

MICHAŁ PASZKIEWICZ

NOWA METODA GRAFICZNEGO OBLICZANIA POWIERZCHNI PRZEKROJÓW  
ROBÓT ZIEMNYCH DLA BUDOWY DRÓG I KOLEI1. Uwagi wstępne

Do obliczania objętości wykopów i nasypów projektowanych, względnie wykonywanych robót ziemnych, niezbędnym jest określenie wielkości powierzchni przekrojów poprzecznych budowli ziemnej w punktach charakterystycznych trasy.

Objętość projektowanych robót pomiędzy sąsiednimi przekrojami, oblicza się w praktyce na podstawie przybliżonego wzoru

$$Q_r = \frac{P_r + P_{r+1}}{2} \cdot l_r$$

W tym wzorze przyjęto następujące oznaczenia:

- r - liczba porządkowa przekroju, względnie odcinka
- P - wielkość powierzchni danego przekroju w m<sup>2</sup>
- l - odległość sąsiednich przekrojów w m
- Q - objętość robót ziemnych.

W związku ze stosowaniem przytoczonego przybliżonego wzoru, w obliczeniach objętości popełniamy błędy. Wielkość tych błędów jest tym większa, im większa jest różnica wysokości robót ziemnych w dwu sąsiednich przekrojach, a tym samym większa różnica powierzchni przekrojów oraz im większa jest ich odległość. W celu zmniejszenia błędów należy odpowiednio zagęścić przekroje, zmniejszając ich odległość

w terenie falistym do 20 m, a nawet do 10 m, zależnie od wielkości pochylenia podłużnego terenu, mimo że punkty osiowe tych przekrojów nie będą charakterystycznymi w profilu podłużnym terenu.

To zagęszczenie przekrojów poprzecznych nie wyeliminuje błędnych wyników obliczenia objętości robót ziemnych. Błędy te pozostaną w granicach 1% do 2%, w przypadku opracowywania projektów w terenie falistym. Z obliczeń na podstawie przybliżonego wzoru, uzyskujemy zawsze objętość większą.

Dodatkowe błędy, związane ze stosowaniem wzoru przybliżonego, występują przy obliczaniu objętości robót ziemnych w łukach. Błędy te określane procentowo, znacznie przekraczają wielkości podane na prostych z tym, że obliczone objętości wykopów są mniejsze, zaś objętości nasypów są większe od rzeczywistych, a bezwzględna wartość błędu jest odwrotnie proporcjonalna do wielkości promienia łuku.

Niezależnie od błędów obliczenia wynikających ze stosowania tego wzoru, wynik obliczenia objętości obciążony jest ponadto błędami związanymi z błędami podkładów geodezyjnych, nie określonych ani w odniesieniu do wielkości, ani do znaku, jako też z zazwyczaj błędnym przyjęciem, że powierzchnia terenu między przekrojami może być przyjęta jako płaska ściana graniastosłupa.

W związku z omawianymi błędami, ograniczamy dokładność określania wielkości powierzchni przekrojów do 0,1 m<sup>2</sup>, przy czym staramy się, aby błędy obliczania powierzchni były możliwie małe. Dopuszczanie większych błędów spowodowałoby ewentualne zwiększenie błędów obliczenia objętości.

## 2. Obliczanie powierzchni przekrojów robót ziemnych w projektach technicznych

Obliczanie powierzchni przekrojów robót ziemnych w budowie dróg i kolei zachodzi w dwu różnych przypadkach:

- 1) podczas opracowywania projektu technicznego, na podstawie przekrojów poprzecznych terenu wykreślonych z danych planu warstwicowego,
- 2) w związku ze sporządzeniem rysunków wykonanych na podstawie zaniwelowanych przekrojów poprzecznych terenu.

Obliczenia związane z opracowaniem projektu technicznego celem wyboru najbardziej właściwej alternatywy projektu, uwzględniającej między innymi wymaganiami ekonomiki, także najmniejszy koszt wykonania robót ziemnych. Rozwiązanie tego ostatniego zagadnienia połączone jest zwykle z analizą kilku alternatyw projektu, wykreśleniem różnych tras na planie, kilku różnych profilów podłużnych z projektem niwelety, jako też przeprowadzeniem obliczeń powierzchni przekrojów robót ziemnych dla każdej alternatywy, celem obliczenia kubatury.

#### A. Zastosowanie planimetru

Obliczanie powierzchni przekrojów robót ziemnych przeprowadza się najczęściej na podstawie wykreślonych przekrojów poprzecznych terenu (z danych planu warstwicowego), z zastosowaniem planimetru. To obliczanie, zwłaszcza przy uwzględnieniu niezbędnych alternatyw projektu jest żmudne i pracochłonne; wymaga wykreślenia przekrojów poprzecznych, wkreślenia zarysu projektowanych robót i pomiaru planimetrem, przynajmniej dwukrotnego. Średni czas, potrzebny dla wykonania powyższych czynności, wynosi 6 do 7 minut dla jednego przekroju.

Celem zmniejszenia nakładu pracy, związanej z opracowaniem projektu technicznego, a tym samym celem przyspieszenia wykonania pracy, próbowano zastąpić żmudne kreślenie i pomiar planimetrem, graficzną metodą obliczania powierzchni przekrojów.

#### B. Wykresy do obliczania powierzchni przy naziomie poziomym

Do przybliżonego obliczenia graficznego powierzchni przekrojów robót ziemnych, w wypadku, gdy linia przekroju poprzecznego terenu jest prostą poziomą lub bardzo nieznacznie odchylną od poziomu, a więc w wyjątkowych przypadkach mogą mieć zastosowanie wykresy paraboliczne, podane w wielu podręcznikach jak np. "Podręcznik Inżynierski" (Red. Prof. Bryła) 1925 r., str.51 lub "Roboty Ziemne" Prof. Nestorowicz 1937 r., str.239.

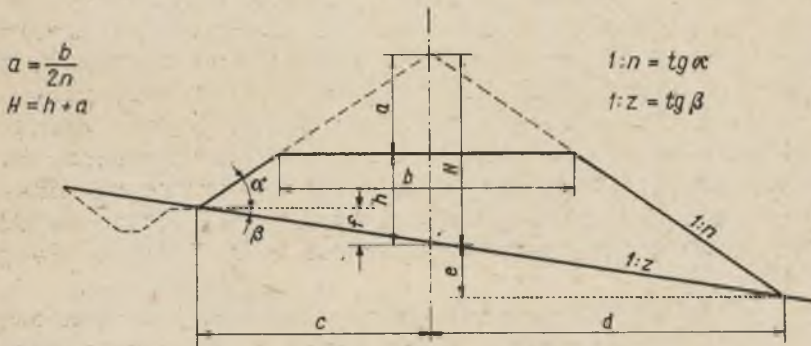
#### C. Wykresy Culmanna i Lalannesa

Metody graficzne, ułatwiające obliczanie powierzchni przekrojów, można stosować wyłącznie w przypadkach, gdy linia przekroju poprzecznego terenu jest prostą. Zasadą obli-

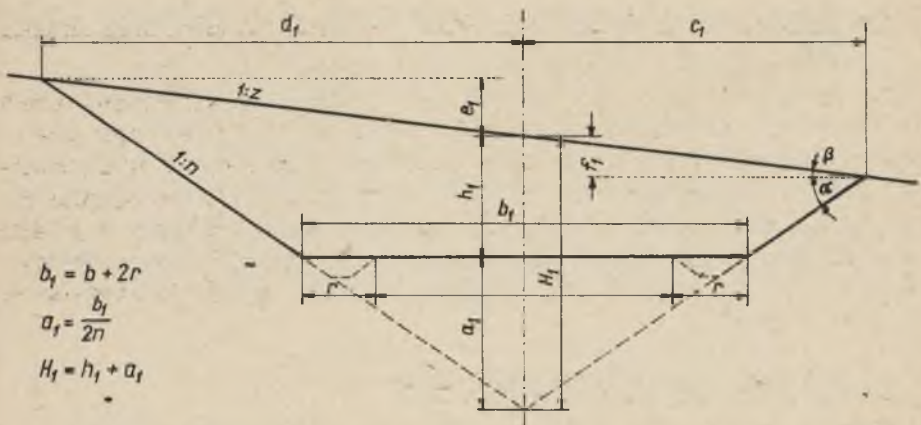
czeń metodą graficzną jest wykorzystanie wykresów, przy pomocy których określamy wielkość powierzchni przekroju poprzecznego na podstawie:

- wysokości nasypu "h" względnie głębokości wykopu "h<sub>1</sub>",
- szerokości korony robót ziemnych "b", która to wielkość zwiększamy w wykopach o szerokości rowów, ( $b_1 = b + 2r$ ),
- nachylenia skarp robót ziemnych 1:n,
- nachylenia terenu 1:z.

Odpowiednie wielkości oznaczono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1



Rys. 2

Ze związków geometrycznych między poszczególnymi elementami i wielkościami wynika, że

$$a = \frac{b}{2n} \quad \text{oraz} \quad a_1 = \frac{b_1}{2n} \quad (1)$$

$$H = h+a, \quad H_1 = h_1+a_1 \quad (2)$$

Wykorzystując zależności pomiędzy wielkościami

$z, n, f, H$  i  $c$  jako też  $f_1, H_1$  i  $C_1$

uzyskujemy w wyniku

$$c = H \frac{z \cdot n}{z+n} \quad \text{oraz} \quad C_1 = H_1 \frac{z \cdot n}{z+n} \quad (3)$$

oraz w dalszym ciągu

$$d = H \frac{z \cdot n}{z-n} \quad \text{oraz} \quad d_1 = H_1 \frac{z \cdot n}{z-n} \quad (4)$$

Powierzchnia trójkąta, oznaczonego na rysunku 3a jako  $P_1$ , względnie na rys.4a jako  $P'_1$  wyniesie:

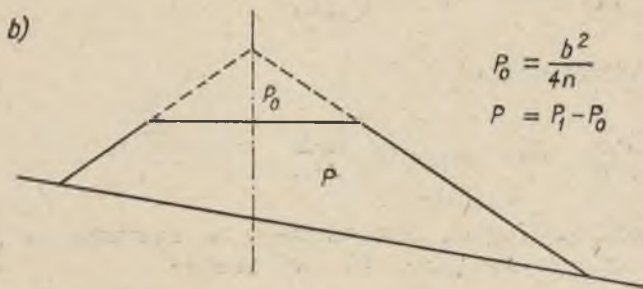
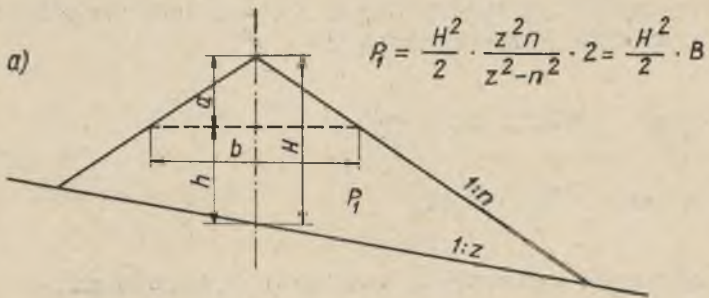
$$P_1 = \frac{1}{2} H(c+d) = \frac{1}{2} H^2 \left( \frac{z \cdot n}{z-n} + \frac{z \cdot n}{z+n} \right) \quad \text{zaś}$$

$$P'_1 = \frac{1}{2} H_1 (c_1+d_1) = \frac{1}{2} H_1^2 \left( \frac{z \cdot n}{z-n} + \frac{z \cdot n}{z+n} \right) \quad (5)$$

Po wprowadzeniu wartości  $B = \frac{z \cdot n}{z-n} + \frac{z \cdot n}{z+n}$ ,

wzory 5 napiszemy:

$$P_1 = \frac{1}{2} H^2 B \quad P'_1 = \frac{1}{2} H_1^2 B \quad (6)$$



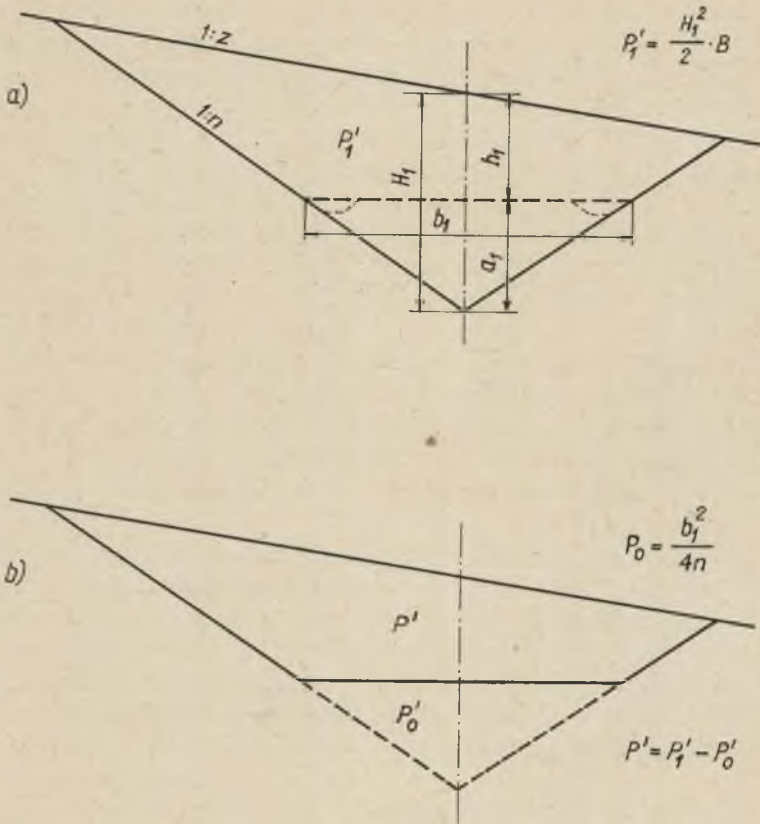
Rys.3

Wielkość powierzchni przekroju robót ziemnych obliczymy po odjęciu od  $P_1$  względnie od  $P'_1$  wielkości

$$P_0 = \frac{1}{2} b \cdot a = \frac{b^2}{4n} \quad \text{lub} \quad P'_0 = \frac{1}{2} b_1 a_1 = \frac{b_1^2}{4n} \quad (7)$$

zaś

$$P = P_1 - P_0 \quad \text{względnie w wykopie} \quad P' = P'_1 - P'_0 \quad (8)$$



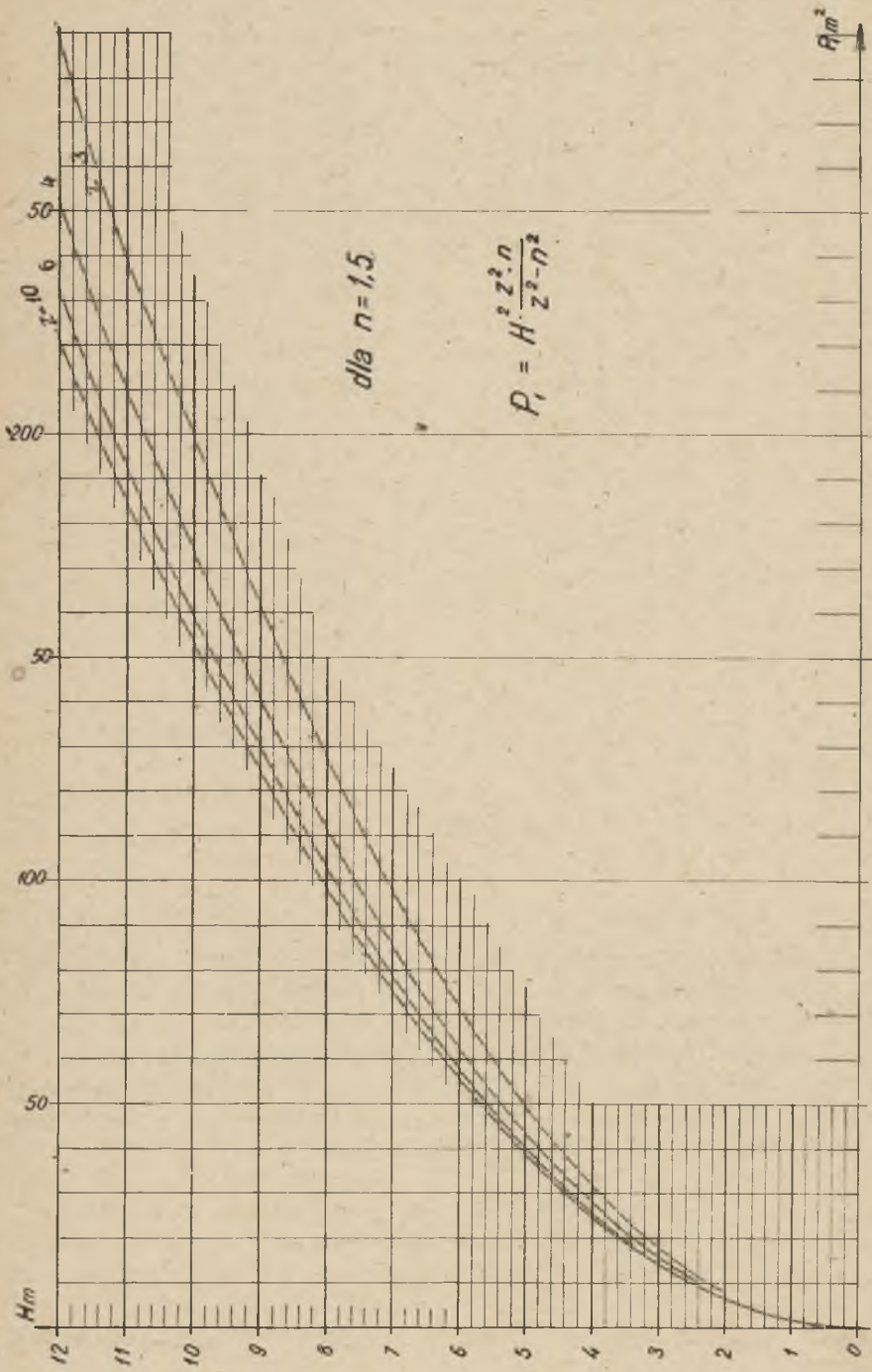
Rys.4

Całkowita powierzchnia przekroju wykopu musi być uzupełniona powierzchniami przekrojów obu rowów, które w dalszej części opisu będą oznaczone jako 2 R.

Dla graficznego obliczania powierzchni przekrojów na podstawie wzorów 5, 7 i 8 sporządził prof. Culmann wykresy parabol, dostosowanych do różnych wielkości "z" i "n" (zasadniczy wzór 5, po przekształceniu:

$$P_1 = H^2 \frac{z^2 \cdot n}{z^2 - n^2} )$$

Przykład parabol dla "n" = 1,5 i różnych "z" przedstawiono na rys.5.



Rys. 5. Wykres Culmanna



Wielkości powierzchni przekrojów  $P_1$  lub  $P_1'$  odczytujemy bezpośrednio jako rzędne ( $y$ ) odpowiadające wielkościom  $H(x)$  na podziałce wykresu. Możemy jednak zredukować te wielkości rzędnych o wielkość  $P_0$  - przez wykreślenie prostej, równoległej do osi  $H$ , w odległości równej powierzchni  $P_0$ , jednak w tym przypadku koniecznym jest pomiar różnicy długości rzędnych przy pomocy odpowiedniej podziałki. W analogiczny sposób możemy uwzględnić zwiększenie powierzchni przekrojów wykopowych, przez wykreślenie odpowiedniej prostej równoległej do osi  $H$ , w odległości, odpowiadającej odcinkowi rzędnej  $P_0' - 2R$ .

Ujemną cechą wykresów Culmanna jest mała dokładność odczytów powierzchni (długości rzędnych), zwłaszcza małych, przy dużym zagęszczeniu wykresów parabol dla różnych wartości "z" (przy czym ograniczono "z" do liczb okrągłych) oraz konieczność sporządzania wykresów parabol dla różnych wartości "n".

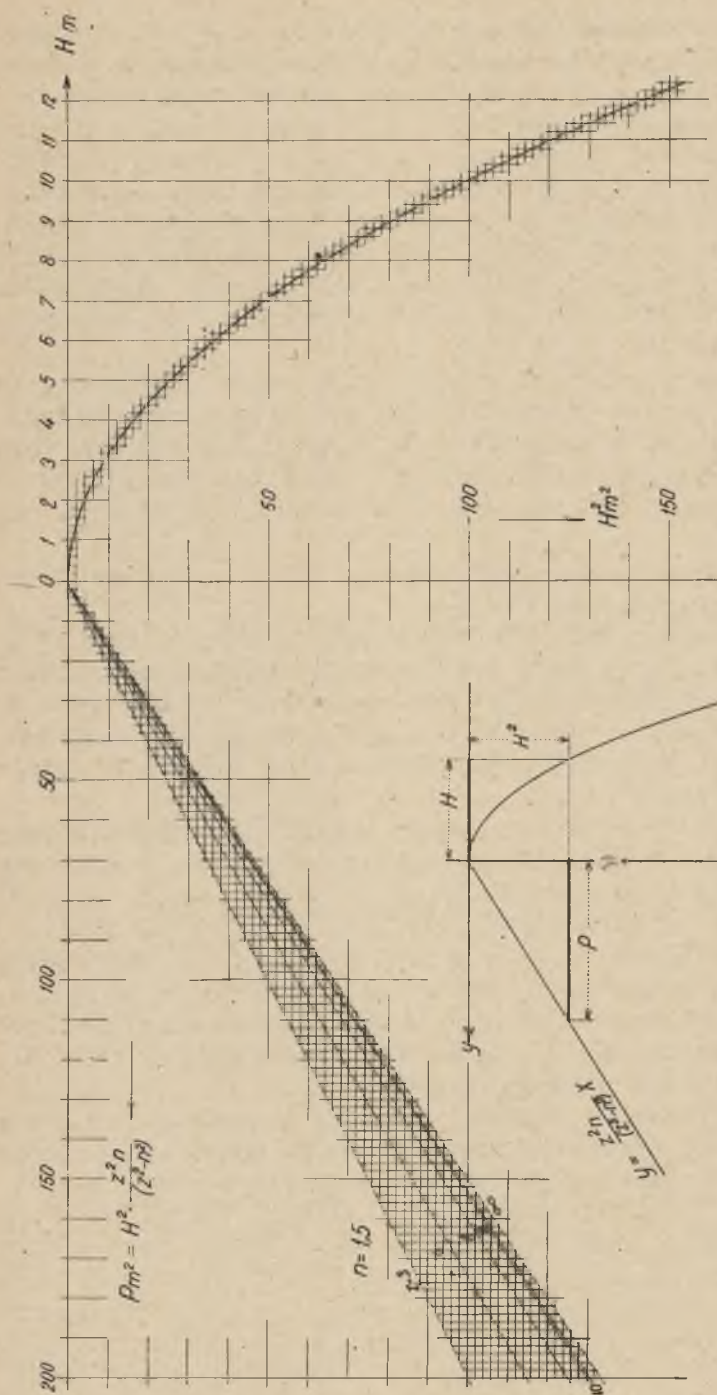
Pewnym uproszczeniem wykresów Culmanna są wykresy inż. Lalannesa (przykład na rys.6).

Lalannes sporządził dla poszczególnych wartości "n" wykresy parabol, przy czym uwzględnienie różnych pochyłeń terenu, określonych przez "z" nastąpiło przy pomocy pęku promieni wychodzących z punktu początkowego układu współrzędnych. Sposób wykorzystania wykresu inż. Lalannesa uwidoczniło na rysunku.

Uwzględnianie redukcji powierzchni  $P_0$ , względnie przy wykopach  $P_0' - 2R$ , może nastąpić podobnie jak w wykresach Culmanna z tym, że wykreślamy linię równoległą do osi  $H^2$ , w odległości odpowiadającej odciętej w przyjętej skali.

Jednak te uproszczone wykresy, wykazują te same ujemne cechy, jakie wymieniono przy omawianiu wykresów Culmanna, a ponadto dołącza się do nich wpływ przenoszenia graficznie określonej wartości  $H^2$  na prostą równoległą do osi  $H$ , względnie  $P$ , dla odczytu wielkości  $P$ .

Poza wymienionymi cechami ujemnymi, powodującymi znaczne niedokładności obliczeń, ani wykresy Culmanna ani Lalannesa nie mogą być wykorzystywane do obliczania powierzchni w tzw. przekrojach odcinkowych, tj. takich, w których z uwagi na znacznie większe pochylenie poprzeczne terenu, przy niezbyt dużych wysokościach robót ziemnych w osi, występują nasypy i wykopy. W związku z tą możliwością, przy wykorzystywaniu wymienionych wykresów, mogą również się zdarzyć grube błędy obliczeń powierzchni przekrojów, a tym samym grube błędy w obliczeniu objętości robót.



Rys.6. Wykres Lalannesa

Te zastrzeżenia spowodowały, że obliczanie powierzchni przekrojów metodą graficzną nie znalazło szerszego zastosowania w praktyce.

#### D. Nomogramy

Dla wykorzystania wzorów 6, 7 i 8 do graficznego obliczania powierzchni (z wyjątkiem przekrojów odcinkowych), z zapewnieniem uzyskania znacznie większej dokładności wyników nawet większej od dokładności uzyskiwanej przy obliczaniu tych powierzchni przy użyciu planimetrów, skonstruowano nomogramy:

geometryczny i logarytmiczny.

Do rozwiązania dowolnego zagadnienia może posłużyć tylko jeden z tych nomogramów dla różnych wartości "n" zwykle stosowanych przy wykonaniu robót ziemnych, a więc:  $n = 1,0 - 1,25 - 1,50 - 1,75 - 2,00$  oraz różnych wartości z (od 3 do 30) z tym, że te wartości mogą być wyrażane z dokładnością 0,1.

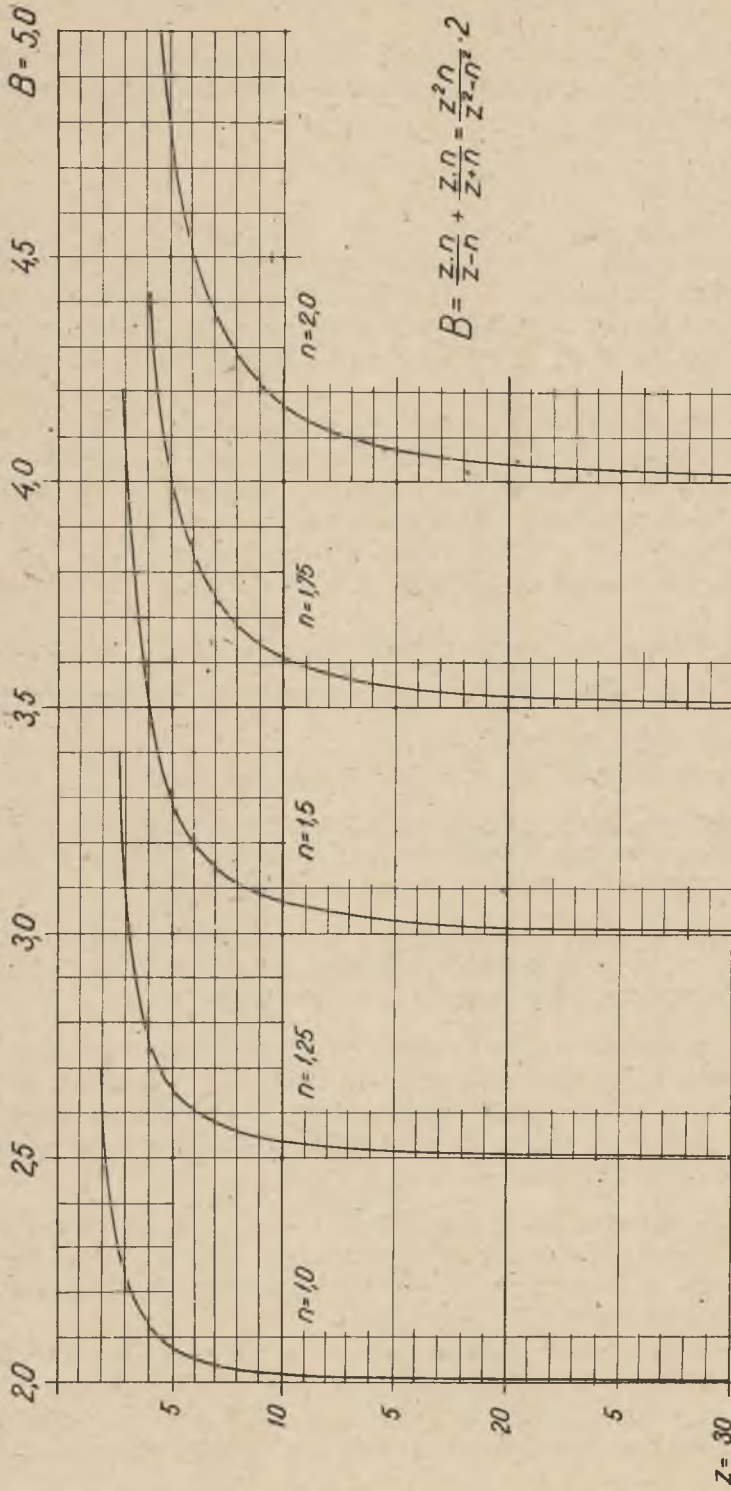
Wykorzystanie tych nomogramów może nastąpić po określeniu wartości  $B = \left( \frac{z \cdot n}{z-n} + \frac{z \cdot n}{z+n} \right)$ , dostosowanej do parametrów podanych w powyższym wzorze.

Wykresy wartości "B" przedstawiono na rys.7.

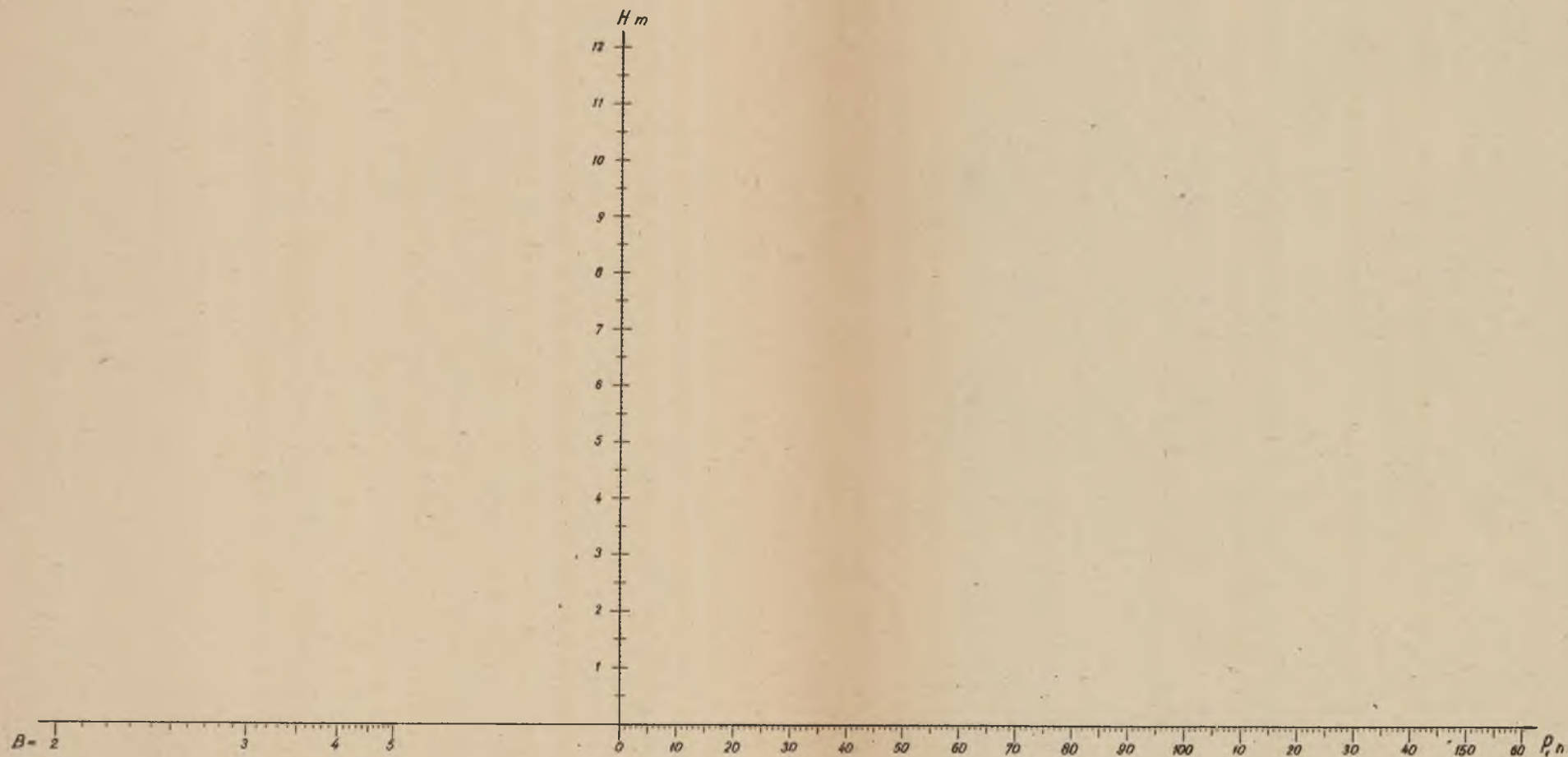
a) Nomogram geometryczny przedstawiony na rys.8 jest skonstruowany na dwu osiach prostokątnych, z wykorzystaniem 3 promieni zaopatrzonych w różne podziałki.

- 1) na promieniu osi pionowej, dla wartości "H" od 0,0 do 12,0 m, z podziałką kreskowym o interwałach 0,1 m, z możliwością oszacowania wielkości 0,01 m,
- 2) na promieniu osi poziomej (w prawo) dla wartości "B" z podziałką dostosowaną do wartości  $\frac{1}{2B}$  podziałką kreskową o interwałach wartości 0,1 umożliwia oszacowanie wartości 0,01. Kreski podziałki oznaczono odpowiednimi wartościami "B",
- 3) na promieniu osi poziomej (w lewo) dla określenia wielkości powierzchni obliczanej  $P_1$ , z podziałką kreskową o interwałach 2,0 m<sup>2</sup> dostosowaną do możliwości oszacowania wielkości 0,2 m<sup>2</sup>.

Graficzne obliczenie powierzchni przekroju "P<sub>1</sub>" może być przeprowadzone wyłącznie przy zastosowaniu pomocniczego kąta prostego, którego wierzchołek będzie umieszczony na osi pionowej w punkcie, odpowiadającym



Rys.7



Rys.8. Nomogram geometryczny do obliczania powierzchni na podstawie wzoru  $P_1 = \frac{H^2}{2} \cdot B$



Rys.9. Nomogram logarytmiczny do obliczania powierzchni na podstawie wzoru  $P = H^2 / B^2$

danej wysokości "H", zaś jedno ramię przetnie oś poziomą w punkcie oznaczonym dla wielkości "B". Punkt przecięcia drugiego ramienia kąta prostego z osią poziomą, zaopatrzoną w podziałkę dla "P<sub>1</sub>" umożliwi bezpośrednio odczytanie na tej podziałce wielkości powierzchni z poprzednio określoną dokładnością. Pomocniczy kąt prosty może być wykreślony na przezroczystej kalce technicznej lub płycie przezroczystej.

b) Nomogram logarytmiczny przedstawiony na rys.9 jest skonstruowany na dwu prostych równoległych, zaopatrzonych w 3 podziałki logarytmiczne

- 1) na górnej prostej dla  $H^2$  (oznaczoną dla wartości H) z podziałem kreskowym, umożliwiającym ocenę "H" z dokładnością 0,01 m,
- 2) na dolnej prostej dla  $\frac{B}{2}$  (z oznaczeniem dla wielkości B) z podziałem kreskowym umożliwiającym ocenę z dokładnością 0,01 B,
- 3) drugą podziałkę na górnej prostej dla określenia wielkości P<sub>1</sub>, z podziałem kreskowym, umożliwiającym ocenę wielkości
 

z dokładnością 0,1 m <sup>2</sup>	dla P <sub>1</sub> ≤ 50 m <sup>2</sup>
" 0,2 m <sup>2</sup>	dla 50 m <sup>2</sup> < P <sub>1</sub> < 130 m <sup>2</sup>
" 0,5 m <sup>2</sup>	dla 130 m <sup>2</sup> < P <sub>1</sub> < 200 m <sup>2</sup>

Użytkowanie tego nomogramu dla obliczenia wielkości P<sub>1</sub> polega na graficznym sumowaniu logarytmów wielkości oznaczonych we wzorze 6, a w szczególności:

$$\log P_1 = \log H^2 + \log \frac{B}{2}$$

Należy zatem dodać odcinek odpowiadający  $\log H^2$  (a oznaczony na górnej podziałce logarytmicznej przez "H") do odcinka odpowiadającego  $\log \frac{B}{2}$  (oznaczonego na dolnej podziałce przez "B"), a więc po połączeniu punktu początkowego podziałki "B" i punktu odpowiadającego wartości "H" prostą - należy przenieść równoległe tę prostą i przeprowadzić ją przez punkt na podziałce "B" odpowiadający określonej wartości. Punkt przecięcia tej przesuniętej prostej z podziałką dla "P<sub>1</sub>" umożliwi odczytanie wielkości powierzchni.

Prostą pomocniczą do przeprowadzania graficznego sumowania, można zarysować ostrzem igły na przezroczystym trójkącie celuloidowym lub plexiglasowym, użytym do równoległego przemieszczania tej prostej.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń, użytkowanie nomogramu geometrycznego jest dogodniejsze tak z uwagi na szybkość pracy, jak też ze względu na ewentualne błędy wynikające z niedokładności przemieszczenia prostej.

### 3. Nowa metoda graficznego obliczania

#### A. Uogólnienie wzorów do obliczania

Zastosowanie opisanych w poprzednim rozdziale nomogramów, opartych na wzorze  $P_1 = \frac{1}{2} H^2 B$ , jakkolwiek zapewnia znaczne zwiększenie dokładności obliczeń przy zredukowaniu ilości potrzebnych wykresów, nie może być brane pod uwagę przy obliczaniu wielkości powierzchni przekrojów odcinkowych, jakie najczęściej występują w projektach dróg lub kolei w terenie podgórskim lub górzystym. Oszczędność w projektowaniu robót ziemnych, ściśle związana z małymi wysokościami tych robót w osi, przy znaczniejszych pochyleniach poprzecznych terenu, jest uzyskiwana przez możliwie największe wykorzystywanie wykopu z jednej strony osi, na nasyp po stronie przeciwnej, z jak najdalej idącą dążnością do zredukowania przewozu podłużnego.

Przykłady przekrojów odcinkowych podano na rys.10 i rys.11.

Oznaczenia poszczególnych elementów i wielkości na tych rysunkach odpowiadają oznaczeniom na rys.1 i rys.2, a w szczególności:

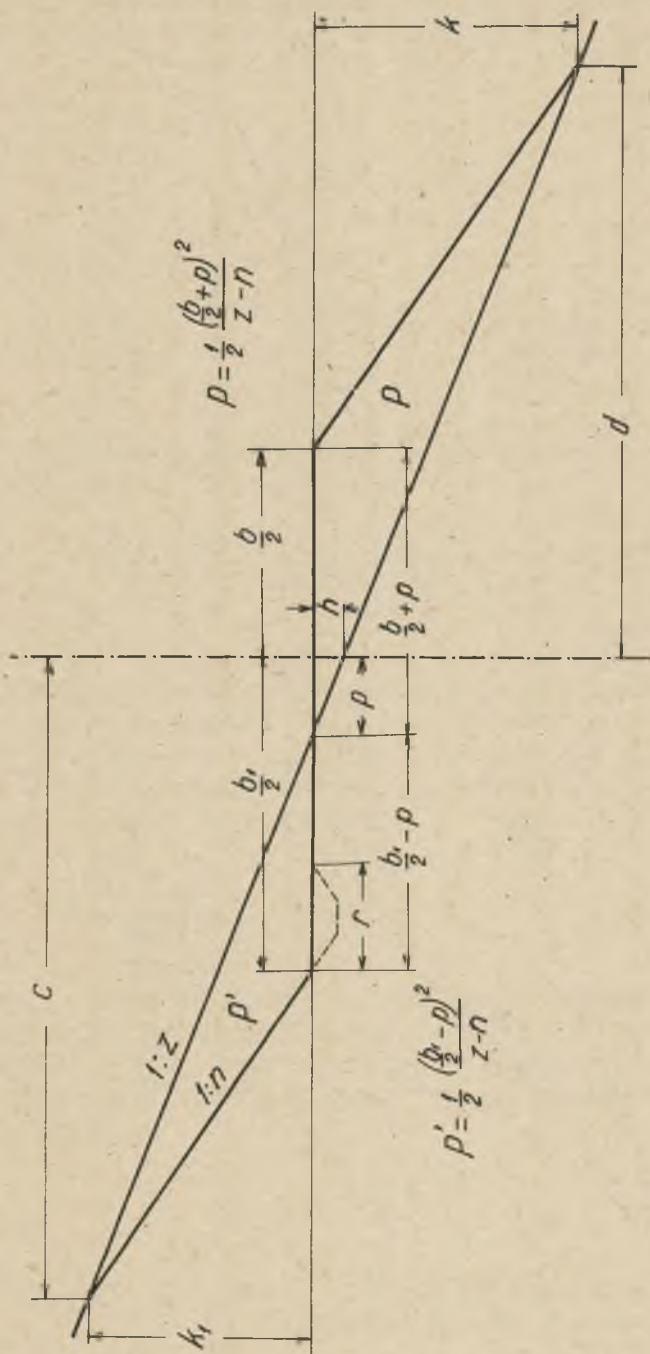
- a) wysokość nasypu w osi  $h$  względnie głębokość wykopu  $h_1$ ,
- b) szerokość korony robót ziemnych w nasypie  $b$  względnie w wykopie  $b_1$ ,
- c) nachylenie skarp robót ziemnych  $1:n$ ,
- d) nachylenie terenu  $1:z$ .

Ponadto na tych rysunkach oznaczono:

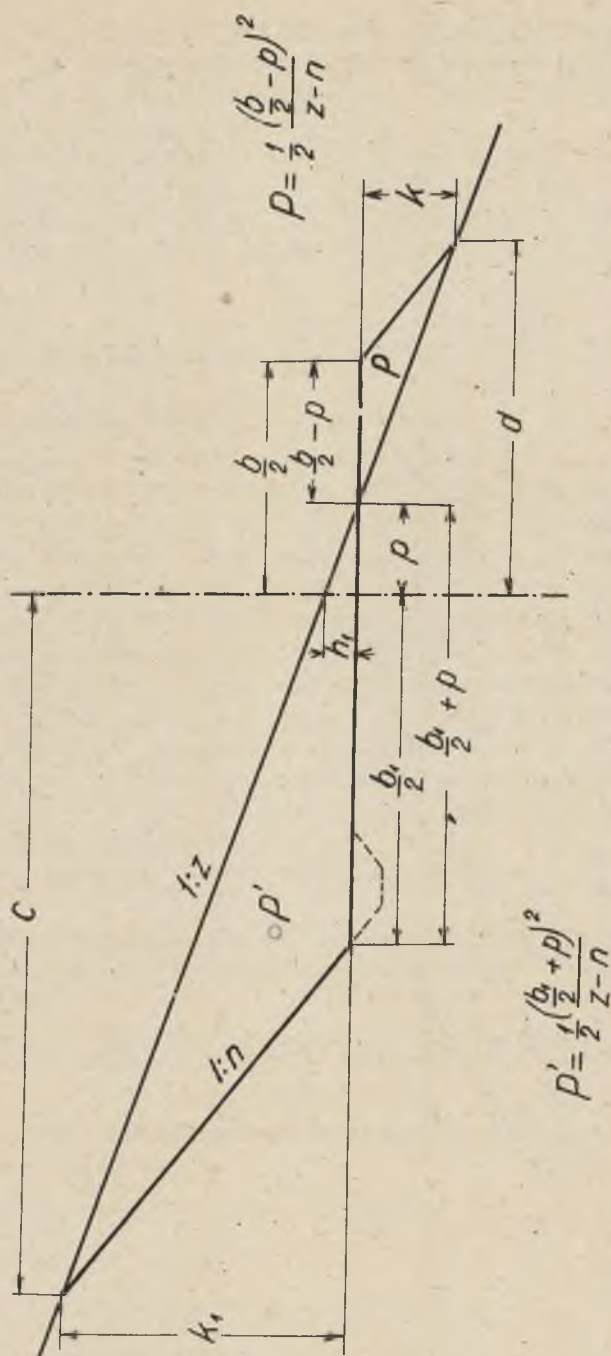
$P$  = powierzchnia przekroju nasypu

$P'$  = " " " wykopu.





Rys. 10



Rys. 11

Między poszczególnymi elementami i wielkościami oznaczonymi na rys.10 istnieją następujące związki

$$p = h \cdot z \qquad p = h_1 z \qquad (9)$$

$$k(z-n) = \frac{b}{2} + p \qquad k_1(z-n) = \frac{b_1}{2} - p \qquad (10)$$

i ostatecznie

$$P = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{b}{2} + p\right)^2}{z-n} \quad \text{nasyp} \qquad P' = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{b_1}{2} - p\right)^2}{z-n} \quad \text{wykop} \qquad (11)$$

Z analogicznego porównania związków elementów przedstawionych na rys.11, uzyskujemy:

$$P = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{b}{2} - p\right)^2}{z-n} \quad (\text{nasyp}) \quad \text{oraz} \quad P' = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{b_1}{2} + p\right)^2}{z-n} \quad (\text{wykop}) \qquad (12)$$

Przekrój na rysunku 10 odpowiada pewnej wysokości "h" nasypu, zaś na rysunku 11 głębokości "h<sub>1</sub>" wykopu w osi.

Przy przyjęciu oznaczenia wartości "h" znakiem "+", zaś wartości "h<sub>1</sub>" znakiem "-", możemy oba powyższe wzory tj. 11 i 12 przedstawić w postaci

$$P = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{b}{2} + p\right)^2}{z-n} \qquad (13)$$

z tym, że dla wielkości "p" zastosujemy właściwy znak, wynikający ze związku  $p = h \cdot z$ .

Wykorzystanie tego wzoru do obliczania powierzchni w przekrojach odcinkowych jest ograniczone warunkiem aby:

$$|p| \leq \frac{b}{2} \qquad (14)$$

W przypadku, gdy warunek podany we wzorze 14 nie jest spełniony dany przekrój poprzeczny staje się przekrojem nasypu albo przekopu.

Na rys.12 i 13 wykreślono przykłady tych przypadków z których wynika, że obliczona powierzchnia przekroju nasypu  $P_1$  na rys.12 obliczona na podstawie wzoru 13.

$$P_1 = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{b}{2} + p\right)^2}{z-n}$$

musi być zmniejszona o powierzchnię

$$P_0 = \frac{1}{2} \frac{\left(p - \frac{b}{2}\right)^2}{z+n}$$

$$\text{czyli } P = P_1 - P_0 = \frac{1}{2} \frac{\left(p + \frac{b}{2}\right)^2}{z-n} - \frac{1}{2} \frac{\left(p - \frac{b}{2}\right)^2}{z+n} \quad (15)$$

oraz analogicznie powierzchnia przekroju wykopu

$$P'_1 = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{b_1}{2} + p\right)^2}{z-n}$$

musi być zmniejszona o powierzchnię

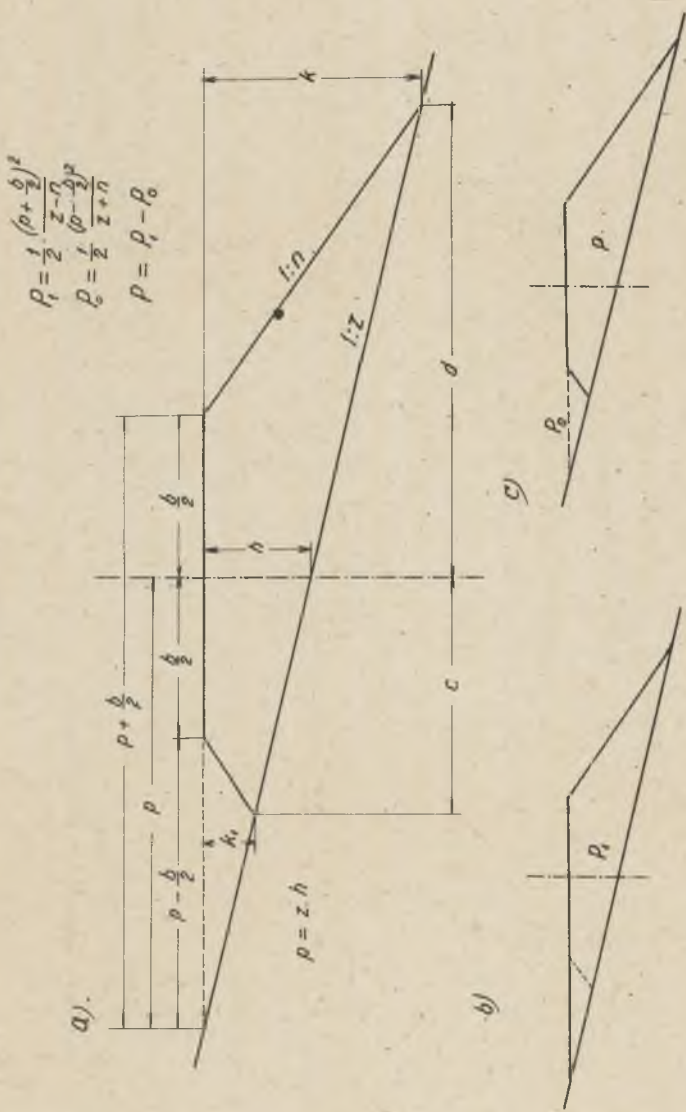
$$P'_0 = \frac{1}{2} \frac{\left(p - \frac{b_1}{2}\right)^2}{z-n}$$

czyli powierzchnia przekroju wykopu

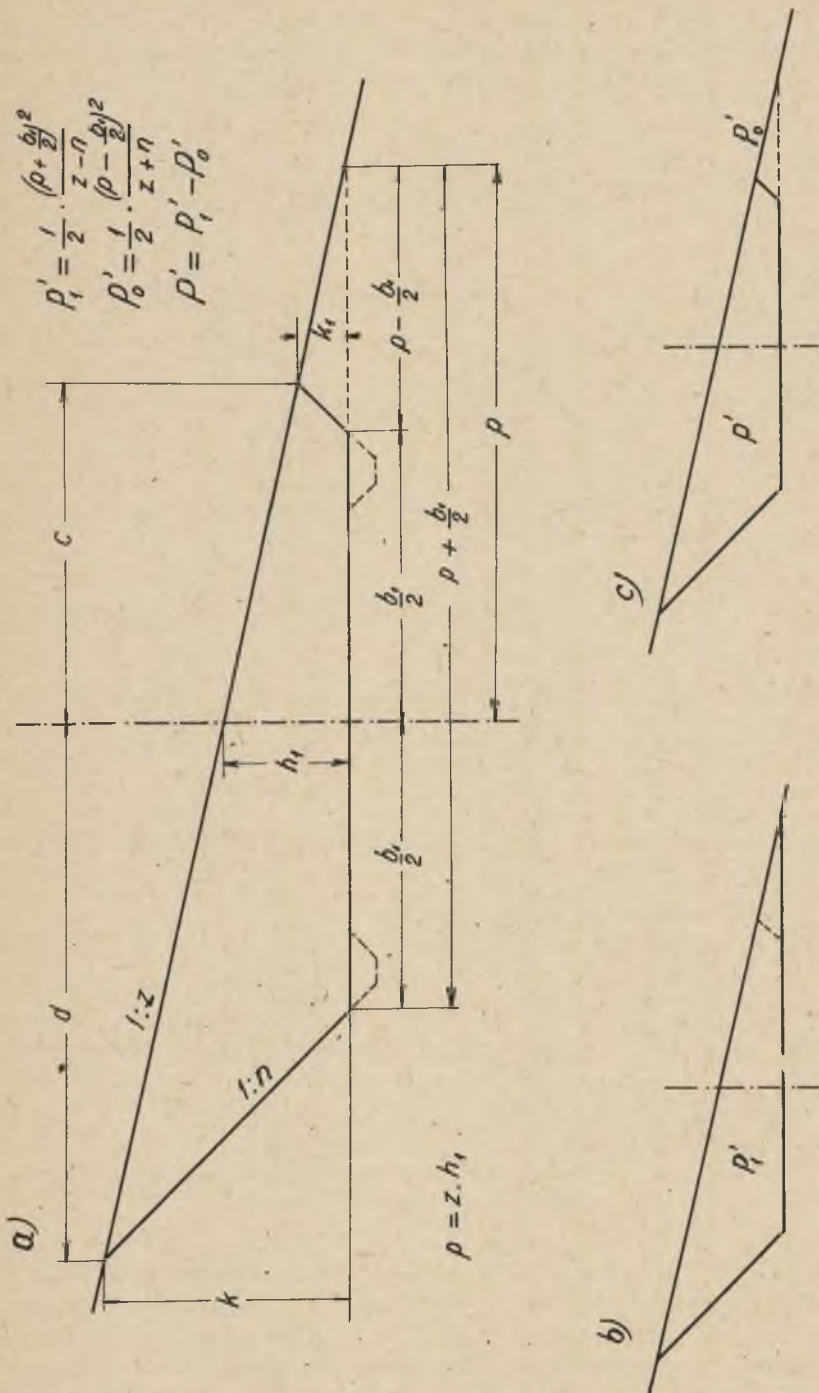
$$P' = P'_1 - P'_0 = \frac{1}{2} \frac{\left(p + \frac{b_1}{2}\right)^2}{z-n} - \frac{1}{2} \frac{\left(p - \frac{b_1}{2}\right)^2}{z+n} \quad (16)$$

W obu powyższych wzorach, tj. 15 i 16 należy wykorzystać bezwzględne wartości "p", a więc z pominięciem uwzględniania wpływu znaku ujemnego przy wielkości "h<sub>1</sub>".

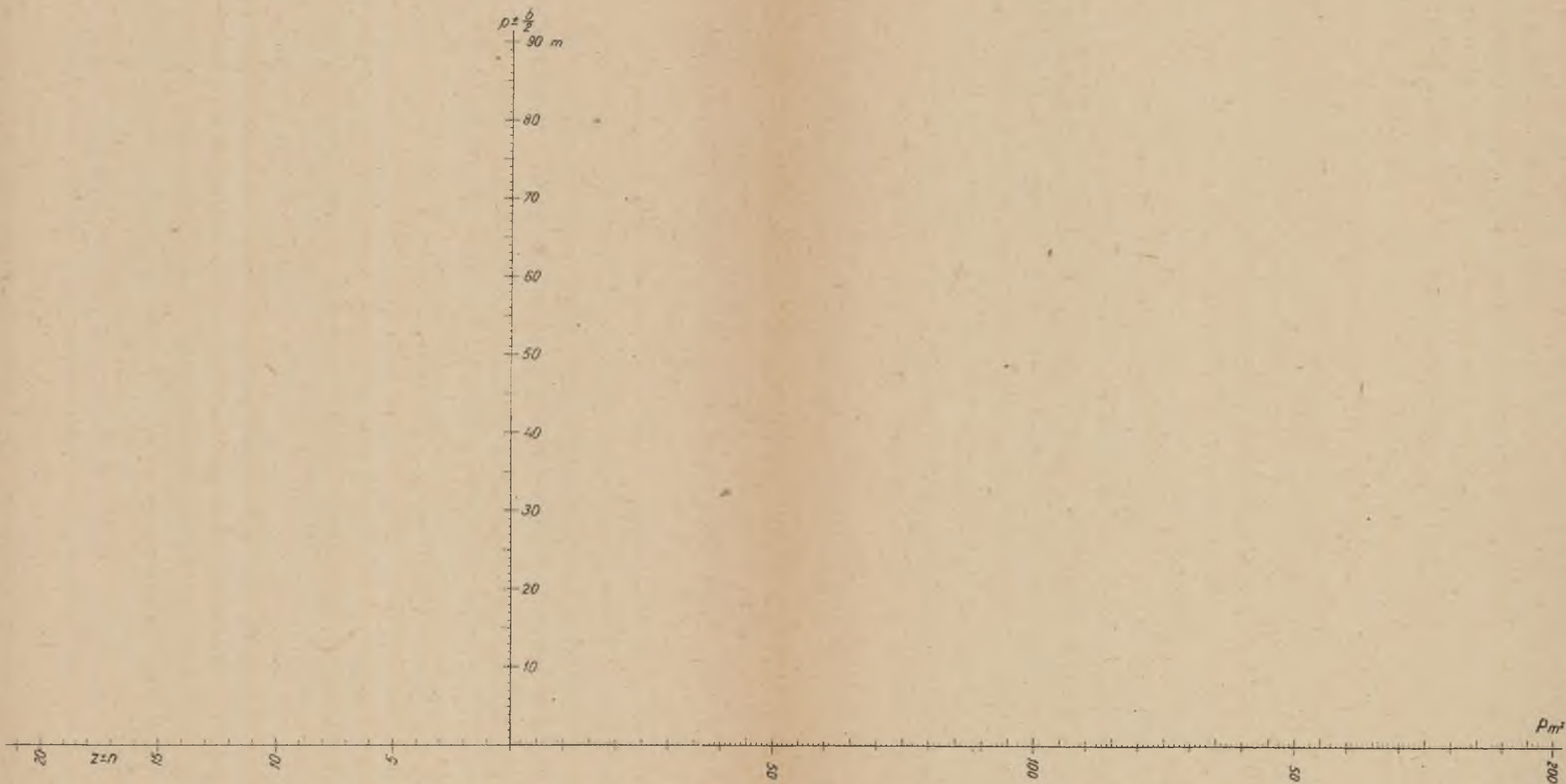
Wyżej podane wzory do obliczenia powierzchni przekrojów, nadają się do zastosowania również w metodzie graficznej



Rys. 12



Rys. 13



Rys.14. Nomogram geometryczny do obliczania powierzchni na podstawie wzoru

$$P = \frac{\left(p \pm \frac{b}{2}\right)^2}{2(z+n)}$$

dla dowolnych typów przekrojów (z przekrojem naziomu w linii prostej), są zatem wzorami uogólnionymi.

### B. Graficzne obliczenie powierzchni przekrojów na podstawie wzorów uogólnionych

Do graficznego obliczania powierzchni przekrojów na podstawie wzorów 13, 15 i 16 skonstruowano dwa nomogramy: geometryczny i logarytmiczny.

a) Nomogram geometryczny (rys.14) skonstruowany na 2 osiach prostokątnych, z wykorzystaniem 3 promieni zaopartych w różne podziałki:

- 1) na promieniu osi pionowej dla wartości  $(p \pm \frac{b}{2})$ , względnie  $(p \pm \frac{b_1}{2})$  od 0,0 do 90,0 m z podziałem kreskowym o interwałach odpowiadających 1,0 m, z możliwością oceny wartości 0,1 m. Ta dokładność szacunkowa odpowiada uwzględnieniu dokładności dla "h" w granicach od 0,01 m do 0,02 m, z uwagi na to, że wartość  $p = h \cdot z$  jest wielokrotnością wielkości "h" pomnożonej przez "z" (w granicach od 3 do 20),
- 2) na promieniu osi poziomej (na lewo) dla wartości  $(z+n)$ , z podziałem kreskowym o interwałach odpowiadających 0,5, z możliwością oceny wartości 0,1,
- 3) na promieniu osi poziomej (w prawo) dla określenia wielkości powierzchni P, z podziałem kreskowym o interwałach odpowiadających 1,0 m<sup>2</sup>, z możliwością oceny wielkości powierzchni z dokładnością 0,1 m<sup>2</sup>. Graficzne obliczenie powierzchni przekroju P, P<sub>1</sub> czy P<sub>0</sub> (na podstawie wzorów 13, 15 i 16) przeprowadzamy przy zastosowaniu pomocniczego kąta prostego, wykreślonego na kalce technicznej lub innego rodzaju płycie przezroczystej. Wierzchołek kąta prostego umieszczamy w punkcie osi pionowej, odpowiadającemu wartości  $(p - \frac{b}{2})$ , jedno ramię kąta prostego przeprowadzamy przez punkt osi poziomej, odpowiadający wartości  $(z \cdot n)$ , zaś drugie ramię przetnie pozostały promień osi poziomej w punkcie, którego odległość od początku układu odpowiada wielkości powierzchni.

W przypadkach, gdy wartości  $(p - \frac{b}{2})$  są małe, które z reguły występują w przekrojach odcinkowych w małym pochyleniu poprzecznym terenu, z korzyścią można nastawiać wierzchołek



kąta prostego na wartość  $10 \left(p \pm \frac{b}{2}\right)$ , zaś w rezultacie otrzymamy powierzchnię 100-krotnie większą.

Gdy wartość  $(z+n)$ , ograniczona na nomogramie do 20, według danych obliczeniowych jest większa, możemy obliczać powierzchnię dla tej wartości zmniejszonej 2 lub 3-krotnie, a w rezultacie obliczeniowym uzyskamy powierzchnię 2 lub 3 krotnie większą.

b) Nomogram logarytmiczny, przedstawiony na rys.15, jest skonstruowany na dwu prostych równoległych, zaopatrzonych w 3 podziałki logarytmiczne.

- 1) na górnej prostej dla wartości  $\left(p \pm \frac{b}{2}\right)^2$ , z podziałem kreskowym o interwałach umożliwiającym ocenę wielkości:

z dokładnością 0,1 m dla wartości  $\left(p \pm \frac{b}{2}\right) < 50$  m

" 0,2 m " " 50 m  $\left(p \pm \frac{b}{2}\right) < 100$  m

Oznaczenie kresek podziałkowych podano dla wartości  $\left(p \pm \frac{b}{2}\right)$ .

- 2) na dolnej prostej dla wartości  $2(z+n)$  z oznaczeniem kresek podziałki wartością  $(z+n)$ , dostosowaną do możliwości oszacowania odczytu z dokładnością 0,1 działki. Kierunek podziałki jest tu odwrotny w stosunku do podziałki 1, z uwagi na zachodzącą przy obliczaniu wielkości powierzchni konieczność odejmowania logarytmów,
- 3) na górnej prostej drugą podziałkę dla wartości P, umożliwiającą odczytywanie wielkości powierzchni, z dokładnością:

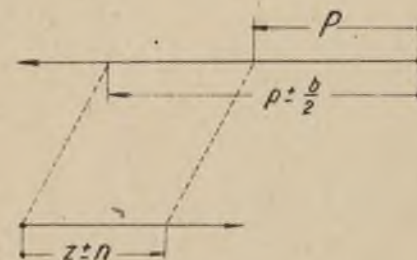
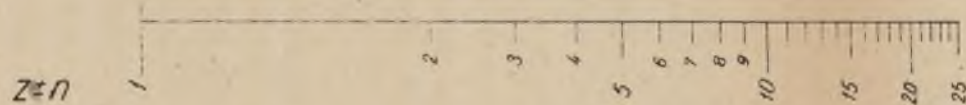
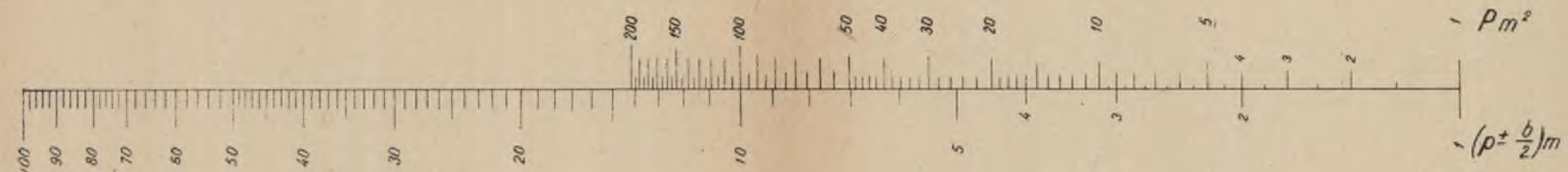
0,1 m<sup>2</sup> na odcinku podziałki do 20 m<sup>2</sup>

0,2 m<sup>2</sup> " " " od 20 m<sup>2</sup> do 50 m<sup>2</sup>

0,5 m<sup>2</sup> " " " od 50 m<sup>2</sup> do 150 m<sup>2</sup>

1,0 m<sup>2</sup> " " " od 150 m<sup>2</sup> do 200 m<sup>2</sup>

Graficzne obliczanie wielkości powierzchni przy pomocy opisanego nomogramu logarytmicznego, polega na odjęciu odcinka odpowiadającego logarytmowi wartości  $2(z+n)$  od odcinka, odpowiadającego logarytmowi wartości  $\left(p \pm \frac{b}{2}\right)^2$ , a oznaczonego na podziałce jako  $\left(p \pm \frac{b}{2}\right)$ , przy czym reszta długości tego odcinka, określona wartością logarytmicznej podziałki "P", odpowiada wielkości obliczanej powierzchni.



Rys. 15. Nomogram logarytmiczny do obliczania powierzchni na podstawie wzoru

$$P = \frac{1 \left( p \pm \frac{b}{2} \right)^2}{2(z+n)}$$

Schemat obliczenia powierzchni wykreślono na szkicu umieszczonym na rys.15.

Mimo prostszej konstrukcji nomogramu logarytmicznego, zastosowanie do graficznego obliczania powierzchni przekrojów robót ziemnych nomogramu geometrycznego jest dogodniejsze, a uzyskane tym ostatnim sposobem wyniki obliczeń są dokładniejsze.

W obu rodzajach nomogramów, na dokładność wyników wpływają głównie: dokładność podziałek, prostopadłość osi i ramion kąta w nomogramie geometrycznym, względnie równoległość osi i równoległość przemieszczanej linii w nomogramie logarytmicznym, oraz wielkości kątów zawartych między osiami a promieniem przecinającym te osie.

c) Wykresy uzupełniające dla obliczania powierzchni przekrojów rowów

Powierzchnię przekroju poprzecznego rowu w wykopie, z uwagi na znormalizowane wymiary tego rowu w danym projekcie, najlepiej obliczyć niezależnie, a wartościami obliczonymi uzupełniać wyniki obliczeń graficznych.

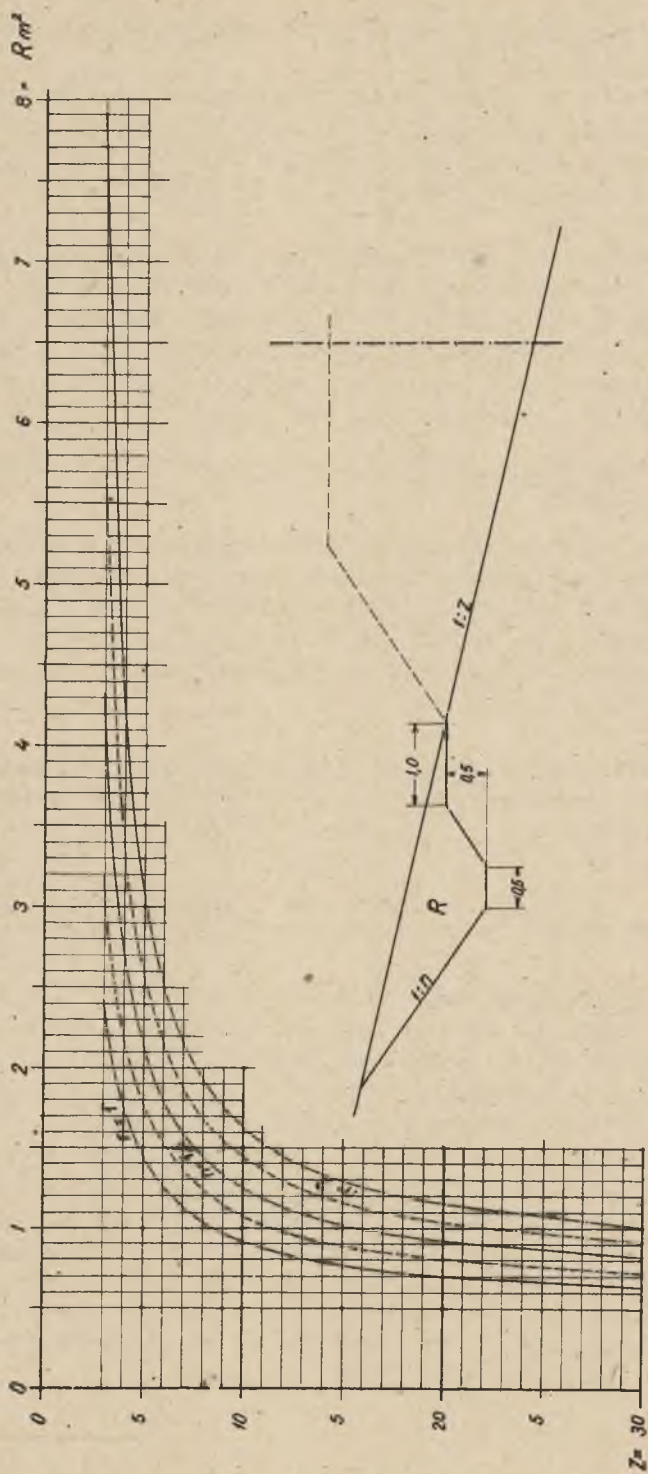
Dla przyjętych wymiarów normalnych: szerokość dna 0,50 m, głębokość rowu 0,50 m.

Powierzchnia przekroju jednego rowu w wykopie

Pochylenie skarp	1:1	1:1,25	1:1,5	1:1,75	1:2
R m <sup>2</sup>	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75

Dla obliczenia powierzchni przekroju rowu równoległego do dolnej krawędzi skarpy nasypu, w terenie płaskim, zbliżonym do poziomego, jednak posiadającym potrzebny dla spływu wody spadek podłużny, możemy również posłużyć się wyżej podanymi wielkościami powierzchni przekrojów.

Zagadnienie obliczenia R staje się nieco trudniejsze w przypadku przedstawionym przy wykresach na rys.16, tj. gdy projektujemy rów normalnej głębokości od strony stoku. Na tym rysunku przyjęto, że szerokość ławeczki wzdłuż dolnej krawędzi skarpy wynosi 1,0 m. Zależnie od wielkości pochylenia terenu 1:z i od pochylenia skarp wykopu rowu 1:n wielkość powierzchni R wzrasta ze zwiększaniem się wartości 1:z, oraz zmniejszaniem się wartości 1:n.



Rys. 16

Wykresy powierzchni  $R$ , oparte na poprzednio omawianym wzorze 15 wykreślono dla wartości  $z$  od 3 do 30 i wartości  $n = 1 - 1,25 - 1,50 - 1,75 - 2,00$ . Krzywe wykreślone dla poszczególnych wartości " $n$ " umożliwiają określenie wielkości  $R$  dla dowolnych wartości  $z$  (w przyjętych granicach) z dokładnością szacunkową  $0,01 \text{ m}^2$ .

Dokładność ta jest w zasadzie teoretyczną, gdyż w praktyce - w terenie - nie jest możliwe uzyskanie tej dokładności.

#### d) Przykład zastosowania nowej metody

Obliczanie powierzchni przekrojów przeprowadzamy najdogodniej na odpowiednio dostosowanych formularzach. Przykład obliczenia podano w tabeli I. W odpowiednich kolumnach podajemy kolejno:

- 1) odległości od początku (km),
- 2) wysokości robót ziemnych ( $h$  wzgl.  $h_1$ ) uzyskane z obliczeń na profilu podłużnym,
- 3) wartości " $z$ " (odległości warstw 1-metrowych mierzonych w kierunku prostopadłym do osi).

W następnych kolumnach wpisujemy wartości " $p$ " (obliczone suwakiem logarytmicznym),  $(p \pm \frac{b}{2})$ ,  $(z \pm n)$ , zaś w dalszym ciągu wyniki obliczeń z zastosowaniem nomogramu, jako też ostateczne rezultaty obliczeń wielkości powierzchni przekrojów, uzyskane ze sumowania wyników poprzednich.

W przykładzie obliczeniowym uwzględniono: szerokość korony robót ziemnych  $b = 5,00 \text{ m}$ ,  $b_1 = b + 2r = 9,00 \text{ m}$ , nachylenie skarp  $1:n = 1:1,5$ , szerokość dna rowu  $0,5 \text{ m}$ , normalna głębokość rowu  $0,5 \text{ m}$ .

#### 4. Analiza porównawcza

Celem uzyskania danych dotyczących dokładności obliczeń, oraz ekonomiki zastosowania, przeprowadzono kilkadziesiąt badań i obliczeń w odniesieniu do dokładności wyników i pracochłonności przy stosowaniu nowej metody graficznej i obliczeń powierzchni przy pomocy planimetru. W badaniach pominięto w zupełności badania odnoszące się do stosowania wykresów Culmanna i Lalannesa.

Tablica 1

$b = 5,0m$   
 $b_1 = 9,0m$

L.	Odległość		h		z		p = z · h		Nasyt		Wykop		z-n		z+n		Nasyt			Wykop			Uwagi																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	Km	m	+	-	m	+	-	m	p + b	p - b	s	d	s	d	m	z-n	z+n	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>16</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>18</sub>	P <sub>19</sub>	P <sub>20</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>26</sub>	P <sub>27</sub>	P <sub>28</sub>	P <sub>29</sub>	P <sub>30</sub>	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>34</sub>	P <sub>35</sub>	P <sub>36</sub>	P <sub>37</sub>	P <sub>38</sub>	P <sub>39</sub>	P <sub>40</sub>	P <sub>41</sub>	P <sub>42</sub>	P <sub>43</sub>	P <sub>44</sub>	P <sub>45</sub>	P <sub>46</sub>	P <sub>47</sub>	P <sub>48</sub>	P <sub>49</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>51</sub>	P <sub>52</sub>	P <sub>53</sub>	P <sub>54</sub>	P <sub>55</sub>	P <sub>56</sub>	P <sub>57</sub>	P <sub>58</sub>	P <sub>59</sub>	P <sub>60</sub>	P <sub>61</sub>	P <sub>62</sub>	P <sub>63</sub>	P <sub>64</sub>	P <sub>65</sub>	P <sub>66</sub>	P <sub>67</sub>	P <sub>68</sub>	P <sub>69</sub>	P <sub>70</sub>	P <sub>71</sub>	P <sub>72</sub>	P <sub>73</sub>	P <sub>74</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>76</sub>	P <sub>77</sub>	P <sub>78</sub>	P <sub>79</sub>	P <sub>80</sub>	P <sub>81</sub>	P <sub>82</sub>	P <sub>83</sub>	P <sub>84</sub>	P <sub>85</sub>	P <sub>86</sub>	P <sub>87</sub>	P <sub>88</sub>	P <sub>89</sub>	P <sub>90</sub>	P <sub>91</sub>	P <sub>92</sub>	P <sub>93</sub>	P <sub>94</sub>	P <sub>95</sub>	P <sub>96</sub>	P <sub>97</sub>	P <sub>98</sub>	P <sub>99</sub>	P <sub>100</sub>	P <sub>101</sub>	P <sub>102</sub>	P <sub>103</sub>	P <sub>104</sub>	P <sub>105</sub>	P <sub>106</sub>	P <sub>107</sub>	P <sub>108</sub>	P <sub>109</sub>	P <sub>110</sub>	P <sub>111</sub>	P <sub>112</sub>	P <sub>113</sub>	P <sub>114</sub>	P <sub>115</sub>	P <sub>116</sub>	P <sub>117</sub>	P <sub>118</sub>	P <sub>119</sub>	P <sub>120</sub>	P <sub>121</sub>	P <sub>122</sub>	P <sub>123</sub>	P <sub>124</sub>	P <sub>125</sub>	P <sub>126</sub>	P <sub>127</sub>	P <sub>128</sub>	P <sub>129</sub>	P <sub>130</sub>	P <sub>131</sub>	P <sub>132</sub>	P <sub>133</sub>	P <sub>134</sub>	P <sub>135</sub>	P <sub>136</sub>	P <sub>137</sub>	P <sub>138</sub>	P <sub>139</sub>	P <sub>140</sub>	P <sub>141</sub>	P <sub>142</sub>	P <sub>143</sub>	P <sub>144</sub>	P <sub>145</sub>	P <sub>146</sub>	P <sub>147</sub>	P <sub>148</sub>	P <sub>149</sub>	P <sub>150</sub>	P <sub>151</sub>	P <sub>152</sub>	P <sub>153</sub>	P <sub>154</sub>	P <sub>155</sub>	P <sub>156</sub>	P <sub>157</sub>	P <sub>158</sub>	P <sub>159</sub>	P <sub>160</sub>	P <sub>161</sub>	P <sub>162</sub>	P <sub>163</sub>	P <sub>164</sub>	P <sub>165</sub>	P <sub>166</sub>	P <sub>167</sub>	P <sub>168</sub>	P <sub>169</sub>	P <sub>170</sub>	P <sub>171</sub>	P <sub>172</sub>	P <sub>173</sub>	P <sub>174</sub>	P <sub>175</sub>	P <sub>176</sub>	P <sub>177</sub>	P <sub>178</sub>	P <sub>179</sub>	P <sub>180</sub>	P <sub>181</sub>	P <sub>182</sub>	P <sub>183</sub>	P <sub>184</sub>	P <sub>185</sub>	P <sub>186</sub>	P <sub>187</sub>	P <sub>188</sub>	P <sub>189</sub>	P <sub>190</sub>	P <sub>191</sub>	P <sub>192</sub>	P <sub>193</sub>	P <sub>194</sub>	P <sub>195</sub>	P <sub>196</sub>	P <sub>197</sub>	P <sub>198</sub>	P <sub>199</sub>	P <sub>200</sub>	P <sub>201</sub>	P <sub>202</sub>	P <sub>203</sub>	P <sub>204</sub>	P <sub>205</sub>	P <sub>206</sub>	P <sub>207</sub>	P <sub>208</sub>	P <sub>209</sub>	P <sub>210</sub>	P <sub>211</sub>	P <sub>212</sub>	P <sub>213</sub>	P <sub>214</sub>	P <sub>215</sub>	P <sub>216</sub>	P <sub>217</sub>	P <sub>218</sub>	P <sub>219</sub>	P <sub>220</sub>	P <sub>221</sub>	P <sub>222</sub>	P <sub>223</sub>	P <sub>224</sub>	P <sub>225</sub>	P <sub>226</sub>	P <sub>227</sub>	P <sub>228</sub>	P <sub>229</sub>	P <sub>230</sub>	P <sub>231</sub>	P <sub>232</sub>	P <sub>233</sub>	P <sub>234</sub>	P <sub>235</sub>	P <sub>236</sub>	P <sub>237</sub>	P <sub>238</sub>	P <sub>239</sub>	P <sub>240</sub>	P <sub>241</sub>	P <sub>242</sub>	P <sub>243</sub>	P <sub>244</sub>	P <sub>245</sub>	P <sub>246</sub>	P <sub>247</sub>	P <sub>248</sub>	P <sub>249</sub>	P <sub>250</sub>	P <sub>251</sub>	P <sub>252</sub>	P <sub>253</sub>	P <sub>254</sub>	P <sub>255</sub>	P <sub>256</sub>	P <sub>257</sub>	P <sub>258</sub>	P <sub>259</sub>	P <sub>260</sub>	P <sub>261</sub>	P <sub>262</sub>	P <sub>263</sub>	P <sub>264</sub>	P <sub>265</sub>	P <sub>266</sub>	P <sub>267</sub>	P <sub>268</sub>	P <sub>269</sub>	P <sub>270</sub>	P <sub>271</sub>	P <sub>272</sub>	P <sub>273</sub>	P <sub>274</sub>	P <sub>275</sub>	P <sub>276</sub>	P <sub>277</sub>	P <sub>278</sub>	P <sub>279</sub>	P <sub>280</sub>	P <sub>281</sub>	P <sub>282</sub>	P <sub>283</sub>	P <sub>284</sub>	P <sub>285</sub>	P <sub>286</sub>	P <sub>287</sub>	P <sub>288</sub>	P <sub>289</sub>	P <sub>290</sub>	P <sub>291</sub>	P <sub>292</sub>	P <sub>293</sub>	P <sub>294</sub>	P <sub>295</sub>	P <sub>296</sub>	P <sub>297</sub>	P <sub>298</sub>	P <sub>299</sub>	P <sub>300</sub>	P <sub>301</sub>	P <sub>302</sub>	P <sub>303</sub>	P <sub>304</sub>	P <sub>305</sub>	P <sub>306</sub>	P <sub>307</sub>	P <sub>308</sub>	P <sub>309</sub>	P <sub>310</sub>	P <sub>311</sub>	P <sub>312</sub>	P <sub>313</sub>	P <sub>314</sub>	P <sub>315</sub>	P <sub>316</sub>	P <sub>317</sub>	P <sub>318</sub>	P <sub>319</sub>	P <sub>320</sub>	P <sub>321</sub>	P <sub>322</sub>	P <sub>323</sub>	P <sub>324</sub>	P <sub>325</sub>	P <sub>326</sub>	P <sub>327</sub>	P <sub>328</sub>	P <sub>329</sub>	P <sub>330</sub>	P <sub>331</sub>	P <sub>332</sub>	P <sub>333</sub>	P <sub>334</sub>	P <sub>335</sub>	P <sub>336</sub>	P <sub>337</sub>	P <sub>338</sub>	P <sub>339</sub>	P <sub>340</sub>	P <sub>341</sub>	P <sub>342</sub>	P <sub>343</sub>	P <sub>344</sub>	P <sub>345</sub>	P <sub>346</sub>	P <sub>347</sub>	P <sub>348</sub>	P <sub>349</sub>	P <sub>350</sub>	P <sub>351</sub>	P <sub>352</sub>	P <sub>353</sub>	P <sub>354</sub>	P <sub>355</sub>	P <sub>356</sub>	P <sub>357</sub>	P <sub>358</sub>	P <sub>359</sub>	P <sub>360</sub>	P <sub>361</sub>	P <sub>362</sub>	P <sub>363</sub>	P <sub>364</sub>	P <sub>365</sub>	P <sub>366</sub>	P <sub>367</sub>	P <sub>368</sub>	P <sub>369</sub>	P <sub>370</sub>	P <sub>371</sub>	P <sub>372</sub>	P <sub>373</sub>	P <sub>374</sub>	P <sub>375</sub>	P <sub>376</sub>	P <sub>377</sub>	P <sub>378</sub>	P <sub>379</sub>	P <sub>380</sub>	P <sub>381</sub>	P <sub>382</sub>	P <sub>383</sub>	P <sub>384</sub>	P <sub>385</sub>	P <sub>386</sub>	P <sub>387</sub>	P <sub>388</sub>	P <sub>389</sub>	P <sub>390</sub>	P <sub>391</sub>	P <sub>392</sub>	P <sub>393</sub>	P <sub>394</sub>	P <sub>395</sub>	P <sub>396</sub>	P <sub>397</sub>	P <sub>398</sub>	P <sub>399</sub>	P <sub>400</sub>	P <sub>401</sub>	P <sub>402</sub>	P <sub>403</sub>	P <sub>404</sub>	P <sub>405</sub>	P <sub>406</sub>	P <sub>407</sub>	P <sub>408</sub>	P <sub>409</sub>	P <sub>410</sub>	P <sub>411</sub>	P <sub>412</sub>	P <sub>413</sub>	P <sub>414</sub>	P <sub>415</sub>	P <sub>416</sub>	P <sub>417</sub>	P <sub>418</sub>	P <sub>419</sub>	P <sub>420</sub>	P <sub>421</sub>	P <sub>422</sub>	P <sub>423</sub>	P <sub>424</sub>	P <sub>425</sub>	P <sub>426</sub>	P <sub>427</sub>	P <sub>428</sub>	P <sub>429</sub>	P <sub>430</sub>	P <sub>431</sub>	P <sub>432</sub>	P <sub>433</sub>	P <sub>434</sub>	P <sub>435</sub>	P <sub>436</sub>	P <sub>437</sub>	P <sub>438</sub>	P <sub>439</sub>	P <sub>440</sub>	P <sub>441</sub>	P <sub>442</sub>	P <sub>443</sub>	P <sub>444</sub>	P <sub>445</sub>	P <sub>446</sub>	P <sub>447</sub>	P <sub>448</sub>	P <sub>449</sub>	P <sub>450</sub>	P <sub>451</sub>	P <sub>452</sub>	P <sub>453</sub>	P <sub>454</sub>	P <sub>455</sub>	P <sub>456</sub>	P <sub>457</sub>	P <sub>458</sub>	P <sub>459</sub>	P <sub>460</sub>	P <sub>461</sub>	P <sub>462</sub>	P <sub>463</sub>	P <sub>464</sub>	P <sub>465</sub>	P <sub>466</sub>	P <sub>467</sub>	P <sub>468</sub>	P <sub>469</sub>	P <sub>470</sub>	P <sub>471</sub>	P <sub>472</sub>	P <sub>473</sub>	P <sub>474</sub>	P <sub>475</sub>	P <sub>476</sub>	P <sub>477</sub>	P <sub>478</sub>	P <sub>479</sub>	P <sub>480</sub>	P <sub>481</sub>	P <sub>482</sub>	P <sub>483</sub>	P <sub>484</sub>	P <sub>485</sub>	P <sub>486</sub>	P <sub>487</sub>	P <sub>488</sub>	P <sub>489</sub>	P <sub>490</sub>	P <sub>491</sub>	P <sub>492</sub>	P <sub>493</sub>	P <sub>494</sub>	P <sub>495</sub>	P <sub>496</sub>	P <sub>497</sub>	P <sub>498</sub>	P <sub>499</sub>	P <sub>500</sub>	P <sub>501</sub>	P <sub>502</sub>	P <sub>503</sub>	P <sub>504</sub>	P <sub>505</sub>	P <sub>506</sub>	P <sub>507</sub>	P <sub>508</sub>	P <sub>509</sub>	P <sub>510</sub>	P <sub>511</sub>	P <sub>512</sub>	P <sub>513</sub>	P <sub>514</sub>	P <sub>515</sub>	P <sub>516</sub>	P <sub>517</sub>	P <sub>518</sub>	P <sub>519</sub>	P <sub>520</sub>	P <sub>521</sub>	P <sub>522</sub>	P <sub>523</sub>	P <sub>524</sub>	P <sub>525</sub>	P <sub>526</sub>	P <sub>527</sub>	P <sub>528</sub>	P <sub>529</sub>	P <sub>530</sub>	P <sub>531</sub>	P <sub>532</sub>	P <sub>533</sub>	P <sub>534</sub>	P <sub>535</sub>	P <sub>536</sub>	P <sub>537</sub>	P <sub>538</sub>	P <sub>539</sub>	P <sub>540</sub>	P <sub>541</sub>	P <sub>542</sub>	P <sub>543</sub>	P <sub>544</sub>	P <sub>545</sub>	P <sub>546</sub>	P <sub>547</sub>	P <sub>548</sub>	P <sub>549</sub>	P <sub>550</sub>	P <sub>551</sub>	P <sub>552</sub>	P <sub>553</sub>	P <sub>554</sub>	P <sub>555</sub>	P <sub>556</sub>	P <sub>557</sub>	P <sub>558</sub>	P <sub>559</sub>	P <sub>560</sub>	P <sub>561</sub>	P <sub>562</sub>	P <sub>563</sub>	P <sub>564</sub>	P <sub>565</sub>	P <sub>566</sub>	P <sub>567</sub>	P <sub>568</sub>	P <sub>569</sub>	P <sub>570</sub>	P <sub>571</sub>	P <sub>572</sub>	P <sub>573</sub>	P <sub>574</sub>	P <sub>575</sub>	P <sub>576</sub>	P <sub>577</sub>	P <sub>578</sub>	P <sub>579</sub>	P <sub>580</sub>	P <sub>581</sub>	P <sub>582</sub>	P <sub>583</sub>	P <sub>584</sub>	P <sub>585</sub>	P <sub>586</sub>	P <sub>587</sub>	P <sub>588</sub>	P <sub>589</sub>	P <sub>590</sub>	P <sub>591</sub>	P <sub>592</sub>	P <sub>593</sub>	P <sub>594</sub>	P <sub>595</sub>	P <sub>596</sub>	P <sub>597</sub>	P <sub>598</sub>	P <sub>599</sub>	P <sub>600</sub>	P <sub>601</sub>	P <sub>602</sub>	P <sub>603</sub>	P <sub>604</sub>	P <sub>605</sub>	P <sub>606</sub>	P <sub>607</sub>	P <sub>608</sub>	P <sub>609</sub>	P <sub>610</sub>	P <sub>611</sub>	P <sub>612</sub>	P <sub>613</sub>	P <sub>614</sub>	P <sub>615</sub>	P <sub>616</sub>	P <sub>617</sub>	P <sub>618</sub>	P <sub>619</sub>	P <sub>620</sub>	P <sub>621</sub>	P <sub>622</sub>	P <sub>623</sub>	P <sub>624</sub>	P <sub>625</sub>	P <sub>626</sub>	P <sub>627</sub>	P <sub>628</sub>	P <sub>629</sub>	P <sub>630</sub>	P <sub>631</sub>	P <sub>632</sub>	P <sub>633</sub>	P <sub>634</sub>	P <sub>635</sub>	P <sub>636</sub>	P <sub>637</sub>	P <sub>638</sub>	P <sub>639</sub>	P <sub>640</sub>	P <sub>641</sub>	P <sub>642</sub>	P <sub>643</sub>	P <sub>644</sub>	P <sub>645</sub>	P <sub>646</sub>	P <sub>647</sub>	P <sub>648</sub>	P <sub>649</sub>	P <sub>650</sub>	P <sub>651</sub>	P <sub>652</sub>	P <sub>653</sub>	P <sub>654</sub>	P <sub>655</sub>	P <sub>656</sub>	P <sub>657</sub>	P <sub>658</sub>	P <sub>659</sub>	P <sub>660</sub>	P <sub>661</sub>	P <sub>662</sub>	P <sub>663</sub>	P <sub>664</sub>

A. Wyniki badań dokładności obliczeń

Jako podstawę do określenia dokładności obliczeń przyjęto:

- a) wielkości uzyskane z obliczeń na podstawie wzorów 11, 12, 15 i 16 przy pomocy maszyny do liczenia (wartości bezbłędne) zaokrąglone do  $0,01 \text{ m}^2$ ,
- b) wielkości uzyskane z obliczeń tych samych powierzchni metodą graficzną, przy zastosowaniu nomogramu geometrycznego, a następnie planimetru kompensacyjnego Coradiego.

Wskaźnikiem dokładności są różnice wyników obliczeń uzyskanych przy zastosowaniu maszyny do liczenia i uzyskanych przy użyciu nomogramu. Te różnice są rzeczywistymi błędami obliczenia graficznego; zestawiono je dla różnych grup spostrzeżeń w wartościach bezwzględnych, jako też w postaci średnich błędów procentowych dla poszczególnych grup.

1. Metoda graficzna

grupa I - wielkość powierzchni od  $1 \text{ m}^2$  do  $7 \text{ m}^2$   
ilość spostrzeżeń ..... 41

wielkości błędów $\text{m}^2$	0,0	0,1	0,2	0,3
ilość przypadków	12	6	1	1

średni błąd procentowy  $\pm 0,3\%$

grupa II - wielkość powierzchni od  $1 \text{ m}^2$  do  $15 \text{ m}^2$   
ilość spostrzeżeń ..... 20

wielkość błędów $\text{m}^2$	0,0	0,1	0,2	0,3
ilość przypadków	12	6	1	1

średni błąd procentowy  $\pm 0,3\%$

grupa III - wielkość powierzchni od  $1 \text{ m}^2$  do  $34 \text{ m}^2$   
ilość spostrzeżeń ..... 10

wielkość błędów $\text{m}^2$	0,0	0,1	0,3
ilość przypadków	7	2	1

średni błąd procentowy  $\pm 0,4\%$

grupa IV - wielkość powierzchni od  $15 \text{ m}^2$  do  $60 \text{ m}^2$   
ilość spostrzeżeń ..... 10

wielkość błędów $\text{m}^2$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,3
ilość przypadków	1	1	1	1	1	2	1	1	1

średni błąd procentowy  $\pm 0,7\%$

## 2. Obliczenie przy pomocy planimetru

grupa II - wielkość powierzchni od  $1 \text{ m}^2$  do  $15 \text{ m}^2$   
ilość spostrzeżeń ..... 20

wielkość błędów $\text{m}^2$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8
ilość przypadków	4	3	2	1	1	2	6	1

średni błąd procentowy  $\pm 1,4\%$

grupa IV - wielkość powierzchni  $15 \text{ m}^2$  do  $60 \text{ m}^2$   
ilość spostrzeżeń ..... 10

wielkość błędów $\text{m}^2$	0,0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,3
ilość przypadków	1	1	1	2	2	2	1

średni błąd procentowy  $\pm 0,7\%$ .



Uwaga: planimetrowanie przeprowadzono dwukrotnie, wyniki różnic odczytów noniusza, w zależności od wielkości powierzchni, wahały się pomiędzy 0 a 3 jednostki noniuszowe; wykazane w tabeli błędy mają swoje źródło w niedokładności rysunku (jednak błędy rysunku nie przekraczały 0,1 mm).

### B. Porównanie czasu pracy

Podczas wykonywania obliczeń, prowadzono szczegółowe notatki dotyczące czasu pracy w odniesieniu do poszczególnych czynności, związanych z obliczeniami.

Średnie wartości, odnoszące się do czasu potrzebnego dla obliczenia powierzchni jednego przekroju w minutach, zestawiono poniżej.

#### 1) Metoda graficzna

- a) wypełnienie kolumn przygotowanego formularza wielkościami  $h$  i  $z$ , obliczenie wartości  $p$ ,  $(p \pm \frac{b}{2})$ ,  $(z \pm n)$ ,
- b) obliczenie w każdym przekroju 2 powierzchni metodą graficzną, ( $P_1$  oraz  $P_0$  względnie  $P = P_1 - P_0$  jako też uwzględnienie powierzchni  $R$  w wykopach jako średnia wartość z 44 obliczeń 2,7 minut).

#### 2) Planimetrem kompensacyjnym

- a) wykreślenie przekroju poprzecznego ołówkiem na papierze milimetrowym,
- b) planimetrowanie dwukrotne powierzchni (z ewentualnym dodatkowym planimetrowaniem), właściwe notowanie odczytów,
- c) obliczenie średnich wyników spostrzeżeń oraz obliczenie powierzchni (wyznaczenie stałej planimetru dokonane poprzednio),  
jako średnia wartość z 27 spostrzeżeń

czynność a ..... 2,2 minuty  
 czynność b i c ..... 4,3 minuty

Razem ..... 6,5 minut

### C. Wnioski

1. Z porównania wielkości błędów, stwierdzonych podczas przeprowadzania badań wynika, że przy zastosowaniu nowej metody graficznego obliczania powierzchni przekrojów robót ziemnych, błędy obliczenia są znacznie mniejsze przy powierzchniach mniejszych, w porównaniu z wynikami planimetrowania (grupa II), a przy powierzchniach większych (grupa IV) w przybliżeniu równe.

2. Porównanie czasów pracy wskazuje, że stosowanie nowej metody graficznego obliczania powierzchni przekrojów jest znacznie ekonomiczniejsze od obliczania ich przy pomocy planimetru. W przyjęciu, że w projekcie 1 km drogi, czy kolei zachodzi potrzeba obliczenia powierzchni około 60 przekrojów, czas potrzebny do wykonania czynności obliczeniowych na podstawie wykazanych średnich wyniesie:

nową metodą graficzną	60x2,7 min = 1 godz. 42 min
przy stosowaniu planimetru	60x6,5 " = 6 " 30 "
Stosunek tych czasów odpowiada wartości <u>1:2.4</u>	

Stosunek ten może okazać się bardziej niekorzystnym dla pracy obliczeniowej dokonywanej planimetrem, gdy dany pracownik nie posiada należytej wprawy w użytkowaniu tego przyrządu.

3. Nawet w przypadku, gdy z pewnych względów wykreślenie przekrojów poprzecznych jest konieczne, można zredukować czas pracy przez zastosowanie metody graficznej zamiast planimetrowania.

Średni czas planimetrowania 1 przekroju	4,3 minuty
" " obliczeń met.graf.1 przekroju	<u>2,7 "</u>
<u>oszczędność czasu</u>	<u>1,6 minuty</u>

Na 1 km projektowanego obiektu, oszczędność czasu wyniesie: 60x1,6 min = 1 godz. 36 min. Ta oszczędność może się okazać większą.

4. W związku z możliwością uzyskania oszczędności czasu przy zastosowaniu nowej metody graficznej do obliczania powierzchni przekrojów już wykreślonych, bez zmniejszenia dokładności wyników, celowym jest zastosowanie tej metody w przypadkach naziemnego łamanego (linia przekroju poprzecznego terenu wykreślona na podstawie wyników niwelacji), po uprzednim graficznym wyprostowaniu tej linii znaną metodą graficzną. Do obliczeń graficznych powierzchni przekroju

należy wykorzystać poprawione wysokości "h" o wielkość " $\Delta$ " odczytaną z planu oraz wielkość "z", określoną na podstawie rysunku.

Czas potrzebny na dokonanie powyższych uzupełnień, wynosi średnio dla jednego przekroju 1,5 minuty.

## 5. Uwagi końcowe

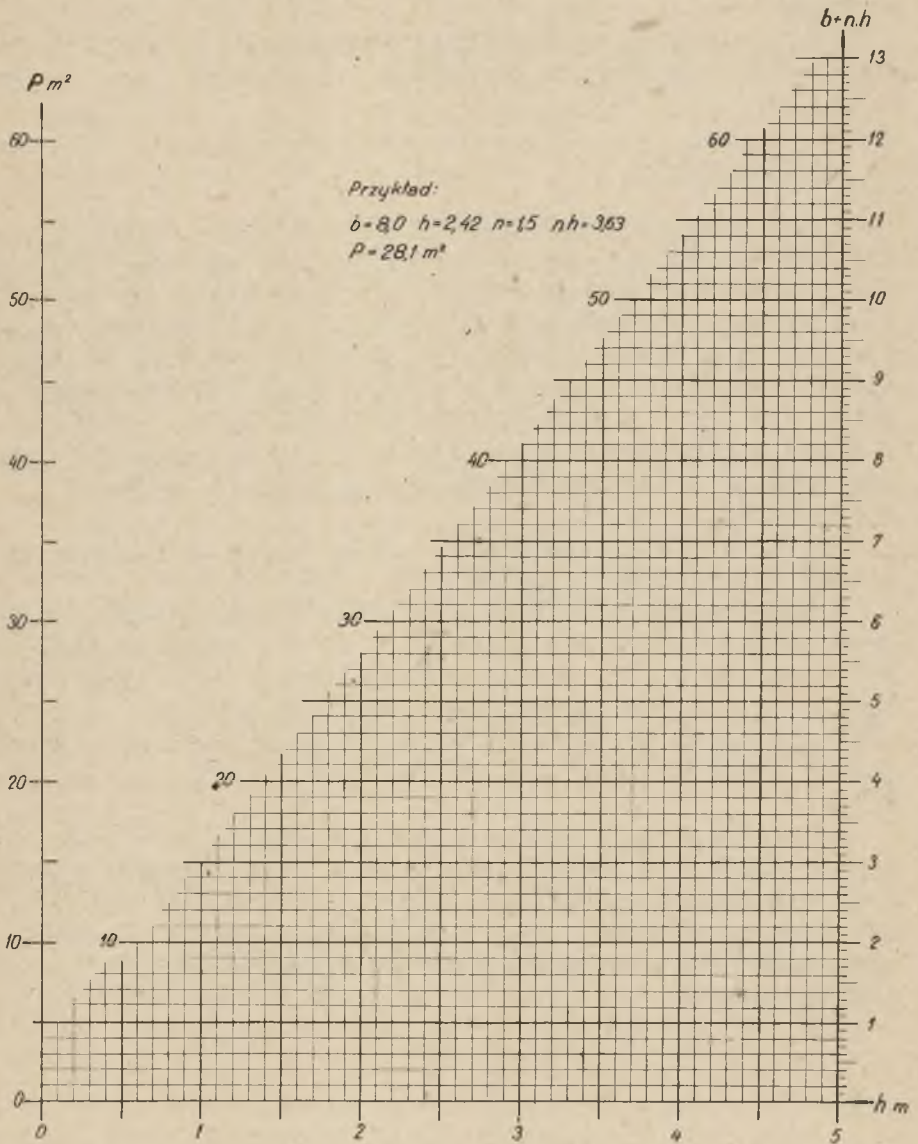
Wzory oznaczone liczbami 15 i 16 nazwałem "uogólnionymi" nie ogólnymi z tej prostej przyczyny, że nie mogą mieć zastosowania dla naziomu w linii poziomej czyli dla  $z = \infty$ .

Graficzne obliczenie powierzchni przekrojów przy naziomie poziomym lub zbliżonym do poziomego zalecone w podręcznikach (wyszczególnionych w I B), wymagające kreślenia parabol dla różnych wartości "n" w dostosowaniu do wzoru  $P = b \cdot h + h^2 n$ , można wykonać łatwiej przy pomocy nomogramu opartego na tym samym wzorze sprowadzonym do postaci  $P = h(b + hn)$ .

Przykład takiego nomogramu, który można sporządzić na papierze milimetrowym, podano na rys.17.

Z uwagi na to, że różnica wyników obliczeń powierzchni przekrojów nasypów czy wykopów, przy tej samej wysokości robót ziemnych w osi, dla naziomu poziomego i naziomu odchylonego od poziomego wynosi około 0,5% dla wartości  $z = 20$ , w praktyce można by już pominąć wpływ pochylenia przy wartościach  $z = 20$  i liczyć te powierzchnie jak dla naziomu poziomego.

Wskazania dotychczasowe dotyczące pomijania wpływu naziomu pochyłego dla wartości  $z = 9$  są o tyle niesłuszne, że przy średnich wielkościach powierzchni 10-20 m<sup>2</sup> błędy obliczeniowe wynoszą 4-3% przy pochyleniu skarp 1:1,5. Błędy te wzrastają przy mniejszych, zaś maleją przy większych pochyleniach skarp.



Rys.17. Nomogram do obliczania powierzchni na podstawie wzoru  
 $P = h(b+n.h)$

## LITERATURA

- 1 K.Skibiński - Budowa dróg (skrypt) 1910.
- 2 S.Bryła - Podręcznik inżynierski 1925.
- 3 W.Nesterowicz - Roboty ziemne 1937.
- 4 W.Jacyna - Obliczanie objętości robót ziemnych 1952.

НОВЫЙ МЕТОД ГРАФИЧЕСКОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТИ СЕЧЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РАБОТ  
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЫКНОВЕННЫХ  
И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Краткое изложение

Новый метод графического вычисления поверхности сечения земельных работ основывается на:

- а) использовании универсальной номограммы (рис. 14), сконструированной на основе уравнения (11 и 12) и употребляемой также для отрезковых сечений;
- б) использовании номограмм для вычисления поверхности сечения насыпей или котлованов с исключением отрезковых сечений (рис. 8) для разных наклонений назёма и разных наклонений откосов, а также для горизонтального назёма (рис. 17).

Как выказали предварительные испытания новый метод имеет большие технические преимущества (приблизительно равную, а даже большую точность от точности возможной для получения при употреблении планиметра Коради), а также большое экономическое значение.

При обеспечении необходимой точности время затраченное для определения поверхности новым методом по отношению к времени планировки этой же поверхности выражается в среднем соотношением 1 : 2,4.

## NEW METHOD OF GRAPHIC DETERMINATION OF EARTH WORK CROSS SECTIONS' AREA FOR ROADS AND RAILWAYS CONSTRUCTION

### S u m m a r y

The new method of graphic determination of earth work cross sections' areas is based on:

- a) application of a universal monogram (fig. 14), designed on the basis of a pattern (11 and 12), also useful for the sidehill sections;
- b) application of nomograms for the determination of fill and cut area sections, sidehill sections excluding, as well (fig. 8) for various country and slopes gradients (fig. 17), as for horizontal terrain.

As the preliminary examinations have proved, a new method has great technical values (exactness approximately equal and even greater than the exactness achieved when using Coradi's planimeter), as well as great economic qualities.

With necessary exactness, the time of work at area determining by means of a new methods in comparison to the time of work necessary at determining the same area by means of a planimeter is in average 1 : 2,4.