

DELTA® chroni mienie. Oszczędza energię. Stwarza komfort.

## DELTA®-Informationen

über Schutz- und Dränsysteme für horizontale Anwendungen

### Technische Planung

Wertvolle Erläuterungen für einen wirksamen Schutz gegen Feuchtigkeit und Wasser bei Bauwerken, Kellern, Tiefgaragen und Tunneln mit den verschiedenen DELTA®-Systemen.



### Technischer Ratgeber

Ausführliche Informationen zum Schutz- und Dränsystem DELTA®-TERRAXX bei horizontalen Anwendungen und mit technischen Detaillösungen.



### Planungsgrundlagen

**Flachdachsysteme**  
Umfangreiche Informationen zur extensiven und intensiven Begrünung sowie zur begehbaren bzw. befahrbaren Nutzung von Flachdächern, auch am Umkehrdach.



DELTA® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Ewald Dörken AG, Herdecke.

**DELTA®**

# Przewodnik Techniczny

Inżynieria wodno-lądowa  
i budowa tuneli

## Dörken – innowacyjny i kompetentny. Od ponad 100 lat.

Niniejszy przewodnik techniczny dostarcza planistom i użytkownikom szeroką gamę produktów dostosowanych do rozmaitych użytkowników końcowych i obszarów zastosowań w dziedzinie inżynierii wodno-łądowej i budowy tuneli. Najwyższej jakości produkty wytwarzane przez spółkę Dörken GmbH & Co. KG przeznaczone do ochrony fundamentów, odwodnienia i izolacji wodochronnej - opracowywane w oparciu o innowacyjne pomysły i produkowane w nowoczesnych zakładach - ustanawiają standardy w zakresie niezawodności, trwałości i oszczędzania energii. Spółka zlokalizowana w westfalskim mieście Herdecke zaopatruje klientów w najlepsze produkty i kastomizowane rozwiązania. Spełniając te standardy od ponad stu lat, spółka Dörken jest i zawsze będzie potężnym partnerem dla planistów, sprzedawców i wykonawców.



### Bezpośredni kontakt:

#### z Działem Technologii Aplikacyjnej:

Tel. +49 (0)2330 63 578  
Faks +49 (0)2330 63 463

#### z Działem Sprzedaży:

Tel. +49 (0)2330 63 0  
Faks +49 (0)2330 63 360  
Email [bvf@doerken.de](mailto:bvf@doerken.de)  
Internet [www.doerken.de](http://www.doerken.de)

## Spis treści

■ Woda – palący problem	4
■ Produkty do budowy tuneli i dla inżynierii wodno-łądowej	6
■ Metody badań zgodne z normą EN 13252	8
■ Inżynieria wodno-łądowa	10
■ Przepuszczalne obudowy	12
■ Częściowo przepuszczalne obudowy	15
■ Inne zastosowania w inżynierii wodno-łądowej	18
■ Rozwiązania w zakresie przepuszczalnych obudów i gruntów oraz częściowo przepuszczalnych obudów	20
■ Parametry funkcjonalne folii kubełkowych (profilowanych) DELTA®	22
■ Budowa tuneli	24
■ Metody budowy tuneli podziemnych	26
■ Rozwiązania w zakresie budowy tuneli	30
■ Tunel Gotthard Base Tunnel	31
■ Tunel kolejowy Soumagne	36
■ Modernizacja tuneli	40
■ Budowa metodą odkrywkową „cut & cover”	42
■ Metody mocowania	43
■ Referencje	44



# Woda – palący problem

Woda docierająca do ziemi w postaci opadów atmosferycznych zawsze znajduje własną drogę ujścia. Idealnie byłoby, gdyby przenikała szybko i niezwłocznie, aby nie potęgować nacisku na konstrukcję budynku. Jeśli jednak przesiąka powoli, będzie wywierać nacisk na budynek tak długo, jak utrzymują się opady atmosferyczne. Podobna sytuacja ma miejsce wówczas, gdy woda, która wsiąkła w grunt, napotka łatwo przepuszczalną warstwę ziemi, przez którą napiera na budynek. Te dwa warianty występują dość często. Sytuacja staje się jednak trudna, gdy woda z opadów atmosferycznych napotyka nieprzepuszczalny grunt, przez który nie może przeniknąć. W takim przypadku budynek będzie stale narażony na działanie wody pod ciśnieniem.

Te trzy stopnie ekspozycji na wodę w sposób decydujący determinują planowanie izolacji wodochronnej, odwodnienia i środków ochronnych. Z tego względu każdy projekt budowlany powinien opierać się na skrupulatnym zbadaniu i ocenie struktury lokalnego gruntu i wszelkich innych istotnych czynników, jak np. konfiguracja terenu. W zależności od lokalnych ograniczeń, zaangażowane mogą być różne ilości wody. Na przykład jeśli budynek nie jest usytuowany na płaskim gruncie, a jest zbudowany na terenie pochylonym, w normalnych warunkach można przewidywać akumulację wody na ścianie budynku w tempie nawet 0,3 l/s · m, jak sugeruje norma DIN 4095. Jest to minimalna ilość, dla której należy zaprojektować warstwę drenażową, jeśli budynek ma być dobrze zabezpieczony przed uszkodzeniami powodowanymi przez wilgoć



Skuteczna ochrona przed wodą przeciekową ma kluczowe znaczenie nie tylko z powodu wdzierania się wody, czego świadomość mają eksperci budowlani. W przypadku przygotowywania betonu wodoodpornego, jego jakość, a tym samym jego nieprzemakalność, zależą w ogromnym stopniu od ścisłego przestrzegania określonej proporcji woda/cement. W przypadku zmiany tej proporcji przez wdzierającą się wodę, beton stanie się przepuszczalny dla wody lub jeszcze gorzej: żyła wodna może spenetrować całą ścianę, formując miejscowy przeciek.

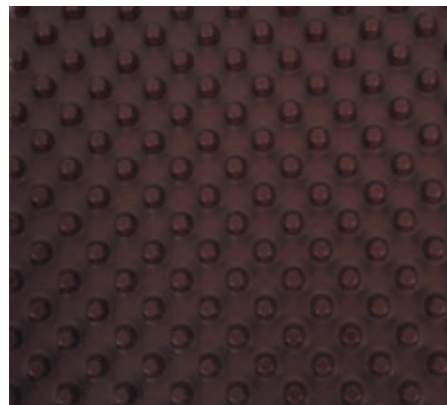
Na izolację wodochronną budynku nacisk wywiera jednak również ciśnienie hydrostatyczne, zagrażając jej niezawodnemu działaniu. Poza tym, kolumna wody o wysokości kilku metrów wywiera ogromny

nacisk na konstrukcję budynku. Ten nacisk staje się szczególnie krytyczny wówczas, gdy ciśnienie wody jest ograniczone do pewnych określonych obszarów, generując asymetryczne obciążenia. W wielu przypadkach w tym kontekście pomóc może skuteczne odwodnienie, gdyż wyraźnie ułatwia ono budowę izolacji wodochronnej, zmniejszając w ten sposób jej podatność na wady.

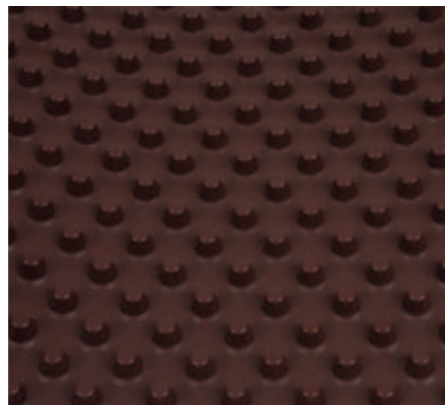
Z tych powodów wodę przeciekową należy zawsze odprowadzać z całych powierzchni. W takich przypadkach od wielu lat wypróbowuje się folie kubełkowe (profilowane) i drenażowe wykonane z plastiku, które okazują się niezawodne jako warstwy przeciekowe wytrzymałe na ściskanie. Jednym z powodów, dla których są one często stosowane, jest to, że ich instalacja jest łatwa i niedroga.



## DELTA®-Produkty do budowy tuneli i dla inżynierii wodno-lądowej



DELTA®-AT 1200

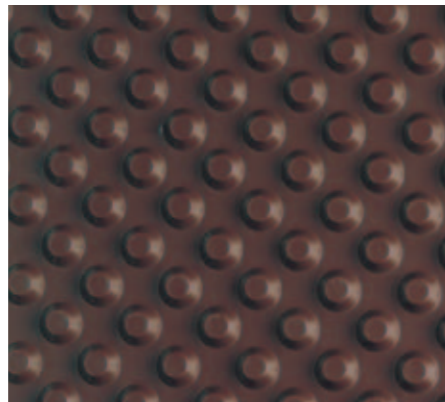


DELTA®-AT 800

Produkty DELTA® do ochrony ścian fundamentów, odprowadzeń i izolacji wodochronnej są najlepiej dostosowane do szerokiej gamy zastosowań w budownictwie i modernizacji. Produkty DELTA® obejmujące rozmaite folie kubelkowe (profilowane) i akcesoria do wielu zastosowań, oferują rozwiązanie każdego problemu dostosowane do indywidualnych potrzeb. Nasza metoda łączenia precyzyjnie dopasowanych produktów w kompletne systemy DELTA® umożliwia łatwe uzyskanie wartości dodanej.



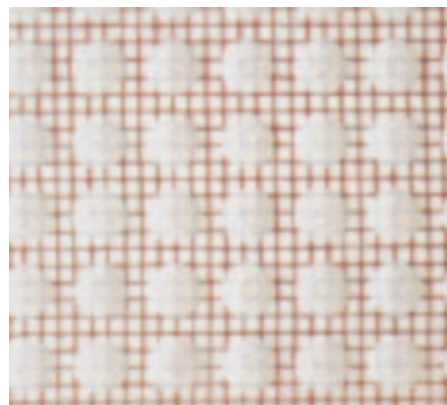
DELTA®-MS 20



DELTA®-MS

Folie kubelkowe DELTA® wykonane ze specjalnego rodzaju polietylenu formują bardzo skuteczną warstwę przeciekową i drenażową. Są one wytrzymałe na ściskanie, zachowując swoje znakomite właściwości nawet przy dużych i trwałych obciążeniach.

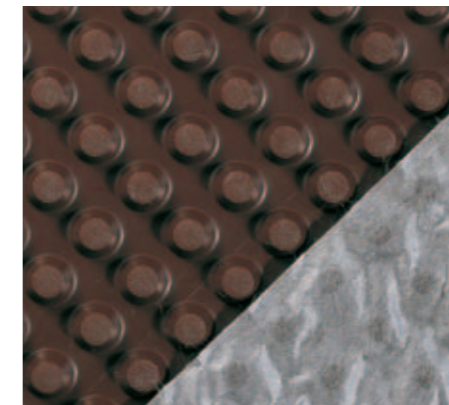
Folie kubelkowe ze zgrzewaną siatką w plastrach można stosować jako dolną warstwę pod beton natryskowy (trokret) i zaprawę.



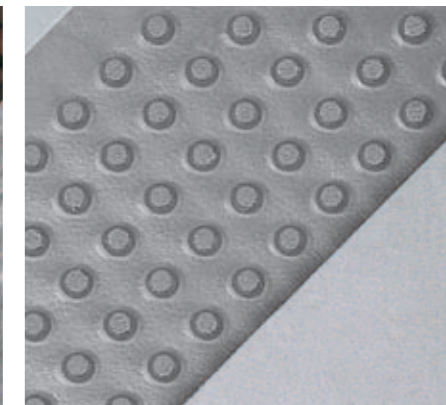
DELTA®-PT

Wtapiana warstwa geowłókny w wielowarstwowych foliach kubelkowych DELTA® filtruje drobiny ziemi z wody przeciekowej, zapobiegając w ten sposób zapychaniu otworów powietrznych.

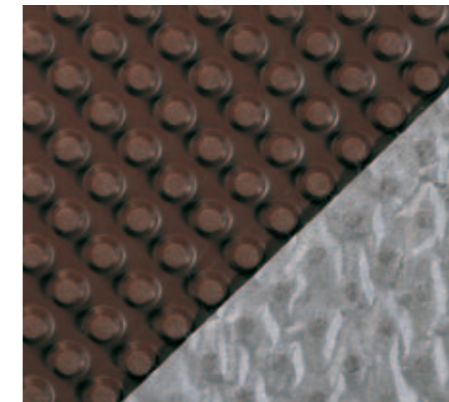
Folie kubelkowe DELTA® są odporne na gnicie, roztwory soli, kwasy nieorganiczne, zasady i ciecze polarne. Są one również odporne na atak lub modyfikację pod wpływem działania wszelkich minerałów, kwasów humusowych i produktów katabolizmu bakterii, które naturalnie występują w ziemi, a także bakterii, grzybów i drobnoustrojów. Reakcja wszystkich rodzajów folii na ziemię lub wody podziemne jest całkowicie neutralna i nie będzie miało miejsce wypłukiwanie żadnych szkodliwych i/lub ekologicznie podejrzanych substancji. Należy zachować ostrożność i dopilnować, aby nie były one stale wystawiane na działanie promieniowania UV.



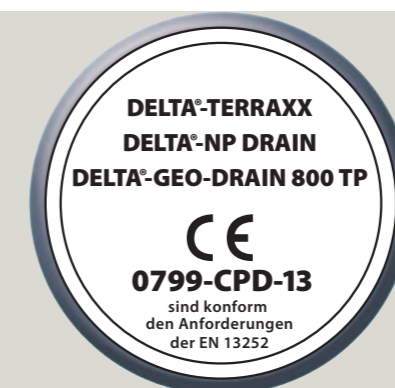
DELTA®-GEO-DRAIN TP 800



DELTA®-TERRAXX

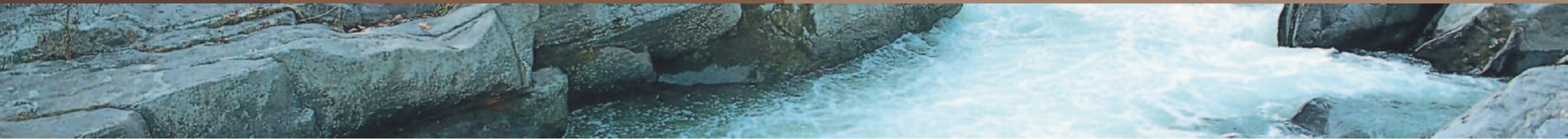


DELTA®-NP DRAIN



Nasze produkty do drenażu z geowłókną DELTA®-NP DRAIN, DELTA®-TERRAXX i DELTA®-GEO-DRAIN 800 TP – spełniają wymagania w zakresie oznakowania CE wynikające z normy EN 13252 (Certyfikat Nr 0799-CPD-13).



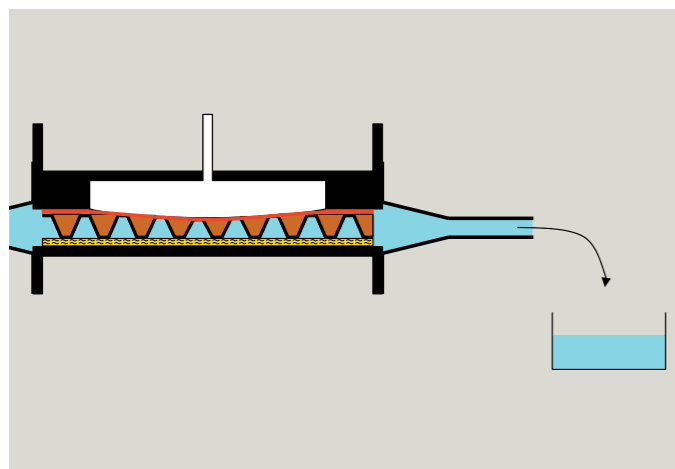


## Metody badań zgodne z normą EN 13252

Norma DIN EN 13252 określa właściwości, jakie muszą posiadać geotekstylia i wyroby pokrewne, które są włączone do systemów drenażowych przede wszystkim po to, aby realizować funkcje filtracji, separacji i odprowadzenia. Właściwości te obejmują

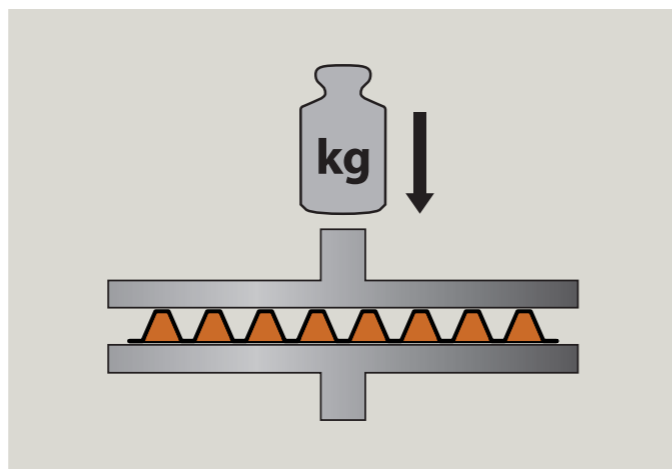
zdolność przepływu wody w płaszczyźnie, wytrzymałość materiału, przepuszczalność wody, wytrzymałość na rozciąganie, wytrzymałość na dynamiczną perforację i charakterystyczną wielkość porów. Norma nie definiuje minimalnych wymagań

dla materiałów, a raczej metody badań w celu dokonania pomiarów tych właściwości, które mają zastosowanie we wszystkich krajach UE.



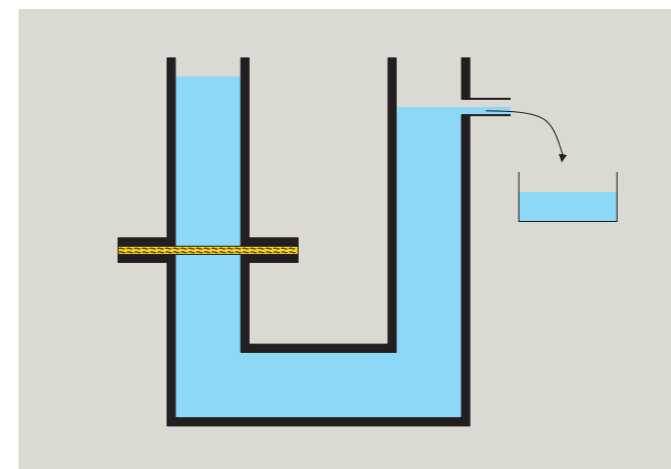
Zdolność przepływu wody w płaszczyźnie (zdolność drenażowa), EN ISO 12958

Parametry służące do pomiaru zdolności przepływu wody w płaszczyźnie geowłókniny lub wyrobu pokrewnego obejmują rozmaite naciski pod wpływem normalnego ciśnienia, typowe gradienty hydrauliczne i zdefiniowane powierzchnie kontaktowe.



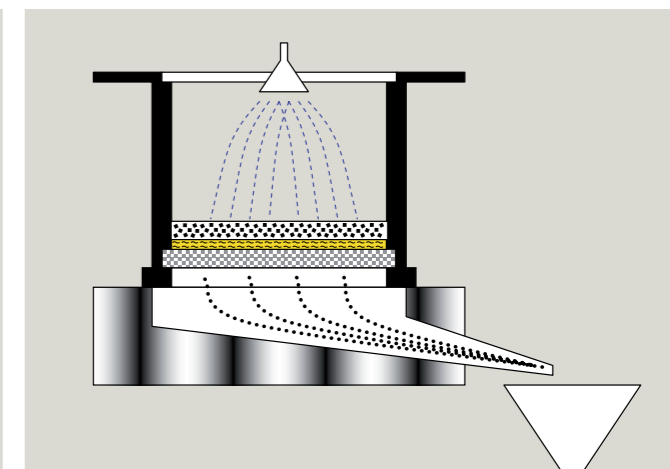
Wytrzymałość na ściskanie, DIN EN ISO 604

Badana próbka jest ściskana wzdłuż swojej głównej osi w stałym tempie do czasu pęknięcia lub skrócenia długości poniżej uprzednio zdefiniowanej wartości. W trakcie całego procesu mierzy się siłę, jaką wytrzymuje badana próbka.



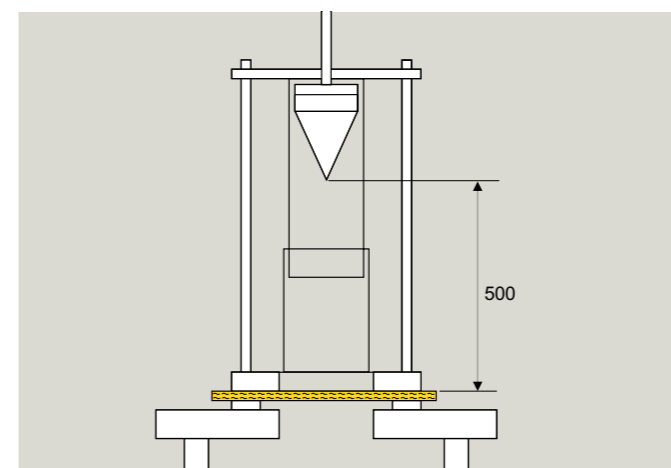
Zdolność przepływu wody pionowo do płaszczyzny, EN ISO 11058 (GT)

Woda jest prowadzona przez jedną warstwę nieściśniętej geowłókniny lub wyrobu pokrewnego w kierunku zwyczajowym do jej płaszczyzny. Mierzy się ilość wody przepływającej przez badany materiał.



Wielkość porów O90, DIN EN ISO 12956 (GT)

Ta norma europejska definiuje metodę służącą do określenia charakterystycznej wielkości porów pojedynczej warstwy geowłókniny lub produktu pochodnego poprzez mokry skринing. Materiał granulowany sortowany (zwykle ziemia) jest przepłukiwany wodą przez nieściśniętą próbkę geowłókniny lub produktu pokrewnego, która działa jak ekran. Następnie mierzy się rozmiary ziaren. Charakterystyczna wielkość porów odpowiada rozmiarowi ziarna dla materiału poddawanego skринingowi.



Wytrzymałość na dynamiczne przebicie (perforację) (metoda spadającego stożka), EN 918 (EN ISO 13433) (GT)

Próbkę geowłókniny mocuje się w zacisku w poziomie pomiędzy dwoma stalowymi pierścieniami. Zdefiniowany stożek ze stali nierdzewnej spuszcza się w kierunku środka próbki z wysokości 500 mm. Stopień penetracji ustala się mierząc średnicę otworu poprzez umieszczenie w nim stożkowego miernika.

Badanie wytrzymałości na rozciąganie, EN ISO 10319 (GT)

Ta norma opisuje test odniesienia służący do określenia wytrzymałości na rozciąganie geotworzyw poprzez badanie szerokiego paska (200 mm szerokość, 100 mm długość). W miarę stałego zwiększania obciążenia rejestrowana jest krzywa rozciągania.

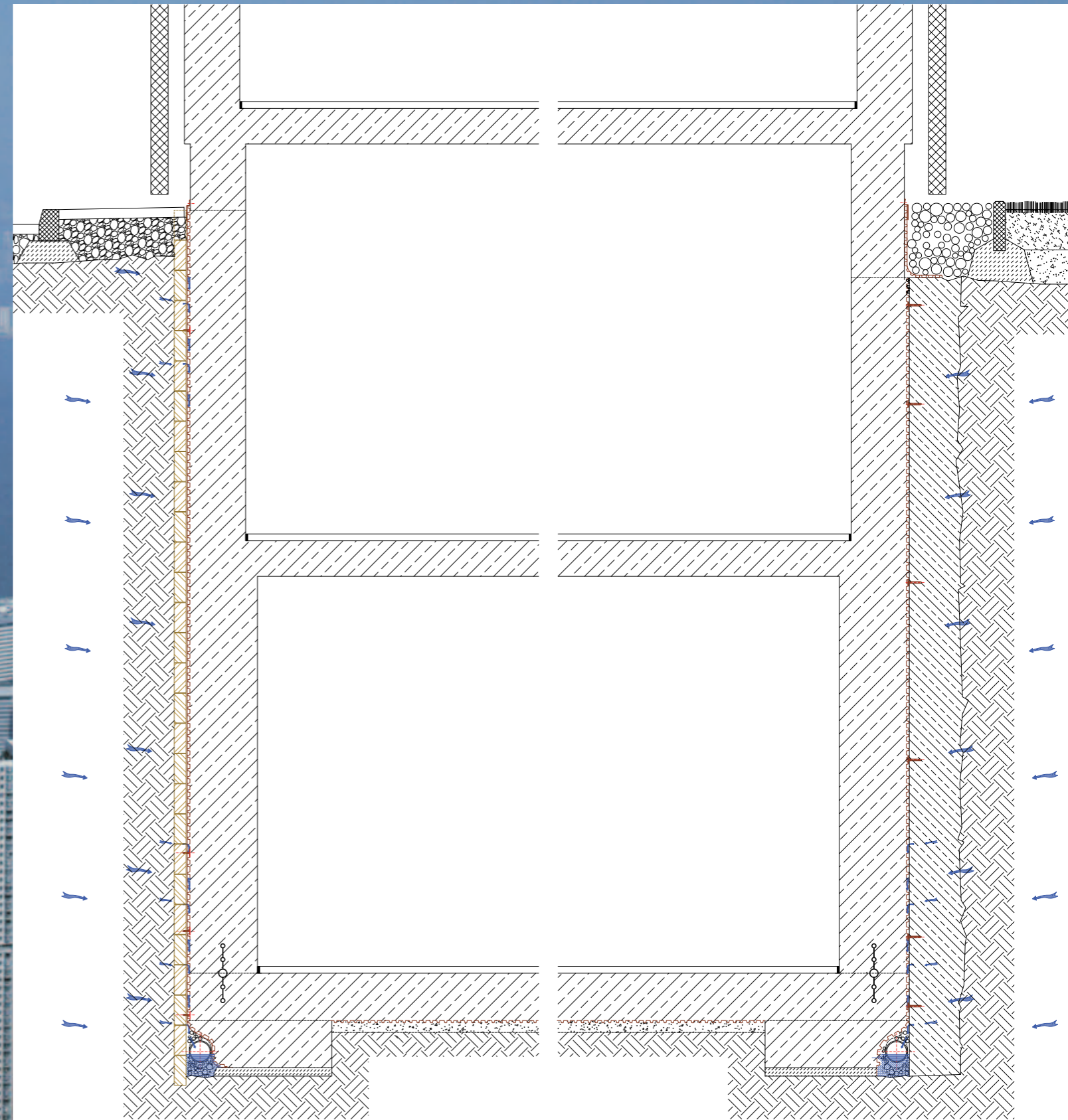


# Inżynieria wodno-lądowa

## Bezpieczeństwo obudowy wykopów

Gdy w centrum miasta wznoszony jest nowy budynek, zasadniczo nie ma tam wystarczającej ilości miejsca, aby umożliwić naturalne nachylenie boków wykopu. Szczególnie w miejscach, które są wciśnięte pomiędzy dwa istniejące budynki, gdzie liczy się każdy cal, zazwyczaj podpira się boki wykopu, aby zabezpieczyć go przed osuwaniem się ziemi. Jeśli chodzi o obudowy stosowane w takich przypadkach, ich konstrukcja musi być szybka i ekonomiczna, muszą one być w dużym stopniu wodoodporne i trwałe, a także bezpieczne, aby uniknąć zagrożenia dla sąsiadujących budynków. Z tych względów bezpieczeństwa organy nadzoru budownictwa wymagają kalkulacji strukturalnych. To, jaki rodzaj obudowy jest faktycznie stosowany, zależy od wielu rozmaitych ograniczeń, obejmujących stan gruntu, nacisk ziemi, poziom wód podziemnych i obciążenia wywierane na wykop przez sąsiadujące budynki, natężenie ruchu lub specjalne warunki klimatyczne. Dalsze kryteria, które należy uwzględnić, obejmują

uskoki pochodzące z samego podłoża i oczywiście koszt budowy i obsługi obudowy oraz systemu zarządzania wodą. Jeśli chodzi o rodzaje obudowy mogą mieć charakter tymczasowy lub trwały, a te z kolei mogą być relatywnie wodoodporne, częściowo przepuszczalne (umożliwiając przepływ filtrowanej wody) lub całkowicie przepuszczalne (umożliwiając przepływ niefiltrowanej wody). Wiele rozwiązań zdecydowanie wymaga skutecznego odwodnienia, ponieważ woda przecinająca obudowę pod ciśnieniem wpłynie później na izolację wodochronną samego budynku, a nawet może - w niekorzystnych warunkach - spowodować problemy konstrukcyjne. Jeśli element przylegającego budynku ma być wykonany z wodoodpornego betonu, należy zachować ostrożność, aby upewnić się, że woda przeciekowa nie może penetrować betonu podczas wylewania i późniejszego procesu zastygania.



Obudowy przepuszczalne

Obudowy częściowo przepuszczalne.



# Przepuszczalne obudowy

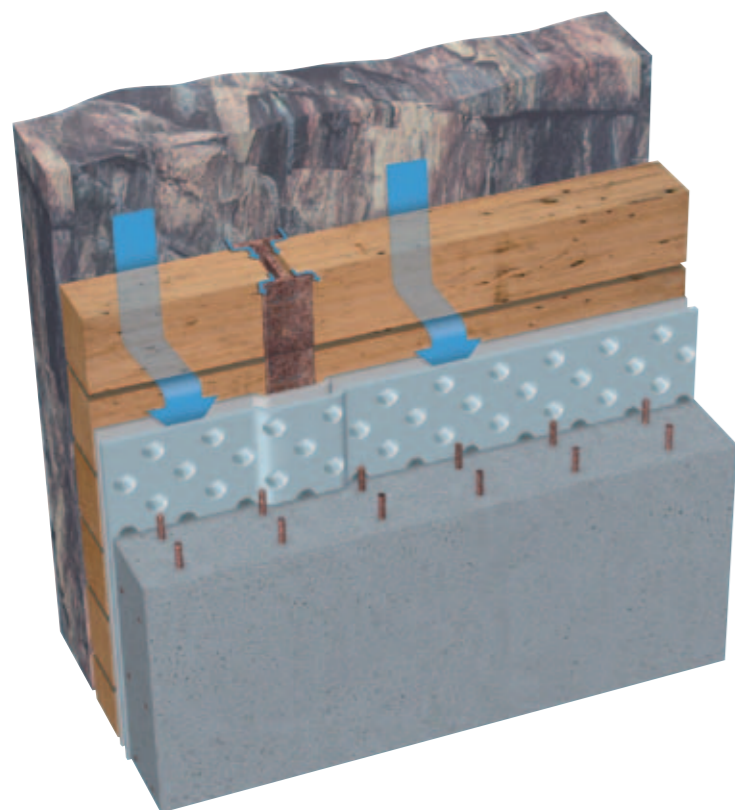
## Palościanki / obudowa „berlińska”

Jedną z najczęstszych metod zabezpieczenia boków wykopu jest konstrukcja palościanki. Tę poziomą obudowę wykonuje się poprzez wstawianie grubych desek, kwadratowych lub okrągłych belek, prefabrykowanych płyt betonowych ze zbrojeniem lub obudowę wykopu pomiędzy palami wbitymi do dna wykopu. Funkcją elementów pionowych mogą pełnić kształtowniki stalowe walcowane, przęsla stalowe, betonowe pale ze zbrojeniem lub betonowe pale bez zbrojenia z trwałą powłoką. Najpopularniejszym wariantem obudowy drewnianej jest klasyczna technika obudowy „berlińskiej”, zwana tak, ponieważ metodę tę opracowano w latach 1930. dla celów budowy pierwszego

„berlińskiego” metra. Wiąże się to z ręcznym usunięciem ziemi pomiędzy palami wzdłuż krawędzi wykopu, umiejscowieniu desek przyciętych do rozmiaru pomiędzy obrzeżami pali i wbiciu klinów, aby docisnąć je mocno do podłoża. Ze względów praktycznych i innych, ścianka „berlińska” nadal stanowi jedną z najczęściej stosowanych metod obudowywania wykopów: można ją stosować na niemal wszystkich rodzajach podłoża i można ją optymalnie zaadoptować do przeszkód takich jak rury, szyby i stare fundamenty. W przypadku tego rodzaju obudowy dno wykopu musi jednak znajdować się powyżej poziomu wód podziemnych.

Metody obudowy typu „Essen” i „Hamburg” to często stosowane warianty palościanki „berlińskiej”.

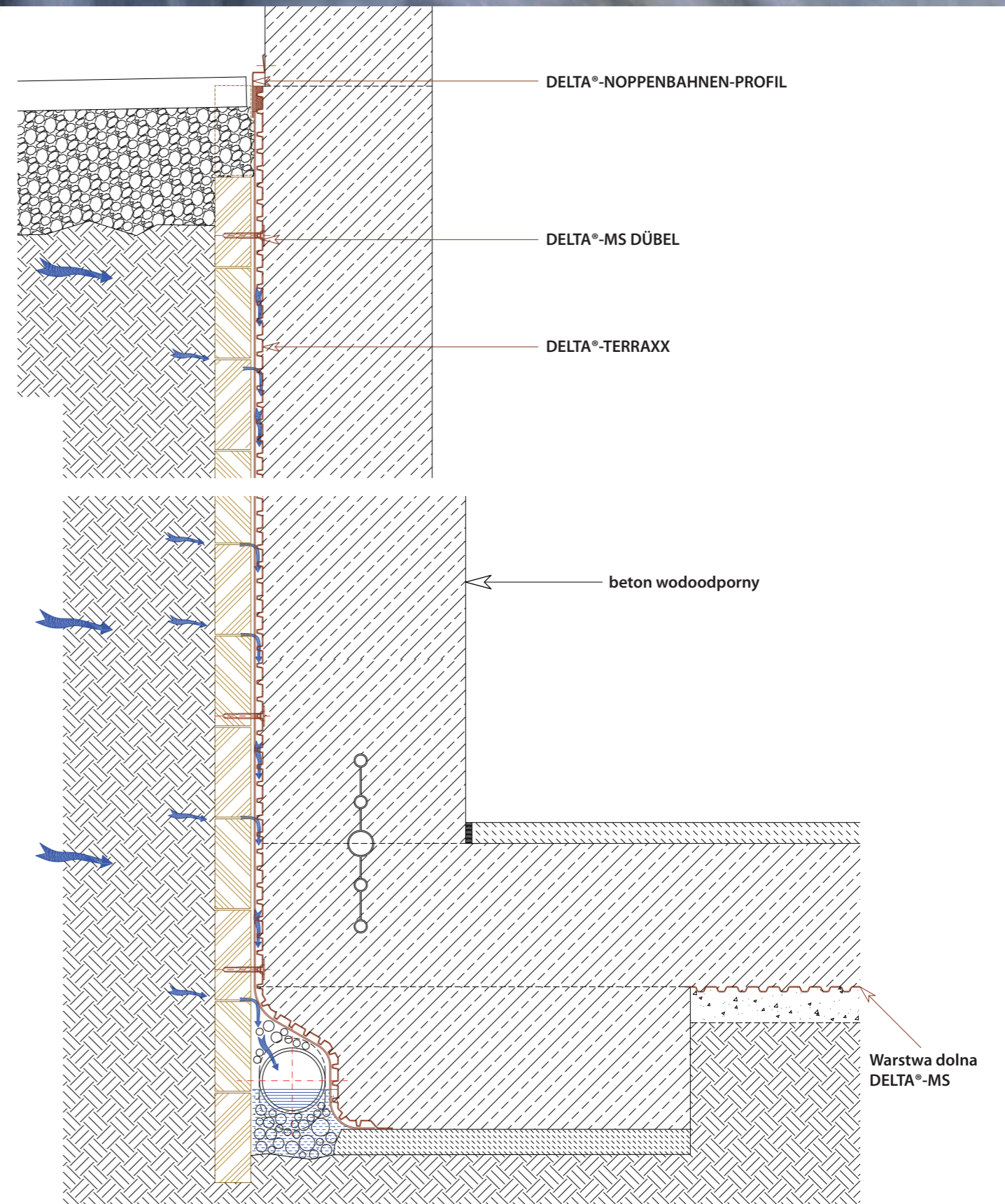
Palościanki nie są wodoodporne, toteż często z dużych obszarów obudowy pojawia się woda przeciekowa. Dzieje się tak w przypadku obudowy „berlińskiej”, której elementy drewniane z biegiem lat ulegają całkowitemu rozkładowi. Taką wodę przeciekową można skutecznie odprowadzić przy użyciu systemu odwodnienia powierzchniowego, np. DELTA®-TERRAXX. Każdy system drenażowy musi być wyposażony w geowłókninę w celu filtracji, ponieważ woda przeciekowa może zawierać ciała stałe, które w przeciwnym razie zatkałyby dren.



Obudowa „berlińska”.



Obudowa „berlińska”: Budynek Volkswohlbund w Dortmundzie.



Przekrój obudowy przepuszczalnej.



# Obudowy przepuszczalne

## Ściany z pali wierconych jako niezawodna podpora

Ściany z pali wierconych stanowią trwałą metodę zabezpieczania wykopu o pionowych ścianach. Z uwagi na fakt, że charakteryzują się one dużo większą wytrzymałością na zginanie niż np. palościanki, stosuje się je również, jeśli obudowa ma stać się częścią przyszłego budynku, jako na przykład ściana piwnicy/ części podziemnej. Ustawione obok siebie, odlewane na miejscu pale tej obudowy wykonuje się poprzez wypełnienie betonem uprzednio wywierconych otworów. W przypadku obecności sąsiadujących budynków zaletą tej metody jest to, że nie wymaga ona kofarów do wbijania pali, które generują mnóstwo hałasu i drgań. Ściany z pali wierconych, o ile nie nachodzą na siebie, są rzadko wodoodporne, toteż woda przeciekowa może penetrować obudowę na dużych powierzchniach. Tę wodę przeciekową można odprowadzić przy użyciu warstwy odprowadzenia strukturalnego, np. DELTA®-TERRAXX, zainstalowanego w taki sposób, aby geowłóknina była skierowana ku ścianie z pali.



DELTA®-TERRAXX w ścianie z pali wierconych.



Ściana z pali wierconych przed zastosowaniem warstwy drenażu.

# Obudowy częściowo przepuszczalne

## Palościanki z betonem natryskowym

Specjalny wariant palościanki to tak zwana obudowa typu „Essen”, którą stosuje się w przypadku lekko przechylonych ścian z charakterystycznym nachyleniem i kotwami podporowymi. Nachylenie zabezpiecza się przy użyciu pionowych pali umieszczanych w odległości od 1,50 do 2,00 m. Przestrzenie pomiędzy palami pokrywa się najpierw siatką drucianą, siatką prążkowaną lub stalową siatką drucianą, a następnie betonem natryskowym, aby chronić je przed żłobieniem. Niekiedy beton stosuje się również w palościankach „berlińskich”,

aby ustabilizować obudowę. Beton natryskowy nakłada się, ponieważ zapewnia on duży stopień wodoodporności obudowy i umożliwi przepływ jedynie „filtrowanej” wody. Eliminuje to konieczność stosowania geowłókniny jako warstwy filtracyjnej. Wodę przeciekową, która penetruje obudowę, można odprowadzić przy użyciu folii kubełkowej (profilowanej), np. DELTA®-MS 20 lub DELTA®-MS.



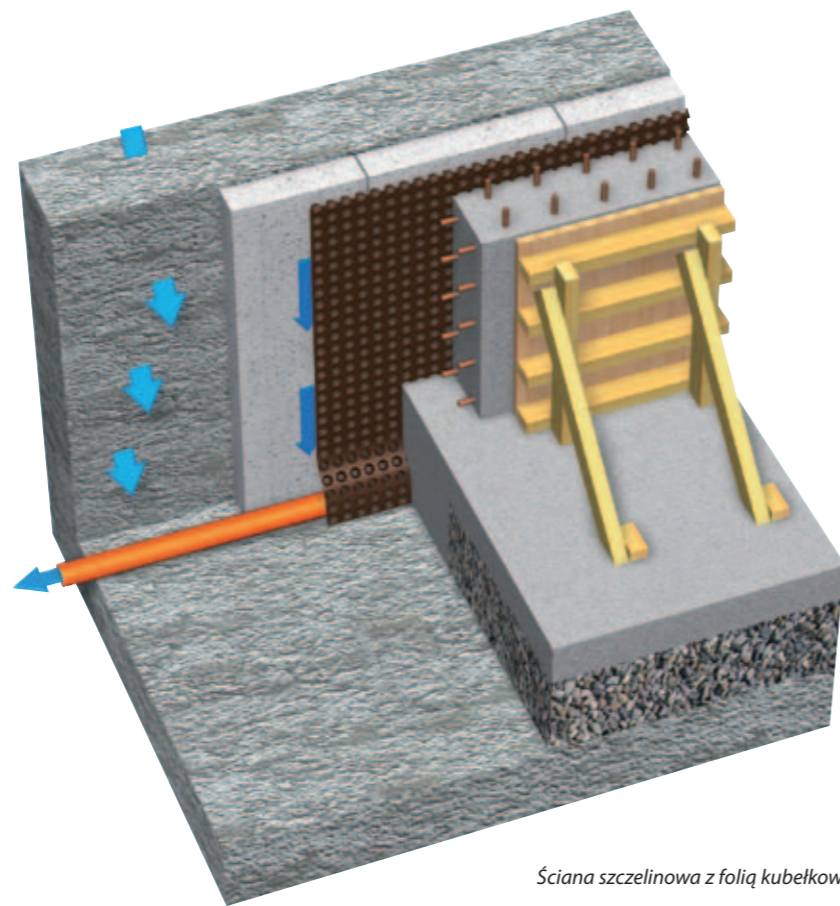
Obudowa typu 'Essen' przy użyciu DELTA®-MS.



# Częściowo przepuszczalne obudowy

## Ściana szczelinowa jako część budynku

Ściany szczelinowe są w dużym stopniu wodoodporne. Wykonuje się je poprzez wylanie betonu do pojedynczej sekcji ściany (barety) o szerokości od 0,40 do 1,20 m i na głębokość nawet 40 m, która jest wykopywana przez specjalne koparki chwytakowe do ścian szczelinowych. Barety stabilizuje się wypełniając ją rzadką zaprawą (zazwyczaj zawieszoną betonitową, tj. mieszaniną betonitu i wody). Po umieszczeniu zbrojenia koszowego, wylewa się beton, wypierający stabilizującą rzadką zaprawę. Ściany szczelinowe można wykonać poprzez wylanie jednego segmentu po drugim lub przy wykorzystaniu „procesu pielgrzyma”, w którym najpierw pomija się co drugi segment. Ściany wykonywane w ten sposób często stają się częścią przyszłego budynku. Podobnie jak w przypadku ścian betonowych wylewanych na miejscu, ściany szczelinowe mogą umożliwić przecieknięcie wody w miejscach, gdzie obecne są węzły konstrukcyjne lub niewielkie pęknięcia. Taką wodę przeciekową można odprowadzać przy użyciu folii kubelkowej, np. DELTA®-MS 20 lub DELTA®-MS. Stosowanie geowłókniny nie jest konieczne, ponieważ ściana szczelinowa pełni funkcję warstwy filtracyjnej.

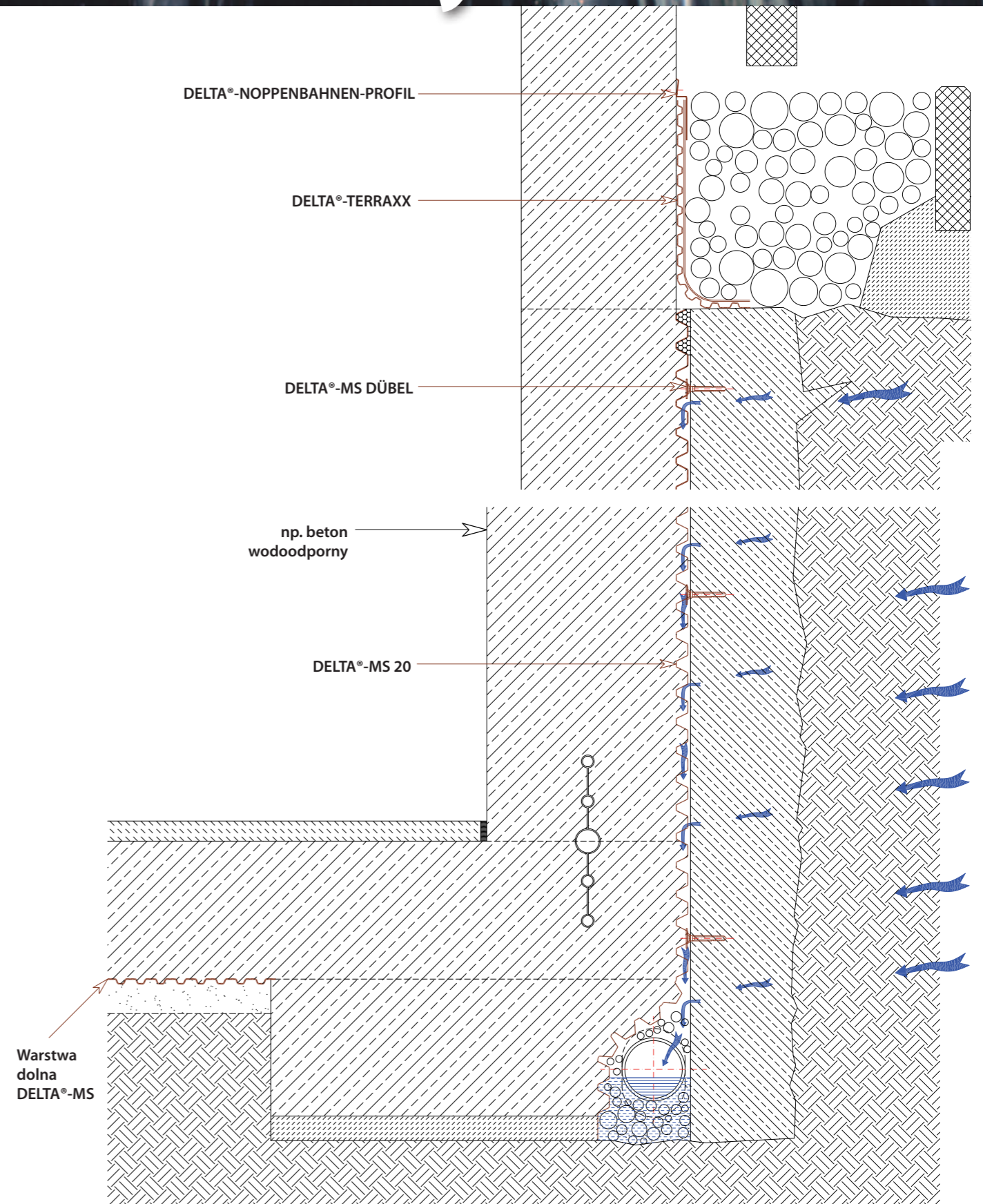


Ściana szczelinowa z folią kubelkową.



16 Przykład: zastosowanie ściany szczelinowej w Duisburgu.

Przykład: projekt budynku na rzece Danube (Węgry) z wykorzystaniem DELTA®-MS.



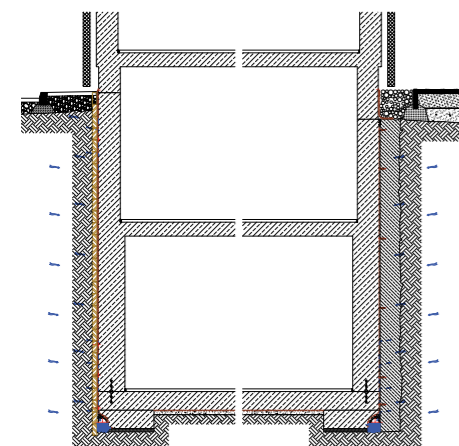
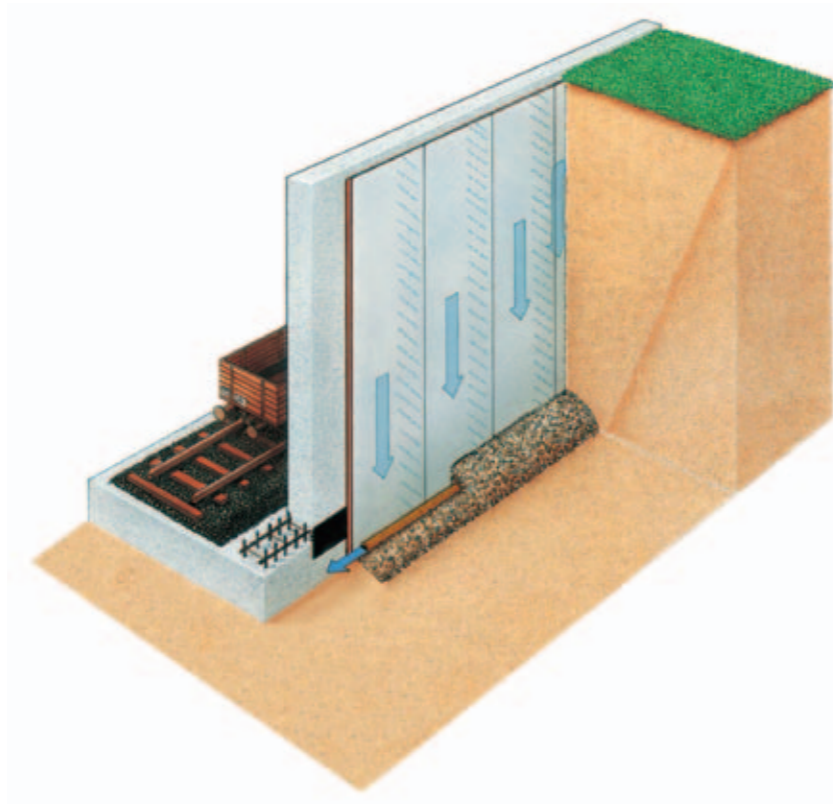
Przekrój obudowy częściowo przepuszczalnej.



# Inne zastosowania w inżynierii wodno-łądowej

## Niezawodna ochrona ścian oporowych

W celu ochrony i zabezpieczenia skarp w sytuacjach, gdy warunki nie pozwalają na zastosowanie naturalnego nachylenia, konieczne jest wykorzystanie ścian oporowych. Znajdują się one – często w postaci kanciastej – w wykopach torów, tunelach, mostach, drogach wzdłuż brzegów rzek, rampach dostępnych do podziemnych parkingów, itp. Ponieważ ich obciążenie jest zazwyczaj jednostronne, są one narażone na naprężenia zginające. Nawet jeśli ściany te są dość niskie, nie można wykluczyć ryzyka, że woda pod ciśnieniem zagrozi ich stabilności. To zagrożenie można skutecznie kontrolować poprzez instalowanie systemu odprowadzenia strukturalnego, jak np. DELTA®-TERRAXX, który składa się z folii kubełkowej i wtapianej geowłókniny, która przytrzymuje ziemię, ale umożliwia przepływ wody.



18 Częściowo przepuszczalna/nieprzepuszczalna obudowa.

DELTA®-TERRAXX zapewnia stabilność.

## Bezpieczne odciążenia przyczółków mostowych

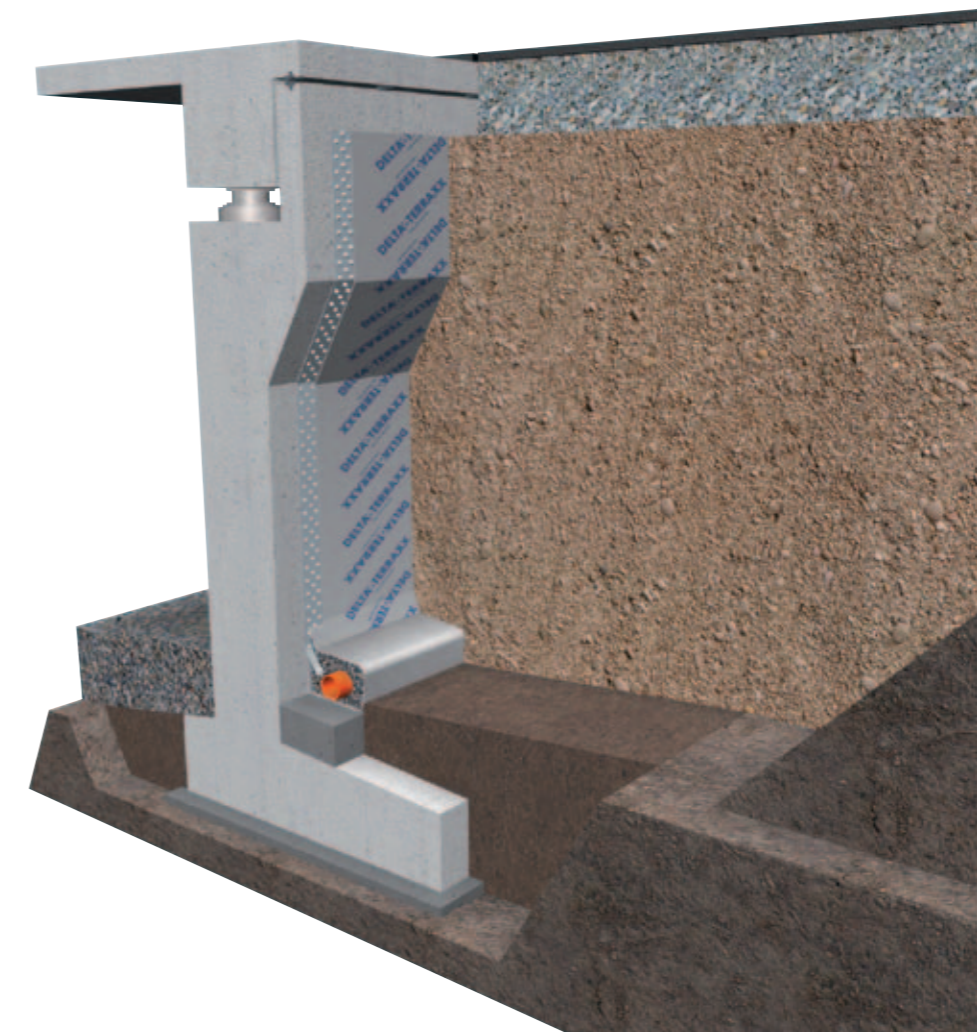
Funkcja przyczółka mostowego polega na przeniesieniu pionowych i poziomych sił wywołanych przez masę mostu i natężenie ruchu, a także przez siłę hamującą i siłę wiatru z naziemnej części budowli do podziemia. Poprzez pochłanianie siły nacisku ziemi, przyczółki zabezpieczają wał/ nasyp.

Przyczółek mostowy składa się z fundamentu, ścian przyczółka i powierzchni podtrzymującej łożysko mostowe. Wszyst-

kie te elementy muszą być skonfigurowane w taki sposób, aby wytrzymać ruchy i skręcanie powodowane przez natężenie ruchu, wahania temperatur, trzęsienia ziemi, naprężenie wstępne, kurczenie, pęcznienie, itp.

Przyczółki mostowe bezwzględnie wymagają zewnętrznej warstwy drenażowej wykonanej na przykład z folii kubełkowych DELTA®-TERRAXX, pokrytych geowłókniną, ponieważ bez takiej warstwy

stabilność konstrukcyjna przyczółka może być nadwątlona przez wdierającą się wodę. W Niemczech standardowy schemat opublikowany przez Federalny Urząd Drogowy zaleca instalowanie skutecznych warstw drenażowych za przyczółkami mostowymi w celu uwolnienia ich od wody.



Przyczółek mostowy: dobrze zabezpieczony przed ciśnieniem źródła wody.



# Rozwiązanie

## w zakresie przepuszczalnych obudów i gruntów

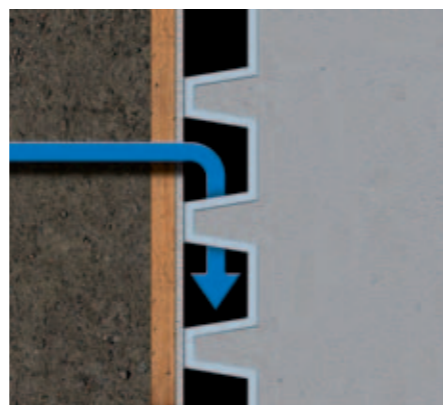
Ściany oporowe, przyczółki mostowe, a w szczególności palościanki „berlińskie” powinny być wyposażone w skuteczne folie drenażowe zgodne z wymaganiami normy DIN 4095 dot. powierzchni granicznych z gruntem.

Oznacza to konieczność zastosowania warstwy filtracyjnej, aby zabezpieczyć warstwę przeciekową przed zapchaniem drobinami ziemi przenikającej przez węzły w obudowie.

Optymalnym rozwiązaniem tego problemu jest produkt DELTA®-TERRAXX, pełniący podwójną funkcję - warstwy filtracyjnej i przeciekowej. Wtopiona geowłóknina filt-

racyjna powinna być skierowana w stronę warstwy wodonośnej. Samoprzylepne, nachodzące na siebie strefy zapobiegają wtargnięciu zaprawy cementowej i zapchaniu warstwy przeciekowej w trakcie wylewania betonu. Z uwagi na fakt, że tłoczenia są rozmieszczone ukośnie, DELTA®-TERRAXX ma zdolność uformowania się na kształt zbliżony do palościanek bez osłony. Dwie inne nadające się do takich zastosowań folie kubełkowe laminowane geowłókniną to DELTA®-GEO-Drain TP 800 i DELTA®-NP-Drain.

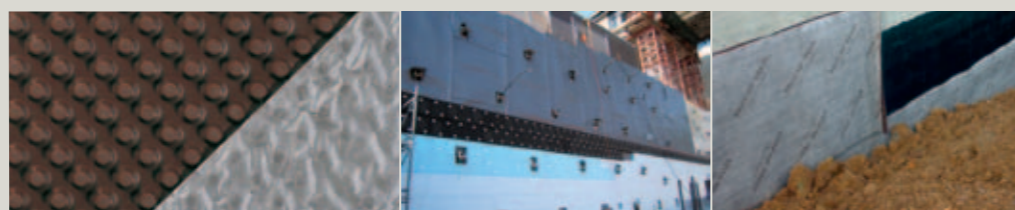
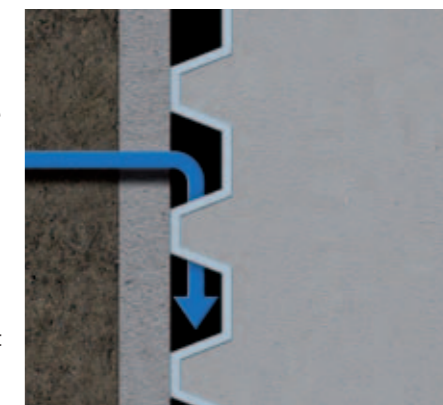
Woda przeciekająca przez obudowę lub grunt jest filtrowana przez geowłókninę i odprowadzana przez folię kubełkową



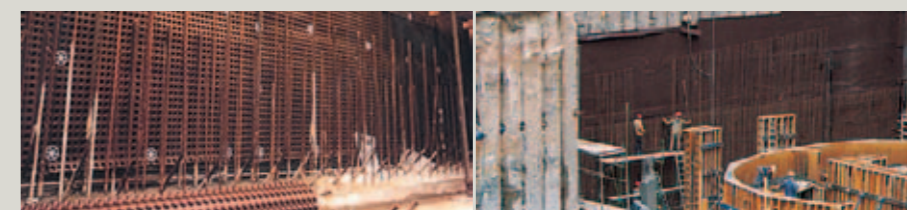
## w zakresie częściowo przepuszczalnych obudów

Na ścianach szczelinowych lub obudowach tworzonych metodą betonu natryskowego skuteczne będą „gole” folie kubełkowe typu DELTA®-MS 20 lub DELTA®-MS. Można je instalować poziomo lub pionowo jako trwałe szalunek pomiędzy obudową z betonu natryskowego lub ścianką szczelinową, a betonową ścianą budynku, przy czym tłoczenia powinny być skierowane ku obudowie.

Warstwa betonu natryskowego lub betonu pełniąc funkcję filtra, zabezpiecza warstwę przeciekową przed dostaniem się drobin ziemi. Metoda ta umożliwia odprowadzenie i/lub zmianę kierunku wdzierającej się wody w kontrolowanych warunkach podczas fazy budowy, tak aby nie zakłócała ona procesu zastygania betonu, w szczególności betonu wodoodpornego. Po wykonaniu konstrukcji wdzierająca się woda będzie odprowadzana nie powodując nacisku.



Właściwości	DELTA®-GEO-DRAIN TP 800	DELTA®-TERRAXX	DELTA®-NP DRAIN
Folia kubełkowa	HDPE brązowa	HDPE srebrna	HDPE brązowa
Geowłóknina filtracyjna	PP grau	PP grau	PP grau
Wysokość tłoczenia	9 mm	9 mm	8 mm
Wytrzymałość na ściskanie (obciążenie przejściowe)	650 kN/m <sup>2</sup>	400 kN/m <sup>2</sup>	150 kN/m <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie (obciążenie trwałe)	200 kN/m <sup>2</sup>	90 kN/m <sup>2</sup>	70 kN/m <sup>2</sup>
Wytrzymałość na rozciąganie	6,0 kN/m <sup>2</sup>	6,0 kN/m <sup>2</sup>	6,0 kN/m <sup>2</sup>
Wielkość porów O90	150 µm	150 µm	110 µm
Wytrzymałość na dynamiczne przebicie (perforację)	40 mm	40 mm	40 mm
Maksymalna głębokość instalacji	20 m	10 m	7 m
<b>Zdolność drenażowa w l/s · m i=1</b>			
Bez ściskania	3,5	3,5	2,25
Przy sile 20 kN/m <sup>2</sup>	3,2	3,1	2,06



Eigenschaften	DELTA®-MS 20	DELTA®-MS
Folia kubełkowa	HDPE brązowa	HDPE brązowa
Wysokość tłoczenia	20 mm	8 mm
Wytrzymałość na ściskanie (obciążenie przejściowe)	200 kN/m <sup>2</sup>	250 kN/m <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie (obciążenie trwałe)	70 kN/m <sup>2</sup>	90 kN/m <sup>2</sup>
<b>Zdolność drenażowa w l/s · m i=1</b>		
Brak ściskania	10,0	2,25
Przy sile 20 kN/m <sup>2</sup>	8,40	2,06



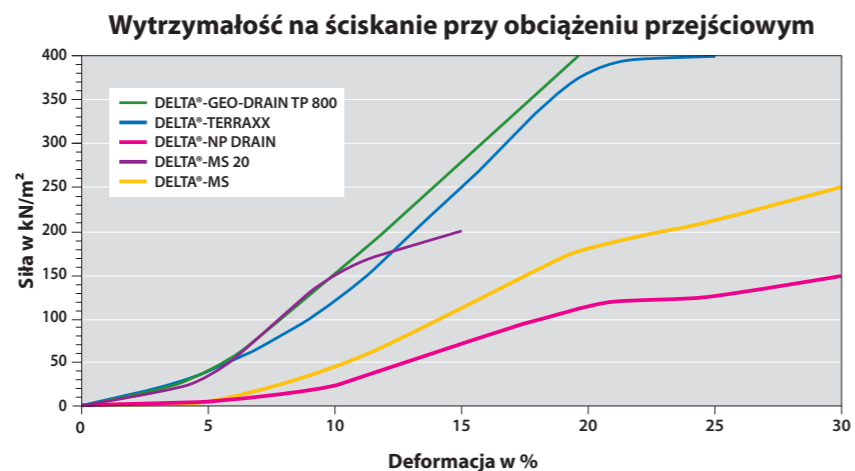
# Parametry funkcjonalne folii kubełkowych DELTA®

## Wytrzymałość na ściskanie, obciążenie przejściowe

Podobnie jak we wszystkich nowoczesnych systemach drenażowych, na zdolność drenażową folii kubełkowych DELTA® wpływają lokalne obciążenia ściskające. Ściskanie spowoduje zgniecenie każdego materiału drenażowego w mniejszym lub większym stopniu. W terenie folie drenażowe mogą być narażone na przejściowy nacisk (spowodowany na przykład przez szalunek), a także trwałe obciążenia (np. nacisk ziemi).

### Przykład:

W przypadku narażenia na działanie przejściowego nacisku o sile 250 kN/m<sup>2</sup> (co odpowiada obciążeniu 25 t/m<sup>2</sup>), DELTA®-TERRAXX ulegnie kompresji o 15 %.



### Ściskanie szalunku /

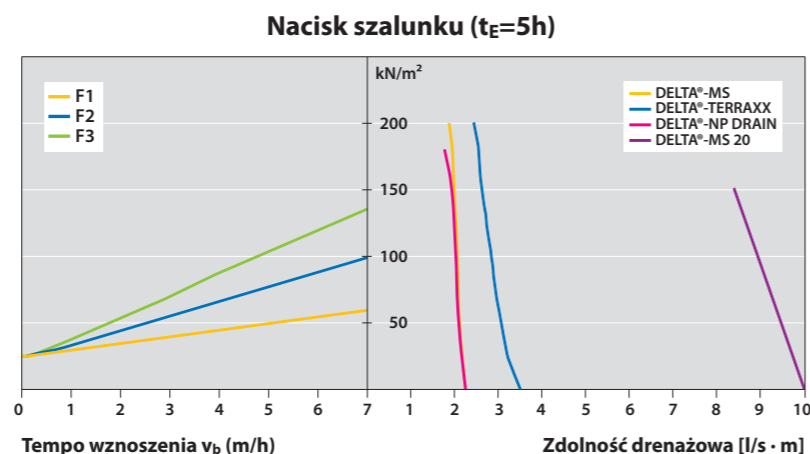
#### folie kubełkowe jako trwałe szalunek

Folie kubełkowe często stosuje się jako trwałe szalunek, co oznacza, że beton wylewa się bezpośrednio na nie.

Ciśnienie wywierane przez świeżo wylewany beton, zasadniczo zależy od konsystencji materiału i tempa wznoszenia w miarę wylewania, jest w przybliżeniu hydrostatyczne. Maksymalne ciśnienie można ograniczyć poprzez ograniczenie tempa wznoszenia. Beton będzie wywierać ciśnienie jedynie do czasu zastygnięcia.

### Przykład:

Beton należący do klasy spójności F2 wylewany w tempie 5 m/godz. będzie wywierał ciśnienie na szalunek wynoszące około 60 kN/m<sup>2</sup>. W tych warunkach zdolność odprowadzenia wody produktu DELTA®-MS 20 będzie wynosić około 9,4 l/s · m.



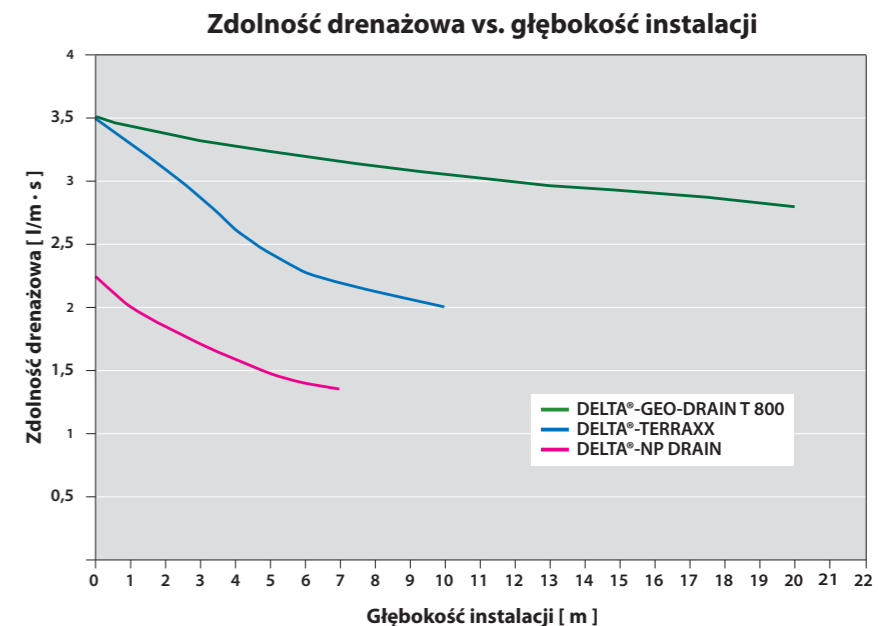
## Wytrzymałość na ściskanie przy obciążeniu trwałym

### Trwałe obciążenie a głębokość instalacji

Nacisk gruntu oddziałujący trwale na konstrukcję budynku, a tym samym na zainstalowane folie kubełkowe i drenażowe, zależy od głębokości instalacji. Przytoczone na wykresie dane dot. zdolności drenażowej opierają się długoterminowych testach, których wyniki ekstrapoluje się w celu pokazania stanu folii po 50 latach eksploatacji.

### Przykład:

W przypadku zainstalowania na głębokości 3 m, zdolność odprowadzenia wody folii DELTA®-TERRAXX wynosi 2,8 l/s · m.

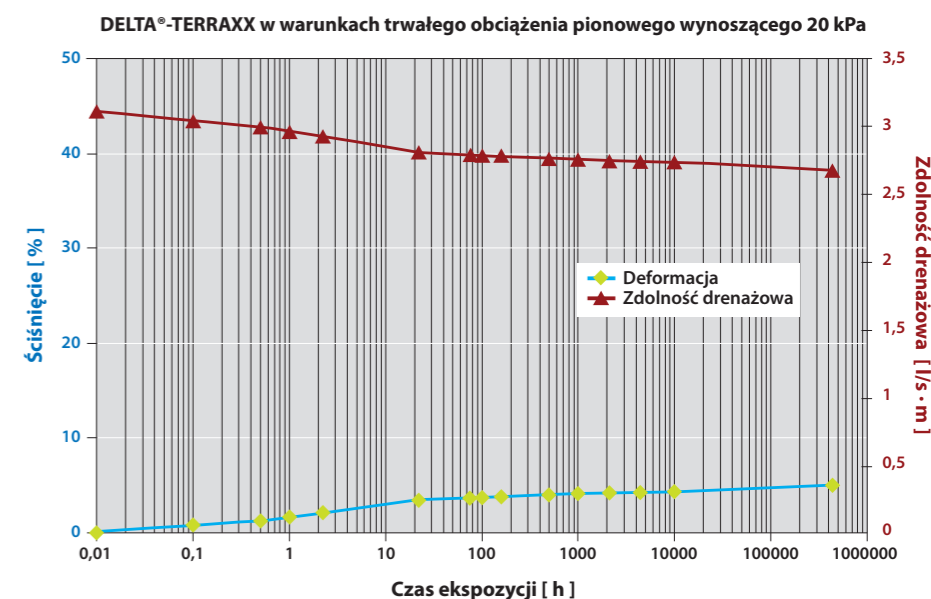


### Zdolność drenażowa w warunkach trwałego obciążenia

Niezależny instytut badawczy zbadał, jak w miarę upływu czasu zmienia się zdolność drenażowa folii DELTA®-TERRAXX w przypadku ekspozycji na trwałe obciążenie o sile 20 kN/m<sup>2</sup>. Pomiar prowadzono przez okres jednego roku, a następnie wyniki ekstrapolowano na 50 lat (1 000 000 godz.).

### Wynik:

DELTA®-TERRAXX oferuje maksimum bezpieczeństwa. Brązowa i niebieska krzywa wskazują odpowiednio zdolność drenażową i deformację. Obie są przedstawione jako funkcja czasu ekspozycji.







# Budowa tuneli

## Wyjątkowa dyscyplina w górach

Budowniczy tuneli korzystają z know-how znanego od wieków w sektorze wydobywczym, gdzie chodniki zabezpiecza się podporami i belkami drewnianymi. Podobnie wykorzystują oni technikę stosowaną do budowy sklepień kolebkowych. Projekt tunelu wymaga dokładnych informacji na temat warunków geologicznych i właściwości mechanicznych skały, a także konfiguracji, składu i przebiegu jej warstw. Dalsze czynniki o kluczowym znaczeniu obejmują gospodarkę wodną warstw skały, występujące ciśnienie i analizę właściwości mechanicznych gleby. „Projekt przekroju poprzecznego” określa ograniczenia otwartej przestrzeni, wytrzymałość obudowy, izolację wodochronną, zarządzanie wodą i wentylację.

Generalną zasadą jest to, że tunel składa się z dwóch rur, jedna wewnątrz drugiej – zewnętrznej i w wewnętrznej osłonie. W zależności od stanu skały, sytuacji wodnej i konfiguracji zewnętrznej osłony, sklepienie, a także dno tunelu mogą być narażone na działanie wody wdzierającej się ze szczelin, a jeśli skała przykrywająca konstrukcję jest cienka, na wodę przepływającą z powierzchni. W takich przypadkach w trakcie budowy, a także w stanie ukończonym, sprawą pierwszorzędnej wagi

jest skuteczne odprowadzenie wody. To, czy w długim okresie tunel pozostanie stabilny, czy nie, zależy zasadniczo od tego, czy jego osłona wewnętrzna oraz podłoże zostały skutecznie zabezpieczone przed napierającą wodą i wszelkimi uszkodzeniami mrozowymi, które mogą zaistnieć. Agresywna woda pojawiająca się ze skał może atakować i niszczyć betonowe osłony i stalowe zbrojenia. Woda powierzchniowa i woda ze szczelin, która wdziera się pomiędzy wewnętrzną a zewnętrzną osłoną musi zostać wychwycona i odprowadzona ze sklepienia, ławy i dna tunelu za pośrednictwem odprowadzenia strukturalnego i warstw przeciekowych w kontrolowanych warunkach. Szczególnie tam, gdzie obecna jest agresywna woda ze szczelin, można stosować efektywne kosztowo systemy izolacji wodochronnej, które nie są zaprojektowane w taki sposób, aby wytrzymywać ciśnienie źródła wody, toteż należy je łączyć ze skutecznym odwodnieniem.

Jeśli tunel jest usytuowany powyżej poziomu wód podziemnych i woda ze szczelin jest wolna od agresywnych komponent, wodę przeciekową lub wodę ze szczelin napierającą na sklepienie i ławę można odprowadzać w płaszczyźnie bocznej do

podstawy tunelu. W takim przypadku na dnie tunelu nie potrzeba żadnej izolacji wodochronnej ani drenażu, z tego powodu taką kompozycję nazywa się „regulą parasola”. Izolację wodochronną typu „wrap-around” wykonuje się zazwyczaj w dwóch warstwach.

Folie kubełkowe i drenażowe do budowy tuneli opracowuje się często dla specyficznych klientów i od czasu do czasu poddaje się je wszechstronnym procesom zapewnienia jakości.

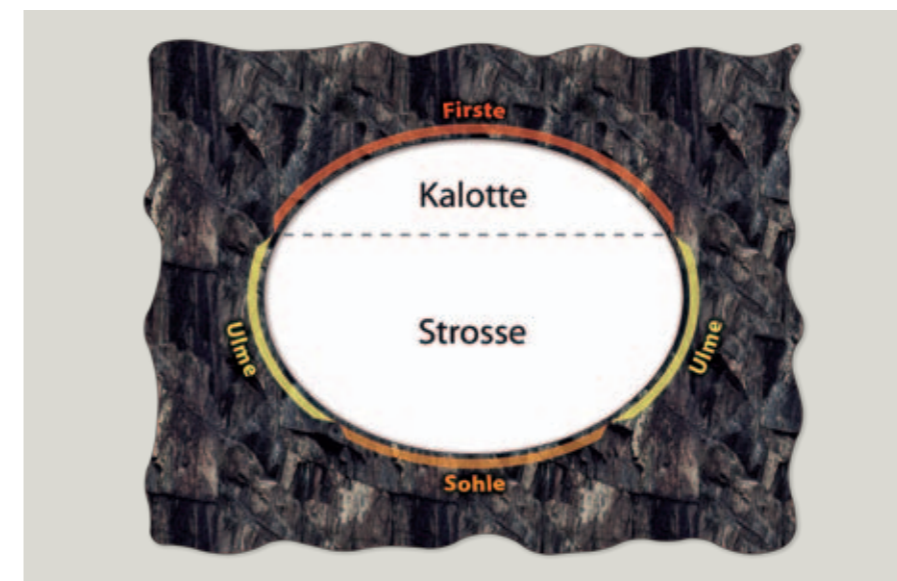
DELTA®-MS 20 i DELTA®-MS to standardowe folie drenażowe do budowy tuneli. DELTA®-AT 800 i DELTA®-AT 1200 są specjalnie zaprojektowanymi przemysłowymi kubełkowymi foliami drenażowymi, stosowanymi na przykład w tunelu Gotthard Base Tunnel.

Jeśli do budowy tuneli używa się wodoodpornego betonu, zalecane i uzasadnione jest instalowanie systemu drenażowego do ochrony nawet w fazie budowy, ponieważ ten rodzaj betonu nie może być narażony na działanie wody przeciekowej ani ciśnienie hydrostatyczne podczas zastygania.

Folie kubełkowe są siłą rzeczy przebijane w procesie mocowania. Nie stanowi to jednak wady, ponieważ nieprzepuszczalność wody jest gwarantowana nie przez folię kubełkową, a przez wewnętrzną powłokę betonową (o ile jest wykonana z wodoodpornego betonu) lub dodatkową warstwę plastikowego pokrycia. Kubełkowa folia plastikowa pełni funkcję warstwy przeciekowej i w ten sposób odciąża izolację wodochronną, umożliwiając odprowadzenie wody przeciekowej bez wywierania ciśnienia.

### Metody budowy i drążenia

W budowie tuneli dokonuje się podstawowego rozróżnienia pomiędzy metodą odkrywkową (cut-and-cover) i zamkniętą metodą górniczą, w której tunel drążą się z jednego lub obu punktów końcowych.



Głównymi elementami tuneli są sklepienie (trzcina, górna część przekroju tunelu), ława (niższa

część przekroju tunelu), dach wiszący (pałap tunelu), ściany boczne i dno.



# Tunel podziemny - metody budowy

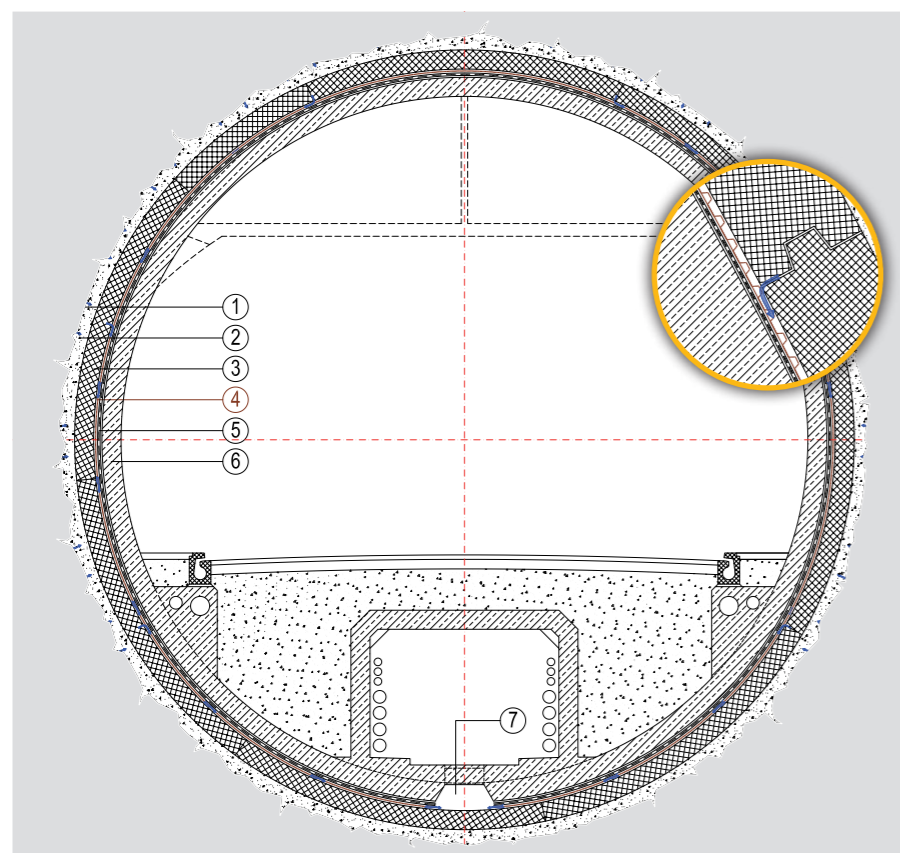
## Zamknięte struktury z segmentami tubingowymi

Aby zbudować tunel zlokalizowany całkowicie pod ziemią, stosuje się maszyny TBM z tarczą lub drążące. Projekt tych maszyn pozwala jedynie na okrągłe przekroje. Wykop o przekroju całkowitym (full-section) zabezpiecza skałę i zazwyczaj sprzyja czasom budowy krótszym niż w przypadku wykopu o przekroju częściowym (partial section). Wiąże się on jednak z relatywnie dużym wysiłkiem operacyjnym i jest rzadko stosowany w trudnych warunkach, ponieważ nie pozwala na wystarczająco elastyczne reagowanie w nieprzewidywanych sytuacjach.

### Tubingi

Tubingi są to prefabrykowane segmenty betonowe, stosowane jako elementy usztywniające konstrukcji tunelu. Generalną zasadą jest, że pełen pierścień formuje siedem segmentów. Tunel składa się z pewnej liczby takich pierścieni. Tubingi układane są przez maszyny drążące, które zapewniają sobie przyczepność zapierając się o boki innych, ułożonych wcześniej tubingów. Węzły pomiędzy tubingami uszczelnia się przy użyciu taśm wodoodpornych wyko-

nanych z neoprenu, itp., mimo to tubingi nie zawsze są faktycznie wodoodporne. Do przecieków dochodzi w szczególności w węzłach pomiędzy dwoma tubingami i w miejscach, w których obecne są pęknięcia na krawędziach prefabrykowanych komponentów. Z tego względu zaleca się stosowanie folii drenażowych, które często wyklada się na całej powierzchni lub rzadziej tylko w miejscach, gdzie są potrzebne.



Siedem tubingów formuje jeden pierścień.



Wycieki przed zastosowaniem folii drenażowej.

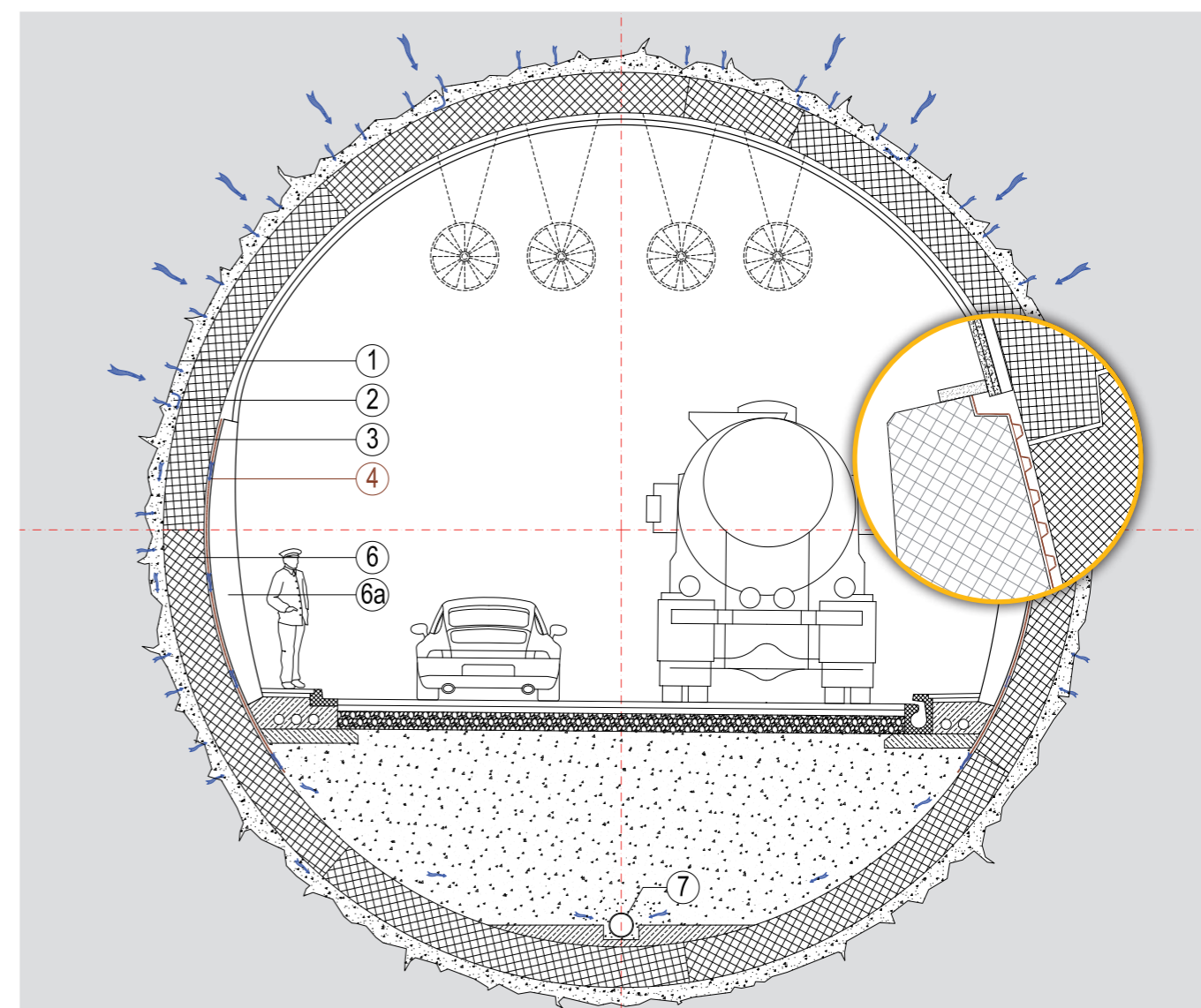
### Przykłady z terenu

Budowę tunelu pod rzeką Weser zakończono w 2004 r. Łączy on Bremerhaven z Nordenham i ma 1,6 km długości. Obie rury zbudowano z tubingów przy użyciu TBM. W celu dodatkowego zabezpieczenia, do rzeki Weser nasypało 100 000

ton skały, aby wzmocnić warstwę gleby pomiędzy rzeką a tunelem. Najniższy punkt tunelu jest położony 40 m poniżej poziomu morza i 20 m poniżej poziomu rzeki Weser.

W celu ochrony podtrzymującej konstrukcji tubingowej, ściany boczne wzmocniono betonem w celu zabezpieczenia ich przed

kolizjami. Pomędzy zabezpieczeniem przed kolizjami a tubingami umieszczono trwałe rusztowanie z folii DELTA®-MS wytworzone w oparciu o specjalną formułę, aby uformowało warstwę przeciekową. Sklepienie osłonięto płytami budowlanymi. Linie 4 tunelu Elbe w Hamburgu zbudowano na tej samej zasadzie.



Przykład: przekrój poprzeczny tunelu Bremerhaven Weser: 1. Teoretyczny wykop, 2. Okrężne pogłębienie otworu, 3. Tubingi, 4. Folia drenażowa, 5. Wewnętrzna osłona, 6.a) Zabezpieczenie przed kolizjami z betonu, 7. Odwodnienie liniowe.



# Tunel podziemny - Metody budowy

## Beton natryskowy: Bezpieczeństwo w górach

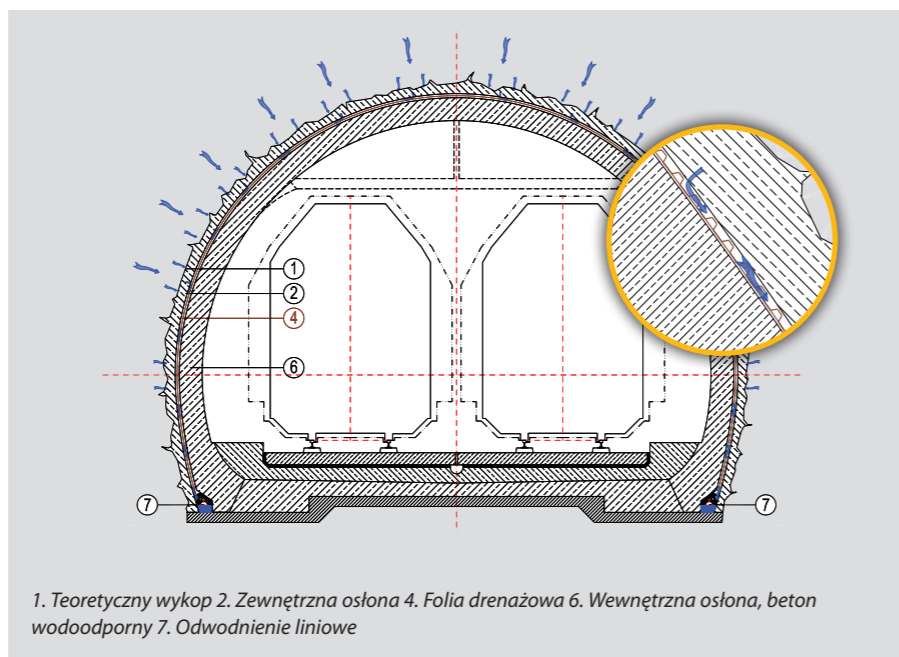
Tunele drążą się w skałę albo w oparciu o tradycyjny proces robót strzałowych albo przy użyciu maszyn do drążenia tuneli. Skałę sypką przenosi się do taśmociągów przy użyciu automatycznych podajników i odprowadza na zewnątrz. W nowoczesnych, kompletnie wyposażonych tunelach, odsłonięte powierzchnie zabezpiecza się betonem natryskowym, kotwami skalnymi, stalowymi kotwami i innymi elementami budowlanymi. Stosuje się duże, w pełni zautomatyzowane maszyny, nie ma konieczności konstruowania drewnianych ścian. Określa się to mianem budowy metodą betonu natryskowego.

Elementem konstrukcyjnym zabezpieczającym skałę jest beton natryskowy wraz z kotwami, matami zbrojeniowymi i stalowymi łukami. Tworzy to zblokowane połączenie budowli i skały, które jest wolne od zagłębień i sprawia, że efekt podporowy pochodzi w większości ze skały. Aby uniknąć koncentracji nacisków, przekroje poprzeczne tunelu zachowują kształt okrągły lub owalny zawsze wówczas, gdy jest to możliwe.

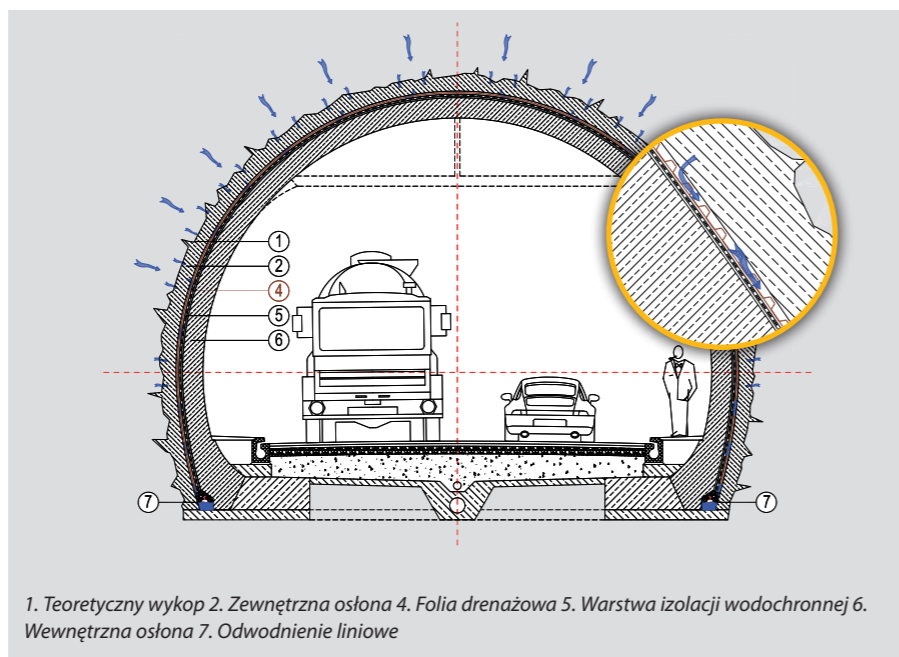
Jedną z najistotniejszych przesłanek, od których zależy bezpieczeństwo operacyjne i żywotność tunelu, jest utrzymywanie szkodliwej wody przenikającej ze skał z daleka od wewnętrznego poszycia i strefy ruchu. Z tego względu skuteczność i żywotność warstw drenażowych ma szczególne znaczenie w tym kontekście. Niedostatecznie wytrzymałe warstwy drenażowe, takie jak grube materiały ochronne, mogą spieć się relatywnie szybko.

Termin „spiekanie” odnosi się do problemu znanego budowniczym tuneli: formowania złóż  $\text{CaCO}_3$ , które są krystaliczne i topią się z tlenkami metali. Jeśli ta substancja nie może pozostać w roztworze z powodu parowania wody, różnic temperatur lub ciśnień, bądź obecności środków nukleujących, osiądzie ona w warstwie drenażu. W tym przypadku skuteczną alternatywę oferują folie kubelkowe DELTA®: ich zdolność drenażowa na poziomie od  $2,25 \text{ l/s} \cdot \text{m}$  do  $10 \text{ l/s} \cdot \text{m}$  sprawia, że są one sensownymi i niezawodnymi narzędziami do stałego zarządzania wodą w projektach budowy tuneli wszelkich rodzajów.

### Odprowadzanie wody skalnej w budowie tunelu

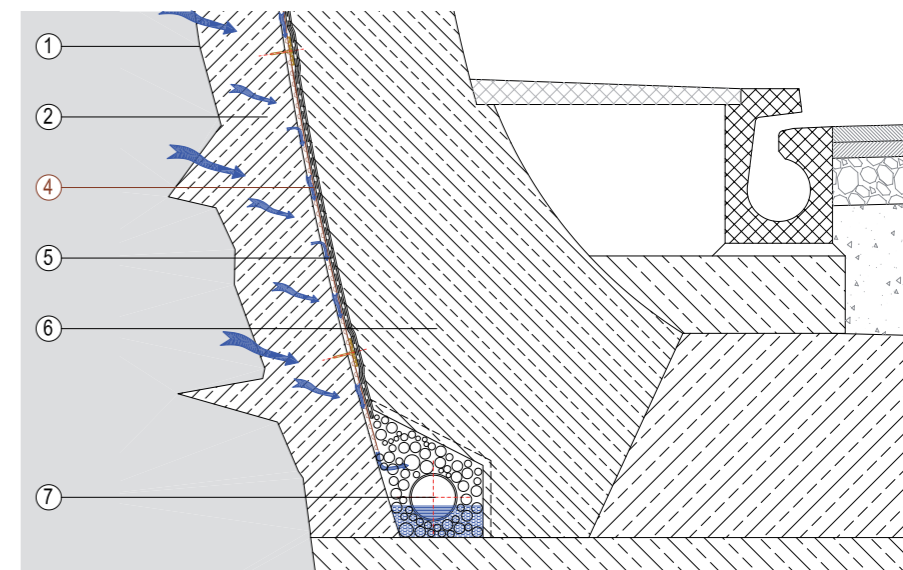


Przykład 1: Tunel kolejowy wyposażony w hamowanie drgań w układzie masa - sprężyna i izolację wodochronną z wodoodpornego betonu, z foliami kubelkowymi pełniącymi funkcję trwałego szalunku. Stanowi to ochronę przed napływem wody przeciekowej w fazie zastygania



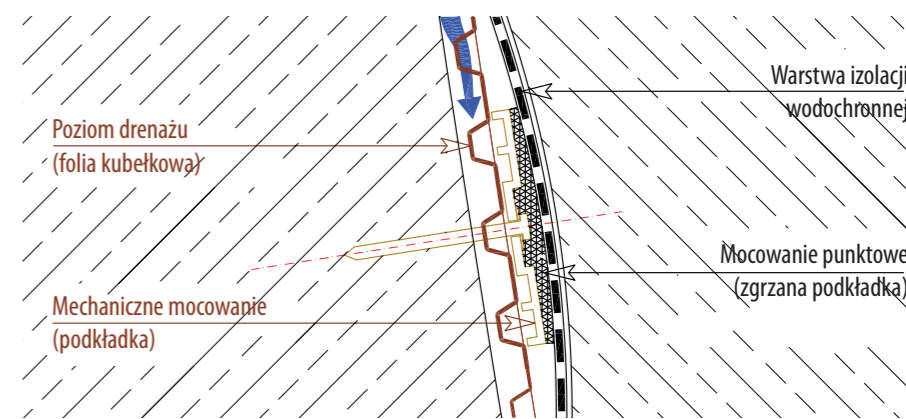
Przykład 2: Tunel drogowy wyposażony w izolację wodochronną typu parasolowego z użyciem folii plastikowej. Odprowadzenie przez folie kubelkowe, które doprowadzają wodę przeciekową do rury odpływowej w podstawie. Optymalna izolacja wodochronna (patrz informacje szczegółowe dot. podstawy).

Przy tłoczeniach skierowanych na zewnątrz, tj. w kierunku otaczającej skały lub warstwy betonu natryskowego służącego do stabilizacji i filtracji, formują one spójny system kanałów, przez które woda pojawiająca się ze skały może odpływać w sposób niezakłócony (patrz informacje szczegółowe dot. podstawy).



Przykład 2: informacje szczegółowe dot. podstawy  
1. Teoretyczny wykop 2. Zewnętrzna osłona 4. Folia drenażowa 5. Warstwa izolacji wodochronnej 6. Wewnętrzna osłona 7. Linia odprowadzeniowa

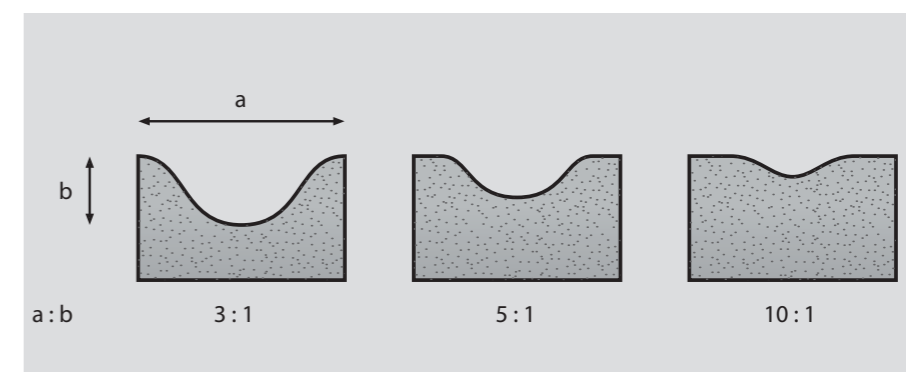
Plastikowe warstwy izolacji wodochronnej, które nakłada się bezpośrednio na folie kubelkowe i mocuje przy użyciu podkładek (patrz szczegółowe informacje dot. mocowania), od początku nie są narażone na żadne hydrostatyczne ciśnienie.



Szczegółowy schemat przestawiający mocowanie podkładek.

### Stan substratu w przypadku osłon zewnętrznych z betonu natryskowego

Stan substratu musi być taki, aby folia kubelkowa i/lub warstwa izolacji wodochronnej nie były narażone w żadnym miejscu na nadmierne lokalne naciski. Minimalny rozmiar zagłębień, które mają być pokryte foliami kubelkowymi, powinien wynosić 20 cm, a proporcja średnicy do głębokości nie powinna być mniejsza niż 10 : 1. Wszelkie ostre krawędzie należy usunąć.



Zagłębienia w betonie natryskowym.



# Rozwiązanie

## Folie kubełkowe w tunelu drążonym metoda górniczą

Folie kubełkowe DELTA®-MS-20 i DELTA®-MS stosuje się standardowo do drenażu w budowie tuneli. Folie kubełkowe DELTA®-AT 800 i 1200 są opracowane specjalnie do zastosowań przemysłowych, stosowanych na przykład w tunelu Gotthard Base Tunnel.

### DELTA®-AT 1200 i DELTA®-AT 800

Nadzwyczajna wytrzymałość na ściskanie tych przemysłowych folii kubełkowych o zdolności drenażowej na poziomie 3,5 l/s · m przy  $i = 1$ , sprawia, że są one idealnymi warstwami drenażowymi w obszarach narażonych na duże obciążenia. DELTA®-AT 800 to wariant folii DELTA®-AT 1200, który został opracowany do zastosowania w

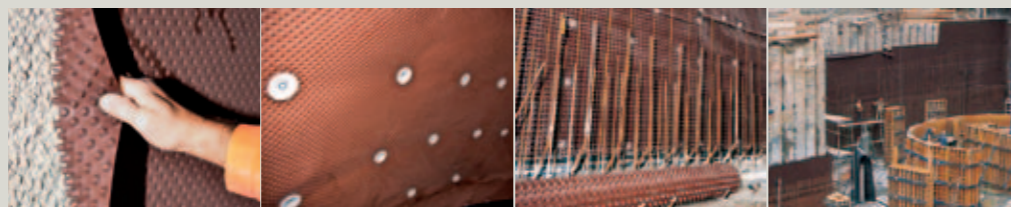
obszarach, gdzie wymagania w zakresie wytrzymałości na ściskanie są mniej surowe. Folie o odpowiedniej trwałości, aby ich żywotność wynosiła 100 lat, charakteryzują się wyjątkową wytrzymałością chemiczną, nawet przy znaczących wzrostach temperatury pod ziemią (patrz tunel Gottharda). Zdolność drenażowa obu folii pozostaje większa niż 3 l/s · m nawet przy dużych obciążeniach rzędu 20 ton/m<sup>2</sup>.

**DELTA®-MS 20** oferuje wielokrotnie większą zdolność drenażową niż zwykłe folie kubełkowe, co sprawia, że jest jeszcze bezpieczniejsza. Pozwalając uzyskać zdolność drenażową na poziomie 10 l/s · m

przy gradiencie hydraulicznym na poziomie  $i = 1$ , jej otwory powietrzne o rozmiarze 20 mm oferują wystarczającą rezerwę w przypadku zredukowania przekrojów w wyniku spiekania z biegiem lat.

**DELTA®-MS** również można stosować w budowie tuneli o mniejszym przepływie wody; jej otwory powietrzne o rozmiarze 8 mm oferują zdolność drenażową na poziomie 2,25 l/s · m przy  $i = 1$ .

# Gotthard Base Tunnel



Właściwości	DELTA®-AT 1200	DELTA®-AT 800	DELTA®-MS 20	DELTA®-MS
Folia kubełkowa	HDPE brązowa	HDPE brązowa	HDPE brązowa	HDPE brązowa
Wysokość tłoczenia	9 mm	9 mm	20 mm	8 mm
Wytrzymałość na ściskanie (obciążenie przejściowe)	950 kN/m <sup>2</sup>	650 kN/m <sup>2</sup>	200 kN/m <sup>2</sup>	250 kN/m <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie (obciążenie trwałe)	min. 200 kN/m <sup>2</sup>	min. 200 kN/m <sup>2</sup>	70 kN/m <sup>2</sup>	90 kN/m <sup>2</sup>
Zdolność drenażowa w l/s · m $i = 1$				
Bez ściskania	3,5	3,5	10,0	2,25
Przy sile 20 kN/m <sup>2</sup>	3,5	3,5	8,40	2,06
Przy sile 200 kN/m <sup>2</sup>	3,2	3,1	–	–





# Konstrukcja podziemna

## Przykład dużego projektu Tunel Gotthard Base Tunnel

Nowe połączenie kolejowe przez Alpy (NEAT) to jeden z najbardziej spektakularnych współczesnych projektów budowy tuneli - tunel o długości 57 km, który będzie najdłuższy na świecie: Gotthard Base Tunnel. Tunel łączący Erstfeld w szwajcarskim kantonie Uri z Bodio w Tesynie, składa się z dwóch szybów, które biegną przez góry w odległości około 40 metrów. Dwa podziemne awaryjne przystanki (Sedrun i Faido) pozwolą pasażerom opuścić teren w razie wypadku.

W miejscu stanowiącym obecnie najdłuższy plac budowy świata, cztery maszyny drążące, każda mierząca 440 metry długości (wraz z przyczepą) i średnicy 9,58 metra, wgrzają się w górę posuwając się każdego dnia do przodu o 20-25 metrów. W niektórych segmentach, gdzie nie można

użyć maszyn drążących, tunel pogłębiany o 6-10 metrów dziennie rozsadzając ścianę skalną. Gotthard Base Tunnel jest budowany metodą betonu natryskowego, która pozwala uzyskać wolne od zagłębień spoiwo pomiędzy konstrukcją tunelu a skałą. Wewnętrzna osłona betonowa ma grubość przynajmniej 30 cm. Tunel zostanie prawdopodobnie ukończony w grudniu 2017 r.

W kwestiach bezpieczeństwa projektu zastosowanie mają najsurowsze standardy. Ma to w takim samym stopniu zastosowanie do użytych materiałów, izolacji wodochronnej, jak i folii drenażowych. Ponieważ akceptowano jedynie rozwiązania systemowe, spółka Dörken weszła w partnerstwo systemowe z producentem warstw izolacji wodochronnej. Powstałe w efekcie wspólne

rozwiązanie zostało certyfikowane i zatwierdzone jako system izolacji wodochronnej dla tunelu Gotthard przez AlpTransit Gotthard AG.

Folie stosowane w tunelu Gotthard muszą mieć żywotność nie krótszą niż 100 lat w wysoce niekorzystnych warunkach otoczenia, ponieważ miejscami woda przeciekowa i woda ze szczelin jest wysoce zasadowa i z powodu efektu geotermicznego może osiągać temperaturę nawet 45 °C.

Z tego względu specjalnie dla celów tego projektu opracowano folię drenażową cechującą się maksymalną wytrzymałością chemiczną.

Folia DELTA®-AT 1200 jest niezwykle solidna i trwała, posiada wagę 1 200 g/m<sup>2</sup> oraz wytrzymałość na ściskanie na poziomie 950 kN/m<sup>2</sup>.

W trakcie całego procesu opracowywania, harmonizacji, modyfikacji i autoryzacji, nowe folie kubelkowe musiały przejść surowy proces certyfikacji i badania. Poddano je 24-miesięcznemu badaniu starzenia, w którym były wystawione na działanie wody w temperaturze do 70 °C, roztworu kwasu siarkowego o stężeniu 0,5 % w temperaturze 50 °C i wody wzbogaczonej w tlen w temp. 70 °C, po czym zostały ponownie zbadane.

Produkcja folii musi również spełniać niezwykle surowe standardy. Próbkę są regularnie pobierane z linii produkcyjnej

i badane pod kątem zgodności z formułą i wymaganiami jakościowymi w ramach badania określania czasu indukcji utleniania (oxidation induction time - OIT). Poza tym z bieżącej produkcji regularnie pobiera się rolki, które są badane przez akredytowane szwajcarskie laboratoria pod kątem zgodności z danymi technicznymi w imieniu szwajcarskiego nadzoru budowlanego. Jedynie te serie folii kubelkowych, których jakość została poświadczona, mogą być dostarczane na plac budowy tunelu Gottharda.

W tunelu Gottharda od 2009 r. stosuje się inną przemysłową folię drenażową: DELTA®-AT 800, która stanowi nieco lżejszy wariant folii DELTA®-AT 1200, opracowany dla tych obszarów, gdzie wobec folii drenażowych

zastosowanie mają mniej surowe wymagania.

Jest ona wykonana z tej samej wysokiej jakości formuły, jej żywotność jest równie długa, ale jej waga wynosi 800 g/m<sup>2</sup>, a wytrzymałość na ściskanie 650 kN/m<sup>2</sup>. Mimo to jej parametry funkcjonalne nadal pozostają dużo lepsze niż normalnych produktów do drenażu, stosowanych w inżynierii wodno-lądowej.

W tunelu Gottharda zużyto dotąd ponad 500 000 m<sup>2</sup> folii DELTA® AT 1200 i 350 000 m<sup>2</sup> folii DELTA®-AT 800.



Widok tunelu Gottharda z zainstalowaną folią DELTA®-AT 1200.



Folia drenażowa na wierzchu wewnętrznej osłony z betonu natryskowego.



Początkowo folie są mocowane tylko w pokrywających się strefach.



Dodatkowe mocowanie za pomocą podkładek, do których później zgrzewana będzie izolacja wodochronna.



Mocowanie podkładek.



Nakładanie warstw izolacji wodochronnej.



# Konstrukcja podziemna

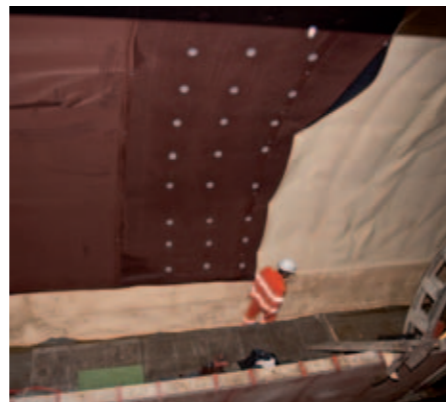
## Przykład dużego projektu Tunel Gotthard Base Tunnel



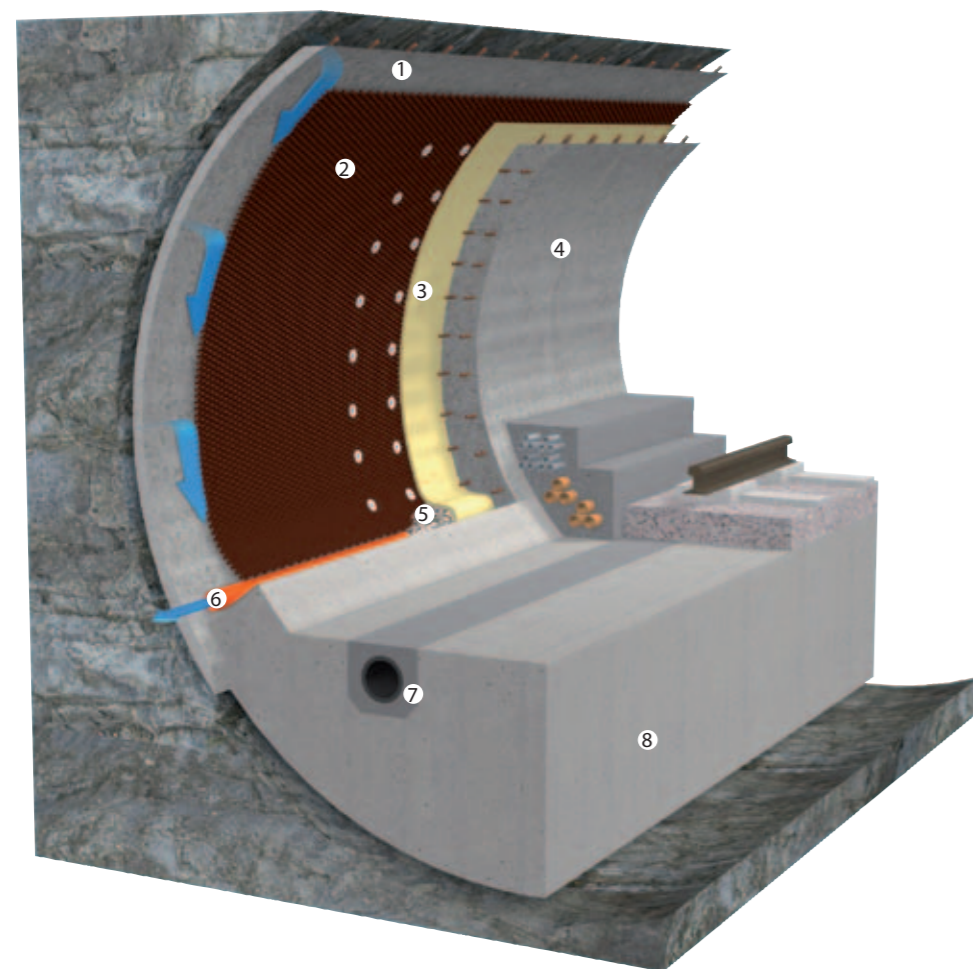
Zgrzewanie warstw izolacji wodochronnej do podkładek.



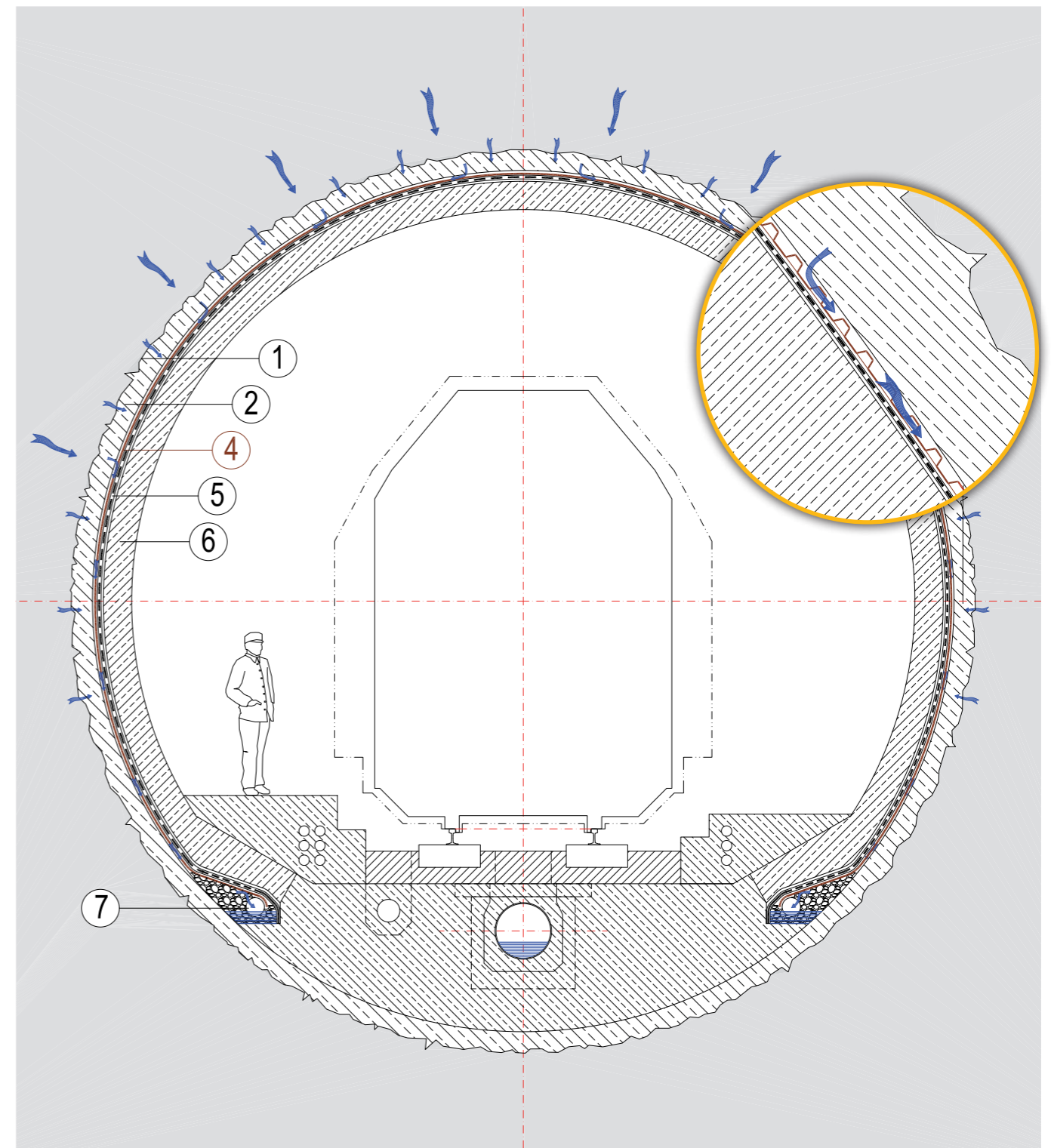
Mocowanie folii bezpośrednio z wózka instalacyjnego.



Jedna warstwa po drugiej.



1. Obudowa wykopu
2. Folia drenażowa DELTA®-AT 1200
3. Warstwa izolacji wodochronnej
4. Sklepienie tunelu (wewnętrzna osłona)
5. Żwir drenażowy
6. Odwodnienie liniowe
7. Rura zbierająca wody podziemne
8. Dno betonowe



Przekrój poprzeczny tunelu Gotthard Base Tunnel pokazujący folię drenażową.

1. Teoretyczny wykop 2. Zewnętrzna osłona 4. Folia drenażowa 5. Warstwa izolacji wodochronnej 6. Wewnętrzna osłona 7. Odprowadzenie liniowe



# tunnel kolejowy Soumagne

## Przykład: Tunnel kolejowy Soumagne

W okresie od maja 2001 r. do sierpnia 2005 r. zbudowano najdłuższy w Belgii tunnel kolejowy o całkowitej długości 6,4 km. Jest on zlokalizowany na wschód od Liege. W ramach wykonywania wykopu tunelu miały miejsce trzy operacje: najpierw wierzchołek, następnie ławka i na końcu dno. Tunnel drążono z wykorzystaniem robót strzelniczych. Skończona konstrukcja tunelu składa się z zewnętrznej osłony z betonu natryskowego zawierającego włókna, wzmocnionego łukami podtrzymującymi światło, z cięższymi łukami mocowanymi do skały przy użyciu kotw stosowanych wyłącznie w

wyjątkowych przypadkach. Następnie jest system drenażowy i izolacji wodochronnej, a dalej wewnętrzna osłona betonu in-situ. Dno jest wykonane ze zbrojonego betonu w 22-metrowych segmentach.

Aby przechwycić wodę ciekącą ze skały i doprowadzić ją do rury odprowadzającej w podstawie tunelu, bezpośrednio na warstwie betonu natryskowego zainstalowano folię DELTA®-MS. Jej celem jest zabezpieczenie izolacji wodochronnej tunelu przed ciśnieniem źródła wody. Dodatkowo oferuje ona mechaniczną ochronę wrażliwej izolacji wodochronnej, która jest położona

częściowo na nadzwyczaj nierównym gruncie, z zagłębieniami o proporcji średnicy do wysokości, która osiąga niekiedy 5 : 1.

W celu zaoszczędzenia kosztów wyrównywania tych nierówności i zmniejszenia ilości betonu natryskowego potrzebnego do wyrównania powierzchni, jako swego rodzaju wyrównanie tych zagłębień zastosowano plastikowe folie kubekowe. Następnie bezpośrednio na folię kubekową można było mocować izolację wodochronną



DELTA®-MS wird verlegt.



DELTA®-THENE T 300 für Überlappungen.

DELTA®-MS 20 zur Sicherung der Tunnelsohle.



# Bergmännischer Tunnelbau

## Przykład: Tunel kolejowy Soumagne

W celu ochrony dna tunelu przed wodą od spodu, folie kubelkowe DELTA®-MS 20 ułożono pod nieznacznym kątem pomiędzy sklepieniem dna a wewnętrzną osłoną zbrojonego betonu. Poprzez wychwytywanie średnio nawet 36 000 litrów wody na godzinę i odprowadzanie jej do podstawy tunelu, zredukowały one ciśnienie hydrostatyczne tak bardzo, że można było zainstalować bardziej płaskie płyty denne. Jednym problemem był styk poziomej

warstwy przeciekowej i odprowadzenia powierzchniowego sklepienia tunelu. W tej krytycznej strefie zainstalowano podwójną warstwę folii kubelkowych. Pozioma warstwa przeciekowa została poprowadzona pionowo w górę wzdłuż sklepienia tunelu i pokryła się częściowo z szerokim pasmem pionowego odprowadzenia powierzchniowego. Częściowe pokrywanie się folii drenażowych wzdłuż dna zostało bezpiecznie połączone i uszczelnione szerokimi pas-

kami folii DELTA®-THENE o szerokości 30 cm - zastygającej na zimno, samoprzylepnej, bituminowej membrany izolacji wodochronnej.

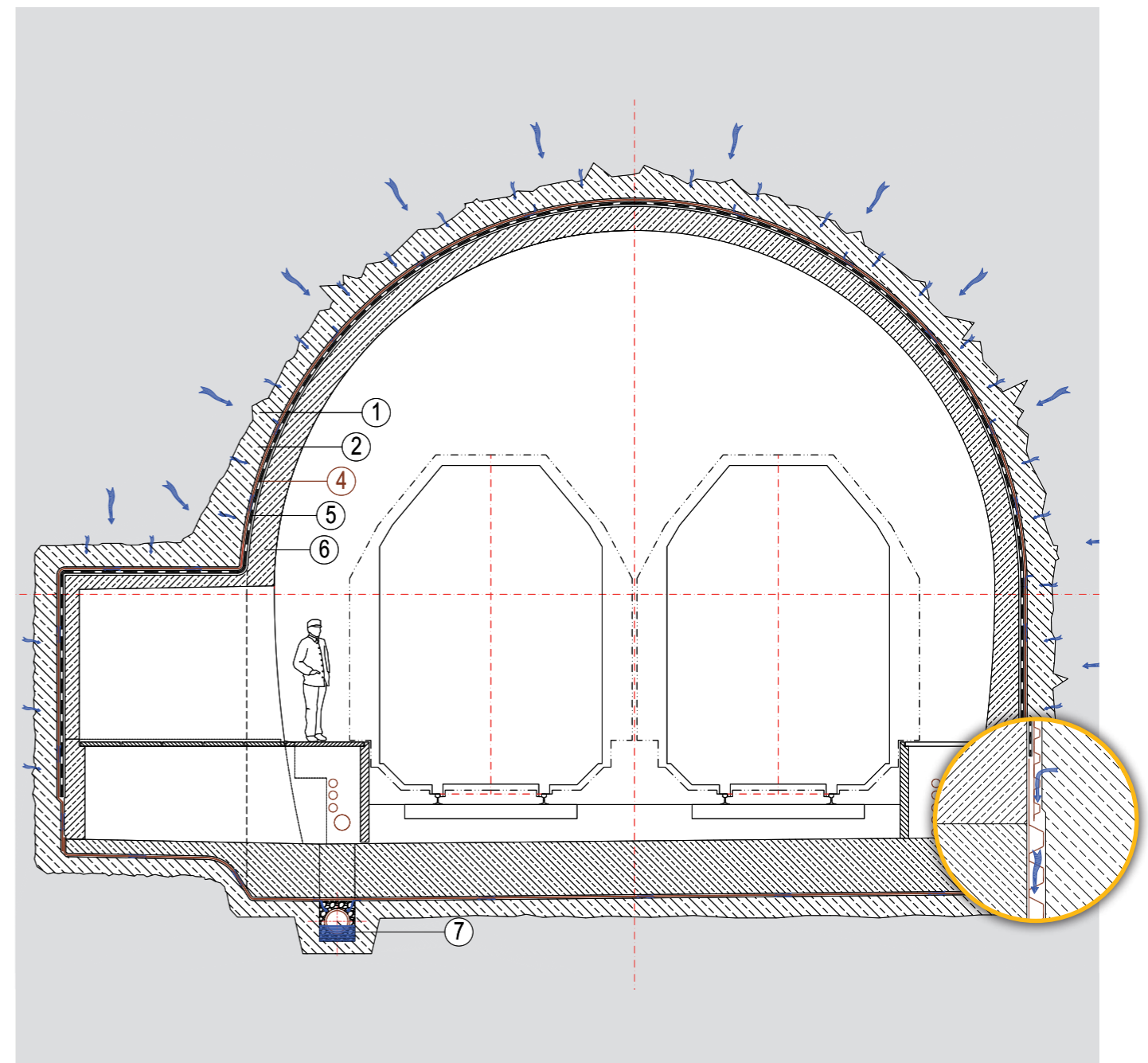
W tunelu Soumagne zużyto 180 000 m<sup>2</sup> folii DELTA®-MS i 70 000 m<sup>2</sup> specjalnej 20 mm folii kubelkowej DELTA®-MS 20



Folie ułożone podwójnie wzdłuż węzłów.



DELTA®-MS 20 na dnie, DELTA®-MS na ścianie.



Przekrój poprzeczny tunelu kolejowego Soumagne

1. Teoretyczny wykop 2. Zewnętrzna osłona 4. Folia drenażowa 5. Warstwa izolacji wodochronnej 6. Wewnętrzna osłona 7. Odwodnienie liniowe



# Modernizacja tunelu

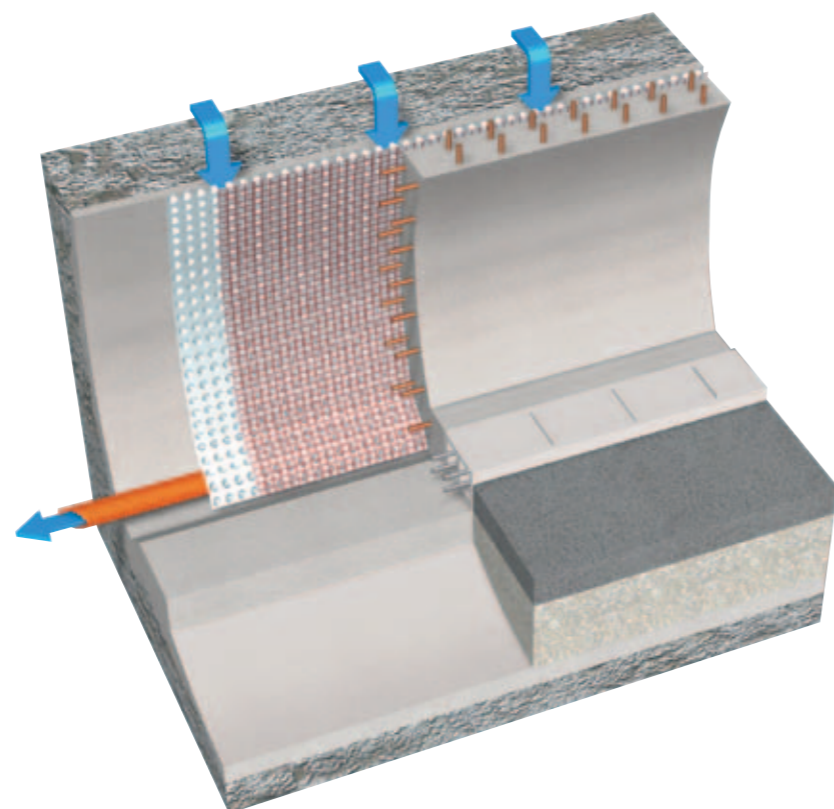
## Przykład: tunel kolejowy Nové Hamry

Wiele starszych tuneli przecieka, ponieważ są one wykonane z kamienia, ponieważ ich izolacja wodochronna jest nieodpowiednia lub po prostu z powodu swojego wieku. Zimą mogą formować się w nich długie, niebezpieczne sople. Sklepienia są nie tylko mokre, ale tracą one również swoją stabilność konstrukcyjną, ponieważ zaprawa murarska pomiędzy cegłami kruszy się. Jeśli chodzi o tunele kolejowe, często zdarza się, że nie ma możliwości zamknięcia linii w celu modernizacji. W takich przypadkach tunel należy częściowo rozebrać odcinek po odcinku i zbudować ponownie z zastosowaniem metody betonu natryskowego, jednak nie powala to na zabezpieczenie izolacją wodochronną całego łuku.

### Rozwiązania dla celów modernizacji

W wielu przypadkach uszkodzeniom spowodowanym przez wodę można skutecznie zapobiegać poprzez modernizację jedynie systemu drenażowego. Po obudowaniu łuku folią kubelkową DELTA®-PT z wtopianą plastikową siatką, tworzy się otwór przez ścianę skalną, przez który woda może bezpiecznie odpływać.

Wtopiona plastikowa siatka oferuje bezpieczne zakotwiczenie nakładanego betonu natryskowego.



Zmodernizowana folia kubelkowa DELTA®-PT.



Kompletny tunel kolejowy z użyciem obudowy DELTA®-PT.

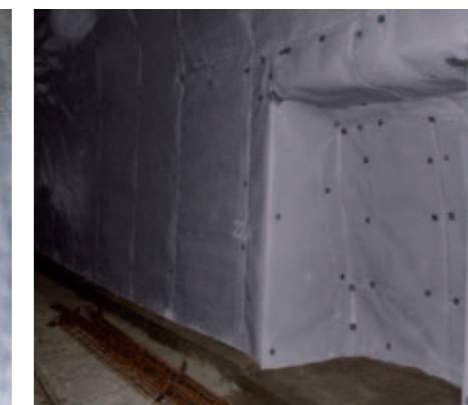
### Przykład z terenu Tunel kolejowy Nové Hamry w Czechach

Tunel Nove Hamry to stary tunel kolejowy zlokalizowany w regionie karlowarskim. Zanotowano w nim kilka przecieków, co spowodowało poważne problemy zimą z powodu formujących się poniżej sopli. W celu zmodernizowania tunelu planowano zainstalowanie warstwy odprowadzenia powierzchniowego. Zrealizowano to poprzez zamocowanie folii DELTA®-PT z wtopioną plastikową siatką do sklepienia tunelu. Materiał zapewnia nie tylko skuteczne odprowadzenie, ale również bezpiecznie podtrzymuje beton natryskowy. Folie zgrzano razem, a wszelkie przebicia uszczelniono. Kolejnym krokiem było wykonanie nowej, zbrojonej osłony z betonu natryskowego.

W tunelu Nove Hamry wykorzystano 2 100 m<sup>2</sup> folii DELTA®-PT.



Nowa wewnętrzna osłona ze zbrojonego betonu natryskowego.



Nisza w tunelu podczas modernizacji.



Właściwości	DELTA®-PT
Folia kubelkowa	HDPE półprzezroczysta
Wysokość tłoczenia	–
Wytrzymałość na ściskanie (obciążenie przejściowe)	8 mm
Druckfestigkeit Kurzzeit	70 kN/m <sup>2</sup>
Zdolność drenażowa w l/s • m i = 1	
Bez ściskania	4,39
Przy sile 20 kN/m <sup>2</sup>	3,6



# Konstrukcja otwarta

## Dwa przykłady budowy tunelu metodą odkrywkową cut & cover

Metodę cut-and-cover stosuje się zawsze wówczas, gdy tunel przykryty jest jedynie cienką warstwą gruntu. W trakcie budowy wykop pozostaje otwarty. W wielu przypadkach stosuje się metody obudowy wykopu (patrz strona 10) w celu jego zabezpieczenia. Tunele wyposażone w linie i wyloty są zawsze narażone na działanie wody. W wielu przypadkach dostępne lokalnie materiały zasypowe nie pozwalają na zbyt duże przeciekanie, toteż skuteczny system drenażowy staje się niezbędny.



**Przykłady z terenu: tunel kolejowy Kemalpaşa zbudowany metodą odkrywkową cut-and-cover w pobliżu Izmiru, Turcja**



**Przykłady z terenu: tunel Föhrlibuck** W szwajcarskim tunelu Föhrlibuck o długości 200 m, który łączy wiadukty Neugut i Weidenholz w Wallisellen, zużyto ponad 6 000 m<sup>2</sup> folii drenażowych DELTA®. Dzięki ich wysokiej wytrzymałości na ściskanie, tunel można było pokryć warstwą 150 000 t sypkiej skały o grubości od 2,0 do 3,5 m.

### Rozwiązania przeznaczone dla budowy metodą odkrywkową cut-and-cover

Wysoka wytrzymałość na ściskanie systemu ochrony i drenażowego DELTA®-TERRAXX zapewnia, że nie będzie zachodzić ekspozycja na wodę pod ciśnieniem hydrostatycznym. Z tego powodu system jest idealny dla tuneli budowanych metodą odkrywkową cut-and-cover, nawet jeśli naciski gruntu osiągają poziom nawet 90 kN/m<sup>2</sup>.

Aktualnie w pobliżu Izmiru budowana jest nowa linia kolejowa o długości 27 km. Obejmuje ona kilka tuneli. Tunel Kemalpaşa zbudowano metodą odkrywkową cut-and-cover. Wykonana ze zbrojonego betonu rura tunelu została zabezpieczona przed wodą plastikowymi foliami. W celu ochrony tej izolacji wodochronnej i uniknięcia ekspozycji na źródło wody, zainstalowano DELTA®-TERRAXX. Jego nietypowa szerokość 2,40 m przyspiesza proces wykładania, a wysoka wytrzymałość na ściskanie zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa, nawet pod grubymi warstwami gruntu. W ramach tego projektu zużyto łącznie 12 000 m<sup>2</sup> DELTA®-TERRAXX.

Właściwości	DELTA®-TERRAXX	Zdolność drenażowa w l/s • m i = 1	
Folia kubełkowa	HDPE silber	Bez ściskania	3,5
Geowłóknina filtracyjna	PP grau	Przy sile 20 kN/m <sup>2</sup>	3,1
Wysokość tłoczenia	9 mm		
Wytrzymałość na ściskanie (obciążenie przejściowe)	400 kN/m <sup>2</sup>		
Wytrzymałość na ściskanie (obciążenie trwałe)	90 kN/m <sup>2</sup>		
Wytrzymałość na rozciąganie	6,0 kN/m <sup>2</sup>		
Wielkość porów O90	150 µm		
Wytrzymałość na dynamiczne przebicie (perforację)	40 mm		
Maksymalna głębokość instalacji	10 m		

# Metody mocowania

## Mocowania i metody mocowania

Do mocowania w miękkim materiale, jak np. zielony beton natryskowy, należy używać stalowych gwoździ, które można wbijać ręcznie. Aby uniknąć rozdarcia folii, zaleca się użycie gwoździ z podkładkami lub wbijania gwoździ poprzez drewniane łaty. Alternatywnie, aby zabezpieczyć plastikowe folie przed rozerwaniem, można zastosować podkładki DELTA®-MONTAGEKNOPF. Do mocowania w twardej agregatach należy używać gwoździ z pistoletów. Odpowiednie modele pistoletów obejmują HILTI (typ DX 36 M lub DX A41) lub SPIT (typ SPIT P 60 ze zwężonym otworem wylotowym).

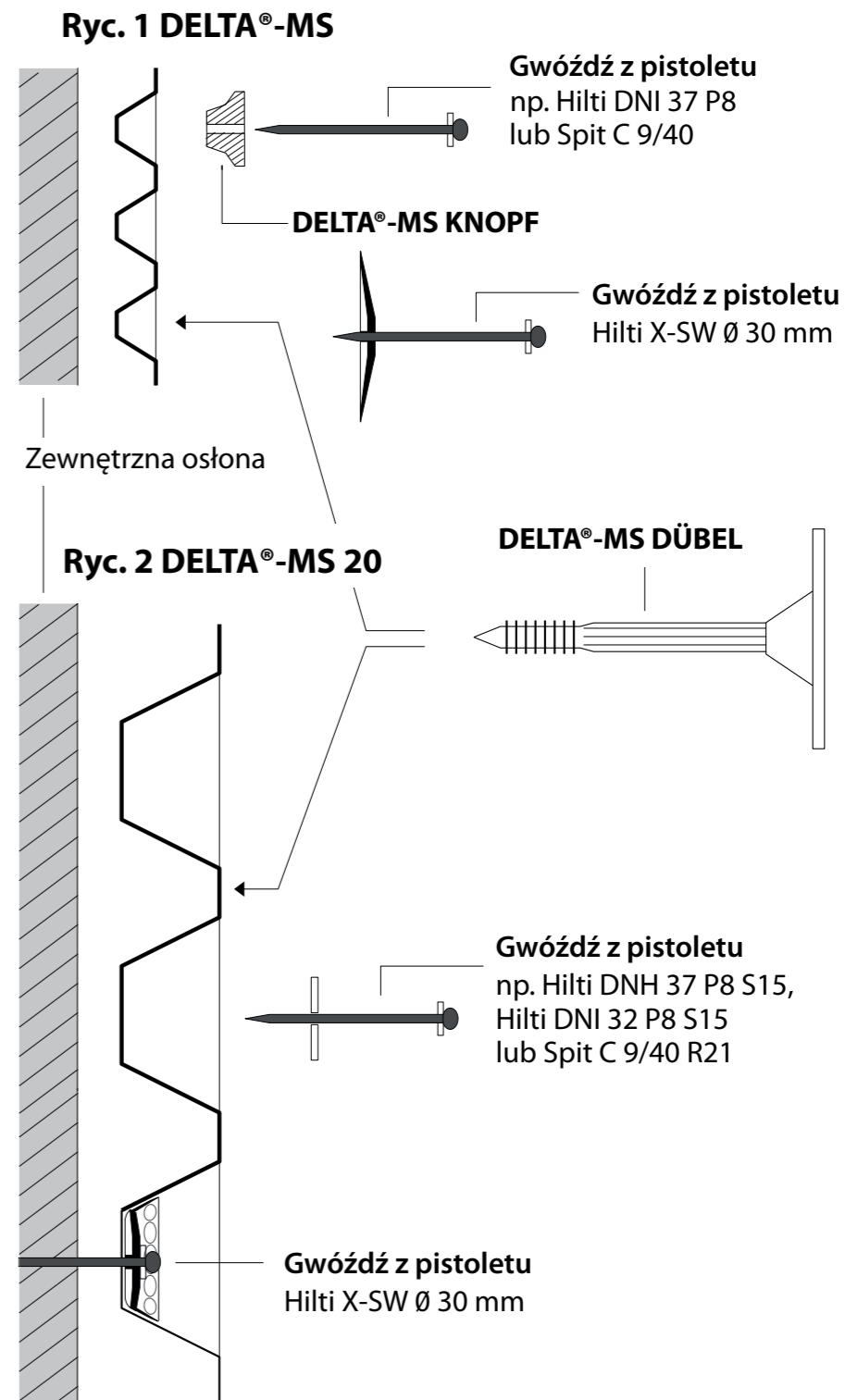
**Można stosować poniższe wersje gwoździ:** (patrz Ryc. 1) HILTI DNI 37 P8 SPIT CR 9/40

Aby zapobiec rozdarciu folii i perforacji przez główki gwoździ, gwoździe należy zawsze używać z DELTA®-MONTAGEKNOPF lub metalowymi bądź plastikowymi podkładkami. Zarówno HILTI, jak i SPIT, oferują gwoździe z podkładki. Ponieważ użycie tych gwoździ jest łatwiejsze, powinny one zawsze być preferowane.

**Rodzaje oznaczeń tych gwoździ są następujące:** (patrz Ryc. 2) HILTI DNI 32 P8 S15 HILTI X-DNH 37 P8 S 15 HILTI X-SW, średnica 30 mm SPIT C 9/40 R21

Na twardej agregatach zamiast gwoździ z pistoletów, można użyć plastikowe kołki.

**Odpowiednie są następujące rodzaje kołków:** DELTAR-MS DUBEL HILTI typu IDP O/2 SPIT typu DSH 40 FISCHER typu DHK 40 UPAT typu IMD 8/30-40





# Referencje

## Projekty budowy tuneli przy użyciu folii kubełkowej DELTA®

Projekt	Kraj	Wykonawca	Wielkość [m <sup>2</sup> ]	Rok	Produkt
U-Bahn Bauabschnitt U3/9, Wien	A	Hofmann + Maculan	6.000	1985/1987	DELTA®-PT
Tunnel A 7 Füssen-Reute/ Tirol	A		4.000 / 3.000	1997/1998	DELTA®-PT, DELTA®-MS
Tunnel Soumagne	B	Tunnel Soumagne	89.000	2003/2004	DELTA®-MS 20
Tunnel Soumagne	B	Tunnel Soumagne	180.000	2003/2004	DELTA®-MS 580
Tunnel Soumagne	B	Tunnel Soumagne	8.300 lfm	2003/2004	DELTA®-THENE T300
Hondrichtunnel, BE	CH	Gunimperm, Castione TI	13.000	1985	DELTA®-MS
Föhrlibuck-Tunnel, Wallisellen	CH	Lerch AG, Spaltenstein AG, SNZ Ing.-Büro	6.000	1986	DELTA®-DRAIN
Wipkingertunnel, ZH	CH	Züblin/Brunner	8.000	1989	DELTA®-MS
Zubringertunnel Sanierung Gotthard, UR	CH		5.000	1997	DELTA®-MS 20
Tunnel Gorgier Chez le Bart	CH		6.000	1999	DELTA®-MS 20
Tunnel Concise	CH	Gunimperm, Castione TI	13.800	1999	DELTA®-MS
Lüsslingen, N 5	CH	ARGE Lüthi, c/o Sarnafil	19.500	1999	DELTA®-MS
Eindeckung Spitalhof, N 5	CH		4.300	1999	DELTA®-MS 20
Tunnel Toira, TI	CH	Gunimperm, Castione TI	7.000	2000	DELTA®-MS
Tunnel Uznach	CH			2001	DELTA®-MS 20
Lötschberg Basistunnel	CH	Satco, Mitholz	1.000	2001	DELTA®-MS 20 spez.
Entlisberg-Tunnel, Zürich	CH	ISOTECH AG, Schlieren	2.000	2002	DELTA®-GEO-DRAIN TP
Sanierung Sunnegg-Bahn, Zermatt	CH	U. Imboden, Zermatt	2.000	2005	DELTA®-PT
Sicherheitsstollen, Gotschna	CH	ARGE ASGO	2.400	2005	DELTA®-MS 20
Tunnel de la Perche et du Banné	CH	CITP TSA Rupp & Partner, Giffers FR	15.000	2001/2003	DELTA®-MS
Bahn 2000, Gishubel Tagbautunnel	CH	ARGE Gishubel, Herzogenbuchsee	3.600	2002/2003	DELTA®-GEO-DRAIN TP
Uetliberg-Tunnel, Zürich	CH	Sika-Bau AG, Zürich	15.000	2002/2003	DELTA®-MS 1200
Metro Lausanne	CH	div. Unternehmen	6.500	2003-2006	DELTA®-MS 20
Lötschberg Basistunnel Süd	CH	ARGE Ledit, Ferden, Goppenstein	8.000	2004/2005	DELTA®-MS 20
Tunnel du Mont Chomin A 114	CH			2005	DELTA®-MS
A4 Knonaeramt	CH	Tagbautunnel	8.000	2006	DELTA®-TERRAXX

Projekt	Kraj	Wykonawca	Wielkość [m <sup>2</sup> ]	Rok	Produkt
Tunnel Moutier	CH	Marti Tunnelbau	30.000	2008	DELTA®-MS 1200
Transjurane, N 16	CH	Marti Tunnelbau	30.000	2003	DELTA®-MS 20
Gotthard-Tunnel	CH	ATG Strabag	530.000	2006/2010	DELTA®-AT 1200
Gotthard-Tunnel	CH	ATG Strabag	350.000	2009/2010	DELTA®-AT 800
Tunnel Westtangente, Bochum	D	Philipp Holzmann AG	1.400	1980	DELTA®-MS
U-Bahn, Baulos 10, Dortmund	D	Wiemer + Trachte		1984	DELTA®-MS
Neckarstollen, Heilbronn	D	Wix + Liesenhoff		1986	DELTA®-PT
Mündener-Tunnel, Hann. Münden	D	Bilfinger + Berger		1986	DELTA®-MS
Weltkugel-Tunnel, Melsungen	D	Hochtief AG		1986	DELTA®-MS
U-Bahn, Mülheim	D	Hochtief / Holzmann / Wayss + Freytag / Thyssen Schachtbau	3.000	1988	DELTA®-MS
ICE Strecke München-Nürnberg	D	Hoch-Tief / Kunz	5.000	2002	DELTA®-MS, DELTA®-MS 20
Herrentunnel, Lübeck	D	ARGE Herrentunnel	15.000	2004	DELTA®-MS 1000 natur
U-Bahn, Baulos D 4, Dortmund	D	Bilfinger + Berger Leonh. Moll	1.000	1982/1984	DELTA®-MS
U-Bahn, Düsseldorf, Los 3.4 Kölner Str.; Los 3.5 Erkrather Str.	D	Heitkamp / Hochtief / Bilfinger / Wayss + Freytag		1990/1991	DELTA®-MS 20
ARGE Nordrampe Elbtunnel	D	Wiemer + Trachte	3.000	1999/2000	DELTA®-MS 20
ARGE Nordrampe Elbtunnel	D	Wiemer + Trachte	4.500	1999/2000	DELTA®-DRAIN
Elbtunnel Hauptröhre	D	Dyckerhoff + Widmann	22.000	2000/2001	DELTA®-MS natur
Autobahntunnel A 5, Alicante, Villafrangnez	E	Dragados Y Construcciones	30.000	1988/1989	DELTA®-DRAIN
Tunnel (TGV Méditerranée) Tartaigne	F	E.I.	4.000	1996/1997	DELTA®-MS
Finiculaire Lyon-station Les Minimes	F	E.I.	1.000	1988	DELTA®-PT
Tunnel des Chavants	F	E.I.	8.000	1989	DELTA®-MS
Tunnel de L'Épine	F	E.I.	10.000	1989	DELTA®-MS
Tunnel TGV de Meyssies	F	E.I.	11.000	1990	DELTA®-MS
Tunnel de Puymorens	F	Bauveg	12.000	1993	DELTA®-MS
Tunnel de Chamoise A 40	F	E.I.	13.000	1994	DELTA®-MS



# Referencje

## Projekty budowy tuneli przy użyciu folii kubełkowej DELTA®

Projekt	Kraj	Wykonawca	Wielkość [m <sup>2</sup> ]	Rok	Produkt
Tunnel Pas de Lécalette A 75	F	E.I.	9.000	1994	DELTA®-MS
Tunnel Mesnil le Roy A 14	F	Sofrete	10.000	1994	DELTA®-MS
BPNL Lyon Tunnel de la Duchere et de Rochecardon	F	G.I.E. Lyon Nord	11.000	1995	DELTA®-MS
Puits ventilation-Tunnel Routier du Fréjus	F	Etandex	18.000	1996	DELTA®-MS
Baillet-en-France (95)	F	E.I. GCC	4.000	1999	DELTA®-NP DRAIN
Galerie du Pas de la Reyssolle (04)	F	E.I. GCC	300	1999	DELTA®-MS 20
Tunnel San Quil co-RN 193 (20)	F	E.I. GCC	1.300	1999	DELTA®-MS
Tunnel Saorge (06)	F	E.I. GCC	2.000	2000	DELTA®-MS
Traversée souterraine de Toulon (83)	F	SLEG	3.000	2000	DELTA®-MS, DELTA®-MS 20
Mont Blanc Tunnel	F	Freyssinet	4.000	2001	DELTA®-PT
Traversée souterraine de Toulon (83)	F	Europroof	5.500/5.000	1996/1997	DELTA®-MS, DELTA®-MS 20
Tunnel d'Orelle A 43	F	E.I.-Sofrete	19.000	1997/1998	DELTA®-MS
Tunnel de Foix	F	E.I.	20.000	1997/1998	
Galerie du Cern ref. ATIC (01)	F	E.I. GCC	30.000	2000/2001	DELTA®-MS
Galerie du Cern ref. T.W.A (01)	F	E.I. GCC	40.000	2000/2001	DELTA®-MS
Galleria Bozano	I	Mahlchnet	3.500	2000	DELTA®-NP DRAIN
Tunnel Gousselberg	Lux.	Iraco	140.000	2002/2004	DELTA®-MS
Cut & Cover Tunnel Izmir Devlet Demir Yollari	TR	Acilim Insaat	12.000	2009	DELTA®-TERRAXX
Queens Tunnel, New York, NY	US	Grow Perini Skanska	6.000	2000	DELTA®-MS
Chatahouchee Tunnel, Atlanta, GA Phase 1	US	Gilbert Healy	30.000	2002	DELTA®-MS
Chatahouchee Tunnel, Atlanta, GA Phase 2	US	Nancy Creek Construction	50.000	2004	DELTA®-MS
Chatahouchee Tunnel, Atlanta Phase 3	US	Nancy Creek Construction	40.000	2006	DELTA®-MS

