

MICHAŁ KOPEĆ, KRZYSZTOF GONDEK

Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków

**ZNACZENIE DŁUGOTRWAŁYCH DOŚWIADCZEŃ I PROBLEMY
UPLYWU CZASU W METODACH BADAWCZYCH Z OBSZARU
NAUK PRZYRODNICZYCH**

Zasoby Ziemi są zbiorem zamkniętym, dlatego istotne jest ich rozpatrywanie w kontekście upływającego czasu. Ponieważ otaczający nas świat jest w układzie dynamicznym, analiza ujęcia czasu, jako zmiennej tego układu dla wyjaśnienia zjawisk i procesów w naukach przyrodniczych, staje się nieodzowna. Wyjaśnienie naukowe może dotyczyć krótkich, ale i nieograniczonych okresów prowadzenia obserwacji lub eksperymentów. Długotrwałe badania poszerzają wiedzę naukową o elementy, które są niezauważalne w krótkiej perspektywie albo wyznaczają granice wpływu czynnika czasu. Wyniki badań mają charakter poznawczy w naukach podstawowych oraz praktyczny dla wielu nauk stosowanych. Metodyka badań długotrwałych ma jednak swoją specyfikę. Trudności w prowadzeniu takich badań wynikają ze zmian otoczenia czy narzędzi badawczych, ale również podejścia i interpretacji przez naukowców. W pracy przedstawiono przykłady i podejście do długotrwałych badań przyrodniczych podłużnych i poprzecznych oraz problemy realizacji takich badań. Mimo braku ciągłych, spektakularnych odkryć naukowych, kontynuacja badań długotrwałych jest ważna. Wnikliwe rozumienie ich metodologii musi dotyczyć nie tylko współcześnie prowadzonego eksperymentu, ale również odbiorcy wyników. Oddanie w ręce odpowiedzialnego badacza rozwiązania konkretnego problemu to także akceptacja dla spowolnienia oczekiwań na natychmiastowy wynik. Ma to szczególne znaczenie również dla retardacji tempa przekształcania zasobów środowiska.

Słowa kluczowe: retardacja zasobów, długotrwałe badania, upływ czasu, problemy metodologiczne

I. WSTĘP

Rozważania dotyczące sprawiedliwości międzypokoleniowej, a więc uprawnienia następnego pokolenia do odziedziczenia zasobów Ziemi i spuścizny cywilizacyjnej w określonym stanie, zakładają upływ czasu. Bezpieczeństwo ekologiczne obecnego i przyszłych pokoleń oraz równość i sprawiedliwość przy interpokoleniowym i intrapokoleniowym korzystaniu ze wszelkich zasobów środowiska, stanowią fundamentalne determinanty rozwoju zrównoważonego (sustensywnego) [Janikowski 2013]. Zasoby biotyczne i abiotyczne mają charakter skończonego zbioru, dlatego zagadnienia retardacji wykorzystywania zasobów Ziemi wymagają ich określenia i monitorowania zużycia [Janikowski 2013, Kopeć i Gondek 2013, Kostecka 2013]. Problem modelowania procesów

DOI: 10.15584/pjds.2016.20.11

retardacji substancji narasta w przypadku znacznego ich rozproszenia oraz niewielkiej zawartości w środowisku. Z kolei oszczędna i troskliwa gospodarka, np. gospodarka o cyklu zamkniętym, to permanentne analizowanie stanu odnawialnych i niezbywalnych zasobów Ziemi. Wydaje się, że jako pierwszy problemami retardacji w sposób naukowy zajmował się Thomas Malthus, analizując zmiany demograficzne oraz produkcję żywności i publikując swoją teorię opartą o zmienną czasu w 1798 roku.

Celem pracy jest poszukiwanie odpowiedzi na pytania, dlaczego i jak czas jest uwzględniany w metodach badawczych oraz jakie znaczenie dla rozwoju nauki mają długotrwałe doświadczenia w obszarze nauk przyrodniczych?

W obszarze nauk przyrodniczych zastosowanie znajduje logika temporalna, która umożliwia rozważanie różnych zależności czasowych, w tym upływu czasu [Kozanecka-Dymek 2011]. Nie analizując natury filozoficznej „strzałki czasu”, przyjmijmy, że „upływ czasu” jest antropomorficznym wyrażeniem, którego fizycznym odpowiednikiem jest długość określonego interwału czasowego oraz kierunek i punkt odniesienia [Pabjan 2005].

Modele zależności pomiędzy osobnikami dotyczą często prostego układu dwóch zmiennych rozpatrywanych w czasie (np. model o cyklicznym charakterze Lotki-Volterry). Równie proste jest sprowadzenie układów do dynamiki populacji organizmów jednokomórkowych. Osobnik nie jest jednak dobrym modelem wyższych jednostek ekologicznych, pozwalającym na zrozumienie mechanizmów utrzymujących ich stabilność i swoistość oraz na przewidywanie skutków zmian w ich otoczeniu. W przypadku złożonych układów biocenozy, które uwzględniają znacznie więcej czynników, pojawia się już wiele trudności [Łomnicki 2000]. W takich układach proste modele matematyczne nie ujmują zawłości dynamiki w czasie, a wypracowanie modeli dla wielu zmiennych, jako funkcji czasu staje się naprawdę trudne. Dodatkowo w naukach przyrodniczych mamy do czynienia z dwoma formami języka opisującego problem: językiem matematycznym i językiem wyobrażeniowym [Łomnicki 2000, Kozanecka-Dymek 2011 za Heisenbergiem]. Za pomocą języka wyobrażeniowego dokonuje się opisu w sposób bardziej zrozumiały, w porównaniu do opisu z użyciem języka matematycznego. Nie mniej jednak, oba języki pozwalają na adekwatne dla danej dyscypliny nauki, wyrażenie praw o charakterze jakościowym, zwłaszcza tych uwzględniających zależności typu przyczyna-skutek następujących w czasie. W opisie metody badania wymaga się jednak bardzo precyzyjnego określenia punktu odniesienia.

Pojęcia dotyczące zegara biologicznego obejmują okresy krótkie oraz te przebiegające w dłuższej perspektywie czasu, z tym, że muszą one dotyczyć osobnika danej populacji. W przypadku środowiska można również mówić o krótko- i długotrwałym charakterze badań. Obserwacje i modelowanie dynamiki gatunków obejmuje pokolenia i różne populacje. Czas w sposób nierozzerwalny związany jest z biotycznymi i abiotycznymi elementami środowiska oraz procesami zachodzącymi w środowisku; np. retardacją wyczerpywania zasobów naturalnych. Jakkolwiek byśmy go nie definiowali, poznanie i wyjaśnienie w naukach przyrodniczych opiera się na metodach badawczych uwzględniających czas. W niektórych dyscyplinach naukowych często upraszcza się kwestię czasu do linearności (metryzacja czasu) i przechodniości (relacja wcześniej / później). Poprzestaje się na chronologii, czyli oznaczeniu wydarzeń, zjawisk na podstawie przyjętego podziału czasu. Trudność zrozumienia zależności może mieć miejsce w przypadku porównywania układów biologicznych o różnej chronologii spowodowanej innym punktem odniesienia lub pewną ich dynamiką [Faliński 2001, Walker i in. 2010].

Epistemologia teorii poznania i wyjaśnienia w metodologii badań naukowych wymaga różnych metod badawczych, które prowadzą do poszerzenia wiedzy o zjawisku lub procesie [Kozanecka-Dymek 2011]. Do podstawowych metod badawczych, szczególnie w naukach

przyrodniczych, należy ukształtowana przez lata metoda obserwacyjna i metoda oparta na doświadczeniu. Metody te mogą się wzajemnie uzupełniać, a bardzo często metoda obserwacyjna poprzedza założenie doświadczenia. Jak podaje Faliński [2001] „długotrwałość i złożoność większości procesów ekologicznych uniemożliwia ich poznanie w inny sposób niż przez bezpośrednie obserwacje i nie może się to odbyć w czasie krótszym niż trwa dany proces oraz, że właściwe badania muszą być przeprowadzone od początku do końca w tym samym układzie odniesienia”.

Niewątpliwie w oparciu o doświadczenia przyrodników doprowadzono w badaniach społeczno-medycznych do wypracowania założeń do dwóch metod obejmujących upływ czasu: metody porównań poprzecznych i metody porównań podłużnych. Strategia porównań poprzecznych to metoda badawcza, w której obiekty, różne pod względem wieku chronologicznego, są obserwowane i porównywane w danym momencie czasu. Badania poprzeczne dotyczące człowieka były poprzedzone często badaniami ekologii poszczególnych gatunków roślin czy zwierząt, ich morfologii czy etologii. Model takiego rozwiązania ma sens wówczas, gdy obserwacje są systematycznie powtarzane. Również poznanie i wyjaśnienie w darwinowskiej teorii ewolucji miało na początku charakter analizy poprzecznej i zestawienia odnotowanych faktów [Łomnicki 2000]. Nie są to badania długotrwałe, ale jako uwzględniające zmienną czasu, mają duże znaczenie dla wyjaśnienia różnych procesów [Walker i in. 2010].

Zbiór obserwacji jednoczesnych dokonany jednorazowo ma ograniczoną wartość naukową [Faliński 2001], określa stan obiektu badań. Niemniej jednak, stosując metody pośrednie można uzyskać ciekawe wnioski. Zarzycki [2011], posiłkując się do weryfikacji współczesnych pomiarów wykorzystaniem austriackich map katastralnych wykonanych w latach 1848–1852, stwierdził, że aktualny stan kilkuset zbiorowisk łąkowych Pienin zależy od sposobu użytkowania gruntów w przeszłości, zróżnicowanych warunków siedliskowych w jakich występowały użytki zielone oraz czasu ich kształtowania się. Podobny aspekt mają badania złożoności gatunkowej, struktury i roli lasotwórczej gatunków tworzących drzewostany w lasach górskich [Ruciński 2015]. Analiza struktury wiekowej pozwoliła ustalić okresy powstawania drzewostanów, a w powiązaniu z danymi historycznymi, potwierdzić naturalny charakter ich powstania. Metoda ta wykorzystywana jest także w badaniach peleogeologicznych, w których na podstawie rdzeni lodowych (przypadki 3 km długości rdzenia) czy osadowych, modeluje się cykliczność polarnej cyrkulacji wymiennej, której pełny obieg oszacowano na średnio 1500 lat [Kotrys 2016].

Strategia porównań podłużnych to sposób prowadzenia badań, który pozwala obserwować te same osobniki/obiekty wielokrotnie w ustalonym okresie. Badania te opierają się na kryterium czasu i służą zrozumieniu mechanizmów zmian lub czynników wpływających na te procesy. Uważa się, że okoliczności badania są na tyle dobrze udokumentowane i istnieje małe prawdopodobieństwo mylnej interpretacji. Ta forma badań najczęściej służy modelowaniu z uwzględnieniem zmiennej, którą jest czas. Metoda badań podłużnych, rozciągnięta na pokolenia grochu siewnego (*Pisum sativum*) stoi za odkryciami genetycznymi G. Mendla oraz bardziej zaawansowanymi technologicznie badaniami genetyki mikroorganizmów. Tenaillon i in. [2016] analizują wieloletnie doświadczenie mikrobiologiczne mierzone pokoleniami populacji *Escherichia coli* (50 000!). Przeanalizowano 264 genomów z 12 populacji, badając efekty i interakcje wielu mutacji. Wyniki te wyjaśniają przesunięcia równowagi czynników ewolucji genomu i adaptacji do nowego środowiska.

Dane opisujące zmienną mają na ogół charakter dyskretny i jest to wynikiem częstotliwości i regularności obserwacji [Kozanecka-Dymek 2011]. Coraz częściej, sięgając do nowych narzędzi pozyskuje się dane zmniejszające interwał czasu – ma to istotne znaczenie w przypadku kwestii poznania i wyjaśnienia naukowego. Przykładem takich sytuacji może być

zakładanie obroży telemetrycznej dzikim zwierzętom w celu identyfikacji ich migracji lub nadajnik na szyi krowy rejestrujący stopień przeżuwania w celu oceny jej mleczności. Miniaturyzacja instrumentów pozwala obecnie również na rejestrowanie informacji o stanie fizjologicznym człowieka w krótkich interwałach czasu. Rejestruje się w ten sposób nie tylko ilość uderzeń serca w jednostce czasu, ale również inne parametry fizjologiczne. Uważa się, że te tysiące danych, które mogą być gromadzone przez całe życie osobnika pozwalają na modelowanie, które prowadzi do podniesienia komfortu życia lub zwiększenia produktywności. Ciągła rejestracja pozwala na uzyskanie zbioru informacji, które mogą być wykorzystane tylko przy zastosowaniu sztucznej inteligencji, np. sieci neuronowych [Kopeć i Gondek 2015], teorii gier ewolucyjnych [Łomnicki 2000, Argański 2009] oraz innych metod analiz. Jest to tworzenie profilu zachowań lub procesów, który wynika z faktu stosunkowo małych odchyłeń w dużej zbiorowości i stałości zachowań populacji z uwzględnieniem wpływu środowiska [Miler 2015]. Mimo nowoczesnych narzędzi analitycznych, powszechność zastosowania najprostszych z nich nadal będzie duża. Faliński [2001] uważa, że "ekologia dynamiczna bardzo dużo zawdzięcza prostym urządzeniom: pojedynczemu palikowi bądź czterem palikom wbitym na stałe w ziemię".

Faliński [2001], podając zakresy czasowe dla badań ekologicznych, wyróżnia badania: krótkoterminowe (3-10 lat), średnioterminowe (11-25 lat), długoterminowe 26-80 lat i badania o nieograniczonym czasie trwania. Obecnie badania realizowane są najczęściej w krótkich przedziałach czasu. Wynika to z upraszczania schematu, założeń dyskretnego opisu danych eksperymentalnych, prowadzenia samodzielnego projektu lub ograniczeń związanych z długością cyklu finansowania. Nie zmienia to jednak faktu, że niektóre z badań (np. organizmów genetycznie modyfikowanych) z uwagi na swoją specyfikę, nie powinny być prowadzone w „pośpiechu” [Lisowska i Cortez 2014]. Walker i in. [2010] ze względu na zauważalne cykle chronosekwencyjne dotyczące sukcesji wyróżniają badania obejmujące długie okresy ponad 100-letnie, krótkie okresy od roku do 100 lat i bardzo krótkie do roku (dotyczące np. mikroorganizmów). Okres długotrwałego doświadczenia jest względny, zależy od czasu trwania cyklu i zmienności badanej cechy. Eksperyment Calhouna [1973] dotyczący utopijnego środowiska życia myszy trwał 1588 dni i obejmował kilka pokoleń rozwoju populacji. Wymarcie populacji w okresie 5 lat należy traktować również jako cykl zamknięcia procesu wyłamujący się z kryteriów długotrwałości przytaczanych przez ekologów.

II. ZNACZENIE BADAŃ TEMPORALNYCH

Jak twierdzi Owens [2013]: „najdłuższe eksperymenty na świecie przypominają nam, że nauka jest jak maraton, a nie jak sprint”. Autor uzasadnił powyższą tezę wymieniając pięć badań długoterminowych, obejmujących obserwacje i eksperymenty, które są ważne z punktu metodologii badań naukowych. Należą do nich: prowadzone przez ponad 400 lat badania plam na Słońcu, 170-letnie obserwacje aktywności sejsmicznej Wezuwiusza, ponad 170-letnie badania systemów rolniczego gospodarowania, 90-letnie badania podłużne rozwoju intelektualnego ludzi oraz ponad 85-letnie badania spadku kropli paku. Wymiernym efektem prowadzenia takich projektów badawczych jest pokaźna liczba artykułów naukowych, które przyczyniają się do wyjaśnienia szeregu hipotez naukowych, mających bezpośredni wpływ na różne dyscypliny naukowe. Oczywiście, w przypadku prowadzenia badań długoterminowych może pojawić się zarzut sposobu ich utrzymania i prowadzenia, będącego rezultatem przesunięcia priorytetów czy ewolucji technologii badawczych. Nie zmienia to jednak faktu, że kontynuacja jest konieczna i znaczenie badań długoterminowych dla rozwoju nauki jest duże, pomimo braku spektakularnych wyników lub zmian w zarządzaniu nauką.

W historii można znaleźć wiele świadectw tego, że ludzie dążyli do gromadzenia i dystrybuowania wiedzy, przekazywali ją z pokolenia na pokolenie, umożliwiając tym samym

rozwój. Niejednokrotnie podstawowe wyjaśnienie zjawisk odkrytych wiele wieków temu, pomimo udoskonalenia narzędzi badawczych i rozwoju wiedzy, pozostało bez zmian. Doskonałym tego przykładem jest obserwacja plam na Słońcu. Okazało się, że na podstawie rycin wykonanych przez Galileusza (XVI w.) i tych otrzymanych współcześnie, wyodrębnia się te same informacje [Owens 2013]. Pomimo braku wiedzy pierwszych obserwatorów o tym, co oznaczają ciemne plamy na Słońcu, zestawienie obserwacji z wielu lat pozwoliło na wyznaczenie cykliczności aktywności słonecznej. Jednak dopiero w 1844 r. odkrycie to ogłosił Samuel Heinrich Schwabe, a kilka lat później Rudolf Wolf opracował formułę cyklu zmian aktywności słonecznej (cykl nieregularny, trwający od 9 do 13,6 lat, przy średniej długości 11 lat). Obecne obserwacje wykorzystują wiedzę z wielu dziedzin nauki i wyjaśniają procesy znacząco wykraczające poza fizykę energii Słońca, są uwzględniane w poznaniu magnetyzmu ziemskiego, w naukach o atmosferze czy klimatologii itp. [Van Oldenborgh i in. 2013].

Systematyczne naukowe działania archeologiczne w Pompejach rozpoczęte zostały w 1861 roku przez Giuseppe Fiorellego. Dwadzieścia lat wcześniej zorganizowano nieopodal sejsmologiczną stację badawczą (Vesuvius Observatory [Owens 2013]). Stałe i systematyczne badania prowadzone w obserwatorium ukształtowały wiele dziedzin nauki, w tym wulkanologię i geologię, geofizykę, a poznanie właściwości magnetycznych lawy było kluczowe dla późniejszych badań z zakresu paleomagnetyzmu. Podobny charakter miały pomiary rozpoczęte w XVII w., które dały początek tzw. krakowskiej serii pomiarów deklinacji magnetycznej. Na dzień dzisiejszy są jedynymi w Polsce badaniami obejmującymi tak długi okres [Dormus 2011]. Badania rozpoczęte przez Piotra des Noyersa były powtarzane przez różnych naukowców, a od lat 40. XIX w. wykonywane są w krakowskim Obserwatorium Astronomicznym. Dłuższe i pełniejsze serie pomiarów magnetycznych były prowadzone jedynie w Londynie.

W 1848 r. rozpoczęto badania w Rothamsted nad wpływem produkowanych wówczas nawozów mineralnych i naturalnych, które miały dać wskazania dla praktyki rolniczej, uzasadniające mineralne odżywianie roślin [Leigh i Johnson 1994]. Badania te kontynuowane są do dnia dzisiejszego i przyczyniły się do stworzenia podwalin koncepcji zrównoważonego rozwoju, ale również wyjaśniły szereg procesów zachodzących w środowisku, które są możliwe do weryfikacji za pomocą współczesnych instrumentów badawczych. Archiwum stacji badawczej w Rothamsted posiada około 300 tysięcy zachowanych próbek roślin i gleby, które zgromadzono od początku trwania doświadczenia. Stanowią one dorobek myśli naukowej, która nadal jest rozwijana. W oparciu o zarchiwizowane próbki wykonano badania wybranych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), wskazując na zmiany środowiska na skutek emisji zanieczyszczeń ze spalania węgla kamiennego. Wiedza na temat szkodliwości WWA jest zgłębianą dopiero od lat 70-tych XX wieku. Badania dynamiki przemian WWA w środowisku naturalnym pod wpływem czynników zewnętrznych, nie byłyby możliwe ze względu na ich podatność do biodegradacji. Jak twierdzi Owens [2013], te „...eksperymenty nie są eksponatem muzealnym, są częścią naszego życia”.

Jednymi z pierwszych na świecie badań podłużnych były badania przeprowadzone w 1921 roku przez psychologa Lewisa Termana z Uniwersytetu Stanford w Kalifornii, który obserwował rozwój ponad 1500 uzdolnionych dzieci [Vaillant i Vaillant 1990, Owens 2013]. Celem przeprowadzonych przez Termana badań było obalenie założenia, że uzdolnione dzieci są chorowite, społecznie nieudolne i fizycznie słabe. Zainteresowanie wpływem czynnika czasu na rozwój człowieka współcześnie omawiają Kościński i in. [2009].

Jednym z najbardziej znanych laboratoryjnych eksperymentów długoterminowych jest rozpoczęty przypadkiem w 1927 r. przez Thomasa Parnella z University of Queensland w Australii tzw. „Eksperyment kropli smoły” [Edgeworth i in. 1984, Owens 2013]. Eksperyment ma na celu udowodnienie, że w temperaturze pokojowej pak węglowy nie jest

ciałem stałym (choć można go rozkruszyć), lecz cieczą o ogromnej lepkości, która bardzo powoli spływa i formuje krople w ciągu lat. W 2005 r. Parnell (pośmiertnie) otrzymał za ten eksperyment nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. Przez niewielki lejek od początku eksperymentu do dnia dzisiejszego spłynęło jedynie dziewięć kropli paku. Pomimo realnie niewielkiego wpływu tych badań na poszerzenie wiedzy, obecnie są one uważane za dorobek epistemologiczny nauk, a zestaw eksperymentalny jest wyeksponowany na widok publiczny i monitorowany przez trzy kamery internetowe. Potwierdza to sformułowanie, że wyjaśnienie naukowe to sztuka poznania i objaśnienia rzeczywistości.

Do eksperymentów uwzględniających czas, wymienionych przez Owensa [2013], można dodać szereg innych o zasięgu lokalnym lub ponadregionalnym. Taki charakter mają niektóre badania rolnicze na stałych powierzchniach [Historia chemii rolnej... 2008], ale również badania ekologiczne prowadzone na terenie obszarów chronionych, w tym parków narodowych. Założenia i cele ekologii dynamicznej muszą mieć charakter ponadczasowy. Obszary chronione nie wykluczają, a wręcz sprzyjają realizacji metody badawczej opartej na obserwacji, ale również na eksperymencie. Przykładem są tu obserwacje naturalnej kolonizacji po 1883 r. na wulkanicznej wyspie Krakatau [za Dobson 2005], czy ingerencji w system gospodarowania, który polega na prowadzeniu wypasu w dolinach tatrzańskich [Molik i Błasiak 2013]. Warunki obszarów chronionych sprzyjają także określeniu reprezentatywności, pozwalając tym samym nie tylko na uogólnianie w odniesieniu do obszaru, ale i zjawisk czy procesów o charakterze ekologicznym [Walker i in. 2010]. Metody obserwacyjne, jako metody nieniszczące, mają zatem duże znaczenie w przypadku eksploracji naukowej (poznania).

Poznanie procesów produkcji rolnej, szczególnie w makroskali, wymaga monitorowania zmian zachodzących na różnych poziomach organizacji systemów rolniczych i ekologicznych w czasie i przestrzeni. Ze względu na zachodzące na przestrzeni lat zmiany żyzności gleby oraz pozostające w ścisłej z nią zależności plonowanie i skład jakościowy uprawianych roślin, przydatnym narzędziem badawczym są długotrwałe, statyczne doświadczenia polowe [Kopeć i Gondek 2010]. Dotyczą one najczęściej obiegu pierwiastków, głównie nawożenia gruntów ornych i roślin uprawianych w zmianowaniu. Wartością dodaną przy uwzględnieniu czasu jest pełny obraz efektywności nawożenia w całej rotacji. Wynika to z różnej dynamiki pobierania składników przez rośliny, immobilizacji składników w glebie i ich uruchamianiu w kolejnych okresach wegetacji. Potrzeba obserwowania wymienionych procesów i ich dynamiki wynika z dużego stopnia złożoności i zależności komponentów oraz procesów zachodzących w agrocenozie. Wieloletni rolniczy eksperyment polowy, obejmujący wiele cykli wegetacyjnych, jest elementem rozwiązywania zagadnień badawczych między innymi w zakresie ekologii i nauk rolniczych, uwzględniających zagadnienia żyzności gleby i nawożenia, płodozmianów, pratotechniki czy ogólnej uprawy. Cykle wegetacyjne stają się interwałem badań, czyli odstępem w czasie umożliwiającym odniesienie się do występujących w nim wielkości. Stosowana nazwa „wieloletnie badania” nie jest równoznaczna jednak z zamknięciem procesu. Uważa się, że im bardziej makroskopowe będzie podejście do produkcji rolnej i zmian w rolnictwie, tym większe znaczenie będzie miało monitorowanie w czasie i przestrzeni zmian zachodzących na różnych poziomach organizacji systemów rolniczych i ekologicznych [Kopeć i Gondek 2010, Twardy 2011]. Istnieje pogląd, że wobec złożonego charakteru rolnictwa powinno się badać wszystkie jego formy i aspekty: od rolnictwa nieracjonalnie intensywnego po rolnictwo ekologiczne. Elementami pozwalającymi zrozumieć środowisko są: pomiar plonowania roślin (ich trendów i zmienności), bilans biogenów, trwałość pokrywy glebowej, jakość gleby i wody. Potwierdzenie niektórych z tych procesów uzyskano w prawie 50-letnich badaniach na statycznym polu doświadczalnym w Czarnym Potoku koło Krynicy [Kopeć i Gondek 2013]. W badaniach tych udowodniono między innymi możliwość retardacji wyczerpywania zasobów mikroelementów

w wyniku wapnowania użytku zielonego. Prowadzone doświadczenia nawozowe [Curyło 2011, Kopeć i Gonddek 2013] dowodzą, że zachowawczość pratotechniki wymaga stosowania, między innymi, różnorodnych zabiegów nawozowych, w tym wapnowania i zwracania odprowadzanych z plonem makro- i mikroelementów.

Ciekawy eksperyment botaniczny na pograniczu nauk stosowanych, założył w 1876 r. w Michigan W. Beal [Telewski i Zeevaart 2002]. Polegał on na zdeponowaniu w warunkach suchego podłoża glebowego i w kontakcie z powietrzem glebowym nasion różnych gatunków roślin. W tym czasie systematycznie sprawdzano siłę kiełkowania nasion. Okres badań aktywności nasion wydłużano z 5 do 20 lat. Pomimo że większość gatunków nie posiada znaczącej siły kiełkowania, są takie (np. *Malva rotundifolia*), które po 130 latach wykazały zdolność wegetatywnego wzrostu. Do dnia dzisiejszego z obszaru doświadczenia pobrano próbki nasion 15 razy, a kolejne pobranie próbek przewidziane jest na 2020 r., natomiast zakończenie eksperymentu na 2100 r. W eksperymencie tym nie zakładano tak długiego okresu jego prowadzenia, ale uznano, że jego kontynuacja ma istotne znaczenie dla uzasadnienia na przykład idei tworzenia banków nasion, tkanek i genów [Mikuła i in. 2013]. Dla celów zachowania bioróżnorodności na bazie takich eksperymentów wykorzystuje się obecnie krioprezerwację i kriobanki.

Dla praktyki rolniczej duże znaczenie mają również badania fenologiczne w powiązaniu z innymi elementami środowiska. Przykładem są 35-letnie badania prowadzone na terenie Lubelszczyzny, gdzie wykazano przyspieszenie kwitnienia rzepaku uwarunkowane zmianami klimatycznymi [Bartoszek 2013]. Wraz ze zmianami klimatu, które są rejestrowane w ostatnich latach, należy liczyć się ze zmianami terminów wykonywania zabiegów agrotechnicznych.

Badania fenologiczne dotyczą również zwierząt. Niewątpliwie, aby wnioski podsumowujące takie badania mogły być uogólnione, muszą uwzględniać czas [Łomnicki 2000]. Niektóre z tych badań prowadzone są przez honorowych obserwatorów Polskiej Centrali Obrączkowania oraz współpracowników Kartoteki Gniazd i Lęgów, którzy w oparciu o procedury dokonują obserwacji [Wesołowski i Mokwa 2013]. Badania te nie miały charakteru stałego, były okazjonalne. W ramach tych ogólnopolskich programów przeanalizowano dotychczas np. informacje o 181 pisklętach kukułki (*Cuculus canorus*) zaobrączkowanych w latach 1932-2009 i o 140 lęgach zawierających jaja lub pisklęta kukułki z lat 1970-2009 (karty gniazdowe). Dane te posłużyły do ustalenia, jakie gatunki ptaków są żywicielami kukułki w Polsce, a także do uzyskania odpowiedzi na pytanie: czy zmiany klimatyczne i zmiany fenologii lęgów gospodarzy kukułki miały wpływ na porę przystępowania do rozrodu. Autorzy stwierdzili, że praca ta nie mogłaby powstać, gdyby nie wysiłek wielu pokoleń miłośników ptaków, którzy głównie własnym sumptem i w wolnym czasie wyszukiwali lęgi kukułki i przesyłali dane swoich obserwacji i obrączkowania do utworzonych baz danych. Badania uwzględniające zwierzęta, środowisko i długi czas są trudne w realizacji i niezmiernie rzadkie. Uzupełniają one opis obiektu badań, pozwalając na w miarę pełne ujęcie problemu. Restytucja żubra, oprócz działań związanych z chowem, wymagała szeregu analiz przygotowujących metodykę postępowania. Prowadzenie Księgi Rodowodowej Żubra stało się narzędziem odbudowania stada [Bołbot i Raczyński 2013].

Przeobrażenia gospodarcze obejmujące produkcję roślinną i zwierzęcą podsumował na przykładzie Twardy [2011]. Przez 30 lat w warunkach prawie 50 ha pastwiska badano wpływ wypasu owiec na ilościowo-jakościowe zmiany wytwarzanej biomasy, produktywność wyrażoną przyrostami masy ciała, masą pozyskanej wełny czy mleka. Takie analizy dały niewątpliwie podstawę do prowadzenia od lat 90-tych XX wieku hodowli zachowawczej poszczególnych ras zwierząt gospodarczych w Polsce. Autor wykazał, że dla utrzymania bioróżnorodności roślinnej pastwiska oraz efektów produkcyjnych istotną jest struktura stada

wypasanych zwierząt i ich obsada. Można utrzymać zachowawczość systemu gospodarowania, uwzględniając zrównoważenie poszczególnych czynników.

Przedmiotem licznych badań bieżących i retrospektywnych, często na stałych powierzchniach obserwacyjnych, w określonych odstępach czasu jest las [Faliński 2001]. Szewczyk i in. [2010] uważają, że w przypadku próby odtworzenia historii i skali przestrzennej występowania zaburzeń, lepsze wyniki daje użycie metody dendrochronologicznej analizy zmian wielkości przyrostów rocznych drzew. Przeprowadzone przez autorów badania skupiskach świerczyn w Tatrach pozwoliły na porównanie wielogeneracyjnych zbiorowisk z najliczniejszymi klasami wieku, mieszczącymi się w przybliżeniu w zakresie od 131 do 180 lat.

Dobrym przykładem znaczenia badań długookresowych są eksperymenty nad przebiegiem procesu glebotwórczego. W 1975 r. Naczelny Zarząd Lasów Państwowych, na wniosek Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, podjął decyzję o utworzeniu glebowych powierzchni wzorcowych. Według ściśle określonych zasad wyznaczono 139 fragmentów leśnych Polski o powierzchni ponad 300 hektarów. Niewątpliwie, wydzielenie reprezentatywnych dla danego regionu typów gleb w celu zabezpieczenia pokrywy glebowej przed sztucznie wywołanymi zmianami morfologii oraz właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych stanowi duży wysiłek. Jest to także próba pozostawienia w stanie naturalnym zróżnicowanych zasobów gleby. Nawet, jeżeli powierzchnie wzorcowe nie są systematycznie monitorowane pod względem różnych aspektów, to mają i będą miały w przyszłości znaczenie, jako punkt odniesienia dla wiedzy naukowej. Zmiany naturalnego procesu glebotwórczego rzadko są zauważalne w okresie jednego pokolenia, dlatego (w latach 90-tych XX wieku) podjęto ideę badania zmian geoeosystemów zlewni w ramach Zintegrowanego Systemu Środowiska Przyrodniczego [Tylkowski 2013].

III. UWARUNKOWANIA BADAŃ TEMPORALNYCH

Faliński [2001] uważa, że "we wszystkich przypadkach, w których decydującym czynnikiem jest czas, właściwie zaprojektowane i dobrze przeprowadzone badania długoterminowe mogą zmniejszyć przepaść między ekologią teoretyczną i empiryczną oraz ekologią czystą i stosowaną, jak również zapewnić ich równoczesny i wzajemnie stymulowany rozwój". Eksperyment w badaniach długotrwałych musi charakteryzować: przemyślany projekt, właściwy wybór obiektu eksperymentalnego i kontrolnego, ściśle prowadzenie, kontrola przebiegu, terminowa i pełna analiza, usunięcie skutków po zakończeniu i krytyczna ocena wyników. Bardzo często jednak na bazie eksperymentów zakładanych na początku, jako krótkoterminowe powstają nowe hipotezy wyznaczające dalsze kierunki badań. Komfortem dla badacza jest wyznaczony obiekt badawczy, który jest tłem dla nowych modyfikacji. W przypadku badań rolniczych poletka z powtórzeniami są często dzielone w celu wprowadzenia nowej serii czynnika. Tak na przykład [Kopeć Gondek 2011], na powierzchni obiektów nawozowych, na których stosowano nawozy azotowe powodujące na ogół zakwaszenie, wprowadzano na jej połowie serię z wapnowaniem. Uzyskiwano w ten sposób obiekt, w którym badano pogłębianie się zmian pod wpływem pierwszego czynnika i obiekt, w którym zakładano np. poprawę właściwości gleby pod wpływem zabiegu. Doświadczenia jednoczynnikowe przekształcano w doświadczenia wieloczynnikowe.

Naukowcy prowadzący długotrwałe eksperymenty mają czasem do czynienia z nowymi, nie przewidzianymi uwarunkowaniami, które wymagają modyfikacji eksperymentu [Leigh i Johnston 1994]. Wynika to np. z postępu technologicznego, który powoduje wycofanie z rynku narzędzi i środków produkcji stosowanych w doświadczeniu. Naukowiec musi wówczas podjąć decyzję o zastąpieniu braku jakiegoś środka. Taka sytuacja miała miejsce w doświadczeniu w Czarnym Potoku [Kopeć Gondek 2011], gdzie stosowano początkowo

mniej skoncentrowaną sól potasową. Niewątpliwie, zmiana w metodyce wymaga wyraźnego zaznaczenia wprowadzenia nowego czynnika, np. nowej formy nawozu przy zachowaniu dawki danego składnika.

Zapewne równie problematyczne dla naukowca stało się zastąpienie kosi służącej do zbioru roślin, maszynami. W tym przypadku znaczenie miała przede wszystkim wysokość cięcia roślin, która może mieć bezpośredni wpływ na siłę i tempo odrastania np. runi łąkowej w doświadczeniu. Bardzo istotne są również metody walidacji przy przejściu na nowe metody oznaczania. Zastępuje się metody kolorymetryczne metodami analizy spektralnej.

Rozwój narzędzi technicznych na pewno nie do końca zastąpi symbolizujący skuteczność prostych rozwiązań, palik wyznaczający powierzchnię badawczą, wskazywany przez Falińskiego [2001]. Należy się jednak liczyć z rozwojem i wzrostem znaczenia narzędzi do identyfikowania pozycji (np. GIS), baz komputerowych wypełnianych przez coraz bardziej doskonalsze roboty. Najprawdopodobniej ich wykorzystanie odbywać się będzie obok najprostszych metod poznawczych, które będą traktowane jako punkt odniesienia. Cechami ich aplikacyjności będzie głęboko przemysłany, konsekwentny i wymagający cierpliwości sposób zastosowania np. w zakresie rolnictwa precyzyjnego.

Znajomość metodyki długotrwałych eksperymentów naukowych pozwala naukowcowi na dystans do prowadzonych badań, sposobu wyjaśnienia i przewidywania naukowego. Walker i in. [2010] zauważają, że rozsądne zastosowanie badań chronosekwencyjnych znacznie wyprzedza nasze rozumienie krótkoterminowych zmian roślinności, ale może być obciążone błędną interpretacją. W wymienionych powyżej eksperymentach zastosowanie mają różne formy wyjaśnienia naukowego, ponieważ uwzględniają ewolucyjne i nieewolucyjne determinanty. Wynika to również ze zróżnicowania metodologicznego dyscyplin naukowych, przenikania się ich w różnych obszarach nauki i kryteriów funkcji nauki. Trafnie to ujmują Strawiński [2011], przytaczając opinię Poppera: „Pierwszym obowiązkiem każdego poważnego badacza jest wspieranie rozwoju wiedzy przez uczestnictwo w poszukiwaniu prawdy lub w poszukiwaniu lepszych przybliżeń do prawdy. [...] Skoro przyrodnik został nieodwołalnie uwikłany w zastosowania nauki, powinien też uznać za swą szczególną odpowiedzialność przewidywanie w miarę możliwości niezamierzonych następstw swej pracy i zwracanie uwagi od samego początku na te, których powinniśmy starać się uniknąć”.

Jeżeli jako metodę naukową rozumie się całokształt sposobów badawczego docierania do prawdy i pojęciowego jej przedstawiania oraz sposób uzyskiwania materiału naukowego do prowadzenia badań, to w przypadku badań długotrwałych wymagane jest bardzo szczegółowe uwzględnianie wszelkich zmian. Zrozumienie potrzeby ich uwzględnienia musi dotyczyć nie tylko opisującego eksperyment, ale również leżeć po stronie odbiorcy. Niepodważalnie, obie strony muszą mieć świadomość złożoności problemów metodycznych. W tym kontekście dążenie do osiągnięcia aksjologicznej obiektywności jest niezmiernie ważne. Znacznie trudniej jest osiągnąć trzy elementy obiektywności naukowej: bezstronność – jako przeciwstawienie tendencyjności; neutralność aksjologiczną – jako zabezpieczenie przed dowolnością ocen; intersubiektywną sprawdzalność – jako niezbędny warunek społecznej kontroli. Jak ważne jest to zagadnienie, uwidacznia problem długoterminowych badań wpływu organizmów genetycznie modyfikowanych na elementy biotyczne środowiska [Lisowska i Cortez 2014]. Innym problemem może być fakt kontynuacji badań przez innych naukowców. Na wyniki wymienionych eksperymentów zaczynają się więc składać obserwacje pokoleń i wielu zespołów ludzkich. Możliwość kontynuowania dorobku poprzedników wymaga dojrzałości metodologii naukowej naukowców kontynuujących prowadzenie eksperymentu.

Wiele z eksperymentów długotrwałych zostało z różnych względów zakończone, ale ich wartość eksperymentalna pozostała ponadczasowa. W Czechach odtworzono niedawno

doświadczenie nawozowe z ostatnim udokumentowanym nawożeniem ponad 60 lat temu [Semelová i in. 2008]. Po wielu latach zaniechania zabiegów pratotechnicznych powrócono na dobrze oznaczone powierzchnie badawcze i skupiono się na badaniach fitosocjologicznych, podbudowując paradygmat zrównoważonego rozwoju, który wcześniej nie był uwzględniany.

IV. PODSUMOWANIE

Omawiane przykłady, które według autorów uzasadniają znaczenie czynnika czasu w badaniach z obszaru nauk przyrodniczych, nie wyczerpują problemu ich oddziaływania na rozwój nauki. Są namiastką subiektywnego spojrzenia i oddania szacunku tym naukowcom, którzy są spadkobiercami poprzedników i kontynuują badania w imię idei pełnego wyjaśnienia złożoności procesów przyrodniczych. Na tle rozważanych zagadnień i w kontekście zagadnienia retardacji tempa przekształcania szeroko pojętych zasobów środowiskowych, wartość podkreślenia wydaje się być stwierdzenie, że niektóre z badań (np. organizmów genetycznie modyfikowanych) z uwagi na swoją specyfikę, nie powinny być prowadzone w „pośpiechu”. Strategia przetrwania *Homo sapiens* już i tak nie nadążającego za tempem narzuconych przez siebie zmian, wymaga spowolnienia i rzetelnego analizowania wyników wielu długoterminowych eksperymentów i obserwacji.

BIBLIOGRAFIA

1. Argański K. 2009. Metody teorii gier ewolucyjnych. Kosmos. Prob. Nauk Biolo. 58. 3-4. 443-458.
2. Bartoszek K. 2013. Wpływ warunków meteorologicznych na początek wybranych faz rozwojowych rzepaku ozimego wiosną i latem. Acta Agroph. 20. 2. 227-240.
3. Bołbot M., Raczyński J. 2013. Rejestracja rodowodowa żubrów jako narzędzie restytucji gatunku. European Bison Conserv. New. 6. 5-20.
4. Calhoun J. 1973. Death Squared: The Explosive Growth and Demise of a Mouse Population. Proc. Roy. Soc. Med. 66. 80-88.
5. Curyło T. 2011. Geneza i historia statycznych doświadczeń nawozowych na Bielanych i w Chełmie. Mat. Semin. Nauk. „Długotrwałe doświadczenia nawozowe na użytkach zielonych” Uniwersytet Rolniczy, Kat. Chemii Rolnej i Środowiskowej. PTIE. 15. kwietnia 2011. 79-91. ISBN 978-83-914308-4-2.
6. Dobson A. 2005. Monitoring global rates of biodiversity change: Challenges that arise in meeting the Convention on Biological Diversity (CBD) 2010 Goals. Philosophical Transactions: Biol. Sci. 360. 1454. 229-241.
7. Dormus K. 2011. Fizyka Ziemi i jej światowe początki w Uniwersytecie Jagiellońskim. Prace Geograficzne. 127. 7-30.
8. Edgeworth R., Dalton B. J., Parnell U. T. 1984. The pitch drop experiment. European J. Physics. 5. 4. 198-200.
9. Faliński J. 2001. Przewodnik do długotrwałych badań ekologicznych. Wyd. Nauk. PWN. Warszawa. ss. 672.
10. Historia chemii rolnej w SGGW. 2008. J. Łabętowicz i S. Mercik. (red.). Wyd. SGGW, Warszawa. ss. 238. ISBN 978-83-7583-000-2.
11. Janikowski R. 2013. Retardacja jako element konceptualizacji rozwoju zrównoważonego. Inż. Ekol. 34. 5-16.
12. Kopeć M., Gondek K. 2010. Zachowawczość w świetle badań na wieloletnich doświadczeniach łąkowych. Wieś i Doradztwo. 4. 64. 50-54.
13. Kopeć M., Gondek K. 2013. Wapnowanie trwałych użytków zielonych metodą opóźniania wyczerpania glebowych zasobów mikroelementów. Inż. Ekol. 34. 29-37.

14. Kopeć M., Gondek K. 2015. Attempt at an application of neural networks for assessment of the nitrogen content in meadow sward on the basis of long-term fertilizer experiments. *J. Elem.* 1. 127-136. DOI: 10.5601/jelem.2014.19.1.574.
15. Kostecka J. 2013. Retardacja tempa życia i przekształcania zasobów przyrody – wybrane implikacje obywatelskie. *Inż. Ekol.* 34. 38-52.
16. Kościński K., Krenz-Niedbała, M., Puch, E. A., Kozłowska-Rajewicz, A. 2009. Wielkość ciała a sezon urodzenia. *Monografie Inst. Antrop. UAM.* 13. ss 147.
17. Kotrys B. 2016. Czynniki zmian klimatycznych w środkowym i górnym plejstocenie – ich zapis geologiczny w osadach Oceanu Południowego oraz rdzeniach lodowych. *Przeł. Geol.* 64. 35-42.
18. Kozanecka-Dymek A. 2011. Stosowalność języka niektórych systemów logiki temporalnej w naukach przyrodniczych. *Analiza i Egzystencja.* 14. ISSN 1734-9923.
19. Leigh R.A., Johnston A.E. 1994. Long-term experiments in agricultural and ecological sciences. CAB International. ss 428.
20. Lisowska K., Cortez A.J. 2014. Kontrowersje wokół długoterminowych badań Gillesa-Erica Séraliniego nad bezpieczeństwem zdrowotnym kukurydzy GMO3. *Studia Ecologiae et Bioethicae UKSW.* 12. 3. 33-54.
21. Łomnicki A. 2000. Biologia ewolucyjna i jej relacje z ekologią i etologią w wieku XX. *Kosmos.* 49. 343-350.
22. Miłkuła A., Makowski D., Tomiczak K., Rybczyński J. J. 2013. Kultury in vitro i krioprezerwacja w zachowaniu różnorodności roślin – standardy dla banku genów. *Polish J. Agron.* 14. 3-17.
23. Miler K. 2015. Wybrane zagadnienia dotyczące stałości i zmienności zachowania. *Kosmos, Problemy Nauk Biologicznych.* 64. 2. 229-238.
24. Molik E., Błasiak M. 2015. Alternatywne kierunki użytkowania owiec szansą na przetrwanie drobnych gospodarstw na terenach gór i pogórza. *Prob. Drobnych Gosp. Roln.* 1. 29-42.
25. Owens B. 2013. Long-term research: Slow science. *Nature.* 495. 300-3. DOI: 10.1038/495300a.
26. Pabjan T. 2005. Zagadnienie strzałki czasu w filozofii Henryka Mehlberga. *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce.* 36. 66-96.
27. Ruciński P. 2015. Drzewostany naturalne nad górnym Sanem – struktura, relacje międzygatunkowe i rola lasotwórcza głównych gatunków drzew. *Rocz. Bieszczadzkie.* 23. 111-146.
28. Semelová V., Hejman M., Pavlu V., Vacek S., Podrázský V. 2008. The Grass Garden in the Giant Mts. (Czech Republic): residual effect of long-term fertilization after 62 years. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123. 337-342.
29. Strawiński W. 2011. Funkcja i cele nauki – zarys problematyki metodologicznej. *Zagadnienia Naukoznawstwa.* 3. 47. 323-337.
30. Szewczyk J., Szwagrzyk J., Muter E. 2010. Rekonstrukcja wpływu naturalnych zaburzeń na dynamikę drzewostanów górnoreglowych. Porównanie świerczyn w dolinach: Suchej Wody i Kościeliskiej. *Mat. Konf. Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem. Zakopane 2010.* 2. 65-71.
31. Telewski F.W., Zeevaart J.A.D. 2002. The 120-yr period for dr. Beal's seed viability experiment. *Amer. J. Botany.* 89. 8. 1285-1288.
32. Tenaillon O., Barrick J., Ribick N., Deatherage D. E., Blanchard J. L., Dasgupta A., Wu G. C., Wielgoss S., Cruveiller S., Médigue C., Schneider D., Lenski R. E. 2016. Tempo and mode of genome evolution in a 50,000-generation experiment. DOI: org/10.1101/036806.

33. Twardy S. 2011. Efekty wieloletniego mineralno-organicznego nawożenia pastwisk górskich użytkowanych owcami. Mat. seminarium naukowego „Długotrwałe doświadczenia nawozowe na użytkach zielonych” Uniwersytet Rolniczy, Kat. Chemii Rolnej i Środowiskowej. PTIE. 15. kwietnia 2011. 121-133. ISBN 978-83-914308-4-2.
34. Tylkowski J. 2013. Stan geokosystemów Polski w roku 2012 na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Raport, Biała Góra 2013. ss. 62.
35. Vaillant, G. E., Vaillant, C. O. 1990. Determinants and consequences of creativity in a cohort of gifted women. *Psychology of Women Quarterly*. 14. 4. 607-616.
36. Van Oldenborgh G. J., De Laat A. T. J., Luterbacher J., Ingram W. J., Osborn T. J. 2013. Claim of solar influence is on thin ice: are 11-year cycle solar minima associated with severe winters in Europe? *Environmental Research Letters*. 8. 2. 024014. DOI: 10.1088/1748-9326/8/2/024014.
37. Walker L. R., Wardle D. A., Bardgett R. D., Clarkson, B. D. 2010. The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development. *J. Ecology*. 98. 725–736. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2010.01664.x.
38. Wesołowski T., Mokwa T. 2013. Żywiciele i pora rozrodu kukulek *Cuculus canorus* w Polsce: analiza danych obrączkowania i kart gniazdowych. *Ornis Polonica*. 54. 159-169.
39. Zarzycki J. 2011. Sposób użytkowania gruntów w przeszłości (XIX i koniec XX w.) jako czynnik kształtujący aktualny stan roślinności łąkowej w paśmie Radziejowej (Beskid Sądecki). *Rocz. Bieszczadzkie*. 19. 33-42.

THE IMPORTANCE OF LONG-TERM EXPERIMENTS AND PROBLEMS OF TIME PASSING IN RESEARCH METHODS USED IN NATURAL SCIENCES

Earth's resources are a closed set and it is important to consider them in the context of the passage of time. As the world around us is a dynamic system, an analysis of the time approach as a variable of the system to explain the phenomena and processes in the natural sciences, is becoming indispensable. Scientific explanation may relate to short but unlimited periods of observation or experimentation. Long-term studies broaden the scientific knowledge about the elements that are invisible in the short term, or set limits to the influence of the time factor. The results of the research are cognitive in basic science and practical for many applied sciences. Methodology of long term studies is very specific. Difficulties in conducting such studies are due to changes in the environment or research tools, but also the approach and interpretation of the researchers. The paper presents examples and approaches to long-term studies, namely cross-sectional designs and longitudinal surveys as well as the implementation of such studies. Despite the lack of continuous, spectacular scientific discoveries, long-term follow-up studies are important. A thorough understanding of their methodology must refer not only to the researcher conducting the experiment today, but also to the recipient of the results. Putting in the hands of a responsible researcher the resolving a particular problem also means the acceptance of waiting for a long time for the results. This is particularly important for the retardation of the conversion rate of natural resources.

Key words: retardation of resources, long-term studies, the passage of time, methodological problems