

Zenon ZAMIAR, Andrzej SUROWIECKI\*

## PRZYKŁADY SZYBKICH TECHNOLOGII ODBUDOWY INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ W SYTUACJACH KRYZYSOWYCH

Artykuł zawiera omówienie wybranych technologii szybkiej budowy i odbudowy obiektów inżynierskich, uszkodzonych lub całkowicie zniszczonych wskutek klęsk żywiołowych, katastrof, działań wojennych, akcji terrorystycznych, itp. Wśród przykładów rozwiązań znalazły się lekkie konstrukcje oporowe z gruntu zbrojonego i inne specjalne rozwiązania.

### 1. UWAGI WSTĘPNE

Wielkie powodzie, które nawiedziły Polskę w roku 1997 oraz w latach 2000 - 2002 spowodowały katastrofalne szkody w różnych dziedzinach gospodarki narodowej. W infrastrukturze transportowej zostały częściowo lub całkowicie wyeliminowane z eksploatacji setki obiektów drogowych, mostowych i kolejowych, a nawet zniszczone odcinki dróg kołowych i kolejowych. Zniszczenia te stały się przyczyną poważnych komplikacji transportowych, zmuszających lokalne i krajowe władze do uruchomienia licznych, nieekonomicznych objazdów, ograniczenia prędkości ruchu, a nawet czasowego zawieszenia ruchu kołowego i kolejowego. Te zaś komplikacje w znaczący sposób zakłócały akcje ratownicze, likwidację skutków powodzi oraz funkcjonowanie obszarów objętych powodzią.

Dla zobrazowania powagi tej sytuacji wystarczy powiedzieć, że na przykład tylko na terenie Dolnego Śląska szkody powodziowe w infrastrukturze kolejowej objęły, oprócz uszkodzeń podtorza linii, m.in. 174 obiekty inżynierskie, w tym 144 przepusty częściowo lub całkowicie zniszczone. Spowodowało to m. in.: wstrzymanie ruchu na około 230 km linii kolejowej, wprowadzenie ruchu jednotorowego na liniach dwutorowych na długości około 30 km, ograniczenie prędkości jazdy na około 150 km linii, wyłączenie z eksploatacji 29 posterunków ruchu, uszkodzenie około 220

---

\* prof. dr hab. inż. Zenon Zamiar, Akademia Świętokrzyska Kielce, Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu, prof. dr hab. inż. Andrzej Surowiecki, Politechnika Wroclawska, Wrocław.

elementów infrastruktury [1]. Podobne skutki odnotowano w infrastrukturze transportu kołowego, aczkolwiek należy stwierdzić, że z uwagi na większą popularność w Polsce transportu kołowego były one znacznie bardziej uciążliwe i to zarówno dla gospodarki, jak i dla społeczeństwa.

W świetle takiej sytuacji, priorytetem było jak najszybsze przywrócenie normalnej komunikacji. Stosowano wówczas wiele metod i sposobów przywrócenia komunikacji (wykorzystywano głównie środki i sprzęt wojskowy), ale nie można o nich powiedzieć, że były nowoczesne, szybkie i natychmiast skuteczne.

Jak powszechnie wiadomo, o długości i jakości procesu odtwarzania zniszczonych obiektów jakiegokolwiek infrastruktury decyduje technologia. Ma to szczególne znaczenie w sytuacjach kryzysowych. Skłoniło to autorów do zaproponowania wykorzystania w sytuacjach kryzysowych specjalnych konstrukcji, które przez specjalistów uznawane są za optymalne pod względem technologicznym. Omówione technologie są wyjątkowo proste i spełniają szczególne wymagania, np.: czas ich realizacji jest znacznie krótszy w stosunku do obiektów realizowanych tradycyjnie, niezawodność eksploatacyjna, brak potrzeby angażowania specjalistycznego sprzętu i wysoko kwalifikowanej siły roboczej.

Wśród zamieszczonych przykładów znajdują się: konstrukcje wykonywane techniką gruntu zbrojonego, konstrukcje oporowe z kaszyc, powłokowe i inne, a także nowoczesne specjalne rozwiązania odbudowy obiektów infrastruktury transportowej.

## 2. TECHNOLOGIE KLASYCZNEGO GRUNTU ZBROJONEGO

### 2.2. ZASADA GRUNTU ZBROJONEGO [4, 9, 11, 12]

Zbrojenie gruntu polega na umieszczeniu w nim, w regularny sposób, wkładek wzmacniających z innego materiału, zwykle w postaci różnego rodzaju taśm i mat. Dzięki tarcniu, występującemu między ośrodkiem i zbrojeniem, grunt zbrojony jest zdolny przenosić znaczne obciążenia rozciągające. Konstrukcje z gruntu zbrojonego wykonuje się wyjątkowo prostą technologią, układając warstwę zbrojenia, którą przysypuje się warstwą gruntu. Na tej warstwie układa się kolejną warstwę zbrojenia, przysypuje gruntem, itd.

Najszerze zastosowanie znalazł grunt zbrojony w dziedzinie konstrukcji oporowych. Pracując jako masyw ciężki, a jednocześnie bardziej podatny na odkształcenia (niewrażliwy na nierównomierne osiadanie podłoża) może on z powodzeniem zastąpić beton lub żelbet w klasycznych konstrukcjach typu mury oporowe, przyczółki mostowe, masywne nabrzeża, itp. Mimo że jest obecnie stosowany na całym świecie, to Francja pozostaje krajem, w którym tą technologią zrealizowano najwięcej prototypowych konstrukcji.

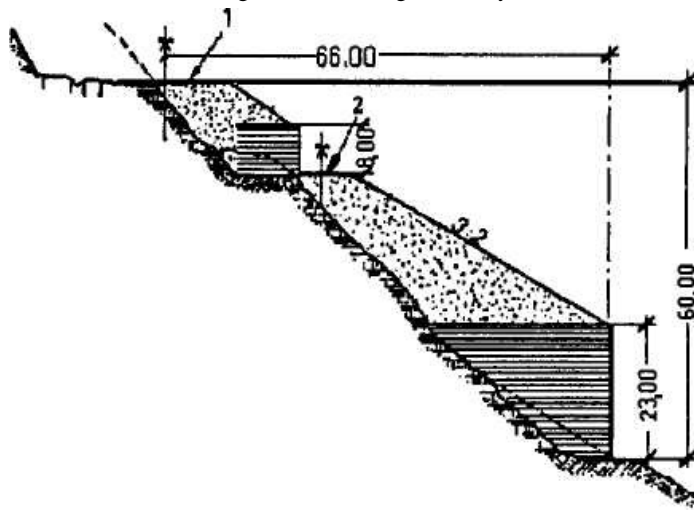
### 2.2. NASYPY DROGOWE

Przy zastosowaniu gruntu zbrojonego zbudowano już w świecie wiele konstrukcji oporowych o wysokości od kilku do kilkudziesięciu metrów i długości do kilkuset metrów.

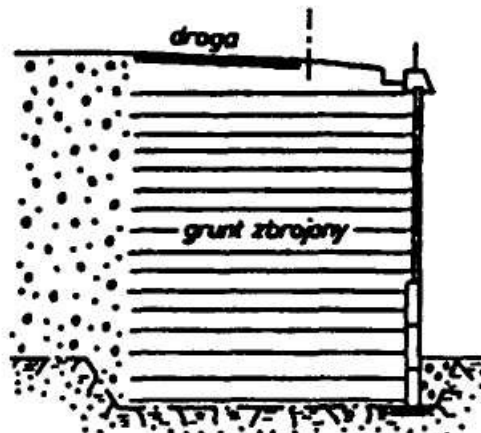
Na rys. 1. pokazano schemat konstrukcji oporowej z gruntu zbrojonego w okolicach Peyronnet (Francja). Konstrukcja ta o wysokości 60 metrów i szerokości 66 metrów, umożliwiła przeprowadzenie na różnych poziomach autostrady i drogi drugorzędnej na niedostępnym wcześniej zboczach wąwozu.

Na rys. 2. zilustrowano mur oporowy wykonany z gruntu zbrojonego pod nasypem drogowym w Palaiseau we Francji. Przy budowie tej konstrukcji oszczędność wynikająca z zastosowania tej technologii wyniosła 25%.

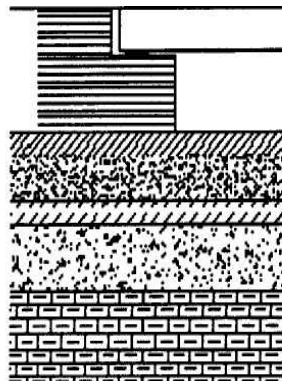
Rys. 1. Konstrukcja oporowa z gruntu zbrojonego w okolicach Peyronnet: 1 - autostrada, 2 - droga drugorzędna [4]  
Fig. 1. Resistant construction from reinforced ground in the region of Peyronnet: 1 - motorway, 2 - second-class road [4]



Rys. 2. Nasyp z gruntu zbrojonego [4]  
Fig. 2. An embankment from reinforced ground [4]



Rys. 3. Przyczółek z gruntu zbrojonego [4]  
Fig. 3. A bridgehead from reinforced ground [4]



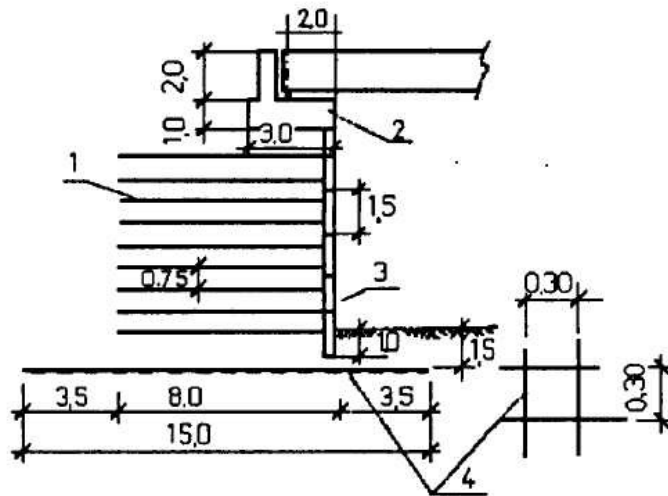
## 2.3. PRZYCZÓŁKI MOSTOWE [3, 4, 5]

Na rys. 3. przedstawiono przyczółek mostowy o wysokości 12 m wykonany w Thionville (Francja) z gruntu zbrojonego, przy zastosowaniu stalowych taśm zbrojenia i metalowej obudowy ścianki czołowej. Na głowicy masywu przewidziano powierzchnię nośną o wymiarach 4,0 x 1,5m dla rozłożenia obciążeń wywołanych przez płytę mostu ok. 750 t. Dało to ok. 60% oszczędności.

Natomiast schemat przyczółka wykonanego w pobliżu Charleroi (Belgia) przedstawia rys. 4. Zbrojenie stanowią taśmy stalowe, a ściankę osłonową wykonano z lekkich prefabrykatów betonowych. Z uwagi na to, że okolica ta jest obszarem występowania szkód górniczych, pod przyczółkiem na głębokości 1,5 m umieszczono siatkę zbrojącą z prętów metalowych o rozstawie 0,3 x 0,3 m.

Rys. 4. Przyczółek mostowy z gruntu zbrojonego (Charleroi) [5]: 1 - cięgna zbrojące grunt, 2 - prefabrykat, 3 - okładzina betonowa, 4 - siatka zbrojąca z prętów stalowych

Fig. 4. A bridgehead from reinforced ground (Charleroi) [5]: 1 - ground reinforcing ties, 2 - prefabricated element, 3 - concrete cladding, 4 - reinforcing net made up from steel rods

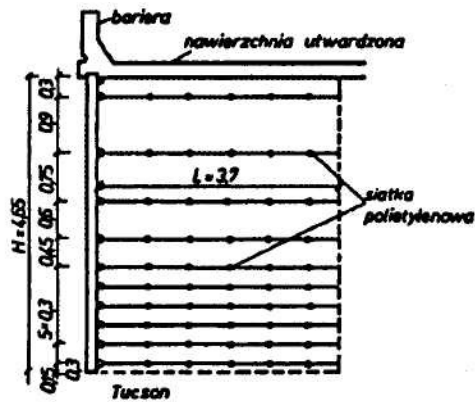


## 3. PRZYKŁADY KONSTRUKCJI Z GRUNTU ZBROJONEGO GEOSYNTETYKAMI

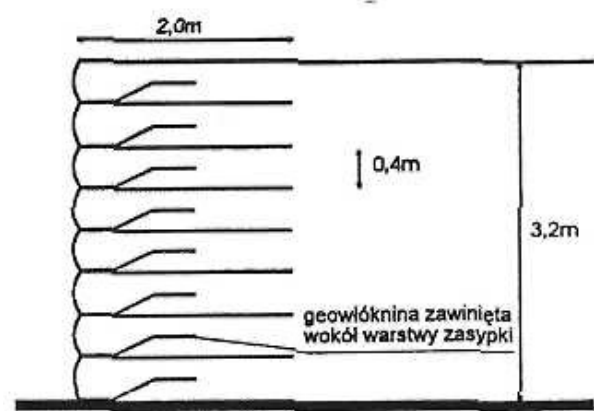
Aktualnie największe perspektywy może mieć technika zbrojenia gruntu geowłókninami i produktami im pokrewnymi, ze względu na szczególną łatwość w eksploatacji i niskie koszty wykonania. Tym, co dodatkowo różni ją na korzyść od innych metod zbrojenia gruntu, jest możliwość obsadzenia konstrukcji roślinnością i wtopienia jej w naturalne środowisko.

Rys. 5. odzwierciedla przykład konstrukcji muru oporowego o wysokości 1,0 - 6,0 pod nawierzchnią drogową w Tucson (USA) [11]. Elementy czołowe muru są wykonane w postaci płyt betonowych o grubości 0,15, szerokości 3,0 m i wysokości odpowiadającej wysokości muru. Elementem zbrojącym są siatki polietylenowe rozmieszczone w poziomych warstwach, o rozstawie pionowym 0,3 - 0,9 m.

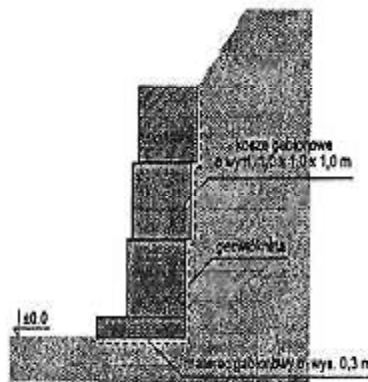
Jedną z nielicznych konstrukcji z gruntu zbrojonego, wykonanych w Polsce do roku 2000 jest mur oporowy na terenie Instytutu Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku, przedstawiony na rys.6. Zbrojeniem gruntu jest włóknina lentex. Konstrukcja ma wysokość 3,2 m. Zbrojenie ułożono



Rys. 5. Mur oporowy z gruntu zbrojonego geowłókniną w USA [11]  
 Fig. 5. Retaining wall from reinforced ground made from unwoven geofabric in USA [11]



Rys. 6. Nasyp o ścianie pionowej z gruntu zbrojonego geotekstylami [11]  
 Fig. 6. An embankment with vertical wall from geotextiles [11]



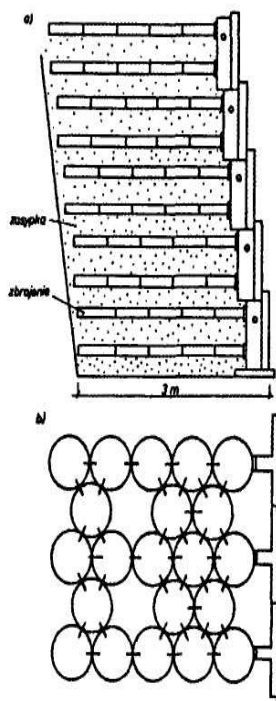
Rys. 7. Mur oporowy z gabionów [8]  
 Fig. 7. Retaining wall from gabions [8]

w ośmiu warstwach, w odstępach pionowych 0,4 m. Ściankę czołową wykonano z włókniny zawiniętej wokół warstwy piasku zasypkowego. Długość zbrojenia wynosi 2 m.

Rys. 7. przedstawia mur oporowy nasypu wykonany z tzw. gabionów [8]. Gabiony są to prostopadłościenne kosze, skonstruowane z drutu stalowego lub siatek z tworzywa sztucznego, wypełnione materiałem kamiennym. Podczas montażu kosze łączy się ze sobą najczęściej poprzez skręcenie drutem stalowym. W rezultacie powstaje konstrukcja, w której można wyróżnić poziome i pionowe warstwy zbrojenia. Gabiony są przede wszystkim stosowane do ochrony brzegów rzek i brzegów morskich. Odznaczają się dużą odpornością na prądy morskie i uderzenia fal, których siła jest w znacznym stopniu pochłaniana przez takie ażurowe konstrukcje.

Obok standardowych technik zbrojenia gruntu, opisanych wcześniej w artykule, stosuje się ich odmiany, wykorzystywane w warunkach szczególnych [11], na przykład austriacki system NEW, angielski WEBSOL lub wykorzystujące niekonwencjonalne materiały, jak francuski system PNEUSOL.

Technologia określana mianem PNEUSOL jest przykładem zbrojenia gruntu za pomocą materiałów odpadowych, na przykład zużytych opon samochodowych (rys.8). Oprócz zużytych



Rys. 8. Mur oporowy z PNEUSOLU: a - przekrój poprzeczny pionowy, b - widok z góry na warstwę zbrojenia

Fig. 8. Retaining wall from PNEUSOL: a - vertical cross-section, b - top view on reinforcement layer

opon można stosować inne odpady przemysłowe, takie jak folie i siatki z tworzyw sztucznych, odpady przemysłu włókienniczego i chemicznego.

System NEW jest odmianą klasycznego gruntu zbrojonego, polegającą na umieszczeniu w gruncie zbrojenia w postaci pętli, co zapewnia jego lepsze zamocowanie w gruncie i eliminuje zniszczenie konstrukcji przez poślizg zbrojenia. Dlatego system NEW nadaje się do stosowania w warunkach szczególnie trudnych, jak na przykład tereny osuwisk górskich.

System WEBSOL jest podobny do poprzedniego, z tym że zbrojenie nie tworzy pętli, lecz tzw. „zygzak”.

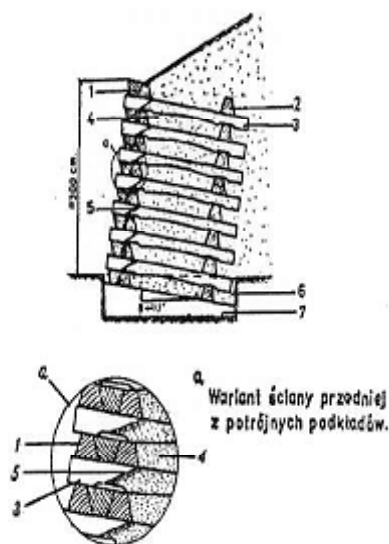
#### 4. KONSTRUKCJE OPOROWE Z KASZYC [4]

Kaszyce są sposobem, którym można szybko i w niedrogi sposób wykonywać konstrukcje oporowe, jak na przykład mury oporowe nasypów i przyczółki mostowe. Kaszyce z reguły stosowane są z elementów żelbetowych, rzadziej z elementów stalowych. Wnętrze kaszycy wypełnia się materiałami kamiennymi lub innym gruntem niespoistym.

W przeciwieństwie do zwykłych ścian oporowych, kaszyce mogą być posadzone w strefie przemarzania gruntu. Jest to możliwe dzięki dużej ich odkształcalności, a przez to znacznej odporności na nierównomierne osiadanie.

Elementy składowe klasycznej kaszycy są zwykle dwurodzajowe: prefabrykaty żelbetowe stanowiące przednią i tylną ścianę oraz poprzeczne ściągę, łączące obie ściany.

Istnieją również przykłady budowy kaszyc z materiałów odpadowych. Na rys. 9 pokazano schemat konstrukcji oporowej wykonanej w formie kaszycy z zużytych kolejowych podkładów strunobetonowych.



Rys. 9. Schemat kaszycy z podkładów strunobetonowych [4]

Fig. 9. Scheme of cribwork from pre-tensioned prestressed concrete substrates [4]

Kaszyce są konstrukcjami „ekonomicznymi”. W przypadku żelbetu, wymagają małego zużycia stali i betonu. Żelbet w takich kaszycach stanowi zaledwie 10 - 15 % ich objętości, reszta to tani materiał wypełniający, współpracujący z prefabrykatami w przejmowaniu parcia gruntu.

Konstrukcje z kaszyc mają zalety konstrukcji prefabrykowanych. Mogą je montować pracownicy o niskich kwalifikacjach. Zapewniają dobre odwodnienie zasypki, nie ma więc problemu parcia hydrostatycznego wód gruntowych, gromadzących się wewnątrz kaszyc. Bywają przydatne do stabilizowania zsuwów i osuwisk. Zaletą ich jest również podatność przy nierównomiernym osiadaniu. Nawet kilkudziesięciocentymetrowe różnice osiadań nie powodują uszkodzeń konstrukcji oporowej. Zaś za szczególną zaletę można uznać łatwość zmiany wysokości, co pozwala dostosowywać je do nierówności terenu.

## 5. KONSTRUKCJE OPOROWE Z WIELOMA PÓŁKAMI I QUASI-SKRZYNIOWE

W tych rozwiązaniach ściana składa się z elementów żelbetowych o przekroju kątownikowym. Ukształtowana konstrukcja ma kilka półek poziomych z zasypką obciążającą, zwiększającą stateczność budowli, dzięki czemu jest w niej znacznie mniej żelbetu niż w tradycyjnej ścianie oporowej. Stosowane są różne odmiany konstrukcji z wieloma półkami poziomymi [4].

Konstrukcja oporowa quasi-skrzyniowa (opracowana przez Jarominiaka w 1980 r.) zawiera ścianę przednią, rygiel zagłębiony w zasypce oraz sztywne elementy łączące rygiel ze ścianą. Zasada konstrukcji może być wykorzystana przy budowie mostów drogowych i kolejowych oraz ścian oporowych budowli komunikacyjnych. Doświadczenia wynikające z projektowania i realizacji głównie przyczółków quasi-skrzyniowych przemawiają za rozpowszechnieniem konstrukcji oporowych wykorzystujących to rozwiązanie [4, 6].

## 6. INNE ROZWIĄZANIA ODBUDOWY INFRASTRUKTURY INŻYNIERYJNEJ

### 6.1 KONSTRUKCJE POWŁOKOWE [2, 4]

Konstrukcje powłokowe wynaleziono w Kanadzie. Ich istotą jest obudowanie nasypu szeregiem ustawionych obok siebie segmentów powłokowych wygiętych w planie na kształt litery U, których boczne elementy są osadzone w nasypie poza powierzchnią odłamu. Parcie gruntu wywołuje w powłoce siły rozciągające. Stateczność budowli uzyskuje się przez zakotwienie powłoki oporem tarcia gruntu o jej boczne części.

Powłoka ma cienkościenny przekrój falisty. Dzięki dużej odkształcalności konstrukcje powłokowe nie wymagają fundamentów i mogą być posadawione bezpośrednio na gruncie. Z uwagi na racjonalne ukształtowanie, budowa konstrukcji powłokowej powoduje małe zużycie materiału.

Konstrukcje te mogą być stosowane nie tylko jako lub w miejsce klasycznych ścian oporowych, ale również jako na przykład nabrzeża, umocnienia brzegów kanałów, itp.

### 6.2 KONSTRUKCJE OPOROWE Z KSZTAŁTOWNIKÓW STALOWYCH [4]

Kształtowniki stalowe są od dawna stosowane do budowy konstrukcji oporowych, szczególnie kaszyc. W tej grupie na uwagę zasługują elementy włoskiej firmy FRACASSO. Są to modułarne kształtowniki, umożliwiające wykonywanie z nich kilku rodzajów konstrukcji oporowych, które można łatwo dostosowywać do różnych warunków terenowych. Rozstawy elementów poprzecznych, stężających konstrukcje, sięgają około 3 m, a ich długości są zmienne, zależne od wysokości konstrukcji, warunków geotechnicznych i parcia zasypki. Można z nich budować kaszyce o wysokości do 9,35 m oraz konstrukcje oporowe o zmiennych wysokościach.

Zaletą ich jest mały ciężar elementów montażowych i możliwości szybkiego montowania bez użycia sprzętu, ręcznie nawet przez robotników o niskich kwalifikacjach. Charakteryzują się możliwością stosowania w każdej porze roku dzięki zabezpieczeniu elementów przed korozją oraz znaczną odkształcalnością, co powoduje, że nie ulegają uszkodzeniom nawet przy dużych przemieszczeniach podłoża. Pozwala to posadawiać te konstrukcje bez fundamentów.

### 6.3. GEOWEB - KOMÓRKOWY SYSTEM OGRANICZAJĄCY

Jest to jedna z najnowszych metod wzmocnienia podłoża gruntowych, polegająca na powierzchniowym wzmocnieniu podtorza geokompozytami w postaci „geowebu” [7] (tzw. komórkowy

system ograniczający) podścielonego geotekstyliami. Istota zwiększania nośności gruntu polega na ograniczeniu swobody poprzecznych przemieszczeń ziarn ośrodka gruntowego zamkniętych w przestrzennych komórkach plastra (sekcji geowebu). Mała odkształcalność materiału (polietylen o dużej gęstości) oraz jego elastyczność sprawiają, że po rozłożeniu plastra na macie geotekstylnej i wypełnieniu pustych przestrzeni plastra (komórek) dobrze zagęszczalnym materiałem sypkim, uzyskuje się przestrzenną strukturę wzmocnienia o cechach poziomego „materaca” podścielającego warstwę tłucznia.

Wobec powyższego, system wzmocnienia składa się z dwóch elementów: poziomej warstwy wzmacniającej i podbudowy w postaci poziomo rozścielonej maty, którą może być na przykład włóknina, folia, itp.

## 7. UWAGI KOŃCOWE

W referacie dokonano krótkiego przeglądu specjalnych konstrukcji inżynierskich, które mogą być stosowane w przywracaniu zdolności eksploatacyjnej infrastruktury transportowej. Technologia tych konstrukcji opiera się m.in. na zasadach gruntu zbrojonego, spełniając dwa podstawowe w sytuacjach kryzysowych wymagania: prosta technologia i stosunkowo krótki czas realizacji.

Wśród prezentowanych przykładów są głównie: przyczółki mostowe, nasypy drogowe ze skarpami pionowymi, podtorza. Możliwości stosowania gruntu zbrojonego są szersze, na przykład: stabilizacja skarp ukośnych, wzmocnianie podłoża budowli ziemnych, wzmocnianie nawierzchni drogowej lub kolejowej.

Prawidłowość i poprawność omawianych rozwiązań jest poparta pozytywnymi wynikami badań modelowych i terenowych w skali naturalnej [3, 4, 5, 8, 10, 11,12].

Współcześnie termin „zbrojenie gruntów” obejmuje wiele nowych technologii, różniących się materiałem zbrojenia i cechami gruntu stanowiącego wypełnienie konstrukcji. Znaczące perspektywy ma technologia zbrojenia gruntu geosyntetykami, która rozwiązuje wiele problemów, głównie nośności podłoża i kształtowania budowli. Łatwość montażu, niskie koszty, możliwość stosowania w każdych warunkach, oszczędności kruszyw, transportu i wiele innych korzyści powodują, że coraz częściej sięga się po te technologie, szczególnie w sytuacjach wymagających natychmiastowej reakcji i odtworzenia infrastruktury transportowej, a takimi są sytuacje kryzysowe.

Oczywiście, niniejszy przegląd nie obejmuje wszystkich możliwych rozwiązań, jest tylko namiastką możliwości w tym zakresie, a może będzie również przyczynkiem do prowadzenia dalszych badań w zakresie możliwości stosowania technologii gruntu zbrojonego.

## LITERATURA:

- [1] BOGUCIŃSKI M., DOBROWOLSKI J., *Wpływ lipcowej powodzi na zakres prac w obrębie VI korytarza kolejowego*, w: Materiały Seminarium Międzynarodowego „VI Kreteński Korytarz w Polsce”, Warszawa, 13-14. 11. 1997.
- [2] CURT V., *Un nouveau concept de soutènement: Le procede ter - voile*, Annales de l' Institut Technique du Batiment et des TRAVAUX Publics, No 454, mai, 1987.
- [3] HANSPAC P., LINDE G., *Temporäre Brückenunterbauten aus bewehrter Erde*, w: „Bauplanung - Bautechnik”, 36, Heft 2, 1982.
- [4] JAROMINIAK A., *Lekkie konstrukcje oporowe*, WKiŁ, Warszawa 1989.
- [5] JAROMINIAK A., *Wybrane zagadnienia budownictwa mostowego w Holandii*, w: „Tech. Drog.”, nr 10, Warszawa 1986.
- [6] JAROMINIAK A., *Zastosowanie przyczółków quasi-skrzyniowych w kolejowych obiektach mostowych*, w: „Drogi Kolejowe”, nr 9, Warszawa 1985.



- [7] KŁOSEK K., *Wykorzystanie geowebu do wzmocnienia słabonośnego podtorza na podrozjazdach betonowych*, w: Mat. IX konf. „Drogi kolejowe”, Kraków 1997.
- [8] KULCZYKOWSKI M., LEŚNIEWSKA D., *Podstawy projektowania konstrukcji z gruntu zbrojonego metodami kompozytowymi*, IBW - PAN, Gdańsk 1995.
- [9] LONG N. T., *Badania gruntów zbrojonych. Wybrane zagadnienia geotechniki*, IBW - PAN, Ossolineum, Wrocław 1987.
- [10] ROLA S., *Geotekstyliki w budownictwie drogowym*, WkiŁ, Warszawa 1988.
- [11] SAWICKI A., LEŚNIEWSKA D., *Grunt zbrojony - teoria i zastosowanie*, IPPT - PAN, PWN, Warszawa 1993.
- [12] SUROWIECKI A., ZAMIAR Z., *Specjalne konstrukcje inżynieryjne. Teoria i technologia*, Bellona, Warszawa 2001.

### **EXAMPLES OF FAST TECHNOLOGIES CONNECTED TO RE-CONSTRUCTION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN CRISIS AND EXTREME SITUATIONS**

This article includes the discussion on chosen technologies of fast construction and re-construction of engineering objects, damaged or totally destroyed as a result of natural disasters, catastrophes, hostilities, terrorist actions ect. Among examples of solutions there are light resistance construction from reinforced ground and other special solutions.