

**Stanisław Wilk \*, Marek Galas\*, Marek Mijał\***

### **ODDZIAŁYWANIE OSUWISK NA GAZOCIĄGI\*\***

Tereny osuwiskowe charakteryzują się zróżnicowanymi spadkami. Są silnie nawodnione, często porośnięte są sitowiem i trawą. Osuwiska są często obszarami wypływu wód źródłiskowych, o czym świadczą liczne sączenia wody spływające częściowo po powierzchni osuwisk w sposób nieregulowany, tworzą tereny podmokłe z występowaniem zwierciadła wody gruntowej na nieznacznej głębokości.

Tereny osuwiskowe pod względem geograficznym najczęściej zlokalizowane są na obszarze Pogórza Karpackiego (Pogórze Wielickie, Beskid Wyspowy, Pogórze Strzyżowskie, Beskid Niski). Są to tereny o spadku dochodzącym do kilkunastu procent, obszary garbów i wysoczyzn z pokrywą deluwialnych utworów gliniasto-piaszczystych z rzeźbą terenu znacznie urozmaiconą przez procesy geodynamiczne związane z czołem nasunięcia karpackiego. Pod względem hydrograficznym obszary te położone są w zlewniach małych rzek i potoków.

Wraz z upływem czasu osuwiska przesuwiają się stopniowo w kierunku spadku terenu (pełzają), co jest widoczne na przemieszczających się zwałach ziemi. O występowaniu dalszych procesów osuwiskowych świadczą świeże odkształcenia gruntu. Na osuwiskach stwierdza się również powstawanie uskoków, które świadczą o kolejnych odłamach gruntu zsuwających się stopniowo w dół. Powstałe odłamy osuwiskowe mają kształty trójkątów lub czworokątów o zróżnicowanych wymiarach i różnej miąższości. Odłamy te zasilane są wodami gruntowymi z terenów położonych powyżej oraz wodami opadowymi. W wyniku tego grunty znajdujące się w tym odłamie wraz z upływem czasu nabierają okresowo konsystencji plastycznej do półpłynnej i stopniowo przemieszczając się, napierają na posadowione w pełzającym gruncie gazociągi.

W wielu przypadkach gazociągi stanowią opór dla pełzającego gruntu osuwisk i spełniają rolę „muru oporowego” dla części osuwiska znajdującego się powyżej gazociągu. Po dłuższym trwaniu ujemnej temperatury powietrza granica przemarzania gruntu przesuwa się stopniowo w dół. Ponad granicą przemarzania gruntu od powierzchni terenu tworzą się

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Pracę wykonano w ramach badań własnych nr 10.10.190.260

soczewki lodowe, które powiększają się wskutek kapilarnego podciągania wody. Nowe soczewki lodowe w sposób naturalny zwiększają wilgotność zamrożonego gruntu. Bezpośrednio poniżej granicy przemarzania wilgotność gruntu jest mniejsza w porównaniu z wilgotnością gruntu przed przemarzaniem.

Soczewki lodowe przyciągają molekuly wodne od dołu ze swojego najbliższego otoczenia. Przyciąganie molekuł wodnych przez kryształy lodu następuje wskutek istnienia na ich powierzchni sił adsorpcji. Molekuly wody, przyciągnięte do powierzchni soczewki lodowej, uzupełniają siatkę krystaliczną lodu, po czym same przyciągają nowe molekuly wody z porów gruntu, co powoduje szybki wzrost objętości soczewek lodowych. Wzrost objętości soczewek lodowych uzewnętrznia się podnoszeniem powierzchni terenu w miejscach, gdzie występują soczewki lodowe.

Ruchy osuwiskowe na terenie Karpat fliszowych należą do grupy najbardziej intensywnie przebiegających procesów morfogenetycznych. Sprzyja temu budowa fliszu karpackiego, tj. naprzemianległość warstw piaskowcowych i łupkowych.

Za główne przyczyny tych ruchów uważa się kolejno:

- erozję,
- wietrzenie,
- zakłócenia równowagi utworów geologicznych na powierzchni.

Bezpośrednimi przyczynami powodującymi zachwianie równowagi zbocza są erozyjne podcięcia lub przesyconie wodą warstw łupkowych, które dzięki zawartości minerałów ilastych posiadających zdolność pęcznienia, działają jak płaszczyzny poślizgu.

W budowie osuwiska wyróżniamy półkoliste obniżenie, zwane niszą osuwiskową, poniżej niszy ciągnie się rynna osuwiskowa. Rynna osuwiskowa przechodzi w język osuwiskowy.

Przemieszczenie masy gruntu zaczyna się od powstania szczelin w formie łuku otwartego w kierunku spadku zbocza. Rynna osuwiskowa może być wypełniona gruntem osuwiskowym lub też cały materiał osuwiskowy może być zgromadzony w obszarze języka. Głębokość, do której może sięgać strefa pełzającego gruntu sięga od kilku do kilkunastu metrów. Największe przemieszczenie gruntu i zniszczenia profilu zbocza widoczne są w dolnej części języka osuwiskowego. Dzięki powstaniu osuwiska i wytworzeniu zagłębienia niszy pozbawione zostają podparcia masy gruntu budujące obrzeżenie osuwiska. Umożliwia to tworzenie się nowych, drugorzędnych osuwisk prostopadłych do zagłębienia niszy, i rynny. Jest to proces normalny w wielu przypadkach osunięć.

W niektórych przypadkach walka z osuwiskami polega na budowaniu murów oporowych, formowaniu kąta naturalnego spoczynku oraz zakładaniu odpowiedniego systemu odwodnienia osuwiska.

Wody opadowe spływające w dół zbocza nadmiernie nawadniają grunt. Uaktywniający się i przyspieszający procesy osuwiskowe wpływ wody objawia się m.in. zmniejszeniem kohezji i kąta tarcia wewnętrznego, zwiększeniem ciężaru objętościowego gruntu i ogólnym osłabieniem jego struktury i stateczności.

Woda powoduje dodatkowe obciążenie gruntu, a przedostając się do przewarstwień pylastych i piaszczystych w obrębie utworów ilastych, powoduje ich uplastycznienie i upłynnienie, a co zatem idzie – znaczne obniżenie parametrów wytrzymałościowych, w efekcie czego zostaje przekroczona granica wytrzymałości na ścinanie i powodowany jest ruch zbocza. Wody gruntowe występujące na badanych terenach osuwiskowych nie

tworzą regularnego horyzontu, natomiast występują w formie nieregularnych sączeń w obrębie pakietu gliniastego. Wody źródliskowe nie ujęte w system odprowadzania wód rozplywają się po powierzchni terenu i infiltrują w głąb, powodując wzrost stopnia plastyczności osadów powierzchniowych.

Dla poprawienia stateczności skarp jedną ze spraw zasadniczych i koniecznych jest odcięcie wód gruntowych napływających z terenów położonych powyżej zbocza i odprowadzenie ich poza teren osuwiska.

Powstrzymanie napływu wód powierzchniowych przyczynia się do poprawy stabilności skarp, ale nie daje całkowitej pewności powstrzymania procesów osuwiskowych, gdyż zapoczątkowany ruch zbocza bardzo łatwo uaktywnia się przy każdym pogorszeniu warunków hydrogeologicznych.

Przeprowadzając rozpoznanie geologiczne terenu osuwiskowego, należy równocześnie dokonać rozpoznania hydrogeologicznego.

Rozpoznanie hydrogeologiczne bardzo często może być podstawą do stwierdzenia, czy istnieje możliwość zahamowania już powstałego osuwiska.

Duże i gwałtowne wahania zwierciadła zbiorników wody przylegających do terenach osuwiskowych powodują zmienny kierunek ruchu wód gruntowych, tj. kierunek od zbiornika – podczas gwałtownego podnoszenia się poziomu wody w zbiorniku, a do zbiornika – podczas opadania. Opadanie poziomu wody jest bardzo niebezpieczne i prowadzi do nagłego powstania osuwisk.

W gruntach osuwiskowych poniżej zwierciadła wody gruntowej współdziałają ze sobą szkielet gruntowy i woda, mające odrębne właściwości fizyczne i mechaniczne. Przy powstawaniu procesów osuwiskowych odkształca się szkielet gruntowy, a woda wypełniająca pory przeciwdziała odkształceniu się szkieletu gruntowego tym dłużej, im mniejsza jest wodoprzepuszczalność gruntu.

W pierwszej chwili po obciążeniu nacisk przekazuje się na wodę i dopiero z upływem czasu, w miarę odsączania się wody, na szkielet gruntowy, a ciśnienie w wodzie zmniejsza się. Grunty osuwiskowe nasycone wodą i poddane naciskowi słupem wody o wysokości  $h_2$ , przekazują nacisk wyłącznie na wodę zawartą w porach, nie wpływając w żadnym stopniu na zagęszczenie i cechy mechaniczne szkieletu gruntowego. Ciśnienie wody gruntowej wywierane na szkielet i nie powodujące jego zagęszczenia nazywa się ciśnieniem obojętnym albo ciśnieniem wody w porach gruntu (ciśnienie hydrostatyczne).

Ciśnienie to na głębokości z poniżej poziomu gruntu ma wartość

$$u(h_2, z) = \gamma_w (h_2 - z) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (1)$$

a całkowite naprężenie na masę gruntu osuwiskowego

$$\sigma(h_2, z) = \gamma_w (h_2 - z) + \gamma_s z \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2)$$

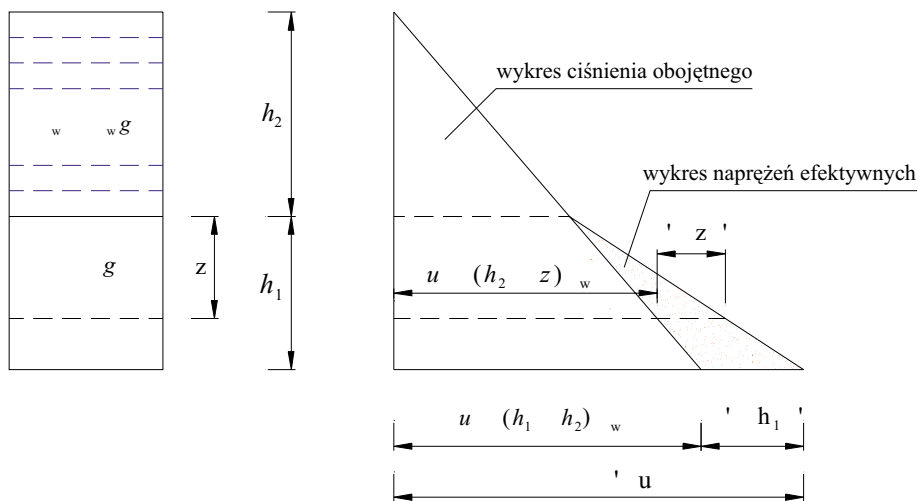
gdzie:

$\gamma$  – ciężar objętościowy gruntu osuwiskowego, przy  $S_r = 1$ ,  $[\text{kN/m}^3]$ ,

$\gamma_s = \gamma_w (1 - n)$  – ciężar objętościowy szkieletu gruntu osuwiskowego,

$n$  – porowatość gruntu osuwiskowego,  $[\text{kg/m}^3]$ ,

$h_2$  i  $z$  – jak na rysunku 1,  $[\text{m}]$ .



Rys. 1. Wykres naprężeń efektywnych i ciśnienia obojętnego

Naprężenie na szkielet gruntu osuwiskowego, zwane naprężeniem efektywnym albo czynnym, stanowi różnicę pomiędzy naprężeniem całkowitym na masę gruntu osuwiskowego i naciskiem na wodę  $u$  (ciśnieniem wody w porach) z uwzględnieniem wyporu

$$\sigma' = \sigma - u = \gamma_{sat} z - \gamma_w (h_2 - z) - \gamma_w z = (\gamma_{sat} - \gamma_w) z \quad [\text{kN/m}^2] \quad (3)$$

W gruncie osuwiskowym częściowo nasyconym wodą ( $S_r < 1$ ) przeprowadza się powierzchnię przez styki ziarn w taki sposób, aby była jak najbardziej zbliżona do płaszczyzny poziomej.

Siła normalna  $P$  przyłożona do powierzchni  $A$  próbki jest przenoszona częściowo przez siły na stykach cząstek, a częściowo przez ciśnienie wody w porach. Wartości i kierunki działania sił są różne, ale na stykach położonych na rozpatrywanej powierzchni mogą być rozłożone na składowe  $N$  i  $T$  – siły normalną i styczną do poziomej płaszczyzny (rys. 2).

Przy tych założeniach naprężenie efektywne (naprężenie przenoszone przez szkielet)

$$\frac{N}{A} \quad (4)$$

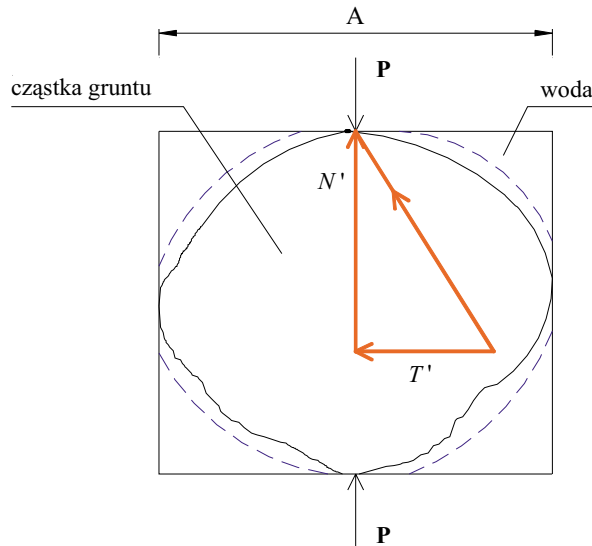
Równowaga układu jest zachowana, gdy

$$P = N + u_w A_w + u_a A_a \quad (5)$$

gdzie  $\sigma = P/A$  – naprężenie całkowite

Po podzieleniu równania przez  $A$  otrzymuje się

$$\sigma = \frac{N}{A} + u_w \frac{A_w}{A} + u_a \frac{A_a}{A} \quad (6)$$



Rys. 2. Rozkład naprężeń efektywnych w gruncie

Powierzchnia styku ziarn jest bardzo mała, więc  $A = A_w + A_a$

$$u_w \frac{A_w}{A} = u_a \frac{A - A_a}{A} \quad (7)$$

Jeśli przyjąć  $A_w/A = \alpha$ , to po przekształceniach otrzymuje się równanie na naprężenia efektywne dla gruntów osuwiskowych częściowo nasyconych wodą

$$u_a = \alpha (u_a - u_w) \quad (8)$$

gdzie:

- $\sigma$  – naprężenie efektywne,
- $\sigma$  – naprężenie całkowite,
- $u_a$  – ciśnienie gazu w porach,
- $u_w$  – ciśnienie wody w porach,
- współczynnik zależny od stopnia wilgotności (dla  $S_r = 1$  współczynnik  $\alpha = 1$ ).

Przyrost ciśnienia wody w porach ( $\Delta u$ ) przy wzroście naprężeń

$$\Delta u = B [ \Delta \sigma_3 - A ( \Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_2 ) ] \quad (9)$$

gdzie:

- $\Delta \sigma_1$  i  $\Delta \sigma_3$  – przyrosty naprężeń głównych,
- $A$  i  $B$  – współczynniki ciśnienia wody w porach, zależne od wartości składowych naprężenia i stopnia wilgotności.

Przepływająca przez grunt woda wywiera na szkielet gruntowy ciśnienie, które przezwycięża siłę tarcia wody o ziarna i cząstki gruntu. Ciśnienie to w odniesieniu do jednostki objętości gruntu nosi nazwę ciśnienia sphywowego (hydrodynamicznego) i jest skierowane zgodnie z kierunkiem filtracji (stycznie do linii prądu). Wielkość ciśnienia sphywowego w masie osuwiskowej, w której występuje ruch wody, można określić poprzez wydzielenie sześciangu o objętości  $V = a^2b$  (gdzie  $b = 1$ ) i przekroju  $F = ab$ .

Na sześciangu ten działa w kierunku przepływu wody wypadkowe parcie hydrostatyczne

$$P = H_w ab \quad (10)$$

Siła  $P$  równa oporowi filtracji w rozpatrywanym sześciangu przypadająca na jednostkę objętości sześciangu jest ciśnieniem sphywowym

$$j = \frac{P}{V} = \frac{H_w ab}{a^2 b} = \frac{H_w}{a} = i_w \quad [\text{kN/m}^3] \quad (11)$$

gdzie:

$$i = \frac{H}{a} \quad \text{– spadek hydrauliczny pomiędzy rozpatrywanymi przekrojami,}$$

$$w \quad \text{– ciężar właściwy wody, } [\text{kN/m}^3].$$

Ciśnienie sphywowe nie zależy od prędkości filtracji, lecz tylko od spadku hydraulicznego.

Przy przepływie wody przez grunt osuwiskowy dla obliczania pozornego ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego pod wodą należy uwzględnić ciśnienie sphywowe wg wzoru

$$j_v \quad [\text{kN/m}^3] \quad (12)$$

gdzie:

$$j_v \quad \text{– ciężar objętościowy szkieletu gruntu osuwiskowego pod wodą,}$$

$$j_w \quad \text{– pionowa składowa ciśnienia sphywowego.}$$

Znak plus stosuje się, gdy ciśnienie sphywowe jest skierowane w dół, a znak minus, gdy ciśnienie sphywowe skierowane jest do góry.

W przypadku gruntów osuwiskowych uwarstwionych o znacznej różnicy współczynników filtracji  $k$ , pionowe ciśnienie sphywowe prawie w całości przekazuje się na mniej przepuszczalny grunt. W przypadku przepływu wody przez grunt w kierunku z dołu ku górze, może osiągnąć wartość równą zero; wtedy  $j_w = j_v$ . Wartość tę nazywa się ciśnieniem sphywowym krytycznym, a odpowiadającą mu wartość spadku hydraulicznego – krytycznym spadkiem hydraulicznym

$$i_{kr} = \frac{j_v}{w} \quad (13)$$

Ciśnienie sphywowe skierowane do góry wpływa destrukcyjnie na grunt osuwiskowy. Przy krytycznym spadku hydraulicznym występuje upłynnienie niespoistych gruntów drob-

noziarnistych i gruntów mało spoistych. Przy upłynnieniu opór na ścinanie gruntu osuwiskowego równa się zero ( $i = 0$  – brak naprężeń efektywnych). Oznacza to, że ziarna i cząstki gruntu nie opierają się o siebie, lecz jakby pływają w wodzie. Grunt traci wówczas cechy ciała stałego i przechodzi w stan płynny. Upłynnienie drobnoziarnistych i pylastych piasków oraz pyłów uaktywnia procesy osuwiskowe.

Jeżeli

$$i < 0,5i_{kr} \quad (14)$$

to istnieje możliwość wystąpienia zjawiska upłynnienia gruntu (uaktywniania się procesów osuwiskowych).

Zjawisko upłynnienia gruntu osuwiskowego jest jedną z postaci zmian, jakie w gruncie wywołuje filtracja.

Najczęściej występujące zmiany w gruncie osuwiskowym wywołane filtracją (oprócz upłynnienia gruntu) to:

- wyparcie gruntu,
- przebicie hydrauliczne,
- sufozja.

Zmiany te nigdy nie występują w czystej postaci, lecz są ze sobą w większym lub mniejszym stopniu połączone.

Wyparciem gruntu osuwiskowego nazywa się zjawisko polegające na przesunięciu pewnej objętości gruntu wraz z obciążającymi ją elementami (drzewostan, obiekty terenowe). Wyparta masa powiększa swoją objętość i porowatość. Zjawisko wyparcia w gruntach osuwiskowych może występować nie tylko w kierunku poziomym.

Przebicciem hydraulicznym nazywa się zjawisko tworzenia się kanału (przewodu) w masie gruntu osuwiskowego, wypełnionego gruntem o naruszonej strukturze, łączącego miejsca o wyższym i niższym ciśnieniu wody w porach. Na powierzchni terenu przebicie hydrauliczne jest widoczne w postaci źródła (sączek). Zjawisko przebiccia występuje przeważnie w gruntach mało spoistych podścielonych gruntami przepuszczalnymi.

Sufozją nazywa się zjawisko polegające na wynoszeniu przez filtrującą wodę drobnych cząstek gruntu osuwiskowego. Cząstki mogą być przesunięte na inne miejsce lub wyniesione poza obręb gruntu osuwiskowego. W wyniku tego zjawiska mogą powstać kawerny lub kanały; zjawisko przybiera wtedy cechy przebiccia hydraulicznego. Sufozja występuje wtedy, gdy zostanie przekroczony krytyczny spadek hydrauliczny  $i_{kr}$  lub prędkość krytyczna  $V_{kr}$

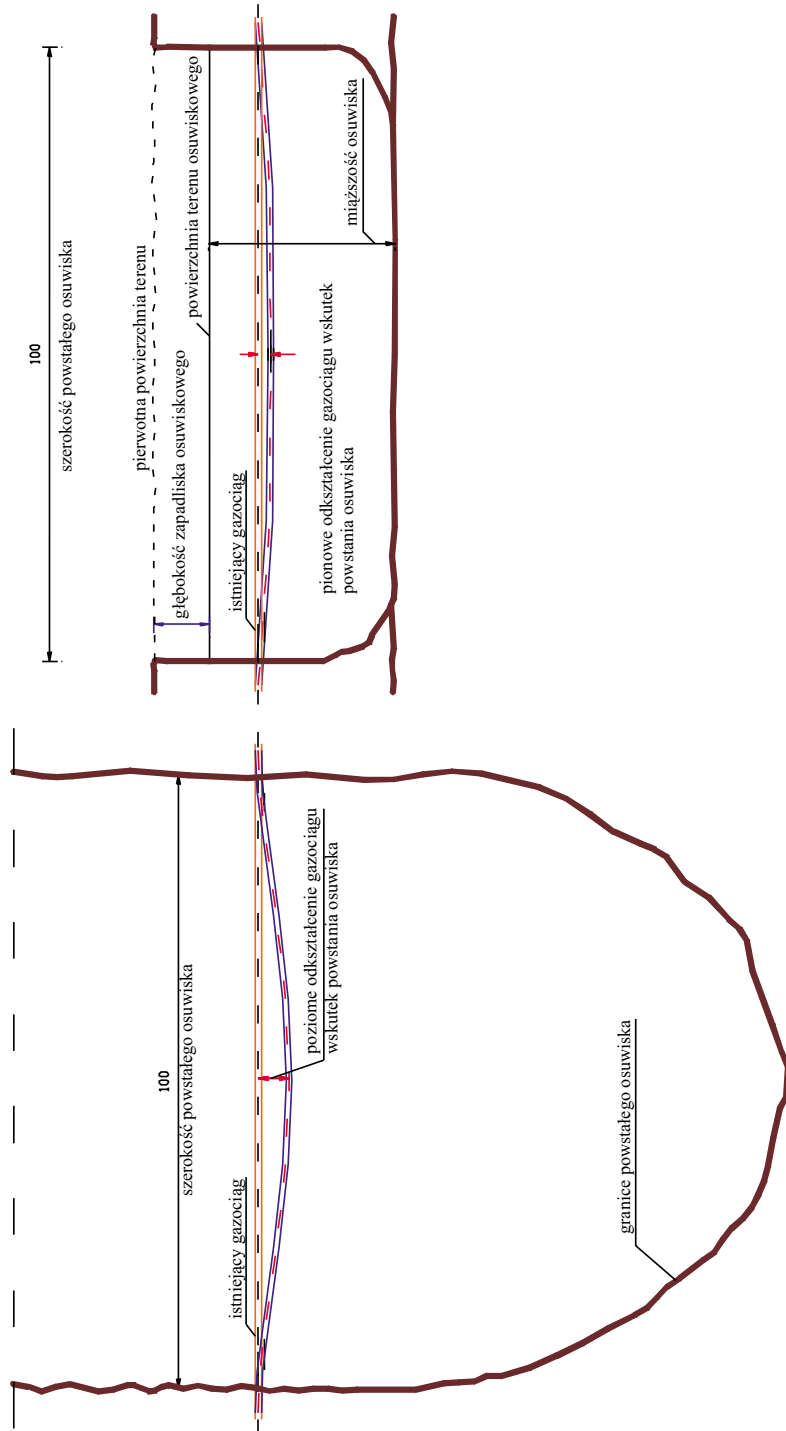
$$V_{kr} = \frac{\sqrt{k}}{15} \quad (15)$$

gdzie  $k$  – współczynnik filtracji [m/s].

Infiltrująca woda może też powodować kolmatację, tzn. proces wymywania i osadzania drobnych cząstek w przestrzeni między porowej gruntu osuwiskowego.

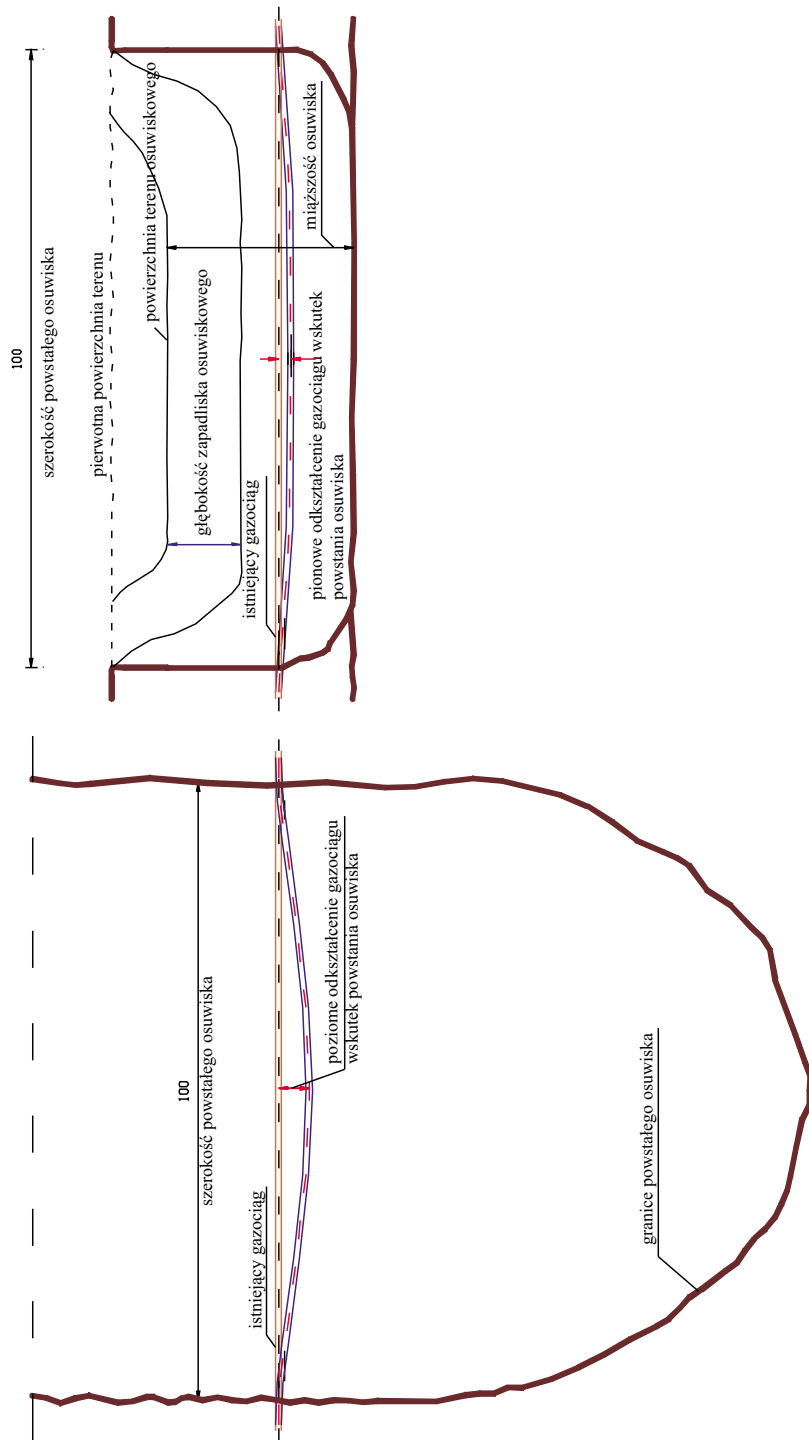
### **Możliwości oddziaływania osuwisk na rurociągi gazownicze**

Na rysunkach 3–10 przedstawiono możliwości oddziaływania osuwisk na rurociągi gazownicze.

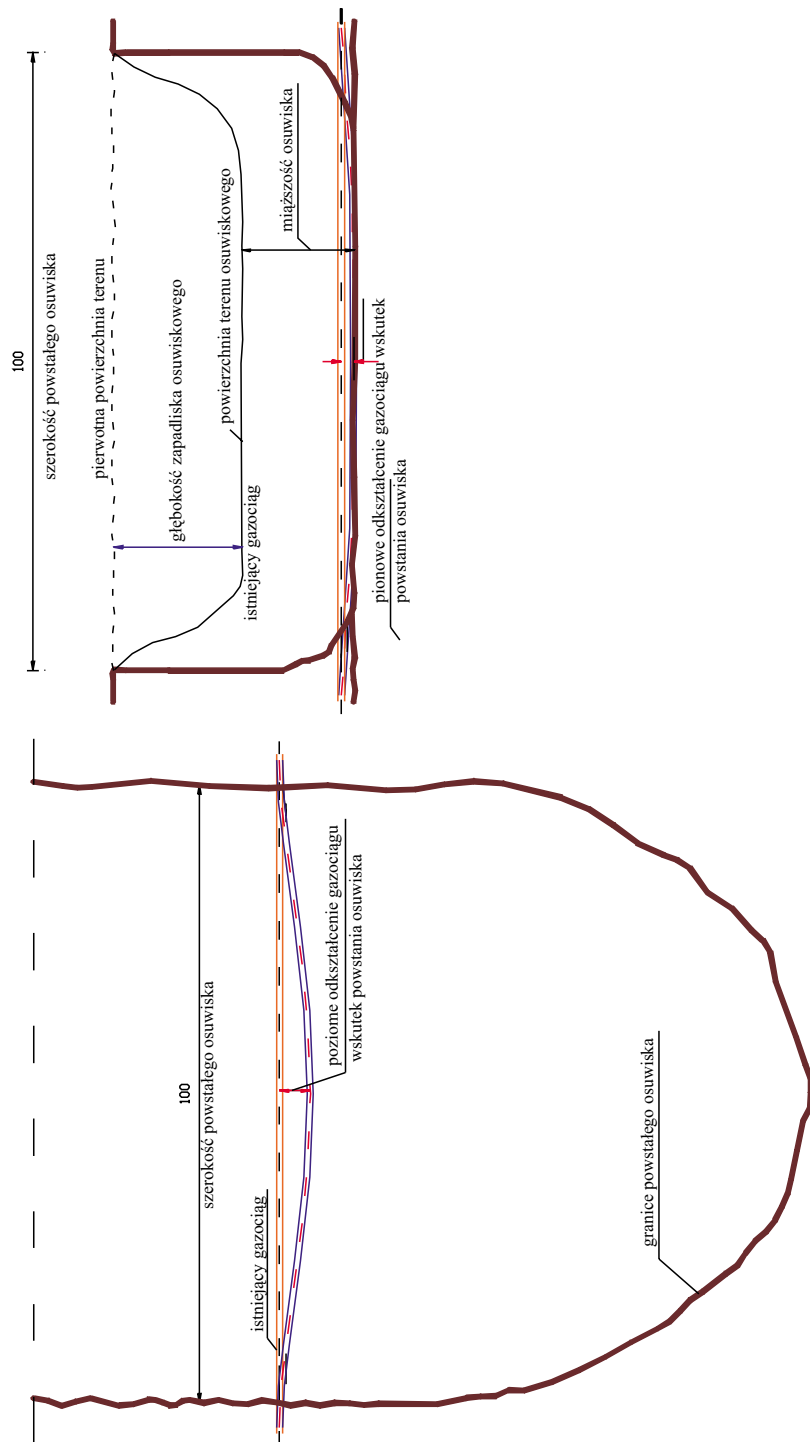


**Rys. 3.** Całkowite parcie powstalego osuwiska wzdłuż całej powierzchni gazociągu na szerokości powstalego osuwiska

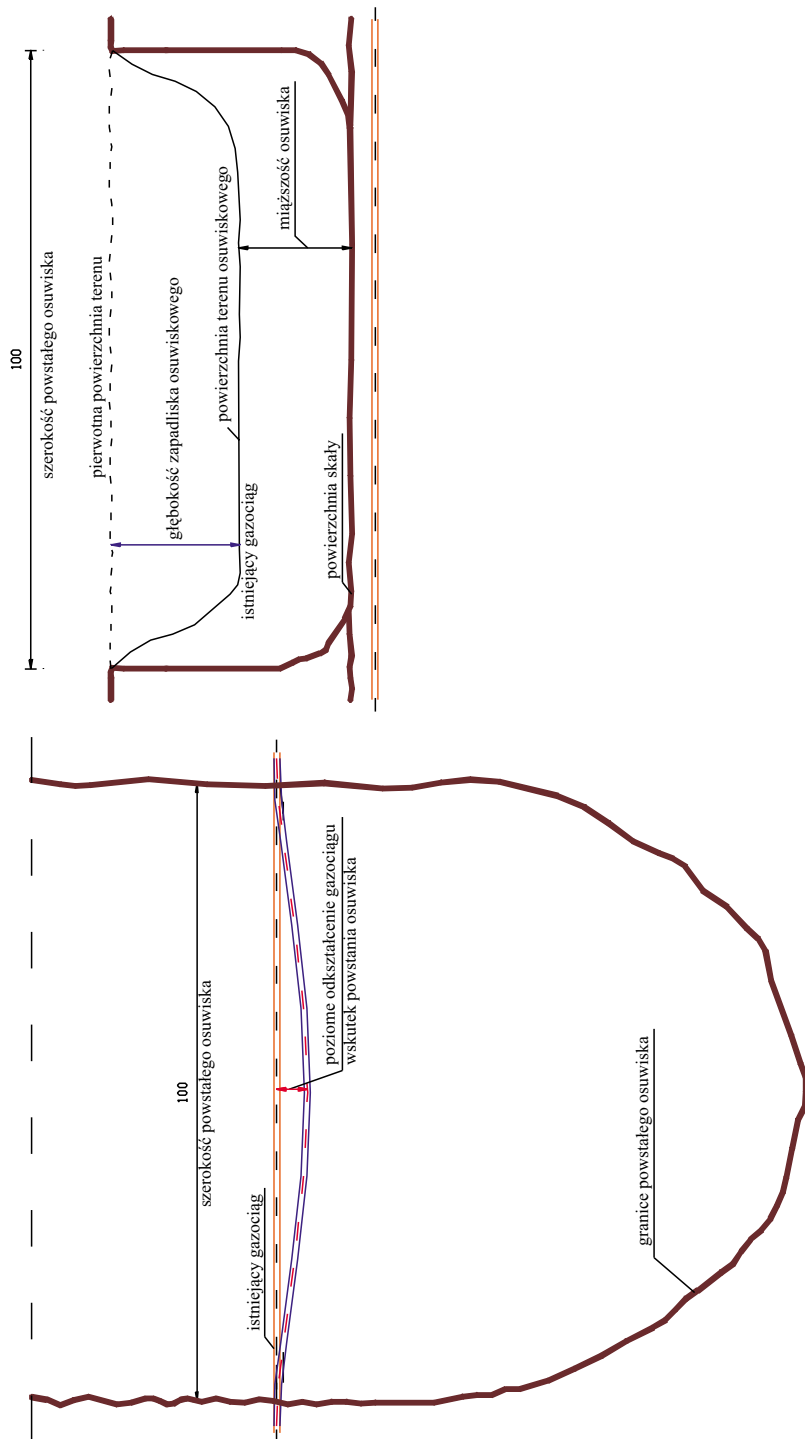




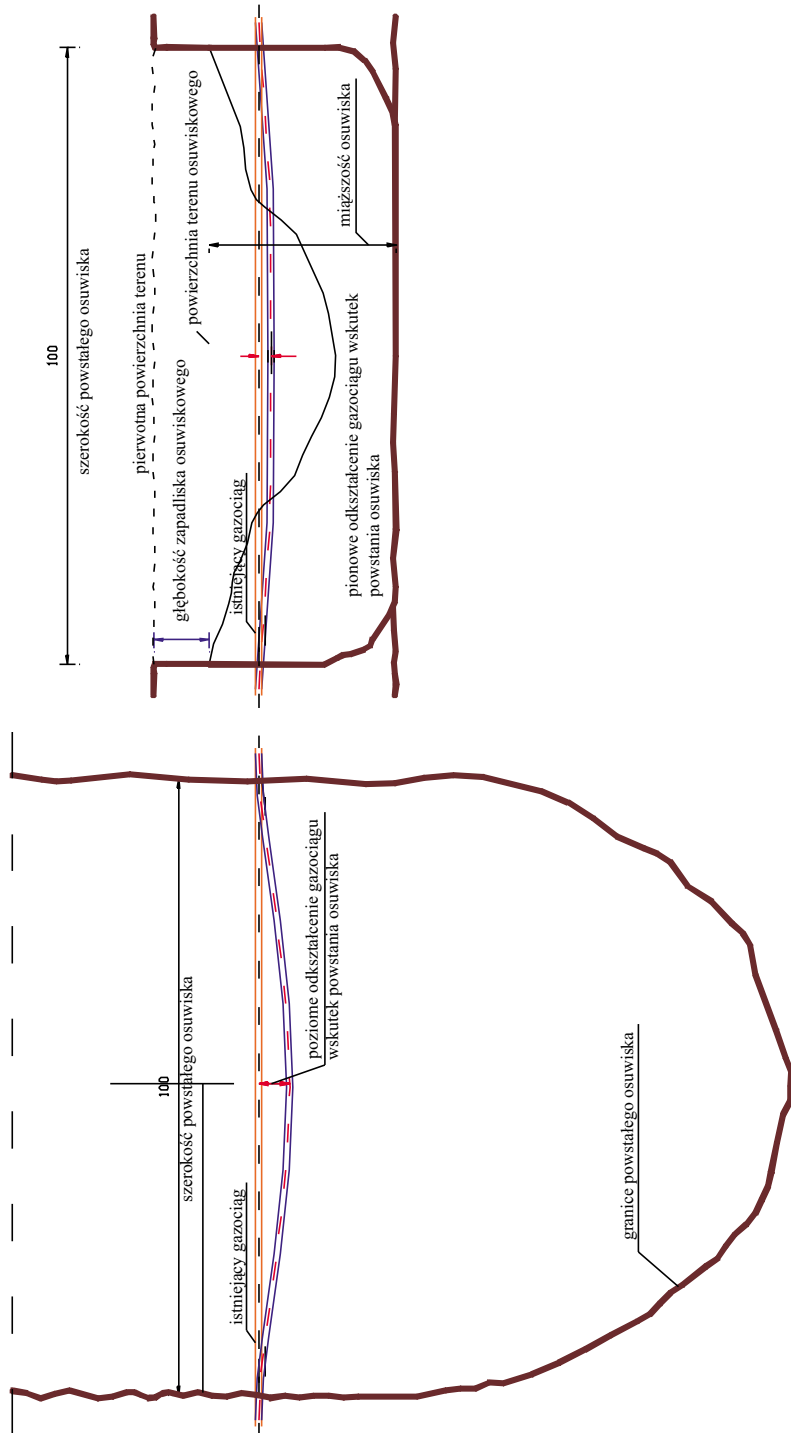
**Rys. 4.** Częściowe parcie powstałego osuwiska na środkową część gazociągu (powstanie tzw. leja osuwiskowego)



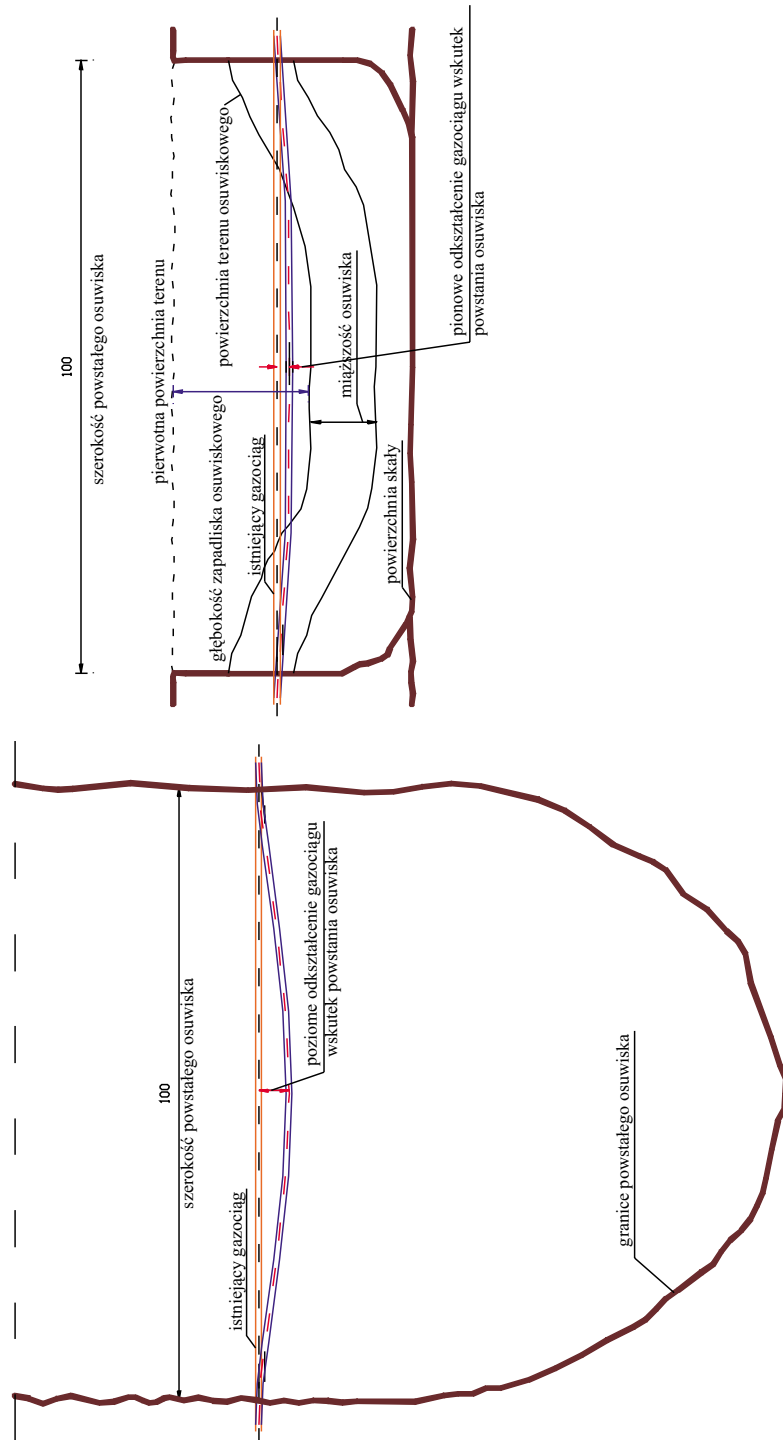
**Rys. 5.** Brak oddziaływania powstałego osuwiska na gazociąg (powstanie osuwiska o bardzo małej miąższości)



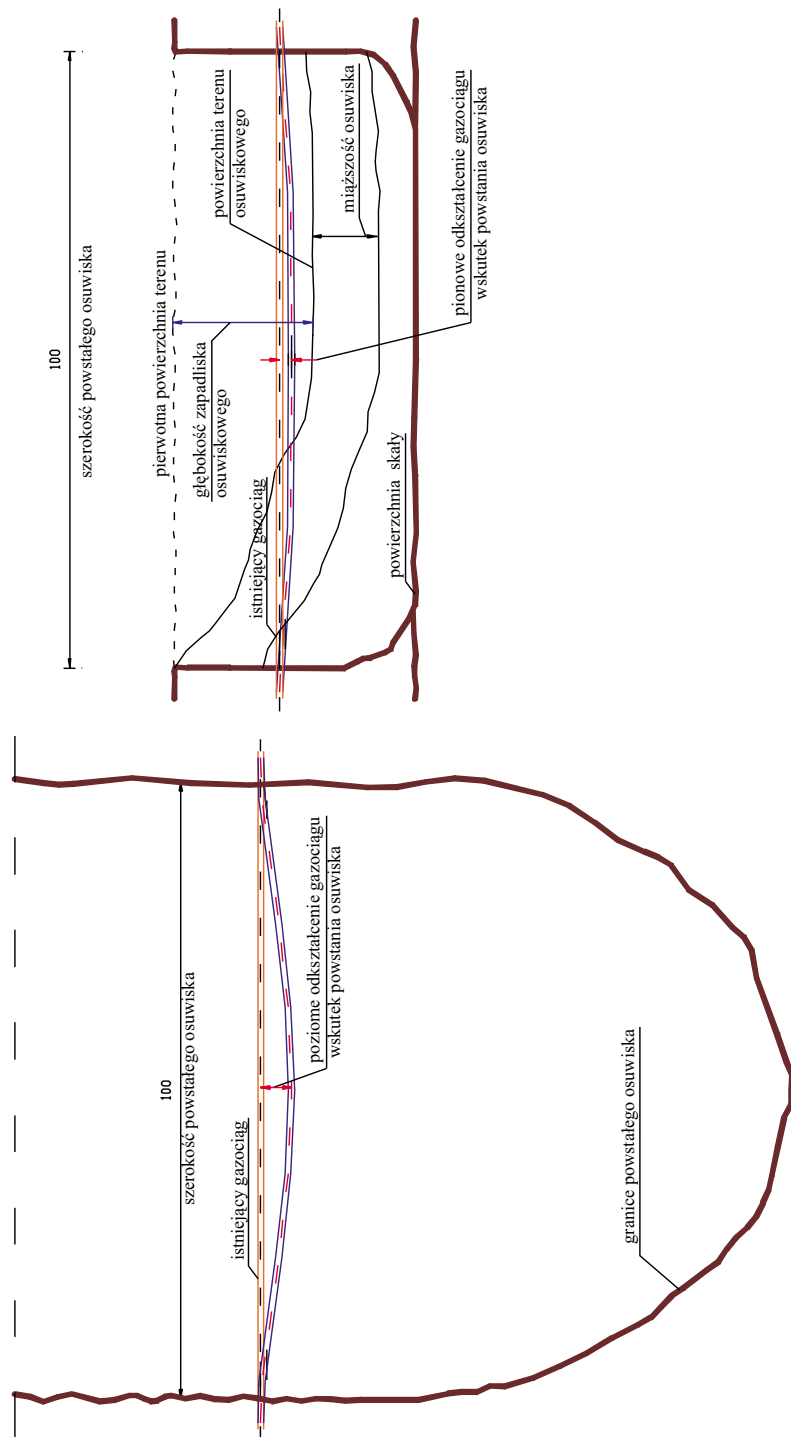
**Rys. 6.** Powstałe osuwisko ślizga się po gazociągu – posadowienie gazociągu bezpośrednio przy powierzchni skalnej



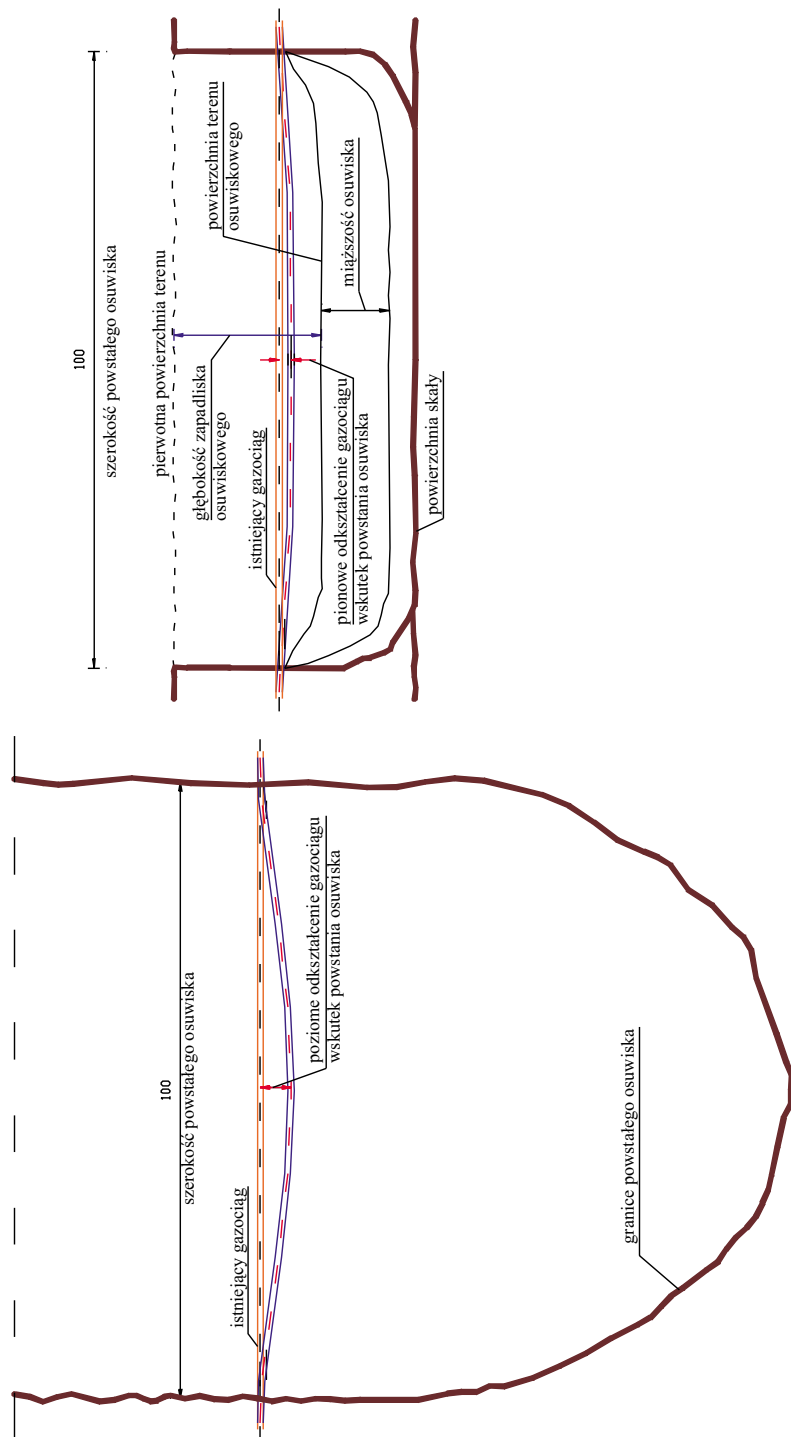
**Rys. 7.** Brak oddziaływania powstałego osuwiska na gazociąg (posadowienie gazociągu poniżej strefy oddziaływania osuwiska – w skale)



Rys. 8. Dwustronne oddziaływanie powstałego osuwiska na gazociąg (gazociąg w środkowej części odsłonięty)



**Rys. 9.** Brak poziomego oddziaływania powstającego osuwiska na gazociąg (oddziaływanie tylko pionowe na skutek własnego ciężaru gazociągu)



**Rys. 10.** Jednostronne oddziaływanie powstającego osuwiska na gazociąg (gazociąg z jednej strony odsłonięty)

## LITERATURA

- [1] Bober L., Thiel K., Zabuski L.: *Osuwiska we fliszu Karpat polskich. Geologia – modelowanie – obliczenia stateczności*. Gdańsk, Wydawnictwo IBW PAN 1999
- [2] Gryczmański M.: *Wprowadzenie do opisu sprężysto-plastycznych modeli gruntów*. Warszawa, IPPT PAN 1995
- [3] Norma PN-81/B-03020: *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*
- [4] Pisarczyk S.: *Mechanika gruntów*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza PW 1999
- [5] Thiel K.: *Mechanika skał w inżynierii skał*. Warszawa, PWN 1980
- [6] Thiel K.: *Właściwości fizykomechaniczne i modele masywów skalnych polskich Karpat fliszowych*. Gdańsk, Instytut Budownictwa Wodnego 1995