

Antoni RÓŻOWICZ

WPŁYW OŚWIETLENIA NA ZMIANY SZATY NACIEKOWEJ W JASKINIACH

STRESZCZENIE *Obsługa dużej liczby turystów w jaskini wymagała i wymaga zapewnienia odpowiednich warunków do zwiedzania między innymi oświetlenia. Niewłaściwe jego stosowanie może prowadzić do wielu korzystnych i niekorzystnych zjawisk, które występują natychmiast po uruchomieniu oświetlenia (odbiór kolorystyki jaskini) bądź mogą być rozłożone w czasie (degradacja środowiska). W artykule podano podstawowe informacje dotyczące zagadnień tworzenia szaty naciekowej. Przedstawiono efekty stosowania dwóch różnych systemów oświetleniowych na tworzenie się szaty naciekowej i odbiór kolorystyki jaskini przez zwiedzających. Na podstawie otrzymanych wyników badań podano wnioski dotyczące efektywności stosowanych systemów.*

Słowa kluczowe: oświetlenie, promieniowanie optyczne

1. WSTĘP

Obiekty z trasami podziemnymi można podzielić na dwie zasadnicze grupy a mianowicie; zbudowane przez człowieka (lochy, fortyfikacje wojskowe itp.) oraz będące wytworem przyrody (jaskinie). Różnice między tymi obiektami są zasadnicze, tak w klimacie, kolorystyce jak i architekturze.

dr inż. Antoni RÓŻOWICZ

e-mail: rozowicz@tu.kielce.pl, tel 3424243,

Politechnika Świętokrzyska,
Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki,
25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7,

Bardziej interesujące z punktu widzenia procesów tam zachodzących są obiekty wytworzone przez naturę. Szata naciekowa i architektura występująca w tego typu obiektach jest magnesem przyciągającym liczne rzeszę turystów zwiedzających i chcących je zwiedzać. Obsługa dużej liczby turystów w jaskini wymagała i wymaga zapewnienia odpowiednich warunków do zwiedzania między innymi oświetlenia. Z drugiej strony wiadomo, że niewłaściwe jego zastosowanie może prowadzić do wielu niekorzystnych zjawisk a mianowicie zmiany odbioru kolorystyki szaty naciekowej oraz co najgorsze degradacji środowiska jaskini. Ocena wpływu oświetlenia na środowisko jaskini możliwa jest jedynie w przypadku żmudnych badań prowadzonych w długim okresie. W artykule przedstawiono wyniki takich badań prowadzonych w jaskini Raj.

Jaskinia Raj została udostępniona dla turystów ponad trzydzieści cztery lata temu. Jest to jaskinia niewielka, długość korytarzy wynosi tylko 240 m, mimo, to corocznie zwiedza ją ponad 120 tysięcy turystów.

2. FIZYKA TWORZENIA SZATY NACIEKOWEJ

Szata naciekowa jaskini jest naturalną szczególnie piękną ozdobą podziemnych komór i korytarzy. Niezależnie od wartości estetycznych szata naciekowa przedstawia dużą wartość z naukowego punktu widzenia. Zwiedzającym jaskinię pozwala poznać i zrozumieć efekty i znaczenie twórczej działalności wody na obszarach krasowych. Z przytoczonych wyżej powodów Jaskinia Raj jest wyjątkowo cennym zabytkiem przyrody nieożywionej. Magnesem przyciągającym rzeszę turystów jest misterna i fantazyjna szata naciekowa zbudowana z krystalicznego węgla wapnia. Narastanie nacieków tego rodzaju polega na wytrącaniu się krystalicznego węgla wapnia z wody przesączającej się przez strop do jaskini. Znajdujący się w roztworze kwaśny węgiel wapnia $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ przechodzi wówczas w obojętny węgiel wapnia CaCO_3 , który jako znacznie trudniej rozpuszczalny wytraca się w postaci krystalicznej. Przebieg tej reakcji uwarunkowany jest ilością CO_2 zawartego w powietrzu i roztworze, ilością wydzielanego CO_2 podczas przebiegu reakcji, a także ich wzajemnym stosunkiem. Poza tym przebieg reakcji w dużym stopniu jest uzależniony od mikroklimatu, jaki panuje w jaskini; wilgotności, temperatury atmosfery w jaskini. Pewną rolę w budowie szaty naciekowej mogą odgrywać procesy życiowe organizmów i bakterii, najprawdopodobniej procesy bakteryjne tworzą nacieki groniaste i grzybkowe. W wyniku wyżej opisanych procesów w pustkach krasowych, gdzie występują sprzyjające warunki mikroklimatyczne powstaje szata

naciekowa. Dlatego też decyzja o udostępnieniu jaskini Raj dla zwiedzających mogła budzić pewne obawy, czy nie wystąpią negatywne zmiany mikroklimatu. W pewnym stopniu obawy te się potwierdziły, gdyż wprowadzenie do jaskini oświetlenia elektrycznego oraz wejścia grup turystów spowodowało podniesienie temperatury oraz zwiększenie poziomu CO₂ ponadto nastąpił spadek wilgotności powietrza w jaskini.

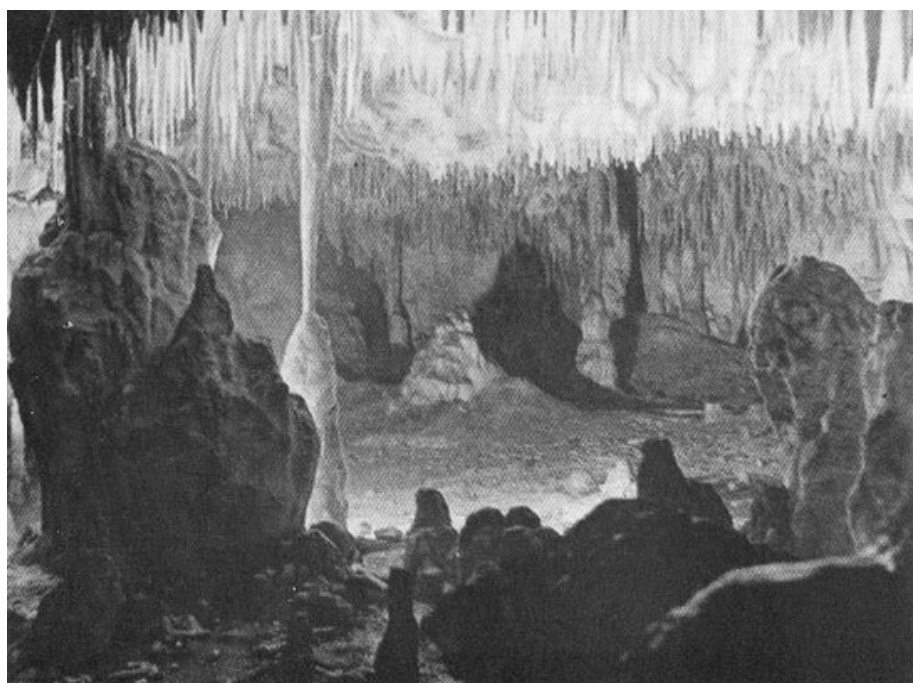
3. OŚWIETLENIE JASKINI A SZATA NACIEKOWA

3.1. Oświetlenie lampami żarowymi

System oświetleniowy w Jaskini RAJ projektowany ponad trzydzieści lat temu opierał się głównie na płaskiej ekspozycji, poszczególnych jej elementów, przy zastosowaniu żarowych źródeł światła. Do oświetlenia wszystkich komór jaskini a jest ich pięć zastosowano reflektory ze źródłami o mocy od 100 W do 200 W, natomiast chodniki komunikacyjne oświetlano przy pomocy opraw ze źródłami o mocy 60 W umieszczonych w niszach. Całkowita moc zainstalowanych źródeł światła w jaskini wynosiła około 25 kW. Szereg elementów jaskini wartych właściwego wyeksponowania pozostała jednak nieoświetlona. Uniemożliwiało to zwiedzającym dostrzegać i doceniać piękno zjawisk kraśowych. Tam gdzie uznawano, że istnieją niedoświetlone pola lub fragmenty dokładano dodatkowe punkty oświetleniowe. W szczytowym okresie moc zainstalowanych źródeł światła przekraczała 30 kW.

Po paru latach eksploatacji zauważono w pobliżu reflektorów i powierzchniach przez nie oświetlanych (wzrost temperatury) degradację środowiska jaskini (wynik zmian mikroklimatycznych). Takie zmiany mikroklimatyczne doprowadziły do wystąpienia w wielu miejscach procesów fotosyntezy i zaczęła pojawiać się flora lampowa (zielonkawe pola glonów i mchów). Piękne stalaktyty, polewy i kolumny zaczęły pokrywać się zielonkawym nalotem rys. 1. Obecność glonów i porostów zielonych na naciekach kalcytowych jest bardzo szkodliwa [3, 5], powoduje rozpuszczanie węgla wapnia, z którego tworzy się szata naciekowa. Obserwacja szaty naciekowej w jaskini – a właściwie bardzo intensywny rozwój glonów (pola zieleni) na powierzchni naciekowej rozwijał się szczególnie w dwóch miejscach, a mianowicie: na wysokości około 1 m od podłoża w bezpośrednim zasięgu światła reflektorów oraz w pobliżu samych reflektorów, zjawisko to zostało spowodowane zmianą warunków mikroklimatycz-

nych w tych rejonach. Rozwój zielonych pól w pobliżu reflektorów spowodowany był wzrostem temperatury podłoża (różnica temperatur podłoża przed uruchomieniem reflektora i po zakończeniu jego pracy podczas jednego cyklu wynosiła nawet 15 °C). Natomiast na powierzchniach oświetlanych nie obserwowano zmian wartości temperatury (czas naświetlania przy obowiązującej specyfice oprowadzania grup turystycznych wynosi około 0,3 godz/godz). Wyniki dotychczasowych badań [3, 4] wykazują, że rozwój masy chlorofilowej jest bardzo istotnie uwarunkowany od mocy i czasu naświetlania roślin i glonów promieniowaniem optycznym.



Rys. 1. Widoczne pole lampowe w komorze Stalaktywowej, odległość reflektora od powierzchni oświetlanej około 7m

Gwałtowny rozwój mchów i glonów spowodował, że po kilkunastu latach eksploatacji jaskini zaczęto zmniejszać ilość i moce źródeł światła w istniejących oprawach. Zakładano, że ograniczy to rozwój masy chlorofilowej. Zabieg ten jednak nie spowodował zmniejszania się flory lampowej (zielone pola). Doprowadziło to w efekcie do tego, że szereg elementów jaskini wartych właściwego wyeksponowania zostało ukryte w mrokach.

Biorąc pod uwagę fakt, że jaskinia Raj jest jaskinią statyczną (brak połączenia kominami z atmosferą) tzn. nie ma w niej prądów powietrza. Sprzyja to koncentracji powietrza przesyconego CO₂ w komorach, niszach i wnękach jaskini. Do tego, jeśli doloży się oświetlenie punktowe dużej mocy to już wy-

stępują bardzo dobre warunki dla rozwoju glonów. Przerwanie tego zjawiska jest niezmiernie trudne. Praktycznie każdy obiekt, jakim są jaskinie ma inną „fizjologię”, dlatego nie można wprost zastosować technik stosowanych w innych jaskiniach do jaskini Raj. Jak wspomniano wyżej jaskinia Raj jest jaskinią małą – 240 m długości, dlatego nie można tu zastosować rozwiązania stosowanego w innych obiektach a polegającego na wyłączeniu części trasy turystycznej (na kilkadziesiąt lat) i skierowaniu ruchu na inny odcinek mniej zagrożony – w inną część jaskini.

Po dwudziestu pięciu latach eksploatacji turystycznej jaskini Raj przeprowadzono szczegółową analizę mikroklimatu i zjawisk krasowych jaskini oraz zjawisk i czynników mających decydujący wpływ na jego kształtowanie. Wskazano, że czynnikiem, który w istotny sposób wpływa na degradację środowiska jaskini jest oświetlenie (powstawanie flory lampowej).

Wszystko wskazywało jednoznacznie, że system oświetlenia oparty na temperaturowych źródłach światła wpływa destrukcyjnie na jaskinię; przyspiesza rozwój nienaturalnych w jaskini form takich jak glony, mchy, zniekształca odbiór zjawisk krasowych i kolorystykę jaskini.

Biorąc pod uwagę wyniki wieloletnich obserwacji zmian zachodzących w jaskini, których najistotniejsze elementy przedstawiono powyżej, zatrzymano się przed dylematem zamknąć jaskinię, zrezygnować z oświetlenia czy też szukać systemu oświetlenia, który nie będzie degradował tego środowiska. Wybrano trzecie rozwiązanie, lecz postawiono następujący warunek, musi być to system przyjazny temu środowisku. Czyli zastosowanie nowego systemu oświetlenia powinno (pomijając aspekt; oddawania rzeczywistej kolorystyki jaskini, wyeksponowania poszczególnych elementów jaskini):

- ograniczyć do minimum rozwoju zielonych pól wokół źródeł światła (nie dotyczy ciągów komunikacyjnych),
- zahamować rozwój pól lampowych na powierzchni oświetlanej.

3.2. Oświetlenie światłowodami

Po przeanalizowaniu właściwości i możliwości dostępnych źródeł i systemów oświetleniowych przyjęto następujące rozwiązanie:

- oświetlenie podstawowe każdej komory wykonane będzie światłowodami, oświetlenie ekspozycyjne komór temperaturowymi źródłami światła,
- oświetlenie korytarzy komunikacyjnych tzn. sztolni i chodników temperaturowymi źródłami światła.

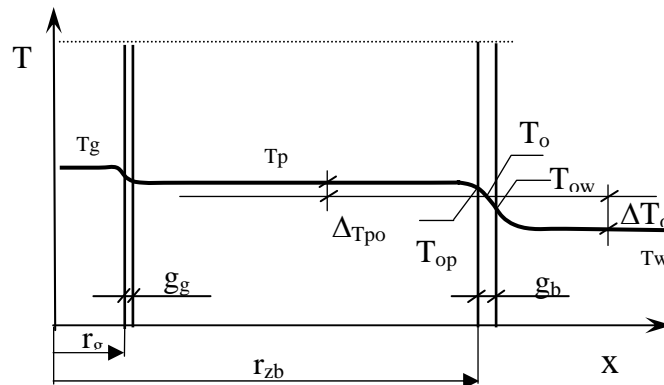
Zastosowanie systemów światłowodowych (system światłowodowy składa się z: generatora światła, wiązek światłowodowych i soczewek) w jaskini

więzało się z koniecznością rozwiązania kilku problemów a mianowicie; obniżeniem temperatury generatorów (podczas pracy wydzielają duże ilości ciepła), ograniczenie promieniowania poza zakresem widzialnym. Obniżenie temperatury wokół generatorów uzyskano stosując specjalnie skonstruowane termosy z tworzyw sztucznych z membranami. Obliczenia pojemności termosów dokonano przy założeniu, że różnica temperatur powłoki termosu i otoczenia nie będzie większa niż $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ po czasie pracy generatora $0,6\text{ godz/godz}$. Obliczenie pojemności V_{zb} termosów dokonano korzystając z wzoru:

$$V_{zb} = \frac{\Delta P}{4\Delta T_{pw}} \left(\frac{1}{h_{po}} + \frac{1}{h_{ow}} \right) \quad (1)$$

gdzie:

- ΔP – moc zamieniana na ciepło,
- ΔT_{pw} – gradient temperatury, który według rys.2 wynosi:
- h_{po} – współczynnik transformowania ciepła wewnątrz termosu w wyniku konwekcji
- h_{ow} – współczynnik transformowania ciepła w atmosferze jaskini w wyniku konwekcji



Rys. 2. Rozkład temperatury w termosie podczas pracy generatora

gdzie:

$$\Delta T_{pw} = \Delta T_{po} + \Delta T_{ow}; \quad \Delta T_{po} = T_p - T_{op}; \quad \Delta T_{ow} = T_{ow} - T_w$$

Na powierzchni termosów i w pobliżu (po ośmiu latach eksploatacji) nie obserwuje się występowania zielonych pól.

Z każdego generatora poprzez przepusty w termosie wyprowadzono wiązki światłowodowe. Każda wiązka światłowodowa składa się z ośmiu kabli (włókna światłowodowe wykonane są z PUMA) o średnicy aktywnej 5 mm i długości 6 m każdy. Na końcówkach kabli zastosowano soczewki o różnym kącie rozsyłu w zależności od architektury przestrzennej, tak by możliwie jak najpełniej ukazane było piękno jaskini i zjawiska krasowe w niej występujące.. Pomimo że włókna światłowodowe wykonane z PMMA wykazują dużą tłumienność w zakresie UV to dodatkowo w generatorach zastosowano filtry UV. Na powierzchniach oświetlanych nie obserwuje się występowania pól lampowych, a co ciekawsze poprzez właściwe rozłożenie powierzchni oświetlanych obserwuje się ustępowanie starych pól lampowych, jaskinia zaczyna ponownie w tych miejscach żyć rys. 3.

Pewien problem stanowi w dalszym ciągu oświetlenie ekspozycyjne (okazjonalne) w komorach jaskini (stanowi ono jeszcze około 10 % oświetlenia). Reflektory ekspozycyjne (moce ich wynoszą 50 W i 75 W) zostały zainstalowane także w miejscach dotychczas nie oświetlanych i mimo bardzo rzadkiego ich użytkowania obok reflektorów i w miejscach oświetlanych (nawet w odległości 6m od reflektorów) zaczynają występować pola lampowe.



Rys. 3. Komora Stalaktytowa oświetlona systemami światłowodowymi, nie występują pola lampowe, widoczne strużki naciekowe

Oświetlenie sztolni i chodników zrealizowano temperaturowymi źródłami światła o mocy 25 W. Oprawy umieszczono w sztucznych niszach skalnych na bocznych ściankach wydrążonych korytarzy. Nisze w górnej części zrównano z podłożem elementami maskującymi, które jednocześnie kierują światło tylko na chodnik (czas naświetlania wynosi około 0,2 godz/godz.).

W niszach w miejscach oświetlanych obserwuje się powstawanie zielonych pól, lecz występowanie ich nie powoduje żadnych skutków ubocznych dla jaskini.

3. PODSUMOWANIE

O degradacji środowiska jaskiń (szaty naciekowej) nie decyduje tylko liczba zwiedzających turystów, czas rocznego użytkowania, lecz także infrastruktura techniczna instalowana w tych obiektach. Bardzo istotne znaczenie na szybkość i rozmiary degradacji jak wykazano w artykule może mieć zainstalowane oświetlenie elektryczne. Wyniki badań zachowania się jaskini Raj gdzie stosowano różne systemy oświetlenia nasuwają pewne niepodważalne wnioski:

- o wielkości i rozmiarach degradacji szaty naciekowej jaskini decydują stosowane systemy oświetleniowe,
- istotny wpływ na szybkość i rozmiar degradacji szaty naciekowej ma promieniowanie w zakresie UV i IR,
- stosowane systemy oświetlenia decydują o wrażeniach kolorystycznych jaskini,
- o oświetleniu takich obiektów winny decydować zespoły specjalistów złożone z biologów, speleologów, chemików i oświetleniowców.

LITERATURA

1. Desinfection by UV-C, Philips Lighting B.V., 2000
2. Lighting Manual, Fifth edition, Philips Lighting B.V., 1993
3. Różowicz A.: Różowicz S.: Oświetlenie Kadzielni, Wiedzieć więcej, Philips Lighting, Kwartalnik Klubu Światła, nr 2(3) 2004
4. Skórska E., Chlorophyll fluorescence of UV-B irradiated bean leaves subjected to chilling in light. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 481: 391-394. 2002,
5. Szwarz W., Skórska E., Responses of *Triticum aestivum* L. plants to high concentration of nickel sulphate and high intensity of UV-B radiation. Acta Physiologiae Plantarum 27, 2005
6. Zawartko-Laskowska m.: O szkodliwym wpływie promieniowania optycznego na dzieła sztuki i optymalnych warunkach ich eksponowania, Muzealnictwo 38, 1996,

INFLUENCE OF ILLUMINATION ON CHANGES OF TRAVERTINE FORMATIONS IN CAVES

A. RÓŻOWICZ

ABSTRACT *An increasing number of tourists visiting caves need to secure for them appropriate conditions of sightseeing (e.g. illumination). An inappropriate illumination can lead to many useful and wrong phenomena, which occur immediately after light switching on (colour perception of the cave) or later (environmental degradation). In the paper basic information regarding to travertine formations problems have been given. Results of using of two different lighting systems on the travertine formation process and colour perception of the cave by the visitors have been presented. Based upon the obtained results conclusions relative to effectiveness of the used systems have been done.*



Dr inż. Antoni Różowicz. Pracuje w Samodzielnym Zakładzie Urządzeń Elektrycznych i TWN Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Urodzony w 1950 r. Studia wyższe ukończył w 1975 r na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej w Częstochowie. Doktoryzował się w 1987 r. na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Jest autorem wielu publikacji i opracowań naukowo-badawczych z zakresu elektroenergetyki i oświetlenia elektrycznego.