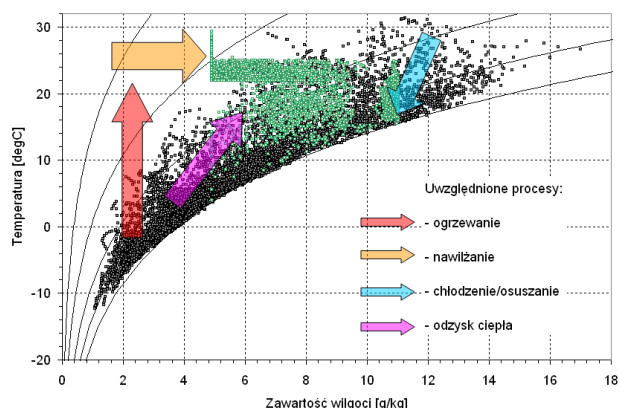


1.2. Obliczenia energetyczne procesów uzdatniania powietrza

Obliczenia energetyczne procesów uzdatniania powietrza w centrali klimatyzacyjnej (AHU – Air Handling Unit) wykonane zostały w oparciu o model przedstawiony w normie EN 15241 „Ventilation for buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings” [1]. Główną ideą modelu jest określenie energii potrzebnej do zmiany parametrów powietrza zewnętrznego do wymaganych parametrów powietrza nawiewanego (rys. 2).



Rys. 2. Idea obliczeń energetycznych procesów uzdatniania powietrza w centrali klimatyzacyjnej.

Fig. 2. The main idea of AHU calculation's method.

W obliczeniach zostały wzięte pod uwagę następujące procesy uzdatniania powietrza:

- odzysk ciepła z powietrza usuwanego (ciepło utajone oraz jawne) w okresie zimowym i letnim,
- ogrzewanie,
- nawilżanie,
- chłodzenie,
- osuszanie.

Modele powyższych procesów określają zużycie energii (jeśli ma miejsce, np. proces odzysku ciepła nie wymaga zużycia energii – energia dodatkowa do napędów jest liczona oddzielnie) oraz parametry powietrza po danym procesie. Pomimo, że równania opisujące dany proces są stosunkowo proste i mogą pochodzić np. z normy EN 15241 [1], to całoroczne procesy realizowane w centrali mogą być skomplikowane i wymagać zaawansowanych analiz zależności logicznych. Zmiany zarówno jakościowe jak i ilościowe analizowanych procesów wynikają ze zmieniających się warunków klimatycznych oraz zmian obciążenia cieplnego pomieszczeń. Jednocześnie dostępne w danej chwili czasowej procesy wynikają z ograniczeń założonego systemu HVAC (Heating Ventilation and Air-Conditioning).

2. WYNIKI OBLICZEŃ

Możliwości opisanego modelu najlepiej przedstawić w postaci wyników obliczeń jakie są możliwe do uzyskania. Obliczenia wykonano dla wybranego budynku zlokalizowanego w Warszawie. Jest to budynek biurowy o ciężkiej konstrukcji, powierzchni 3640 m², kubaturze 10920 m³, użytkowany przez 400 osób.

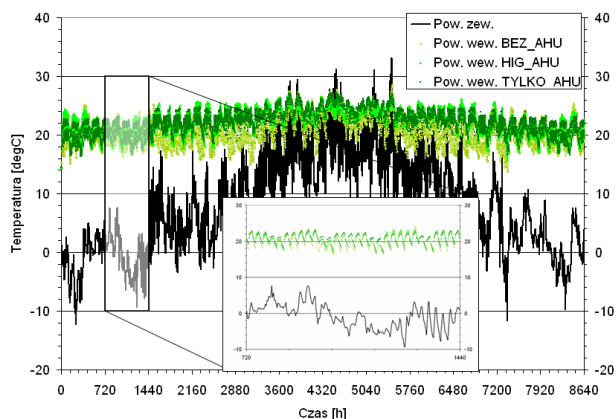
Obciążenie cieplne pomieszczeń zostało policzone dla typowych warunków konstrukcji ścian, okien, schematów użytkowania itp. Nastawa temperatury dla zimy wynosiła 21°C (temperatura dyżurna - 16°C), dla lata 26°C. Dla systemów, które umożliwiały kontrolę wilgotności założono parametry obliczeniowe w przedziale 30 – 60% wilgotności względnej.

Obliczenia można wykonywać dla różnych wariantów systemów HVAC, w artykule przedstawiono trzy warianty:

- wariant 1 (bez AHU): wentylacja mechaniczna wywiewna (20000 m³/h) w godzinach użytkowania pomieszczeń, kontrola temperatury w pomieszczeniach przez system wodny lub freonowy,
- wariant 2 (HIG AHU): wentylacja nawiewno – wywiewna z możliwą pełną realizacją procesów uzdatniania powietrza, stały strumień powietrza (20000 m³/h) w godzinach użytkowania pomieszczeń, kontrola temperatury w pomieszczeniach przez system wodny lub freonowy, kontrola wilgotności przez powietrze wentylacyjne,
- wariant 3 (TYLKO AHU): wentylacja nawiewno – wywiewna typu CAV (60000 m³/h) w godzinach użytkowania pomieszczeń, w pełni pokrywająca straty i zyski ciepła, w okresie zimowym temperaturę dyżurną 16°C zapewnia dodatkowy wodny system ogrzewania dyżurnego.

W wariantach 2 i 3 centrala klimatyzacyjna umożliwia odzysk ciepłą z powietrza usuwanego o nominalnej sprawności temperaturowej 90%. Uwzględniono obniżenie sprawności odzysku ciepła w wyniku odszraniania wymiennika w postaci kontroli minimalnej (-5°C) temperatury powietrza wywiewanego po stronie powietrza usuwanego. Odzyskiwane jest tylko ciepło jawne. W okresie lata odzysk ciepła nie jest uruchamiany.

Przebieg zmienności temperatury powietrza wewnętrznego dla wszystkich wariantów został przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Przebieg zmienności temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego.

Fig. 3. Indoor and outdoor temperature.

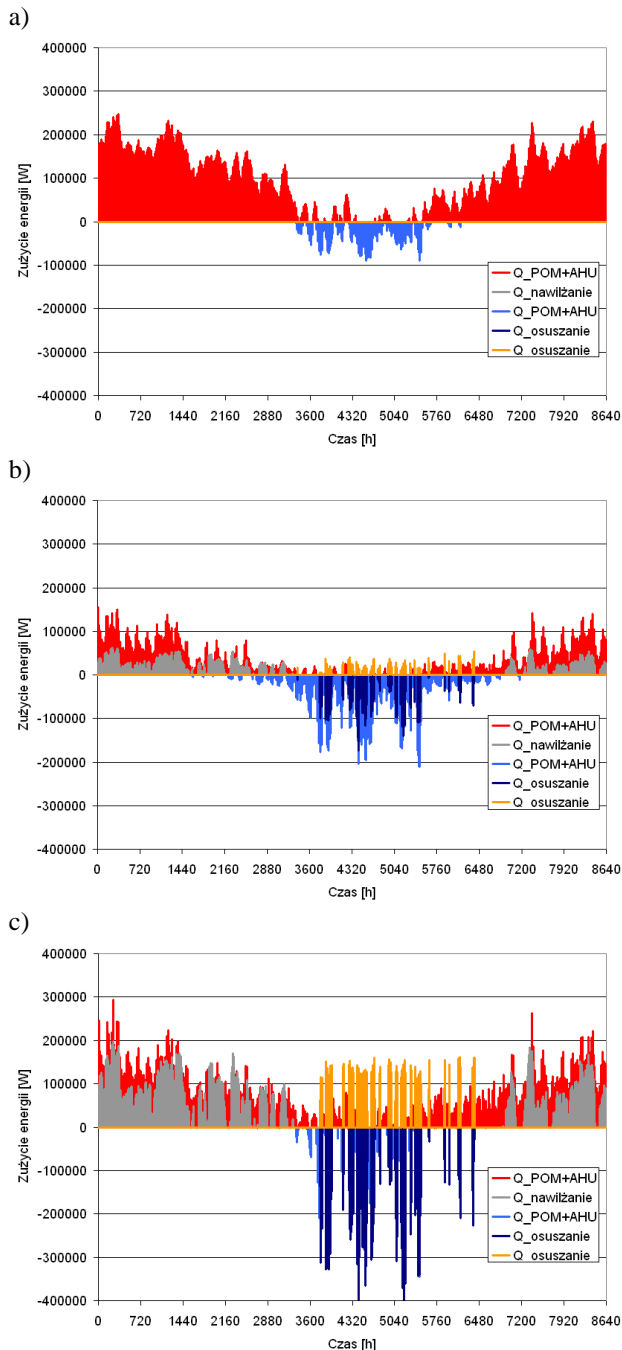
W tabeli 1 zestawiono najważniejsze wyniki dotyczące zużycia energii dla analizowanych wariantów.

Tabela 1. Zużycie energii dla analizowanych wariantów.
Table 1. Energy consumption for analysed variants.

	BEZ_AHU	HIG_AHU	TYLKO_AHU
Energia dostarczana do pomieszczeń przez system wodny/freonowy [kWh/rok]			
Ogrzewanie	631943	28450	309
Chłodzenie	-33063	-57464	0
Energia dostarczana do centrali klimatyzacyjnej [kWh/rok]			
Ogrzewanie	0	80615	253131
Nawilżanie	0	-44161	-109170
Chłodzenie i osuszanie	0	54682	181223
Całkowite zużycie energii [kWh/rok]			
Ciepło	0	-28925	-90885
Chłód	0	6822	53338
Właściwe zużycie energii [kWh/(m2rok)]			
Ciepło i chłód	182,7	72,9	149,4

Całoroczne przebiegi zmienności zużycia energii przez poszczególne elementy analizowanych systemów przedstawiono na rys.4.

Przebiegi zmienności chwilowego zapotrzebowania na moc dla poszczególnych procesów wyraźnie przedstawiają różnice analizowanych systemów.



Rys. 4. Zużycie energii w ciągu typowego roku dla wariantów: a) BEZ AHU, b) HIG AHU, c) TYLKO AHU.

Fig. 4. Energy consumption during a typical year for variants: BEZ AHU (a); HIG AHU (b); TYLKO AHU (c).

Przykładowo największe zapotrzebowanie na moc wystąpiło w wariantcie TYLKO AHU podczas gdy wariant HIG AHU charakteryzował się najdłuższym okresem chłodzenia pomieszczeń.

3. ANALIZA WYNIKÓW

Obliczenia pokazują niezwykle istotny wpływ zastosowanego systemu HVAC na całkowite zużycie energii. W rozpatrywanym przypadku różnica jest ponad dwukrotna (od 78,6 kWh/m²rok do 188,2 kWh/m²rok).

Analizowane systemy zapewniały zdecydowanie inne warunki wewnętrzne, np. wariant 1 nie pozwalał na kontrolę wilgotności względnej powietrza, ani wstępne podgrzanie powietrza nawiewanego, co w okresie zimowym może powodować zmniejszenie komfortu cieplnego.

Inną ważną różnicą jest zdecydowanie większa wymiana powietrza w wariantie 3 wynikająca z konieczności odprowadzenia obliczeniowych zysków ciepła. W wariantach 1 i 2 strumień powietrza wynosi 50 m³/h na osobę podczas gdy w wariantie 3 jest trzykrotnie większy. Rzutuje to na zużycie energii, ale nie jest też bez związku jakością powietrza zapewnianą przez system.

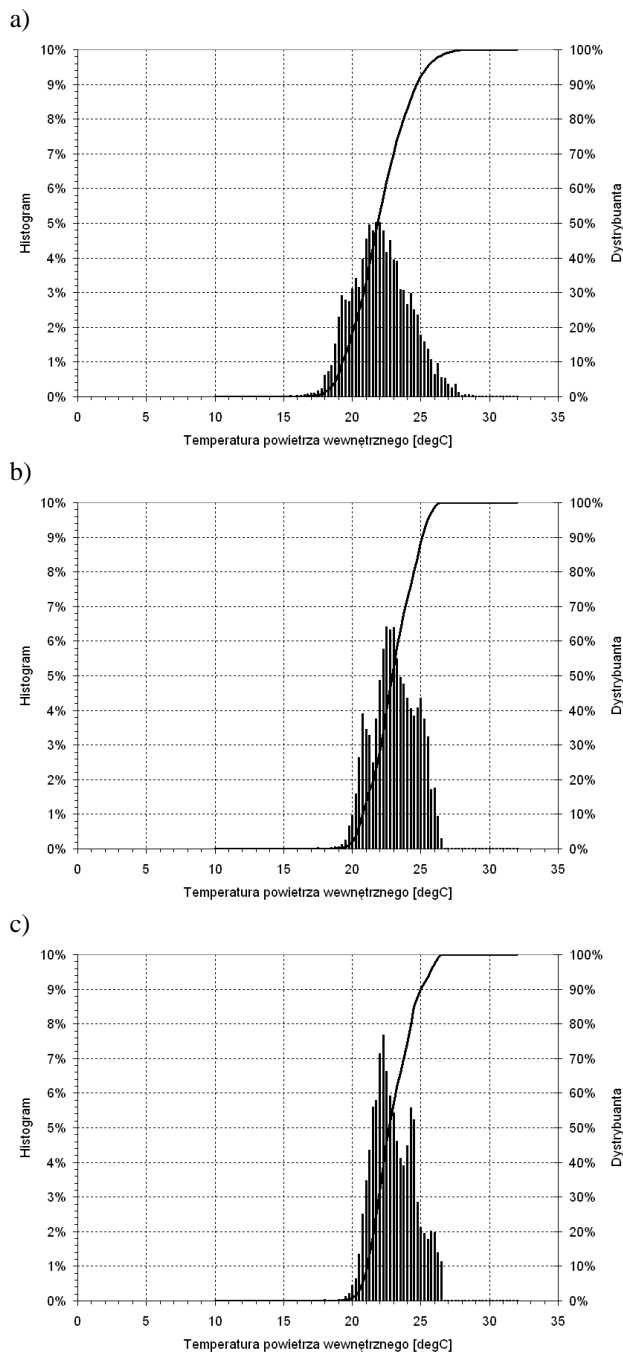
Mając na uwadze powyższe różnice dla łatwiejszej analizy poszczególnych wariantów w tabeli 2 zestawiono względne zużycie energii przyjmując wariant 2 jako referencyjny (100% zużycia energii cieplnej i chłodniczej)

Tabela 2. Względne zużycie energii dla analizowanych wariantów (wariant HIG AHU = 100%).

Table 1. Relative energy consumption for analyzed variants (variant HIG AHU = 100%).

	BEZ_AHU	HIG_AHU	TYLKO_AHU
Energia dostarczana do pomieszczeń przez system wodny/freonowy [kWh/rok]			
Ogrzewanie	386%	17%	0,2%
Chłodzenie	33%	57%	0,0%
Energia dostarczana do centrali klimatyzacyjnej [kWh/rok]			
Ogrzewanie	0,0%	49%	155%
Nawilżanie	0,0%	43%	107%
Chłodzenie i osuszanie	0,0%	33%	111%
Całkowite zużycie energii [kWh/rok]			
Ciepło	386%	100%	265%
Chłód	33%	100%	107%

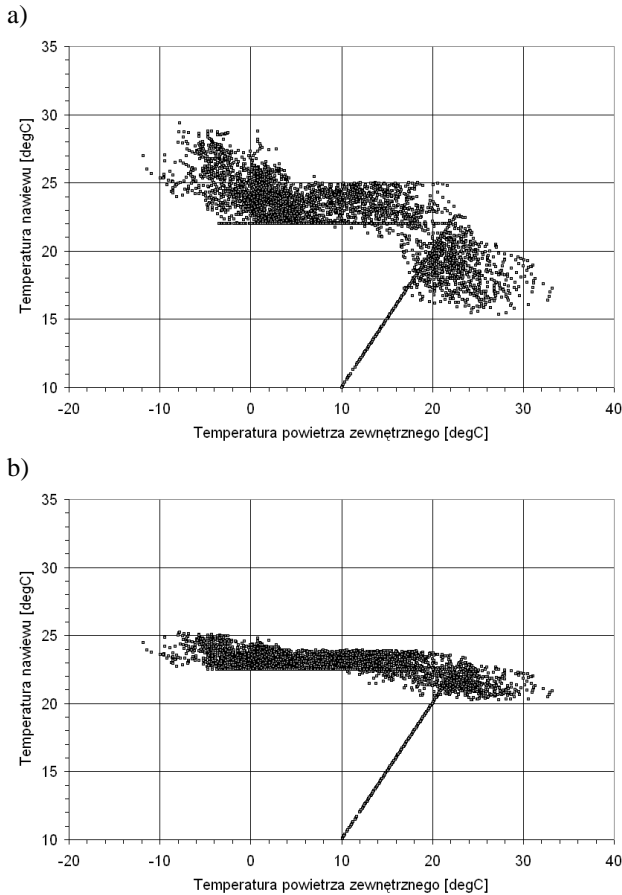
Należy podkreślić, że tak duże różnice w zużyciu energii nie wynikają z różnic w temperaturze powietrza wewnętrznego. Na rys. 5 przedstawiono histogramy temperatury wewnętrznej dla poszczególnych wariantów.



Rys. 5. Histogramy temperatury powietrza wewnętrznego w okresie użytkowania budynku dla wariantów: a) BEZ AHU, b) HIG AHU, c) TYLKO AHU.

Fig. 5. Histograms of indoor temperature variation during operating hours for variants: BEZ AHU (a); HIG AHU (b); TYLKO AHU (c)

Ciekawe wnioski dotyczące zachowania systemu wentylacji mogą płynąć z analizy temperatury powietrza nawiewanego w funkcji temperatury zewnętrznej (rys. 6)



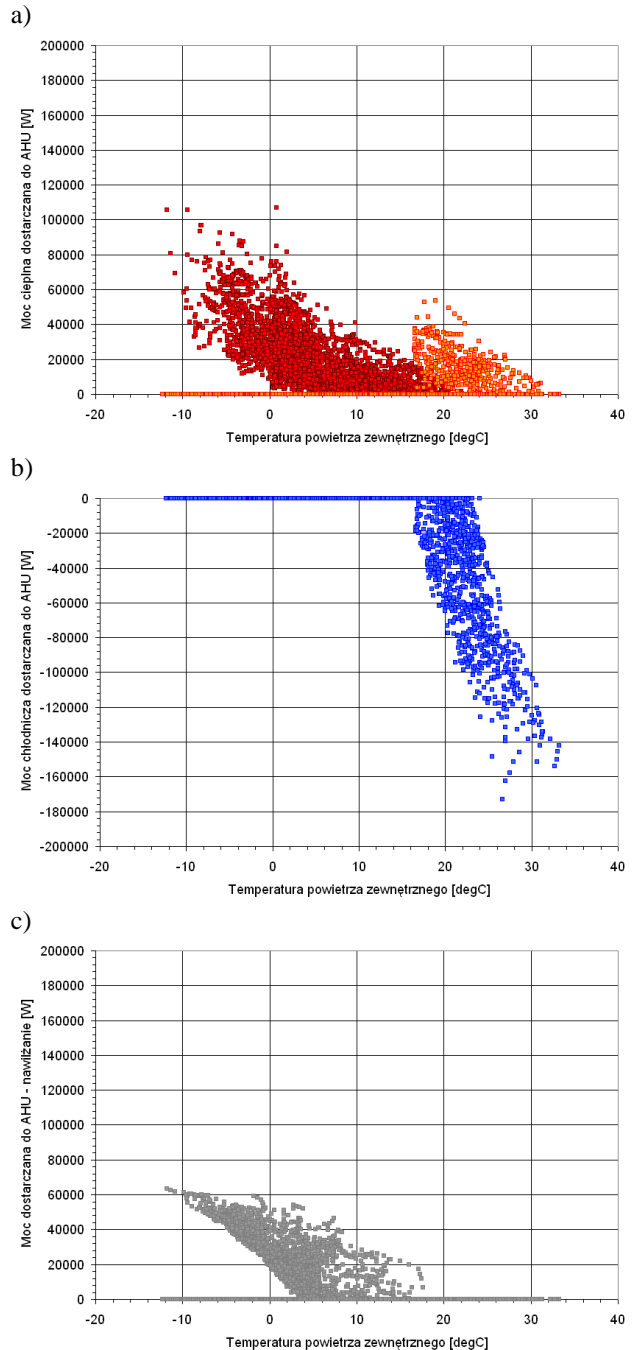
Rys. 6. Temperatura powietrza nawiewanego do pomieszczenia w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego; a) HIG AHU, b) TYLKO AHU

Fig. 6. Supply temperature as a function of outdoor temperature; HIG AHU (a); TYLKO AHU (b)

Na wykresie (rys. 6) można zaobserwować procesy ogrzewania i chłodzenia powietrza, widoczne są nastawy temperatury dla lata i zimy (różne z obliczeniową temperaturą która dla wszystkich wariantów wynosiła 21 i 26°C), a także proces „free coolingu” w okresie przejściowym.

Z kolei na rys. 7 przedstawiono zużycie ciepła przez poszczególne procesy uzdatniania powietrza w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego.

Na wykresach (rys. 7) widocznych jest kilka charakterystycznych cech dotyczących systemu uzdatniania powietrza, np. wzrost zużycia ciepła w okresie letnim związany z podgrzaniem powietrza schłodzonego w celu wykroplenia pary wodnej (składowa procesu osuszania), szybki wzrost zapotrzebowania na energię chłodniczą już od temperatury zewnętrznej wynoszącej +15°C, czy wzrost zapotrzebowania na moc nawilżania wraz z obniżaniem temperatury powietrza zewnętrznego.



Rys. 7. Zapotrzebowanie na energię przez różne procesy uzdatniania powietrza w wariantcie HIG AHU; a) ogrzewanie, b) chłodzenie, c) nawilżanie.

Fig. 7. Energy used for different processes in AHU (HIG_AHU) as a function of outdoor temperature: heating energy (a); cooling energy (b); energy used for humidification (c)

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiona godzinowa metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło w systemach wentylacji i klimatyzacji

oferuje znaczne możliwości przeprowadzania różnorodnych analiz, o dużym znaczeniu praktycznym dla inwestorów, architektów lub projektantów. Np. analiza zużycia energii w funkcji zakresu możliwych zmian temperatury i / lub wilgotności względnej powietrza wewnętrznego [4]. Ilość możliwych do uzyskania informacji jest porównywalna z pełnymi symulacjami dynamiki cieplnej budynków, przy jednoczesnej prostocie metody niewiele wykraczającej poza metody miesięczne (obliczenia można przeprowadzić w arkuszu kalkulacyjnym).

Równocześnie metoda może być w prosty sposób uzupełniona o kolejne elementy procesów uzdatniania powietrza np. takie jak wymienniki gruntowe, chłodzenie adiabatyczne i inne. Oprócz systemów CAV (Constant Air Volume) można wprowadzić zależności logiczne typowe dla układu VAV (Variable Air Volume) lub (przy wprowadzeniu modelu bilansowania emisji zanieczyszczeń powietrza) układu DCV (Demand Controlled Ventilation).

HOURLY METHOD OF CALCULATION OF ENERGY CONSUMPTION IN AIR HANDLING UNITS

Summary: The paper presents the concept of integration of buildings simulations and behaviour of ventilation and air-conditioning systems. Building simulation is based on simplified hourly method 6RIC developed on a base of 5RIC method described in EN ISO 13790:2007. Simulation of Air Handling Unit is based on method described in EN 15241. Integration of both methods resulted in further changes in 6RIC schema and in introduction of optional equations for assessment of indoor temperature depending on type of ventilation system. The following processes were taken into account: heat recovery (sensible and latent) during winter and summer, heating, humidifying, cooling, dehumidifying. There are both indoor temperature and energy consumption available as a results, so presented method allows controlling both energy consumption and quality of performance of HVAC.

Literatura

- [1] EN 15241 Ventilation for buildings – *Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings*
- [2] PN-EN-ISO 13790: *Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*
- [3] Narowski P., Sowa J., Mijakowski M., *Godzinowy model 6RIC dynamiki cieplnej budynku*, Building Physics in Theory and Practice, Nr 4/2009 (artykuł zgłoszony do druku)
- [4] Sowa J., Narowski P., Mijakowski M., *Wpływ założonego zakresu zmienności parametrów powietrza w pomieszczeniach na całoroczne zużycie energii*, Building Physics in Theory and Practice, Nr 4/2009 (artykuł zgłoszony do druku)

Ten artykuł został przygotowany w ramach projektu STEP PL0077 realizowanego w ramach wsparcia udzielonego przez Islandię, Liechtenstein i Norwegię poprzez dofinansowanie ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego

