

dr inż. Szymon Dawczyński¹⁾
ORCID: 0000-0002-3937-3205

Occupational safety and construction and operational solutions for green roofs

Bezpieczeństwo pracy a rozwiązania konstrukcyjne i eksploatacyjne dachów zielonych

DOI: 10.15199/33.2025.09.25

Abstract: The paper addresses occupational safety in the context of the design, construction and operation of green roofs. Key design solutions to reduce occupational risks are presented, including belay systems, technical paths and edge protection. The specifics of operational work and the associated risks are also discussed. The need to integrate health and safety principles right from the design stage and the importance of systematic inspection and training of personnel was emphasised.

Keywords: green roofs; occupational safety; structural solutions; belay systems; roof infrastructure.

Streszczenie: Artykuł podejmuje problematykę bezpieczeństwa pracy w kontekście projektowania, wykonawstwa i eksploatacji dachów zielonych. Przedstawiono kluczowe rozwiązania konstrukcyjne ograniczające ryzyko zawodowe, w tym systemy asekuracyjne, ścieżki techniczne oraz zabezpieczenia krawędziowe. Omówiono także specyfikę prac eksploatacyjnych i związane z nimi zagrożenia. Podkreślono konieczność uwzględnienia zasad BHP już na etapie projektowania oraz znaczenie systematycznej kontroli i szkoleń dla personelu.

Słowa kluczowe: zielone dachy; bezpieczeństwo pracy; rozwiązania konstrukcyjne; systemy asekuracyjne; infrastruktura dachowa.

Growing public awareness and contemporary challenges related to urbanisation, adverse climate change and environmental degradation have contributed to the intensive development of green infrastructure in cities. One of the key elements of this infrastructure are green roofs, which serve not only ecological but also economic and social functions, contributing to, among other things, improved air quality, reduced urban heat island effect, and increased rainwater retention [1, 2].

Data from the European Environment Agency (EEA) shows that the area of green roofs in European cities is increasing by an average of 17% per year [3], which illustrates the dynamic growth in interest in this technology. However, the development of green roofs also brings new challenges in terms of occupational safety. The presence of vegetation, substrate layers and water, as well as variable loads on the structure and difficult operating conditions, significantly increase the risk of accidents related to working at height, both during construction and during the maintenance and operation of green roofs.

Statistics show that working at height, including on roofs, is one of the most dangerous types of construction activity. Eurostat data shows that in 2022, approximately 28% of fatal accidents at work in the construction sector in the European Union were the result of falls from height [4]. In the context of green roofs, this risk is further exacerbated by factors such as wet or icy plant surfaces or technical routes, hidden structural elements (cables and anchors for securing taller vegetation or small architectural elements) and limited visibility of certain edges.

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa; szymon.dawczynski@polsl.pl

Coraz większa świadomość społeczna i współczesne wyzwania związane z urbanizacją, niekorzystnymi zmianami klimatycznymi oraz degradacją środowiska naturalnego przyczyniły się do intensywnego rozwoju zielonej infrastruktury w miastach. Jednym z kluczowych elementów tej infrastruktury są dachy zielone, które pełnią funkcje nie tylko ekologiczne, ale również gospodarcze i społeczne, wpływając m.in. na poprawę jakości powietrza, ograniczenie efektu miejskiej wyspy ciepła oraz zwiększenie retencji wód opadowych [1, 2].

Z danych Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) wynika, że powierzchnia dachów zielonych w miastach europejskich zwiększa się średnio o 17% rocznie [3], co obrazuje dynamiczny wzrost zainteresowania tą technologią. Rozwój dachów zielonych niesie jednakże ze sobą nowe wyzwania dotyczące bezpieczeństwa pracy. Obecność roślinności, warstw substratu oraz wody, a także zmienne obciążenie konstrukcji i trudne warunki eksploatacyjne, zwiększają znacznie ryzyko wypadków związanych z pracą na wysokości zarówno podczas budowy, jak i w fazie utrzymania oraz eksploatacji dachów zielonych.

Statystyki wskazują, że prace na wysokości, w tym na dachach, są jednym z najbardziej niebezpiecznych rodzajów działalności budowlanej. Z danych Eurostatu wynika, że w 2022 r. około 28% śmiertelnych wypadków przy pracy w sektorze budowlanym w Unii Europejskiej było skutkiem upadków z wysokości [4]. W kontekście dachów zielonych zagrożenie to jest dodatkowo spotęgowane przez czynniki takie, jak wilgotna lub oblodzona nawierzchnia roślinna lub traktów technicznych, ukryte elementy konstrukcyjne (linki i kotwy do mocowania wyższej roślinności lub elementów małej architektury) oraz ograniczona widoczność niektórych krawędzi.

Safety on green roofs therefore requires a comprehensive approach that includes both appropriate structural solutions and operational procedures. It is necessary to design roofs with safety requirements in mind, including the use of protective barriers, anchor points for safety systems and appropriate communication paths. It is equally important to properly prepare users through health and safety training and the implementation of regular maintenance and inspection procedures.

The literature emphasises the importance of integrating safety aspects at the design stage [5], which in the case of green roofs means designing solutions that minimise the risk of falls and facilitate the safe performance of operational and maintenance activities.

The aim of this paper is to analyse the relationship between green roof design solutions and occupational safety, both during installation and operation. The paper identifies the main hazards and the effectiveness of existing safety measures, and discusses good practices related to the operation of this type of facility.

Characteristics of green roofs

Green roofs can be divided into three main categories: **extensive**, **intensive** and **semi-intensive**, differing in terms of substrate layer thickness, type of vegetation, structural requirements and maintenance intensity [6]. Table 1 provides a basic classification of green roofs along with their brief characteristics. Extensive roofs are characterised by a thin layer of substrate (8 to 15 cm) and plantings of species such as mosses, sedums and hardy grasses. Their advantages include low weight and minimal maintenance requirements. Intensive roofs resemble traditional ground gardens, with a thick layer of substrate (over 25 cm) allowing for the planting of shrubs and even small trees. They require intensive care and access for people (for recreational and maintenance purposes). Semi-intensive roofs are an intermediate solution, combining the features of both of the above types.

The Green Roofs for Healthy Cities report shows that approximately 64% of new green roof installations in the North American market are extensive roofs, while intensive roofs account for approximately 31% [7]. These disparities are even greater in the European market. Despite the lack of accurate figures, based on a report [8] on total market revenue in 2024, it can be estimated that approximately 85% of all green roof installations on the continent are extensive roofs, while intensive roofs account for only about 15% of the market share. The dominance of extensive roofs is particularly evident in countries at the forefront of green roof technology

Bezpieczeństwo pracy na dachach zielonych wymaga zatem kompleksowego podejścia obejmującego zarówno odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne, jak i procedury eksploatacyjne. Konieczne jest projektowanie dachów z uwzględnieniem wymagań bezpieczeństwa, w tym stosowania barier ochronnych, punktów kotwiczenia systemów asekuracyjnych oraz odpowiednich ścieżek komunikacyjnych. Równie istotne jest właściwe przygotowanie użytkowników przez szkolenia BHP oraz wdrażanie procedur regularnej konserwacji i inspekcji.

W literaturze podkreśla się znaczenie integracji aspektów bezpieczeństwa już na etapie projektowania [5], co w przypadku dachów zielonych oznacza projektowanie rozwiązań, które minimalizują ryzyko upadków oraz ułatwiają bezpieczne prowadzenie czynności eksploatacyjnych i konserwacyjnych.

Celem artykułu jest dokonanie analizy zależności pomiędzy rozwiązaniami konstrukcyjnymi dachów zielonych a bezpieczeństwem pracy, zarówno w fazie montażu, jak i podczas eksploatacji. Przedstawiono w nim identyfikację głównych zagrożeń i skuteczność istniejących zabezpieczeń oraz omówiono dobre praktyki związane z eksploatacją tego typu obiektów.

Charakterystyka dachów zielonych

Dachy zielone można podzielić na trzy główne kategorie: **ekstensywne**, **intensywne** oraz **półintensywne**, różniące się pod względem grubości warstwy substratu, rodzaju roślinności, wymagań konstrukcyjnych oraz intensywności zabiegów pielęgnacyjnych [6]. W tabeli 1 podano podstawową klasyfikację dachów zielonych wraz z ich krótką charakterystyką. Dachy ekstensywne charakteryzują się cienką warstwą substratu (8–15 cm) i nasadzeniami z gatunków takich, jak mchy, rozchodniki czy trawy odpornych gatunków. Ich zaletą jest niska masa własna oraz minimalne potrzeby konserwacyjne. Dachy intensywne przypominają tradycyjne ogrody naziemne, z grubą warstwą substratu (powyżej 25 cm) umożliwiającą sadzenie krzewów, a nawet niewielkich drzew. Wymagają one intensywnej pielęgnacji oraz dostępu dla ludzi (w celach rekreacyjnych i pielęgnacyjnych). Dachy półintensywne stanowią rozwiązanie pośrednie, łączące cechy obu typów.

Z raportu Green Roofs for Healthy Cities wynika, że ok. 64% nowych dachów zielonych na rynku północnoamerykańskim to dachy ekstensywne, podczas gdy dachy intensywne stanowią ok. 31% [7]. Na rynku europejskim te dysproporcje są jeszcze większe. Mimo braku dokładnych danych liczbowych, na podstawie raportu [8], dotyczącego całkowitego

Table 1. Classification of green roofs [6]
Tabela 1. Klasyfikacja dachów zielonych [6]

Roof type/ Typ dachu	Substrate thickness/ Grubość substratu [cm]	Type of vegetation/ Rodzaj roślinności	Maintenance requirement/ Wymagania konserwacyjne	Estimated roof load/ Szacunkowe obciążenie dachu [kN/m ²]
Extensive/ Ekstensywny	8 – 15	grasses, herbs, small shrubs/ rozchodniki, sukulenty, mchy	low/małe	0.6 – 1.8
Semi-intensive/ Półintensywny	15 – 25	grasses, herbs, small shrub/ trawy, zioła, małe krzewy	medium/średnie	1.5 – 3.5
Intensive/ Intensywny	> 25	ornamental grasses, shrubs, small trees/ trawy ozdobne, krzewy, małe drzewa	high/wysokie	> 3.5

development, such as Germany, Switzerland, Austria and the Netherlands.

The layered structure of green roofs, comprising vegetation and protective layers arranged in the correct order, is a key element of their functionality. A typical layer arrangement is as follows: waterproofing to protect the building structure against water penetration; a root barrier layer protecting the waterproofing from damage by root systems; a drainage layer allowing excess water to be drained away; a filter layer preventing the movement of substrate particles; a layer of specialised vegetation substrate and a plant layer. According to research [9], a properly designed layered system can improve the thermal insulation of a building by up to 20–30% compared to traditional roofs. Green roofs also offer many environmental and functional benefits. In ecological terms, they improve air quality by absorbing pollutants (including carbon dioxide) and contribute to increasing urban biodiversity [10], and in terms of hydrology, the installation of green roofs reduces annual rainwater runoff by 50–90%, which significantly reduces the risk of flooding in cities [11]. Another important function is the improvement of the energy balance of buildings. Green roofs can lower the surface temperature of roofs by up to 40°C compared to traditional roofs, reducing cooling requirements by 10–30% [12]. Furthermore, green roofs contribute to improved acoustic comfort by reducing external noise by 8–12 dB [13], as well as improving the aesthetics of buildings and their market value.

Risks associated with the use of green roofs

Despite their many environmental and functional benefits, green roofs pose a number of potential risks that must be taken into account during the design, construction and subsequent maintenance phases. **These risks** can be divided into three main groups: **those related to structural loads, user safety and the durability of roofing systems.**

From a structural point of view, green roofs generate additional loads, including not only the dead weight of the substrate and vegetation layers, but also variable loads associated with rainwater retention and snow accumulation. In the case of intensive green roofs, operational loads can exceed 3.5 kN/m². Failure to take these loads into account can result in excessive deflection or even cracking of load-bearing elements, damage to waterproofing, and in extreme cases, local structural failure.

Another important aspect is **safety when working on green roofs**. Plant care, irrigation system maintenance and technical inspections require regular access to the roof surface. Therefore, it is necessary to design safe work zones, provide an appropriate safety system and implement procedures to reduce the risk of falls from height. Green roofs, especially intensive ones, often require work to be carried out in changing weather conditions (moisture, icing), which further increases the risk of slips and falls.

The third category of risks is **the material degradation of green roof components**. Environmental conditions such as cyclical temperature changes, UV radiation, moisture and the presence of plant roots accelerate the ageing of waterproofing and drainage layers. It is estimated that the average durability

przychodu rynkowego w 2024 r., można oszacować, że ok. 85% wszystkich instalacji dachów zielonych na kontynencie to dachy ekstensywne, podczas gdy dachy intensywne obejmują jedynie ok. 15% udziału w rynku. Dominacja dachów ekstensywnych jest szczególnie widoczna w krajach przodujących w rozwoju zielonych technologii dachowych, takich jak Niemcy, Szwajcaria, Austria czy Holandia.

Budowa warstwowa dachów zielonych, obejmująca ułożone w odpowiedniej kolejności warstwy wegetacyjne i ochronne, stanowi kluczowy element ich funkcjonowania. Typowy układ warstw, to: hydroizolacja zabezpieczająca konstrukcję budynku przed przenikaniem wody; warstwa przeciwwkorzenna chroniąca hydroizolację przed uszkodzeniem przez systemy korzeniowe; warstwa drenażowa umożliwiająca odprowadzenie nadmiaru wody; warstwa filtracyjna zapobiegająca przemieszczaniu się cząstek substratu; warstwa specjalistycznego substratu wegetacyjnego oraz warstwa roślinna. Jak wynika z badań [9], odpowiednio zaprojektowany system warstwowy może poprawić izolacyjność termiczną budynku nawet o 20–30% w porównaniu z dachami tradycyjnymi. Dachy zielone zapewniają również wiele korzyści środowiskowych i użytkowych. W kontekście ekologicznym poprawiają jakość powietrza przez absorpcję zanieczyszczeń (w tym dwutlenku węgla), a także przyczyniają się do zwiększenia bioróżnorodności miejskiej [10], a pod względem hydrologicznym, instalacja dachów zielonych umożliwia redukcję rocznego odpływu wód opadowych o 50–90%, co znacznie zmniejsza ryzyko podtopień w miastach [11]. Istotną funkcją jest również poprawa bilansu energetycznego budynków. Dachy zielone mogą obniżyć temperaturę powierzchni dachów nawet o 40°C w porównaniu z dachami tradycyjnymi, redukując zapotrzebowanie na chłodzenie o 10–30% [12]. Co więcej, dachy zielone przyczyniają się do poprawy komfortu akustycznego przez redukcję hałasu zewnętrznego o 8–12 dB [13], a także poprawiają estetykę budynków i ich wartość rynkową.

Zagrożenia związane z eksploatacją dachów zielonych

Eksploatacja dachów zielonych, pomimo wielu korzyści środowiskowych i użytkowych, niesie ze sobą wiele potencjalnych zagrożeń, które muszą być uwzględnione na etapie projektowania, wykonawstwa i późniejszej konserwacji. **Zagrożenia** te można podzielić na trzy główne grupy: **związane z obciążeniami konstrukcyjnymi, bezpieczeństwem pracy użytkowników oraz trwałością materiałową systemów dachowych.**

Z punktu widzenia konstrukcyjnego, dachy zielone generują dodatkowe obciążenia, obejmujące nie tylko ciężar własny warstw substratu i roślinności, ale również zmienne obciążenia związane z retencją wody opadowej oraz akumulacją śniegu. W przypadku intensywnych dachów zielonych, obciążenia eksploatacyjne mogą przekroczyć 3,5 kN/m². Efekty ich nieuwzględnienia to nadmierne ugięcia lub nawet zarysowania elementów nośnych, uszkodzenia hydroizolacji, a w skrajnych przypadkach lokalne awarie konstrukcji.

Kolejnym istotnym aspektem jest **bezpieczeństwo pracy na dachach zielonych**. Pielęgnacja roślinności, konserwacja systemów irygacyjnych oraz przeglądy techniczne wymagają

of waterproofing membranes used in green roofs is approximately 25–30 years, while membranes in traditional roofs can achieve a durability of over 40 years. Another key threat is the penetration of the waterproofing layer by plant root systems, especially in cases of incorrectly selected anti-root layers. It is also worth noting **the fire hazards**, although they are significantly lower than in the case of conventional roofs. Extensive green roofs, especially during periods of drought, can be combustible, which requires the use of appropriate plants with low flammability and regular maintenance of substrate moisture [14].

Taking all of the above risks into account in the design and operation of green roofs is crucial to ensuring their long-term functionality and user safety. It is also important to develop and implement comprehensive technical inspection plans and maintenance procedures that will enable early detection of potential faults and minimise the risk of serious failures. Table 2 summarises the main operational risks along with the measures that can and should be taken to address them.

Design solutions that enhance safety.

Green roofs, as elements of infrastructure requiring periodic operation and maintenance work, must be designed with regard to the principles of safe work at height. The structure, selection of functional layers and technical systems should create an integrated environment that allows maintenance work to be carried out without exposing users to the risk of accidents. In practice, this means that safe access to the roof must be provided, technical communication must be organised, and appropriate safety measures must be implemented.

The first key design element is the **service routes** that enable movement across the green roof surface. For this purpose, technical paths made of prefabricated concrete slabs, steel gratings or non-slip panels embedded in the substrate layer are used. Their layout should be consistent with the layout of technical installations, the edge of the roof and points requiring maintenance (e.g. drains, manholes, etc.). The design of communication zones should also take into account safety standards specifying minimum dimensional parameters and anti-slip properties.

The second aspect is **fall protection systems**. Depending on the characteristics of the roof and the frequency of work carried out, both collective and individual protective measures are used. Collective solutions include **protective railings – permanent or temporary – installed along the edge of the roof**. In the context of green roofs, ballast railings are increasingly used, which do not damage the waterproofing layers and can be easily integrated into the layered system. An alternative are **individual safety systems, such as anchor points and horizontal safety lines (lifelines)**, which allow people equipped with personal protective equipment (harnesses and shock absorbers) to move safely on the roof. These elements must be permanently attached to the supporting structure and designed to transfer forces in accordance with the requirements of standard [15].

During the design process, attention should also be paid to the integration of safety systems with the technological layers

regularnego dostępu do powierzchni dachu. W związku z tym konieczne jest projektowanie bezpiecznych stref pracy, zapewnienie odpowiedniego systemu asekuracji oraz stosowanie procedur ograniczających ryzyko upadków z wysokości. Dachy zielone, szczególnie intensywne, często wymagają prowadzenia prac w zmiennych warunkach atmosferycznych (wilgoć, oblodzenie), co dodatkowo zwiększa ryzyko poślizgnięć i upadków.

Trzecią kategorię zagrożeń stanowi **degradacja materiałowa komponentów dachów zielonych**. Warunki środowiskowe, takie jak cykliczne zmiany temperatury, promieniowanie UV, wilgoć oraz obecność korzeni roślin, przyspieszają starzenie się warstw hydroizolacyjnych i drenażowych. Szacuje się, że średnia trwałość membran hydroizolacyjnych stosowanych w dachach zielonych wynosi 25–30 lat, podczas gdy membrany w dachach tradycyjnych mogą osiągać trwałość powyżej czterdziestu lat. Kluczowym zagrożeniem jest także penetracja warstwy hydroizolacyjnej przez systemy korzeniowe roślin, szczególnie w przypadkach nieprawidłowo dobranych warstw przeciwwkorzennych. Warto również zwrócić uwagę na **zagrożenia pożarowe**, choć są one znacznie mniejsze niż w przypadku dachów konwencjonalnych. Dachy zielone ekstensywne, szczególnie w okresach suszy, mogą stanowić materiał palny, co wymaga zastosowania odpowiednich roślin o małej palności oraz regularnego utrzymywania wilgotności substratu [14].

Uwzględnienie wszystkich wymienionych zagrożeń w procesie projektowania i eksploatacji dachów zielonych jest kluczowe do zapewnienia ich długotrwałego funkcjonowania oraz bezpieczeństwa użytkowników. Istotne staje się również opracowanie i wdrożenie kompleksowych planów przeglądów technicznych oraz procedur konserwacyjnych, które umożliwią wczesne wykrycie potencjalnych usterek i minimalizację ryzyka poważnych awarii. W tabeli 2 zestawiono główne zagrożenia eksploatacyjne wraz ze środkami zaradczymi, jakie można i należy podejmować.

Rozwiązania projektowe zwiększające bezpieczeństwo

Dachy zielone, jako elementy infrastruktury wymagające okresowych prac eksploatacyjnych i konserwacyjnych, muszą być projektowane z uwzględnieniem zasad bezpiecznej pracy na wysokości. Konstrukcja, dobór warstw funkcjonalnych oraz systemy techniczne powinny tworzyć zintegrowane środowisko umożliwiające wykonywanie prac pielęgnacyjnych bez narażania użytkowników na ryzyko wypadków. W praktyce oznacza to konieczność przewidywania bezpiecznego dostępu do dachu, organizacji komunikacji technicznej oraz zastosowania odpowiednich rozwiązań asekuracyjnych.

Pierwszym kluczowym elementem projektowym są **trakty serwisowe** umożliwiające poruszanie się po powierzchni dachu zielonego. W tym celu stosuje się ścieżki techniczne wykonane z prefabrykowanych płyt betonowych, krat stalowych lub paneli antypoślizgowych, osadzonych w warstwie substratu. Ich przebieg powinien być zgodny z układem instalacji technicznych, krawędzią dachu oraz punktami wymagającymi obsługi (np. odpływami, włazami itp.). Projektowanie stref komunika-

Table 2. The main operational risks of green roofs

Tabela 2. Główne zagrożenia eksploatacyjne dachów zielonych

Hazard category/ Kategoria zagrożenia	Description/Opis	Countermeasures/ Środki zaradcze
Excessive structural loads/ Nadmierne obciążenia konstrukcji	deflection and cracking of load-bearing elements, structural emergencies/ ugięcia i zarysowanie elementów nośnych, stany awaryjne konstrukcji	appropriate static analysis, structural reinforcement/ odpowiednia analiza statyczna, wzmocnienie konstrukcji
Work safety/ Bezpieczeństwo pracy	lack of safety systems, lack of instructions for their use, falls from height, slips, trips/ brak systemów asekuracyjnych, brak instrukcji ich użytkowania, upadki z wysokości, poślizgi, potknięcia	safety systems, appropriate training, application of health and safety rules/ systemy asekuracji, odpowiednie szkolenia, stosowanie zasad BHP
Degradation of materials/ Degradacja materiałów	damage to layers, leaks, flooding, reduced durability of roofs/ uszkodzenia warstw, przecieki, zalania, obniżona trwałość dachów	selection of materials with appropriate properties, regular inspections./ dobór materiałów o odpowiednich właściwościach, regularne przeglądy
Fire risk (drought)/ Ryzyko pożaru (susza)	ignition of dry plants/ zapłon suchych roślin	selection of plants with low flammability, regular watering/ dobór roślin o niskiej palności, regularne nawadnianie
Improper operation/ Niewłaściwa eksploatacja	lack of technical inspections, improper plant care/ brak przeglądów technicznych, niewłaściwa pielęgnacja roślin	schedule of technical inspections, ongoing plant care/ harmonogram przeglądów technicznych, bieżąca pielęgnacja roślin
Environmental conditions/ Warunki środowiskowe	excessive rainfall or snowfall, high temperatures, alternating freezing and thawing/ nadmierne opady deszczu lub śniegu, wysoka temperatura, naprzemienne zamarzanie i topnienie	inclusion of loads in static analysis, correct selection of materials/ uwzględnienie obciążeń w analizie statycznej, prawidłowy dobór materiałów

of the roof. Improper anchoring of safety points or railings can lead to damage to the waterproofing and reduce the durability of the roofing system. In response to these challenges, green roof system manufacturers offer ready-made solutions, such as prefabricated mounting bases for anchor points, embedded in separation layers, or prefabricated technical path systems with marked service access zones.

The effectiveness of individual safety solutions varies. It is estimated that **fixed railings and ballast railings provide the highest level of safety**, while individual safety systems, although effective, require a high level of discipline in use and staff training. Technical routes, although they do not directly protect against falls, significantly reduce the risk of slipping or entering a dangerous area, serving an organisational and preventive function.

It is therefore crucial to consider all solutions that increase safety at the design stage (both architectural and structural). Table 3 lists the most common design errors relating to safety on green roofs, along with recommendations on how to avoid them.

The impact of exploitation on occupational safety

The operation of green roofs, including both vegetation care and maintenance of technical systems, is an important factor determining the level of safety at work on these structures. The nature and intensity of operational work depend

cyjnych powinno również uwzględniać wymagania norm bezpieczeństwa, określających minimalne parametry wymiarowe oraz cechy antypoślizgowe.

Drugim aspektem są **systemy zabezpieczeń przed upadkiem z wysokości**. W zależności od charakterystyki dachu oraz częstotliwości prowadzonych prac, stosuje się zarówno zbiorowe, jak i indywidualne środki ochrony. Do rozwiązań zbiorowych **należą balustrady ochronne – stałe lub tymczasowe – montowane wzdłuż krawędzi dachu**. W kontekście dachów zielonych coraz częściej stosuje się balustrady balastowe, które nie naruszają warstw hydroizolacyjnych i mogą być łatwo integrowane z systemem warstwowym. Alternatywą są **systemy asekuracji indywidualnej, takie jak punkty kotwiczące oraz poziome linie asekuracyjne (liny życia)**, umożliwiające bezpieczne przemieszczanie się po dachu osobom wyposażonym w środki ochrony indywidualnej (uprząże i amortyzatory). Elementy te muszą być trwale związane z konstrukcją nośną i zaprojektowane do przenoszenia sił zgodnie z wymaganiami normy [15].

W procesie projektowania należy również zwrócić uwagę na integrację systemów zabezpieczających z warstwami technologicznymi dachu. Niewłaściwe zakotwienie punktów asekuracyjnych lub balustrad może prowadzić do uszkodzenia hydroizolacji i zmniejszenia trwałości systemu dachowego. W odpowiedzi na te wyzwania producenci systemów dachów zielonych oferują gotowe rozwiązania – np. prefabrykowane bazy montażowe pod punkty kotwiczące, osadzone na warstwach separacyjnych lub prefabrykowane systemy ścieżek technicznych z zaznaczonymi strefami dostępu serwisowego.

on the type of green roof, the technologies used and local environmental conditions. Each form of use requires regular access to the roof surface by technical personnel, which involves the risk of falls from height, trips, slips and mechanical injuries.

Operational factors that affect work safety can be divided into **technical, organisational and environmental factors**. Technical factors primarily include the condition of the usable surface: damaged or overgrown technical paths; substrate subsidence; uneven vegetation growth. The technical condition of safety equipment and systems, such as anchor points, railings, roof hatches and service ladders, is also important. Improper maintenance, lack of periodic inspections or incorrect use significantly reduce the effectiveness of accident prevention.

Skuteczność poszczególnych rozwiązań asekuracyjnych jest różna. Szacuje się, że **najwyższy poziom bezpieczeństwa zapewniają balustrady stałe oraz balustrady balastowe**, podczas gdy systemy asekuracji indywidualnej, choć skuteczne, wymagają dużej dyscypliny użytkownika oraz przeszkolenia personelu. Trakty techniczne, choć nie chronią bezpośrednio przed upadkiem, znacznie ograniczają ryzyko poślizgnięcia się lub wejścia w strefę niebezpieczną. Pełnią więc funkcję organizacyjną i prewencyjną.

Kluczowe jest uwzględnienie wszystkich rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo już na etapie projektowania (zarówno architektonicznego, jak i konstrukcyjnego). W tabeli 3 zestawiono najczęstsze błędy projektowe dotyczące bezpieczeństwa pracy na dachach zielonych wraz z zaleceniami, jak tych błędów unikać.

Table 3. Typical green roof safety design mistakes and their consequences

Tabela 3. Typowe błędy projektowe dotyczące bezpieczeństwa pracy na dachach zielonych i ich konsekwencje

Design error/ Błąd projektowy	Description/Opis	Potential consequences/ Potencjalne skutki	Design recommendations/ Zalecenia projektowe
Lack of designated service routes/ Brak zaprojektowanych ciągów serwisowych	failure to ensure safe communication on the roof surface/ niezapewnienie bezpiecznej komunikacji po powierzchni dachu	risk of tripping, slipping and damaging the vegetation layer/ ryzyko potknięć, poślizgnięć i uszkodzenia warstwy roślinnej	designate and mark technical paths with non-slip materials/ wyznaczyć i oznaczyć ścieżki techniczne z materiałów antypoślizgowych
Failure to include safety systems/ Nieuwzględnienie systemów asekuracyjnych	lack of anchor points, railings or safety lines/ brak punktów kotwiczących, balustrad lub linii asekuracyjnych	risk of falling from a height during maintenance work/ zagrożenie upadkiem z wysokości przy pracach serwisowych	design permanent and accessible collective and individual protection systems/ zaprojektować stałe i dostępne systemy ochrony zbiorowej i indywidualnej
Installation of railings without load-bearing capacity analysis/ Montaż balustrad bez analizy nośności	use of railings anchored in an unprepared structure/ stosowanie balustrad zakotwionych w nieprzygotowanej konstrukcji	risk of safety elements being torn out or slipping/ ryzyko wyrwania lub osunięcia się elementu zabezpieczającego	take safety loads into account in the static analysis of the structure/ uwzględnić obciążenia asekuracyjne w analizie statycznej konstrukcji
Incompatibility of safety systems with green roofs/ Niekompatybilność systemów zabezpieczeń z zielonym dachem	anchorage points damaging waterproofing layers/ punkty asekuracyjne naruszające warstwę hydroizolacyjną	leaks, insulation degradation and risk of corrosion/ przecieki, degradacja izolacji i ryzyko korozji	use non-invasive or systemic solutions with a protective layer/ zastosować bezinwazyjne lub systemowe rozwiązania z warstwą ochronną
No service access from inside the building/ Brak dostępu serwisowego z wnętrza budynku	no designed manholes, ladders or roof hatches/ brak zaprojektowanych włazów, drabin lub kłap dachowych	difficult or dangerous access to the roof/ utrudnione lub niebezpieczne wejście na dach	provide for safe access points in technical areas/ przewidzieć bezpieczne punkty dostępu w strefach technicznych

From an organisational perspective, it is crucial to coordinate maintenance work and properly train staff. Employees working on green roofs should be trained in the use of personal protective equipment, risk assessment and emergency procedures. The lack of roof access procedures, insufficient technical documentation or irregular inspections of vegetation can lead to working conditions that do not comply with health and safety regulations. In addition, the unplanned presence of third parties on the roof (e.g. as part of revitalisation or recreation) can disrupt the organisation of maintenance work and increase the risk of collision or fall.

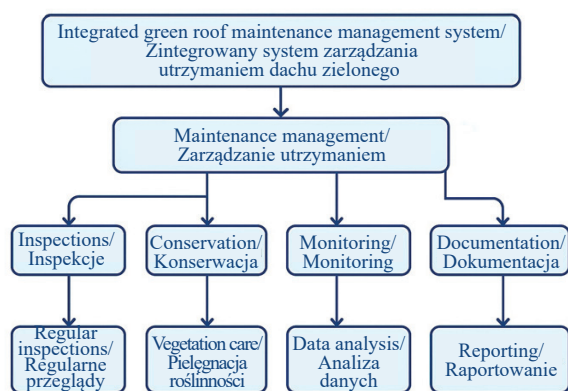
Wpływ eksploatacji na bezpieczeństwo pracy

Eksploatacja dachów zielonych, obejmująca zarówno pielęgnację roślinności, jak i konserwację systemów technicznych, stanowi istotny czynnik determinujący poziom bezpieczeństwa pracy na tych obiektach. Charakter i intensywność prowadzonych prac eksploatacyjnych zależą od typu dachu zielonego, zastosowanych technologii oraz lokalnych warunków środowiskowych. Każda forma użytkowania wymusza jednak regularny dostęp do powierzchni dachu przez personel techniczny, co wiąże się z ryzykiem upadku z wysokości, potknięć, poślizgnięć oraz urazów mechanicznych.

Environmental conditions such as precipitation, icing, standing water or strong sunlight affect surface traction and the visibility of hazardous areas. Damp or slippery surfaces, combined with the slope of the roof, create a potentially hazardous working environment, especially when there are no protective roofs or hazard markings. Expansive vegetation can further obscure important structural elements (e.g. roof drains, service points), making it difficult to navigate the terrain and potentially leading to unintentional entry into an unprotected area.

Work safety during the operational phase can be ensured by **implementing an integrated green roof maintenance management system** (Figure). It includes: a plan for periodic inspections of safety systems, a record of maintenance activities, a schedule of technical inspections, and the identification and updating of hazard zones. Regular monitoring of the technical condition and operating conditions not only extends the service life of the roof, but also maintains a high level of safety for maintenance personnel. From the perspective of the facility manager, it is also important to ensure easy and controlled access to the roof, preferably through specially designated and marked routes and entry points equipped with appropriate safety measures.

Table 4 presents an example maintenance schedule for green roofs, together with the assigned risk level, which was estimated taking into account the risk of falls and injuries, as well as exposure to biological and environmental factors.



The diagram of integrated green roof maintenance management system

Schemat zintegrowanego systemu zarządzania utrzymaniem dachu zielonego

Summary

Green roofs are an important element of modern urban infrastructure, combining ecological, aesthetic and technical functions. Their design, construction and subsequent operation are associated with specific occupational safety requirements, which should be an integral part of the investment process. The paper discusses the relationship between the construction of green roofs and occupational risk, paying particular attention to solutions that minimise hazards during both the construction and operational phases.

Czynniki eksploatacyjne, które mają wpływ na bezpieczeństwo pracy, można podzielić na **techniczne, organizacyjne i środowiskowe**. Do czynników technicznych należy przede wszystkim stan nawierzchni użytkowej: uszkodzone lub porośnięte ścieżki techniczne; zapadnięcia substratu; nierównomierny wzrost roślinności. Znaczenie ma także stan techniczny urządzeń i systemów zabezpieczających, takich jak punkty kotwiczące, barierki, włazy dachowe czy drabiny serwisowe. Ich niewłaściwe utrzymanie, brak przeglądów okresowych lub nieprawidłowe użytkowanie znacznie pogarszają skuteczność ochrony przed wypadkami.

Z perspektywy organizacyjnej kluczowa jest odpowiednia koordynacja prac eksploatacyjnych i właściwe przygotowanie personelu. Pracownicy wykonujący czynności na dachach zielonych powinni być przeszkoleni ze stosowania środków ochrony indywidualnej, oceny ryzyka oraz postępowania w sytuacjach awaryjnych. Brak procedur dostępu do dachu, niedostateczna dokumentacja techniczna czy nieregularne przeglądy stanu roślinności mogą prowadzić do pracy w warunkach niezgodnych z zasadami BHP. Ponadto, nieplanowana obecność osób trzecich na dachu (np. w ramach rewitalizacji lub rekreacji) może zakłócić organizację pracy serwisowej i zwiększyć ryzyko kolizji lub upadku.

Warunki środowiskowe, takie jak opady atmosferyczne, oblodzenie, zalegająca woda czy silne nasłonecznienie, wpływają na przyczepność nawierzchni i widoczność stref niebezpiecznych. Wilgotne lub śliskie powierzchnie, w połączeniu z nachyleniem dachu, tworzą potencjalnie niebezpieczne środowisko pracy, szczególnie gdy brakuje zadaszeń ochronnych lub oznakowania zagrożeń. Roślinność ekspansywna może dodatkowo zasłaniać istotne elementy konstrukcyjne (np. odpływy dachowe, punkty serwisowe), co utrudnia orientację w terenie i może prowadzić do niezamierzonego wejścia w strefę niechronioną.

Bezpieczeństwo pracy w fazie eksploatacji można zapewnić przez **wdrożenie zintegrowanego systemu zarządzania utrzymaniem dachu zielonego** (rysunek). Obejmuje on: plan przeglądów okresowych systemów bezpieczeństwa, rejestr czynności pielęgnacyjnych, harmonogram inspekcji technicznych oraz identyfikację i aktualizację stref zagrożeń. Regularne monitorowanie stanu technicznego oraz warunków użytkowania pozwala nie tylko na przedłużenie żywotności dachu, ale również na utrzymanie wysokiego poziomu bezpieczeństwa personelu serwisowego. Z perspektywy zarządcy obiektu istotne jest także zapewnienie łatwego i kontrolowanego dostępu do dachu, najlepiej przez specjalnie wydzielone i oznakowane trasy oraz punkty wejścia, wyposażone w odpowiednie zabezpieczenia.

W tabeli 4 przedstawiono przykładowy harmonogram konserwacji dachów zielonych wraz z przypisanym poziomem zagrożenia, który został oszacowany z uwzględnieniem ryzyka upadku i urazu oraz ekspozycji na czynniki biologiczne i środowiskowe.

Podsumowanie

Dachy zielone stanowią istotny element nowoczesnej infrastruktury miejskiej, łącząc funkcje ekologiczne, estetyczne i techniczne. Ich projektowanie, budowa oraz późniejsza eks-

Table 4. Maintenance schedule for green roofs with assigned risk level

Tabela 4. Harmonogram konserwacji dachów zielonych wraz z przypisanym poziomem zagrożenia

Maintenance activity/ Czynność konserwacyjna	Frequency/ Częstotliwość	Location description/ Opis lokalizacji	Potential hazards/ Potencjalne zagrożenia	Risk level/ Poziom zagrożenia
Checking the condition of vegetation/ Kontrola stanu roślinności	2 per year (spring, autumn)/ 2 × rocznie (wiosna, jesień)	entire roof area/ cała powierzchnia dachu	slipping on wet surfaces, insect bites/ poślizgnięcie na mokrej nawierzchni, ukąszenia owadów	medium/ średni
Removing unwanted plants/ Usuwanie roślin niepożądanych	2–4 times a year/ 2–4 × rocznie	entire roof area/ cała powierzchnia dachu	contact with toxic plants, mechanical injuries to hands/ kontakt z roślinami toksycznymi, urazy mechaniczne dłoni	low/ niski
Cleaning drains and drainage grates/ Czyszczenie odpływów i krat odwodnieniowych	every 3 months/ co 3 miesiące	around roof drains/ wokół wpustów dachowych	falling, contact with standing water/ upadek, kontakt z zalegającą wodą	medium/ średni
Inspection of technical paths/ Przegląd ścieżek technicznych	every 6 months/ co 6 miesięcy	communication routes/ trasy komunikacyjne	tripping over loose elements, differences in height/ potknięcie się o poluzowany element, różnice wysokości	medium/ średni
Inspection of anchor points/ Inspekcja punktów kotwiczących	every 12 months/ co 12 miesięcy	along lifelines and roof edges/ wzdłuż linii życia i krawędzi dachu	falls while working without safety equipment, damaged safety system/ upadek przy pracy bez zabezpieczenia, uszkodzony system asekuracyjny	high/ wysoki
Watering and fertilising (for intensive roofs)/ Nawadnianie i nawożenie (dla dachów intensywnych)	1–2 times a month (seasonally)/ 1–2 × miesiąc (sezonowo)	intensive green areas/ obszary zieleni intensywnej	overloading of hoses, tripping over equipment, exposure to weather conditions/ przeciążenie węży, potknięcia o sprzęt, ekspozycja na warunki pogodowe	medium/ średni
Care of tall or creeping plants/ Pielęgnacja roślin wysokich lub płożących się	1 per month (in season)/ 1 × miesiąc (w sezonie)	hard-to-reach areas/ obszary trudno dostępne	difficult visibility of roof edges, risk of tripping/ utrudniona widoczność krawędzi dachu, ryzyko potknięcia	high/ wysoki
Waterproofing inspection (locally, spot checks)/ Przegląd hydroizolacji (lokalnie, punktowo)	1 per year or after rainfall/ 1 × rok lub po opadach	edges, roof details/ krawędzie, detale dachowe	contact with water, working at the edge without a railing/ kontakt z wodą, praca przy krawędzi bez balustrady	high/ wysoki
Removal of rubbish and wastes/ Usuwanie śmieci i zanieczyszczeń	as needed/ w razie potrzeby	entire roof/ cały dach	tripping over wastes, contact with sharp materials/ potknięcie o odpady, kontakt z materiałami ostrymi	medium/ średni

Work safety on green roofs largely depends on the appropriate selection of structural elements, such as technical paths, safety systems, railings and anchor points. Taking these solutions into account at the design stage significantly reduces the risk of accidents at work, especially in areas near the edges of roofs and in places that are difficult to access.

In the context of green roof operation, it is crucial to implement a regular schedule of inspections and maintenance work, taking into account the characteristics of the roof (extensive/intensive) and seasonal factors. The table of maintenance activities with assigned risk levels allows for effective planning of activities and selection of individual and collective protective measures. Activities such as inspecting anchor points, cleaning drains or maintaining vegetation in hard-to-reach areas are

placatacja wiąże się z określonymi wymaganiami dotyczącymi bezpieczeństwa pracy, które powinny być integralną częścią procesu inwestycyjnego. W artykule omówiono zależności pomiędzy konstrukcją dachów zielonych a ryzykiem zawodowym, zwracając szczególną uwagę na rozwiązania minimalizujące zagrożenia zarówno w fazie wykonawczej, jak i eksploatacyjnej.

Bezpieczeństwo pracy na dachach zielonych w dużym stopniu zależy od odpowiedniego doboru elementów konstrukcyjnych, takich jak ścieżki techniczne, systemy asekuracyjne, balustrady, czy punkty kotwiczące. Uwzględnienie tych rozwiązań w fazie projektowej znacznie redukuje ryzyko wypadków przy pracy, szczególnie w obszarach przy krawędziach dachów oraz w miejscach trudno dostępnych.

among the most risky and require the use of special health and safety procedures.

Green roofs, despite their complexity, can be safe to use and maintain, provided that safety aspects are consciously taken into account at the design stage. It is also necessary to systematically check the technical condition and train the personnel performing maintenance work. Treating safety issues as an integral part of green roof engineering not only contributes to improving working conditions, but also increases the durability and efficiency of the entire roof system.

Acknowledgements. *This paper is part of the implementation of project number 2022-1-PL01-KA220-HED-000086828 GREEN ROOFS Technician Training Programme. Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author (s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.*

W kontekście eksploatacji dachów zielonych, kluczowe znaczenie ma wdrożenie regularnego harmonogramu przeglądów i prac konserwacyjnych, uwzględniającego charakterystykę dachu (ekstensywny/intensywny) oraz czynniki sezonowe. Zaprezentowana tabela czynności konserwacyjnych z przypisanymi poziomami zagrożeń pozwala na efektywne planowanie działań i dobór środków ochrony indywidualnej i zbiorowej. Czynności takie, jak przegląd punktów kotwiczących, czyszczenie odpływów czy pielęgnacja roślinności w obszarach trudno dostępnych należą do najbardziej ryzykownych i wymagają zastosowania szczególnych procedur BHP.

Dachy zielone, mimo swojej złożoności, mogą być bezpieczne w użytkowaniu i utrzymaniu, pod warunkiem świadomego uwzględnienia aspektów bezpieczeństwa już na etapie projektowym. Niezbędna jest również systematyczna kontrola stanu technicznego oraz szkolenie personelu wykonującego prace eksploatacyjne. Ujęcie zagadnień bezpieczeństwa jako integralnego elementu inżynierii dachów zielonych przyczynia się nie tylko do poprawy warunków pracy, ale także do zwiększenia trwałości i efektywności całego systemu dachowego.

Podziękowanie. *Artykuł jest częścią realizacji projektu o numerze 2022-1-PL01-KA220-HED-000086828 GREEN ROOFS Technician Training Program, sfinansowanego ze środków UE. Wyrażone poglądy i opinie są jedynie opiniami autora i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy i opinie Unii Europejskiej lub Europejskiej Agencji Wykonawczej ds. Edukacji i Kultury (EACEA). Unia Europejska ani EACEA nie ponoszą za nie odpowiedzialności.*

Received: 10.03.2025
Revised: 05.05.2025
Published: 19.09.2025

Artykuł wpłynął do redakcji: 10.03.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 05.05.2025 r.
Opublikowano: 19.09.2025 r.

Literatura

- [1] Oberndorfer E et al. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 2007; 57 (10): 823–833.
- [2] Berardi U, Ghaffarian Hoseini A, GhaffarianHoseini A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 2014; 115: 411–428.
- [3] European Environment Agency (EEA). Urban sustainability and green infrastructure in Europe; 2023.
- [4] Eurostat. Accidents at work statistics; 2023.
- [5] Baxendale T, Jones O. Construction design and management safety regulations in practice – Progress and implementation. *International Journal of Project Management*, 2000; 18 (1): 33–40.
- [6] Praca zbiorowa pod redakcją Palha P.: Green Roofs Technical Guide. Technical guide for design, construction and maintenance of green roofs. ANCV – Associação Nacional de Coberturas Verdes, 1st Edition, Porto, 2024.
- [7] Green Roofs for Healthy Cities. Annual Green Roof Industry Survey; 2022.
- [8] Raport Europe Green Roof Market Size & Outlook, 2024–2030, <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/green-roof-market/europe?utm>, dostęp 20.06.2025r.
- [9] Getter KL, Rowe DB. The role of green roofs in sustainable development. *HortScience*, 2006; 41 (5): 1276–1285.
- [10] Speak AF et al. Impact of green roofs on global warming potential. *Building and Environment*, 2012; 48: 57–65.
- [11] Berndtsson JC. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 2010; 36 (4): 351–360.
- [12] Sailor DJ. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 2008; 40 (8): 1466–1478.
- [13] Van Renterghem T, Botteldooren D. Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. *Building and Environment*, 2009; 44 (5): 1081–1087.
- [14] Dunnett N, Kingsbury N. Planting Green Roofs and Living Walls. Timber Press; 2008.
- [15] PN-EN 795:2012 Ochrona przed upadkiem z wysokości – Urządzenia kotwiczące.