



Torun, 13.03.2025

city, date

Full name of doctoral student: **Umberto Grande**

Album no.: : **503279**.

DOCTORAL DISSERTATION ABSTRACT

Scientific discipline: **biological sciences**

Title of the doctoral dissertation: **Funkcje celu i ocena kapitału naturalnego i usług ekosystemowych**

Doctoral dissertation abstract:

Planeta Ziemia stoi obecnie w obliczu bezprecedensowego kryzysu z powodu nasilających się presji antropogenicznych, które prowadzą do deficytu ekologicznego. Poprzez wydobywanie zasobów w tempie przekraczającym ich naturalną regenerację i emitowanie odpadów przekraczających pojemność ekologiczną środowiska, ludzie destabilizują biosferę. Dlatego w świecie coraz bardziej dotkniętym działalnością człowieka zrozumienie funkcjonowania ekosystemu i stanu zasobów kapitału naturalnego ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia dobrobytu człowieka.

Zaproponowano wiele teorii i podejść metodologicznych do wyceny natury i jej usług. Wśród nich na uwagę zasługują Funkcje Celu, które można pojmować jako tendencje, ku którym ukierunkowana jest ewolucja ekosystemu, dostarczające informacji o ekosystemach, ich konfiguracjach i funkcjach w czasie. Funkcje celu można podzielić na trzy główne kategorie: biotyczne, sieciowe i termodynamiczne. W szczególności termodynamiczne funkcje celu opierają swoją koncepcję na prawach termodynamiki i zasadzie entropii, uwzględniając materię i energię w ekosystemach, aby ocenić wewnętrzną wartość systemów naturalnych, umożliwiając kompleksowe zrozumienie ich złożonej dynamiki. Jednocześnie niezbędne jest przypisanie wartości biofizycznej i ekonomicznej do korzyści, jakie oferują ekosystemy. W związku z tym Organizacja Narodów Zjednoczonych ustanowiła ramy Systemu Rachunkowości Ekonomicznej Środowiskowej i Rachunkowości Ekosystemowej (SEEA-EA), które zapewniają



ujednolicone podejście do rozliczania przepływów usług ekosystemowych w ujęciu biofizycznym i ekonomicznym, mając na celu uwzględnienie ich wartości w procesach decyzyjnych.

W tym kontekście celem projektu było zastosowanie podejścia biofizycznego do badania wymiany przepływów materii i energii w funkcjonowaniu ekosystemów, ze szczególnym uwzględnieniem oceny kapitału naturalnego i usług ekosystemowych.

Aby zbadać wartości kapitału naturalnego, złożoność ekologiczną i wydajność ekosystemów, wybraliśmy trzy różne typy jezior położonych w Rezerwacie Biosfery UNESCO-MAB Bory Tucholskie (północna Polska). Wykorzystując łącznie funkcje celu, tj. emergii i eko-egzergii, przetestowaliśmy hipotezę, że jeziora o różnej trofii, tj. oligotroficzne, mezotroficzne i eutroficzne, różnią się pod względem wartości kapitału naturalnego, złożoności systemu i funkcjonowania. Ponadto, wykorzystując współczynnik eko-egzergii / emergii, zdefiniowaliśmy wydajność badanych ekosystemów, opisując rolę przepływów materii i energii w utrzymaniu struktury ekosystemów jeziornych w czasie. Nasze wyniki badań wykazały, że jeziora eutroficzne wykazywały najwyższy kapitał naturalny pod względem wartości emergii i eko-egzergii. Jednak jeziora mezotroficzne i oligotroficzne wykazywały wyższą wydajność w utrzymywaniu i rozwijaniu struktur i organizacji ekosystemów.

Druga hipoteza zakładała, że zasoby kapitału naturalnego mogą ulegać wpływom parametrów środowiskowych i presji antropogenicznej, a ich zmiany można wykryć za pomocą termodynamicznych funkcji celu. Testując tę hipotezę, zbadaliśmy ekosystemy morskie Morza Śródziemnego dotknięte działalnością człowieka, w szczególności Cieśninę Sycylijską (Włochy). Stosując metodę eko-egzergii, oceniliśmy złożoność i dynamikę zasobów kapitału naturalnego w czasie. Ponadto przeprowadziliśmy analizę przestrzenną i 'punktów zapalnych' eko-egzergii oraz wskaźników różnorodności w celu zidentyfikowania kluczowych obszarów dla strategii ochrony i planowania przestrzennego obszarów morskich. Wyniki wykazały spadek zasobów kapitału naturalnego w czasie, skorelowany z parametrami środowiskowymi, w tym temperaturą i pH. Ponadto stwierdziliśmy zmiany w strukturze i złożoności ekosystemów. Dodatkowo, łącząc eko-egzergię i indeks Shannona, zidentyfikowaliśmy dwa ważne obszary dla celów ochrony.

Trzecia hipoteza zakładała, że zmienność podaży usług ekosystemowych może być spowodowana nie tylko działalnością człowieka, ale także intensywnymi klęskami żywiołowymi. Przetestowaliśmy tę hipotezę, korzystając z metodologii SEEA-EA, oceniając zasoby ekosystemów, a następnie usługi ekosystemowe świadczone przez lasy Rezerwatu Biosfery UNESCO-MAB Bory Tucholskie (Polska). W szczególności oceniono zdolność lasów do usuwania zanieczyszczeń powietrza (PM10, PM2,5, NO2 i O3) oraz utratę funkcji spowodowaną przez huragan. Wyniki wykazały, że strukturę i skład lasu stanowiły głównie grupy funkcjonalne drzew iglastych i liściastych, które mogły w znacznym stopniu przyczynić się do poprawy jakości powietrza. Ocena skuteczności usuwania zanieczyszczeń powietrza wykazała wahania w zależności od okresu wegetacji drzew, parametrów fenologicznych i fizjologicznych oraz stężenia zanieczyszczeń. Całkowita wartość ekonomiczna usługi filtracji powietrza została oszacowana na 791 milionów euro rocznie. Ponadto ocena zmian w dostawie usług ekosystemowych spowodowanych huraganem, raportująca stratę w wysokości 7,4 miliona euro,



podkreśliła, w jaki sposób zmiana klimatu i związane z nią ekstremalne zdarzenia mogą zagrozić świadczeniu korzyści dla ludzkości.

Badania przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej wykazały, że termodynamiczne funkcje celu stanowią cenne narzędzie do oceny kapitału naturalnego, złożoności ekologicznej i dynamiki ekosystemów. Ponadto ocena usług ekosystemowych podkreśliła znaczenie przypisywania ekosystemom zarówno wartości biofizycznej, jak i ekonomicznej, które powinny być uwzględnione w procesach decyzyjnych, aby tym samym chronić dobrobyt człowieka.

.....

doctoral student's signature