

ANDRZEJ KLOCEK, LECH PŁOTKOWSKI

## Problemy optymalizacji nawrotu trzebieży

Проблемы оптимализации оборота рубок ухода

Optimization problems of the thinning cycle

### I

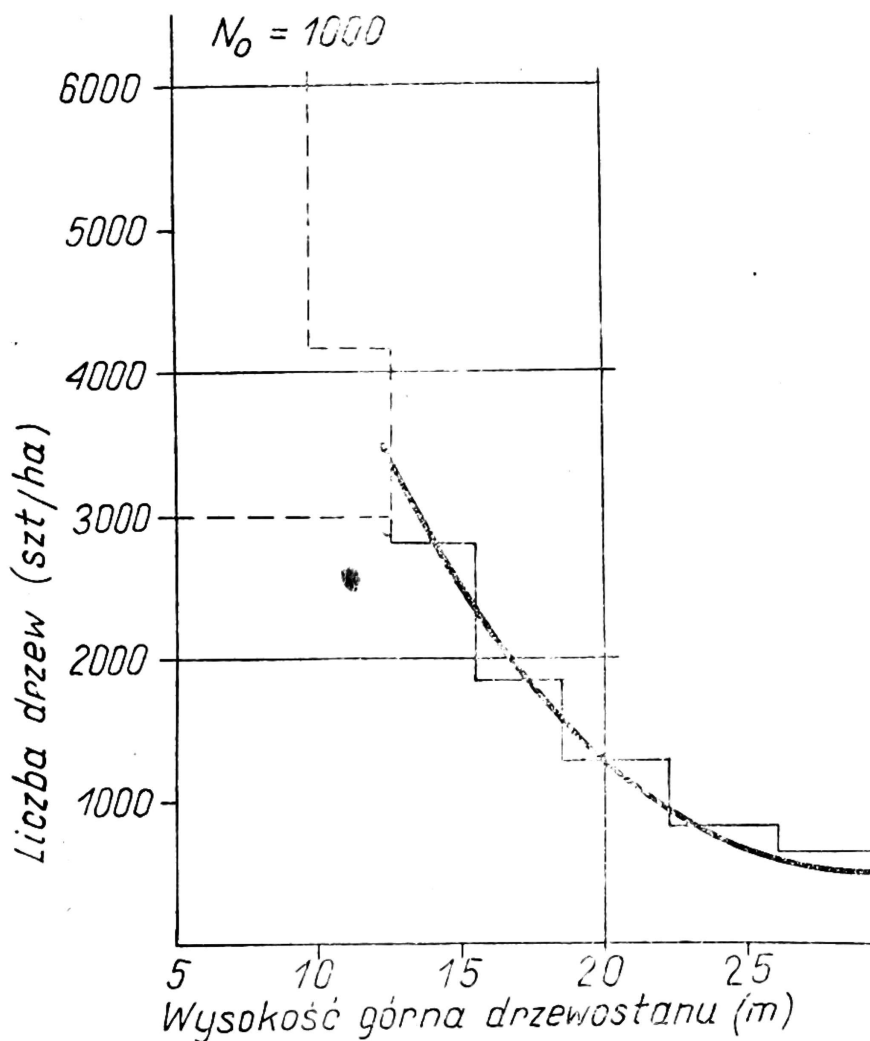
Analiza przyczynowo-skutkowa zjawiska konkurencji drzew doprowadziła w wielu krajach do rozwoju ekologicznego kierunku trzebieży. Jednym z celów tego kierunku było i jest nadal opracowanie skwantyfikowanych metod kierowania zagęszczeniem drzew w drzewostanie. Znalazło to wyraz między innymi w zaproponowanej przez P. A b e t z a (1) tzw. krzywej kierującej liczbą drzew. Posługiwanie się taką krzywą lub podobnymi technikami optymalizującymi gęstość drzewostanu wymaga według H. Thomasiusa (9) rozstrzygnięcia dwóch kwestii, tj. wyboru kryterium sterowania trzebieżami oraz określenia wielkości kroku-nawrotu trzebieży. Ta ostatnia wielkość w ujęciu wymienionego autora informuje o odstępach dzielącym poszczególne cięcia oraz ich nasileniu. Jednakże w polskiej literaturze na ogół rozróżnia się pojęcia nawrotu i nasilenia trzebieży (10), utożsamiając nawrót z okresem zawartym między kolejnymi cięciami trzebieżowymi.

Przeprowadzona przez H. Thomasiusa analiza stosowanych miar odstepu między kolejnymi cięciami pielęgnacyjnymi wskazuje na trzy kryteria sterowania trzebieżami:

- 1) nawrót wg przedziału czasu,
- 2) nawrót wg przyrostu wysokości (na ogół górnej),
- 3) nawrót wg liczby wycinanych lub pozostawianych drzew.

Dla wymienionych kategorii H. Thomasius przyjmuje i rozpatruje zawsze równe odstępki dzielące poszczególne cięcia. Takie stanowisko oznacza zawężenie procesu sterowania nawrotem trzebieży do tzw. sterowania stałowartościowego, w którym wielkość danej kategorii sterującej jest zawsze constans (6), niezależnie od zmian zachodzących w drzewostanie. Wydaje się, że w pewnym stopniu jest ono wynikiem niedostatecznego jeszcze rozpoznania praw wzrostu i rozwoju drzewostanów, łącznie z procesami homeostatycznymi, a po części także rezultatem pewnego schematyzmu w planowaniu cięć trzebieżowych. Potwierdzają to dotych-

czasowe koncepcje budowy tablic zasobności, przyjmujące stałość wg przedziału czasu (na ogół 5-letnie nawroty). Podobne zjawisko ma miejsce przy wyznaczaniu trzebieży za pomocą stosowanej w krajach zachodnich krzywej kierującej liczbą drzew w zależności od wysokości górnej drzewostanu. Tak właśnie przedstawia się sytuacja na ryc. 1, na której oprócz krzywej kierującej zaznaczono przebieg ścieżki trzebieżowej dla drzewostanów świerkowych o różnej więźbie początkowej (10 000, 5000 oraz 3000 sadzonek/ha) przy nawrocie wynoszącym 3 m przyrostu wysokości górnej. Nawrotowi temu, jak podaje F. F r a n z (3), odpowiada



Ryc. 1. Krzywa kierująca liczbą drzew w drzewostanach świerkowych bonitacji 32, założonych w różnej więźbie początkowej wg bawarskich tablic zasobności

interwał czasu 6—7 lat w młodszych drzewostanach i 10—11 lat dla ostatnich cięć trzebieżowych. To wykluczanie się stałości nawrotów określanych wg różnych kryteriów wskazuje na dominujące wręcz znaczenie tego zagadnienia w kształtowaniu polityki trzebieżowej. Dopóki nie zostanie ono jednoznacznie rozwiązane, należałoby więc odejść od rygору równości nawrotów, tym bardziej że mogłoby to stanowić poważną przeszkodę w poszukiwaniu optymalnej strategii sterowania trzebieżami, co po-

twierdzą badania wielu autorów (4, 5). Zresztą przyszłe zachowanie się drzewostanów nigdy nie jest w pełni zdeterminowane; zachodzące w nim pod wpływem otoczenia zmiany mają raczej charakter przypadkowy, nie znany z góry. Do tej rzeczywistości bardziej adekwatne byłoby sterowanie nadążne, a nie stałowartościowe.

## II

Niezależnie od przyjętego kryterium i metody sterowania trzebieżami pozostaje do rozwiązania nie mniej ważny problem, jakim jest intensywność trzebieży obejmująca swym zakresem wielkość nawrotu wraz z nasileniem cięć. O newralgicznym znaczeniu tego problemu świadczy jego wpływ na biologiczny stan drzewostanów łącznie z ich odpornością na klęski żywiołowe, ekonomiczną efektywność użytkowania przedrębego, a nawet użytkowania rębego. Ta wielorakość oddziaływania nawrotu trzebieży powoduje, że racjonalizacja jego wielkości nie jest sprawą łatwą, zwłaszcza z uwagi na podkreślaną przez W. Henkela (4) niewymierność wielu celów stawianych trzebieżom. Świadczą o tym dobitnie argumenty przemawiające za zmniejszaniem lub zwiększaniem nawrotów trzebieży. Na rzecz małych nawrotów trzebieży przemawiają na ogół następujące korzyści:

- 1) poszczególne cięcia wywołują niewielkie odchylenia zagęszczenia drzewostanu od poziomu optymalnego,
- 2) częsta i mała redukcja liczby drzew nie powoduje szoku i destabilizacji rozwoju drzewostanów,
- 3) błędy cięć nie wywołują większych następstw i mogą być łatwo wyrównane,
- 4) częste cięcia zapobiegają kumulowaniu się posuszu, co z kolei:
  - a) wpływa korzystnie na stan sanitarny lasu,
  - b) zapobiega deprecjacji surowca drzewnego.

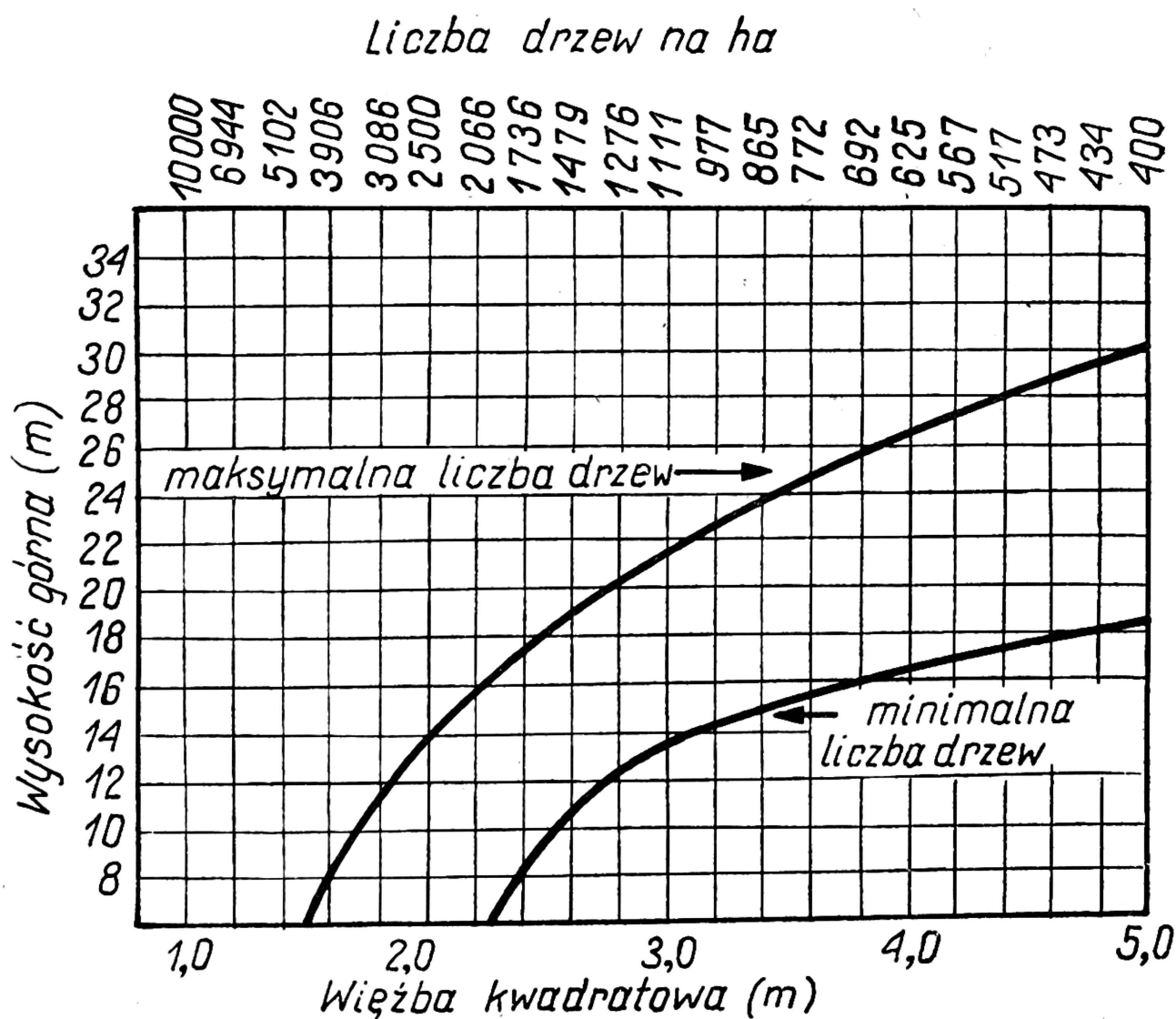
Częste trzebieże są również źródłem wielu ujemnych zjawisk, do których należy zaliczyć:

- 1) zwiększenie powierzchni drzewostanów objętych corocznymi cięciami,
- 2) zmniejszenie rozmiarów pozyskania z jednostki powierzchni,
- 3) wzrost pracochłonności pielęgnacji oraz duże rozproszenie robotników wykonujących cięcia,
- 4) mała efektywność mechanizacji cięć; zjawisko to pogłębia się w miarę wzrostu mechanizacji prac.

Z powodu tych negatywnych zjawisk, przekreślających zwłaszcza opłacalność wzrostu mechanizacji prac pielęgnacyjnych, w wielu krajach zaczęto stosować duże nawroty cięć (9). Równocześnie podjęto wysiłki zmierzające do racjonalizacji nawrotu trzebieży. Początkowo koncentrowano uwagę przede wszystkim na ocenie wpływu zwiększania nawrotu trzebieży na przyrost miąższości i wartości drzewostanów. Szybko jednak okazało się, że problemu tego nie można rozwiązywać w oderwaniu od przyjętego celu produkcji leśnej oraz wpływu nawrotu na stan sanitarny lasu (4, 6, 8). W tej sytuacji w pełni zasadny stał się postulat H. Thomasiusa (9), aby przy ustalaniu nawrotu trzebieży rozważyć wszyst-

kie plusy i minusy jego zwiększania i na tej podstawie znaleźć rozwiązanie optymalne.

Realizacja powyższego postulatu nie jest sprawą łatwą. Świadczą o tym chociażby trudności występujące przy wyznaczaniu nawrotu trzebieży za pomocą krzywej sterującej liczbą drzew. Dopuszcza ona bowiem różne strategie trzebieży różniące się intensywnością, a więc zarówno nawrotem jak i nasileniem cięć. Przekonał się o tym H. Braastad (2), który opracował dla drzewostanów sosnowych w Norwegii krzywe maksymalnej i minimalnej liczby drzew w zależności od wysokości górnej i więźby drzewostanu dla danej jego bonitacji. Ilustruje to ryc. 2, na której zaznaczona strefa tolerancji stwarza możliwość planowania trzebieży o różnym nawrocie.



Ryc. 2. Maksymalna i minimalna liczba drzew w drzewostanach sosnowych Norwegii, w zależności od więźby i wysokości górnej drzewostanu

### III

Z dostępnej literatury wynika, że jedyną — jak do tej pory — próbę opracowania ścisłej metody wyznaczania optymalnego nawrotu trzebieży na przykładzie drzewostanów świerkowych w NRD podjęli E. Kohls-

dorf i C. Richter (6). Przedstawiona przez nich metoda mierzy do ustalenia takiego nawrotu trzebieży mierzzonego przyrostem wysokości drzewostanu, przy którym dochód czysty z użytkowania przedrębego i przyrostu miąższości osiągnie maksimum. Zamiar ten ma sens tylko wtedy, gdy ważniejsze elementy decydujące o poziomie dochodu zmieniają się nieliniowo wraz ze zwiększaniem nawrotu trzebieży, a w rezultacie, gdy funkcja dochodu wykazuje punkty ekstremalne. Jednym z nich jest wydajność pracy żywej i uprzedmiotowionej zaangażowanej przy pozyskaniu drewna. Otóż według badań R. Richtera wydajność pracy ludzi i maszyn stale rośnie w tempie malejącym w miarę wzrostu nawrotu trzebieży w przedziale od 1 do 4 m przyrostu drzewostanów. Na przykład zwiększenie nawrotu trzebieży z 1 do 2 m przyrostu wysokości powoduje wzrost wydajności pracy średnio o 4% przy ręcznym okrzesywaniu i o 6% przy stosowaniu okrzesywarki EA 35.

Powyższa prawidłowość sprawia, że w miarę wzrostu nawrotu trzebieży  $m_{\Delta}$  koszty własne produkcji drewna (K) przeliczone na 1 ha powierzchni leśnej stale maleją najpierw w tempie rosnącym, a później malejącym.

Zwiększanie nawrotu trzebieży wywołuje jednak również skutki negatywne. Należy do nich obniżenie produkcji drewna, które występuje po przekroczeniu pewnego krytycznego nawrotu trzebieży. Równocześnie w miarę wzrostu nawrotu ulega deprecjacji wartość surowca drzewnego przede wszystkim w drzewostanie podrzędnym na skutek przetrzymywania na pniu posuszu, a także w drzewostanie głównym w wyniku ujemnego oddziaływania tegoż właśnie posuszu. Na tej podstawie Ch. Richter określił funkcję dochodu brutto (D) w zależności od nawrotu trzebieży  $m_{\Delta}$ . Odejmując następnie od dochodu brutto (D) koszty produkcji (K) otrzymał funkcyjny związek między dochodem netto (R) a nawrotem trzebieży ( $m_{\Delta}$ ):

$$R(m_{\Delta}) = D(m_{\Delta}) - K(m_{\Delta}) \quad (1)$$

Funkcja ta osiąga maksimum przy nawrocie trzebieży spełniającym poniższy warunek:

$$\frac{dR}{dm_{\Delta}} = 0 \quad (2)$$

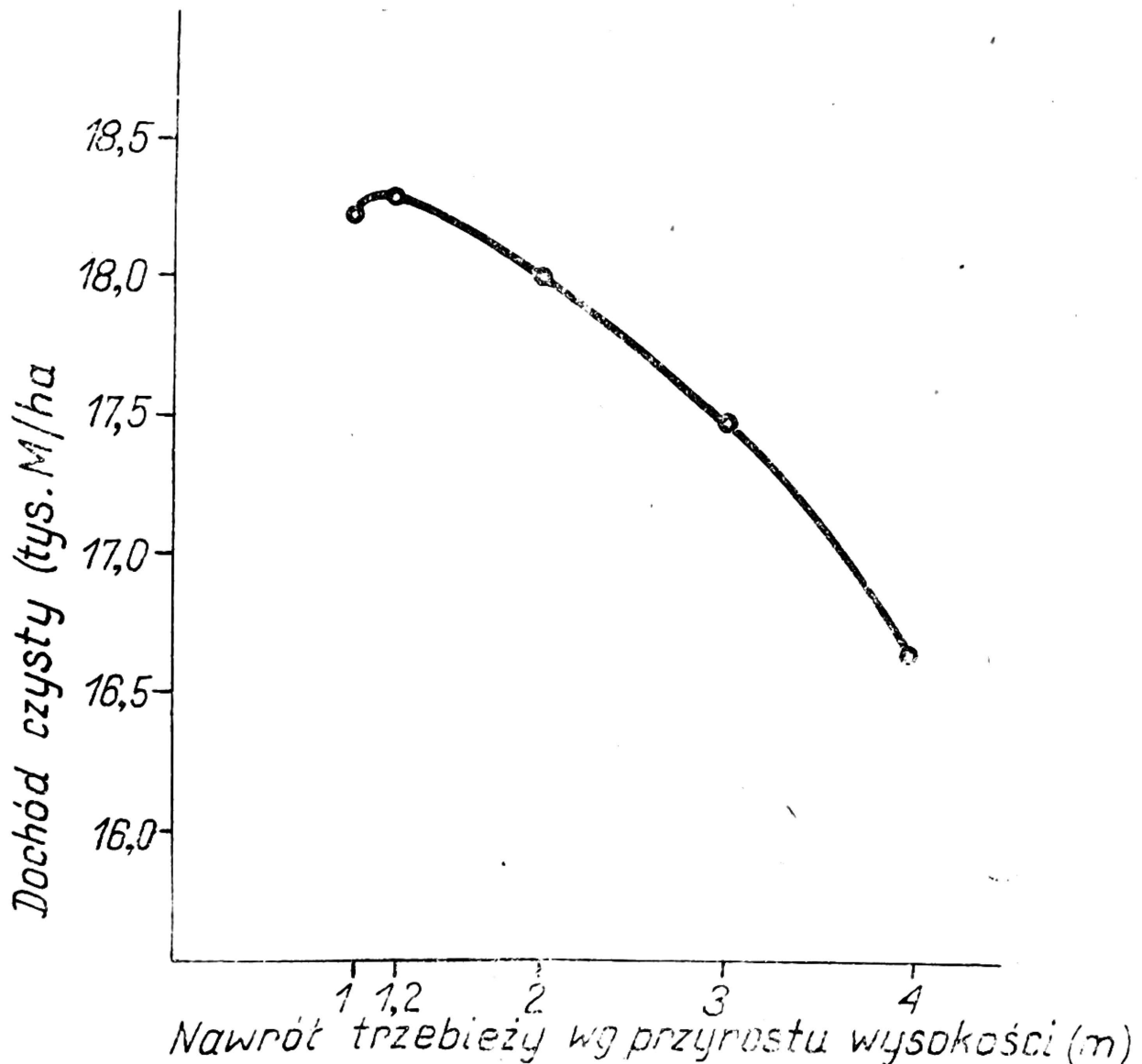
Ponieważ

$$\frac{dR}{dm_{\Delta}} = \frac{dD}{dm_{\Delta}} - \frac{dK}{dm_{\Delta}} \quad (3)$$

stąd warunek (2) przyjmuje postać:

$$\frac{dD}{dm_{\Delta}} = \frac{dK}{dm_{\Delta}} \quad (4)$$

Otrzymany warunek (4) informuje, że w punkcie ekstremalnym funkcji  $R$  pochodne (w przybliżeniu przyrosty bieżące roczne) funkcji dochodu brutto oraz kosztów własnych produkcji są sobie równe. Warunek ten dla analizowanych przez E. Kohlsdorfa i R. Richtera drzewostanów świerkowych o bonitacji 32 spełnia, jak wynika z ryc. 3, nawrót trzebieży wynoszący 1,2 m przyrostu wysokości.



Ryc. 3. Zależność dochodu czystego na hektar od nawrotu trzebieży wg przyrostu wysokości dla drzewostanów świerkowych o bonitacji 32

Powyższy wynik należałoby traktować jako przeciętnie optymalny w całym okresie życia drzewostanu objętym trzebieżami. Jest bowiem oczywiste, że istotny wpływ na kształtowanie się elementów dochodu netto ma nie tylko nawrót trzebieży, lecz także wiek drzewostanu, w którym wykonywane są cięcia pielęgnacyjne. Dlatego równanie (1) należałoby traktować jako funkcję dwóch zmiennych:  $m_{\Delta}$  — nawrotu trzebieży oraz  $t$  — wieku drzewostanu, czyli:

$$R(m_{\Delta}, t) = D(m_{\Delta}, t) - K(m_{\Delta}, t) \quad (5)$$

Warunkiem koniecznym ekstremum powyższej funkcji jest to, aby jej pochodne cząstkowe względne  $m$  oraz  $t$  były równe zeru. Stąd rozwiązując układ równań:

$$\frac{\partial R}{\partial m} = 0 \text{ oraz } \frac{\partial R}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

można będzie wyznaczyć punkty krytyczne funkcji (5).

#### IV

Obliczone na podstawie równań (4) lub (5) nawroty trzebieży nie zawsze jednak będą mogły być stosowane w praktyce gospodarczej. Przy ich ustalaniu pominięto bowiem niektóre okoliczności szczególnie istotne w planowaniu trzebieży. Należą do nich chociażby ograniczenia wynikające ze stosowania skoncentrowanych form organizacji prac pielęgnacyjnych i pozyskaniowych. Decydujące jednak znaczenie przy określaniu nawrotu trzebieży ma stan sanitarny lasu, który w wielu wypadkach wymusza przyspieszenie wykonania cięć, a w związku z tym i zmianę przyjętego nawrotu. Wyłaniająca się wtedy konieczność korekty nawrotu zależy głównie od rozmiaru szkody w drzewostanie oraz od czasu, jaki dzieli wystąpienie szkody od następnego cięcia pielęgnacyjnego. Biorąc pod uwagę te dwa elementy E. Kohlsdorf i Ch. Richter opracowali diagram umożliwiający określenie sytuacji, w której cięcia sanitarne można połączyć z trzebieżowymi, a w jakiej należy je wykonać oddzielnie (ryc. 4). Zdaniem wymienionych autorów połączenie tych cięć powinno mieć miejsce w dwóch zasadniczych przypadkach, tj. gdy: a) niezależnie od rozmiaru szkody, mierzonych udziałem drewna uszkodzonego, czas oczekiwania na cięcia trzebieżowe jest krótki oraz b) niezależnie od czasu oczekiwania na kolejną trzebież występuje duży udział drewna uszkodzonego. Pierwszemu z tych przypadków odpowiadają na ryc. 4 warianty od V/1 do V/4, natomiast drugiemu — warianty od I/5 do IV/5. Wariant V/5 łączy obydwie przypadki.

Dopuszczalne wydaje się połączenie cięć trzebieżowych i sanitarnych również w przypadku wariantów III/4 oraz IV/3. Spowoduje ono jednak znaczne skrócenie nawrotu trzebieży, które dla wariantu III/4 wyniesie 2 lata, a dla wariantu IV/3 aż 3 lata. W rezultacie nastąpi wzrost całkowitego rozmiaru pozyskania w użytkowaniu przedrębny, w tym także drewna uszkodzonego. Stąd też ostateczna decyzja powinna uwzględniać nie tylko stan sanitarny lasu, ale i możliwości wykorzystania zwiększonych ilości pozyskanego drewna (6). Jednocześnie należy pamiętać, że dłuższe przetrzymywanie na pniu drzew uszkodzonych pogłębia ich deprecjację, co z kolei może pogorszyć stan sanitarny lasu.

Czas oczekiwania na kolejne cięcia pielęgnacyjne (lat)		Procentowy udział drewna uszkodzonego w planowanym kolejnym cięciu pielęgnac.				
		≤ 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	> 80
Wariant		1	2	3	4	5
5	I					
4	II					
3	III					
2	IV					
1	V					

obszar rozdziału cięć

obszar łączenia cięć

+

+

+

+

+

Ryc. 4. Obszary koordynacji cięć sanitarnych i trzebieżowych w zależności od udziału drewna uszkodzonego i czasu oczekiwania na kolejne cięcia pielęgnacyjne przy 5-letnim nawrocie trzebieży

Z podobnymi okolicznościami należy się liczyć również przy rozpatrywaniu konieczności rozdzielenia cięć sanitarnych i trzebieżowych w sytuacjach reprezentowanych przez warianty I/4, II/3, III/2 i IV/1. Podstawę jednoznacznych rozstrzygnięć może tu stanowić jedynie znajomość wyników pogłębionych badań w zakresie wpływu drzew uszkodzonych na stan sanitarny lasu i deprecjację surowca drzewnego.

Z Katedry Ekonomiki i Organizacji  
Przedsiębiorstw Leśnych SGGW-AR  
w Warszawie

#### LITERATURA

1. Abetz P.: Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen. Allg. Forstz. 1975 Jg. 30 Nr. 33—34.
2. Braastad H.: Tynning. Norsk Institutt for Skogforskning Ås — NLH. 1978 (Materiał powielany).
3. Franz F.: Zur Forstentwicklung der Durchforstungsverfahren aus der Sicht der Waldertragskunde. Forstarchiv 1974 Jg. 45 H. 2—3.
4. Henkel W.: Die Wahl eines rationellen Pflgeturnus in Kiefernbeständen. W: Aktuelle Probleme der Kiefernwirtschaft. Internationales Symposium des Institutes für Forstwissenschaften Eberswalde. Tagungsberichte 1965 Nr. 75.



5. Killki P., Väisänen U.: Determination of the optimum cutting policy for the forest stand by means of dynamic programming. Acta For. Fen. 1969 Vol. 102.
6. Kohlsdorf E., Richter Ch.: Ökonomische und organisatorische Probleme bei der Festlegung der Durchforstungsintervalle bei der Baumart Fichte. W: Industriemässige Produktionsmethoden der Rohholzbereitstellung aus Fichtenvornutzungen. Wissenschaftliche Tagung. Dresden TU 1974.
7. Mynarski S.: Elementy teorii systemów i cybernetyki. Warszawa: PWN 1979.
8. Prien S., Schubert D., Knorr G.: Durchforstungsintervall in Fichtenbeständen und Forstschutz. Beitr. Forstwirtsch. 1983 Jg. 17 Nr. 2.
9. Thomasius H.: Pflanzenzahlen, Pflanzenverbände und Durchforstungen bei der Baumart Fichte unter dem Blickpunkt eines Einsatzes von Grossmaschinen für die Rohholzbereitstellung aus Vornutzungen. W: jak poz. 6.
10. Włoczewski T., Ilmurzyński E.: Hodowla lasu. Warszawa: PWRiL 1975.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 20 stycznia 1986 r.

#### Краткое содержание

Одним из существенных элементов в процессе планирования рубок ухода является определение оборота, или интервала времени разделяющего очередные рубки ухода. Проведенный в статье анализ указывает на возможность принятия разных критериев определения оборота рубок ухода, например, согласно интервалу времени, прироста верхней части высоты насаждения, количества удаляемых или оставляемых деревьев. Оптимализация рассматриваемого оборота, независимо от принятых критериев, должна учитывать не только экономические факторы, но также его влияние на биологическое состояние насаждений включая их устойчивость против стихийных бедствий. В связи с этим до сих пор результаты оптимализации оборота рубок ухода представлены очень скромно и эта проблема требует дальнейших комплексных исследований.

#### Summary

Determination of the thinning cycle, i.e. of the period between succeeding tending cuttings, is one of essential elements of the process of planning. Analysis made in the paper shows the possibility of using various criteria at determining the thinning cycle, e.g. after the time interval, after the increment of the upper height of stand, after the number of removed or left trees. The optimization of discussed cycle, independently of adopted criteria, should take into account not only economic factors, but also its influence on the biological state of stands, inclusive of their resistance to elemental calamities. Thus, for these reasons results of optimization of the thinning cycle obtained so far are very modest and the problem requires further complex studies.