

# Budynki w ekstremalnych strefach klimatycznych



**mgr inż. arch. Justyna Romanowska, dr hab. inż. arch. Marcin Brzezicki**  
Wydział Architektury  
Politechniki Wrocławskiej

Jak wynika z uzyskanych danych, aktualnie zamieszkiwane przez człowieka strefy klimatyczne będą cechowały coraz bardziej skrajne warunki pogodowe, do życia w których ludzie będą musieli się zaadaptować. Uwaga naukowców skupia się więc na środowiskach ekstremalnych, które zwykle nie zapewniają ludziom odpowiednich do funkcjonowania warunków, ale mogą stanowić inspirację i wyznaczać kierunki przyszłych poszukiwań w budownictwie.

Środowisko stanowi nieodłączny element rzeczywistości. W ogólnym pojmowaniu obejmuje ono zbiór elementów ożywionych oraz nieożywionych, powstałych zarówno naturalnie, jak i w wyniku przekształceń będących efektem działalności człowieka. Naukowcy zajmujący się tym zagadnieniem opisują wzajemne powiązania, oddziaływania i zależności zachodzące pomiędzy jego komponentami występującymi na określonym obszarze [9]. W skład danego ekosystemu wchodzi między innymi: rzeźba terenu, klimat, stosunki wodne czy też gleba bądź organizmy żywe. Podstawową właściwością środowiska naturalnego jest zachowanie równowagi zachodzącej pomiędzy jego elementami, opierającej się na zrównoważonych przepływach energii, materii oraz informacji [10].

Dotychczas udowodniono [6], że aktywność człowieka powiązana jest z globalnym ociepleniem powodującym topnienie lodowców, zmniejszanie się pokrywy lodowej, wzrost średniego poziomu wód oraz występowanie ekstremalnych temperatur. W wielu miejscach na świecie dostrzeżono także zwiększoną tendencję do występowania takich zjawisk, jak: powódzie, susze, pożary, a także inne klęski żywiołowe, z którymi człowiek musi zmagać się w życiu codziennym [7]. Ludzie, którzy zwykle nie zamieszkują środowisk ekstremalnych, będą wkrótce zmuszeni do zaadaptowania swoich siedlisk (budynków) do nieustannie zmieniających się warunków [5]. Z uwagi na dostrzegane zmiany klimatyczne rozwiązanie problemu związanego z tą adaptacją staje się coraz bardziej naglące. W przyspieszeniu tego procesu pomocna może okazać się obserwacja organizmów żywych i badanie sposobu, w jaki przystosowały się one do bytowania w ekstremalnych środowiskach. Zdolność do ewoluowania i przystosowywania się do nowych warunków umożliwiła im przeżycie w nieustannie zmieniającym się środowisku [10]. Adaptacja do warunków określonego ekosystemu była powolnym procesem, trwającym miliony lat, ale jej efekty są możliwe do bieżącej obserwacji i badania.

## Komfort cieplny człowieka

Ziemia stawia ludziom liczne wyzwania. Człowiek zasadniczo należy do organizmów tropikalnych, słabo przystosowanych do funkcjonowania nawet w najbardziej łagodnym środowisku chłodnym. Jedynie adaptacje behawioralne, wynikające ze zmiany sposobu zachowania, dały mu możliwość przetrwania w warunkach ekstremalnych. Przejawiają się one chociażby poprzez noszenie odpowiedniego dla danej strefy ubioru i umiejętności budowania adekwatnych schronień.

Człowiek jest organizmem stałocieplnym, który trudno znosi jakiegokolwiek wahania temperatury ciała. Za prawidłową jej wartość uznaje się 36,6°C. Wiele okoliczności przyczynia się do tego, że dochodzi do zakłócenia homeostazy organizmu. W takich sytuacjach ośrodek termoregulacji reaguje gorączką bądź anapireksją (stan odwróconej gorączki). Oba objawy to oznaki działania dobroczynnego mechanizmu polegającego na regulacji temperatury w odpowiedzi na atak choroby. Natomiast pod wpływem czynników zewnętrznych, takich jak zimne, wilgotne powietrze lub mocne słońce, dochodzi do zaburzenia równowagi termicznej organizmu. Skutkuje to dwoma skrajnymi stanami, hipo- bądź hipertermią, świadczącymi o wychłodzeniu lub całkowitym przegrzaniu organizmu [4] – patrz tab. 1.

Istotnym składnikiem wpływającym zarówno na przebieg reakcji metabolicznych, jak i na regulację temperatury w organizmie jest woda. Średnio stanowi ona niemal 70% masy dorosłego człowieka. Już utrata 2% jej zawartości wyraźnie wpływa na funkcjonowanie oraz wy-

Ludzie, którzy zwykle nie zamieszkują środowisk ekstremalnych, będą wkrótce zmuszeni do zaadaptowania swoich siedlisk (budynków) do nieustannie zmieniających się warunków.



Fot. 1. Tradycyjny namiot Beduinów. Tunezja, okolice miejscowości Douz

Fot. M. Brzeźnicki

dolność organizmu ludzkiego, a przy większym jej niedoborze może doprowadzić do śmierci [4] – patrz: tab. 2.

Człowiek zdołał zapewnić sobie komfort życia w warunkach ekstremalnych stref klimatycznych przez umiejętność budowania schronień dopasowanych do swoich potrzeb. W zależności od strefy klimatycznej na przestrzeni wieków wykształcił wiele rozwiązań budowlanych pozwalających na stworzenie dogodnych warunków bytowania. Na przykład w przypadku pomieszczeń przeznaczonych do pracy udowodniono, że optymalne warunki na stanowisku pracy osiąga się przy wysokościach temperatury operatywnej 20–24°C oraz wilgotności powietrza 40–60% [3].

### Budynki w strefach ekstremalnych

Analizę zagadnienia w ekstremalnych strefach klimatycznych oparto o szczegółowe studia 10 reprezentatywnych lokalizacji – zamieszkiwanych lub nie przez człowieka. Ważnym czynnikiem wpływającym na tworzenie się mikroklimatu danego regionu jest sąsiedztwo stosunkowo wysokich gór. Największa amplituda pomiędzy najwyższą (+70,7°C, pustynia Lut, Iran, 2005) a najniższą (-93,2°C, Plateau Station, Antarktyda 2010) zanotowaną temperaturą na Ziemi wynosi aż 163,9°C. Interesująca – choć nieintuicyjna – jest informacja, że na Antarktydzie znajduje się także najbardziej sucha dolina na świecie, McMurdo Valleys, gdzie z powodu silnych wiatrów (>300 km/h) od 2 mln lat nie zanotowano żadnych opadów. Miasto Lloro w Kolumbii jest natomiast najbardziej wilgotnym miejscem, w którym roczna średnia opadów na miesiąc wynosi 13299 mm. Dla porównania średnia roczna suma opadów w Polsce wynosi zaledwie ok. 600 mm. Zebrane dane pokazują ekstremalne wartości temperatury i wilgotności

powietrza, które trzeba zrównoważyć, tworząc miejsca o odpowiednim dla człowieka komforcie klimatycznym.

### Strefa ekstremalnie zimna

W przypadku środowisk ekstremalnie zimnych największym wyzwaniem dla budownictwa nie są niskie temperatury powietrza, a raczej duża ich amplituda, przekraczająca nawet 100°C. Charakterystyczne dla tych stref jest występowanie taryn – zwałów lodowych sięgających kilku metrów, powstałych w wyniku procesów topnienia i zamarzania. W wielu miejscach przez ponad pół roku utrzymuje się wieczna zmarzlina, składająca się nawet w 70% z wody. W okresie chłódów zapewnia ona stabilne podłoże, natomiast w okresie roztopów może stanowić poważny problem techniczny dla trwałości posadowienia budynków. Jednym z najbardziej efektywnych rozwiązań stosowanych w rejonach arktycznych jest posadowienie budynków na słupach, które – w wyniku wielokrotnych procesów zamarzania i rozmarzania – stopniowo kotwione są w zmarzlinie. Inny przykład typowej architektury tych regionów stanowi igloo – budowane z ciętych bloków śnieżnych lub jako konstrukcja z kości wielorybów i skór, od zewnątrz izolowana śniegiem. Igloo mieszkalne składało się z kilku komór sypialnych (do 5) połączonych tunelami, w których mogło przebywać do 20 osób. Obłą bryła pozwalała na ograniczoną wymianę ciepła z otoczeniem i zmniejszenie naporu wiatru. Zadaniem krótkiego niskiego wejścia była minimalizacja strat energii cieplnej, gdy składające się ze zwierzęcych skór drzwi były otwarte. Wewnątrz, w celu zapewnienia światła, niektóre bloki śnieżne zastępowano czystym lodem. Półka, na której spali mieszkańcy, znajdowała się zawsze powyżej poziomu wejścia. Budowano ją z lodu,

Tabela 1. Reakcje ludzkiego organizmu na zmiany temperatury ciała. Przedziały norm przyjęto dla pomiarów ciepłoty ciała wykonywanych pod pachą. Opracowanie własne

VI	V	IV	III	II	I	[ ]	I	II	III	IV	V	VI	VII
<	24	24-28	28-32	32-35	35,1-36,3	36,4-37	37,1-37,9	38-38,5	38,5-39,5	39,5-40,5	40,5-41	> 41	42
zgon	zatrzymanie krążenia	letarg	hipotermia umiarkowana	hipotermia łagodna	stan osłabienia	prawidłowa ciepłota ciała	stan podgorączkowy	gorączka nieznaczna	gorączka umiarkowana	gorączka znaczna	gorączka wysoka	hiperpireksja	ścięcie białka

Tabela 2. Reakcje ludzkiego organizmu na ubytek wody w stroju. Opracowanie własne

ubytek wody [%] adekwatnie do masy ciała	2%	2-4%	5-6%	10-15%	>
przykładowe objawy	uczucie pragnienia	podwyższona temp. ciała	senność	utrata przytomności	śmierć

a następnie przykrywano skórami karibu. W tradycyjnym igloo ciepło pochodzące z kamiennej lampy opalanej tłuszczem zwierzęcym (kudlika) powodowało nadtapianie cienkiej warstwy śniegu, która pod wpływem niskiej temperatury tworzyła lodową powłokę wzmacniającą konstrukcję od wewnątrz.

### Strefa ekstremalnie sucha

Wśród obszarów pustynnych, ze względu na sposób powstawania, wyróżnić możemy 4 rodzaje pustyń: zwrotnikową (Sahara), nadbrzeżną – będącą wynikiem działania prądów morskich (Atakama), w strefie umiarkowanej – powstałą w cieniu opadowym gór (Gobi) oraz polarną (dolina McMurdo). Istotnym czynnikiem kształtującym klimat na terenach pustynnych są silne osuszające powietrze wiatry. W przypadku miejsc znajdujących się w pewnej odległości od akwenów jedyne źródło wody na tych obszarach stanowią pojawiające się z pewną częstotliwością mgły. Powstają one w efekcie mieszania dwóch mas powietrza: chłodzonych przez zimne prądy morskie z ogrzаныmi nad lądem. W przypadku wielu obszarów pustynnych na znacznej głębokości poniżej poziomu gruntu występują zbiorniki wodne, czasem o objętości większej niż te naziemne. Rdzennymi mieszkańcami tych rejonów są nomadowie, prowadzący koczowniczy lub półkoczowniczy tryb życia. Przed połową XX wieku wśród Beduinów tradycyjną formą zamieszkania było obozowanie w oazach. W niektórych rejonach domostwa wznoszone były ze słomy lub gliny, dach przykrywały wiechy, a wszelkie otwory przesłaniały tkaniny. Rozbijano tam namioty zwane Bait Al Sha'er (domy z włosów), tkane z koziej, owczej bądź wielbłądziej wełny (patrz fot. 1.). Powłoka ta zapewniała jednocześnie wodoodporną barierę, jak i ochronę przed wiatrem. W zależności od jego kierunku namioty mogły być otwierane z dowolnej strony.

### Strefa ekstremalnie gorąca

Większość obszarów strefy gorącej położona jest w depresji. Panujące w nich warunki klimatyczne zdeterminowane są przez amplitudę temperatur. Różni się ona znacznie w zależności od lokalizacji (jedynie 24°C w Kotlinie Danakilskiej w Etiopii, aż do 95,7°C pomiędzy chińskimi pasmami górskimi Kotliny Turfańskiej). Architektura strefy gorącej musi zatem zapewnić nie tylko ochronę przed ekstremalnie

wysokimi temperaturami, ale także powinna zabezpieczyć mieszkańców przed możliwymi mrozami, występującymi głównie nocą. Berberowie od wieków mieszkają pod ziemią w domostwach wydrążonych w miękkich, piaszczysto-gliniastych skałach osadowych. Centrum siedliska stanowi obszerne okrągłe otwarte podwórze/atrium o średnicy 10–15 m i głębokości 6–7 m. Z niego dostać się można do izb, spiżarni bądź pomieszczeń gospodarczych znajdujących się na różnych poziomach (patrz fot. 2.). Istotną zaletą budowania domów pod ziemią są właściwości izotermiczne gruntu, dzięki którym w czasie upałów wewnątrz utrzymywał się chłód, zimą zaś ciepło. Zespoły mieszkalne łączono ze sobą tunelami w grupy. Tradycją tutejszych rolników jest usypywanie w wąskich dolinach zapory z ziemi oraz kamieni i tworzenie w ten sposób tarasów zatrzymujących wodę deszczową i muł. Dzięki temu stwarzają oni możliwość uprawy palm daktylowych, drzewek oliwnych i figowców.

### Strefa ekstremalnie wilgotna

Ekosystemy wilgotne nie są oficjalnie wymieniane wśród środowisk ekstremalnych. Dzieje się tak dlatego, że to głównie ukształtowanie terenu i lokalizacja są czynnikami wpływającymi na powstawanie dużej ilości opadów, niezależnie od panujących w danej strefie temperatur. Wilgotne masy powietrza znad mórz i oceanów nacierają na zbocza gór zarówno na izolowanych wyspach, jak i na kontynentach. Na zboczach dochodzi do tworzenia się chmur, z których powstaje bardzo obfity opad atmosferyczny po nawietrznej stronie. Na podobnej zasadzie powstają sezonowe wiatry monsunowe, które niosą wilgoć w głąb lądu. W analizach stref wilgotnych szczególnie interesujący jest ciepły monsun letni, który, wiejąc w stronę lądu, powoduje obfite opady. Wiatry te występują głównie u wschodnich i południowych wybrzeży Azji, w Ameryce Środkowej oraz Zatoce Gwinejskiej. Opady wywołują powodzie i zalania znacznych obszarów terenu. W tradycyjnej architekturze tych terenów występują palafity – budynki lub osady wznoszone na platformach opartych na wbijanych w dno palach. Na wypadek podniesienia poziomu wody platformy te znajdują się na wysokości 3,5–4 m ponad poziomem gruntu. Tworzoną z bambusa lub innego wodoodpornego drewna konstrukcję wzmacnia się deskami. Platformy nie mogą być wznoszone na podłożu zawiera-

Fot. 2. Osada plemienia Troglodytów. Po lewej: centralne patio domostwa, widoczne wejścia do pomieszczeń na dwóch poziomach. Po prawej: wnętrze wydrążonego w ziemi pomieszczenia mieszkalnego. Tunezja, miejscowość Matmata

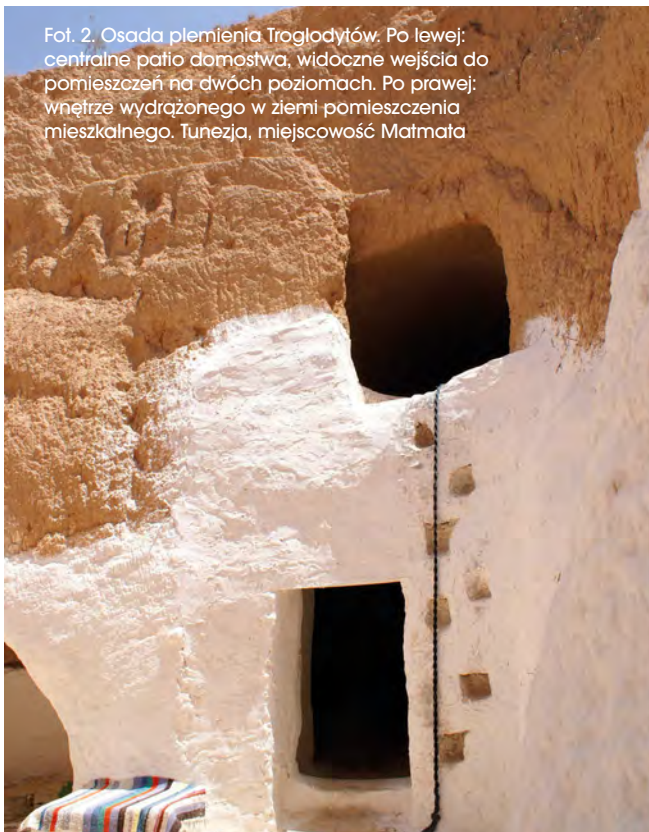


Tabela 3. Miejscowości i lokalizacje ekstremalnie zimne. Opracowanie własne

	DATA zanotowania $T_{\min}$	LOKALIZACJA	$T_{\min}$ [°C]	$T_{\max}$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	ZAMIESZKANY	WYSOKOŚĆ [m n.p.m.]
1	2010-08-10	Plateau station, Antarktyda	-93,2	-18,3	74,9	NIE	3624,0
2	1983-07-21	Vostok station, Antarktyda	-89,2	-14,0	75,2	NIE	3488,0
3	1926-01-26	Tomtor, Syberia, Rosja	-72,2	34,6	106,8	TAK	746,0
4	1926-01-26	Ojmiakon, Syberia, Rosja	-71,2	34,6	105,8	TAK	750,0
5	1892-02-05	Verkhoyansk, Syberia, Rosja	-67,6	37,3	104,9	TAK	140,0
6	1952-01-09	Northice, Grenlandia	-66,0	-2,0	64	NIE	2341,0
7	1931-03-20	Eismitte, Grenlandia	-64,9	-1,8	63,1	NIE	3010,0
8	1947-02-03	Snag, Jukon, Kanada	-63,9	b.d.	b.d.	NIE	646,0
9	1973-01-23	Prospect Creek, Alaska, USA	-62,1	31,0	93,1	TAK	309,0
10	1950	Fort Selkrik, Jukon, Kanada	-58,9	b.d.	b.d.	NIE	603,0

Tabela 4. Miejscowości i lokalizacje ekstremalnie suche. Opracowanie własne

	OKRES prowadzonych pomiarów	LOKALIZACJA	OPADY [mm]	PRĘDKOŚĆ WIATRU max [km/h]	PRĘDKOŚĆ WIATRU [km/h] średnia rocznie	ZAMIESZKANY	WYSOKOŚĆ [m n.p.m.]
1	1986-2000	Dolina McMurdo, Antarktyda	0,0	136,1	14,8	NIE	20
2	2009-2018	San Pedro de Atacama, Chile	0,1	21,2	12,5	TAK	2407
3	2009-2018	Arica, Chile	0,76	24,0	14,2	TAK	65
4	2009-2018	Al-Kufrah, Libia	1,0	26,4	19,5	TAK	435
5	2009-2018	Asuan, Egipt	1,1	26,0	19,7	TAK	194
6	2009-2018	Iquique, Chile	1,2	24,9	15,8	TAK	21
7	2009-2018	Luksor, Egipt	2	27,1	19,1	TAK	76
8	1957-2008	St. bad. Amundsen-Scott, Antarktyda	3,2	93,2	14,8	NIE	2835
9	2009-2018	Aoulef, Algieria	2,9	31,7	24,1	TAK	279
10	-	Wadi Halfa, Sudan	4,6	29,6	11,0	TAK	180

Tabela 5. Miejscowości i lokalizacje ekstremalnie gorące. Opracowanie własne

	DATA zanotowania $T_{\max}$	LOKALIZACJA	$T_{\max}$ [°C]	$T_{\min}$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	ZAMIESZKANY	WYSOKOŚĆ [m n.p.m.]
1	2005 - NASA	Gandom Beryan, pustynia Luł, Iran	70,7	11,5	59,2	NIE	500-600
2	2003 - NASA	Badlands of Queensland, Australia	69,3	15,7	53,6	NIE	b.d.
3	2008	Kotlina Turfańska, Takla Makan, Chiny	66,8	-28,9	95,7	NIE	-154
4	1913	Dolina Śmierci, USA	56,7	b.d.	b.d.	NIE	-55
5	1922-09-13	Al-Aziziah, Libia	56,0	b.d.	b.d.	TAK	119
6	b.d.	Ar Rab al Chali, Arabia Saudyjska	56,0	b.d.	b.d.	TAK	0-800
7	1931-07	Kebili /Qibili, Tunezja	55,0	b.d.	b.d.	TAK	38
8	b.d.	Timbuktu, Mali	54,5	b.d.	b.d.	TAK	261
9	1974	Tirat-Zvi, Izrael	54,0	b.d.	b.d.	TAK	-220
10	1960-1966	Dalol, kotlina Danakilska, Etiopia	47,0	23,0	24	TAK	-100

Tabela 6. Miejscowości i lokalizacje ekstremalnie wilgotne. Opracowanie własne

	DŁUGOŚĆ POMIARU [lat]	LOKALIZACJA	OPADY ROCZNE [mm]	ZAMIESZKANY	WYSOKOŚĆ [m n.p.m.]
1	37	Lloro, Kolumbia	13.299	TAK	158
2	39	Mawsynram, Indie	11.872	TAK	1401
3	b.d.	Cherrapunji, Indie	11.777	TAK	1313
4	b.d.	Tutunendo, Kolumbia	11.770	TAK	126
5	30	Waialeale, wyspa Kauai, Hawaje	11.640	TAK	1569
6	b.d.	Cropp at Waterfall, Nowa Zelandia	11.516	TAK	1200-750
7	b.d.	San Antonio de Ureca, wyspa Bioko, Gwinea	10.450	TAK	186
8	32	Debundscha, Kamerun	10.287	TAK	9
9	30	Big Bog, wyspa Maui, Hawaje	10.272	TAK	1569
10	37	Lopez de Micay, Kolumbia	10.191	TAK	40

jącym luźne kamienie lub gruz. W takim wypadku w pierwszej kolejności wykonywane są betonowe fundamenty pod słupy konstrukcyjne. Konstrukcja usztywniana i stężona jest poprzecznymi belkami i zastrzałami. Zaletami takiego budownictwa są: (i) sprawniejszy przepływ powietrza w budynku w klimacie gorącym, (ii) sucha przestrzeń pod platformą, (iii) możliwość wznoszenia na dowolnie ukształtowanym terenie.

### Inspiracja mechanizmami naturalnymi – bionika

Współcześnie postępująca globalizacja powoduje zmniejszające się zróżnicowanie siedlisk ludzkich, w szczególności miast. W zapomnieniu odeszły tradycje budowlane regionów, korzystające przez wieki z mechanizmów naturalnych, które zapewniały komfort termiczny mieszkańcom danej strefy klimatycznej. Obecnie wyraźnie powraca się do tych rozwiązań jako bardziej efektywnych energetycznie i jednocześnie przyjaźniejszych środowisku. Są one szczególnie istotne wobec niezaprzeczalnych i powszechnie obserwowanych zmian klimatu. Jednym ze sposobów poszukiwania nowych rozwiązań jest analiza fauny i flory ekstremalnych stref klimatycznych. Dostarcza ona wielu inspiracji dla nowoczesnych oraz zrównoważonych środowiskowo systemów regulacji mikroklimatu.

Wśród środowisk ekstremalnych możemy wyróżnić środowiska zasadowe, kwasowe, ekstremalnie zimne i gorące czy też pozbawione wody bądź tlenu. Panujące w nich warunki tworzą ekosystemy, w których do bytowania przystosowane są wyłącznie nieliczne formy życia. Na świecie występują jednak organizmy zwane ekstremofilami zaadaptowane do funkcjonowania i rozmnażania się w takich miejscach. Większość z nich to przedstawiciele bakterii, m.in. *Helicobacter pylori* (bytująca w warunkach  $\text{pH} < 3$ ), *Pyrolobus fumarii* (rozmnażająca się dopiero przy temperaturze  $106^\circ\text{C}$ ) lub *Deinococcus radioduran* (wytrzymująca ogromne dawki promieniowania do 15 000 Gy oraz odporna na stężone kwasy, a ponadto wysokie i jednocześnie ekstremalnie niskie temperatury) [8].

Wiele naturalnych mechanizmów termoregulacyjnych wyewoluowało w wyniku dostosowywania się organizmów do funkcjonowania w nieustannie zmieniającym się środowisku. Na wcześniej wymie-

nionych obszarach stref klimatów ekstremalnych pojawiają się gatunki fauny i flory, które na przestrzeni milionów lat w wyniku procesu naturalnej selekcji dostosowały się do życia w niesprzyjających warunkach. Zmiany te zachodziły poprzez stopniową modyfikację istniejących struktur lub funkcji. Wśród organizmów zamieszkujących podobne siedliska często zauważyć można wykształcanie zbliżonych mechanizmów przystosowawczych. W zależności od stopnia pokrewieństwa gatunków określa się to mianem zjawiska konwergencji lub ewolucji równoległej [10]. Warto podkreślić, że istnienie obecnie występujących gatunków, których różnorodność jest efektem nieprzerwanym serii specjalizacji i wymierania, stanowi wyłącznie etap przejściowy trwających procesów ewolucji.

Przez miliony lat ewolucji przyroda zdołała wytworzyć wiele rozwiązań adaptacyjnych. Właściwa analiza oraz zrozumienie tych zjawisk mogą stać się bezpośrednią inspiracją dla badań naukowych z różnych dziedzin i opracowania przyszłych technologii. Działania te są przedmiotem bioniki. Ta relatywnie młoda nauka z pogranicza techniki oraz biologii zajmuje się badaniem budowy i zasad funkcjonowania organizmów żywych w celu wykorzystania uzyskanych wyników do budowy urządzeń technicznych. Przełomowym momentem dla tej wciąż słabo rozpropagowanej dziedziny wiedzy był początek lat 60. XX wieku, kiedy to nastąpił jej dynamiczny rozwój [1]. Obecne osiągnięcia bioniki znajdują coraz szersze zastosowanie, także w architekturze i budownictwie. W celu przekraczania kolejnych granic projektanci dążą do tworzenia zespołów interdyscyplinarnych poprzez nawiązywanie współpracy z przedstawicielami innych dziedzin. Przykładami takich poszukiwań mogą być: stosowana na elewacjach przepuszczalna membrana inspirowana budową błony komórkowej [1], elewacja wykorzystująca żywe algi do produkcji biomasy [2] – patrz fot. 3, czy też elewacja inspirowana budową morfologiczną zewnętrznej powłoki jaj stawonogów [1].

Wydaje się, że wskazane jest sformułowanie nowego interdyscyplinarnego paradygmatu projektowania, który pozwoli na równoczesne analizowanie wielu czynników wpływających na funkcję i formę budynków, a także na szybsze wyciąganie wniosków oraz większą dokładność wyników badań. Technologie inspirowane naturą mogą być pomocne w walce z negatywnymi efektami globalnego ocieplenia i zanieczyszczeniem środowiska, przyczyniając się również do zrównoważonego rozwoju zarówno miast, jak i obszarów wiejskich. Będzie to przedmiotem planowanych intensywnych badań naukowych. ■

Fot. 3. Budynek mieszkalny BIQ, IBA Hamburg. Widoczne bioreaktory, w których algi fotosyntetyzują, produkując biomasę (arch. Spiitterwerk, 2013)



#### Bibliografia

1. Brzezicki M., Wzorce organiczne w projektowaniu fasad eksperymentalnych [w:] Architektura współczesna wobec natury, [Gdańsk, 24–25 maja 2002] / pod red. Lucyny Nyki, Wydział Architektury PGdań., s. 86–94, Gdańsk 2002.
2. Brzezicki M., Light-transmitting energy-harvesting systems: review of selected case-studies [w:] PowerSkin Conference: proceedings, January 19th 2017 – Munich / [eds. Thomas Auer, Ulrich Knaack, Jens Schneider]. Delft, The Netherlands: TU Delft Open: TU Delft. Faculty of Architecture and the Built Environment, cop. 2017. s. 181–189.
3. Chojacka A., Sudot-Szopińska I., Komfort termiczny w pomieszczeniach biurowych w aspekcie norm, „Bezpieczeństwo Pracy”, 6, 2007, s. 16–17.
4. Gajewski P., Szczekliki A., Interna Szczekliki 2018, Kraków 2018.
5. Harmeling S., Rai S. C., Singh H., Anderson T., Loss and damage: climate reality in the 21st century, 2015.
6. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
7. IPCC: Summary for Policymakers [w:] Global warming of  $1.5^\circ\text{C}$ . An IPCC Special Report on the impacts of global warming of  $1.5^\circ\text{C}$  above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, s. 32, 2018.
8. Klossowski S., Ekstremofile – organizmy żyjące w skrajnie ekstremalnych środowiskach, 10.09.2013, [online]: <http://www.educience.pl/artyku%C5%82y/ekstremofile-organizmy-%C5%BCyj%C4%85ce-w-skrainie-ekstremalnych-%C5%9Brodowiskach>, [data dostępu: 31.12.2018].
9. Mierzwiński A., 1000 słów o ekologii i ochronie środowiska, Warszawa 1991.
10. Solomon E.P, Berg L., Martin D., Biologia, Warszawa 2007.