Geomorfometria, pomiary geofizyczne i badania geoarcheologiczne – źródła wiedzy o rzeźbie Wrocławia

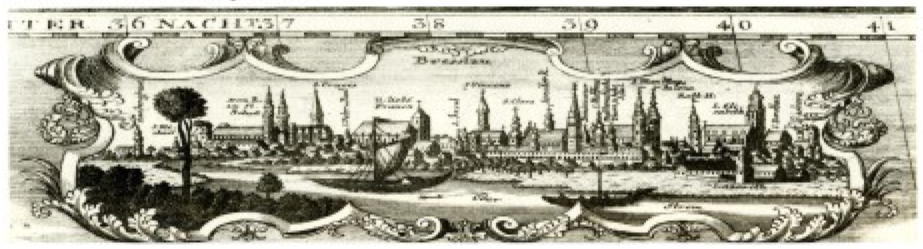
1

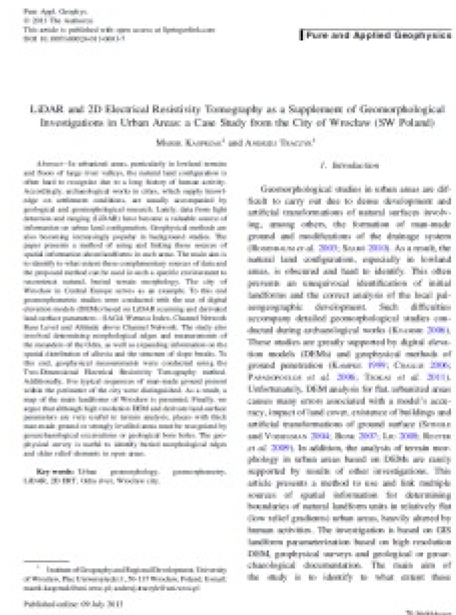
XVI Dolnośląski Festiwal Nauki 2013

Na obszarach zurbanizowanych naturalne ukształtowanie powierzchni bywa często nieczytelne z uwagi na wielowiekową działalność człowieka. Dlatego badania geologiczno-geomorfologiczne w miastach towarzyszą najczęściej pracom archeologicznym, dostarczającym wiedzy na temat warunków osadniczych.

W ostatnim czasie cennym źródłem informacji na temat ukształtowania powierzchni miejskich stają się dane pochodzące z Light Detection And Ranging (LiDAR). Coraz powszechniejsze w badaniach gruntu są również metody geofizyczne. W jaki sposób źródła te wzbogacają interpretację geomorfologiczną na terenach zurbanizowanych podano na przykładzie Wrocławia.

Dane LiDAR są jednym z najlepszych źródeł wiedzy o ukształtowaniu powierzchni terenu, przewyższając precyzją DEM otrzymywane w innych procedurach. W geomorfologii dane tego typu są wykorzystywane często do badań rzeźby fluwialnej, co jest szczególnie istotne na terenie nizinnym o trudnych do wyodrębnienia w prawidłowy sposób kierunkach odpływu. Potencjał tego źródła wiedzy stosowany jest także w badaniach obszarów zurbanizowanych.





Pure and Applied Geophysics

LiDAR and 2D Electrical Resistivity Tomography as a Supplement of Geomorphological Investigations in Urban Areas: a Case Study from the City of Wrocław (SW Poland)

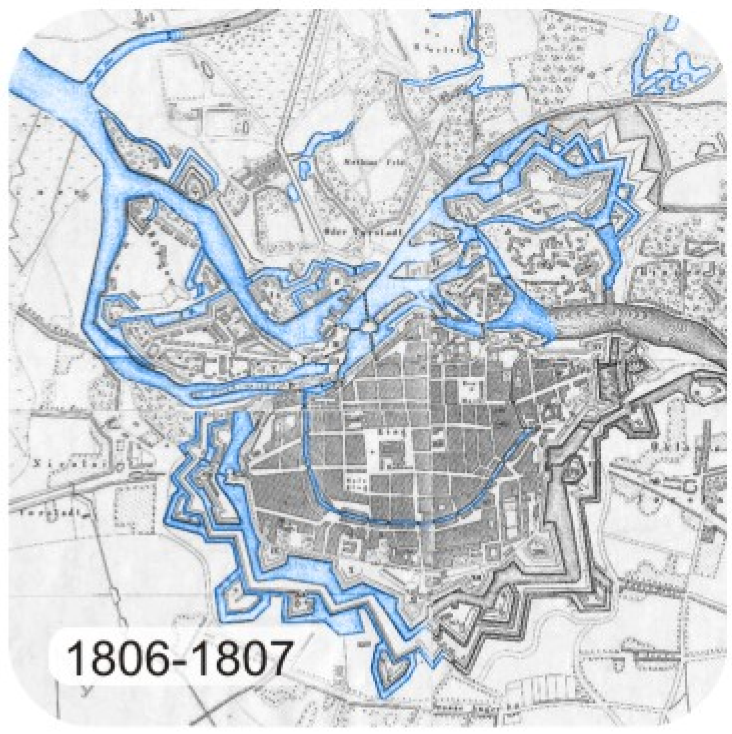
Marek Kasprzak and Andrzej Traczyk

1. Introduction

Key words: Urban geomorphology, geomorphometry, LiDAR, 2D ERT, Odra river, Wrocław city.

Published online: 09 July 2013

Złożoność systemu hydrograficznego Wrocławia (anastomozy Odry, fosy i sztuczne kanały)



Wrocław na mapie topograficznej sprzed zburzenia fortyfikacji ziemnych i fos..

Fragment mapy topograficznej w skali 1:10 000 z planem budowy kanału nawigacyjnego i powodziowego.

Fragment Geologische Karte von Preussen w skali 1:25 000, arkusz Breslau-Nord stanowiącej pierwszy szczegółowy obraz budowy geologcznej Wrocławia.

Plan urbanistyczny Wrocławia z zaznaczonymi terenami zagrożonymi zalewami powodziowymi (niebieskie) nie przeznaczonymi do zabudowy.

Obraz lotniczy zasięgu wód powodziowych w centrum Wrocławia w czasie powodzi z lipca 1997 roku.

Uniwersytet Wrocławski

Marek Kasprzak, Andrzej Traczyk

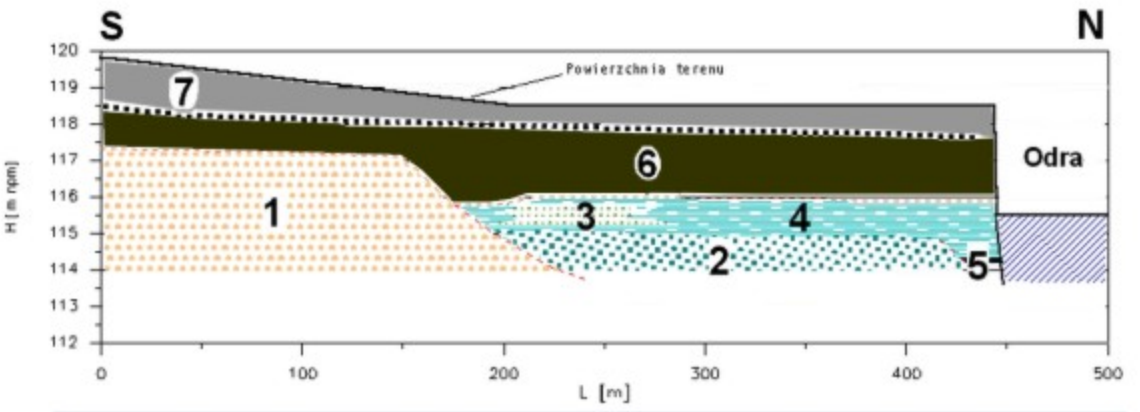
Zakład Geomorfologii
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego UWr

marek.kasprzak@uni.wroc.pl, andrzej.traczyk@uni.wroc.pl

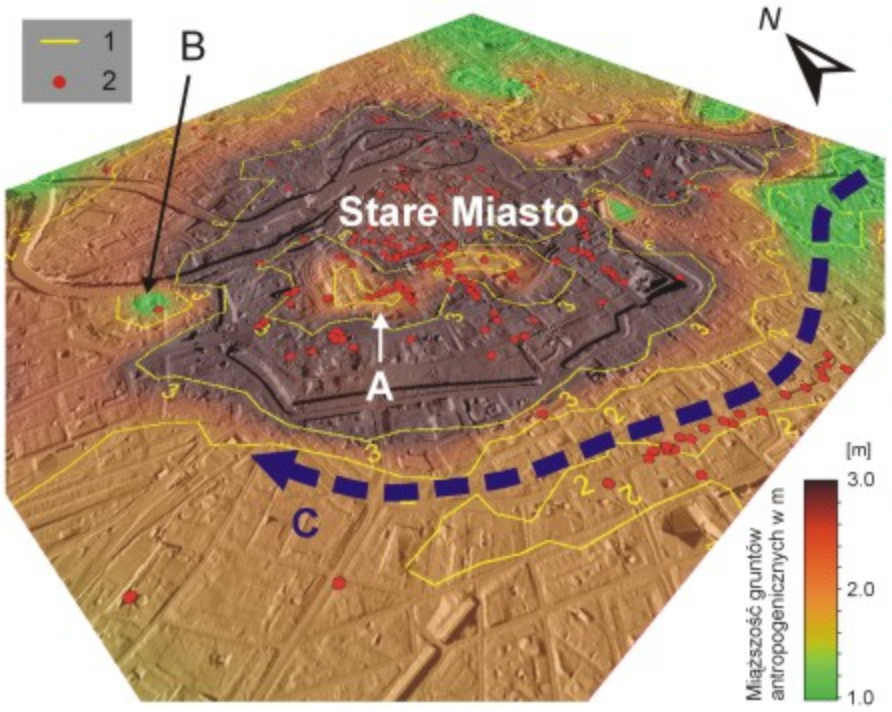
XVI Dolnośląski Festiwal Nauki 2013

Geomorfometria, pomiary geofizyczne i badania geoarcheologiczne – źródła wiedzy o rzeźbie Wrocławia 2

Obserwacje terenowe jak i analiza DEM jest mało skuteczna dla staromiejskiej części Wrocławia. Pierwotne rysy rzeźby terenu zostały tu przysłonięte w wyniku długotrwałych procesów nawarstwiania osadów antropogenicznych: mierzwy, nasypów piaszczystych. Szczególnie intensywnym okresem powstawania zasypów (głównie gruzowych) były lata 40-50. XX w., Co związane było ze zniszczeniami wojennymi i odbudową miasta. Konfiguracja terenu z okresu przedlokacyjnego znana jest dzięki wierceniom i odsłonięciom archeologicznym wykonywanym w trakcie prac ziemnych, związanych z boomem budowlanym ostatnich kilkunastu lat. Na podstawie tych danych można było w niektórych przypadkach dokonać rekonstrukcji pierwotnej rzeźby terenu (przykład takiej rekonstrukcji na rycinie obok).



Syntetyczny przekrój geologiczny przez rejon prac archeologicznych przy placu Nowy Targ we Wrocławiu (linia przekroju biegnie wzdłuż ulicy św. Katarzyny- Piaskowej).
Objaśnienia: Plejstocen: 1-piaski różnoziarniste; Holocen: 2-piaski i żwiry korytowe, 3-piaski (odsyp rzeczny), 4-piaski pyłowate (mada), 5-torfy; Grunty nasypowe: 6-piaski humusowe (mierzwy), 7-piaski z gruzem (zasypy gruzowe).

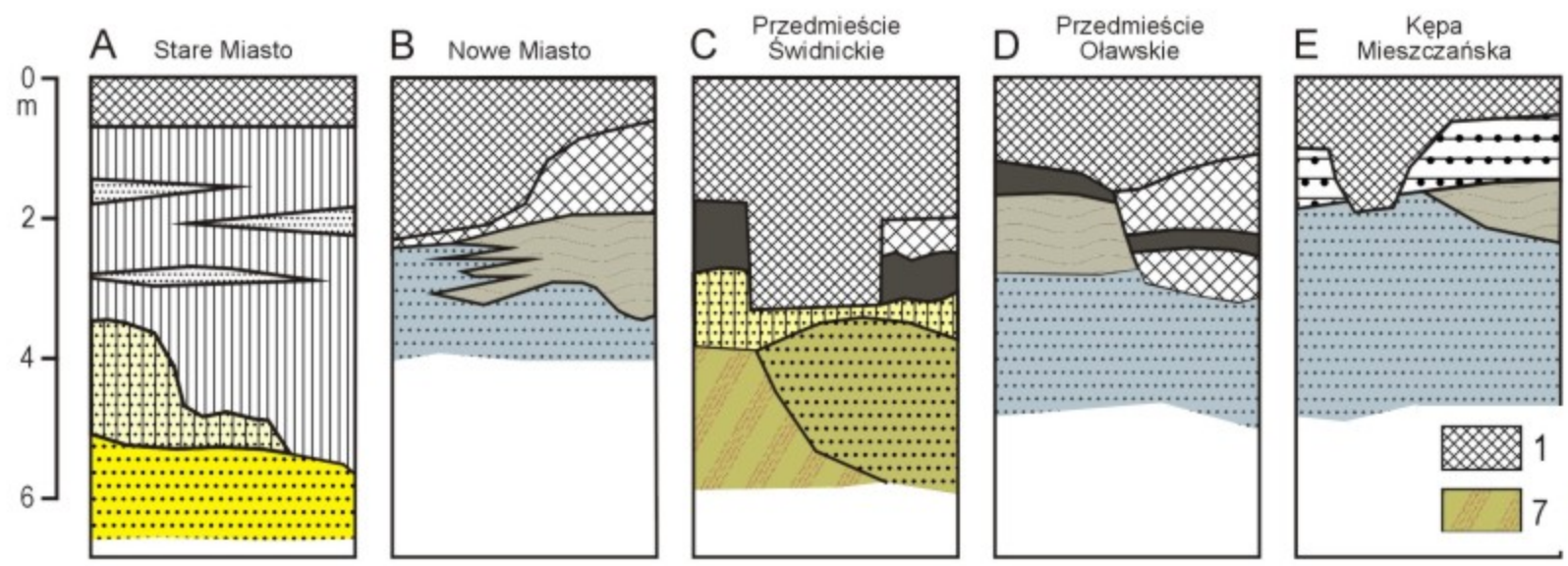


Miąższość nasypów antropogenicznych na obszarze Starego Miasta:
1 - izolinie miąższości na podstawie Atlasu Geologiczno-Inżynierskiego Aglomeracji Wrocławskiej (Goldsztejn 2009),
2 - zinwentaryzowane stanowiska archeologiczne,
A - strefa ostańca erozyjnego,
B - opuszczone zakole Odry,
C - kierunek przepływu wód wezbraniowych (sytuacja z lipca 1997 r.).

Wizualizacja zebranych danych geoarcheologicznych i analizy GIS potwierdza hipotezę Chmala i Traczyka (2001), że Stare Miasto we Wrocławiu było lokowane na plejstoceńskim ostańcu terasowym. Najwyżej położone partie tego ostańca położone są w południowej i południowo-zachodniej części Starego Miasta. Na mapie miąższości gruntów nasypowych odpowiada im strefa, w której miąższość nasypów spada poniżej 2 m (pkt A). Miąższość nasypów jest jeszcze mniejsza w obrębie starorzecza Odry przy zachodniej części Starego Miasta (pkt B), ponieważ obszar ten był zagrożony zalewem powodziowym i przez długi czas (aż do XIX w.) nie był zabudowany.

Analiza danych LiDAR pozwala wyróżnić obniżenie erozyjne ukształtowane w wyniku działania wód powodziowych, które wykorzystane zostało do budowy pod koniec XIII w. i ostatecznego ukształtowania w XVII w. miejskiej fosy zewnętrznej. Jest ono trudno dostrzegalne z poziomu gruntu czy na podstawie interpretacji mapy topograficznej. Obniżenie to wykorzystały nieoczekiwanie dla władz miasta połączone wody Odry i Oławy podczas katastrofalnego wezbrania w lipcu 1997 r. W kulminacyjnej fazie powodzi woda opływała rejon Starego Miasta od południa i sięgała do wysokości śródmiejskiej estakady kolejowej (pkt C).

Typowe profile osadów w rejonie Starego Miasta we Wrocławiu



Grunty nasypowe (antropogeniczne):
1 – gruzy, 2 – piaski z gruzem, 3 – mierzwy (piaski z domieszką materiału organogenicznego pochodzenia antropogenicznego), 4 – zasypy piaszczyste, 5 – piaski glebowe (humusowe), 6 – piaski i żwiry odsypów rzecznych z domieszką fragmentów cegieł, szkła, ceramiki.
Osady naturalne: 7 – gliny morenowe, 8 – piaski i żwiry wodnolodowcowe, 9 – plejstoceńskie piaski i żwiry rzeczne, 10 – plejstoceńskie piaski pokrywowe (genezy rzecznej/peryglacjalnej), 11 – holoceńskie piaski i żwiry rzeczne, 12 – holoceńskie piaski i mułki (mady).

Grunty nasypowe i osady naturalne we Wrocławiu

Zasypy gruzowe przy ulicy Kazimierza Wielkiego (obok kościoła Opatrzności Bożej), które powstały w trakcie prac rozbiórkowych i porządkowych prowadzonych po 1945 r. W wykopie w 2000 r. odkryto skarb stu tysięcy srebrnych monet z XV wieku.

Wykop budowlany przy ulicy Podwale (przy Muzeum Poczty i Telekomunikacji). W dnie wykopu odsłonięte zostały osady rzeczne Odry/Oławy i utwory antropogeniczne powstałe w związku z rozbudową i utrzymaniem obwałowań ziemnych oraz fosy obronnej.

Naturalne (pozbawione domieszek materiału antropo-genicznego), holoceńskie osady rzeczne Odry: 1-bardzo drobne piski i mułki madowe (akumulacja pozakorytowa), 2-różnofrakcyjne piaski odsypów przykorytowych. Wykop na Kępie Mieszczańskiej (ulica Zyndrama z Maszkowic).

Czarne piaski zasypowe (mierzwa) w wykopie przy ulicy Rybackiej (Szczepin). Mierzwy powstawały w efekcie nagromadzenia odpadków bytowych i mieszania ich z zasypami piaszczystymi. W rejonie Starego Miasta (Rynek) osiągają one miąższość 4-5 m.

Wykop przy ulicy Podwale (przy Muzeum Poczty i Telekomunikacji). Kontakt warstwowanych przekątnie piasków i żwirów rzecznych zalegających na piaszczysto-żwirowych utworach plejstoceńskich z pseudomorfozami mrozowymi (?).

Odsłonięcie gliny morenowej budującej wysoczyznę polodowcową w południowej części Wrocławia (Partynice). Glina zbudowana jest z mieszaniny iłów, mułków (miejscowe utwory neogeńskie) oraz piasków i żwirów. Strop gliny silnie przeobrażony przez procesy glebowe.

XVI Dolnośląski Festiwal Nauki 2013

Geomorfometria, pomiary geofizyczne i badania geoarcheologiczne – źródła wiedzy o rzeźbie Wrocławia 3

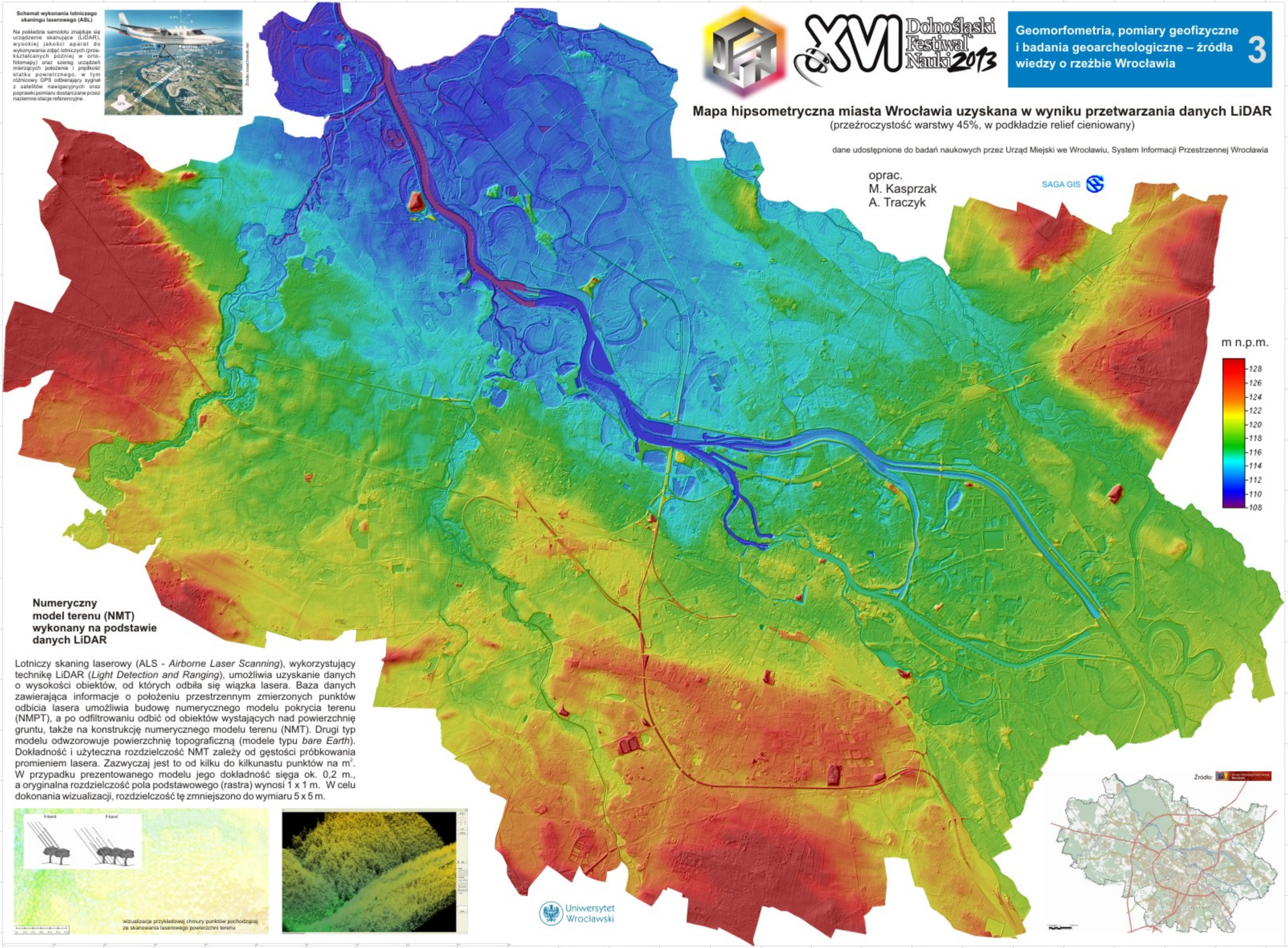
Mapa hipsometryczna miasta Wrocławia uzyskana w wyniku przetwarzania danych LiDAR

(przeźroczystość warstwy 45%, w podkładzie relief cieniowany)

dane udostępnione do badań naukowych przez Urząd Miejski we Wrocławiu, System Informacji Przestrzennej Wrocławia

oprac.
M. Kasprzak
A. Traczyk

SAGA GIS



Schemat wykonania lotniczego skaningu laserowego (ASL)

Na pokładzie samolotu znajduje się urządzenie skanujące (LiDAR), wysokiej jakości aparat do wykonywania zdjęć lotniczych (przekształcanych później w ortofotomapy) oraz szereg urządzeń mierzących położenie i prędkość statku powietrznego, w tym różnicowy GPS odbierający sygnał z satelitów nawigacyjnych oraz poprawki pomiaru dostarczane przez naziemne stacje referencyjne.

Źródło: swachrowski.net

Numeryczny model terenu (NMT) wykonany na podstawie danych LiDAR

Lotniczy skaning laserowy (ALS - *Airborne Laser Scanning*), wykorzystujący technikę LiDAR (*Light Detection and Ranging*), umożliwia uzyskanie danych o wysokości obiektów, od których odbiła się wiązka lasera. Baza danych zawierająca informacje o położeniu przestrzennym zmierzonych punktów odbicia lasera umożliwia budowę numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT), a po odfiltrowaniu odbić od obiektów wystających nad powierzchnię gruntu, także na konstrukcję numerycznego modelu terenu (NMT). Drugi typ modelu odwzorowuje powierzchnię topograficzną (modele typu *bare Earth*). Dokładność i użyteczna rozdzielczość NMT zależy od gęstości próbkowania promieniem lasera. Zazwyczaj jest to od kilku do kilkunastu punktów na m^2. W przypadku prezentowanego modelu jego dokładność sięga ok. 0,2 m., a oryginalna rozdzielczość pola podstawowego (rastra) wynosi 1 x 1 m. W celu dokonania wizualizacji, rozdzielczość tę zmniejszono do wymiaru 5 x 5 m.

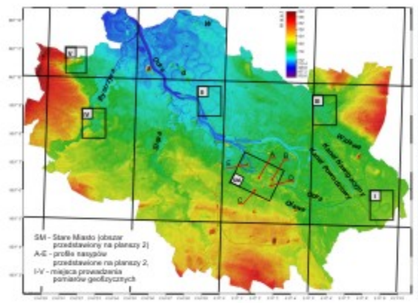
wizualizacje przykładowej chmury punktów pochodzącej ze skanowania laserowego powierzchni terenu

Uniwersytet Wrocławski

XVI Dolnośląski Festiwal Nauki 2013

Geomorfometria, pomiary geofizyczne i badania geoarcheologiczne – źródła wiedzy o rzeźbie Wrocławia 4

Pomiary geofizyczne



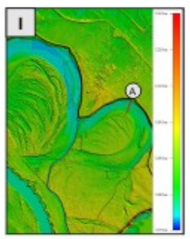
Jedną z metod pomiarów geofizycznych gruntu jest tomografia elektrooporowa (ERT - *electrical resistivity tomography*). Pozwala ona w sposób nieinwazyjny opracować model zróżnicowania podłoża i jego interpretację geologiczną, uwzględniając odmienną zdolność poszczególnych utworów skalnych do przewodzenia prądu elektrycznego. Wynik uzależniony jest m.in. od obecności wód gruntowych, ich mineralizacji i temperatury.

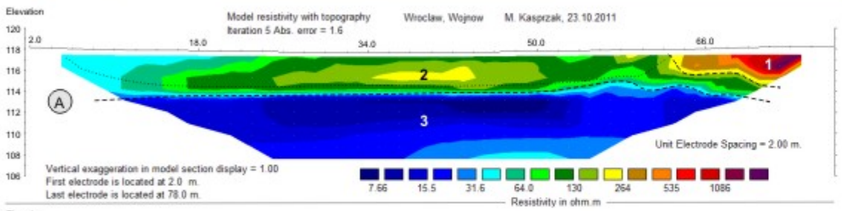
W badaniach ERT stosuje się elektrody wprowadzające do gruntu prąd (C_1, C_2) i elektrody mierzące różnicę napięcia (P_1, P_2). Wykonywane pomiary łączą tradycyjne metody geoelektryczne - sondowanie (zwiększanie odstępów między elektrodami pomiarowymi w trakcie badania) oraz profilowanie geoelektryczne (przesuwanie w profilu pomiarowym elektrod pomiarowych w trakcie badania).

Wyniki pomiarów geofizycznych powinny być sprawdzane kontrolnymi odsłonięciami, wierceniami lub innymi pomiarami geofizycznymi. W niektórych przypadkach są jednak jedynym miarodajnym źródłem informacji.

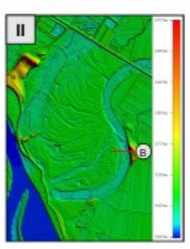
Na obszarze Wrocławia profile ERT dobrze uzupełniają wiedzę geologiczną czerpaną z sieci wierceń, pokazując rozkład przestrzenny poszczególnych warstw skalnych (w tej prezentacji osadów plejstoceńskich i holoceńskich).

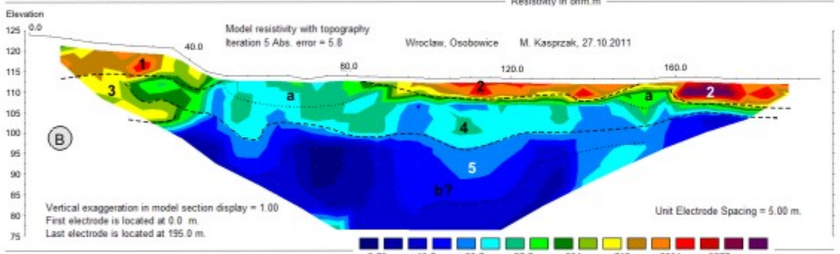
urządzenie do pomiarów ERT i jedna z elektrod w profilu pomiarowym



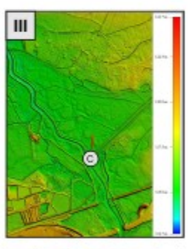


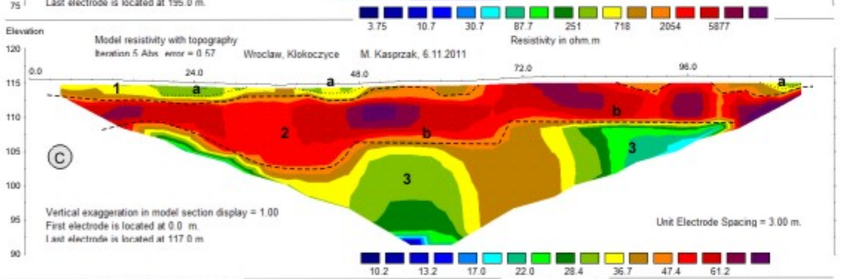
A – profil przez starorzecze Odry we wschodniej części Wrocławia;
1 – przesuszone osady odsypów meandrowych Odry,
2 – aluwia rzeczne,
3 – starsze podłoże ścięte erozyjnie,
a – przybliżony profil poprzeczny starorzecza



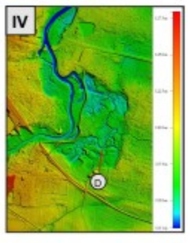


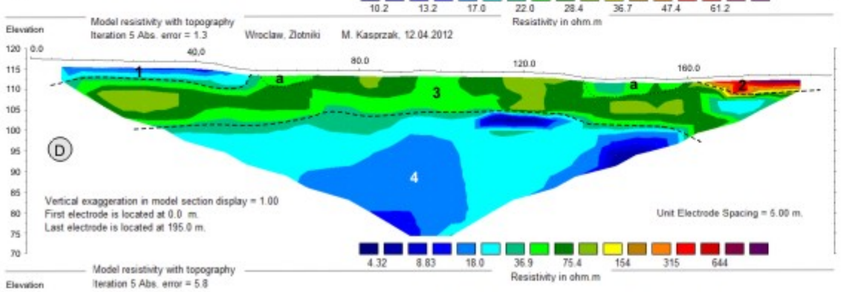
B – profil przez zakole Odry w zachodniej części Wrocławia;
1 – nasyp antropogeniczny,
2 – przesuszone osady odsypów meandrowych,
3 – materiał wydmowy nadbudowany aluwiami (4),
4 – aluwia rzeczne,
5 – starsze aluwia,
a – przybliżony profil poprzeczny starorzeczy,
b – dno starszych generacji koryt Odry (?)



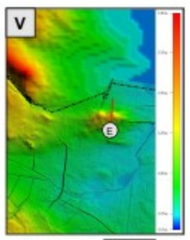


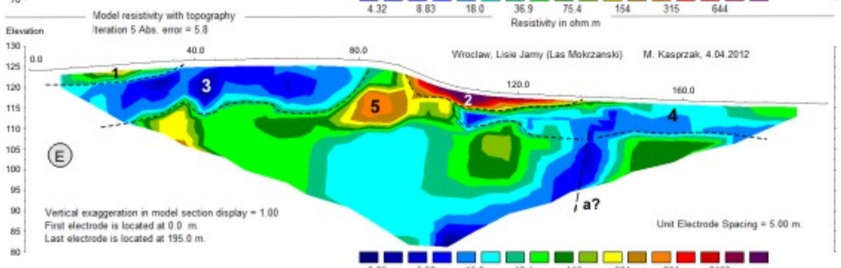
C – profil przez równię zalewową Widawy;
1 – współczesne osady powodziowe,
2 – aluwia rzeczne,
3 – materiał starszego podłoża,
a – współczesne koryta powodziowe,
b – powierzchnie ścięcia erozyjnego





D – profil w dnie doliny Bystrzycy;
1 – wilgotne utwory powierzchniowe z dużą zawartością substancji organicznej,
2 – przesuszone osady odsypów meandrowych Bystrzycy,
3 – aluwia rzeczne,
4 – materiał starszego podłoża,



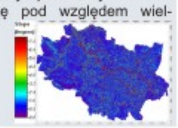


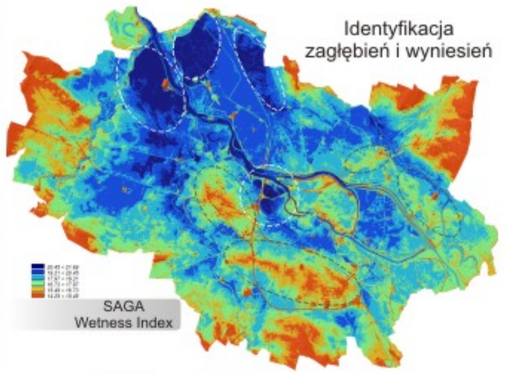
E – profil przez ostaniec wysoczyzny w kierunku dna doliny Odry;
1 – przesuszone utwory powierzchniowe,
2 – deluwium stokowe,
3 – aluwia na zapleczu ostańca?,
4 – aluwia rzeczne,
5 – niejednolity materiał podłoża,
a – linia nieciągłości glacitektonicznej (?)

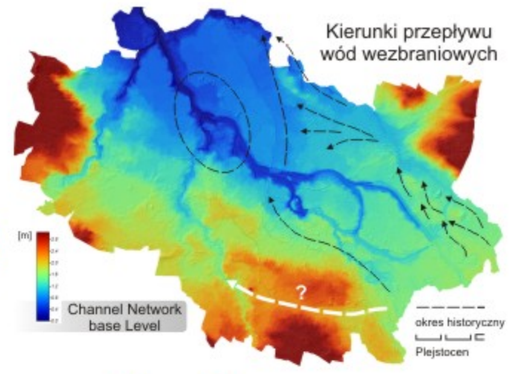
Geomorfometria - pomiary i modelowanie na podstawie numerycznego modelu terenu

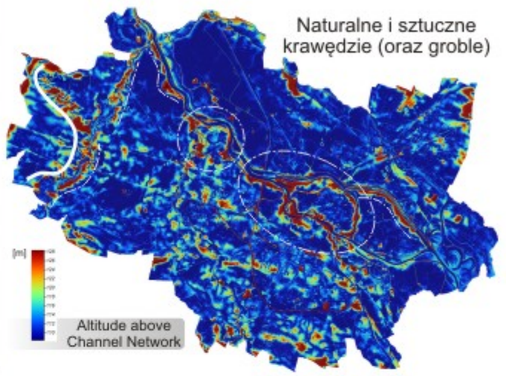
Geomorfometria to w zasadzie już osobna dziedzina wiedzy na pograniczu geografii, matematyki i informatyki, zajmująca się ilościową analizą powierzchni terenu i wykorzystująca numeryczne modele terenu (NMT). Podstawowymi pojęciami w geomorfometrii są parametry (parametry pierwotne, np. nachylenie, ekspozycja; parametry wtórne, np. wetness index - topograficzny wskaźnik uwilgotnienia) oraz obiekt (dno doliny, stok, grzbiet itp.). Istota tej dziedziny nauki polega zatem na określaniu w oparciu o NMT parametrów charakteryzujących obiekty geomorfologiczne oraz wydzielaniu tych obiektów z otoczenia za pomocą rożnych technik matematyczno-statystycznych.

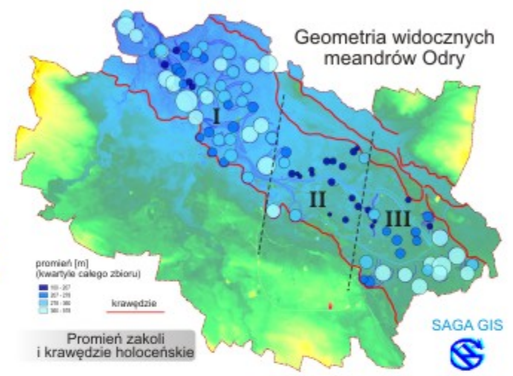
W analizie rzeźby Wrocławia opartej o model wysokości o wysokiej rozdzielczości, zaistniała potrzeba wykorzystania parametrów wtórnych, ponieważ parametry pierwotne, w tym nachylenie, nie wnosiły żadnych istotnych informacji (szum informacyjny - patrz niżej). Testowane parametry wtórne pozwoliły na trafne wyróżnienie zagłębień i wyniesień, kierunków przepływu wód powodziowych oraz dominujących w terenie krawędzi. Ponadto pomiary widocznych na modelu zakoli Odry pozwoliły na ich klasyfikację pod względem wielkości.





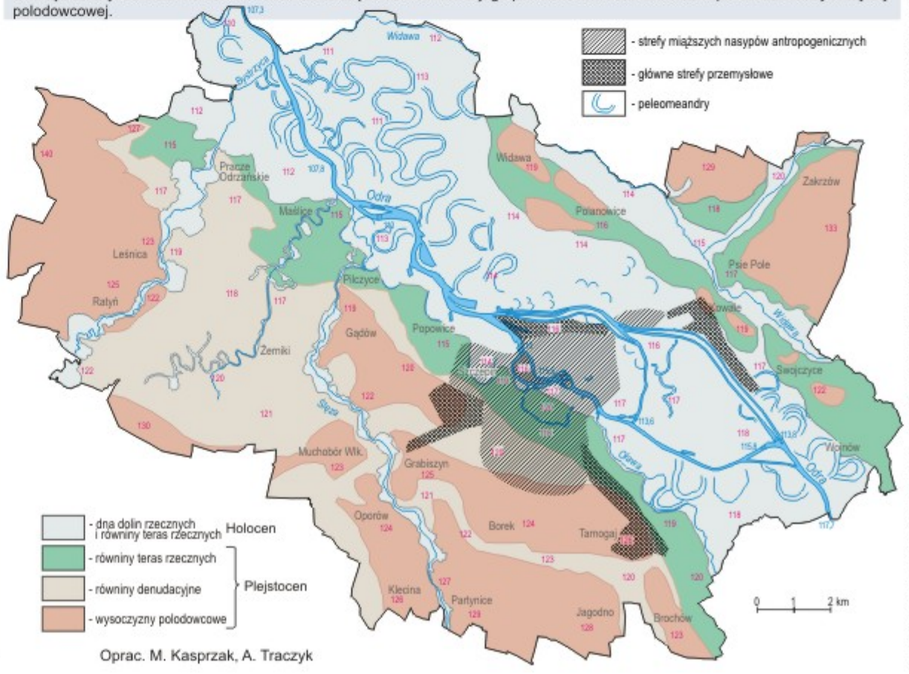






Mapa głównych jednostek rzeźby terenu (krajobrazowych) na obszarze Wrocławia

Kompleksowa analiza danych LiDAR, danych geoarcheologicznych i profilów ERT pozwala na wydzielenie w obrębie Wrocławia głównych jednostek rzeźby terenu. W krajobrazie Wrocławia dominują obszary płaskie. Jego osią jest dolina Odry, z którą od południa łączą się doliny jej dopływów. Na powierzchniach równi zalewowej Odry zachowały się ślady licznych meandrów sprzed okresu prostowania koryta rzeki. Nie występują one jednak w centrum miasta, gdzie Odra miała charakter rzeki anastamozującej - z licznymi ramionami i trwałymi wyspami. Z uwagi miąższe nasypy i gęstą zabudowę tego terenu, system dawnych koryt rzecznych jest tu możliwy do odtworzenia głównie dzięki obserwacjom prowadzonym podczas prac ziemnych. Zmiana układu rzeki z meandrowego na anastomozujący spowodowany mógł być subsydencją (obniżaniem) obszaru w wyniku ruchów neotektonicznych lub też przez intensywną akumulację rumowiska rzecznego, dostarczanego do Odry przez ujście Oławy. Dopływ ten odwadnia podatne na erozję wodną obszary lessowe. Południowo-zachodnia część Wrocławia i w jego północno-wschodni kraniec to powierzchnie wysoczyzny polodowcowej.



Oprac. M. Kasprzak, A. Traczyk

Dno doliny Odry oraz jej dopływów
Dno doliny Odry jest wyrównane. Pod względem morfologicznym buduje je terasa 3–4 m n.p.rz. Jedynie w strefie niezabudowanego koryta Odry poza centrum miasta pojawiają się powierzchnie terasy 1,5–2 m. wysokości.

Równiny teras plejstoceńskich
(4 do 6 m ponad średni poziom wody w korycie Odry). W centrum Wrocławia granica między holoceńskim dnem doliny Odry a plejstoceńskimi poziomami terasowymi jest zatarta (wskutek działalności człowieka). Na zachód od centrum Wrocławia podkreślają ją natomiast podcięcia paleomeandrów. W strefie między doliną Widawy i Odry, w obrębie równiny teras plejstoceńskich zaznaczają się niewysokie wzniesienia zbudowane z utworów polodowcowych i iłów neogeńskich. Są one ostańcami erozyjnymi powierzchni wysoczynowej, która została przeobrażona w młodszym plejstocenie przez procesy fluwialne.

Równiny denudacyjne
Po południowej stronie doliny Odry terasa plejstoceńska przechodzi łagodnie w lekko faliste równiny denudacyjne niższego poziomu wysoczyzny polodowcowej Równiny Wrocławskiej. W obrębie tej równiny występują płytkie obniżenia drugorzędnych cieków wodnych oraz pozostałości depresji glaciwytopiskowych z plejstocenu. Analiza odsłonięć budowlanych wskazuje, że na równinach tych pod pokrywą glebową zalegają bądź piaszczysto-ilaste utwory zwałowe (morenowe), bądź też pylasto-piaszczyste utwory pokrywowe. Powierzchnia ta jest, więc poligenetyczna. W jej powstaniu brały udział zarówno procesy wietrzenia i transportu eolicznego zachodzącego w warunkach peryglacjalnych, jak i procesy fluwialne związane z działalnością cieków spływających po powierzchni wysoczyzny plejstoceńskiej w kierunku doliny Odry.

Wysoczyzny poldowcowowe
Wysoczyzna po południowej stronie Odry rozbita jest na kilka osobnych działów. Na południe od centrum Wrocławia, w obrębie wysoczyzny zaznacza się biegnące mniej więcej równolegle do krawędzi doliny Odry obniżenie morfologiczne. Ma ono szerokość do 400–600 m. Obniżenie to funkcjonowało prawdopodobnie w okresie młodszego plejstocenu jako odnoga pra-Odry lub ujścia jednego z jej dopływów (pra-Oławy?). Podobne obniżenia przepływów pra-Odry lub jej dopływów zidentyfikowano na NMT również w innych miejscach Wrocławia.