



PAWEŁ PONETA

Mostostal Warszawa S.A.
p.poneta@mostostal.
waw.pl



JERZY JURCZUK

Mostostal Warszawa S.A.
j.jurczuk@mostostal.
waw.pl



MATEUSZ KABALA

Mostostal Warszawa S.A.
m.kabala@mostostal.
waw.pl

Wykorzystanie odpadów pochodzących ze zużytych opon samochodowych w konstrukcji nasypów drogowych

Masa zużytych opon składowanych na różnych wysypiskach na świecie oceniana jest na ok. 10 mln ton. W samej tylko Unii Europejskiej powstaje rocznie ok. 2,5 mln ton zużytych opon. W Polsce w 2001 r. ilość zużytych opon obliczono na 110 tys. ton, a w 2009 r. aż na 259 tys. ton. Porównując poziom zagospodarowania odpadów gumowych w Polsce (~31% w 2001 r.) i w krajach starej UE (~65% w 2001 r.) widać przepaść, jaką mamy do pokonania w tej dziedzinie. Ogromny potencjał zastosowania odpadów gumowych daje nam szeroki rozwój infrastruktury w naszym kraju.

Dotychczas podstawową technologią zagospodarowywania zużytych opon samochodowych jest ich palenie. Proces ten wydaje się najgorszą metodą utylizacji zużytych opon, pomimo wysokiej wartości energetycznej, jaką ma takie paliwo. Podczas spalania opon do atmosfery wydzielane są ogromne ilości CO₂ oraz innych niebezpiecznych związków chemicznych. Dobrą metodą recyklingu zużytych opon samochodowych jest ich mielenie i wykorzystanie powstałego materiału. Materiał, który powstaje podczas procesu mie-

lenia zużytych opon jest klasyfikowany, ze względu na skład granulometryczny cząsteczek gumowych, na:

- kawałki (>300 mm),
- strzępy (50–300 mm),
- chipsy (10–50 mm),
- granulaty (1–10 mm),
- miął (<1 mm),
- pył (<0,5 mm),
- ścier (1–40 mm).

W niniejszym artykule opisano zastosowanie w praktyce najgrubszych frakcji tj.: kawałków oraz strzępów i chipsów (fot. 1).

W odpowiedzi na rosnące problemy środowiskowe związane z utylizacją zużytych opon samochodowych firma Mostostal Warszawa opracowała i przetestowała w terenie technologię umożliwiającą wykorzystanie materiału pochodzącego z przemiału zużytych opon samochodowych w konstrukcji nasypów drogowych.

Opis technologii

Zastosowanie alternatywnego materiału konstrukcyjnego zamiast tradycyjnego gruntu do wykonywania nasypów drogowych nie jest nową technologią, natomiast w przypadku użycia do tego celu kawałków zużytych opon samochodowych jest aplikacją innowacyjną na skalę zarówno Polski jak i prawdopodobnie Europy. Ideą jest zamiana materiału tradycyjnego, jakim jest grunt, na materiał pochodzący z przemiału zużytych opon samochodowych tak, aby spełniał on dokładnie takie same funkcje jak tradycyjnie stosowany grunt. Strzępy gumowe mogą być wykorzystywane, jako lekkie wypełnienia, do budowy nasypów drogowych o grubości warstwy gumowej do 3 m. Nasypy tego rodzaju mogą być stosowane na wszystkich rodzajach podłoża gruntowych, a szczególnie korzystne jest ich stosowanie na słabonośnych podłożach gruntowych. Wymaga to odpowiedniego podejścia projektowego, szczególnie jeżeli chodzi o projektowanie składu granulometrycznego oraz miąższości warstw wypełnienia.

Opis wykonania nasypu pilotażowego

Doświadczalny odcinek drogi z wykorzystaniem nowej technologii został wykonany przez Mostostal Warszawa S.A. w Czuprynowie w województwie podlaskim. Nasyp drogowy wzniesiono na dro-



Fot. 1. Materiał pochodzący z przemiału zużytych opon – chipsy gumowe



Fot. 2. Materiał pochodzący z przemiału zużytych opon – granulaty gumowe

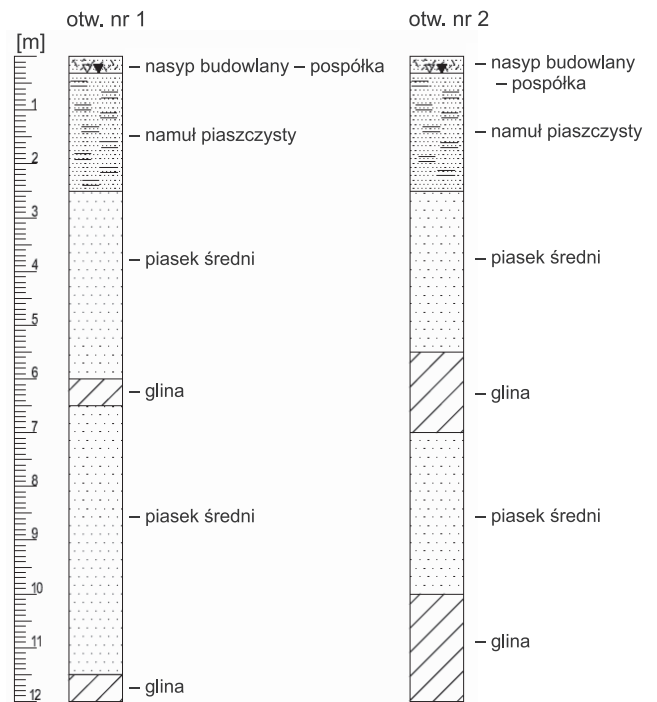


Fot. 3. Droga gminna w Czuprynowie przed wykonaniem nasypu

dze gminnej charakteryzującej się występowaniem słabonośnych gruntów nawodnionych – namułów piaszczystych. Przewidywane obciążenie drogi ruchem kategorii KR2.

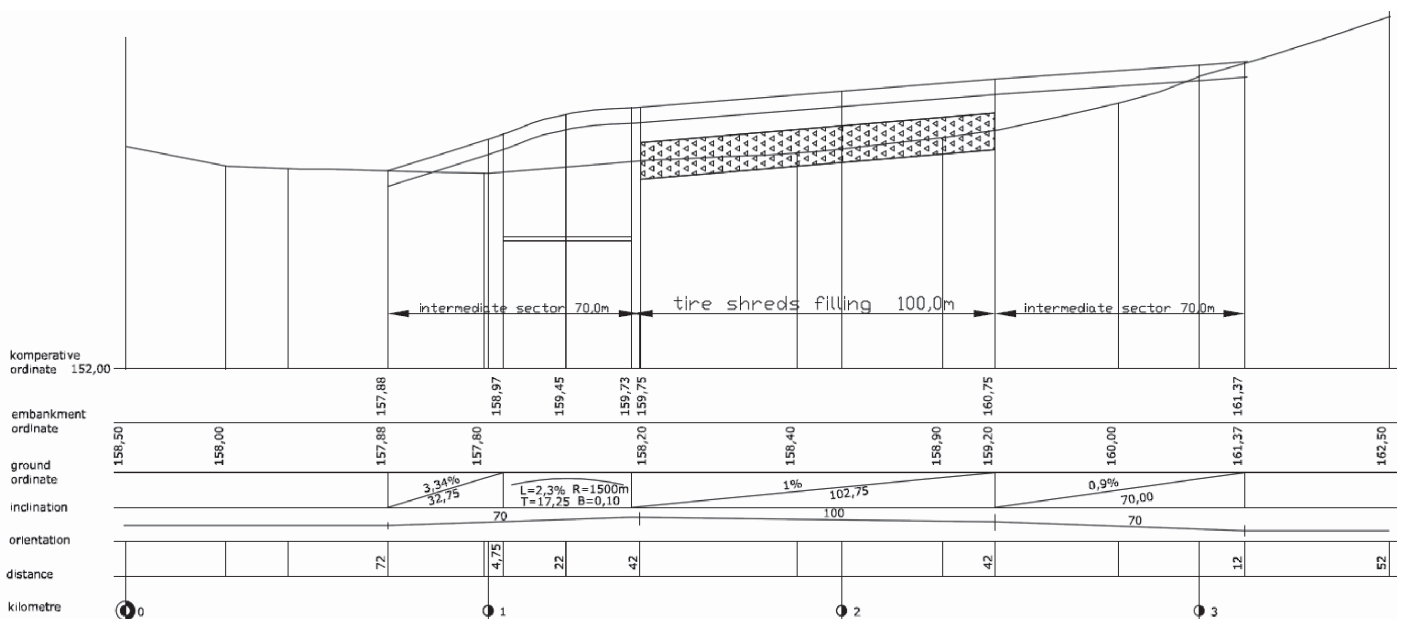
Miejscowość Czuprynowo leży w czwartej strefie przemarzania o głębokości przemarzania równej 1,4 m. W celu szczegółowego rozpoznania podłoża wykonane zostały dwa 12-metrowe odwierty geologiczne, które przedstawia rysunek 1. Ze względów geotechnicznych dwumetrowa warstwa namułów piaszczystych nie sprzyjała posadowieniu na tym terenie obiektów budowlanych, w tym nasypów drogowych. Proces wymiany gruntu o tej miąższości pochłoniłby dużo czasu i znaczne koszty. Pojawiła się zatem możliwość przetestowania technologii lekkich nasypów drogowych z wypełnieniem gumowym (strzępy zużytych opon) na gruntach słabonośnych.

Droga, na której zaprojektowano nasyp z wypełnieniem w postaci strzępów gumowych, przebiega przez nieckę za-

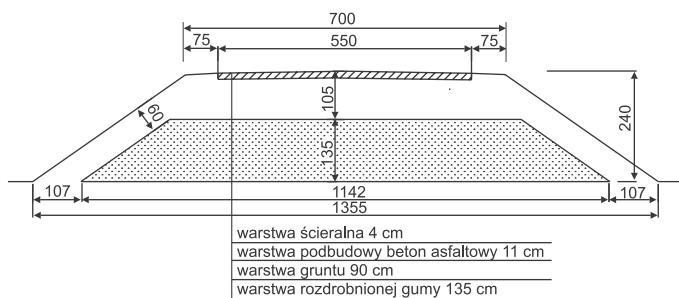


Rys. 1. Rodzaje gruntów w odwiertach geologicznych pod nasypem

stoiskową. W miesiącach wiosennych, a także po intensywnych opadach deszczu miejsce to gromadzi znaczną ilość wód gruntowych, których zwierciadło często znajduje się powyżej powierzchni terenu. Należało ograniczyć podsiąk kapilarny od wód gruntowych oraz zabezpieczyć warstwy przyszłej nawierzchni drogowej przed przemarzaniem. W tym celu zaprojektowano i wykonano na długości 240 m nasyp o wysokości 2,4 m, który miał 11,42 m szerokości u podstawy oraz 7,0 m w koronie (rys. 2 i 3).



Rys. 2. Profil podłużny nasypu



Rys. 3. Profil poprzeczny nasypu

Przygotowanie placu budowy

Podłoże pod nasyp przygotowano w taki sam sposób jak w przypadku stosowania tradycyjnej technologii wykonania nasypu. Warstwy podłoża zostały wyrównane, wypoziomowane i przygotowane do wybudowania nasypu, a teren budowy oczyszczony, zapewniający bezpieczne warunki prowadzenia robót budowlanych.



Fot. 4. Przygotowanie podłoża pod nasyp drogowy

Instalacja aparatury pomiarowej

W celu monitorowania nasypu z wypełnieniem strzępami gumowymi zaprojektowano i zainstalowano system monitorujący, rejestrujący w ustalonych odstępach czasu parametry nasypu.



Fot. 5. Instalacja czujników parcia pod nasypem

Dzięki zainstalowanym w nasypie czujnikom możliwe było odczytywanie takich parametrów jak:

- temperatura poszczególnych warstw nasypu,
- parametry odkształcenia i osiadania warstw nasypu,
- charakterystyki ciśnienia w warstwach nasypu.



Fot. 6. Instalacja rury będącej elementem systemu do pomiaru osiadań nasypu

Rozłożenie dolnej warstwy z geosyntetyków: geomembrany i geotkaniny

Geomembrana ma na celu zabezpieczenie wypełnienia gumowego przed wnikaniem wody gruntowej i powietrza, a geotkanina separuje i zabezpiecza geomembranę przed uszkodzeniami przez strzępy gumowe.

W zależności od jakości zastosowanych strzępów (występowanie wystających drutów), mogą być zastosowane różne rozwiązania zabezpieczające geomembranę przed uszkodzeniem, przy tym należy uwzględnić dwa przypadki:

- przy zastosowaniu strzępów gumowych o gładkich krawędziach bez wystającego drutu, podstawowy poziom zabezpieczenia geomembrany przed przebiciem gwarantuje uło-



Fot. 7. Rozkładanie geomembrany i geowłókniny

żenie, pomiędzy geomembraną a strzępami gumowymi, geotkaniny o odpowiedniej masie jednostkowej;

- przy zastosowaniu strzępów gumowych zawierających wystające kawałki drutu (zależnie od ilości i długości wystających drutów) należy odpowiednimi materiałami zabezpieczyć geomembranę przed przebiciem, aby zagwarantować jej szczelność.

Ze względu na wysokie stany wody gruntowej w nasypie z wypełnieniem w postaci strzępów gumowych zastosowano warstwę geomembrany, której głównym zadaniem było osłonięcie warstw gumowych w postaci materaca przed infiltracją wód gruntowych oraz niekorzystnym wpływem powietrza. Geotkanina została rozłożona na geomembranie w celu jej ochrony przed uszkodzeniami strzępami opon, oraz jako warstwa separacyjna.

Rozłożenie warstwy strzępów opon

Operacje związane z przygotowaniem materiału tj.: cięciem zużytych opon i ich sortowanie zostało wykonywane w profesjonalnym zakładzie przemiału materiałów gumowych. W przypadku zastosowania rozwiązania na większą skalę – w celu zminimalizowania kosztów transportu – można zastosować linie mobilne, które umożliwiają przygotowanie materiału gumowego na placu budowy. Linia przemiału odpadów gumowych umożliwia uzyskanie z opon samochodowych materiału o dowolnym uziarnieniu. Przygotowany do wbudowania materiał dostarczano na plac budowy naczepami o pojemności 62 m³. Ciężar objętościowy strzępów gumowych, w zależności od ich uziarnienia i stopnia zagęszczenia mieści się w granicach 0,5÷0,6 t/m³. Mały ciężar objętościowy tego materiału, w porównaniu do gruntów i kruszyw, jest jego dużą zaletą w aspekcie kosztów transportu i wbudowywania.

Na przygotowaną wcześniej warstwę ochronną, wykonaną z geotkaniny, rozkładano, warstwami o grubości 60 cm, materiał gumowy przy pomocy tradycyjnych spycharek, a następnie zagęszczano walcem dwuosowym o masie 10 ton i nacisku efektywnym na podłoże 2,9 MPa. Do uzyskania wymaganych parametrów projektowych zagęszczenia warstw, konieczny był co najmniej 10-krotny przejazd walca po każdej z ułożonych warstw strzępów gumowych.



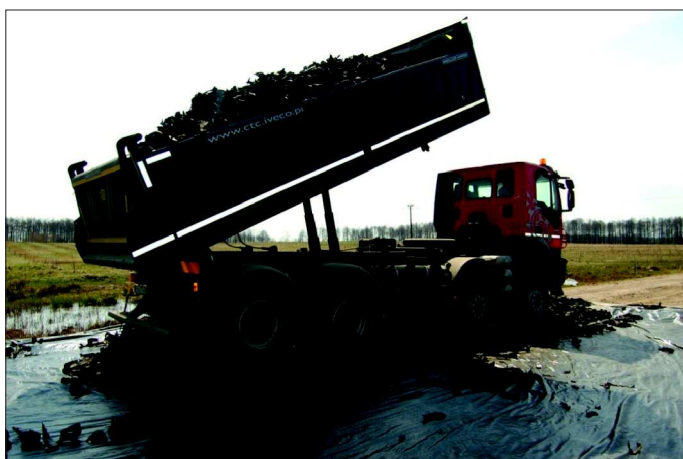
Fot. 9. Wstępne zagęszczanie warstwy nasypu ze strzępów gumowych

Stopień zagęszczenia warstwy w przybliżony sposób oceniano, obserwując przemieszczanie się strzępów gumowych względem siebie podczas zagęszczania oraz na podstawie ugięcia warstwy pod naciskiem przejeżdżającego walca. Taki sposób postępowania jest jedynie orientacyjny i wymaga od nadzoru i od operatora maszyny dużego doświadczenia. Po osiągnięciu odpowiedniego zagęszczenia, można przystąpić do układania następnej warstwy.

W celu zapewnienia dobrego podłoża gruntowego pod konstrukcją nawierzchni drogowej, górna powierzchnia warstwy lekkiego wypełnienia nasypu ze strzępów gumowych powinna być umiejscowiona co najmniej 1,0 m poniżej górnej powierzchni (dolnej warstwy) podbudowy nawierzchni drogi, a każda warstwa nasypu ze strzępów gumowych odpowiednio zagęszczona.

Wykonanie górnej warstwy nasypu

W górnej części nasypu, na warstwie geomembrany przykrywającej strzępy gumowe, ułożono warstwami grunt o łącznej grubości 0,9 m. Grunt zagęszczano w warstwach o grubości od 0,15 m do 0,30 m.



Fot. 8. Rozkładanie strzępów gumowych na geotkaninie



Fot. 10. Końcowy etap formowania górnej części nasypu

Nasyp z wypełnieniem gumowym ulega konsolidacji w miarę układania kolejnych warstw i czasu. Konsolidacja wypełnienia w początkowej fazie przebiega intensywniej, aż do osiągnięcia stabilizacji.

Aby uzyskać wymagane zagęszczenie i nośność górnej części nasypu, o grubości 90 cm, wykonano ją z pospółki, pozyskanej z kopalni kruszyw mineralnych.

Wykonanie nawierzchni drogowej

W celu stworzenia rzeczywistych warunków pracy innowacyjnej konstrukcji nasypu (właściwy rozkład naprężeń od obciążenia ruchem drogowym) zaprojektowano i wykonano na nim warstwy nawierzchni drogowej. Aby uzyskać większą sztywność oraz lepsze zespojenie warstw ułożono i zagęszczono dolną warstwę podbudowy z kruszywa łamanego (fot. 12), która została następnie skropiona emulsją asfaltową (fot. 13). Warstwę górną podbudowy o grubości 11cm wykonano z betonu asfaltowego (AC 16 P; z asfaltem drogowym 50/70)



Fot. 13. Rozkładanie warstwy górnej podbudowy z mieszanki AC 16 P



Fot. 11. Proces układania i zagęszczania warstwy dolnej podbudowy z kruszywa łamanego



Fot. 12. Skropienie podbudowy z kruszywa łamanego emulsją asfaltową

i warstwę ścieralną o grubości 4 cm także z betonu asfaltowego (AC 11 S z asfaltem modyfikowanym: PMB 45/80-55). Do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych wykorzystano kruszywa polodowcowe.

Wnioski

Po przeprowadzeniu analiz teoretycznych, jak również praktycznego zastosowania opracowanej technologii można wysnuć następujące wnioski:

Badania składu chemicznego wód gruntowych przed i po wzniesieniu nasypu wykazały, iż zastosowanie technologii recyklingu materiału, w postaci strzępów, pochodzącego z przemiatu zużytych opon samochodowych nie ma negatywnego wpływu na środowisko naturalne.

Monitoring temperaturowy wykazał, iż w masywnej konstrukcji nasypu nie zachodzą żadne negatywne zjawiska korozyjne w warstwach wykonanych z materiału gumowego.

Biorąc pod uwagę zalety alternatywnej technologii takie jak ciężar objętościowy materiału gumowego (ok. 3 razy lżejszego w porównaniu z gruntem), nacisk na niższe warstwy gruntu (2 razy mniejszy nacisk na niższe warstwy w porównaniu z tradycyjnym gruntem), dobre właściwości termiczne (współczynnik przewodzenia 8 razy mniejszy w porównaniu z tradycyjnym gruntem), można wywnioskować, iż zastosowanie tej technologii jest zdecydowanie warte uwagi.

Aspekty ekonomiczne są w tym momencie barierą szerokiego wprowadzenia technologii na polski rynek, natomiast w związku z wprowadzeniem zakazu spalania zużytych opon samochodowych sytuacja ta może się diametralnie zmienić na korzyść zastosowania tej technologii.

Podsumowanie

Analiza i monitoring nasypu drogowego z wypełnieniem strzępami ze zużytych opon wykazały zadowalające i obiecujące wyniki. Z inżynierskiego punktu widzenia najważniejszy jest fakt, że takie wypełnienie nasypu może z powodze-

niem zastąpić tradycyjny grunt naturalny. Badania aparaturą VSS oraz lekką płytą dynamiczną wykazały, iż parametry zagęszczenia, odkształcenia i nośności pilotażowego nasypu spełniają wymagania normowe. Ponadto zastosowanie tej technologii nie wpływa negatywnie na środowisko naturalne. Co więcej, przyczynia się do jego ochrony poprzez wykorzystanie materiału otrzymywanego ze zużytych opon samochodowych.

W Polsce najistotniejszą barierą szybkiego rozwoju budowy dróg na nasypach z wypełnieniem w postaci strzępów gumowych są koszty rozdrabniania gumy i transportu z uwagi na nierównomierne rozmieszczenie na terenie kraju zakładów przerabiających zużyte opony samochodowe. Dlatego też decyzje związane z wykorzystaniem takiego rozwiązania podejmuje się w sytuacjach, w których inne materiały nie spełniają założonych wymagań. Dzieje się to przy słabonosisnych podłożach gruntowych lub w przypadku konieczności

zmniejszenia wpływu oddziaływań dynamicznych infrastruktury drogowej na najbliższe jej otoczenie. Bardzo ważnym aspektem jest czynnik ekologiczny, który uzyskujemy poprzez recykling odpadu, wykorzystując go do wykonania konstrukcji nasypu drogowego. Wszystko to powinno prowadzić do premiowania rozwiązań proekologicznych, rozwijających technologie związane z gospodarką odpadami i bezpiecznym ich wykorzystaniem.

Bibliografia

- [1] Sprawozdanie z Seminarium: „Materiały z recyklingu opon dla drogownictwa” Piastów 10.12.2003
- [2] Botello Rojas Faiver, Guedella Bustamante Edith, Calvo Herrera Ignacio, Garcia Espinel Jose Daniel: „Field study of a shredded-tire road embankments in Madrid (Spain)” konferencja TRA 2008 Transport Research Arena, Ljubljana, Slovenia 21–24 kwiecień 2008 ■



MAREK MISTEWICZ

Instytut Badawczy
Dróg i Mostów
mmistewicz@ibdim.edu.pl

Pierwszy most pontonowy przez Wisłę

Pierwszy, znany z przekazów, most pływający przez Wisłę zbudowano w 1410 r. w Czerwińsku dla króla Władysława II Jagiełły, którego wojska przepłynęły się po nim podążając na pola Grunwaldu. Z okazji obchodzo-

nej w 2010 r. sześćsetnej rocznicy tego wydarzenia most i jego wybudowaną współcześnie replikę opisała prof. Barbara Rymśka w publikacji [9]. Na podstawie analizy materiałów źródłowych most Jagiełły jest uznawany za most łyżwowy, ponieważ był zbudowany na łodziach splawionych rzeką. Natomiast mostami pontonowymi są nazywane konstrukcje złożone z pomostu i środków pływających, wykonanych z przeznaczeniem do budowy mostu, transportowanych do miejsca wbudowania drogą lądową.

W XVI i XVII wieku szczególne znaczenie przy obronie i zdobywaniu ufortyfikowanych twierdz zaczęła odgrywać artyleria. Transport oraz przeprowianie przez rzeki coraz większych i cięższych armat stwarzały coraz poważniejsze trudności techniczne. W polskich arsenałach, zwanych wtedy *cekauzami*, rozpoczęto gromadzenie łodzi służących do przewożenia armat drogą wodną. Budowa mostów pływających stała się domeną artylerzystów. XVII-wieczne podręczniki artylerii, prócz opisów armat i techniki strzelania, zawierały porady dotyczące konstruowania mostów. W literaturze wojskowej nawiązywano do szczytnych, polskich osiągnięć opisując most pływający przez Wisłę, zbudowany przez wojska Władysława II Jagiełły.

Doświadczenia wojsk polskich i litewskich zebrane podczas dwóch wojen ze Szwecją, które prowadziła Rzeczpospolita

Obojga Narodów za panowania Zygmunta III Wazy, wskazywały na potrzebę unowocześnienia wyposażenia armii. **Władysław IV Waza** (1595–1648), którego po śmierci ojca w 1632 r. sejm elekcyjny wybrał na króla Polski, podpisując *pacta conventa* zobowiązał się wyposażyć armię w artylerię i środki transportu, ufortyfikować miasta oraz zbudować flotę wojenną. W celu realizacji tych zobowiązań król zatrudnił grupę zdolnych inżynierów artylerii m.in.: Krzysztofa Grodzickiego, Adama Freytaga, Jana Pleitnera, Fryderyka Getkanta, a następnie braci Eliasza i Krzysztofa Arciszewskich. Korzystał również z wiedzy i doświadczeń, wykształconego w Holandii, wybitnego teoretyka artylerii Kazimierza Siemionowicza i budowniczego kresowych twierdz Andrzeja dell’Aqua.

Andrzej dell’Aqua (1584–1656) (fot. 1) był z pochodzenia Wenecjaninem, któremu w 1635 r. polski król nadał indygenat szlachecki. Przybył do Polski przed 1613 r. zatrudniając się jako architekt u podczaszego koronnego Adama Hieronima Sieniawskiego, a po jego śmierci w 1616 r. u Tomasza i Jana Zamoyskich. Na ich zlecenie dokończył budowę fortyfikacji Zamościa, rozpoczętą przez Bernardo Morando. W latach 1631–1635 pracował dla hetmana Stanisława Koniecpolskiego przy budowie zamku w Brodach, a prawdopodobnie również pałaców w Podhorcach i Warszawie. W 1622 r. Zygmunt III Waza zlecił królewskiemu architektowi wojennemu Andrzejowi dell’Aqua utworzenie w twierdzy Barskiej szkoły puszkarskiej dla artylerzystów, która nie podjęła jednak działalności w zaplanowanym zakresie. Dell’Aqua jest również autorem projektu fortyfikacji twierdzy na Jasnej Górze, która skutecznie odparła ataki wroga podczas szwedzkiego potopu.