

Andrzej LESZCZYŃSKI, Norbert SMOLAREK

Projekt NEEST: dążenie do zeroemisyjnych i zrównoważonych miast w Polsce

Abstrakt: Celem projektu NEEST jest wspieranie polskich miast w procesie ich transformacji w kierunku zeroemisyjności poprzez opracowanie modelowych rozwiązań transformacji energetycznej (TE) kwartałów zabudowy zlokalizowanych w pięciu ośrodkach. W ramach projektu wybrano kwartały miejskie, w których przeprowadzono szczegółowe skanowanie 3D oraz stworzono cyfrowe modele budynków i otoczenia. Kluczową rolę w przygotowywaniu koncepcji TE odegrało również opracowanie tzw. koszyków technologicznych, czyli zestawów możliwych do użycia technologii OZE zapewniających ciepło, chłód oraz energię elektryczną dla różnych typów budynków. W artykule opisano zastosowane metody selekcji obszarów miejskich, kolejne etapy prac projektowych oraz narzędzie Symulator Systemu Energetycznego Miasta (SSEM), które będzie mogło służyć jako pomoc przy projektowaniu transformacji innych miast w Polsce.

Słowa kluczowe: NEEST, SSEM, zeroemisyjne miasta, zrównoważony rozwój, cyfrowe bliźniaki, efektywność energetyczna, urbanistyka

NEEST

Projekt **NEEST (NetZero Emission and Environmentally Sustainable Territories)** jest inicjatywą realizowaną przez konsorcjum składające się z pięciu polskich miast: Krakowa (lider konsorcjum), Warszawy, Wrocławia, Łodzi i Rzeszowa, a także Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) jako partnera technologicznego. Celem projektu jest wsparcie polskich miast w transformacji i osiągnięciu zeroemisyjności w sposób zrównoważony i odpowiadający na współczesne wyzwania klimatyczne i społeczne.

Projekt NEEST zakłada działanie na wielu płaszczyznach, takich jak: wypracowanie modelu partycypacji społecznej, angażowanie interesariuszy, identyfikacja barier prawnych i rekomendacje legislacyjne, a także innowacyjne rozwiązania z dziedziny

architektury, urbanistyki oraz systemów ciepłownictwa i energii. Dzięki interdyscyplinarnemu podejściu oraz współpracy z ekspertami z różnych dziedzin projekt dąży do opracowania kompleksowych rozwiązań, które mogą być replikowane w innych miastach na terenie Polski i poza jej granicami.

Finansowanie projektu pochodzi z unijnego programu **NetZeroCities**, który jest częścią szerszej inicjatywy Komisji Europejskiej pod nazwą **EU Mission for 100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030**. W ramach tego programu miasta uczestniczące otrzymują indywidualne doradztwo i wsparcie od EIT Climate-KIC, lidera programu NetZeroCities.

Wytyczne

do procesu transformacji miast

W celu zmapowania wyzwań stojących przed miastami w kontekście transformacji energetycznej, zmian społecznych czy przyszłości transportu, zaprosiliśmy do współpracy renomowaną duńską pracownię architektoniczną Juul Frost Architects. To firma z ponad 25-letnim doświadczeniem w projektowaniu urbanistycznym, która specjalizuje się w holistycznym podejściu do tworzenia przestrzeni miejskich. Jej strategia opiera się na zasadach zrównoważonego rozwoju, z naciskiem na zdrowie, komfort oraz dobrostan lokalnych społeczności. W ramach tej współpracy przygotowywana jest publikacja, która będzie zbiorem wytycznych i dobrych praktyk w zakresie transformacji kwartałów miasta. Dokument, który zostanie opublikowany wraz z wynikami projektu NEEST, opisuje

skuteczne narzędzia i obejmuje cztery kluczowe obszary tematyczne:

- **projektowanie holistyczne** – przestrzenie miejskie powinny być projektowane w sposób zintegrowany, łączący aspekty architektoniczne, środowiskowe i społeczne;
- **zieleń miejska** – praktyki związane z zielenią miejską koncentrują się na tworzeniu przyjaznych, zdrowych środowisk, które integrują naturę z infrastrukturą miejską;
- **transport i komunikacja** – zrównoważone systemy transportowe stanowią fundament nowoczesnych miast;
- **społeczeństwo** – budowanie lokalnych społeczności to podstawa zrównoważonego rozwoju.

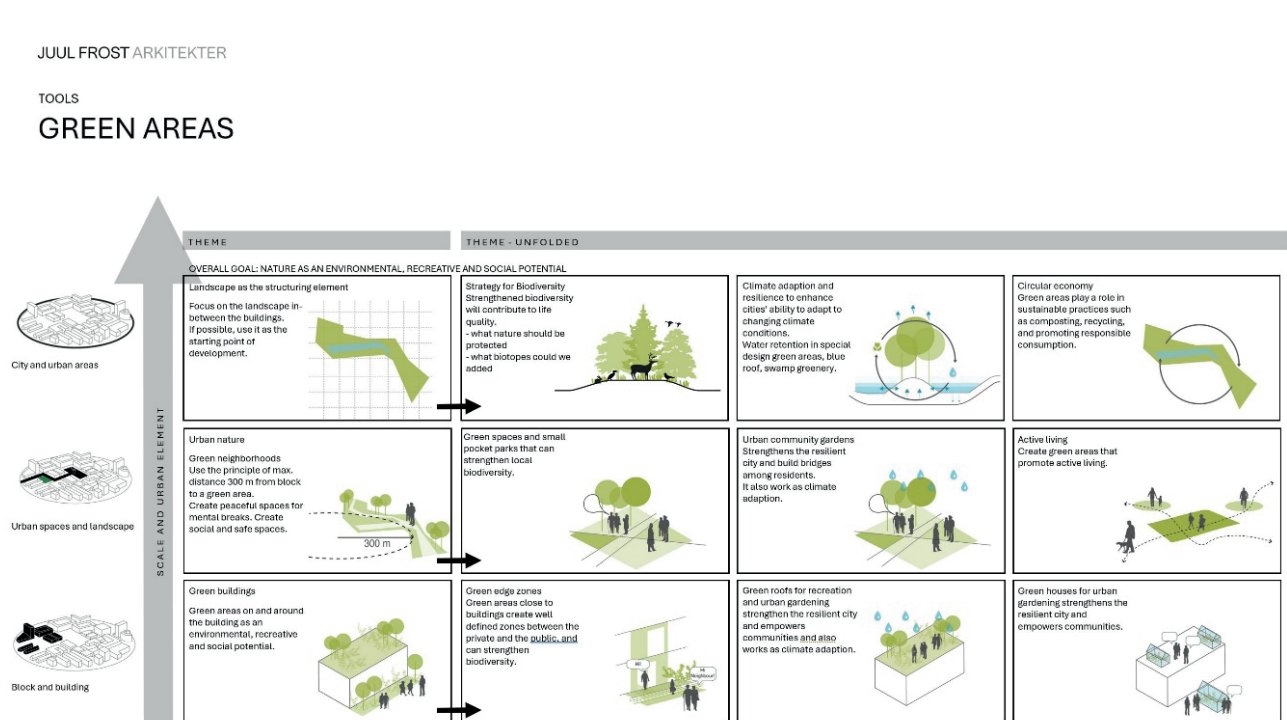
Kluczowym elementem opracowania są narzędzia projektowe, które w przystępny sposób prezentują wyzwania i rozwiązania urbanistyczne w formie diagramów i opisów. Diagramy te pomagają architektom, urbanistom i decydentom w procesie planowania i wdrażania zrównoważonych rozwiązań (Rys. 1).

Kwartały miejskie

W ramach projektu NEEST kluczowe było wybranie odpowiednich kwartałów miejskich, czyli obejmujących typowe budynki, których modernizacja często przysparza miastom problemów. Na podstawie analiz ilościowych i stanu technicznego miasta stworzyły listę typowych obiektów wymagających interwencji. Są to:

- budynek wielorodzinny wybudowany w latach 1970–1990,
- szkoła zwana „tysiąclatką” wybudowana w latach 1960–1980,
- dom jednorodzinny typu „kostka” wybudowany w latach 1960–1990,
- kamienica/budynek mieszkalny wielorodzinny wybudowany przed 1918 r.,
- budynek usługowy wybudowany po 1945 r.

W każdym z pięciu miast uczestniczących w projekcie wyznaczono po jednym kwartale, który posłuży jako modelowy obszar do wdrożenia rozwiązań wspierających transformację energetyczną (Rys. 2).



Rys. 1. Diagram rekomendacji dotyczących terenów zielonych



Rys. 2. Kwartal zabudowy zlokalizowany w Krakowie na osiedlu Złotego Wieku

Proces selekcji kwartałów był ściśle zdefiniowany i opierał się na analizie specyficznych kryteriów urbanistycznych, społecznych i technicznych, uwzględniał także uniwersalność rozwiązań, które mogłyby być później replikowane w innych miastach i dzielnicach.

W doborze kwartałów kierowano się takimi kryteriami jak: koncentracja na budownictwie wielorodzinnym (budynki wielorodzinne zostały wskazane jako priorytetowe ze względu na ich powszechność w polskich miastach oraz związane z nimi wyzwania społeczne i techniczne), powtarzalność i uniwersalność wybranych kwartałów (kluczowym założeniem projektu NEEST było opracowanie rozwiązań, które mogą być skalowane i wdrażane w innych miastach oraz dzielnicach o podobnej strukturze urbanistycznej) oraz funkcja publiczna jako kluczowy element przestrzeni (jednym z dodatkowych kryteriów wyboru kwartałów była obecność obiektów pełniących funkcje publiczne, takich jak szkoły „tysiąclatki” lub przedszkola).

Skanowanie 3D jako narzędzie inwentaryzacji

Kluczowym elementem projektu NEEST była szczegółowa analiza wybranych kwartałów zabudowy. Jeden

z jej etapów polegał na przeprowadzeniu dokładnych pomiarów inwentaryzacyjnych na wskazanych obszarach miejskich. Badania te stanowiły podstawę do dalszych analiz i projektowania. Proces skanowania 3D obejmował zastosowanie zaawansowanych technologii, takich jak skanery laserowe wyposażone w system GPS oraz naloty dronem.

Skanowanie laserowe polega na emisji wiązki lasera, która rejestruje położenie obiektów znajdujących się w otoczeniu skanera. Wynikiem tego procesu jest szczegółowa chmura punktów, będąca metrycznym odwzorowaniem rzeczywistości. Podczas skanowania wykonywane są także panoramy, które pozwalają na nadanie chmurze punktów wartości RGB, co umożliwia realistyczne odwzorowanie kolorów. Dodatkowo, pomiary GPS pozwalają na osadzenie chmury punktów w układzie współrzędnych geodezyjnych, co jest kluczowe dla dokładnej lokalizacji obiektów.

Naloty dronem uzupełniają chmurę punktów o informacje dotyczące trudno dostępnych miejsc, takich jak dachy budynków. Końcowym efektem skanowania jest kompletna kolorowa chmura punktów (Rys. 3) o rozdzielczości umożliwiającej identyfikację szczegółowych elementów (np. detali architektonicznych budynków), a także małej architektury, obrzeży jezdni czy oświetlenia.

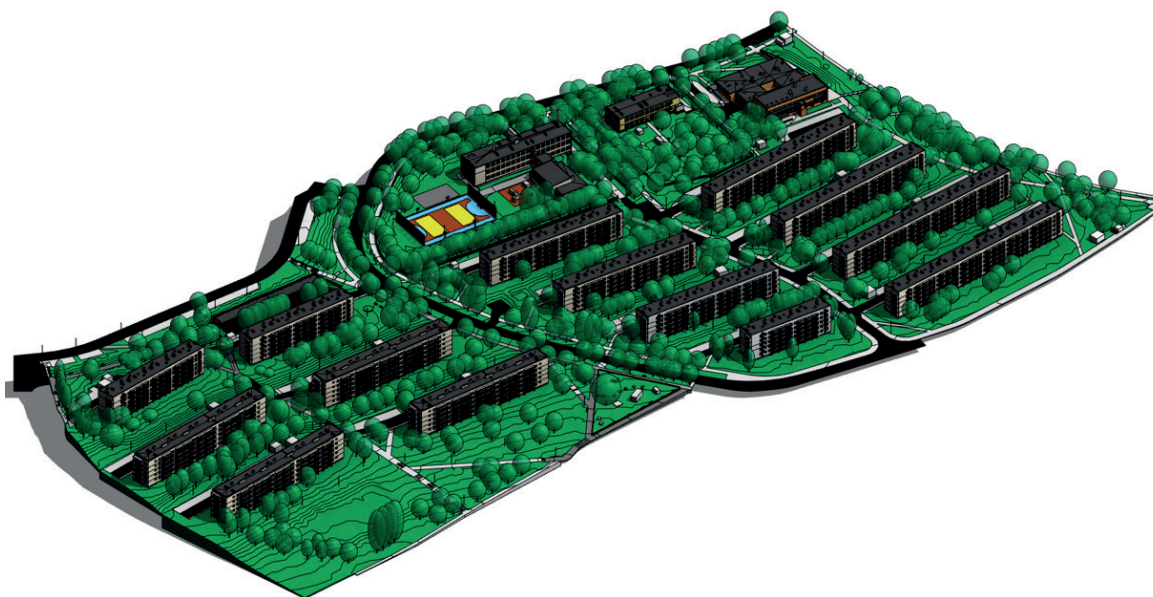


Rys. 3. Widok chmury punktów – wynik skanowania 3D kwartału zabudowy

Cyfrowe bliźniaki: od chmury punktów do wirtualnych modeli

Na podstawie zebranej chmury punktów wykonano cyfrowe modele 3D budynków oraz ich otoczenia (Rys. 4). Proces ten obejmował import danych do specjalistycznych programów, w których tworzono precyzyjne wirtualne odwzorowania obiektów. Wykonano cyfrowe modele budynków i otoczenia w rozdzielczości dopasowanej do potrzeb przyszłych analiz i działań

projektowych z zakresu transformacji. Modele podzielono na elementy zagospodarowania terenu oraz poszczególne budynki, co ułatwia ich edycję i analizę. Cyfrowe modele osadzono w układzie współrzędnych lokalnych oraz nadano im odpowiednią wysokość w układzie geodezyjnym, co pozwala na precyzyjną lokalizację obiektów w przestrzeni. Modele te mogą być eksportowane do różnych formatów, między innymi do otwartego IFC, który umożliwi ich dalsze wykorzystanie w analizach i projektowaniu, w dowolnym oprogramowaniu dostępnym obecnie lub w przyszłości.

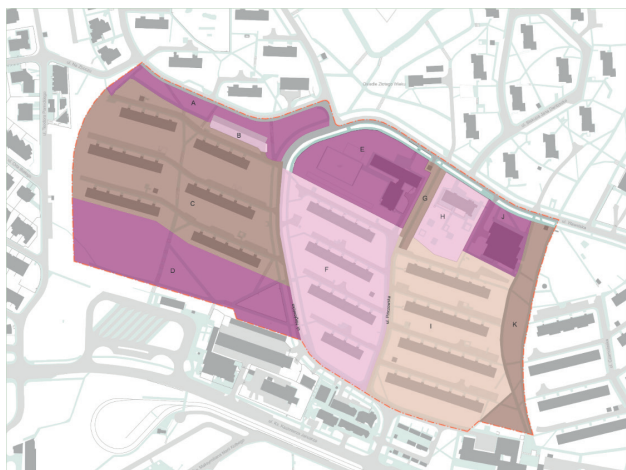


Rys. 4. Cyfrowe modele budynków i otoczenia

Analizy urbanistyczne i parametryczne

Analizy urbanistyczne

W celu zrozumienia potrzeb lokalnej społeczności oraz poznania potencjału do zmiany, wśród mieszkańców wybranych kwartałów przeprowadzone zostały ankiety. Wyniki tych badań społecznych – w połączeniu z danymi pozyskanymi przez miasto oraz efektami wizyt studyjnych ekspertów – posłużyły do sporządzenia szeregu analiz urbanistycznych (Rys. 5). Opisują one między innymi stan techniczny budynków, obszary funkcjonalne kwartału, natężenie ruchu samochodowego, ilość i jakość zieleni miejskiej, a także istniejące przyłącza do sieci ciepłowniczej, elektroenergetycznej czy gazowej. Wnioski z tych analiz pozwolą architektom i urbanistom podjąć świadome decyzje dotyczące rekonfiguracji układu pieszo-jezdnego, możliwości rozbudowy lub nadbudowy istniejących budynków, a także lokalizacji nowych obiektów służących lokalnej społeczności.



Rys. 5. Analiza funkcjonalna kwartału zabudowy

Analizy parametryczne

Cyfrowe modele kwartałów zabudowy wykorzystane zostały do zaawansowanych analiz parametrycznych,

które są niezwykle pomocne przy planowaniu transformacji konkretnych obszarów i odgrywają kluczową rolę w tworzeniu przestrzeni przyjaznej mieszkańcom pod względem zacienienia, komfortu wietrznego oraz mikroklimatu.

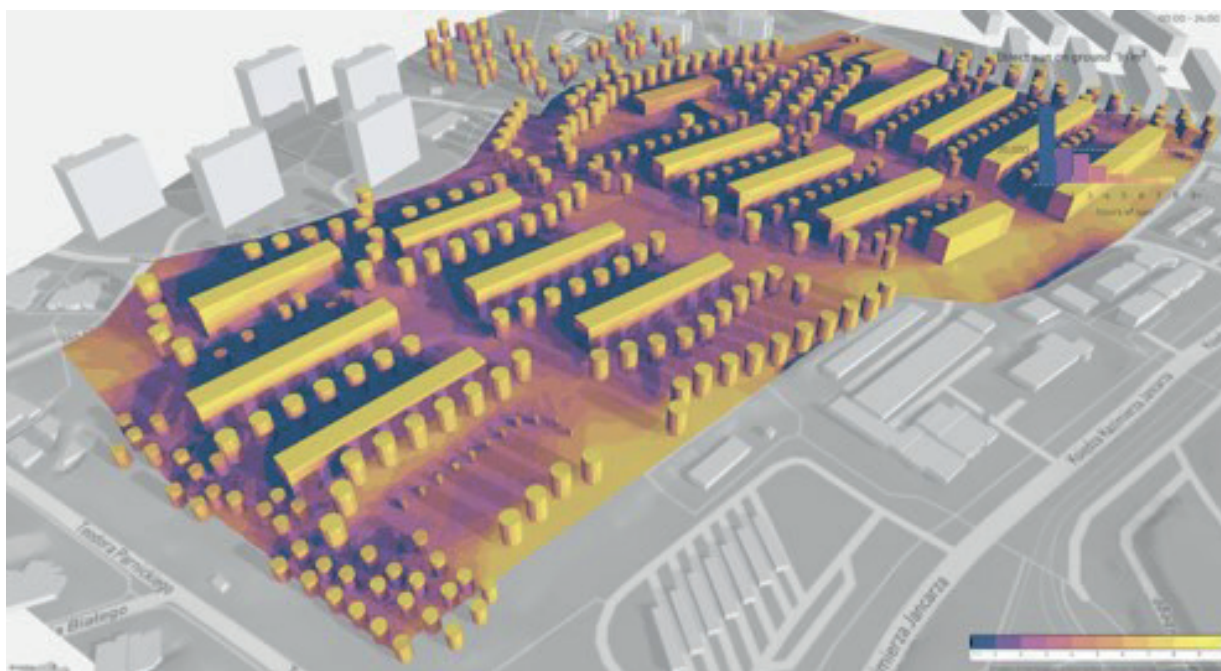
Analizy nasłonecznienia (Rys. 6) pokazują natężenie promieni słonecznych docierających do poszczególnych powierzchni budynku i elementów zagospodarowania terenu. Pozwalają one na wyznaczenie obszarów, w których intensyfikacja zabudowy (poprzez nadbudowę lub rozbudowę istniejących budynków) lub budowa nowych obiektów nie wpłynie negatywnie (poprzez zacienianie) na zabudowę istniejącą w kwartale. Maksymalizacja wykorzystania naturalnego światła dziennego przekłada się nie tylko na poprawę komfortu użytkowników, ale też zmniejsza zapotrzebowanie na sztuczne oświetlenie. W miejscach mocno narażonych na działanie promieni słonecznych zastosowane zostaną przesłony zacieniające stałe lub zieleń izolacyjna, w celu zminimalizowania kosztów chłodzenia budynków i obniżenia zużycia energii.

Analizy potencjału solarne (Rys. 7) umożliwiają zidentyfikowanie optymalnych lokalizacji dla paneli fotowoltaicznych. Pozwalają też oszacować, jaką ilość mocy mogłyby w skali roku wyprodukować takie instalacje. Wspomniana powyżej analiza wspiera zrównoważone zarządzanie energią oraz pozwala na maksymalizację produkcji energii solarnej przy minimalizacji kosztów inwestycyjnych (poprzez strategiczne rozmieszczenie paneli).

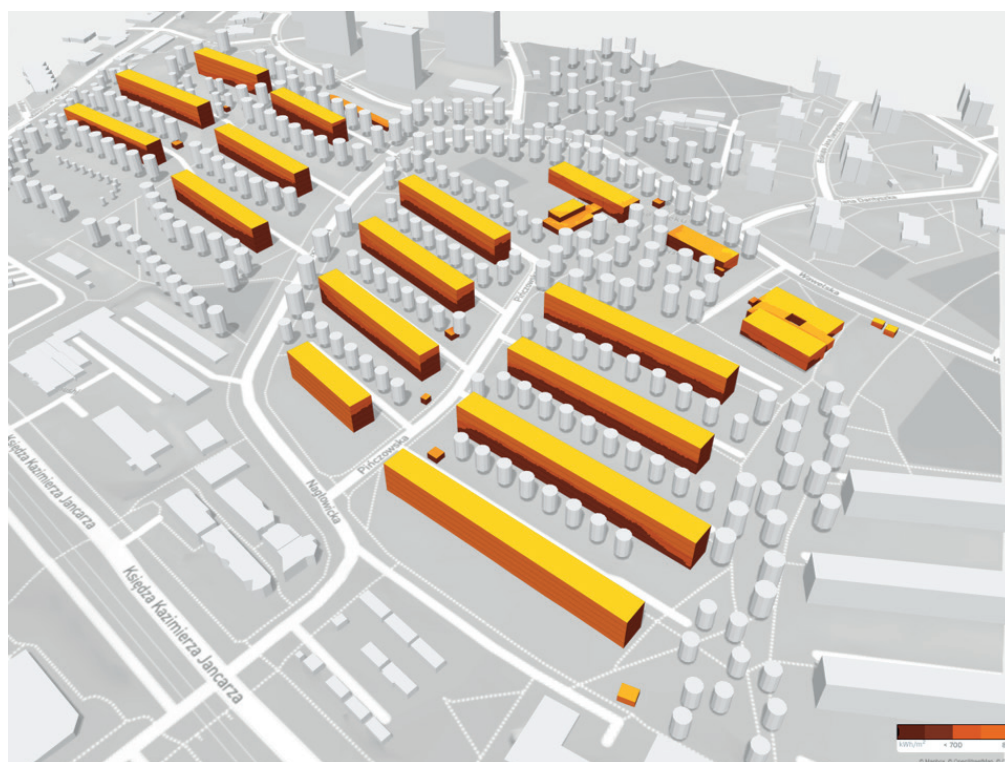
Analizy wiatru (Rys. 8), wykonane według kryteriów Lawsona oraz holenderskiej normy uciążliwości wiatru (NEN 8100), powinny być nieodzownym narzędziem przy projektowaniu przestrzeni urbanistycznych. Stanowią podstawę do wyznaczenia przestrzeni wspólnych, w których użytkownicy mogą czuć się komfortowo, oraz pozwalają zlokalizować miejsca, gdzie warto zastosować np. zieleń izolacyjną, która ograniczy wychładzanie się elewacji budynku lub poprawi komfort użytkownika danej przestrzeni. Dzięki temu zapewniony zostanie optymalny przepływ powietrza, a zminimalizowaniu ulegną nieprzyjemne efekty wiatru, takie jak przeciągi czy strefy o nadmiernej turbulencji.

Analizy mikroklimatu (Rys. 9) dostarczają z kolei szczegółowych informacji na temat lokalnych warunków atmosferycznych, co pozwala na dokładniejsze dopasowanie rozwiązań architektonicznych i inżynierskich do specyficznych potrzeb danego miejsca.

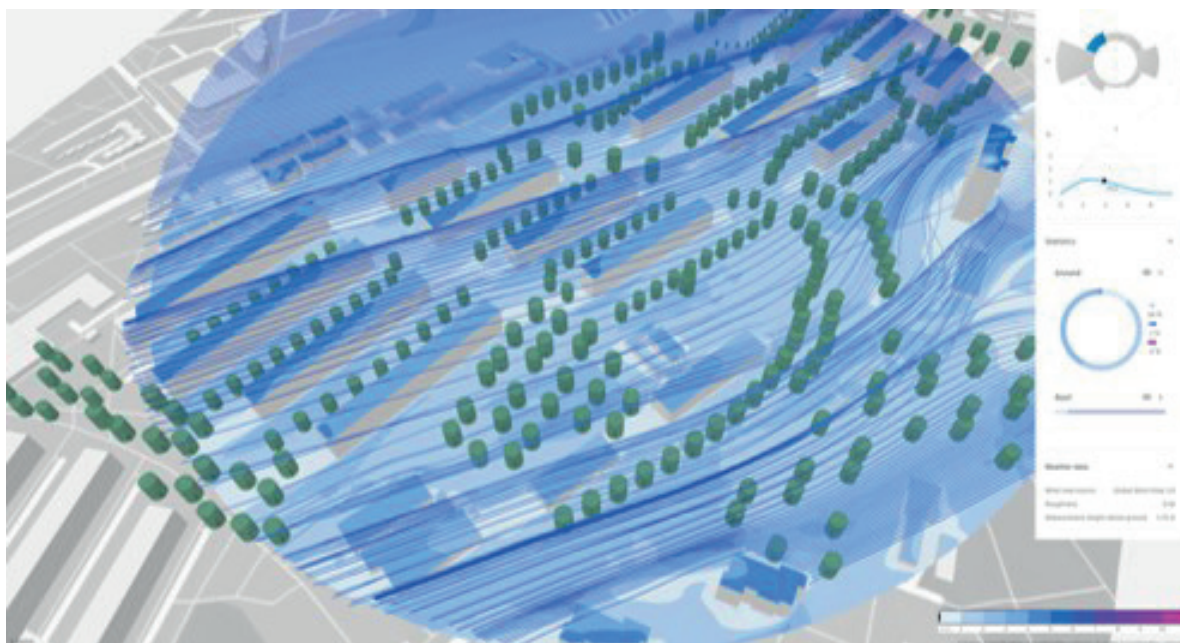
Analizy parametryczne w procesie projektowania transformacji kwartału zabudowy pomagają w stworzeniu koncepcji przestrzeni nie tylko komfortowej dla mieszkańców, ale również zrównoważonej energetycznie i energooszczędnej.



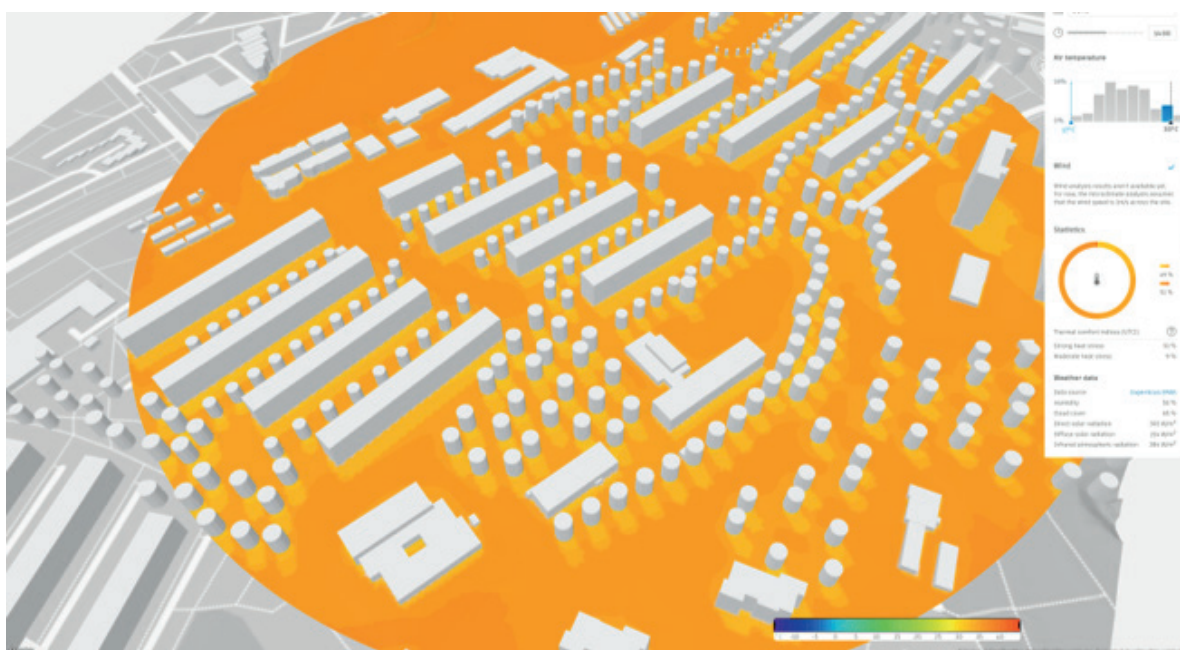
Rys. 6. Analiza nasłonecznienia kwartału zabudowy



Rys. 7. Analiza potencjału solarnego kwartału zabudowy



Rys. 8. Analiza wiatru w kwartale zabudowy

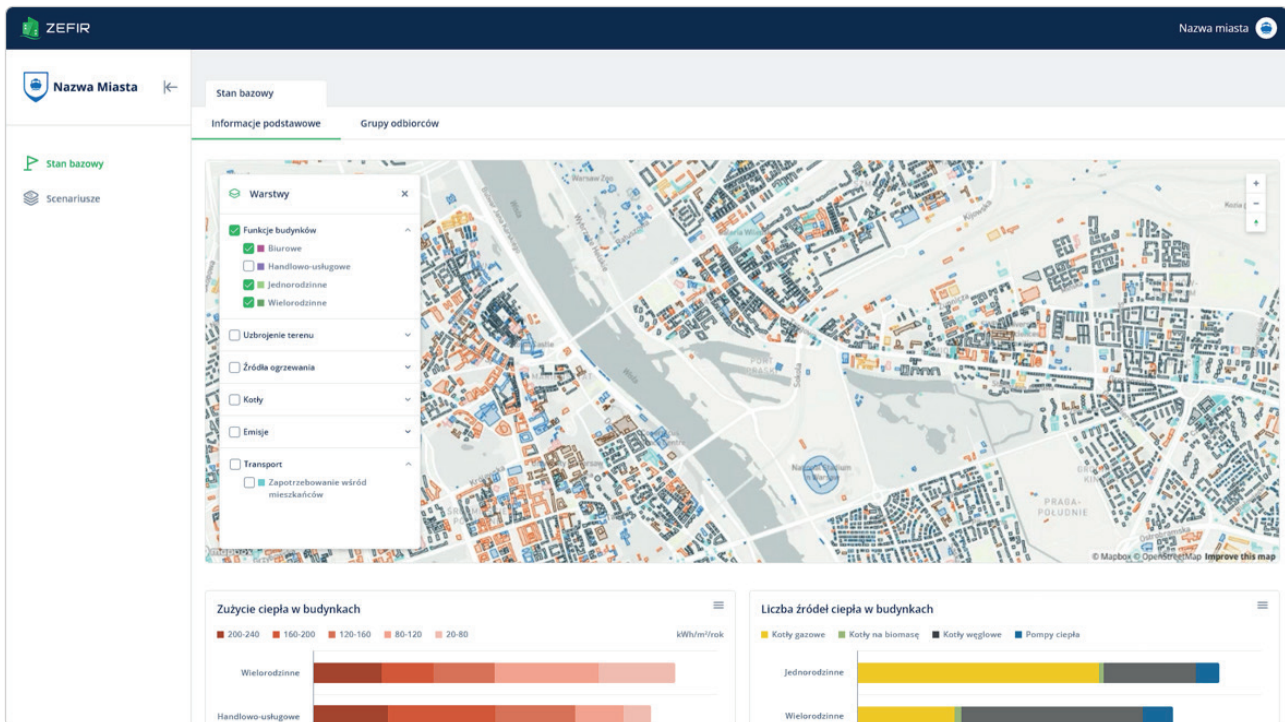


Rys. 9. Analiza mikroklimatu kwartału zabudowy

Symulator Systemu Energetycznego Miasta (SSEM)

Odpowiedź na pytanie, jak powinno wyglądać miasto zeroemisyjne, nie należy do prostych, zwłaszcza jeśli weźmie się pod uwagę liczbę dostępnych danych, mnogość systemów ogrzewania budynków oraz ich

zróżnicowaną efektywność energetyczną. Aby w sposób świadomy i zgodny z kryteriami zrównoważonego rozwoju zaprojektować wybrane w projekcie NEEST kwartały miejskie, musimy poznać strukturę energetyczną i ciepłowniczą całego miasta. Właśnie w tym celu tworzony jest Symulator Systemu Energetycznego Miasta (SSEM, Rys. 10).



Rys. 10. Widok stanu bazowego SSEM

Narzędzie to pozwala na modelowanie i analizowanie zużycia energii elektrycznej i ciepłej w skali całej aglomeracji. Dzięki symulacjom można przewidywać, w jaki sposób różne scenariusze transformacji energetycznej miast wpłyną na zużycie energii w przyszłości. Umożliwia to tworzenie bardziej energooszczędnych i klimatycznie neutralnych ośrodków, które będą lepiej przygotowane na wyzwania związane ze zmianami klimatu i rosnącym zapotrzebowaniem na energię.

Rekomendacje do transformacji energetycznej budynków – koszyki technologiczne

Zespół ekspertów NCBiR na potrzeby projektu NEEST wypracował tzw. koszyki technologiczne, które ilustrują warianty realizacji procesu TE dla różnych typów budynków. Ich modernizacja obejmuje metody, które można podzielić na pasywne i aktywne. Pierwsze koncentrują się na minimalizowaniu zużycia energii poprzez poprawę parametrów przegród

budowlanych (takich jak izolacyjność). Do takich metod można zaliczyć docieplenia czy wymianę stolarki okiennej i drzwi, czy też wykorzystanie żaluzji fasadowych oraz roślinności zapobiegającej przegrzaniu obiektów o dużym stopniu przeszklenia.

Aktywne metody modernizacji obejmują z kolei technologie i systemy, które bezpośrednio wpływają na zużycie energii przez jej generowanie, przekształcanie lub zarządzanie nią. Dotyczą one przede wszystkim systemów grzewczych, wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, a także wykorzystywania odnawialnych zasobów energii.

Opracowane koszyki technologiczne stanowią możliwe do użycia zbiory współpracujących ze sobą urządzeń, które mogą być wykorzystane do zapewnienia ciepła, chłodu, ciepłej wody użytkowej oraz odpowiedniej wymiany powietrza. Są dopasowane do funkcji i przeznaczenia budynków (a co za tym idzie – profilu zużycia) i występują w kilku wersjach, dzięki czemu mogą być stosowane w różnych warunkach – zarówno w budynkach podłączonych do centralnej sieci ciepłowniczej, jak i tych ogrzewanych gazem czy paliwami stałymi.

Przestrzenie wspólne oraz zieleń w kwartałach zabudowy

Jednym z obszarów zmian uwzględnionych w projekcie NEEST jest zieleń miejska, ma ona bowiem kluczowe znaczenie w kształtowaniu zdrowego i zrównoważonego mikroklimatu w zespołach budynków. Pozytywny wpływ zieleni (zwłaszcza tej wysokiej) na jakość powietrza, komfort termiczny oraz efektywność energetyczną budynków jest nie do przecenienia. Rośliny działają jak naturalne filtry powietrza, wychwytyjąc pyły, dwutlenek węgla oraz inne szkodliwe zanieczyszczenia, a jednocześnie emitując tlen. W warunkach miejskich, gdzie poziom zanieczyszczeń jest wysoki, dodatkowe nasadzenia drzew, krzewów i zieleni niskiej mogą znacząco zmniejszyć stężenie szkodliwych substancji, co przekłada się na lepsze zdrowie mieszkańców oraz użytkowników przestrzeni.

Zieleń ma również zdolność do regulowania mikroklimatu za sprawą naturalnych procesów. Jednym z nich jest transpiracja (odparowywanie wody przez rośliny), która obniża temperaturę otoczenia. Ponadto w gorących miesiącach drzewa i inne rośliny zapewniają cień, redukując efekt miejskiej wyspy ciepła, który powstaje wskutek nadmiernego nagrzewania się budynków i powierzchni utwardzonych. Obniżenie temperatury w otoczeniu budynków wpływa również na schłodzenie jego wnętrza. Dodatkowo strategiczne nasadzenia mogą optymalizować energetykę budynków. Zieleń może działać jak bariera przed wiatrem, zimą przyczyniać się do redukcji straty ciepła, a latem – służyć jako naturalna osłona przed nadmiernym nasłonecznieniem. Wszystko to pozwala na zmniejszenie zużycia energii niezbędnej do ogrzewania i chłodzenia budynków.

Wprowadzenie zieleni do przestrzeni miejskich sprzyja także bioróżnorodności – tworzy siedliska dla różnych gatunków zwierząt, owadów i ptaków, co dodatkowo wzbogaca ekosystem miejski. To z kolei może pozytywnie wpływać na zdrowie psychiczne mieszkańców, zwiększając ich kontakt

z naturą oraz tworząc bardziej przyjazne i atrakcyjne przestrzenie do życia.

Retencja wody w kwartałach zabudowy

Naturalna retencja wody odgrywa kluczową rolę w transformacji energetycznej miast, ponieważ wpływa na poprawę efektywności zarządzania zasobami wodnymi i energetycznymi, a także zwiększa odporność ośrodków na zmiany klimatyczne. W kontekście TE odpowiednia retencja – czyli zatrzymywanie wody opadowej w miejscu jej wystąpienia – pozwala na zmniejszenie zużycia energii potrzebnej do jej transportu i oczyszczania, co jest szczególnie istotne w gęsto zaludnionych obszarach miejskich. Zwiększenie retencji wody dzięki naturalnym metodom, takim jak zielone dachy, ogrody deszczowe czy parki retencyjne, nie tylko obniża ryzyko powodzi i przeciwdziała suszom, ale również wspomaga chłodzenie miejskich przestrzeni, redukując efekt miejskiej wyspy ciepła. Dzięki temu miasta stają się bardziej odporne na ekstremalne zjawiska pogodowe, które coraz częściej występują w niestabilnym obecnie układzie klimatycznym. Poprawa retencji wody wspiera także lokalne ekosystemy i bioróżnorodność, co dodatkowo zwiększa zdolności adaptacyjne miast do przyszłych wyzwań klimatycznych.

Podsumowanie

Projekt NEEST podejmuje wyzwania związane z transformacją energetyczną polskich miast na wielu płaszczyznach oraz integruje różnorodne obszary, takie jak urbanistyka, architektura, technologie energetyczne czy partycypacja społeczna. Dzięki interdyscyplinarnej współpracy zespołu ekspertów i holistycznemu podejściu do zagadnienia wypracowane rozwiązania mają szansę stać się wytyczną dla innych kwartałów miejskich oraz kolejnych miast. Zakończenie projektu jest planowane na maj 2025 r.

The NEEST Project: striving for net-zero emission and environmentally sustainable cities in Poland

Abstract: The aim of the NEEST project is to support Polish cities in their transformation towards net-zero emissions by developing model solutions. As part of the project, selected urban quarters were subject to a detailed 3D scan, and digital models of buildings and their surroundings were created. The development of so-called “technology baskets,” which are sets of renewable energy technologies that provide: heating, cooling, and electricity for different types of buildings, also played a key role. The article describes the methods used to select urban areas, the subsequent stages of the project, and the City Energy System Simulator (SSEM) tool, which could be used as an aid in designing a energy transformation for other cities in Poland.

Keywords: NEEST, SSEM, net-zero cities, sustainable development, digital twins, energy efficiency, urban planning

Andrzej Leszczyński

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju
andrzej.leszczynski@ncbr.gov.pl



Norbert Smolarek

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju
norbert.smolarek@ncbr.gov.pl

