

Analiza kosztów sztucznego i naturalnego odnowienia dębu w wybranych nadleśnictwach

Cost analysis of artificial and natural oak regeneration in selected forest districts

Adam Kaliszewski

Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn

Tel. +48 22 7150678, fax +48 22 7153837, e-mail: A.Kaliszewski@ibles.waw.pl

Abstract. The aim of the paper is to present the results of a cost analysis for artificial and natural oak regeneration in selected forest districts in Poland.

This research was conducted in six forest districts with a high share of natural oak regeneration, located in south-western and central Poland. Altogether 65 plots with artificial and 35 plots with natural regeneration were analyzed based on the extent of silvicultural (weeding, supplementary planting and pre-commercial thinning) and protective measures (chemical and mechanical wildlife damage control, fencing) performed on the regenerated areas for the six years following forest regeneration. An intensity ratio (i.e. a proportion of the area of measures to the area of forest regeneration) as well as the mean unit costs of the measures and mean costs of the measures per hectare of forest regeneration were calculated.

The results show that the total costs of silvicultural and protective measures in natural oak regeneration were considerably lower as compared to artificial regeneration. The cumulative average costs during 6 years (without costs of fencing) amounted to 1216 PLN/ha and 6543 PLN/ha for natural and artificial regeneration respectively. Lower costs of natural oak regeneration resulted from the complete lack of expenditures on seedlings and planting, a considerably lower weeding intensity, scarce supplementary planting, and the absence of mechanical wildlife damage control measures. Nonetheless, natural regeneration generated higher costs for pre-commercial thinning due to its higher intensity, earlier initiation, and higher unit costs compared to artificial regeneration, as well as chemical wildlife damage control measures which unit costs were higher by over 50%. However, higher costs of pre-commercial thinning and chemical control measures did not significantly affect the measurable financial benefits of natural regeneration.

In conclusion, the matter of financial viability of natural oak regeneration should be explored in more detail over longer time spans.

Keywords: silvicultural measures, protective measures, intensity, unit costs

1. Wstęp

Odnowienia naturalne są jednym z elementów wielofunkcyjnej, trwale zrównoważonej gospodarki leśnej (MOŚZNiL 1997). Racjonalne wykorzystanie naturalnej regeneracji stanowi również jedną z podstawowych zasad hodowli lasu (CILP 2012).

Powszechne stosowanie odnowień naturalnych ma miejsce w wielu krajach (Leibundgut 2007). Również w Polsce udział naturalnej regeneracji lasu stopniowo wzrasta (Szramka 2014), choć nadal jest stosunkowo niski na tle innych krajów europejskich (Forest Europe 2015). W 2014 r. w naturalny sposób odnowiono 9,2 tys. ha lasu, co stanowiło 16,3% wszystkich odnowień w kraju. Od 2006 r. udział tego sposobu odnowienia lasu wzrósł o 5,7 punktu procentowego (CILP 2007, 2016).

Odnowienie naturalne ma liczne zalety. Do najważniejszych z nich należą: większe i pełniejsze zróżnicowanie genetyczne drzewostanów, a dzięki temu zmniejszenie ryzyka hodowlanego, zachowanie ciągłości produkcji leśnej oraz korzystnych cech mikroklimatu i gleby, zachowanie miejscowych ekotypów, dobre dostosowanie odnowienia do mikrosiedliska, niezakłócony wzrost nalu i podrostu (Jaworski 2011). Odnowienie naturalne pozwala na skuteczniejszą ochronę ekosystemów leśnych przed zmianami klimatu i utratą różnorodności biologicznej, a także na zachowanie walorów krajobrazowych (Larsen, Johnson 1998; Sinha et al. 2017).

Jednocześnie naturalna regeneracja lasu nie jest pozbawiona pewnych wad, wśród których najczęściej wymienia się: zależność od obradzenia, urodzaju i żywotności nasion,

nierównomierność w zagęszczeniu odnowienia, większe zagrożenie ze strony roślin zielnych, a także zwierzyny pływowej (ze względu na brak grodzień), jak też innych zagrożeń w początkowej fazie wzrostu (Larsen, Johnson 1998; Jaworski 2011).

Ze względu na oszczędności kosztów na materiale siewnym lub sadzeniowym odnowienia naturalne są tańsze względem sztucznych, choć jednocześnie wymagają zwiększonych nakładów pracy i środków finansowych na zabiegi pielęgnacyjne i uzupełnienia (Żybura 2014). Szczegółowe badania nad ekonomicznymi aspektami różnych sposobów odnawiania lasu są jednak w Polsce podejmowane rzadko.

Analizę kosztów sztucznego i naturalnego odnowienia lasu w Nadleśnictwie Konstantynowo wykonał Szramka (2001). Ze względu na niewielką powierzchnię odnowień naturalnych, długi okres ich odnowienia oraz posługiwanie się wartościami średnimi uzyskane wyniki mają charakter orientacyjny. Zdaniem autora problem wymaga badań w innych jednostkach gospodarczych (Szramka 2001). Przedmiotem kolejnych badań Szramki były koszty odnowień naturalnych i sztucznych – również traktowanych całościowo – na terenie trzech nadleśnictw. Przeprowadzona analiza pozwoliła określić relacje między kosztami odnowienia sztucznego i naturalnego oraz stwierdzić, iż koszty odnowienia naturalnego są wielokrotnie niższe od kosztów sztucznej regeneracji lasu (Szramka 2005).

Badania zrealizowane przez zespół Rykowskiego dotyczyły oceny wybranych kosztów zagospodarowania i ochrony drzewostanów sosnowych lub z udziałem sosny pochodzenia naturalnego i sztucznego w Nadleśnictwie Tuszynie. W części ekonomicznej przeprowadzono m.in. szczegółowe porównanie kosztów odnowienia i pielęgnowania drzewostanów sosnowych różnego pochodzenia (Rykowski et al. 2006).

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analizy bezpośrednich kosztów inicjowania, hodowli i ochrony odnowień sztucznych i naturalnych dębu w wybranych nadleśnictwach, zlokalizowanych na obszarze regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych we Wrocławiu i w Łodzi.

2. Metodyka i obiekty badań

O udostępnienie danych dotyczących zakresu działań hodowlanych i ochronnych w odnowieniach naturalnych i sztucznych dębu w ciągu sześciu lat od założenia uprawy lub uznania odnowienia naturalnego oraz nakładów finansowych ponoszonych na realizację tych prac zwrócono się w drugiej połowie 2011 r. do 12 nadleśnictw położonych na terenie trzech regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych (w Łodzi, Poznaniu i Wrocławiu). Nadleśnictwa wytypowano spośród grupy jednostek, w których przeprowadzona wcześniej inwentaryzacja wskazywała na wysoki udział odnowień naturalnych dębu (Zachara et al. 2011). W szczególności każdorazowo prośba dotyczyła:

- informacji o 12–15 odnowieniach naturalnych i sztucznych, uznanych w 2004 r. lub (w przypadku trudności z uzyskaniem danych z określonej liczby odnowień) w 2005 r., występujących na siedlisku Lśw, LMśw lub Lwyzśw,
- rozmiaru zabiegów hodowlanych i ochronnych przeprowadzonych w kolejnych latach od uznania odnowienia za przydatne do dalszej hodowli do 2010 roku włącznie oraz kosztów tych zabiegów (w wartościach bieżących).

W odpowiedzi otrzymano dane dotyczące 65 odnowień sztucznych dębu (lub z przewagą tego gatunku), zlokalizowanych w 6 nadleśnictwach, oraz 35 odnowień naturalnych dębu (lub z jego przewagą), położonych w 5 nadleśnictwach (tab. 1).

Łączna powierzchnia analizowanych odnowień sztucznych wynosiła 55,76 ha. Największa uprawa miała powierzchnię 3,07 ha, najmniejsza – 0,10 ha; 74,9% łącznego arealu (41,76 ha) stanowiły odnowienia pod osłoną, 25,1% (14,00 ha) – odnowienia na otwartej powierzchni. Największy udział (38,5%) miały uprawy, w których dąb był jedynym gatunkiem (łącznie 21,49 ha). Areal odnowień, w których dąb stanowił co najmniej 80%, wyniósł 39,11 ha (tj. 70,1%). Większość upraw (57) założono w 2004 r., a jedynie 8 w 2005 r.

Tabela 1. Liczba i łączna powierzchnia analizowanych odnowień w analizowanych nadleśnictwach

Table 1. Number of plots and the total area of forest regeneration in the studied forest districts

Nadleśnictwo Forest district	Odnowienia sztuczne Artificial regeneration		Odnowienia naturalne Natural regeneration	
	Liczba powierzchni Number of plots	Łączna powierzchnia [ha] Total area [ha]	Liczba powierzchni Number of plots	Łączna powierzchnia [ha] Total area [ha]
Jawor	12	6,89	13	10,65
Bardo Śląskie	9	8,55	-	-
Oborniki Śląskie	3	1,51	10	11,99
Grotniki	12	15,70	4	2,13
Brzeziny	5	1,17	3	2,40
Poddębice	24	21,94	5	7,68
Razem / Total	65	55,76	35	34,85

Analiza naturalnych odnowień dębu została przeprowadzona dla 35 powierzchni o łącznym areale 34,85 ha, uznanych za przydatne do dalszej hodowli w 2004 r. (20) i 2005 r. (15). Powierzchnia poszczególnych odnowień wynosiła od 0,20 ha do 3,38 ha. Odnowienia pod osłoną zajmowały łączny areal 32,35 ha (tj. 92,8%). Powierzchnia odnowień, w których dąb stanowił co najmniej 80%, wyniosła 30,02 ha (tj. 86,1%). Dąb był jedynym gatunkiem na 71,7% analizowanej powierzchni.

Na podstawie danych uzyskanych z nadleśnictw obliczono:

- średnią intensywność poszczególnych zabiegów hodowlanych i ochronnych, tj. stosunek powierzchni poddawanej zabiegom w kolejnych latach po założeniu uprawy lub uznaniu odnowienia naturalnego do całkowitej powierzchni analizowanych odnowień (określoną jako współczynnik intensywności),

- średnie bezpośrednie koszty jednostkowe zabiegów (tj. w przeliczeniu na 1 ha zabiegu),

- przeciętne bezpośrednie koszty zabiegów na 1 ha odnowienia lasu.

W odniesieniu do odnowienia naturalnego badaniami objęto koszty przygotowania i pielęgnacji gleby, czyszczeń wczesnych, poprawek, ochrony chemicznej siewek oraz grodzenia. W przypadku sztucznych upraw analiza objęła dodatkowo koszty materiału sadzeniowego i sadzenia oraz ochrony mechanicznej przed zwierzyną (osłonki).

3. Wyniki badań

Zestawienie wyników dotyczących średniej intensywności poszczególnych zabiegów w kolejnych latach po odnowieniu powierzchni oraz średnich kosztów tych zabiegów przedstawiono w tabelach 2 i 3.

W odnowieniach sztucznych średni koszt założenia uprawy dla wszystkich analizowanych powierzchni wyniósł 3530 PLN/ha. Najniższy był w Nadleśnictwie Brzeziny (2579 PLN/ha), najwyższy – w Nadleśnictwie Bardo Śląskie (5018 PLN/ha).

W przypadku odnowień naturalnych regeneracja lasu w trzech nadleśnictwach (Jawor, Grotniki, Poddebice) przebiegała samorzutnie, bez wcześniejszego przygotowania gleby, a zatem również bez ponoszenia nakładów finansowych. W dwóch pozostałych nadleśnictwach (Oborniki Śląskie i Brzeziny) na części powierzchni gleba była przygotowywana przed obsiewem, jednak średnie koszty poniesione na ten zabieg nie przekraczały 90 PLN/ha odnowienia. W przeliczeniu na całą powierzchnię naturalnych odnowień dębu w badanych nadleśnictwach średni koszt zabiegu wyniósł 30 PLN/ha.

Średni współczynnik intensywności pielęgnacji gleby w odnowieniach sztucznych w latach 2004–2010 dla wszystkich nadleśnictw wyniósł 4,59. Najintensywniej były pielęgnowane uprawy w Nadleśnictwie Brzeziny (5,91), w najmniejszym

Tabela 2. Średnia intensywność zabiegów hodowlanych i ochronnych w kolejnych latach po sztucznym odnowieniu lasu lub uznaniu odnowienia naturalnego

Table 2. Mean intensity of silvicultural and protective measures in subsequent years after artificial forest regeneration or approval of natural regeneration

Zabieg Measure	Metoda odnowienia Regeneration method	Lata od odnowienia powierzchni Years since regeneration							Suma Sum
		0	1	2	3	4	5	6	
Pielęgnacja gleby Weeding	sztuczne / artificial	0,64	0,90	0,85	0,80	0,61	0,40	0,39	4,59
	naturalne / natural	0,20	0,19	0,19	0,19	0,14	0,01	0,12	1,04
Poprawki Supplementary planting	sztuczne / artificial	-	0,06	0,03	0,01	0,01	0,01	-	0,12
	naturalne / natural	-	0,00	0,00	0,00	-	-	-	0,00
Czyszczenia wczesne Precommercial thinning	sztuczne / artificial	-	-	-	-	0,07	0,04	0,06	0,17
	naturalne / natural	0,00	0,03	0,05	0,20	0,11	0,06	0,04	0,49
Ochrona chemiczna przed zwierzyną Chemical wildlife damage control	sztuczne / artificial	0,19	0,26	0,31	0,15	0,11	0,07	0,01	1,10
	naturalne / natural	0,36	0,17	0,21	0,13	0,11	-	-	0,98
Ochrona mechaniczna przed zwierzyną Mechanical wildlife damage control	sztuczne / artificial	0,03	0,01	0,03	0,05	-	0,01	0,02	0,15
	naturalne / natural	-	-	-	-	-	-	-	-
Grodzenia Fencing	sztuczne / artificial	0,13	-	-	-	-	-	-	0,13
	naturalne / natural	0,05	0,07	-	-	-	-	-	0,12

Tabela 3. Średnie koszty zabiegów hodowlanych i ochronnych w kolejnych latach po sztucznym odnowieniu lasu lub uznaniu odnowienia naturalnego (PLN/ha, ceny bieżące)

Table 3. Mean costs of silvicultural and protective measures in subsequent years after artificial forest regeneration or approval of natural regeneration (PLN/ha, current prices)

Zabieg Measure	Metoda odnowienia Regeneration method	Lata od odnowienia powierzchni Years since regeneration							Suma Sum
		0	1	2	3	4	5	6	
Pielęgnacja gleby Weeding	sztuczne / artificial	233	365	333	385	364	233	232	2147
	naturalne / natural	72	55	91	112	85	6	92	513
Poprawki Supplementary planting	sztuczne / artificial	-	197	142	59	35	56	-	489
	naturalne / natural	-	7	6	11	-	-	-	24
Czyszczenia wczesne Precommercial thinning	sztuczne / artificial	-	-	-	-	38	24	34	96
	naturalne / natural	-	17	32	118	100	18	23	308
Ochrona chemiczna przed zwierzyną Chemical wildlife damage control	sztuczne / artificial	38	58	73	32	28	19	1	250
	naturalne / natural	148	68	56	30	40	-	-	341
Ochrona mechaniczna przed zwierzyną Mechanical wildlife damage control	sztuczne / artificial	10	3	6	6	-	2	4	31
	naturalne / natural	-	-	-	-	-	-	-	-
Grodzenia i naprawa grodzień Fencing and fence repairs	sztuczne / artificial	571	-	32	12	3	-	-	618
	naturalne / natural	129	83	-	-	41	16	10	279

stopniu – w Nadleśnictwie Bardo Śląskie (2,88). Najintensywniejsze zabiegi pielęgnacyjne prowadzone były w okresie od roku do trzech lat po założeniu upraw (średnia intensywność dla wszystkich powierzchni w poszczególnych latach wyniosła 0,80–0,90). Jednak w trzech analizowanych nadleśnictwach (Bardo Śląskie, Brzeziny i Poddębice) maksimum przypadło na rok po sztucznym odnowieniu powierzchni, w pozostałych trzech (Jawor, Oborniki Śląskie i Grotniki) najintensywniejszej pielęgnacji poddano uprawy dwa lata po ich założeniu.

W odnowieniach naturalnych średnia intensywność zabiegu dla całego badanego okresu wyniosła 1,04. Pielęgnację gleby prowadzono jedynie w trzech nadleśnictwach: Oborniki Śląskie, Grotniki oraz Poddębice. W roku uznania odnowienia i przez trzy kolejne lata średnia intensywność zabiegów była praktycznie jednakowa i wynosiła ok. 0,20.

Średnie koszty jednostkowe pielęgnacji gleby w odnowieniach sztucznych i naturalnych były zbliżone i wyniosły odpowiednio 466 i 486 PLN/ha zabiegu. W przeliczeniu na jednostkę powierzchni odnowienia przeciętne koszty pielęgnacji gleby w uprawach były ponad czterokrotnie wyższe (2147 PLN/ha) niż w odnowieniach naturalnych (513 PLN/ha).

Poprawki były wykonywane przede wszystkim w odnowieniach sztucznych, a łączny współczynnik intensywności zabiegu wyniósł 0,12. Najwięcej poprawek wymagały

uprawy w Nadleśnictwie Poddębice (współczynnik = 0,16). W dwóch nadleśnictwach (Jawor i Brzeziny) nie przeprowadzono tego zabiegu. Poprawki w największym stopniu wykonywano w kolejnym roku po założeniu uprawy.

W odnowieniach naturalnych poprawki miały marginalne znaczenie: ich łączny areal w dwóch nadleśnictwach (Grotniki i Poddębice) wyniósł 0,6% powierzchni odnowień.

Średnie koszty jednostkowe poprawek w odnowieniach sztucznych były nieznacznie wyższe niż w odnowieniach naturalnych i wyniosły odpowiednio 4200 i 3958 PLN/ha. W przeliczeniu na jednostkę powierzchni odnowienia koszty poprawek w uprawach były jednak ponad 20 razy wyższe niż w odnowieniach naturalnych.

Średni współczynnik intensywności czyszczeń wczesnych w odnowieniach sztucznych wyniósł 0,17. Względnie najwięcej czyszczeń przeprowadzono w uprawach w Nadleśnictwie Jawor (współczynnik = 0,34). Zabiegi były wykonywane począwszy od czwartego roku po założeniu uprawy. W dwóch nadleśnictwach (Oborniki Śląskie i Grotniki) w analizowanym okresie nie przeprowadzano czyszczeń.

W odnowieniach naturalnych czyszczeń nie wykonano jedynie w Nadleśnictwie Grotniki. Średnia intensywność zabiegu wyniosła 0,49, jednak w Nadleśnictwie Brzeziny, gdzie była ona najwyższa, osiągnęła wartość 2,00. Czyszcze-

nia wczesne prowadzono już od pierwszego roku po uznaniu odnowienia naturalnego, a zabieg wykonano na największej powierzchni w trzecim roku (współczynnik = 0,20).

Średni koszt jednostkowy czyszczeń wczesnych w odnowieniach naturalnych kształtował się na poziomie 636 PLN/ha i był o około 12% wyższy niż w odnowieniach sztucznych (538 PLN/ha). Z uwagi na wyższe koszty jednostkowe i większą intensywność zabiegu średnie koszty czyszczeń w przeliczeniu na 1 ha odnowienia naturalnego w całym okresie były 3,2 razy wyższe niż w uprawach założonych sztucznie.

Grodenia upraw przeprowadzono w trzech nadleśnictwach (Jawor, Bardo Śląskie i Poddębice) w roku odnowienia powierzchni. Średni współczynnik intensywności zabiegu dla wszystkich upraw wyniósł 0,13, a najwyższy był w Nadleśnictwie Jawor – 0,73.

Grodenie odnowień naturalnych wykonano jedynie w Nadleśnictwie Oborniki Śląskie w roku uznania odnowienia i rok później. Intensywność zabiegu w tym nadleśnictwie wyniosła 0,36, co w przeliczeniu na 1 ha analizowanych odnowień naturalnych daje wartość współczynnika równą 0,12 i jest wielkością niemal identyczną, jak w przypadku odnowień sztucznych.

Średni współczynnik intensywności zabiegów ochrony chemicznej przed zwierzyną w uprawach wyniósł 1,10. Najintensywniej zabiegi wykonywano w Nadleśnictwie Grotniki (współczynnik = 2,40), najmniej intensywnie – w Nadleśnictwie Poddębice (0,03). W największym zakresie ochrona chemiczna przed zwierzyną prowadzona była dwa lata po założeniu uprawy (średnia intensywność = 0,32), a w kolejnych latach stopniowo malała.

W odnowieniach naturalnych średnia intensywność zabiegów ochronnych dla całego okresu wyniosła 0,98 i była zbliżona do intensywności zabiegu w uprawach zakładanych sztucznie. Ochronę chemiczną stosowano jednak tylko w dwóch nadleśnictwach: Jawor (współczynnik = 2,64) i Oborniki Śląskie (współczynnik = 0,23). Zabiegi ochronne przeprowadzano najintensywniej w roku uznania odnowienia naturalnego, w kolejnych latach intensywność stopniowo malała.

Średni koszt jednostkowy ochrony chemicznej w odnowieniach naturalnych w całym analizowanym okresie sięgał 348 PLN/ha i był o około 55% wyższy niż w odnowieniach sztucznych (227 PLN/ha). Z uwagi na wyższe koszty jednostkowe, przy zbliżonej intensywności zabezpieczania chemicznego przed zwierzyną, średnie koszty zabiegu w przeliczeniu na jednostkę powierzchni odnowienia naturalnego w całym okresie były o około 35% wyższe w stosunku do odnowień sztucznych.

Ochrona mechaniczna (osłonki) była stosowana jedynie w odnowieniach sztucznych dębu w dwóch nadleśnictwach (Brzeziny i Poddębice). Średnia intensywność zabiegu dla wszystkich odnowień wyniosła 0,15 (w Nadleśnictwie Brzeziny 0,77).

Średnie koszty jednostkowe ochrony mechanicznej przed zwierzyną wyniosły 187 PLN/ha. Były one najwyższe w roku założenia uprawy i w kolejnych latach stopniowo malały. Prze-

ciętne nakłady na wykonanie zabiegu w przeliczeniu na 1 ha uprawy w całym okresie nie przekraczały 10 PLN/ha rocznie.

4. Dyskusja

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że koszty zagospodarowania i ochrony odnowień naturalnych dębu są zdecydowanie niższe od analogicznych kosztów odnowień sztucznych. Łączne średnie koszty odnowienia sztucznego oraz zabiegów hodowlanych i ochronnych w kolejnych sześciu latach po założeniu uprawy wyniosły w wartościach bieżących 7161 PLN/ha. Analogiczne koszty odnowienia naturalnego tego gatunku wyniosły około 1495 PLN/ha. Należy zauważyć, że średnie koszty jednostkowe grodzień upraw były około 2,5 razy wyższe niż odnowień naturalnych. Ogólny koszt grodenia zależy jednak od jego długości (a więc i kształtu grodzonej powierzchni), a nie od samego sposobu odnowienia lasu. Biorąc pod uwagę niemal identyczną intensywność zabiegu w odniesieniu do odnowień naturalnych i sztucznych należy przyjąć, że różnice w kosztach wynikały z kształtu grodzonych powierzchni (długość grodenia), a nie sposobu odnowienia lasu. Pomijając nakłady poniesione na grodenia, sumaryczne koszty regeneracji sztucznej dębu sięgają 6543 PLN/ha i są ponad pięciokrotnie wyższe niż w przypadku odnowień naturalnych (1216 PLN/ha).

Badane nadleśnictwa różnią się warunkami przyrodniczymi i gospodarczymi, co w konsekwencji wpływa na zróżnicowanie kosztów zabiegów hodowlanych i ochronnych, utrudniając porównanie uzyskanych wyników. Z tego powodu istotniejsze od wartości pieniężnych są względne różnice w intensywności poszczególnych zabiegów w obu metodach odnowienia lasu. W strukturze kosztów sztucznej regeneracji lasu dominują nakłady związane z odnowieniem powierzchni (przygotowanie gleby, sadzonki, sadzenie), których udział wynosi 49,3% wszystkich nakładów w analizowanym okresie. Drugim bardzo istotnym czynnikiem kosztotwórczym są zabiegi pielęgnowania gleby (30,0%). W odnowieniach naturalnych dębu największy udział ma natomiast pielęgnacja gleby (34,3%).

Na niższe koszty odnowień naturalnych dębu miały wpływ następujące czynniki:

- brak nakładów związanych z produkcją materiału sadzeniowego, przygotowaniem gleby oraz sadzeniem; w większości analizowanych obiektów odnowienie naturalne dębu odbywało się samorzutnie, bez konieczności ponoszenia dodatkowych kosztów, nakłady na sadzonki i sadzenie są natomiast głównym czynnikiem wpływającym na wysokość kosztów odnowień sztucznych;
- dużo mniejsza intensywność pielęgnacji gleby, co przy nieznacznie wyższych kosztach jednostkowych zabiegu skutkowało około czterokrotnym obniżeniem kosztów w przeliczeniu na powierzchnię analizowanych odnowień;
- niemal całkowity brak poprawek, które w odnowieniach sztucznych wykonywano na 12% całkowitej powierzchni;
- brak konieczności wykonywania zabiegu ochrony mechanicznej przed zwierzyną.

Jednocześnie wykonanie niektórych zabiegów w odnowieniach naturalnych wymagało poniesienia wyższych nakładów w porównaniu z uprawami. W odnowieniach naturalnych czyszczenia wczesne miały około trzy razy większą intensywność, były one również wcześniej rozpoczynane i cechowały się wyższymi kosztami jednostkowymi. Wynika to ze specyfiki odnowienia naturalnego, charakteryzującego się większym zagęszczeniem i wymagającego silniejszej selekcji drzewek we wczesnych etapach rozwoju drzewostanu. Ponadto koszt jednostkowy ochrony chemicznej przed zwierzną był o ponad 50% wyższy niż w uprawach dębowych, co przełożyło się na wyższe koszty zabiegu w przeliczeniu na jednostkę powierzchni odnowienia.

Uzyskane wyniki częściowo stanowią potwierdzenie wcześniejszych badań, wskazujących na ekonomiczną opłacalność naturalnego odnowienia lasu (Szramka 2001, 2005). Analiza przeprowadzona przez tego autora w Nadleśnictwie Konstantynowo wykazała, że w odnowieniach sztucznych 30–40% wszystkich kosztów stanowią nakłady ponoszone na czynności odnowieniowe, tj. sadzenie, transport i dołowanie sadzonek przed sadzeniem. Razem z kosztami sadzonek, sięgającymi 20–25% wszystkich nakładów, nakłady na odnowienie lasu wynoszą ponad połowę wszystkich kosztów (Szramka 2001). Autor nie analizował jednak wydatków ponoszonych na ochronę upraw i odnowień przed zwierzną, stąd możliwości porównania z prezentowanymi tu wynikami badań są ograniczone. Również odniesienie się do późniejszych badań Szramki jest utrudnione, bowiem autor sam zauważa, że przeprowadzone przez niego badania pozwoliły określić jedynie strukturę kosztów sztucznego odnowienia lasu. Zaznacza jednocześnie, że koszty jednostkowe odnowienia naturalnego w analizowanych trzech nadleśnictwach były bardzo zróżnicowane, co wynikało m.in. z położenia obiektu badań oraz ze stosowanej procedury uznawania odnowień naturalnych, a także metodyki rachunku tych kosztów oraz pewnej dowolności w ewidencji kosztów i powierzchni odnowień naturalnych. W strukturze kosztów odnowień sztucznych największy udział miały koszty sadzonek (36–55%), prac odnowieniowych (19–38%) oraz poprawek (12–21%) (Szramka 2005).

Literatura zagraniczna dotycząca omawianej problematyki także jest bardzo ograniczona. Wiele badań opiera się nie na rzeczywistych, a założonych średnich kosztach działań gospodarczych oraz określonej stopie dyskontowej i tym samym ma charakter teoretycznych rozważań (Rosenstock 1991; Fürst, Johann 1994; Clasen, Knoke 2014; Hosius et al. 2016; Knoke et al. 2016), trudnych do porównania z przedstawionymi w niniejszej pracy wynikami. Wyjątek na tym tle stanowi praca Gürtha i Vöhringera (1993), zawierająca porównanie kosztów odnowienia dębu na kilkunastu powierzchniach badawczych w okręgu leśnym Müllheim w Badenii-Wirtembergii. Badania pokazały, że w zależności od przyjętego wariantu kalkulacji kosztów (przeciętne stawki kosztów operacji oraz realnie poniesione koszty, obliczone na podstawie rzeczywistej pracochłonności operacji i przyjętej stawce za godzinę pracy) oraz wariantu odnowienia naturalnego (z ograniczeniem pielęgnacji,

z przerzedzeniem oraz z grodzeniem) bezpośrednie nakłady finansowe na odnowienia sztuczne, ich ochronę i pielęgnację były od ok. 60% do ponad 300% wyższe. W odnowieniach sztucznych struktura kosztów obejmowała pielęgnację gleby i czyszczenia wczesne (ok. 45%), sadzonki i sadzenie (20–30%), poprawki i uzupełnienia (15–25%), grodzenia (ok. 10%) oraz nawożenie początkowe (3%). W strukturze kosztów odnowienia naturalnego występowały nakłady na pielęgnację gleby i czyszczenia wczesne (40–76%), grodzenia (18–44%) oraz poprawki i uzupełnienia (1–41%). Autorzy zauważają, że przez samą zmianę metody regeneracji lasu koszty odnowienia mogą zostać obniżone o ponad 40%. Uproszczenie metod odnowienia naturalnego pozwala na zmniejszenie nakładów finansowych o dalsze 10%, a pominięcie grodzień nawet o ponad 70%, przy czym trudno jest ocenić w takiej sytuacji szanse na uzyskanie odnowienia o wysokiej jakości hodowlanej (Gürth, Vöhringer 1993).

Uzyskane przez Gürtha i Vöhringera wyniki trudno jest porównać z rezultatami opisanych tu badań. Analiza autorów niemieckich obejmuje inne czynności – brak jest m.in. wyszczególnionego osobno przygotowania gleby, jak również pielęgnacji gleby i czyszczeń wczesnych, a zabiegi ochronne przed zwierzną obejmują jedynie grodzenia. Niemniej jednak należy zauważyć, że w obu przypadkach w odnowieniu sztucznym dominują nakłady związane z sadzeniem (przygotowanie gleby, sadzonki i sadzenie) oraz pielęgnacja gleby, natomiast w odnowieniu naturalnym większość kosztów bezpośrednich związanych jest z pielęgnowaniem gleby. Zastosowanie odnowienia naturalnego – poza bezspornymi korzyściami ekologicznymi – pozwala w określonych przypadkach na znaczące ograniczenie ponoszonych nakładów finansowych.

5. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Odnowienie naturalne dębu jest tańszym sposobem regeneracji lasu w porównaniu z odnowieniem sztucznym tego gatunku.

2. Wymierne korzyści z odnowień naturalnych przejawiają się przede wszystkim w braku kosztów związanych z produkcją materiału sadzeniowego i sadzenia oraz brakiem lub znacznie niższymi kosztami przygotowania gleby. Wyższe koszty czyszczeń wczesnych oraz chemicznej ochrony przed zwierzną w analizowanych naturalnych odnowieniach dębowych nie wpływają zasadniczo na ogólny korzystny wynik ekonomiczny tego sposobu odnowienia lasu.

3. Z uwagi na znaczenie dla praktyki gospodarczej, problematyka ekonomicznej opłacalności odnowień naturalnych dębu oraz ich pielęgnacji i ochrony powinna być podejmowana w dalszych badaniach w dłuższej perspektywie czasowej.

Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania

W publikacji przedstawiono wyniki badań zrealizowanych w ramach projektu pt. „Odnowienie naturalne najważniejszych gatunków lasotwórczych w Polsce jako element strategii trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasu”, sfinansowanego ze środków Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych w Warszawie.

Literatura

- Clasen C., Knoke T. 2014. Der finanzielle Vorteil von Naturverjüngung. Grundlagen der Finanzmathematik für den täglichen Gebrauch. *LWF aktuell* 99: 13–16.
- Fürst W., Johann K. 1994. Modellkalkulationen zum Naturverjüngungsbetrieb. *Österreichische Forstzeitung* 11: 26–28.
- Gürth P., Vöhringer F. 1993. Eichennaturverjüngung und Eichenpflanzung im Forstbezirk Müllheim. Ein Wachstums und Kostenvergleich. *Forst und Holz* 23: 672–676.
- Hosius B., Bergmann F., Leinemann L. 2016. Natürlich verjüngen oder pflanzen? *AFZ-Der Wald* 14: 24–28.
- Jaworski A. 2011. Hodowla lasu. Sposoby zagospodarowania, odnawianie lasu, przebudowa i przemiana drzewostanów. Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 640 s. ISBN 978-83-09-01075-3.
- Knoke T., Clasen C., Paul C., Friedrich S. 2016. Ökonomische Kalkulationen sprechen oft für Naturverjüngung. *AFZ-Der Wald* 17: 42–45.
- Larsen D.R., Johnson P.S. 1998. Linking the ecology of natural oak regeneration to silviculture. *Forest Ecology and Management* 106: 1–7.
- Leibundgut H. 2007. Naturalne odnowienie lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 162 s. ISBN 978-83-09-01017-3.
- Rosenstock A. 1991. Forstökologische Überlegungen können zugleich die Kosten senken. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 18: 962–963.
- Rykowski K., Andrzejczyk T., Dobrowolska D., Farfał D., Falencka-Jabłońska M., Boczoń A., Borkowski J., Borowski Z., Mazurska K., Kaliszewski A., Pudełko M. 2006. Przyrodnicze i ekonomiczne efekty ekosystemowego podejścia w trwałym i zrównoważonym gospodarstwie leśnym na przykładzie Nadleśnictwa Tuszymy (RDLP Krosno). Dokumentacja IBL, Warszawa.
- Sinha A., Rämöc J., Malo P., Kallio M., Tahvonon O. 2017. Optimal management of naturally regenerating uneven-aged forests. *European Journal of Operational Research* 256: 886–900. DOI 10.1016/j.ejor.2016.06.071.
- Szramka H. 2001. Analiza kosztów różnych sposobów odnowienia lasu na przykładzie wybranego nadleśnictwa Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN* 90: 91–95.
- Szramka H. 2005. Ekonomiczne aspekty różnych sposobów odnowienia lasu. *Sylvan* 149(11): 59–65.
- Szramka J. 2014. Hodowla lasu w zasadach gospodarki leśnej, w: Przyrodnicze, społeczne i gospodarcze uwarunkowania oraz cele i metody hodowli lasu. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa, VI Sesja. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, s. 23–30. ISBN 978-83-62830-32-9.
- Zachara T., Ambroży S., Bieniek J., Boczoń A., Dobrowolska D., Gil W., Kaliszewski A., Kopryk W., Michalska A., Mionskowski M., Nowakowska J., Olszowska G., Paluch R., Zajączkowski G. 2011. Odnowienie naturalne najważniejszych gatunków lasotwórczych w Polsce jako element strategii trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasu. Dokumentacja IBL, Sękocin Stary.
- Żybura H. 2014. Sztuczne czy naturalne odnowienie lasu?, w: Przyrodnicze, społeczne i gospodarcze uwarunkowania oraz cele i metody hodowli lasu. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa, VI Sesja. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, s. 317–329. ISBN 978-83-62830-32-9.

Materiały źródłowe

- CILP. 2007. Raport o stanie lasów w Polsce 2006. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 86 s.
- CILP. 2012. Zasady hodowli lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 72 s. ISBN 978-83-61633-65-5.
- CILP. 2016. Raport o stanie lasów w Polsce 2015. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 94 s.
- Forest Europe. 2015. State of Europe's Forests 2015. MCPFE, Forest Europe Liaison Unit, Madrid, 312 s.
- MOŚZNiL. 1997. Polityka leśna państwa. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 22 kwietnia 1997 r. Ministerstwo Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa.

Cost analysis of artificial and natural oak regeneration in selected forest districts

Adam Kaliszewski 

Forest Research Institute, Department of Forest Resources Management, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05–090 Raszyn, Poland

Tel. +48 22 7150678, fax +48 22 7153837, e-mail: A.Kaliszewski@ibles.waw.pl

Abstract. The aim of the paper is to present the results of a cost analysis for artificial and natural oak regeneration in selected forest districts in Poland. This research was conducted in six forest districts with a high share of natural oak regeneration, located in south-western and central Poland. Altogether 65 plots with artificial and 35 plots with natural regeneration were analysed based on the extent of silvicultural (weeding, blank-filling and pre-commercial thinning) and protective measures (chemical and mechanical wildlife damage control, fencing) performed on the regenerated areas for the six years following forest regeneration. An intensity ratio (i.e., a proportion of the area of measures to the area of forest regeneration) as well as the mean unit costs of the measures and mean costs of the measures per hectare of forest regeneration were calculated.

The results show that the total costs of silvicultural and protective measures in natural oak regeneration were considerably lower as compared to artificial regeneration. The cumulative average costs during 6 years (without costs of fencing) amounted to 1216 PLN/ha and 6543 PLN/ha for natural and artificial regeneration respectively. Lower costs of natural oak regeneration resulted from the complete lack of expenditures on seedlings and planting, a considerably lower weeding intensity, scarce blank-filling, and the absence of mechanical wildlife damage control measures. Nonetheless, natural regeneration generated higher costs for pre-commercial thinning due to its higher intensity, earlier initiation, and higher unit costs compared to artificial regeneration, as well as chemical wildlife damage control measures, for which the unit costs were higher by over 50%. However, the higher costs of pre-commercial thinning and chemical control measures did not significantly affect the measurable financial benefits of natural regeneration.

In conclusion, the matter of financial viability of natural oak regeneration should be explored in more detail over longer time spans.

Keywords: silvicultural measures, protective measures, intensity, unit costs

1. Introduction

Natural forest regeneration is one of the components of multifunctional, sustainable forest management (MOŚZNiL 1997). Rational use of natural forest reproduction is also one of the fundamental principles of silviculture (CILP 2012).

A wide use of natural regeneration is common in many countries (Leibundgut 2007). In Poland also, the share of naturally regenerated forests is gradually increasing (Szramka 2014), although it still remains relatively low when compared to the other European countries (Forest Europe 2015). In 2014, 9.2 thousand hectares of forests were naturally restocked, amounting to 16.3% of the total area of forest renewal in the country.

Since 2006, the share of this method of regeneration has increased by 5.7 percentage points (CILP 2007, 2016).

Natural forest regeneration offers many advantages. Improving the genetic diversity of tree stands and – as a result – reducing the silvicultural risk, maintaining the continuity of forest production and favourable qualities of microclimate and soils, maintaining local tree ecotypes, good adaptation of forest regeneration to the site, and uninterrupted growth of self-sown seeding and underwood belong to the most important virtues (Jaworski 2011). Natural reproduction provides more effective protection of forest ecosystems against climate change and biodiversity loss, as well as protection of landscape values (Larsen, Johnson 1998; Sinha et al. 2017).

Received: 8.09.2017, reviewed: 30.10.2017, accepted: 3.11.2017.

At the same time, natural regeneration has some disadvantages, of which the most frequently mentioned are: high dependence on good harvest and vitality of seeds, uneven density of restocking, increased threat from herbaceous plants and from herbivores (because of the absence of fencing), as well as from other threats in initial phase of growth (Larsen, Johnson 1998; Jaworski 2011).

In view of cost savings in seeds and planting material, natural forest regeneration is cheaper when compared to artificial reproduction; although at the same time, it requires increased workload and financial resources for tending and blank-filling (Żybura 2014). However, in Poland, detailed studies on economic aspects of various methods of forest regeneration are carried out only occasionally.

A cost analysis of artificial and natural regeneration in the Konstantynowo Forest District was done by Szramka (2001). Because of a small area of natural regeneration, as well as a long period of reproduction and using mean values of costs, the results of the study are only indicative. According to this author, the issue should be further studied in other economic entities. Other research carried out by Szramka focused on the costs of natural and artificial forest regeneration – also dealt with generally – in three forest districts. The study enabled to define the relationships between the costs of artificial and natural forest reproduction and to conclude that the costs of natural regeneration were several times lower than the costs of artificial restocking (Szramka 2005).

The research done by Rykowski et al. concentrated on the evaluation of selected costs of silviculture and protection of pure pine tree stands or stands, where pine was a dominant species in the Tuszyna Forest District. The economic part of the study covers, among others, a detailed comparison of costs of natural and artificial forest reproduction and tending of pine stands of different origins (Rykowski et al. 2006).

This paper presents the results of the analysis of direct costs of initiation, silviculture and protection of artificial and natural oak regeneration in selected forest districts located in the Regional Directorates of the State Forests in Wrocław and Łódź (i.e., in south-western and central Poland).

2. Research method and objects

A request for data concerning a range of silvicultural and protective measures taken for natural and artificial oak regeneration during 6 years after the planting was done or natural regeneration was approved as well as financial expenditures for those activities was sent to 12 forest districts located within three Regional Directorates of the State Forests (Łódź, Poznań and Wrocław) in the second half of 2011. The forest districts were chosen from a group of districts where – according to the inventory carried out earlier – a high share of natural oak regeneration was proved (Zachara et al. 2011). In each case, the request concerned in particular:

- information about 12–15 forest compartments regenerated in natural and artificial way, approved in 2004 and – in case of missing data – also in 2005, located in fresh broadleaved (Lśw), fresh mixed broadleaved (LMśw) and upland mixed broadleaved (LMwyż) forest sites,
- information about the range of silvicultural and protective measures taken within subsequent years until 2010 as well as costs of those measures (in current values).

In response to the request data concerning 65 forest compartments regenerated artificially with oak (or with predominance of oak), located in 6 forest districts and 35 plots with natural oak regeneration (or with predominance of this species), located in 5 forest districts were obtained (Table 1).

The total area of the artificially reproduced plots amounted to 55.76 hectares. The largest plot covered 3.07 ha, and the smallest one – 0.10 ha; 74.9% of the total area (41.76 ha) was

Table 1. Number of plots and the total area of forest regeneration in the studied forest districts

Forest district	Artificial regeneration		Natural regeneration	
	Number of plots	Total area [ha]	Number of plots	Total area [ha]
Jawor	12	6.89	13	10.65
Bardo Śląskie	9	8.55	-	-
Oborniki Śląskie	3	1.51	10	11.99
Grotniki	12	15.70	4	2.13
Brzeziny	5	1.17	3	2.40
Poddębice	24	21.94	5	7.68
Total	65	55.76	35	34.85

covered by regeneration under shelterwood, 25.1% (14.00 ha) – by restocking of clear-cuts. The biggest share (38.5%) in the total area had the plots where oak was the only species (in total 21.49 ha). The area of regeneration with at least 80% of oak amounted to 39.11 ha (i.e., 70.1%). The majority of the plots (57) were established in 2004, and only 8 in 2005.

In case of natural oak regeneration, the study concerned 35 plots with the total area of 34.85 ha, approved in 2004 (20) and in 2005 (15). The area of separated plots varied from 0.20 ha to 3.38 ha. Shelterwood regeneration covered 32.35 ha (i.e., 92.8%). The area of plots with at least 80% of oak amounted to 30.02 ha (i.e., 86.1%). Oak was the only species on 71.7% of the total considered area.

Based on the data obtained from the forest districts, the following values were calculated:

- the mean intensity of individual silvicultural and protective measures, that is, a share of the area covered with a measure in subsequent years after regeneration was done to the total area of a plot (hereinafter referred to as an intensity ratio),
- the mean direct unit costs of measures (i.e., calculated for 1 hectare of a measure),
- the mean direct costs of measures for 1 hectare of forest regeneration.

For natural regeneration, the analysis covered costs of soil preparation, weeding, pre-commercial thinning, blank filling, chemical wildlife damage control (application of repellents) and fencing. In case of artificial reproduction, the analysis additionally covered the costs of seedlings and planting and the costs of mechanical wildlife damage control (application of tree shelters).

3. Results

The results of calculating the mean intensity of individual measures in subsequent years after forest reproduction and the mean costs of those measures are presented in Tables 2 and 3.

For artificial regeneration, the mean costs of establishing of stands for all the studied plots amounted to 3530 PLN/ha. The lowest costs were incurred in the Brzeziny Forest District (2579 PLN/ha), while the highest ones in the Bardo Śląskie Forest District (5018 PLN/ha).

Natural forest regeneration on the analysed plots was spontaneous in three forest districts (Jawor, Grotniki, Poddębice), with no previous soil preparation, and thus, also without financial expenses. In two other forest districts (Oborniki Śląskie and Brzeziny), the soil was prepared before seeding

Table 2. Mean intensity of silvicultural and protective measures in subsequent years after artificial forest regeneration or approval of natural regeneration

Measure	Regeneration method	Years since regeneration							Sum
		0	1	2	3	4	5	6	
Weeding	artificial	0.64	0.90	0.85	0.80	0.61	0.40	0.39	4.59
	natural	0.20	0.19	0.19	0.19	0.14	0.01	0.12	1.04
Supplementary planting	artificial	-	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	-	0.12
	natural	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-	0.00
Precommercial thinning	artificial	-	-	-	-	0.07	0.04	0.06	0.17
	natural	0.00	0.03	0.05	0.20	0.11	0.06	0.04	0.49
Chemical wildlife damage control	artificial	0.19	0.26	0.31	0.15	0.11	0.07	0.01	1.10
	natural	0.36	0.17	0.21	0.13	0.11	-	-	0.98
Mechanical wildlife damage control	artificial	0.03	0.01	0.03	0.05	-	0.01	0.02	0.15
	natural	-	-	-	-	-	-	-	-
Fencing	artificial	0.13	-	-	-	-	-	-	0.13
	natural	0.05	0.07	-	-	-	-	-	0.12

Table 3. Mean costs of silvicultural and protective measures in subsequent years after artificial forest regeneration or approval of natural regeneration (PLN/ha, current prices)

Measure	Regeneration method	Years since regeneration							Sum
		0	1	2	3	4	5	6	
Weeding	artificial	233	365	333	385	364	233	232	2147
	natural	72	55	91	112	85	6	92	513
Supplementary planting	artificial	-	197	142	59	35	56	-	489
	natural	-	7	6	11	-	-	-	24
Precommercial thinning	artificial	-	-	-	-	38	24	34	96
	natural	-	17	32	118	100	18	23	308
Chemical wildlife damage control	artificial	38	58	73	32	28	19	1	250
	natural	148	68	56	30	40	-	-	341
Mechanical wildlife damage control	artificial	10	3	6	6	-	2	4	31
	natural	-	-	-	-	-	-	-	-
Fencing and fence repairs	artificial	571	-	32	12	3	-	-	618
	natural	129	83	-	-	41	16	10	279

costs on some parts of the compartments, but the mean costs incurred for this measure did not exceed 90 PLN/ha of forest reproduction. The average costs for the total area of natural regeneration on the studied plots amounted to 30 PLN/ha.

For artificial regeneration, the mean intensity ratio of weeding in the period 2004–2010 for all the forest districts amounted to 4.59. Most intensively, the measure was applied in the Brzeziny Forest District (5.91) and the least – in the Bardo Śląskie Forest District (2.88). The most intense weeding was carried out over a period of one to three years after the forest was planted (the mean intensity ratio for all plots in individual years amounted to 0.80–0.90). However, in the three studied forest districts (Bardo Śląskie, Brzeziny and Poddębice), the maximum intensity was observed one year after establishing of stands; and in the other three districts (Jawor, Oborniki Śląskie and Grotniki), it peaked two years after the forest reproduction.

For natural regeneration, the mean intensity ratio of weeding for the whole analysed period totalled 1.04. Weeding was carried out only in three forest districts: Oborniki Śląskie, Grotniki and Poddębice. The intensity ratio of the measure was practically equal in the year of regeneration and in three subsequent years, and it amounted to ca. 0.20 annually.

The mean unit costs of weeding for artificial and natural regeneration were similar and amounted to 466 PLN and 486 PLN per 1 hectare of weeding, respectively. However,

the average costs of weeding per 1 hectare of forest regeneration were over four times higher in the artificial reproduction (2147 PLN/ha) as compared to the natural one (513 PLN/ha).

Blank-filling was mostly carried out in artificial regeneration and the total intensity ratio amounted to 0.12. Blank feeling was necessary in the Poddębice Forest District (intensity ratio = 0.16). In two forest districts (Jawor and Brzeziny), this measure was not carried out at all. Blank-filling was mostly introduced one year after the establishment of the plantations.

In natural regeneration, blank-filling was marginal: the total area in two forest districts (Grotniki and Poddębice) amounted to 0.6% of the regenerated compartments area.

The mean unit costs of blank-filling in compartments regenerated artificially were slightly higher as compared to those reproduced naturally and amounted to 4200 PLN/ha and 3958 PLN/ha, respectively. However, the costs per 1 hectare of regenerated forest were more than 20 times higher in plantations than in natural regeneration.

The mean intensity ratio of pre-commercial thinning in plots of artificial regeneration totalled 0.17. Relatively, most intensively tended were the forest cultures in the Jawor Forest District (intensity ratio = 0.34). The measures were carried out beginning from the fourth year after establishing of the stands. In two forest districts (Oborniki Śląskie and Grotniki), no pre-commercial thinning was carried out within the studied period.

On the naturally regenerated plots, pre-commercial thin-

ning wasn't carried out only in the Grotniki Forest District. Average intensity ratio of the measure amounted to 0.49, but in the Brzeziny Forest District, where its intensity was the highest, it peaked at 2.00. Pre-commercial thinning was carried out starting from the first year after natural regeneration was approved, and in maximum area, the measure was covered in the third year (intensity ratio = 0.20).

Average unit cost of pre-commercial thinning in the compartments regenerated naturally was 636 PLN/ha and it was by ca. 12% higher in comparison with artificial forest regeneration (538 PLN/ha). Because of the higher unit costs and the intensity ratio of the measure, the average costs of pre-commercial thinning per 1 hectare of forest regeneration were 3.2 times higher than in case of artificial formation of stands.

Fencing was carried out in three forest districts (Jawor, Bardo Śląskie and Poddębice) in the year of plantations establishment. The mean intensity ratio of the measure for all plots amounted to 0.13 and it was the highest in the Jawor Forest District (0.73).

Fencing of plots regenerated naturally was done only in the Oborniki Śląskie Forest District in the year of regeneration and one year later. Intensity ratio of the measure in that forest district totalled 0.36, which averaged to 0.12 per 1 hectare of all the studied plots regenerated in a natural way and was almost identical to the artificial forest regeneration.

The average intensity ratio of chemical wildlife damage control (application of repellents) in plantations amounted to 1.10 and was the highest in the Grotniki Forest District (intensity ratio = 2.40), while it was the lowest in the Poddębice Forest District (0.03). Chemical wildlife damage control was carried out to the largest extent two years after the plantation was established (average annual intensity ratio = 0.32), and it was gradually decreasing in the subsequent years.

In naturally regenerated compartments, the average intensity of chemical wildlife damage control for the whole analysed period amounted to 0.98 and was similar to artificial regeneration. However, the measure was carried out only in two forest districts: Jawor (intensity ratio = 2.64) and Oborniki Śląskie (intensity ratio = 0.23). The protective measures were most intense in the year of approval of natural regeneration, and in the subsequent years, it was gradually decreasing.

The mean unit cost of chemical wildlife damage control in natural regeneration over the whole studied period amounted to 348 PLN/ha and it was by some 55% higher in comparison to artificial regeneration (227 PLN/ha). Because of the higher unit costs with similar intensity of the measure, the average costs per one hectare of natural forest regeneration over the whole period were by some 35% higher in comparison to the artificial reproduction.

Mechanical wildlife damage control (tree shelters) was used only in artificial oak regeneration in two forest districts (Brze-

ziny and Poddębice). The mean intensity of the measure for all plots amounted to 0.15 (0.77 in the Brzeziny Forest District).

The mean unit costs of mechanical wildlife damage control amounted to 187 PLN/ha. They peaked in the year when the plantations were established and decreased in subsequent years. The average expenditures per 1 hectare of forest regeneration did not exceed 10 PLN/ha annually over the whole examined period.

4. Discussion

The results of the study show that the costs of silvicultural and protective measures in natural oak regeneration are significantly lower as compared to the corresponding costs in artificial regeneration. The total average costs of artificial forest regeneration together with silvicultural and protective measures during 6 years after the plantations were established amounted to 7161 PLN/ha (in current values). The corresponding costs of natural regeneration of this tree species amounted to about 1495 PLN/ha. It should be noted that the average unit costs of fencing plots reproduced artificially were about 2.5 times higher in comparison to those regenerated naturally. The overall cost of fencing depends, however, on the length of a fence (and thus, on the shape of a fenced plot), and not on the method of forest regeneration itself. Considering that the intensity of this measure was almost the same for both methods of forest regeneration, it may be assumed that that differences in costs resulted from the shape of the fenced plots and not the method of forest regeneration. Excluding the costs of fencing the plots, the total costs of artificial oak regeneration amounted to 6543 PLN/ha and were over five times higher in comparison to the total costs of natural oak regeneration (1216 PLN/ha).

The considered forest district differs in terms of natural and economic conditions, which in consequence affects the diversification of costs of silvicultural and protective measures and makes a comparison of the obtained results difficult. For this reason, the relative differences in the intensity of individual measures in both methods of forest regeneration seem more significant than their actual financial values. The cost structure of artificial regeneration is dominated by the expenditures related to planting (soil preparation, seedlings, planting), which accounts for 49.3% of all direct costs in the analysed period. The other significant costs relate to weeding (30.0%). In the natural oak regeneration, relatively highest costs were incurred for weeding (34.3%).

The following factors influenced the lower costs of natural oak regeneration:

- the absence of expenditures for production of seedlings, soil preparation and planting; in most of the analysed compartments, natural regeneration was spontaneous with no additional expenditures incurred, while the costs of se-

edlings and planting were the main factor influencing the overall costs of artificial forest reproduction;

- much lower intensity of weeding, which with a slightly higher unit costs of the measure resulted in about a four-fold reduction in costs per hectare in the studied plots;
- a virtual absence of blank-filling, while on the plots reproduced artificially, they covered 12% of the area on average;
- the absence of mechanical wildlife damage control measures.

At the same time, some of the measures performed during natural regeneration generated higher expenditures compared to the artificial forest reproduction. In natural regeneration, pre-commercial thinning was three times more intense; it also started earlier and had higher unit costs. This resulted from specific features of natural regeneration, characterised by greater density and requiring stronger selection of trees in the early stages of tree stands development. In addition, the unit costs of chemical wildlife damage control (repellents) were over 50% higher than in the artificially regenerated plots, which resulted in higher average costs per 1 hectare of forest regeneration.

The results partly confirm the results of previous studies, which indicate an economic viability of natural forest regeneration (Szramka 2001, 2005). The analysis carried out by this author in the Konstantynowo Forest District showed that 30–40% of the total costs of artificial forest reproduction were incurred for restocking, that is, planting and transportation and heeling of seedlings before planting. Together with the costs of seedling production, which amounted to 20–25% of the total financial expenditure, costs related to planting amounted to more than half of all the expenses (Szramka 2001). This author, however, didn't take into account the expenditures incurred for the protection of stands against game, which limits the possibility to compare his study outcomes with the results presented in this paper. It is also difficult to refer to a later research carried out by Szramka, as he noted himself that his studies allowed only to define a cost structure of artificial forest regeneration. He simultaneously underlined that the unit costs of natural forest reproduction in the three studied forest districts were very diverse, which resulted from, inter alia, their location and the applied procedures for approving natural regeneration, and additionally, from a method of calculating those costs and some arbitrariness in registering costs and area of natural regeneration. In the cost structure of artificial regeneration, the share of costs of seedlings prevailed (36–55%), followed by planting (19–38%) and blank-filling (12–21%) (Szramka 2005).

Foreign studies concerning the discussed issue are also very limited. Many researches are based not on real costs, but on the pre-set mean costs of measures and defined discount rate, and thus, bring rather theoretical considerations (Rosenstock 1991; Fürst, Johann 1994; Clasen, Knoke 2014; Hosius et al. 2016; Knoke et al. 2016), which are difficult to compare with

the results of this research. The study carried out by Gürth and Vöhringer (1993) is exceptional, because it provides results of research on costs of oak regeneration on dozen or so experimental plots in the Müllheim Forest District in Baden-Württemberg (Germany). The study showed that depending on a cost calculating option (mean cost rates of measures, real costs, based on real labour intensity and a fixed hourly rate) and a natural forest regeneration method (with limited tending, thinning included, fencing included), direct financial expenditures on artificial regeneration and protection and tending of stands were from some 60% to more than 300% higher. In artificial regeneration, the structure of costs comprised weeding and pre-commercial thinning (ca. 45%), seedlings and planting (20–30%), blank-filling (15–25%), fencing (ok. 10%) and initial fertilising (3%). The cost structure of natural reproduction included weeding and pre-commercial thinning (40–76%), fencing (18–44%) and blank-filling (1–41%). The authors noted that only by changing a method of forest regeneration, the costs of reproduction may be reduced by more than 40%. By simplifying methods of natural reproduction, the financial expenditures may be limited by further 10%, and by reducing fencing even by more than 70%; however, it is difficult to estimate the possibilities for maintaining the high quality of natural regeneration in such a case (Gürth, Vöhringer 1993).

It is hard to compare the results gained by Gürth and Vöhringer with the results presented in this study. The analysis carried out by the German researchers focused on different activities – for example, soil preparation was not specified separately, same as weeding and pre-commercial thinning, and protective measures include only fencing. Nevertheless, it should be noted that in both cases, artificial regeneration is dominated by the costs of planting (soil preparation, seedlings and planting itself) and weeding, and in natural reproduction, most of the direct costs are those associated with weeding. In addition to indisputable ecological advantages, natural regeneration also allows in some specific cases to reduce the financial expenditures.

5. Conclusions

The results obtained by this study allow formulating the following conclusions:

1. Natural oak regeneration is a cheaper method of forest reproduction in comparison to artificial regeneration of this species.
2. First of all, the quantifiable benefits of natural forest regeneration are associated with the absence of costs related to the production of seedlings and planting as well as the absence or a significant reduction of soil preparation costs. Higher costs of pre-commercial thinning and chemical wildlife damage control in the analysed natural regeneration did not

significantly affect the overall favourable economic result of this method of forest regeneration.

3. Because of its importance for economic practice, the matter of financial viability of natural oak regeneration and its tending and protecting should be explored in more detail over longer time spans.

Conflicts of interest

The author declares no potential conflicts of interest.

Acknowledgements and source of funding

The paper presents the results of the research implemented within the project ‘Natural regeneration of the most important forest tree species in Poland as the element of a strategy for sustainable forest management’ financed by the Directorate-General of the State Forests in Warsaw.

References

- Clasen C., Knoke T. 2014. Der finanzielle Vorteil von Naturverjüngung. Grundlagen der Finanzmathematik für den täglichen Gebrauch. *LWF aktuell* 99: 13–16.
- Fürst W., Johann K. 1994. Modellkalkulationen zum Naturverjüngungsbetrieb. *Österreichische Forstzeitung* 11: 26–28.
- Gürth P., Vöhringer F. 1993. Eichennaturverjüngung und Eichenpflanzung im Forstbezirk Müllheim. Ein Wachstums und Kostenvergleich. *Forst und Holz* 23: 672–676.
- Hosius B., Bergmann F., Leinemann L. 2016. Natürlich verjüngen oder pflanzen? *AFZ-Der Wald* 14: 24–28.
- Jaworski A. 2011. Hodowla lasu. Sposoby zagospodarowania, odnawianie lasu, przebudowa i przemiana drzewostanów. Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 640 s. ISBN 978-83-09-01075-3.
- Knoke T., Clasen C., Paul C., Friedrich S. 2016. Ökonomische Kalkulationen sprechen oft für Naturverjüngung. *AFZ-Der Wald* 17: 42–45.
- Larsen D.R., Johnson P.S. 1998. Linking the ecology of natural oak regeneration to silviculture. *Forest Ecology and Management* 106: 1–7.
- Leibundgut H. 2007. Naturalne odnowienie lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 162 s. ISBN 978-83-09-01017-3.
- Rosenstock A. 1991. Forstökologische Überlegungen können zugleich die Kosten senken. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 18: 962–963.
- Rykowski K., Andrzejczyk T., Dobrowolska D., Farfał D., Falencka-Jabłońska M., Boczoń A., Borkowski J., Borowski Z., Mazurska K., Kaliszewski A., Pudełko M. 2006. Przyrodnicze i ekonomiczne efekty ekosystemowego podejścia w trwałym i zrównoważonym gospodarstwie leśnym na przykładzie Nadleśnictwa Tuszyma (RDLP Krosno). Dokumentacja IBL, Warszawa.
- Sinha A., Rämöc J., Malo P., Kallio M., Tahvonen O. 2017. Optimal management of naturally regenerating uneven-aged forests. *European Journal of Operational Research* 256: 886–900. DOI 10.1016/j.ejor.2016.06.071.
- Szramka H. 2001. Analiza kosztów różnych sposobów odnowienia lasu na przykładzie wybranego nadleśnictwa Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Poznaniu. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN* 90: 91–95.
- Szramka H. 2005. Ekonomiczne aspekty różnych sposobów odnowienia lasu. *Sylwan* 149(11): 59–65.
- Szramka J. 2014. Hodowla lasu w zasadach gospodarki leśnej, w: Przyrodnicze, społeczne i gospodarcze uwarunkowania oraz cele i metody hodowli lasu. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa, VI Sesja. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, s. 23–30. ISBN 978-83-62830-32-9.
- Zachara T., Ambroży S., Bieniek J., Boczoń A., Dobrowolska D., Gil W., Kaliszewski A., Kopryk W., Michalska A., Mionskowski M., Nowakowska J., Olszowska G., Paluch R., Zajączkowski G. 2011. Odnowienie naturalne najważniejszych gatunków lasotwórczych w Polsce jako element strategii trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasu. Dokumentacja IBL, Sękocin Stary.
- Żybura H. 2014. Sztuczne czy naturalne odnowienie lasu?, w: Przyrodnicze, społeczne i gospodarcze uwarunkowania oraz cele i metody hodowli lasu. Zimowa Szkoła Leśna przy Instytucie Badawczym Leśnictwa, VI Sesja. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary, s. 317–329. ISBN 978-83-62830-32-9.

Sources of information

- CILP. 2007. Raport o stanie lasów w Polsce 2006. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 86 s.
- CILP. 2012. Zasady hodowli lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 72 s. ISBN 978-83-61633-65-5.
- CILP. 2016. Raport o stanie lasów w Polsce 2015. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 94 s.
- Forest Europe. 2015. State of Europe’s Forests 2015. MCPFE, Forest Europe Liaison Unit, Madrid, 312 s.
- MOŚZNiL. 1997. Polityka leśna państwa. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 22 kwietnia 1997 r. Ministerstwo Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa.