



WYDZIAŁ
ARCHITEKTURY

Imię i nazwisko studenta: Aleksandra Krużewska

Nr albumu: 179890

Poziom kształcenia: studia drugiego stopnia

Forma studiów: stacjonarne

Kierunek studiów: Architektura

Specjalność/profil: -

PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA

Tytuł pracy w języku polskim: Bezpieczne rozwiązania architektoniczne - praca z materiałami niebezpiecznymi pożarowo.

Tytuł pracy w języku angielskim: Safe architectural solutions - working with fire-hazardous materials.

Opiekun pracy: dr hab. inż. arch. Rafał Janowicz

OŚWIADCZENIE dotyczące pracy dyplomowej zatytułowanej: Bezpieczne rozwiązania architektoniczne - praca z materiałami niebezpiecznymi pożarowo.

Imię i nazwisko studenta: Aleksandra Krużewska
Data i miejsce urodzenia: 27.06.2000, Ostróda
Nr albumu: 179890

Wydział: Wydział Architektury
Kierunek: Architektura

Poziom kształcenia: studia drugiego stopnia
Forma studiów: stacjonarne

Typ pracy: praca dyplomowa magisterska

1. Oświadczenie dotyczące samodzielności pracy

Świadoma(y) odpowiedzialności karnej z tytułu naruszenia przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2022 r. poz. 2509, z późn. zm.) i konsekwencji dyscyplinarnych określonych w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.),¹ a także odpowiedzialności cywilnoprawnej oświadczam, że przedkładana praca dyplomowa została opracowana przeze mnie samodzielnie.

Niniejsza praca dyplomowa nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadaniem tytułu zawodowego.

Wszystkie informacje umieszczone w ww. pracy dyplomowej, uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami zgodnie z art. 34 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

2. Oświadczenie o stosowaniu narzędzi GenAI

wykorzystywałam/wykorzystałam narzędzia o potencjalnie niskim stopniu ingerencji

Oświadczam, że treści wygenerowane przy pomocy GenAI poddałam / poddałam krytycznej analizie i zweryfikowałam / zweryfikowałam.

28.04.2025, Aleksandra Krużewska

Data i podpis lub uwierzytelnienie w portalu uczelnianym Moja PG

**) Dokument został sporządzony w systemie teleinformatycznym, na podstawie §15 ust. 3b Rozporządzenia MNiSW z dnia 12 maja 2020 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie studiów (Dz.U. z 2020 r. poz. 853). Nie wymaga podpisu ani stempla.*

¹ Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce:

Art. 312. ust. 3. W przypadku podejrzenia popełnienia przez studenta czynu, o którym mowa w art. 287 ust. 2 pkt 1–5, rektor niezwłocznie poleca przeprowadzenie postępowania wyjaśniającego.

Art. 312. ust. 4. Jeżeli w wyniku postępowania wyjaśniającego zebrany materiał potwierdza popełnienie czynu, o którym mowa w ust. 5, rektor wstrzymuje postępowanie o nadanie tytułu zawodowego do czasu wydania orzeczenia przez komisję dyscyplinarną oraz składa zawiadomienie o podejrzeniu popełnienia przestępstwa.

TEZA:

Czy praca nad badaniem palności materiałów niebezpiecznych pożarowo i przechowywanie ich ma wpływ na kształtowanie architektury?

STRESZCZENIE

Projektowanie budynków to złożony proces, w którym pojawia się wiele wyzwań, do których należy znaleźć odpowiednie rozwiązania. Jednym z podstawowych aspektów, jest zapewnienie bezpieczeństwa użytkownika obiektu, a co za tym idzie bezpieczeństwa pożarowego. Współczesne budownictwo wykorzystuje szeroką gamę materiałów, podczas pożaru wiele z nich może uwalniać toksyczne gazy i substancje chemiczne. Substancje te stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego, zarówno dla osób znajdujących się wewnątrz budynku, jak i dla ratowników próbujących ugasić pożar.

Na rynku są dostępne oraz pojawiają się nowe technologie i strategie minimalizujące ryzyko pożarowe związane z toksycznymi materiałami. Jednak jednym z kluczowych elementów skutecznego rozwiązania problemu toksycznych materiałów w przypadku pożarów jest interdyscyplinarna współpraca między architektami a specjalistami ds. ochrony przeciwpożarowej, w tym strażakami. Architekci muszą uwzględniać zalecenia i doświadczenia strażaków, aby projektować budynki, które nie tylko spełniają normy bezpieczeństwa, ale także są praktyczne w kontekście działań ratowniczych. Ważnym aspektem rozwiązań architektonicznych i przestrzennych jest zapewnianie bezpiecznego środowiska do badań palności i substancji rozkładu chemicznego materiałów podczas pożarów.

Myślą przewodnią projektu jest wykreowanie placówki, która miałaby na celu przeprowadzanie badań naukowych oraz praktycznych eksperymentów związanych z rolą architektury w redukcji zagrożeń pożarowych i skutecznością szkoleń strażackich. Regularne szkolenia i wymiana wiedzy między architektami a strażakami mogą znacząco poprawić jakość projektów z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, materiały toksyczne, dym, bezpieczne badanie palności

ABSTRACT

Designing buildings is a complex process that involves addressing numerous challenges and finding appropriate solutions. One of the fundamental aspects is ensuring the safety of the building's users, which includes fire safety. Modern construction uses a wide range of materials, many of which can release toxic gases and chemical substances during a fire. These substances pose a serious threat to human health, both for the occupants inside the building and for the firefighters attempting to extinguish the fire.

There are both existing technologies and emerging ones in the market aimed at minimizing fire risks associated with toxic materials. However, a key element of effectively addressing the problem of toxic materials in the event of fires is interdisciplinary collaboration between architects and fire protection specialists, including firefighters. Architects must consider the recommendations and experiences of firefighters to design buildings that not only meet safety standards but are also practical in the context of rescue operations. An important aspect of architectural and spatial solutions is ensuring a safe environment for testing the flammability and chemical decomposition products of materials during fires.

The guiding idea of the project is to create a facility dedicated to conducting scientific research and practical experiments related to the role of architecture in reducing fire hazards and the effectiveness of firefighter training.

Regular training and knowledge exchange between architects and firefighters can significantly improve the quality of projects from the perspective of fire safety.

Keywords: Fire safety, toxic materials, smoke, safe flammability testing

Spis treści

STRESZCZENIE	3
ABSTRACT	4
WSTĘP I CEL PRACY.....	7
1. ANALIZA LITERATURY.....	8
1.1 Historia i rozwój norm bezpieczeństwa w architekturze	8
1.2 Toksyczność dymu przy spalaniu materiałów budowlanych.....	9
1.3 Pożary zawierające materiały toksyczne: skutki dla zdrowia ludzi i środowiska	11
1.4 Historia i rozwój technologii badań nad palnością materiałów	12
PODSUMOWANIE	15
2. ANALIZA DOSTĘPNYCH ROZWIĄZAŃ ARCHITEKTONICZNYCH	16
2.1 Przegląd systemów ochrony przeciwpożarowej oraz rozwiązań przestrzennych w kontekście przechowywania materiałów niebezpiecznych.....	16
2.2 Architektura zapewniająca bezpieczeństwo badań nad palnością i substancjami rozkładu chemicznego	21
2.3 Innowacyjne materiały budowlane o ograniczonej palności i emisji toksycznych substancji	24
PODSUMOWANIE	25
3 BEZPIECZNA ARCHITEKTURA DLA SZKOLENIA STRAŻY POŻARNEJ.....	26
3.1 Programy szkoleniowe straży pożarnej.....	26
PODSUMOWANIE	28
4 PRZYKŁAD OBIEKTU DO BADAŃ PALNOŚCI MATERIAŁÓW W POLSCE ...	29
5 PROJEKT CENTRUM BADANIA PALNOŚCI MATERIAŁÓW I SZKOLEŃ STRAŻACKICH – „FlameGuard Institute”	30
5.1 Opis lokalizacji projektu	30
5.2 Analiza kontekstu historyczno-kulturowego regionu.....	30
5.3 Analiza kontekstu przyrodniczego.....	32
5.4 Analiza kontekstu architektonicznego.....	33

5.5	Analiza kontekstu komunikacyjnego	34
5.7	Plan zagospodarowania terenu	34
5.8	Program funkcjonalny	35
5.9	Bryła budynku i elementy wykończenia elewacji	36
6	ZAGADNIENIA OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ	38
6.1	Charakterystyka obiektów	38
6.2	Charakterystyka zagrożenia pożarowego	38
6.3	Kategoria zagrożenia ludzi	38
6.4	Gęstość obciążenia ogniowego	38
6.5	Klasa odporności pożarowej	38
6.6	Strefy pożarowe	39
6.7	Odległości od obiektów sąsiednich	39
6.8	Warunki ewakuacji	39
6.9	Zabezpieczenie instalacji użytkowych	40
6.10	Dobór urządzeń przeciwpożarowych w obiekcie	40
6.11	Wyposażenie w gaśnice	40
6.12	Droga pożarowa	40
7	ROZWIĄZANIA TECHNOLOGICZNE I ARCHITEKTONICZNE ZAPEWNIAJĄCE BEZPIECZEŃSTWO BADAŃ I SZKOLEŃ	41
7.1	Rozwiązania technologiczne	41
7.2	Rozwiązania architektoniczne	41
	PODSUMOWANIE	42
	WYKAZ LITERATURY	43
	WYKAZ RYSUNKÓW	44
	WYKAZ TABEL	45

WSTĘP I CEL PRACY

Pożary są najpoważniejszym z zagrożeń, z którymi zmagają się budynki i ich użytkownicy. Podczas pożaru wiele materiałów budowlanych może uwalniać toksyczne gazy i substancje chemiczne. Dlatego ważne jest by już na etapie planowania uwzględnić wszystkie możliwe niebezpieczeństwa, by zapobiec sytuacjom zagrożenia życia i zdrowia użytkowników. Architektura musi spełniać wymogi związane z bezpieczeństwem pożarowym i minimalizacją ryzyka toksycznych emisji. Kluczowym aspektem jest wybór materiałów budowlanych o niskiej toksyczności, które w przypadku pożaru uwalniają minimalne ilości szkodliwych substancji. Również rozwój technologii detekcji i gaszenia pożarów jest kluczowy dla poprawy bezpieczeństwa i efektywności budynków. Rozwój technologii oraz ich implementacja w praktyce architektonicznej przynosi korzyści w postaci zwiększenia ochrony życia, mienia i środowiska. Mniej oczywistym, jednak równie ważnym aspektem jest interdyscyplinarne podejście przy projektowaniu, które łączy wiedzę i doświadczenie architektów, inżynierów pożarowych oraz strażaków. Poprzez ścisłą współpracę tych specjalistów można opracować kompleksowe strategie ochrony przed pożarami, które skutecznie zminimalizują ryzyko dla zdrowia i życia ludzkiego w przypadku zagrożenia pożarowego.

Niniejsza praca ma na celu zbadanie zaawansowanych technologii i strategii projektowych w architekturze, które minimalizują ryzyko związane z toksycznymi substancjami rozkładu chemicznego podczas pożarów. Koncentrując się na integracji wiedzy architektów i strażaków w celu stworzenia kompleksowych strategii bezpieczeństwa pożarowego oraz architektury umożliwiającej badanie palności materiałów w bezpiecznych warunkach. Rozwiązaniem, które może prowadzić do polepszenia wiedzy w tym zakresie jest projekt ośrodka szkoleniowo-badawczego, który będzie modelem dla nowoczesnych rozwiązań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego. Ośrodek ten będzie służył jako centrum badawcze i szkoleniowe, umożliwiając praktyczne testowanie i doskonalenie strategii ochrony przeciwpożarowej. A także pomagał w doskonaleniu kluczowej funkcji jaką są praktyczne szkolenia strażackie.

1. ANALIZA LITERATURY

1.1 Historia i rozwój norm bezpieczeństwa w architekturze

Problem pożarów od zawsze był wszechobecny na całym świecie. Głównymi przyczynami były podpalenia, a także przewaga łatwopalnego budownictwa drewnianego. W historycznej Polsce udokumentowane zostały najtragiczniejsze przypadki na przestrzeni lat. Jako jeden z nich może posłużyć pożar Krakowa, który miał miejsce w roku 1241 w wyniku najazdu tatarskiego oraz powtórny pożar tego miasta w roku 1285.¹ Wraz ze wzrostem świadomości zaczęto podejmować działania mające na celu zminimalizowanie niebezpieczeństwa związanego z pożarami.

Regulacje dotyczące bezpieczeństwa pożarowego mają długą historię, sięgającą średniowiecza. Pierwsze zapiski odnośnie norm dotyczących ochrony przeciwpożarowej można znaleźć w dokumentach pochodzących z XIV w., które były zbiorem zakazów i nakazów w zakresie bezpieczeństwa przeciwpożarowego. Przykładem jest nakaz budowy kominów z materiałów niepalnych czy zakaz palenia ognia w nocy. Ponadto określano w nich akcje jakie powinny być podejmowane przez mieszkańców w przypadku akcji ratowniczej.²

Na przestrzeni lat pojawiały się nowe, bardziej udoskonalone formy zwracające uwagę na bezpieczeństwo pożarowe, a także uformowały się wyspecjalizowane w gaszeniu pożarów jednostki – archetyp dzisiejszej straży pożarnej. Rada Administracyjna Królestwa Polskiego zgodnie z decyzją z dnia 23 grudnia 1834 r. postanowiła zorganizować w Warszawie straż ogniową. Była to pierwsza straż ogniowa, jaka powstała na ziemiach Królestwa Polskiego. Następnie pojawiły się jednostki Ochotniczych straży pożarnej na terenie całego kraju.³ W tym samym czasie tworzono również ustawy dotyczące norm i przepisów budowlanych jak i tych związanych z bezpieczną ewakuacją.

Nowe ustawy wprowadzały szereg zmian, uwzględniając nowoczesne technologie i wymagania. Cała ta ewolucja sprowadza się do obowiązujących obecnie przepisów dotyczących bezpieczeństwa pożarowego, które są zawarte w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.). Rozporządzenie to, wraz z jego nowelizacjami, określa szczegółowe wymagania dotyczące: odporności ogniowej konstrukcji, ewakuacji, systemów sygnalizacji pożarowej, stałych urządzeń gaśniczych czy używanych materiałów budowlanych.⁴

¹ Popis, J. Historia pożarnictwa w Polsce, Kultura Bezpieczeństwa. Nauka – Praktyka – Refleksje, Volume 14(14), 153-172, 2013. s.154

² Prokop M. I., Historia bezpieczeństwa ogniowego w Królestwie Polskim w latach 1831-1855, Zakłady Graficzne E. i D-ra K. Koźmińskich w Warszawie, Warszawa 1934, s.9

³ Popis, J. Historia pożarnictwa w Polsce, Kultura Bezpieczeństwa. Nauka – Praktyka – Refleksje, Volume 14(14), 153-172, 2013. s.160

⁴ Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. z 1991, nr 88, poz 400, art. 1.)

1.2 Toksyczność dymu przy spalaniu materiałów budowlanych

Toksyczność dymu przy spalaniu materiałów budowlanych jest poważnym problemem, który wymaga uwagi na każdym etapie projektowania, budowy i eksploatacji budynków. Skład chemiczny, a co za tym idzie stopień niebezpieczeństwa, produktów spalania i rozkładu termicznego materiałów nie zależy tylko od ich właściwości chemicznych i fizycznych, ale również innych, niezależnych czynników, jak warunki w jakich przebiega pożar. Ważnym czynnikiem jest też faza przebiegu pożaru. Od chwili rozpoczęcia pożar może przebiegać w różny sposób, zmienna temperatura oraz zmiany stężenia tlenu istotnie determinują skład powstającej mieszanki dymowej.⁵

Praktyczne zdefiniowanie i oszacowanie wszystkich substancji powstałych w wyniku pożaru nie jest możliwe. Dlatego zarówno na świecie jak i w Polsce przyjęto szacowanie toksyczności uwzględniając tylko wybrane związki chemiczne. Najważniejsze z nich to: CO, CO₂, HCN, NO_x, SO_x, HCl, HBr, HF, formaldehyd oraz akroleina. Wyróżnia się również aldehydy, akrylonitryl, amoniak, tlenki fosforu, siarkowodór, dwusiarczek węgla, kwas mrówkowy, fenol, benzen, toluen oraz styren.⁶

Klasyfikacja produktów toksycznych, powstających podczas pożaru, według fizjologicznych efektów (PN EN 60695-7-1:2010) dzieli gazy na dwie grupy: gazy duszące oraz gazy drażniące (tabela 1.)⁷

Rodzaj toksycznych produktów rozkładu i spalania	Produkt spalania	Symbol
Duszące	Ditlenek węgla	CO ₂
	Tlenek węgla	CO
	Cyjanowodór	HCN
Drażniące	Fluorowodór	HF
	Chlorowodór	HCl
	Bromowodór	HBr
	Tlenki azotu	NO _x
	Ditlenek siarki	SO ₂
	Formaldehyd	HCOH
	Akroleina	C ₃ H ₄ O

Tabela 1. Podział gazów emitowanych w czasie pożaru. Źródło: Borucka, M.; Mizera, K. Substancje niebezpieczne emitowane podczas rozkładu termicznego i spalania chemoutwardzalnych tworzyw sztucznych. Warszawa,

⁵ Borucka, M.; Mizera, K. Substancje niebezpieczne emitowane podczas rozkładu termicznego i spalania chemoutwardzalnych tworzyw sztucznych. Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy instytut badawczy, 2022. s.11-12.

⁶ Jaskółowski, W. Ocena Toksyczności Środowiska Pożarowego – problem nie do rozwiązania? Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 27. 2018. s.94

⁷ Borucka, M.; Mizera, K. Substancje niebezpieczne emitowane podczas rozkładu termicznego i spalania chemoutwardzalnych tworzyw sztucznych. Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy instytut badawczy, 2022. s.7.

Materiałami stosowanymi w budownictwie, które wydzielają najwięcej toksycznych produktów spalania są tworzywa sztuczne. Następujące przykłady dają obraz jak wygląda spalanie poszczególnych materiałów i jakie substancje toksyczne powstają w wyniku pożaru.

- Żywice epoksydowe: już przy niskich temperaturach wydziela się niewielka ilość gazu. Wraz ze wzrostem temperatury gwałtownie wzrasta ilość produktów gazowych. W powstałym dymie, prócz tlenków węgla obecne są cząsteczki węglowodorów i aldehydy.
- Żywice poliestrowe: ze względu na skład są wysoce łatwopalne i wytwarzają duże ilości dymu oraz toksycznych gazów. W trakcie rozkładu termicznego powstają tlenki węgla, tlenki azotu, ale również cyjanowodor i chlorowodor.⁸
- Materiały izolacyjne – pianki poliuretanowe i poliizocyjanurowe: najbardziej niebezpiecznymi, silnie toksycznymi gazami wydzielanymi w trakcie spalania są izocyjaniny i cyjanowodor. Substancje te mogą powodować groźne powikłania układu oddechowego oraz liczne alergie.⁹

Kolejnym przykładem jest drewno i produkty drewnopochodne. Ze względu na wykorzystanie chemicznych preparatów ochronnych i konserwujących podczas pożaru pojawiać mogą się niebezpieczne związki takie jak dioksyny czy furany. Chemikalia używane do konserwacji są stosunkowo proste. Reakcje nieorganiczne zachodzące w trakcie procesu konserwacji drewna przyczyniają się do powstania złożonych związków nieorganicznych i kompleksów. Z badań wynika iż ilość substancji toksycznych wydzielanych z próbki drewna nieimpregnowanego jest nawet czterokrotnie niższa, niż z próbki drewna impregnowanego.¹⁰

⁸ Bakhtiyari, S.; Akbari, L. T.; Ashtiani, M.J. An investigation on fire hazard and smoke toxicity of epoxy FRP composites, *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*. 8, 2017. s.1-4

⁹ McKenna, S.T.; Hull, T.R. The fire toxicity of polyurethane foams. *Fire Sci. Rev.* 2016, s. 10-11

¹⁰ Rabajczyk, A.; Zielecka, M.; Małozieć, D. Hazards Resulting from the Burning Wood Impregnated with Selected Chemical Compounds

1.3 Pożary zawierające materiały toksyczne: skutki dla zdrowia ludzi i środowiska

Wydawać by się mogło, że główną przyczyną śmierci bądź obrażeń w wypadku pożarów jest bezpośredni kontakt z płomieniem lub inne obrażenie mechaniczne związane, na przykład z zawalającą się konstrukcją. Jednak analiza czynników ujawnia, że zdecydowana większość zgonów związanych z pożarami spowodowana jest ekspozycja na opary dymu i toksyczne substancje, które się w nich znajdują. Dym pożarowy zawiera złożoną mieszaninę gazów oraz innych produktów spalania, takich jak aldehydy, alkohole o niskiej masie cząsteczkowej, cyjanowodor i inne szkodliwe substancje.¹¹ Najczęściej występującym problemem jest zatrucie tlenkiem węgla, czyli bezwonny i przeźroczysty gazem, który wchodzi w skład dymu pożarowego. Jednak na przestrzeni ostatnich dekad dostrzegalna jest rosnąca tendencja zatrucia cyjanowodorem.¹²

W środowisku osób pracujących w dziedzinie ochrony przeciwpożarowej znaczną uwagę należy zwrócić na powikłania zdrowotne jakie powoduje regularna ekspozycja na działanie toksycznych substancji uwalnianych w wyniku pożarów, jak i późniejszego narażenia na zanieczyszczoną odzież oraz sprzęt. Istnieje wiele badań ukazujących, iż zachorowalność na niektóre typy nowotworów jest znacznie częstsza w przypadku strażaków niż innych osób.¹³ Równie niebezpieczne są choroby układu krążeniowego i oddechowego wśród osób narażonych na wielokrotne, nawet krótkotrwałe, ekspozycje na działanie lotnych substancji toksycznych, które mają zdolność kumulowania się w komórkach organizmu.¹⁴

Dodatkowym zagrożeniem jest fakt, iż niebezpieczne produkty rozkładu termicznego w przypadku pożarów mogą być przenoszone za pomocą wody bądź wiatru na znaczne odległości i negatywnie oddziaływać na środowisko naturalne oraz ludność.

¹¹ Einhorn, I. Physiological and toxicological aspects of smoke produced during the combustion of polymeric materials, „Environ Health Perspect.” 1975, nr 11, s. 163–189

¹² Susło, R.; Paplicki, M.; Dopierała, K.; Wrzesiński J.A. Pożary odpadów a narażenie strażaków na substancje toksyczne. Prawo 326. 2018. 187-197. s. 188

¹³ Stull, J.; Paul, P.; Reynolds, J. Recommendations for Developing and Implementing a Fire Service Contamination Control Campaign, February 2018, s. 2.

¹⁴ Susło, R.; Paplicki, M.; Dopierała, K.; Wrzesiński J.A. Pożary odpadów a narażenie strażaków na substancje toksyczne. Prawo 326. 2018. 187-197. s. 193

1.4 Historia i rozwój technologii badań nad palnością materiałów

Wraz z rozwojem technologii i rosnącą świadomością na temat bezpieczeństwa pożarowego potrzeba kontrolowania i zrozumienia właściwości palnych materiałów stawała się coraz bardziej istotna. Dotychczasowy rozwój wiedzy na temat palności materiałów i procesów związanych ze zjawiskiem spalania związany jest z osiągnięciami naukowców i inżynierów. Jednak pełne zrozumienie tego zagadnienia wraz ze zjawiskiem rozkładu chemicznego materiałów podczas spalania wymaga ciągłego rozwoju w zakresie bezpiecznego testowania palności.

Ogień był przedmiotem prymitywnych badań od momentu gdy ludzie zdali sobie sprawę, że da się go kontrolować przy zachowaniu odpowiednich warunków oraz wykorzystywać do codziennych potrzeb takich jak ogrzewanie czy gotowanie. Jednak pierwsze usystematyzowane badania nad palnością materiałów pochodzą dopiero z XVIIIw. kiedy dzięki rewolucji przemysłowej przyspieszył się rozwój nowych technologii i materiałów. W tym okresie zauważono, że badanie palności materiałów jest niezbędne do zachowania bezpiecznego środowiska pracy, szczególnie w przemyśle tekstylnym i chemicznym, gdzie ryzyko pożarów było szczególnie wysokie, a składniki rozkładu chemicznego wysoce toksyczne. Pierwsze badania skupiały się głównie na obserwacji i prostych testach palności.

W temacie rozwoju metod badawczych w zakresie palności możemy wyróżnić trzy znaczące rewolucje, które najbardziej przyczyniły się do osiągnięcia obecnie panującego stanu wiedzy. Pierwsze rewolucje w badaniach miały miejsce dopiero w XIX wieku. Dzięki odkryciom takim jak efekt termoelektryczny czy pierwsza zasada termodynamiki opracowano pierwsze narzędzia umożliwiające zdalny pomiar temperatur i przepływu ciepła. Kolejna rewolucja nastąpiła na początku XX wieku dzięki wprowadzeniu elektromechanicznych urządzeń zaczęto automatycznie rejestrować dane z eksperymentów ogniowych. Ten postęp w zapisie danych pozwolił na szczegółowe badanie zachowań ognia. Dlatego naukowcy w tym okresie mieli możliwość bardziej precyzyjnego pomiaru zachowań ogniowych, co doprowadziło do szybkiego rozwoju wiedzy na temat dynamiki pożarowej. Od 1912 roku prowadzono testy na małych ilościach materiałów budowlanych, aby ocenić ich właściwości i móc sklasyfikować czy są to materiały łatwopalne. R.E. Prince opracował urządzenie do badania palności różnych gatunków drewna i badania wpływu środków ogniochronnych na zapłon materiału. Dalszy rozwój badań nad metodologią tych testów skutkował wprowadzeniem w 1958 roku standardu testowania (Metoda Testu ASTM E136) – test ten pozwalał sprawdzić czy, i w jakim czasie, dane materiały wytwarzają ciepło i płomienie podczas ekspozycji na wysokie temperatury. Kolejnym krokiem było rozpoczęcie pracy nad testowaniem palności materiałów używanych wewnątrz budynków, takich jak np. pokrycia podłóg, w celu zwiększenia bezpieczeństwa w placówkach publicznych.

Trzecia rewolucja w drugiej połowie XX wieku jest ściśle związana z możliwościami jakie

dał rozwój sprzętu do rejestracji danych cyfrowych i komputerowych. Zwiększyło to możliwości wykorzystania modeli predykcyjnych w celu analizy danych. Powszechne zastosowanie metod obliczeniowych pozwoliło na zrozumienie cech dynamiki ognia i umożliwił lepsze zrozumienie wydajności metod testowania. Jednym z istotnych postępów wynikających z tej rewolucji było opracowanie kalorymetrii zużycia tlenu.¹⁵

Kolejnym aspektem, nad którym zaczęto prowadzić badania jest toksyczność dymu. Dopiero w 1823 roku niebezpieczeństwo wdychania dymu zostało rozpoznane przez Charlesa A. Deane'a. Opatentował on jeden z pierwszych aparatów oddechowych, wykorzystywanych podczas gaszenia pożarów, nazwany "Hełmem Dymowym". W 1964 roku opublikowano raport opisujący pierwszą metodę testową dotyczącą zagrożeń dymem. Test ten polegał na ocenie zdolności człowieka do dostrzeżenia znaku o wyjściu ewakuacyjnym w zależności od gęstości zadymienia w danym pomieszczeniu. Potrzeba lepszego przewidywania zmiennego środowiska dymowego podczas pożarów oraz rozwój technologii doprowadziły do opracowania metody testowania dymu, która oprócz pomiaru gęstości optycznej, mierzy gęstość masową dymu produkowanego przez palące się materiały.

Lepsze zrozumienie toksyczności pożaru nastąpiło dopiero w drugiej połowie XX wieku. Badania prowadzone przez licznych naukowców w latach 60. i 70. XX wieku bezpośrednio zwracały uwagę na problem toksyczności pożaru. Prace te doprowadziły do opracowania dwóch metod testowych toksyczności pożaru. Jedna z tych metod pochodziła z grantu badawczego NBS dla University of Pittsburgh. Metoda ta, znana jako "University of Pittsburgh Method", jest obecnie w użyciu. Prace nad drugą metodą rozpoczęło wspólne przedsięwzięcie Southwest Research Institute (SwRI) i National Bureau of Standards. NBS dalej rozwijało tę metodę, która została przyjęta jako oficjalna metoda testowania toksyczności pożaru w 1995 roku.¹⁶

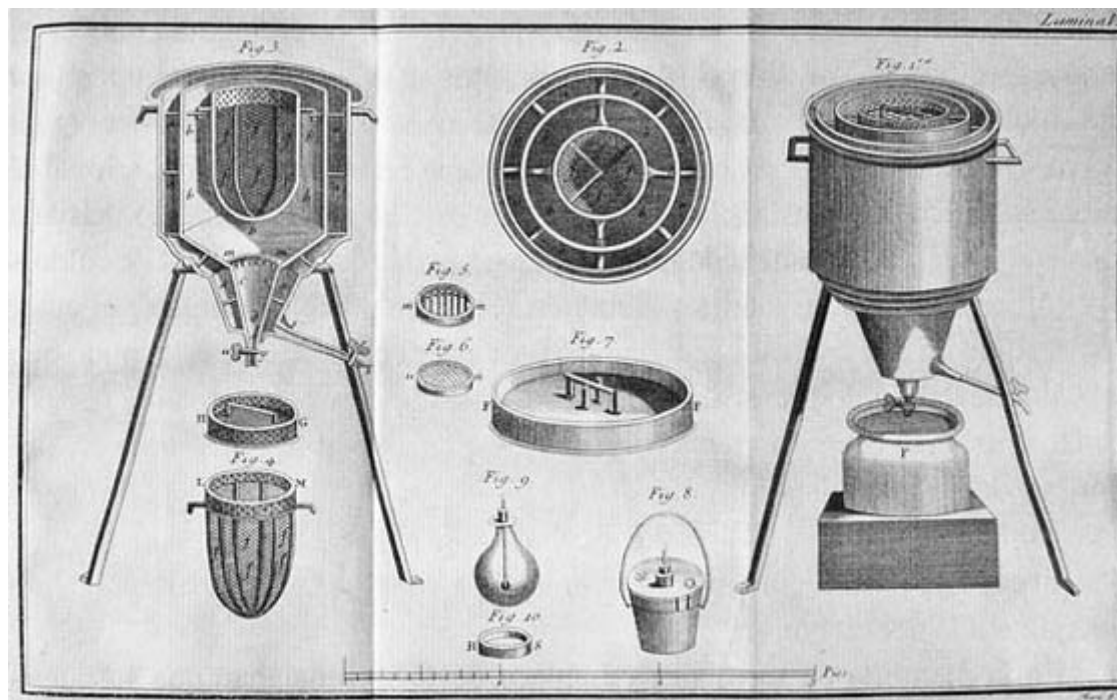
W obecnej chwili, mimo wysoce rozwiniętej technologii, określenie toksycznych składników w gorących gazach dymnych nie jest prostym zadaniem. Ze względu na różne właściwości poszczególnych składników gazów, stosuje się różne, czasochłonne procedury pomiarowe dla każdej substancji. Jedną z takich metod jest stosowanie spektrometrów FTIR, które rozwiązują wiele problemów analizy gazów dymnych. Spektrometria FTIR umożliwia technikę monitorowania wszystkich składników gazowych w sposób ciągły i wykazuje ich charakterystyczne pasmo spektralne w zakresie podczerwieni.¹⁷

¹⁵ Porowski, R; Kuźnicki, Z; Małozieć, D; Dziechciarz, A. Oznaczanie toksyczności produktów spalania – przegląd stanu wiedzy. Bezpieczeństwo i technika pożarnicza, vol 52, nr 4, s. 82-99, 2018. s.29-30

¹⁶ Hakkarainen, T., Studies on fire safety assessment of construction products. Technical Research Centre of Finland. 2002. s. 23-24

¹⁷ Hakkarainen, T., Studies on fire safety assessment of construction products. Technical Research Centre of Finland. 2002. s. 25-26

Kolejną metodą jest kalorymetria stożkowa. Pozwala na pomiar ciepła wydzielanego podczas spalania próbki materiału w kontrolowanych warunkach. Badania przy użyciu kalorymetru stożkowego obejmują ocenę tempa wydzielania ciepła, czasu do zapłonu, tempa utraty masy oraz emisji dymu i gazów toksycznych. Jest to bardzo przydatna metoda do oceny bezpieczeństwa pożarowego materiałów.



Rys. 1 pierwszy kalorymetr stożkowy

źródło: <https://www.uv.es/bertomeu/revquim2/web/instrume/2.htm>

Analiza termogravimetryczna (TGA) jest jedną z podstawowych metod badania właściwości termicznych materiałów. Badanie polega na mierzeniu zmian masy próbki przy zmianie temperatury lub czasu podczas kontrolowanego ogrzewania. Dzięki zastosowaniu atmosfery inertnej lub utleniającej, możliwe jest symulowanie różnych warunków pożarowych i ocena stabilności termicznej materiałów.¹⁸

W trakcie pożaru, dochodzi niezliczonej ilości reakcji chemicznych i fizycznych, które są ze sobą wzajemnie powiązane. Dlatego trudne jest symulowanie aspektów pożaru w warunkach laboratoryjnych. Prawdopodobieństwo modelu to czynnik, który jest najbardziej skomplikowanym aspektem jeśli chodzi o szacowanie toksyczności środowiska pożarowego. Przy każdej z technik mającej na celu zbadanie toksyczności gazów powstających w wyniku spalania, ważne jest zapewnienie odpowiednich warunków laboratoryjnych oraz odpowiedniego sprzętu.

¹⁸ Porowski, R; Kuźnicki, Z; Małozieć, D; Dziechciarz, A. Oznaczanie toksyczności produktów spalania– przegląd stanu wiedzy. Bezpieczeństwo i technika pożarnicza, vol 52, nr 4, s. 82-99, 2018. S.91

PODSUMOWANIE

Podsumowując, ewolucja norm i badań z zakresu bezpieczeństwa pożarowego jest świadectwem postępu technologicznego oraz rosnącej świadomości na temat zagrożeń związanych z pożarami. Nowoczesne podejście do ochrony przeciwpożarowej wymaga nie tylko wprowadzenia właściwych regulacji, ale także stałego doskonalenia technologii i podnoszenia poziomu edukacji społeczeństwa. Kontynuowanie badań nad palnością i toksycznością materiałów jest kluczowe dla dalszej poprawy bezpieczeństwa pożarowego. W obliczu pojawiających się nowych materiałów i technologii budowlanych, stałe aktualizowanie metod oceny i regulacji pozostaje niezbędne.

2. ANALIZA DOSTĘPNYCH ROZWIĄZAŃ ARCHITEKTONICZNYCH

2.1 Przegląd systemów ochrony przeciwpożarowej oraz rozwiązań przestrzennych w kontekście przechowywania materiałów niebezpiecznych

I. Wymagania projektowe dotyczące przechowywania różnych typów materiałów (substancje łatwopalne, wybuchowe, toksyczne)

Aby bezpiecznie magazynować materiały niebezpieczne pożarowo, niezbędna jest wiedza o ich właściwościach oraz rodzaju stwarzanych przez nie zagrożeń. Jest to podstawa zapewniająca bezpieczeństwo w sytuacjach awaryjnych, pozwalająca dobrać odpowiednie zabezpieczenia i środki ochrony. Rozróżniamy trzy podstawowe typy materiałów niebezpiecznych: substancje łatwopalne, wybuchowe oraz toksyczne. Właściwości poszczególnych substancji decydują o doborze rozwiązań konstrukcyjnych i przestrzennych zapewniających bezpieczeństwo w przypadku przechowywania danych materiałów. Każdy rodzaj substancji niebezpiecznej – czy to łatwopalna, wybuchowa, czy toksyczna – wymaga indywidualnego podejścia i zastosowania specyficznych środków ochrony, zgodnych z obowiązującymi normami i przepisami prawnymi.

W przypadku substancji łatwopalnych budynki muszą być wykonane z materiałów o odpowiedniej odporności ogniowej, aby zapobiec szybkiemu rozprzestrzenianiu się ognia w razie pożaru. Przegrody, ściany, stropy, drzwi i inne elementy konstrukcyjne powinny posiadać klasę odporności ogniowej zgodną z wymaganiami przepisów pożarowych. Ważne jest też wydzielenie odpowiednich stref pożarowych przy pomocy przegród ogniowych. Należy zapewnić odpowiednie odstępy pomiędzy poszczególnymi materiałami łatwopalnymi a także pomiędzy materiałami a ścianami magazynu. Umożliwia to odpowiednią wentylację i ogranicza ryzyko rozprzestrzeniania się pożaru.

Budynki przeznaczone do magazynowania materiałów wybuchowych powinny być usytuowane w odpowiedniej odległości od innych budynków, dróg, linii energetycznych, obiektów użyteczności publicznej oraz miejsc, gdzie mogą przebywać ludzie. Odległość ta powinna być zgodna z przepisami prawnymi i normami bezpieczeństwa, zależnie od ilości i rodzaju przechowywanych materiałów wybuchowych. Dostępnych jest wiele metod ograniczania skutków wybuchów.

Konstrukcja budynku powinna być odporna na uszkodzenia mechaniczne i termiczne, a także wyposażona w przegrody ochronne, które mogą kierować falę uderzeniową w bezpiecznym kierunku w razie wybuchu. Często stosuje się w tym celu konstrukcję dachu lekkiego (W przypadku wybuchu lub gwałtownego wzrostu ciśnienia spowodowanego pożarem, lekki dach może ulec szybkiemu zniszczeniu lub kontrolowanemu usunięciu, co pozwala na odprowadzenie nadmiaru ciśnienia i zapobiega uszkodzeniu innych części budynku. To zjawisko nazywa się dekompresją kontrolowaną.) umożliwiającą odprowadzenie ciśnienia z budynku oraz ściany o konstrukcji modułowej lub panele z kontrolowanymi punktami przełamania (blast walls), które są projektowane o mniejszej

wytrzymałości niż standardowe panele, aby mogły zostać łatwo zniszczone przy niższym poziomie ciśnienia i uwolnić nadmiar energii i skierować falę uderzeniową na zewnątrz.



Rys. 2 Panele z kontrolowanymi punktami przełamania

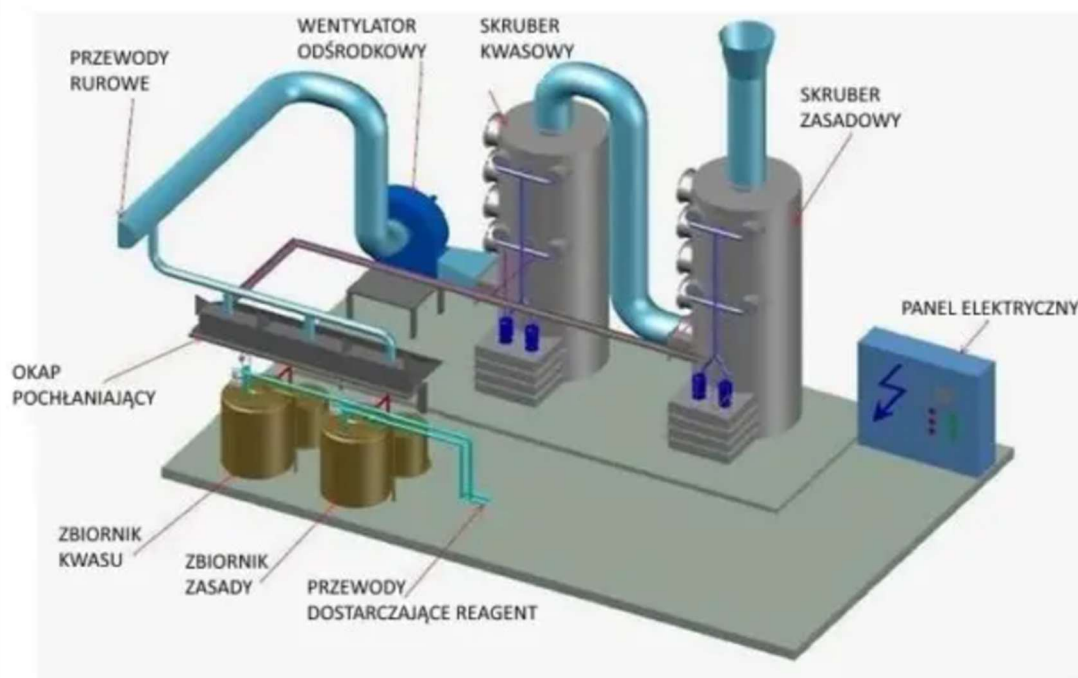
źródło: Riemens, N. Dedden, R. AUTOMATED DESIGN FOR CORRUGATED BLAST WALL PROJECTS

Stosuje się również kanały dekompresyjne, które w razie wybuchu odprowadzają energię na zewnątrz budynku, minimalizując ryzyko uszkodzenia konstrukcji i ograniczając skutki wybuchu. Często stosuje się również konstrukcje monolityczne, które są odporne na wybuchy. Wytrzymałość konstrukcji jest ustalana na podstawie szacowanej siły wybuchu oraz szczegółowych specyfikacji projektowych komponentów strukturalnych. Wejścia są wyposażone w ciężkie drzwi odporne na wybuchy.¹⁹ Ważnym aspektem jest również strefowanie miejsc przechowywania, materiały wybuchowe powinny być magazynowane zgodnie z ich klasą zagrożenia i kompatybilnością chemiczną. Materiały o różnych właściwościach wybuchowych nie powinny być przechowywane razem, aby zapobiec niekontrolowanym reakcjom chemicznym.²⁰

¹⁹ Osikowicz, Ł., Szczurba, K. Zasady bezpiecznej eksploatacji obiektów. Józefów, 2012. s.32-35

²⁰ Nolan, D; Aramco, S., Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical, and Related Facilities. United States, 2019. s. 59-63; 287.

Ostatni typ jakim są substancje toksyczne, które stanowią zagrożenie dla zdrowia ludzi oraz środowiska naturalnego, wymaga zastosowania specyficznych środków ochrony. Budynek powinien być wykonany z materiałów odpornych na działanie substancji chemicznych, a konstrukcja powinna zapewniać szczelność, aby zapobiec wyciekom i emisji toksycznych substancji. Muszą być oddzielone od materiałów, które mogą z nimi reagować, oraz odpowiednio oznakowane. Ponadto magazyny powinny być wyposażone w systemy wyciągowe i filtrujące, aby zapobiec wydostawaniu się toksycznych oparów do atmosfery.²¹



Rys. 3 skrubler do neutralizacji zanieczyszczeń
 źródło: <https://www.tecnosida.pl/przemyslowy-mokry-skrubler>

Niezbędnym aspektem w przypadku wszystkich trzech typów jest zadbanie o odpowiedni system wentylacji, aby zapobiec gromadzeniu się oparów lub gazów wybuchowych.

²¹ Hakkarainen, T., Studies of fire safety assessment of construction products. Technical Research centre of Finland. 2002. s. 25-29

II. Rodzaje systemów ochrony przeciwpożarowej:

Wyróżniamy dwa podstawowe typy systemów ochrony przeciwpożarowej: systemy pasywne oraz systemy aktywne. Pierwszy typ, czyli systemy pasywne, odnoszą się do elementów konstrukcji budynku, które mają na celu ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu, zwiększenie czasu na ewakuację oraz ochronę osób i mienia przed skutkami pożaru. Należą do nich, między innymi, omówione wcześniej przegrody pożarowe, ognioodporne materiały i rozwiązania zwiększające odporność konstrukcji budynku w wypadku sytuacji awaryjnych.

Drugim typem są systemy aktywne, czyli mechanizmy i urządzenia, które w momencie wykrycia pożaru rozpoczynają działania gaśnicze lub alarmowe. Celem tych to możliwie szybkie wykrycie pożaru, powiadomienie użytkowników budynku oraz zminimalizowanie rozprzestrzeniania się ognia i dymu, co pozwala na szybką reakcję na zagrożenie, skuteczną ewakuację i ograniczenie strat materialnych.²²

²² Bird, S.N.; Bouchlaghem, N.M.; Glockling, J.; Yeomans. S. DECISION PROBLEM STRUCTURING METHOD FOR THE SPECIFICATION AND SELECTION OF ACTIVE FIRE PROTECTION SYSTEMS. Centre for Innovative & Collaborative Constructio. Sao Paulo. Brazil, 2012. s. 2-4

III. Systemy detekcji pożaru i systemy alarmowe

Ich funkcją jest szybkie wykrycie pożaru i ostrzeżenie mieszkańców oraz służb ratunkowych, co umożliwia natychmiastową reakcję i ewakuację. Projektując budynki trzeba przewidzieć miejsce na niezbędny osprzęt wchodzący w skład tych systemów. Poza czujkami dymu oraz ciepła, ważne jest zapewnienie bezpiecznej przestrzeni dla centrali alarmowej, która monitoruje wszystkie czujniki i urządzenia alarmowe w budynku. Po wykryciu pożaru centrala uruchamia odpowiednie procedury, takie jak włączenie alarmu dźwiękowego, odblokowanie drzwi ewakuacyjnych. Niezbędnym elementem są manualne przyciski alarmowe, które dają możliwość uruchomienia alarmu ręcznie w przypadku gdy system automatyczny ulegnie awarii.

Systemy tryskaczowe które są najczęściej stosowane systemy ochrony przeciwpożarowej. Tryskacze są rozmieszczone w regularnych odstępach na suficie, a ich działanie polega na automatycznym uwolnieniu wody w przypadku pożaru. Systemy te mogą działać lokalnie, reagując na pożar w konkretnym miejscu, co ogranicza uszkodzenia spowodowane wodą. Najbardziej powszechny typ to system wodny, w którym rury są stale napełnione wodą. Gdy głowica tryskacza zostaje aktywowana, woda natychmiast zaczyna płynąć. Są one najbardziej odpowiednie dla budynków o stałej temperaturze, gdzie ryzyko zamarznięcia jest minimalne.

Gdy natomiast istnieje ryzyko zamarznięcia wody stosuje się systemy suche, gdzie w rurach znajduje się powietrze pod ciśnieniem, a woda jest trzymana z dala od systemu za pomocą zaworu. Kiedy głowica tryskacza zostaje aktywowana, powietrze uchodzi, otwierając zawór i pozwalając wodzie na dotarcie do miejsca pożaru. W obu przypadkach działanie może być lokalne, reagując na pożar w konkretnym miejscu, co ogranicza uszkodzenia spowodowane wodą. W magazynach i obiektach przemysłowych używane są systemy potokowe, gdzie głowice tryskaczy są zawsze otwarte, a woda jest uwalniana jednocześnie z każdej z nich, kiedy system zostanie aktywowany. Są stosowane tam, gdzie istnieje wysokie ryzyko szybkiego rozprzestrzeniania się ognia.

Systemy gaszenia gazowego - są stosowane tam, gdzie użycie wody może być nieodpowiednie lub szkodliwe, jak np. w centrach danych, serwerowniach, muzeach, laboratoriach, archiwach czy bibliotekach. Systemy te wykorzystują różne rodzaje gazów gaśniczych, które działają poprzez obniżenie poziomu tlenu w pomieszczeniu lub przerwanie reakcji chemicznej spalania. Do najpopularniejszych gazów stosowanych w tych systemach należą:

- FM-200 (HFC-227ea): Gaz chemiczny, który gasi pożar poprzez absorpcję ciepła z ognia i przerwanie reakcji spalania. Jest skuteczny, ale może być szkodliwy dla środowiska ze względu na wysoki potencjał globalnego ocieplenia (GWP).
- Inergen (mieszanka gazów: azot, argon, CO₂): Jest to gaz obojętny, który działa poprzez obniżenie poziomu tlenu w powietrzu do poziomu, który nie podtrzymuje

spalania, ale jest nadal bezpieczny dla ludzi. Inergen jest bezpieczny dla środowiska i ludzi, co czyni go popularnym wyborem w wielu zastosowaniach.

- CO₂ (dwutlenek węgla): Gaz, który skutecznie tłumi pożar poprzez wyparcie tlenu z powietrza. Jednakże CO₂ jest niebezpieczny dla ludzi w wysokich stężeniach i dlatego jest stosowany głównie w niezamieszkanym obszarach.²³

2.2 Architektura zapewniająca bezpieczeństwo badań nad palnością i substancjami rozkładu chemicznego

Bezpieczeństwo w badaniach nad palnością i substancjami rozkładu chemicznego wymaga kompleksowego podejścia obejmującego odpowiednie rozwiązania architektoniczne i przestrzenne. Zapewnienie odpowiedniej infrastruktury jest kluczowe by zminimalizować ryzyko dla badaczy oraz otoczenia.

Podstawowym aspektem jest lokalizacja budynku w celu zminimalizowania możliwości wystąpienia niebezpiecznych sytuacji. Laboratorium powinno być zlokalizowane w strefie z minimalnym ryzykiem wystąpienia katastrof naturalnych, takich jak powódzie czy trzęsienia ziemi. Sam budynek laboratorium musi być wykonany z materiałów ognioodpornych, co minimalizuje ryzyko rozprzestrzeniania się pożaru. Poza wymienionymi wcześniej pasywnymi systemami ochrony przeciwpożarowej, takimi jak sama konstrukcja i materiały użyte w projekcie, wyróżniamy również systemy aktywne takie jak:

I. STREFY FUNKCJONALNE

Od strony funkcjonalnej niezbędne jest wydzielenie różnych stref co pozwala na zminimalizowanie ryzyka i zwiększenie kontroli nad procesami badawczymi. Podstawowe strefy jakie powinniśmy wyróżnić to:

- Strefa przechowywania - obszar przechowywania substancji chemicznych, gdzie ognioodporne szafy i kontenery, gdzie kluczowym aspektem jest zapewnienie odpowiedniej wentylacji zapobiegającej gromadzeniu się oparów chemicznych. Oraz spełnienie norm architektonicznych dotyczących składowania substancji niebezpiecznych opisanych w podpunkcie 2.1
- Strefa eksperymentalna – miejsce gdzie prowadzone są badania, powinna być odizolowana od innych części laboratorium i wyposażona w wyciągi laboratoryjne oraz urządzenia do szybkiego gaszenia pożarów.
- Strefa bezpieczeństwa – niezbędna w przypadku awarii, znajdują się tam prysznice bezpieczeństwa, stacje do płukania oczu oraz apteczki pierwszej pomocy.²⁴

²³ Xiaogin, H., Kraaijeveld, A., Log, T. Numerical Investigation of the Required Quantity of Inert Gas Agents in Fire Suppression. 2020. s.1-2

²⁴ Ditlev, J., Orrainen, M. Fire Safety In Laboratories, CFPA-E Guideline nr 28,2012

II. **ODLEGŁOŚCI SEPARACYJNE**

Minimalne odległości, które muszą być zachowane pomiędzy magazynami materiałów niebezpiecznych, a innymi obiektami. Odległości te mają na celu zapobieganie przenoszenia się pożaru lub wybuchu na sąsiednie obiekty oraz minimalizowanie ryzyka w przypadku zaistnienia pożaru. Odległości separacyjne są określane na podstawie różnych czynników, takich jak:

- rodzaj i właściwości przechowywanych materiałów: Materiały łatwopalne, wybuchowe, utleniające, toksyczne lub reaktywne wymagają różnej separacji w zależności od ich specyficznych zagrożeń.
- wielkość i typ pojemników lub zbiorników: Większe pojemniki lub zbiorniki z substancjami niebezpiecznymi wymagają większych odległości separacyjnych.
- konstrukcja budynków i instalacji: Materiały budowlane oraz typ konstrukcji mogą wpływać na wymagane odległości separacyjne, np. budynki o lekkiej mogą wymagać większych odległości w porównaniu do budynków o konstrukcji betonowej.
- warunki środowiskowe i terenowe: Czynniki takie jak topografia, obecność naturalnych barier, jak zbiorniki wodne, a także panujące warunki atmosferyczne mogą wpływać na rozprzestrzenianie się ognia i wymagane odległości. Wszystkie normy dotyczące odległości są regulowane przez międzynarodowe standardy, takie jak NFPA (National Fire Protection Association), NIMS (The National Incident Management System) oraz europejskie normy EN, które precyzują minimalne odległości w zależności od charakterystyki materiału i środowiska.²⁵

III. **STREFY ZAGROŻENIA**

Strefy zagrożenia to wyznaczone obszary wokół miejsc przechowywania lub pracy z materiałami niebezpiecznymi, które mają na celu określenie poziomu ryzyka pożarowego oraz potencjalnego zasięgu oddziaływania pożaru lub wybuchu. Strefy są klasyfikowane na podstawie charakterystyki zagrożenia.



Rys. 4 oznaczenie strefy zagrożonej wybuchem

źródło: Wzór graficzny zgodny z ROZPORZĄDZENIEM MINISTRA GOSPODARKI z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej (Dz. U. Nr 138 Poz. 931 rok 2010).

²⁵ Ditrich, E. The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, Operation. 2015 s.71-79

Wyróżniamy kilka typów stref zagrożenia:

Strefa 0: Obszar, w którym istnieje ciągłe lub przez długi czas obecność materiałów łatwopalnych w atmosferze, co stwarza wysokie ryzyko pożaru lub wybuchu (np. wewnątrz zbiorników z paliwem, rurociągi gazowe).

Strefa 1: Obszar, gdzie prawdopodobnie mogą pojawić się materiały łatwopalne w atmosferze podczas normalnej pracy (np. wokół zbiorników paliwowych podczas ich napełniania).

Strefa 2: Obszar, w którym materiały łatwopalne mogą wystąpić w atmosferze tylko sporadycznie i na krótki czas (np. wokół rur transportujących materiały łatwopalne w przypadku awarii).

Strefy zagrożenia muszą być odpowiednio oznakowane i zabezpieczone, aby zapewnić bezpieczeństwo osób przebywających w pobliżu.

W przypadku materiałów niebezpiecznych wyznacza się strefy kontrolne w oparciu o bezpieczeństwo i stopień zagrożenia. Strefy te definiowane są jako strefy gorąca, ciepła i zimna.

Strefa Gorąca – Strefa kontrolna bezpośrednio otaczająca potencjalne miejsce incydentu pożarowego z materiałami niebezpiecznymi, która rozciąga się na tyle daleko, aby zapobiec niepożądanym skutkom wydostania się materiałów niebezpiecznych poza tę strefę. W strefie tej należy zapewnić też obszar schronienia dla personelu

Strefa Ciepła – Strefa kontrolna dla incydentu z materiałami niebezpiecznymi, gdzie odbywa się dekontaminacja personelu i sprzętu (dekon) oraz wsparcie operacji Strefy Gorącej.

Strefa Zimna – Obszar oddalony na bezpieczną odległość w którym znajduje się główny punkt dowodzenia i kontrolowania w przypadku incydentu pożarowego. ²⁶

IV. KONTROLA DOSTĘPU

Kontrola dostępu jest kluczowym elementem zarządzania bezpieczeństwem w miejscach, gdzie przechowywane są lub używane materiały niebezpieczne pożarowo. Jest to kolejny aspekt, który wpływa na układ funkcjonalny i architekturę obiektów. Odpowiednia kontrola dostępu zapewnia, że tylko upoważnione osoby mogą wejść do strefy zagrożenia, co minimalizuje ryzyko przypadkowych zdarzeń lub sabotażu.

²⁶ Noll, G. Hildebrand, M.S., Schnepf, R., Rudner, G.D. *Hazardous Materials: Managing the Incident*. Burlington, 2014. s.13-15

2.3 Innowacyjne materiały budowlane o ograniczonej palności i emisji toksycznych substancji

Materiał o ograniczonej palności charakteryzuje się zdolnością do opóźniania rozprzestrzeniania się ognia. W tradycyjnym budownictwie przewagę w zastosowaniu mają materiały takie jak drewno czy tworzywa sztuczne, które są łatwopalne i mogą przyczyniać się do szybkiego rozwoju pożaru. Aby zminimalizować ten problem naukowcy i inżynierowie opracowują nowe materiały budowlane, które nie tylko poprzez spowolnienie procesu rozprzestrzeniania się ognia, ale także poprzez ograniczenie emisji substancji toksycznych podczas spalania, zwiększają bezpieczeństwo zarówno dla zdrowia ludzi jak i środowiska.

Innowacyjne materiały budowlane o ograniczonej palności i niskiej emisji toksycznych substancji to istotny krok w kierunku zwiększenia bezpieczeństwa pożarowego i ochrony zdrowia publicznego. Opracowanie i wdrożenie tego typu rozwiązań wiąże się z wieloma wyzwaniami. Konieczność przeprowadzenia licznych badań i testów, sprawdzających czy materiały spełniają wszystkie wymagane normy bezpieczeństwa. Ponadto barierą dla ich szerokiego zastosowania mogą stanowić koszty produkcji i wdrażania takich materiałów, które są wyższe w porównaniu do tradycyjnych rozwiązań.

W obecnej chwili w budownictwie używane są pewne łatwopalne materiały, takie jak zewnętrzne panele izolacyjne oraz materiały zmiennofazowe używane do chłodzenia budynków, co skłania do poszukiwania innowacyjnych rozwiązań tego narastającego problemu. Przykładami rozwiązań tego problemu jest użycie związków opartych na triazynie do produkcji wewnętrznie trudnopalnych materiałów zmiennofazowych oraz użycie materiałów biopochodnych do nadawania właściwości ognioodpornych.

Dziedzina, która na przestrzeni lat wywiera duży wpływ na rozwój bezpieczeństwa materiałów pod względem pożarowym, jest nanotechnologia. Nanotechnologia to manipulacja materiałami na skali molekularnej i atomowej. Ma ogromny potencjał w poprawie bezpieczeństwa przeciwpożarowego i wytrzymałości budynków, jednak pomimo udowodnionego wpływu na zwiększenie odporności ogniowej materiałów takich jak beton, szkło, izolacje, stal, drewno oraz powłokach i kompozytach, istnieje problem dotyczący toksyczności spalania materiałów modyfikowanych przy użyciu tej technologii. Ocena toksykologiczna nanomateriałów jest trudna ze względu na różnorodność składu materiałów. Aby nanomateriały mogły być szeroko stosowane w budownictwie, konieczne jest zapewnienie ich bezpieczeństwa, zarówno pod kątem ochrony przeciwpożarowej, jak i minimalizacji zagrożeń toksykologicznych. Przestrzeganie odpowiednich standardów i regulacji oraz przeprowadzenie kompleksowych ocen cyklu życia materiałów będą kluczowe dla osiągnięcia tego celu.²⁷

²⁷ Mullins-Jaime, C.; Smith, T.D. Nanotechnology in Residential Building Materials for Better Fire Protection and Life Safety Outcomes. *Fire* 2022, 5, 174 s. 6-8

Kolejnym przykładem materiałów, które mogą w znaczny sposób poprawić bezpieczeństwo pożarowe, a w przeciwieństwie do nanomateriałów, udowodniono, że ich toksyczność jest znacznie niższa niż w przypadku materiałów tradycyjnych, są produkty biobazowe. Ich podstawową zaletą jest neutralna lub nawet ujemna emisyjność CO₂. Materiał budowlany jest określany jako biobazowy, gdy zawiera biomasę roślinną lub zwierzęcą. Obecnie znajdują one zastosowanie w budownictwie jako materiały nośne, wypełniające, izolacyjne i tynkarskie. Są one ekologiczną alternatywą dla tradycyjnych materiałów, przy zachowaniu równie wysokiej odporności ogniowej, ale przy znacznie niższej emisji toksycznych substancji w przypadku pożaru.²⁸

PODSUMOWANIE

Przechowywanie i praca z materiałami niebezpiecznymi pożarowo bez wątpienia wpływa na kształtowanie architektury. Projektowanie obiektów wymaga uwzględnienia specyficznych wymagań konstrukcyjnych, odpowiednich systemów ochrony oraz wyznaczenia stref bezpieczeństwa.

W zależności od charakterystyki substancji (łatwopalne, wybuchowe, toksyczne), architektura budynku musi spełniać odmienne wymagania. Obiekty muszą być wykonane z odpowiednich materiałów o wysokiej odporności ogniowej oraz wyposażone w systemy wentylacyjne, separacyjne i dekompresyjne, które zminimalizują ryzyko w przypadku sytuacji awaryjnej.

Architektura budynków powinna uwzględniać systemy przeciwpożarowe, integrować zarówno systemy pasywne jak i aktywne. Konstrukcja musi uwzględniać miejsce na niezbędne instalacje, takie jak centrale alarmowe czy tryskacze, co wpływa na układ przestrzenny obiektów. Obiekty muszą być podzielone na strefy o różnym stopniu ryzyka, takie jak strefy magazynowe, eksperymentalne czy bezpieczeństwa. Konieczne jest też zachowanie odpowiednich odległości separacyjnych między budynkami i obiektami, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się pożaru. Należy stosować innowacyjne materiały o niskiej palności i ograniczonej emisji toksyn, które zwiększają bezpieczeństwo i zmniejszają ryzyko w przypadku pożaru.

²⁸ Bourbia, S.; Kazeoui, H.; Belarbi, R. A review on recent research on bio-based building materials and their applications. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 2023. s.3-6.

3 BEZPIECZNA ARCHITEKTURA DLA SZKOLENIA STRAŻY POŻARNEJ

3.1 Programy szkoleniowe straży pożarnej

Przeprowadzanie szkoleń strażackich z wykorzystaniem materiałów niebezpiecznych pożarowo jest specjalistycznym tematem, który łączy w sobie elementy związane z bezpieczeństwem, zarządzaniem kryzysowym, a także z taktykami działań strażackich. Tego rodzaju szkolenia są często stosowane, aby przygotować strażaków do różnych niebezpiecznych sytuacji. Szkolenie strażaków jest kluczowym elementem przygotowania służb ratunkowych do walki z pożarami i innymi sytuacjami kryzysowymi. Aby zapewnić skuteczność strażaków, niezbędne jest realistyczne, bezpieczne i wszechstronne środowisko szkoleniowe. W tym kontekście odpowiednia architektura ośrodków szkoleniowych ma ogromne znaczenie. Powinna ona umożliwiać odwzorowanie rzeczywistych warunków pożarowych, a jednocześnie minimalizować ryzyko obrażeń lub zagrożeń dla strażaków podczas szkolenia.

I. Realistyczne środowiska szkoleniowe

Jednym z podstawowych celów architektury ośrodków szkoleniowych dla straży pożarnej jest zapewnienie realistycznych warunków symulacji pożarowych. W obiektach tych strażacy mogą ćwiczyć w różnych scenariuszach, co pozwala na nabycie doświadczenia w realnych warunkach. Ośrodki szkoleniowe powinny oferować różnorodne typy przestrzeni, takie jak:

- **Budynek mieszkalny:** Symulacje pożarów w domach wielorodzinnych, gasząc pożary w ciasnych przestrzeniach.
- **Budynek przemysłowy:** Symulacje dużych pożarów przemysłowych, które mogą być trudniejsze do opanowania, wymagając współpracy wielu jednostek.
- **Infrastruktura publiczna:** Symulacje pożarów w miejscach takich jak szkoły, szpitale czy stacje kolejowe, co przygotowuje strażaków na bardziej złożone operacje ratunkowe.²⁹

Każde z tych środowisk powinno być tak zaprojektowane, aby oddawać rzeczywiste wyzwania, jakie strażacy mogą napotkać w czasie akcji. Budynki treningowe powinny być wykonane z materiałów odpornych na ogień, które umożliwią wielokrotne użytkowanie, bez ryzyka poważnych uszkodzeń.

²⁹ Angle, J.S., Gala, M.F., Harlow, T.D., Lombardo, W.B., Maciuba, C.M. Firefighting strategies and tactics. s.201-225

II. Systemy kontrolowanej symulacji pożaru

Nowoczesna architektura szkoleniowa powinna umożliwiać prowadzenie kontrolowanych symulacji pożaru. W obiektach tych stosuje się zaawansowane systemy kontroli pożaru, które pozwalają na bezpieczne symulowanie różnych typów ognia. Symulacje te odzwierciedlają rzeczywiste warunki pożarowe, ale w sposób kontrolowany i bezpieczny. Takie systemy obejmują:

- **Symulatory ognia:** Stosowanie kontrolowanych płomieni zasilanych gazem lub innymi bezpiecznymi materiałami palnymi. Systemy te mogą być sterowane zdalnie, co pozwala na precyzyjne dostosowanie intensywności ognia do wymagań szkoleniowych.
- **Symulacja dymu:** Dym generowany podczas pożarów ma kluczowe znaczenie w szkoleniu strażaków, którzy muszą poradzić sobie z ograniczoną widocznością i trudnościami w oddychaniu. Ośrodki treningowe często stosują bezpieczne substytuty dymu, które realistycznie odwzorowują warunki pożarowe, ale są nieszkodliwe dla zdrowia.
- **Systemy wentylacji i kontroli atmosfery:** Umożliwiają szybkie usunięcie dymu i gorącego powietrza po zakończeniu symulacji, co minimalizuje ryzyko przegrzania uczestników i umożliwia szybkie powtórzenie ćwiczenia.

III. Technologie wspierające szkolenia

Współczesne szkolenia dla strażaków coraz częściej wykorzystują zaawansowane technologie, które ułatwiają i podnoszą jakość szkolenia. Architektura obiektów szkoleniowych powinna uwzględniać integrację takich technologii, jak:

- **Systemy VR (Virtual Reality):** Symulacje pożarów w wirtualnej rzeczywistości umożliwiają realistyczne szkolenie w bezpiecznym środowisku cyfrowym. VR pozwala na symulowanie różnorodnych scenariuszy pożarowych, w tym ekstremalnych sytuacji, które mogą być zbyt niebezpieczne do przećwiczenia w realnym świecie.
- **AR (Augmented Reality):** Technologia rzeczywistości rozszerzonej może być wykorzystywana do treningów w czasie rzeczywistym, nakładając wirtualne elementy na rzeczywiste otoczenie. Umożliwia to strażakom lepsze zrozumienie struktury budynków oraz kierunków rozprzestrzeniania się ognia.
- **Systemy analizy danych:** Po zakończeniu symulacji możliwe jest zbieranie i analizowanie danych z ćwiczeń, co pozwala na ocenę wydajności strażaków oraz identyfikację obszarów do poprawy. Dane te mogą obejmować czas reakcji, skuteczność działań gaśniczych oraz współpracę zespołową.³⁰

³⁰ Danielsen, J.M., Prasolova-Forland, E., Hokstad, L.M., Fominykh, M. CREATING SAFE AND EFFECTIVE LEARNING ENVIRONMENT FOR EMERGENCY MANAGEMENT TRAINING USING VIRTUAL REALITY. Norway, 2015.

Wdrożenie tych technologii w strukturę architektoniczną ośrodków szkoleniowych nie tylko podnosi jakość treningu, ale również poprawia bezpieczeństwo. Strażacy mogą ćwiczyć w realistycznych warunkach, a jednocześnie otrzymują narzędzia umożliwiające dokładne monitorowanie postępów i doskonalenie swoich umiejętności.

PODSUMOWANIE

Bezpieczna architektura ośrodków szkoleniowych dla straży pożarnej odgrywa kluczową rolę w przygotowaniu strażaków do działań w warunkach ekstremalnych. Realistyczne symulacje pożarowe, zaawansowane technologie oraz ścisłe środki bezpieczeństwa tworzą środowisko sprzyjające nabywaniu umiejętności niezbędnych do efektywnej walki z pożarami.

4 PRZYKŁAD OBIEKTU DO BADAŃ PALNOŚCI MATERIAŁÓW W POLSCE

Zlokalizowane w Tuchomie na terenie województwa Pomorskiego laboratorium specjalizujące się w badaniach systemów aktywnej ochrony przeciwpożarowej oraz palności materiałów - Baltic Fire Laboratory to jedno z największych tego typu obiektów w Europie. Obiekt został stworzony do przeprowadzania kompleksowych testów systemów gaśniczych oraz analizowania zachowania materiałów w kontakcie z ogniem.



Rys. 5 *budynek Baltic Fire Laboratory*
źródło: <https://www.bafilab.com/galleries>

Nowoczesna infrastruktura i zaawansowane technologie umożliwiają przeprowadzanie testów zgodnie z międzynarodowymi normami. Hala przeznaczona do testów ma powierzchnię 625 m² i wysokość 14m co daje objętość około 9000 m³. Taka przestrzeń pozwala na symulację rzeczywistych warunków pożarowych w pełnej skali, a także swobodny przepływ powietrza. Wnętrze zaprojektowano w sposób otwarty i łatwy do adaptacji, aby umożliwić swobodny montaż i demontaż różnorodnych urządzeń oraz systemów gaśniczych. Zastosowano też ruchomy sufit podzielony na dwa niezależne segmenty, co pozwala na symulację różnych scenariuszy pożarowych i precyzyjną kontrolę warunków testowych. Budynek wyposażony jest również w niezbędny, bardzo wydajny system wentylacji oraz nowoczesne systemy akwizycji danych co gwarantuje najwyższą precyzję pomiarów oraz wiarygodność wyników testów.

By zminimalizować wpływ działalności laboratoryjnej na środowisko stosowany jest system scrubber, który oczyszcza powietrze z substancji powstałych podczas testów, a woda po testach jest wstępnie oczyszczana na miejscu, a następnie przekierowywana do oczyszczalni.

5 PROJEKT CENTRUM BADANIA PALNOŚCI MATERIAŁÓW I SZKOLEŃ STRAŻACKICH – „FlameGuard Institute”

5.1 Opis lokalizacji projektu

Teren projektowy stanowi część działki 238/4, obręb 10 w miejscowości Skarszewy w województwie Pomorskim. Powierzchnia objęta opracowaniem wynosi 59 170,4 m². Działka zlokalizowana jest przy południowej granicy miasta, sąsiadując z ulicą Starogradzką, która jest jedną z głównych dróg dojazdowych do miejscowości. Część miasta w najbliższym otoczeniu terenu projektowego jest słabo zurbanizowana, przeważają tam tereny zielone, pojedyncze zakłady przemysłowe i małe osiedla domów jednorodzinnych. Położenie z dala od centrum miasta przy głównej arterii komunikacyjnej tworzy odpowiednio ustronne warunki do powstania kompleksu obiektów centrum badania palności i szkoleń strażackich, jednocześnie zapewniając dobry dojazd do danego miejsca. Teren nie jest objęty zapisami uchwały o Miejscowym Planie Zagospodarowania Przestrzennego.



Rys. 8,9 zdjęcia terenu – stan istniejący, wrzesień 2024
autor: Aleksandra Krużewska

5.2 Analiza kontekstu historyczno-kulturowego regionu

Skarszewy, podobnie jak inne miejscowości regionu pomorskiego, posiadają bogatą historię, która znajduje odzwierciedlenie w tradycyjnym budownictwie. Działka projektowa znajduje się w rejonie kociewskim, który charakteryzuje się specyficzną kulturą i tradycyjnymi motywami zdobniczymi wykorzystywanymi między innymi w architekturze.



Rys.10 tradycyjne wzornictwo rejonu Kociewia

źródło: <https://kociewianka.blogspot.com/2017/10/matka-polka-kociewska-wraca-i-opowiada.html>

Charakterystyczną cechą architektury regionu jest silna zależność od tradycji ludowej oraz wykorzystanie lokalnych materiałów budowlanych. Za budulec służyło głównie drewno, ale także glina, kamienie, trzcina i słoma. Drewniane chaty, charakterystyczne dachówki, stropy oraz detale zdobnicze, wykorzystujące tradycyjne wzory stały się nieodłącznym elementem wizerunku miast w rejonie kociewia. Kociewskie chaty wyróżniały się bogatymi zdobieniami na elewacji. Szczyty dekorowano wzorami przypominającymi romby lub jodełki, a w deskach wycinano ażurowe otwory w kształcie serc, kółek i kwadratów. Ponad szczytem umieszczano ozdobnie wycięte pazdury o fantazyjnych formach, którym przypisywano symboliczne, ochronne znaczenie oraz magiczną moc. Drzwi chat także były bogato zdobione często malowane na zielono z ozdobnymi obramowaniami oraz deszczułkami skierowanymi ostrzem ku górze. Podobny styl miały okiennice. Ramy okienne wyróżniały się ozdobnym wycięciem, miały brązowy kolor, a same okiennice były polichromowane na zielono.³¹



Rys.11 tradycyjna chata rejonu Kociewia

źródło: <https://kociewie24.eu/obiekt/kociewska-chata-podcieniowa-borzechowo/>

³¹ Nowak, M. Dziedzictwo architektoniczne Kociewia. Gdańsk: Wydawnictwo Pomorskie, 2012.

5.3 Analiza kontekstu przyrodniczego

Działka 238/4 zlokalizowana jest na terenie, który zgodnie z chwałą Nr XXXIV/262/09 Rady Miejskiej w Skarszewach z dnia 28 maja 2009 r. w sprawie utworzenia użytku ekologicznego „BORÓWIANKA”, znajduje się w granicach użytku ekologicznego „Borówianka”. W 2023r. rozpoczęto badania dotyczące oceny wartości przyrodniczych na tym terenie, które wykazały zanik chronionych na tym terenie gatunków, a teren prawdopodobnie zostanie poddany wyłączeniu z użytku ekologicznego.³²

Na potrzeby projektu przyjęte zostało, że teren projektowy nie jest objęty ochroną i nie należy do użytku ekologicznego „Borówianka”



Rys. 12 Analiza przestrzeni zielonych, opracowanie własne

Otoczenie działki stanowi gęsta osnowa leśna, która jest naturalną barierą między terenem projektowym, a osiedlami mieszkalnymi. W otoczeniu działki znajdują się obszary należące do Doliny Wierzycy, objęte ochroną, sąsiedztwo to wpływa na rozwiązania proekologiczne zastosowane w projekcie. Ponadto teren zlokalizowany jest na starym wyrobisku kopalnianym co wpływa na jego ukształtowanie. Topografia terenu jest bardzo zróżnicowana, przy północnej granicy działki znajduje się skarpa, gdzie maksymalna różnica wysokości wynosi 9m. Centralna część działki jest względnie płaska, co ułatwia lokalizację budynków. Duża różnica wysokości została wykorzystana w projekcie, jako obszar do ćwiczeń

³² Rekowska, E., Rekowski, A., Manikowska-Ślepowrońska, B., Ślepowroński, K., Ocena wartości przyrodniczych użytku ekologicznego Borówianka w miejscowości Skarszewy., Skarszewy, 2023.

terenowych dla straży pożarnej. Skarpa zapewnia naturalną przeszkodę, w której mogą zostać wydrążone tunele treningowe oraz stanowi dobre otoczenie dla symulacji np. akcji ratowniczych w gruzowiskach.

5.4 Analiza kontekstu architektonicznego

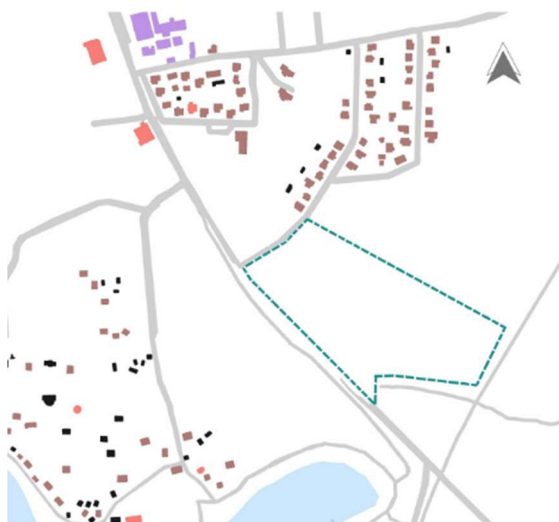
Działka 238/4 znajduje się w otoczeniu lasu i licznych terenów zielonych. Nie graniczy z żadną działką budowlaną. Od strony południowej graniczy z działką drogową. Od strony północno-zachodniej w odległości 10m od granicy działki znajduje się najbliższa działka budowlana, będąca częścią osiedla domów jednorodzinnych. Barię pomiędzy terenem projektowym a osiedlem mieszkaniowym stanowi gęste skupisko drzew. Poza osiedlami domów jednorodzinnych w najbliższym sąsiedztwie znajdują się nieliczne obiekty usługowe i przemysłowe. Zabudowa charakteryzuje się niewielką wysokością. W otoczeniu nie występują wyraźne elementy architektoniczne lub krajobrazowe dominujące w przestrzeni. Obszar cechuje się niską intensywnością zabudowy, co podkreśla jego przestrzenny charakter. Wygląd i cechy architektoniczne okolicznych budynków nie stanowią spójnej całości. Brak kontekstu architektonicznego do którego należałoby się odwołać.

ANALIZA RODZAJÓW ZABUDOWY

LEGENDA:

- GRANICA DZIAŁKI
- BUDYNKI MIESZKALNE
- BUDYNKI USŁUGOWE
- BUDYNKI PRZEMYSŁOWE
- INNE BUDYNKI

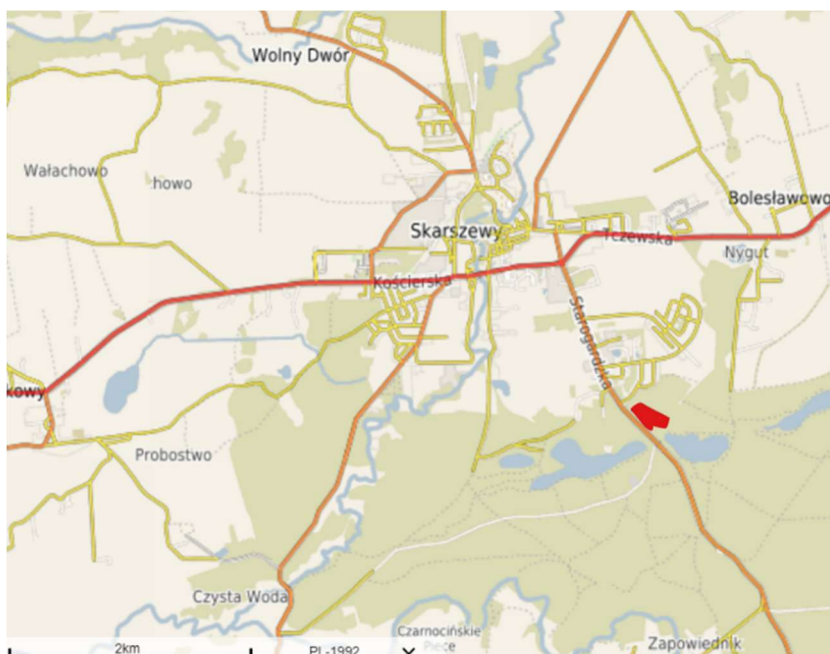
WNIOSKI:



Rys. 13 Analiza zabudowy,
opracowanie własne

5.5 Analiza kontekstu komunikacyjnego

Działka, której część stanowi teren projektowy jest korzystnie zlokalizowana pod względem komunikacyjnym. Posiada bezpośredni dostęp do drogi wojewódzkiej DW224 w woj. Pomorskim łączącej Wejherowo i Tczew, co zapewnia dobrą komunikację, zarówno z centrum miasta, jak i innymi miastami. W bliskim otoczeniu działki przebiega szlak rowerowy. W obecnym czasie na tym terenie nie ma przystanków transportu publicznego.



Rys.14 układ głównych dróg
źródło: <https://skarszewy.e-mapa.net/>

5.7 Plan zagospodarowania terenu

Koncepcja przewiduje zaprojektowanie zintegrowanego kompleksu, w którym trzy budynki stanowią główną część inwestycji Centrum „FlameGuard Institute”. Budynek A – laboratorium badania palności materiałów. Budynek B – ośrodek szkoleniowy straży pożarnej wraz z garażem na wozy strażackie. Budynek C – niewielki hotel dla zastępów straży odbywających szkolenia, budynek jest częścią planu koncepcyjnego, ale nie jest rozwiązywany pod względem programu funkcjonalnego i architektury. Każdy z tych obiektów ma inne funkcje, jednak razem tworzą spójną całość, której celem zapewnienie przestrzeni do realizacji specjalistycznych działań badawczo-szkoleniowych. Budynki zlokalizowane są w centralnej części działki gdzie występuje relatywnie płaski teren. Układ obiektów przybiera formę czteroramiennego znaku „+”, w którym każde z ramion wychodzi z centralnego, okrągłego placu. Plac ten stanowi punkt styku, a całość dodatkowo otacza okrągłe obejście. Taka geometryczna forma, widziana z lotu ptaka, przypomina logo Polskiej Ochotniczej Straży Pożarnej.

Poza głównymi obiektami, działka podzielona jest na trzy strefy funkcjonalne.

W centralnej i zachodniej części znajdują się przestrzeń przeznaczona do przeprowadzania różnych szkoleń i ćwiczeń strażackich. Składa się ona z obiektu sportowego w postaci stadionu wyposażonego w bieżnię, placu przeznaczonego na tworzenie torów przeszkód, wraz z placem zapewniającym przestrzeń dla ewentualnych uroczystości, zebrań lub parad, Wieży szkoleniowej, służącej do przeprowadzania ćwiczeń ewakuacyjnych, lądowiska dla dronów. W zachodniej części gdzie występuje największe zróżnicowanie terenu przewidziany jest poligon szkoleniowy do ćwiczeń w przekopach oraz symulacji np. gruzowisk po katastrofach budowlanych. Całość uzupełnia dodatkowa infrastruktura wspomagająca złożona z magazynów oraz toalet.

Część północno zachodnia to teren rekreacji i wypoczynku, przewidziany na potrzeby hotelu.

Po stronie południowo zachodniej zaplanowana jest infrastruktura obsługująca – parking na 60 samochodów osobowych, duży plac składowy, przewidziany na potrzeby laboratorium badania palności, wraz z zadaszoną wiatą, przeznaczony do czasowego składowania materiałów oczekujących na poddanie testom palności. W części tej przewidziane zostało również miejsce czasowego gromadzenia odpadów stałych w postaci wiaty na kontenery do segregacji. Miejsce to służy do obsługi wszystkich trzech budynków, a odległość do niego z głównych wejść budynków nie przekracza 80m.

Poza tym na terenie, w znacznej części, pozostanie istniejąca tam roślinność w postaci drzew i krzewów.

Integralną częścią projektu jest również zapewnienie odpowiedniej infrastruktury komunikacyjnej. Na działce drogi wewnętrzne oraz liczne utwardzone ciągi piesze, co umożliwi swobodny przepływ osób pomiędzy obiektami. W ramach układu komunikacyjnego zaplanowano także garaż dla wozów straży pożarnej wyposażony w bramy z obu stron, co zapewni płynny ruch pojazdów. Dla budynków A i B zgodnie z wymogami zapisów Warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie zaprojektowana została droga pożarowa. Zjazd na działkę przewidziany jest w części południowo wschodniej, bezpośrednio z ulicy Starogardzkiej. Całość terenu zostanie ogrodzona ogrodzeniem stalowym z bramą wjazdową oraz furtką.

5.8 Program funkcjonalny

- Budynek A: Laboratorium badania palności materiałów, będące głównym przedmiotem założenia Centrum „FlameGuard Institute”, zaprojektowane zostało w taki sposób by zapewnić maksymalne bezpieczeństwo przeprowadzanych badań. Projektowana przestrzeń zapewnia 2 główne rodzaje ruchu w obiekcie: droga dla pracowników oraz oddzielna droga przyjmowanych próbek materiałowych. Główne wejście prowadzi przez przeszklony wiatrołap, z którego do budynku prowadzą wejścia na dwie strony, prawa dla przyjmowanych próbek, lewa dla pracowników i ewentualnych osób z zewnątrz. W części wejścia gdzie przyjmowane są próbki znajduje się stanowisko pracownika sprawującego kontrolę zarówno nad dostarczającymi

przedmiotami, jaki i osobami wchodzącymi do budynku. Próbkę następnie trafiają do magazynu, następnie zaprojektowane zostało pomieszczenie przeznaczone na proces unifikacji próbek i przygotowania ich do badań. Bezpośrednio połączone z pomieszczeniami badawczymi oraz pomieszczeniem na odpady. W części wejściowej po lewej stronie przewidziany jest mały hol wejściowy. W części centralnej znajduje się węzeł szatni i toalet dla pracowników z podziałem na szatnię czystą i brudną oraz na płcie pracowników. Obiekt przystosowany jest do pracy ok. 40 osób na jednej zmianie. Szatnia stanowi bufor pomiędzy częścią bezpieczną, ogólnodostępną, a częścią laboratoryjną o zwiększonym rygorze bezpieczeństwa. Część laboratoryjna składa się z dwóch głównych pomieszczeń w których przeprowadzane są testy palności, z podziałem na testy obiektów wielkogabarytowych oraz na testy próbek w mniejszej skali. Pozostałe pomieszczenia służą analizie danych. W części „bezpiecznej” oddzielonej od laboratorium ścianą przeciwpożarową i stanowiącej oddzielną strefę pożarową zaprojektowane zostały pomieszczenia toalet ogólnodostępnych, pomieszczenie socjalne oraz pomieszczenie administracji biurowej. Pomieszczenie zaprojektowane we wschodniej części budynku, z oddzielnym wejściem, zapewnia niezbędną przestrzeń dla obsługujących obiekt urządzeń technicznych.

- Budynek B: obiekt szkoleniowy dla straży pożarnej. Dwa wejścia główne, zlokalizowane po przeciwnych stronach budynku prowadzą poprzez przeszklone wiatrołapy do holu głównego. Budynek podzielony został na dwie części dla różnych grup szkoleniowych. Strona południowa dla zastępów straży odbywających ćwiczenia plenerowe na terenie działki, gdzie znajdują się szatnie i toalety z podziałem na szatnię czystą i brudną oraz na płcie. W części tej przewidziany został garaż na wozy strażackie wraz z niezbędnym zapleczem magazynowym i technicznym. Poza wyżej wymienionymi, przewidziana została sala konferencyjna oraz pomieszczenie socjalne lub przeznaczone na potrzeby służb dyżurujących. Druga strona budynku stanowi część szkoleniową do przeprowadzania ćwiczeń wewnątrz budynku. Zaplanowany został tam drugi węzeł szatni, pomieszczenie siłowni oraz pomieszczenia do różnych szkoleń takie jak: pomieszczenie ćwiczeń pierwszej pomocy, pokój symulacji wirtualnej rzeczywistości, komora dymowa oraz sala pożarów kontrolowanych zaprojektowana w sposób zapewniający pełną mobilność ustawień ścian i modułów przeszkód, poprzez zastosowanie suwnic. Pozwala to na przeprowadzanie symulacji pożarów w różnych warunkach. Przy pomieszczeniach gdzie przeprowadzane są szkolenia z wykorzystaniem ognia lub dymu znajduje się pomieszczenie kontrolne pozwalające na obserwację odbywających się tam ćwiczeń oraz magazyn, w którym przechowywane są moduły do tworzenia symulacji.

5.9 Bryła budynku i elementy wykończenia elewacji

Budynki A i B podzielone są na bryły o różnej wysokości w zależności od przeznaczenia danej części budynku. Wysokość budynków w miejscach gdzie przeprowadzane są badania i ćwiczenia z wykorzystaniem ognia sięga 12m, garaż ma wysokość 6m a pozostałe części 4,5m. Bryły są proste, w miejscach wejść oraz otworów okienny zastosowany został zabieg wycofania

elewacji o 1,2-2,5 m w celu wprowadzenia pionowych podziałów na długich horyzontalnych elewacjach.

Elewacje w głównej mierze wykonane są z betonu architektonicznego w częściach gdzie elewacja jest wycofana wprowadzone zostały donice na roślinność. Elewacja pozostaje surowa z elementami zieleni co wkomponowuje ją w otaczający krajobraz. Wyższe części budynków pokryte są elewacją z blachy perforowanej montowanej na ruszcie stalowym. Motyw perforacji blachy wykorzystuje tradycyjne wzornictwo wykorzystywane w przeszłości na terenie Kociewia. Dachy budynków płaskie z wysokimi attykami, pozwalającymi na zasłonięcie jednostek i urządzeń technicznych znajdujących się na powierzchni dachów.

6 ZAGADNIENIA OCHRONY PRZECIWOPOŻAROWEJ

6.1 Charakterystyka obiektów

- Budynek A to budynek parterowy. Zakwalifikowany jako budynek o wysokości poniżej 12 m – niski, o łącznej powierzchni 962m² i kubaturze 7 765m³

- Budynek B to budynek parterowy. Zakwalifikowany jako budynek o wysokości poniżej 12 m – niski, o łącznej powierzchni 2077m² i kubaturze 14 025m³

6.2 Charakterystyka zagrożenia pożarowego

W budynkach prowadzone będą działania z użyciem materiałów niebezpiecznych pożarowo. Mogą być przechowywane i badane substancje o wysokiej łatwopalności. W laboratorium istnieje także ryzyko niekontrolowanego łączenia się substancji, co może skutkować gwałtownym wzrostem temperatury, eksplozją lub intensywnym rozprzestrzenianiem się ognia.

6.3 Kategoria zagrożenia ludzi

Budynki kategorii zagrożenia ludzi ZL II. Nie przewiduje się pomieszczeń przeznaczonych do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób.

6.4 Gęstość obciążenia ogniowego

Nie dotyczy kategorii ZL. Dla części zakwalifikowanych do kategorii PM nie przewiduje się gęstości obciążenia przekraczającego 1000 [MJ/m²].

6.5 Klasa odporności pożarowej

Zgodnie z § 212 ust. 2 przepisu WT dla budynku niskiego w kategorii ZL III wymaga się klasy odporności pożarowej „C”. Dla stref PM wymagana klasa odporności to pożarowej „D”. W projekcie przyjęto klasę odporności „C” dla całego obiektu.

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej elementów budynku ^{1) 2)}					
	główna konstrukcja nośna	konstrukcja dachu	strop ¹⁾	ściana zewnętrzna ^{1), 2)}	ściana wewnętrzna ¹⁾	przekrycie dachu ³⁾
"C"	R 60	R 15	R E I 60	E I 30 (0 ↔ i)	E I 15 ⁴⁾	R E 15

tabela 2 Klasy odporności ogniowych elementów budynku

źródło: Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej				
	elementów oddzielenia przeciwpożarowego		drzwi przeciwpożarowych lub innych zamknięć przeciwpożarowych	drzwi z przedsionka przeciwpożarowego	
	ścian i stropów, z wyjątkiem stropów w ZL	stropów w ZL		na korytarz i do pomieszczenia	na klatkę schodową ⁴⁾
"B" i "C"	R E I 120	R E I 60	E I 60	E I 30	E 30

tabela 3 Klasy odporności ogniowej

źródło: Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

6.6 Strefy pożarowe

W budynku w budynku o jednej kondygnacji nadziemnej (bez ograniczenia wysokości) posiadającym kategorię zagrożenia ludzi ZL III dopuszczalna powierzchnia strefy pożarowej wynosi 10 000 m².

Dla budynków posiadających strefę PM z pomieszczeniem zagrożonym wybuchem, dla wartości obciążenia ogniowego poniżej 1000 [MJ/m²] dopuszczalna powierzchnia strefy pożarowej wynosi 6 000 m².

Budynek A podzielony został, ścianami oddzielenia pożarowego REI120 wysuniętymi poza lico ścian zewnętrznych o min 30cm, na 3 strefy pożarowe:

- strefa ZLIII o powierzchni wewnętrznej ok. 360m²
- strefa ZLIII o powierzchni wewnętrznej ok. 535m²
- strefa PM o powierzchni wewnętrznej ok. 80m²

Budynek B podzielony został, ścianami oddzielenia pożarowego REI120 wysuniętymi poza lico ścian zewnętrznych o min 30cm, na 3 strefy pożarowe:

- strefa ZLIII o powierzchni wewnętrznej ok. 660m²
- strefa ZLIII o powierzchni wewnętrznej ok. 1 400m²
- strefa PM o powierzchni wewnętrznej ok. 620m²

6.7 Odległości od obiektów sąsiednich

Budynki zachowują odległość od sąsiedniej zabudowy minimum 8 m.

6.8 Warunki ewakuacji

Ewakuacja odbywa się bezpośrednio na zewnątrz budynku i do innych stref pożarowych. Szerokość poziomych dróg ewakuacyjnych nie może być mniejsza niż 1,4 m. Drzwi otwierające się na drogę ewakuacyjną z pomieszczeń nie przeznaczonych na pobyt ludzi w sposób mogący zawężyć drogę ewakuacyjną, muszą być wyposażone w samozamykacze.

Dopuszczalna długość przejścia w pomieszczeniu kwalifikowanym do ZL - do 40 m - § 237 ust. 1 przepisu WT. Przejście nie może prowadzić łącznie przez więcej niż trzy pomieszczenia. W projektowanych budynkach długości przejść ewakuacyjnych spełniają powyższe wymagania i nie przekraczają obowiązujących długości.

Dopuszczalna długość dojsć ewakuacyjnych wynoszą do 10 m przy jednym dojsciu - § 256 ust. 3 przepisu WT, oraz do 40 m przy dwóch dojsciach, a dojsčia te nie mogą się pokrywać ani krzyżować. Długości dojsć ewakuacyjnych spełniają powyższe wymagania i nie przekraczają obowiązujących długości.

6.9 Zabezpieczenie instalacji użytkowych

- w szachtach przewodów wentylacyjnych nie należy wprowadzać innych instalacji
- przewody i kable w miejscu przejścia przez element oddzielenia przeciwpożarowego powinny być prowadzone w certyfikowanych przepustach przeciwpożarowych, o klasie odporności ogniowej równej klasie elementu oddzielenia pożarowego
- zastosowane w instalacjach wodociągowych, kanalizacyjnych i grzewczych izolacje cieplne i akustyczne powinny być wykonane w sposób zapewniający nierozprzestrzenianie się ognia
- budynek należy wyposażać w główny wyłącznik prądu umieszczony w pobliżu wejścia do budynku lub głównego przyłącza sieciowego i odpowiednio oznakowany. Główny wyłącznik prądu powinien odcinać dopływ prądu do wszystkich obwodów z wyjątkiem tych, które obsługuje instalacja urządzeń niezbędnych podczas pożaru

6.10 Dobór urządzeń przeciwpożarowych w obiekcie

W obrębie obszaru powinny znajdować się:

- Hydranty przeciwpożarowe wewnętrzne „25” obejmujący swoim zasięgiem przebudowywane strefy pożarowe, wyposażone w węże pólshtywne o długości 30 m,
- Instalacja oświetlenia awaryjnego,
- System sygnalizacji pożaru obejmujący urządzenia sygnalizacji alarmowej, służące do samoczynnego wykrywania i przekazywania informacji o pożarze
- Przeciwpożarowy wyłącznik prądu odcinający dopływ prądu

6.11 Wyposażenie w gaśnice

Budynek wymaga wyposażenia w gaśnice po 2 kg na każde 100 m² powierzchni, a odległość do gaśnicy z każdego miejsca w budynku nie powinna przekraczać 30m. Dookoła każdej gaśnicy powinno być pole zapewniające bezpieczny dostęp o szerokości co najmniej 1m.

6.12 Droga pożarowa

Budynki A i B wymagają zapewnienia drogi pożarowej zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych. Została zaprojektowana droga pożarowa o szer. min 4m w odległości 5m od ścian budynków. Dojazd do drogi pożarowej zapewniony bezpośrednio z ulicy Starogardzkiej.

7 ROZWIĄZANIA TECHNOLOGICZNE I ARCHITEKTONICZNE ZAPEWNIAJĄCE BEZPIECZEŃSTWO BADAŃ I SZKOLEŃ

7.1 Rozwiązania technologiczne

- **Systemy monitoringu i wczesnego ostrzegania**
Budynki wyposażone w zaawansowane czujniki dymu, gazu i temperatury, które nieustannie monitorują warunki panujące w obiektach. Systemy te zintegrowane są z centralnym systemem zarządzania bezpieczeństwem, który w przypadku wykrycia nieprawidłowości automatycznie powiadamia personel oraz służby ratownicze.
- **Zaawansowane systemy wentylacyjne**
Wentylacja jest kluczowym elementem zapewnienia bezpieczeństwa. Wydajna wentylacja, która umożliwia szybkie usuwanie toksycznych oparów oraz kontrolę temperatury w pomieszczeniach eksperymentalnych. Systemy te zawierają mechanizmy automatycznego sterowania przepływem powietrza, dostosowując intensywność wentylacji do aktualnych warunków.
- **Inteligentne systemy zarządzania**
Integracja systemów IT umożliwia centralne sterowanie wszystkimi aspektami bezpieczeństwa. Obejmuje to monitorowanie stanu instalacji, automatyczne przełączanie systemów awaryjnych oraz szybkie reagowanie na nieprzewidziane sytuacje.
- **Systemy kontroli dostępu**
Systemy zapewniające ograniczenie dostępu do pomieszczeń z niebezpiecznymi substancjami.

7.2 Rozwiązania architektoniczne

- **Strefowanie i separacja obszarów zagrożenia**
Budynki projektowane w sposób umożliwiający wyraźne rozdzielanie obszarów narażonych na działanie ognia od stref bezpiecznych. Oddzielne pomieszczenia badawcze, szkoleniowe oraz strefy techniczne są połączone w taki sposób, aby w razie zagrożenia łatwo było odizolować źródło niebezpieczeństwa.
- **Materiały budowlane odporne na ogień**
W konstrukcji obiektów wykorzystywane są materiały o wysokiej odporności ogniowej, takie jak ognioodporne szkło oraz stal o podwyższonej odporności na wysokie temperatury.
- **Projektowanie dróg ewakuacyjnych**
W każdym z budynków zaprojektowany został system dróg ewakuacyjnych zgodny z obowiązującymi przepisami, aby zapewnić bezpieczeństwo w przypadku zagrożenia.

- **Strefy buforowe i przestrzenie awaryjne**

Dodatkowym zabezpieczeniem są korytarze, które pełnią funkcję bufora między pomieszczeniami o podwyższonym ryzyku a głównymi strefami użytkowymi. Takie rozwiązania architektoniczne umożliwiają wydłużenie czasu na reakcję systemów bezpieczeństwa.

- **Podział na moduły**

W budynkach istnieje ryzyko wystąpienia wybuchu dlatego projektowany jest podział budynków na moduły o różnej wysokości i materiale konstrukcyjnym. W strefach testowych i szkoleniowych wykorzystana została lekka konstrukcja stalowa z lekkim dachem co w przypadku wybuchu pozwala na uwolnienie nadmiaru ciśnienia. W pomieszczeniach tych drzwi i okna otwierane są na zewnątrz pomieszczenia, stosuje się też ściany o konstrukcji modułowej lub panele z kontrolowanymi punktami przełamania (blast walls), które są projektowane o mniejszej wytrzymałości niż standardowe panele, aby mogły zostać łatwo zniszczone przy niższym poziomie ciśnienia i uwolnić nadmiar energii i skierować falę uderzeniową na zewnątrz.

PODSUMOWANIE

Podsumowując, prace nad badaniem palności materiałów niebezpiecznych oraz ich przechowywanie wymuszają wprowadzenie szeregu rozwiązań w projektowaniu budynków. W rezultacie architektura tych obiektów nie tylko musi spełniać funkcje badawcze i szkoleniowe, ale również gwarantować najwyższy poziom bezpieczeństwa użytkowników, co wpływa na ostateczny kształt i układ przestrzenny budynków.

WYKAZ LITERATURY

- **Angle, J.S., Gala, M.F., Harlow, T.D., Lombardo, W.B., Maciuba, C.M.** Firefighting strategies and tactics.
- **Bakhtiyari, S.; Akbari, L. T.; Ashtiani, M.J.** An investigation on fire hazard and smoke toxicity of epoxy FRP composites, *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*. 8, 2017.
- **Bird, S.N.; Bouchlaghem, N.M.; Glockling, J.; Yeomans. S.** DECISION PROBLEM STRUCTURING METHOD FOR THE SPECIFICATION AND SELECTION OF ACTIVE FIRE PROTECON SYSTEMS. Centre for Innovative & Collaborative Construction. Sao Paulo. Brazil, 2012.
- **Borucka, M.; Mizera, K.** Substancje niebezpieczne emitowane podczas rozkładu termicznego i spalania chemoutwardzalnych tworzyw sztucznych. Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy, 2022.
- **Bourbia, S.; Kazeoui, H.; Belarbi, R.** A review on recent research on bio-based building materials and their applications. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 2023.
- **Danielsen, J.M., Prasolova-Forland, E., Hokstad, L.M., Fominykh, M.** CREATING SAFE AND EFFECTIVE LEARNING ENVIRONMENT FOR EMERGENCY MANAGEMENT TRAINING USING VIRTUAL REALITY. Norway, 2015.
- **Ditlev, J., Orrainen, M.** Fire Safety in Laboratories, CFP-A-E Guideline nr 28, 2012
- **Ditrich, E.** The Sustainable Laboratory Handbook: Design, Equipment, Operation. 2015.
- **Einhorn, I.** Physiological and toxicological aspects of smoke produced during the combustion of polymeric materials, „*Environ Health Perspect.*” 1975, nr 11.
- **Hakkarainen, T.** Studies on fire safety assessment of construction products. Technical Research Centre of Finland. 2002.
- **Jaskółowski, W.** Ocena Toksyczności Środowiska Pożarowego – problem nie do rozwiązania? *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 27. 2018.
- **Kłodys, K.** Magazynowanie chemikaliów. ODDK, 2016.
- **Kowalski, R.** Konstrukcje żelbetowe w warunkach pożarowych. PWN, 2019.
- **McKenna, S.T.; Hull, T.R.** The fire toxicity of polyurethane foams. *Fire Sci. Rev.* 2016.
- **Mullins-Jaime, C.; Smith, T.D.** Nanotechnology in Residential Building Materials for Better Fire Protection and Life Safety Outcomes. *Fire* 2022, 5, 174. s.6-8
- **Neufert, E.** Neufert Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego. Wydawnictwo ARKADY, 2022.
- **Nolan, D; Aramco, S.** Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical, and Related Facilities. United States, 2019.
- **Noll, G., Hildebrand, M.S., Schnepf, R., Rudner, G.D.** Hazardous Materials: Managing the Incident. Burlington, 2014.
- **Nowak, M.** Dziedzictwo architektoniczne Kociewia. Gdańsk: Wydawnictwo Pomorskie, 2012.
- **Osikowicz, Ł.; Szczerba, K.** Zasady bezpiecznej eksploatacji obiektów. Józefów, 2012.
- **Popis, J.** Historia pożarnictwa w Polsce, *Kultura Bezpieczeństwa. Nauka – Praktyka – Refleksje*, Volume 14(14), 153-172, 2013.
- **Porowski, R.; Kuźnicki, Z.; Małozieć, D.; Dziechciarz, A.** Oznaczanie toksyczności produktów spalania – przegląd stanu wiedzy. *Bezpieczeństwo i technika pożarnicza*, vol 52, nr 4, s. 82-99, 2018.
- **Prokop, M. I.** Historia bezpieczeństwa ogniowego w Królestwie Polskim w latach 1831-

1855, Zakłady Graficzne E. i D-ra K. Koźmińskich w Warszawie, Warszawa 1934. s.9

- **Rabajczyk, A.; Zielecka, M.; Małozieć, D.** Hazards Resulting from the Burning Wood Impregnated with Selected Chemical Compounds.
- **Rekowska, E., Rekowski, A., Manikowska-Ślepówrońska, B., Ślepówroński, K.,** Ocena wartości przyrodniczych użytku ekologicznego Borówianka w miejscowości Skarszewy., Skarszewy, 2023.
- **Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r.** w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
- **Skiepmo, E.** Instalacje przeciwpożarowe. Warszawa, 2010.
- **Stull, J.; Paul, P.; Reynolds, J.** Recommendations for Developing and Implementing a Fire Service Contamination Control Campaign, February 2018.
- **Susło, R.; Paplicki, M.; Dopierała, K.; Wrzesiński J.A.** Pożary odpadów a narażenie strażaków na substancje toksyczne. Prawo 326. 2018.
- **Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r.** o Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. z 1991, nr 88, poz 400, art. 1.)
- **Węgrzyński, W.** Fire Testing Laboratory in performance based engineering. Pionki, 2016
- **Xiaogin, H.; Kraaijeveld, A.; Log, T.** Numerical Investigation of the Required Quantity of Inert Gas Agents in Fire Suppression. 2020.
- **Żuchowicki, A. W.** Ochrona przeciwpożarowa obiektów budowlanych w trakcie ich eksploatacji. Koszalin, 2007.

WYKAZ RYSUNKÓW

1. **Rys. 1** pierwszy kalorymetr stożkowy
źródło: <https://www.uv.es/bertomeu/revquim2/web/instrume/2.htm>
2. **Rys. 2** Panele z kontrolowanymi punktami przełamania
źródło: Riemens,N. Dedden, R. AUTOMATED DESIGN FOR CORRUGATED BLAST WALL PROJECTS
3. **Rys. 3** skrubler do neutralizacji zanieczyszczeń
źródło: <https://www.tecnosida.pl/przemyslowy-mokry-skruber>
4. **Rys. 4** oznaczenie strefy zagrożonej wybuchem
źródło: Wzór graficzny zgodny z ROZPORZĄDZENIEM MINISTRA GOSPODARKI z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej (Dz. U. Nr 138 Poz. 931 rok 2010)
5. **Rys. 5** budynek Baltic Fire Laboratory, źródło: <https://www.bafilab.com/galleries>
6. **Rys. 6** budynek Baltic Fire Laboratory – przeprowadzane testy
źródło: <https://www.bafilab.com/galleries>
7. **Rys. 7** budynek Baltic Fire Laboratory – przeprowadzane testy
źródło: <https://www.bafilab.com/galleries>
8. **Rys. 8** zdjęcia terenu – stan istniejący, wrzesień 2024, autor: Aleksandra Krużewska
9. **Rys. 9** zdjęcia terenu – stan istniejący, wrzesień 2024, autor: Aleksandra Krużewska
10. **Rys. 10** tradycyjne wzornictwo rejonu Kociewia

źródło: <https://kociewianka.blogspot.com/2017/10/matka-polka-kociewska-wraca-i-opowiada.html>

11. Rys. 11 tradycyjna chata rejonu Kociewia

źródło: <https://kociewie24.eu/obiekt/kociewska-chata-podcieniowa-borzechowo/>

12. Rys. 12 Analiza przestrzeni zielonych, opracowanie własne

13. Rys. 13 Analiza zabudowy, opracowanie własne

14. Rys. 14 układ głównych dróg, źródło: <https://skarszewy.e-mapa.net/>

WYKAZ TABEL

1. Tabela 1 Podział gazów emitowanych w czasie pożaru. Źródło: Borucka, M.; Mizera, K. Substancje niebezpieczne emitowane podczas rozkładu termicznego i spalania chemoutwardzalnych tworzyw sztucznych.

2. Tabela 2 Klasy odporności ogniowych elementów budynku

źródło: Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

3. Tabela 3 Klasy odporności ogniowej

źródło: Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie