiewne

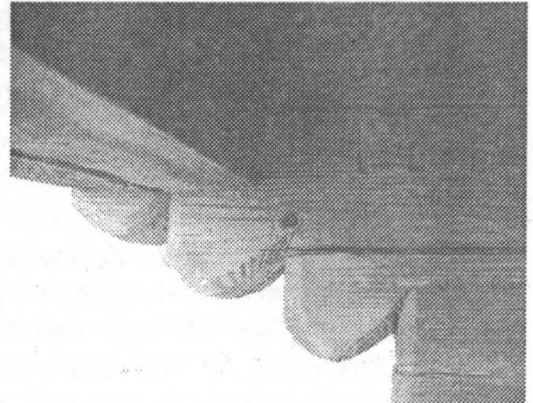
Najbliższe otoczenie cerkwi tzn. cmentarze przycerkiewne stanowiły osobny element silnie działający na psychikę osób zdążających do cerkwi na Bożą Służbę. Nagrobki wykonywano z kamienia lub opatrywano jedynie krzyżem żeliwnym lub drewnianym. Często płytę wzbogacało zdjęcie osób zmarłych w tradycyjnych strojach huculskich. Często na cmentarzu przy cerkwi spoczywał jej fundator wraz z rodziną. Znacznie ułatwiało to oszacowanie daty powstania budowli.

## 2.11. Materiały i konstrukcja

Huculi do końca XVIII wieku wznosili Domy Boże wyłącznie z drewna. Drewno było w górskich obszarach budulcem łatwo dostępnym i w związku z tym tanim, a przy tym było również materiałem swojskim dla górali. Ten sam materiał wykorzystywali do budowy zagród od zamierzonych czasów wiec nie stanowił on problemu w obróbce. Materiał budowlany na tych górskich obszarach stanowiły przede wszystkim drzewa iglaste: jodła, świerk, sosna, rzadziej modrzew. Żaden budynek nie został w całości wzniesiony z tego trwałego i szlachetnego drewna. Jedynie podwaliny (pryciesie) wykonywane były z modrzewia i dębu. Drewniane cerkwie huculskie budowane są na zrąb. Konstrukcja zrębowa, zwana również wieńcową lub blokową, polega na układaniu poziomo bali w wieńiec, a poszczególnych wieńców na siebie, odpowiednio łączonych w narożach. Poszczególne bale były okorowane, ale tylko w niektórych budowlach, głównie starszych, były one również okantowane, tzn. odpowiednio uformowane dając w przekroju kwadrat lub prostokąt. Częstym przypadkiem jest formowanie i okorowywanie jedynie najbardziej widocznych bali, te schowane głęboko pod szerokim okapem najczęściej były w stanie bardziej surowym, nieokorowanym lub niedokładnie okantowanym. O czym świadczą, między innymi, głębokości nacięć ciesielskich. Większość zabytków posiada zręby ścian wzniesione z półokrągłaków tzn. z bali drewna przeciętych na pół, dających w przekroju formę półkolistą. Przy balach o większej średnicy, zacinano przeważnie część ich boków, otrzymując w przekroju rodzaj prostokąta zamkniętego półkoleściami o ściętych symetrycznie krawędziach przekroju. Bale tego samego wieńca ściany, łączono w narożach za pomocą odpowiednio wykonanych węglów.



Zdj.2. Blaszane pokrycie cerkwi  
w Bystrycy  
(fot. Łukasz Borusowski)



Zdj.3. Detal rysia  
(fot. Wojciech Pardała)

Do najczęściej spotykanych należy połączenie na obłap i nakładkę. w większości zamków stwierdzono obecności krytego czopa. z kolei bale sąsiadujących wieńców łączono za pomocą tybli, usztywniających w ten sposób całą konstrukcję ścian. Na wielu elementach konstrukcyjnych zaobserwowano istnienie prymitywnych ciesielskich znaków montażowych powstałych podczas obróbki wykonanych uderzeniami siekiery. Znaki ostrym narzędziem wykonywano również przy odmierzaniu długości murłat i podwalin, stosując oczywiście stała, charakterystyczna dla regionu jak również dla budujących wykonawców, miarę łokcia.

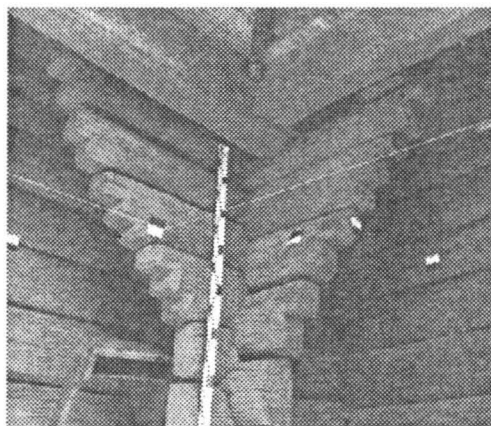
## 2.12. Rzuty i usytuowanie cerkwi względem kierunków świata.

Okazała obrzędowość i rozbudowana wspiana wschodnia liturgia są ukryte przed oczami uczestników nabożeństwa. Prezbiterium, inaczej sanktuarium, dostępne jedynie dla kapłana, oddzielone od wiernych przegrodą, która z czasem przeobraża się w zakrywającą wszystko ścianę ikonostasową, symbolizuje dla żywych niebo. Ponad to uczestnicy nabożeństw podzieleni byli na dalsze dwie grupy o odrębnych przywilejach, a to wymagało dwóch dalszych pomieszczeń nawy głównej i naw bocznych oraz babińca. Mistyczny nastrój, tajemnica charakterystyczna jest dla obrządków chrześcijańskich wyznań wschodnich. w konsekwencji zatem każde pomieszczenie, spełniając odmienną funkcję było odpowiednio do tych wymogów organizowane, a to z kolei wpływało na kształtowanie się przestrzennego układu i brył cerkiewnych. Stąd wewnątrz cerkwi nie jest jednolitą całością jak w zachodnich kościołach chrześcijańskich, ale przeciwnie tworzy osobne segmenty pomieszczenia. w kształtowaniu układu przestrzennego i komponowaniu bryły cerkiewnej decydującą rolę odgrywają dwa czynniki Centralności i symetria układu, akcentowane w rzucie i bryle budowli. Budownicy stosowali różne zabiegi mające na celu spotęgowanie wrażenia podczas ceremonii. Przykładem może być umiejętne operowanie światłem, okna znajdujące się w ścianach północnych i południowych oraz w tzw., bębnie

kopuły tak przekierowują, wielokrotnie odbijane światło, że w świątyni panuje półmrok, a wyraźnie oświetlone zostają najważniejsze miejsca w świątyni.

### 3. Metody pomiarów inwentaryzacyjno-badawczych

Głównym zadaniem IX Wyprawy Naukowej Studentów Architektury Politechniki Łódzkiej na Ukrainę, podobnie jak i ośmiu poprzednich wypraw, było przeprowadzenie pomiarów architektoniczno-inwentaryzacyjnych zabytkowej architektury huculskiej, a szczególnie cerkwi drewnianych z XVIII-XIX i XX wieku, celem wyciągnięcia późniejszych wniosków dotyczących ich podobieństwa, cech charakterystycznych i usystematyzowania typów cerkwi występujących na badanym terenie.



Zdj.2. Horyzont, łąta, markery na elewacji cerkwi

(fot. Wojciech Pardała)

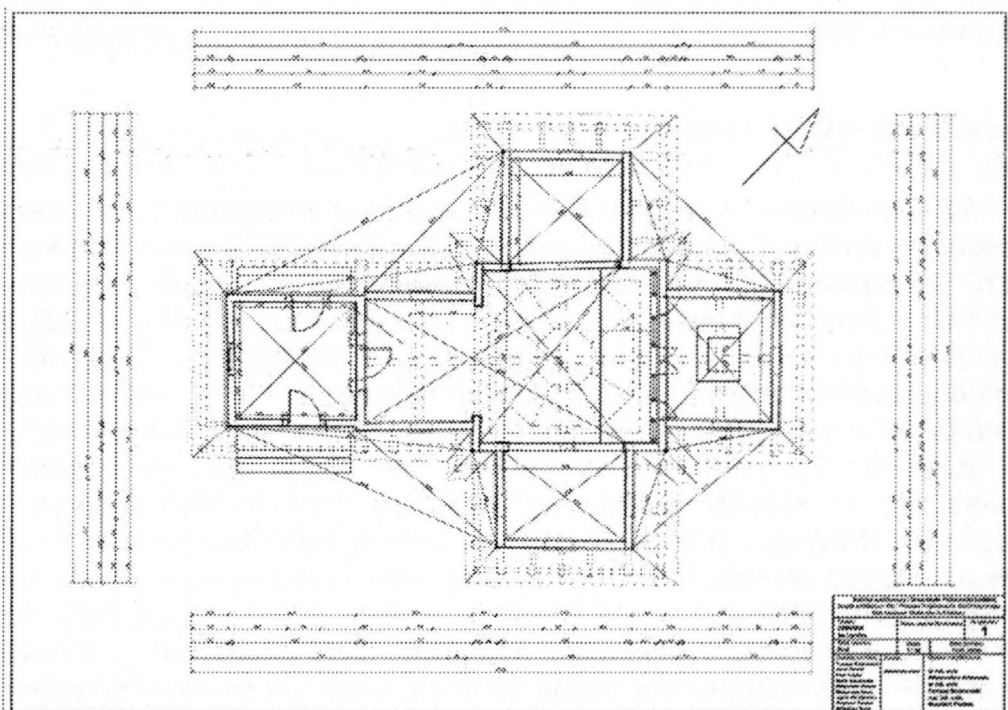
Wyprawa liczyła 17 osób, w tym: trzynaścioro studentów architektury, jedna studentka IV roku historii sztuki na Uniwersytecie Łódzkim oraz trzech opiekunów. Wszelkie prace pomiarowe prowadzono za pomocą tradycyjnych metod, które sprawdzają się w każdych warunkach, a ich dokładność jest całkowicie wystarczająca do badań naukowych, którym pomiary mają służyć.

#### 3.1. Charakterystyka pomiarów

W lipcu 2006 r. w ciągu dwóch tygodni trwania wyprawy zmierzonych zostało 11 cerkwi. Wszystkie pomiary wykonano przy pomocy standardowych, 30-metrowych taśm mierniczych, 8-metrowych miarek metalowych, poziomic sznurkowych, węgielnicy pryzmatycznej i czasem przy użyciu bardziej „wyrafinowanego” urządzenia, jakim jawi się dalmierz laserowy. Ze względów organizacyjnych w omawianych pomiarach nie używano narzędzi takich jak: niwelatory, teodolity, lasery rotacyjne itp. – są to urządzenia ciężkie, a zatem niewygodne w transporcie (zwłaszcza jeśli podróżuje się z plecakami, korzystając praktycznie wyłącznie z lokalnego transportu publicznego). Równocześnie kłopotliwy organizacyjnie byłby już sam fakt ich przewozu przez granicę, wymagający wcześniej dodatkowego wysiłku związanego z formalnościami koniecznymi do spełnienia przed wyjazdem. Należy również zauważyć, że pomiary miały charakter ograniczony. Głównym czynnikiem wpływającym na liczbę pomierzonych elementów pojedynczej budowli był czas, którego piętno odciskało się na szczegółowości rysunków terenowych. Standardowo na jedną cerkiew dla mniej więcej siedmio-, ośmioosobowej grupy przypadał jeden dzień. Grupa przed rozpoczęciem

pomiarów dzieliła się na mniejsze zespoły, a poszczególne osoby wstępnie brały na siebie odpowiedzialność także za zadania indywidualne. Podział obowiązków odbywał się według sprawdzonego następującego schematu: 4 osoby na przygotowanych wcześniej i przywiezionych z Polski formularzach notat rysują poszczególne elewacje, 1 osoba nanosi zarys rzutu. 2 osoby rozpoczynają mocowanie horyzontu niezbędnego do inwentaryzacji pionowej i fotograficznej. Po wykonaniu wstępnych szkiców rozpoczynają się prace stricte pomiarowe – 3 osoby podejmujące pomiary przekroju poziomego w tym jedna prowadząca notatę, 2 osoby do pomiarów pionowych oraz pozostałe 2-3 osoby prowadzące inne niezbędne do pomiarów rysunki – względnie w miarę możliwości rozpoczynające pomiary wnętrza. Te ostatnie zazwyczaj przebiegały w pośpiechu, ciszy, ale jednocześnie zawsze w dobrej organizacji – najczęściej ze względu na krótki czas dostępności wnętrza. Pomiary te niemal zawsze odbywały się finalnie całą grupą i niejednokrotnie – z konieczności – czasowo zamykały się w 15-20 minutach.

Wszystkie pomiary prowadzone były przy pomocy praktycznie sprawdzonych i w zasadzie już historycznych (przedwojennych) metod inwentaryzacyjnych. Wyprawa posługiwała się głównie metodą pomiarów poziomych za pomocą poligonu, metodą pomiarów pionowych za pomocą horyzontu oraz pomiarami fotometrycznymi, które ze względu na szybkość ich przeprowadzania oraz stosowanie współcześnie powszechnych aparatów cyfrowych, były bardzo wygodne. We wnętrzach nieoceniony zarówno przy pomiarach pionowych, jak i poziomych, okazał się dalmierz laserowy, szczególnie ze względu na szybkość pracy przy jego użyciu.



Rys.9. Rzut cerkwi w Jasinej (kreśliła Małgorzata Kokot)

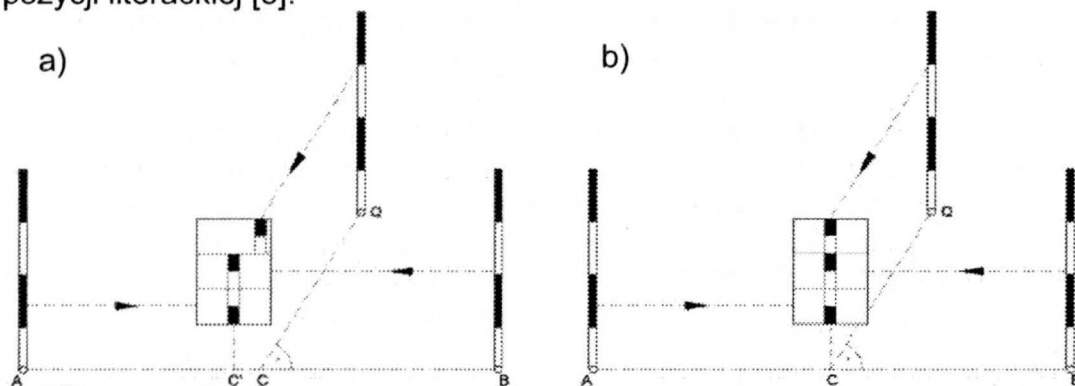
## 3.2. Pomiary poziome

### 3.2.1. Tradycyjny typ pomiaru – ciągi pomiarowe

Pomiary w płaszczyźnie poziomej oparte były na tradycyjnym typie pomiaru składowych długości oraz na budowie schematu poligonalnego wokół cerkwi. Stosowaną metodą były pomiary przy pomocy ciągów – zgodnie z postępowaniem pracy pomiarowej mierzono odległości kolejnych, charakterystycznych punktów prostej od jednego punktu początkowego. Celem tej metody jest zredukowanie drobnych błędów, powstających za każdym razem przez przykładanie zerowego punktu taśmy do coraz to innych punktów. Pomiary rzutu poziomego budynku zdejmujemy najpierw z zewnątrz, dokonując pomiarów wszystkich dostępnych boków i elementów interesującego nas obiektu. Metodą opisaną w poprzednim akapicie dokonujemy również pomiarów relacji kątowych między poszczególnymi narożnikami bryły budynku, gdyż pamiętać zawsze należy, że natrafić możemy na znaczne odchylenia od kąta prostego.

### 3.2.2. Metoda poligonu

Celem dokładnego zdjęcia wymiarów i kontroli wzajemnych relacji pomiędzy poszczególnymi elementami budynku, posługujemy się wspomnianą wcześniej metodą *poligonu*. Metoda ta, stosowana już przed II wojną światową, charakteryzuje się prostotą i uniwersalnością zastosowania. Do użycia tej metody pomiarowej potrzebujemy jedynie mocnego, nierozciągliwego sznurka, tyczek do wyznaczenia geometrii poligonu oraz prostego, aczkolwiek bardzo dokładnego urządzenia, zwanego węgielnicą pentagonalną dwu-pryzmatyczną. Typowa węgielnica pryzmatyczna jest urządzeniem mechaniczno-optycznym składającym się z dwóch pryzmatów oraz okna przeziernika umożliwiającego jednoczesną obserwację trzech kierunków wzajemnie prostopadłych (kierunku w lewo i prawo oraz na wprost) – według pozycji literackiej [5].

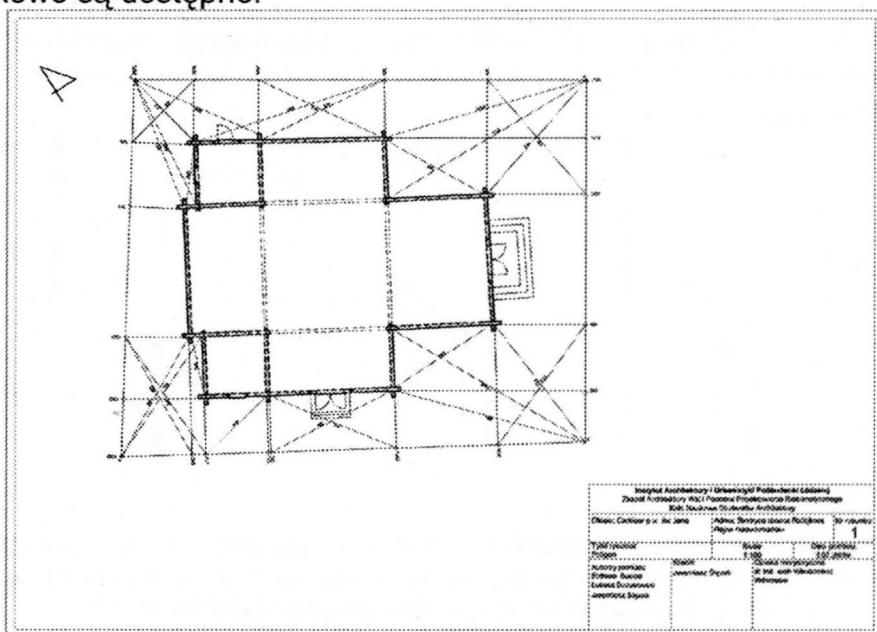


Rys.10. Tyczenie prostopadłej za pomocą węgielnicy (rzut prostokątnego punktu Q na AB); a) węgielnica na prostej AB, b) węgielnica na prostej AB w punkcie C, który jest rzutem prostokątnym punktu na AB

(rysunek na podstawie pozycji literackiej [4])

Praca z wykorzystaniem tego urządzenia polega na takim korygowaniu położenia punktu obserwacji, aby uzyskać koincydencję (zgranie w jednej linii pionowej) obrazów tyczek, które mają spełnić warunek odpowiedniej prostokątności kierunków na stanowisku obserwacji. Dokładność tych prac jest w zakresie 3-4 minut kątowych. Stosowanie metody poligonu opiera się głównie na wyznaczeniu osnowy budynku przy pomocy zamkniętych ciągów poligonowych. Ciągi te powinny być wyznaczone w takim układzie, aby z ich boków można było pomierzyć elementy obiektów metodą domiarów prostokątnych. Ciągi poligonowe wyznacza się za pomocą tyczek i sznurka na wysokości około 1m ponad poziomem gruntu.

Ciągi powinny być wypoziomowane za pomocą poziomiccy sznurkowej oraz punkty osnowy należy markować w sposób zapewniający im trwałość przynajmniej na czas pomiaru. Po wykonaniu czworobocznej osnowy, usztywnionej co najmniej czterema dokładnie zmierzonymi trójkątami, przystępujemy do prac pomiarowych. Na odcinkach osnowy dokonujemy przy pomocy węgielnicy pryzmatycznej wyznaczenia punktów, z których da się poprowadzić do elementów, do których pomiaru mamy zamiar przystąpić, linie prostopadłe do osi osnowy. Po wyznaczeniu powyższych punktów, dokonujemy pomiarów prostokątnych wszystkich charakterystycznych punktów budynku. Krokiem drugim jest zdjęcie miary kolejnych odcinków na liniach osnowy między wyznaczonymi punktami oraz miary boków osnowy. Następnie kontrolnie dokonujemy pomiarów dodatkowych oraz pomiarów kątowych w punktach charakterystycznych poligonu celem odczytania przy tworzeniu rysunków kątów na bazie jakich osnowa została skonstruowana. Nieuniknioną cechą budowy poligonu w przypadku prac terenowych jest jego do pewnego stopnia przypadkowość. Rozpięcie osnowy opiera się niejednokrotnie o stałe punkty w otoczeniu badanego obiektu (np. latarnie, ogrodzenie, istniejące słupki), czasem w oparciu o wbite w podłoże tyczki – jeśli takowe są dostępne.



Rys.11. Przykład użycia metody poligonowej w cerkwi w Bystrycy (kreślił Jeremiasz Ślęzak)

Tak przeprowadzone pomiary rzutu poziomego budynku dają nam możliwość skonstruowania rzutu obiektu z dosyć dużą dokładnością zarówno w kwestii odcinków jak i w kwestii relacji kątowych między elementami bryły obiektu.

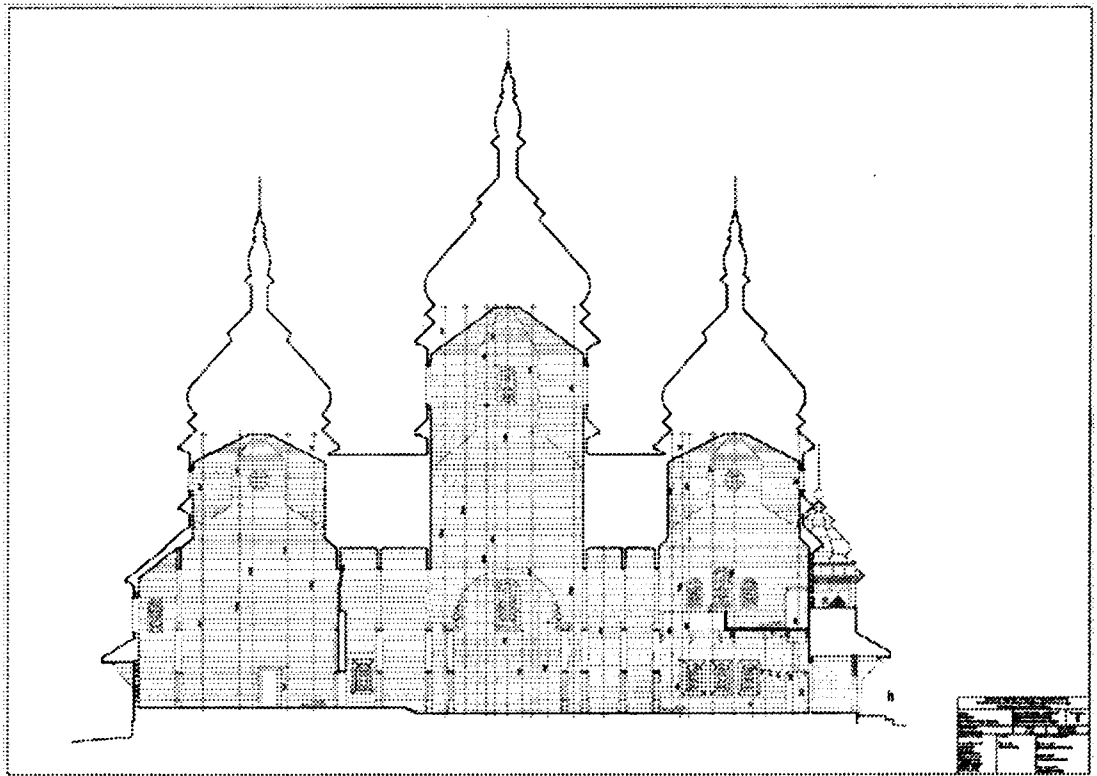
### 3.3. Pomiary wnętrza

W przeciwieństwie do względnie powolnych pomiarów zewnątrz, pomiary wewnątrz cerkwi okazują się być wyścigiem z czasem. Pomiary te najczęściej wykonywane całą grupą potrafią się zamknąć w piętnastu minutach – co niestety nie wynika z niecodziennych zdolności mierniczych grupy, ale zwykle z braku czasu osoby udostępniającej nam wnętrze. Inwentaryzacja pomieszczeń opiera się jedynie o znalezienie głównych wymiarów obwodowych, jak i pomiarach jak największej liczby przekątnych. Główną metodą, w oparciu o jaką budowany jest system pomiarów, była metoda trójkątów – jedna z najdokładniejszych i pozwalających na uzyskanie zarówno zadowalającej dokładności relacji kątowych jak i wzajemnej odległości między narożnikami różnych elementów konstrukcji cerkwi. Niejednokrotnie jednak dokładność tych wymiarów pozostawia wiele do życzenia chociażby ze względu na mnogość elementów wyposażenia cerkwi utrudniających wymiarowanie konstrukcji budynku. w takich sytuacjach najczęściej ratunkiem dla powstających po powrocie rysunków docelowych okazuje się dokumentacja fotograficzna, wykonana w trakcie trwania pomiarów wewnątrz. Pomiary wnętrza cerkwi ze względu na brak czasu opiekuna obiektu, jak i na daleko posuniętą religijność oraz przywiązanie do tradycji ze strony miejscowych wiernych, okazują się czasami zupełnie niemożliwe. Częstość można stanąć przed sytuacją całkowitej niedostępności wnętrza lub pomieszczeń, najczęściej znajdujących się za ołtarzem – ikonostasem.

### 3.4. Pomiary pionowe

Drugą częścią pomiarów, prowadzoną jednocześnie, są pomiary pionowe. Inwentaryzacja ta prowadzona jest w oparciu o wspomniany przy okazji prac przygotowawczych horyzont – wyznaczony po obwodzie obiektu, wyznaczający płaszczyznę tnącą na wysokości ok. 1 m ponad poziomem wewnętrznej posadzki cerkwi. Horyzont wyznacza się za pomocą sznurka, pinesek oraz poziomuje przy pomocy poziomicy sznurkowej. Płaszczyzna horyzontu wyznacza nam poziom porównawczy do pomiarów wysokości elementów fasady takich jak drzwi, okna, okapy, poziomu gruntu itp. Trudność pionowych pomiarów ścian zewnętrznych rośnie z ich wysokością i rozczłonkowaniem bryły. Ciekawym faktem jest, że dokładność poziomicy sznurkowej jest zaskakująco duża. Przy dokładnym obejściu bryły budynku linia horyzontu w praktyce jest w stanie zejść się z punktem rozpoczęcia wyznaczania horyzontu, z dokładnością do 1-3 cm, co przy skali mierzonych drewnianych obiektów (a zwłaszcza przy świadomości celu, dla jakiego wykonywany jest pomiar) stanowi odchylenie możliwe do zaakceptowania.





Rys.12. Przekrój z cerkwi z Delatyna-Zarzecze  
(kreślili Piotr Dróżka i Arkadiusz Sarlej)

### 3.5. Przekrój

Kontynuując analizę metod pomiarów pionowych nie można nie wspomnieć o pomiarach przekroju wewnętrznego cerkwi. Ze względu na krótki czas przeznaczony na wewnętrzne pomiary, prace te prowadzone były przede wszystkim przy pomocy dalmierza laserowego. z jego pomocą w ciągu kilku minut udawało się wyznaczyć relacje pomiędzy najważniejszymi punktami przydatnymi do analizy charakterystycznego przekroju cerkwi.

### 3.6. Porównanie z pracami inwentaryzacyjnymi zespołów zagranicznych

Ciekawie wypada porównanie pomiarów cerkwi dokonywanych przez grupy studentów Politechniki Łódzkiej, działające na Ukrainie, z pomiarami innego rodzaju obiektów, dokonywanymi przez grupy zagraniczne z uczelni partnerskich w Moguncji i Wersalu. Tzw. „grupy huculskie” podczas inwentaryzowania skomplikowanych drewnianych obiektów posługują się jedynie metodami tradycyjnymi, nie opartymi o urządzenia elektroniczne (nie licząc dalmierzy laserowych) lub nowoczesne metody informatyczne. Tymczasem wszelkie pomiary prowadzone przez grupy z zagranicznych uczelni architektonicznych, współpracujących z Instytutem Architektury i Urbanistyki Poli-

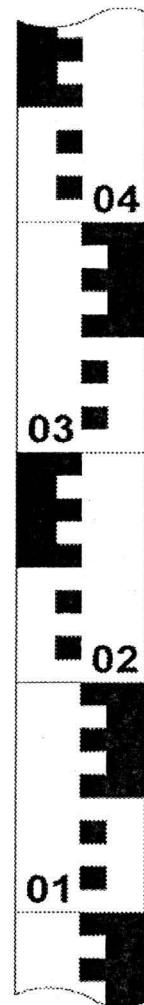
techniki Łódzkiej, oparte są o najnowocześniejsze metody elektroniczno-techniczne. Patrząc chociażby na pomiary XVIII-wiecznego pałacu w Asnières-sur-Seine k. Paryża, jakie część grupy Koła Naukowego Studentów Architektury PŁ miała przyjemność prowadzić w 2004 r. we współpracy z innymi zagranicznymi zespołami, można zauważyć ten techniczny dysonans. Jednakże polska grupa, posługująca się metodami tradycyjnymi, w najmniejszym stopniu nie ustępowała dokładnością przeprowadzonych pomiarów kolegom z uczelni w Moguncji i Wersalu, używającym elektronicznych tachymetrów oraz samopoziomujących laserów rotacyjnych najnowszej generacji.

### 3.7. Fotometria

Metoda posługiwania się fotografią dla celów pomiarowych do pewnego czasu znajdowała w architekturze stosunkowo mniejsze zainteresowanie, podczas gdy w geodezji była środkiem nie do zastąpienia. Metoda ta stosowana już przed II wojną światową, jest dość prosta. Wymaga ona ogólnych wiadomości z dziedziny fotografii (głównie optyki fotograficznej), jak również podstawowych wiadomości z dziedziny perspektywy geometrycznej.

Zastosowana w trakcie wyprawy metoda opierała się o podstawowe cechy tej bardzo rozwiniętej obecnie techniki. Jej główne założenie leżało w utrwaleniu na negatywie, względnie karcie pamięci cyfrowej, płaszczyzn równoległych do płaszczyzny negatywu lub matrycy cyfrowej. Płaszczyzny fotografowane były wzbogacone o linie horyzontu (sygnalizowane dodatkowo w punktach węzłowych czarno-białymi, kwadratowymi „markerami” o boku 8cm, wykonanymi z brystolu i przypinanymi do ścian pinezkami) oraz łąty pomiarowe, dzięki którym na podstawie zdjęcia oraz w oparciu o pomiary poziome i pionowe, można było odtworzyć fotografowany fragment budynku.

W przypadkach niedostępności elementów budowli do pomiaru bezpośredniego lub pośredniego a także w przypadkach trudności w prawidłowym wykonaniu fotografii, do rozpoznania ich geometrii stosowana jest metoda restytucji zdjęć metrycznych, wykonanych z dalszej odległości.



Rys.13. Łaty wykorzystywane do fotometrii

### 3.8. Porównanie z pracami inwentaryzacyjnymi innych zespołów zagranicznych

Ciekawie wypada porównanie pomiarów cerkwi dokonywanych przez grupy studentów Politechniki Łódzkiej, działające na Ukrainie, z pomiarami innego rodzaju obiektów, dokonywanymi przez grupy zagraniczne z uczelni partnerskich w Moguncji i Wersalu. Tzw. „grupy huculskie” podczas inwentaryzowania skomplikowanych drewnianych obiektów posługują się jedynie metodami tradycyjnymi, nie opartymi o urządzenia elektroniczne (nie licząc dalmierzy laserowych) lub nowoczesne metody informatyczne. Tymczasem wszelkie pomiary prowadzone przez grupy z zagranicznych uczelni architektonicznych, współpracujących z Instytutem Architektury i Urbanistyki Politechniki Łódzkiej, oparte są o najnowocześniejsze metody elektroniczno-techniczne. Patrząc chociażby na pomiary XVIII-wiecznego pałacu w Asnières-sur-Seine k. Paryża, jakie część grupy Koła Naukowego Studentów Architektury PŁ miała przyjemność prowadzić w 2004 r. we współpracy z innymi zagranicznymi zespołami, można zauważyć ten techniczny dysonans. Jednakże polska grupa, posługująca się metodami tradycyjnymi, w najmniejszym stopniu nie ustępowała dokładnością przeprowadzonych pomiarów kolegom z uczelni w Moguncji i Wersalu, używającym elektronicznych tachymetrów oraz samopoziomujących laserów rotacyjnych najnowszej generacji.

### 3.9. Kilka słów o trudnościach

Przyjęte w pracach terenowych na Ukrainie metody są wprawdzie dość pracochłonne, jednak przy działaniu stosunkowo dużych zespołów i dobrej organizacji pozwalają na osiąganie zadowalających efektów w stosunkowo krótkim czasie. O tym zaś, że równocześnie są to metody dość dokładne, przekonują prace kameralne już po powrocie do Polski, gdy przeniesienie danych z notat terenowych na rysunki wykreślane „na czysto” lub wprowadzanie danych z notat do komputera, nie nastęrcza większych problemów i pozwala „zamykać” rysunki bez konieczności „naciągania” wymiarów.

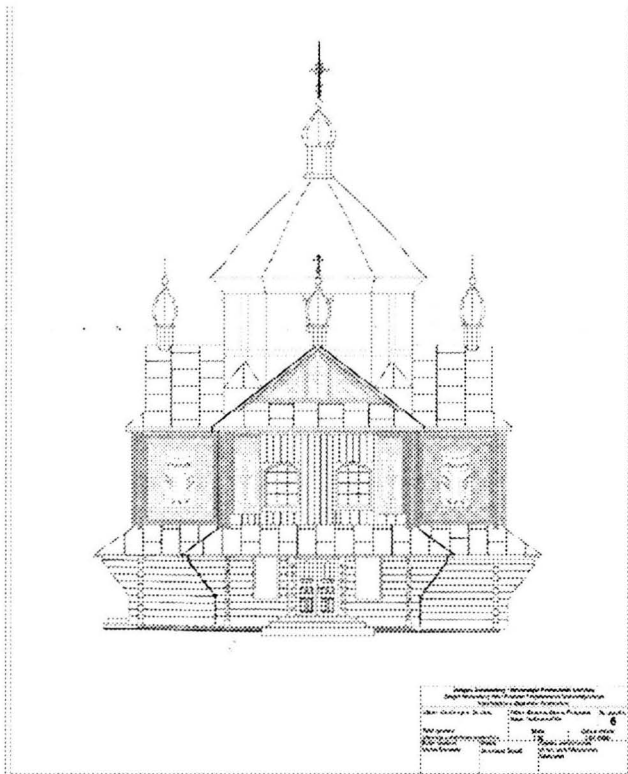
Można wręcz zaryzykować twierdzenie, że w sytuacji braku jakiegokolwiek dokumentacji w odniesieniu do większości huculskich cerkwi, pomiary inwentaryzacyjne wykonywane w trakcie kolejnych wypraw naukowych na Huculszczyznę mogą stać się podstawowym materiałem wyjściowym w przypadku podejmowania przez gestorów prac remontowo-budowlanych lub konserwatorskich. Po każdej z wypraw zresztą dokumentacja pomiarowa przesyłana jest tym wspólnotom parafialnym, które życzliwie przyjęły studentów z łódzkiej politechniki.

Zważywszy na fakt, że pomiary rzutów cerkwi na Huculszczyźnie trwają już od 1998 r. (jak dotąd wykonano ich około 60), a od roku 2000 prowadzone są pomiary uszczegółowione, takie, jak opisano powyżej (wykonano ich już ponad 30), można mieć nadzieję, że za dwa – trzy lata uda się uzyskać pełny obraz architektury sakralnej na tym terenie. Pozwoli to zapewne

na opracowanie szczegółowej systematyki cerkwi huculskich oraz przygotowanie katalogu obiektów.

### 3.10. Efekty pracy

Biorąc pod uwagę czas pracy przy pomiarach obiektów, można by pomyśleć że detaliczne wyrysowanie inwentaryzacji może być niemożliwe, niemniej jednak szczęśliwie okazuje się to stwierdzeniem błędnym. Wszelkie zebrane wymiary prowadzone w dobrym systemie, umożliwiają kreślącemu wyrysowanie w wystarczająco dużej dokładności wszelkich elementów zarówno konstrukcyjnych jak i detalicznych. Co prawda rysunki drobnych elementów najczęściej oparte są o fotografie wykonane w trakcie pomiarów, jednak jest to całkowicie zadawalająca dokładność. w ostatnim okresie rysunki docelowe niejednokrotnie wykonywane są w oparciu o programy AutoCad lub ArchiCad, które są niezbędnymi narzędziami pracy współczesnego architekta. Zdarza się również, że rysunki wykonuje się jeszcze ręcznie. Jawi się ta praca czasem archaiczną i o wiele mozolniejszą, chociaż w najmniejszym stopniu jej efekty końcowe nie odbiegają poziomem od rysunków komputerowych.



Rys.14. Elewacja cerkwi w Bystricy  
(kreślił Jeremiasz Ślęzak)

Kompletna dokumentacja efektów naszej pracy składa się najczęściej z 7 rysunków w skali 1:50. w tym 4 elewacje, 2 przekroje oraz rzut budynku.

Wszystkie metody pomiarowe jakimi posługiwała się IX Wyprawa Naukowa Studentów Architektury PŁ na Ukrainę, były metodami powszechnie stosowanymi już od lat. Umiejętność ich stosowania oraz praktyka, jaką wyprawa ta daje studentom architektury, są czynnikami nie do przecenienia dla późniejszej działalności zawodowej.

#### 4. W wyprawie uczestniczyli:

Anna Bens, Barbara Błaszczuk, Michał Borowski, Łukasz Borusowski, Elżbieta Bukład, Anna Derach, Piotr Dróżka, Marta Gaszewska, Małgorzata Knapek, Małgorzata Kokot, Katarzyna Lewińska, Agata Maciejewska, Arkadiusz Sarlej, Jeremiasz Ślęzak

**Opiekunowie:** dr inż. arch. Włodzimierz Witkowski, dr inż. arch. Tomasz Bolanowski, mgr inż. arch. Wojciech Pardała.

#### Literatura :

- [1] J. Kurek, Drewniane cerkwie karpackie – problemy konstrukcji i formy [w:] Drewniane budownictwo sakralne w górach. Materiały z sympozjum, pod red. W. A. Wójcika, Centralny Ośrodek Turystyki Górskiej PTTK, Kraków 2001
- [2] W. Witkowski, Cerkiew huculska - szkic do portretu [w:] Drewniane budownictwo sakralne w górach. Materiały z sympozjum, pod red. W. A. Wójcika, Centralny Ośrodek Turystyki Górskiej PTTK, Kraków 2001
- [3] Wykorzystano informacje ze stron internetowych:  
[http://members.aol.com/chornohora/arch\\_p.htm](http://members.aol.com/chornohora/arch_p.htm)  
[http://mcksokol.pl/dziedzictwo-kulturowe/warto\\_lemkowszczyzna.html](http://mcksokol.pl/dziedzictwo-kulturowe/warto_lemkowszczyzna.html)
- [4] S. Przewłocki „Geodezja dla architektów”, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2001;
- [5] Praca Zbiorowa pod redakcją J. Panasa „Nowy poradnik majstra budowlanego”, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2003;
- [6] T. Broniewski „Pomiary i zdjęcia architektoniczne”, Katowice 1949.



Rys.15. (rysował Piotr Dróżka)

#### Opracowali:

Rozdział 1: Katarzyna Lewińska  
Michał Borowski  
Arkadiusz Sarlej  
Rozdział 2: Małgorzata Kokot  
Rozdział 3: Elżbieta Bukład  
Rozdział 4: Łukasz Borusowski

#### Współpraca autorska:

Włodzimierz Witkowski

Koło Naukowe Studentów  
Architektury PŁ „9. piętro”

#### Opiekun naukowy:

dr inż. arch. Włodzimierz Witkowski



# POLITECHNIKA ŁÓDZKA

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA,

ARCHITEKTURY I INŻYNIERII ŚRODOWISKA

## Więźba kościoła ewangelickiego w Pasymiu

### 1. Wstęp

W dniach 18-22 września przebywaliśmy w Pasymiu na wyjeździe zorganizowanym przez Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska. Celem naszego wyjazdu była inwentaryzacja więźby dachowej zabytkowego kościoła ewangelickiego. Zebrane na miejscu materiały będą podstawą do naszej pracy dyplomowej.

### 2. Rys historyczny

Pasym jest najstarszym miastem znajdującym się na Mazurach[1]. Ulokowany został na półwyspie jeziora Kalwa w miejscu starego grodu plemienia Galindów. Datuje się działalność człowieka w tym rejonie już na czas środkowej epoki kamienia [2] [7]. Początkiem rozwoju miasta jest założenie przez biskupa Warmińskiego w 1336 roku wsi kościelnej Henrykowo. Przy wyborze lokalizacji ma na względzie szlak handlowy biegnący z południa w kierunku Morza Bałtyckiego [3]. Jednak dążenia terytorialne Zakonu Krzyżackiego wycelowane w południową Warmię prowadzą do zbrojnego konfliktu z biskupem Warmińskim. Ze względu na toczące się walki już w 1350 roku w Henrykowie powstają fortyfikacje ceglane powoli wypierając konstrukcje gliniano-palowe. Wybudowany zostaje kościół, zamek oraz mury obronne. Budowa kościoła została zakończona w 1391 roku jednak data rozpoczęcia prac nigdy nie została ustalona [4]. Niektóre opracowania sugerują, iż budowa trwała zaledwie pięć lat [5] [8] [9]. Jest to jednak mało wiarygodne. Jako budowniczego kościoła murowanego Michel wymienia Zakon Krzyżacki. Przypisuje mu też wybudowanie kościoła drewnianego sprzed 1350 roku, co jest sprzeczne z faktami stanowiącymi o przejściu Henrykowa przez Zakon dopiero w 1369 roku. Jednak tabliczka na wieży kościoła murowanego z widniejącą datą 1391 świadczy, iż budowę rozpoczęto za władania biskupów Warmińskich a ukończono za panowania Zakonu Najświętszej Marii Panny. w 1525 roku Traktat krakowski kończy działania wojenne pomiędzy Zakonem a państwem Polskim. Powstają Prusy Książęce a Pasym zostaje przyznany pod władanie Hohenzolernów.



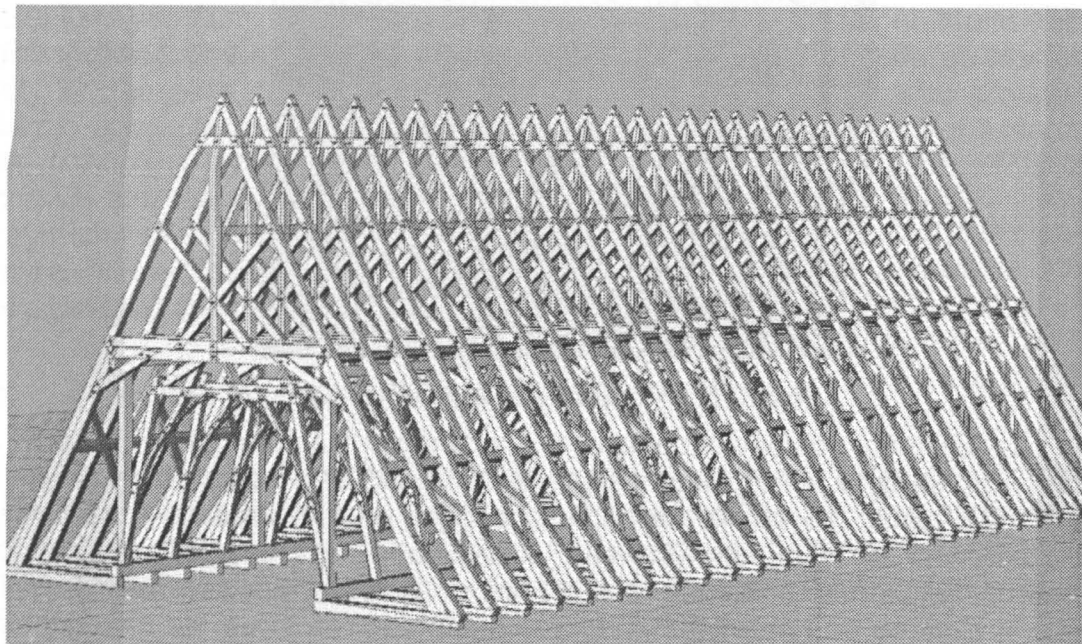
Rys.1 Wygląd Pasymia sprzed pożaru z 1750r

W tym samym roku Albert Hohenzolern przeprowadza w swym państwie reformę M. Lutra [1]. Następuje sekularyzacja Prus. Część mieszkańców zaczyna praktykować wyznanie ewangelickie adoptując na świątynie kościół katolicki. Można też przypuszczać, iż w tamtym okresie w nawie głównej kościoła pojawiły się balkony charakterystyczne dla budowli ewangelickich. w 1750 roku pożar w znacznym stopniu niszczy kościół. Odbudowę datuje się na lata 1765-1775 co pozwala twierdzić, iż obecny kształt bryły kościoła pochodzi z roku 1775 [6]. Obserwując ściany szczytowe dokładnie widać linie starego dachu. Konstrukcja obecna jest obniżona w stosunku do spalonej zachowując jednak analogiczny kształt. Spalony strop nad nawą zastąpiony został przekryciem kolebkowym. Tu też można zauważyć obniżenie konstrukcji w stosunku do pierwotnej. Na strychu budowli widać stary tynk wystający poza sklepienie oraz częściowo odślonięte okna w wschodniej ścianie szczytowej. Zastanawiające jest jednak zdjęcie z początku XX wieku. Widniejące na nim okna są jeszcze w całości schowane pod sklepieniem. Nasuwa się wniosek przebudowy sklepienia w XX wieku jednak nie ma danych na ten temat. Sama konstrukcja sklepienia kolebkowego wykonana z ram zwanych krążynami jest wtórna. Elementy użyte do jej budowy posiadają znaki ciesielskie nie tworzące logicznej całości oraz ślady po zastrzałach znajdujące się w najróżniejszych miejscach. Cała konstrukcja stropu wspiera się na drewnianych słupach, do których mocowane są również balkony opasujące kościół.

### 3. Konstrukcja więźby dachowej

Konstrukcje dachu tworzą układy dwóch rodzajów ram storczykowych ustawionych na przemian w konstrukcji. w co drugiej ramie układ podstawowy został podbity dodatkowymi belkami wzmacniającymi dolną jętkę oraz krokwie w części od dolnej jętki do belki więzarowej. Na całość konstrukcji składa się 28 ram storczykowych. Krokwie stanowią belki ciągłe, cztero przęsłowe o długości dochodzącej do 13,5m. w dolnej części krokwie oparte są na belce wiązarowej. w środkowej części krokwie oparte są na płatwiach

ramy stolcowej. Górna część krokwi została spięta ze sobą zastrzałami w formie krzyży św. Andrzeja.



Rys.2 Trójwymiarowy model konstrukcji więźby dachowej kościoła w Pasymiu.

Wszystkie storczyki połączone są ze sobą rygłem, który jest usztywniany skośnymi zastrzałami, w każdym polu między poszczególnymi ramami. Dodatkowym usztywnieniem ram storczykowych są wiatrownice, biegnące przez 3 kolejne elementy ram storczykowych. Ramy stolcowe oparte są na belkach podwalinowych, te z kolei na belkach więzarowych. Belki więzarowe oparte są z jednej strony bezpośrednio na murze, z drugiej natomiast na podciągu opartym na słupach. Na belkach podwalinowych oparto również krążyny stanowiące konstrukcje nośną sklepienia kolebkowego.

#### 4. Korozja biologiczna wykryta na więźbie dachowej

Wielki pożar Pasymia z 1750 r. nie oszczędził ewangelickiego kościoła pochodzącego z XIV wieku. Spaleniu uległo zarówno zadaszenie nawy głównej jak i wieży. Okres odbudowy więźby datuje się na lata 1765-1775. Przez blisko 250 lat narażona jest na działanie niezbyt przyjaznych warunków atmosferycznych panujących w naszej strefie klimatycznej. Mimo geniuszu ówczesnych cieśli mijające stulecia odcisnęły na więźbie swoje piętno. Niedociągnięcia wykonawcze oraz pojawiające się z czasem usterki doprowadziły do korozji biologicznej części elementów konstrukcji.

Najpoważniejszych zniszczeń dokonały grzyby zaliczane do klasy podstawczaków. Powodują całkowity rozkład zainfekowanego drewna w stosunkowo krótkim czasie. Ślady ich działania bardzo wyraźnie zauważamy na więzarach przylegających bezpośrednio do ścian szczytowych.





Rys.3 Uszkodzona krokiew „obalowana”

Działalność grzybów dotknęła również deski nadbite na krokwiach. Charakterystyczne białe plamy wskazują na agresywny rozkład biały drewna. Próbie czasu nie oparła się podłoga będąca w bezpośrednim kontakcie z zakażonymi belkami kulawkowymi. w wyniku silnej korozji biologicznej elementy wiązarów porażone zostały przez owady, a pociemniały kolor drewna użytego do naprawy świadczy o rozpoczęciu rozwoju na nich grzybów domowych. Na pozostałej części więźby odnaleziono zostały jedynie ślady działalności owadów. w największym stopniu zaatakowany został szczegół konstrukcyjny zwany przypustnicą. w wyniku daleko posuniętej korozji kilka zostało wymienionych na nowe. Kolejnymi elementami, na których wykryto ślady obecności owadów jest dwanaście krokwi, dwa miecze zachodniej ramy stolcowej, oraz stężenia skrajnego południowego wiązara.

Porażone zostało również wzmocnienie trzeciego wiązara licząc od strony wieży. Uszkodzenia są jednak punktowe i dotyczą głównie naroży elementów. Otwory znajdujące się w miejscach żerowisk cechują się średnicą rzędu 1-2 mm. Wskazywać może to na działalność popularnego w Polsce kołatka domowego. Brak jednak w pobliżu otworów mączki drzewnej, odchodów larw jak również żywych lub martwych form doskonałych owada i jego naturalnych wrogów. Znalezienie wymienionych oznak świadczyłoby o czynnym stanie żerowiska.



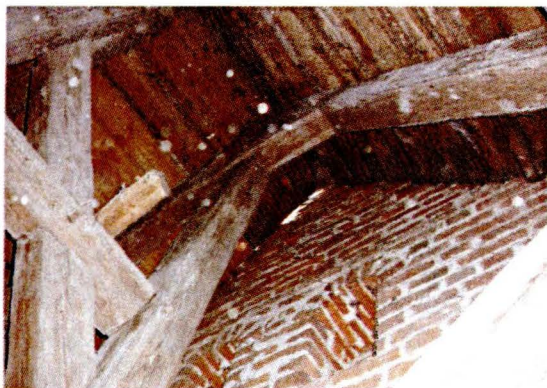
Rys.4 Uszkodzony szczytowy wiązar

Na więźbie zauważamy ślady przeprowadzonych napraw. Ich wspólną cechą jest wycięcie kawałka uszkodzonego korozją biologiczną elementu.

Ubytki w miarę możliwości starano się zastąpić w taki sposób, aby nie zmieniać diametralnie pracy statycznej konstrukcji i samego elementu. Wymianie uległ też położony od strony wschodniej pas desek nadbitych na krokwiach. *Przeprowadzony remont łatwiej dostrzec z zewnątrz ze względu na jaśniejszy odcień pasa dachówek.* Ogólnie dobry stan pozostałej części sztywnej tarczy utworzonej z ułożonych na nakładkę desek nie wskazuje jednoznacznie przyczyny przeprowadzenia remontu. W konstrukcji więźby zauważamy braki w stężeniach ramy storczykowej. Nie udało się jednak określić przyczyn ich braku. Możliwe jest nie wmontowanie ich w konstrukcje przez samych budowniczych. Bardziej prawdopodobne jest jednak usunięcie ich w późniejszych latach z powodu postępującej korozji biologicznej.

## 5. Przyczyny wystąpienia korozji biologicznej

Jak w większości starych budowli powody powstania awarii konstrukcji w wyniku korozji biologicznej są niezbyt skomplikowane. Głównie przyczynę stanowi nieszczelne pokrycie dachu lub źle dobrane drewno. Inwentaryzowany obiekt nosi na sobie ślady pospolitych, lecz trudnych do uniknięcia niedoróbek rzemieślniczych. Powodem uszkodzenia wiązarów oraz belek kulawkowych usytuowanych w narożach nawy głównej jest nieszczelność połączenia pokrycia dachu z murami szczytowymi.

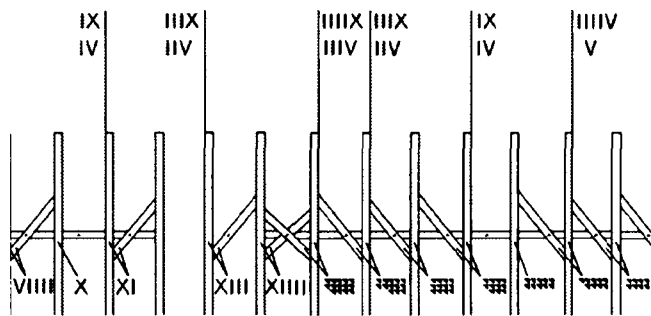


Rys. 5 Nieszczelności dachu

Dostająca się do środka woda powoduje zawilgocenie elementów, a bliskość muru przyczynia się do osłabienia możliwości skutecznego przewietrzania. Usytuowane w podłodze belki kulawkowe uległy całkowitemu zniszczeniu ze względu na styczność z zawilgoconym murem, oraz brak jakiegokolwiek wentylacji. Stała podwyższona wilgotność, niskie nasłonecznienie oraz brak przewiewu stanowią idealne środowisko do rozwoju grzybów domowych. Walka z nimi jest niezmiernie trudna a naprawa uszkodzonych elementów skomplikowana i często wiążąca się z ich wymianą. Wykonanie na czas wysokiej jakości obróbki blacharskiej pozwoliłoby uniknąć kosztownej naprawy i zabezpieczyło więźbę na długie lata. Na głównych elementach konstrukcyjnych więźby napotykamy ślady działalności owadów. Ponieważ w momencie wznoszenia nie znane były metody impregnacji drewna, cieśle poprzez staranny dobór tarcicy starali się przeciwdziałać

możliwości porażenia przez owady. Pnie drzewne obrabiano tak, aby skład elementu stanowiła sama twardziel. Skrupulatnie starano się usunąć całą biel, która atakowana jest przez owady ze względu na miękkość oraz dużą ilość składników odżywczych. Zatem nasuwa się wniosek, iż przyczyną pojawienia się żerowisk jest niedokładne usunięcie bieli przez cieśli. Duża ilość uszkodzonych przez owady przypustnic wskazuje na mniej skrupulatny dobór drewna użytego do ich wykonania. Może z powodu nieznacznego udziału w pracy statecznej wiazara budowniczo wie nie przyłożyli dużej wagi do ich wykonania. Brak większej ilości uszkodzeń biologicznych więźby zawdzięczać możemy rozwiązaniu konstrukcyjnemu przekrycia dachu. W jego skład wchodzi sztywna tarcza z ułożonych na nakładkę desek oraz siatka kontrłat i łąt przekryta dachówką ceramiczną. Tak skonstruowane przekrycie zapewnia możliwość wentylacji a tarcza desek spełnia dodatkowo funkcję swoistego „parasola”, po którym spływa woda przeciekająca przez nieszczelności pomiędzy dachówkami.

## 6. Znaki montażowe



Rys.6 Numeracja elementów więźby dachowej.

Cała obróbka ciesielska drewna począwszy od ścięcia drzewa, poprzez nadanie kształtu elementom, a skończywszy na spasowaniu elementów składających się na poszczególne ustroje konstrukcyjne, odbywała się na placach ciesielskich. Wykonane kompletne zestawy elementów należało później przetransportować na miejsce wbudowania oraz należyście złożyć, tak by wszystkie części pasowały do siebie. Wiązało się to z koniecznością wprowadzenia odpowiedniego ich grupowania. Systemem znakowania były znaki montażowe umieszczane przez cieśli na belkach. Wykonywano je za pomocą prostych narzędzi ciesielskich. Najczęściej spotykanymi znakami były znaki wycinane podłużnie w postaci kresek, rzadziej spotykanymi były znaki trójkątne i owalne. Umieszczano je zazwyczaj w miejscach połączeń dwóch lub więcej elementów. Taki system oznaczania elementów został zastosowany na więźbie dachowej kościoła ewangelickiego w Pasymiu. Do znakowania użyto dwóch rodzajów symboli, znaki odpowiadające cyfrą rzymskim oraz nacięcia trójkątne. Główne ustroje ramowe ponumerowane zostały cyframi rzymskimi. Czternaście ram storczykowych od strony zachodniej jak i wschodniej zostało ponumerowane kolejno od nr I dla par szczytowych do nr XIII dla par leżących w środku kościoła. Numeracje ram

naniesiono na każdą z krokwi, dolną jętkę oraz na storczykach. Wszystkie numery nanoszone były po stronach belek zwróconych w kierunku szczytów kościoła. Na podobnej zasadzie w całym kościele numerowano belki podbite do co drugiej ramy. Aby różnicować jednak elementy ram wschodnich od zachodnich, które posiadają taką samą numerację na elementach głównych (I-XVIII) wprowadzono dwójakie numerowanie łącz. Połączenia elementów w części zachodniej zostały ponumerowane również cyframi rzymskimi, natomiast część zachodnia została ponumerowana za pomocą żłobień w postaci trójkątów. Liczba trójkątów odpowiada liczbie porządkowej danej ramy storczykowej. Trójkątne oznaczenia pogrupowano w liniach tak by były czytelniejsze i łatwiejsze do odróżnienia. Zastąpiono IV znakiem IIII oraz IX znakiem VIIII tak by nawet w przypadku odwrócenia belek dalej jednoznacznie przypisywać dany element do odpowiedniej ramy.

## 7. Podsumowanie

Prace, które prowadziliśmy w Pasymiu posłużą do uzupełnienia niekompletnej dokumentacji technicznej kościoła ewangelickiego. Zostanie również sporządzona ocena stanu technicznego więźby dachowej oraz trójwymiarowy model całej konstrukcji dachu, które będą stanowiły elementy składowe naszego dyplomu.

### Literatura :

- [1] [http://www.pasym.pl/index\\_pliki/Page316.htm](http://www.pasym.pl/index_pliki/Page316.htm)
- [2] R.Odoj. Sprawozdanie z badań wykopaliskowych na grodzisku, zwanym Okrągłą Górą w Pasymiu- Ostrowie, w: Komunikaty Mazursko-Warmińskie, 1962, nr4, s. 824-827.
- [3] W. Szulist, Ważniejsze lądowe szlaki handlowo-komunikacyjne Warmi i Mazur w XVI-XVIIw, Komunikaty Mazursko-Warmińskie 1972, s. 22.
- [4] Georg Michets, Passenheim Zenen einer Stadt, Rautenberg 1992, s. 26.
- [5] K.Panasik, Warmia i Mazury, przewodnik po regionie, s. 452.
- [6] K. Panasik, op. Cit., s. 452.
- [7] Z.M. Stopa, Pasym i okolice, Olsztyn 1970, s. 46.
- [8] Z.M. Stpoa, op. Cit., s. 108.
- [9] A. Rzempołuch, Przewodnik po zabytkach sztuki dawnych Prus Wschodnich, s. 134.

Opracował:  
Przemysław Jagielski  
Michał Kowalski

Opiekun naukowy:  
dr inż. Marek Sitnicki



## I SYMPOZJUM

### STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska

Suche k. Zakopanego 2006 rok

## Pasywny budynek biurowy

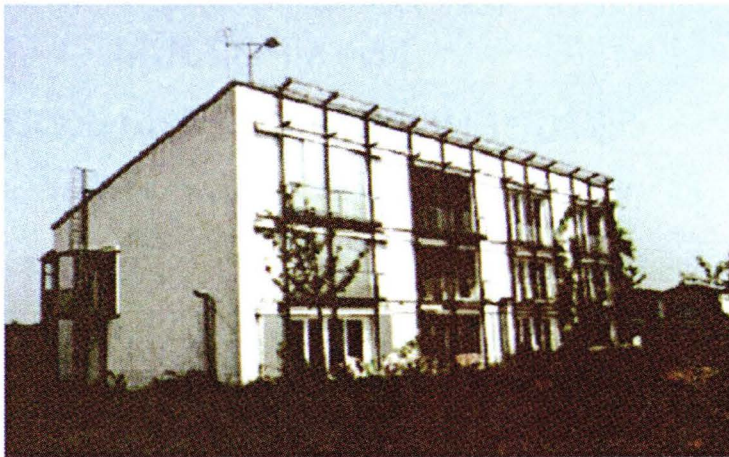
### 1. Wprowadzenie

Idea budownictwa niskoenergetycznego i pasywnego rozwija się w Europie Zachodniej i na świecie od wielu lat. w obliczu rosnących cen energii, paliw, surowców oraz zanieczyszczenia środowiska dbałość o energię dla potrzeb budownictwa stała się już nie domeną ekscentrycznych ekologów, ale koniecznością ekonomiczną. Nowatorskie budynki pasywne, do tej pory głównie mieszkalne, są realizowane na świecie na coraz większą skalę i właściwie już stały się standardem.

Z drugiej strony wraz z rozwojem cywilizacyjnym zwiększają się wymagania komfortu użytkowników budynków, a nowe materiały i rozwój wiedzy o zjawiskach zachodzących w środowisku budynku umożliwiają bardziej świadome jego kształtowanie. w efekcie, korzystając ze wzrostu możliwości obliczeniowych komputerów rozwinięto metody symulacyjne budynku i systemu instalacji wewnętrznych. Techniki te opracowane dla potrzeb badawczych znajdują coraz szersze zastosowania również wśród inżynierów, projektantów i konsultantów do czego zmusza ich właśnie większa dbałość o komfort użytkowników, oszczędność energii i stopień skomplikowania zjawisk fizycznych przy stosowaniu nowych rozwiązań.

### 2. Budownictwo pasywne

Idea domu pasywnego została stworzona w latach osiemdziesiątych XX wieku przez zespół profesora Wolfganga Feista w Instytucie Mieszkalnictwa i Środowiska w Darmstadt w Niemczech (Institut für Wohnen und Umwelt), a pierwszy dom mieszkalny zgodny z jej założeniami zbudowano również w Darmstadt w 1991 roku. Zgodnie z definicją "Dom pasywny jest budynkiem o bardzo niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania wnętrza  $15 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$ , w którym komfort termiczny zapewniony jest przez pasywne źródła ciepła (mieszkańcy, urządzenia elektryczne, ciepło słoneczne, ciepło odzyskane z wentylacji), tak że budynek nie potrzebuje autonomicznego, aktywnego systemu ogrzewania. Potrzeby cieplne realizowane są przez odzysk ciepła i dogrzewanie powietrza wentylującego budynek (wg. doktora W. Feista)" [1].

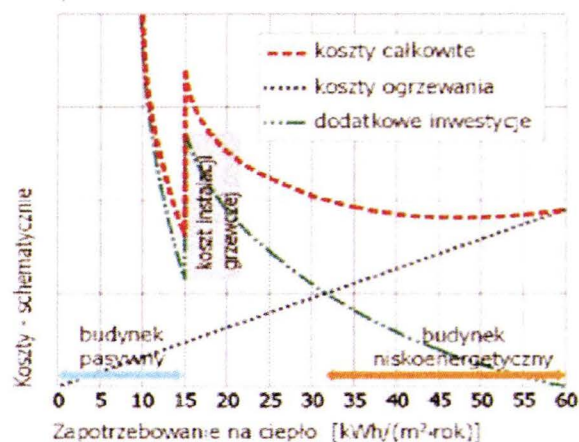


Rys. 1. Dom pasywny w Darmstadt. Elewacja południowa (fot. Niedrig Energie Institut) [1]

Przyjęto, że dom pasywny poza podstawowym standardem wymogiem dot. maksymalnego zużycia energii powinien spełniać następujące kryteria:

- przegrody zewnętrzne powinny charakteryzować się współczynnikiem przenikania ciepła  $U$  poniżej  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- budynek powinien być szczelny; w teście szczelności ilość wymian powietrza przy podciśnieniu i nadciśnieniu  $50\text{Pa}$  powinna być niższa od  $h_{50}=0,6-1,0$
- zalecane jest zastosowanie okien wysokiej technologii o współczynniku przenikania ciepła niższym od  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  przy równoczesnej przepuszczalności powyżej  $50\%$
- całkowity współczynnik przenikania ciepła przez mostki termiczne nie powinien przekraczać  $\Psi = 0,1 \text{ W/mK}$

Przy wprowadzeniu powyższych elementów analiza kosztów z uwzględnieniem kosztu instalacji centralnego ogrzewania uzasadnia koszty poniesiona na inwestycję.



Rys. 2. Koszt inwestycyjny na tle zapotrzebowania na ciepło budynków [1]

W ramach programu CEPHEUS zrealizowano w całej Europie 14 budynków, głównie mieszkalnych. Stworzono również specjalną metodę do obliczania zapotrzebowania na energię uwzględniającą specyfikę pasywnych budynków mieszkalnych – PHPP (Passive House Planning Package – Pakiet do Planowania Domów Pasywnych). W ostatnich latach pojawiły się pierwsze projekty realizujące ideę doktora Feista w budynkach o innej charakterystyce i przeznaczeniu: biurowych, magazynowych i użyteczności publicznej.



Rys. 3. Przedszkole w Dorpen (fot. Deutsche Bundesstiftung Umwelt) [1]



Rys. 4. Krajowe centrum dystrybucyjne (magazyn) Roman Inc, Illinois, USA (fot. National Solacrete Inc.)

### 3. Pasywne budynki biurowe - ENERAGON

Najistotniejszą różnicą między pasywnym domem mieszkalnym a biurowcem jest sposób i czas użytkowania. Podczas gdy w domu istotne jest zapewnienie odpowiednich warunków przez całą dobę a przede wszystkim w nocy, w biurowcu warunki komfortu spełnione muszą być jedynie w ciągu dnia i to w ściśle określonych systemem pracy porach dnia i tygodnia.

W biurowcach występują znaczne, skoncentrowane zyski ciepła od osób – pracowników oraz od urządzeń takich jak komputery czy serwery pracujące całą dobę. Dla przykładu pomieszczenia serwerowni emitujące około  $1000\text{W}/\text{m}^2$  mogą być wykorzystane poprzez odpowiednie strefowanie jako bufony ogrzewające pomieszczenia położone wokół lub służące zimą do wstępnego ogrzewania powietrza wentylacyjnego w układach rekuperacji.

Inną cechą charakterystyczną budynków biurowych jest konieczność dobrego oświetlenia stanowisk pracy. w biurach stanowiska pracy muszą być oświetlone jasnym światłem o natężeniu około 600 lux i to najlepiej naturalnym, aby zachować niskoenergetyczny charakter. Takie wymagania powodują konieczność stosowania przeszkleń o ogromnej powierzchni.

Z opisanych powyżej cech budynków biurowych wynika istotny problem przy traktowaniu ich jako potencjalnie pasywne. Znaczne zyski ciepła pojawiające się głównie w ciągu dnia i duże przeszklenia powodują znaczne przegrzewanie pomieszczeń biurowych w okresie lata. Zwykle konieczne jest wtedy wykorzystywanie urządzeń klimatyzacyjnych co znacznie podwyższa zapotrzebowanie na energię. Sztuczna aktywna klimatyzacja w połączeniu z innymi aspektami jak jakość powietrza czy promieniowanie od urządzeń biurowych nie tylko wyklucza budynek jako pasywny czy przyjazny środowisku, ale prowadzi do opisywanego wielokrotnie tzw. syndromu chorego budynku. w budynku biurowym projektowanym jako pasywny istotniejszy zdaje się być nie problem ograniczenia strat ciepła, ale ograniczenia lub odpowiedniego wykorzystania ogromnych zysków. Dlatego w realizowanych już tego typu obiektach istotną wagę odgrywają dodatkowe systemy:

- przeciwśoneczne: sterowane automatycznie żaluzje, proste elementy zaciemniające, szkło przeciwśoneczne,
- pasywnego chłodzenia powietrza: gruntowe wymienniki ciepła, strefowe strategie wentylacji (np. z wykorzystaniem atrium), wstępnego chłodzenia powietrza wentylacyjnego.

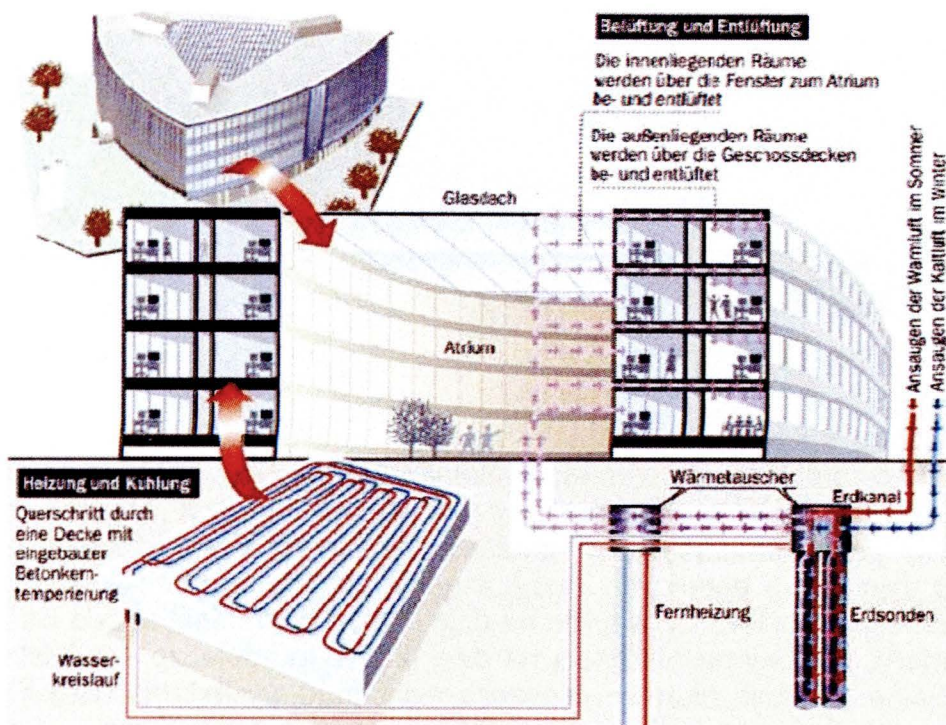
Największym i jak do tej pory najlepszym przykładem zastosowania takich rozwiązań w budynku biurowym jest "Energon" zbudowany w Ulm w 2002 roku. w budynku zastosowano następujące elementy fizyko-budowlane:

- grunt jako zbiornik do długoterminowego magazynowania energii cieplnej (poprzez wymiennik z sondami i rurkami wypełnionymi cieczą),
- sterowanie temperatura pomieszczeń (w tym chłodzenie) poprzez ukryte wewnątrz konstrukcji przewody z wodą,
- wentylacja ze wstępnym podgrzewaniem lub chłodzeniem powietrza poprzez wymiennik gruntowy,
- przeszklone atrium jako część strefowej wentylacji,



Rys. 5. EnerGon. z przodu czerpnie powietrza (fot. Projekt Real Estate Frankfurt GmbH)





Rys. 6. Schemat działania systemu

#### 4. Projektowany budynek

Ideę pasywnego budynku biurowego postanowiono zrealizować w projekcie konkretnego obiektu. Projekt ten został opracowany jako dyplomowy w Instytucie Architektury P.Ł. przez studentkę Annę Bąkiewicz. Niniejsza praca powstała równolegle do projektu architektonicznego i jest zapisem analiz prowadzonych na jego potrzeby. Równocześnie dzięki symulacjom przeprowadzonym w niniejszej pracy zaproponowano rozwiązania, które miały wpływ na późniejszy kształt projektu architektonicznego.

Projektowany budynek zlokalizowany jest w centrum Łodzi, na skrzyżowaniu ulic Sienkiewicza i Piłsudskiego. Zaprojektowano go jako uzupełnienie istniejącej zabudowy śródmiejskiej, bryła budynku odpowiada więc głównie uwarunkowaniom urbanistycznym. Sama lokalizacja z odsłoniętą południową fasadą sugeruje i umożliwia zastosowanie pasywnego systemu słonecznego.

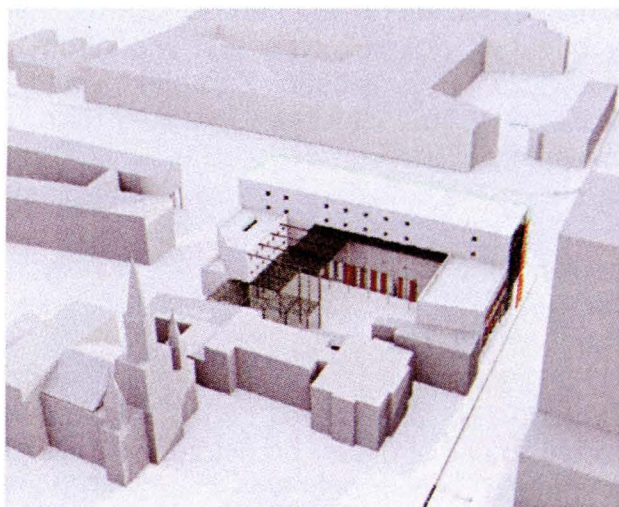
Koncepcja architektoniczna została oparta na głównych tezach:

- charakter publiczny budynku, brak granicy między zewnątrz a wewnątrz funkcji publicznej,
- ochrona i oddzielenie przestrzeni prywatnej (siedziby biura),
- demokratyzacja i elastyczność przestrzeni biurowej,
- bezhierarchiczność struktury przestrzenno-funkcjonalnej,
- transparentność i otwartość we wnętrzach i w relacji z otoczeniem,
- wprowadzenie przyjaznego mikroklimatu – zieleni.

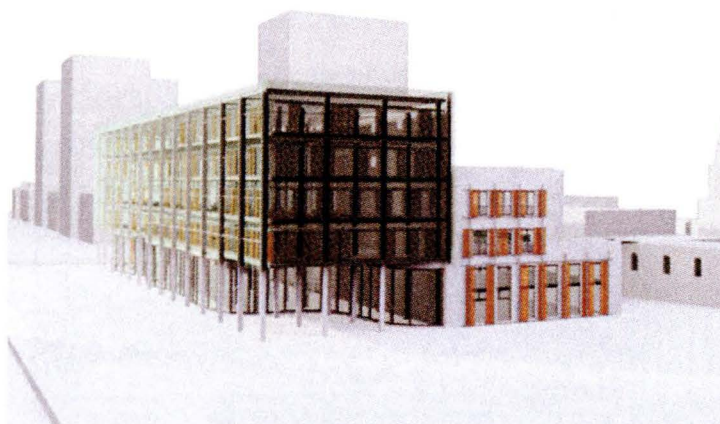


Rys. 7. Widok od strony południowo-zachodniej (Wizualizacja: Anna Bąkiewicz)

Budynek podzielony jest na trzy główne części, otaczające od wschodu, zachodu i południa wewnętrzny półpubliczny dziedziniec. Od północy dziedziniec zamknięty jest zabudowaniami należącymi do kościoła oo. Jezuitów. Dodatkowo budynek podzielony jest w pionie na dwie części: wysoki, publiczny parter oraz prywatną przestrzeń biurową. Wysoki parter mieści funkcje usługowo - handlowe. Jest dostępny, otwarty od strony południowej i zachodniej, umożliwiając wejście na dziedziniec. Natomiast strona wschodnia parteru, podzielona antresolą na dwa piętra, to zaplecze administracyjno-socjalne. Funkcje biurowe mieszczą się ponad wysokim parterem. Najwyższa część projektowanego budynku, uzupełniająca elewację ulicy Piłsudskiego to cztero-kondygnacyjna przestrzeń biurowa. Skrzydło zachodnie, od strony ulicy Sienkiewicza, jest "pomostem", łączącym nowoczesny budynek z historyczną tkanką miejską. Tam mieszczą się sale konferencyjne oraz reprezentacyjne. Skrzydło wschodnie, od strony nowopowstałej siedziby Philipsa, flankuje ulicę wjazdową na dziedziniec budynku oraz prowadzącą do wnętrza kwartału. w tej, osłoniętej od hałasu części znajdują się mieszkania służbowe. Skrzydła wschodnie i zachodnie mają tę samą wysokość: 2 kondygnacje. Między nimi rozpięte jest częściowe zadaszenie dziedzińca. Wjazdy na dziedziniec zrealizowane są poprzez bramę w "kamienicznej" części zachodniej oraz wjazd od wschodu. Tam też mieści się zjazd do parkingu podziemnego.



Rys. 8. Widok od strony północnej-zachodniej (Wizualizacja: Anna Bąkiewicz)



Rys. 9. Widok od strony południowo-wschodniej (Wizualizacja: Anna Bąkiewicz)

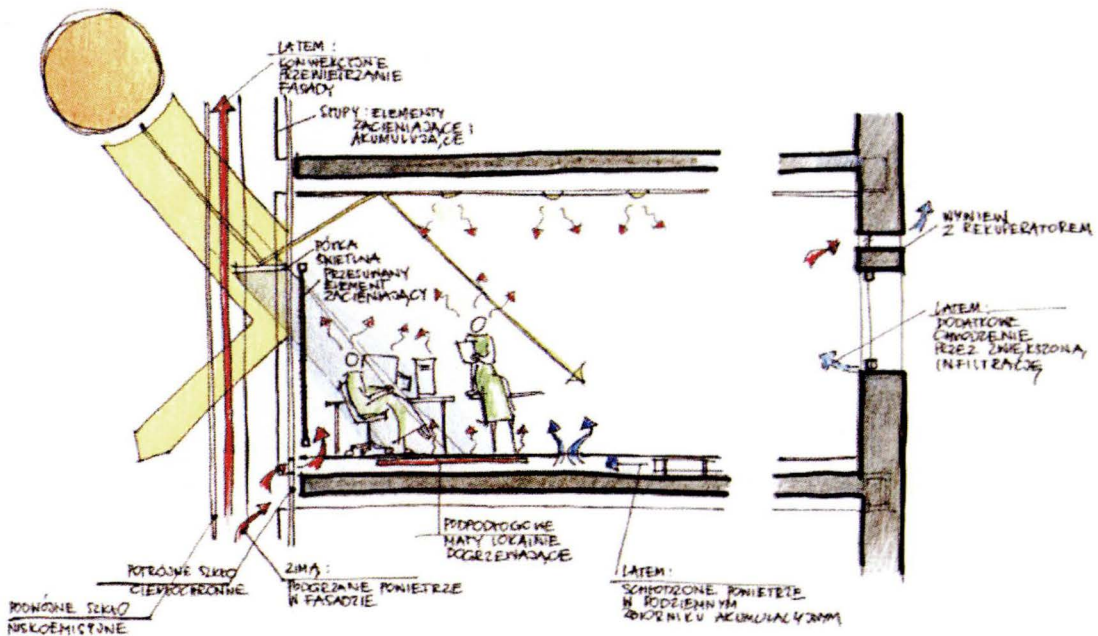
## 5. Fizyka budowli

Podstawą koncepcji budynku pod kątem fizyki budowli jest idea budynku pasywnego. Do realizacji niskiego zapotrzebowania na energię przy zachowaniu odpowiedniego komfortu służą zaprojektowane elementy budynku:

- przeszklona podwójna fasada pozyskująca promieniowanie słoneczne,
- elementy zacieniające selektywnie chroniące przed letnim przegrzewaniem, ale umożliwiające nasłonecznienie zimą,
- przegrody o podwyższonym standardzie cieplnym, w tym zaawansowane przeszklania z powłoką niskoemisyjną, z warstwami ciepłochronnymi,
- umieszczona podziemna chłodnia o dużej masie termicznej umożliwiająca wstępne chłodzenie powietrza wentylacyjnego latem oraz podgrzewanie go zimą,
- zróżnicowanie funkcjonalne budynku umożliwiające wykorzystanie zużytego powietrza z jednych pomieszczeń do podgrzewania pomieszczeń w danej chwili nieużytkowanych i nieogrzewanych.

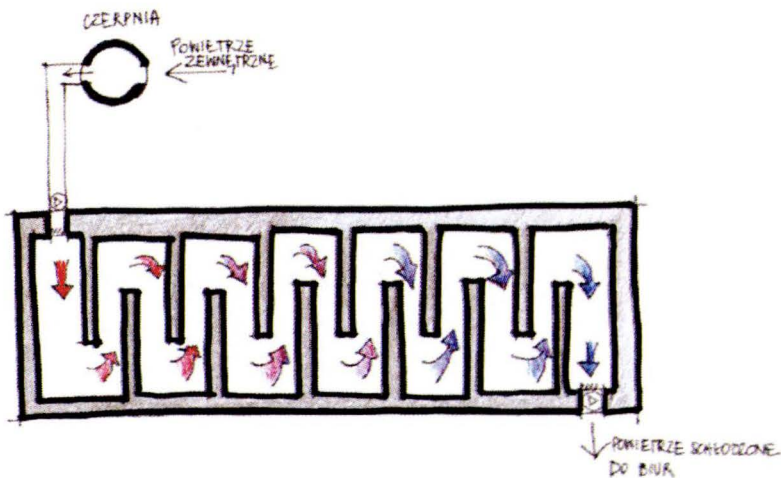
Głównym elementem decydującym o architekturze stała się wielowarstwowa fasada południowa, której zadaniem jest kontrola i ograniczenie dopływu bezpośredniego światła słonecznego do położonych za nią przestrzeni pracy. Dzięki konstrukcji zyski ciepła są kontrolowane przez automatyczne otwarcia tzw. zamki u góry i u dołu umożliwiające konwekcyjne przewietrzanie fasady. Dodatkowo, aby poprawić efektywność działania fasada służy jako swoista szklarnia, w której podgrzewane jest powietrze wentylacyjne dla budynku. Przegrzewanie ograniczają również elementy zacieniające - słupy i półki świetlne, które dodatkowo wprowadzają światło na większą głębokość do wnętrza budynku. Masywne betonowe słupy

wspomagają przy tym absorbowanie i magazynowanie zysków ciepła od promieniowania słonecznego.



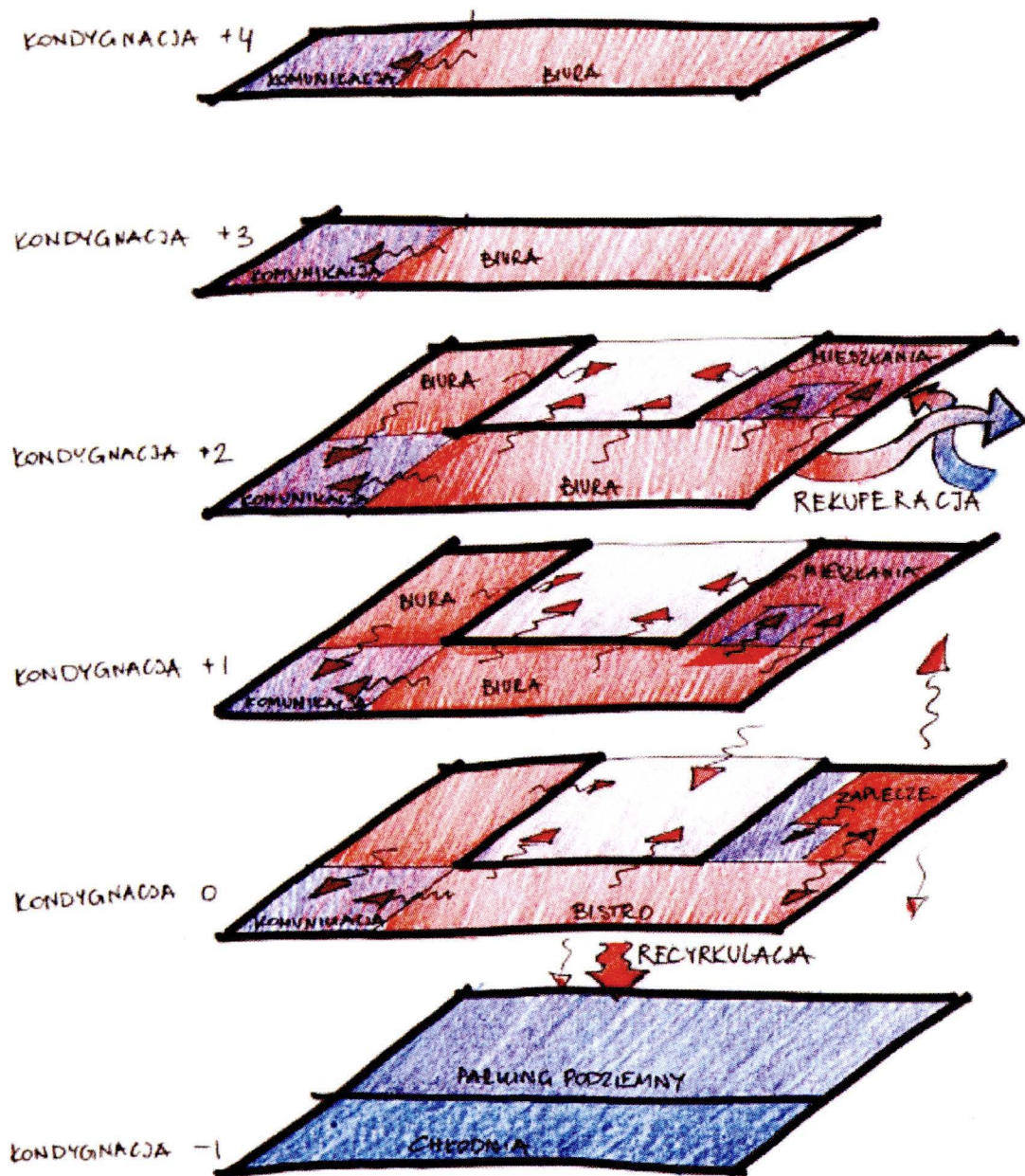
Rys. 10. Schemat działania podwójnej fasady w systemie wentylacji naturalno-mechanicznej w biurach (Rysunek: Anna Bąkiewicz)

Drugim istotnym elementem jest kanał chłodzący umieszczony pod powierzchnią podłogi parteru. Jest to pomieszczenie wypełnione ścianami betonowymi o grubości 30 cm umieszczonymi mijankowo co 3 m. Co druga ze ścian jest więc równocześnie elementem konstrukcyjnym podtrzymującym siatkę słupów wyższych pięter. Duża powierzchnia całkowita ścian umożliwić ma efektywniejsze przejmowanie ciepła od powietrza zewnętrznego doprowadzanego przez umieszczone w atrium czerpnie. Schłodzone powietrze jest przekazywane z przeciwnego końca chłodni przy wspomaganii wentylatorów przez odpowiednie kanały do pomieszczeń użytkowanych. Pomieszczenie to jest izolowane cieplnie od reszty budynku.



Rys. 11. Schemat działania kanału chłodzącego (Rysunek: Anna Bąkiewicz)

Koncepcja fizyko-budowlana obejmuje również wykorzystanie zróżnicowania funkcjonalnego obiektu. Różne, ściśle określone pory użytkowania poszczególnych części umożliwiły okresowe obniżanie parametrów komfortu, ogrzewanie sąsiadujących stref przez przenikanie lub przez kierowanie do nich poza porami użytkowania zużytego powietrza wentylacyjnego.

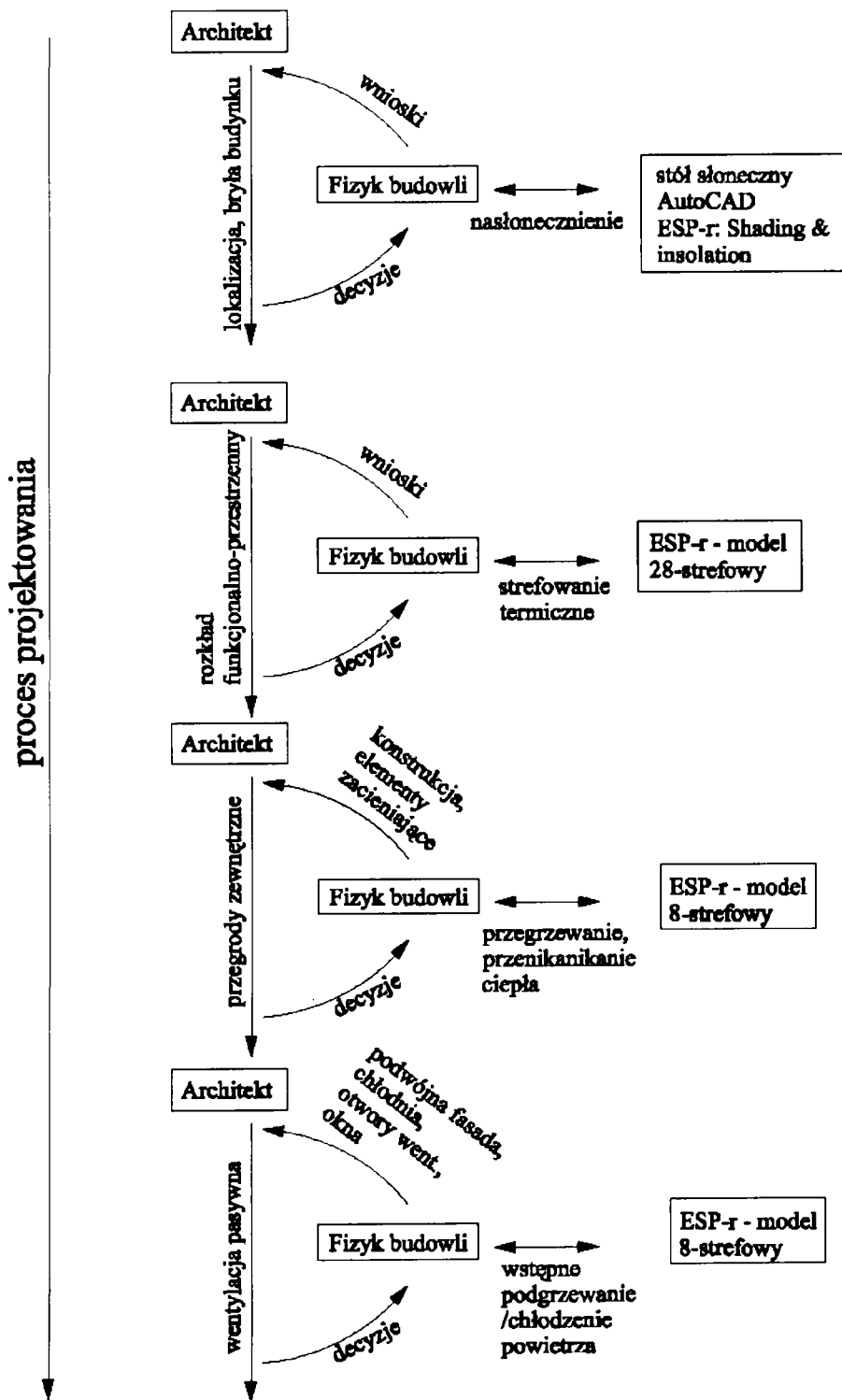


Rys. 12. Schemat rozkładu funkcjonalno-przestrzennego (Rysunek: Anna Bąkiewicz)

Zgodnie z zaleceniami dla budynków biurowych wprowadzono też przegrody zewnętrzne o współczynniku przenikania  $U$  poniżej  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  i przeszklenia o  $U$  poniżej  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Szczegóły i skuteczność wprowadzonych rozwiązań wykazano w toku procesu projektowania. Do ich modelowania zastosowano metody symulacji energetycznych budynków, przede wszystkim program ESP-r stworzony na

University of Strathclyde w Glasgow. Prace projektowe prowadzono w oparciu o poniższy algorytm:



Rys. 13. Schemat procesu projektowania

## 6. Metody symulacyjne – ESP-r

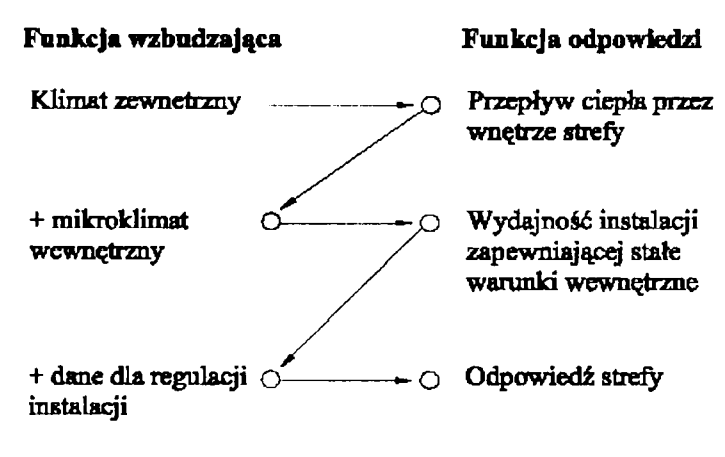
W projekcie wykorzystano głównie Metodę jednostkowej funkcji odpowiedzi (URF - Unit Respond Function) wprowadzoną do fizyki budowli przez prof. J.A Clarke'a z Univeristy of Strathclyde w Glasgow, który stworzył podstawy działania programu ESP-r . Podstawowe równanie metody można zapisać:

$$R(t) = \sum_{m=0}^{\infty} R \cdot F(m\Delta) \cdot E(t - m\Delta) \quad (1)$$

gdzie :

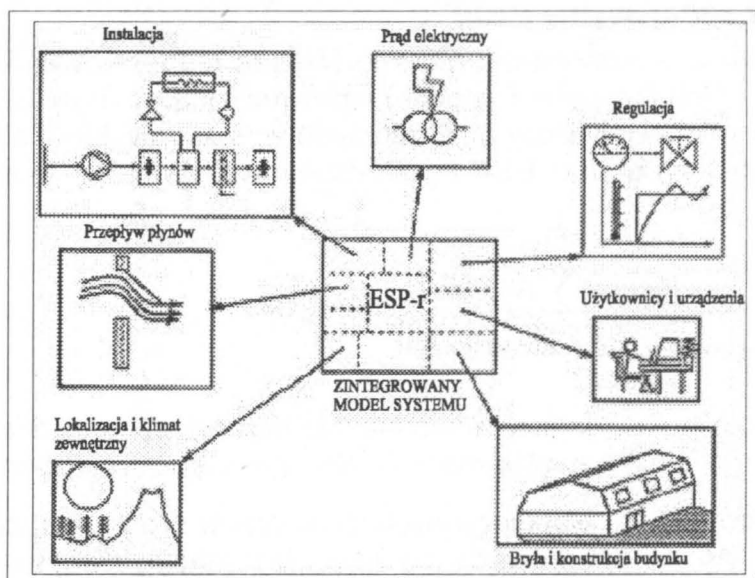
- R(t) - jednostkowa funkcja odpowiedzi w czasie  $t = m\Delta$ , zwykle modelowane zjawisko, stan fizyczny modelu
- RF(m $\Delta$ ) - współczynnik odpowiedzi w czasie  $m\Delta$ , zawiera sprowadzone do postaci macierzowej wszystkie współczynniki materiałowe, geometrię modelu
- E(t-m $\Delta$ ) - funkcja wzbudzająca w chwili poprzedniej (t-m $\Delta$ ), odpowiednik warunków brzegowych,  $m\Delta$  – krok czasowy metody

W bardziej skomplikowanych modelach, a więc dla całego budynku wraz z czynną instalacją metoda staje się bardziej rozbudowana. Odpowiedzi systemu np. na warunki zewnętrzne stają się czynnikami wzbudzającymi (np. temperatura wewnętrzna) dla innych elementów np. włączników instalacji itd.



Rys. 14. Sekwencja kroków w całkowitej odpowiedzi danej strefy [10]

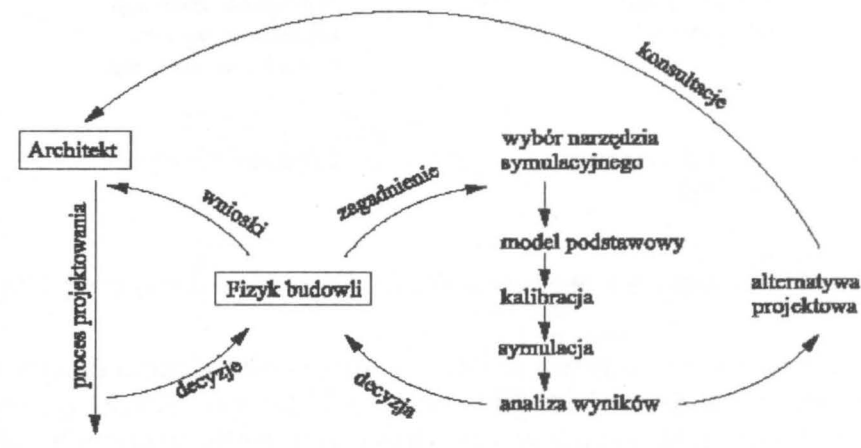
Dzięki cechom metody jednostkowej funkcji odpowiedzi program ESP-r może szybko rozwiązywać zagadnienia dla całego złożonego systemu. Przez to możliwe jest symulowanie złożonych zintegrowanych systemów jakimi są budynki wyposażone w klasyczne instalacje i systemy pasywne.



Rys. 15. Schemat komponentów programu ESP-r [11].

## 7. Podsumowanie

Opracowany koncepcyjny projekt fizyko-budowlany zintegrowany z projektem architektonicznym udowadnia, że projektowanie "energetyczne" powinno być prowadzone równocześnie z funkcjonalnym, architektonicznym czy konstrukcyjnym i powinno mieć na nie wpływ. Do opracowania projektu wykorzystano metody symulacyjne stosowane najczęściej w pracach badawczych. Na przykładzie jednego z programów do symulacji energetycznego zachowania budynku - ESP-r pokazano w jaki sposób najefektywniej użyć ich w procesie projektowania. Przedstawiono przy tym i zastosowano wskazówki oraz algorytm projektowania fizyko-budowlanego wspomagającego projektowanie architektoniczne:



Rys. 16. Algorytm projektowania fizyko-budowlanego z użyciem metod symulacyjnych



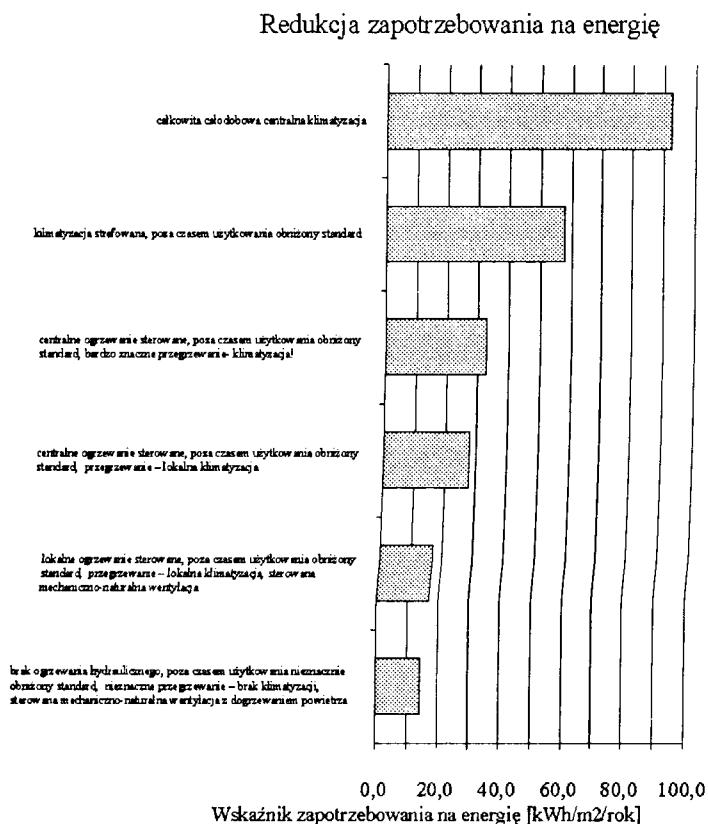
Dzięki wykorzystaniu metod symulacyjnych nie tylko usprawniono proces projektowania fizyko-budowlanego. Wykazano również skuteczność stosowania rozwiązań pasywnych i niskoenergetycznych także w dużych budynkach biurowych. W analizie porównawczej wykazano, że zastosowanie ciężkiej konstrukcji zmniejszyło zużycie energii zarówno na ogrzewanie jak i chłodzenie o około 3%.

Wykorzystano zróżnicowanie funkcjonalne budynku i wykazano, że odpowiednie rozmieszczenie funkcji, a nawet tylko ich wydzielenie jako odrębnych stref cieplnych pozwoli zredukować zużywaną przez budynek energię o około 35%.

W budynku zrezygnowano z aktywnego systemu klimatyzacji. Zachowano jednak parametry komfortu poprzez odpowiednie wykorzystanie w systemie wentylacji podwójnej fasady z elementami zacinającymi i podziemnego zbiornika chłodu.

Wprowadzenie przegród o podwyższonym, w stosunku do wymaganego prawnie, standardzie cieplnym spowodowało dalsze obniżenie zużycia energii na ogrzewanie o 14% w stosunku do modelu budynku z przegrodami standardowymi.

Wykorzystanie podwójnej fasady do podgrzewania powietrza wentylacyjnego spowodowało redukcję zużywanej przez budynek na ogrzewanie energii o 40 %.



Rys. 17. Redukcja zapotrzebowania na energię wraz z optymalizacją fizyko-budowlaną

Dzięki wentylacji ze wstępnym chłodzeniem powietrza w podziemnym zbiorniku chłodu uzyskano odpowiednie parametry komfortu w pomieszczeniach bez stosowania aktywnej centralnej klimatyzacji. Równocześnie wykorzystując zbiornik do nieznacznego podgrzewania powietrza wentylacyjnego zimą oraz przez uszczelnienie projektowanego budynku uzyskano dalsze obniżenie zużycia energii do poziomu 14,0 kWh/m<sup>2</sup>rok, a więc niższego niż wymagany dla budynków pasywnych.

Poniżej przedstawiono kolejne główne warianty projektowe budynku wraz z obliczonym zużyciem energii.

Tablica 1 Zestawienie najistotniejszych wariantów projektowych

| Oznaczenie wariantu projektowego | Opis typu budynku   | Zapotrzebowanie na energię [MWh/rok] | Wskaźnik zapotrzebowania na energię [kWh/m <sup>2</sup> /rok] | Realizacja parametrów komfortu, rodzaj instalacji  |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|---|--|
| "zero"                           | niesterowane ogrzewanie i chłodzenie bez strefowania, mała masa termiczna, podstawowy standard cieplny przegród, brak elementów zacięniających, klasyczna wentylacja grawitacyjna | 967                                  | 92,5  | całkowita całodobowa centralna klimatyzacja  |
| 2C                               | sterowane ogrzewanie i chłodzenie ze strefowaniem, duża masa termiczna, podstawowy standard cieplny przegród, brak elementów zacięniających, klasyczna wentylacja grawitacyjna    | 603                                  | 57,8  | klimatyzacja strefowana, poza czasem użytkowania obniżony standard   |
| 0                                | podstawowy standard cieplny przegród, brak elementów zacięniających, klasyczna wentylacja   | 354                                  | 32,8  | centralne ogrzewanie sterowane, poza czasem użytkowania obniżony standard, znaczne przegrzewanie- lokalna klimatyzacja   |
| 3_3                              | podwyższony standard cieplny przegród, elementy zacięniające, klasyczna wentylacja  | 301                                  | 27,9  | centralne ogrzewanie sterowane, poza czasem użytkowania obniżony standard, przegrzewanie – lokalna klimatyzacja  |
| 4_9                              | podwyższony standard cieplny przegród, elementy zacięniające, wentylacja przez podwójną fasadę  | 182                                  | 16,9  | lokalne ogrzewanie sterowane, poza czasem użytkowania obniżony standard, przegrzewanie – lokalna klimatyzacja, sterowana mechaniczno-naturalna wentylacja  |
| 6_0                              | podwyższony standard cieplny przegród, elementy zacięniające, wentylacja przez podwójną fasadę i chłodzię, uszczelnienie budynku  | 151                                  | 14,0  | brak ogrzewania hydraulicznego, poza czasem użytkowania nieznacznie obniżony standard, nieznaczne przegrzewanie – brak klimatyzacji, sterowana mechaniczno-naturalna wentylacja z dogrzewaniem powietrza |

Literatura :

- [1] [www.budynkipasywne.pl](http://www.budynkipasywne.pl), Krajowy Ruch Ekologiczno-Społeczny (KRES), artykuł: "Budynki pasywne – mistrzowie oszczędzania energii", 2006r
- [2] M. Złowodzki "Technologiczne i środowiskowe projektowanie architektury biur", 1997
- [3] J. Mikoś "Budownictwo ekologiczne", 1996
- [4] P. Narowski, A. Panek "Certyfikat energetyczny budynku z trigenacją energii – "Berlaymont" Commission europeenne". Budownictwo ekologiczne. Materiały II Sympozjum Naukowego pod red. P.Klemma i D. Heima
- [5] Ernst i Peter Neufert "Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego" drugie wydanie polskie oraz trzecie wydanie wersji anglojęzycznej ("Architects' data", third edition)
- [6] Jan.L.M. Hensen: "The building as an Interated Dynamic System" (fragm. z: "On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system", praca doktorska, 1991)
- [7] J.A. Clarke "Energy simulation in buildnig design", 1985
- [8] Dariusz Masły "Jakość środowiska wewnętrznego w architekturze na przykładzie nowoczesnego środowiska pracy biurowej." Problemy jakości powietrza w Polsce 2005
- [9] E. Gratia, A. De Herde "Natural cooling strategies efficiency in an office building with a double-skin fasade", 2004
- [10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 (Dz. U. z 2002r. Nr 75, poz.690) z późniejszymi zmianami
- [11] CEPHEUS – Projectinformation No. 36, "Final technical report", July 2001

Opracował:  
Anna Bąkiewicz  
Jakub Samuszonek

Opiekun naukowy:  
dr inż. arch. Elżbieta Będkowska  
dr inż. Dariusz Heim



# I SYMPOZJUM STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska  
Suche k. Zakopanego 2006 rok

## Problematyka ogrzewania wnętrza sakralnych

We współczesnym świecie przyzwyczajeni jesteśmy do wygody i oczekujemy komfortu w pomieszczeniach, w których przebywamy. Zagadnieniu komfortu cieplnego w kościołach należy przyjrzeć się znacznie dokładniej niż w przypadku innych obiektów użyteczności publicznej. Nieustannie koncentrując się na własnych potrzebach nie możemy zapominać o dbałości o dobro świątyni, w której panuje specyficzny mikroklimat spowodowany charakterystyczną budową i szczególnym sposobem użytkowania [2], [6]. „Tradycyjne obiekty sakralne to pomieszczenia monumentalne, przestronne i wysokie, a strefa przebywania ludzi to zaledwie niewielka część całej kubatury. Kościół w przeciętnej parafii użytkowany jest okresowo i stosunkowo krótko w skali tygodnia, a liczba wiernych bywa zróżnicowana” [1].

Czynniki wpływające na prawidłowy mikroklimat to: temperatura powietrza, temperatura powierzchni przegród budowlanych, wilgotność względna i prędkość ruchu powietrza. Zmiana tych parametrów jest spowodowana różnorodnością warunków meteorologicznych oraz okresową obecnością ludzi, czemu towarzyszą zyski ciepła zarówno od ludzi jak i od oświetlenia [1].

Wbrew ogólnie przyjętej opinii wprowadzenie do kościołów ogrzewania stwarza więcej problemów niż można przypuszczać [6]. Pierwotnie budowle te nie były ogrzewane, a warunki wewnętrzne były najbardziej naturalne i optymalne dla zachowania trwałości zabytków. w dzisiejszych czasach oczekujemy odpowiednich temperatur, jednak stosowanie ogrzewania szkodzi wnętrzom i dziełom sztuki, a także zabytkowym organom [4]. w wyniku podwyższenia temperatury spada wilgotność względna powietrza. Materiały zaczynają oddawać wilgoć, a przy obniżeniu temperatury następuje jej wchłanianie. Procesom tym towarzyszy raz skurcz, a następnie pęcznienie materiałów, także rozpuszczanie i krystalizacja soli. Ponadto ogrzane powietrze unosi się, co powoduje wzmożone przenoszenie i osiadanie zabrudzeń [3].

Przez stulecia kościoły utrzymywane były bez ogrzewania i wentylacji mechanicznej. Zmienne oddziaływanie otoczenia tłumione było przez maszyną obudowę, zdolną do akumulowania i oddawania ciepła. Nie powodowało ono zauważalnej szkody dla trwałości obiektu. Dawniej nie przywiązywano również tak dużej wagi do sprawy higieny. Obecnie przy szybkim postępie technicznym rosnące wymagania ludzi przyzwyczajonych do wygody

przyczyniły się do wyposażania świątyń w systemy grzewcze. Chodzi tu nie tylko o nowo wznoszone, ale także o stare, zabytkowe kościoły. Generalnie spowodowało to ustabilizowanie się ich mikroklimatu. w sporej jednak części osiągnięto wprost przeciwne rezultaty powodując nieoczekiwane i szkodliwe efekty tej ingerencji. Wynikają one głównie z zastosowania niekoniernie nadających się do tego rodzaju obiektów systemów grzewczych i błędnej ich eksploatacji [1].

Podczas planowania wprowadzenia instalacji grzewczej należy zwrócić uwagę na to, by ogrzewanie nie spowodowało tzw. „huśtawki klimatycznej”, czyli szybkich zmian temperatury i wilgotności względnej powietrza. Ogrzewanie okresowe może okazać się bardzo szkodliwe, a zaoszczędzone pieniądze przy takim systemie trzeba będzie wydać wkrótce na naprawę powstałych szkód. Należy pamiętać, że źle rozwiązany problem zawilgocenia murów w takim przypadku grozi nie tylko gwałtownym rozwojem mikroorganizmów, ale nawet mikrobiologiczną katastrofą. Konieczność uszczelniania kościoła dla zwiększenia efektywności grzania kłóci się z potrzebą stałego przewietrzania wnętrza w celu usunięcia nadmiaru wilgoci oddawanej przez wiernych [6]. Aby uniknąć wspomnianej „huśtawki klimatycznej” stosowane jest ogrzewanie ciągłe, które również posiada pewne wady. Stanowi zagrożenie dla dzieł sztuki powodując ich przesuszenie i pękanie. Nie jest ono optymalnym rozwiązaniem z ekonomicznego i konserwatorskiego punktu widzenia. Słuszne jest tylko w przypadku stałego użytkowania budynku [3]. Można jednak okresowo zmniejszać wydajność na czas, w którym wystarcza utrzymywanie temperatury dyżurnej, zapewniającej utrzymanie parametrów powietrza wewnętrznego na mniej kosztownym poziomie.

Niewskazane w kościołach jest ogrzewanie powietrzne ze względu na unoszenie się kurzu i pyłów powodujących zabrudzenia. Lokalizacja elementów grzewczych nie powinna powodować miejscowego przegrzania i wysuszenia wyposażenia, czyli ołtarzy, obrazów, rzeźb, tkanin, mebli itd. Mało komfortowe jest ogrzewanie charakteryzujące się dużą bezwładnością cieplną, którym trudno jest sterować, gdy zachodzi konieczność jego ograniczenia w przypadku nagrzewania kościoła przez słońce, czy dużą liczbę wiernych [6]. Bardzo rzadko można na to wszystko uzyskać prostą receptę. Wybór systemu grzewczego jest efektem jakiegoś kompromisu. Należy wybrać taki, który będzie komfortowy dla wiernych oraz przyjazny dla zabytkowej budowli i zgromadzonych w niej dzieł sztuki [3].

Konieczność pogodzenia ze sobą niektórych wymagań komplikuje racjonalne zalecenia odnośnie obliczeniowych wartości głównych parametrów mikroklimatu, które są potrzebne przy projektowaniu i doborze urządzeń. Jest to kwestia złożona, gdyż o ile wymagania samej budowli pozostawiają dość szeroki margines swobody, to znacznie trudniejsze jest ustalenie komfortu cieplnego. Wynika to z faktu przebywania w jednym miejscu grupy ludzi o różnym ubiorze i aktywności fizycznej, różnej płci, wieku, stanie zdrowia, przyzwyczajeniach, a także o różnym czasie ich pobytu w kościele [1].

Poprawnie wykonane i eksploatowane instalacje grzewcze [7]:

- stwarzają odpowiednie warunki komfortu cieplnego,

- nie powodują hałasu zapewniając spokojną refleksję i modlitwę w trakcie nabożeństw, są ukryte, a ich widok nie zakłóca równowagi wnętrza,
- zapewniają łatwą i niezawodną obsługę oraz odpowiednią wydajność,
- są niepodatne na przypadkową manipulację,
- charakteryzują się niskimi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi.

„Względy ekonomiczne przemawiają za tym, aby tempo nagrzewania wnętrza było możliwie szybkie, a ogrzewana przestrzeń jak najmniejsza ograniczona na przykład tylko do strefy przebywania ludzi. Sposób rozmieszczenia zabytkowych i drogocennych elementów wymaga jednak niekiedy ogrzewania powietrza nawet na całej wysokości kościoła” [2].

Poza tymi aspektami ważne są również względy konserwatorskie i bezpieczeństwa. Urządzenia muszą być w pełni bezpieczne. Nie mogą grozić poparzeniem, miejscowym przegrzaniem, czy przechłodzeniem. O wyborze systemu decydować mogą również indywidualne upodobania parafii, lokalna tradycja i wpływ instalacji na środowisko.

Przy dalszej analizie problemu ogrzewania można dokonać pewnego podziału kościołów (umożliwi on skupienie się na poszczególnych rodzajach budowli i specyficznych ich wymaganiach), i tak [1]:

1. Do pierwszej grupy zaliczają się małe kościoły najczęściej kamienne. Mają one stosunkowo dużą bezwładność termiczną, co łączy się z możliwością łagodzenia zmian klimatu zewnętrznego, ale ich mikroklimat jest narażony na poważną destabilizację przez wiernych. Tutaj właśnie najczęściej dochodzi do wykraplania się na murach pary wodnej, a skoki temperatury dochodzą nawet do 15°C. Natomiast czas pojawiania się kondensatu jest bardzo zróżnicowany. Występowanie takich zjawisk jest prawdziwą katastrofą dla wnętrza. Pojawiają się grzyby, rozwijają się owady niszczące drewno, a procesy degradacji wyposażenia nabierają znacznego przyspieszenia.
2. Druga grupa to kościoły średnie i duże najczęściej barokowe. Widoczny jest w nich wpływ klimatu zewnętrznego. Przez duże okna wpuszczana jest znaczna ilość energii słonecznej. Powoduje to wysokie amplitudy dobowe temperatur i wilgotności względnej powietrza. Również w tym przypadku istnieje zagrożenie kondensacji pary wodnej. Projektowanie ogrzewania wymaga tutaj szczególnej staranności, a realizowany system musi charakteryzować się sprawnym systemem sterowania parametrami powietrza.
3. Kolejną grupę reprezentują olbrzymie gotyckie budowle ceglane. Posiadają bardzo stabilny klimat, dobowe amplitudy temperatury przez znaczną część roku nie przekraczają jednego stopnia. Posiadają niezwykłą zdolność buforowania zmian zewnętrznych. w kościołach tych rzadko występuje wykraplanie pary wodnej, pomimo ujemnych temperatur ścian i sklepień. Zgromadzone tu dzieła sztuki są zazwyczaj w doskonałym stanie. Zastosowanie ogrzewania w takim wnętrzu może je-

dynie zachwiać harmonią klimatyczną. Dlatego musi ono być bardzo dokładnie przeanalizowane.

Spośród wielu rodzajów systemów grzewczych w kościołach stosowana jest najczęściej jedna z poniższych możliwości [7]:

- centralne ogrzewanie wodne ze zwykłymi grzejnikami,
- centralne ogrzewanie wodne z rurami ożebrowanymi (lub gładkimi) umieszczonymi w kanałach podłogowych,
- ogrzewanie powietrzne,
- ogrzewanie gazowe promiennikowe,
- ogrzewanie elektryczne promiennikowe,
- ogrzewanie podłogowe,
- ogrzewanie podławkowe,
- piece akumulacyjne i grzejniki.

Poniżej zostaną wymienione następujące systemy ogrzewania: podławkowy, promiennikowy i podłogowy. Mogą być one stosowane jako samodzielne systemy grzewcze lub jako wspomaganie w zestawieniu z innymi instalacjami grzewczymi. Jest to połączenie estetyki i efektywności.

Pierwsza z możliwości to ogrzewanie liniowe ławek kościelnych, które może być stosowane jako samodzielny system grzewczy. Preferowane jest w zabytkowych oraz bogato wyposażonych kościołach ze względu na dyskretne położenie urządzeń oraz całkowity brak wpływu na wystrój wnętrza. Wymagana temperatura osiągana jest już po kilkunastu minutach pracy systemu. Istnieje możliwość załączania ogrzewania dla dowolnej ilości ławek w zależności od aktualnych potrzeb. Przykład zastosowania: Ławki kościelne w nawie głównej [5].

Ogrzewacze promiennikowe ceramiczne stwarza możliwość ogrzewania wybranych miejsc kościoła wyłącznie podczas nabożeństw. Przynosi znaczące oszczędności w kosztach eksploatacji. Charakteryzuje się brakiem szumów, spalin i świecenia podczas pracy. Dopasowanie kolorystyczne oraz niewielkie rozmiary grzejników stanowią o ich całkowitej neutralności dla zabytkowego wnętrza. Przykład zastosowania: Chór, kaplice boczne, zakryścia [5].

Główną zaletą nadpodłogowych ogrzewaczy miejscowych jest natychmiastowe działanie oraz bezinwazyjny montaż. Pozwalają na dowolny wybór sektorów grzewczych w zależności od aktualnych potrzeb. Wymiary ogrzewaczy oraz ich wzory dopasowywane są indywidualnie do wystroju wnętrza. Osiągnięcie pełnej mocy grzewczej następuje w czasie do 15 minut od ich włączenia. Jest to rozwiązanie stosowane zarówno dla małych trudnodostępnych miejsc jak i dużych odkrytych płaszczyzn. Przykład zastosowania: Prezbiterium, konfesjonały [5].

Wprawdzie dają się wyodrębnić charakterystyczne rodzaje budowli, należy jednak pamiętać, że każdy obiekt stanowi indywidualne zagadnienie o specyficznych wymaganiach. Dlatego wybrany system ogrzewania powinien być szczegółowo przeanalizowany pod względem jego zalet i wad.

*Literatura :*

- [1] L. Laskowski: Wprowadzenie do zagadnienia ogrzewania i wentylacji kościołów; Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 1/1997
- [2] L. Laskowski: Wybrane zagadnienia wnętrz sakralnych; Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 6/1998
- [3] R. Kozłowski, Wyciąg z projektu badawczego Unii Europejskiej – Friendly Heating: Właściwe ogrzewanie zapewniające komfort ludzi i ochronę dzieł sztuki przechowywanych w kościołach;
- [4] K. Kucza-Kuczyński: Między wzniosłością a pokorą – pytania o współczesną przestrzeń sakralną w Polsce; Materiały konferencji naukowo-technicznej „Budownictwo Sakralne `96”
- [5] <http://termo-technika.com.pl/technika.htm>
- [6] <http://sztukasakralna.pl/archiwum/nr2/n7.htm>
- [7] <http://www.wentylacja.iso.pl/technologie/technologie.asp?ID=2556>

Opracowała:  
Anna Urbaniak

Opiekun naukowy:  
dr inż. Robert Cichowicz





## I SYMPOZJUM

### STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska

Suche k. Zakopanego 2006 rok

## Stare „nowe paliwa”. Przegląd ekologicznych paliw stałych wraz z krótką charakterystyką kotłów stałopaliwowych

### 1. Wprowadzenie

Drewno i węgiel od dawna znane i stosowane były jako paliwo. Gdy ich brakowało, funkcję opału przejmowały wszelkie inne surowce dające choć trochę ciepła: słoma, trociny, papier czy nawet niektóre odpadki. W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku nastąpiła w Polsce ekspansja kotłów opalanych gazem lub olejem. Swoją popularność zawdzięczały przede wszystkim łatwości i czystości obsługi, mniejszemu gabarytowi oraz możliwości regulacji. Jednak przy obecnej relacji cenowej paliw oraz wobec rozwoju technologii w zakresie budowy urządzeń oraz ich funkcjonowania, do łask zaczynają wracać źródła ciepła wykorzystujące paliwa stałe. Nie są to już jednak te same, kojarzące się z wszechobecnym czarnym pyłem i koniecznością ciągłego dozoru kotły, ale urządzenia czyste, nowoczesne, nierzadko częściowo lub w pełni zautomatyzowane, przystosowane do rosnących wymagań użytkowników.

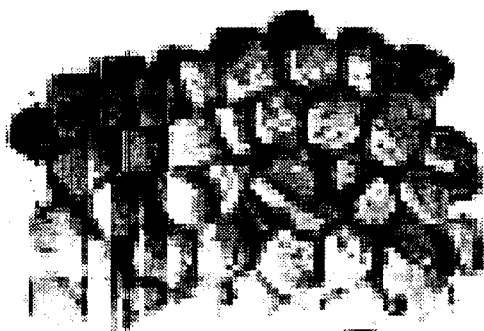
Jednak nie tylko stałopaliwowe źródła ciepła przeżywają swój renesans. Także oferta paliwowa jest coraz bogatsza – rosnące koszty ogrzewania są motorem poszukiwania nowych, tańszych źródeł energii. Z drugiej strony coraz bardziej rygorystyczne przepisy dotyczące ochrony środowiska ograniczają stosowanie paliw o wysokiej emisji zanieczyszczeń. Wszystko to sprawia, że rośnie zainteresowanie tzw. paliwami „ekologicznymi” oraz alternatywnymi źródłami energii. Pod tym ostatnim pojęciem należy rozumieć energię słoneczną, geotermalną oraz siłę wiatru, przetwarzane i wykorzystywane przez takie urządzenia jak np. kolektory słoneczne, fotoogniwa, pompy ciepła, elektrownie wodne i wiatrowe oraz w tzw. ogrzewaniu pasywnym (wykorzystującym energię słoneczną bezpośrednio do ogrzewania). Ograniczone możliwości oraz warunki stosowania rzutują jednak na ich mniejszą popularność w stosunku do pozostałych paliw. Jeśli chodzi o paliwa „ekologiczne”, są to w większości znane od dawna paliwa stałe (jak np. węgiel kamienny) o obniżonej zawartości zanieczyszczeń (głównie siarki i azotu) ale także substancje stanowiące odpady technologiczne, jak np. wióry drzewne, zrębki, słoma albo też pozyskiwane specjalnie w tym celu, jak drewno z wierzby wiciowej.

Różnorodność oferowanych produktów jest tak duża, że warto się przyjrzeć zarówno rodzajom dostępnych paliw, jak i typom kotłów przeznaczonych do ich spalania, by mieć lepsze rozeznanie na rynku.

## 2. Paliwa

Najbardziej popularnym i od dawna znanym paliwem jest węgiel kamienny. Jest to surowiec kopalny zawierający 78-92% pierwiastka węgla (do węgla kamiennego zalicza się też antracyt zawierający do 97% węgla). Przy spalaniu daje długi, błyszczący płomień. Jego wartość opałowa waha się w granicach 16,7-29,3 MJ/kg w zależności od gatunku. Zaleca się spalanie węgla najwyższego gatunku (I i II) również ze względu na najniższą zawartość zanieczyszczeń stałych, w tym głównie siarki. Nie wymaga szczególnych zabiegów podczas składowania. Dostępnych jest kilka sortymentów węgla, w zależności od wielkości bryłek: miał (0 do 2-3 cm), groszek (0,5 do 3,2 cm), orzech (2,5 do 8 cm). z węgla kamiennego wytwarza się także brykiety (powstające przez sprasowanie paliwa) oraz koks, który jest produktem suchej destylacji, pozbawionym składników gazowych [4], [11].

Ponadto niektóre kopalnie mają w swej ofercie wyselekcjonowany asortyment węgla tzw. eko-groszek (rys.1) o określonych parametrach energetycznych i minimalnych ilościach substancji szkodliwych np. siarki, której zawartość jest w tym przypadku niższa od norm obowiązujących w Unii Europejskiej. Spalanie tego rodzaju paliwa w specjalnych kotłach z paleniskami retortowymi uważane jest za ekologiczne ze względu na niską emisję zanieczyszczeń do atmosfery. Dodatkowym atutem tego produktu jest jego niższa cena – w stosunku do węgla "grubego". w niektórych rejonach Polski, jak np. na Śląsku wprowadzono nawet preferencyjne kredyty na modernizację tradycyjnych kotłowni węglowych w celu zmniejszenia zapylenia i zadyrmienia powietrza.



Rys.1. Eko-groszek [11].

Podstawowe parametry eko-groszku jako paliwa to:

- wartość opałowa- 26 MJ/kg,
- zawartość popiołu- do 5%,
- zawartość całkowita siarki- do 0,6%,
- zawartość wilgoci całkowita - do 12%,
- zawartość części lotnych- 36%.

Produkt ten można kupić również w opakowaniach 25-kilogramowych, co ułatwia jego transport i przechowywanie oraz podwyższa czystość obsługi kotła [11], [13].

Innym dobrze znanym surowcem energetycznym jest węgiel brunatny. Obecnie jednak najczęściej stosuje się go jako paliwo zastępcze ze względu na niższą wartość opałową (7,5 do 21 MJ/kg) i zawartość węgla (62-75%) oraz większą zawartość zanieczyszczeń (m.in. piasku) i wilgoci. Węgiel brunatny także może być oferowany w postaci brykietów [11].

Coraz większą popularnością cieszą się różne paliwa kryjące się pod ogólnym pojęciem biomasy. Nazwa ta określa wszelkie substancje organiczne powstające w procesie fotosyntezy, nie licząc materii organicznej zawartej w kopalinach. Poprzez fotosyntezę energia słoneczna jest akumulowana w biomacie, początkowo organizmów roślinnych, później w łańcuchu pokarmowym zwierząt. Energia zawarta w biomacie podlega przetwarzaniu na inne formy energii poprzez spalanie biomasy, lub produktów jej rozkładu. Zawartość szkodliwych pierwiastków (przede wszystkim siarki) w biomacie jest dość niska, a powstający przy spalaniu dwutlenek węgla jest asymilowany i zamieniany na biomasę przez kolejne pokolenia organizmów żywych [7].

*Sprawność nowoczesnych kotłów spalających biomasę może przekraczać 90%, ale tylko przy zastosowaniu paliwa suchego, gdyż wilgotne ma mniejszą wartość opałową. Sprawność kotła może przy takim paliwie spaść nawet do 40%. Biomasę stanowiącą paliwo należy odpowiednio składować, aby nie doszło do zawilgocenia.*

Najczęściej do celów energetycznych wykorzystywane są następujące rodzaje biomasy [7], [12]:

- drewno odpadowe, powstające w leśnictwie i przemyśle drzewnym (np. w stolarniach, tartakach, celulozowniach), a także odpadowe opakowania drewniane,
- słoma – zarówno ze zbóż, jak i z roślin oleistych lub roślin strączkowych oraz siano,
- odpady organiczne – odchody zwierząt, osady ściekowe, makulatura, odpady organiczne z cukrowni, roszarni lnu, gorzelni, browarów, słoma, makuchy i inne odpady produkcji rolniczej itp.,
- wodorosty uprawiane specjalnie w celach energetycznych,
- biogaz z odchodów zwierzęcych,
- rośliny szybko rosnące uprawiane w celach energetycznych.

Uprawy tzw. roślin energetycznych mogą być prowadzone na terenach rolniczych, które ze względu na silne zanieczyszczenie gleb nie nadają się do uprawy roślin jadalnych. Do szybko rosnących roślin energetycznych uprawianych w Polsce należą [7]:

- wierzba wiciowa (*Salix viminalis*),
- ślaziołek pensylwański lub inaczej malwa pensylwańska (*Sida hermaphrodita*),
- topinambur czyli słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus*),
- róża wielokwiatowa lub inaczej: róża bezkolcowa (*Rosa multiflora*),

- rdest sachaliński (*Polygonum sachalinense*),
- trawy wieloletnie, w tym:
- miskant olbrzymi czyli tzw. trawa słoniowa (*Miscanthus sinensis gigantea*),
- miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*),
- spartina periowa (*Spartina pectinata*),
- palczatka Gerarda (*Andropogon gerardi*).

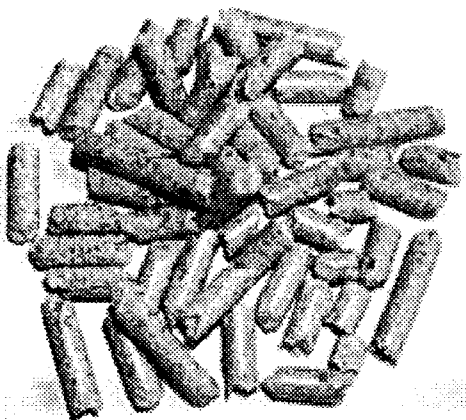
Najbardziej jednak rozpowszechnione jest jak dotąd drewno wiklinowe, uzyskiwane z wierzby wiciowej. w ciągu roku z jednego hektara takiej uprawy otrzymuje się 12-15 ton suchego drewna. Ma ono wartość opałową dwa razy mniejszą niż węgiel. Ta ilość wikliny odpowiada więc 6-7,5 tonom węgla kamiennego. Na uwagę zasługuje także niezbyt w Polsce znana roślina trawiasta o nazwie miskant olbrzymi, charakteryzująca się bardzo dużym przyrostem masy – po trzech latach wynosi on do 30 ton suchej masy z 1 ha. Wartość opałowa jest zbliżona do przeciętnej dla biomasy [5].

W Polsce corocznie produkowane jest ok. 25 mln ton słomy (głównie zbożowej i rzepakowej) oraz siana. Średni zbiór z hektara wynosi ok. 5 ton. Słoma ta jest częściowo wykorzystywana jako ściółka i pasza w hodowli zwierząt oraz do nawożenia pól. Reszta pozostaje niestety niewykorzystana i jest spalana przez rolników na polach. Tymczasem ze spalania 1,7 tony słomy uzyskuje się tyle samo energii co ze spalania 1 tony węgla. Niewątpliwą zaletą tego paliwa jest niewielka zawartość popiołów oraz niewielkie (w porównaniu np. z węglem spalany w tradycyjnych kotłach) ilości wytwarzanych w procesie spalania tlenków siarki (0,05-0,1%), azotu (0,002%) oraz tlenku węgla (rzędu 0,2%). Słoma dostarczana jest w postaci 2-3-kilogramowych balotów – sprasowanych walcowatych brył. Sprawność kotłów na słomę sięga ok. 80% pod warunkiem, że wilgotność paliwa nie przekracza 20%. Wymagają one specjalnej konstrukcji umożliwiającej dopalanie w temperaturze powyżej 800°C lotnych gazów powstających w procesie spalania. Uzyskuje się to przez wykorzystanie wentylatora, tłoczącego powietrze prostopadle do załadowanych balotów, na spód ich stosu. Po spalaniu tej warstwy baloty pod własnym ciężarem przesuwają się w dół, a gazy lotne uchodzą do góry, porywane przez strumień wdmuchiwanego powietrza. Ponieważ słoma spala się bardzo szybko, instalacja wymaga współpracującego z kotłem zbiornika wodnego, akumulującego ciepło [6].

Paliwem równie dobrze znanym i dostępnym co węgiel kamienny jest drewno. Jego wartość opałowa waha się w granicach od 8,4 do 19 MJ/kg; zależy to od zawartości wilgoci oraz gatunku i postaci paliwa. Większą wartość opałową mają gatunki drzew liściastych o dużej gęstości takie jak grab, buk, dąb, brzoza. Jeden metr sześcienny drewna bukowego odpowiada 215 litrom oleju opałowego. Spalanie drewna w odpowiedniej temperaturze dochodzącej do 1200 °C (proces suchej destylacji czyli piroliza) ogranicza w dużym stopniu ilość szkodliwych substancji zawartych w spalinach oraz zmniejsza ilość popiołu (ok. 0,5% masy spalanego wkładu). Popiół powstający po spalaniu stanowi pełnowartościowy nawóz naturalny, a ilość emitowanego w spalinach dwutlenku węgla jest bliska pochłoniętej przez roślinę w czasie jej wzrostu. Drewno jako paliwo dostępne jest w postaci nieprze-

tworzonej lub przetworzonej. Drewno nieprzetworzone to: kora, igliwie, liście, zrębki, gałęzie, wióry, wiklina, drewno opałowe, trociny. Drewno przetworzone to brykiety i pelety [11].

Pelety (rys.2) stanowią wysoko wydajne ekologiczne paliwo z biomasy. Powstają wskutek ciśnieniowego prasowania trocin. z tony trocin powstaje od 600-900 kg paliwa. Najlepsze paliwo uzyskuje się z trocin drzew iglastych, jednak w zależności od dostępności surowców granulata może powstawać także ze słomy, wierzby energetycznej czy trzciny cukrowej. Cechą charakterystyczną tego produktu jest bardzo niska zawartość popiołu (zwykle poniżej 1%, maksymalnie do 1,5%) i wilgoci (około 8-10%) oraz dość wysoka wartość opałowa (17-22 MJ/kg).



Rys.2. Pelety [11].

Pelety nie są zanieczyszczone piaskiem. Dostępne są luzem bądź w workach 500 kg lub 1000 kg. Ze względu na niewielkie wymiary (długość 10-30mm, średnica 6-25mm) układają się ciasno, a przez to są łatwe w przechowywaniu i nadają się do kotłów wyposażonych w podajnik automatyczny. Są paliwem umożliwiającym zastosowanie najbardziej rozbudowanej automatyki w kotle spośród wszystkich rodzajów biomasy [11].

Podobnym do pelet produkt są brykiety. Powstają głównie z trocin tartacznych, a także z kory i pozostałości po wycince lasów, z wiórów oraz rozdrobnionych odpadów suchego drewna (np. zrębków). Surowiec wyjściowy zostaje poddany działaniu wysokiego ciśnienia, które powoduje jego sprasowanie i zagęszczenie bez dodatku substancji klejących. Brykiety mają kształt prostopadłościenny lub walcowaty, a ich wymiary – nieco większe niż pelet – wynoszą od kilku do kilkunastu centymetrów. Wartość opałowa mieści się w granicach 17-21 MJ/kg, a zawartość wilgoci stanowi 6-10%. Dzięki dużemu zagęszczeniu surowca w stosunku do objętości, proces spalania jest powolny. Podczas spalania brykietu powstają małe ilości popiołu, który nie zawiera szkodliwych substancji i może zostać wykorzystany jako nawóz. Do palenia brykietów zaleca się stosowanie kotłów zgazowujących lub retortowych [6], [11].

W tablicy 1 zebrane są informacje umożliwiające porównanie omówionych powyżej paliw.

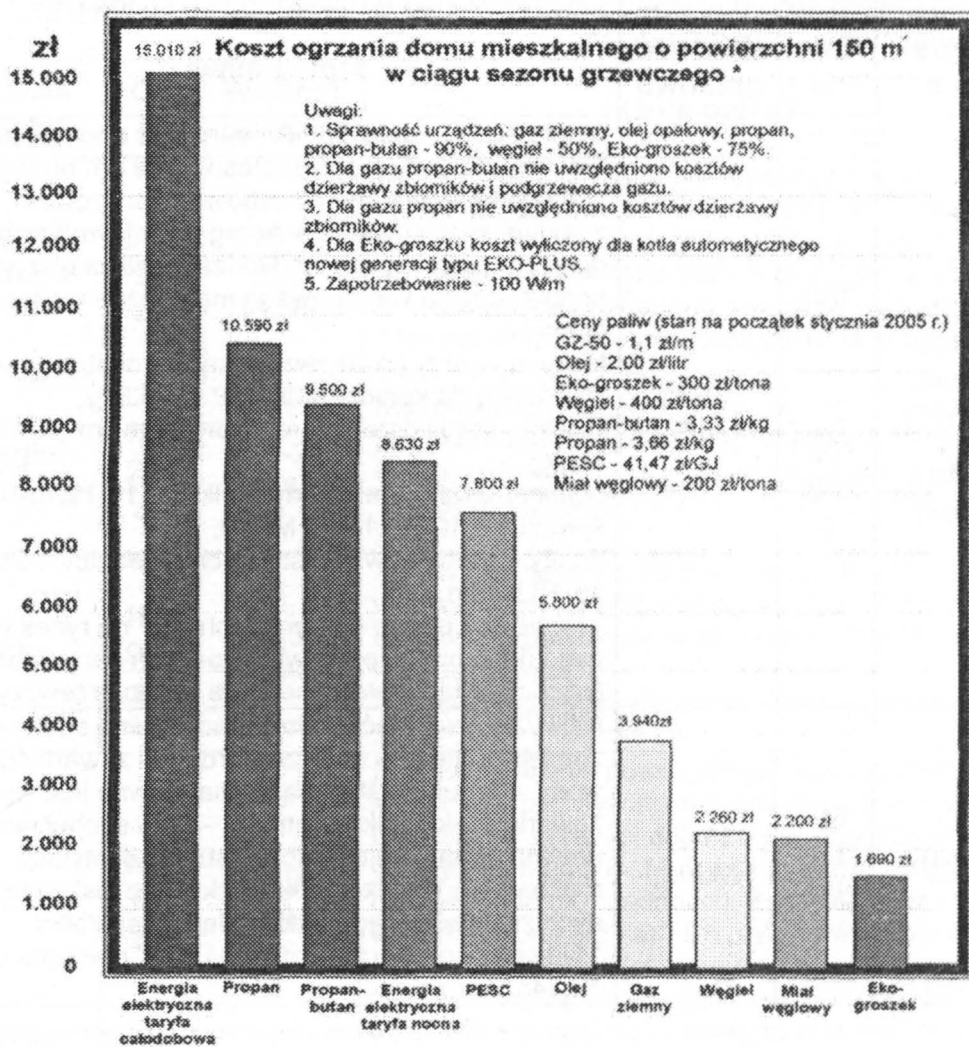
Tablica 1. Zestawienie cen, wartości opałowych oraz głównych cech wybranych paliw stałych [1].

| Paliwa stałe    | Cena         | Wartość opałowa | Opis paliwa   |
|-----------------|--------------|-----------------|---|
| węgiel kamienny | 390-490 zł/t | 16,7-29,3 MJ/kg | Dostępnych jest wiele rodzajów węgla różniących się między innymi wartościami opałowymi. Najpopularniejsze to: orzech, kostka, groszek, miał. z węgla słabej jakości powstaje dużo popiołu, przez co kocioł wymaga częstszego czyszczenia.<br>* Na sezon grzewczy w domu 150m <sup>2</sup> potrzeba ok. 4-5 ton   |
| węgiel brunatny | 190-250 zł/t | 7,5-21 MJ/kg    | Ma mniejszą wartość opałową niż węgiel kamienny, jest sprzedawany najczęściej w postaci brykietów. Rzadko używany – raczej jako paliwo zastępcze.<br>* Na sezon grzewczy w domu 150m <sup>2</sup> potrzeba ok. 6-8 ton  |
| koks            | 490-920 zł/t | 24-30 MJ/kg     | Zawiera co najmniej 90-95% węgla, ale ma od niego wyższą kaloryczność. Pali się wolniej, co zmniejsza częstość uzupełniania opału w piecu. Ma charakterystyczny zapach.<br>* Na sezon grzewczy w domu 150m <sup>2</sup> potrzeba ok. 2-3 ton  |
| brykiety        | 340-380 zł/t | 17-21 MJ/kg     | Podczas spalania powstają małe ilości popiołu, który może być wykorzystywany jako nawóz. Brykiety polecane są raczej do kominka – czas palenia 10kg to ok. 8 godzin. Można je mieszać z węglem i koksem (dla oszczędności). Pakowany jest w worki, 1 tona – 2,5m <sup>3</sup> . Do przechowywania wymaga suchego pomieszczenia.<br>* Na sezon grzewczy w domu 150m <sup>2</sup> potrzeba ok. 5 ton.   |
| pelety          | 450-650 zł/t | 17-22 MJ/kg     | Uznawane są za jeden z najlepszych substytutów węgla, gazu i oleju opałowego. Spalając 2kg pelet uzyskuje się tyle samo energii, co ze spalania 1l oleju opałowego. Nie brudzą, spalają się w całości, można je mieszać z węglem i koksem dla oszczędności; pakowane w worki.<br>* Na sezon grzewczy w domu 150m <sup>2</sup> potrzeba ok. 4 ton.   |
| słoma           | 70-100 zł/t  | 14-15 MJ/kg     | Podczas spalania powstaje mała ilość popiołu, a ilość szkodliwych substancji wydzielanych do atmosfery jest niewielka. Słoma szybko ulega spalaniu, dlatego konieczne jest zainstalowanie zbiornika akumulacyjnego wypełnionego wodą. Dostarczana w balotach. Przy tradycyjnym spalaniu sprawność procesu wynosi od 35 do 70%, jednak warunkiem całkowitego spalania słomy jest utrzymanie wilgotności na poziomie 15%.<br>* Na sezon grzewczy w domu 150m <sup>2</sup> potrzeba ok. 7-8 ton. |

Tablica 1 c.d.

| Paliwa stałe  | Cena  | Wartość opałowa    | Opis paliwa  |
|---|---|--------------------|--|
| <p>wierzba energetyczna, brykiety i pelety, zrębki</p>  | <p>160 zł/m<sup>3</sup><br/><br/>70zł/250kg</p> | <p>18-25 MJ/kg</p> | <p>Ścięte pędy nadają się jako surowiec energetyczny, ale tylko do domowego zastosowania. Im bardziej przetworzone drewno wierzbowe, tym szersze znajduje zastosowanie w energetyce i tym bardziej opłaca się jego transport. Rodzaje paliwa otrzymanego z drewna wierzbowego mają różne wartości opałowe:<br/>                     faszyna – pędy powiązane w snopki dostosowane wielkością do komory spalania: 12 MJ/kg,<br/>                     zrębki – ścinki drzewne rozmiaru kilku cm: 10-11 MJ/kg<br/>                     brykiety – walcowate bryły wielkości 10-15cm, średnicy 5-10cm: 15-17 MJ/kg,<br/>                     pelety – granulaty wielkości 2,5cm, średnicy 1-2cm: 16-18 MJ/kg.<br/>                     * Ponieważ paliwo dopiero „wchodzi” na rynek i jest mało dostępne, nie ma wiarygodnych danych co do ilości materiału potrzebnego na sezon grzewczy.</p> |
| <p>drewno</p>   | <p>60-139 zł/m<sup>3</sup></p>                  | <p>11-22 MJ/kg</p> | <p>Najwyższą wartość opałową ma drewno suche – zmniejsza się ona wraz ze wzrostem zawartości wody. Charakterystyczną cechą drewna jest wysoka zawartość składników lotnych – 80% suchej masy drewna odparowuje podczas suchej destylacji (ogrzewania) a tylko 20% zbudowane jest z nielotnych związków węgla, które ulegają spalaniu.<br/>                     * Na sezon grzewczy w domu 150m<sup>2</sup> potrzeba ok. 12-14m<sup>3</sup>.</p>  |
| <p>* Przykładowe dane uzyskano od posiadaczy kotłów na paliwa stałe oraz w punktach sprzedaży paliwa. Trudno podać uśredniony koszt za sezon grzewczy, ponieważ zależy on od temperatur zewnętrznych w danym sezonie, ceny paliwa w zależności od jego jakości i regionu Polski, rodzaju i stanu instalacji grzewczej oraz od sposobu palenia, np. czy dom opalany jest samym węglem, czy węglem z drewnem itd.</p> |   |                    |  |

Przy ocenie paliwa nie można zapomnieć o niezwykle istotnym parametrze jakim jest całkowity koszt ogrzania danego budynku w relacji z kosztami zastosowania innych źródeł ciepła. Jest on wypadkową m.in. ceny, wartości opałowej oraz zapotrzebowania na paliwo w ciągu sezonu grzewczego. Na rysunku 3 zestawiono przybliżone koszty ogrzewania na przykładzie domu mieszkalnego o powierzchni 150 m<sup>3</sup>. Porównanie ma charakter szacunkowy zarówno ze względu na zmieniające się ceny nośników energii, ale także na możliwość zastosowania kotłów różniących się technologią spalania, sprawnością oraz budową. Ponadto opracowanie nie uwzględnia wykorzystania biomasy, w tym pelet, brykietów, słomy czy drewna.



Rys.3. Porównanie kosztów ogrzewania domu mieszkalnego o pow. 150m<sup>2</sup> w sezonie grzewczym, przy wykorzystaniu różnych rodzajów paliw [2].

Oprócz zapoznania się z charakterystyką paliw warto poznać przynajmniej podstawowe informacje na temat kotłów – ich typów i ich cech charakterystycznych.

### 3. Charakterystyka kotłów

Pod względem budowy rozróżnia się następujące typy kotłów:

Kotły ze spalaniem górnym – najtańsze i najpopularniejsze. Powietrze jest w nich doprowadzane do całej objętości paliwa, a spalanie przebiega w całej warstwie paliwa. Komora zasypowa stanowi zwykle komorę spalania, w której następuje rozżarzenie, a potem wypalanie całej objętości zasypanego paliwa. Wysoka temperatura zapewnia stabilny ciąg kominowy, ale niecałkowite spalanie powoduje niską sprawność. Intensywność spalania można regulować sterując dopływem powietrza przez mechaniczny miar-



kownik ciągu (regulator paleniska) umieszczany w otworze dopływowym w drzwiczkach popielnika albo w czopuchu. Nie jest to regulacja precyzyjna. w dodatku w strefie spalania stale znajduje się duża porcja paliwa, którego nie można natychmiast zgasić w razie przegrzania kotła (np. w wyniku awarii). Świeże paliwo dokłada się do rozpalonego, co może powodować drobne wybuchy wydzielanego gazu (tzw. fukanie). *Ten system spalania najlepiej nadaje się do paliwa z małą ilością części gazowych, dlatego stosuje się go najczęściej do koksu [6], [9].*

Kotły ze spalaniem dolnym – droższe, mniej rozpowszechnione. Istotą ich działania jest ograniczenie ilości spalanego paliwa. Proces zachodzi w ściśle określonym miejscu nad rusztem – w tylnej części komory spalania, w miejscu, gdzie doprowadzane jest powietrze. Powstałe spaliny są dodatkowo dopalane, co pozwala na uzyskanie w efekcie wyższej sprawności kotła – nawet o 10% w stosunku do kotłów ze spalaniem górnym. w miarę jak spopielona dolna warstwa osypuje się do popielnika, na jej miejsce osuwa się świeża partia paliwa – w strefie spalania pozostaje stała jego ilość. Zmniejsza to częstotliwość dokładania opału, a kolejne porcje nakłada się na górną, nie rozżarzoną warstwę paliwa, co zapobiega zjawisku fukania. Moc kotła można dość precyzyjnie regulować zmieniając wydajność wentylatora, m.in. za pomocą układów termostatycznych. Do kotłów z dolnym spalaniem stosuje się paliwa zawierające dużo składników lotnych (węgiel, drewno) [4], [9].

Kotły retortowe – najdroższe. Funkcję rusztu spełnia tutaj palnik retortowy – blok żeliwny lub ze stali nierdzewnej, z lejącym zagłębieniem, zaopatrzonym w otwory doprowadzające powietrze. Paliwo o drobnej granulacji (miął węglowy, pelety, trociny) jest do niego doprowadzone od dołu – zwykle podajnikiem ślimakowym o napędzie elektrycznym. Umożliwia to bardzo precyzyjne i zautomatyzowane sterowanie procesem spalania oraz wysoką czystość spalin. Pojemność zasobnika pozwala na kilka dni bezobsługowej pracy kotła. Kotły takie uzyskują sprawność rzędu 85%, co jest wielkością porównywalną z kotłami gazowymi i olejowymi [4], [8].

Kotły zgazowujące – służą do dwustopniowego spalania drewna, czasem węgla brunatnego. w komorze zgazowywania (górną, będącą jednocześnie załadownicą) uwalniany jest gaz drzewny, kierowany następnie do dyszy palnika w komorze spalania (dolnej) i spalany w temperaturze 1200°C. Powietrze dostarczane jest przez wentylator umieszczony zwykle na przedniej ścianie urządzenia. Do tego rodzaju kotłów stosuje się wyłącznie drewno drzew liściastych (np. buk, dąb), sezonowane przynajmniej 18 miesięcy. Kotły te charakteryzują się możliwością precyzyjnej regulacji temperatury wody na wyjściu z kotła [4], [10].

Według obecnie obowiązujących przepisów kotły na paliwa stałe wymagają instalacji grzewczej wodnej układu otwartego, co może stanowić pewne ograniczenie ich stosowania oraz podnosić koszty montażu (w przypadku konieczności dostosowania instalacji). w dodatku kontakt wody z powietrzem w takiej instalacji zwiększa ryzyko korozji grzejników. Istnieje jednak szansa, że zapis ten się zmieni ze względu na rozwój technologii oraz zaostrożone wymagania techniczne dotyczące kotłów (norma EN-303-

5:1999 „Wymagania techniczne oraz badania, jakim powinny odpowiadać kotły grzewcze na paliwa stałe z zasypem ręcznym oraz automatycznym o mocy do 300 kW.”). Polska Izba Gospodarcza Energii Odnawialnej wystąpiła do Ministra Budownictwa z prośbą o rozważenie możliwości zmiany rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. „W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie”, w zakresie stosowania kotłów grzewczych na paliwa stałe. Zmiana miałaby dotyczyć ust.7 Art. 133 Rozporządzenia, który definiuje rodzaje instalacji grzewczych oraz określa warunki, jakie instalacje grzewcze powinny spełniać [8].

Do tego czasu pewnym rozwiązaniem może być zastosowanie zbiornika buforowego (akumulacyjnego) lub płytowego wymiennika ciepła, w celu rozdzielenia obiegu na dwa: otwarty obieg kocioł – wymiennik (lub zbiornik) oraz zamknięty obieg wymiennik (zbiornik) – grzejniki. Urządzenie takie jest przydatne, a nawet konieczne także w przypadku łączenia kilku niezależnych źródeł ogrzewania (np. kocioł na paliwo stałe i kolektor słoneczny lub grzałka elektryczna). Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest zabezpieczenie instalacji przed nierówną pracą kotła i zapewnienie mniejszych wahań temperatury wody, co jest szczególnie istotne podczas przygotowania ciepłej wody użytkowej. Inwestycja taka jest jednak niestety dość kosztowna, a urządzenie wymaga wygospodarowania dodatkowego miejsca, ze względu na duże gabaryty (minimum 500 litrów pojemności zbiornika na każde 10kW mocy cieplnej kotła) [3].

#### **4. Podsumowanie**

Paliwa stałe niewątpliwie wróciły do łask. Wobec tak szerokiej – i wciąż rozwijającej się – oferty rynkowej zarówno w zakresie kotłów jak i surowców energetycznych, wybór rozwiązania w pełni satysfakcjonującego nawet najbardziej wygórowane wymagania użytkownika wydaje się być osiągalny. Nowe technologie pozwalają chronić środowisko i sprawiają, że „stare” paliwa mogą być na nowo odkryte i z powodzeniem wykorzystane. Jednak mimo atrakcyjnej ceny, coraz lepszej jakości i konkurencyjności wobec gazu, oleju czy energii elektrycznej, nie są pozbawione wad. i choć dotychczasowy postęp w tej dziedzinie napawa optymizmem na przyszłość, pozostaje pytanie: czy uda się kiedyś odkryć paliwo doskonałe? Czy doczekamy się źródła ciepła całkowicie bezpiecznego dla środowiska, taniego, powszechnie dostępnego i dającego się wykorzystać w każdych warunkach?

Literatura :

- [1] A. Olszewska-Krysztofiak, A. Demianowicz: Kotły stałopalne reaktywacja; Miesięcznik „Budujemy dom”, nr 3/2006”, str.226
- [2] Ekologiczne i ekonomiczne grzanie; Miesięcznik „Budujemy dom”, nr 3/2006, str. 234
- [3] I. Małkowska: Dorzuć do pieca; Miesięcznik „Budujemy dom”, nr 7-8/2006, str. 86
- [4] Portal budujemydom.pl [http://www.budujemydom.pl/artykuly/464\\_kotly\\_na\\_paliwa\\_stale/](http://www.budujemydom.pl/artykuly/464_kotly_na_paliwa_stale/)
- [5] Portal budujemydom.pl [http://www.budujemydom.pl/artykuly/216\\_energia\\_odnawialna](http://www.budujemydom.pl/artykuly/216_energia_odnawialna)
- [6] Portal budujemydom.pl [http://www.budujemydom.pl/artykuly/81\\_paliwa\\_ekologiczne/](http://www.budujemydom.pl/artykuly/81_paliwa_ekologiczne/)
- [7] Wikipedia, wolna encyklopedia [http://pl.wikipedia.org/wiki/ Biomasa](http://pl.wikipedia.org/wiki/Biomasa)
- [8] Serwis poświęcony energetycznemu wykorzystaniu biomasy [http://www.biomasa.org/aktualnosci/interwencja „Interwencja u Ministra Budownictwa”](http://www.biomasa.org/aktualnosci/interwencja_„Interwencja_u_Ministra_Budownictwa”)
- [9] „Ekspert budowlany” [http://www.medium.media.pl/ ekspertbudowlany/Instalacje/kotly\\_na\\_paliwa\\_stale.html](http://www.medium.media.pl/ekspertbudowlany/Instalacje/kotly_na_paliwa_stale.html)
- [10] A. Krucki: Kotły grzewcze na paliwa stałe; Portal budowlano-instalacyjny <http://www.instalsystem.pl/>
- [11] Strona internetowa Przedsiębiorstwa Handlowo Usługowego „Artex” [http://www.artex.zgora.pl/Kotły C.O. na paliwa stałe](http://www.artex.zgora.pl/Kotly_C.O._na_paliwa_stale)
- [12] L. Janowicz: Biomasa w Polsce; Portal „Ekologika” <http://www.ekologika.pl>
- [13] <http://ekoszok.pl/ekogroszek.htm>

Opracowała:  
Maria Piotrowicz

Opiekun naukowy:  
dr inż. Robert Cichowicz



## I SYMPOZJUM

### STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska

Suche k.Zakopanego 2006 rok

#### **Technologie i materiały stosowane w oczyszczaniu powietrza - filtry**

##### **1. Wstęp**

Rozwój cywilizacji nasilony pod koniec XX w. niesie ze sobą szereg niekorzystnych zjawisk wywierających wpływ na środowisko naturalne. Pogłębiająca się globalizacja w połączeniu z rozwojem przemysłu wymusza działania prowadzące do zapewnienia ochrony składowych środowiska, tj. wody, gleby, powietrza, fauny i flory. Dopiero w drugiej połowie XX w. zaczęto zwracać szczególną uwagę na problem zanieczyszczenia atmosfery. Prowadzone obserwacje doprowadziły do stworzenia przepisów prawnych m. in. Prawo Ochrony Środowiska, normalizujących ilość, rodzaj i stężenie emitowanych zanieczyszczeń. z upływem czasu weryfikowano ustalone wielkości dopasowując je do zmieniających się warunków środowiskowych.

##### **2. Problem zanieczyszczenia powietrza na świecie**

W przypadku zanieczyszczeń powietrza pochodzenia naturalnego mamy do czynienia z bardziej rozległym zjawiskiem niż w przypadku zanieczyszczeń antropogenicznych. Jednakże emisja związków szkodliwych wytworzonych przez ludzi stanowi poważniejsze zagrożenie ze względu na skoncentrowany charakter zjawiska. Problem ten szczególnie dotyka aglomeracji miejskich i dużych skupisk ludzkich. Powstają one w wyniku działalności przemysłowej człowieka jak również indywidualnej emisji z gospodarstw domowych, tzn.: kotłowni, palenisk, itd. w krajach wysoce rozwiniętych problem ochrony środowiska (w tym i atmosfery) traktowany jest priorytetowo. Prowadzone są inwestycje na szeroką skalę dotyczące instalacji nowoczesnych urządzeń odpylających, a w przypadku budynków i hal już istniejących kładzie się szczególny nacisk na wymianę starych systemów oczyszczających powietrze usuwane na nowe. Niestety, jednocześnie w krajach rozwijających się, gdzie ubóstwo społeczeństwa stanowi istotny problem, ochrona środowiska schodzi na dalszy plan. Przeszkodę stanowią wysokie koszty związane z zakupem, montażem i konserwacją urządzeń ograniczających emisję zanieczyszczeń.

Przeprowadzane okresowo badania na świecie wykazują znaczny wzrost zachorowań na alergię u ludzi. w państwach, gdzie świadomość mieszkańców w aspekcie ochrony zdrowia jest duża powszechnie staje się stosowanie urządzeń filtrujących w obiektach mieszkalnych. Stosowanie filtrów ma korzystny wpływ na poprawę warunków zdrowotnych, higienicznych mieszkańców. Dodatkowe uzdatnianie powietrza poprzez nawilżanie (osuszanie), jonizację i in. ma pozytywny wpływ na odczuwanie warunków komfortu u osób przebywających w pomieszczeniach. Dlatego też w ostatnim czasie obserwuje się znaczny wzrost zainteresowania urządzeniami filtrującymi. Firmy branży wentylacyjnej i klimatyzacyjnej oferują szeroką gamę artykułów dla inwestorów indywidualnych [4,5].

### 3. Klasyfikacja zanieczyszczeń powietrza

Zanieczyszczenia powietrza dzielimy na: pochodzenia naturalnego (pyłki roślin, sierść zwierząt, bakterie, wirusy) oraz wytworzone na skutek działalności człowieka (pochodzenie antropogeniczne; pyły, cząsteczki metali i ich tlenków, cząsteczki radioaktywne i in.). w zależności od rodzaju występujących zanieczyszczeń dobiera się odpowiednie materiały filtracyjne i technologie oczyszczania powietrza.

Konieczność zachowania odpowiedniej czystości powietrza staje się coraz częstszym warunkiem nie tylko przeprowadzania poprawnych procesów technologicznych np. w przemyśle farmaceutycznym, mleczarskim, optycznym czy fotograficznym, ale coraz częściej także (z uwagi na aspekt zdrowotny) ważny staje się ze względu na zapewnienie warunków komfortu w pomieszczeniach użyteczności publicznej, budownictwa mieszkaniowego. Nasilająca się produkcja zanieczyszczeń przemysłowych, do których można zaliczyć związki metali, sadzę, pyły z kotłowni i pieców, niepożądane zapachy, wymusza na przedsiębiorcach inwestowanie w nowoczesne systemy oczyszczające. Osobną kwestią staje się wpływ zanieczyszczeń na elementy elektroniczne wrażliwe na unoszące się w powietrzu pyłki, kurz, pleśnie i roztocza. By uniknąć kosztownych napraw sprzętu m. in. komputerów, należy zadbać o skuteczną filtrację powietrza w pomieszczeniu.

Zanieczyszczenia typu naturalnego stają się szczególnie uciążliwe dla osób wrażliwych na alergeny. Do tej kategorii zanieczyszczeń zaliczyć można zarówno pyłki roślin, zarodniki, bakterie (np.: gronkowiec złocisty, prątek gruźlicy, i in.), pleśnie (pleśń błękitna i czarna), jak również wirusy, sierść zwierząt i roztocza. w tej grupie zanieczyszczeń można wyróżnić podgrupę, do której zaliczamy m. in.: kurz i dym tytoniowy. Intensyfikacja wydzielania się tych zanieczyszczeń następuje w okresie grzewczym, gdzie ogrzane powietrze powoduje ruch zanieczyszczeń. Tak rozprowadzone zanieczyszczenia dostają się do układu oddechowego i pokarmowego człowieka powodując podrażnienie błon śluzowych przetyku, infekcje nosa i gardła. To z kolei negatywnie wpływa na samopoczucie osób przebywających w pomieszczeniach. w obiektach typu restauracje, kawiarnie problem usunięcia drażniących zapachów jest bardzo ważny. O nasileniu odczuwania brzyd-

kich zapachów, alergenów decyduje także wilgotność powietrza. Inny podział zanieczyszczeń rozróżnia zanieczyszczenia stałe i gazowe [6].

#### 4. Procesy filtracyjne

Filtry powietrza mają za zadanie wychwycenie z powietrza i zatrzymanie na powierzchni filtracyjnej zanieczyszczenia, niekiedy także wzbogacenie poprzez np. jonizację oczyszczonego powietrza. Podstawowymi zjawiskami fizycznymi wymuszającymi proces filtracji są:

- zjawisko dyfuzji – następstwo molekularnych ruchów Browna bardzo małych cząstek,
- zjawisko bariery – występujące, gdy cząstka porusza się wzdłuż linii przepływu, której odległość od włókna w miejscu opływania jest mniejsza niż pół średnicy,
- zjawisko sita – dotyczy tylko tych cząstek, których średnica jest większa niż swobodny przekrój między włóknami,
- zjawisko bezwładności – osadzanie cząstki na włóknie, gdy cząstka ma określone wymiary i nie może z tego powodu poruszać się wzdłuż linii przepływu, oraz gdy znajdzie się wewnątrz pewnego określonego przedziału odległości od linii symetrii. Czynny mechanizm oddzielania przez pojedyncze włókno zależy od średnicy włókna, średnicy cząstek, prędkości przepływu, rozkładu cząstek przed włóknem [6].

#### 5. Rozwiązania konstrukcyjne filtrów

Obecnie na rynku wentylacji i klimatyzacji można spotkać szereg rozwiązań konstrukcyjnych filtrów. Różnorodność ta pozwala na dobór odpowiedniego filtra w zależności od przeznaczenia. Producenci coraz częściej proponują stworzenie indywidualnych rozwiązań dostosowanych do potrzeb inwestora. w tabeli nr 1 zamieszczono przykładową klasyfikację filtrów w zależności od rozwiązań konstrukcyjnych, zastosowania, czasu użytkowania i in.

Coraz większym powodzeniem cieszy się stosowanie tzw. „filtracji prostej”. Zasada działania oparta jest na swobodnym przepływie mas ogrzanego powietrza przez maty filtracyjne nakładane na grzejniki. Jednocześnie chłodniejsze powietrze dostające się do pomieszczenia przez nieszczelności stolarki okiennej i drzwiowej wypiera do góry cieplejsze powietrze. Zastosowanie filtra powoduje ograniczenie unoszenia się kurzu i pyłu, w konsekwencji likwidację ciemnych smug na ścianie nad grzejnikami. Jednakże na poprawne działanie filtracji prostej wpływa szereg czynników np. zmienna ilość użytkowników pomieszczenia, osłabiając tym samym efektywność filtracji do momentu ustąpienia zakłóceń przebiegu procesu [6].

Coraz większym uznaniem cieszą się filtry patronowe. Dzięki cylindrycznemu kształtowi zapewniają dużą powierzchnię kontaktu. Materiały filtracyjne stosowane w filtrach patronowych to m. in.: włókniny poliestrowe,

polipropylenowe, filce, papier. Maksymalna temperatura pracy wynosi 180°C. Dodatkowo poddając filtry patronowe obróbką takim jak np. zabiegom antyelektrostatycznym, wodno-olejowym, i in. można poprawić skuteczność ich działania [8].

Tablica 1. Podział filtrów powietrza ze względu na specyfikę zastosowania [6].

|                    |   |
|--------------------|---|
| Materiał           | <ul style="list-style-type: none"> <li>filtry metalowe</li> <li>filtry włókninowe</li> <li>filtry z węglem aktywowanym</li> <li>filtry z kąpielą olejową</li> <li>filtry z elektro włóknami</li> </ul>  |
| Sposób zabudowy    | <ul style="list-style-type: none"> <li>filtry pionowe</li> <li>filtry kanałowe</li> <li>filtry ścienne</li> <li>filtry sufitowe</li> </ul>  |
| Sposób użytkowania | <ul style="list-style-type: none"> <li>filtry jednorazowe</li> <li>filtry trwałe (regenerowane)</li> </ul>  |
| Klasy filtrów      | <ul style="list-style-type: none"> <li>filtry zgrubne (na pył gruby)</li> <li>filtry dokładne (na pył drobny)</li> <li>filtry bardzo dokładne</li> <li>filtry zawieszinowe</li> </ul>   |
| Rodzaj pracy       | <ul style="list-style-type: none"> <li>filtry stacjonarne</li> <li>filtry obiegowe</li> <li>filtry taśmowe (zwojowe)</li> <li>elektrofiltry</li> <li>filtry automatyczne</li> </ul>   |
| Konstrukcje        | <ul style="list-style-type: none"> <li>filtry o strumieniu skośnym</li> <li>filtry o strumieniu kolistym</li> <li>filtry bębnowe</li> <li>filtry obiegowe</li> <li>filtry kotłowe</li> <li>filtry workowe (rękawowe)</li> <li>filtry o kształcie V</li> </ul> |

Po wejściu Polski do Unii Europejskiej zmianie uległ także system klas filtrów i stosowana terminologia. Aktualny podział na klasy został zamieszczony w normie PN – EN 779 (tabela nr 2) [2].

Tablica 2. Klasy filtrów [8].

| Rodzaj filtra     | Klasa filtra        | Całkowita skuteczność filtracji [%] |                           | Numeryczna skuteczność filtracji [%]               | Klasa filtra (projekt)        |
|-------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|--|-------------------------------|
|                   |                     | Test pyłu syntetycznego             | Test pyłu atmosferycznego | Test aerozolu DES, DOP lub mgły oleju parafinowego |                               |
|                   | DIN 24 185 EUROVENT | DIN 24 185 EUROVENT 4/5             | DIN 24 185 EUROVENT 4/5   | pr EN 1822-S                                       | wg nr PN EN 799, pr EN 1822-1 |
| zgrubny (wstępny) | EU1                 | $\eta < 65$                         |                           |  | G1                            |
|                   | EU2                 | $65 \leq \eta < 80$                 |                           |  | G2                            |
|                   | EU3                 | $80 \leq \eta < 90$                 |                           |  | G3                            |
|                   | EU4                 | $\eta \leq 90$                      |                           |  | G4                            |
| dokładny          | EU5                 |                                     | $40 \leq \eta < 60$       |  | F5                            |
|                   | EU6                 |                                     | $60 \leq \eta < 80$       |  | F6                            |
|                   | EU7                 |                                     | $80 \leq \eta < 90$       |  | F7                            |
|                   | EU8                 |                                     | $90 \leq \eta < 95$       |  | F8                            |
|                   | EU9                 |                                     | $95 \leq \eta$            |  | F9                            |
| HEPA              | EU10                |                                     |                           | 85   | H10                           |
|                   | EU11                |                                     |                           | 95   | H11                           |
|                   | EU12                |                                     |                           | 99,5   | H12                           |
|                   | EU13                |                                     |                           | 99,95  | H13                           |
| ULPA              | EU14                |                                     |                           | 99,995   | H14                           |
|                   | EU15                |                                     |                           | 99,9995  | U15                           |
|                   | EU16                |                                     |                           | 99,99995   | U16                           |
|                   | EU17                |                                     |                           | 99,999995  | U17                           |

## 6. Materiały filtracyjne

### 6.1. Filtry włókninowe

Włóknina jest to rodzaj materiału, który nie posiada wątku i osnowy. Do wytwarzania włókniny z włókien stosuje się szkło, metale, tworzywa sztuczne, itp. Wymagania stawiane włókninom to długi okres użytkowania, stosunkowo małe różnice ciśnień i in. Osiągnięcie takich parametrów jest możliwe poprzez zwiększenie w filtrze powierzchni filtracyjnej. Dlatego też włókniny stosowane do produkcji filtrów zgrubnych i dokładnych są grubsze, niekiedy bardziej puszyste, wykazują przy tym większą różnicę ciśnień. Włókniny filtracyjne produkowane są w postaci mat, montowanych w ramach kartonowych, ocynkowanych, dodatkowo usztywnione wewnątrz tekturą lub blachą.

Filtry stosowane do celów odpylania najdrobniejszych cząstek pyłu (m. in. w przemyśle elektronicznym, farmaceutycznym, optycznym) montowane są w końcowych odcinkach instalacji. Poprzedzać je powinny filtry zgrubne i dokładne, co zapewnia dłuższą żywotność filtrów zawieszinowych. Powyższe filtry montowane są w pojedynczych ramach. Materiał filtracyjny powinien być wysokiej jakości. Najczęściej stosowane to: mikrowłókniny ze szkła, celulozy, papieru jak również mieszaniny tychże składników [6,8].

BIBLIOTEKA PŁ

29706



## 6.2. Filtry z węglem aktywnym

Zasada działania filtru oparta jest na adsorpcji szkodliwych lub niepożądanych zanieczyszczeń gazowych i parowych. w pomieszczeniach typu kuchnie, toalety, restauracje, aule, pomieszczenia przemysłowe w których zachodzi intensywna emisja gazów i par wydzielają się substancje zapachowe mające niekorzystny wpływ na samopoczucie i stan zdrowia ludzi. Materiały wykorzystywane do produkcji filtrów z węglem aktywnym (aktywowanym) to najczęściej węgiel kamienny, drewno a nawet łupiny kokosowe. Odpowiednie procesy przetwórcze powodują, iż produktem końcowym jest porowata bryła o średnicy por w zakresie od 1 nm do 1 mm. Dzięki takiej strukturze zostaje zwiększona powierzchnia filtracyjna. w zależności od stanu substancji szkodliwej i węgla użytego do filtracji mamy do czynienia z adsorpcją fizyczną lub chemiczną. Przykładowo z 1g węgla aktywnego (tj. ok. 2cm<sup>2</sup>) powierzchnia wewnętrzna filtracji waha się w granicach od 900 do 1200m<sup>2</sup>. Oczyszczanie powietrza z takich gazów jak, N<sub>2</sub> , CO<sub>2</sub> węglem aktywnym jest nie efektywne, ponieważ związki te występują w powietrzu powszechnie, aktywnie nasycając swoimi molekułami filtr tuż po jego wyprodukowaniu. Dla poprawienia skuteczności odpylania montuje się te filtry w kanałach zygzakowato. Takie rozwiązanie sprawdza się, gdy stężenie zapachów jest niewielkie a powierzchnia czołowa napływu mała. Wówczas czas kontaktu z materiałem filtracyjnym wynosi 0,08 – 0,1s [6,8].

## 6.3. Filtry elektrostatyczne

Elektrofiltr (odpylacz Cottrella) służy do usuwania pyłów z gazu. Zasada działania filtru opiera się na wykorzystaniu sił elektrycznych. w urządzeniach typu elektrofiltry wyróżnia się dwie strefy: jonizacji i osadzania się pyłu. Gaz przepływając między elektrodami ulega jonizacji tzn. ujemne jony przylgają się do napotkanych cząsteczek pyłu. Dodatkowo naładowana elektroda zbiorcza zbiera pył, który jest następnie z niej usuwany.

Elektrofiltry stosowane są głównie w przemyśle. Przeznaczone są m. in. do odpylania gazów spalinowych za kotłami energetycznymi. Znalazły zastosowanie także w gałęziach przemysłu materiałów budowlanych (produkcja cementu). Mogą być stosowane pojedynczo lub tworzyć sekcje filtrów. Za stosowaniem filtrów elektrycznych przemawiają m. in. wysoka skuteczność odpylania (nawet 99,9%), odpylanie pyłu z gazów suchych nawet w temperaturze 450°C, mała ilość części ruchomych, i in. Jednak negatywny wpływ na pracę filtru mają zmiany temperatury i wilgotność gazu. Wysokie koszty wykonania elektrofiltru, duża czułość na zmiany charakteru pyłu oraz duże zagrożenie wybuchem w przypadku odpylania gazów tworzących z powietrzem mieszanki wybuchowe powoduje, iż to rozwiązanie oczyszczania powietrza nie jest obecnie zbyt konkurencyjne na rynku filtrów [3].

## 6.4. Filtry HEPA i ULPA

Filtr HEPA jest to typ filtru, który znalazł szerokie zastosowanie w instalacjach tworzonych z myślą o alergikach. Wytwarzany jest z bardzo cienkich nitek. Postać finalna to włókna przypominające swą strukturą bibułę.

Układa się je wielowarstwowo otrzymując ostatecznie materiał filtracyjny. Filtr HEPA usuwa z powietrza cząstki mechaniczne rzędu nawet 0,3 mikrona (zdolności filtracyjne nie mniejsze niż 99,97%). Ze względu na dużą skuteczność (duża powierzchnia filtracyjna) znalazły szerokie zastosowanie w badaniach jądrowych, mikroelektronice, chemii, chirurgii, bioinżynierii. Początkowo zostały skonstruowane w celu usuwania radioaktywnych cząstek brudu z powietrza. Zamontowanie filtrów HEPA w pomieszczeniach powoduje ograniczenie problemów zdrowotnych związanych z chorobami zatok, wysuszenia gardła, bólu głowy, reakcjom alergicznym, atakom astmy i wielu innym. Filtr HEPA po nasączeniu specjalnymi substancjami chemicznymi jest w stanie unieszkodliwić bakterie i mikroorganizmy. Tak zwane filtry BIOHEPA wykorzystują katalityczne działanie tlenku tytanu. Jest to filtr enzymatyczny z wbudowanym generatorem jonów ujemnych ( 1,2 mln. jonów ujemnych /1 cm<sup>3</sup> powietrza przepływającego) [1,8].

Filtry ULPA (wg PN – EN 1822 - 1) są to filtry o bardzo niskiej penetracji, tzn. stosunek stężenia liczbowego cząstek za filtrem do ich stężenia przed filtrem jest bardzo mały. Klasy, w jakich jest stosowany to przedział od U15 do U17 (tabela nr 2) [1].

## 7. Podsumowanie

Przy wyborze danego rodzaju filtra należy kierować się pewnymi wytycznymi, m. in.:

- filtr powinien posiadać odpowiednią skuteczność filtracji,
- charakteryzować się małym oporem przepływu,
- mieć dużą zdolność do pochłaniania (retencji) pyłu,
- wykazywać się dużą odpornością na działanie agresywnych składników powietrza i pyłu,
- posiadać pewną odporność chemiczną,
- mieć odpowiednią wytrzymałość termiczną i mechaniczną,
- filtry powinny być tanie i łatwo dostępne,
- łatwe w regeneracji [7].

Biorąc pod uwagę powyższe zalecenia należy dobrać filtr bądź sekcje filtrów w taki sposób by otrzymać maksymalne efekty oczyszczania powietrza.

Powyższy artykuł nie wyczerpuje wszystkich możliwych, dostępnych na rynku rozwiązań technologicznych filtrów. Stanowi jedynie zarys możliwości, jakie niesie ze sobą stosowanie urządzeń filtracyjnych. Osoby szczególnie zainteresowane odsyłam do lektury specjalistycznych katalogów producentów.

Literatura :

- [1] PN – EN 1822 1 z kwietnia 2001 roku. Wysoko skuteczne filtry powietrza (HEPA i ULPA). Część 1. Klasyfikacja, badanie parametrów, znakowanie.
- [2] PN – EN 779 z kwietnia 2005 roku. Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej. Określenie parametrów filtracyjnych.
- [3] Juda J., Nowicki M.: Urządzenia odpylające. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa 1979
- [4] Praca zbiorowa pod redakcją Indulskiego J. A.: Higiena pracy. Oficyna Wydawnicza Instytutu Medycyny Pracy im. prof. dra med. Jerzego Nofera. Łódź 1999
- [5] Recknagel – Sprenger: Ogrzewanie i wentylacja. Poradnik. Arkady. Warszawa 1976
- [6] Preiss M.: Filtry do oczyszczania powietrza. Budowlany Informator Techniczny 11/12 2003r.
- [7] Kabsch Piotr , Odpylanie i odpylacze. Mechanika aerozoli i odpylanie suche. Tom I. Wydawnictwa Naukowo- Techniczne. Warszawa 1992
- [8] Materiały zaczerpnięte ze źródeł internetowych, stron katalogowych firm: [www.polski-komfort.pl](http://www.polski-komfort.pl), [www.comprot.com.pl](http://www.comprot.com.pl), [www.climasky.pl](http://www.climasky.pl), [www.chlodnictwo.iso.pl](http://www.chlodnictwo.iso.pl), [www.banad.com.pl](http://www.banad.com.pl), [www.intertech.pl](http://www.intertech.pl), [www.filtry.org.pl](http://www.filtry.org.pl), [www.elwo.com.pl](http://www.elwo.com.pl), [www.wentylacja.com.pl](http://www.wentylacja.com.pl), [www.info-coop.com.pl](http://www.info-coop.com.pl), [www.filtrowanie.com.pl](http://www.filtrowanie.com.pl).

Opracował:  
Agnieszka Osetek

Opiekun naukowy:  
dr hab. inż. Henryk Sabiniak



## I SYMPOZJUM

### STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska

Suche k. Zakopanego 2006 rok



## **Możliwości wykorzystania zrębków drzewnych w układach kogeneracyjnych.**

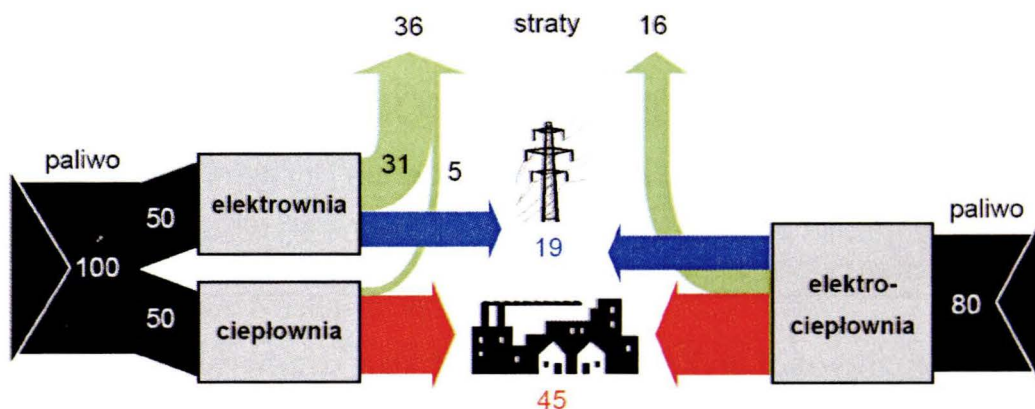
### **Obiekt wzorcowy: elektrociepłownia w Herning (Dania)**

#### **1. Wprowadzenie**

Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła realizowane jest głównie w procesach przetwarzania energii chemicznej lub jądrowej paliwa. Wyczerpywalność zasobów paliw kopalnych oraz ograniczenia emisji produktów spalania do atmosfery sprawiają, że coraz większą uwagę poświęca się technologiom zwiększenia sprawności przemiany energii paliw, m.in. skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła. Skojarzony proces wytwarzania energii elektrycznej lub mechanicznej i ciepła umożliwia znaczną oszczędność paliwa i ograniczenie emisji w porównaniu z tradycyjnymi procesami wytwarzania tych nośników energii realizowanymi oddzielnie [1]. Jednostki wytwórcze pracujące w trybie skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej nazywa się jednostkami kogeneracyjnymi.

Elektrociepłownia jest to obiekt składający się z jednego lub kilku zespołów urządzeń służących do równoczesnego (skojarzonego) wytwarzania ciepła i energii elektrycznej, a w niektórych przypadkach również energii mechanicznej [2]. w przedstawionym poniżej obiekcie elektrociepłowni wykorzystuje się głównie jako paliwo zrębki drzewne (wartość opałowa 10,5 MJ/kg). w okresach dużego zapotrzebowania na energię oraz okresach przejściowych dodatkowo wykorzystuje się paliwa bardziej wydajne tj. gaz ziemny (48 MJ/kg) oraz olej opałowy (41,5 MJ/kg).

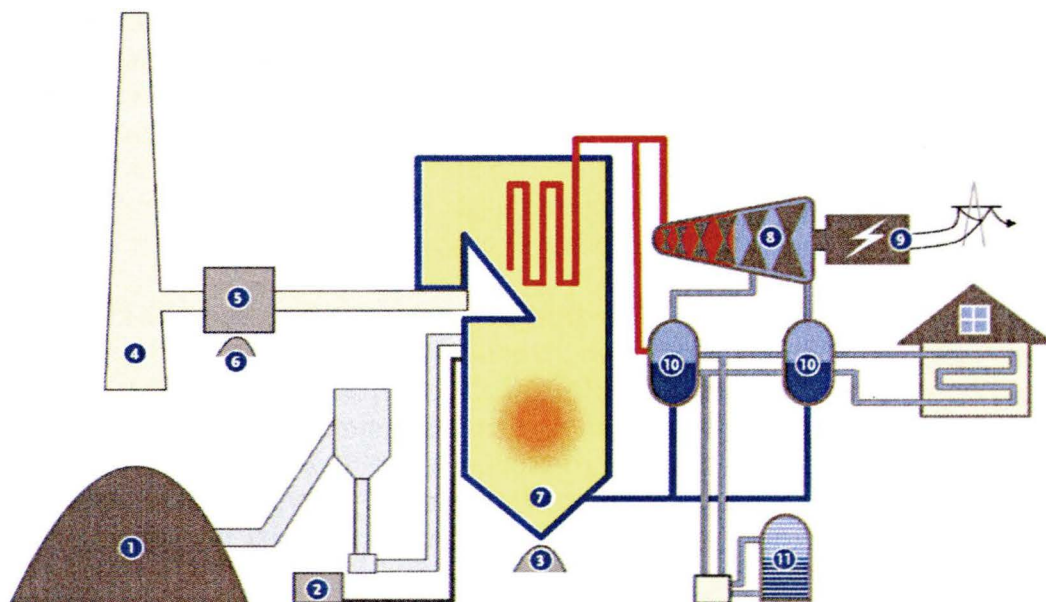
W ostatnich latach zainteresowanie wykorzystaniem drewna na cele energetyczne zaczęło wzrastać. w gospodarstwach domowych – z uwagi na coraz wyższe ceny tradycyjnych paliw jak węgiel, gaz, olej opałowy, a w energetyce zawodowej z uwagi na aspekty środowiskowe.



Rys.1. Oszczędność energii chemicznej w gospodarce skojarzonej [1]

## 2. Wykorzystanie zrębków drzewnych w kogeneracji

Herning to jedno z większych miast w środkowej części Półwyspu Jutlandzkiego, w Danii. Głównym źródłem energii elektrycznej i ciepłej dla mieszkańców 30 tys. aglomeracji jest elektrociepłownia umiejscowiona na obrzeżach miasta.



Rys.2. Schemat technologiczny elektrociepłowni w Herning [3]

- 1-magazyn zrębków drzewnych, 2-gaz ziemny/olej opałowy, 3-popiół, 4-komin, 5-elektrostatyczny filtr, 6-pył odfiltrowany, 7-kocioł, 8-turbina, 9-generator, 10-wymiennik ciepła, 11-zbiornik akumulacyjny

Tablica 1: Podstawowe dane o elektrociepłowni w Herning [3]

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Maksymalna produkcja energii             | 89 MW                      |
| Maksymalna produkcja ciepła              | 174 MJ/s                   |
| Zapotrzebowanie roczne na zrębki drzewne | 200 000 ton                |
| Zapotrzebowanie roczne na gaz ziemny     | 42 biliony Nm <sup>3</sup> |
| Maksymalne zużycie zrębek drzewnych      | 47 t/h                     |
| Maksymalne zużycie gazu ziemnego         | 26,000 Nm <sup>3</sup> /h  |
| Ciśnienie pary                           | 115 bar                    |
| Temperatura pary                         | 525 °C                     |

Warto zwrócić uwagę, że najważniejszymi źródłami energii w rejonie są biomasa i wiatr. w szczególności biomasa jest intensywnie wykorzystywana do produkcji energii dla potrzeb mieszkańców Herning. Fakt ten w połączeniu z zastosowaniem skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła (CHP ang. Combined Heat and Power) powoduje, że miasto posiada godne uwagi zasługi dla środowiska. Pominąwszy spalanie odpadów, w 2000 roku, 11% ciepła zużywanego w okręgu oraz 22% energii zużywanej w mieście pochodziło ze źródeł energii odnawialnej. Dodatkowo spalanie odpadów dostarczyło 15% ciepła. Energia wiatru stanowiła w tym dużą część wynosząca 14%. Całkowite zużycie energii w gminie w 1998 roku spadło do 63% w porównaniu z poziomem z 1980 roku [5].

W elektrociepłowni w Herning w 1982 roku został uruchomiony kocioł CHP opalany węglem – skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła – dostarczając mieszkańcom miasta ciepło i ciepłą wodę na potrzeby bytowe, podczas gdy równocześnie wytwarzaną elektryczność przekazywano do głównej sieci energetycznej. Ten opalany węglem system CHP zastąpił kotłownię opalaną olejem. Przejście z oleju na węgiel spowodowane było kryzysem energetycznym w latach 1973 oraz 1979, podczas których ujawnił się problem zależności świata zindustrializowanego od ropy z krajów OPEC na Środkowym Wschodzie. w gminie powstała wówczas potrzeba niezawodnego sposobu dostarczania energii, który oparty byłby na efektywnym wykorzystaniu tanich, w miarę możliwości, lokalnych źródeł energii. w tym samym czasie niekorzystny efekt wpływu produkcji energii na środowisko był przedmiotem narastającej debaty ujawniającej znaczenie bardziej zrównoważonego rozwoju. w 1985 roku lokalni politycy podjęli decyzje o rozszerzeniu zbiorowego systemu dostarczania ciepła. Oznaczało to, że okręgowe ogrzewanie powinno zapewnić ciepło nie tylko mieszkańcom miasta Herning, ale także wszystkim wsiom w regionie [5]. w 2000 roku obiekt został przebudowany na gaz ziemny natomiast w 2002 roku zastosowano technologię umożliwiającą zastosowanie zrębek drzewnych.

W roku 2005 wyprodukowano 280 GWh energii elektrycznej oraz 2 143 TJ energii cieplnej.

Tablica 2: Dane dotyczące emisji zanieczyszczeń [3]

| Produkcja                | jedn. | 2005    | 2004    | 2003    | 2002    | 2001    |
|--------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| En. elektryczna (brutto) | MWh   | 302 269 | 307 913 | 316 006 | 189 204 | 341 777 |
| (netto)                  | MWh   | 280 380 | 285 377 | 292 579 | 172 656 | 321 830 |
| En. cieplna (brutto)     | TJ    | 2 145   | 2 177   | 2 194   | 1 997   | 2 374   |
| (netto)                  | TJ    | 2 143   | 2 175   | 2 192   | 1 994   | 2 370   |

Tablica 3: Ilości paliw wykorzystywanych w latach 2001 – 2005 paliw w elektrociepłowni w Herring [3]

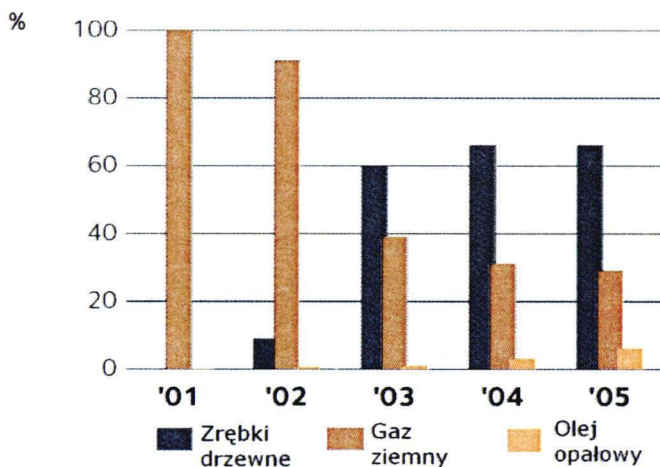
| Paliwo/rok     | jedn.          | 2005       | 2004       | 2003       | 2002       | 2001       |
|----------------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Zrębki drzewne | tony           | 253840     | 252603     | 213602     | 25640      | 0          |
|                | TJ             | 2 382      | 2 447      | 2 239      | 243        | 0          |
| Olej opałowy   | tony           | 4997       | 3209       | 895        | 389        | 532        |
|                | TJ             | 203        | 130        | 36         | 16         | 22         |
| Gaz ziemny     | m <sup>3</sup> | 26 381 525 | 28 612 412 | 36 407 375 | 64 660 354 | 96 129 525 |
|                | TJ             | 1 047      | 1 133      | 1 442      | 2 561      | 3 807      |
| Propan         | tony           | 0,551      | -          | -          | -          | -          |
|                | TJ             | 0,028      | -          | -          | -          | -          |

Tablica 4: Dane dotyczące emisji zanieczyszczeń [3]

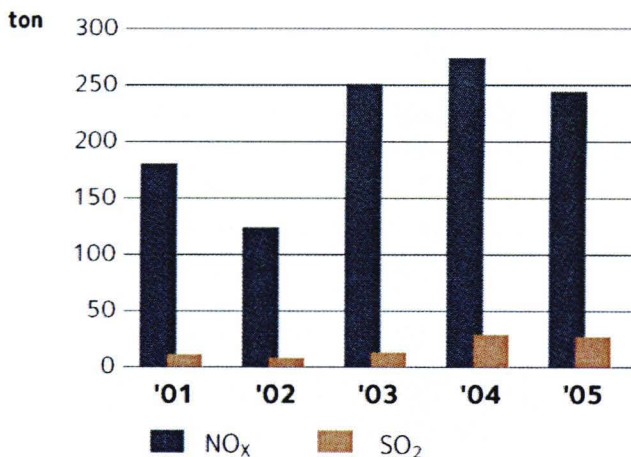
| Emisja/rok       |      | 2005   | 2004   | 2003   | 2002    | 2001    |
|------------------|------|--------|--------|--------|---------|---------|
| CO <sub>2</sub>  | tony | 75 535 | 74 655 | 84 874 | 146 930 | 218 294 |
| SO <sub>2</sub>  | tony | 27     | 29     | 13     | 8       | 11      |
| NO <sub>x</sub>  | tony | 244    | 274    | 251    | 124     | 181     |
| HCl              | tony | 5,3    | 5,2    | 4      | 0,5     | -       |
| CO               | tony | 74     | 53     | 45     | -       | -       |
| CH <sub>4</sub>  | tony | 11,7   | 12,1   | 13,4   | -       | -       |
| N <sub>2</sub> O | tony | 3,4    | 3,4    | 3,3    | -       | -       |

Elektrociepłownia używa zrębków drzewnych jako głównego paliwa. Biomasa tego typu uzyskuje się z regionu o promieniu około 100km, z terenów leśnych oraz przemysłu drzewnego. Dodatkowym paliwem jest gaz ziemny. Olej opałowy może być używany zamiast gazu ziemnego jako paliwo uzupełniające w głównym kotle. w roku 2005 zrębki drzewne były wykorzystane do produkcji około 66% energii, gaz ziemny do około 29% i olej

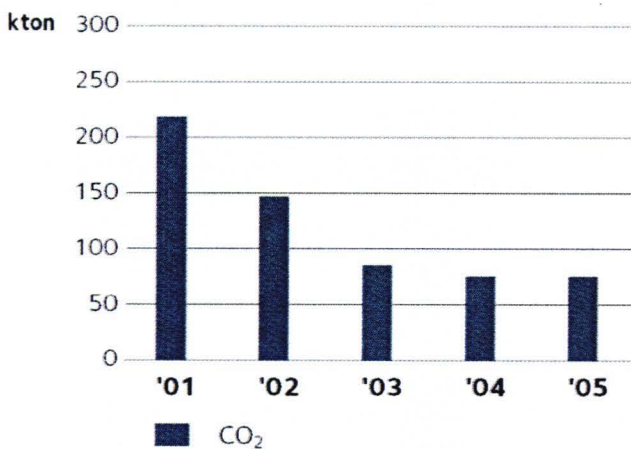
opałowy do około 5%. Obiekt w Herning jest największą elektrociepłownią na zrębki drzewne w Danii i spala około 200 000 ton zrębków rocznie.



Rys.3. Udział procentowy wykorzystania poszczególnych paliw w elektrociepłowni w Herning w latach 2001 – 2005 [3]



Rys.4. Emisja NOX oraz SO2 w latach 2001 – 2005 [3]



Rys.5. Emisja CO2 w latach 2001 – 2005 [3]



Proces technologiczny poprzedzony jest rozdrobnieniem drewna przy pomocy rębarki (ewentualnie gotowe zrębki drzewne są dostarczane z pobliskich zakładów przemysłu drzewnego, meblarskiego), a następnie materiał transportowany jest do magazynu głównego. w celu wyeliminowania niekorzystnego oddziaływania warunków atmosferycznych (opady śniegu, deszczu) stosuje się zadaszony magazyn.

Magazyn biomasy może być wyposażony w układy wentylacyjne, które dodatkowo mogą być wyposażone w systemy podgrzewania w celu poduszania zrębek drzewnych. w Herning magazyn ma pojemność 13 000 m<sup>3</sup> zrębek drzewnych, co wystarcza na pracę około 30 dni z obciążeniem 60%. Załadunek silosów i ich wyładunek, a także transport biomasy następuje automatycznie poprzez zespół przenośników. Zrębki przed spalaniem są kierowane do separatorów, młynów, urządzeń rozdrabniających gdzie następuje oddzielenie cząstek metalicznych, mineralnych oraz podział na frakcje.

W zależności od typu elektrociepłowni (komunalna czy przemysłowa) w różnym stopniu może wystąpić problem niejednoczesności zapotrzebowania na energię ciepłą i elektryczną. w elektrociepłowniach komunalnych szczytowe dobowe i tygodniowe zapotrzebowanie na energię ciepłą nie pokrywa się ze szczytowym zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Zapotrzebowanie na energię ciepłą podlega sezonowości, a szczególnie w okresach przejściowych i letnim podlega dużym zmianom dobowym. Efektywnym systemem akumulacji ciepła w systemach ciepłowniczych są wodne akumulatory ciepła lokalizowane w elektrociepłowni. w Herning zastosowano akumulator ciepła o pojemności 35 900m<sup>3</sup> [7].

### 3. Podsumowanie

Przyjęte w Polsce rozwiązania dotyczące rynku energii powinny zmieścić do pełnego wykorzystania zalet skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Jedną z głównych korzyści wynikającą z funkcjonowania układów skojarzonych jest oszczędność paliwa [8]. Należy dążyć nie tylko do wykorzystania istniejącego w kraju potencjału kogeneracji, ale także stwarzać warunki dla jej rozwoju. Polska należy do krajów, w których udział produkcji ciepła z układów skojarzonych w stosunku do łącznej produkcji w źródłach scentralizowanych należących do energetyki zawodowej kształtuje się na poziomie średnim, bo ok. 63%. Oszczędności paliwa w skali roku mogłyby więc znacznie wzrosnąć, gdyby dzięki promowaniu kogeneracji udało się zwiększyć udział ciepła ze źródeł skojarzonych dostarczanego do systemów ciepłowniczych. Według istniejących szacunków można ocenić, że roczna oszczędność paliwa ze wszystkich źródeł skojarzonych w Polsce może osiągnąć ok. 9 mln t.p.u. (ton paliwa umownego). Efektowi energetycznemu w postaci zaoszczędzonego paliwa towarzyszy w sposób naturalny bardzo korzystny efekt ekologiczny, związany ze zmniejszeniem emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla środowiska, w tym znaczącej redukcji emisji CO<sub>2</sub> [8]. Ilość emitowanych gazów cieplarnianych można zmniejszyć stosując technologie spalania biomasy.

Obecnie trwają prace nad nowelizacją ustawodawstwa w celu jego dostosowania do przepisów unijnych. Warto wykorzystać ten moment poprzez uwzględnienie niezbędnych regulacji promujących skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła [6].

Z przedstawionych powyżej korzyści, a także biorąc pod uwagę specyfikę wytwarzania energii elektrycznej w skojarzeniu wynika potrzeba stworzenia dla gospodarki skojarzonej narzędzi wspierania tego sposobu wytwarzania energii, który z jednej strony byłby zgodny z Dyrektywą kogeneracyjną, a z drugiej zapewniałby poprawność działania przy uwzględnieniu bezpieczeństwa dostaw energii, spełnienia wymogów ekologicznych i akceptowalnych społecznie cen energii [8].

#### Literatura :

- [1] Mikołajuk H. i inni; Raport z przeprowadzenia badania ankietowego dotyczącego identyfikacji ilości energii elektrycznej wyprodukowanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła w roku 2004 według metodyki wynikającej z Dyrektywy 2004/8/WE; ARE S.A., Warszawa, listopad 2005
- [2] Kacperczyk G. i inni: Zasady metodyczne sprawozdawczości statystycznej z zakresu gospodarki paliwami i energią oraz definicje stosowanych pojęć; ARE S.A., Warszawa 2006
- [3] Raport roczny 2005; Grønt Regnskab 2005; Elsam Kraft A/S Heringværket 2006
- [4] Janowicz L., Hunder M.: Uwaga na przyzmy; Europejskie Centrum Energii Odnawialnej EC BREC CLN; kwartalnik Agroenergetyka nr 4 (18) 2006
- [5] Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités” 2003: Biogaz, CHP, Hering, Dania; EnergiGruppen Jylland, Henrik Ørtemblad, 2003
- [6] Dreżewski J.: Energetyka skojarzona - efektywna ekonomicznie i przyjazna środowisku; Dodatek do "RZECZPOSPOLITEJ". nr 216 (6899) 14 września 2004 r.
- [7] Elsamprojekt Polska Sp. z o.o.: Akumulator ciepła w elektrociepłowni; materiał informacyjny firmy
- [8] Bil J., Błach S. i inni: Przyszłość kogeneracji w Polsce. Dyskusja nad modelem rynku energii skojarzonej; Urząd Regulacji Energetyki, strona internetowa [www.ure.gov.pl](http://www.ure.gov.pl), ostatnia aktualizacja serwisu: 12.07.2006

Opracował:  
Łukasz Rębowski

Opiekun naukowy:  
dr inż. Tomasz Jerominko



wbair

## I SYMPOZJUM

### STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Wydziału Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska

Suche k.Zakopanego 2006 rok

## Przeprawa przez rzekę Wartę - nowy przebieg drogi krajowej numer 25

### 1. Wstęp

Konin jest trzecim co do wielkości miastem Wielkopolski położonym w dolinie rzeki Warty. Jego położenie geograficzne sprawiło, iż od początków swojego istnienia (pierwsze wzmianki o osadzie Konin pochodzą z II w.p.n.e.) stał się bardzo ważnym węzłem na trasie szlaków komunikacyjnych. Przebiegały tędy szlaki handlowe stworzone przez Celtów oraz Rzymian między innymi historyczny szlak bursztynowy prowadzący z Bałtyku do Rzymu. Pomimo upływu wielu wieków Miasto do chwili obecnej nie zatraciło swojego charakteru. Krzyżują się tu drogi krajowe oraz wojewódzkie a 26 lipca 2006 roku otwarta została kolejna część autostrady A2 o długości 103 kilometrów biegnąca od Konina do Strykowa. Dynamiczny rozwój komunikacyjny powiązany z coraz większą liczbą użytkowników dróg wymusił na władzach miasta podjęcie decyzji o budowie drugiej przeprawy mostowej przez rzekę Wartę w Koninie.



Rys.1. Stary most w Koninie

O konieczności tej inwestycji w mieście mówiło się już od wielu lat. w chwili obecnej przez Konin prowadzą dwie ważne tranzytowe drogi krajowe: nr 25 z Bydgoszczy do Ostrowa Wlkp. i nr 92 z Konina do Wrześni, która jest drogą alternatywną dla płatnej autostrady A2. Na dwukilometrowym odcinku

w centrum miasta obie drogi przebiegają tą samą ulicą wiodącą przez ten sam most, co w znacznym stopniu przyczynia się do tworzenia korków w godzinach wzmożonego ruchu.

Na początku 2006 roku ruszyła największa w historii miasta inwestycja nosząca miano epokowej - "Przeprawa przez rzekę Wartę - nowy przebieg drogi krajowej nr 25". Budowa drugiego mostu jest największą inwestycją w mieście realizowaną po drugiej wojnie światowej. Prace według harmonogramu mają potrwać blisko dwa lata i pochłonąć około 200mln zł, z czego 75% sfinansuje Unia Europejska. Projekt przewiduje powstanie 6,5 – kilometrowego odcinka drogi składającej się z estakady o długości około 1700 metrów wraz z 200 metrowym podwieszanym mostem, oraz drogi biegnącej w nasypie. Północny odcinek inwestycji, w którego skład wchodzi estakada z siedemnastoma przęsłami i podwieszonym mostem wykonywany jest w całości z żelbetu.



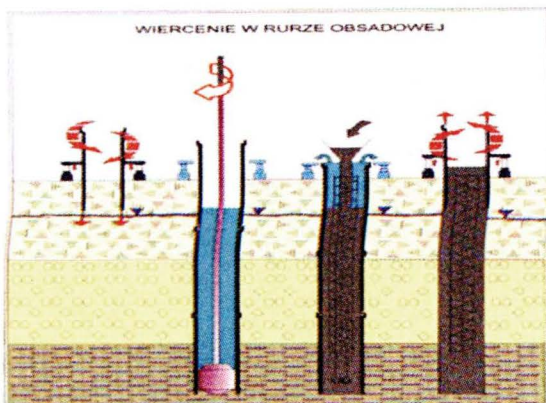
Rys.2. Nowa przeprawa mostowa

## 2. Roboty przygotowawcze

Pierwsze prace na terenie budowy rozpoczęły się z początkiem lutego 2006r. Główną ich część stanowiło karczowanie drzew i krzewów rosnących na linii przebiegu drogi oraz rozbiórka budynków znajdujących się w obrębie budowy. Kolejnym krokiem było przygotowanie dróg niezbędnych do sprawnego przemieszczania się ciężkich maszyn po budowie. Ze względu na niestabilne grunty i podmokły teren zalewowy należało odpowiednio przygotować podłoże. Zastosowano płyty betonowe układane na wcześniej zagęszczonym podkładzie mogące przenosić duże obciążenia. Ich największą zaletą jest duża nośność natomiast istotną wadą postępująca deformacja drogi na skutek osiadań i przesunięć płyt względem siebie po dłuższym okresie użytkowania. Wszelkie roboty budowlane nie mogły się rozpocząć bez wytyczenia geodezyjnego przebiegu drogi. Lokalizacja wszystkich elementów wyznaczana przez geodetę była nanoszona w terenie za pomocą kolorowych palików. Konieczna była również przebudowa linii energetycznej o napięciu 110 kV.

### 3. Roboty ziemne i fundamentowe

Ze względu na to iż w podłożu zalegały grunty słabonośne i podmokłe należało zastosować metodę posadowienia pośredniego przy pomocy pali fundamentowych. Zastosowano pale fundamentowe wielkośrednicowe wykonywane metodą wiercenia do średniej głębokości 10 metrów. Są to pale stojące o średnicach 1200 i 1500 milimetrów opierające się swoją stopą na warstwie nośnej.



Rys.3. Technologia wykonania pali fundamentowych

Pale wiercono w osłonach z rur stalowych systematycznie wyciągając urobek i opuszczając rurę osłonową. Specjalistyczne wielkogabarytowe wiertnice są wyposażone w mechanizm hydrauliczny, który ruchami posuwisto-obrotowymi wciska, a po zakończeniu betonowania wyciąga rury osłonowe. Elementem wiertnicy bezpośrednio odspajającym urobek jest świder przymocowany do sztywnej żerdzi, który przybiera rozmaite kształty w zależności od rodzaju i spójności gruntu. Ze względu na wysoki poziom wody gruntowej, co jakiś czas konieczne było odpompowanie jej nadmiaru z odwiertu. Po osiągnięciu projektowanej głębokości odwiertu do otworu wkładano zbrojenie pala (pręty podłużne z uzwojeniem), po czym podawano beton za pomocą specjalnego leja z jednoczesnym wyciąganiem osłony odwiertu.



Rys.4. Pale fundamentowe pod ławę podpory tymczasowej

Beton kontraktorowy klasy B25 zastosowany do betonowania pali o konsystencji ciekłej ma właściwości samozagęszczalne, dzięki czemu nie jest konieczne mechaniczne jego zagęszczanie. Przy realizacji inwestycji zostanie wykonanych łącznie około 4 kilometrów pali o długości ok. 10m. Pale fundamentowe stanowią podporę dla ław fundamentowych, na których opierać się będą filary estakady. Po zabetonowaniu kompletu pali, na których będzie się opierała ława fundamentowa przystępowano do odkopania głowic pali. w większości przypadków, wykopy zabezpieczano grodzicami stalowymi (ścianki Larsena). Wbijano je w grunt przy pomocy specjalistycznych wibromłotów. Grodzice zabezpieczały wykopy przed osuwaniem się gruntu jak również przed szybkim napełnianiem wykopu wodą. Po odkopaniu pali na projektowaną głębokość posadowienia ławy fundamentowej przystępowano do rozbijania młotami pneumatycznymi ich głowic. Czynność ta wymagała dużej pracochłonności i dokładności wykonania, szczególnie dbałości o jak najmniejsze pokrzywienie prętów. Pręty zbrojenia pala (odsłonięte po rozkuciu jego głowicy) odpowiednio odginano w celu stworzenia wymaganego zakotwienia dla betonowanej w późniejszym czasie ławy fundamentowej. Przed betonowaniem ław fundamentowych wykonywano warstwę podkładową(wyrównawczą) z betonu B15 oraz B20 stanowiącą równe i stabilne podłoże pod roboty zbrojarskie. Masywne ławy fundamentowe, w większości o kształcie prstopadłścianu były gęsto zbrojone prętami tworzącymi siatkę na wszystkich jego bokach połączoną ze zbrojeniem wypuszczonym potrzebnym do połączenia ławy z filarem. Objętość ław fundamentowych wahała się w granicach od 100(ława pod pojedynczy filar) do 500m<sup>3</sup>(ławy pod przyczółki mostowe). Tak duże masy stali zbrojeniowej a w szczególności betonu wymagały odpowiednich deskowań zabezpieczonych rozporami, które przenosiły duże siły poziome powstające na skutek parcia mieszanki betonowej na ścianki deskowania oraz drgania powstające w czasie zagęszczania mieszanki wibratorami wgłębnymi. Do formowania wymaganych kształtów konstrukcji stosowano deskowania systemowe dające gładkość i równość powierzchni. Ich dużym atutem jest szybkość i niewielka pracochłonność montażu oraz różnorodność asortymentu. Systemowe zamki, ściągi, rozpory, zastrzały ograniczają do minimum ilość robót ciesielskich. Projekty deskowań opracowała firma bezpośrednio zajmująca się ich dostarczeniem na budowę.

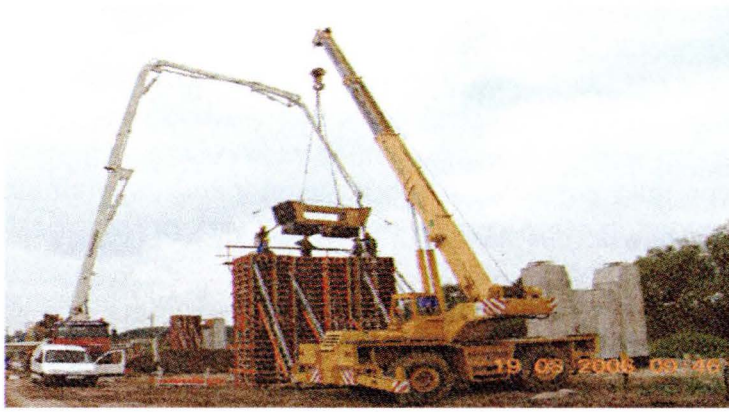


Rys.5. Zbrojenie ławy fundamentowej przyczółka mostowego

Betonowania ław fundamentowych odbywały się przy pomocy pompy do betonu. Stosowano beton klasy B30 na kruszywie bazaltowym. Często podczas betonowania i w czasie dojrzewania betonu konieczne było ciągle wypompowywanie wody z wykopu. Wysokie zwierciadło wody gruntowej oraz wysoki poziom wód rzeki Warty zmusił wykonawcę w początkowej fazie realizacji do wycofania się z frontu robót. Niestabilny, nawodniony grunt tuż po zimowych roztopach nie pozwalał na jakąkolwiek pracę ciężkich maszyn. Po związaniu betonu we wstępnym procesie dojrzewania przystępowano do rozdeskowywania ławy, z reguły po kilku dniach. Ławy zabezpieczano powłoką bitumiczną poprzez malowanie. Tak zabezpieczony element zasypywano z jednoczesnym zagęszczaniem gruntu.

#### **4. Filary konstrukcji nośnej**

Kolejną czynnością przy budowie podpory było przygotowanie zbrojenia filara. Ze względu na dość dużą różnicę wysokości pomiędzy starą i nową częścią miasta filary zwiększają swoją wysokość w kierunku Nowego Konina. Ich wysokość waha się w granicach od kilku do kilkunastu metrów. Zbrojenie pionowe o znacznej długości wykonywane było z całych prętów nie łączonych na wysokości, co przyspieszało pracę i wykluczało konieczność robienia zakładów. Ważne jednak było odpowiednie zabezpieczenie wykonanego już zbrojenia przed przewróceniem za pomocą odciągów, których rolę pełniły odpowiednio naciągnięte i zakotwione pasy. Zlekceważenie odpowiedniego zabezpieczenia groziło niebezpieczeństwem dla pracowników jak również opóźnieniami w harmonogramie. Ze względu na duże siły poziome występujące w fazie montażu przęseł ustroju nośnego niektóre filary wzmacniane były dodatkowo pionowo wbetonowanymi dwuteownikami stalowymi. Natomiast w miejscu oparcia przęsla na filarze, w strefie podłożyskowej wykonstruowano dodatkowe zbrojenie przenoszące docisk. Szalowanie filarów przebiegało sprawnie przy pomocy deskowań systemowych. Jedyne problemy stanowiły głowice filarów o bardziej złożonym kształcie. Do ich wykonania stosowano odpowiednie gotowe kształtki przywożone wraz z deskowaniem na budowę. w czasie betonowania w końcowej jego fazie kształtkę umieszczano przy pomocy żurawia w deskowaniu, po czym dokańczano betonowanie. Betonowanie elementów podporowych w zależności od ich wysokości i wielkości przebiegało w kilku etapach. Przyczółki mostowe wykonywano w trzech etapach pierwsza część do przepony, druga właściwa część filara i trzecia część, którą były głowice. Filary betonowano zwykle jednoetapowo, cały element powstawał w czasie jednego cyklu roboczego bez przerw roboczych. Podobnie jak w przypadku ław fundamentowych duży napór betonu na ścianki deskowania musiał być przejęty przez stalowe rozpory kotwione w płytach betonowych.



Rys.6. Montaż kształtki

Przy dużych wysokościach filarów w celu zapewnienia odpowiedniego układania (zabezpieczenie przed segregacją składników) i zagęszczania mieszanki betonowej ekipa betoniarzy musiała schodzić na sam dół deskowania i sukcesywnie z napełnianiem się elementu mieszanką wychodzić do góry po szkielecie zbrojeniowym. Dyskomfort i trudność tej pracy zwiększał hałas i drgania powstające przy zagęszczaniu mieszanki. Odpowiednie zagęszczenie mieszanki betonowej miało wpływ na estetykę powierzchni zewnętrznej elementu m.in. brak tzw. raków, ale głównie na właściwości wytrzymałościowe wbudowanego betonu np. wytrzymałość betonu na ściskanie, mrozoodporność, nasiąkliwość, wodoszczelność. Do budowy filarów stosowano betony mostowe klas B30 i B40 na cemencie portlandzkim z zastosowaniem kruszywa bazaltowego.

## 5. Przęsła estakady

Ze względu na technologię montażu estakad konstrukcji nośnej, pomiędzy każdą parą filarów wykonano podpory tymczasowe. Składają się one z ławy fundamentowej, do której przymocowane są stalowe konstrukcje w postaci czterech słupów o przekroju rurowym okrągłym przewiązanych pomiędzy sobą. Pełnią one rolę podpór tymczasowych w czasie przesuwania przeseł.



Rys.7. Budowa stanowiska nasuwczego



Na potrzeby montażu wykonano dwa stanowiska do budowy konstrukcji nośnej po południowej i północnej stronie rzeki Warty. Konstrukcja jest wysuwana segmentami o długości około 30 metrów. Ciężar jednego elementu to około 260 ton. Przęsła o przekroju skrzynkowym w czasie wykonywania są sprężane na stanowisku nasuwczym. Po zakończeniu betonowania i osiągnięciu odpowiedniej wytrzymałości przęsła są przesuwane na podpory. Betonowanie przęsła przebiega w dwóch etapach. w pierwszym betonowane są płyta dolna i ścianki, natomiast w drugim płyta górna. Do wytworzenia tych elementów stosuje się beton mostowy klasy B60

## 6. Kontrola laboratoryjna jakości mieszanki betonowej

Przy tak dużych inwestycjach z wykorzystaniem betonu na skalę masową niezbędny jest stały nadzór i kontrola nad jakością mieszanki betonowej. Dotyczy to zarówno kontroli jakości podczas produkcji w wytwórni betonu, jak również podczas wbudowywania mieszanki betonowej w element. Każdy ze składników betonu ma istotny wpływ na końcowe jego właściwości. Począwszy od ilości kruszywa drobnego i grubego, ilości cementu, ilości wody oraz dodatków i domieszek a skończywszy na ich jakości.

Podstawowym badaniem urabialności mieszanki betonowej, które wykonuje się bezpośrednio przy betonowaniu, jest badanie metodą stożka opadowego. Do badania pobiera się co najmniej 8dm<sup>3</sup> mieszanki, po czym formuje się stożek w odpowiednio do tego przygotowanej formie wypełniając ją w trzech warstwach z zagęszczeniem każdej przez 25-krotne zagłębienie pręta o średnicy Ø16. Po podniesieniu formy i postawieniu jej obok stożka utworzonego z mieszanki mierzy się różnicę wysokości pomiędzy formą a utworzonym stożkiem. Klasyfikację konsystencji wg metody stożka opadowego przedstawiono w tabeli poniżej.

Tablica 1

| Konsystencja    | Symbol | Opad stożka[cm] |
|-----------------|--------|-----------------|
| Wilgotna        | K - 1  | -               |
| Gęstoplastyczna | K - 2  | -               |
| Plastyczna      | K - 3  | 2 - 5           |
| Półciekła       | K - 4  | 6 - 11          |
| Ciekła          | K - 5  | 12 - 15         |

Konsystencja betonów wykorzystywanych do budowy elementów gęsto zbrojonych i wibrowanych mechanicznie a z takimi mamy do czynienia w obiekcie opisywanym powinna być półciekła. Konsystencja ma duże znaczenie przy układaniu mieszanki betonowej. Beton nie może być zbyt rzadki gdyż może dojść do segregacji składników oraz wypłynięcia zaczynu cementowego w czasie wibrowania, co znacznie osłabi wytrzymałość betonu. Nie może być też zbyt gęsty, co w przypadku betonów na kruszywie bazaltowym

uniemożliwia sprawne podawanie mieszanki przy pomocy pompy. Na konsystencję kluczowy wpływ ma ilość wody dodanej do mieszanki, wilgotność składowanego kruszywa oraz zawartość plastyfikatorów. Ważnym czynnikiem wpływającym na jakość wykonanego elementu jest również temperatura betonowania jak i temperatura samego betonu. w czasie wysokich temperatur przekraczających 30°C nie powinno się prowadzić żadnych betonowań.

Betony wykorzystywane przy budowie przeprawy przez rzekę Wartę podlegają stałej kontroli laboratoryjnej prowadzonej przez Akredytowane Laboratorium Badawcze Katedry Budownictwa Betonowego Politechniki Łódzkiej obejmującej badania: konsystencji, badanie wytrzymałości betonu na ściskanie, badanie nasiąkliwości betonu, badanie odporności betonu na działanie mrozu oraz badanie przepuszczalności wody przez beton. Badania przeprowadzane są na podstawie Polskiej Normy PN-88/B-06250.

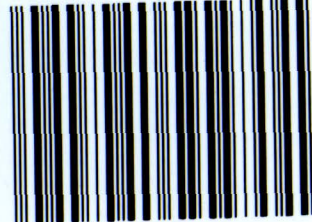
Opracował:  
Krzysztof Majdas

Opiekun naukowy:  
dr inż. Jerzy Pawlica



29 706

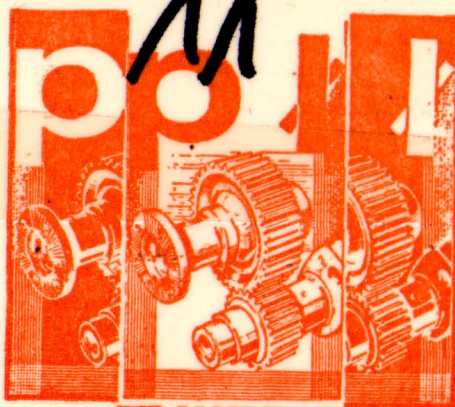
Biblioteka Główna  
PL BBA



211000025722

699.8

M



EXLIBRIS

politechnika łódzka • łódź • biblioteka