

*Krystyna Dzidowska\*, Olgierd Puła\**

## WARUNKI GEOTECHNICZNE I JAKOŚĆ GRUNTÓW NA TERENIE POPRZEMYSŁOWYM A PLANOWANIE PRZESTRZENNE

---

### 1. Wprowadzenie

W centrum Wrocławia istnieje teren przemysłowy o powierzchni 3 ha i infrastruktura budowlano-techniczna do ponownego wykorzystania. Bezpośrednie jego otoczenie stanowi zabudowa mieszkalna i mieszkalno-usługowa oraz koryto Południowej Odry. Działalność przemysłowa na tym terenie była związana z produkcją akumulatorów i baterii. Po ustaniu pierwotnej funkcji terenu zmieniono jego przeznaczenie w miejscowym planie zagospodarowania na teren do zabudowy mieszkalno-usługowej. Dokonana zmiana przeznaczenia terenu oznaczała konieczność szerszego uwzględnienia uwarunkowań geotechnicznych i środowiskowych, ponieważ stanowią one istotną przesłankę do jego zabudowy i/lub rekultywacji [4].

W referacie przedstawiono ocenę warunków geotechnicznych i jakości gruntów na terenie przemysłowym, po ośmioletnim ustaniu pierwotnej działalności w aspekcie możliwości jego zagospodarowania dla potrzeb zabudowy mieszkalno-usługowej i/lub rekultywacji.

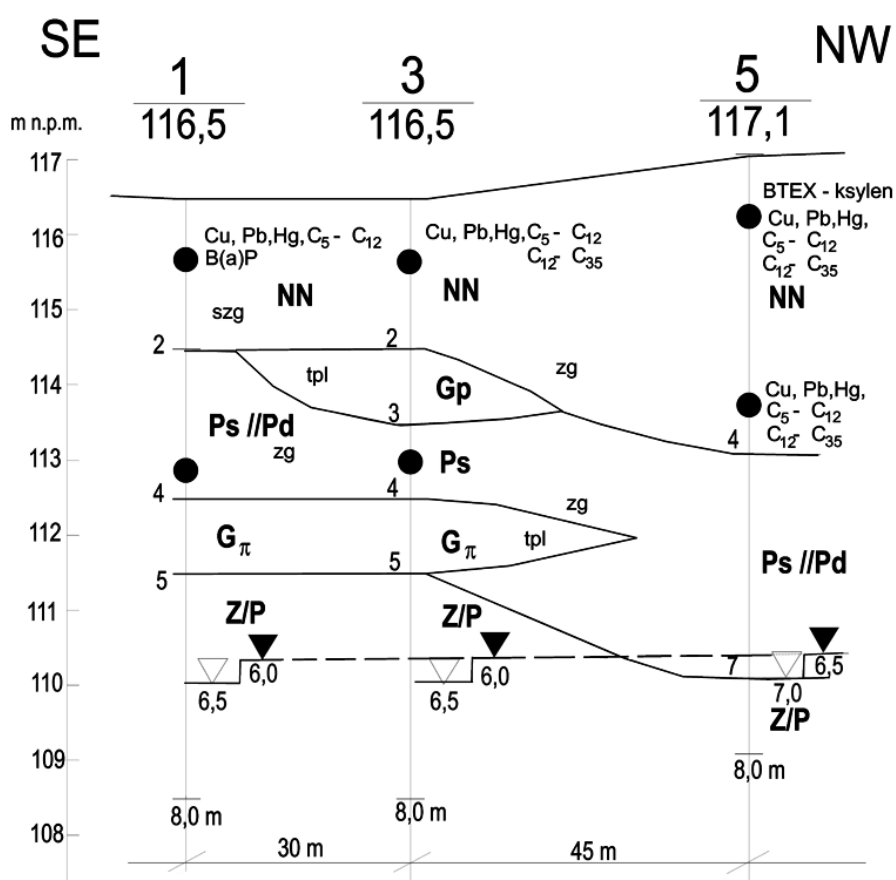
### 2. Warunki geotechniczne

Teren przemysłowy jest położony na tarasie zalewowym doliny Odry. Od strony północnej sąsiaduje bezpośrednio z korytem Południowej Odry a od strony południowej, zachodniej i wschodniej z zabudową mieszkalną. Koryto rzeki jest położone poniżej 5 m w stosunku do rzędnych terenu przemysłowego. Jest to koryto uregulowane z umocnionymi brzegami. Jednocześnie procesy erozyjno-akumulacyjne rzeki są tu znacząco ustabilizowane.

---

\* Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wrocław

zowane, a zjawisk geodynamicznych nie stwierdzono [9]. Ponadto teren nie był zalany podczas wielkiej powodzi we Wrocławiu, w 1997 roku. Warunki geotechniczne na terenie przemysłowym rozpoznano na podstawie wyników wiercenia ośmiu otworów do głębokości 8÷15 m i ośmiu sondowań w gruntach niespoistych do głębokości 8,0 m oraz wyników laboratoryjnych badań wilgotności naturalnej, uziarnienia gruntów niespoistych, gęstości objętościowej, konsystencji i wytrzymałości na ścinanie w aparacie bezpośredniego ścinania, przeprowadzonych na wytypowanych próbkach gruntów [9]. Generalne warunki geotechniczne na terenie przemysłowym przedstawiono na rysunku 1.



**Rys. 1.** Przekrój geośrodowiskowy na terenie przemysłowym we Wrocławiu:

1 — nr otworu; 116,5 — rzędna otworu; ● — próbka gruntu do analiz chemicznych;  
 ▽ — zwierciadło wody nawiercone; ▼ — zwierciadło wody ustabilizowane; szg — stan średnio zagęszczony; zg — stan zagęszczony; tpi — stan twardoplastyczny; NN — nasyp niekontrolowany;  
 Ż — żwir; Pr — piasek gruby; Ps — piasek średni; Pd — piasek drobny; Gp — glina piaszczysta;  
 Gπ — glina pylasta; Cu — wskaźnik zanieczyszczenia przekraczający dopuszczalną zawartość w gruncie dla zabudowy mieszkalnej

Podłoże gruntowe budują, rozpatrując od góry, nasypy niekontrolowane, osady rzeczne i utwory zlodowacenia środkowopolskiego akumulacji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej [3]. Nasypy stanowią wierzchnią warstwę podłoża do głębokości 2÷4 m. Ich skład jest różnorodny: gruz piaszczysto-ceglany z betonem, gruz piaszczysto-ceglany z odpadami tekstylnymi i metalami, gruz piaszczysto-ceglany z stałymi odpadami ze ścieków technologicznych, mieszanina piaszczysto-gliniasta z stałymi odpadami ze ścieków technologicznych. Stan tych nasypów jest średnio zagęszczony o stopniu zagęszczenia  $I_D$  od 0,40 do 0,46. Nasypy nie zostały podane badaniom laboratoryjnym, gdyż powinny być usunięte podczas robót ziemnych.

Utwory rzeczne zalegały bezpośrednio pod nasypami. Reprezentowane one były przez piaski średnie i piaski drobne oraz namuły rzeczne. Ich miąższość wynosiła około 3,0 m. Grunty te były w stanie zagęszczonym. Wartość stopnia zagęszczenia wynosiła od 0,68 do 0,70, a wartość kąta tarcia wewnętrznego od 33 do 34°. Namuły rzeczne jako gliny piaszczyste stanowiły tylko przewarstwienia i soczewki o miąższości około 1,0 m. Ich stan był twar doplastyczny a stopień plastyczności  $I_L$  wynosił od 0,19 do 0,25. Jednak po intensywnym opadzie atmosferycznym, stan namulów uległ zmianie na plastyczny o stopniu plastyczności około 0,42. Strop osadów akumulacji wodno-lodowcowych stwierdzono na głębokości 5÷7 m. Grunty te były reprezentowane przez zawadnione pospółki i żwiry. Miąższość ich wynosiła około 7,0 m. Podłoże dla pospółek i żwirów stanowiły gliny moreny dennej. Stan pospółek i żwirów był zagęszczony. Wartość stopnia zagęszczenia kształtowała się od 0,74 0,80 a kąt tarcia wewnętrznego wynosił 38÷40°. Natomiast gliny moreny dennej nawiercono na głębokości 12÷14 m. Były to gliny piaszczyste i gliny pylaste w stanie półzwarłym/twardoplastycznym. Ich stopień plastyczności wynosił od 0,04 do 0,20, spójność od 40 do 45 kPa a kąt tarcia wewnętrznego od 18 do 23°. Zwierciadło wody podziemnej pierwszego poziomu wodonośnego stwierdzono na głębokości około 6,5 m. Wody tego poziomu wykazywały słabą agresywność w stosunku do betonu i stali [9]. Wahania zwierciadła wody szacuje się na 0,7÷1,5 m. Wody podziemne tego poziomu są drenowane przez rzekę Odre.

### **3. Jakość nasypów niekontrolowanych i gruntów rodzimych**

Zanieczyszczenie gruntów określono na podstawie wyników z analiz chemicznych wykonanych w laboratorium na dziesięciu uśrednionych próbkach nasypów i gruntów rodzimych. Próbki nasypów i gruntów rodzimych pobrano w pobliżu koryta Południowej Odry, na obszarze wyburzonych magazynów akumulatorów i baterii (wschodnia strona terenu przemysłowego) i parkingu samochodowego oraz trasy zlikwidowanej kanalizacji ścieków technologicznych. Próbki nasypów pobierano z głębokości 0,3÷4,0 m a próbki gruntów rodzimych z głębokości 2,0÷4,0 m. Gleby (0,0÷0,3 m) nie badano, ponieważ jest to gleba sztuczna i przerobiona w wyniku prowadzonych dotychczasowych prac budowlanych. Zakres oznaczanych substancji chemicznych w gruntach ustalono na podstawie rozpo-

rządzenia Ministra Środowiska [11], studiów literaturowych [1] i badań własnych [5, 6; 9]. W próbkach nasypów i gruntów rodzimych oznaczano w laboratorium całkowitą zawartość metali ciężkich (cynk, kadm, miedź, nikiel, ołów, rtęć), sumę benzyny ( $C_{6-12}$ ), sumę oleju mineralnego ( $C_{12-35}$ ), sumę węglowodorów aromatycznych (BTEX) i wielopierścieniowego węglowodoru aromatycznego benzo(a)pirenu (B(a)P). W niniejszym referacie przedstawiono minimalną i maksymalną zawartość oznaczanych substancji chemicznych w nasypach niekontrolowanych i gruntach rodzimych. Jakość nasypów i gruntów rodzimych określono na podstawie porównania wyników badań własnych z dopuszczalnymi wartościami granicznymi dla tzw. gruntów grupy B, podanymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska [11]. Grunty grupy B obowiązują na terenie zabudowanym i zurbanizowanym oraz zadrzewionym i zakrzewionym, z wyłączeniem terenów przemysłowych i komunikacyjnych, a więc na terenie zabudowy mieszkalno-usługowym. W tabeli 1 przedstawiono wyniki z analiz chemicznych z próbek nasypów i porównanie zawartość substancji chemicznych w nasypach niekontrolowanych z dopuszczalnymi wartościami granicznymi, określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska [11]. Zawartość oznaczanych substancji chemicznych w nasypach była zróżnicowana i zależała od miejsca i głębokości pobrania próbek nasypów.

TABELA 1

**Porównanie zawartości substancji chemicznych w nasypach niekontrolowanych z dopuszczalnymi wartościami granicznymi, określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska [11]**

| Rodzaj gruntu  | Substancja chemiczna | Zawartość substancji w $mg\ kg^{-1}$ |            | Dopuszczalna zawartość substancji dla grupy B wg [11] |
|--|----------------------|--------------------------------------|------------|---|
|  |                      | minimalna                            | maksymalna |   |
| Nasypy niekontrolowane z głębokości 0,3÷4,0 m (strefa aeracji) |                      |                                      |            |   |
| Nasypy   | $\Sigma$ benzyny     | n.w.                                 | 342,82 *   | 5   |
|  | $\Sigma$ oleju       | n.w.                                 | 412,30 *   | 200   |
|  | $\Sigma$ BTEX        | n.w.                                 | 13,89 *    | 1   |
|  | B(a)P                | n.w.                                 | 1,8        | 5   |
|  | cynk                 | 8,4                                  | 268,9      | 350   |
|  | kadm                 | 0,9                                  | 2,1        | 5   |
|  | miedź                | 54,1                                 | 343,7 *    | 100   |
|  | nikiel               | 14,3                                 | 88,7 *     | 50  |
|  | ołów                 | 83,6                                 | 9834,0 *   | 100   |
|  | rtęć                 | 0,77                                 | 4,04 *     | 3   |

Objaśnienia: n.w. — nie wykryto substancji chemicznej,  $\Sigma$  — suma substancji, BTEX — węglowodory aromatyczne, B(a)P — benzo(a)piren, \* — przekroczenie dopuszczalnych zawartości substancji w nasypach.

Minimalne zawartości oznaczanych substancji chemicznych stwierdzono w próbkach nasypów zlokalizowanych w pobliżu koryta Południowej Odry i na terenie wyburzonych magazynów akumulatorów i baterii.

W nasypach z tych obszarów nie stwierdzono sumy benzyny, sumy oleju mineralnego i sumy węglowodorów aromatycznych oraz benzo(a)pirenu. Natomiast stwierdzono metale ciężkie. Wartości stężeń metali ciężkich były w przedziale od  $0,9 \text{ mg kg}^{-1}$  (kadm) do  $63,6 \text{ mg kg}^{-1}$  (ołów). Porównanie minimalnych zawartości stężeń metali ciężkich w nasypach z dopuszczalnymi wartościami podanymi w standardach jakości gleby i standardach jakości ziemi dla grupy gruntów B [11] wskazuje, że są one poniżej wartości dopuszczalnych. Maksymalne zawartości oznaczanych substancji występowały w nasypach na obszarze parkingu samochodów, na głębokości  $0,3\div 1,0 \text{ m}$  i wzdłuż trasy zlikwidowanej kanalizacji ścieków technologicznych, na głębokości  $1,0\div 3,0 \text{ m}$ .

Najwyższe zawartości stwierdzono dla sumy benzyny  $342,82 \text{ mg kg}^{-1}$ , sumy oleju mineralnego  $412,30 \text{ mg kg}^{-1}$  oraz ołowiu  $9834,0 \text{ mg kg}^{-1}$  i miedzi  $343,7 \text{ mg kg}^{-1}$  oraz lokalnie sumy węglowodorów aromatycznych  $13,89 \text{ mg kg}^{-1}$ , niklu  $88,7 \text{ mg kg}^{-1}$  i rtęci  $4,04 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Porównanie maksymalnych zawartości stężeń sumy benzyny, sumy oleju mineralnego, sumy węglowodorów aromatycznych i metali ciężkich z dopuszczalnymi zawartościami podanymi w standardach jakości gleby i standardach jakości ziemi według rozporządzenia Ministra Środowiska [11] wskazuje, że nasypy nie spełniają standardów dla grupy gruntów B, tj. na terenie zabudowy mieszkalno-usługowej. Suma benzyny przekracza dopuszczalną zawartość sześćdziesiąt siedem razy, suma oleju czterokrotnie, miedź trzykrotnie, nikiel półtora razy i ołów dziewięćdziesiąt osiem razy a rtęć o  $1,04 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Maksymalne zawartości węglowodorów i metali ciężkich w nasypach mogły wynikać z wykorzystania stałych odpadów ze ścieków technologicznych do niwelacji terenu, zwłaszcza przy likwidacji kanalizacji ścieków technologicznych [9]. Zanieczyszczenie nasypów powoduje, że muszą one być zdeponowane na składowisku lub poddane oczyszczaniu [1, 2].

Zawartość oznaczonych substancji chemicznych w gruntach rodzimych i porównanie ich zawartość z dopuszczalnymi wartościami granicznymi, określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska [11] przedstawiono w tabeli 2.

Wyniki analiz chemicznych wykazały, że grunty rodzime nie zawierają sumy benzyny, sumy węglowodorów aromatycznych (BTEX) i benzo(a)pirenu. Natomiast stwierdzono sumę oleju mineralnego o wartości stężenia  $149,5 \text{ mg kg}^{-1}$  i metale ciężkie o wartości stężeń w przedziale  $< 1,0\div 137,3 \text{ mg kg}^{-1}$ . Najniższą zawartość miał kadm ( $< 1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) a najwyższą cynk ( $137,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Porównanie zawartości oleju mineralnego i metali ciężkich w gruntach rodzimych z dopuszczalnymi wartościami podanymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska [11] wykazały, że ich zawartości były poniżej wartości dopuszczalnych. Oznaczało to, że grunty rodzime spełniały standardy jakości gleby i standardy jakości ziemi na terenie zabudowy mieszkalno-usługowej.

TABELA 2

**Porównanie zawartości substancji chemicznych w gruntach rodzimych z dopuszczalnymi wartościami granicznymi, podanymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska [11]**

| Rodzaj gruntu  | Substancja chemiczna | Zawartość substancji w mg kg <sup>-1</sup> |            | Dopuszczalna zawartość substancji dla grupy B wg [11] |
|--|----------------------|--|------------|---|
|  |                      | minimalna                                  | maksymalna |   |
| Grunty rodzime z głębokości 2,0-4,0 m (strefa aeracji) |                      |  |            |   |
| Grunty   | ∑ benzyny            | n.w.                                       | n.w.       | 1   |
|  | ∑ oleju              | n.w.                                       | 145,2      | 200   |
|  | ∑ BTEX               | n.w.                                       | n.w.       | 1   |
|  | B(a)P                | n.w.                                       | n.w.       | 5   |
|  | cynk                 | 27,4                                       | 137,3      | 350   |
|  | kadm                 | < 1,0                                      | 1,6        | 5   |
|  | miedź                | 8,2  | 54,1       | 100   |
|  | nikiel               | 6,3  | 42,7       | 50  |
|  | ołów                 | 33,6                                       | 88,2       | 100   |
|  | rtęć                 | 0,27                                       | 2,09       | 3   |

Objaśnienia: ∑ — suma substancji, BTEX — węglowodory aromatyczne, B(a)P — benzo(a)piren.

#### 4. Podsumowanie

Analiza uzyskanych wyników z badań geotechnicznych pozwala na stwierdzenie, że badany teren przemysłowy charakteryzuje się generalnie korzystnymi warunkami geotechnicznymi dla planowanej zabudowy mieszkalno-usługowej. Grunty piaszczyste i piaszczysto-żwirowe mają stan średnio zagęszczony i zagęszczony a gliny piaszczyste i pylaste są w stanie twardoplastycznym. Jednocześnie soczewki i przewarstwienia namulów rzecznych o miąższości około 1,0 m nie powinny być utrudnieniem w realizacji posadowienia planowanych obiektów budowlanych. Również jakość gruntów rodzimych jest korzystna, ponieważ zawartość oznaczanych substancji chemicznych była poniżej wartości dopuszczalnych dla tzw. grupy gruntów B — tereny zabudowane i zurbanizowane oraz zadrzewione i zakrzewione, z wyłączeniem terenów przemysłowych i komunikacyjnych, według rozporządzenia Ministra Środowiska [11]. Oznaczało to, że grunty rodzime na terenie przemysłowym spełniały standardy jakości gleby i standardy jakości ziemi dla planowanej zabudowy mieszkalno-usługowej tj. dla grupy gruntów B. Korzystne jest również występowanie zwierciadła wody podziemnej pierwszego poziomu wodonośnego na głębokości około 6,0 m.

Jednocześnie procesy erozyjno-akumulacyjne Południowej Odry są tu znacząco ustabilizowane i nie obserwuje się w tym rejonie zjawisk geodynamicznych. Ponadto teren ten nie był zalany podczas wielkiej powodzi w 1997 roku. Niekorzystne warunki na terenie poprzemysłowym wynikały z występowania w podłożu zanieczyszczonych nasypów niekontrolowanych, nawet do głębokości 4,0 m. Zasadnicze zanieczyszczenie nasypów stanowiła maksymalna zawartość sumy benzyny, sumy oleju mineralnego, sumy węglowodorów aromatycznych oraz ołowiu, miedzi, niklu i rtęci. W nasypach, wysokie zanieczyszczenie węglowodorów może powodować redukcję wartości kąta wewnętrznego i spójności [4, 8]. Natomiast różnorodność związków chemicznych może wpływać na właściwości wytrzymałościowo-odkształceniowe w nasypach gliniastych zawierających stałe odpady z ścieków technologicznych. Stąd zanieczyszczone nasypy niekontrolowane należy traktować jako podłoże o ograniczonej nośności, ze względu na zmienność ich cech fizykomechanicznych i fizykochemicznych [4, 8]. Jednocześnie zawartości węglowodorów i metali ciężkich powodują, że nasypy nie spełniają standardów jakości gleby i standardów jakości ziemi dla grupy gruntów B [11]. Ponadto zanieczyszczenie nasypów powoduje, że kwalifikują się one do odpadów niebezpiecznych z powodu zawartości ołowiu, miedzi, niklu i rtęci oraz węglowodorów [10] i muszą podlegać oczyszczeniu lub zdeponowaniu na składowisku.

#### LITERATURA

- [1] *Alloway B.J., Ayres D.C.*: Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. Warszawa, PWN, 1999
- [2] *Beblo W.*: Rozwój zrównoważony na terenach po zlikwidowanym przemyśle. Problemy ocen środowiskowych, nr 1 (4), 1999, s. 33–38
- [3] *Buksiński S., Lewadowska-Krzywda B., Siciński W.*: Atlas geologiczny Wrocławia. cz. I, mapy i przekroje geologiczne, cz. II, mapy geologiczno-inżynierskie. Wydawnictwo Geologiczne, 1974
- [4] *Dobak P.*: Waloryzacja geologiczno-inżynierska dla potrzeb planowania przestrzennego. Problemy ocen środowiskowych, nr 4, 2005, s. 41–48
- [5] *Dzidowska K.*: Jakość wód czwartorzędowego poziomu wodonośnego na terenie poprzemysłowym a planowanie przestrzenne. [w:] Kozerski B., Jaworska-Szulc B. (red.), Współczesne Problemy Hydrogeologii, Gdańsk, Zakład Poligrafii Politechniki Gdańskiej, t. XI, cz. 2, 2003, s. 131–137
- [6] *Dzidowska K.*: Ocena stanu zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego na terenach poprzemysłowych we Wrocławiu w aspekcie planowania przestrzennego. [w:] Gworek B. (red.), Obieg Pierwiastków w Przyrodzie, Monografia, Warszawa, Dział Wydawnictw IOŚ, t. III, 2005, s. 79–97
- [7] *Falkowska E.*: Ocena wrażliwości środowiska geologicznego na zanieczyszczenia w planowaniu przestrzennym na przykładzie obszaru okolic Orli na Podlasiu. [w:] Radeszewski R. (red.), Geologos, Poznań, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2007, nr 11, s. 151–161
- [8] *Korzeniowska-Rejmer E.*: Wpływ zanieczyszczeń ropopochodnych na charakterystykę geotechniczną gruntów stanowiących podłoże budowlane. Inżynieria Morska i Geotechnika nr 22, 2001, 83–86
- [9] *Pula O., Dzidowska K.*: Wstępne rozpoznanie warunków geotechnicznych i stopnia zanieczyszczenia gruntów na terenie poprzemysłowym w dzielnicy Stare Miasto we Wrocławiu. 2006. Archiwum Firmy Alma-Bis, Wrocław
- [10] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. Nr 112, poz. 1206)
- [11] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gruntów oraz standardów jakości ziemi. (Dz.U. Nr 165, poz. 1359)