KOLEJE-PODSTAWY WYKŁAD

dr inż. Jarosław Zwolski

Podtorze i odwodnienie

Podtorze

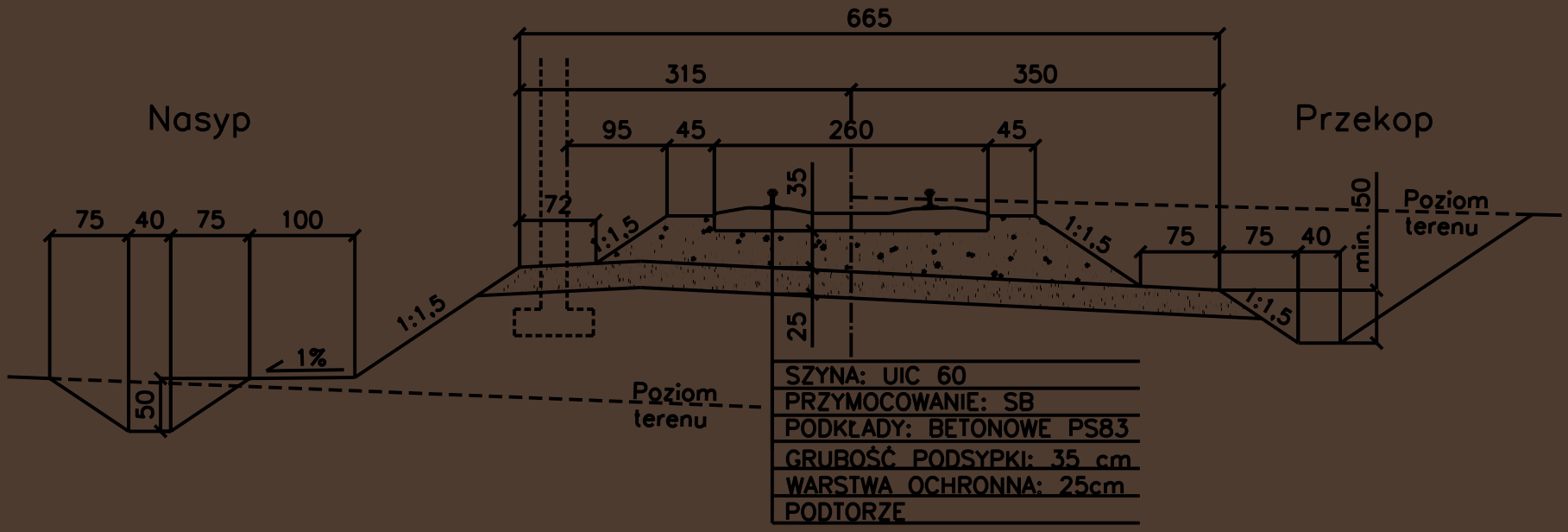
kolejowa budowla ziemna wraz z urządzeniami ją zabezpieczającymi, ochraniającymi i odwadniającymi, podlegająca oddziaływaniom eksploatacyjnym, wpływom klimatycznym oraz wpływom podłoża gruntowego zalegającego bezpośrednio pod podtorzem i w najbliższym jego otoczeniu.

Odwadnianie

Zabezpieczanie przed napływem wód i niszczącym ich działaniem oraz zbieranie i odprowadzanie wód w celu zapewnienia ciągłej sprawności eksploatacyjnej drogi kolejowej.

źródło: ID-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego, PKP, Warszawa, 2009

W celu dopasowania niwelety toru do terenu przy zachowaniu wymagań geometrycznych trasowania linii kolejowej w terenie wykonuje się nasypy i wykopy, które są formowane z gruntu istniejącego. W obydwóch przypadkach można zastosować dodatkową warstwę materiału (tzw. warstwę ochronną) w celu poprawienia warunków gruntowych.



Nasyp i wykop





Rola podtorza

- Transfer obciążeń z nawierzchni do niższych warstw gruntu.
- Tłumienie drgań wzbudzanych przez pojazdy szynowe.
- Szybkie i skuteczne odwodnienie podsypki poprzez odpowiednio dobrany materiał filtrujący oraz poprzez nadanie odpowiednich spadków poprzecznych.
- Ochrona budowli ziemnej przed przemarzaniem.
- Zapobieganie mieszaniu się ziaren niższych warstw gruntu z podsypką nawierzchni.

Wymagania dotyczące podtorza

- Wytrzymałość i trwałość (stabilność) gruntu użytego do wbudowania – projektowana na 20-50 lat.
- Dobre parametry zagęszczalności (łatwość zagęszczania), przepuszczalność i odporność na zamarzanie.
- Stabilne i jednolite parametry mechaniczne na długości toru (w celu uniknięcia efektu progu).
- Właściwie nadany kształt i spadki skarp.

Wytrzymałość i trwałość podtorza jest uzyskiwana przez wybór odpowiedniego materiału, zastosowania właściwej technologii wbudowywania i zagęszczania oraz przez odwodnienie.
Największe preferencje ma zazwyczaj grunt lokalny (niskie koszty transportu), również biorąc pod uwagę możliwość poprawienia jego cech mechanicznych przez doziarnienie lub stabilizację.

Minimalne wartości modułu odkształcenia gruntu E_o [MPa] mierzone na torowisku

Prędkość, V_{max}	Natężenie przewozów [Tg/rok]			
[km/h]	T > 25	10 < T < 25	3 < T < 10	T < 3
$200 < V_{max} < 250$	120 (80)	120 (80)	120 (80)	110 (70)
$160 < V_{max} < 200$	120 (80)	120 (70)	110 (60)	100 (55)
$120 < V_{max} < 160$	120 (70)	110 (60)	100 (50)	90 (45)
$80 < V_{max} < 120$	110 (60)	100 (55)	90 (45)	80 (40)
$V_{max} < 80$	100 (50)	90 (45)	80 (40)	80 (40)

Wartości w nawiasach dotyczą linii modernizowanych.

Warunki zagęszczalności sprawdza się obliczając współczynnik różnoziarnistości:

Współczynnik różnoziarnistości jest właściwy jeżeli:

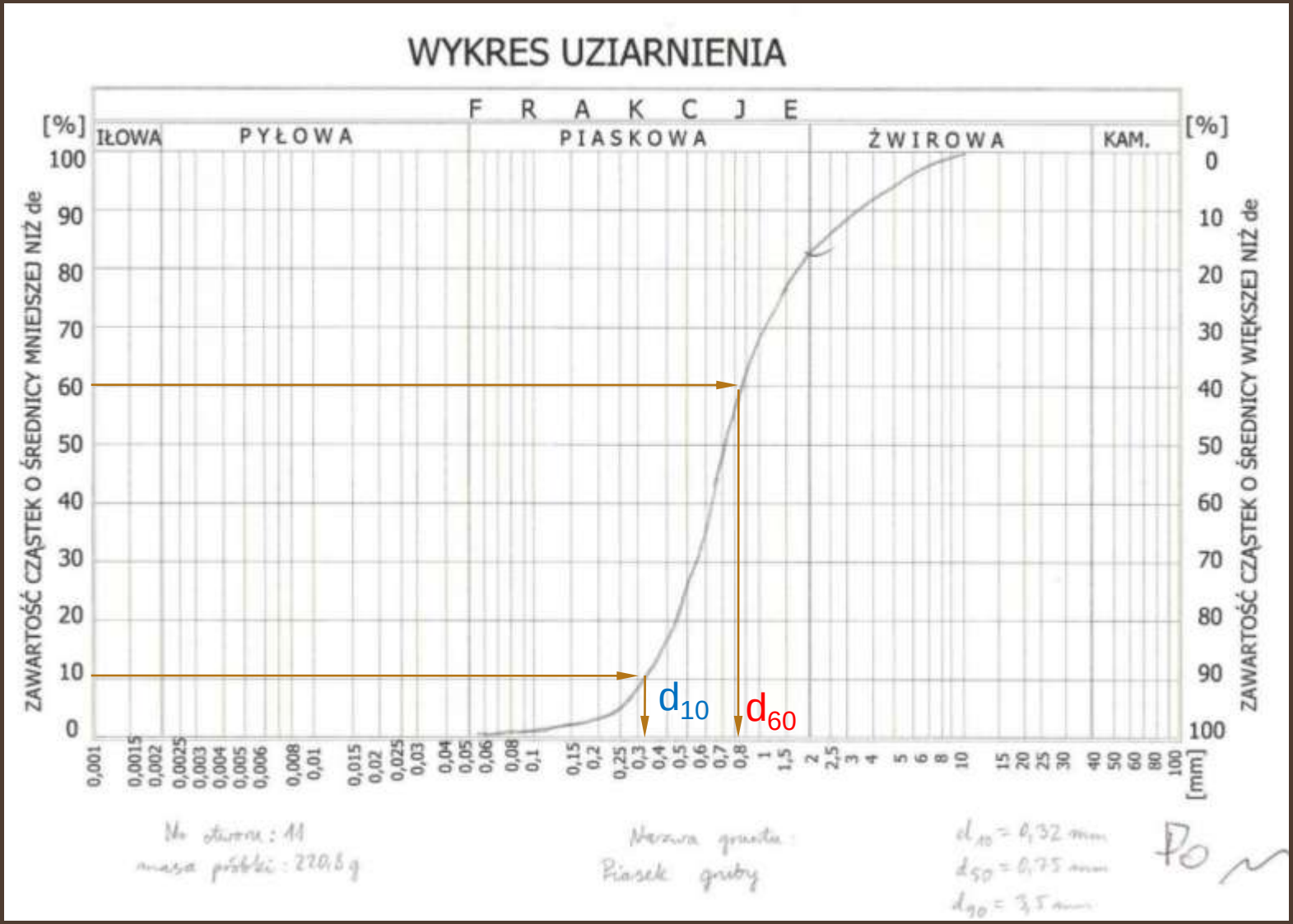
$U \geq 5 + V_{max}/160$ gdzie $U = d_{60}/d_{10}$

d_{60} – średnica ziaren, które razem z mniejszymi tworzą 60% masy gruntu,
d_{10} – średnica ziaren, które razem z mniejszymi tworzą 10% masy gruntu.
Średnice d_{60} i d_{10} są identyfikowane za pomocą krzywej uziarnienia gruntu.

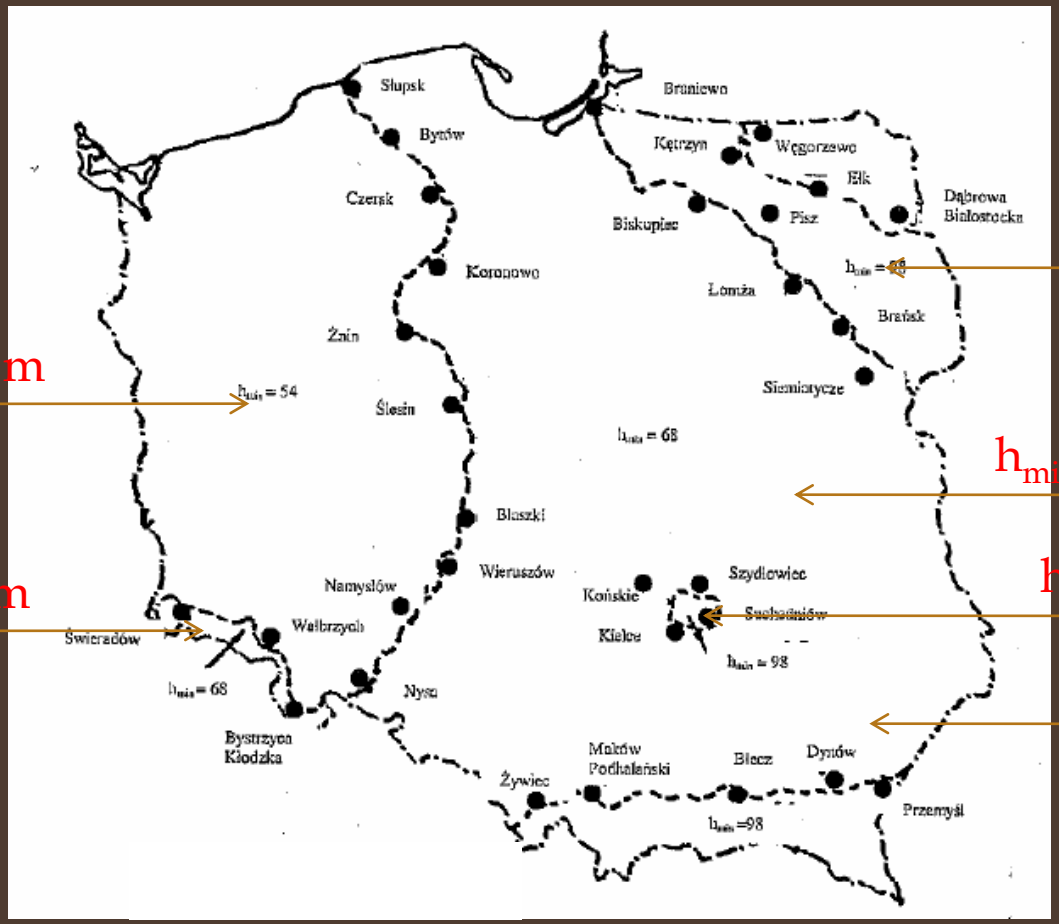
Warunek mrozoodporności: (wg Casagrande'a):

a) Jeżeli $U > 15$ to zawartość cząstek mniejszych niż 0.02 mm (z) nie powinna być większa niż 3%,
b) Jeżeli $U < 5$ to zawartość cząstek mniejszych niż 0.02 mm (z) nie powinna być większa niż 10%,
c) Jeżeli $5 \leq U \leq 15$ to zawartość cząstek mniejszych niż 0.02 mm można wyliczyć ze wzoru: $z = 13.5 - 0.7U$
Jeżeli powyższe wymagania nie są spełnione to należy zaprojektować dodatkową warstwę piasku o grubości: $h_o = h_{min} - h_p$

Krzywa uziarnienia gruntu



Jeżeli powyższe wymagania nie są spełnione to należy zaprojektować dodatkową warstwę piasku o grubości: $h_o = h_{min} - h_p$
gdzie h_p jest grubością podsypki, a h_{min} jest minimalną grubością całego podtorza biorąc pod uwagę strefy przemarzania gruntu podane na mapie.



Warunek stabilności mechanicznej
na stykach warstw:

Migracja drobnych cząstek podłoża w warstwę podsypki jest uniemożliwiona gdy grunt podtorza zawiera 10-20% cząstek mniejszych od 0.2 mm.

Warunek stabilności mechanicznej na stykach warstw wg Terzaghi'ego (dot. gruntów niespoistych):

$$4d_{15} \leq D_{15} \leq 4d_{85}$$

gdzie
d_{15} - średnica ziaren o drobniejszym uziarnieniu, które razem z mniejszymi tworzą 15% masy gruntu,
d_{85} - średnica ziaren o drobniejszym uziarnieniu, które razem z mniejszymi tworzą 85% masy gruntu.
D_{15} - średnica ziaren o grubszym uziarnieniu (np. podsypki), które razem z mniejszymi ziarnami tworzą 15% masy gruntu.
Powyższy warunek musi być spełniony na styku podsypki i podtorza.

Warunek wodoprzepuszczalności:

Wskaźnik wodoprzepuszczalności k_{10} dla gruntu poniżej podsypki powinien wynosić:

$k_{10} \geq 1 \times 10^{-4}$ m/s - gdy grunt musi przepuszczać wody opadowe (np. warstwa ochronna na równi stacyjnej),

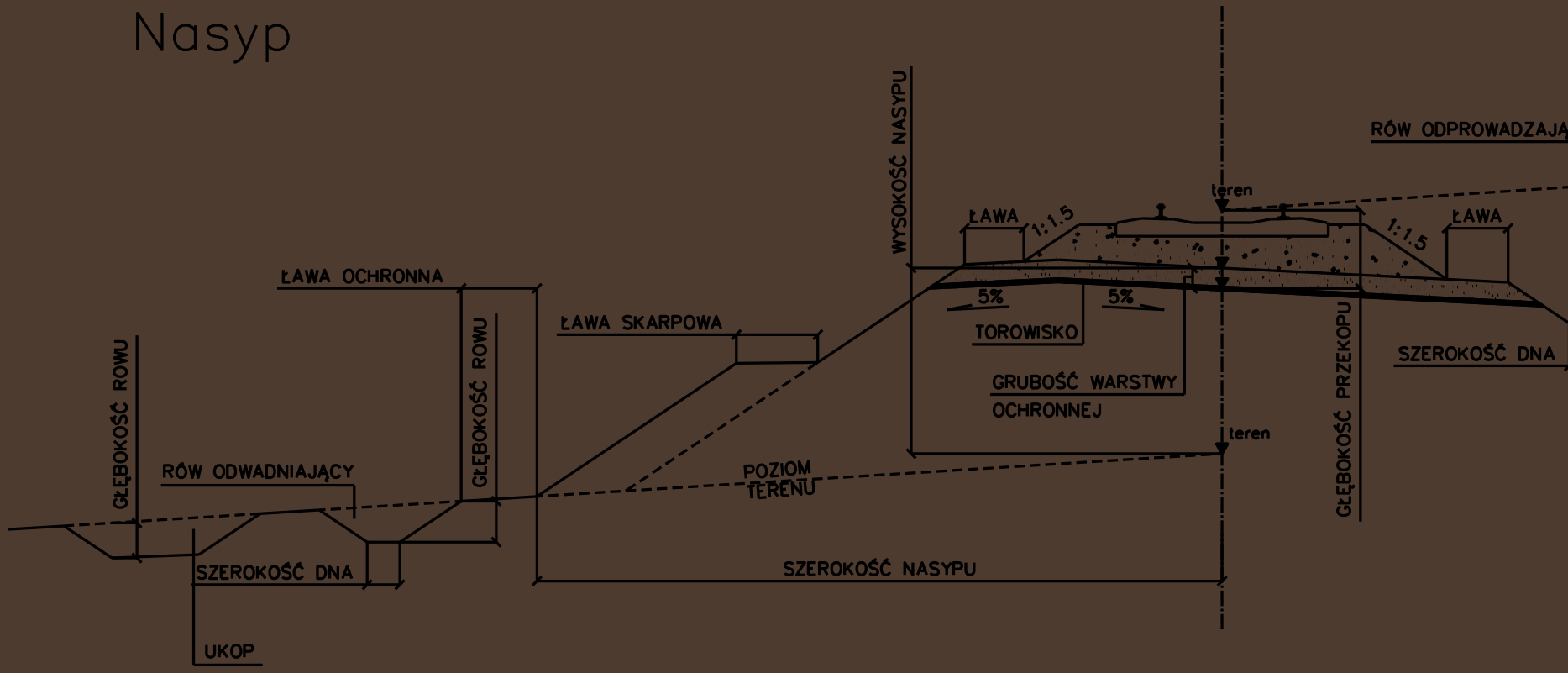
$k_{10} < 1 \times 10^{-6}$ m/s - gdy konieczne jest zapobieżenie infiltracji wód opadowych w grunty podtorza (torowisko musi być wtedy dostatecznie utwardzone i wyprofilowane z nachyleniami poprzecznymi w kierunku drenażu).

Warunek degradacji podczas eksploatacji:

Grunt nie powinien zawierać więcej niż 0.2% części organicznych oraz 0.2% zawartości siarczanów (substancji rozpuszczalnych w wodzie).

Kształt podtorza

Nasyp



Należy zapewnić stabilność skarp w nasypach i wykopach. Szczegółowa analiza stateczności jest wymagana dla skarp wyższych niż:

a) 12 m – zbudowanych ze skał, żwiru lub pospółki,
b) 8 m – zbudowanych z piasków lub piasków gliniastych,
c) 6 m – zbudowanych z glin, iłów, w przypadku terenów osuwiskowych oraz szkód górniczych.

Zasady odwadniania podtorza

1. Odwodnienie powinno być głównym sposobem wzmacniania gruntu podtorza i poprawiania jego nośności oraz stabilności.
2. Podtorze powinno być przede wszystkim odwadniane poprzez właściwe ukształtowanie skarp, przez użycie materiałów izolacyjnych i filtrujących w razie potrzeby oraz przez zastosowanie rowów i drenażu podziemnego. Wody gruntowe powinny być usuwane za pomocą głębokiego drenażu niezamarzającego.
3. Na liniach kolejowych wody powierzchniowe są usuwane z podsypki przez właściwie ukształtowane spadki poprzeczne torowiska (3-5%) w kierunku rowów bocznych lub drenażu poziemnego.
4. Na stacjach wody powierzchniowe są usuwane przez drenaż płytowy: przez zbudowanie warstwy filtracyjnej ze spadkiem poprzecznym 2-4% w kierunku rowów bocznych lub płytkiego drenażu zlokalizowanego co 2 lub co 4 międzytorze.
5. Inne powierzchnie podtorza (ławy skarpowe, ławy ochronne, powierzchnie nieprzepuszczalnych gruntów zlokalizowanych pod łatwo przepuszczalnymi, z wyjątkiem skarp) powinny być ukształtowane z pochyleniem 5%.

Elementy systemu odwodnienia

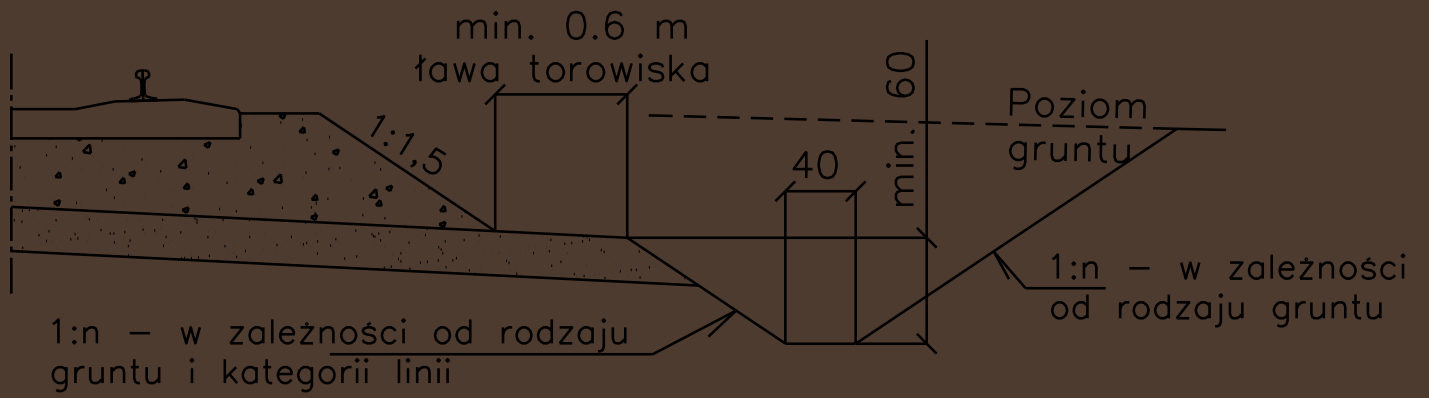
1. Drenaż (odwodnienie) liniowy naziemny (rowy, rynny, groble).
2. Drenaż liniowy podziemny do odwodnienia powierzchniowego i głębokiego wraz z siecią odprowadzającą i urządzeniami pomocniczymi.
3. Drenaż skarpowy.
4. Drenaż płytowy (np. warstwy filtracyjne na stacjach).
5. Drenaż pionowy.
6. Urządzenia specjalne i pomocnicze.

Rowy odwadniające

Rowy są wymagane w następujących przypadkach:

1. We wszystkich przekopach.
2. Przy górnych krawędziach przekopów od strony napływających wód.
3. Przy nasypach niższych niż 0.6 m.
4. Przy nasypach od strony napływających wód.
5. W celu przeprowadzenia wód powierzchniowych przez stację lub odprowadzenia ich poza podtorze.
6. W celu niewielkiego obniżenia wód gruntowych.

Pochylenie skarpy



Podtorze	Rodzaj gruntu	Współczynnik n
Nasyp	Piaski gliniaste drobne i pylaste	1.5 - 1.8, 1.7 - 1.8 [1)]
	Grunty kamieniste, żwiry, piaski grube i średnie, pospółki	1.5 - 1.8
	Odłamki skalne odporne na wietrzenie	1.3 - 1.7 [2)]
	Piaski bardzo drobne równoziarniste (w tym piaski wydmowe)	2
Przekop	Grunty piaszczyste i piaszczysto – gliniaste, kamieniste, żwirowe, pospółki	1.5 - 1.7 [3)]
	Grunty spoiste	1.5 - 2.0 [4)]
	Lessy w rejonach bardzo suchych	0.1 - 0.5 [5)]
	Skały odporne na wietrzenie (lite i mało spękane)	0.2 - 1.0 [6)]
	Skały łatwo wietrzejące	0.5 - 1.5

[1)] w rejonach nadmiernie zawilgoconych

[2)] mniejsze wartości stosuje się przy układaniu pasmami (szczególnie w częściach krawędziowych); w przypadku głazów konieczne mogą być półki lub mury podporowe

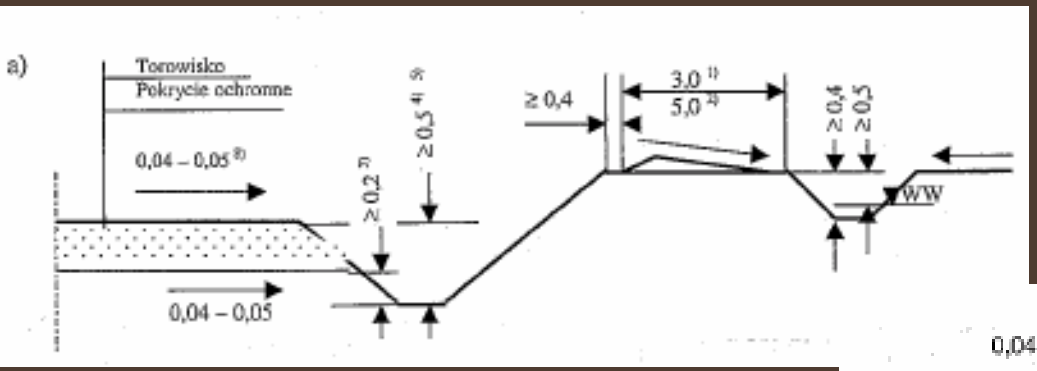
[3)] mniejsze wartości stosuje się dla gruntów suchych gliniastych, scementowanych piasków itp. (np. przy głębokości przekopu do 8 m – 1.25; przy głębokościach większych – 1.5)

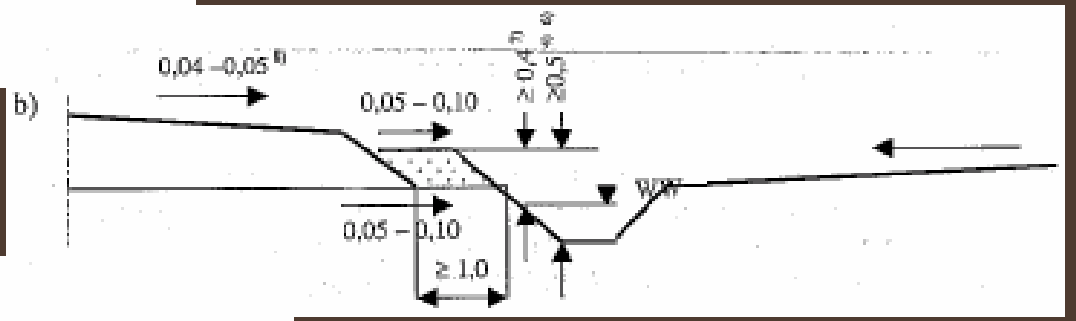
[4)] zależnie od głębokości przekopu i właściwości gruntów

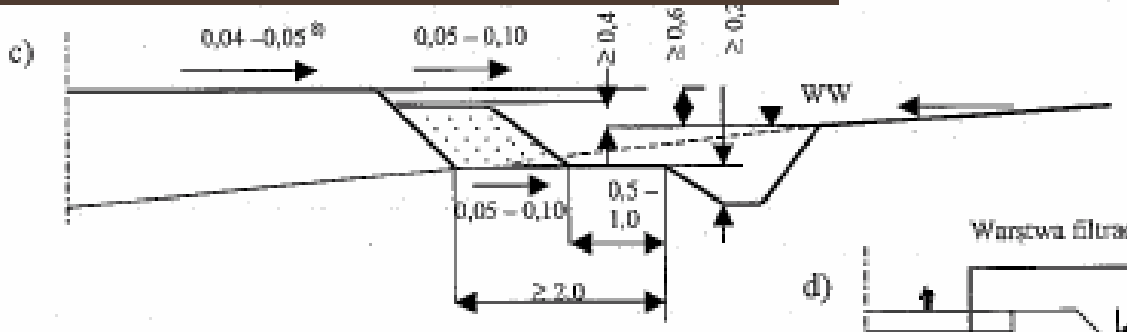
[5)] należy sprawdzić stateczność w warunkach nawodnienia

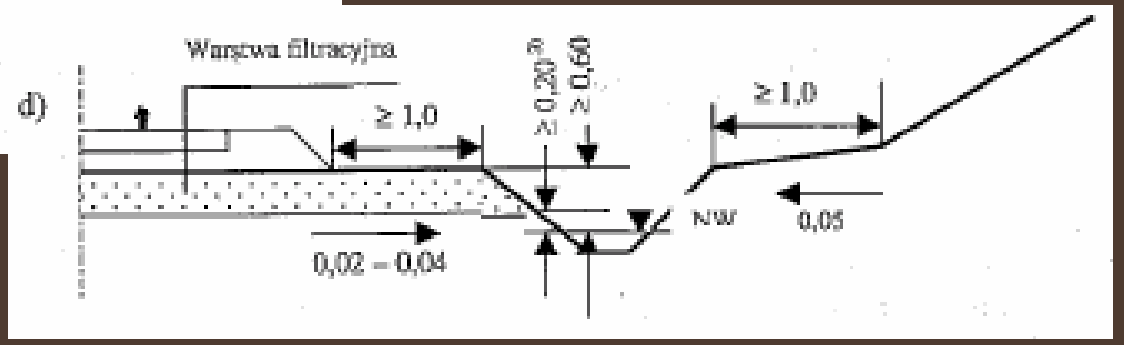
[6)] przy podstawie skarpy konieczna jest osłona przed kamieniami (np. półka z wałem)

Ukształtowanie rowu









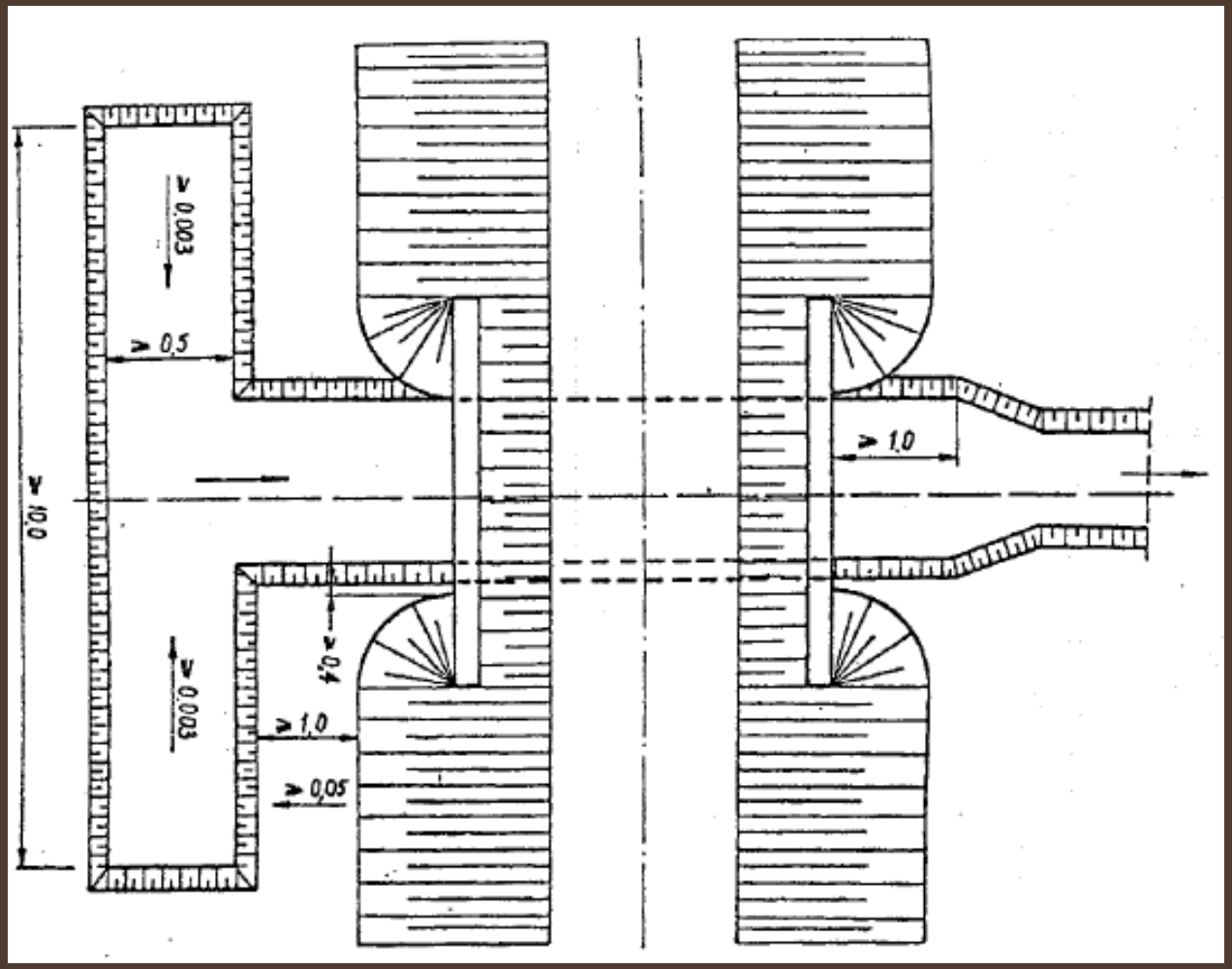
Przekroje podtorza w strefie rowu: a) przekop na linii, b) nasyp na linii, c) nasyp na terenach zalewowych, d) przekop na dużej stacji kolejowej

Pochylenie dna rowu

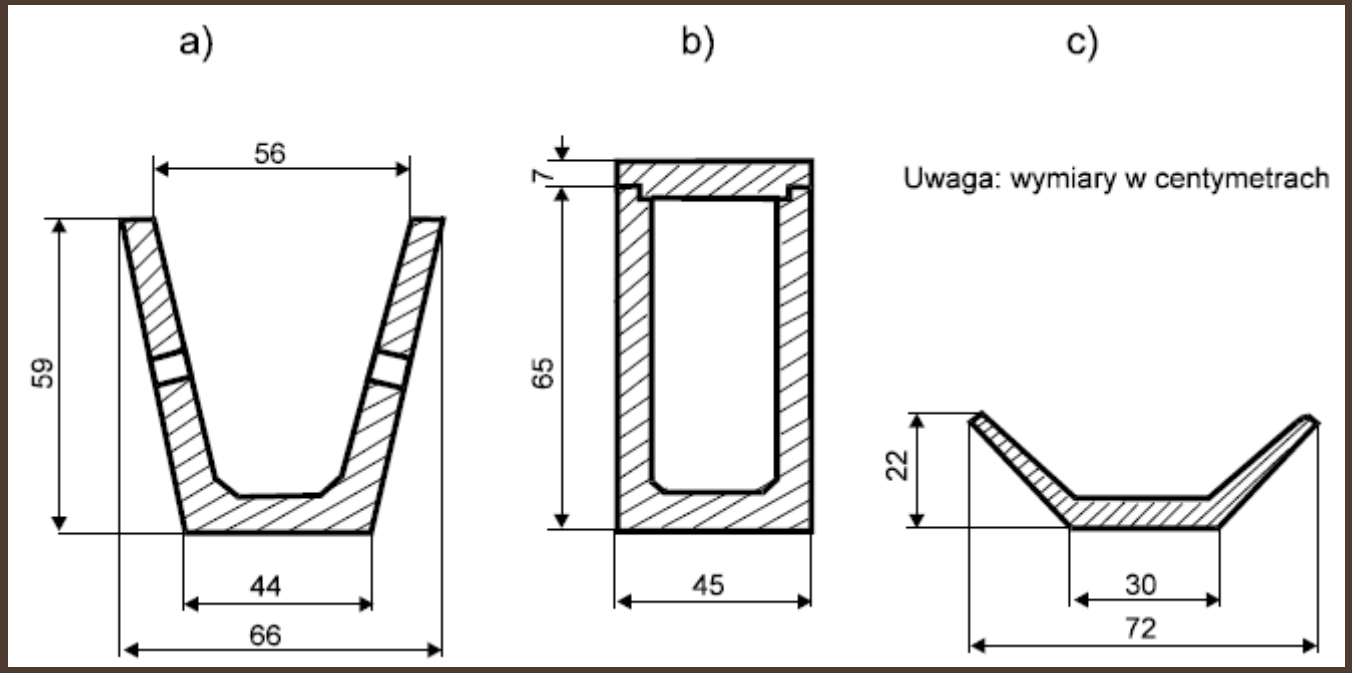
Zasady kształtowania pochylenia dna rowu:

1. Dna rowów umacnia się, gdy jest to wskazane ze względów utrzymaniowych oraz gdy istnieje niebezpieczeństwo:
   - rozmycia gruntu wskutek zbyt dużych prędkości przepływających wód (prędkości przepływu sprawdza się przy spadkach większych od 1,5% i jeśli są one zbyt duże stosuje się odpowiednie wzmocnienie),
   - zamulenia rowu wskutek zbyt małych prędkości przepływu wód (prędkości przepływu sprawdza się przy spadkach mniejszych od 0,4% i jeśli prędkości są mniejsze od 0.3 m/s stosuje się gładkie obudowy umożliwiające zwiększenie prędkości i ułatwiające usuwanie zanieczyszczeń),
2. Rowy o spadkach większych od 10% wyposaża się w progi, kaskady, studnie wodospadowe albo zastępuje się je bystrotokami.
3. Prędkości przepływu wód przy całkowitych wypełnionych przekrojach rowu mogą być mniejsze niż 0.3 m/s w przypadku:
   - rowu bocznego przecinającego wododział - dopuszcza się tu 0.1%,
   - poprzeczne koryta hamulców – dopuszcza się tu 0.5%,
   - lokalny drenaż rurowy na liniach eksploatowanych – dopuszcza się 0.5%.

Ukształtowanie rowu w planie



Umocnienie skarp rowu

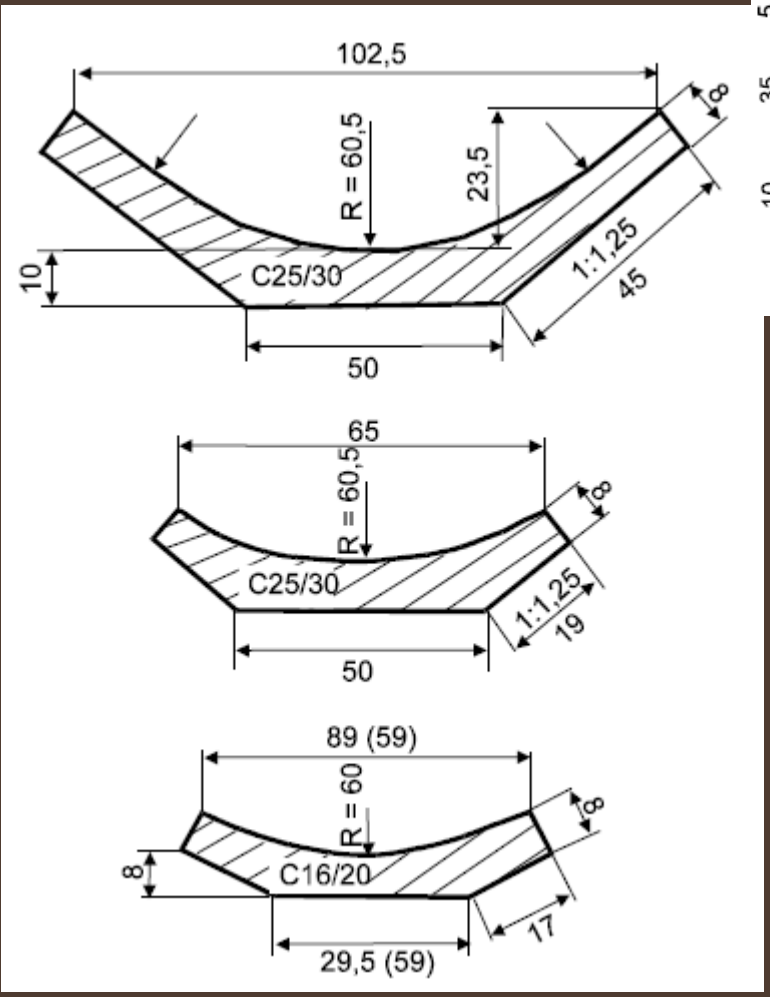


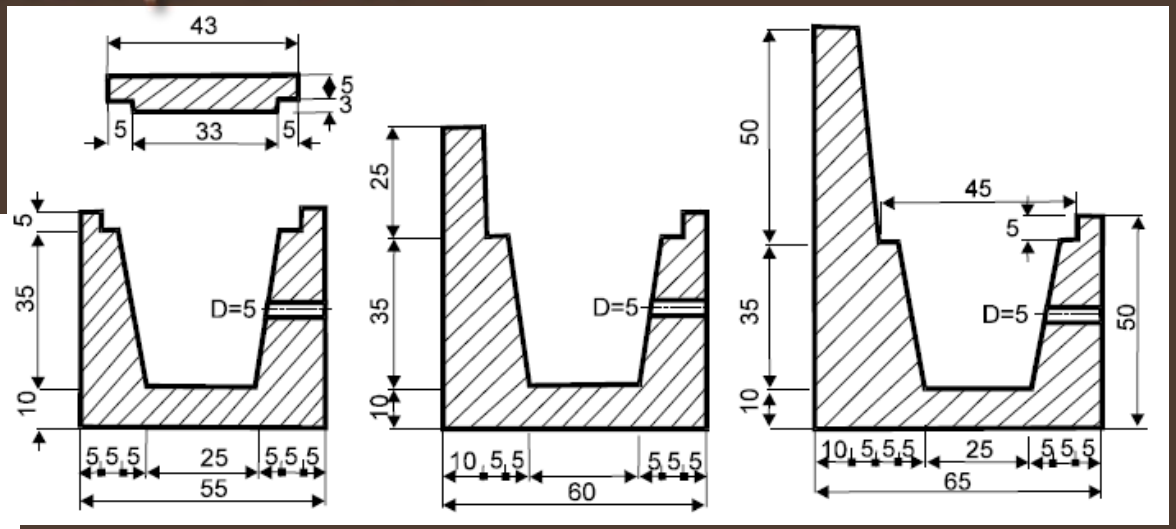
Przekroje poprzeczne betonowych prefabrykatów wykorzystywanych jako umocnienie rowu:
a) korytko głębokie trapezowe (PL), b) korytko głębokie z pokrywą (PL), c) płytkie korytko typu Gara (PL)

źródło: E. Skrzyński, „Podtorze kolejowe”, Warszawa, 2010

Umocnienie skarp rowu

Inne typy prefabrykatów betonowych



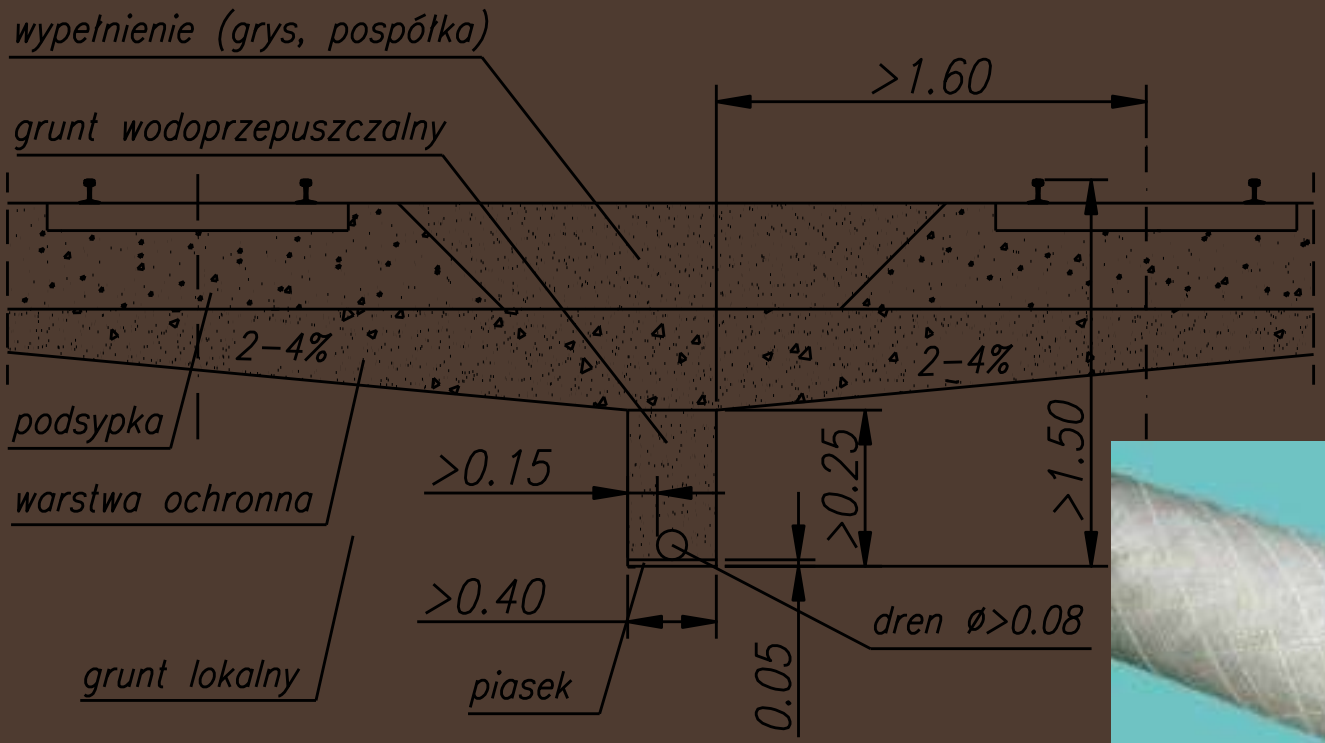




source: E. Skrzyński, „Podtorze kolejowe”, Warszawa, 2010

Płytki drenaż podziemny

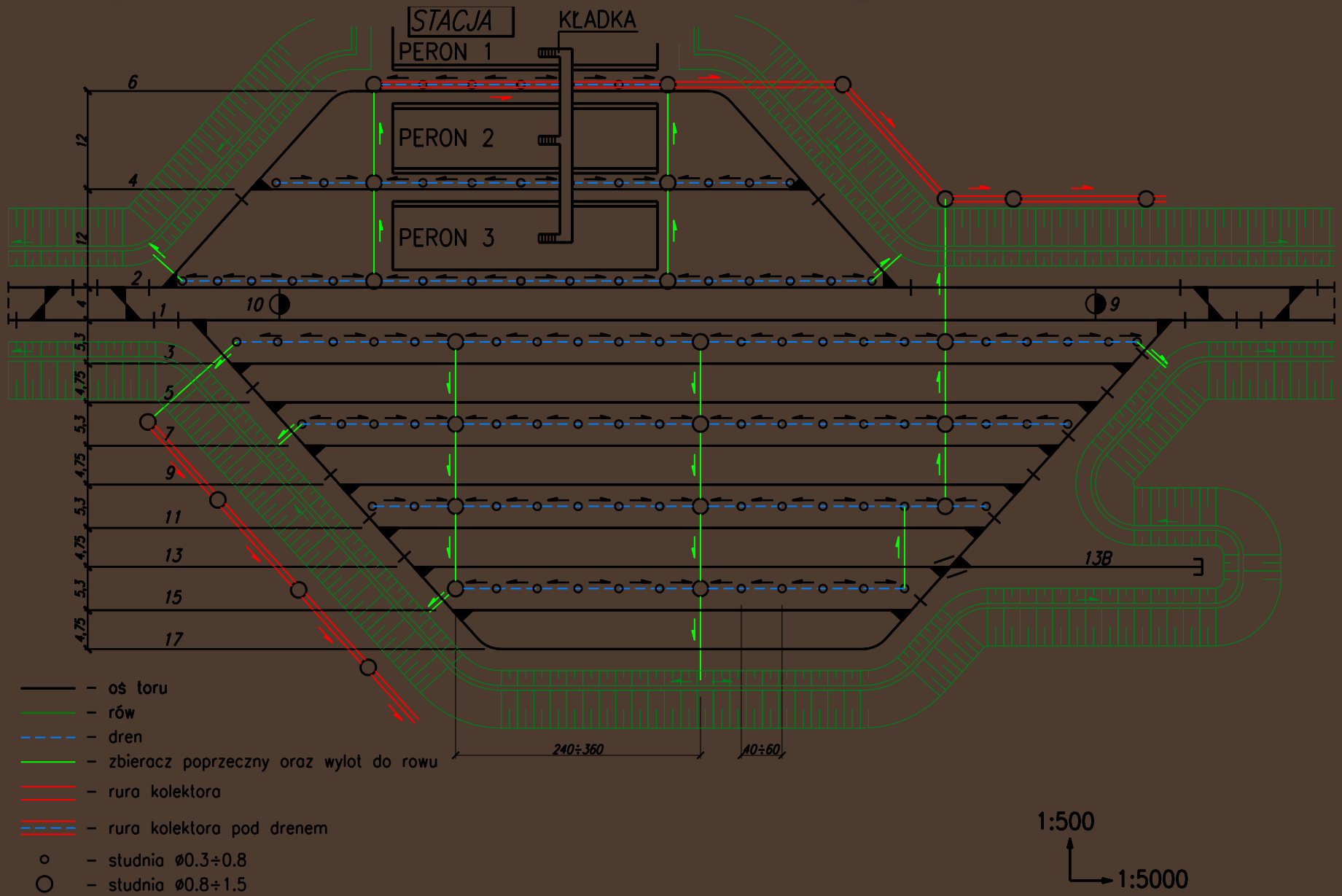
Płytki drenaż podziemny jest wykorzystywany w sytuacji, gdy nie ma miejsca na rowy. Ten rodzaj drenażu jest głównie stosowany jako metoda odwodnienia równi stacyjnych. Drenaż jest tam lokowany co 2 lub 4 międzytorze również w przypadku przepuszczalnych gruntów w podtorzu. Drenażu można nie stosować tylko w przypadku bardzo korzystnych warunków gruntowo-wodnych.



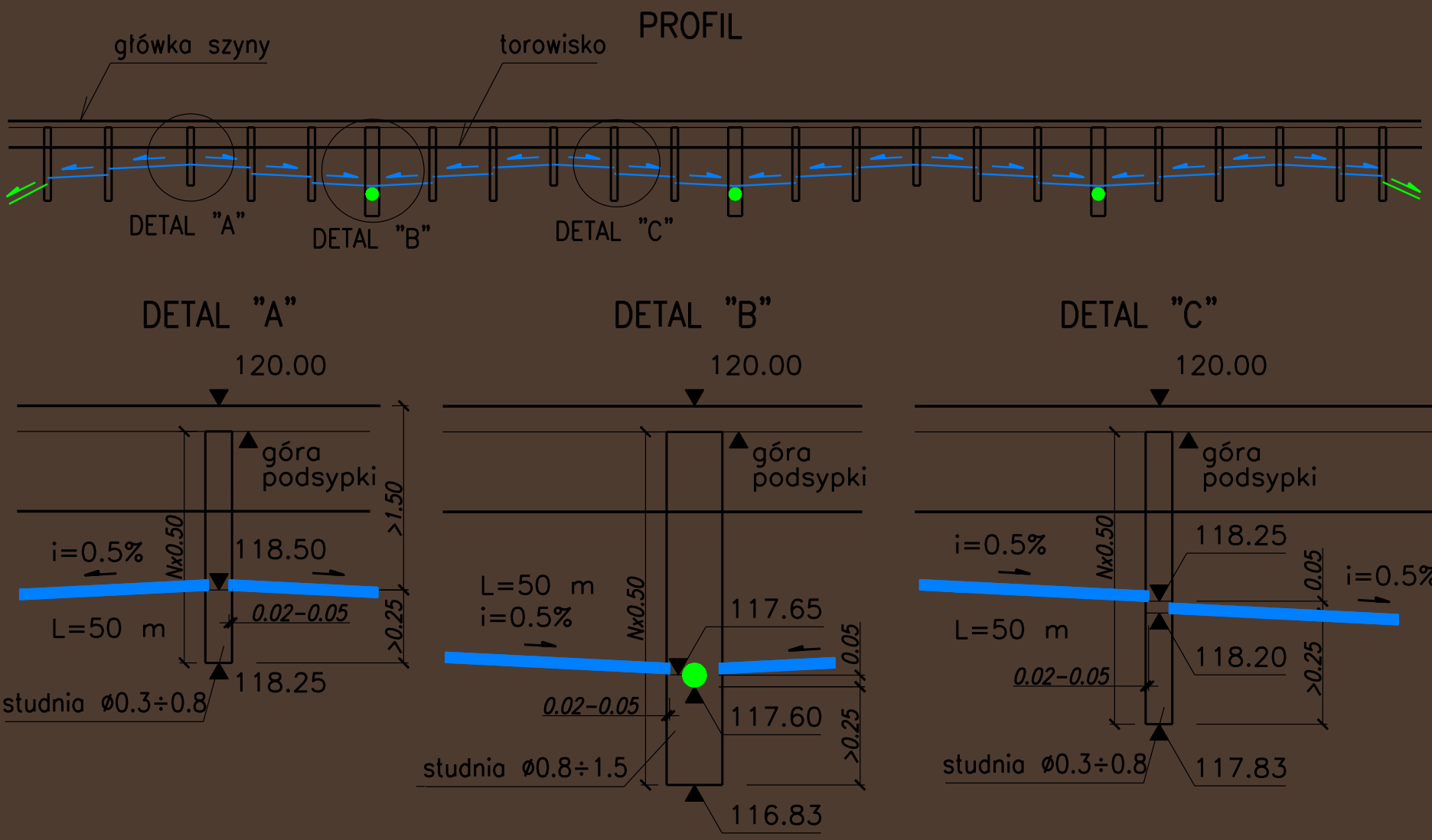




Przykład odwodnienia stacji

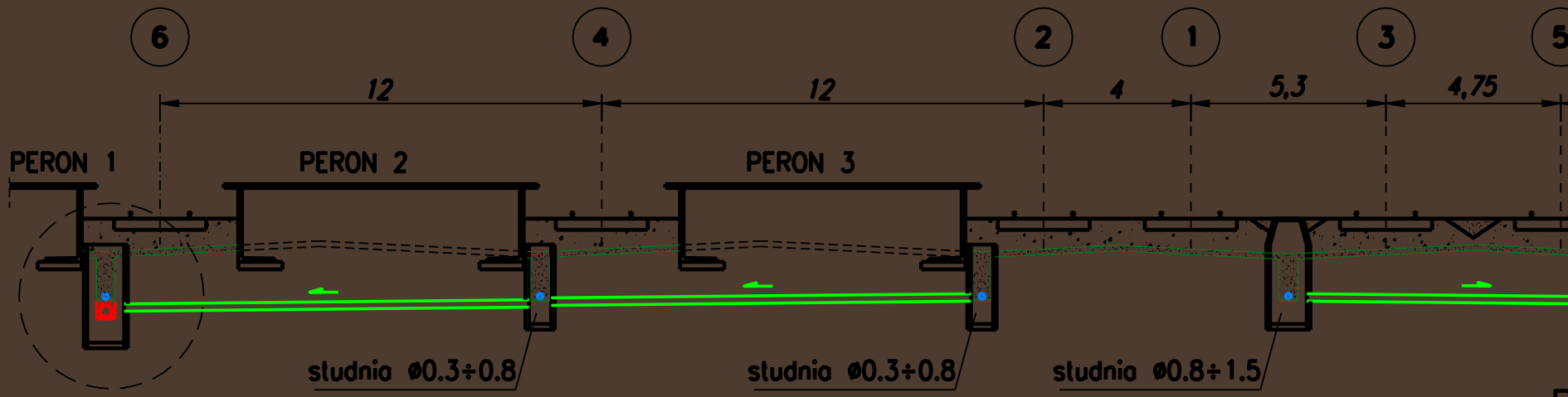


Przykład odwodnienia stacji

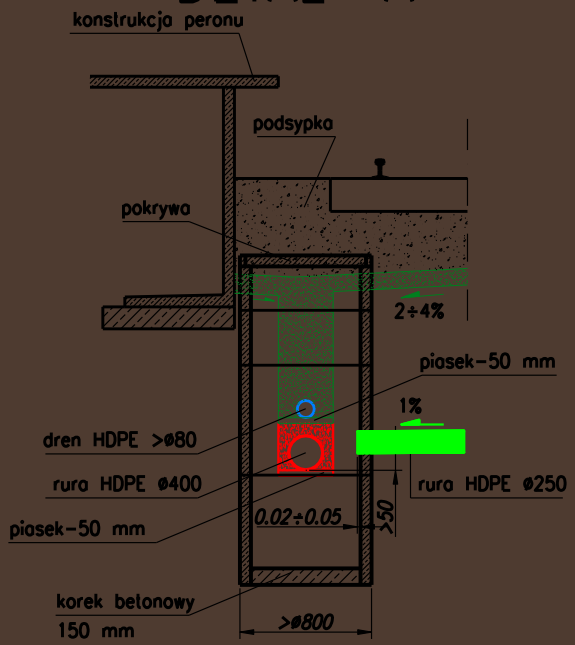


Przykład odwodnienia stacji

PRZEKRÓJ POPRZECZNY

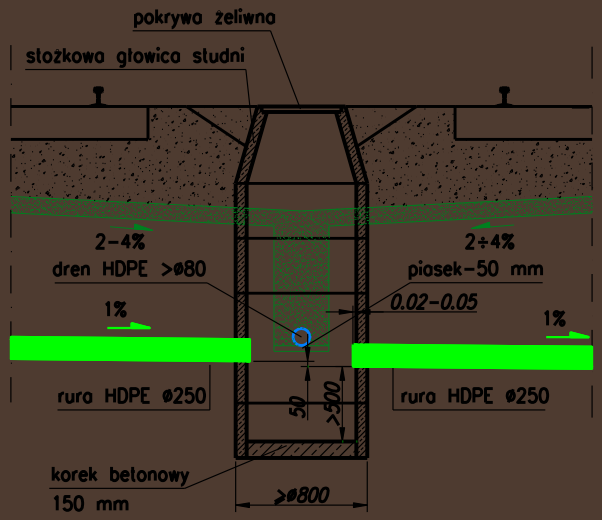


DETAL "A"



DETAL "A"

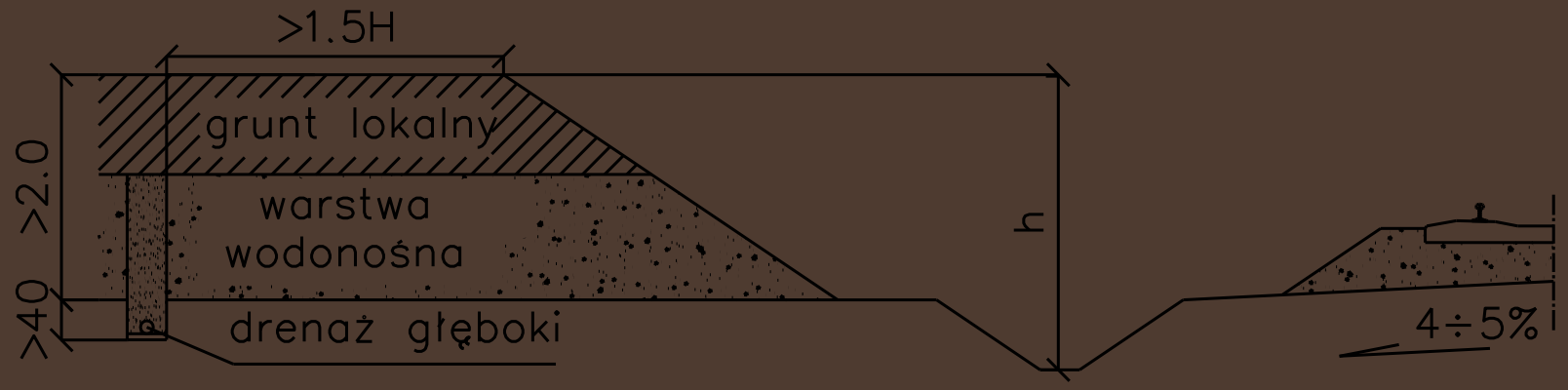
DETAL "B"



Głęboki drenaż podziemny

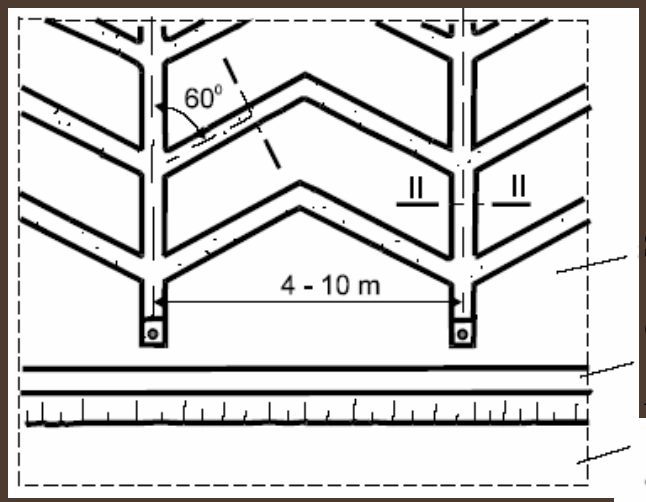
Ten rodzaj drenażu można zastosować w przypadku niekorzystnego wpływu wód gruntowych na funkcjonowanie podtorza kiedy wody te nie mogą być usunięte za pomocą odwodnienia powierzchniowego.

1. Gdy warstwy wodonośne są nachylone w stronę przekopu i zalegają nie głębiej niż 2 m poniżej terenu.
2. Gdy warstwy wodonośne prowadzą wodę pod nasyp.
3. Przy osuszaniu górnych warstw podtorza w celu zapobieżenia wysadzinom (drenaż umieszcza się wtedy pod rowem lub rów zastępuje się drenażem).
4. Przy osuszaniu terenów osuwiskowych.
5. Przy osuszaniu podłoży budynków i budowli inżynierskich.



Płytki drenaż skarpowy

Ten rodzaj drenażu jest stosowany równomiernie na całej zagrożonej powierzchni w przypadku erozji skarp i występowania płytkich wyłuszczeń gruntu wskutek spływu wód opadowych i nieznacznych wypływów wód gruntowych oraz przemarzania gruntów.

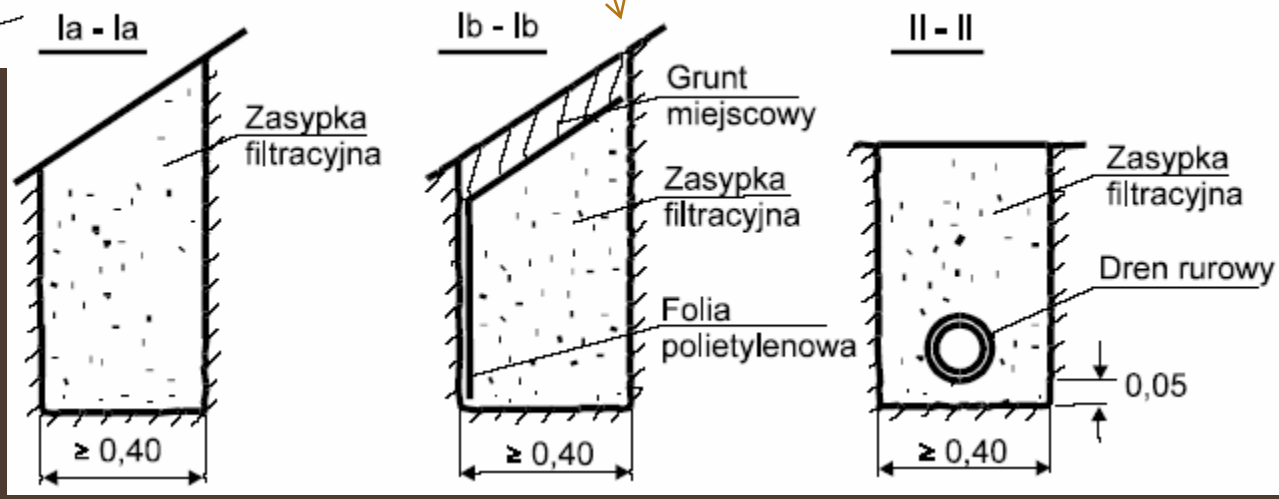


skarpa

dno rowu

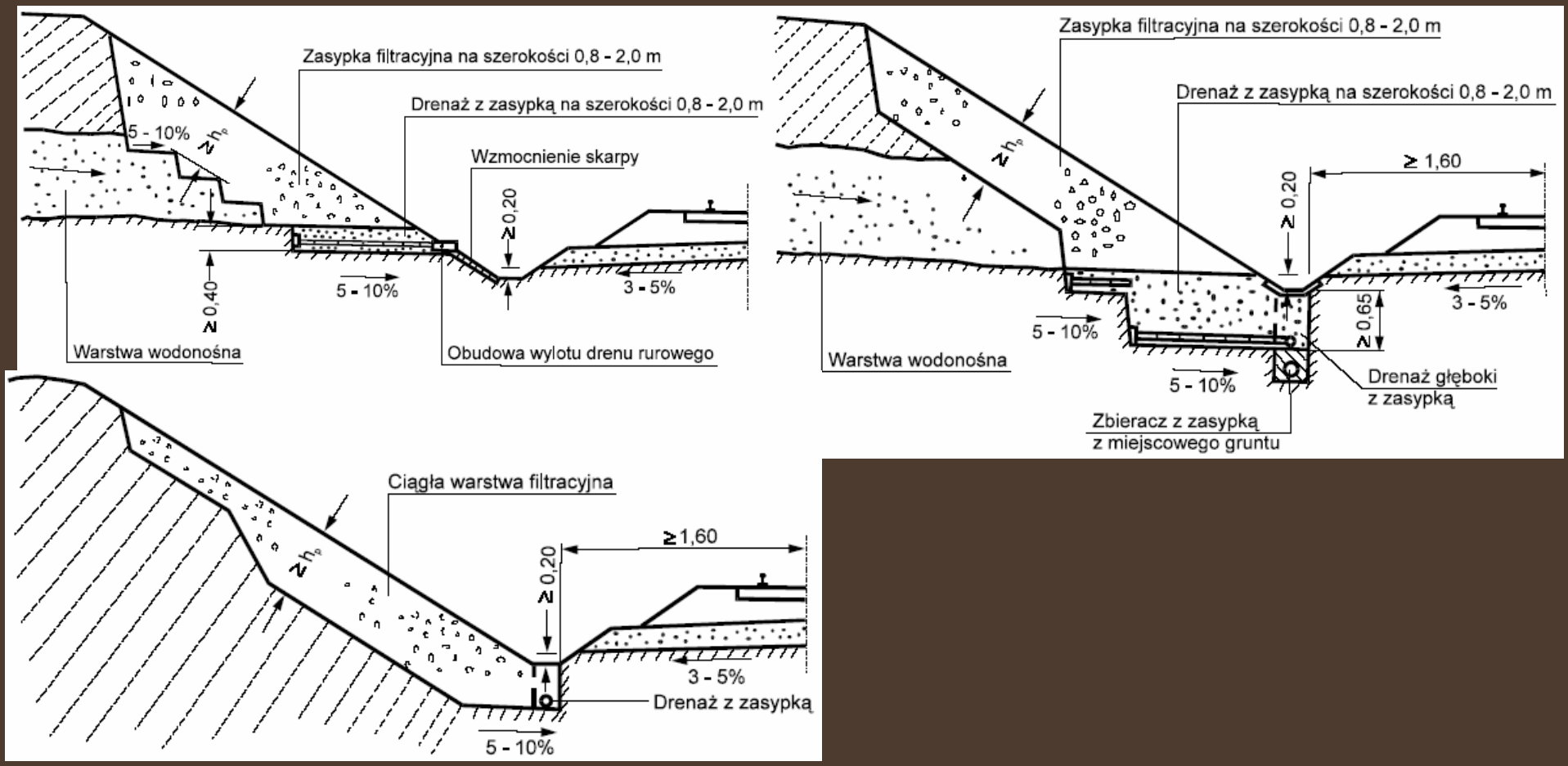
torowisko

W przypadku stromych skarp



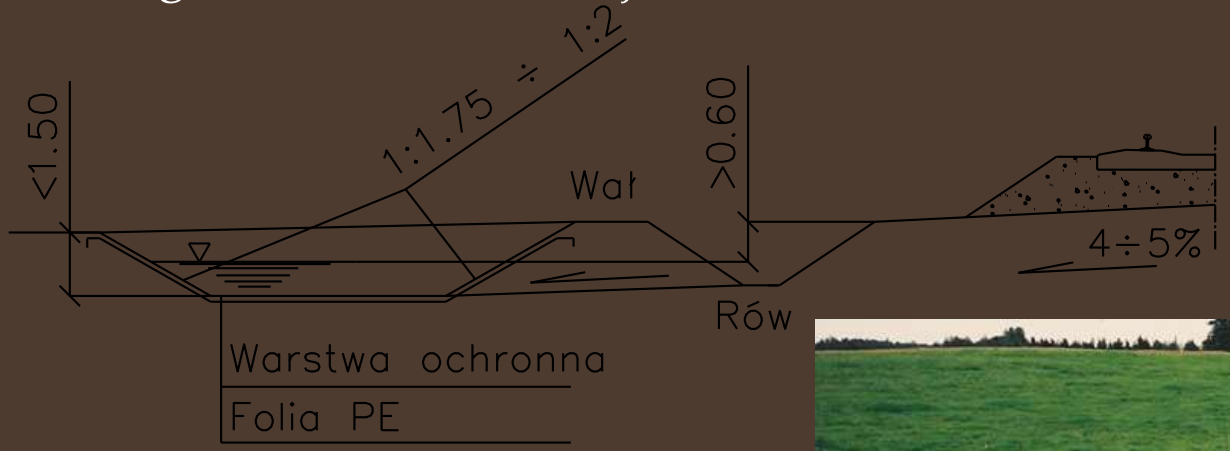
Drenaż skarpowy przyporowy

W przypadku erozji skarp, osuwisk lub sączenia się wód gruntowych ze skarp można zastosować również płytki drenaż przyporowy.



Zbiorniki retencyjne

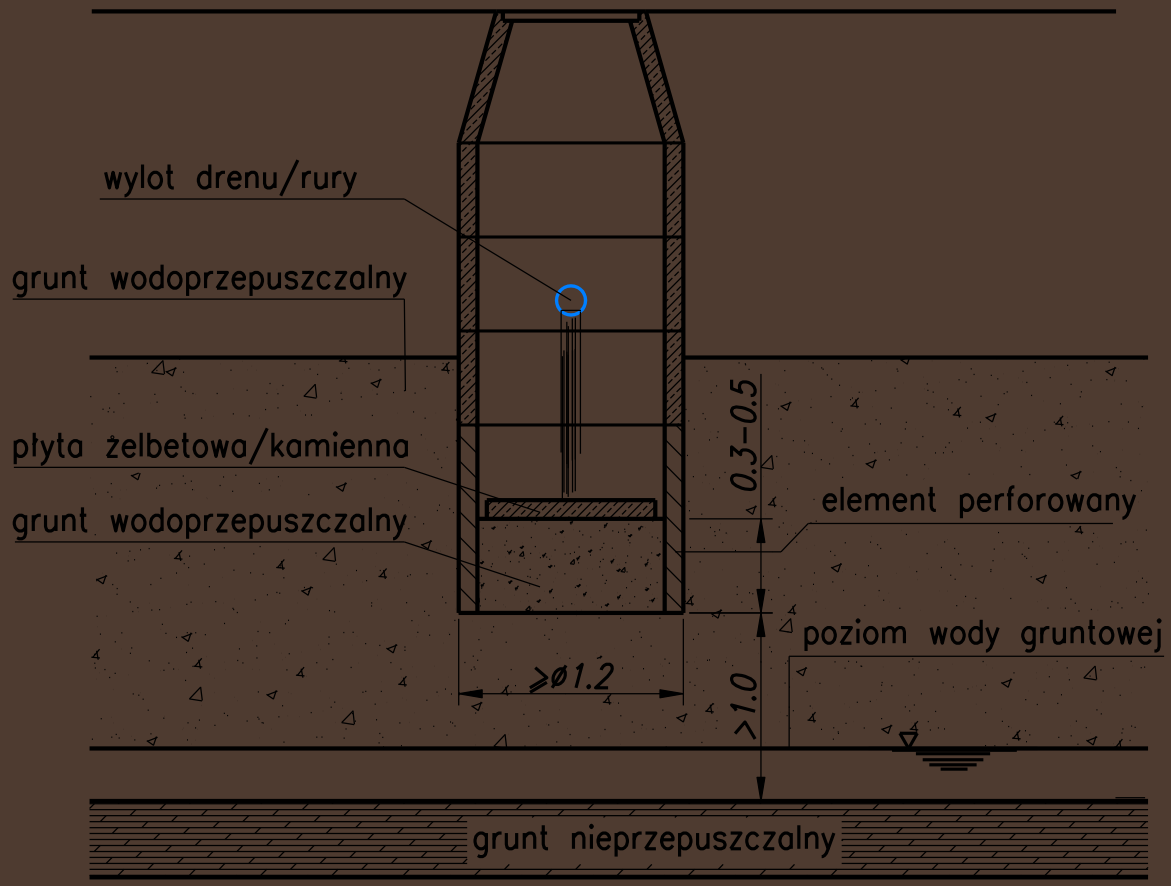
W przypadku braku innego odbiornika wody niż kolektor lub sieć zbiorcza można zastosować zbiorniki odparowujące (retencyjne). Objętość zbiornika zależy od średnich miesięcznych opadów oraz przy założeniu, że w umiarkowanym klimacie 0.47 m^3 wody w ciągu roku może odparować. Zbiornik powinien mieć powierzchnię co najmniej 200 m^2 i głębokość nie mniejszą niż 1.5 m.





Studnie absorbcyjne (chłonne)

W przypadku braku innych odbiorników wody można zastosować czasem studnie chłonne (potrzebny jest odpowiedni układ warstw wodonośnych). Objętość studni zależy od średnich miesięcznych dopływów oraz od zdolności do wchłonięcia wody w warstwę wodonośną.



Odwodnienie przejazdu kolejowego



Odwodnienie poprzeczne pomiędzy drogą i torem zmniejsza również zanieczyszczenie toru błotem.

Geosyntetyki

















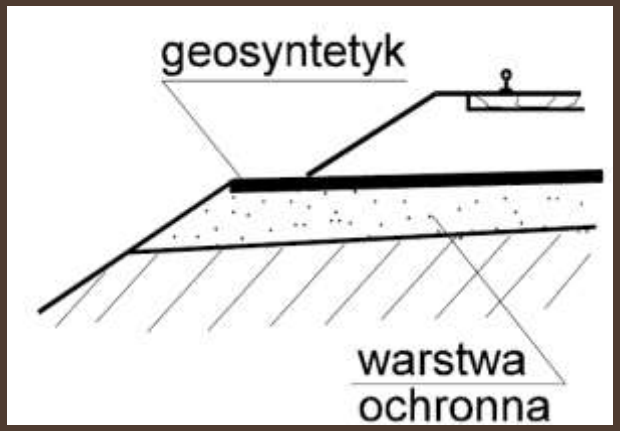
Funkcje geosyntetyków

Funkcja	Charakterystyka
Oddzielanie	Rozdzielanie warstw gruntu o różnym uziarnieniu. Zapobieganie migracji drobnych cząstek gruntu (np. iłów, pyłów, piasku pylastego) w przestrzenie gruntu zawierającego ziarna o większych wymiarach (żwir, tłuczeń). niekontrolowane mieszanie się takich materiałów pogarsza stateczność i może spowodować awarię budowli.
Filtracja	Filtrowanie wody przepływającej w płaszczyźnie poprzecznej do materiału. Filtry umożliwiają przepływ wody i zatrzymują drobne cząstki wynoszone z gruntu.
Oddzielanie i filtracja	Filtrowanie wody, jej odprowadzanie, szybkie wyrównywanie ciśnień, jak również zatrzymywanie drobnych cząstek gruntu migrujących w kierunku warstw bardziej porowatych.
Drenaż	Prowadzenie wód wzdłuż materiału w systemach drenażowych oraz oddzielanie elementów prowadzących wodę od gruntów. Aby wyroby te działały jako dreny odprowadzające wodę, muszą posiadać odpowiednią przepuszczalność wzdłuż materiału.
Wzmacnianie	Równomierne rozkładanie naprężeń i ograniczanie odkształceń budowli i podłoża. W budowlach ziemnych materiał taki stanowi swoisty rodzaj zbrojenia gruntu.
Ochrona	Powierzchniowe zabezpieczanie statecznej skarpy przed erozją (do takich zabezpieczeń stosuje się również geosyntetyki ulegające po pewnym czasie biodegradacji)
Izolacja	Zabezpieczanie (uszczelnianie) podłoża gruntowego przed przenikaniem wód i cieczy.

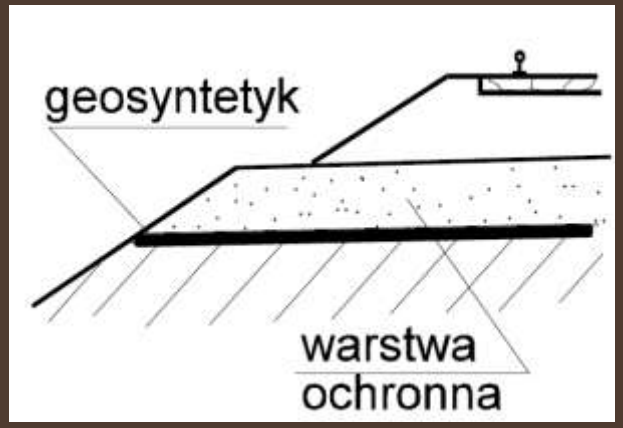
Zastosowanie geosyntetyków

1. Wzmocnienie podtorza

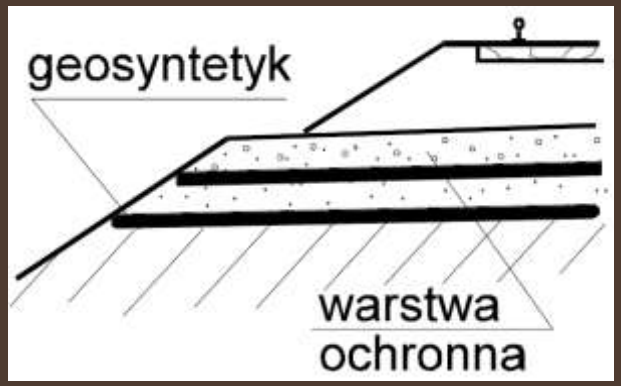
Pod podsypką (wyjątkowo)



Pod warstwą ochronną torowiska

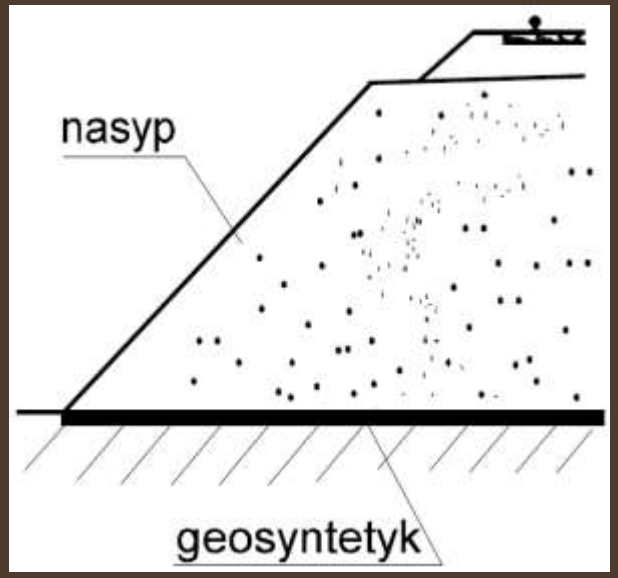


Zbrojenie warstwy ochronnej



Zastosowanie geosyntetyków

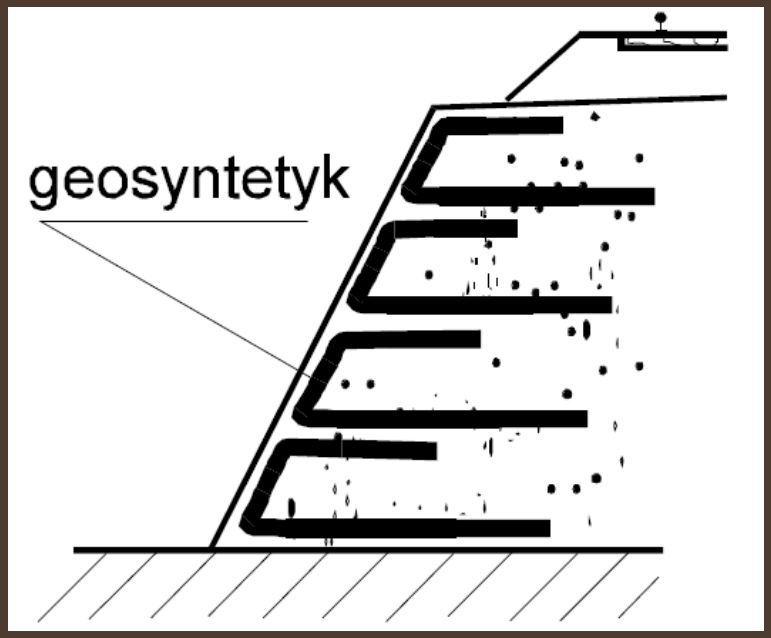
2. Wzmocnienie podstawy nasypu (wyrównanie nacisków na podłoże)



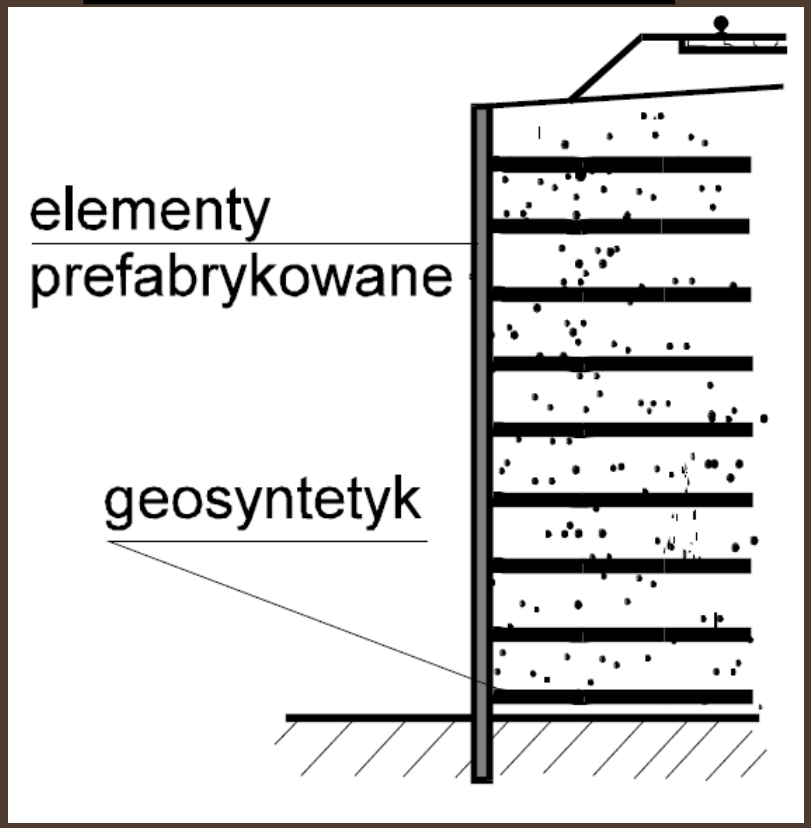
Zastosowanie geosyntetyków

3. Wzmocnienie skarpy

o pochyleniu > 45˚



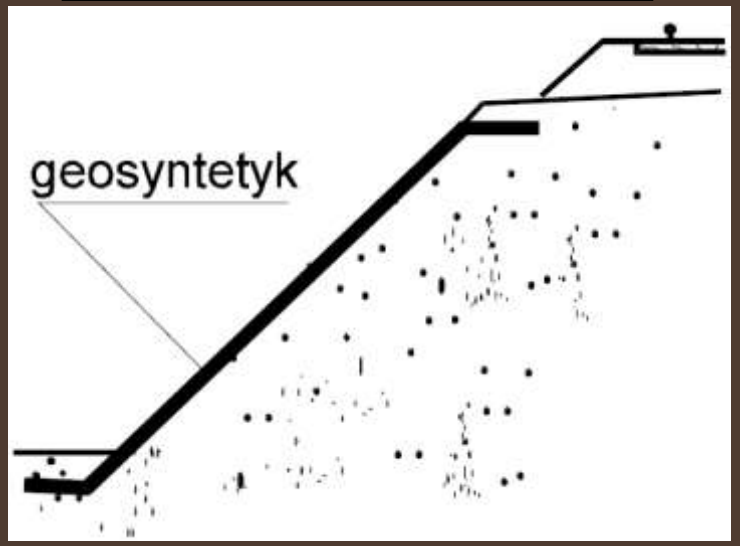
stromych,
o pochyleniu 80-90˚



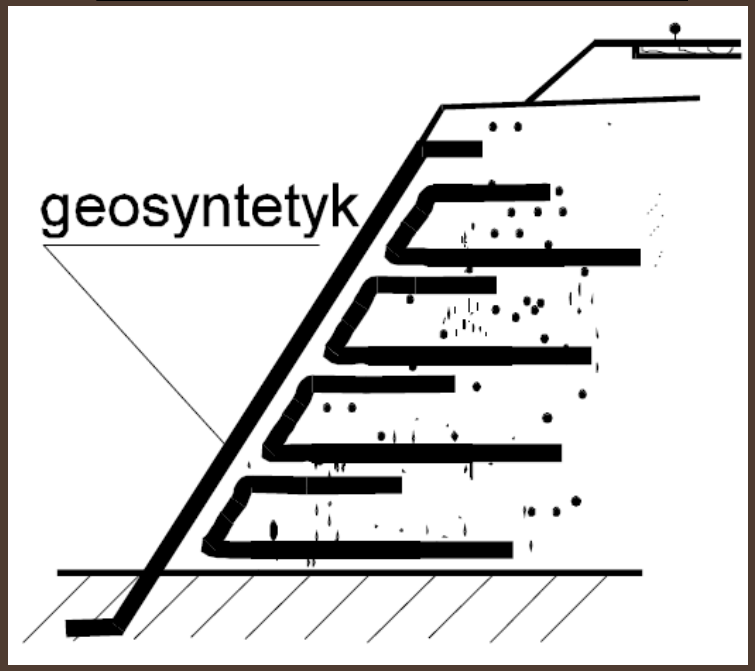
Zastosowanie geosyntetyków

4. Zabezpieczanie skarp (ochrona przed erozją powierzchniową)

niezbrojonych



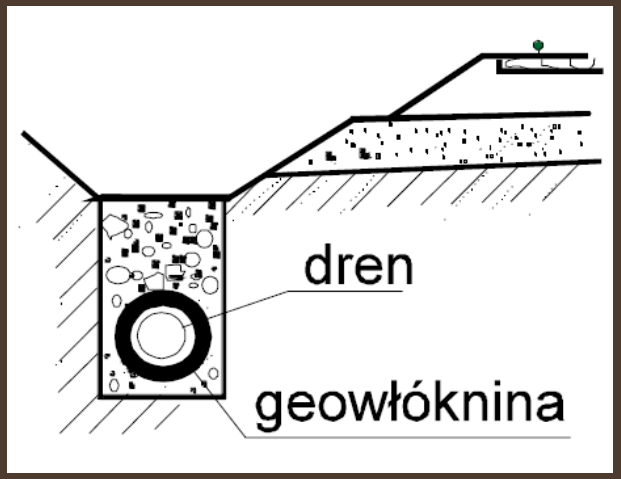
zbrojonych

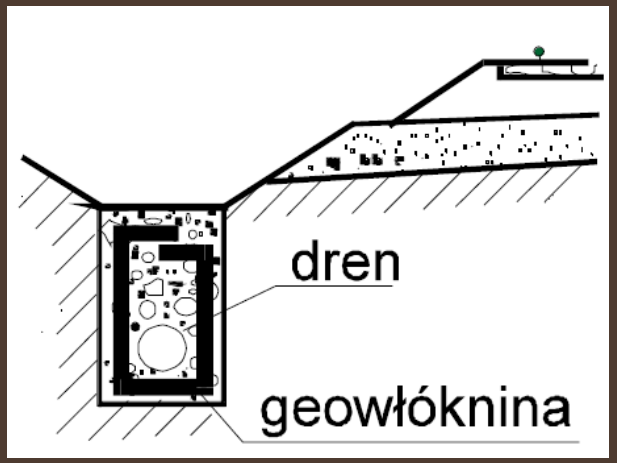


Zastosowanie geosyntetyków

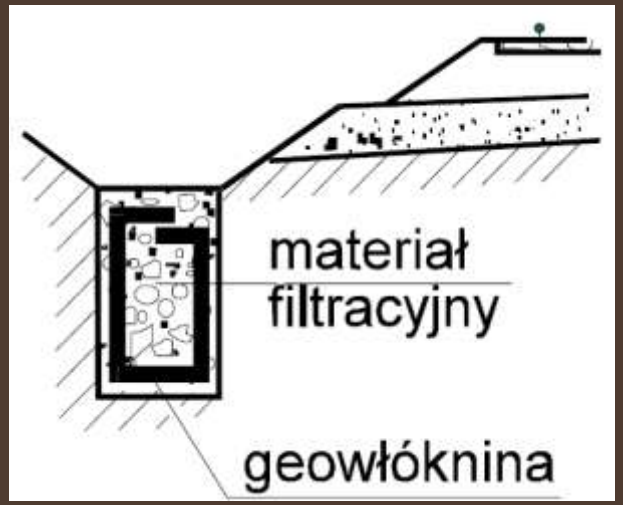
5. Filtracja / drenaż

denaż rurowy





drenaż kamienny (tzw. francuski)



Zastosowanie geosyntetyków

6. Zabezpieczenie podtorza przed wodami opadowymi

