

**Irena Tsermegas¹, Maciej Dłużewski¹,
Katarzyna Biejał¹, Adam Szykiewicz²**

¹Uniwersytet Warszawski
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Zakład Geomorfologii
argiro@uw.edu.pl

²Uniwersytet Wrocławski
Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska
Zakład Geologii Strukturalnej i Kartografii Geologicznej

**DEGRADACJA TARASÓW ROLNYCH
W WARUNKACH ŚRÓDZIEMNOMORSKICH –
WYBRANE PRZYKŁADY Z WYSP EGEJSKICH (GRECJA)**

**Degradation of terraced slopes in Mediterranean conditions:
selected examples from the Aegean Islands (Greece)**

Abstract: The main aim of the study was to estimate the influence of relief, lithology, climatic conditions, methods of wall construction and actual agricultural practice on the degradation of traditional agricultural terraces on the example of three Greek islands. We selected 7 research plots situated in 5 different geological settings – 3 on the Ikaria island, 2 on Thira, and 2 near Plati village on the SW edge of Lassithi Plateau on the Crete island. We used the following methods: GPS RTK measurements, mapping of erosion features, georadar profiling, infiltration rate measurements and interviews with farmers. We find that lithology is the most important factor controlling terraces degradation, but only in relation to methods of cultivation. Traditional agricultural practice helps terraces to remain stable, because cultivated field increases the possibility of infiltration and limits surface runoff. Heavy rainfalls do not affecting terraces stability due to high ground infiltration rate or high permeability of dry-stone walls. Terraces are more stable if they are concordant to the natural slope profile. On the terraced slope erosion is lower than on non-terraced slope. This is true only on the slope with very limited vegetation cover.

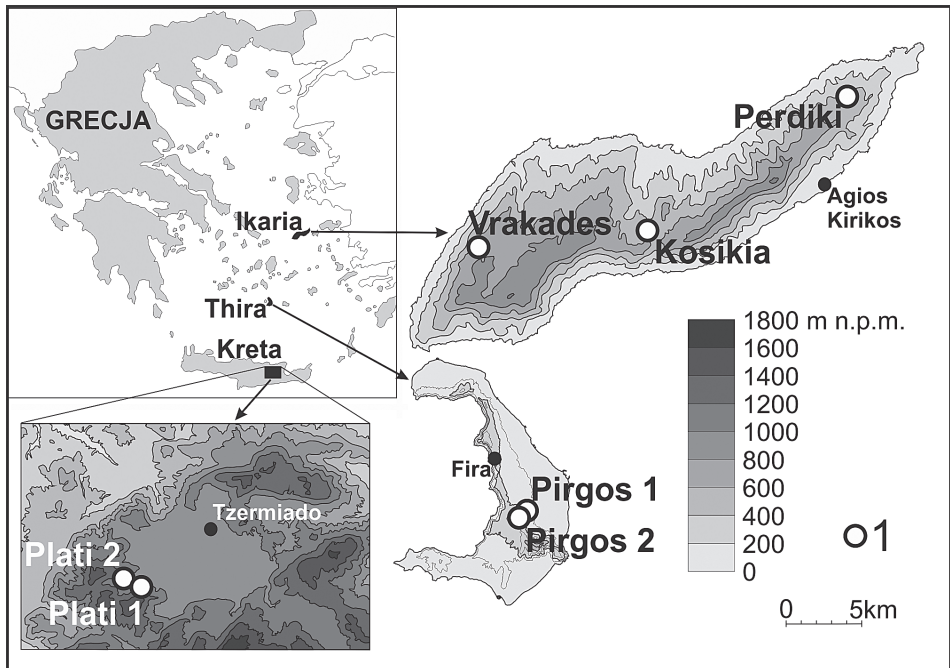
Słowa kluczowe: tarasy rolne, Grecja, erozja.

Key words: agricultural terraces, Greece, erosion.

WSTĘP

Tarasы rolne zajmują największą powierzchnię wśród antropogenicznych form rzeźby występujących w krajobrazie śródziemnomorskim. Szczególnie powszechne są na wyspach, gdyż brak tam dużych terenów płaskich, nadających się do wykorzystania rolniczego. Potrzeba pozyskania ziemi uprawnej stała się również przyczyną starasowania znacznych powierzchni stoków w obrębie archipelagu egejskiego i obszarów przyległych. Nigdzie indziej w Grecji formy te nie są tak istotnym elementem morfologii terenu. Na niektórych wyspach ich udział w ogólnej powierzchni przekracza 50%, a tylko na kilku jest niższy niż 5-10% (Tsermegas 2009). Mimo tak powszechnego występowania, egejskie tarasy rolne stosunkowo rzadko były obiektem badań geomorfologicznych. Początkowo rozpatrywano te formy głównie w nawiązaniu do przyrodniczych i ekonomicznych aspektów uprawy ziemi w starożytności. M. Brunet (1990) badał antyczne tarasy na wyspie Delos, P.P. Betancourt i R. Hope Simpson (1992) ślady tarasów na wysepce Psira u północnych wybrzeży Krety, P.E. Acheson (1997) pisał o tarasach w rejonie stanowiska archeologicznego Halieis w Argolidzie. Zagadnieniami tymi zajmowali się najczęściej archeolodzy i przedstawiciele nauk rolniczych. A. Chaniotis (1999) wspomina o antycznych tarasach w górach Krety, C.A.I. French i T. Whitelaw (1999) opisują starożytne tarasy na wyspie Amorgos, a K.W. Butzer (2005) pisze o środowiskowych skutkach uprawy ziemi przez starożytnych mieszkańców Argolidy. Dopiero w ostatnim dziesięcioleciu uwagę geomorfologów zwróciły procesy współcześnie przekształcające rzeźbę tarasów rolnych omawianego obszaru, ale badania dotyczyły jedynie kilku wysp i skupiały się przede wszystkim na procesach erozyjnych wywołanych zmianami użytkowania ziemi (Lehman 1993, Kosmas i in. 2000, Arhonditsis i in. 2002, Koulouri i Giourga 2007, Petanidou i in. 2008). Znacznie lepiej zagadnienie to jest rozpoznane w odniesieniu do terytorium Hiszpanii. Może to wynikać ze znacznej współczesnej degradacji stoków starasowanych, na których zaprzestano uprawy (Lasanta 1988, Garcia-Ruiz 1989, Gallart i in. 1994, Lasanta i in. 2001, Lasanta i in. 2005, Romero Díaz i in. 2007). W pozostałych krajach basenu Morza Śródziemnego dynamika rzeźby obszarów starasowanych jest znacznie gorzej rozpoznana, mimo iż występujące tam formy tego typu były opisywane przez wielu autorów. W większości opracowań dominuje jednak aspekt historyczny bądź krajobrazowy (Ballais 1991, Harfouche 2007, Scarmellini i Varotto 2008). Autorzy niniejszej pracy przeanalizowali zarówno porzucone, jak i nadal użytkowane tarasy rolne.

Artykuł powstał na podstawie badań terenowych przeprowadzonych na przełomie sierpnia i września 2010 r. oraz we wrześniu 2011 r. w ramach projektu MNiSW nr N N306 469238 „Degradacja stoków starasowanych w obszarach śródziemnomorskich (na przykładzie Grecji)”.



Ryc. 1. Lokalizacja poligonów badawczych. 1 – poligony.

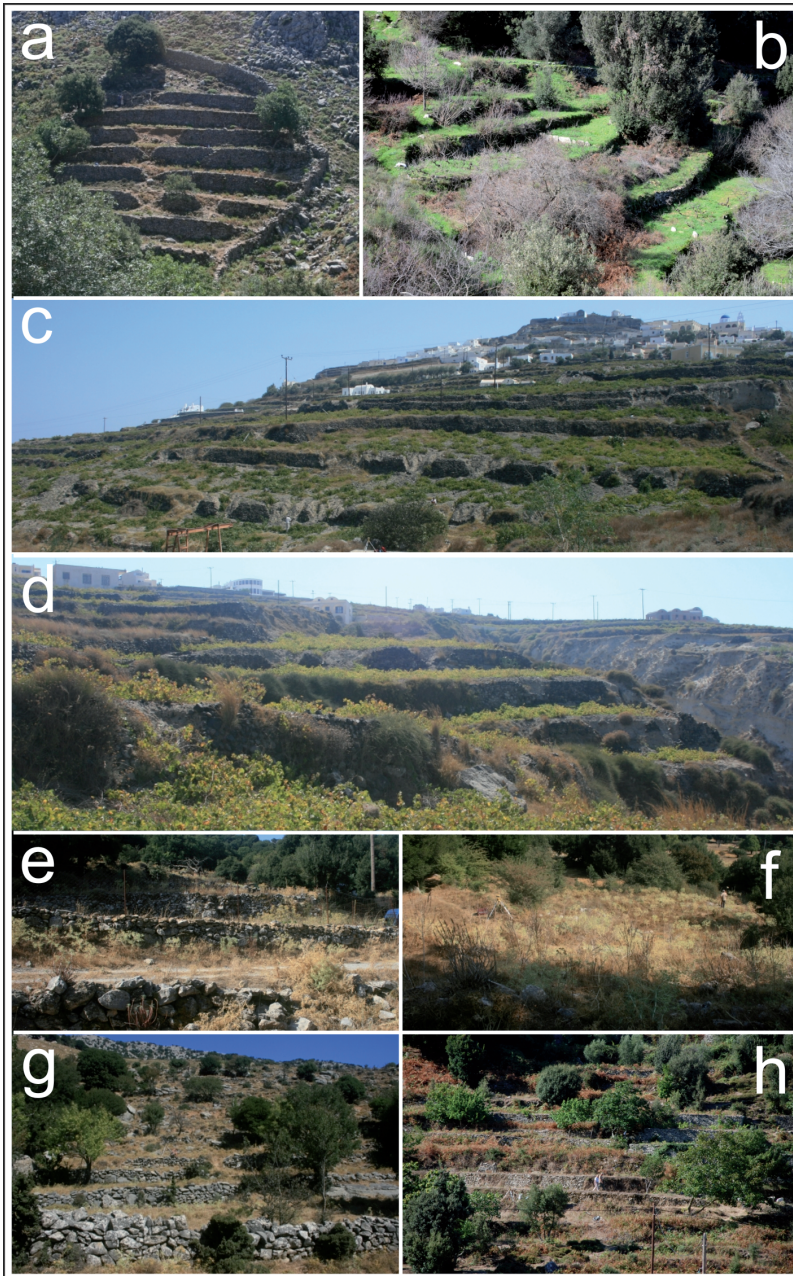
Fig. 1. Location of research plots. 1 – research plots.

CEL I METODY BADAŃ

Celem podjętych badań było określenie wpływu rzeźby, litologii, warunków klimatycznych, konstrukcji murów oporowych oraz aktualnego sposobu użytkowania na degradację tarasów rolnych typowych dla gór strefy śródziemnomorskiej. Celem badań była również odpowiedź na pytanie: Czy niezależnie od ww. czynników tarasy rolne skutecznie zapobiegają erozji?

Do analizy wybrano 7 poligonów obejmujących starasowane fragmenty stoków na trzech greckich wyspach (ryc. 1, fot. 1). Zbadano stoki reprezentujące różne rodzaje podłoża (gnejsy i łupki krystaliczne, granitoidy, dolomity krystaliczne, wapień i tufy wulkaniczne), mające znaczący udział w powierzchni wysp archipelagu egejskiego. Podstawowe cechy analizowanych powierzchni zestawiono w tabeli 1.

Na każdym z poligonów przeprowadzono kartowanie współczesnych form erozyjnych i akumulacyjnych, służące jakościowej i ilościowej ocenie degradacji występujących tam tarasów. Określono również stopień zniszczenia murów oddzielających poszczególne poziomy. Podstawę tych prac stanowiły trójwymiarowe modele badanych poligonów, sporządzone na podstawie terenowych po-



Fot. 1. Poligony badawcze: na Ikarii (a – Kosikia, b – Perdiki, h – Vrakades), na Thirze (c – Pírgos 1, d – Pírgos 2), na Krecie (e – Plati 1, część górna, f – Plati 1, część dolna, g – Plati 2) (fot. I. Tsermegas).

Photo 1. Research plots: on Icaria (a – Kosikia, b – Perdiki, h – Vrakades), on Thira (c – Pírgos 1, d – Pírgos 2), on the East Crete (e – Plati 1, upper part, f – Plati 1, lower part, g – Plati 2) (photo by I. Tsermegas).

Tab. 1. Podłoże, użytkowanie i podstawowe cechy morfometryczne badanych poligonów.
Table 1. Geological background, land use and basic metrical features of research plots.

Poligon	Podłoże	Dawna /obecna forma użytkowania	Powierzchnia (m ²)	Deniwelacja (m)	Średnie nachylenie stoku (°)	Liczba tarasów	Średnia wysokość tarasu (m)	Średnia szerokość tarasu (m)	Średnie nachylenie tarasu (°)
Kosiklia (fot. 1a)	dolomity krystaliczne	sad/ pastwisko, brak systemu nawadniającego	1402	20	23	8	2,9	4,3	3
Perdiki (fot. 1b)	gnejsy i łupki krystaliczne	uprawy różne, podlewane, przewaga winorośli	1646	23	14	16	1,5	5,2	5
Plati 1 (fot. 1e-f)	wapienie	zboża/ nieużytek, ślady systemu nawadniającego	1766	17	10	10	0,8	8,1	3
Plati 2 (fot. 1g)	wapienie	zboża/ pastwisko, brak śladów nawadniania	2454	13	12	12	0,7	4,9	7
Pirgos 1 (fot. 1c)	tufy wulkaniczne	winnica, lokalnie nieużytek, brak systemu nawadniającego	6675	28	12	7	1,9	17,5	11
Pirgos 2 (fot. 1d)	tufy wulkaniczne	winnica, lokalnie nieużytek, brak systemu nawadniającego	26262	43	9	14	2,2	22,7	4
Vrakades (fot. 1h)	granitognejsy	Uprawy różne, nawadniane, lokalnie odłóg	2549	35	17	21	1,7	5,4	5

miarów GPS RTK, z wykorzystaniem oprogramowania AutoCad Map 3D i ArcMap 10. Dokładność pomiarów pozwoliła na precyzyjne określenie kubatury skartowanych form erozyjnych.

Budowę wewnętrzną tarasów rozpoznano wykorzystując metodę georadarową (Karczewski 2007). Wyniki uzyskane z profili georadarowych zostały ekstrapolowane na całą powierzchnię tarasów. Wykorzystano przenośny radar do penetracji gruntu GPR RAMAC z antenami ekranowanymi o częstotliwości centralnej 250 MHz. Uzyskane falogramy poddano filtracji w programach GroundVision. Kalibrację skali głębokości przeprowadzono w oparciu o dane z wkopów reperowych wykonanych na poszczególnych poligonach. Otrzymane w wyniku filtracji obrazy fal elektromagnetycznych porównano z obrazami uzyskanymi podczas badań eksperymentalnych i z obrazami modelowymi dla badań z zastosowaniem anten o częstotliwości 250 MHz. Pozwoliło to na wykonanie przekrojów uwzględniających następujące facje radarowe: lite skały (w tym duże bloki skalne), zwietrzeliny (in situ i przemieszczone w wyniku procesów naturalnych) oraz grunty nasypowe. Na poligonach, których podłoże stanowiły lite skały, maksymalna założona głębokość penetracji wynosiła 6-7 m, a na tufach wulkanicznych – 18 m. W sumie wykonano 239 profilowań georadarowych, których łączna długość wyniosła ponad 3000 m.

W terenie wykonano także pomiary wodoprzepuszczalności gruntu. Parametr ten jest szczególnie istotny przy ocenie stateczności wszelkich budowli ziemnych, do jakich zaliczyć należy również tarasy rolne. Wielu autorów podkreśla, że połowa ocena tempa filtracji daje znacznie lepsze wyniki niż metody laboratoryjne czy stosowanie wzorów empirycznych (Iwanek 2005). W tym przypadku zastosowano uproszczoną wersję metody studni chłonnych (Pazdro i Kozerski 1990). Pomiary wykonano w bezpośrednim sąsiedztwie każdego wkopu reperowego oraz na powierzchni wybranych tarasów (w sumie w 131 punktach), przy użyciu rur PVC o średnicy 10 cm i długości od 30 do 150 cm, wbitych w podłoże na głębokość do 20 cm. W ciągu pierwszych 10 minut odczytów dokonywano co minutę, później po kolejnych 5, 15 i 30 minutach, po czym dolewano wodę i pomiar powtarzano. Współczynnik filtracji określano ze wzoru $k = r_o \cdot Dh / 4 \cdot h_{sr} \cdot Dt$, gdzie Dt to czas opadania zwierciadła wody w rurze pomiarowej o wartość $Dh (=h_1-h_2)$, $h_{sr} = (h_1+h_2)/2$, a r_o to promień rury pomiarowej (w tym przypadku 0,05 m). Interpretacji wyników pomiarów dokonano uwzględniając skład frakcyjny materiału budującego powierzchnię i wnętrze tarasów.

Ocenę stateczności murów podtrzymujących tarasy, a więc również i samych tarasów, przeprowadzono na podstawie analizy: sposobu konstrukcji poszczególnych murów i ich fragmentów, stopnia ich zniszczenia i rodzaju zniszczeń oraz obecności śladów napraw. W celu określenia potencjalnych czynników wpływających na ich degradację uwzględniono również warunki użytkowania tarasów.

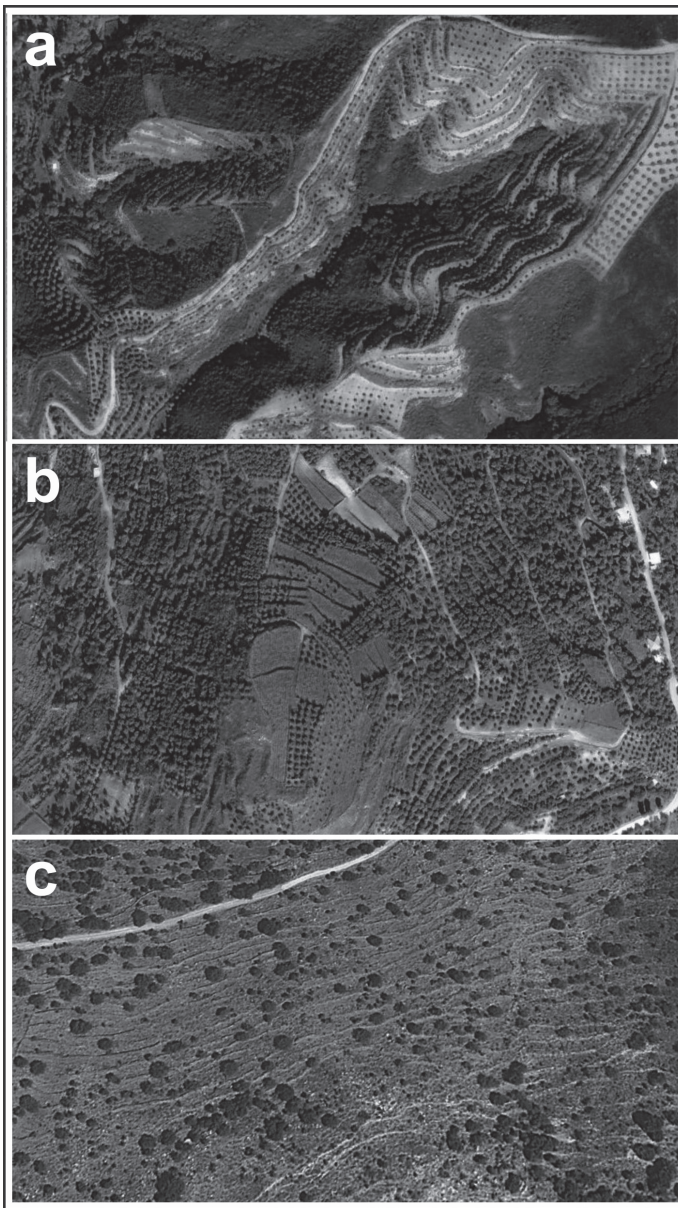
OBSZAR BADAŃ

Wyspy Morza Egejskiego i Kreta jako jedne z pierwszych w Europie zostały objęte intensywną działalnością człowieka. Kultury rolnicze rozwijały się tam już od początku epoki brązu. Być może już wówczas zaczęto tworzyć pierwsze tarasy rolne (Betancourt i Hope Simpson 1992), ale dopiero wzrost liczby ludności na początku epoki klasycznej, na przełomie VI i V w. p.n.e. sprawił, że konieczne stało się na szerszą skalę wykorzystanie stoków pod uprawę. Większość występujących na tym obszarze tarasów to jednak formy znacznie młodsze, zbudowane najprawdopodobniej dopiero po wiekach średnich (Bevan i in. 2003), a ich największy rozwój miał miejsce na przełomie XIX i XX w. (Petaniidou i in. 2008). Od połowy XX w. następuje sukcesywne wyludnianie obszarów rolniczych na wyspach, skutkujące porzuceniem tarasów i ich powolnym niszczeniem (Kizos i Koulouri 2006).

Do niedawna na wyspach greckich występowały wyłącznie tarasy rolne podparte murami suchymi. Polityka rolna Unii Europejskiej promująca produkcję oliwy, sprawiła, że w wielu regionach znacznie zwiększono areał uprawy oliwek. Nowe gaje tworzone na stokach, na których buldożerami wycinano pseudotarasy. Od tradycyjnych tarasów różnią się one wyjątkową regularnością (fot. 2), a jednocześnie są znacznie szybciej niszczone przez erozję (de Graff i in. 2010). W Grecji takie „nowoczesne” formy tworzone głównie na Krecie i na Peloponezie, ale zajmują tam one bardzo niewielkie powierzchnie.

Do badań szczegółowych wybrano tarasy na stokach zbudowanych ze skał typowych dla regionu egejskiego (tab. 1). Gnejsy i łupki krystaliczne, granitoidy i zmetamorfizowane skały węglanowe zalegające na łupkach krystalicznych (ikaryjskie poligony Perdiki, Vrakades i Kosikia) powszechnie występują na wielu wyspach należących do Cyklad (Naksos, Paros, Siros, Tinos, Andros, Kea, Ios, Mikonos, Serifos). Tarasy na tufach wulkanicznych, oprócz archipelagu santoryńskiego (badane na największej wchodzącej w jego skład wyspie Thira, na poligonach Pirgos 1 i Pirgos 2), są charakterystyczne dla stoków Eginy, Kos, Milos, Lesbos i Nisiros. Na Krecie (poligony Plati 1 i Plati 2) wybrano tarasy na powierzchniach zbudowanych z wapieni, typowe dla otoczenia dużych polji krasowych (ryc. 1, tab. 1). Rozmiary i kształty poligonów są różne, ponieważ przy ich wyborze starano się, aby były reprezentatywne dla większego obszaru, na którym występują, a jednocześnie, aby objęły co najmniej 7-8 tarasów.

Klimat archipelagu egejskiego reprezentuje najsuchszą odmianę klimatów podzwrotnikowych (Martyn 2000). Z punktu widzenia stateczności tarasów rolnych jego najważniejszym elementem są opady atmosferyczne, a w szczególności ich nierównomierny rozkład w ciągu roku. Notowane na Wyspach Egejskich roczne sumy opadów należą do najniższych w Grecji. Jedynie na wschodnich



Fot. 2. Pseudotarasy (a – gaje oliwne w rejonie miejscowości Dris, SW Kreta) i tradycyjne tarasy podparte murami suchymi (b – gaje oliwne i grunty orne, okolice miejscowości Kalathanes, NW Kreta; c – porzucone tarasy w rejonie miejscowości Plati, E Kreta). Source: Google Earth.

Photo 2. Pseudoterraces (a – olive groves near the Dris village, SW Crete) and traditional terraces with dry stone walls (b – olive groves and arable land near the Kalathanes village, NW Crete; c – abandoned terraces near the Plati village, E Crete). Źródło obrazy programu Google Earth.

krańcach regionu oraz w górach Krety i na Północnych Sporadach rejestrowane są wartości przekraczające 600 mm·rok⁻¹. Najsuchsze są północno-zachodnie i południowo-wschodnie obrzeża Cyklad, gdzie w ciągu roku spada niespełna 400 mm opadu (Concise Statistical Yearbook of Greece 2007). Wyspy objęte badaniami szczegółowymi reprezentują zarówno obszary o względnie wysokich sumach opadu (Ikaria, Masyw Dikti na Krecie), jak i tereny najsuchsze (Thira). Ważną cechą badanego regionu jest występowanie opadów o znacznym natężeniu. Jak podają A. Flokas i A. Bloutsos (1980), Cyklady i wschodnia Kreta należą do obszarów, na których dobowe sumy opadów nie przekraczają 100 mm, natomiast na wschodzie i południowym wschodzie Morza Egejskiego mogą osiągać 200 i więcej mm. Należy podkreślić, że 18 i 19 października 2010 roku na stacji Raches, położonej w odległości 2,5 km od poligonu Vrakades na Ikarii, w ciągu 29 godzin zanotowano 303 mm opadu, którego maksymalne zmierzone natężenie wyniosło 22,4 mm w ciągu 10 minut (dane udostępnione przez Narodowe Obserwatorium Ateńskie). Poprzednie tak ekstremalne zjawisko wystąpiło na tym obszarze w 1961 roku (brak z tego okresu dokładnych danych, ale na podstawie analizy skutków można ocenić, że był to opad o podobnym natężeniu).

BUDOWA, RZEŻBA I WSPÓLCZESNE PRZEKSZTAŁCENIA TARASÓW

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że badane tarasy wykazują duże zróżnicowanie cech metrycznych (tab. 1) i miąższości pokrywy zwierzelinowej oraz materiału nasypowego (tab. 2). Najwyższe (poniżej 5 m) i najwyższe (nawet wysokie na ponad 3 m) tarasy skartowano na stoku o największym nachyleniu (średnio 23°), zbudowanym z dolomitów krystalicznych. Najszerze (ponad 20 m) i również względnie wysokie (średnio na 2,2 m) na stoku zbudowanym z tufów wulkanicznych, nachylonym średnio pod kątem 9° (na najmniej stromej spośród wszystkich przebadanych powierzchni). Na pozostałych 5 poligonach nachylenie stoku wynosiło od 10° do 17°, średnia wysokość tarasów od 0,7 do 1,9 m, a średnia szerokość od 4,9 do 17,5 m (najmniej na powierzchniach wapiennych, najwięcej na przykrytych tufami).

Nachylenie poszczególnych stopni tarasowych jest bardzo zróżnicowane – od 3° na wapieniach płytowych i dolomitach krystalicznych do 11° na jednym z poligonów, którego podłoże stanowiły tufy wulkaniczne. Nie stwierdzono jednak istnienia związku między budową stoku a nachyleniem utworzonych na nim pól – na tufach skartowano zarówno tarasy o niemal płaskiej powierzchni (poniżej 3°), jak i nachylone pod kątem ponad 10°, jedynie o 2-5° niższym od pierwotnego, naturalnego spadku powierzchni, która została starasowana. Podkreślić należy jednak, że tarasy o spadkach większych niż 5-6° występują tylko

tam, gdzie tworzono je pod uprawy nie wymagające nawadniania. Stwierdzono, iż głównym czynnikiem decydującym o wysokości poszczególnych stopni tarasowych jest nachylenie stoku – im jest ono większe, tym mury tarasów są wyższe. Zależność ta nie występuje, jeśli litologia stoku pozwala na stworzenie tarasów o znacznej szerokości – tak jest w przypadku tufów wulkanicznych, w obrębie których lite podłoże występuje głęboko, więc nie stanowi naturalnego ograniczenia zasięgu poszczególnych tarasów. Na stokach, których podłoże stanowią gnejsy, granitoidy, dolomity krystaliczne i wapienie tarasy są względnie wąskie. Lokalnie wyższe mury występują tam, gdzie lite lub gruzowe podłoże zalega płytko – na głębokości 1,0-1,5 m. Obecność wychodni jest istotnym czynnikiem decydującym o konfiguracji tarasów w obrębie systemów tarasowych. Najlepiej ilustruje to przykład wapieni płytowych, na których na stoku nachylonym pod kątem 10-12° skartowano zarówno pola płaskie, jak i fragmenty teras o spadku ponad 7°. To zróżnicowanie nachyleń wynika również z pierwotnego przeznaczenia tarasów. Pola w rejonie Palti przeznaczone były głównie pod uprawę zbóż, dlatego, aby umożliwić orkę z wykorzystaniem zwierząt, budowniczy zdecydowali się na warkoczowy układ granic tarasów. Zbliżony do warkoczowego jest również układ tarasów w obrębie winnic (Pirgos 1 i Porgos 2), ponieważ, gdy je tworzono, technika uprawy również wymagała stosowania orki. Na poligonach Kosikia, Perdiki i Vrakades stosowano wyłącznie uprawę ręczną, dlatego tarasy tworzą tam systemy równoległych stopni, a komunikację pomiędzy poszczególnymi polami umożliwiają kamienne schody w obrębie murów.

Tab 2. Miąższość materiału budującego tarasy rolne w obrębie badanych poligonów (dane uzyskane na podstawie interpretacji profili georadarowych).

Table 2. The thickness of terrace material (on the base of interpretation of georadar profiles).

Poligon	Typ podłoża	Miąższość (m)		Głębokość do litej skały (m)
		Grunt nasypowy	zwietrzelina	
Kosikia	dolomity krystaliczne	0,5-1,0	1,0-4,0	2,0-6,0
Perdiki	gnejsy i łupki krystaliczne	0,5-1,5	2,0-3,0	3,0-4,0
Pirgos 2	tufy wulkaniczne	0,5-1,0 (lokalnie 2,0)	brak	ponad 18 m
Plati 1	wapienie płytowe	0,5-1,0 (lokalnie 2,0)	1,0-4,0	2,0-5,0
Plati 2	wapienie płytowe	0,5-2,0	1,0-3,0	0,0-2,0 (w górnej części stoku) 0,0-4,0 (w dolnej części stoku)
Vrakades	granitognejsy	0,5-2,0	1,0-2,5	2,0-4,0

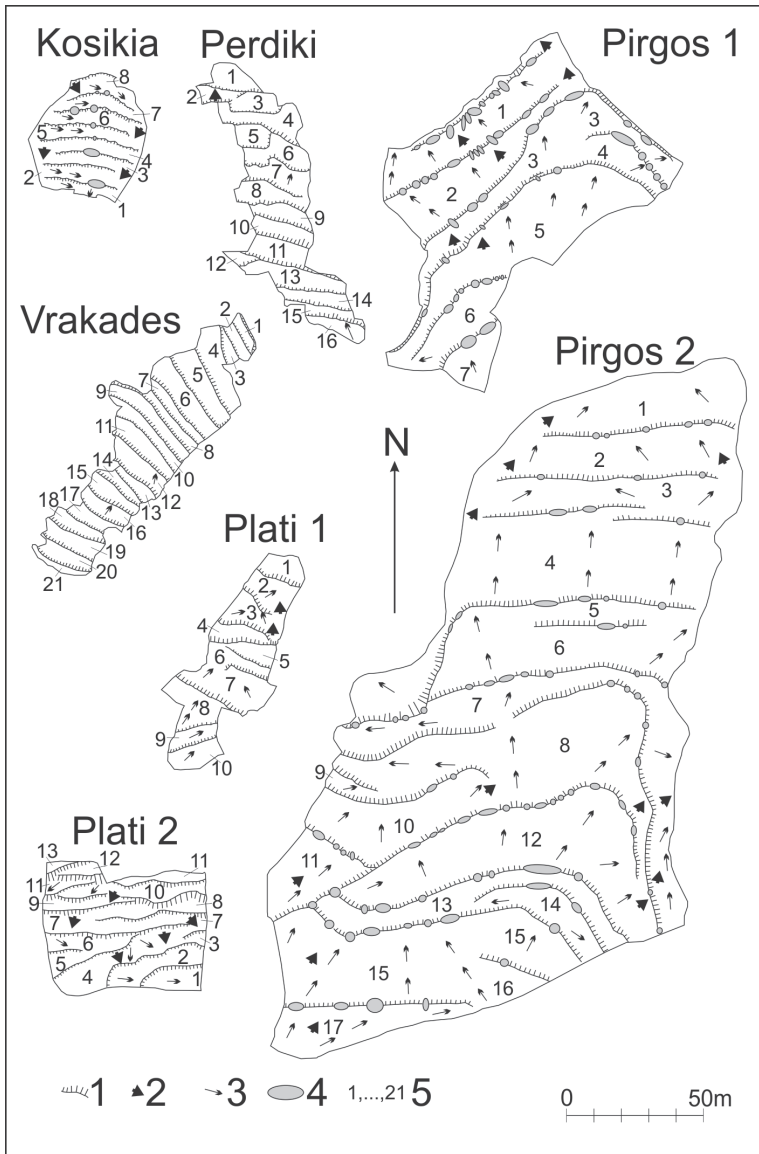
Na wszystkich zbadanych poligonach miąższość warstwy nasypowej na zapleczu murów osiąga maksymalnie nie więcej niż 2 m; najczęściej wynosi od 0,5 do 1,5 m. Głębiej stwierdzono obecność gruzowej zwietrzliny o miąższości od 1 do 4 m. Lita skała występuje na głębokości od 2 do 6 m, z wyjątkiem poligonów, których podłoże stanowią wapienie płytowe (odsłaniające się na powierzchni w postaci wychodni) i tufy wulkaniczne (w tym przypadku lite podłoże występuje na głębokości ponad 18 m).

Na stokach przykrytych tufami w profilach georadarowych nie stwierdzono obecności sztucznie zasypanych form erozyjnych, mimo iż w otoczeniu poligonów współczesna rzeźba erozyjna jest bardzo rozwinięta. Wskazuje to, że starszemu najstabilniejsze fragmenty stoków. Na poligonach obejmujących stoki skalne przykryte zwietrzeliną rozkład jej miąższości (wzrost w kierunku wyższych partii stoku) także wskazuje, iż przed wybudowaniem tarasów były to powierzchnie, na których erozja nie osiągała znacznych rozmiarów.

Pomiary tempa filtracji pokazały, iż na wszystkich poligonach jest ono typowe dla zwietrzelin gliniastych (także na powierzchniach przykrytych młodymi tufami wulkanicznymi) – najniższe na stoku, którego podłoże stanowią gnejsy i łupki krystaliczne (poligon Perdiki – $3,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, poligony Pírgos 1 i 2 – $6,0 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, poligon Vrakades – $6,7 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), najwyższe w obrębie krasowych powierzchni węglanowych (poligon Kosikia – $4,7 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, poligon Plati 2 – $3,4 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, poligon Plati 1 – $7,9 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Największe różnice zaznaczyły się na terenach zbudowanych ze skał węglanowych i wiązały się z różną przepuszczalnością płatów ilastego eluwium i rumoszu.

Ocenie współczesnych przekształceń badanych tarasów służyło między innymi precyzyjne odwzorowanie ich rzeźby. Za jej najistotniejsze cechy uznano: przebieg sztucznych krawędzi morfologicznych (murów oddzielających poszczególne tarasy), rozmiary i rozmieszczenie form erozyjnych oraz zróżnicowanie nachylenia powierzchni tarasów. Na podstawie analizy wyników stwierdzono, że największa erozja występuje na poligonach Pírgos 1 i Pírgos 2, czyli na stoku zbudowanym z tufów wulkanicznych (ryc. 2). Najbardziej zniszczone są mury ograniczające tarasy o powierzchni nachylonej powyżej 5° (lokalnie uszkodzone jest do 80% ich długości). Znacznych rozmiarów nisze erozyjne skartowano jednak również na skraju płaskich fragmentów tarasów (np. taras 5a na poligonie Pírgos 2; ryc. 2). Erozja występuje niezależnie od tego, czy granice tarasów mają przebieg równoległy, czy skośny do siebie lub do ogólnego nachylenia stoku, na którym utworzono rozpatrywany system tarasowy.

Należy podkreślić, że stopień zniszczenia murów w obrębie poligonów na tufach jest największy spośród wszystkich kartowanych powierzchni, mimo iż są to tarasy nadal użytkowane, otrzymujące opady o najmniejszym natężeniu spośród badanych obszarów. Przyczyn tak znacznych uszkodzeń należy upatrywać nie tylko w litologii, ale również w opisanym w dalszej części tekstu spo-



Ryc. 2. Układ przestrzenny tarasów na poszczególnych poligonach (na Ikarii – Kosikia, Perdiki i Vrakades; na Thirze – Pirgos 1 i Pirgos 2; na Krecie – Plati 1 i Plati 2). 1 – umocnione krawędzie tarasów (mury), 2 – lokalizacja i kierunki największego ($>5^\circ$) nachylenia powierzchni tarasów, 3 – kierunki nachylenia pozostałych fragmentów tarasów (brak strzałek na tarasie oznacza, iż jest on płaski), 4 – przerwane (zniszczone i rozcięte) fragmenty krawędzi tarasów (murów), 5 – numer tarasu.

Fig. 2. Spatial configuration of terraces (on Ikaria – Kosikia, Perdiki and Vrakades; on Thira – Pirgos 1 and Pirgos 2; on Crete – Plati 1 and Plati 2). 1 – dry-stone walls, 2 – most sloping terrace fragments ($>5^\circ$), 3 – dominant slope directions, 4 – damaged terrace edge fragments, 5 – terrace numbering.

sobie wykonania murów-okładzin. Jednak najważniejszy wydaje się fakt, że na przełomie lat 70. i 80. XX w. zrezygnowano tam z tradycyjnej techniki uprawy winorośli i zamiast orki zaczęto stosować pestycydy. Powierzchnia gruntu stała się więc mniej przepuszczalna, co spowodowało zwiększenie spływu powierzchniowego.

Potwierdziły to również pomiary tempa filtracji. W dniu odkrywek praktycznie nie zanotowano wartości współczynnika filtracji niższych niż $3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, na nieużytkowanym od 5 lat, zarośniętym tarasie tempo infiltracji osiągało nawet $1 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast na chemicznie pozbawionej chwastów powierzchni tarasów między winoroślą w ponad 80% pomiarów nie stwierdzono tempa większego niż $3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Istotny jest również fakt, że na poligonach Pirgos 1 i Pirgos 2 winnice na tarasach podzielone są między wielu właścicieli i nie przynoszą na tyle znaczących zysków, aby rolnikom opłacało się inwestować w naprawę uszkodzonych murów. Dlatego nie są tam wykonywane praktycznie żadne zabiegi konserwacyjne.

Pośród pozostałych badanych tarasów największe zniszczenia stwierdzono na poligonie Kosikia, gdzie uszkodzeniu uległo około 25% długości murów (ryc. 2). Najwięcej nisz erozyjnych występuje w osiowej części starasowanego stoku. Tworzą one wyraźny ciąg, uwarunkowany nachyleniem poszczególnych tarasów i koncentracją odpływu w wykrotach, pozostałych po zaniedbanych drzewach uprawianych dawniej na opisywanym poligonie. Tu również od początku lat 80. XX w. nie wykonywano żadnych napraw murów, a jednocześnie dawny sad stał się okresowym pastwiskiem.

Na pozostałych kartowanych obszarach nie stwierdzono tak znacznych skutków erozji murów, mimo iż dwa z nich (Plati 1 i 2) również od wczesnych lat 80. XX w. nie są wykorzystywane pod uprawę. W przypadku tarasów nadal użytkowanych, na których do dziś stosowane są tradycyjne techniki rolnicze, główną przyczyną dobrego stanu murów jest najprawdopodobniej ich stała konserwacja. Świadczą o tym liczne ślady napraw widoczne zwłaszcza w centralnej części poligonu Vrakades. Według informacji uzyskanych od rolników, co kilka lat wypełniają oni niewielkie ubytki w murach, nie dopuszczając tym samym do ich dalszego zniszczenia. Dzięki temu, nawet ekstremalny opad z października 2010 roku nie spowodował znaczących zniszczeń w obrębie badanych tarasów na poligonie Vrakades, chociaż w tym samym czasie koryta cieków okresowych w okolicy zostały bardzo silnie przekształcone.

Poligon Plati 2 (podobnie jak Kosikia) jest wykorzystywany jako pastwisko i od 30 lat nie wykonywano tam żadnych prac służących poprawie stanu tarasów. Nie wpłynęło to jednak znacząco na intensywność erozji. Mury, choć zbudowane z chaotycznie ułożonego gruzu, nie uległy zniszczeniu. Tylko lokalnie pojedyncze kamienie i głazy zostały przemieszczone przez zwierzęta, które

najwyraźniej omijają mury, ponieważ zbliżony do warkoczowego układ tarasów (ryc. 2) zapewnia im możliwość łatwego przemieszczania się między poszczególnymi poziomami.

Na poligonie Plati 1 również zniszczenia tarasów są bardzo niewielkie. Ich krawędzie zostały poprowadzone wzdłuż wychodni skalnych, z których tylko część nadbudowano tworząc dodatkowe zabezpieczenie w postaci niskiego muru, a pozostałe odpowiadają naturalnym załomom na stoku. Układ pól jest w związku z tym nieregularny, a ich nachylenie zróżnicowane (ryc. 2).

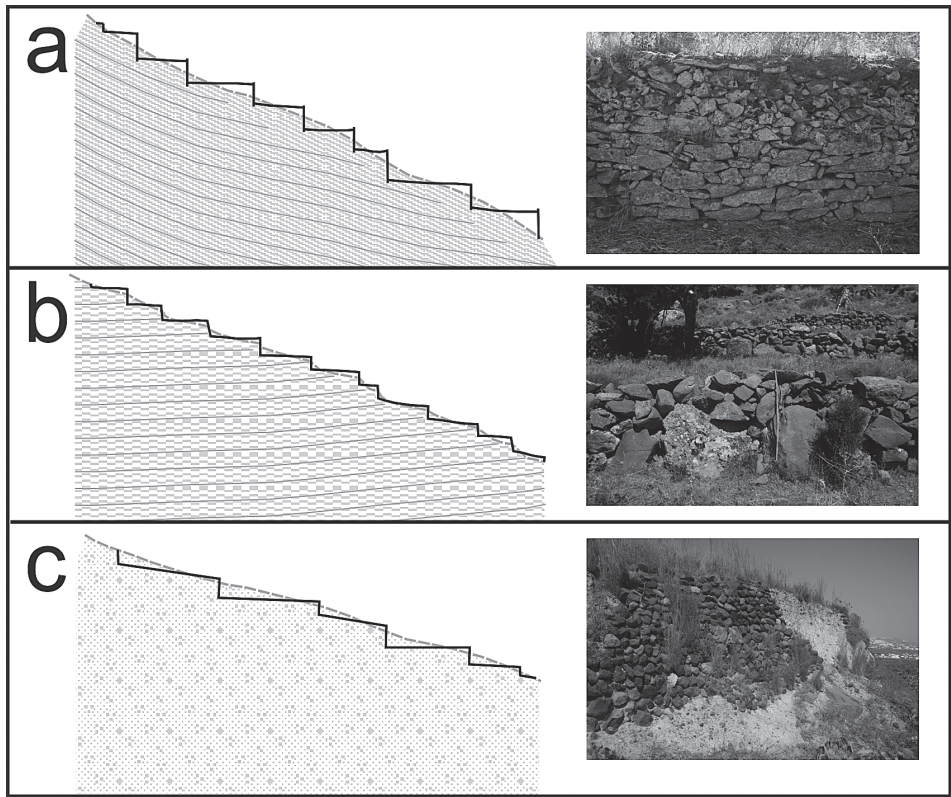
Zarówno rejon miejscowości Kosikia, jak i otoczenie polja Lasithi, to obszary zbudowane ze skał węglanowych, w znacznym stopniu skrasowiałych. Wszystkie w podobnym okresie zostały wyłączone z użytkowania rolniczego. Notowane są tam podobne sumy opadów, względnie wysokie w skali basenu Morza Egejskiego (w 2011 r. 1143,0 mm na Ikarii i 1286,5 mm na Płaskowyżu Lasithi – dane Narodowego Obserwatorium Ateńskiego). Maksymalne dobowe sumy opadów na obu obszarach są również zbliżone (nawet w latach suchych wynoszą około 60-80 mm). Dane dotyczące zdarzeń ekstremalnych sugerują, że na Ikarii osiągają one większe natężenie, ale w okresie od porzucenia tarasów do ich skartowania w roku 2010 nie wystąpiła tam żadna tego typu katastrofa. Zatem dłaczego stopień erozji tarasów w rejonie Kosikia i Plati jest tak odmienny? Najprawdopodobniej główną przyczyną tej sytuacji jest zróżnicowanie nachylenia stoków. W rejonie Kosikia wynosi ono średnio 23°, a w rejonie Plati 1 i 2 – 10-12°. Przy budowie tarasów w rejonie Kosikia duże nachylenie stoku skutkowało koniecznością bardzo dużej ingerencji budowniczych tarasów w naturalną rzeźbę. W rejonie Plati ingerencja ograniczyła się do podkreślenia uwarunkowanych strukturalnie krawędzi morfologicznych, wyrównania powierzchni poszczególnych poziomów i usunięcia z nich najgrubszych okruchów skalnych.

W zależności od budowy podłoża, inna była zasada konstrukcji tarasów. Różniły się one także sposobem wykonania murów (ryc. 3):

- na powierzchniach zbudowanych ze skał metamorficznych przykrytych kilkumetrowej miąższości zwietrzeliną (ryc. 3a), każdy taras składa się z części wyciętej (najczęściej w zwietrzelinie, sporadycznie aż do jej spągu) i nadbudowanej. Największą miąższość gruntu nasypowego uzyskano na bezpośrednim zapleczu murów, a same mury posadowiono poniżej założonej powierzchni terenu (na litym podłożu albo na kamiennym fundamencie);

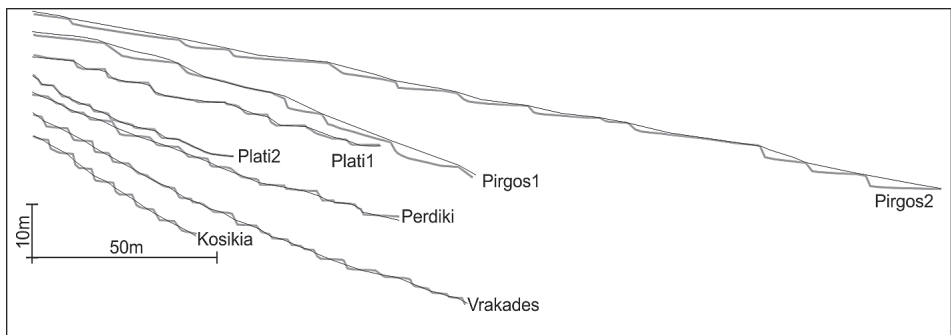
- na zboczach doliny wyciętej w wapieniach płytowych o warstwach ułożonych niemal poziomo (poligony Plati 1 i Plati 2, ryc. 3b), bezpośrednim podłożem murów są wychodnie skalne. Kształt stoku zmieniono w bardzo niewielkim stopniu, wykorzystując jego naturalny, schodowy układ (ryc. 4);

- na poligonach zlokalizowanych w obrębie miąższych pokryw tufów wulkanicznych (ryc. 3c) tarasy wycięto w tych pokrywach, a uzyskany materiał rozprowadzono na ich powierzchni, maskując lokalne nierówności. O konfi-



Ryc. 3. Związek sposobu konstrukcji tarasów z litologią: a – tarasy na skałach metamorficznych, b – tarasy założone na wychodniach wapieni płytowych, c – tarasy wycięte w tufach wulkanicznych. Pozostałe objaśnienia w tekście (fot. I. Tsermegas).

Fig. 3. The relationship between the lithology and the terrace construction: a – terraces on metamorphic rocks, b – terraces on plate limestone, c – terraces on volcanic tuffs. More explanations on the text (photo by I. Tsermegas).



Ryc. 4. Naturalne (cienkie linie) i sztuczne (grube linie) profile stoków na badanych poligonach.

Fig. 4. Natural (thin lines) and artificial (bold lines) profiles of slopes on research plots.

guracji tarasów w obrębie poligonu zdecydowały prawdopodobnie zarówno stosunki własnościowe i przebieg dróg, jak i naturalny kształt stoku. Obecny profil stoku, w stosunku do profilu naturalnego jest miejscami niższy nawet o ponad 3 m (ryc. 4), a zatem budowa tarasów wyraźnie zaburzyła pierwotną równowagę stoku.

Mury tworzą zawsze z materiału lokalnego. Wielkość i kształt użytych fragmentów skał jest bardzo zróżnicowana (od kilku do ponad 50 cm) i zależy wyłącznie od lokalnych możliwości pozyskania budulca. Badania wykazały, że bardzo istotnym czynnikiem stateczności tarasów jest kształt i sposób ułożenia fragmentów skalnych tworzących podpierające je mury. Dlatego:

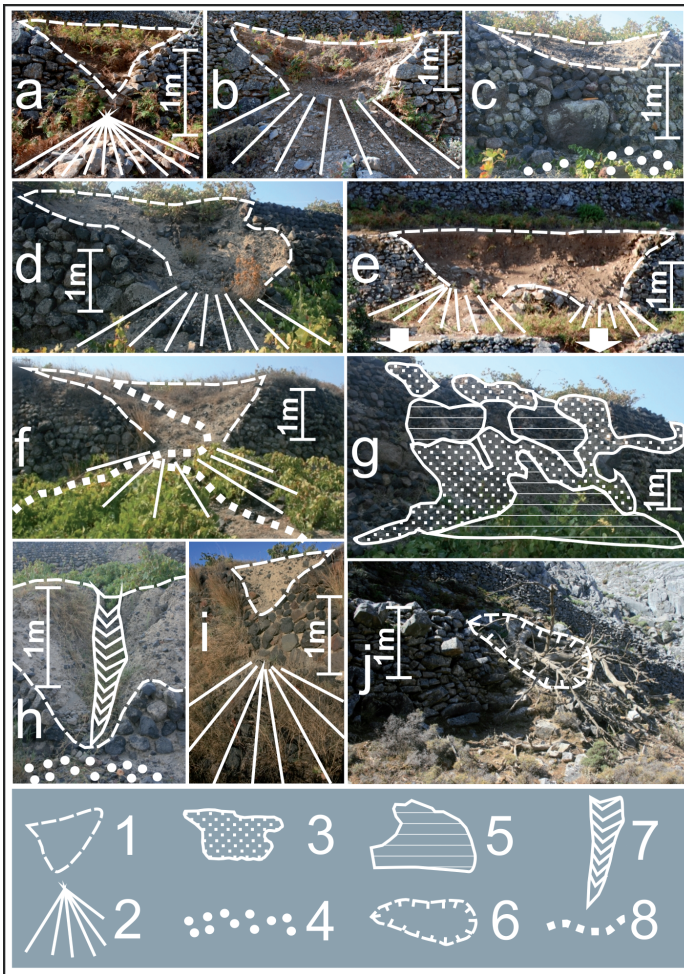
- na stokach, których podłożem są gnejsy, granitognejsy i łupki krystaliczne wykorzystano dobrze dopasowane okruchy prostopadłościennych o ostrych krawędziach (ryc. 3a);

- na stoku zbudowanym z dolomitów krystalicznych – kanciaste bloki o różnych kształtach;

- na obszarze, gdzie odsłaniają się skrasowiałe wapienie płytowe mury nadbudowano na wychodniach skalnych o nierównych czołach, używając zarówno okruchów kanciastych, jak i zaokrąglonych na skutek wietrzenia, których dopasowanie było praktycznie niemożliwe (ryc. 3b);

- na stokach przykrytych tufami wulkanicznymi skarpy oddzielające tarasy nie tyle podparto murami, co obłożono różnej wielkości i kształtu bombami wulkanicznymi (ryc. 3c). Wykorzystano znane od czasów starożytnych własności drobnych frakcji santoryńskich tufów – posłużyły one jako naturalne spoiwo utrzymujące kamienną okładzinę.

Z uwagi na cel badań, jakim było określenie czynników decydujących o podatności stoków starszowanych na erozję, szczególną uwagę zwrócono na współczesne formy erozyjne występujące w ich obrębie. Stwierdzono, że początkowym etapem niszczenia tarasów są niewielkie deformacje murów prowadzące do ubytku tworzących je okruchów skalnych (ryc. 5a, 5c i 5i). W przypadku tarasów, na których występują pojedyncze drzewa, formami początkującymi erozję mogą być również wykroty (ryc. 5b i 5j). Kolejne etapy niszczenia murów wiążą się z koncentracją spływu w obrębie ich fragmentów, które wcześniej uległy uszkodzeniu. Prowadzi ona do poszerzenia i pogłębienia istniejących, niewielkich nisz erozyjnych (ryc. 5d) i łączenia ich w formy złożone (ryc. 5e). Większe nisze wykorzystywane są często przez ludzi i zwierzęta jako fragmenty ścieżek zapewniających komunikację między poszczególnymi tarasami (ryc. 5f). Mogą również ulegać dalszemu rozcinaniu – w ich centralnej części powstają wówczas wtórne bruzdy, które przy szerokości do 30 cm osiągają nawet 1 m głębokości. Tego typu formy obserwowano jedynie na poligonach Pirgos 1 i Pirgos 2 (ryc. 5h), czyli w obrębie winnic na tufach wulkanicznych. Najgłębsze bruzdy wiązały się najprawdopodobniej z koncentracją wody przez



Ryc. 5. Różne typy erozji w obrębie murów ograniczających tarasy na najbardziej zdegradowanych poligonach (Kosikia – a, b, e, j; Pirgos 1 – c, g; Pirgos 2 – d, f, h, i). 1 – zasięg nisz erozyjnych, 2 – stożki usypiskowo-napływowe u wylotu nisz erozyjnych, 3 – duże fragmenty ścian, z których odpadła kamienna okładzina, 4 – chaotycznie rozrzucone fragmenty muru, 5 – rozległe usypiska złożone z fragmentów muru, 6 – wykroty, 7 – liniowe rozcięcia erozyjne, 8 – fragmenty ścieżek wykorzystujące nisze erozyjne. Strzałki (na zdjęciu e) wskazują rozcięty mur na tarasie poniżej rozległych nisz erozyjnych. Pozostałe objaśnienia w tekście (fot. I. Tsermegas).

Fig. 5. Different erosion landforms on terrace walls on the most degraded plots (Kosikia – a, b, e, j; Pirgos 1 – c, g; Pirgos 2 – d, f, h, i). 1 - erosive niches, 2 - debris-alluvial cones at the mouth of erosive niches, 3 - large sections of the walls devoid of stone cladding, 4 - chaotically scattered wall fragments, 5 - large piles consisting of wall fragments, 6 - windthrow, 7 - linear erosive dissection, 8 - path sections which use erosive niches. Arrows (Photo e) indicate the dissected wall on the terrace below extensive erosive niches. Other explanations in the text (photo by I. Tsermegas).

system korzeniowy winorośli. Pomiary wykazały, że współczynnik filtracji osiągał w takich przypadkach nawet $2 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Równocześnie stwierdzono także, że jeśli na powierzchni tarasu nie ma możliwości koncentracji spływu wody w kierunku krawędzi, to nawet wysoka ściana zbudowana z tufów, niemal całkowicie pozbawiona kamiennej okładziny, praktycznie nie ulega erozji (ryc. 5g).

Podatność stoków starasowanych na degradację oceniono również w oparciu o obliczenia parcia gruntu na mury oporowe tarasów. Wykonano je uwzględniając geotechniczne parametry przeanalizowanych próbek gruntu pobranych z różnych poziomów glebowych.

W odniesieniu do gruntu suchego okazało się, że w żadnym przypadku obliczone parcie nie przekracza wartości krytycznej. Materiał budujący tarasy jest na tyle zwięzły, że stateczne są w nim także niepodparte pionowe ściany. Ochronna (oporowa) funkcja murów była istotna w trakcie i bezpośrednio po utworzeniu systemów tarasowych, ponieważ wówczas przemieszczona przez człowieka pokrywa glebowa była przejściowo znacznie mniej zwięzła. Obecnie mury oporowe tarasów są ważnym elementem decydującym o stateczności stoku, ale tylko w trakcie intensywnego nawadniania i ekstremalnych opadów, chociaż i wówczas nie dochodzi do pełnego nawodnienia materiału budującego tarasy. Zapobiega temu z jednej strony zbyt małe tempo filtracji, a z drugiej przepuszczalność murów (lokalnie wspomagana przez system odwadniający). Względnie słabą przepuszczalność mają jedynie okładziny ścian tarasów na terenach zbudowanych z tufów wulkanicznych (spojone „naturalnym cementem”; poligony na Thirze), ale notuje się tam znacznie niższe sumy opadów niż na Ikarii i w górach Kreta.

WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że intensywność erozji stoków starasowanych zależy głównie od litologii oraz nachylenia stoku. Istotna jest również pierwotna rzeźba analizowanej powierzchni, ponieważ do niej dostosowano układ tarasów w obrębie badanych systemów tarasowych. Największa erozja występuje tam, gdzie sztuczny profil stoku najbardziej różni się od profilu naturalnego. Wyniki wskazują też, że czynnikiem w istotny sposób wpływającym na ograniczenie erozji jest sposób użytkowania tarasów. Na tarasach użytkowanych w sposób tradycyjny stwierdzono znacznie mniejszą intensywność erozji niż na tarasach nieużytkowanych lub użytkowanych z wykorzystaniem pestycydów. Tradycyjny sposób użytkowania tarasów zwiększa możliwość infiltracji wody, zmniejszając tym samym spływ powierzchniowy. Dobrze utrzymane tarasy pozostają nienaruszone nawet podczas opadów ekstremalnych. Istotne znaczenie dla intensywności erozji ma również to, na ile

człowiek budując tarasy zmienił naturalny profil stoku – najintensywniejsza erozja występuje na najbardziej przekształconych fragmentach stoków, o największym nachyleniu. Tarasy są skutecznym sposobem ograniczania erozji, ale nieużytkowane i niekonserwowane mogą przyczyniać się do jej wzmożenia, szczególnie w sytuacji, gdy warunki klimatyczne bądź antropopresja utrudniają regenerację naturalnej roślinności.

Literatura

- Acheson P.E., 1997, Does the “economic explanation” work? Settlement, agriculture and erosion in the territory of Halieis in the Late Classical-Early Hellenistic period, *Journal of Mediterranean Archaeology* 10, 165-190.
- Arhonditsis G., Giourgia Ch., Loumou A., Koulouri M., 2002, Quantitative assessment of agricultural runoff and soil erosion using mathematical modeling: applications in the Mediterranean region, *Environmental Management* 30 (3), 434-453.
- Ballais J.-L., 1991, Les terrasses historiques de Tunisie, *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd.* 83, 221-226.
- Betancourt P.P., Hope Simpson R., 1992, The agricultural system of Bronze Age Pseira, *Cretan Studies* 3, 47-54.
- Bevan A., Frederick C., Krahtopoulou N., 2003, A digital Mediterranean Countryside: GIS approaches to the spatial structure of the Post-Medieval landscape on Kythera (Greece), *Archeologia e Calcolatori* 14, 217-236.
- Brunet M., 1990, Terrasses de cultures antiques: L'exemple de Délos, Cyclades, [w:] M. Provansal (red.), *L'Agriculture en terrasses sur les versants méditerranéens: Histoire, conséquences sur l'évolution du milieu*. Aix-en-Provence, Centre National de la Recherche Scientifique, Special issue of *Méditerranée* 71, 5-11.
- Butzer K.W., 2005, Environmental history in the Mediterranean world: Cross-disciplinary investigation of cause-and-effect for degradation and soil erosion, *Journal of Archaeological Science* 32, 1773-1800, DOI: 10.1016/j.jas.2005.06.001.
- Chaniotis A., 1999, Milking the Mountains. Economic Activities on the Cretan Uplands in the Classical and Hellenistic Period, [w:] A. Chaniotis (red.), *From Minoan Farmers to Roman Traders: Sidelights on the Economy of Ancient Crete*, Heidelberg *althistorische Beiträge und epigraphische Studien* 29, Steiner, Stuttgart, 181-220.
- Concise Statistical Yearbook of Greece 2007, 2008, National Statistical Service of Greece, Pireas, 1-311.
- Dunjó G., Pardini G., Gispert M., 2003, Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain, *Catena* 52, 23-37.
- Flokas A.A., Bloutsos A.A., 1980, Computation of the maximum daily rainfall in Greece for various return periods (po grecku) [w:] *Proceedings of the 2nd Greek Seminar on Hydrology*, Athens, 24-29.02.1980, Ministry of Coordination, Athens, t. 1, 211-227.
- French C.A.I., Whitelaw T., 1999, Soil Erosion, Agricultural Terracing and Site Formation Processes of Markiani, Amorgos, Greece: The Micromorphological Perspective, *Geoarchaeology* 14 (2), 151-89.

- Gallart F., Llorens P., Latron J., 1994, Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin, *Journal of Hydrology* 159, 291-303.
- Garcia-Ruiz J.M., 1989, Erosion processes in abandoned fields. A case study in Central Spanish Pyrenees, Geoko, Darmstadt.
- Geological Map of Greece 1:50 000, Ikaria Island sheet, 2005, IGME, Athens.
- de Graaff J., Duarte F., Fleskens L., de Figueiredo T., 2010, The future of olive groves on sloping land and ex-ante assessment of cross-compliance for erosion control, *Land Use Policy* 27, 33-41.
- Harfouche R., 2007, *Histoire des Paysages Mediterraneens: Amenagements et Agriculture*, British Archaeological Reports International Series (BARIS) 1634, Archaeopress, Oxford.
- Iwanek M., 2005, Badanie współczynnika filtracji gleb metodą polową i w laboratorium, *Acta Agrophysica* 5 (1), 39-47.
- Karczewski J., 2007, *Zarys metody georadarowej*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 1-246
- Kizos Th., Koulouri M., 2006, Agricultural landscape dynamics in the Mediterranean: Lesvos (Greece) case study using evidence from the last three centuries, *Environmental Science & Policy* 9, 330-342.
- Kosmas C., Gerontidis St., Marathanou M., 2000, The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesvos (Greece), *Catena* 40, 51-68.
- Koulouri M., Giourga C., 2007, Land abandonment and slope gradient as key factors of soil erosion in Mediterranean terraced lands, *Catena* 69, 274-281. DOI: 10.1016/j.catena.2006.07.001.
- Lasanta, T., 1988, The process of desertion of cultivated areas in the Central Spanish Pyrenees, *Pirineos* 132, 15-36.
- Lasanta T., Arnaez J., Oserin M., Ortigosa L.M., 2001, Marginal lands and erosion in terraced fields in the Mediterranean mountains. A case study in the Camero Viejo (Northwestern Iberian System, Spain), *Mountain Research & Development* 21, 69-76.
- Lasanta T., Vicente-Serrano S.M., Cuadrat J.M., 2005, Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: A study of the Spanish Pyrenees, *Applied Geography* 25, 47-65.
- Lehman R. 1993, Terrace degradation and soil erosion in Naxos island, Greece, [w:] S. Wicherek (red.), *Farm Land Erosion in Temperate Plains Environments and Hills*, Amsterdam, Elsevier, 429-450.
- Martyn D., 2000, *Klimaty kuli ziemskiej*, PWN, Warszawa, 1-360.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990, *Hydrogeologia ogólna*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1-623.
- Petanidou T, Kizos T, Soulakellis N., 2008, Socioeconomic dimensions of changes in the agricultural landscape of the Mediterranean Basin: A case study of the abandonment of cultivation terraces on Nisyros Island, Greece, *Environmental Management* 41, 250-266. DOI: 10.1007/s00267-007-9054-6.
- Rackham O., Moody J.A., 1996, *The Making of the Cretan Landscape*, Manchester University Press, Manchester and New York, 1-237.

-
- Romero Díaz A., Marín Sanleandro P., Sánchez Soriano A., Belmonte Serrato F., Faulkner H., 2007, The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in south-east Spain, *Catena* 69, 282-293.
- Scarmellini G., Varotto M. (red.), 2008, Terraced landscapes of the Alps. Atlas. ALPTER Project, Venice, 1-125.
- Treacy J., Denevan W., 1994, The creation of cultivable land through terracing, [w:] N. Miller, K. Gleason (red.), *The Archaeology of Garden and Field*, University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 91-110.
- Tsermegas I., 2009, Antropogeniczne elementy krajobrazu abiotycznego Wysp Egejskich (Grecja), [w:] A. Michno, M. Klimek (red.), *Współczesne przemiany środowiska przyrodniczego w obszarach użytkowanych rolniczo*, Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej, Kraków-Łazy-Gaik-Brzezowa, 17-18.04.2009, IGiGP UJ, SGP, 90-92.