

## Analiza osiadania wybranych typów znaków osnowy geodezyjnej

Łukasz Borowski, Agnieszka Lal, Krzysztof Nepelski

*Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,  
e-mail: l.borowski@pollub.pl, a.lal@pollub.pl, k.nepelski@pollub.pl*

**Streszczenie:** W niniejszej pracy zawarto rozważania dotyczące możliwych przyczyn nadmiernego osiadania znaków osnowy geodezyjnej. Do analiz wybrano znaki ziemne osnowy wysokościowej typu 75a i b. Przeprowadzono analizę obliczeniową osiadania znaków osnowy geodezyjnej, pracujących w różnych warunkach gruntowych oraz w dwóch złożonych obciążeniach. W celu uwzględnienia w obliczeniach najbliższych rzeczywistym warunków współpracy pomiędzy elementami osnowy geodezyjnej, a ośrodkiem gruntowym, modyfikowano przyjmowane parametry. Uzyskane wyniki porównywano z zaobserwowanymi w powiecie kętrzyńskim w trakcie transformacji układu wysokościowego z Kronsztadt'60 na Kronsztadt'86. Wynikiem prac jest określenie możliwych zmian osnowy wysokościowej, w okresie pomiędzy kampaniami pomiarowymi (około 20 lat).

**Słowa kluczowe:** transformacja wysokości, osnowa wysokościowa, znak osnowy, osiadanie gruntu.

### 1. Wprowadzenie

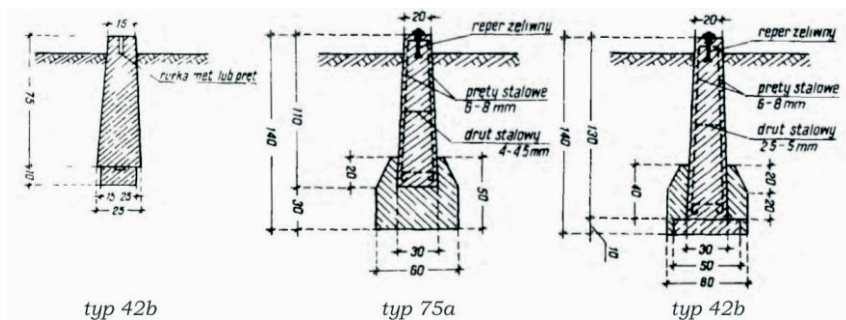
Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych od początku 2020 r. w całym kraju będzie obowiązywał układ wysokościowy EVRF-2007-PL [1]. Do tego czasu dane zgromadzone przez powiatowe ośrodki dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej (PODGiK-i) powinny dokonać transformacji wysokości zgromadzonego zasobu danych przestrzennych. W powiatach, których dane wyrażone są w układzie Kronsztadt'86 transformacja powinna być wykonana na podstawie udostępnianego przez GUGiK, od połowy 2015 r., modelu różnic wysokości [2]. Wartość przesunięcia jest zawarta w przedziale od +12.84 do +20.65 cm. Oznacza to, że w wyniku zmiany poziomu morza (poziomu „0”) z mareografu w Kronsztadzie (Federacja Rosyjska) na stację w Amsterdamie (Holandia) kraj „urośnie” średnio o 16.6 cm.

Część powiatów posiada dane przestrzenne w starszym układzie – Kronsztadt'60. Dla niego nie został opracowany na szczeblu centralnym model zmiany wysokości. Oznacza to, że każdy powiat powinien opracować lokalny model transformacji pomiędzy układami Kronsztadt. Jest to możliwe w wypadku posiadania punktów łącznych tj. posiadających określoną wysokość w obu układach. Dla obszarów o rozpiętości do kilkudziesięciu kilometrów opracowanie modelu transformacji może zostać wykonane za pomocą metod znanych z lokalnego modelowania geoidy [3]–[5]. Na dokładność modelowania wpływ ma dokładność wykorzystanych danych. W transformacji wysokości dla powiatu krakowskiego autorzy zwracali uwagę na występowanie błędnych różnic wysokości pomiędzy układami dla punktów stabilizowanych znakami ziemnymi [6]. Istotne jest zatem wskazanie czy wybrane punkty zapewniają w perspektywie 20 letniej dla osnowy wysokościowej [7] odpowiednią stabilność dla tej klasy punktów.

## 1.1. Cel analiz

Podstawowym celem analiz jest weryfikacja, czy konstrukcja ziemnych znaków osnowy jest w długim okresie czasu wystarczająca dla zachowania pierwotnej wysokości. Dalszym celem jest wskazanie na możliwą wartość osiadania tych punktów. Oszacowanie potencjalnego osiadania własnego znaków geodezyjnych pozwoli na wskazanie wpływu innych czynników, takich jak oddziaływanie otoczenia (np. wpływ ruchu drogowego), poziomu wód gruntowych, oddziaływanie mrozu itp., na stabilność znaków. Badanie ruchu pionowego znaków jest istotne w trakcie opracowywania modelu transformacji pomiędzy układami wysokościowymi, w zakresie doboru odpowiednich punktów łącznych.

Do analiz wybrano znaki *typ 75a* i *75b* (Rys. 1). Pierwszy z nich był stosowany dla dawnej III klasy osnowy wysokościowej, czyli obecnej szczegółowej klasy wysokościowej. Drugi zaprojektowany także został dla III klasy [8], ale był stosowany także dla II, obecnej osnowy podstawowej bazowej. Przykładem może być punkt nr 20673-128 z terenu powiatu kętrzyńskiego. Dla porównania wybrano także znak, powszechnie wykorzystywany do stabilizacji osnowy szczegółowej poziomej.



Rys. 1. Schemat konstrukcji znaków osnowy szczegółowej poziomej (*42b*) oraz wysokościowej (*75a* i *b*) [8]

## 2. Metodyka badań

### 2.1. Analiza osnowy wysokościowej z powiatu kętrzyńskiego

Na utratę stabilności punktów osnowy zwrócono uwagę w publikacji dotyczącej transformacji wysokości dla powiatu krakowskiego [6]. Autorzy wyłączyli z transformacji punkty odstające. Decyzja o odrzuceniu konkretnego punktu była poprzedzona analizą: trwałości stabilizacji znaku, zagęszczenia punktów w lokalnym obszarze, położenia poza obszarem transformacji. Na podstawie pozostałych punktów dokonali wpasowania wielomianu drugiego stopnia. Otrzymany został model o średnim błędzie wpasowania na poziomie 2 mm.

Przeprowadzona analiza dla powiatu kętrzyńskiego, a więc znajdującego się na granicy stref przymarzania III i IV (o zasięgu głębokości odpowiednio 1.2-1.4 m p.p.t.), wskazuje na znaczne większe wartości ruchów pionowych. Na 100 punktów łącznych 11 należy uznać za skrajnie odstające – charakteryzujące się zmianą wysokości około 2.9 cm. Przy zachowaniu analogicznej metody opracowania modelu transformacji, średni błąd wpasowania jest wyższy: 7 mm. Oba powiaty są porównywalne pod względem powierzchni i rozciągłości. Zatem niższa dokładność modelu sugeruje większe i bardziej nieregularne zmiany wysokości punktów w powiecie kętrzyńskim. Trzy z 11 wyłączonych punktów są znakami ziemnymi (*75a* i *b*), o zmianie wysokości -3.7, -2.3, + 2.4 cm. Ostatni wymieniony punkt (nr 20673-137) jako jedyny z całej osnowy posiada dodatnią wartość zmiany wysokości.

## 2.2. Metody obliczeń osiadania

Przy rozważaniu zagadnień geotechnicznych, zalecanym dokumentem jest dla inżynierów w Polsce norma PN-EN 1997:2008 Eurocod 7 „Projektowanie geotechniczne” składająca się z dwóch części [9]-[10]. Pierwsza z nich, pt: „Zasady ogólne” [9], zawiera informacje dotyczące rodzajów oddziaływań i zjawisk, jakie mają wpływ na wielkość osiadania. Wskazuje ponadto przewidywane wartości osiadania, oznaczone na podstawie doświadczeń w danym zakresie obciążeń i przy określonych warunkach gruntowych oraz precyzuje zakres obliczeń dla wybranych kategorii geotechnicznych posadowionych obiektów. Dokładny tok obliczeń wielkości osiadania zawiera norma PN-81/B-3020 [11], która wskazana jest w załączniku krajowym normy [9] jako obowiązująca. Algorytm obliczeń oparty jest na metodzie naprężeń w ośrodku gruntowym, powstających w kolejnych etapach budowy danego obiektu.

Do obliczeń osiadania  $s_i$  stosowane są również metody opracowane w toku badań naukowych, w tym Marchetti’ego [12] i Janbu [13], pozwalające na miarodajne określenie przemieszczeń pionowych. Wraz z dokładniejszym rozpoznaniem podłoża gruntowego oraz precyzyjniejszym oznaczeniem koniecznych w danej metodzie parametrów geotechnicznych, rośnie dokładność oznaczanego osiadania. W tabeli (Tabela 1.) zestawiono stosowane metody obliczeń pionowych przemieszczeń  $s_i$  i-tej warstwy gruntu.

Tabela 1. Metody obliczenia wielkości osiadania

Metoda	Wymagane parametry	Osiadanie i-tej warstwy gruntu	Uwagi
Z zastosowaniem modułu edometrycznego	$E_{oed,i}$ lub $E_{def,i}$ i $v_i$	$s_i = \sum \frac{\sigma_{z,i} h_i}{E_{oed,i}}$	Metoda na podstawie zależności nieliniowej odkształcenia od naprężenia
Z zastosowaniem stałej ściśliwości	$C_i$ lub $C_{10,i}$	$s_i = \frac{h_i}{C_i} \ln \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$	Analiza na podstawie półlogarytmicznej zależności efektywnego naprężenia pionowego do odkształcenia pionowego
Z zastosowaniem wskaźnika ściśliwości	$C_{c,i}$ i $e_0$	$s_i = C_{c,i} \frac{h_i}{1+e_0} \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$	Metoda przy założeniu logarytmicznej zależności wskaźnika porowatości od naprężenia efektywnego
Według NEN [14]	$C_{r,i}$ i $e_0$	$s_i = C_{r,i} \frac{h_i}{1+e_0} \log \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$	Podany wzór - osiadanie dla gruntu o $OCR > 1$ , przy $\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i} \leq \sigma_{p,i}$ Analiza dla osiadań pierwotnych i wtórnych gruntów prekonsolidowanych i normalnie konsolidowanych
Według modelu [15]	$\lambda_i$ lub $C_{c,i}$ i $e_0$	$s_i = h_i \lambda_i \ln \frac{\sigma_{or,i} + \sigma_{z,i}}{\sigma_{or,i}}$	Metoda w oparciu o sprężysto-plastyczny model SoftSoil, w którym z założenia odkształcenie objętościowe jest liniowo zależne od zmiany średniego naprężenia efektywnego
Z zastosowaniem teorii Janbu	$j_i$ $m_i$	$s_i$ – w zależności od rodzaju gruntu	Analiza na podstawie zasad nieliniowej deformacji elastycznej, zależność naprężenie-odkształcenie opisane przez funkcję wykładnika i modułu Janbu
Na podstawie dylatometru MARCHETTI’ego DMT	$M_{DMT}$ lub $m_V$	$s_i = \frac{\sigma_{z,i} h_i}{M_{DMT}}$	Analiza oparta na sprężystości liniowej – osiadanie proporcjonalne do obciążenia, bez przewidywań nieliniowych

### 3. Założenia przyjęte do analizy osiadania

Celem utworzenia symulacji pionowych przemieszczeń trzech typów znaków osnowy geodezyjnej: *42b*, *75a*, *75b*, przeprowadzono obliczenia osiadań w oparciu o metodę wskazaną w normie [11]. Zgodnie z algorytmem, osiadania pierwotne  $s_i$   $i$ -tej warstwy gruntu obliczane są według wzoru:

$$s_i = \frac{\sigma_{zdi} h_i}{M_{0i}} \quad (1)$$

gdzie:  $\sigma_{zdi}$  – naprężenia dodatkowe w środku  $i$ -tej warstwy gruntu,  $h_i$  – miąższość  $i$ -tej warstwy gruntu,  $M_{0i}$  – edometryczny moduł ścisłości pierwotnej  $i$ -tej warstwy gruntu

Założono posadowienie w czterech wyodrębnionych rodzajach gruntu opisanych w tabeli (Tabela 2.). Dla każdego z gruntów przyjęto średni ciężar objętościowy  $\gamma$  zgodnie z normą [11]. Ponadto sprecyzowano zakres wielkości edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej  $M_0$  i wtórnej  $M$ , jakim charakteryzuje się dany rodzaj gruntu [11].

Tabela 2. Zestawienie parametrów gruntu przyjętych do analizy osiadania

Rodzaj gruntu	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$M_0$ MPa	$\beta$	$M$ MPa
Niespoiste	17,5	40 – 140*	1,0	40 - 140
Spoiste pylaste i gliniaste	17,0	10 – 70 **	0,9	11,1- 77,8
Spoiste ilaste	20,5	8 – 40 **	0,8	10 - 50
Less lubelski	18,0	5 – 15 ***	0,8	6,2 – 18,7

\* Zakres wartości  $M_0$  dla gruntów niespoistych o  $I_D \in 0,2-0,8$  [z wyłączeniem Ż, Po].

\*\* Zakres wartości  $M_0$  dla gruntów spoistych o  $I_L \in 0,00-0,75$ .

\*\*\* Zakres wartości  $M_0$  wg badań laboratoryjnych edometrycznej ścisłości gruntu.

### 4. Wyniki obliczeń

W pierwszym kroku, obliczenia osiadania przeprowadzono przy uwzględnieniu wyłącznie obciążenia od ciężaru własnego, wynikającego z geometrii oraz materiału rozpatrywanego znaku osnowy. Ze względu na niewielką wartość naprężeń dodatkowych (około 2-4 kPa), generowanych przez ciężar własny znaków osnowy geodezyjnej, powstające osiadania są znikome. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie wielkości osiadania od obciążenia własnego dla wybranych znaków geodezyjnych

Rodzaj gruntu	<i>42b</i>	<i>75a</i>	<i>75b</i>
	Wielkość osiadania mm*		
Niespoiste	0,01 – 0,03	0,03 – 0,10	0,03 – 0,12
Spoiste pylaste i gliniaste	0,02 – 0,14	0,06 – 0,41	0,07 – 0,48
Spoiste ilaste	0,02 – 0,12	0,08 – 0,39	0,09 – 0,47
Less lubelski	0,08 – 0,25	0,26 – 0,77	0,30 – 0,90

\* Wyniki obliczeń, przedstawiają zakres osiadania dla przyjętego zakresu wartości edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej  $M_0$ .

W kolejnym etapie analizy uwzględniono obciążenie znaku osnowy geodezyjnej pionową siłą skupioną o wartości 15 kN, powstałą na skutek krótkotrwałego nacisku koła samochodu ciężarowego o masie do 6t. Założenie to powoduje wzrost przyjętych do obli-

ceń naprężeń występujących w ośrodku gruntowym pod badanymi znakami osnowy. Analiza wykazała zwiększenie osiadań, których wartości przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie wielkości osiadania od obciążenia własnego i przyjętej siły skupionej dla wybranych znaków geodezyjnych

Rodzaj gruntu	Wielkość osiadania mm*		
	42b	75a	75b
Niespoiste	0,38 – 1,34	0,21 – 0,73	0,17 – 0,59
Spoiste pylaste i gliniaste	0,77 – 5,37	0,42 – 2,93	0,34 – 2,37
Spoiste ilaste	1,34 – 6,67	0,71 – 3,55	0,57 – 2,83
Less lubelski	3,58 – 10,73	1,94– 5,81	1,57 – 4,67

\* Wyniki obliczeń, przedstawiają zakres osiadania dla przyjętego zakresu wartości edometrycznego modułu ściśliwości pierwotnej  $M_0$ .

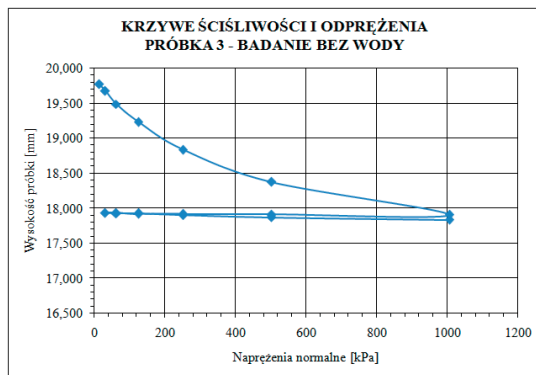
Należy zaznaczyć, że moduły ściśliwości pierwotnej  $M_0$  i wtórnej  $M$  nie są wielkościami stałymi, lecz zależą od nieliniowej funkcji przyrostu odkształcenia od naprężenia. Ich wartości opisane są wzorami:

$$M_0 = \frac{\Delta\sigma h}{\Delta h} \quad \text{– w zakresie obciążeń pierwotnych} \quad (2)$$

$$M = \frac{\Delta\sigma h}{\Delta h} \quad \text{– w zakresie obciążeń wtórnych} \quad (3)$$

gdzie:  $h$  – wysokość próbki przy rozpoczęciu oddziaływania naprężenia  $\sigma_2$ ,  $\Delta h$  – zmiana wysokości próbki na skutek wzrostu naprężenia  $\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$

Na załączonym wykresie (Rys. 2.) widoczna jest tendencja wzrostu wartości modułu  $M_0$  wraz ze wzrostem naprężeń. W przypadku modułu ściśliwości wtórnej  $M$ , zależność jest quasi-liniowa.



Rys. 2. Wykres edometryczny badania ściśliwości gruntu (wg badań własnych)

Należy zaznaczyć, że przyjęte zgodnie z normą [11] wartości modułu  $M_0$  są uogólnione i odnoszą się do osiadania budynków, dla których naprężenia pod fundamentami wahają się zazwyczaj w granicach 150-250 kPa. Są to charakterystyczne naprężenia, jakie powstają na skutek obciążenia podłoża budynkami niskimi do średniowysokich. Natomiast obciążenie gruntu powstałe od ciężaru własnego znaku osnowy geodezyjnej generuje naprężenia

rzędu 25 kPa, a więc dziesięciokrotnie mniejszych. Oznacza to, że zastosowane do obliczeń normowe wartości edometrycznych modułów ścisłości pierwotnej należy uznać za zawyżone, gdyż odnoszą się do innego przedziału naprężeń. Wobec tego, rozważono przypadek 2., w którym przyjęto wartości  $M_0$  zgodnie z tabelą (Tabela 5.). Wartości te zostały ustalone dla początkowych, niewielkich zakresów naprężeń na podstawie analizy wyników laboratoryjnych badań edometrycznych wykonywanych na różnych rodzajach gruntu. Uogólniając, przedstawione moduły odnoszą się do zakresów około 30-60 kPa. Otrzymane wyniki osiadania przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 5. Zestawienie parametrów gruntu przyjętych do analizy osiadania

Rodzaj gruntu	Ciężar objętościowy kN/m <sup>3</sup>	$M_0$ MPa	$\beta$	$M$ MPa
Niespoiste	17,5	7 – 50 (*) (**)	1,0	5 – 70
Spoiste pyłaste i gliniaste	17,0	2 – 5	0,9	2,2 – 5,6
Spoiste ilaste	20,5	1 – 4	0,8	1,25 – 5
Less lubelski	18,0	2 – 4 ***	0,8	2,5 – 5

\*  $M_0$  dla zakresu naprężeń 31 – 39 kPa

\*\*  $M_0$  dla zakresu naprężeń 47 – 63 kPa

\*\*\*  $M_0$  dla zakresu naprężeń 31 – 63 kPa

Tabela 6. Zestawienie zweryfikowanych wielkości osiadania od obciążenia własnego

Rodzaj gruntu	42b	75a	75b
	Wielkość osiadania mm*		
Niespoiste	0,03 – 0,19	0,08 – 0,57	0,09 – 0,66
Spoiste pyłaste i gliniaste	0,27 – 0,68	0,82 – 2,05	0,96 – 2,40
Spoiste ilaste	0,25 – 0,99	0,79 – 3,16	0,94 – 3,74
Less lubelski	0,31 – 0,63	0,96 – 1,92	1,13 – 2,25

\* Wyniki obliczeń, przedstawiają zakres osiadania dla przyjętego zakresu wartości edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej  $M_0$ .

W przypadku uwzględnienia obciążenia od nacisku koła samochodu ciężarowego o masie do 6t, naprężenia powstające pod fundamentem znaków osnowy wysokościowej osiągają wartość około 70 kPa. Oznacza to, że przyjęty w obliczeniu osiadania pod wpływem ciężaru własnego oraz założonej siły pionowej, normowy moduł ścisłości  $M_0$  również jest zawyżony. Dlatego w dalszej analizie uwzględniono obliczeniowe wartości modułów ścisłości pierwotnej gruntu (Tabela 5). Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli (Tabela 7).

Tabela 7. Zestawienie zweryfikowanych wielkości osiadania od obciążenia własnego oraz zewnętrznej siły pionowej dla wybranych znaków geodezyjnych

Rodzaj gruntu	42b	75a	75b
	Wielkość osiadania mm*		
Niespoiste	1,08 – 7,67	0,59 – 4,17	0,47 – 3,36
Spoiste pyłaste i gliniaste	10,77 – 26,87	5,89 – 14,66	4,76 – 11,84
Spoiste ilaste	13,37 – 53,38	7,12 – 28,38	5,68 – 22,63
Less lubelski	13,43 – 26,82	7,29 – 14,53	5,87 – 11,69

\* Wyniki obliczeń, przedstawiają zakres osiadania dla przyjętego zakresu wartości edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej  $M_0$ .

## 5. Analiza wyników i wnioski

Przeprowadzona analiza pozwala na oszacowanie maksymalnego przewidywanego osiadania znaków geodezyjnych wybranych typów. Za zasadne uznano przyjęcie wartości, która obliczona została z użyciem modułu  $M_0$  otrzymanego z badań laboratoryjnych. W tabeli 8. przedstawiono maksymalne obliczone osiadania analizowanych znaków osnowy geodezyjnej, bez podziału na rodzaj gruntu występującego w podłożu.

Tabela 8. Zestawienie maksymalnych możliwych osiadania dla wybranych znaków geodezyjnych

Obciążenie	Wielkość osiadania mm		
	42b	75a	75b
Ciężar własny	0,99	3,16	3,74
Siła zewnętrzna oraz ciężar własny	53,38	28,38	22,63

Z powyższego zestawienia wynika, że najmniejsze osiadanie wynika z ciężaru własnego wykazuje znak typu 42b, zaś największy znak 75b. W przypadku uwzględnienia oddziaływania założonej siły zewnętrznej występuje sytuacja odwrotna, tj. największe osiadanie przewidywane jest dla znaku 42b, podczas gdy znak 75b wykazuje osiadanie dwukrotnie mniejsze. Maksymalne przewidywane osiadanie znaku 42b wynosi około 5,4 cm, co nieznacznie przekracza założoną dokładność wysokości dla szczegółowej poziomej (5 cm). Analiza zatem wskazuje, że znak ten jest zoptymalizowany dla danego typu osnowy. Znaki 75a i 75b dla osnowy wysokościowej szczegółowej powinny zapewnić dokładność względną 4mm/km oraz bezwzględną 1 cm [7]. Uzyskane maksymalne wartości (2.8 cm i 2.3 cm) przekraczają to założenie. Dla podłoża zbudowanego z gruntów spoistych ilastych, charakteryzujących się największą odkształcalnością, analizowane znaki mogą zatem być nieodpowiednie do pełnienia roli osnowy wysokościowej. Dla powiatu kętrzyńskiego osiadanie znaków 75a i b zazwyczaj mniejsze, jednak przekraczające wymagania osnowy wysokościowej. W pojedynczych przypadkach jest na poziomie uzyskanym z obliczeń dla skrajnych warunków gruntowych.

Należy zaznaczyć, że na wielkości osiadania znaków osnowy geodezyjnej, poza przyjętymi obciążeniami, wpływ mogą mieć także czynniki zewnętrzne, w tym naprężenia w gruncie powstałe od sąsiednich obiektów kubaturowych lub liniowych (dróg, trakcji szynowych) oraz przemarzanie gruntu, istotne w przypadku gruntów wysadziniowych. Posadowienie elementów osnowy geodezyjnej typu 75a i 75b przyjmowane jest na poziomie około 1,2 m poniżej poziomu terenu, natomiast typu 42b w poziomie około 0,85 m poniżej poziomu terenu. Oznacza to, że w IV strefie klimatycznej wszystkie typy znaków posadowione są powyżej głębokości przemarzania gruntu (1,4m p.p.t.), zaś posadowienie znaku typu 42b spełnia kryterium wyłącznie dla I strefy przemarzania gruntu (0,8 m). Dodatkowo strefy klimatyczne określają jedynie przewidywane głębokości przemarzania gruntu i odnoszą się do budynków. W praktyce, przy długich, bezśnieżnych i wyjątkowo mroźnych zimach głębokość przemarzania może okazać się większa. W przypadku obiektów kubaturowych, ciężar własny i eksploatacyjny przeciwdziała ewentualnemu wypiętrzaniu gruntu następującemu poniżej strefy przemarzania, co nie jest możliwe w odniesieniu do niewielkiego ciężaru znaku osnowy geodezyjnej. Najbardziej wrażliwym na oddziaływanie mrozu jest znak 42b, ze względu na posadowienie w głębokości przemarzania I strefy klimatycznej. Wśród analizowanych rodzajów gruntów podłoża, jedynie grunty niespoiste nie są wrażliwe na oddziaływanie niskich temperatur. Nie wykazują wysadziniowości, a jednocześnie charakteryzują się najmniejszą odkształcalnością. W toku dalszych badań planowane jest wykonanie analiz numerycznych osiadania znaków geodezyjnych

oraz opracowanie konstrukcji znaku osnowy geodezyjnej charakteryzującego się znikomym osiadaniem, zapewniającym zachowanie danych z punktu, jakie zgromadzone są w zasobach danych przestrzennych, w perspektywie 20 letniej.

## Literatura

1. Rada Ministrów, *Rozporządzenie z dnia 15 października 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych*, nr 76. Dz.U. 2012 poz. 1247.
2. GUGiK, *Model różnic wysokości pomiędzy układami wysokościowymi PL-EVRF2007-NH i PL-KRON86-NH*. Warszawa, 2015.
3. Walo J., *Analiza wybranych algorytmów wyznaczania lokalnego przebiegu geoidy*, Politechnika Warszawska, 2000.
4. Banasik P., *Wyznaczenie przebiegu quasi geoidy w rejonie Krakowa na podstawie pomiarów niwelacyjnych i GPS*, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, 1999.
5. Borowski Ł., *Zastosowanie sieci ASG-EUPOS do modelowania lokalnej quasi-geoidy*, AGH, 2015.
6. Banasik P., Ligas M., Kudrys J., Skorupa B., i Bujakowski K., *Transformacja wysokości z układu Kronszadt'60 do układu Kronszadt'86 na przykładzie powiatu krakowskiego*, *Przegląd Geodezyjny* 4 (2012) 6–13.
7. Ministerstwo Administracji i Cyfryzacji, *Rozporządzenie w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych*, nr 248. Dz.U. 2012 poz. 352.
8. Felczak J., „*Wytyczne Techniczne G-1.9 «Katalog znaków geodezyjnych oraz wzory stabilizacji punktów»*”, Warszawa, 1984.
9. PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. *Projektowanie geotechniczne. Część1: Zasady ogólne*.
10. PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7. *Projektowanie geotechniczne. Część2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego*.
11. PN-81/B-3020 *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
12. Marchetti S. *The Flat Dilatometer: Design applications*. 3rd International Geotechnical Engineering Conference, Keynote lecture, (pp. 421-448). Cairo University; 1997.
13. Janbu N., Bjerrum L., Kjaernsli B., *Veiledning Ved Løsning Av Fundamenteringsoppgaver*. Norwegian Geotechnical Institute, Report 16, Oslo; 1964.
14. *Netherlandish standard NEN6740*, 1991, Geotechniek TGB1990 Basisen en belastingen, Nederlands normalisatie-Institut.
15. Burland J.B. *The yielding and dilatation of clay* (correspondence), *Géotechnique*, 15(2) (1965) 211-214.

## The analysis of the settlement of the various types of geodetic benchmarks

Łukasz Borowski, Agnieszka Lal, Krzysztof Nepelski

*Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: l.borowski@pollub.pl, a.lal@pollub.pl, k.nepelski@pollub.pl*

**Abstract:** The paper presents the studies of the possible causes of the excessive settlement of geodetic benchmarks. For the purpose of the study, two types of ground benchmarks (*type 75a and b*) were selected. The computational analysis was carried out on benchmarks situated in different soil conditions and under two variants of load. The parameters were modified in order to reach the interaction between the subsoil and the structure, which is the closest to the actual conditions. Obtained results were compared with the settlement noted in Kętrzyn district, during heights frame transformation from Kronszadt'60 to Kronszadt'86. As a result, possible change of heights of geodetic points between land surveying campaigns (circa 20 years) could be estimated.

**Keywords:** height transformation, geodetic benchmark, geodetic network, ground settlement.