

METODYKA

WŁADYSŁAW AULAK

Instytut Ochrony Lasu i Drewna
Akademii Rolniczej
WarszawaBłędy metod szacowania produkcji runa leśnego
opartych na stanach biomasErrors in methods for estimating forest herb layer
production based on states of biomass

Badania produkcji netto runa prowadzone są w zasadzie dla dwóch celów. Pierwszym z nich jest analiza produktywności ekosystemów leśnych, drugim zaś obliczenie zasobności zerowej ekosystemu dla roślinożerców. Ze względu na dużą zmienność przestrzenną produkcji runa, zróżnicowanie gatunkowe, różną dynamikę rozwojową poszczególnych gatunków oraz pracochłonność badań stosujemy metody pośrednie lub przyjęte jako bezpośrednie, szacowania rocznej produkcji runa. Każda z nich jest obarczona pewnymi błędami, co w efekcie daje nam tylko w różnym stopniu przybliżone wartości produkcji rzeczywistej.

Najprostszą metodą jest szacowanie produkcji według bezpośredniego zbioru roślin. Zbiór może być dokonany wielokrotnie w ciągu roku, co daje nam w efekcie roczny plon, czyli roczną produkcję. Ponieważ u większości gatunków jednokrotne skoszenie przerywa dalszą produkcję, dlatego też zazwyczaj kosimy (zbieramy) w okresie maksymalnego stanu biomasy. Można więc tę metodę nazwać szacowaniem według maksymalnego stanu biomasy. Metodę zbioru bezpośredniego można w pewnym stopniu urealnić przez zbiór poszczególnych gatunków w okresie ich maksymalnej biomasy a nie w okresie maksymalnej biomasy ogólnej płatu roślinnego.

Dla gatunków zimozielonych, a więc takich, których biomasa wyprodukowana w poprzednim roku rzutuje na stan zbioru w danym roku, stosujemy metodę *O d u m a* (1960). Polega ona na obliczeniu różnic stanów maksymalnych i minimalnych biomasy każdego gatunku w okresie rocznym oraz zsumowaniu tych wielkości dla całego badanego płatu.

Dla określenia produkcji w poszczególnych przedziałach czasowych stosujemy metodę sumy różnic stanów biomasy między poszczególnymi terminami zbiorów. Nie musimy więc tu wzrokowo określać momentu osiągnięcia maksimum biomasy przez poszczególne gatunki lub płat roślinny. Suma dodatnich wartości różnic stanów biomasy daje nam produkcję roczną.

Można też zamiast analizy biomasy żywej szacować produkcję na podstawie analizy materii martwej, tempa jej ubywania i stanów w poszczególnych terminach obserwacji (*Wiegert i Evans 1964*). Teoretycznie efekt jest ten sam, bez względu na to, czy badamy biomasę w okresie jej powstawania czy zanikania.

Wreszcie znacznie doskonalszą metodą od wyżej wymienionych jest metoda *Traczyka* (1967), oparta na analizie populacji każdego gatunku osobno. Przy tym produkcję oblicza się jako iloczyn stwierdzonego w danym terminie zagęszczenia (D) oraz przeciętnego przyrostu osobniczego (G) obliczonego jako przeciętna biomasa osobnicza w okresie maksymalnego ciężaru jednostkowego w populacji danego gatunku.

Ponieważ warto zdawać sobie sprawę z możliwych błędów, ich znaków oraz określających je parametrów, przeanalizujemy relację między stanami biomas i produkcją.

Wśród roślinności runa można wyróżnić trzy podstawowe typy rozwojowe związane z biologią gatunków:

I typ — rośliny roczne, niezimujące, a więc takie, których stan biomas po zejściu pokrywy śnieżnej = 0.

II typ — rośliny zimozielone, to znaczy takie, których osobniki ubiegłoroczne nie produkują biomas w danym roku, a stan biomas po zejściu pokrywy śnieżnej jest większy od 0.

III typ — rośliny dwu- lub wieloletnie, których osobniki ubiegłoroczne produkują nową biomasę w danym roku, a stan biomas po zejściu śniegu jest wyższy od 0.

Rozpatrzmy, jak wygląda stan biomas poszczególnych typów w cyklu rocznym (fig. 1).

Typ I — stan biomas po zimie = 0. W miarę wyrastania i wzrostu osobników stan biomas populacji powiększa się aż do pewnego maksimum, a następnie maleje aż do 0 przed okresem zimy.

Typ II — stan biomas osobników ubiegłorocznych w okresie po zejściu śniegu jest wyższy od 0. W miarę pojawiania się i wzrostu osobników nowych biomas populacji wzrasta aż do maksimum i następnie opada do stanu, który wkracza w okres zimowania. W tym czasie osobniki ubiegłoroczne, nie produkujące w danym roku, zmniejszają swą biomasę, osiągając poziom zerowy najczęściej przed maksimum stanu biomas populacji w danym roku.

Typ III — stan biomas osobników ubiegłorocznych w okresie po zejściu śniegu jest wyższy od zera. Dalej zmiany biomas populacji przebiegają podobnie jak w typie II, z tym, że osobniki ubiegłoroczne produkują w danym roku oraz eliminowane są stopniowo, często wkraczając w okres ponownego zimowania (rośliny wieloletnie).

W typie I biomas populacji w aspekcie rocznym równa jest biomasie osobników tegorocznych.

W typie II do pewnego momentu biomas populacji składa się z osobników ubiegłorocznych i tegorocznych, a po zupełnej eliminacji produkcji ubiegłorocznej stan biomas wynika z obecności tylko osobników tegorocznych.

W typie III przez cały rok biomas populacji składa się z biomas ubiegłorocznej i tegorocznej.

Stosowane metody szacowania produkcji runa oparte o stany biomas obarczone są błędem wynikającym z braku możliwości uchwycenia zmian zachodzących w populacji między poszczególnymi terminami obserwacji. Ponadto obarczone są one dodatkowo błędami wynikającymi z różnorodności typów rozwojowych gatunków runa.

Do dalszych rozważań wprowadźmy następujące oznaczenia:

$S_{1,2,3,4,5,6}$ — stan biomas populacji w terminach od 0 (po zimie) do 6,
 $W_{1,2,3,4,5,6}$ — biomas wyeliminowanych osobników ubiegłorocznych w okresach 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6,

- P — wielkość produkcji oszacowanej metodami pośrednimi po eliminacji błędów wynikających z istnienia biomasy ubiegłorocznej,
 M — produkcja oszacowana metodami pośrednimi bez uwzględnienia błędów wynikających z istnienia biomasy ubiegłorocznej,
 $M - P$ — błąd metod pośrednich.

Graficzne przedstawienie dynamiki stanu biomasy w aspekcie rocznym dla wyróżnionych trzech typów rozwojowych przedstawia figura 1.

Oszacowaną wielkość produkcji według metod pośrednich (M), wartości produkcji po uwzględnieniu błędów (P) oraz wielkość błędów ($M - P$) podano w tabeli I.

Dla typu I wszystkie trzy analizowane metody nie wykazują różnic między P a M . Wynika to z braku biomasy ubiegłorocznej w cyklu rocznym.

Dla typu II, przy założeniu, że biomasa ubiegłoroczna zostaje wyeliminowana przed S_{\max} ($=S_3$), co zdarza się najczęściej, metoda oszacowania produkcji według stanu maksymalnego biomasy nie daje rozbieżności między M i P . Przy metodzie szacowania produkcji według różnicy stanów biomasy maksymalnej i minimalnej powstaje błąd ($= -S_0$) wynikający z braku w terminie S_{\max} ($=S_3$) biomasy ubiegłorocznej. Stąd wartość S_{\max} niepotrzebnie zmniejszamy o wielkość S_0 , która w międzyczasie wypadła z populacji. Oszacowana produkcja według metody sumy różnic stanów biomas daje błąd taki sam.

Dla typu III sytuacja jest bardziej skomplikowana. Oszacowana produkcja według stanu maksymalnego biomasy jest zawyżona o istniejącą w tym czasie biomasę ubiegłoroczną ($=S_0 - W$). Dwie pozostałe metody dają wyniki obniżone z tych samych powodów co dla typu II. Przy tym wielkość błędu jest tu niższa, ponieważ część biomasy osobników ubiegłorocznych istnieje przez cały rok. Błąd ten równa się wielkości eliminacji biomasy ubiegłorocznej w okresie od S_0 do S_3 .

Rozkłady stanów biomas są tu nieco wyidealizowane dla rozważań teoretycznych. W rzeczywistości, ze względu na dużą zmienność przestrzenną biomasy runa, krzywa stanów biomasy w cyklu rocznym (według danych ze zbiorów) może mieć przebieg falisty. Wynika to z pobierania prób w każdym terminie z innych miejsc.

Należy tu zaznaczyć, że w przypadku łatwego oddzielenia biomasy ubiegłorocznej od tegorocznej można, przy nieuwzględnieniu produkcji ubiegłorocznej, sprowadzić całość szacowania do modelu typu I. Ponieważ dla wielu gatunków jest to niemożliwe, dlatego należy zdawać sobie sprawę z istniejących błędów stosowanych metod pośrednich różnych dla poszczególnych typów rozwojowych roślin.

Jak widać z figury 1, szacowanie dalszej produkcji po S_{\max} jest niemożliwe stosowanymi metodami, gdyż po tym terminie różnice stanów biomas dają wartości ujemne.

Wszystkie metody pośredniego szacowania produkcji są obarczone dodatkowymi błędami wynikającymi z braku kontroli nad tym co się dzieje w populacji między terminami zbioru roślin. Nie znamy mianowicie wielkości biomasy wyeliminowanej w danym okresie, produkcji osobników nowo pojawiających się, a także produkcji zrealizowanej przez osobniki niewyeliminowane.

Rozważmy schemat relacji między stanami biomasy a produkcją rzeczywistą dla omawianych typów rozwojowych runa (fig. 2).

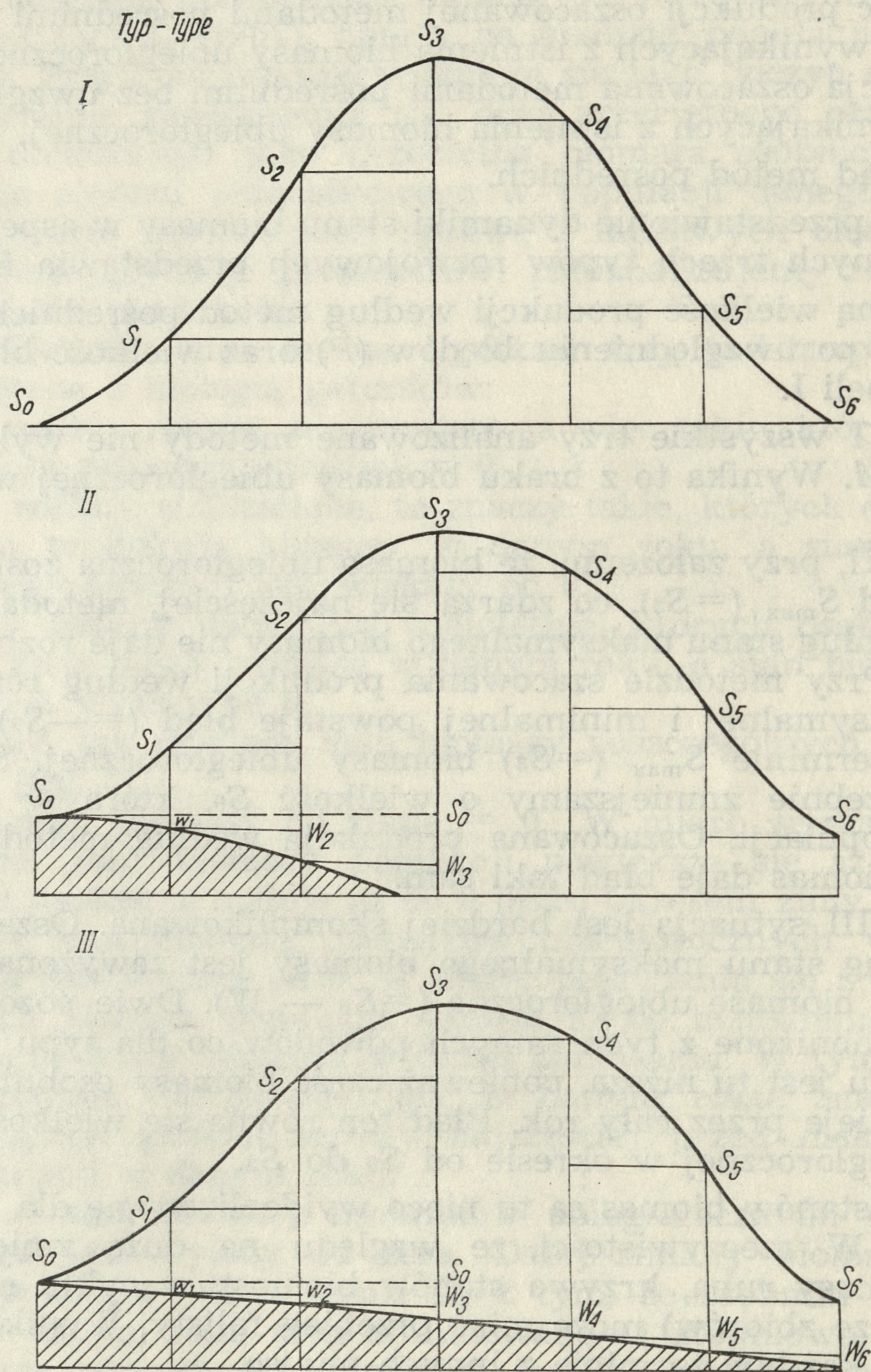


Fig. 1. Typowe rozkłady stanów biomas populacji roślin runa
 Typical distributions of biomass states of herb layer plants

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

- S_p — stan biomas na początku okresu,
- S_k — stan biomas na końcu okresu,
- D — produkcja osobników nowych (nie stwierdzonych w S_p),
- W — biomas osobników wyeliminowanych (nie stwierdzonych w S_k),
- B — biomas osobników niewyeliminowanych tegorocznych (stwierdzonych w S_p i S_k),
- PB — produkcja zrealizowana przez osobniki tegoroczne niewyeliminowane,

Tabela I

Wielkości błędów oszacowanej produkcji runa metodami opartymi na stanach biomas
 Extent of errors in estimated herb layer production using method based on states of biomass

Typ — Type	Metoda — Method	Wielkości — Extent	
I	S_{\max}	M	S_3
		P	S_3
		$M-P$	0
	$S_{\max} - S_{\min}$	M	$S_3 - S_0 = S_3$
		M	S_3
		$M-P$	0
	$\Sigma \Delta S$	M	$(S_1 - S_0) + (S_2 - S_1) + (S_3 - S_2) = S_3 - S_0 = S_3$
		P	$(S_1 - S_0) + (S_2 - S_1) + (S_3 - S_2) = S_3 - S_0 = S_s$
		$M-P$	0
II	S_{\max}	M	S_3
		P	S_3
		$M-P$	0
	$S_{\max} - S_{\min}$	M	$S_3 - S_0$
		P	S_3
		$M-P$	$-S_0$
	$\Sigma \Delta S$	M	$(S_1 - S_0) + (S_2 - S_1) + (S_3 - S_2) = S_3 - S_0$
		P	$(S_1 - S_0 + W_1) + (S_2 - S_1 + W_2) + (S_3 - S_2 + W_3) = S_3 - S_0 + \sum_1^3 W = S_3$
		$M-P$	$-\sum_1^3 W = -S_0$
III	S_{\max}	M	S_3
		P	$S_3 - (S_0 - \sum_1^3 W)$
		$M-P$	$+(S_0 - \sum_1^3 W)$
	$S_{\max} - S_{\min}$	M	$S_3 - S_0$
		P	$S_3 - S_0 + \sum_1^3 W$
		$M-P$	$-\sum_1^3 W$
	$\Sigma \Delta S$	M	$(S_1 - S_0) + (S_2 - S_1) + (S_3 - S_2) = S_3 - S_0$
		P	$(S_1 - S_0 + W_1) + (S_2 - S_1 + W_2) + (S_3 - S_2 + W_3) = S_3 - S_0 + \sum_1^3 W$
		$M-P$	$-\sum_1^3 W$

Objaśnienia symboli w tekście. Explanations of symbols — see text.

- BU — biomasa niewyeliminowanych osobników ubiegłorocznych,
 PBU — produkcja zrealizowana przez osobniki ubiegłoroczne niewyeliminowane,
 WU — biomasa osobników ubiegłorocznych wyeliminowanych w danym okresie,
 P — produkcja rzeczywista.

Dla rozważań przyjęto dość charakterystyczne okresy:

- I okres — po zimie, a więc dla $S_p = \min$,
 II okres — przed kulminacją stanu biomasy,
 III okres — przed zahamowaniem wegetacji (brak osobników nowych),
 IV okres — tuż przed zimą (brak produkcji, istnieje tylko eliminacja).

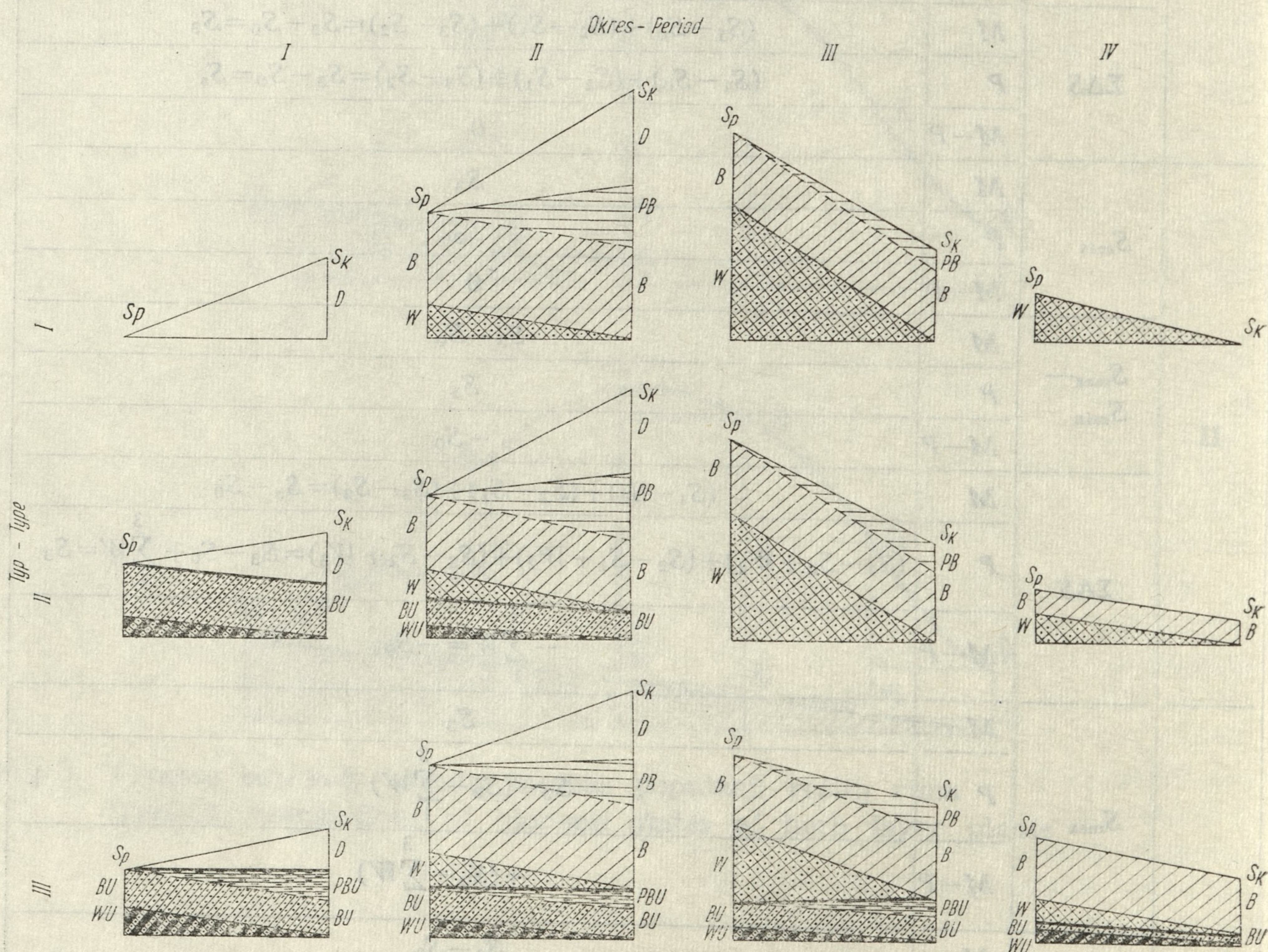


Fig. 2. Parametry stanu biomasy i produkcji
Parameters of biomass states and production

Jak wynika z figury 2 i tabeli II, różnice stanów biomasy są dodatnie tylko w okresie I i II, a więc przed lub do kulminacji biomasy. W okresie III i IV zawsze różnica stanów biomasy jest ujemna, mimo że produkcja może być dodatnia lub równa 0.

Na stan biomasy na początku okresu składa się część biomasy, która pozostaje do końca okresu (niewyeliminowana) oraz część, która zostaje w danym okresie wyeliminowana. Dotyczy to zarówno osobników tego-

Tabela II

Porównanie produkcji określonej wg różnicy stanów biomas ($S = S_k - S_p$) z produkcją rzeczywistą
 Comparison of production defined by difference in states of biomass ($S = S_k - S_p$) and real production

		Okres — Period							
Typ- Type		I		II		III		IV	
		$\Delta S > 0$	$P > 0$	$\Delta S > 0$	$P > 0$	$\Delta S < 0$	$P > 0$	$\Delta S < 0$	$P = 0$
I	ΔS	$D - 0 = D$		$(D + PB + B) - (B + W) =$ $= D + PB - W$		$(PB + B) - (B + W) = PB - W$		$0 - W = -W$	
	P	D		D + PB		PB		0	
	$\Delta S - P$	0		-W		-W			
II	ΔS	$(D + BU) - (BU + WU) =$ $= D - WU$		$(D + PB + B + BU) - (B + W +$ $+ BU + WU) = D + PB - (W + WU)$		$(PB + B) - (B + W) = PB - W$		$B - (B + W) = -W$	
	P	D		D + PB		PB		0	
	$\Delta S - P$	-WU		-(W + WU)		-W			
III	ΔS	$(D + PBU + BU) - (BU + WU) =$ $= D + PBU - WU$		$(D + PB + B + PBU + BU) +$ $- (B + W + BU + WU) =$ $= D + PB + PBU - (W + WU)$		$(PB + B + PBU + BU) +$ $- (B + W + BU + WU) =$ $= PB + PBU - (W + WU)$		$(B + BU) - (B + W + BU +$ $+ WU) = -(W + WU)$	
	P	D + PBU		D + PB + PBU		PB + PBU		0	
	$\Delta S - P$	-WU		-(W + WU)		-(W + WU)			

Objaśnienia symboli w tekście. Explanations of symbols see text.

rocznych, jak i ubiegłorocznych. Na stan biomasy w końcu okresu składa się biomasa pochodząca z ubiegłego okresu (niewyeliminowana), produkcja osobników nowych oraz produkcja zrealizowana przez osobniki niewyeliminowane, tak tegoroczne jak i ubiegłoroczne (w typie III).

W typie I, dzięki brakowi biomasy ubiegłorocznej, wszystkie obliczenia upraszczają się. Tylko w okresie I (przy braku eliminacji) metoda ΔS i P dają takie same wyniki. W pozostałych okresach błąd metody ΔS jest ujemny i wynosi $-W$.

W typie II błąd metody ΔS stanowi wielkość wyeliminowanej biomasy tegorocznej i ubiegłorocznej. Przy tym WU występuje tylko do okresu całkowitej eliminacji osobników ubiegłorocznych.

W typie III przez cały rok występuje błąd taki jak w typie II.

Produkcja rzeczywista w typie I i II obejmuje tylko produkcję osobników nowych (D) oraz produkcję zrealizowaną przez osobniki tegoroczne niewyeliminowane w danym okresie (PB). W typie III dodatkowym elementem produkcji jest wielkość zrealizowana przez niewyeliminowane osobniki ubiegłoroczne (PBU).

Nieuwzględnienie poszczególnych elementów składowych S_p i S_k powoduje zaniżenie oszacowanej produkcji o wielkość biomasy wyeliminowanej różną dla poszczególnych typów rozwojowych runa.

Całkowita produkcja roczna runa $P = \Sigma D + \Sigma PB + \Sigma PBU$. Przy tym elementy te mogą występować w różnych okresach roku niezależnie od tego, czy ΔS daje wartości dodatnie, czy ujemne.

W porównaniu do wyżej analizowanych metod opartych o stany biomas, znacznie dokładniejsze dane uzyskujemy szacując produkcję metodą Traczyka. Mimo że nie można jej zaliczyć do metod opartych o stany biomasy, zawiera ona, przy swoich zaletach, pewne elementy statyczne. Mianowicie, wychodząc z założenia, że najwyższe zagęszczenie występuje w okresie między kwitnieniem a owocowaniem, opiera się na zagęszczeniu aktualnym, a więc bez uwzględnienia zmian ilościowych, jakie zaszły przed momentem zbioru prób. Poza tym, założenie, że produkcja osobnicza (= ciężarowi osobniczemu) osiąga maksimum w okresie między kwitnieniem a owocowaniem, nie zawsze jest słuszne. Jaskrawym przykładem tego jest *Galeobdolon luteum* Huds., którego, wg badań autora (Aulak — w przygotowaniu), przeciętny ciężar osobniczy jest znacznie większy po okresie owocowania (długie płożące się pędy). Jednym z walorów tej metody jest określenie produkcji według stwierdzonych aktualnie osobników żywych i usychających (lub uschniętych) i przemnożeniu produkcji jednostkowej przez wszystkie osobniki. Stąd ewentualne porównanie wyników obliczeń ze stanem biomasy daje wartości wyższe, redukując w pewnym stopniu błąd niedoszacowania biomasy wyeliminowanej.

W zaznaczonych w tabelach I i II wskaźnikach błędów, określonych wielkościami biomasy wypadającej, mogłoby się wydawać, że doskonałą metodą jest analiza tempa wypadania biomasy (Wiegerta-Evansa), przy jednoczesnej analizie stanów biomasy. Teoretycznie dla oszacowania produkcji obojętne jest, czy analizujemy ją w okresie realizacji, czy też w okresie wypadania (a więc po realizacji), ponieważ to co wypada, musiało być wyprodukowane.

Metoda ta ma jednak kilka wad. Po pierwsze wypadanie biomasy, szczególnie w runie leśnym, odbywa się znacznie szybciej niż produkcja. Zmusza nas to do częstszego pobierania prób lub nawet do wprowadzania pewnych modyfikacji metody (Łomnicki, Bandoła, Jan-

kowska 1968). Ponadto zebrana biomasa wypadająca znajduje się w różnych fazach rozkładu i jej wielkość nie zawsze może być przeliczana na wielkość materii żywej, nawet przy określaniu ciężaru materiału wysuszonego. Dalszym mankamentem jest fakt, że w zasadzie badamy produkcję pierwotną przy stałej presji konsumentów. Wyzerowanie części materii organicznej przy szacowaniu produkcji realizowanej nie stanowi wielkiego błędu, ponieważ część skonsumowana nie wchodzi do dalszej produkcji, co jest zgodne z rzeczywistością. Natomiast przy analizie materii wypadającej nieuchwycenie części skonsumowanej powoduje zwiększenie błędów szacowania o wielkość zrealizowaną a nie uwzględnioną w obliczeniach. Osobniki skonsumowane wypadają ze stanu biomasy bez pozostawienia materii martwej.

Mimo wszystkich tych mankamentów, szacowanie produkcji metodami pośrednimi, jako względnie szybkie, ma rację bytu i będzie stosowane tak dla określenia produkcji pierwotnej runa, jak i dla określenia zasobności żerowej dla roślinożerców.

Wydaje się jednak, że należy na stałych powierzchniach kontrolnych metodą analizy okresowej stanu poszczególnych osobników oszacować błędy stosowanych metod pośrednich, dla urealnienia ich wyników przy analizie produkcji runa.

Piśmiennictwo

- Łomnicki A., Bandola E., Jankowska K. 1968 — Modification of the Wiegert-Evans method for estimation of net primary production — *Ecology*, 49: 147—149.
- Odum E.P. 1960 — Organic production and turnover in old field succession — *Ecology*, 41: 34—49.
- Traczyk T. T. 1967 — Propozycja nowego sposobu oceny produkcji runa — *Ekol. Pol. B*, 13: 241—247.
- Wiegert R.G., Evans F.C. 1964 — Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field in Southeastern Michigan — *Ecology*, 45: 49—63.

Summary

The author analyzes methods of indirect estimation of net herb layer production based on states of biomass. Analyses were made for three basic development types of herb layer, i.e. annual plants (I), evergreen plants (II) and biennials and perennials (III). Parameters affecting the extent of errors in estimating production are defined for the method of maximum state of biomass (S_{max}), difference in maximum and minimum ($S_{max} - S_{min}$) and according to the sum total of differences in states of biomass between the different observation times ($\sum \Delta S$) (Fig. 1, Tab. I). In the above methods errors occur due to the existence in the state of biomass during the given year of matter produced in previous years (for development types II and III). Additional errors in defining production by methods based on state of biomass result from a lack of knowledge of changes taking place in populations of different species between observation times. There is for instance because of no knowledge of elimination (W), production of newly-formed individuals (D) and production by individuals not eliminated during the given

period (PB). This results in discrepancies between production estimated by the above methods and real production (Fig. 2, Tab. II).

The author suggests that it is essential to carry out observations on permanent control areas, on which analysis can be made of changes in the state of each individual in a population in order to define the errors in each of the methods of indirect assessment of production. This is necessary as these methods, as being fairly quick, will continue to be applied both for production estimation and to definition of zero resources of ecosystems for herbivores.