

STANISŁAWA WEHLE-STRZELECKA\*

## ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES IN THE FORMATION OF THE CITIES OF THE FUTURE

---

## ENERGOOSZCZĘDNE TECHNOLOGIE W KSZTAŁTOWANIU MIAST PRZYSZŁOŚCI

### Abstract

This paper presents problems concerning the possibility of realizing the idea of a city integrated with the natural environment through the development of energy-efficient concepts for architectural and urban solutions. In order to define contemporary tendencies, optimal solutions and patterns that could be continued while shaping future cities, this article shows the historical background of the energy-efficient principles of construction as well as experiments and models which have been created within this scope in recent decades. The specified problems are of importance considering the search for various forms of action for the development of the concept of a sustainable urban space.

*Keywords: architecture, urbanism, sustainable urban space, energy-efficient architecture*

### Streszczenie

Artykuł prezentuje problematykę dotyczącą możliwości realizacji idei miasta zintegrowanego ze środowiskiem przyrody poprzez rozwijanie koncepcji energooszczędnych rozwiązań architektoniczno-urbanistycznych. W celu określenia współczesnych tendencji, optymalnych rozwiązań i wzorców, które mogłyby być kontynuowane w kształtowaniu zabudowy przyszłych miast, przedstawiono historyczne podłoże energooszczędnych zasad budowania, a także eksperymenty i modele, jakie powstały w tej dziedzinie na przestrzeni ostatnich dekad. Podjęta problematyka jest istotna z uwagi na poszukiwanie różnych form działań na rzecz rozwoju koncepcji zrównoważonej przestrzeni miejskiej.

*Słowa kluczowe: architektura, urbanistyka, zrównoważona przestrzeń miejska, architektura energooszczędna*

---

\* D.Sc. Ph.D. Arch. Stanisława Wehle-Strzelecka, Assoc. Prof., Institute of Urban Design, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology.

## 1. Introduction

Contemporary cities – as dwelling places for nearly a half of the global population – form an environment which determines the economic growth and civilization development of societies. It is predicted that by the year 2030 they will have been inhabited by more than sixty per cent of the world's population. Securing the expected standard of the inhabitants' lives means, apart from guaranteeing a number of other needs, satisfying the constantly rising demand for energy. Within the last twenty years, actions which aim at reducing energy consumption have been reflected in legislation and the governments' consistent policy, especially in the EU countries. Assuming a constant decrease in energy, the European Union proposed saving measures in all areas in the process of generating and transforming it as well as its final consumption. In particular, it concerns the public transport and construction sectors with the highest saving potential. In the domain of construction, the implementation of near zero energy buildings (NZEB) is postulated. They ought to become a commonplace model for all objects raised by the end of 2020<sup>1</sup>.

Promoting ecological safety, the abovementioned activities aim at forming an urban environment that would be friendly towards nature and the inhabitants. Here, we could quote L. Krier who regards the ecology-urbanization relations as decisive for the development of cities and their future: "These days, architecture and urban design may regain their authority and *raison d'être* provided that they deliver some practical solutions in the ecological context. Cities and landscapes show what we are worth – materially and spiritually. They express our values as well as make them physically real. They determine a good use or a waste of all the available energy, time and land reserves"<sup>2</sup>.

Actions for the ecology of the city and the realization of sustainable architecture and urbanism taken in two previous decades match three elementary conditions imposed on "survival societies":

- the pace of consuming renewable resources must not surpass the pace of renewing them,
- the pace of consuming nonrenewable resources must not surpass the pace of the appearance of their ecologically safe substitutes,
- the pace of emitting pollutions must not surpass the environment's assimilative abilities.

The foregoing conditions are characteristic of natural ecosystems where homeostatic mechanisms regulate matter and energy circulation keeping balance in their living environment<sup>3</sup>.

A new, holistic approach to the design of a built environment serves to attain the maximum cohesion and integration of all the elements which form a building and an urban complex in preserved consistency with the natural surroundings, most importantly with the climate.

Programmes of implementing energy-efficient solutions in construction as well as selecting technologies, materials and energy concepts are realized within the search for optimal architectural and urban solutions. It is supported with piloting informative actions,

---

<sup>1</sup> Report from the European *Commission*, June 2013.

<sup>2</sup> L. Krier, *Architektura wspólnoty*, Gdańsk 2011, p. 99.

<sup>3</sup> Cf. Z. Piątek, *Ekoetyka*, p. 154.

exhibitions and presentations. At present, the achievements of Germany, Scandinavia, the Netherlands and Austria play an important role in the European Union<sup>4</sup>.

Besides functionality and aesthetics, the second generation of energy-efficient architecture, which has been developing since the early 1990s, is expected to meet requirements imposed on the entire sustainable built environment. Research on the concept and models of sustainable buildings as well as the requirements of energy certificates currently binding in the European Union and elsewhere proves that the contemporary built environment is shaped on the basis of interdisciplinary search and modern, constantly developed knowledge. They are forced by the criteria of assessing environmental sustainability applied while evaluating sustainable buildings and their quality developed in recent years as a result of research within the energy-ecological trend. The subsequent generations of quality assessment tools include: BEPAC, LEED, ECO Quantum, ECO-PRO, Eco Effect, BREE, BREAM, the ideas of “Eco-Building”, assessment methods based upon POE and the programme of cyclically improved, comparable methods of Green Building Challenge (GBC)<sup>5</sup>. In the USA, standards concerning energy saving are developed within MNECB and ASHARE 901. The foregoing methods make European and American shared achievements. A synthesis of these experiences can be exemplified by the realization of the Genzyme Building complex in Cambridge (Behnisch, Behnisch und Partner, 2004) acknowledged as the most environment-friendly object, based on the new LEED<sup>6</sup> standards, in the United States. These standards aim at introducing and developing building typologies for various climatic zones in the country adjusted to the local climate.

## **2. Energy-efficient architectural and urban solutions as the continuation of centuries-old tradition**

The evolution of solutions against the historical background is presented below. It is assumed that – similarly to contemporary architecture – the architecture of the cities of the future will come into being as a creative continuation of previous generations’ experiences.

The rational and frugal management of a space and a built environment, with architecture adjusted to the surroundings (the local conditions, the climate), has its background in epochs much earlier than the emergence of “the green revolution” and the concept of sustainable development. It accompanied city building in various periods in many regions across the world. Ancient culture, e.g. Greece and Rome, largely contributed to the energy-saving principles of construction. The Greek city can still make a model of an economical urban structure integrated with nature allowing for the democratic rules of access to the sunlight for every residential building (Priene, Olint, Delos, Socrates’ recommendations). We may

<sup>4</sup> Let us emphasize that this paper presents examples of energy-efficient architectural and urban solutions which are adjusted to the gain of renewable solar energy.

<sup>5</sup> They are presented in detail in: E. Niezabitowska, D. Masły, *Oceny jakości środowiska zbudowanego i ich znaczenie dla rozwoju koncepcji budynku zrównoważonego*, Gliwice 2007.

<sup>6</sup> LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) is introduced in order to define the minimum standards for sustainable construction.

also state that winter gardens, commonplace in contemporary ecology-promoting and sustainable housing estates, continue greenhouses and orangeries known in ancient Rome and evolving over a span of centuries. The refined technologies of covering window openings with transparent layers and applying building materials with high thermal capacity helped to master the skill of using the greenhouse effect. Vitruvius' timeless rules concerning design in relation to the climate and the place also went down in the history of the energy-saving principles of building. The crucial achievement, however, was the recognition and record of the solar law defining buildings' access to the sunlight. Various epochs referred to the Greek and Roman experiences which are still valid. Knowledge concerning the energy-saving principles of construction was also fully preserved in bioclimatic and folk construction where the traditional principles of raising objects did not change much within centuries.

In Europe, progress in the field of glass production as well as the construction of glass buildings (orangeries, hothouses, greenhouses, palm houses, green interiors in flats) observed from the 16<sup>th</sup> till the 19<sup>th</sup> century played an important role in the development of the idea of shaping an energy-efficient and healthy housing environment based upon contact with the sunshine and greenery (architect H. Repton's contribution). Experiments related to the systems of the construction, form and scale of winter gardens, serving to attain optimal solutions adjusted to a complex function with heating and cooling technologies, may be regarded as a significant background for the development of passive solar systems which appeared in the twentieth century. We can also say that the nineteenth-century concepts of palm houses and greenhouses contributed to the formation of contemporary, monumental climatic structures in varied scales and with different intended uses which could be observed in Europe and the USA in recent decades.

Experimentation with solar mirrors (e.g. R. Bacon, Galileo, Leonardo da Vinci), known in ancient times and continued in the following epochs, contributed to the development of active systems of gaining the sun's energy in energy-efficient buildings. Those experiments led to the contemporary realizations of solar power plants and solar towers (e.g. Sanlúcar le Mayor). A. Volt and A. Becquerel's works commenced the development of contemporary photovoltaics. Research on the greenhouse effect (H. de Saussure, J. Herschel and S.P. Langley, E.S. Morse) led to the creation of the prototypes of solar collectors at the end of the 19<sup>th</sup> century as well as the modern realizations of zero-energy and plus-energy objects.

The popularization of knowledge concerning the formation of energy-efficient buildings was also supported with the innovative ideas – which sprang up in the mid-19<sup>th</sup> century – of cleansing cities and shaping the first healthy estates guaranteeing access to the sunlight to their residents (England, Germany). They cleared the area for the construction of garden cities open to the sun and functional cities with a new, heliotropic building model in the 20<sup>th</sup> century. Marking a breakthrough in the history of urban planning, they paved the way for contemporary ecological and sustainable estates.

Excellent models of the organic unity of architecture and nature as well as energy-efficient passive construction adjusted to the climate and the sunning could be also seen in America, including adobe Indian pueblos (New Mexico, Arizona)<sup>7</sup> but also the settlers' houses

---

<sup>7</sup> This tradition is continued in the vicinity of Santa Fe in connection with the latest technologies of wall constructions and passive solar systems.

in New England (the “saltbox” type). Based upon the oldest and simplest building techniques adjusted to the climate, perfectly reducing energy consumption, they made an inspiration for bioclimatic architecture developed in the 20<sup>th</sup> century and promoted in numerous architects’ creation up to this day.

Opening the third epoch of glass architecture, the twentieth century brought along special development of various researches and experiments related to the search for energy-saving solutions. They could be observed both in Europe (in the first decades: H. Tessenow, H. Muthesius, L. Migge, B. Taut, W. Gropius, M. van der Rohe etc.) and in America (in the fourth decade: R. Neutra, R. Schindler, G.F. Keck, R.B. Fuller etc.) being under the influence of modernists’ great enthusiasm and keen interest in new constructional materials and solutions (e.g. a framework covered with glass “skin”). Inspiration found in frugal technologies and solutions, characteristic of this trend, persists in architecture which can be confirmed by some contemporary realizations, for instance energy-efficient residential complexes in Linz-Pichling, Potsdam, Ratisbon or Freiburg. The principles of including greenery in the concept of gaining solar energy in energy-efficient buildings in the shape of trees and climbing plants as natural elements shading south elevations (W. Moltke’s modernist designs) has been continued ever since.

The works of the creators of the organic trend (F.L. Wright, R. Neuter, H. Häring, A. Aalto and their followers: H. Scharoun, J. Utzon, B. Zewi) made a special contribution to the development of energy-efficient architecture inspired by tradition and a local climate. It is hard not to appreciate the role of the Pueblo and Santa Fe styles (“Sun Mountain Design” group, W. Lumpkins, D. Wright, S. Nichols, W. Nichols). They combined the technologies of the passive systems of solar energy gain with the excellent thermal properties of the massive walls of energy-efficient buildings raised with traditional techniques. Those ideas were continued in the following decades (P. Soleri, M. Wells) foreshadowing the postulates of ecological architecture presented in the late 1960s. They inspired J. Prouve and F. Otto as well as T. Ando, R. Erskine (the “form follows climate” principle), E. Greene, N.A. Isozaki, L. Kroll, K. Kurosawa, J. Nouvel, R. Piano, T. Herzog, S. Calatrava as well as the creators of the Eco-Tech aestheticism and philosophy R. Rogers, N. Foster and N. Grimshaw in their quest for an answer to the contemporary problems of the degradation of man’s dwelling environment. New concepts of the passive systems of gaining solar energy (the Trombe wall, 1967), active thermal systems (experiments with energy-efficient houses at Massachusetts Institute of Technology, 1938–1962) and research on solar batteries (G. Pearson, D. Chapin, C. Fuller, 1954) began to develop in the 1950s with the refinement of A. Pilkington’s technology of glass production (the float, 1955).

The industrial epoch, which was taking shape at that time, opened the way for the experimental period in energy-efficient construction (the 1970s–1980s) and current solutions applied in the construction of glass solar facades. Progress in the systems of heating, ventilating and cooling buildings accompanied it. The great oil crisis in the early 1970s was a turning point which brought a new outlook on design in response to the altered cultural paradigm in the form of a revival of classic, passive solar strategies and bioclimatic solutions. Frugal architectural and urban models composed into the natural environment were characterized by high aesthetical values and rich styles inspired by technology or innovative technologies combined with local tradition. Pioneering architectural concepts within

the “low tech” philosophy appeared then. In Europe, the creations of P. Sabado (“biosolar architecture”), R. Erskine, J. Eble, P. Hübner, IBUS office, T. Herzog, B. Warne, LOG ID, Vandkusten Studio, O. Steidle, O.M. Ungers, D. Schemp and L. Kroll belonged to this group of solutions. In the USA, this trend was represented by bioclimatic architecture which introduced local, traditional materials as well as realizations comprising diverse concepts for the construction of passive systems (D. Wright, D. Andreyko, S. Baer, D. Watson, W. Kelbaugh, B. Lumpkins, S. Nichols, D. Holloway, A. Predock, P. Soleri).

Apart from the implementation of the abovementioned new solutions in passive systems, progress in energy-efficient technologies reducing the consumption of conventional energy concerned the introduction of active systems and the development of photovoltaics as well as new glass technologies and the construction of building covers (e.g. the “energy active” multifunctional casing – the dynamic skin, the polyvalent wall, Mike Davis, 1981)<sup>8</sup>. Combining passive and active systems (A. Pike, R.F. Augustine, M. Jatzen and T. Bakewell, IBA experimentation, Berlin) led to the formation of autonomous, energy self-sufficient and plus-energy buildings realized at present. It was thought that they would make the future of architecture being based upon applied physics and ecology. Those assumptions proved right in the realizations of contemporary sustainable residential complexes and they will be probably continued in the cities of the future.

Land saving was supported with propositions of constructions totally or partially buried in the ground as the most energy-efficient architectural concept (D. Wright, M. Wells, J. Turrell). Fitting in the ideas of shaping environment-friendly architecture, M. Wells – the pioneer of these concepts – searched for solutions with an energy-saving form and construction<sup>9</sup>. Architecture buried in the ground aroused interest in Europe finding followers in the design of the Museum of Vulcanology in Auvergne, France or the unrealized Guggenheim Museum in Salzburg (H. Hollein).

The first realizations which integrated photovoltaic modules with architecture appeared in the 1980s. A set of principles of reducing energy consumption in construction, still binding in the formation of energy-efficient architecture and urbanism, was formulated. A new look at man and the place of his built environment, shaped in accordance with ecology and environmental protection, in nature prepared the background for the development of the concepts of sustainable estates and buildings in two following decades.

Currently, activities serving to transform urban fabric, based on energy-efficient architectural and urban solutions using solar energy, are taken in European countries on a much bigger scale. They encompass entire districts, housing estates, residential complexes and single buildings. Large layouts, where solar energy is included in the whole energy concept, are constructed. They are accompanied by other forms of ecological solutions which satisfy the requirements of the entire sustainable built environment. These realizations indicate directions for the development of the cities of the future.

---

<sup>8</sup> It was supposed to react to the environmental conditions automatically (photovoltaics).

<sup>9</sup> In his office building in Cherry Hill, New Jersey, the architect introduced passive solar systems in combination with constructional materials of considerable thermal capacity as well as active panels and winter gardens.



### 3. Summary. Directions of development in the cities of the future

The observation of contemporary tendencies in the formation of energy-efficient architectural and urban complexes makes it possible to assume that various scales and directions of action will be developed in the future. They will include design solutions with their aesthetics in between the High Tech and Low Tech (No Tech) philosophies as well as their local and global interpretations, for example P. Soleri's continued ideas.

They will comprise the concepts of energy-sufficient, zero-energy and plus-energy complexes, estates, urban districts, satellite cities, large-space transparent structures and the realizations of entire new cities with energy-active architecture (e.g. the world's first eco-city Masdar).

In the first group of the abovementioned solutions, such contemporary realizations as "Solarstadt" Linz Pichling in Austria, Schlierberg in Freiburg, Germany, the designs of estates and urban districts in the Netherlands (Amersfoort, Ecolonia, Culemborg etc.) or Scandinavian estates can be acknowledged as models developable in the cities of the future. Other examples include a prototypic estate in Majorca and the model of the new district of Shanghai-Pudong designed by arch. R. Roberts Partnership (1994).

The second group of the abovementioned solutions, which can be continued in the cities of the future, include contemporary realizations patterned after R.B. Fuller's constructions saving energy, materials and land (the geodesic dome – the futuristic vision of covering Manhattan)<sup>10</sup>. They made breakthrough engineering solutions leading to the development of contemporary technology-oriented, energy-efficient architecture (the high tech and eco tech philosophy)<sup>11</sup>. These days, energy-efficient, large-scale climatic structures using solar energy in passive and active manners, for instance the transparent membrane "Eden Project" in Cornwall (N. Grimshaw, 2001), the experimental object Biosphere 2 in Oracle, USA<sup>12</sup> or the complex of Mont-Cenis Academy in Herne-Sodingen, Germany (arch. Jourda et Perraudin, 1992) ranking among the largest greenhouse structures in the world<sup>13</sup>, refer to them. An important realization, which can set a model for continuation in this group of examples, is the complex of the Ministry of Environmental Protection in Dessau in the form of a climatic structure with a glassed-in inner forum filled with greenery (arch. Sauerbruch Hutton, 1998–2005). It is described as a manifesto and an icon of contemporary architecture open to the environment and compared to Gropius' Bauhaus School marking out the road to new times on the threshold of the modernist trend<sup>14</sup>.

<sup>10</sup> The eighty-tonne dome of aluminium and plastic was expected to create a microclimate and facilitate full air-conditioning for this part of the city.

<sup>11</sup> R.B. Fuller published an "energy balance" for our planet based on the relation of "energy income" (i.e. renewable energy) to "energy capital" (i.e. the reserves of fossil fuels). On the basis of an assessment of these resources and a forecast for energy needs, he designed a global model of a coupled energy system including renewable energy sources.

<sup>12</sup> This layout, financed by E.P. Bass, occupies an area of 12,700 m<sup>2</sup>.

<sup>13</sup> Photovoltaic panels were integrated with the glazed roof and walls of this object.

<sup>14</sup> According to materials from the exhibition entitled "Bauhaus 20<sup>th</sup>–21<sup>st</sup>. Heritage still alive", Krakow 2009.

We must also assume that the energy-saving standards of the future, regardless of the scale of buildings, will be still related to the choice of a form (“form follows energy”), its location in the area, orientation with respect to the cardinal points, the adopted constructional and material solutions as well as room zoning in interiors and the surrounding relief. We may assume that a special future in the aspect of energy profits awaits the concepts of buildings buried in the ground.

The use of the greenhouse effect in passive systems will be supported with the intense growth of glass architecture as a continuation of the fourth generation of transparent objects observed since the late 1990s. Smart glass covers (building skins) have been playing the leading role here. Innovative technologies aim at producing an intelligent thermal insulation cover (the skin), as hard as steel, reacting to changes in the climatic conditions at any time of the day and in any season, adjusted to the users’ needs, with the full capability of transforming daylight and shading interiors against the sun (the features of the fifth generation).

The future of the energy-efficient manners of building is also searched out in the development of technologies based on the observation of nature and a number of the frugal principles of its functioning, e.g. such properties of living organisms as energy saving, adaptability, homeostasis, symbiosis, the richness and complexity of forms. Let us also mention the search for new material solutions for the constructions and covers of buildings (e.g. smart materials), based upon natural patterns, that would make it possible to attain their activeness (helioreactivity) through reactions to the climate, changing conditions in the surroundings (daily and seasonal changes in the temperature, the sunning, the daylight and the wind) modelled after the potential of live organisms. Designers are also encouraged to shape building covers on the basis of studies of space-time (the context and the rhythm of the sun), to apply the folding theory, to look for AI analogous to biological intelligence and to take advantage of the achievements of physics and bionics.

## References

- [1] Baumann B., *Ökologische Baustoffwahl ist ökonomischer*, DBZ, 8, 1997.
- [2] Behling S., Fuchs A., Volz T., *Solare Architektur-Forschung und Entwicklung*, Detail, nr 6, 2007.
- [3] Behling S., Behling S., *The Evolution of Solar Architecture*, Monachium–New York 1996.
- [4] Berkóvitz A.R., Nilon Ch.H., Hollveg K.S., *Understanding urban ecosystems*, Berlin, Der Architekturführer, Verlagshaus Braun, Berlin 2008.
- [5] Butti K., J. Perlin J., *Golden Thread. 2500 years of solar architecture and technology*, New York 1980.
- [6] Pearson C.A., *Antoine Predock Rider high with the gold medal*, Architectural Record, nr 6, 2006.
- [7] Denzer A., *Arthur T. Brown: Pioneer of passive solar architecture*, wyd. American Solar Energy Society, 2010.
- [8] Energia i środowisko w Unii Europejskiej, European Environment Agency, Kopenhaga 2004.
- [9] Feist W., *Dom niskoenergetyczny – budowlany standard przyszłości*, Sto Journal, nr 2, 2000.
- [10] Franz J.S., Hanke S.M., Krampen M., Schempp D., *Ogród zimowy*, Warszawa 2000.
- [11] Gauzin-Müller D., *Sustainable Architecture and Urbanism. Concepts, Technologies, Examples*, Basel, Berlin–Boston 2002.
- [12] Gonzalo R., *Energiesparendes Bauen ist Aufgabe des Architekten*, DBZ, 9, 2000.



- [13] Guzowski M., *Towards Zero Energy Architecture*, Laurens King Publishing, London 2010.
- [14] Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M., *Energy manual. Sustainable architecture*, Birkhäuser, Verlag, Basel, Boston–Berlin 2008.
- [15] Herzog T., *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, Munich–London–New York 1998.
- [16] Reinberg G., Boeckl M., Reinberg. *Ökologische architektur*, Springer, Wien 2008.
- [17] Rexroth S., *Energetisch optimiertes Bauen-vom Experiment zur umfassenden planung*, Baumeister B6, 2008.
- [18] *Solar City Linz Pichling*, red. M. Treberspurg, Springer, Wien–New York 2008.
- [19] Steele J., *Ecological Architecture. A Critical history*, Thames &Hudson, London 2005.
- [20] Wehle-Strzelecka S., *Architektura słoneczna w zrównoważonym środowisku mieszkaniowym*, Monografia 312, PK, Kraków 2004.
- [21] Zimny H., *Ekologia miasta*, Warszawa 2005.

---

## 1. Wstęp

Współczesne miasta, jako miejsce do życia prawie połowy mieszkańców globu, stanowią środowisko decydujące o wzroście ekonomicznym i rozwoju cywilizacyjnym społeczeństw. Przewiduje się, że do 2030 roku będzie je zamieszkiwać ponad 60 procent populacji świata. Zapewnienie oczekiwanego przez ich mieszkańców standardu życia oznacza, oprócz zabezpieczenia szeregu innych potrzeb, zaspokojenie stale rosnącego zapotrzebowania na energię. Działania na rzecz ograniczenia jej zużycia znalazły odzwierciedlenie w ostatnim dwudziestolecu w legislacji i konsekwentnej polityce rządów, szczególnie krajów Unii Europejskiej. Zakładając stałe, coroczne obniżanie konsumpcji energii, Unia Europejska zaproponowała podejmowanie oszczędności we wszystkich obszarach, zarówno w procesie jej wytwarzania, transformowania, jak i konsumpcji finalnej. Szczególnie dotyczy to sektora transportu publicznego i budownictwa, gdzie potencjał oszczędności jest największy. W dziedzinie budownictwa postuluje się wdrażanie budynków zero energetycznych (NZEB), które powinny stać się powszechnym modelem dla wszystkich obiektów, jakie zostaną wzniesione do końca roku 2020<sup>1</sup>.

Wymienione działania, promując bezpieczeństwo ekologiczne, zmierzają do uzyskania środowiska miejskiego przyjaznego przyrodzie i mieszkańcom. Można przytoczyć tu słowa L. Kriera, który za decydującą dla rozwoju miast i ich przyszłości uważa relację ekologia – urbanizacja: „Architektura i urbanistyka mogą dziś odzyskać swój autorytet i rację bytu wyłącznie pod warunkiem dostarczenia praktycznych rozwiązań w kontekście ekologicznym. Miasta i krajobrazy wskazują, ile jesteśmy wari – materialnie i duchowo. Są one nie tylko wyrazem naszych wartości, lecz także nadają tym wartościom fizyczną realność. To one rozstrzygają o spożytkowaniu bądź roztrwonieniu dostępnej nam energii, czasu i zasobów terenu”<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Raport Komisji Europejskiej, czerwiec 2013.

<sup>2</sup> L. Krier, *Architektura wspólnoty*, Gdańsk 2011, s. 99.

Działania na rzecz ekologii miasta oraz realizacji zrównoważonej architektury i urbanistyki, podjęte w ostatnich dwu dekadach, wpisują się w trzy podstawowe warunki stawiane „społeczeństwu przetrwania”:

- tempo zużycia zasobów odnawialnych nie może przekraczać tempa ich odnawiania;
- tempo zużycia zasobów nieodnawialnych nie może przekraczać tempa pojawiania się ich ekologicznie bezpiecznych substytutów;
- tempo emisji zanieczyszczeń nie może przekraczać zdolności asymilacyjnych środowiska.

Wymienione warunki są charakterystyczne dla naturalnych ekosystemów, w których mechanizmy homeostatyczne regulują krążenie materii i energii, utrzymując w środowisku ich życia równowagę<sup>3</sup>.

Nowe, całościowe podejście do projektowania środowiska zbudowanego służy uzyskaniu maksymalnej spójności i integracji wszystkich tworzących budynek i zespół urbanistyczny elementów przy zachowaniu spójności z otoczeniem przyrodniczym, a przede wszystkim z klimatem. W ramach poszukiwania optymalnych rozwiązań architektoniczno-urbanistycznych realizowane są programy wdrażania energooszczędnych rozwiązań w budownictwie, doboru technologii, materiałów, a także koncepcji energetycznej. Służą temu prowadzone akcje pilotażowe, informacyjne, wystawy i prezentacje. W krajach Unii Europejskiej istotny obecnie jest dorobek m.in. Niemiec, Skandynawii, Holandii i Austrii<sup>4</sup>.

Obok funkcjonalności i estetyki, od architektury energooszczędnej drugiej generacji, rozwijającej się od początku lat 90. XX wieku, oczekuje się spełniania wymogów stawianych generalnie całemu zrównoważonemu środowisku zbudowanemu. Badania nad koncepcją i modelami zrównoważonych budynków, a także wymogi certyfikatów energetycznych, obowiązujące obecnie w Unii Europejskiej i w innych krajach, dowodzą, że współczesne środowisko zbudowane zaczyna być kształtowane na bazie interdyscyplinarnych poszukiwań i nowoczesnej, stale rozwijanej wiedzy. Narzucają je kryteria oceny zrównoważenia środowiskowego, stosowane w ocenie zrównoważonych budynków i ich jakości, opracowane w ostatnich latach jako wynik badań nurtu energetyczno-ekologicznego. Precyzywane są w ramach powstających, kolejnych generacji narzędzi ocen jakości: m.in., BEPAC, LEED, ECO Quantum, ECO-PRO, Eco Effect, BREE, BREAM, idee „Eco-Building”, metod ocen na bazie POE oraz programu cyklicznie doskonalonych, porównywalnych metod Green Building Challenge – GBC<sup>5</sup>. W USA standardy dotyczące oszczędności energii rozwijane są m.in. w ramach MNECB i ASHARE 901. Wymienione metody stanowią wspólny dorobek europejski i amerykański. Przykładem syntezy tych doświadczeń jest realizacja kompleksu Genzyme Building w Cambridge (Behnisch, Behnisch und Partner, 2004), uważanego za najbardziej przyjazny środowisku budynek w USA, zbudowany w oparciu o nowe standardy LEED<sup>6</sup>. Mają one na celu wprowadzanie i opracowanie typologii zabudowy dla zróżnicowanych, różnorodnych stref klimatycznych w kraju, w dostosowaniu do klimatu lokalnego.

<sup>3</sup> Por. Z. Piątek, *Ekoetyka*, s. 154.

<sup>4</sup> Należy tu zaznaczyć, że w pracy omawia się przykłady energooszczędnych rozwiązań architektoniczno-urbanistycznych, które przystosowane są do pozyskiwania odnawialnej energii słonecznej.

<sup>5</sup> Szczegółowo omawiane są w pracy: E. Niezabitowska, D. Masły, *Oceny jakości środowiska zbudowanego i ich znaczenie dla rozwoju koncepcji budynku zrównoważonego*, Gliwice 2007.

<sup>6</sup> LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) wprowadzany jest w celu określenia minimum standardów dla zrównoważonego budownictwa.

## 2. Energooszczędne rozwiązania architektoniczno-urbanistyczne jako kontynuacja wielowiekowej tradycji

Niżej przedstawia się ewolucję rozwiązań na tle historycznym, zakładając, że podobnie jak współczesna architektura, również architektura miast przyszłości powstawać będzie jako twórcza kontynuacja doświadczeń poprzednich generacji.

Racjonalne i oszczędne gospodarowanie przestrzenią i środowiskiem zbudowanym, wraz z włączaniem architektury w otoczenie (warunki lokalne, klimat), ma swoje podłoże w znacznie poprzedzających „zieloną rewolucję” i koncepcję zrównoważonego rozwoju epokach. Towarzyszyło wznoszeniu miast w różnych okresach w wielu regionach świata. Wielki wkład w energooszczędne zasady budowania wniosła kultura starożytna, m.in. Grecja i Rzym. Miasto greckie do dzisiaj może stanowić wzorzec oszczędnej, zintegrowanej z przyrodą, struktury urbanistycznej, uwzględniającej demokratyczne zasady dostępu do słońca wszystkich budynków mieszkalnych (Priene, Olint, Delos, zalecenia Sokratesa). Można też uznać, że ogrody zimowe, powszechnie występujące we współczesnych proekologicznych i zrównoważonych osiedlach mieszkaniowych, stanowią kontynuację, ewoluujących na przestrzeni wieków, szklarni i oranżerii znanych już w starożytnym Rzymie. Doskonalone już wówczas technologie krycia transparentnymi powłokami otworów okiennych oraz stosowania materiałów budowlanych o dużej pojemności cieplnej przyczyniły się do opanowania umiejętności wykorzystywania zjawiska efektu cieplarnianego. W historię energooszczędnych zasad budowania wpisały się też ponadczasowe reguły Witruwiusza, dotyczące projektowania w powiązaniu z klimatem i miejscem. Największym osiągnięciem stało się jednak ustanowienie i zapisanie prawa słonecznego, określającego dostęp budynków do słońca. Do doświadczeń Grecji i Rzymu nawiązywały kolejne epoki. Są one nadal aktualne. Wiedza dotycząca energooszczędnych zasad budowania została też w pełni zachowana w budownictwie bioklimatycznym i ludowym, gdzie tradycyjne zasady wznoszenia budynków nie zmieniły się zasadniczo na przestrzeni wieków.

W Europie postęp w dziedzinie produkcji szkła, a także konstrukcji szklanych budynków (oranżerie, cieplarnie, szklarnie, palmiarnie, zielone wnętrza przy mieszkaniach), jaki nastąpił w okresie od XVI–XIX wieku, odegrał znaczącą rolę w rozwoju idei kształtowania energooszczędnego, a jednocześnie zdrowego środowiska mieszkaniowego na bazie kontaktu ze słońcem i zielenią (wkład architekta H. Reptona). Eksperymenty wymienionego okresu, związane z systemami konstrukcji, formą i skalą ogrodów zimowych, służące uzyskaniu optymalnych rozwiązań w dostosowaniu do założonej funkcji, wraz z technologiami ich ogrzewania i chłodzenia uznać można za ważne podłoże w rozwoju słonecznych systemów pasywnych, jakie pojawiły się w wieku XX. Można też uznać, że koncepcje XIX-wiecznych palmiarni i szklarni przyczyniły się do powstawania założeń współczesnych, monumentalnych struktur klimatycznych, o różnej skali i różnorodnym przeznaczeniu w Europie i USA w ostatnich dekadach.

Do rozwoju aktywnych systemów pozyskiwania energii słońca w budynkach energooszczędnych przyczyniły się, znane już w starożytności i kontynuowane w kolejnych stuleciach, eksperymenty ze zwierciadłami słonecznymi (m.in. R. Bacon, Galileusz, Leonardo da Vinci). Doświadczenia te doprowadziły do współczesnych realizacji elektrowni słonecznych i wież solarnych (m.in. Sanlúcar la Mayor). Prace A. Volta oraz A. Becquerela dały

z kolei początek rozwojowi współczesnej fotowoltaiki. Natomiast badania nad efektem cieplarnianym (H. de Saussure, J. Herschel i S.P. Langley, E.S. Morse) doprowadziły do powstania prototypów solarnych kolektorów (koniec XIX w.). Badania te doprowadziły do powstania współczesnych realizacji obiektów zero-energetycznych i plus-energetycznych.

O popularyzacji wiedzy, dotyczącej kształtowania energooszczędnej zabudowy, zadecydowały też nowatorskie, zaznaczające się już w połowie wieku XIX, idee sanacji miast oraz kształtowania pierwszych zdrowych osiedli, zapewniających mieszkańcom dostęp do słońca (Anglia, Niemcy). Przygotowały podłoże zarówno dla powstawania w kolejnym stuleciu otwartych na słońce miast ogrodów, jak i miast funkcjonalnych o nowym, heliotropicznym modelu zabudowy. Stanowiąc przełom w historii planowania urbanistycznego, utorowały drogę współczesnym osiedlom ekologicznym i zrównoważonym.

Doskonałe wzorce organicznej jedności architektury i przyrody, energooszczędnego pasywnego budownictwa dostosowanego do klimatu i nasłonecznienia, powstawały też na kontynencie amerykańskim. Należały do nich m.in. wznoszone z adobe, puebla indiańskie (Nowy Meksyk, Arizona)<sup>7</sup>, a także konstrukcje domów osadników na terenie Nowej Anglii (typ *saltbox*). Oparte na najstarszych i najprostszych, wpisujących się w klimat technikach budowania, doskonale redukujących zużycie energii, stanowiły inspirację dla architektury bioklimatycznej rozwijanej w wieku XX i promowanej w twórczości wielu architektów do dzisiaj.

Wiek XX, otwierając trzecią epokę architektury związanej ze szkłem, przyniósł szczególny rozwój różnorodnych badań i doświadczeń związanych z poszukiwaniem energooszczędnych rozwiązań. Zarysowały się one zarówno w Europie (w pierwszych dekadach: m.in. H. Tessenow, H. Muthesius, L. Migge, B. Taut, W. Gropius, M. van der Rohe), jak i na kontynencie amerykańskim (w czwartej dekadzie, m.in. R. Neutra, R. Schindler, G.F. Keck, R.B. Fuller) pod wpływem wielkiego zainteresowania i entuzjazmu twórców modernizmu dla nowych materiałów oraz rozwiązań konstrukcyjnych (m.in. szkieletu, wypełniany szklaną „skórą”). Charakterystyczna dla tego nurtu inspiracja techniką i rozwiązaniami oszczędnościowymi w architekturze trwa nadal. Świadczą o tym współczesne realizacje, m.in. energooszczędne zespoły mieszkaniowe wzniesione w Linz-Pichling, Poczdamie, Ratybonie, Fryburgu. Kontynuowane do dzisiaj są też zasady włączania zieleni w koncepcję pozyskiwania energii słonecznej w budynkach energooszczędnych w postaci drzew i pnączy jako naturalnych elementów zacieniających południowe elewacje (modernistyczne projekty W. Moltke).

Szczególny wkład w rozwój architektury energooszczędnej, inspirowanej tradycją i miejscowym klimatem, wniosły też prace twórców nurtu organicznego (F.L. Wright, R. Neutra, H. Häring, A. Aalto i ich kontynuatorzy H. Scharoun, J. Utzon i B. Zewi). Znacząca była też rola ruchu Pueblo style, Santa Fe style w USA (grupa „Sun Mountain Design”, W. Lumpkins, D. Wright, S. i W. Nicolson), który łączył technologie pasywnych systemów pozyskiwania energii słońca z doskonałymi właściwościami termicznymi masywnych ścian energooszczędnych budynków wznoszonych tradycyjnymi technikami. Idee te były kontynuowane w kolejnych dziesięcioleciach (P. Soleri, M. Wells), znacznie wyprzedza-

<sup>7</sup> Tradycja kontynuowana jest nadal w rejonie Santa Fe w powiązaniu z najnowszymi technologiami konstrukcji ścian oraz słonecznych systemów pasywnych.

jąc późniejsze postulaty architektury ekologicznej z końca lat 60. Stały się też inspiracją dla J. Prouve i F. Otto, a także T. Ando, R. Erskina (zasada „forma wynika z klimatu”), E. Greene, N., A. Isozaki, L. Krolla, K. Kurosawy, J. Nouvela, R. Piano, T. Herzoga, S. Calatravy oraz twórcy estetyki i filozofii Eco-Tech R. Rogers, N. Foster, N. Grimshawa w ich poszukiwaniu odpowiedzi na współczesne problemy degradacji środowiska życia człowieka. Od lat 50., wraz z doskonaleniem technologii produkcji szkła A. Pilkingtona (float, 1955), zaczęły rozwijać się zarówno nowe koncepcje pasywnych systemów pozyskiwania energii słońca (ściana Trombe’a, 1967), jak i aktywne systemy termiczne (doświadczenia z energooszczędnymi domami na M.I.T. w USA, 1938–1962, a także badania nad bateriami słonecznymi (G. Pearson, D. Chapin, C. Fuller, 1954).

Zarysowująca się w tym czasie epoka postindustrialna otworzyła drogę okresowi eksperymentalnemu w budownictwie energooszczędnym (lata 70–80. XX wieku) oraz obecnym rozwiązaniom stosowanym w konstrukcji szklanych, słonecznych fasad. Towarzyszył jej też postęp w systemach ogrzewania, wentylacji i chłodzenia budynków. Punktem zwrotnym stał się wielki kryzys naftowy początku lat 70. Przyniósł nowe spojrzenie na projektowanie w odpowiedzi na zmianę paradygmatu w kulturze w postaci renesansu klasycznych, pasywnych słonecznych strategii i rozwiązań bioklimatycznych. Oszczędne, wpisujące się w środowisko naturalne, modele architektury i urbanistyki cechowały wielkie walory estetyczne i bogactwo stylów inspirowanych technologią lub też łączeniem innowacyjnych technologii z lokalną tradycją. Jako pionierskie pojawiły się wówczas koncepcje architektury o filozofii *low-tech*. W Europie do tej grupy rozwiązań należała twórczość P. Sabady („architektura biosolarna”), R. Erskina, J. Eble, P. Hübnera, biura IBUS, T. Herzoga, B. Warne, LOG ID, Studia Vandkusten, O. Steidle, O.M. Ungersa, D. Schempa, L. Krolla. W USA kierunek ten reprezentowała architektura bioklimatyczna, wprowadzająca miejscowe, tradycyjne materiały, a także realizacje obejmujące różnorodne koncepcje konstrukcji systemów pasywnych (D. Wright, D. Andrejko, S. Baer, D. Watson, W. Kelbaugh, B. Lumpkins, S. Nichols, D. Holloway, A. Predock, P. Soleri).

Postęp w energooszczędnych technologiach, sprzyjających ograniczaniu korzystania z konwencjonalnych źródeł energii dotyczył również, oprócz wdrażania wspomnianych nowych rozwiązań w systemach pasywnych, wprowadzania systemów aktywnych oraz rozwijania fotowoltaiki, a także nowych technologii szkła i konstrukcji powłok budynku (przykład: „energetycznie aktywna” wielofunkcyjna obudowa budynku – *dynamic skin, polyvalent wall*, Mike Davis, 1981)<sup>8</sup>. Łączenie systemów pasywnych z aktywnymi (A. Pike, R.F. Augustine, M. Jantzen i T. Bakewell, doświadczenia IBA, Berlin) prowadziło do powstania, realizowanych obecnie, autonomicznych i samowystarczalnych energetycznie i plus energetycznych budynków. Uznano wówczas, że stanowią one przyszłość architektury i mogą powstać na bazie wykorzystania fizyki i ekologii. Założenia te potwierdziły się w realizacjach współczesnych zrównoważonych zespołów mieszkaniowych i będą przypuszczalnie kontynuowane w miastach przyszłości.

Oszczędności terenu służyły propozycje budownictwa, całkowicie lub częściowo zagłębionego w ziemi, jako najbardziej energooszczędnej koncepcji architektonicznej (D. Wright, M. Wells, J. Turrell). Pionier tych koncepcji M. Wells, wpisując się w idee kształtowania

<sup>8</sup> Miała reagować na warunki w środowisku automatycznie (fotowoltaika).

architektury przyjaznej środowisku naturalnemu, poszukiwał rozwiązań o energooszczędnej formie oraz konstrukcji<sup>9</sup>. Zagłębiona w terenie architektura wzbudziła zainteresowanie w Europie, znajdując obecnie naśladowców m.in. w projekcie Muzeum Wulkanologii w Auvergne we Francji oraz w niezrealizowanym Muzeum Guggenheima w Salzburgu (H. Hollein).

W latach 80. pojawiły się pierwsze realizacje, w których zintegrowano z architekturą moduły fotowoltaiczne. Sformułowano też zbiór zasad, służących redukcji zużycia energii w budownictwie, który obowiązuje nadal w kształtowaniu energooszczędnej architektury i urbanistyki. Nowe spojrzenie w tym okresie na człowieka i miejsce w przyrodzie jego środowiska zbudowanego, kształtowanego w zgodzie z ekologią i ochroną środowiska naturalnego, przygotowały podłoże dla rozwoju w kolejnych dwu dziesięcioleciach koncepcji osiedli i budynków zrównoważonych.

Obecnie działania służące przekształcaniu tkanki miejskiej, bazujące na energooszczędnych, wykorzystujących energię słoneczną, rozwiązaniach architektoniczno-urbanistycznych, podejmowane są w krajach europejskich na znacznie większą skalę. Obejmują całe dzielnice, osiedla, zespoły mieszkaniowe i pojedyncze budynki. Powstają duże założenia, w których energia słoneczna wpisuje się w całość koncepcji energetycznej. Towarzyszą im inne formy ekologicznych rozwiązań, odpowiadające wymogom dotyczącym generalnie całego zrównoważonego środowiska zbudowanego. Realizacje te wytyczają drogę i kierunki rozwoju dla miast przyszłości.

### 3. Podsumowanie. Kierunki rozwoju w miastach przyszłości

Obserwacja współczesnych tendencji w kształtowaniu energooszczędnych zespołów architektoniczno-urbanistycznych pozwala na przyjęcie założenia, że rozwijane będą w przyszłości, podobnie jak obecnie, różne skale i kierunki działań. Należą do nich rozwiązania projektowe, wraz z towarzyszącą im estetyką, mieszczące się pomiędzy filozofią *High- i Low-Tech (No-Tech)*, a także ich interpretacje lokalne i globalne, m.in. będące kontynuacją idei P. Soleri.

Mieścić się będą w nich zarówno koncepcje energooszczędnych, zero-energetycznych oraz plus-energetycznych zespołów, osiedli, dzielnic miejskich, miast satelitarnych, jak i wieloprzestrzenne, transparentne struktury oraz realizacje całych nowych miast o energetycznie aktywnej architekturze (przykład: pierwsze na świecie ekomiasto Masdar City).

W pierwszej grupie wymienionych rozwiązań, jako wzorcowe i możliwe do rozwijania w miastach przyszłości, można uznać współczesne realizacje, takie jak: „Solarstadt” Linz Pichling w Austrii, Schlierberg we Fryburgu w Niemczech, projekty osiedli i dzielnic miejskich w Holandii (m.in. Amersfoort, Ecolonia, Culemborg) oraz osiedli skandynawskich. Przykład stanowić może też prototypowe osiedle na Majorce, a także model nowej dzielnicy Szanghaju-Pudong projektu arch. R. Roberts Partnership, 1994).

W drugiej grupie wymienionych rozwiązań, możliwych do kontynuacji w miastach przyszłości, wymienić można współczesne realizacje czerpiące wzorce z oszczędnych pod

<sup>9</sup> W budynku biurowym w Cherry Hill, N.J architekt wprowadził pasywne systemy słoneczne w połączeniu z materiałami konstrukcyjnymi o dużej pojemności cieplnej oraz aktywnymi panelami i ogrodami zimowymi.



względem energetycznym, materiałowym, a także wykorzystania przestrzeni, konstrukcji R.B. Fullera (kopuła geodezyjna, futurystyczna wizja przekroczenia Manhattanu)<sup>10</sup>. Stanowiły przełomowe, inżynierskie rozwiązania, prowadzące do rozwoju współczesnej architektury energooszczędnej o orientacji technologicznej (filozofia *high-tech* i *eco-tech*)<sup>11</sup>. Obecnie nawiązują do nich energooszczędne, wielkoprzestrzenne klimatyczne struktury, wykorzystujące energię słońca na zasadach pasywnych i aktywnych, m.in. transparentna membrana „Eden Project” w Kornwalii (N. Grimshaw, 2001), eksperymentalny obiekt Biosfera 2 w Oracle w USA<sup>12</sup>, kompleks Akademii Mont-Cenis w Herne-Sodingen w Niemczech (arch. Jourda et Perraudin, 1992), zaliczany do największych struktur szklarniowych na świecie<sup>13</sup>. Ważną realizację, mogącą stanowić wzór dla kontynuacji w tej grupie przykładów, stanowi zespół Ministerstwa Ochrony Środowiska w Dessau, o formie klimatycznej struktury z przeszklonym, wewnętrznym forum wypełnionym zielenią (arch. Sauerbruch Hutton, 1998–2005). Określany jako manifest i ikona współczesnej architektury otwartej na środowisko, porównywany jest z budynkiem-manifestem – szkołą Bauhausu projektu Gropiusa, wskazującym drogę ku nowym czasom u progu nurtu modernizmu<sup>14</sup>.

Założyć też należy, że energooszczędne standardy przyszłości, podobnie jak obecnie, wiązać się będą, niezależnie od skali zabudowy, zarówno z doбором formy (*form follows energy*), jak i usytuowaniem jej w terenie, orientacją w stosunku do stron świata, przyjętymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi i materiałowymi, a także strefowaniem pomieszczeń we wnętrzach i ukształtowaniem otoczenia. Przyjąć można, że szczególną przyszłość w aspekcie korzyści energetycznych przypisywać należy koncepcjom zabudowy zagłębionej w terenie.

Wykorzystywaniu efektu cieplarnianego w systemach pasywnych będzie sprzyjał szczególny rozkwit szklanej architektury jako kontynuacji, zaznaczającej się od lat 90. XX wieku, czwartej już generacji transparentnych obiektów. Inteligentnym, szklanym powłokom (skóra budynku) przyznaje się i przyznawać będzie, tak jak i w poprzednich epokach, decydującą rolę. Innowacyjne technologie zmierzają w kierunku uzyskania inteligentnej, termoizolacyjnej powłoki (skóry), o wytrzymałości stali, reagującej na zmiany warunków klimatycznych w każdym momencie dnia i pory roku w dostosowaniu do potrzeb użytkowników, o pełnej zdolności zarówno do transformacji światła dziennego, jak i zacieniania wewnątrz przed słońcem (cechy piątej generacji).

Przyszłość energooszczędnych sposobów budowania widzi się też w rozwijaniu technologii opartych na obserwacji natury i wielu oszczędnych zasad jej funkcjonowania, m.in. takich cechach organizmów żywych, jak: energooszczędność, zdolność do adaptacji, homeostazy,

<sup>10</sup> Osiemdziesięcotonowa kopuła z aluminium i plastiku miała utworzyć mikroklimat i umożliwić pełną klimatyzację tej części miasta.

<sup>11</sup> R.B. Fuller opublikował „bilans energetyczny” dla naszej planety, oparty na relacji „przychodu energetycznego” (czyli energii odnawialnej) do „kapitału energetycznego” – zasobów paliw kopalnych. W oparciu o ocenę tych zasobów oraz prognozę potrzeb energetycznych zaprojektował globalny model sprzężonego systemu energetycznego z włączeniem odnawialnych źródeł energii.

<sup>12</sup> Założenie, sfinansowane przez E.P. Bassa obejmuje powierzchnię 12 700 m<sup>2</sup>.

<sup>13</sup> Panele fotowoltaiczne zintegrowano z przeszklonym dachem i ścianami obiektu.

<sup>14</sup> Wg materiałów wystawy pt. „Bauhaus XX–XXI. Dziedzictwo wciąż żywe”, Kraków 2009.

symbiozy, bogactwo i złożoność form. Należy tu też wymienić poszukiwanie, opartych na wzorach przyrody, nowych rozwiązań materiałowych dla konstrukcji i powłok budynków (np. materiały *smart*), które pozwoliłyby na uzyskanie ich aktywności (helioaktywność) poprzez reagowanie na klimat, zmianę warunków w otoczeniu (dzienne i sezonowe zmiany temperatury, nasłonecznienia, światła dziennego i wiatru) na wzór możliwości organizmów żywych. Proponuje się też kształtowanie powłok budynków na bazie studiów czasoprzestrzeni (kontekst oraz rytm słońca), wykorzystania teorii fałdowania, poszukiwania sztucznej, analogicznej do biologicznej, inteligencji oraz wykorzystania osiągnięć fizyki i bioniki.