

MACIEJ PACH

Tempo zarastania spał na jodle oraz niektóre czynniki na nie wpływające

The rate of bark-stripping wound closure in fir and some factors affecting it

ABSTRACT

Pach M. 2008. Tempo zarastania spał na jodle oraz niektóre czynniki na nie wpływające. Sylwan 4: 46-57.

The paper presents results of the research conducted in the stands with fir stripped by red deer in the territory of the Forest Experimental Station in Krynica (Beskid Sądecki). The average rate of wound closure expressed in the width of wound closure and the time needed for a wound to heal was determined on the basis of detailed analyses of bark-stripping wounds in the cut trees. Factors influencing wound closure were identified as well. In addition, a multiple regression model explaining about 51% of the variation of the wound healing time was presented.

KEY WORDS

Abies alba, bark-stripping damage, wound closure, wound characteristics, live crown ratio, tree vigour

ADDRESSES

Maciej Pach – Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu; Uniwersytet Rolniczy;
Al. 29-Listopada 46; 31-425 Kraków; e-mail: rpach@cyf-kr.edu.pl

Wstęp i cel badań

Spalowanie drzew powodowane przez zwierzynę uważane jest za jedno ze znaczniejszych uszkodzeń pnia [Jamrozy i in. 1981; Szukiel 1982; Bernadzki 1983], wpływających na wzrost i żywotność jodły [Pach 2002, 2003, 2004]. Z reguły w wyniku zderzenia kory i wystawienia drewna na działanie czynników zewnętrznych następuje infekcja patogenami grzybowymi [Pach 2005], mogącymi doprowadzić do znacznej deprecjacji surowca drzewnego w części odziomkowej i spadku jego wartości ekonomicznej [Barszcz, Jamrozy 2001]. Aby temu zapobiec drzewa wykształciły szereg mechanizmów obronnych, które w sposób komplementarny mogą ograniczyć destrukcyjną działalność patogenów. Mechanizmy te ujawniają się najbardziej w przypadku powstawania ran po gałęziach odciętych w wyniku podkrzesywania [Giefing 1999]. Do najważniejszych z nich można zaliczyć blokadę tkanek przewodzących różnymi substancjami organicznymi lub mineralnymi, obronę odsłoniętych komórek rany za pomocą m.in. substancji garbnikowych, polifenoli, indukowanych toksycznych związków białkowych oraz chemiczną aktywność tkanki przyrannej wytwarzającej toksyczne dla patogena flawonole [Giefing 1999]. Z kolei konsekwencją zderzenia kory jest wytwarzanie przez kambium specjalnej bariery w postaci warstwy komórek o większej zawartości związków fenolowych, uniemożliwiającej przedostanie się grzybów do nowo powstających słoików drewna [Shigo 1972, 1984]. Jednakże podstawową formą reakcji na zranienie pnia jest rozrastanie się tkanki przyrannej (kalusowej), stopniowo zablizniającej, głównie z boków, otwartą ranę. Stąd interesujące jest poznanie tempa zarastania spał oraz czynników je determinujących, co było celem niniejszej pracy.

Metodyka badań

Prace terenowe wykonano na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy, gdzie w drzewostanach z udziałem jodły w wieku od 20 do 50 lat założono 10 powierzchni badawczych o powierzchni od 0,10 do 0,25 ha [Pach 2002]. Szczegółowy zakres prac terenowych i części prac kameralnych przedstawiono we wcześniejszych pracach [Pach 2002, 2003, 2004, 2005].

Uzupełnienia wymaga sposób określania szerokości rocznych wałów zasklepowych, stopniowo zablizniających ranę. Sposób ten oparty był na pomiarach odległości (cięciwa) pomiędzy granicami uszkodzenia (CD) oraz średniego promienia pnia (bez kory) przed spałowaniem (r) wykonanych na krążkach wyciętych ze środków spał (ryc. 1).

Na podstawie zależności:

$$SB = \frac{2 \arcsin \left(\frac{a}{2r} \right)}{180} \pi r$$

gdzie:

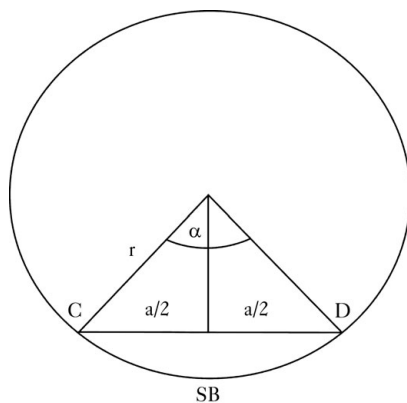
SB – długość łuku rany otwartej,

a – odległość (cięciwa) pomiędzy granicami uszkodzenia (CD),

r – średni promień krążka przed spałowaniem

określono długość łuku rany otwartej corocznie zabliznianej przez tkankę przyraną (rozumianej jako szerokość wału zasklepowego), a następnie średnią szerokość pojedynczego przyrostu w całym okresie zarastania rany (SSC) oraz z pierwszych 5 lat po uszkodzeniu (SS5). Wyodrębnienie tych dwóch okresów spowodowane było przypuszczeniem, iż tempo zasklepiania rany może się zmieniać w czasie. W analizach ujęto również udział średniej szerokości przyrostu (SSC) w szerokości spały (WSSC).

W obliczeniach kameralnych zastosowano szereg procedur statystycznych, takich jak sprawdzający zgodność rozkładu zmiennej z rozkładem normalnym test Shapiro-Wilka, test t Studenta, korelacja prostoliniowa Pearsona (R_p), korelacja rang Spearmana (R_s), test Bartletta, jednoczynnikowa analiza wariancji, test Tukeya dla prób o różnych liczebnościach oraz korela-



Ryc. 1.

Schemat płaszczyzny przekroju krążka wyciętego ze środka spały wykorzystanego do pomiaru i obliczenia początkowej szerokości spały oraz szerokości zajmowanej co roku przez wał zasklepowy (długość łuku – SB)
Diagram of the cross-sectional area of a disk cut from the middle part of the wound to be used for the measurement and calculation of the initial wound width and wound closure width year after year (SB – curve length)

cja i regresja wielokrotna metodą krokową w przód [Tadeusiewicz i in. 1993; Gondko i in. 1994; Steczkowski, Zeliaś 1997].

Wyniki

Średnie tempo zablizniania się ran jodełek spalowanych w całym okresie regeneracji kory (SSC) wyniosło 3,11 mm/rok, a w ciągu pierwszych pięciu lat po uszkodzeniu (SS5) – 3,29 mm/rok. Różnica ta okazała się mało istotna (test t z oddzielną estymacją wariancji: $t=0,776749$ dla $df=70$, $P_{obl.}=0,439924$). Wielkość, jaką co roku zajmowała tkanka zasklepiająca spałę, wyniosła średnio 12,5% szerokości rany (WSSC).

Analiza statystyczna wykazała, iż zarówno średnia szerokość przyrostów zablizniających ranę w ciągu pierwszych pięciu lat po spalowaniu, jak i w całym okresie zasklepiania rany nie jest uzależniona od badanych cech spał. Z kolei udział szerokości corocznie wykształcanego słoja w szerokości rany ujemnie koreluje z bezwzględną wysokością górnego skraju spały na pniu ($N=36$; $R_p=-0,4039$; $P_{obl.}=0,0146$) oraz z bezwzględną szerokością i powierzchnią rany (odpowiednio: $N=36$; $R_s=-0,6852$; $P_{obl.}=0,0000$; $N=36$; $R_s=-0,4063$; $P_{obl.}=0,0139$). Dodatnią zależność stwierdzono jedynie ze względną wysokością najwyższego punktu spały na pniu ($N=36$; $R_s=0,5583$; $P_{obl.}=0,0004$). Ujemne zależności z szerokością i powierzchnią bezwzględną rany wskazują na intensywny proces zasklepiania rany w przypadku mniejszych spał.

Zbadano również przypuszczalną zależność tempa zablizniania się rany od szerokości słoików rocznych powstałych przed spalowaniem na wysokości spały w okresie pięcioletnim (Ś5prz), trzyletnim (Ś3prz) i jednorocznym (1prz) oraz po spalowaniu w okresach o tej samej długości (Ś5po, Ś3po, 1po). Obliczone współczynniki korelacyjne wskazują na bardzo istotną, dodatnią zależność szerokości jednorocznego przyrostu przed i po spalowaniu, średniej szerokości rocznego przyrostu z okresu trzyletniego przed i po spalowaniu oraz pięcioletniego przed spalowaniem z wartością bezwzględną (SSC) i względną (WSSC) średniej szerokości słoików zablizniających z całego okresu zasklepiania rany (tab. 1). Nie stwierdzono natomiast

Tabela 1.

Zależność średniej szerokości przyrostów zablizniających ranę w okresie 5-letnim po uszkodzeniu (SS5) i z całego okresu zasklepiania rany (SSC) oraz względnej szerokości wałów zasklepowych (WWSC) od średniej szerokości słoików z okresu 5 (Ś5po), 3 lat (Ś3po) i 1 roku (1po) po spalowaniu oraz 5 (Ś5prz), 3 lat (Ś3prz) i 1 roku (1prz) przed spalowaniem na wysokości rany

Relationship between the average growth width closing a wound during a 5-year period after wounding (SS5) and from the entire period of wound healing (SSC) and relative wound closure widths (WWSC) and the average tree ring widths during a 5-year period (Ś5po), 3-year period (Ś3po) and 1 year (1po) after wounding, as well as during a 5-year period (Ś5prz), 3-year period (Ś3prz) and 1 year (1prz) before wounding at a wound height

Cecha	SSC			SS5			WSSC		
	N	R	$P_{obl.}$	N	R	$P_{obl.}$	N	R	$P_{obl.}$
Korelacja prostoliniowa Pearsona									
Ś5prz	29	0,3339	0,0767	29	0,1629	0,3985	29	0,3772	0,0437*
Ś3prz	35	0,4741	0,0040**	29	0,3138	0,0664	35	0,5558	0,0005**
Ś5po	29	0,5349	0,0028**	29	0,3938	0,0346*	29	0,5271	0,0033**
Korelacja rang Spearmana									
1prz	35	0,5222	0,0013**	35	0,2561	0,1237	35	0,6056	0,0001**
1po	35	0,4423	0,0078**	35	0,1908	0,2724	35	0,5848	0,0002**
Ś3po	35	0,5353	0,0009**	35	0,2918	0,0890	35	0,5924	0,0002**

Objaśnienia: N – liczebność próby; R – współczynnik korelacji; $P_{obl.}$ – obliczone prawdopodobieństwo; * – zależność statystycznie istotna ($\alpha=0,05$); ** – zależność statystycznie bardzo istotna ($\alpha=0,01$)

Description: N – sample size; R – correlation coefficient; $P_{obl.}$ – calculated probability; * – statistically significant at $\alpha=0,05$; ** – statistically significant at $\alpha=0,01$

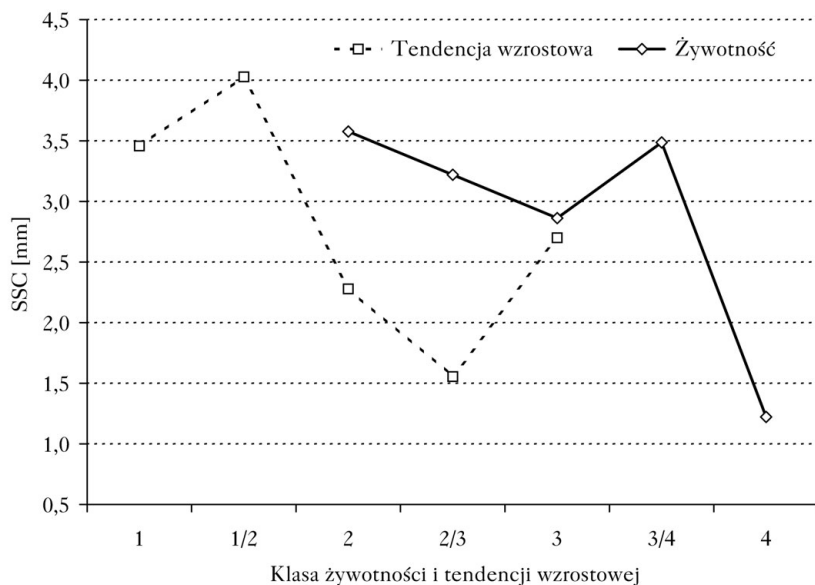
wpływu badanych cech na szerokość wałów zasklepowych, powstających w ciągu pierwszych pięciu lat po spalowaniu, z wyjątkiem dodatniej zależności ze zmienną $\bar{S}5po$.

W dalszych analizach przyjęto hipotezę badawczą, iż cechy morfologiczne korony, takie jak bezwzględna (DKB) i względna (DKW) jej długość, żywotność oraz tendencja wzrostowa mogą mieć wpływ na szybkość gojenia się ran wyrażoną szerokością przyrostów rocznych zarastających spałę. W wyniku analizy stwierdzono, iż średnia szerokość wałów zasklepowych liczona z całego okresu zarastania spały (SSC) bardzo istotnie ($p < 0,001$) różni się w poszczególnych klasach żywotności i tendencji wzrostowej. Decyduje o tym w głównej mierze wartość średniej szerokości w klasie 4 żywotności. Ponadto w klasach tendencji wzrostowej stwierdzono bardzo dużą istotność ($p < 0,001$) różnic średnich wartości względnej szerokości słoików zablizniających spałę (WSSC). O ile w przypadku żywotności można mówić o zmniejszającej się wartości SSC u jodełek w gorszej kondycji, o tyle w przypadku tendencji wzrostowej nie stwierdzono podobnego kierunku zmian (ryc. 2). W przypadku tendencji wzrostowej wartość zmiennej SSC w klasie 2/3 istotnie odbiega od średnich wielkości w klasie 1 i 1/2.

Analiza korelacji prostoliniowej Pearsona wykazała występowanie bardzo ścisłego ($P_{obl.} < 0,01$), dodatniego związku pomiędzy względną długością korony (DKW) a średnią szerokością przyrostu rocznego zablizniającego ranę w całym okresie zarastania (SSC) oraz jej wartością względną, odniesioną do szerokości spały (WSSC) (tab. 2).

Badanie zależności tempa gojenia się rany od wieku i pierśnicy drzewka w momencie uszkodzenia wykazało występowanie istotnych, ujemnych korelacji, co świadczy o tym, że tempo zarastania spały jest mniejsze u drzewek starszych i grubszych (tab. 2).

Na podstawie analizy krążków, wyciętych ze środkowej części spał badanych jodełek, określono czas jakiego uszkodzone drzewko wymagało do całkowitego zalania rany tkanką



Ryc. 2.

Średnia wartość szerokości słoika zablizniającego ranę z całego okresu zarastania rany (SSC) w klasach żywotności i tendencji wzrostowej

Mean value of the annual ring width closing a wound from the entire period of wound healing (SSC) in the vigour and growth tendency classes

Tabela 2.

Zależność średniej szerokości przyrostów zablizniających ranę w okresie 5-letnim po uszkodzeniu (SS5) i z całego okresu zasklepiania rany (SSC) oraz względnej szerokości wałów zasklepowych (WWSC) od bezwzględnej (DKB) i względnej (DKW) długości korony, wieku i pierśnicy jodełki w momencie spalowania

Relationship between the average growth width closing a wound during a 5-year period after wounding (SS5) and from the entire period of wound healing (SSC) and relative wound closure widths (WWSC) and the absolute (DKB) and relative (DKW) crown length, age and dbh of a fir tree in the moment of bark stripping

Cecha	SSC			SS5			WWSC		
	N	R	P _{obl.}	N	R	P _{obl.}	N	R	P _{obl.}
DKB	36	0,1964	0,2509	36	0,1984	0,2461	36	-0,3457	0,0389*
DKW	36	0,4428	0,0068**	36	0,3031	0,0724	36	0,5326	0,0008**
Wiek	36	-0,3471	0,0381*	36	-0,2640	0,1197	36	-0,7176	0,0000**
Pierśnica	36	-0,3608	0,0306*	36	-0,1345	0,4343	36	-0,5719	0,0003**

Objaśnienia: N – liczebność próby; R – współczynnik korelacji; P_{obl.} – obliczone prawdopodobieństwo; * – zależność statystycznie istotna ($\alpha=0,05$); ** – zależność statystycznie bardzo istotna ($\alpha=0,01$)

Description: N – sample size; R – correlation coefficient; P_{obl.} – calculated probability; * – statistically significant at $\alpha=0.05$; ** – statistically significant at $\alpha=0.01$

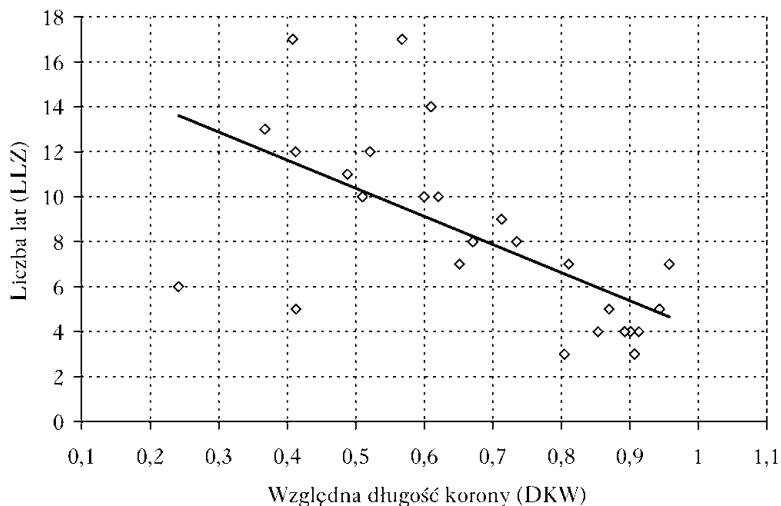
zablizniającą. Średni okres gojenia rany wyniósł 8 lat (min 3 – max 17). U czterech jodełek stwierdzono niezagojone rany w czasie od 19 do 23 lat. Istotny wpływ na okres gojenia wyrażony liczbą lat, miały wysokość najwyższego punktu spały na pniu (W2W), szerokość bezwzględna (SB) oraz powierzchnia bezwzględna spały (PB). Pierwsza cecha wykazała zależność ujemną. Więcej czasu potrzebuje jodełka do zabliznienia rany w przypadku, kiedy ta rana jest szeroka lub zajmuje dużą powierzchnię na pniu bądź jej górny kraniec występuje nisko na pniu w stosunku do wysokości jodełki.

Wśród analizowanych związków cech morfologicznych korony z liczbą lat, w trakcie których nastąpiło zabliznienie rany (LLZ), bardzo istotną zależność tej cechy stwierdzono ze względną długością korony (ryc. 3). Krótsza korona, w stosunku do wysokości drzewka, wpływa na wydłużenie czasu niezbędnego do zagojenia rany (współczynnik korelacji $R=-0,6348$ przy $P_{obl.}=0,0005$). Na podstawie ryciny 3 można wnioskować, iż korona zajmująca powyżej 60% wysokości drzewa zapewniła zabliznienie się rany w ciągu 10 lat. Nie stwierdzono związku pomiędzy LLZ a bezwzględną długością korony. Bardzo dużą zależność stwierdzono natomiast pomiędzy LLZ a żywotnością jodełki ($P_{obl.}<0,01$) oraz między LLZ a tendencją wzrostową ($P_{obl.}<0,05$). Im większa wartość wskaźnika tendencji wzrostowej, a zwłaszcza żywotności, tym jodełka potrzebuje mniej czasu na zabliznienie rany w miejscu uszkodzenia przez zwierzynę.

Na podstawie analizy korelacji prostoliniowej Pearsona można stwierdzić bardzo istotny związek ($P_{obl.}<0,01$) pomiędzy średnią szerokością stojów zablizniających ranę w całym okresie zarastania spały (SSC) oraz jej wartością względną, odniesioną do szerokości rany (WSSC) a liczbą lat, w trakcie których nastąpiło zagojenie rany.

Analiza zależności długości okresu gojenia się ran od wieku i pierśnicy jodełki w momencie spalowania, przeprowadzona z wykorzystaniem korelacji prostoliniowej Pearsona, wskazuje na istotne, dodatnie korelacje pomiędzy badanymi cechami. Szczególnie silną zależność stwierdzono między wiekiem drzewka a długością okresu gojenia się rany (ryc. 4). Obliczony współczynnik korelacji wyniósł $R=0,5981$ przy $P_{obl.}=0,0012$. Proces gojenia się ran na grubszych, a zarazem starszych pniach, gdzie wielkość pojawiających się spał w wartościach bezwzględnych jest dużo większa niż na cieńszych i młodszych jodełkach, przebiega znacznie wolniej. Jodełki, które w momencie spalowania były w wieku do 23 lat, mają szansę zabliznić ranę w okresie do 8 lat (ryc. 4).

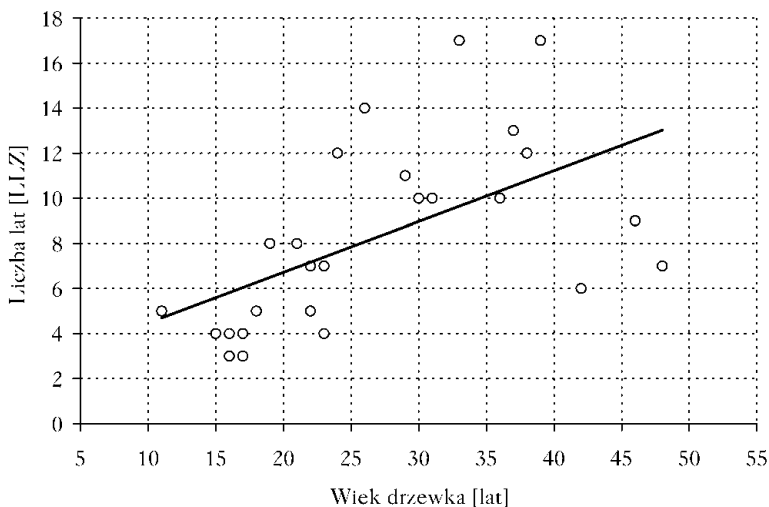
Równanie regresji $LLZ=16,63-12,51 \cdot DKW$
 Współczynnik korelacji $R=-0,6296$; $P_{obl}=0,0005$



Ryc. 3.

Zależność liczby lat, w których nastąpiło zagojenie rany (LLZ), od względnej długości koron (DKW)
 Relationship between the number of years required for complete wound closure (LLZ) and the live crown ratio (DKW)

Równanie regresji $LLZ=-4,449+2,4967 \cdot WIEK$
 Współczynnik korelacji $R=0,5981$; $P_{obl}=0,0012$



Ryc. 4.

Zależność liczby lat, w których nastąpiło zagojenie rany (LLZ), od wieku jodełki w momencie spałowania
 Relationship between the number of years required for complete wound closure (LLZ) and the age of fir trees in the moment of wounding

Wyznaczone wcześniej zmienne, mające istotny wpływ na długość okresu gojenia się rany, nie oddziałują na jej wielkość w sposób niezależny. Określenie tego współdziałania wymagało użycia analizy korelacji i regresji wielokrotnej metodą krokową w przód. Zmienną zależną w poszukiwanym modelu regresji była liczba lat, w trakcie których nastąpiło zabliznienie rany, a zmiennymi niezależnymi cechy, które wykazały związek liniowy ze zmienną zależną i są łatwe do określenia w terenie: bezwzględna szerokość spały (SB), względna wysokość najwyższego punktu rany na pniu (W2W), względna długość korony oraz wiek jodełki w momencie spałowania. Pozostałe zmienne: bezwzględna powierzchnia rany (PB), pierśnica jodełki w momencie spałowania, żywotność oraz bezwzględna (SSC) i względna (WSSC) średnia szerokość słoja zablizniającego ranę, pozostające również w istotnym związku z długością okresu gojenia się ran, nie zostały włączone do analizy ze względu na ich współliniowość lub brak możliwości określenia ich w drzewostanie. W rezultacie uzyskano współczynnik korelacji wielokrotnej $R_y=0,7148$ i współczynnik determinacji 51,1%, a do równania regresji włączone zostały dwie zmienne (tab. 3). Równanie regresji przybrało postać:

$$LLZ = 12,77 - 0,1542(DKW) + 6,2276(SB) \pm 2,99$$

Największy wpływ na liczbę lat niezbędną do zagojenia rany (LLZ) miała względna długość korony, której wartość współczynnika determinacji (R^2) wskazuje na istotny udział (40,3%) w wyjaśnieniu zmienności LLZ. W drugim kroku do modelu regresji została włączona bezwzględna szerokość rany, zwiększając w ten sposób współczynnik determinacji do 51,1%. Wpływ obu zmiennych (DKW i SB) okazał się istotny ($P_{obl.} < \alpha$). Ujemny współczynnik korelacji cząstkowej dla zmiennej DKW oznacza, iż przy stałej bezwzględnej szerokości rany okres jej zablizniania ulega skróceniu w miarę wydłużania się korony w stosunku do całego drzewa. Należy jednak podkreślić, iż otrzymany model regresji wielokrotnej tłumaczy jedynie ok. 51% zmienności liczby lat, w których nastąpiło zabliznienie rany. Za pozostałą część muszą odpowiadać inne czynniki, nie uwzględnione w analizowanym modelu. Na podstawie tego modelu wykonano predykcję liczby lat niezbędnej do zagojenia rany na podstawie względnej długości korony (wartości od 20 do 90%) oraz bezwzględnej szerokości spały (od 2 do 10 cm) (tab. 4).

Tabela 3.

Zależności liczby lat, w trakcie których nastąpiło zabliznienie rany, od bezwzględnej szerokości (SB) rany oraz względnej długości korony (DKW)

Relationship between the number of years required for wound closure and the absolute wound width (SB) and the live crown ratio (DKW)

Zmienna	R _y =0,7148 F _{obl.} (2,23)=12,012 P _{obl.} =0,00027									
	β	R _{yz,x²}	t _{obl.} (23)	P _{obl.}	Krok	R _y	R ² [%]	Zmiana R ² [%]	F	P _{obl.}
DKW	-0,511	-0,5643	-3,2782	0,0032	1	0,6349	40,3	40,3	16,2086	0,0005
SB	0,3509	0,4249	2,2512	0,0342	2	0,7147	51,1	10,8	5,0678	0,0342

Objaśnienia: β – standaryzowane cząstkowe współczynniki regresji wielokrotnej; R_{yz,x²} – współczynniki korelacji cząstkowej pomiędzy LLZ a cechą objaśniającą przy wyłączeniu pozostałych cech x; t_{obl.} – wartość testu t-Studenta przy (n) stopniach swobody; R_y – współczynniki korelacji wielokrotnej (krokowej); R² – współczynniki determinacji wielokrotnej; F – wartość testu F Fishera-Snedecora (zmienna włączona do równania przy F>1,0); P_{obl.} – wartość obliczonego prawdopodobieństwa dla testu t-Studenta i statystyki F

Description: β – standardised partial multiple regression coefficients; R_{yz,x²} – coefficients of partial correlation between LLZ and the descriptive characteristic exclusive of other characteristics x; t_{obl.} – Student's t-test with (n) degrees of freedom; R_y – stepwise multiple regression coefficients; R² – multiple determination coefficients; F – Fisher-Snedecor F-test value (variable incorporated into the equation at F>1.0); P_{obl.} – value of calculated probability for Student's t-test and F statistics

Tabela 4.

Liczba lat konieczna do zabliznienia rany oszacowana na podstawie względnej długości korony (DKW) oraz szerokości bezwzględnej spały (SB) za pomocą wyznaczonego modelu regresji wielokrotnej
 Number of years required for wound closure estimated on the basis of live crown ratio (DKW) and absolute wound width (SB) using a multiple regression model

DKW [%] SB [cm]	30	40	50	60	70	80	90
2,0	9,5	8,5	7,5	7,0	6,0	5,0	3,5
3,0	10,5	10,0	8,5	8,0	7,0	6,0	4,5
4,0	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5	6,5	5,5
5,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0
6,0	12,5	11,5	10,5	10,0	8,5	7,5	6,5
7,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0
8,0	13,5	12,0	11,5	10,5	9,5	8,5	7,5
9,0	13,5	12,5	11,5	11,0	10,0	9,0	7,5
10,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,5	9,5	8,0

Podsumowanie i dyskusja wyników

Wynikiem zablizniania rany, będącego reakcją obronną drzewa przed negatywnymi skutkami odsłonięcia drewna, jest częściowa lub całkowita regeneracja zdartej kory. Proces ten zachodzi dzięki kambium graniczącemu z powierzchnią rany, który rozrasta się tworząc kalus [Strasburger i in. 1960], a następnie dzięki aktywności wtórnego kambium powstałego już w kalusie [Noel 1970]. Inicjacja powstawania kalusa, który w formie wałów zasklepowych powoli zarasta ranę, odbywa się na jej brzegach, równoległych do osi pnia [Szczerbiński 1959; Neely 1970; Giefing 1999]. Nie stwierdzono możliwości, aby rana zagoiła się dzięki wałom zasklepowym, powstającym tylko przy górnej lub dolnej jej krawędzi [Noel 1970].

Stwierdzone w wyniku badań średnie tempo zablizniania się rany w ciągu pierwszych 5 lat po uszkodzeniu (3,29 mm/rok) oraz w całym okresie zarastania spały (3,11 mm/rok) nie wykazują istotnej różnicy. Wartości te są mniejsze od podawanych dla świerka przez Vasiliauskasa [1994], które wynoszą od 3,4 mm/rok (średnia 10-letnia) i 3,5 mm/rok (średnia 5-letnia) do 3,7 mm/rok (średnia 15-letnia). Autor ten odnotował istotny spadek średniej szerokości wałów, do 2,9 mm/rok, w okresie 25 lat po spałowaniu. Z gatunków, które poddano takiej analizie, największym tempem zarastania rany cechuje się dąb błotny (*Quercus palustris* Muench.) oraz jesion amerykański (*Fraxinus americana* L.) – odpowiednio 33 mm/2lata i 36 mm/3lata [Neely 1970]. Nieco mniejsze wartości (10 mm/rok) otrzymano w przypadku dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) [Vasiliauskas 1998]. Wyniki tych badań zgodne są częściowo z szeregiem gatunków, ułożonym pod względem szybkości zablizniania ran, jaki podał Haber [1961]. Na pierwszym miejscu autor ten wymienił dąb i jesion, a później grab, buk i klon. Modrzew i sosna, zdaniem Habera, długo regenerują rany, jodła bardzo długo, a świerk najdłużej. Podobnie Jamrozy i in. [1991] na pierwszym miejscu stawiają jesion, później jodłę i wierzbę iwę, a na końcu świerk.

Z przeprowadzonych badań wynika, że tempo zarastania rany, wyrażone w wartościach bezwzględnych [mm/rok], nie zależy od rozmiarów spały i jej położenia wysokościowego na pniu. Natomiast gdy wyrażone jest w stosunku do szerokości rany [%], to wykazuje ujemną korelację z bezwzględną szerokością i powierzchnią spały oraz bardzo istotną ($P_{obl} < 0,01$), dodatnią zależność ze względną wysokością najwyższego jej krańca na pniu. Podobne zależności uzyskano pomiędzy tempem zarastania rany, wyrażonym liczbą lat niezbędną do zabliznienia

spały, a położeniem górnej krawędzi rany na pniu w stosunku do wysokości całego drzewa (korelacja ujemna, $P_{obl.} < 0,01$), bezwzględną szerokością (korelacja dodatnia, $P_{obl.} < 0,01$) i powierzchnią uszkodzenia (korelacja dodatnia, $P_{obl.} < 0,05$). Wynika stąd, iż szybciej goją się rany mniejsze o górnej granicy położonej wysoko na pniu w stosunku do wysokości całego drzewa w chwili jego spalowania. Częściowo znajduje to potwierdzenie w rezultatach badań przeprowadzonych na dębie szypułkowym [Vasiliaskas 1998], świerku sitkajskim [Welch i in. 1997] oraz jesionie amerykańskim, dębie błotnym i igliczni trójcierniowej [Neely 1970]. Autorzy tych badań stwierdzili, iż tempo zarastania rany u tych gatunków zależne jest od początkowej szerokości rany. Neely [1970] dodaje jednak, iż wysokość występowania spał na pniu nie wpłynęła na tempo ich gojenia się. Na rozmiar ran, a zwłaszcza ich szerokości, jako czynnika determinującego tempo zarastania wskazują również inni autorzy [Szczerbiński 1959; Haber 1961; Mercer 1984].

Szerokość rocznych wałów zasklepiających ranę może być uwarunkowana również potencjałem życiowym uszkodzonego drzewka [Szczerbiński 1959]. Czynniki ten, wyrażony w formie średniej szerokości przyrostów rocznych grubości pnia na wysokości rany z okresu trzyletniego i jednorocznego przed uszkodzeniem, okazał się bardzo istotny ($P_{obl.} < 0,01$), gdyż determinuje szybkość gojenia się ran. Podobną zależność stwierdzono w przypadku szerokości przyrostów rocznych grubości na wysokości spały, które powstały w pierwszych trzech latach po uszkodzeniu. Stąd można stwierdzić, że większy przyrost grubości pnia w okresie tuż przed i zaraz po spalowaniu skutkuje szybszym zabliznieniem rany. Do podobnych wniosków doszedł Neely [1970], który wykazał tę zależność dla okresu 3 lat po uszkodzeniu. Również Vasiliaskas [1994, 1998] stwierdził ten związek zarówno u świerka pospolitego dla okresu 5 i 15 lat po spalowaniu, jak i u dębu szypułkowego bez określenia przedziału czasowego.

Potencjał życiowy drzewka może być oceniony również za pomocą cech zewnętrznych, takich jak długość korony, tendencja wzrostowa lub żywotność. Na podstawie uzyskanych wyników ujawniły się ściśle zależności tych cech zarówno z szerokością wałów zasklepowych, jak i liczbą lat, w trakcie których nastąpiło zagojenie rany. Szczególnie widoczne jest to w przypadku względnej długości korony, która bardzo istotnie koreluje z liczbą lat niezbędną do zabliznienia rany (zależność ujemna, $P_{obl.} < 0,001$) oraz z średnią szerokością wałów zasklepowych, liczoną z całego okresu zarastania rany (zależność dodatnia, $P_{obl.} < 0,01$). Podobnie silne związki stwierdzono pomiędzy żywotnością a tempem zablizniania rany, przy czym, w przypadku średniej szerokości wałów zasklepowych, o istotności ich różnic pomiędzy klasami żywotności zdecydowała mała jej wartość u drzewek silnie osłabionych (4 klasa żywotności). Wskaźnik tendencji wzrostowej wykazał natomiast dodatni związek tylko z liczbą lat konieczną do całkowitego zagojenia rany.

W świetle przeprowadzonych badań oraz prac Jaworskiego i Skrzyszewskiego [1987] oraz Jaworskiego i in. [1995] można wnioskować, iż względna długość korony oraz żywotność determinuje, przez dodatni wpływ na szerokość przyrostów rocznych na promieniu, w sposób istotny również szerokość słoje rocznych zablizniających ranę. Ze względu na to, iż określenie tych cech w terenie nie sprawia raczej większych trudności, istnieje możliwość pozostawienia, w trakcie wykonywania cięć pielęgnacyjnych tych uszkodzonych jodełek, które cechują się koroną długą w stosunku do wysokości drzewka oraz dobrą żywotnością.

Dodatkowymi elementami, wpływającymi w sposób ujemny na szerokość wałów zasklepowych oraz długość okresu gojenia się ran, są wiek i pierśnica jodełki w momencie spalowania. Wynika stąd, iż młodsze drzewka mają większy potencjał życiowy, umożliwiając szybsze zabliznienie rany. Jodełki, które w momencie spalowania były w wieku do 23 lat, mają

możliwość zabliznienia rany w okresie do 8 lat. Przeciwną zależność (tzn. starsze okazy cechowały się szybszym gojeniem rany) stwierdzili Vasiliauskas [1998] u dębu szypułkowego oraz Mercer [1984] w grupie młodszych buków. U starszych buków zależność ta była podobna jak w przedstawianej pracy.

Szczerbiński [1959] i Haber [1961] wskazują także na jakość siedliska jako czynnik wpływający na tempo zablizniania ran. W ramach przedstawianej pracy nie został on jednak uwzględniony, bowiem wszystkie analizowane jodły pochodziły z drzewostanów rosnących na siedlisku lasu górskiego.

Analiza łącznego wpływu zmiennych, mających istotny związek z długością okresu gojenia się rany, wykazała, iż w opracowanym modelu względna długość korony wyjaśnia 40,3% zmienności liczby lat koniecznej do zabliznienia rany. Na drugim miejscu znalazła się bezwzględna szerokość rany, która zwiększyła współczynnik determinacji o 10,8 punktów procentowych. Wpływ obu tych cech na zmienność długości okresu okazał się istotny. Dwie zmienne, które wzięto pod uwagę w analizie regresji (względna wysokość najwyższego punktu rany na pniu (W2W) oraz wiek jodełki w momencie spałowania), nie zostały włączone do modelu ze względu na brak istotności. Pozostałe cechy: bezwzględna powierzchnia rany (PB), pierścina jodełki w momencie spałowania, żywotność oraz bezwzględna (SSC) i względna (WSSC) średnia szerokość słoja zablizniającego ranę, pozostające również w istotnym związku z długością okresu gojenia się ran, nie zostały włączone do analizy ze względu na ich współliniowość lub na brak możliwości określenia ich w drzewostanie. Wartość współczynnika determinacji (51,1%) nie pozwala nam na jednoznaczne i pewne wnioskowanie, gdyż prawie połowa zmienności długości okresu gojenia się ran zależy od innych czynników niż badane w tej pracy. Pomimo tego, oszacowano liczbę lat konieczną do zabliznienia rany na podstawie względnej długości korony (DKW) i szerokości bezwzględnej spały (SB) (tab. 4).

Wnioski

- ✦ Pojawienie się uszkodzeń w wyniku spałowania w odnowieniach jodłowych będących w fazie podrostu może nie być aż tak bardzo groźne, jak w przypadku wystąpienia ich w starszych fazach (żerdziowina, drągowina), kiedy drzewka nie mają już wystarczającego potencjału do zabliznienia ran. U młodszych, a zarazem cieńszych jodełek, które w momencie spałowania były w wieku do 23 lat, długość okresu gojenia się ran nie przekraczała 8 lat.
- ✦ Wydaje się celowe utrzymywanie odnowień jodłowych w umiarkowanym zwarciu ze względu na możliwość wykształcania przez drzewka długiej korony, utrudniającej dostęp jeleniom do pnia, a w przypadku wystąpienia uszkodzeń umożliwiającej w miarę szybkie ich zabliznienie.
- ✦ W trakcie cięć pielęgnacyjnych należy, w miarę możliwości, usuwać jodełki ze spałami starszymi (powyżej 10 lat), które się jeszcze nie zablizniły, gdyż w takich przypadkach istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo rozwoju infekcji grzybowej wewnątrz pnia. Pomocą w wyborze drzewek do usunięcia może być oszacowana w tej pracy długość okresu gojenia się rany w zależności od szerokości spały i względnej długości korony.

Literatura

- Barszcz P., Jamroz G. 2001. Deprecjacja drewna jodeł i jesionów spałowanych przez jelenie w lasach Beskidu Sądeckiego. Sylwan 12: 47-57.
- Bernadzki E. 1983. Zamieranie jodły w granicach naturalnego zasięgu. W: Jodła pospolita *Abies alba* Mill.. PWN Warszawa – Poznań.
- Giefing D. F. 1999. Podkrzesywanie drzew w lesie. Wyd. AR, Poznań.

- Gondko R., Zgirski A., Adamska M. 1994. Biostatystyka w zadaniach. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Haber A. 1961. Ochrona lasu przed zwierzyną. PWRiL, Warszawa.
- Jamroz G., Kubacki T., Tomek A., Zygarowicz F. 1981. Szkody wyrządzone przez jelenie i sarny w lasach karpakich. Sylwan 3: 27–36.
- Jaworski A., Pach M., Szar J. 1995. Kształtowanie się zależności między cechami biomorfologicznymi korony i żywotnością a 10-letnim przyrostem promienia pierśnic jodeł. Acta Agr. Silv. ser. Silv. 33: 133–140.
- Jaworski A., Skrzyszewski J. 1987. Ocena żywotności drzewostanów jodliowych w Beskidzie Sądeckim na podstawie wybranych cech przyrostowych i morfologicznych. Sylwan 7: 1–14.
- Mercer P.C. 1984. The effect on beech of bark-stripping by grey squirrels. Forestry 2: 199–203.
- Neely D. 1970. Healing of wounds on trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95, 5: 536–540.
- Noel A. 1970. The girdled tree. Bot. Rev. 36: 162–195.
- Pach M. 2002. Spalowanie jodły na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy (Beskid Sądecki) i jego wpływ na wybrane cechy morfologiczne koron. Acta Agr. Silv. ser. Silv. 40: 31–47.
- Pach M. 2003. Wpływ spalowania powodowanego przez jelenie na szerokość słoików rocznych pni jodeł. Acta Agr. Silv. ser. Silv. 41: 75–82.
- Pach M. 2004. Wpływ spalowania powodowanego przez jelenie na przyrost wysokości i miąższości jodeł (*Abies alba* Mill.). Acta Agr. Silv. ser. Silv. 42: 35–48.
- Pach M. 2005. Zasięg i dynamika rozprzestrzeniania się zgnilizny wewnątrz pni jodeł w wyniku ich spalowania przez jeleniowate. Sylwan 5: 23–35.
- Shigo A.L. 1972. Ring and Ray Shakes Associated with Wounds in Trees. Holzforschung, 26, 2: 60–62.
- Shigo A.L. 1984. Compartmentalization: A conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. Ann. Rev. Phytopathol. 22: 189–214.
- Steczkowski J., Zeliaś A. 1997. Metody statystyczne w badaniu zjawisk jakościowych. Akademia Ekonomiczna, Kraków.
- Strasburger E., Noll F., Schenk H., Schimper A. F. W. 1960. Botanika. PWRiL, Warszawa.
- Szczerbiński W. 1959. Spalowanie sosny i świerka przez grubą zwierzynę łowną. Sylwan 8: 31–40.
- Szukiel E. 1982. Wpływ przegęszczenia jeleni na odnowienia w lasach bieszczadzkich. Sylwan 1-3: 41–47.
- Tadeusiewicz R., Izworski A., Majewski J. 1993. Biometria. Wyd. AGH, Kraków
- Vasiliauskas R. 1994. Wound healing rate and its influence on spread of decay in spruce. Proc. Lithuanian Forest Res. Inst. 34: 207–212.
- Vasiliauskas R. 1998. Patterns of wounding and decay in stems of *Quercus robur* due to bark peeling. Scand. J. For. Res. 13: 437–441.
- Welch D., Scott D., Staines B. W. 1997. Bark stripping damage by red deer in a Sitka spruce forest in western Scotland. III Trends in wound condition. Forestry 70, 2: 113–120.

SUMMARY

The rate of bark-stripping wound closure in fir and some factors affecting it

The aim of the research was to determine the rate of wound closure expressed in the width of wound closure and the time needed for a wound to heal. Factors affecting it were identified as well. The research was conducted in the territory of the Forest Experimental Station in Krynica (Beskid Sądecki) at ten study sites established in the stands with the fir injured (bark stripping) by red deer.

On the basis of the performed research, the following was determined:

- The average rate of wound closure expressed in average annual rings closing the wound during the entire period of wound healing was 3.11 mm/year and in the first five years after injury – 3.29 mm/year. A more rapid closure was observed in wounds with smaller absolute widths and surface areas.
- The higher values of average widths of wound closure from the entire period of wound healing were related to greater average annual ring widths measured at a wound height from a 3- and 1-year period after and before wounding and from 5-years period after wounding (Table 1).

- Among the crown morphological characteristics analysed in this paper, the vigour and live crown ratio had a significant effect on wound closure. The longer was the crown in relation to the height of the whole stem and the better was the vigour of a tree, the larger was the average width of wound closure (Fig. 2, Table 2).
- Younger fir trees, i.e. having smaller diameters showed wider rings closing the wound (Table 2).
- The average time of wound healing was 8 years (min. 3 – max. 17). More rapid closure was in the wounds where absolute width and surface area were smaller and in those whose highest point on the stem in relation to the whole stem length was uppermost.
- The analysis of the effect of crown morphological characteristics on the time of wound healing showed that the live crown ratio, vigour and growth tendency were directly related to the number of years over which the healing process was completed. The longer is the crown in relation to the whole fir height, better vigour and growth tendency, the more rapid is the wound closure (Fig. 3).
- The correlation and multiple regression analysis showed that the live crown ratio had the highest share (40.3%) in explaining the variation in the wound healing time. The absolute width of a wound was another factor that had a significant effect on the time needed for wound closure causing an increase in the determination coefficient value up to 51.1% (Table 3 and 4).
- The healing time for younger and consequently thinner fir trees which in the moment of wounding were 23 years old did not exceed 8 years (Fig. 4).
- Because of the ability of fir trees to develop long crowns obstructing the access of red deer to the stem and enabling, if the injury occurs, a quick wound closure it seems reasonable to maintain fir regeneration at a moderate stocking density.
- Older fir trees (over 10 years) which have not healed yet should be, if possible, removed during improvement cutting, as the development of fungal infections inside the stem is highly probable in such cases. The healing time related to wound width and relative crown length estimated in this paper may be helpful in selecting trees for removal.