

## ROZDZIAŁ IX

# OBLICZANIE KOSZTÓW ROBÓT ZIEMNYCH

### 1. Uwagi ogólne

Koszt wykonania robót ziemnych składa się z następujących pozycji:

1. Kosztu pomiarów i oznaczania robót na gruncie;
2. Kosztu wywłaszczenia terenu, na którym wykonywane są roboty ziemne, oraz budynków, drzew, zasiewów itp., znajdujących się na wywłaszczanym terenie;
3. Kosztu doboru ziemi w wykopach oraz wykopach materiałowych i naładowania na środki przewozowe;
4. Kosztu przewozu ziemi z wykopów lub wykopów materiałowych na nasypy;
5. Kosztu robót zabezpieczających: umocnienia skarp, ubicia nasypów, kosztu murów oporowych, drenowania powierzchni usuwowych itp.

Metody określania kosztów poszczególnych pozycji podane są niżej, przy tym nie jest zachowany przytoczony porządek pozycji, gdyż punkty 3 i 4, jako najobszerniejsze, omówione są na końcu.

### 2. Koszt pomiarów i oznaczenia robót na gruncie

Koszt ten określa się na zasadzie praktyki w przybliżeniu. Zwykle koszt ten oblicza się od kilometra bieżącego pomiarów i wyznaczania projektowanych robót na gruncie.

Koszt ten zależny jest przede wszystkim od warunków

terenowych: będzie niższy dla terenów płaskich, wyższy — dla terenów pagórkowatych, najwyższy — dla terenów górskich.

Naturalnie, zależny jest on również od płac zarówno personelu technicznego, jak ceny robocizny, potrzebnej do przenoszenia instrumentów mierniczych, przeprowadzania pomiarów, ustawiania łąt kierunkowych, wbijania kołków, ustawiania reperów itd.; włączyć tu należy również wydatki rzeczowe, jak całkowita lub częściowa amortyzacja narzędzi mierniczych, używanych do pomiarów, koszt kołków, łąt itd. Koszt personelu technicznego i robocizny w znacznym stopniu zależny jest od tego, czy personel techniczny i robotnicy pracują w miejscu ich stałego zamieszkania, czy też zmuszeni są do pobytu z dala od miejsca ich stałego zamieszkania.

W warunkach terenowych łatwych partia, złożona z inżyniera, dwóch techników i kilku robotników, może wykonać pomiary sprawdzających, według projektu drogi lub kolei, w celu oznaczenia na gruncie osi robót oraz śladów skarp i ich kierunków, na długości kilku kilometrów (4—5 km), gdy w terenach górskich taka sama partia może niekiedy wykonać pomiary i oznaczenia na długości zaledwie kilkudziesięciu metrów.

Jak widzimy z podanego przykładu, koszty pomiarów i oznaczenia robót ziemnych na gruncie są bardzo indywidualne, nie dają się ująć we wzory lub normy i w każdym poszczególnym wypadku winny być obliczane w zależności od miejscowych warunków terenowych oraz płac personelu technicznego i robotników, przyjmując dla różnych warunków terenowych, różne normy dziennej wydajności pracy na podstawie doświadczeń z praktyki.

### 3. Koszty nabycia lub wywłaszczenia ziemi, znajdujących się na niej budynków, zniszczonych zasiewów itp.

Dobrze opracowany projekt szczegółowy robót ziemnych, potrzebnych dla budowli inżynierskich, daje możliwość opracowania planu sytuacyjnego terenów niezbędnych dla tych budowli, co znowu daje możliwość określenia wartości tych terenów wraz ze znajdującymi się na nich budynkami, zadrzewieniem, zasiewami itp.

Nabycie przez osobę lub instytucję praw własności na potrzebne tereny wraz ze znajdującymi się na nich budynkami, zadrzewieniem itp. może nastąpić albo w drodze dobrowolnej umowy, albo też na podstawie wywłaszczenia, opartego na obowiązujących ustawach i przepisach, które przewidują możliwość wywłaszczenia potrzebnych terenów wraz z przynależnościami na rzecz osoby lub instytucji wykonywującej budowę, o ile budowa ta należy do rzędu inwestycji użyteczności publicznej.

Odpowiednie przepisy, w tej materii wydane, przewidują skład komisji szacunkowych, powoływanych do oceny wywłaszczanych gruntów wraz z przynależnościami, zasady, na których ma być ustalona cena itp. Do takich komisji powoływani są rzeczoznawcy, znający miejscowe warunki, ceny itp.

Od orzeczeń tych komisji mogą być podawane odwołania do wyższych instancji lub sądów.

Orzeczenia komisji wywłaszczeniowych — po ich uprawnieniu się — dają nam wysokość kosztów nabycia potrzebnych terenów z przynależnościami, o ile przed tym nie nastąpiła dobrowolna ugoda.

Na poszczególne części terenów nabywanych lub wywłaszczanych mogą być ustalone różne ceny jednostkowe, nie raz bardzo różniące się między sobą — w zależności od ich wartości użytkowej.

#### 4. Koszt robót zabezpieczających

Do nich należą takie roboty, jak umocnienia skarp, ubicie nasypów, mury oporowe lub okładzinowe, drenowanie powierzchni usuwowych itd.

Ilość tego rodzaju robót w jednostkach miar (*m. bież.*  $m^2$ ,  $m^3$ ) może być łatwo obliczona według projektu, o ile projekt jest opracowany szczegółowo i roboty są wykonywane ściśle według projektu; w przeciwnym razie ilość robót winna być wymierzona już po wykonaniu robót.

Koszty jednostek robót (wykonanie, np. 1  $m^2$  darniowania, 1  $m^3$  muru oporowego z kamienia na zaprawie lub bez zaprawy, suchego itp.) określa się na podstawie danych praktycznych, zebranych w specjalnych podręcznikach czy też w tablicach analizy cen.

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Wycinanie darniny i naładowanie . . . . .  | 1,2—1,6 godz. rob./m <sup>3</sup>    |
| Składanie darniny w stosy . . . . .  | 0,8—1,2 godz. rob./m <sup>3</sup>    |
| Pokrywanie skarp warstwą ziemi urodzajnej, przywiezionej na miejsce robót . . . . .      | 0,4—0,6 godz. rob./m <sup>3</sup>    |
| Układanie darniny rębem . . . . .  | 1,4—2,0 godz. rob./m <sup>2</sup>    |
| „ „ na płask . . . . .   | 0,8—1,2 godz. rob./m <sup>2</sup>    |
| Zasiewy skarp { nasienia traw . . . . .  | 0,008—0,01 kg/m <sup>2</sup>         |
| { robocizna . . . . .  | 0,01—0,015 godz. rob./m <sup>2</sup> |
| Karczowanie, z usunięciem i złożeniem w stosy zależnie od gęstości zarzewienia . . . . . | 0,4—1,0 godz. rob./m <sup>2</sup>    |
| Ubijanie nasypów:  |                                      |

- |               |                              |             |                           |
|---------------|------------------------------|-------------|---------------------------|
| a) ręczne:    | grunt. piaszczystych i żwir. | 0,4—0,6     | godz. rob./m <sup>2</sup> |
|               | „ gliniastych . . .          | 0,8—1,2     | godz. rob./m <sup>3</sup> |
|               | margli i glin z dom. piasku, | 1,3—1,7     | godz. rob./m <sup>2</sup> |
|               | czystej gliny i twardych     |             |                           |
|               | margli . . . . .             | 2,3—2,6     | godz. rob./m <sup>3</sup> |
| b) maszynowe: | gruntów piaszczy-            |             |                           |
|               | stych i żwirów . . . .       | 0,03 —0,04  | godz./m <sup>3</sup>      |
|               | gruntów gliniastych . . .    | 0,035—0,045 | „                         |
|               | margli i glin z domieszką    |             |                           |
|               | piasku . . . . .             | 0,06 —0,07  | „                         |
|               | czystej gliny i twardych     |             |                           |
|               | margli . . . . .             | 0,08 —0,12  | „                         |

Przy obliczaniu kosztu robót tego rodzaju, jak budowa murów oporowych, budowa sztolni otwartych lub górniczych dla osuszenia powierzchni usuwowej itp., winny być przeprowadzone kalkulacje indywidualne kosztu robocizny i materiałów.

Koszt добыcia ziemi, tj. odspojenia od gruntu macierzystego, zależy od bardzo wielu warunków i jest w stosunku prostym do objętości dobywanej ziemi.

224

Jeżeli przez  $K_1$  oznaczymy koszt dobycia ziemi objętości  $V \text{ m}^3$ , otrzymamy zależność:

$$K_1 = \alpha \cdot V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

We wzorze (1) współczynnik  $\alpha$  — koszt dobycia  $1 \text{ m}^3$  ziemi, który dla danej roboty o objętości  $V \text{ m}^3$  jest stały, ale dla różnych robót może wahać się w szerokich granicach.

Wartość  $\alpha$  zależy:

1. od rodzaju gruntu;
2. od sposobu dobywania ziemi i naładowywania na narzędzia (środki) przewożowe; ma tu wpływ amortyzacja narzędzi lub maszyn, użytych do dobywania, niezbędne ich naprawy i wydajność;
3. od miejscowych warunków, wpływających na koszt robocizny: od jakości robotnika (robotnik wykwalifikowany w robotach ziemnych, wdrożony do tych robót i robotnik nie wdrożony, np. bezrobotny). Wreszcie organizacja robót ma tu wpływ poważny; inna będzie wydajność — znacznie większa — gdy roboty ziemne wykonywane są na akord racjonalnie ustalony; inna, gdy są wykonywane roboty ziemne na dniówkę.

W różnych podręcznikach inżynierskich znajdujemy przeciętne normy dobywania ziemi.

Dla przykładu przytaczamy przeciętne normy robocizny przy dobywaniu ręcznym wraz z naładowaniem na narzędzia (środki) przewożowe <sup>1)</sup> (tablica XXIII):

Tablica XXIII

| R o d z a j   g r u n t u        | Niezbędna robocizna <i>godz/1 m<sup>3</sup></i> |                       |   |
|----------------------------------|---|-----------------------|---|
|                                  | z naładow.<br>na taczki                         | na wózki<br>wywrotowe | na wózki<br>wywrotowe<br>wysokie i sa-<br>moch. cięż. |
| piasek i żwir . . . . .          | 0,6 — 1,0                                       | 0,7 — 1,1             | 0,8 — 1,2   |
| grunt piaszczysto-gliniasty. . . | 1,0 — 1,5                                       | 1,1 — 1,8             | 1,2 — 2,2   |
| margiel i grunt glin.-piaszcz. . | 1,5 — 2,6                                       | 1,8 — 2,8             | 2,2 — 3,2   |
| głina i twardy margiel . . . .   | 2,6 — 3,6                                       | 2,8 — 3,8             | 3,2 — 5,0   |

<sup>1)</sup> P. Lewsen. Selbstkostenermittlung im Strassenbau. Berlin. 1936.



Do kosztów robocizny należy dodać koszt amortyzacji i napraw narzędzi, przy pomocy których wykonywane jest do-  
bywanie ziemi.

Jeżeli dobywanie jest wykonywane przy pomocy materia-  
łów wybuchowych, należy ustalić przy pomocy prób koszt ro-  
bót wybuchowych: robocizny, narzędzi lub maszyn i materia-  
łów wybuchowych.

O ile zastosowane są łopaty mechaniczne (bagrownice  
łyżkowe lub bagrownice kubłowe) należy przyjąć wydajność  
przeciętną z uwzględnieniem nieuniknionych przerw pod-  
czas roboty na drobne naprawy, smarowanie, przesuwanie itp.  
i obliczyć koszty utrzymania tego rodzaju maszyn w ruchu,  
a więc koszty niezbędnej obsługi, koszty materiałów pędnych,  
smarów, drobnych napraw oraz uwzględnić koszty amortyzacji  
maszyn.

Dość często powierzchnia gruntu wzrusza się przy pomo-  
cy pługów lub karczowane są pnie drzew; koszt tych robót  
(koszty robocizny wraz z amortyzacją i kosztami napraw na-  
rzędzi) zwykle rozkładany jest na całą ilość ziemi, dobywanej  
na pewnym odcinku.

O ile są używane przyrządy i maszyny, służące do doby-  
wania ziemi i jednocześnie do jej przewozu (np. łopaty konne  
lub traktorowe), należy koszt добыcia i przewozu ziemi obli-  
czać razem, nie dzieląc go na dwie pozycje—dobycia i prze-  
wozu; w tym wypadku zwykle koszty te bywają umieszczane  
w rubryce kosztów przewozu.

## 6. Koszt przewozu ziemi

Koszt przewozu wraz z wyładowaniem ziemi добыtej i na-  
ładowanej na środki przewozowe jest funkcją stosunkowo dość  
dużej ilości zmiennych.

Oprócz odległości przewozu na koszt przewozu mają  
wpływ: waga jednostki objętości przewożonej ziemi; rodzaj  
środków przewozowych; rodzaj siły pociągowej; ilość przewo-  
żonej ziemi, z którą związany być może wybór tego lub inne-  
go rodzaju środków przewozowych; przekrój podłużny drogi

przewozu; sposób organizacji przewozu (na akord czy na dniówkę); koszt i jakość robocizny oraz koszt siły pociągowej.

Jeżeli koszt przewozu ziemi objętości  $V m^3$  oznaczymy przez  $K_2$ , przeciętną odległość przewozu przez  $l$ , mamy:

$$K_2 = \beta \cdot l \cdot V \dots \dots \dots (2)$$

We wzorze (2)  $\beta$  oznacza koszt przewozu i wyładunku  $1 m^3$  ziemi dobytej i naładowanej na środki przewozowe.

Wartość  $\beta$  zależna jest od wymienionych warunków miejscowych, a poniekąd i od  $l$  — przeciętnej odległości i od  $V$  — objętości ziemi, ponieważ od nich zależy wybór tego lub innego środka przewozowego.

*Skala cen przewozu.* Aby koszt przewozu ziemi był możliwie jak najmniejszy, trzeba wybrać najodpowiedniejsze dla danych warunków środki przewozowe.

W tym celu należy ułożyć tak zwaną skalę cen przewozu przy pomocy różnych środków przewozowych, które mogą wchodzić w rachubę przy wykonywaniu danych robót ziemnych.

Skalę cen przewozu układa się w sposób następujący:

Przede wszystkim trzeba określić czas jednego obrotu, to jest czas, potrzebny na przewóz środka przewozowego, naładowanego ziemią z miejsca добыcia ziemi do miejsca wyładunku i na powrót już opróżnionego środka przewozowego do miejsca добыcia ziemi; ten czas jednego obrotu winien być określony dla różnych odległości przewozu i dla różnych środków przewozowych, które w danych warunkach mogłyby wchodzić w rachubę przy wykonaniu danych robót ziemnych: mogą to być taczki, wózki dwukołowe, zwykłe wozy gospodarskie lub wozy konne specjalnie zbudowane do robót ziemnych, wózki kolejkowe, ciągnięte przez ludzi bądź przez konie, albo też lokomotywy lub silniki spalinowe, wreszcie pociągi robocze normalnej kolei żelaznej, łopaty konne lub traktorowe.

Czas jednego obrotu określa się w sposób następujący przy założeniu, że przewóz odbywa się na odcinku poziomym.

Środek przewozowy, naładowany ziemią, porusza się z pewną przeciętną szybkością  $v_1 m/sek$ ; szybkość ta dla różnych środków przewozowych znana jest z praktyki; dane te można

znaleźć w różnych podręcznikach inżynierskich; w razie potrzeby określa się doświadczalnie dla danych warunków pracy.

W drodze powrotnej — po wyładowaniu ziemi — środek przewozowy powraca do miejsca, gdzie ładowana jest ziemia, z szybkością inną, zwykle większą; oznaczmy ją przez  $v_2$  m/sek. Ta szybkość dla poszczególnych środków przewozowych również zwykle znana jest z praktyki; w razie potrzeby można określić ją doświadczalnie.

Czas potrzebny na wykonanie jednego obrotu przy przewozie ziemi na odległość  $x$  metrów równa się  $\left(\frac{x}{v_1} + \frac{x}{v_2}\right)$ . Jeżeli wprowadzimy średnią szybkość dla jednego obrotu i oznaczmy ją przez  $v$  m/sek, otrzymamy równanie:

$$\frac{2x}{v} = \frac{x}{v_1} + \frac{x}{v_2},$$

skąd:

$$v = \frac{2 \cdot v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Do czasu, potrzebnego dla jednego obrotu, należy dodać czas  $t$ , jaki jest potrzebny na wyładowanie i obrócenie środka przewozowego; całkowity czas  $T$ , potrzebny dla jednego obrotu:

$$T = \left(\frac{2x}{v} + t\right) = \frac{2x + vt}{v} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

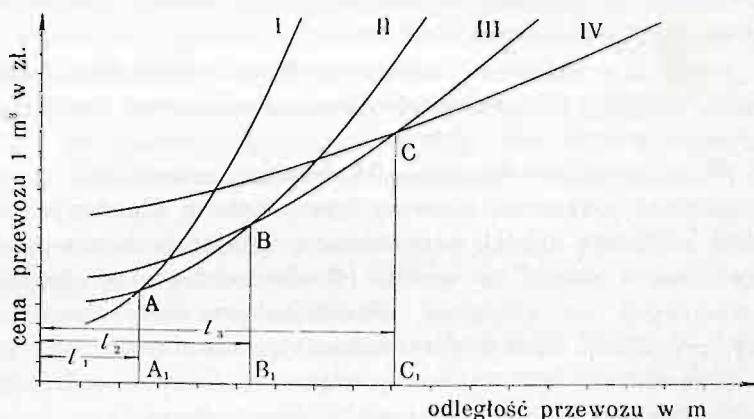
Gdy po powrocie do miejsca dobywania ziemi trzeba czekać na naładowanie, ponieważ siła pociągowa (człowieka, zwierząt pociagowych lub silnika) nie może zaraz być użyta do przewozu już naładowanych środków przewozowych, wtedy do czasu  $t$  potrzeba dodać czas, potrzebny na naładowanie. Jeżeli przez  $k$  oznaczmy koszt przewozu ziemi jednym środkiem przewozu (np. jedną taczka, jednym wozem konnym, jednym wózkiem kolejkowym, jednym pociągiem drogowym itp.) w ciągu jednego dnia roboczego lub jednej zmiany, a przez  $J$  objętość w  $m^3$  danego środka przewozowego, wtedy z równania (4) wprowadzamy:

$$T \cdot \frac{k}{J} = \frac{2x + vt}{v} \cdot \frac{k}{J} = \text{kosztowi przewozu } 1 \text{ } m^3 \text{ ziemi.} \quad (5)$$



Koszt ten jest zależny od odległości przewozu i od  $t$  — czasu (wyrażonego w ułamku długości dnia roboczego lub zmiany), potrzebnego na obracanie środka przewozowego i wyładowanie ziemi; do czasu tego dolicza się, jak to wyżej już podano, czas potrzebny na naładowanie środka przewozowego, jeżeli w miejscu dobywania ziemi siła pociągowa musi czekać na naładowanie i nie może być użyta od razu do naładowanych środków przewozowych.

We wzorze (5) do  $k$  wliczamy koszt robocizny dla obsługi danego środka przewozowego w ciągu dnia roboczego lub zmia-



Rys. 222.

ny według cen miejscowych, koszt siły pociągowej, wydatek na amortyzację kapitału, włożonego w kupno środka przewozowego oraz na odpowiednie oprocentowanie tego kapitału, przyjmując używalność środka przewozowego z praktyki na pewien okres czasu.

Wzór (5) daje możność ułożenia skali cen przewozu  $1 m^3$  na różne odległości w postaci wykresu dla różnych środków przewozowych, jakie dla danej roboty ziemnej mogą wchodzić w rachubę. Schemat skali cen przewozu, podany jest na rys. 222.

Na wykresie tym linia (I) daje koszt przewozu  $1 m^3$  na różne odległości przy pomocy takiego środka przewozowego (np. taczek), przy użyciu którego koszt przewozu, mniejszy od kosztu przewozu przy pomocy innych środków przewozowych na odległościach mniejszych, przy większych odległościach

wzrasta szybciej, niż koszt przewozu przy pomocy innych środków przewozowych.

Linia (II) daje koszt przewozu  $1 \text{ m}^3$  na różne odległości przy pomocy takiego środka przewozowego (np. wozów dwukołowych), przy użyciu którego koszt przewozu na mniejsze odległości jest większy, niż przy użyciu pierwszego środka przewozowego, a na dalsze — mniejszy. Linie (I) i (II) przecinają się w p. A, który daje nam możliwość określenia odległości ( $l_1$  — na wykresie), stanowiącej granicę, do której ze względu na koszty powinno się używać pierwszego środka przewozowego; przy odległościach, przewyższających  $l_1$ , należy zastosować drugi środek przewozowy.

Punkt B pozwala na oznaczenie granicy (odległości  $l_2$ ) stosowania drugiego i trzeciego środka przewozowego (np. wozów konnych) itd.

Mając objętości mas ziemi, które mamy przewieźć, i średnią odległość przewozu, możemy łatwo wybrać dla danych warunków najtańszy środek przewozowy. Mając wybrane środki przewozowe i czas  $T$  z wzoru (4) dla każdego ze środków przewozowych na odległość przeciętną oraz ilość ziemi, jaką mamy przewieźć, oraz z góry oznaczając termin, w ciągu którego przewóz ma być wykonany, łatwo możemy określić ilość potrzebnych środków przewozowych danego typu.

Do zastosowania skali cen przewozu powrócimy w końcu niniejszego rozdziału przy rozdziale mas ziemi.

Niżej przytoczony jest szereg wskazówek praktycznych, służących do obliczania kosztu przewozu ziemi; zaznaczyć trzeba, że przytoczone one są dla ogólnej orientacji i że więcej szczegółów potrzebnych do kalkulacji kosztów oraz różne tablice oparte na danych z praktyki znaleźć można w różnych podręcznikach inżynierskich.

1. Taczki. Droga, którą robotnik może przebyć, ciągnąc taczkę, naładowaną w jedną stronę („tam”) i wyładowaną z powrotem, przy normalnym robotniku, wdrożonym do tego rodzaju robót, wynosi przeciętnie  $24 \text{ km}$  w ciągu 8 godzin, co odpowiada średniej szybkości  $0,83 \text{ m/sek}$ . Na naładowanie i wyładowanie taczek robotnik zużywa  $1\text{—}1,5 \text{ min}$ ; w ciągu tego czasu idąc z szybkością  $0,83 \text{ m/sek}$ , mógłby przejść odległość  $50\text{—}75 \text{ m}$ .

Jeżeli przez  $d$  oznaczymy odległość (w metrach) przewo-  
zu ziemi, to ilość obrotów w ciągu 8-godzinnego dnia roboczego  
wyniesie:  $x = \frac{24000}{2d + 50}$ , względnie  $\frac{24000}{2d + 75}$  obrotów.

Znając pojemność taczki, możemy obliczyć, co może je-  
den robotnik przewieźć w ciągu dnia roboczego na daną odle-  
głość.

Wzór powyższy jest wyprowadzony dla odcinków pozio-  
mych lub ze wzniesieniem  $< 3-4\%$ .

Przy większych wzniesieniach na zasadzie danych z prak-  
tyki przyjmujemy pewne poprawki odległości  $d$  w zależności  
od wielkości wzniesień; istnieją specjalne tablice dla takich po-  
prawek dla różnych środków przewozowych.

Przy kalkulacjach cen przewozu przy pomocy taczek  
trzeba uwzględnić koszt amortyzacji oraz napraw w wysoko-  
ści ok. 10% kosztu dniówki robotnika lub zakłada się, że tacz-  
ka (drewniana) winna zamortyzować się w ciągu półrocznego  
użytkowania; do taczki potrzebny jest jeden robotnik; jedynie  
na większych wzniesieniach dodaje się pomoc na wyciąganie  
taczek na takich wzniesieniach.

Na różne roboty pomocnicze dodaje się 5% kosztu dniówki  
robotnika; oddzielnie uwzględnia się koszty nabycia desek dla  
torów taczkowych, zakładając, że zużywają się one przy 50  
taczkach, pracujących dziennie, w ciągu 50 dni.

Wreszcie pewną ilość taczek trzeba mieć w rezerwie  
(przynajmniej 5% ich ilości).

2. Wozы konne typu gospodarskiego. Jeżeli  
są wynajmowane—do kalkulacji wchodzi cena wynajmu (dniów-  
ki), szybkość średnia 1,06 m/sek oraz objętość ziemi, jaka  
zmieści się w wozie gospodarskim typu przeciętnego, używa-  
nego w danej miejscowości. Do kosztu wynajmu, w zależności  
od przeciętnej odległości przewozu i objętości wozu, trzeba do-  
dać koszt robocizny potrzebnej do wyładowania.

Jeżeli przewóz ziemi odbywa się przy pomocy wozów nie  
wynajmowanych, a zakupionych specjalnie dla robót wraz  
z końmi, a w niektórych wypadkach nawet wozów o specja-  
lnej konstrukcji, należy przede wszystkim ustalić koszt pracy  
takiego wozu: do kosztu tego należy zaliczyć koszt utrzymania  
siły pociągowej (konia lub koni), koszt robocizny (woźnicy oraz

robotnika przy wyładowywaniu), koszt amortyzacji i oprocentowania kapitału, rozkładając amortyzację na kilka lat (np. dla koni na 8—10 lat, a dla wozu na 5 lat); wreszcie do kosztów pracy takich wozów zaliczyć trzeba koszt napraw wozu i uprzęży, smarowania wozu, kucia koni i ich leczenia, urządzenia lub wynajmu stajni, koszt ubezpieczenia społecznego robotników itd.

3. *Wózki dwukółowe.* Jeżeli wózki pchane są przez ludzi, trzeba uwzględnić przy jednym wózku koszt robocizny (2 robotników); średnia szybkość  $0,9 \text{ m sek.}$  Czas  $t$  potrzebny na wyładowanie i obracanie wózków = ok.  $5 \text{ min.}$

Do kosztu robocizny należy dodać koszt pomocy przy wyładowywaniu wózków.

Wreszcie uwzględnić trzeba koszty napraw, amortyzacji i oprocentowania wydatku na nabycie wózków oraz na urządzenie torów z desek, zakładając, że wózek wytrzyma 2 — 3 sezony pracy.

Jeżeli wózki są ciągnięte przez konie, zwykle jeden koń ciągnie 2—3 wózki. Średnia szybkość  $v = 1,03 \text{ m/sek.}$ , a czas  $t = 8 \text{ min}$  — na wyładowanie i obracanie.

Gdy koń czeka w miejscu dobywania ziemi na naładowanie wózka, przyjmuje się  $t = 14 \text{ min.}$

Pomoc przy wyładowywaniu wózków, ciągniętych przez konie jest kilkakrotnie większa, niż w wypadku stosowania siły pociągowej ludzkiej.

4. *Łopaty konne.* Szybkość przewozu, w zależności od typu łopat = ok.  $1,0 \text{ m/sek.}$  Przy obliczaniu objętości ziemi przewożonej przyjmuje się, że łopaty konne są napełnione najwyżej w 50%—75% teoretycznej objętości łopaty.

Na koszty przewozu przy pomocy łopaty konnej składają się: koszt wynajmu lub utrzymania koni, w ostatnim wypadku wraz z amortyzacją i oprocentowaniem kapitału, wydatkowanego na ich nabycie; koszt napraw łopaty i uprzęży oraz amortyzacji z oprocentowaniem wydatku na ich nabycie.

Zwykła łopata konna wystarcza na 1 sezon robót, łopaty zaś na kołach — na 5 sezonów. Czas potrzebny na naładowanie, wyładowanie i obrócenie łopaty  $t = 1,5 \text{ min.}$

Wreszcie do kosztu przewozu przy pomocy łopat konnych



doliczyć należy koszt 1 woźnicy i pomocy przy wyrównywaniu ziemi; pomoc ta wynosi około 0,5 robotnika na 1 łopatę konną.

5. Kolejki robocze. Przy obliczaniu kosztów przewozu przede wszystkim trzeba uwzględnić amortyzację i oprocentowanie kapitału, wydatkowanego na nabycie toru i taboru, wychodząc z obliczenia kosztu nabycia i przybliżonej wartości toru i taboru po ukończeniu robót; przy obliczaniu długości potrzebnego toru trzeba dodać 20%—30% średniej odległości przewozu na mijanki, rozjazdy itp.

Przy zastosowaniu siły pociągowej ludzkiej do poruszania jednego wózka z ziemią, o objętości  $2 m^3$ , potrzeba 2 robotników; dla wózka, o objętości  $0,5 m^3$ , wystarcza 1 robotnik; szybkość przewozu średnio wynosi około  $1,0 m/sek.$  Strata czasu na wyładunek i przesuwanie na mijankach wynosi  $8 min.$  Umożnienie kosztu wózków rozłożyć należy na okres do 7 lat przy 200 dniach roboczych w ciągu roku. Na naprawy, smary itp. dodaje się 10% do kosztu kupna taboru. Koszt toru i podkładów rozkłada się na 10 lat przy 200 dniach roboczych w ciągu roku.

Poza tym do kosztu przewozu należy dodać wydatek na układanie, przesuwanie, oczyszczanie i utrzymanie (naprawy) toru, zależny od miejscowych warunków pracy.

Przy zastosowaniu siły pociągowej koni przyjąć można, że na odcinku poziomym jeden koń może ciągnąć 3 wózki, o objętości ogólnej  $4,5 m^3$ . Szybkość przewozu wynosi około  $1,25 m/sek.$  Strata czasu na wyładunek i przeprężanie koni wynosi  $t = 10 min.$  Koszty kupna toru i taboru winny być rozłożone, jak w wypadku poprzednim.

Poza tym do kosztu przewozu trzeba wprowadzić koszt siły pociągowej koni.

Przewozy końmi stosuje się przy ilościach ziemi do  $20000 m^3$  i odległości przewozu do  $500 m$ .

Gdy ilość przewożonej ziemi wynosi więcej niż  $20000 m^3$  i odległość jest większa niż  $500 m$ , zwykle taniej przewóz ziemi można wykonać kolejkami roboczymi, wąskotorowymi przy pomocy siły pociągowej mechanicznej — lokomotywy parowej, silników spalinowych, rzadziej elektrycznych.

Gdy ilość ziemi, którą mamy przewozić, jest większa niż

50000 m<sup>3</sup>, a odległość przewozu większa (1000 m do 10000 m i więcej), stosuje się tory i tabor normalnotorowy.

Średnia szybkość przewozu przy torze wąskim wynosi 1,8 do 3,0 m/sek, przy torze normalnym 2,8 do 4,0 m/sek.

Na torach roboczych mogą być stosowane spadki, zwłaszcza w kierunku ruchu pociągów naładowanych: przy torach wąskich 3,5‰, przy normalnych — 1 do 1,5‰.

Strata czasu na wyładunek i obroty wynosić może  $t = 15$  do 20 minut.

Amortyzacja i oprocentowanie toru i taboru przy kolejach rozkłada się: koszt parowozu na lat 10, taboru na lat 7, toru na lat 10; przy kolejach normalnych — na okresy znacznie dłuższe, gdyż zarówno tor jak tabor po ukończeniu robót mogą być używane przy eksploatacji kolei.

Poza tym wprowadzić należy koszt obsługi lokomotywy i pociągu oraz koszty siły pociągowej, a więc koszt węgla i wody, smarów, napraw itp. Np. węgla potrzeba przeciętnie 2—2½ kg na godzinę i konia parowego itd.

Wpływ wzniesień ma wpływ na koszty przewozu. W przybliżeniu można przyjąć, że koszty przewozu nie wzrastają w stosunku do kosztów przewozu po drodze poziomej, gdy przewóz odbywa się na wzniesieniach nie przekraczających:

|       |   |   |
|-------|---|---|
| 0,03  | — | przy stosowaniu wozów gospodarskich,      |
| 0,04  | " | " " " taczek,                             |
| 0,10  | " | " " " łopat konnych,                      |
| 0,015 | " | " " kolejek rob. przy sile poc. ludzkiej, |
| 0,015 | " | " " " " " " " koni,                       |
| 0,008 | " | " " " " " " " mechan.,                    |
| 0,005 | " | " " kolei normalnej i trakcji mechan.     |

O ile część drogi przewozu ziemi ma wzniesienia, których wielkość przekracza powyższe wartości, należy<sup>1)</sup> do średniej odległości  $x$  wprowadzić poprawkę na podstawie doświadczeń praktyki, a mianowicie przyjmować zastępczą odległość  $x_1 = x + z.h$ ; we wzorze tym  $h$  oznacza różnicę poziomów na takich większych wzniesieniach, a  $z$  jest współczynnikiem doświadczalnym.

<sup>1)</sup> Według Meyera.

- Spółczynnik  $z = 12$  — dla taczek;  
 $= 25$  — dla wózków dwukołowych, pchanych przez robotników;  
 $= 50$  — dla wózków dwukołowych konnych;  
 $= 89$  — dla kolejek roboczych przy ludzkiej sile pociągowej;  
 $= 120$  — dla kolejek roboczych przy sile pociągowej koni;  
 $= 250$  — dla kolejek roboczych, poruszanych przy pomocy lokomotyw.

## 7. Obliczanie objętości robót ziemnych

Dla możliwości obliczenia kosztu robót ziemnych oraz dla opracowania programu przewozu przy dążeniu do osiągnięcia najmniejszych kosztów przewozu, konieczne jest określenie objętości robót ziemnych na poszczególnych odcinkach tych robót.

Projekty techniczne robót ziemnych, wykonywanych dla budowli inżynierskich tego rodzaju, jak koleje, drogi, kanały itp. zawierają przekrój podłużny, opracowany w założeniu, że przez oś budowli przeprowadzona jest powierzchnia pionowa; powierzchnia ta przecina powierzchnię terenu po linii falistej, którą wyrysowuje się na przekroju podłużnym w podziałce zniekształconej, a mianowicie dla wyraźniejszego przedstawienia rzeźby terenu w podziałce większej dla rzędnych wysokościowych i mniejszej dla rzędnych długościowych.

Ponieważ oś robót ziemnych w rzucie poziomym (planie) może nie być prostą i składać się może z odcinków prostych, połączonych odcinkami łuków, przekrój podłużny wykreśla się tak, jakby powierzchnia pionowa, przechodząca przez oś robót ziemnych, była wyprostowana.

Ponieważ na przekroju podłużnym jest oznaczona tzw. niweleta, tj. linia przecięcia się powierzchni pionowej, przeprowadzonej przez oś budowli, z powierzchnią projektowanej budowli ziemnej (np. dnem kanału, koroną nasypu lub wykopu itp.), przeto w każdym miejscu przekroju podłużnego możemy łatwo określić głębokość wykopu czy też wysokość nasypu.

Poza tym na podstawie projektu technicznego robót ziemnych dla każdego punktu na osi budowli, dla którego mamy oznaczoną wysokość nasypu czy głębokość wykopu (a więc dla tzw. punktów hektometrowych i punktów charakterystycznych) możemy mniej lub więcej dokładnie określić powierzchnię przekroju poprzecznego projektowanej budowli.

Dokładniej określi się powierzchnię przekroju poprzecznego, gdy powierzchnia terenu w kierunku prostym do kierunku osi jest pozioma lub prawie pozioma (rys. 223a); mniej dokładnie powierzchnię przekroju oblicza się, gdy powierzchnia terenu jest pochylona w kierunku poprzecznym do osi drogi, a zwłaszcza gdy jest pofałdowana (rys. 223b).

Mając obliczoną powierzchnię przekrojów poprzecznych i odległości pomiędzy sąsiednimi przekrojami poprzecznymi, możemy z pewnym przybliżeniem obliczyć objętość robót ziemnych, jakie mamy do wykonania pomiędzy sąsiednimi przekrojami poprzecznymi.

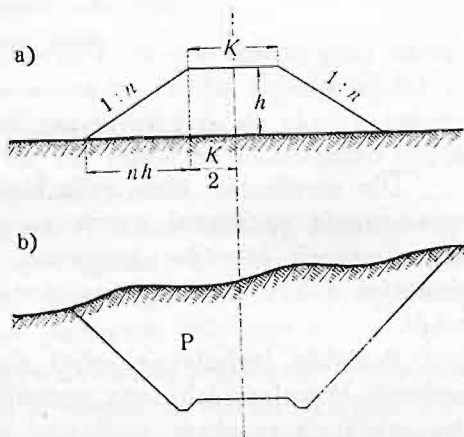
Obliczając oddzielnie objętość robót ziemnych dla nasypów i oddzielnie dla wykopów na poszczególnych odcinkach robót, możemy obliczyć ogólną objętość robót ziemnych, jaka ma być wykonana.

### 1. Określenie objętości robót ziemnych, zawartej pomiędzy sąsiednimi przekrojami w odcinkach prostych.

Praktycy obliczają objętość robót ziemnych pomiędzy dwoma sąsiednimi przekrojami podług wzoru przybliżonego:

$$V = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot L \quad \dots \quad (1)$$

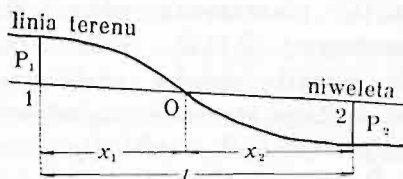
w którym:  $P_1$  i  $P_2$  — powierzchnie dwóch sąsiednich przekrojów poprzecznych w  $m^2$ , a  $L$  — odległość między przekrojami w  $m$ .



Rys. 223.



Jeżeli jeden z sąsiednich przekrojów jest w nasypie, a drugi w wykopie (rys. 224), między nimi na przekroju podłużnym



Rys. 224.

znajduje się punkt 0 przejściowy z nasypu na wykop w odległości  $x_1$  i  $x_2$  od przekrojów  $P_1$  i  $P_2$ ; daje to możliwość określenia objętości w wykopie (od p. 1 do p. 0) i w nasypie (od p. 0 do p. 2).

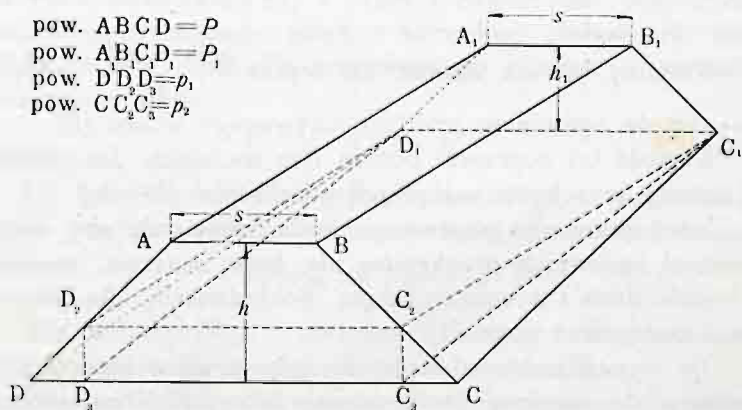
Nie zawsze wzór (1) daje dość dokładne rezultaty; błąd przez zastosowanie tego wzoru jest dość duży, gdy powierzchnie  $P_1$  i  $P_2$ , znacznie się różnią między sobą.

Możemy się spotkać w praktyce z dwoma wypadkami:

1) gdy teren w kierunku poprzecznym do osi budowli ziemnej nie ma spadku (jest poziomy) lub też ma spadek nieznaczny ( $< 10^\circ$ );

2) gdy teren w kierunku tym ma spadek znaczny o jednakowym pochyleniu do poziomu na całej szerokości, jaką zajmuje budowla ziemna lub gdy powierzchnia terenu jest połaadowana.

Wypadek 1. Teren nie ma spadku poprzecznego do kierunku osi budowli ziemnej lub też spadek jest nieznaczny.



Rys. 225.

W tym wypadku sąsiednie przekroje poprzeczne są trapezami  $ABCD$  i  $A_1B_1C_1D_1$  (rys. 225).

Przeprowadzając przez  $D_1C_1$  płaszczyznę równoległą do płaszczyzny  $ABB_1A_1$  i płaszczyzny  $D_1D_2D_3 \perp DC$  oraz  $C_1C_2C_3 \perp DC$ , podzielimy bryłę zawartą między sąsiednimi przekrojami  $ABCD$  i  $A_1B_1C_1D_1$  na następujące części składowe:

- 1) pryzmat prosty o podstawie  $A_1B_1C_1D_1 = ABC_2D_2$ ;
- 2) dwie piramidy trójkątne  $D_1DD_2D_3$  i  $C_1CC_2C_3$ ;
- 3) klin  $D_2C_2C_3D_3.C_1D_1$ .

Objętość całej bryły, przyjmując odległość między sąsiednimi przekrojami  $= L$ , można określić:

$$V = P_1 \cdot L + \frac{P - P_1 - (p_1 + p_2)}{2} \cdot L + \frac{p_1 + p_2}{3} \cdot L =$$

$$= \left( \frac{P + P_1}{2} - \frac{p_1 + p_2}{6} \right) \cdot L \quad (2)$$

Jeżeli mamy do czynienia z nasypem o szerokości stałej w koronie  $= s$ , a pochylenia skarp jednakowe o współczynniku pochylenia  $n$  (stosunek rzutu poziomego skarpy do jej rzutu pionowego), wzór (2) może być przedstawiony w formie następującej:

$$V = \left( \frac{P + P_1}{2} - \frac{(h - h_1)^2 \cdot n \cdot 2}{6} \right) \cdot L =$$

$$= \frac{P + P_1}{2} \cdot L - \frac{n(h - h_1)^2}{3} \cdot L \quad (3)$$

Widzimy, że we wzorze (3) wyraz  $\frac{n(h - h_1)^2}{3} \cdot L$  jest poprawką do ogólnie w praktyce używanego wzoru (1).

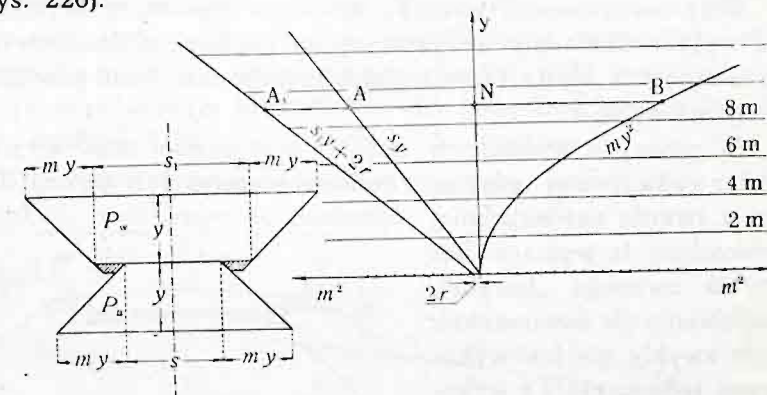
Wartość tej poprawki będzie tym mniejsza, im mniejsza jest różnica wysokości sąsiednich przekrojów  $(h - h_1)$ .

Jeżeli przekroje poprzeczne będą brane tak, aby różnica wysokości sąsiednich przekrojów nie była znaczna, poprawka nie będzie duża i z wystarczającą dokładnością dla praktyki można zastosować wzór (1).

Dla wypadku omawianego (tj. gdy teren w kierunku poprzecznym do osi drogi jest poziomy lub spadek ma nieznaczny,  $< 10\%$ ) dla obliczania powierzchni normalnych przekrojów

poprzecznych budowli ziemnych (kolei żelaznych, dróg, kanałów) można korzystać z odpowiednich tablic, sporządzonych dla różnych często stosowanych przekrojów poprzecznych; daje to oszczędność czasu przy obliczaniu objętości robót ziemnych.

Można również ułatwić sobie obliczanie powierzchni przekrojów przy pomocy specjalnych wykresów, sporządzonych dla przyjętego typu przekrojów poprzecznych nasypów i wykopów (rys. 226).



$$P_w = s_1 y + 2r + m y^2$$

$$P_u = s y + m y^2$$

Rys. 226.

Jeżeli dla drogi czy kolei żelaznej budować będziemy nasypy i wykopy o pewnej stałej szerokości w koronie  $s$  i stałemu pochyleniu skarp  $m$ , a przez  $r$  oznaczmy powierzchnię przekroju poprzecznego rowu o normalnej głębokości, wtedy dla powierzchni przekroju poprzecznego nasypu o wysokości  $y$  otrzymamy wzór:

$$P_n = s \cdot y + m \cdot y^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Dla powierzchni przekroju poprzecznego wykopu o głębokości  $y$  z rowami normalnej głębokości otrzymamy wzór:

$$P_w = s_1 \cdot y + 2r + m \cdot y^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

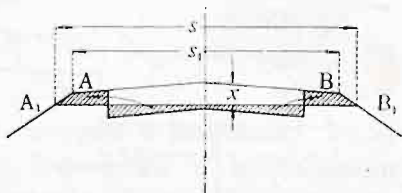
We wzorze (5)  $s_1$  = szerokości korony + dwukrotna szerokość po wierzchu rowu normalnych wymiarów.

Wzory (4) i (5) umożliwiają zbudowanie wykresu dla różnych wysokości lub głębokości  $y$ , przedstawionego na rys. 226.

Na osi rzędnych odkładamy wysokości  $y$  nasypów lub głębokości wykopów. Jeżeli przez p.  $N$ , odpowiadający pewnej wysokości nasypu lub głębokości wykopu, przeprowadzić linię równoległą do osi odciętych, odcinek  $AB$  dla nasypów w przyjętej dla zbudowania wykresu podziałce da nam powierzchnię przekroju nasypu, a odcinek  $A_1B_1$  — powierzchnię przekroju wykopu takiej samej głębokości  $y$ .

Przy zastosowaniu wykresu unika się żmudnych obliczeń, gdyż wykres dokładnie wyrysowany na papierze milimetrowym daje możność z wystarczającą dokładnością określenia powierzchni przekrojów.

W pewnych wypadkach należy zastosować tzw. przekrój zastępczy: gdy, np. budujemy nasyp lub wykop dla drogi z twardą nawierzchnią, nawierzchnia ta wymagać będzie tak zwanego „koryta”, tj. wgłębienia dla nawierzchni; koryto zwykle nie jest wykonywane jednocześnie z wykonywaniem robót ziemnych, a po pewnym czasie, gdy już można się nie spodziewać osiadania ziemi (rys. 227).



Rys. 227.

Wymiary nawierzchni, tj. szerokość, jej grubość, spadki poprzeczne itd. zależą od rodzaju nawierzchni i są opracowane w projekcie drogi. Aby uniknąć dodatkowego przewozu ziemi w czasie wykonywania nawierzchni i robót wykończeniowych, trzeba przy wykonywaniu robót ziemnych — w zależności od przekroju nawierzchni — wykonać roboty ziemne, stosując przekrój zastępczy o szerokości korony  $s$ , różniącej się od szerokości korony drogi według projektu  $s_1$ : w tym celu roboty ziemne winny być wykonane niżej o wymiar  $x$  tak, aby po wykonaniu koryta ziemia wyjęta z koryta zmieściła się na poboczach i nie potrzeba było dodatkowego przewożenia ziemi<sup>1)</sup>.

Wypadek 2. Teren ma znaczny spadek poprzeczny o jednakowym pochyleniu do poziomu bądź też jest pofałdowany.

Sposób postępowania zależny jest od tego czy pochylenie

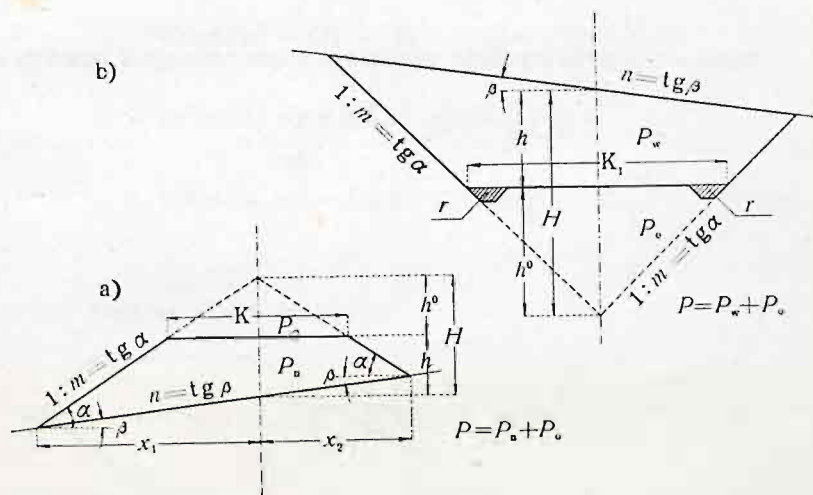
<sup>1)</sup> Patrz *M. Wl. Nestorowicz. Projektowanie Dróg* str. 236 i 237.



terenu określono na zasadzie map warstwicznych, czy też poszczególne przekroje poprzeczne są wyrysowane na zasadzie przeprowadzonej niwelacji poprzecznej.

W pierwszym wypadku w przekrojach poprzecznych pochylenie poprzeczne terenu zwykle przyjmuje się w przybliżeniu na podstawie map warstwicznych, jako jednakowe w granicach przekroju poprzecznego: linia terenu w tym wypadku w granicach przekroju poprzecznego jest prostą pochyłą do poziomu: w wypadku drugim ukształtowanie terenu jest określone na podstawie niwelacji poprzecznej; linia terenu w przekroju poprzecznym przedstawia się, jako linia łamana lub falista, rzadziej, jako prosta pochyła do poziomu.

a. Obliczenie robót ziemnych przy powierzchni terenu płaskiej, pochylonej do poziomu.



Rys. 228.

Powierzchnia przekrojów poprzecznych może być obliczona dość dogodnie z rys. 228: dla nasypu (rys. 228a) mamy:

$$x_1 + x_2 = \frac{2m H}{1 - m^2 \cdot n^2}.$$

Powierzchnia przekroju ogólna:

$$P = P_n + P_0 = \frac{H(x_1 + x_2)}{2} = \frac{m H^2}{1 - m^2 \cdot n^2},$$

skąd:

$$P_n = P - P_o = \frac{m H^2}{1 - m^2 \cdot n^2} - P_o \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

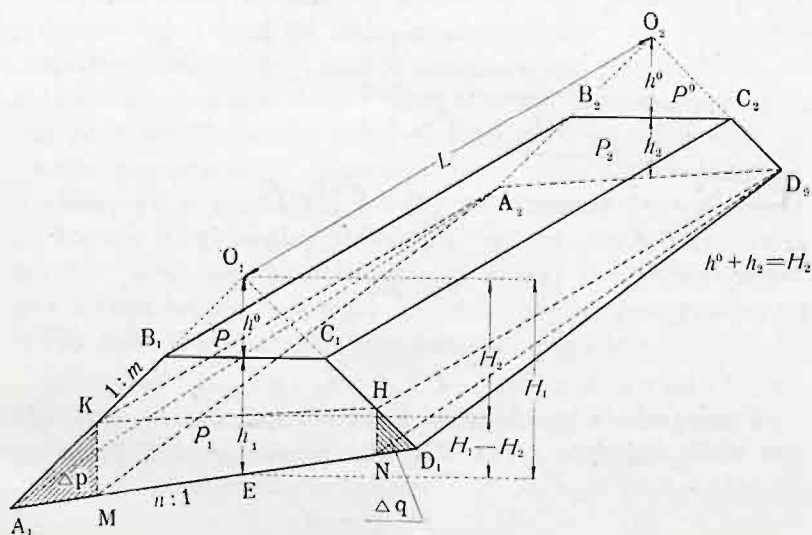
$$P_o = \frac{K \cdot h_o}{2} = \frac{K^2}{4m}, \text{ ponieważ } h_o = \frac{K}{2m}.$$

Po przeprowadzeniu analogicznych obliczeń otrzymamy dla wykopu:

$$P_n = \frac{n H}{1 - m^2 \cdot n^2} = P_o + 2r \quad (2)$$

gdzie  $2r$  — powierzchnia przekroju poprzecznego 2 rowów, a

$$P_o = \frac{K_1 \cdot h_o}{2} = \frac{K_1^2}{4m}.$$



Rys. 229.

Obliczenie objętości bryły, zawartej pomiędzy dwoma sąsiednimi przekrojami  $A_1B_1C_1D_1$  i  $A_2B_2C_2D_2$ , znajdującymi się na odcinku prostym w odległości  $L$  (rys. 229), można wykonać w założeniu, że powierzchnia terenu jest płaszczyzną z pewnym pochyleniem w kierunku poprzecznym.

Przeprowadzamy podział bryły przy pomocy płaszczyzny  $A_2D_2HK \parallel B_2C_2B_1C_1$  i płaszczyzny  $A_2KM$  i  $D_2HN \perp A_2D_2HK$ ; otrzymamy następujące części składowe bryły:

- 1) pryzmat  $B_1C_1HK \cdot A_2B_2C_2D_2$ ;

$$\text{objętość} = P_2 \cdot L;$$

- 2) klin  $A_2D_2 \cdot KHNM$ ;

$$\text{objętość} = (P_1 - P_2 - \triangle p - \triangle q) \cdot \frac{L}{2};$$

- 3) 2 piramidy  $A_1KMA_2$  i  $NHD_1D_2$ ;

$$\text{objętość ich} = (\triangle p + \triangle q) \cdot \frac{L}{3}.$$

Ogólna objętość bryły:

$$V = \left( \frac{P_1 + P_2}{2} - \frac{\triangle p + \triangle q}{6} \right) \cdot L \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Wyraz:

$$\begin{aligned} \frac{P_1 + P_2}{2} &= \frac{1}{2} \left( \frac{m H_1^2}{1 - m^2 \cdot n^2} - \frac{K^2}{4m} + \frac{m H_2^2}{1 - m^2 \cdot n^2} - \frac{K^2}{4m} \right) = \\ &= \frac{m}{1 - m^2 \cdot n^2} \cdot \frac{H_1^2 + H_2^2}{2} - \frac{K^2}{2m}, \end{aligned}$$

[p. wyżej równania (1) i (2)].

Wyraz:

$$\frac{\Delta p + \Delta q}{6} = \frac{m(H_1 - H_2)^2}{6(1 - m^2 \cdot n^2)},$$

co wynika z podobieństwa  $\triangle A_1O_1E$  i  $\triangle O_1D_1E$  i  $\triangle A_1KM$  i  $\triangle NHD_1$ , gdyż  $KM$  i  $HN$  są równoległe do  $O_1E$ .

Z powyższego wynika:

$$V = \frac{L \cdot m}{1 - m^2 \cdot n^2} \left[ \frac{H_1^2 + H_2^2}{2} - \frac{(H_1 - H_2)^2}{6} \right] - \frac{K^2 \cdot L}{2m} \quad (4)$$

We wzorze powyższym wartość:

$$\left[ -\frac{Lm}{1 - m^2 \cdot n^2} \cdot \frac{(H_1 - H_2)^2}{6} \right]$$

jest poprawką przy obliczaniu objętości, jaką należy wprowadzać, gdy chcemy dokładniej obliczać objętość, niż podług zwykle stosowanego wzoru:

$$V = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot L$$

Wzór (4) daje możliwość zbudowania wykresów dla normalnych przekrojów nasypów lub wykopów przy uwzględnieniu poprzecznych nachyleń terenu; w praktyce, aczkolwiek dają one dokładniejszą objętość brył, stosunkowo rzadko się stosują, gdyż wymagają żmudnych obliczeń przygotowawczych<sup>1)</sup>; z drugiej strony projektujący roboty ziemne, mający pewną praktykę,

<sup>1)</sup> Szczegóły p. W. Müller, Massenermittlung, Massenverteilung und Kosten der Erdarbeiten, Berlin 1929.



może zawsze dobrać tak odległość  $L$  pomiędzy sąsiednimi przekrojami poprzecznymi, aby poprawka:

$$\left( -\frac{Lm}{1-m^2 \cdot n^2} \cdot \frac{(H_1 - H_2)^2}{6} \right) = \left( -\frac{Lm}{1-m^2 \cdot n^2} \cdot \frac{(h_1 - h_2)^2}{6} \right)$$

była nieznaczna, co się osiąga przez zbliżenie sąsiednich przekrojów poprzecznych, gdyż wtedy możemy uzyskać zmniejszenie różnicy  $(h_1 - h_2)$ . Przy takim zbliżeniu sąsiednich przekrojów poprzecznych możemy stosować wzór:

$$V = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot L,$$

otrzymując dokładność wystarczającą dla celów praktycznych.

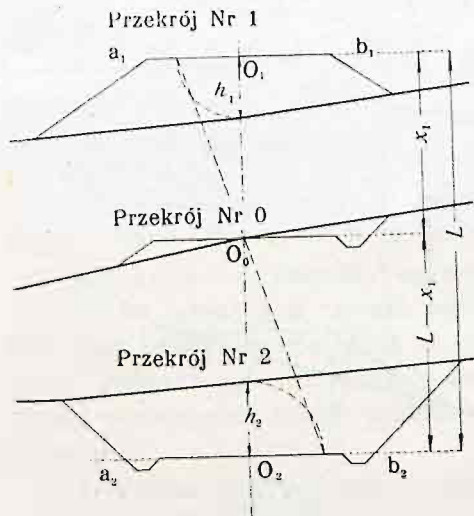
Więcej złożony wypadek jest wtedy, gdy jeden z sąsiednich przekrojów jest w nasypie, a drugi w wykopie lub odwrotnie lub gdy mamy tak zwane odcinkowe przekroje (częściowo w nasypie, częściowo w wykopie).

Rozpatrzmy kolejno następujące trzy wypadki:

1) gdy jeden z sąsiednich przekrojów jest w nasypie a drugi w wykopie;

2) gdy obydwa sąsiednie przekroje są odcinkowe;

3) gdy jeden poprzeczny przekrój jest odcinkowy, a drugi całkowicie w nasypie lub wykopie.



Rys. 230.

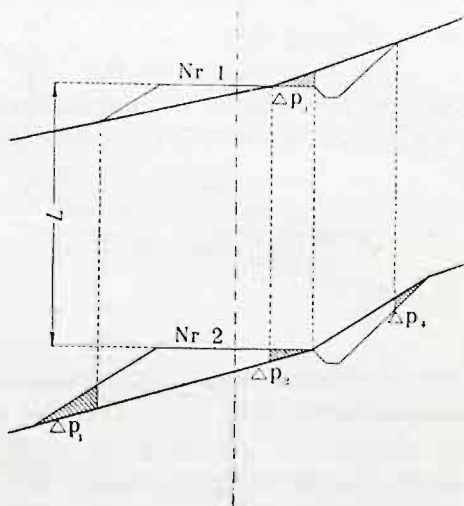
Wypadek pierwszy (rys. 230). W tym wypadku trzeba interpolować dodatkowy przekrój poprzeczny, w którym są tak

zwane zerowe roboty (niweleta jest w poziomie terenu). Przy terenie pochyłym w kierunku poprzecznym w rzeczywistości będzie to przekrój odcinkowy z małymi robotami ziemnymi.

Określenie objętości bryły między przekrojami Nr 1 i Nr 2 sprowadzi się do określenia objętości 2 brył: pierwszej — między przekrojami Nr 0<sub>1</sub> i Nr 0 i drugiej — między przekrojami Nr 0 i Nr 0<sub>2</sub>; wypadek ten sprowadzony zostaje do wypadku trzeciego, o którym mowa jest niżej.

Jeżeli odległość między przekrojami Nr 0<sub>1</sub> i Nr 0<sub>2</sub> jest  $L$ , odległość  $x_1$  przekroju zerowego od przekroju Nr 0<sub>1</sub> określimy graficznie łatwo, jeżeli na linii pionowej wkreślimy dwa sąsiednie przekroje, jak na rys. 230, przy tym podziałka, w jakiej wykreślamy przekroje Nr 0<sub>1</sub> i Nr 0<sub>2</sub>, może być inna, niż podziałka pionowa dla odległości  $L$  pomiędzy przekrojami. Odkładając na poziomych liniach  $a_1b_1$  i  $a_2b_2$  wysokość  $h_1$  nasypu (na lewo od p. 0<sub>1</sub>) i głębokość wykopu  $h_2$  (na prawo od p. 0<sub>2</sub>) i łącząc końce odłożonych odcinków na przecięciu z linią 0<sub>1</sub>0<sub>2</sub> otrzymamy p. 0<sub>0</sub> — położenie przekroju „zerowego”, tj. takiego, w którym niweleta robót ziemnych przetnie linię terenu. Aby otrzymać powierzchnię przekroju Nr 0<sub>0</sub>, trzeba mieć pochylenie powierzchni terenu (na podstawie map warstwowych lub zdjęć terenowych).

Wypadek drugi. W tym wypadku (rys. 231) oddzielnie prowadzimy obliczenie robót ziemnych w wykopie i oddzielnie w nasypie, przy tym, jeżeli zachodzi potrzeba dokładniejszego obliczenia objętości możemy graficznie określić  $\Delta p_1$  i  $\Delta p_2$  dla nasypu i poprawki  $\Delta p_3$  i  $\Delta p_4$  — dla wykopu (porównaj rys. 229 i wprowadzone wzory).



Rys. 231.

The diagram illustrates a three-layered system with layers labeled Nr 1, Nr 0, and Nr 2. A flow path is shown starting from point A in layer Nr 1, passing through points C and C1, and ending at point B. The path is defined by solid and dashed lines. Key distances are indicated on the right:  $x$  (from A to C),  $x_1$  (from C to C1), and  $L$  (from C1 to B). Pressure differences  $\Delta p_1$  and  $\Delta p_2$  are shown at the start of the path in layers Nr 1 and Nr 0, respectively. A shaded area is present in layer Nr 0 near the start of the path.

rowu dla uproszczenia) i wysokości  $x_1$  nieco większej niż odległość  $x$ , jak to wynika z wykresu, gdyż krawędź korony w wykopie jest w p.  $C$ , a nie w p.  $C_1$ .

*b.* Obliczenia ob-

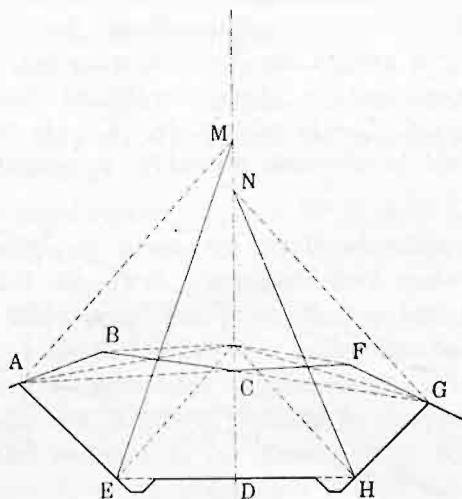
Przekroje poprzeczne, ograniczone linią terenu łamana lub krzywą winny być zawsze wykreślane, a powierzchnia ich obliczana indywidualnie, gdyż w tym wypadku nie można stosować żadnych schematycznych wzorów lub wykresów. Obliczanie powierzchni takich przekrojów można wykonać kilkoma sposobami:

2) obliczając powierzchnię przy pomocy planimetru; praca ta wymaga wprawy;

3) zamieniając nieforemne figury przekroju poprzecznego na trójkąty lub prostokąty równomierne sposobami znanymi w geometrii (rys. 233). W podanym na rysunku przykładzie nieforemna figura  $ABCFGHDEA$  została zamieniona na dwa prostokątne trójkąty o równych podstawach  $ED = DH$  i różnych wysokościach  $DM$  i  $DN$ .

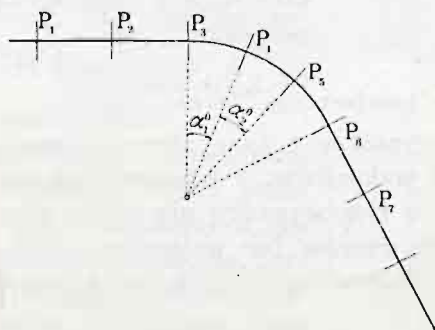
2. Obliczenie objętości bryły ziemi między dwoma przekrojami poprzecznymi położonymi w łuku.

Gdy przekroje poprzeczne znajdują się na odcinku prostej, są położone równoległe do siebie; obliczenie objętości robót ziemnych między nimi przeprowadza się mniej lub więcej dokładnie sposobami podanymi wyżej; gdy przekroje poprzeczne są położone w łuku, wtedy



pow. DCFGH = pow.  $\triangle DHN$   
pow. ABCDE = pow.  $\triangle EMD$

Rys. 233.



Rys. 234.

są one pochylone pod kątem do siebie i bryła ma formę złożoną (rys. 234).

Przy większych promieniach można objętość tej bryły obliczać w przybliżeniu, przyjmując dla uproszczenia, że odcinek osi robót ziemnych pomiędzy sąsiednimi przekrojami jest wyprostowany, a przekroje poprzeczne rów-

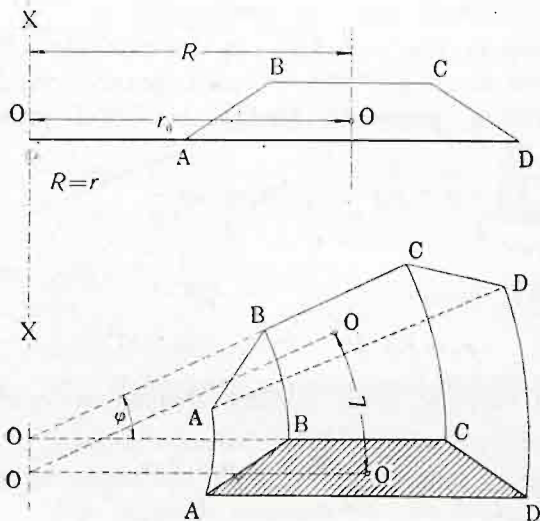
noległe; błąd będzie tym mniejszy, im większy jest promień łuku.

W literaturze technicznej znane są bardzo szczegółowe rozprawy i złożone wzory do obliczania objętości brył pomię-



dzy dwoma przekrojami poprzecznymi w łukach; mają one charakter raczej teoretyczny; w praktyce dokładność obliczeń osiąga się przez powiększenie ilości przekrojów poprzecznych i — co za tym idzie — zmniejszenie odległości między nimi.

Objętość bryły, zawartych między poprzecznymi przekrojami na odcinkach robót ziemnych, znajdujących się w łuku, może być określona w znany z geometrii sposób, jako objętość otrzymana przez obrót powierzchni przekroju poprzecznego  $ABCD$  (dla uproszczenia przyjmujemy, że teren w kierunku poprzecznym do osi drogi



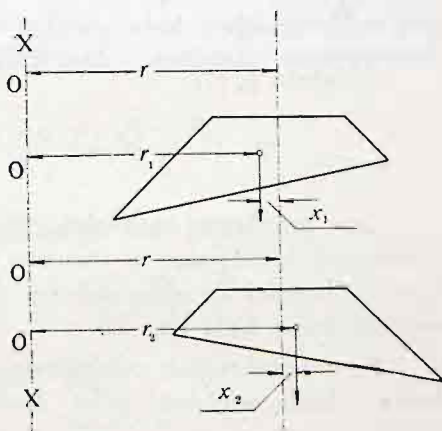
Rys. 235.

jest poziomy) naokoło osi pionowej  $XX$ , przechodzącej przez środek łuku  $O$  (rys. 235).

W tym wypadku promień obrotu środka  $r_o$  ciężkości przekroju jest identyczny z promieniem łuku (osi drogi  $R$ ).

Objętość  $V = P \cdot L$ , gdzie  $P$  — powierzchnia przekroju, a  $L$  — długość łuku  $OO$  o promieniu  $r$ , łączącego punkty  $O$  i  $O$  (środki ciężkości dwóch sąsiednich przekrojów).

Częściej zdarza się, że promień, jaki opisuje



Rys. 236.

środek ciężkości przekroju, jest albo większy albo mniejszy o wartość  $x$  od promienia łuku  $r$  osi nasypu lub wykopu, w zależności od ukształtowania powierzchni terenu (rys. 236). Wartość ta może się zmieniać w dużych granicach, poza tym  $x$  może być — w zależności również od ukształtowania terenu — raz na prawo od osi nasypu (wykopu), drugi raz — na lewo.

Gdy przekroje poprzeczne sąsiednie są dostatecznie blisko położone jeden od drugiego, dla obliczeń przybliżonych można przyjąć przeciętną promieni środka ciężkości przekroju tj.:

$$r_0 = \frac{(r \pm x_1) + (r \pm x_2)}{2} = r \pm \left( \frac{x_1 + x_2}{2} \right);$$

oznaczając  $\frac{x_1 + x_2}{2} = \Delta r$ , mamy:

$$r_0 = r \pm \Delta r.$$

W tym wypadku objętość bryły między dwoma sąsiednimi przekrojami:

$$V = P_0 \cdot L_0, \text{ gdzie } P_0 = \frac{P_1 + P_2}{2} - \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2}{6} \text{ } ^1),$$

a  $L_0$  — długość łuku o promieniu średnim  $r_0 = r \pm \Delta r$  między środkami ciężkości dwóch sąsiednich przekrojów.

Jeżeli wielkość kąta środkowego między 2 sąsiednimi przekrojami oznaczmy w jednostkach liniowych przez  $\alpha$ , wtedy

$$L_0 = (r \pm \Delta r) \alpha = r \cdot \alpha \pm \Delta r \cdot \alpha = L \pm \Delta r \cdot \alpha.$$

Objętość bryły:

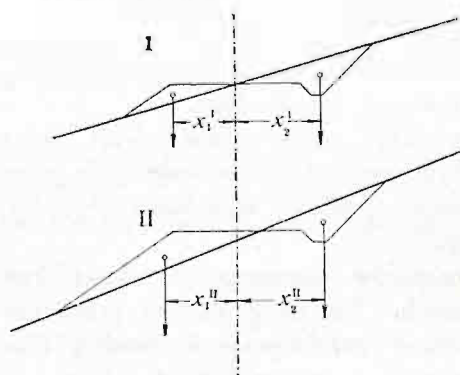
$$V = \left( \frac{P_1 + P_2}{2} - \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2}{6} \right) (L \pm \Delta r \cdot \alpha).$$

Gdy przekroje są blisko, wtedy wyraz  $\Delta r \cdot \alpha$  — jest mały i wzór jest identyczny z wzorem na objętość w odcinku prostym o długości  $L$ : otrzymujemy objętość dla bryły, jak gdyby wyprostowana była oś.

Przy przekrojach odcinkowych w łuku poprawki dla określenia  $L$  będą większe, gdyż środki ciężkości części przekro-

<sup>1)</sup> Patrz wzór (3) na str. 243.

jów w nasypie względnie w wykopie są dalej położone od osi robót (rys. 237).



Rys. 237.

Przy obliczaniu bardzo dokładnym objętości robót ziemnych należy to mieć na uwadze, zwłaszcza gdy roboty wykonywane mają duże objętości (głębokie wykopy lub wysokie nasypy przy małych promieniach w łukach, np. serpentyny drogowe w górach).

### 3. Dokładność w obliczaniu objętości robót ziemnych

Niedokładności w obliczeniach objętości robót ziemnych mogą pochodzić z różnych przyczyn.

Np. mogą je spowodować niedokładności w zdjęciach terenowych, pominięcie nierówności terenu w obliczeniach powierzchni przekroju poprzecznego, niedokładne przyjęcie pochyleń poprzecznego terenu w obliczeniach itp.

Przy sumiennej pracy niedokładności tego rodzaju dają się sprowadzić do minimum.

Inaczej rzecz się ma z błędami, jakie mogą powstać przy obliczaniu objętości robót ziemnych skutkiem zastosowania uproszczonego wzoru:

$$V_p = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot L,$$

zamiast dokładniejszego wzoru (3) na str. 243.

$$V_d = \left( \frac{P_1 + P_2}{2} - \frac{\Delta p + \Delta q}{6} \right) \cdot L.$$

Błąd (B) powstały wskutek tego:

$$B = V_p - V_d = \frac{\Delta p + \Delta q}{6} \cdot L.$$

Ponieważ z wzoru (4) na str. 244

$$\frac{\Delta p + \Delta q}{6} \cdot L = \frac{m(H_1 - H_2)^2}{1 - m^2 \cdot n^2} \cdot L = \frac{m(h_1 - h_2)^2}{1 - m^2 \cdot n^2} \cdot L$$

przeło różnica ta jest w stosunku prostym do kwadratu różnicy wysokości niwelety w sąsiednich przekrojach.

Można go znacznie zmniejszyć przez powiększenie ilości przekrojów poprzecznych, gdyż przez zbliżenie sąsiednich przekrojów otrzymamy zmniejszenie różnic wysokości ( $h_1 - h_2$ ), przez to i błąd się zmniejszy.

Takie zagęszczenie przekrojów poprzecznych może być zrobione w pewnych granicach. Np. przy dużym przekroju poprzecznym w terenach mocno pofałdowanych rzadko rozmieszcza się przekroje poprzeczne gęściej niż co 4—5 m.

W ogóle zaś powiększenie ilości przekrojów poprzecznych powinno mieć miejsce tylko w tych punktach przekroju podłużnego, w których w kierunku poprzecznym są różnice w charakterze spadku poprzecznego w porównaniu do charakteru spadku w przekrojach sąsiednich.

#### 4. Tablice ilości robót ziemnych

Wyniki obliczeń objętości robót ziemnych winny być zebrane w tablicach specjalnych.

Schemat takiej tablicy jest podany niżej (tabl. XXIV).

*Tablica XXIV*

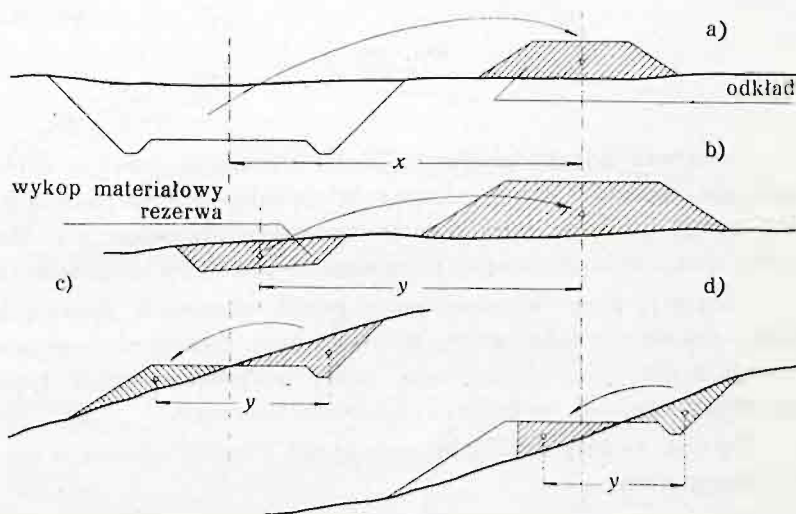
[illegible]



## 8. Rozdział mas ziemi przy wykonywaniu robót ziemnych

Ziemia z wykopów przewożona jest w nasypy bądź też składana jest w tak zwane odkłady—wały ziemi składane w pobliżu wykopu.

Jeżeli ziemia przewożona z wykopów nie wystarcza na wybudowanie nasypów, brakującą ilość ziemi otrzymuje się, przewożąc ją z tak zwanych wykopów materiałowych (rezerw), zwykle położonych równoległe do nasypów (rys. 238).



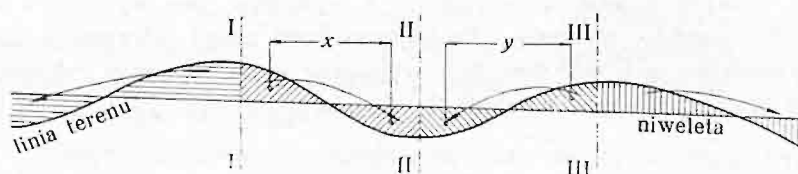
Rys. 238.

Przewóz ziemi podłużny ma miejsce wtedy, gdy ziemia z wykopu przewożona jest na nasypy, jak to przedstawione jest schematycznie na fragmencie przekroju podłużnego budowli ziemnej (np. drogi lub toru kolei) na rys. 239.

Gdy warunki terenowe zmuszają nas do przewozu ziemi z wykopu na odkłady (rys. 238a), z wykopu materiałowego (rezerwy) na nasyp (rys. 238b) lub w przekrojach odcinkowych, z części tych przekrojów położonych w wykopie na część położoną w nasypie (rys. 238c i d), wtedy mamy przewóz poprzeczny.

Rzadko przy robotach ziemnych stosowany jest tylko przewóz ziemi podłużny lub tylko poprzeczny; najczęściej wa-

runki miejscowe zmuszają nas do stosowania obydwóch rodzajów przewozów na pewnych odcinkach, na innych odcinkach—tylko przewozu podłużnego, wreszcie na innych—tylko przewozu poprzecznego.



Rys. 239.

Ponieważ koszty przewozu ziemi stanowią zwykle większą część kosztów robót ziemnych, przeto należy poświęcać dużo uwagi na takie opracowanie programu przewozu mas ziemnych, przy którym koszty przewozu wypadłyby najmniejsze.

Niestety, przy wykonywaniu robót ziemnych sprawę tę bardzo często się lekceważy, mimo że jest ona bardzo prosta, wymaga tylko pewnego nakładu pracy przygotowawczej i pewnej dozy rozważań technicznej kierownika robót.

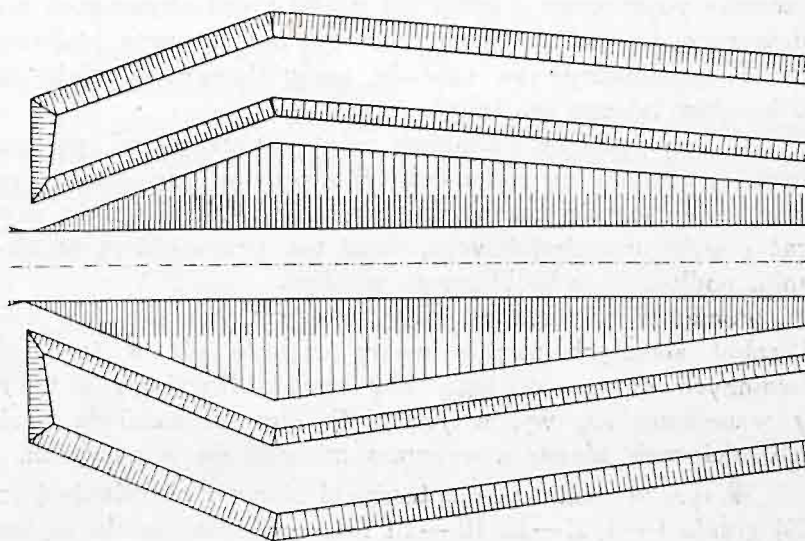
Ogólne zasady rozdziału mas ziemi streścić można w sposób następujący.

Rozdział mas ziemi powinien być opracowany szczegółowo przed przystąpieniem do robót, najlepiej jednocześnie z projektem szczegółowym, gdyż daje to możliwość wprowadzenia do kosztorysu nie przybliżonego, ryczałtowego, kosztu robót ziemnych, a kosztu więcej zbliżonego do rzeczywistego.

Rozdział mas ziemi w terenie równinnym zwykle nie nastręcza wątpliwości, jakie zjawiają się przy projektowaniu rozdziału mas w terenie pagórkowatym lub górskim i zwykle łatwo może być zaprojektowany.

Na wielu odcinkach czy to dróg, czy kolei żelaznych w terenach równinnych może być zastosowany przewóz ziemi poprzeczny; zwykle na równinach wykonywa się torowiska kolejowe czy też plant drogowy w nasypie niewysokim; potrzebna ziemia na ten nasyp może być uzyskana z rowów lub wykopów materiałowych (rys. 240).

Głębokość i szerokość tych wykopów (rezerw) zależna jest od ilości potrzebnej ziemi, a często od poziomu wody gruntowej, który stawia granicę głębokości wykopów materiałowych, zwłaszcza gdy woda ta, na skutek niekorzystnego ukształtowania terenu, nie może być odprowadzona. Szerokość rezerw (z jednej lub z obydwóch stron nasypu) dobieramy tak, aby ziemi z nich starczyło na nasyp, budowany w granicach tych rezerw. Nie trzeba zapominać przy tym o stałym spulchnieniu gruntu dobytego z wykopu materiałowego i użytego na nasyp.



Rys. 240.

Jeżeli więc na pewnym odcinku mamy wykonać nasyp o objętości  $N m^3$ , z wykopu materiałowego musimy dobyć i przewieźć  $\frac{N}{1 + \delta} = R m^3$  ziemi;  $\delta$  — oznacza współczynnik spulchnienia stałego.

Rezerwom i odkładowi nadajemy kształty prawidłowe, aby łatwo można było sprawdzić ich objętość.

Przy robotach ziemnych w miejscowościach równinnych, gdy zachodzi potrzeba podłużnego przewozu ziemi, ilości takiego przewozu mogą być niewielkie, a odległość przewo-

zu — znaczna: przeprowadzona kalkulacja powinna dać nam odpowiedź na pytanie, czy nie taniej będzie przy małych ilościach robót ziemnych podłużnych i przy dużych odległościach przewozu, zrezygnować z robót podłużnych i zastosować roboty poprzeczne. Trudniejsze jest zaprojektowanie podziału mas ziemi przy wykonywaniu robót ziemnych w terenie pagórkowatym lub górskim.

Jeżeli w takich terenach mamy odcinki robót, na których przekroje poprzeczne są odcinkowe, od razu możemy zdecydować, aby na takich odcinkach robót ziemnych zastosowano przewozy poprzeczne i tylko dla części ziemi zbywającej, nie mieszczącej się w nasypach, zastosowano przewóz podłużny lub też poprzeczny — na odkłady materiałowe — w zależności od kosztów takiego lub innego przewozu.

W razie, gdy na odcinkach robót z przekrojami poprzecznymi odcinkowymi ziemi dobytej z wykopu nie starczy na obok znajdujące się nasypy, brakującą ilość ziemi należy uzyskać z wykopu materiałowego, bądź też przewieźć ją w kierunku podłużnym z najbliższego wykopu.

Ponieważ w terenach pagórkowatych lub górskich, ilości robót ziemnych zwykle mamy większe niż w terenach równinnych, dążymy do tego, aby sąsiednie wykopy i nasypy wzajemnie się wyrównywały, tj. aby na możliwie krótkich odcinkach ziemia z wykopów mieściła się w nasypach.

W tym wypadku pewną trudność stanowi określenie (rys. 239) granic I—I, II—II, III—III itd. — wyrównywania się sąsiednich nasypów i wykopów przy jednoczesnym zachowaniu warunku, aby koszt przewozu ziemi był możliwie najmniejszy; koszt ten, jak to już zaznaczono wyżej, zależny jest od odległości przewozu, w przybliżeniu od odległości  $x, y$  itd., tj. odległości środków ciężkości mas ziemi równoważących się wykopów i nasypów.

W pewnych wypadkach zająć może potrzeba porównywania, na pewnych odcinkach, kosztów przewozu podłużnego i kosztów przewozu poprzecznego i wyboru korzystniejszego. Przy ustalaniu kosztów robót poprzecznych duży wpływ mają średnie odległości przewozu  $x, y, \dots$  (rys. 238 i 239).

Porównywując koszty przewozów poprzecznych z kosztami przewozów podłużnych, trzeba do kosztów przewozów po-



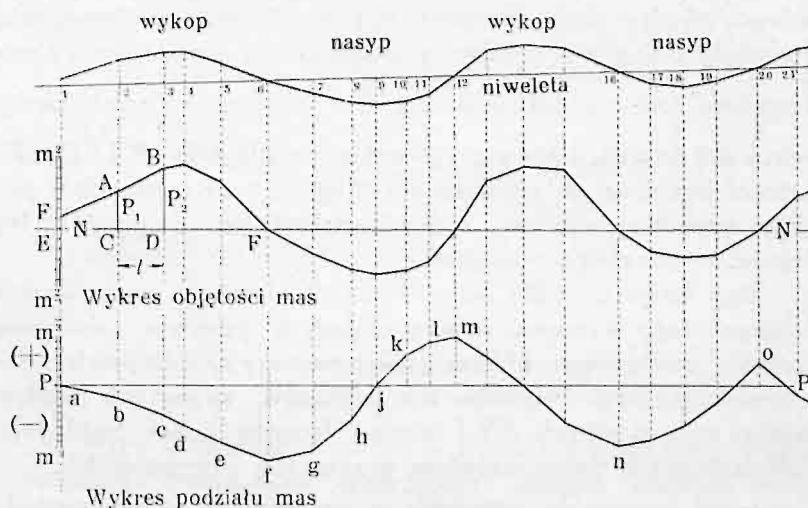
przecznym dodać koszty dodatkowego nabycia lub wywłaszczenia gruntów, potrzebnych dla odkładów lub wykopów materiałowych.

Aby zagadnienie podziału mas ziemi i ich przewozu było racjonalnie rozwiązane i koszty były możliwie najmniejsze, w wielu wypadkach może być zastosowana i dać dobre wyniki metoda wykreślnej podziału mas ziemi.

## 9. Zasady wykreślnej metody podziału mas ziemi przy robotach ziemnych

Metoda ta znana pod nazwą metody Brücknera oparta jest na następujących zasadach.

Pod przekrojem podłużnym projektowanych robót ziemnych lub nad nim, wykreślamy: a) wykres objętości mas i b) wykres podziału mas.



Rys. 241.

Wykres objętości mas wykreśla się w sposób następujący: zwykle pod przekrojem podłużnym lub też nad nim przeprowadza się linię poziomą  $NN$  i na niej oznacza się wszystkie punkty przekroju podłużnego: kilometrowe, hektometrowe i charakterystyczne terenu, dla których mamy obli-

czone powierzchnie przekrojów poprzecznych; oznaczamy również punkty przejściowe z wykopów na nasypy i odwrotnie. Odległości pomiędzy poszczególnymi punktami daje się w rzucie poziomym w podziałce przyjętej dla podziałki poziomej (długościowej) przekroju podłużnego.

Od linii  $NN$  w punktach, dla których mamy obliczone powierzchnie przekrojów, odcinamy w dowolnie przyjętej podziałce rzędne, przedstawiające powierzchnie tych przekrojów i to w ten sposób, że rzędne, przedstawiające powierzchnie przekrojów wykopów, odcinamy ponad linią  $NN$ , a rzędne, przedstawiające powierzchnie przekrojów poprzecznych nasypów, — pod linią  $NN$ .

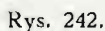
Łącząc końce sąsiednich rzędnych liniami prostymi, otrzymamy wykres objętości mas (rys. 241).

Wykres ten ma następującą właściwość: rzędne  $AC$  i  $BD$ , zmierzone w podziałce pionowej wykresu, są równe powierzchniom sąsiednich przekrojów poprzecznych  $P_1$  i  $P_2$ ; odległość pozioma między nimi, mierzona w podziałce poziomej wykresu, odpowiada odległości między tymi sąsiednimi przekrojami, a powierzchnia trapezu  $ABCD = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot l =$  objętości robót ziemnych, jeżeli do wzoru powyższego wstawimy dla  $AC = P_1$  i  $BD = P_2$  wartości liczbowe po odmierzeniu długości tych rzędnych w podziałce pionowej wykresu, a dla  $l$  wartość po odmierzeniu tej długości w podziałce poziomej.

Stąd łatwo określić objętość robót ziemnych na pewnych odcinkach tego wykresu, odpowiadających pewnym odcinkom przekroju podłużnego, obliczając w powyższy sposób powierzchnie poszczególnych trapezów lub trójkątów, zawartych między poziomą osią rzędnych  $NN$  i łamaną łączącą końce rzędnych, odpowiadających powierzchniom przekrojów poprzecznych.

Jeżeli mamy do czynienia z przekrojami odcinkowymi, dla których mamy obliczone oddzielnie powierzchnie robót w nasypie i oddzielnie w wykopie, wtedy na wykresie objętości mas dla poszczególnych przekrojów odcinkowych odkładamy oddzielne rzędne: ponad linią  $NN$  rzędne dla części powierzchni przekrojów, znajdujących się w wykopie, a pod linią  $NN$  rzędne, odpowiadające częściom powierzchni przekrojów, znajdujących się w nasypie.

Sposób wykreślenia tych objętości na wykresie objętości mas, podany jest na rys. 242 i jako prosty, nie wymaga specjalnych objaśnień, nawet dla specjalnego wypadku, rzadziej spotykanego między przekrojami 5 i 6, gdzie określenie ilości równoważących się robót poprzecznych jest nieco więcej złożone.



Wykres podziału mas (rys. 241) kreśli się zwykle pod wykresem objętości mas w sposób następujący: od linii poziomej  $PP$ , poczynwszy od początku robót w punktach, odpo-

wiadających przekrojom poprzecznym na wykresie objętości mas w podziałce pionowej dowolnej odcinamy rzędne, przedstawiające algebraiczną sumę objętości robót ziemnych od początku przekroju podłużnego aż do danego punktu; objętości wykopu bierzemy ze znakiem (—) i odkładamy w dół, a objętości nasypów ze znakiem (+) odkładamy w górę; jeżeli mamy przekroje poprzeczne odcinkowe, algebraicznie sumujemy tylko różnice, po odjęciu mniejszej rzędnej od rzędnej większej w tymże przekroju poprzecznym.

Podziałka pozioma wykresu podziału mas jest zwykle ta sama, co w wykresie objętości mas; zwykle jest to podziałka długościowa przekroju podłużnego.

Gdy połączymy końce rzędnych  $a, b, c, d \dots$  linią łamaną, otrzymamy wykres podziału mas.

Wykres podziału mas umożliwia racjonalny podział mas ziemi w celu uzyskania minimum kosztów przewozu; zastosowanie tego wykresu dać może poważne oszczędności na przewozie ziemi, musi być jednak umiejętne i racjonalne.

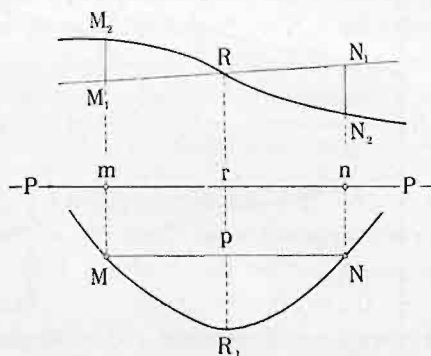
Wykres podziału mas ma następujące właściwości:

1. Linia wykresu idzie na dół na odcinkach, na których znajdują się wykopy, w górę — na odcinkach, na których znajdują się nasypy.

2. Punkty zwrotne ( $f, m, n, o \dots$ ) (rys. 241) odpowiadają punktom przejściowym z nasypu w wykop lub odwrotnie np.  $p$  odpowiada punktowi przejściowemu od wykopu do nasypu, punkt  $m$  — punktowi przejściowemu od nasypu do wykopu itd.

3. Każda rzędna wykresu przedstawia algebraiczną sumę objętości nasypów i wykopów od początku robót do punktu, odpowiadającemu danej rzędnej, przy tym rzędna idąca w dół od linii  $PP$  świadczy, że wykopy mają do tego miejsca, licząc

Przekrój podłużny



Wykres podziału mas

Rys. 243.



od początku robót, przewagę nad nasypami i odwrotnie, rzędna idąca w górę od linii  $PP$  świadczy, że nasypy mają do tego miejsca przewagę nad wykopami.

4. Różnica dwóch rzędnych na odcinku jednego i tego samego wykopu lub nasypu odpowiada objętości robót ziemnych między punktami, odpowiadającymi tym rzędnym.

5. Każda linia pozioma  $MN$  (rys. 243), równoległa do linii  $PP$  wykresu podziału mas przy pomocy punktów  $M$  i  $N$  (przecięcie linii  $MN$  z wykresem podziału mas) daje możliwość oznaczenia na przekroju podłużnym odcinków, na których objętości robót ziemnych w wykopie i nasypie są równe.

Objętość wykopu  $M_1M_2R$  = różnicy rzędnych  $rR_1 - mM = pR_1$ .  
Objętość nasypu  $RN_1N_2$  = różnicy rzędnych  $rR_1 - nN = pR_1$ .  
Linie takie, jak  $MN$  nazywamy liniami rozdzielczymi.

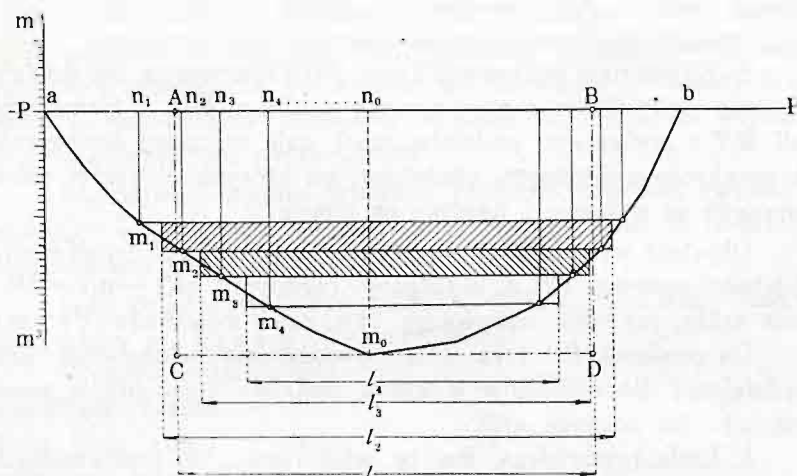
Oś pozioma  $PP$  (rys. 241) również ma właściwość linii rozdzielczej dla odcinków wykresu podziału mas, gdy je przecina (np. dla odcinka  $aj$ ).

6. Linia rozdzielcza ma tę właściwość, że powierzchnia, zawarta między linią rozdzielczą, a linią wykresu podziału mas (np. powierzchnia  $MpNR_1$  na rys. 243), przedstawia tzw. moment przewozu ziemi, tj. iloczyn  $M \cdot l = \sum m_x \cdot l_x$ , gdzie  $M$  — objętość ziemi, przewożonej w kierunku podłużnym z wykopu na nasyp,  $l$  — średnia odległość przewozu na danym odcinku, a  $\sum m_x \cdot l_x$  — suma momentów przewozu małych ilości ziemi, zawartych między sąsiednimi przekrojami poprzecznymi bardzo blisko położonymi od siebie, a  $l_x$  — odległości ich przewozu z wykopu na nasyp.

Na rys. 244 linia rozdzielcza  $PP$  od wykresu podziału mas oddziela jego część  $abm_0a$  i określa w rzucie poziomym  $an_0$  długość wykopu, z którego ziemia zmieści się w nasypie o długości  $n_0b$  w rzucie poziomym. Jeżeli przeprowadzimy szereg równoległych do  $PP$  w odległości  $= 1 \text{ m}^3$  podług podziałki pionowej, podzielimy powierzchnię  $abm_0a$  na paski poziome — trapezy o wysokości równej  $1 \text{ m}^3$  podług podziałki pionowej; długość tych trapezów jest różna; każdy z nich można zastąpić prostokątem, którego powierzchnia jest równa powierzchni trapezu.

Powierzchnia każdego prostokąta, jeżeli wysokość odczytamy w podziałce pionowej, a długość w podziałce poziomej

(długościowej) równa się momentowi przewozu  $1 \text{ m}^3$  na odległość  $l_2, l_3, l_4 \dots$  itd. Stąd wniosek, że powierzchnia  $abm_0a$  jest momentem przewozu z wykopu na nasyp całej ilości  $m_0 n_0 = M$  (w  $\text{m}^3$ ) ziemi.



Rys. 244.

Jeżeli powierzchnię  $abm_0a$  zastąpimy równą jej powierzchnią prostokąta  $ABCD$ , którego wysokość (podług podziałki pionowej) jest równa  $n_0 m_0$  (tj. ilości robót ziemnych, jaka ma być wykonana na danym odcinku), wtedy bok poziomy prostokąta  $ABCD$ , zmierzony na podziałce poziomej (długościowej), oznaczy dla danego odcinka robót średnią odległość przewozu  $l$  (w  $\text{m}$ ).

Zamianę powierzchni  $abm_0a$  przez równą jej powierzchnię prostokąta o wysokości równej  $n_0 m_0$  często można wykonać graficznie według sposobów geometrii elementarnej.

Można też obliczyć  $Cm_0$  i  $m_0 D$  w założeniu, że:

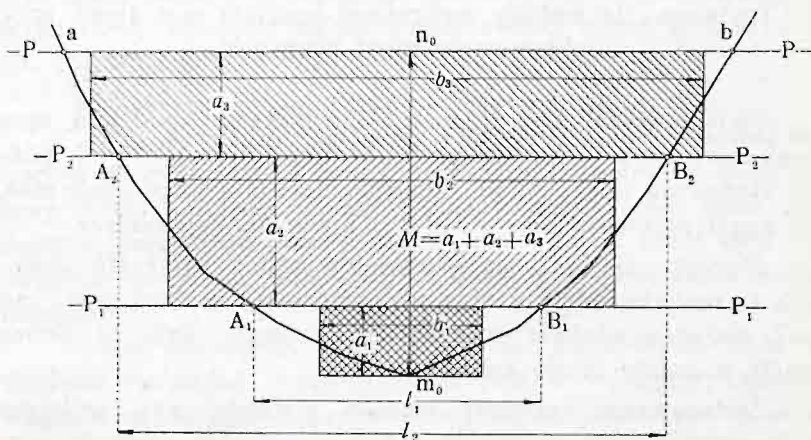
a) powierzchnia  $an_0 m_0 a = S_1 = n_0 m_0 \cdot Cm_0$ , skąd  $Cm_0 = \frac{S_1}{n_0 m_0}$ ;

b) powierzchnia  $bm_0 n_0 b = S_2 = n_0 m_0 \cdot m_0 D$ , skąd  $m_0 D = \frac{S_2}{n_0 m_0}$ .

7. Przy pomocy wykresu podziału mas i linii rozdzielczych możemy na wykresie podziału mas oddzielać na poszczególnych odcinkach ilości robót ziemnych, które ze względu na prze-

ciężną odległość przewozu oraz ze względu na koszty, należy przewozić tymi lub innymi środkami przewozowymi.

Jeżeli  $PP$  jest linią rozdzielczą, która na wykresie podziału mas oddziela równoważące się odcinki w wykopie i nasypie o objętości  $M = m_0 n_0$ , może się okazać, że taniej będzie można przewieźć tę masę ziemi różnymi środkami przewozowymi, niż jednym, stosując, np. na krótszych odległościach przewóz ziemi przy pomocy taczek, na dłuższych — przy pomocy wozów konnych itd.



Rys. 245.

Jeżeli jest opracowana skala cen przewozu (rys. 222) dla szeregu środków przewozowych, które mogą być brane w rachubę przy wykonywaniu robót ziemnych, dla których robimy podział mas ziemi, możemy z tej skali określić maksymalne odległości stosowania przewozu ziemi przy pomocy poszczególnych środków przewozowych.

Jeżeli  $l_1, l_2, l_3 \dots$  są odległości maksymalne — ze względu na koszty przewozu — stosowania pewnych środków przewozowych, na podstawie skali cen przewozu (rys. 222), przeprowadzamy linie rozdzielcze  $P_1P_1, P_2P_2 \dots$  tak, aby  $A_1B_1 = l_1, A_2B_2 = l_2$  itd.

Wtedy linie rozdzielcze  $P_1P_1, P_2P_2$  itd. oddzielą od  $m_0 n_0 = M$  ilości robót  $a_1, a_2$  itd., które mogą być przewożone przy pomocy poszczególnych środków przewozowych, gdyż największa

odległość przewozu nie przekracza  $l_1, l_2$  itd. Średnią odległość przewozu ilości oddzielonych w powyższy sposób dla poszczególnych środków przewozowych znajdziemy, jeżeli powierzchnie  $A_1B_1m_0A_1, A_1A_2B_2B_1, A_2B_2ba$  zastąpimy powierzchniami prostokątów równomiernych o wysokości  $a_1, a_2, a_3 \dots$  (w podziałce pionowej w  $m^3$ ) i długości  $b_1, b_2, b_3 \dots$  (w podziałce długościowej).

## 10. Zastosowanie metody wykreślnej podziału mas ziemi przy wykonywaniu robót ziemnych

Podane wyżej zasady metody wykreślnej podziału mas ziemi, zastosowanej już dawno przez Brücknera (1847 r.), później stopniowo doskonalonej, dają możliwość takiego podziału mas, aby koszt przewozu mas ziemi był możliwie najmniejszy.

Niestety, nie wszyscy kierownicy robót należycie doceniają tę metodę; wielu z nich woli stosować podział mas „na oko”, ufając w zdobytą praktykę; nie zawsze daje to dobre wyniki, a często drogo kosztuje.

Zastosowanie graficznej metody podziału mas, zrobione umiejętnie z uwzględnieniem miejscowych warunków terenowych, dać może poważne oszczędności na kosztach przewozu ziemi.

W celu przejrzystego opracowania wykresu podziału mas, najlepiej wykresy objętości mas i podziału mas kreślić w podziałce długości jednakowej z podziałką długościową przekroju podłużnego.

Usytuowanie wzajemne przekroju podłużnego i wykresów objętości mas i podziału mas może być takie, jak na rys. 241 lub też takie, jak na tablicy C w „Projektowaniu Dróg” M. Wł. Nestorowicza.

Podziałki wysokościowe dla wykresu objętości mas oraz dla wykresu podziału mas dolicza się tak, aby z jednej strony pozwalały na możliwie większą dokładność, z drugiej strony pozwoliły na umieszczenie ich w granicach rysunku: np. w granicach pasa o szerokości 40 cm (znormalizowana szerokość papieru dla projektów drogowych).



Gdy mamy do czynienia z przekrojami odcinkowymi, przede wszystkim na wykresie objętości mas oznaczmy ilości robót poprzecznych na odcinkach robót ziemnych z przekrojami odcinkowymi: mianowicie te ilości robót ziemnych, które można i należy wykonać, przewożąc ziemię w kierunku poprzecznym z części robót, znajdującej się w wykopach, do części robót, znajdującej się w nasypach; sposób określenia ilości takich robót, poprzecznych podany jest na rys. 242. Po wyeliminowaniu na wykresie objętości mas robót poprzecznych na odcinkach robót z przekrojami odcinkowymi, przystępujemy do wykreślenia wykresu podziału mas według zasad, podanych na str. 257 i nast.

Wykresem podziału mas posługujemy się:

1. dla określenia odcinków robót, na których objętość wykopów (powiększona o spulchnienie stałe) = objętości nasypów; przy określaniu tych odcinków należy dążyć, aby suma momentów przewozów ziemi dla wykonywanych robót była możliwie najmniejsza, gdyż wtedy i koszt przewozu ziemi będzie najmniejszy;

2. dla określenia tych odcinków, na których bądź ze względu na układ wzajemny nasypów i wykopów, bądź ze względu na odległości przewozów i co za tym idzie, kosztów przewozów trzeba zastosować przewóz ziemi poprzeczny: z wykopu na odkłady lub z wykopów materiałowych (rezerw) na nasypy (rys. 238 *a* i *b*);

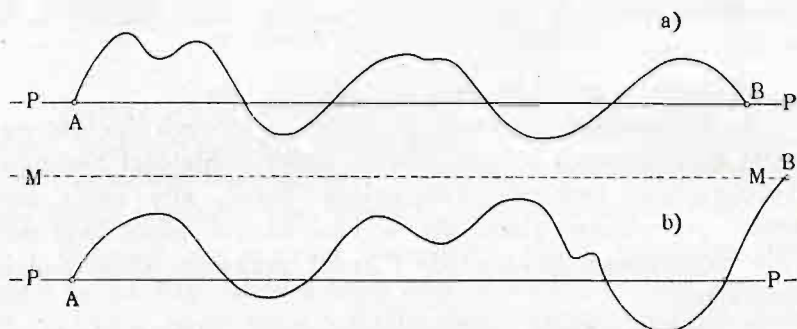
3. dla określenia przy pomocy skali cen przewozu ilości przewożonej ziemi przy pomocy poszczególnych środków przewozowych, jakie mogą wchodzić w grę przy warunkach wykonywania danych robót ziemnych.

Ze względu na różnorodne warunki miejscowe, wymagające rozwiązań indywidualnych przystosowanych do tych warunków, nie mogą być podane schematyczne rozwiązania podziału mas sposobem wykreślnym.

Ograniczymy się do podania szeregu uwag praktycznych oraz do podania liczbowych przykładów:

1. Jeżeli wykres podziału mas, zbudowany na poziomej osi rzędnych *PP* (rys. 246*a*), kończy się tak, że w końcowym punkcie robót *p. B* leży na osi *PP*, objętość wykopów = objętości nasypów; w tym wypadku linia *PP* może (ale nie musi) być

jednocześnie ogólną dla całego odcinka robót ziemnych linią rozdzielczą, dającą najmniejszą sumę momentów przewozu ziemi; może jednak ukształtowanie wykresu podziału mas być takie, że zajdzie potrzeba zastosowania na danym odcinku dwóch lub więcej linii rozdzielczych i na jednym lub więcej odcinkach robót poprzecznych (z wykopów na odkłady materiałowe lub z wykopów materiałowych na nasypy), jeżeli suma momentów przewozu ziemi na tych poszczególnych odcinkach, odpowiadającym poszczególnym liniom rozdzielczym wraz z momen-

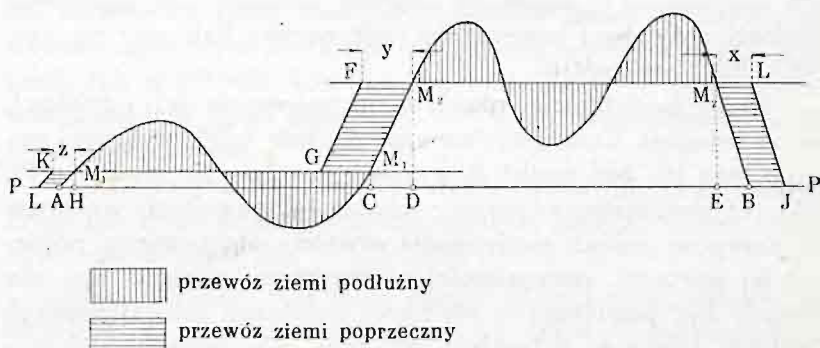


Rys. 246.

tami poprzecznego przewozu ziemi, wyniesie mniej, niż suma momentów podłużnego przewozu ziemi przy przyjęciu linii  $PP$  za linię rozdzielczą.

W tym wypadku na odcinkach, na których będzie stosowany przewóz ziemi poprzeczny, momenty przewozu poprzecznego mogą być oznaczone na wykresie podziału mas w sposób następujący: na podstawie przekrojów poprzecznych możemy obliczyć dla poszczególnych odcinków przeciętne odległości przewozu ziemi  $x$  lub  $y$  (= odległościom środków ciężkości przekrojów poprzecznych nasypów i wykopów materiałowych lub wykopów i odkładów materiałowych) (rys. 238 *a* i *b*) i na tych odcinkach wykreślimy je w sposób podany na rys. 247. Na rysunku tym  $M_1M_1$  i  $M_2M_2$  są poszczególne linie rozdzielcze dla przewozu podłużnego; na odcinkach  $AH$  i  $CD$  jest projektowany przewóz poprzeczny z wykopów materiałowych na nasyp, na średnie odległości  $z$  i  $y$ . Odległości te w ra-

zie potrzeby należy powiększyć o poprawkę, o ile wielkość wzniesienia na drodze przewozu ziemi tego wymaga (p. str. 234). Jeżeli przeprowadzimy linię  $FG$  równoległą do  $M_1M_2$  w odległości  $y$  od tej ostatniej, powierzchnia  $FM_2M_1G$ , obliczona według właściwych podziałek poziomej (długościowej) i pionowej (objętościowej) da nam moment przewozu ziemi z wykopu materiałowego na nasyp; takim samym sposobem możemy oznaczyć moment przewozu poprzecznego (również z wykopu materiałowego na nasyp) na odcinku  $AH$ .



Rys. 247.

W analogiczny sposób zbudowana jest powierzchnia  $M_2LJB$  przy przeciętnej odległości  $x$  przewozu ziemi z wykopu na odkład materiałowy; powierzchnia przedstawia moment przewozu ziemi na odcinku  $EB$ .

Przy decyzji, które linie rozdzielcze dają mniejszy koszt przewozu, czy ogólna  $AB$  dla całego odcinka robót, czy też dwie rozdzielcze  $M_1M_1$  i  $M_2M_2$  z zastosowaniem na odcinkach  $AH$ ,  $CD$  i  $EB$  przewozu poprzecznego, należy porównać sumy momentów przewozu w jednym i drugim wypadku: w pierwszym wypadku będzie to powierzchnia, obliczona według właściwych podziałek długościowej i objętościowej, zawarta między  $AB$  i linią wykresu podziału mas; w drugim wypadku będą to powierzchnie zawarte między rozdzielczymi  $M_1M_1$  i  $M_2M_2$  i wykresem podziału mas + powierzchnie przewozów poprzecznych (pow.  $KM_1AL$  + pow.  $FM_2M_1G$  + pow.  $M_2LJB$ ).

W ostatnim wypadku do kosztu przewozu powinno się dodać powiększenia kosztu nabycia terenu niezbędnego na od-

kłady i wykopy materiałowe, oraz przy wykopach materiałowych—koszt добыcia ziemi z tych wykopów materiałowych.

Gdy grunty nie są zbyt kosztowne, dodatek ten do kosztów jest stosunkowo niewielki i można go pominąć przy porównaniu kosztów. Dla uproszczenia porównania można również pomijać przy mniejszych wykopach materiałowych—koszt добыcia ziemi z tych wykopów.

2. Jeżeli linia wykresu podziału mas „nie zamyka się”, tj. nie kończy się na linii *PP* (rys. 246b), oznacza to, że na danym odcinku robót ziemnych objętość wykopów nie jest równa objętości nasypów i przeważają bądź nasypy (jak np. na rys. 246b), bądź wykopy.

Przez modyfikację niwelety na pewnych jej odcinkach można osiągnąć bądź zupełne „zamknięcie się” wykresu podziału mas (tj. gdy punkt *B* wykresu znajdzie się na linii *PP*), bądź też zmniejszenie różnicy między objętościami wykopów lub nasypów; jednak modyfikacja niwelety nie powinna pogarszać jej wartości, przynajmniej w znacznym stopniu: np. nie powinny być powiększane wielkości wzniesień lub straconych spadków; zależy to naturalnie od celu, dla jakiego wykonywane są roboty ziemne: inne wymagania są przy budowie zwykłych dróg, inne przy budowie autostrad, czy też kolei żelaznych, kanałów itd.

Nie jest warunkiem koniecznym, aby wykres podziału mas „zamykał się”: przy większych robotach ziemnych nie da się uniknąć na pewnych odcinkach przewozu poprzecznego; zwłaszcza nie należy unikać przewozu poprzecznego tam, gdzie to wywołałoby zbyt daleki przewóz podłużny.

3. Przy ustalaniu linii rozdzielczych i podziale przewozonej ziemi do przewozu pomiędzy poszczególne środki przewozowe należy zwracać uwagę na odległości, przy jakich poszczególne środki przewozowe mogą się kalkulować oraz na właściwości techniczne stosowanych środków przewozowych.

Np. przy robotach ziemnych do budowy dróg (zwykłych) mogą być zastosowane, jako środki przewozowe: taczki, szufle amerykańskie, wozy gospodarskie, wozy specjalne konne, pociągi drogowe, kolejki robocze, przy zastosowaniu siły pociągowej ludzkiej, zwierzęcej, rzadko, przy zastosowaniu silników mechanicznych; natomiast przy budowie autostrad, przy których



roboty ziemne bywają znacznie większe, niż przy drogach zwykłych (ogólnego użytku), mogą się zupełnie dobrze kalkulować kolejki wąskotorowe lub koleje robocze normalnotorowe parowe i motorowe; przy budowie kolei — mogą być z powodzeniem zastosowane pociągi robocze normalnotorowe; torry mogą być stopniowo podnoszone (na nasypach) lub obniżane (w wykopach) do poziomu projektowanej niwelety.

Przy podziale mas ziemi do przewozu przy pomocy poszczególnych środków przewozowych należy unikać przewożenia niewielkich ilości ziemi przy pomocy takich środków przewozowych, których instalacja na miejscu robót wymaga dużo czasu lub znacznych kosztów, np. ułożenia toru, jego przesuwania, obsługi (przy kolejkach parowych wąskotorowych lub normalnotorowych).

4. Roboty ziemne mogą być wykonywane (np. przy budowie drogi lub kolei żelaznej) na długościach nieraz bardzo znacznych — do kilkuset *km*.

Przy podziale mas takie długie odcinki robót dzielimy na mniejsze w zależności odległości, na jakie — ze względu na koszty — może być przewożona ziemia przy pomocy tych środków przewozowych, jakie mogą być stosowane na danych robotach.

Jeżeli np. spośród środków przewozowych, które mogą być stosowane, największy zasięg mają wąskotorowe kolejki robocze parowe (10—15 *km*), dzieli się całą trasę robót na odcinki kilkunastokilometrowe; przy stosowaniu wąskotorowych kolejek roboczych, ciągnionych przez konie, na odcinki kilkukilometrowe; przy zastosowaniu normalnotorowych pociągów roboczych długość takich odcinków może dochodzić do 20 i więcej *km*.

Należy trasę robót dzielić na takie odcinki, na których podział mas ziemi i wykonanie przewozu ziemi podłużnego mogą być przeprowadzone niezależnie od robót na odcinkach sąsiednich.

Jako granice takich odcinków mogą być większe rzeki, na których nie ma mostów, a budowa prowizorycznych mostów dla przewozu ziemi na drugi brzeg przeciągnęłaby termin wykonania robót lub wypadłaby zbyt kosztownie; granicą taką może być również odcinek, na którym są tzw. roboty zerowe,

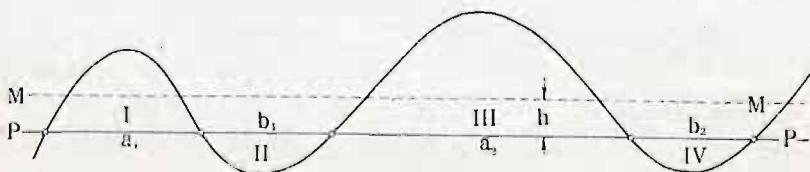
ograniczające się do wyrzucania ziemi z rowów na koronę drogi, czy torowisko kolei itp.

5. Podział mas ziemi na każdym odcinku robót ziemnych może być zrobiony przy pomocy jednej lub więcej linii rozdzielczych, w zależności od ukształtowania linii wykresu podziału mas dla danego odcinka robót.

Ogólny rzut oka na ten wykres, znajomość zasad wykreślnego sposobu podziału mas ziemi i pewna wprawa w tego rodzaju robotach, dają możliwość naszkicowania z początku przybliżonego umieszczenia linii rozdzielczej lub linii rozdzielczych i określenia tych odcinków trasy robót ziemnych, na których okaże się niezbędnym wykonanie robót ziemnych poprzecznych.

Drogą prób, przesuwając linię rozdzielczą lub poszczególne linie rozdzielcze w górę lub w dół i jednocześnie rysując powierzchnie, przedstawiające momenty przewozu poprzecznego, dążymy do tego, aby powierzchnia ogólna momentów przewozu była możliwie najmniejsza.

Jeżeli na rys. 248 mamy część wykresu podziału mas i  $PP$  jest projektowaną linią rozdzielczą, która oddziela szereg segmentów górnych i dolnych, przy przesuwaniu tej linii rozdzielczej do góry (np. do położenia  $MM$ ) powierzchnia segmentów górnych (I i III) zmniejsza się, powierzchnia zaś segmentów dolnych (II i IV) powiększa się.



Rys. 248.

Jeżeli przesunięcie linii rozdzielczej z położenia  $PP$  do położenia  $MM$  zrobiono w górę na wysokość  $h$ , wtedy powierzchnia segmentów górnych (I i III) zmniejsza się w przybliżeniu o powierzchnię prostokątów o wysokości  $h$  i długości równej cięciwom  $a_1, a_2 \dots$  segmentów górnych w założeniu, że  $h$  jest małe.

Zmniejszenie momentów przewozu ziemi dla segmentów górnych  $= (a_1 + a_2 + \dots) h$ .

Jednocześnie powierzchnia segmentów dolnych (II i IV) powiększa się o powierzchnie prostokątów o wysokości  $h$  i długości równej cięciwom  $b_1, b_2 \dots$  segmentów dolnych; przy małym  $h$  powiększenie to będzie równe  $(b_1 + b_2 + \dots)h$ . Z tego wynika, że jeżeli suma cięciw segmentów górnych  $(a_1 + a_2 + \dots)$  jest większa niż suma cięciw dolnych  $(b_1 + b_2 + \dots)$ , wtedy przy przesunięciu położenia linii rozdzielczej (rys. 248) z położenia  $PP$  w położenie  $MM$  otrzymamy ogólne zmniejszenie powierzchni segmentów odciętych linią rozdzielczą  $MM$ ; zmniejszenie to jest równe:

$$[(a_1 + a_2 + \dots) - (b_1 + b_2 + \dots)] h.$$

Stąd wynika, że przez przesuwanie linii rozdzielczej w górę otrzymamy zmniejszanie sumy momentów przewozu dotąd, dopóki suma cięciw segmentów górnych  $(a_1 + a_2 + \dots)$  nie stanie się równą sumie cięciw segmentów dolnych  $(b_1 + b_2 + \dots)$ .

Przy takim położeniu linii rozdzielczej otrzymamy minimum momentów przewozu i linia rozdzielcza będzie najkorzystniejsza.

Przy dalszym przesuwaniu linii rozdzielczej do góry suma cięciw dolnych segmentów będzie większa, niż suma cięciw segmentów górnych, skutkiem tego otrzymamy ogólne powiększenie powierzchni segmentów, a więc powiększenie sumy momentów przewozu i co za tym idzie, powiększenie kosztów przewozu.

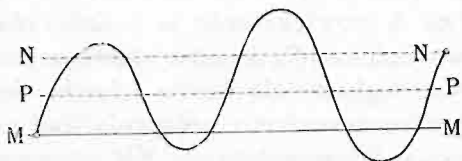
Jeżeli więc linia rozdzielcza odcina pewną ilość segmentów, a suma długości cięciw górnych segmentów równa się sumie długości cięciw dolnych segmentów, wtedy suma momentów przewozów jest najmniejsza i co za tym idzie, taka linia rozdzielcza jest najkorzystniejsza.

Wniosek powyższy pozwala na odszukanie najkorzystniejszego położenia linii rozdzielczej dla odcinka trasy robót ziemnych wtedy, gdy ta linia rozdzielcza na tym odcinku odcina szereg sąsiednich segmentów na wykresie podziału mas.

Wniosek powyższy ma zastosowanie, gdy przesuwanie linii rozdzielczej ma miejsce pomiędzy liniami  $NN$  i  $MM$  (rys. 249), przeprowadzonymi przez początek wykresu (p.  $M$ ) i jego

koniec (p.  $N$ ) do takiego położenia ( $PP$ ), przy którym suma cięciw segmentów górnych równa się sumie cięciw segmentów dolnych.

Aby to było możliwe, przy przesuwaniu linii  $MM$  w górę trzeba, aby zmniejszenie powierzchni segmentów górnych było większe, niż powiększenie powierzchni segmentów dolnych i co za tym idzie, suma cięciw segmentów górnych winna być większa, niż suma cięciw segmentów dolnych.

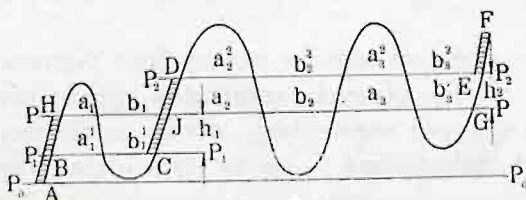


Rvs. 249.

Z drugiej strony niezbędny jest warunek, aby przy przesuwaniu linii  $NN$  w dół zmniejszenie dolnych segmentów było większe, niż powiększenie górnych segmentów i co za tym idzie, aby suma cięciw segmentów dolnych (pod linią  $NN$ ) była większa, niż suma cięciw segmentów górnych.

Jeżeli tym dwom warunkom wykres nie odpowiada, w takim razie najkorzystniejszą linią rozdzielczą dla danego odcinka robót ziemnych będzie linia rozdzielcza, przechodząca przez punkty krańcowe danego odcinka wykresu podziału mas, a więc albo linia *MM*, albo *NN*.

6. W celu zmniejszenia kosztów przewozu ziemi często stosujemy dwie lub więcej linii rozdzielczych na krótszych od-



Rys. 250.

cinkach, przerywając je i stosując w przerwach pomiędzy poszczególnymi liniami rozdzielczymi poprzeczny przewód ziemi.

Rys. 250.

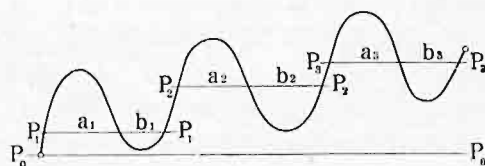
Rozpatrzmy wypadek, gdy ze względów terenowych jest rzeczą obojętną, w których miejscach wypadną odkłady lub wykopy materiałowe.

Jeżeli jedną linię rozdzielczą  $PP$  (rys. 250) zastąpimy dwoma liniami rozdzielczymi  $P_1P_1$  i  $P_2P_2$  tak usytuowanymi, aby sumy cięciw segmentów górnych były równe sumom cięciw



segmentów dolnych (tj.  $a_1^1 = b_1^1$  oraz  $b_2^2 + b_3^2 = a_2^2 + a_3^2$ ), otrzymamy sumę powierzchni segmentów znacznie mniejszą, niż przy jednej rozdzielczej  $PP$ . Na odcinku  $AB$ ,  $CD$  i  $EF$  będą roboty poprzeczne, dla których momenty przewozu będą mogły być wykreślone (zakreskowane na rys. 250).

Ponieważ przy jednej rozdzielczej  $PP$  były również przewozy poprzeczne (na odcinkach  $AH$  i  $FG$ ), trzeba określić



Rys. 251.

nie tylko różnicę momentów przewozów podłużnych, ale również i różnicę momentów przewozów poprzecznych i rozpatrywać je łącznie; da to możliwość określenia

korzyści, jaka powstanie z zastąpienia jednej rozdzielczej  $PP$  dwoma rozdzielczymi  $P_1P_1$  i  $P_2P_2$ .

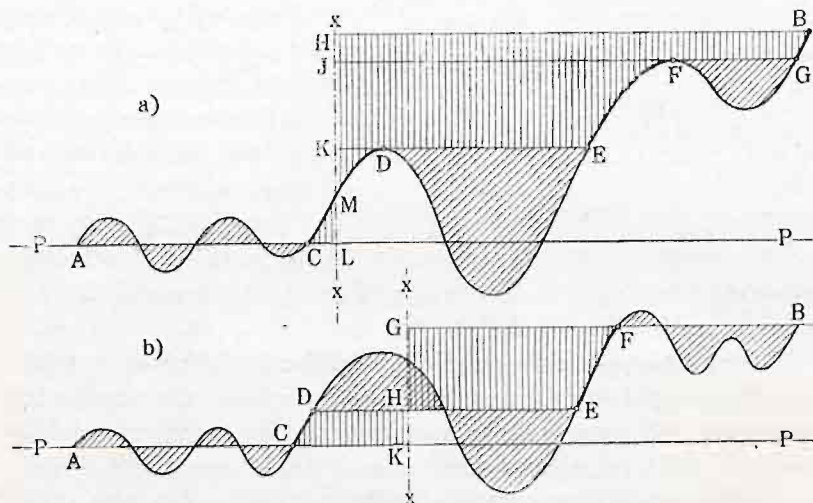
Przy zastąpieniu jednej rozdzielczej kilkoma rozdzielczymi należy tak je rozmieścić, aby jedna nie zachodziła na drugą; w tym celu umieszcza się je stopniami, jak na rysunku 251; aby otrzymać dla każdej rozdzielczej minimum momentów przewozu (podłużnego), trzeba, aby każda rozdzielcza była tak przeprowadzona, żeby suma cięciw segmentów górnych była równa sumie cięciw segmentów dolnych; warunek ten jest zbędny dla tych rozdzielczych, które przechodzą przez początek wykresu podziału mas lub jego koniec.

7. Nieco inaczej sprawa się przedstawia, gdy odkłady i wykopy materiałowe z tych lub innych powodów winny zajmować określone miejsca.

Jeżeli  $AB$  (rys. 252) jest linią wykresu podziału mas, a  $xx$  — oznacza położenie osi poprzecznej wykopu materiałowego, jaki w tym miejscu ma być założony, aby uzupełnić brakującą ziemię na nasypy, a  $AC$ ,  $DE$  i  $FG$  są rozdzielcze na rys. 252a i  $AC$ ,  $DE$  i  $FB$  — rozdzielcze na rys. 252b, wtedy momenty przewozu z wykopu materiałowego na nasypy, oznaczone odcinkami linii wykresu podziału mas  $CD$ ,  $EF$  i  $GB$  na pierwszym oraz  $CD$  i  $EF$  na drugim wykresie, można przedstawić, jako powierzchnie (zakreskowane pionowo) na tych rysunkach;

oczywiście powierzchnie te winny być obliczane przy pomocy podziałki pionowej (w  $m^3$ ) i poziomej (w  $m$ ).

Na rys. 252a powierzchnia *HJGB* jest momentem przewozu ziemi z wykopu materiałowego na nasyp na odcinku robót, odpowiadającym na wykresie podziału mas odcinkowi *BG*; powierzchnia *JFEK*—odcinkowi *EF*; powierzchnia *KDML*—odcinkowi *CD*.



Rys. 252.

Na rys. 252b powierzchnia *GFEH* jest momentem przewozu ziemi z wykopu materiałowego o poprzecznej osi *xx* na odcinek nasypu, odpowiadający na wykresie podziału mas odcinkowi *EF*, a powierzchnia *CDHK* jest momentem przewozu ziemi z tego wykopu materiałowego na odcinek nasypu, odpowiadający na wykresie podziału mas odcinkowi tego wykresu *CD*.

\*  
\*  
\*

Podane wyżej uwagi praktyczne co do stosowania wykreślnego sposobu podziału mas bynajmniej nie wyczerpują materii; podane zostały ogólne zasady i pewne typowe wypadki.

Stosując sposób wykreślny podziału mas napotkać możemy różne wypadki, które należy rozwiązywać indywidualnie, uwzględniając warunki miejscowe i stosując rozważnie podane

wyżej zasady. Przy starannym opracowaniu może to dać często duże korzyści materialne w postaci oszczędności na przewozie ziemi.

## 11. Przykłady wykreślnego podziału mas

Na dołączonych tablicach rysunkowych *A* i *B* podane są dwa przykłady wykreślnego podziału mas ziemi dla odcinków dróg.

Na obydwóch tablicach podane są przekroje podłużne tych odcinków w postaci uproszczonej przez pominięcie tych szczegółów, które nie mają wpływu przy podziale mas. Stąd też przekroje podłużne na tablicach tych pod względem zewnętrznym różnią się od przekroju, podanego na tabl. C w I tomie podręcznika.

*Przykład I.* Na tablicy *A* przeprowadzony został podział wykreślny mas ziemi dla odcinka drogi przy przyjęciu za punkt początkowy *hm* 7 + 27,5, a za końcowy *hm* 15 + 37,25 w założeniu, że ziemia z wykopu poza punktem 15 + 37,25 zużyta będzie na dalszym odcinku.

Na podstawie tablicy *I<sup>A</sup>* (str. 278—279) zestawiony został wykres objętości mas, przy tym położenie punktów „zerowych” (oznaczonych w tablicy tej tłustym drukiem w rubryce „Nr przekroju poprzecznego”) zostało określone sposobem wykreślnym, podanym na rys. 242 lub też obliczone analitycznie.

Wykres objętości mas dał możliwość określenia ilości i rozłożenia robót ziemnych wzajemnie się pokrywających w przekrojach odcinkowych.

Na podstawie wykresu objętości mas sporządzony został wykres podziału mas.

Przebieg tego wykresu—przy dążeniu do osiągnięcia jak najmniejszej sumy momentów przewozu—nasuwa rozwiązanie w postaci 3 rozdzielnicy.

Pierwsza  $P_0P_0$  na linii odniesienia między punktami  $1_0$  i  $2_0$ .

Druża  $P_1P_1$  między punktami  $1_1$ ,  $2_1$  i  $3_1$ .

Trzecia  $P_2P_2$  między punktami  $1_2$ ,  $2_2$ ,  $3_2$  i  $4_2$ .

Między punktami 2 i  $1_1$  oraz  $3_1$  i  $1_2$  przy takim podziale mas wypadną przewozy poprzeczne: na pierwszym odcinku

przewiezienia  $1003 \text{ m}^3$  ziemi z wykopu na odkład materiałowy i na drugim odcinku przewiezienia  $835 \text{ m}^3$  z wykopu materiałowego na nasyp.

Na pierwszym odcinku przeciętna odległość przewozu na podstawie przeciętnych przekrojów poprzecznych wykopu i projektowanego odkładu obliczona zastała na  $17 \text{ m}$ , na drugim odcinku ta odległość na podstawie przeciętnych przekrojów poprzecznych nasypu i wykopu materiałowego oznaczona została na  $13 \text{ m}$ .

Przez zastosowanie linii rozdzielczej  $P_1P_1$ , uniknęło się przewożenia ziemi z wykopu pod górę na znaczne odległości, przez co suma momentów znacznie się zmniejszyła, jak to już na pierwszym rzucie oka widać.

W danym wypadku układ wykresu podziału mas rozwiązanie powyższe trzech linii rozdzielczych narzuca z góry i nie daje możliwości innych kombinacji lub modyfikacji.

Określenie ilości ziemi przewożonej poszczególnymi środkami przewozowymi, w danym wypadku taczkami i wozami konnymi, został zrobiony w założeniu, że skala cen przewozu zestawiona dla danego odcinka drogi określa największą odległość na  $100 \text{ m}$ , przy której przewóz taczkami jest tańszy, niż wozami.

Na podstawie powyższej ułożona została tablica przewozu mas  $I^B$  (str. 280), dająca możliwość obliczenia kosztu przewozu ziemi.

*Przykład II.* Przykład ten stanowi fragment projektu pewnej drogi (podany na tablicy  $B$  również w formie uproszczonej, jak przykład na tablicy  $A$ ), przy tym podział mas zrobiony został od hektometra 2-go 10-tego kilometra do hektometra 2-go 11-go kilometra, czyli, że zostało zrobione założenie, że roboty ziemne na tym odcinku stanowią pewną całość, do pewnego stopnia niezależną od sąsiednich odcinków, dla których należy zaprojektować taki podział mas ziemi, aby suma momentów jej przewozu była możliwie najmniejsza.

Również i w tym przykładzie na zasadzie tablicy obliczenia objętości robót ziemnych, sporządzonej analogicznie, jak tablica  $I^A$ , wykreślony został wykres objętości mas i wykres podziału mas.

Tablica obliczenia objętości robót ziemnych dla przykładu  $II$  została pominięta.



Zajmiemy się analizą, czy zaprojektowany na odcinku podział mas ziemi jest racjonalny.

Wykres podziału mas wykazuje na początku odcinka i przed jego końcem wykopy materiałowe.

Objętość wykopu materiałowego pierwszego stanowi  $750 \text{ m}^3$ , a przeciętna odległość przewozu (na podstawie przeciętnych przekrojów poprzecznych dla tego odcinka) =  $42 \text{ m}$ ; objętość wykopu materiałowego drugiego =  $210 \text{ m}^3$ , a przeciętna odległość przewozu  $11 \text{ m}$ .

Na odcinku mamy zaprojektowane dwie linie rozdzielcze:  $P_8P_8$  i  $P_9P_9$ :

od p.  $1_8$  do p.  $7_8$  mamy podział mas ziemi i dalej od p.  $1_9$  do  $3_9$ ; co się zaś tyczy podziału mas ziemi od p.  $3_9$  na prawo, to podział ten winien być zrobiony w związku z podziałem mas ziemi na odcinku drogi, położonym dalej poza końcem 1-go hektometra  $11\text{-go km}$ .

Analiza kosztów przewozu ziemi, opracowana dla omawianego projektu drogi, dała rezultat, że taczki stanowią najtańszy środek przewozowy do odległości  $91 \text{ m}$ , po czym najtańsze są wozy konne itd.

Aby sprawdzić, czy linia rozdzielcza  $P_8P_8$  zaprojektowana jest korzystnie, należy ją przesuwac w dół lub w górę i badać, jaki to wpływ wywrze na sumę momentów.

Przy przesuwaniu w dół (np. o  $1 \text{ m}^3$  według podziałki pionowej wykresu podziału mas) powierzchnie segmentów „dolnych” zmniejszają się, jak również zmniejsza się powierzchnia momentu przewozu poprzecznego na odcinku ( $7_8 - 1_9$ ), gdy jednocześnie powierzchnie segmentów „górných” (pod linią  $P_8P_8$ ) powiększają się, jak również powiększa się powierzchnia momentu przewozu poprzecznego na odcinku ( $9_7 - 1_8$ ).

Przy przesunięciu linii rozdzielczej  $P_8P_8$  w górę mamy zjawisko odwrotne.

Gdy linia rozdzielcza jest zaprojektowana racjonalnie, trzeba, aby sumy:

$$\begin{aligned}\Sigma_1 &= K' + K_2 + K_4 + K_1 \\ \text{ i } \Sigma_2 &= K_1 + K_3 + K_5 + K''\end{aligned}$$

albo były sobie równe, albo też mało się różniły między sobą;

**Tablica I<sup>A</sup>**  
**Obliczenia objętości robót ziemnych**

| Nr prze-<br>kroju po-<br>przecz-<br>nego | Powierzchnia<br>przekroju |        | Powierzchnia<br>średnia |        | Odległość<br>między<br>przekro-<br>jami | Objętość            |               | Objętość<br>do użycia<br>na<br>miejscu | Nadmiar objęto-<br>ści na odcinku |               | Algebraiczna suma<br>objętości od począt-<br>kowego przekroju |               |
|--|---------------------------|--------|-------------------------|--------|---|---------------------|---------------|--|-----------------------------------|---------------|---|---------------|
|  | Wykopy                    | Nasypy | Wykopy                  | Nasypy |   | Wykopy<br>(-)       | Nasypy<br>(+) |  | Wykopy<br>(-)                     | Nasypy<br>(+) | Wykopy<br>(-)   | Nasypy<br>(+) |
|  |                           |        |                         |        |   |                     |               |  |                                   |               |   |               |
|  |                           |        |                         |        |   |                     |               |  |                                   |               |   |               |
| Metrów kwadratowych                      |                           |        |                         |        |   | Metrów sześciennych |               |  |                                   |               |   |               |
| + 4%*)                                   |                           |        |                         |        |   |                     |               |  |                                   |               |   |               |
| 7+27,5                                   | 0,45                      | 60,00  | 0,45                    | 57,20  | 5,00                                    | 2                   | 286           | 2                                      |                                   | 284           |   | 284           |
| 32,50                                    | 0,45                      | 54,40  | 0,45                    | 46,20  | 12,50                                   | 6                   | 577           | 6                                      |                                   | 571           |   | 855           |
| 45,00                                    | 0,45                      | 38,00  | 1,69                    | 20,60  | 10,00                                   | 18                  | 206           | 18                                     |                                   | 188           |   | 1043          |
| 55,00                                    | 2,93                      | 3,20   | 3,04                    | 3,17   | 0,15                                    | —                   | —             | —                                      |                                   | —             |   | 1043          |
| 55,15                                    | 3,15                      | 3,15   | 10,42                   | 1,58   | 9,85                                    | 107                 | 16            | 16                                     | 91                                |               |   | 952           |
| 65,00                                    | 17,69                     | —      | 30,28                   | —      | 7,92                                    | 25                  | —             | —                                      | 25                                |               |   | 927           |
| 72,92                                    | 42,88                     | —      | 39,03                   | —      | 27,08                                   | 1099                | —             | —                                      | 1099                              |               | 172   |               |
| 8+00,00                                  | 35,18                     | —      | 23,19                   | 2,40   | 70,42                                   | 1698                | 169           | 169                                    | 1529                              |               | 1701  |               |
| 70,42                                    | 11,21                     | 4,80   | 9,54                    | 6,33   | 8,36                                    | 83                  | 53            | 53                                     | 30                                |               | 1731  |               |
| 78,78                                    | 7,87                      | 7,87   | 5,73                    | 9,82   | 11,64                                   | 70                  | 114           | 70                                     |                                   | 44            | 1687  |               |
| 90,42                                    | 3,59                      | 11,78  | 3,69                    | 10,69  | 50,60                                   | 194                 | 541           | 194                                    |                                   | 347           | 1340  |               |
| 9+41,02                                  | 3,79                      | 9,60   | 4,77                    | 9,40   | 58,98                                   | 292                 | 554           | 292                                    |                                   | 262           | 1078  |               |
| 10+00,00                                 | 5,75                      | 9,20   | 5,48                    | 7,20   | 49,85                                   | 284                 | 359           | 284                                    |                                   | 75            | 1003  |               |
| 49,85                                    | 5,20                      | 5,20   | 4,80                    | 3,80   | 34,92                                   | 174                 | 132           | 132                                    | 42                                |               | 1045  |               |
| 84,77                                    | 4,41                      | 2,40   | 4,13                    | 3,07   | 41,88                                   | 180                 | 129           | 129                                    | 51                                |               | 1096  |               |
| 11+26,65                                 | 3,86                      | 3,75   | 3,85                    | 3,80   | 0,46                                    | 2                   | 2             | 2                                      | —                                 |               | 1096  |               |
| 27,11                                    | 3,84                      | 3,84   | 2,62                    | 11,28  | 72,89                                   | 199                 | 822           | 199                                    |                                   | 623           | 473   |               |
| 12+00,00                                 | 1,41                      | 18,72  | 0,95                    | 20,61  | 22,50                                   |                     |               |  |                                   |               |   |               |

|          |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 22,50    | 0,50  | 22,50 | 3,82  | 14,82 | 22,55 | 22    | 464   | 22   | 442  | 31   |
| 45,05    | 7,14  | 7,14  | 7,50  | 6,30  | 2,45  | 90    | 334   | 90   | 244  | 213  |
| 47,50    | 7,86  | 5,46  | 18,92 | 2,73  | 39,15 | 19    | 15    | 15   | 4    | 209  |
| 86,65    | 29,98 | —     | 33,63 | —     | 13,35 | 770   | 107   | 107  | 663  | 454  |
| 13+00,00 | 37,28 | —     | 45,64 | —     | 25,00 | 467   | —     | —    | 467  | 921  |
| 25,00    | 54,00 | —     | 38,39 | —     | 33,53 | 1187  | —     | —    | 1187 | 2108 |
| 58,53    | 22,78 | —     | 17,71 | 6,32  | 13,31 | 1339  | —     | —    | 1339 | 3447 |
| 71,84    | 12,65 | 12,65 | 6,55  | 20,33 | 14,19 | 245   | 84    | 84   | 161  | 3608 |
| 86,03    | 0,45  | 28,00 | 0,45  | 36,10 | 13,97 | 97    | 288   | 97   | 191  | 3417 |
| 14+00,00 | 0,45  | 44,10 | 0,45  | 51,05 | 16,03 | 7     | 504   | 7    | 497  | 2920 |
| 16,03    | 0,45  | 58,00 | 0,45  | 59,00 | 23,72 | 8     | 818   | 8    | 810  | 2110 |
| 39,75    | 0,45  | 60,00 | 0,45  | 61,20 | 22,75 | 11    | 1400  | 11   | 1389 | 721  |
| 62,50    | 0,45  | 62,40 | 0,45  | 55,5  | 12,50 | 11    | 1392  | 11   | 1381 | 660  |
| 75,00    | 0,45  | 48,60 | 0,45  | 32,55 | 5,00  | 6     | 694   | 6    | 688  | 1348 |
| 80,00    | 0,45  | 16,50 | 6,06  | 14,08 | 3,52  | 2     | 163   | 2    | 161  | 1509 |
| 83,52    | 11,67 | 11,67 | 25,22 | 5,83  | 8,48  | 22    | 50    | 22   | 28   | 1537 |
| 92,00    | 38,78 | —     | 34,69 | —     | 8,00  | 222   | 49    | 49   | 173  | 1364 |
| 15+00,00 | 30,60 | —     | 31,30 | —     | 20,00 | 289   | —     | —    | 289  | 1075 |
| 20,00    | 32,00 | —     | 33,00 | —     | 17,25 | 651   | —     | —    | 651  | 424  |
| 37,25    | 34,00 | —     | —     | —     | —     | 592   | —     | —    | 592  | 168  |
|          |       |       |       |       |       | 10490 | 10322 | 2097 | 8393 | 8225 |

Sprawdzenie

10490 — 10322 = 8393 — 8225 = 168

10490 — 8393 = 10322 — 8225 = 2097

\*) Uwaga: Przy obliczaniu objętości robót ziemnych przyjęte zostało spulchnienie stałe w wysokości 4% (grunt ciężki) (objętość wykopów powiększona została o 4%).

*Tablica I<sup>B</sup>*  
*Przewozu mas*

| Wyszczególnienie                                      | Objętości | Przeciętna odległość transportu | Momenty transportu |
|---|-----------|---------------------------------|--------------------|
|   | $m^3$     | $m$                             | $m^4$              |
| 1) Transport taczkami:<br>(maksimum transportu 100 m) |           |                                 |                    |
| Pomiędzy przekrojami 7 + 27,5 — 7 + 91                | 1043      | 42                              | 43806              |
| „ 8 + 45 — 9 + 45                                     | 545       | 52                              | 28340              |
| „ 10 + 49,85 — 11 + 41                                | 150       | 36                              | 5400               |
| „ 12 + 13 — 12 + 75                                   | 381       | 32                              | 12192              |
| „ 13 + 17 — 14 + 17                                   | 1810      | 57                              | 103170             |
| „ 14 + 47 — 15 + 37,25                                | 1705      | 50                              | 85250              |
| Odkład i dokop:                                       |           |                                 |                    |
| Pomiędzy przekrojami 7 + 91 — 8 + 35                  | 1003      | 17                              | 17051              |
| „ 11 + 41 — 12 + 13                                   | 835       | 13                              | 10855              |
| Razem   | 7358      | (42)                            | 306064             |
| 2) Transport wozami:                                  |           |                                 |                    |
| Pomiędzy przekrojami 8 + 35 — 10 + 49,85              | 240       | 140                             | 33600              |
| „ 12 + 75 — 14 + 47                                   | 1630      | 130                             | 211900             |
| Razem   | 1870      | (131)                           | 245500             |
| Zestawienie rezultatów:                               |           |                                 |                    |
| Transport taczkami na przeciętną odległość 42         | 7358      |                                 |                    |
| Transport wozami na przeciętną odległość 131          | 1870      |                                 |                    |
| Ogółem  | 9228      |                                 |                    |



We wzorach powyższych:

$$\begin{aligned}K_1 &= L = 42 \text{ m}, \\K_1 &= \text{odc. } (1_8 - 2_8), \\K_2 &= \text{odc. } (2_8 - 3_8), \\K_3 &= \text{odc. } (3_8 - 4_8), \\K_4 &= \text{odc. } (4_8 - 5_8), \\K_5 &= \text{odc. } (5_8 - 6_8), \\K_6 &= \text{odc. } (6_8 - 7_8), \\K'' &= L = 11 \text{ m}.\end{aligned}$$

Jeżeli  $\Sigma_1 > \Sigma_2$ , wtedy  $\Sigma_1$  należy zmniejszyć a  $\Sigma_2$  — powiększyć przez podniesienie linii rozdzielczej  $P_8P_8$  i odwrotnie, gdy  $\Sigma_1 < \Sigma_2$  — linię rozdzielczą  $P_8P_8$  należy obniżyć.

Różnica między  $\Sigma_1$  i  $\Sigma_2$  wynosi około  $1/20$ , przeto położenie linii rozdzielczej  $P_8P_8$  jest korzystne.

Położenie rozdzielczej linii  $P_9P_9$  — jako związane z wykresem podziału mas na dalszym odcinku, nie jest tu analizowane.

## Zakończenie

Ze względu na konieczność ograniczenia objętości książki, wiele działów i szczegółów potraktowano w ogólnych zarysach, mimo, że mają one poważne znaczenie w praktyce.

Wykaz współczesnej literatury o robotach ziemnych pomoże w wynalezieniu materiału do szczegółowych studiów tym czytelnikom, którzy zainteresują się tymi lub innymi zagadnieniami, potraktowanymi zbyt encyklopedycznie.