

Edward CEMPIEL

WIELKOŚCI DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENU WYWOŁANE SKURCZEM GRUNTÓW SPOISTYCH

Streszczenie. Scharakteryzowano proces skurczu gruntów spoistych przy zmianie ich wilgotności oraz podano główne parametry niezbędne do ilościowego opisu procesu. Wyznaczono zależności funkcyjne pomiędzy wilgotnością a odkształceniem liniowym i objętościowym gruntu w różnych fazach jego wysychania i na tej podstawie wyprowadzono wzory pozwalające na określenie wielkości osiadania terenu w wyniku skurczu gruntu spoistego zalegającego w podłożu.

THE LAND-SURFACE SUBSIDANCE CAUSED BY COHESIVE SOILS SHRINKAGE

Summary. The paper presents the process of cohesive soils shrinkage as a result of reduced moisture content. Interdependence functional variation markings of the linear strain and the volumetric strain with the water content at drying time of cohesive soils. Formulas were made and qualifying the quantity of the land-surface settlement caused by shrinking of cohesive soils in the foundation deposition were derived.

1. Wprowadzenie

Drobnodispersyjne grunty spoiste, jak: gliny i iły, a także takie skały zwięzłe, jak: ilowce i margle, nasycone wodą charakteryzują się zdolnością do zmiany objętości w wyniku zmiany zawartości wody, czyli zdolnością do skurczu i pęcznienia pod wpływem zmian wilgotności. Jest to proces odwracalny, to znaczy przy wysychaniu grunt kurczy się, a przy nawilgacaniu pęcznieje. Skurcz i pęcznienie jest złożonym procesem fizyczno-chemicznym wynikającym ze wzajemnego oddziaływania pomiędzy cząsteczkami gruntu i wody [4,7,8,10,12].

Według Z.Wituna [12] zmniejszanie się objętości gruntu podczas jego wysychania następuje wskutek działania ściskających sił kapilarnych. W wyniku odprowadzania wody zawartej w porach powstaje coraz większe podciśnienie kapilarne, co wywołuje wzrost naprężenia w szkielecie prowadzący do skurczu gruntu przy równoczesnym

wzroście jego spójności. Przy nawilgacaniu uprzednio przesuszonego gruntu występuje zjawisko odwrotne, to znaczy zwiększaniu się zawartości wody towarzyszy wzrost objętości gruntu, czyli jego pęcznienie. Woda nasycająca pory zmniejsza powierzchniowe siły kapilarnego ściskania, a tym samym zmniejsza spójność gruntu, wskutek znacznego osłabienia przyciągania międzycząsteczkowego. Z procesem skurczu wywołanym ubytkiem wody związany jest zatem wzrost wytrzymałości gruntu natomiast z procesem pęcznienia pod wpływem zawilgocenia wiąże się obniżenie parametrów wytrzymałościowych gruntu.

Grunty spoiste zalegające w strefie przypowierzchniowej podlegają bardzo złożonym procesom obiegu wody w wyniku oddziaływania zmiennych warunków klimatycznych (temperatura, opady atmosferyczne, itp.). Wywołuje to ciągłe oscylacje wilgotności gruntu, które w ekstremalnych warunkach są dość znaczne i prowadzą do deformacji terenu.

Na możliwość wystąpienia odkształceń w skałach spoistych w wyniku ich przesuszenia pod wpływem działania słońca i wiatru zwraca uwagę Z. Wilk [11]: „W pewnych warunkach geologicznych i określonych warunkach klimatycznych (długotrwała posucha) przesuszenie może sięgnąć parę metrów w głąb i spowodować skurcz gruntu tak wielki, że przejawia się on jako osiadanie powierzchni, któremu towarzyszy jej spękanie. Jego wielkość może w szczególnych przypadkach dojść do kilku procent miąższości przesuszonej warstwy”. Zagadnienie to nie zostało jednak uściślone i nie przedstawiono sposobu prognozowania wielkości tego rodzaju odkształceń.

2. Wpływ wody na własności gruntów spoistych

Własności mechaniczne gruntów spoistych uzależnione są w znacznym stopniu od zawartości wody, co wyrażają charakterystyczne graniczne wartości wilgotności zwane granicami konsystencji: granica płynności (w_L), granica plastyczności (w_P) i granica skurczalności (w_S) [4,5,7,12]. Granice te oznaczane są na podstawie badań laboratoryjnych gruntu według PN-88/B-04481.

Jak już wspomniano wyżej, zmianie zawilgocenia gruntu spoistego towarzyszy zmiana własności wytrzymałościowych, które rosną stopniowo w miarę obniżania się wilgotności. Wilgotność naturalna (w) jest bardzo ważnym wskaźnikiem stanu fizycz-

nego gruntu spoistego, warunkującym jego wytrzymałość i inne własności geologiczno-inżynierskie [4]. Grunty spoiste o niewielkiej wilgotności charakteryzują się wysoką wytrzymałością, natomiast w stanie nasycenia wodą mogą zachowywać się jak ciało płynne. W zależności od wilgotności naturalnej (w) grunt spoisty może mieć konsystencję:

- płynną ($w > w_L$) - grunt zachowuje się jak ciało płynne, praktycznie nie wykazuje wytrzymałości,
- plastyczną ($w_P < w < w_L$) - grunt zachowuje się jak ciało plastyczne,
- zwartą ($w < w_P$), w tym stan półzwały ($w_S < w < w_P$) i zwarty ($w < w_S$) - grunt zachowuje się jak ciało sztywne, wytrzymałość rośnie osiągając maksimum w stanie zwartym.

Wśród charakterystycznych parametrów wilgotnościowych gruntu należy wymienić także maksymalną higroskopijność (w_H), maksymalną molekularną wodochłonność (w_M) i wilgotność pęcznienia (w_V).

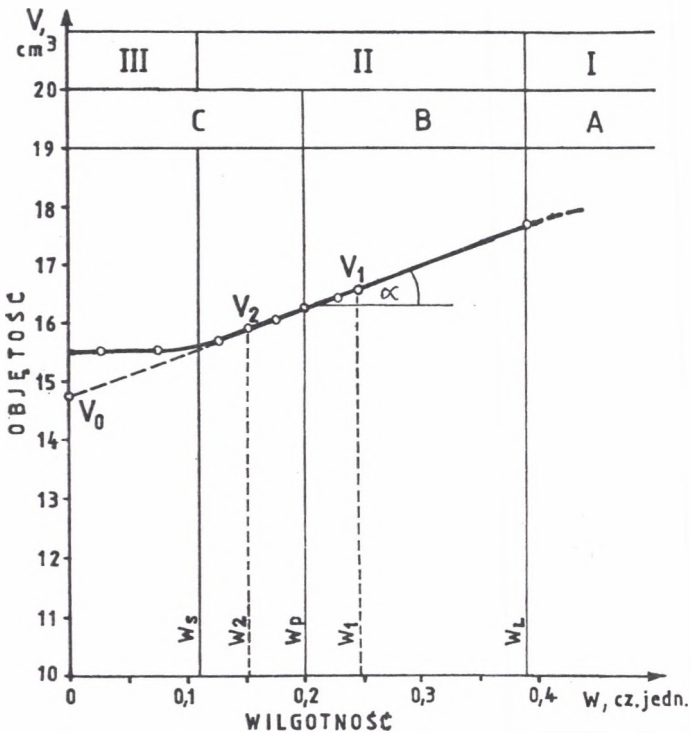
3. Przebieg skurczu gruntu spoistego

Analizując skurcz gruntu spoistego nasyconego wodą, którego wilgotność naturalna jest wyższa od granicy płynności (w_L), można wyróżnić w przebiegu tego procesu trzy główne fazy, różniące się stopniem zmiany objętości podczas obniżania wilgotności gruntu [7,8]:

- faza I - w przedziale wilgotności powyżej granicy płynności (faza początkowa),
 - faza II - w przedziale wilgotności między granicami płynności i skurczalności (faza skurczu normalnego-środkowa),
 - faza III - w przedziale wilgotności poniżej granicy skurczalności (faza końcowa),
- rys.1.

W fazie I (początkowej) i fazie III (końcowej) zmiany objętości gruntu są stosunkowo niewielkie i przebiegają nieliniowo. Maksymalna zmiana objętości gruntu występuje w fazie II (środkowej) zwanej fazą normalnego skurczu, co ma miejsce przy spadku wilgotności w przedziale od granicy płynności (w_L) do granicy skurczalności (w_S). Objętość gruntu w tym przedziale wilgotności zmienia się w przybliżeniu w zależności liniowej [4,7,8], rys. 1. Grunt kurczy się zasadniczo tylko do momentu osiągnięcia

określonej gęstości odpowiadającej wilgotności na granicy skurczalności (w_s). Poniżej granicy skurczalności (faza III skurczu) zmiana objętości jest niewielka i nie przekracza 2-3 % całkowitej wartości skurczu. Należy zaznaczyć, że przy ściślejszym ujęciu zagadnienia jako górną granicę, od której objętość gruntu zmienia się liniowo w funkcji jego wilgotności, należałoby przyjąć wilgotność pęcznienia (w_v).



Rys. 1. Zmiana objętości gliny pylastej przy skurczu wywołanym obniżeniem wilgotności (według [2])
 w - wilgotność gruntu spoistego, w_s - granica skurczalności, w_p - granica plastyczności, w_L - granica płynności; konsystencja: A - płynna, B - plastyczna, C - zwarta, faza skurczu: I - początkowa, II - skurczu normalnego (środkowa), III - końcowa.

Fig.1. Volume change of silt clay as a result of the shrinkage caused by moisture content reduction (after [2])

w - water content of cohesive soil, w_s - shrinkage limit, w_p - plastic limit, w_L - liquid limit; Consistency: A - slurry, B - plastic, C - hard; Phase of shrinkage: I - initial, II - central - normal shrinkage, III - final.

Dla gruntu o konsystencji plastycznej, przy zmianie wilgotności nie schodzącej poniżej granicy plastyczności, skurcz gruntu jest równomierny, bez tworzenia szczelin. W procesie dalszego wysychania gruntu, w przybliżeniu w czasie przejścia z konsystencji plastycznej do zwartej, obserwuje się rozerwanie ciągłości i powstawanie w gruncie szczelin tzw. szczeliny wysychania. Tworzenie się szczelin wysychania ma miejsce przeważnie przy spadku wilgotności gruntu poniżej granicy plastyczności. Można przyjąć, że w granicach konsystencji plastycznej grunt zmienia swoją objętość bez spękań, natomiast przy przechodzeniu do konsystencji zwartej dalszemu wysychaniu towarzyszą już spękania i szczeliny.

W przypadku wysychania warstwy gruntu spoistego o ograniczonej grubości i nieograniczonym rozprzestrzenieniu możemy zatem wyróżnić dwa etapy odkształcania warstwy w zależności od konsystencji gruntu:

- przy konsystencji plastycznej - zmiana objętości związana jest tylko z odkształceniem jednokierunkowym (jednoosiowym), prostopadłym do powierzchni uwarstwienia, natomiast w kierunku równoległym do uwarstwienia odkształcania nie występują (brak spękań i szczelin),
- przy konsystencji zwartej - zmiana objętości związana jest z odkształceniami zarówno w kierunku prostopadłym, jak i równoległym do uwarstwienia (odkształcenie trójosiowe), a skutkiem tego są pionowe spękania i szczeliny w warstwie gruntu.

4. Podstawowe parametry charakteryzujące proces skurczu

Wielkość skurczu gruntu określa się na podstawie zmniejszenia wymiarów liniowych lub objętościowych próbki [4,7]. Rozróżnia się odpowiednio: względny skurcz liniowy ε_L i względny skurcz objętościowy ε_V :

$$\varepsilon_L = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \quad \text{lub} \quad \varepsilon_L = 1 - \frac{l_2}{l_1} \quad (1)$$

$$\varepsilon_V = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \quad \text{lub} \quad \varepsilon_V = 1 - \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

gdzie: l_1, V_1 - wysokość i objętość próbki przy wilgotności początkowej w_1 ,
 l_2, V_2 - wysokość i objętość końcowa próbki po jej wysuszeniu do wilgotności w_2 ($w_2 < w_1$).

Jak już wspomniano wyżej, skurcz gruntu spoistego całkowicie nasyconego wodą w przedziale zmian wilgotności od w_L do w_S (faza normalnego skurczu) może być opisany równaniem liniowym (rys. 1), którego matematyczna postać będzie następująca :

$$V = V_0 + \operatorname{tg}\alpha \cdot w = V_0 \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\alpha}{V_0} \cdot w\right)$$

Po podstawieniu : $\beta_s = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{V_0}$ otrzymamy równanie:

$$V = V_0(1 + \beta_s \cdot w) \quad (3)$$

gdzie: V - objętość gruntu przy wilgotności w ,

V_0 - objętość odpowiadająca przecięciu się linii prostej z osią V w punkcie $w=0$, rys. 1,

$\operatorname{tg}\alpha = \frac{V_1 - V_2}{w_1 - w_2}$ - tangens kąta nachylenia prostej do osi w ,

β_s - współczynnik skurczu objętościowego (skurczalności) gruntu spoistego.

Powyższy wzór stanowi modyfikację wzoru zamieszczonego w pracy [4], która to modyfikacja była niezbędna z uwagi na poprawność matematyczną zapisu.

Współczynnik skurczu objętościowego β_s określa względną zmianę objętości gruntu przy jednostkowej zmianie wilgotności. Współczynnik ten można wyznaczyć na podstawie badań laboratoryjnych zmian objętości danego gruntu od V_1 do V_2 przy spadku wilgotności od w_1 do w_2 (w przedziale wilgotności gruntu od w_L do w_S):

$$V_1 = V_0(1 + \beta_s \times w_1)$$

$$V_2 = V_0(1 + \beta_s \times w_2)$$

Po podzieleniu tych równań przez siebie i wykonaniu przekształceń algebraicznych otrzymamy :

$$\beta_s = \frac{V_1 - V_2}{V_2 \cdot w_1 - V_1 \cdot w_2} \quad (4a)$$

lub wprowadzając względny skurcz objętościowy ε_v :

$$\beta_s = \frac{\varepsilon_v}{w_1 - w_2 - \varepsilon_v \cdot w_1} \quad (4b)$$

Zależność między współczynnikiem β_s a względnym skurczem objętościowym ε_v określa wzór:

$$\varepsilon_v = \frac{\beta_s (w_1 - w_2)}{1 + \beta_s \cdot w_1} \quad (5)$$

Wszystkie oznaczenia we wzorach (4 i 5) jak we wzorach wcześniejszych.

Podatność gruntu na zmiany objętości pod wpływem zmian wilgotności uzależniona jest przede wszystkim od zawartości frakcji ilastej oraz składu mineralnego tej frakcji. Największą podatnością charakteryzują się grunty zawierające minerały ilaste grupy montmoryllonitu, a znacznie mniejszą grunty zawierające illit i kaolinit [4,7,8]. Współczynnik skurczu objętościowego β_s niektórych gruntów spoistych, wyznaczony na podstawie badań laboratoryjnych względnego skurczu objętościowego ε_v i obliczony według wzoru (4b) zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Współczynniki skurczu objętościowego niektórych skał spoistych

Rodzaj gruntu	Granica konsystencji			Wilgot- ność naturalna W	Przedział zmian wilgotności		Względny skurcz objętoś- ciowy ε_v	Współczyn- nik skurczu objętościo- wego β_s	Według pracy
	skurczal- ności W_S	plastycz- ności W_P	plyn- ności W_L		W_1	W_2			
glina pylasta czwartorzędowa	0,110	0,200	0,390	0,247	0,247	0,152	0,0430	0,51	[2]
glina czwartorzędowa					0,267	0,185	0,0323	0,44	[9]
il	0,131	0,219	0,660		0,297	0,198	0,1649	3,30	[5]
il trzeciorzędowy (plioceński)	0,128	0,208	0,569	0,313	0,310	0,128	0,321	3,89	[3]

Zależność pomiędzy względnym skurczem liniowym ε_L , a o objętościowym ε_v jest różna dla gruntu o konsystencji plastycznej i zwartej. W przedziale konsystencji plastycznej występuje skurcz gruntu bez tworzenia się szczelin. Warstwa gruntu spoistego nasyconego wodą odkształca się tylko w kierunku prostopadłym do uwarstwienia i przy spadku wilgotności gruntu ulega zmniejszeniu grubość warstwy. Za-

leżność między względnym skurczem liniowym i objętościowym można wyprowadzić następująco. Dla wyciętego z gruntu sześciangu o długości boków l_1 i objętości początkowej $V_1=l_1^3$ w warunkach odkształcenia jednoosiowego ulegnie skróceniu tylko jeden bok, a jego długość wyniesie l_2 , natomiast długość pozostałych boków sześciangu nie ulegnie zmianie. Objętość końcowa sześciangu wyniesie $V_2=l_1^2 \cdot l_2$. Wzór (2) można przekształcić do postaci :

$$\varepsilon_V = 1 - \frac{l_1^2 \cdot l_2}{l_1^3} = 1 - \frac{l_2}{l_1}$$

Z porównania wzoru (1) z powyższym wyrażeniem otrzymamy:

$$\varepsilon_L = \varepsilon_V \quad (6)$$

Ze wzoru (6) wynika, że w warunkach odkształcenia jednoosiowego (gdzie nie występują odkształcenia boczne), wielkość względnego skurczu liniowego ε_L jest równa liczbowo wielkości względnego skurczu objętościowego ε_V .

W przedziale konsystencji zwartej w warunkach wytworzenia szczelin wysychania występuje trójosiowe odkształcenie gruntu. Zależność między względnym skurczem liniowym a objętościowym można wyprowadzić następująco. Przyjmijmy, że z jednorodnego gruntu spoistego nasyconego wodą wycięto sześciang, którego boki mają długość l_1 , a objętość początkowa wynosi $V_1=l_1^3$. Po odparowaniu wody, w wyniku równomiernego skurczu gruntu, boki sześciangu ulegną skróceniu o tę samą wielkość i długość ich wyniesie l_2 , a objętość końcowa sześciangu $V_2=l_2^3$. Wzór (1) można przedstawić następująco :

$$\varepsilon_L = 1 - \frac{\sqrt[3]{l_2^3}}{\sqrt[3]{l_1^3}} = 1 - \sqrt[3]{\frac{V_2}{V_1}} = 1 - \sqrt[3]{1 - \frac{V_1 - V_2}{V_1}}$$

Skąd otrzymujemy ostateczną postać wzoru wyrażającego zależność między ε_L i ε_V :

$$\varepsilon_L = 1 - \sqrt[3]{1 - \varepsilon_V} \quad (7)$$

Ze wzoru (7) wynika, że w warunkach równomiernego odkształcenia trójosiowego wielkość względnego skurczu liniowego ε_L jest liczbowo zawsze mniejsza od wielkości względnego skurczu objętościowego ε_V .

5. Czynniki wpływające na zmiany wilgotności gruntów spoistych zalegających w strefie przypowierzchniowej i ich wpływ na deformacje terenu

Decydujący wpływ na stosunki wilgotnościowe gruntów spoistych w strefie przypowierzchniowej obok warunków geologicznych i hydrogeologicznych wywierają warunki klimatyczne i meteorologiczne. Wilgotność gruntu w profilu pionowym w zasięgu strefy aeracji, pomiędzy powierzchnią terenu a zwierciadłem wód podziemnych jest uzależniona od złożonych procesów przemieszczania się wody pomiędzy tymi powierzchniami. Przy głęboko zalegającym poziomie wodonośnym głównymi czynnikami wpływającymi na wilgotność gruntu w strefie przypowierzchniowej są wysokość opadów i parowania.

Wilgotność naturalna gruntu w strefie przypowierzchniowej nie ma wartości stałej, lecz podlega w ciągu roku cyklicznym wahaniom sezonowym wynikającym z warunków meteorologicznych i klimatycznych. Wielkość zmian wilgotności gruntu podłoża oraz zasięg strefy aktywnej, w obrębie której zmiany takie występują, uzależnione są zarówno od warunków naturalnych (wspomniane warunki meteorologiczne i klimatyczne), jak i czynników technicznych (zabudowa terenu, rodzaj przykrycia itp.). Wilgotność gruntu jest z reguły najniższa w okresie letnim i wzrasta w okresie jesiennym i wiosennym. Amplituda sezonowych wahań wilgotności gruntu maleje wraz z głębokością. W warunkach klimatu kontynentalnego zasięg strefy aktywnej w glinach i iłach może sięgać do 5-6 m [1, 10]. W podłożu budynku wilgotność gruntu jest zawsze wyższa niż w przyległym terenie. Wahania sezonowe wilgotności gruntu bezpośrednio pod budynkiem są znacznie większe w pobliżu ścian zewnętrznych, szczególnie po stronie południowej (silniejsze nasłonecznienie) niż pod jego częścią środkową.

Zróżnicowanie zmian wilgotnościowych w zasięgu strefy aktywnej w podłożu budynku prowadzi przeważnie do nierównomiernego osiadania i związanego z tym uszkodzenia budynku. Najczęściej pękają ściany położone po stronie południowej budynku przy fundamentach zalegających płycej niż 2,0 m poniżej terenu [9, 14]. Wśród czynników naturalnych duży wpływ na wysychanie gruntu w podłożu budynków wywiera również roślinność, a szczególnie rosnące w pobliżu drzewa liściaste o dobrze

rozwinętych systemie korzeniowym. Z tego względu drzewa powinny być oddalone od budynków na odległość równą przynajmniej 1,5-krotnej wysokości korony [6,9] a według norm brytyjskich nie mniej niż 7,5 m [14]. Badania kanadyjskie wykazały, że skurcz gruntu ilastego może sięgać do głębokości 4,5 m, jeżeli w pobliżu rosną drzewa liściaste [6].

Opisywanych jest wiele przypadków uszkodzeń budynków spowodowanych skurczem gruntów spoistych (glin lub ilów) zalegających w podłożu, w wyniku ich naturalnego znacznego przesuszenia podczas suchego lata, np. w Warszawie i Brwinowie [12], w dzielnicy Bielawki w Bydgoszczy [3,6], w Samocicach woj. krakowskie [13], w Usti n.Orlice w północnych Czechach [9,14] i inne. W Usti n.Orlice skurcz gruntu w ciągu bardzo suchego lata sięgał do głębokości 4 m. W Bydgoszczy stwierdzono w 1982 roku przesuszenie gruntów podłoża sięgające do ok. 3,5 m [3]. Skurcz gruntów podłoża był również przyczyną uszkodzenia budynku mieszkalnego w miejscowości Odra k. Raciborza [2].

6. Metody obliczania wielkości osiadania terenu w wyniku skurczu gruntów spoistych

Skurcz gruntu podłoża w wyniku obniżenia jego wilgotności ujawnia się w postaci osiadania terenu. Wielkość osiadania wywołanego skurczem gruntu jest uzależniona od takich czynników, jak:

- rodzaj gruntu spoistego,
- wielkość zmian wilgotności,
- zasięg strefy aktywnej, w obrębie której występuje zmiana zawilgocenia.

Przedstawione w rozdziale 4 równania (1) - (7) można wykorzystać do określenia wielkości osiadania terenu w wyniku skurczu gruntu spoistego zalegającego w podłożu. Dla przesuszonej warstwy gruntu na odcinku o grubości m wielkość skurczu liniowego w pionie odpowiada wielkości osiadania S , którą to wielkość można określić następująco:

$$S = m \cdot \varepsilon_L$$

Podstawiając do powyższej zależności wyrażenie na ε_L ze wzorów (6) i (7), otrzymamy wzory na wielkość osiadania terenu w wyniku skurczu gruntu spoistego.

Przy zmianie wilgotności gruntu w przedziale konsystencji plastycznej wielkość osiadania S_1 warstwy o grubości m , przy uwzględnieniu zależności (6) wynosi: $S_1 = m \cdot \epsilon_L = m \cdot \epsilon_V$ i podstawiając w miejsce ϵ_V wyrażenie (5) otrzymamy wzór:

$$S_1 = \frac{m \cdot \beta_s (w_0 - w_p)}{1 + \beta_s \cdot w_0} \quad (8)$$

Przy obniżeniu wilgotności gruntu poniżej granicy plastyczności wielkość osiadania S_2 w gruncie spękanym o miąższości m przy uwzględnieniu zależności (7) wynosi: $S_2 = m \cdot \epsilon_L = m(1 - \sqrt[3]{1 - \epsilon_V})$ i podstawiając w miejsce ϵ_V wyrażenie (5) otrzymamy wzór:

$$S_2 = m \left(1 - \sqrt[3]{\frac{1 + \beta_s \cdot w_k}{1 + \beta_s \cdot w_p}} \right), \quad (9)$$

gdzie: m - grubość warstwy gruntu spoistego w obrębie której wystąpiła zmiana wilgotności, m ,

w_0, w_k - początkowa i końcowa wilgotność gruntu, wyrażona w częściach jedności,

w_p - granica plastyczności, wyrażona w częściach jedności,

β_s - współczynnik skurczu objętościowego danego gruntu wyznaczony na podstawie badań gruntu i obliczony według wzorów (4a) lub (4b).

Analizując charakter odkształceń warstwy gruntu spoistego w zasięgu strefy aktywnej, można w obrębie tej strefy wyodrębnić dwa odcinki:

- górny, gdzie przedział zmian wilgotności jest duży i podczas wysychania grunt zmienia konsystencję z plastycznej w zwartą z wytworzeniem szczelin wysychania; wielkość osiadania na tym odcinku wynosi :

$$S = S_1 + S_2,$$

gdzie : S_1 i S_2 - wielkości osiadania obliczone odpowiednio według wzorów (8) i (9), przy czym : $w_k < w_p < w_0$,

- dolny, gdzie przedział zmian wilgotności jest mniejszy, a dolna granica wilgotności nie schodzi poniżej granicy plastyczności gruntu; wielkość osiadania na tym odcinku wynosi:

$$S=S_1$$

gdzie : S_1 - wielkość osiadania obliczona według wzoru (8), przy czym w miejsce w_p należy podstawić w_K , ponieważ $w_K > w_p$.

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń wielkości osiadania wywołanego skurczem gruntu występującego w podłożu uszkodzonego budynku mieszkalnego w miejscowości Odra k. Raciborza [2]. Przedmiotowy budynek uległ uszkodzeniu w drugiej połowie 1982 r. w okresie trwającej suszy atmosferycznej i hydrologicznej. Uszkodzenia budynku skoncentrowane były głównie w jego części południowej, a przede wszystkim w południowo-zachodnim narożu, gdzie ujawniły się szczeliny o rozwarości dochodzącej do 20 mm. Uszkodzona część budynku była niepodpiwniczona, a fundamenty sięgały do głębokości 1,2 m poniżej terenu. Przesuszenie gruntu wystąpiło w obrębie najbardziej nasłonecznionej, południowo-zachodniej części budynku przylegającej do ogrodu (południowa elewacja przylegała do wybetonowanego podwórza). Nierównomierne osiadanie gruntu podłoża w tym miejscu należy wiązać dodatkowo z bliską lokalizacją drzew owocowych, a przede wszystkim rozłożystego drzewa orzecha włoskiego (odległość ok. 5 m) o silnie rozwiniętym systemie korzeniowym sięgającym w pobliże budynku, co przyczyniło się do wzrostu przesuszenia gruntu. W podłożu uszkodzonego budynku pod warstwą gleby na odcinku głębokościowym od 0,6 do ok. 6,0 m zalega kompleks glin pylastych, plastycznych. Próbkę gliny pobraną w kwietniu 1986 roku z głębokości 0,9 m obok południowo-zachodniej elewacji budynku wykazały wilgotność około 25%. Z przeprowadzonych badań skurczalności gruntu pobranego z podłoża wynika, że współczynnik skurczu objętościowego glin pylastych wynosi $\beta_s = 0,51$. Wielkość zmian wilgotności w wyniku przesuszenia oraz zasięg głębokościowy tego przesuszenia można było ocenić tylko w sposób przybliżony, ponieważ przypadek ten rozpatrywany był dopiero po 4 latach od chwili wystąpienia uszkodzeń. Wilgotność gruntu pod fundamentami w zasięgu strefy aktywnej mogła obniżyć się do ok. 15%. Obniżenie wilgotności gruntu w przedziale od 25% ($w_0 = 0,25$) do 15% ($w_K = 0,15$) związane było z jego przejściem z konsystencji plastycznej do zwartej. Strefa aktywna mogła sięgać do głębokości ok. 2,5 m, a zatem grubość przesuszonej warstwy gruntu pod fundamentem wyniosła ok. 1,3 m. Parametry przyjęte do obliczeń zestawiono w tabeli 1.

Wielkość osiadania S w wyniku skurczu gruntu spowodowanego jego przesuszeniem obliczono według wzorów (8) i (9), uwzględniając fakt, że grunt podczas wysychania zmienił konsystencję z plastycznej w zwartą:

$$S = S_1 + S_2 = \frac{m \cdot \beta_s (w_0 - w_p)}{1 + \beta_s \cdot w_0} + m \left(1 - \sqrt[3]{\frac{1 + \beta_s \cdot w_k}{1 + \beta_s \cdot w_p}} \right) =$$

$$\frac{1,3 \cdot 0,51(0,25 - 0,20)}{1 + 0,51 \cdot 0,25} + 1,3 \left(1 - \sqrt[3]{\frac{1 + 0,51 \cdot 0,15}{1 + 0,51 \cdot 0,20}} \right) = 0,040 \text{ m}$$

Zakładając, że pod budynkiem w części podpiwniczonej wilgotność gruntu nie uległa zmianie, określono odkształcenia poziome w południowo-zachodnim narożniku, na długości $a=5,2$ m (połowa długości budynku), które wynoszą: $\varepsilon = S/a = 0,040/5,2 = 0,0076 \text{ m/m} = 7,6 \text{ mm/m}$.

Z powyższych obliczeń wynika, że wielkość osiadania podłoża, jaka wystąpiła w wyniku skurczu gruntu w części południowo-zachodniej budynku, była przyczyną jego uszkodzenia. Należy sądzić, że już w latach poprzednich podczas okresów suszy występowały cykliczne przesuszenia i związane z tym osiadanie podłoża, osłabiające stopniowo konstrukcję budynku, a kolejna susza doprowadziła do utraty wytrzymałości i trwałego uszkodzenia budynku.

7. Wnioski końcowe

Z przeprowadzonej analizy procesu skurczu gruntów spoistych można postawić następujące wnioski.

1. Podstawowym parametrem charakteryzującym podatność gruntu spoistego na skurcz jest współczynnik skurczu objętościowego β_s , który określa wielkość zmiany objętości gruntu przy jednostkowej zmianie jego wilgotności. Parametr ten może być wyznaczony na podstawie badań laboratoryjnych, jak też i terenowych.
2. Wielkość osiadania terenu spowodowana skurczem gruntu spoistego uzależniona jest od : podatności gruntu wyrażonego współczynnikiem skurczu objętościowego β_s , wielkości zmian wilgotności gruntu (w) i głębokości strefy aktywnej (m). Wielkość osiadania może być określona za pomocą wzoru (8), w przypadku gdy zmiana

na wilgotności mieści się w przedziale konsystencji plastycznej gruntu lub ze wzoru (9), gdy zmiana wilgotności obejmuje przedział konsystencji zwartej. Należy zaznaczyć, że przyjęcie granicy plastyczności jako wyznacznika charakteru odkształceń jest założeniem przybliżonym i w tym zakresie konieczne są dalsze badania.

3. Przy ocenie stateczności budowli posadowionych na gruntach spoistych należy uwzględniać wielkość skurczu gruntu podłoża w przypadku znacznego obniżenia jego wilgotności, co może być spowodowane czynnikami technicznymi i naturalnymi, jak np. nadmierną dehydratacją gruntu podczas długotrwałej suszy. Istotne znaczenie ma tutaj nierównomierne osiadanie związane ze zróżnicowaną zmianą wilgotności w obrębie budynków.

LITERATURA

1. Anpilow W.J.: Formiowanie i prognoz reżima gruntowych wód na zastrajajemych teritoriach. Izd. Niedra, Moskwa 1984.
2. Cempiel E.: Ekspertyza geologiczno-inżynierska dotycząca przyczyn powstania szkód w budynku mieszkalnym w miejscowości Odra k. Raciborza. Gliwice 1986 (praca nie publikowana).
3. Ciesielski Z., Kumor M.K.: Awaria budynku mieszkalnego posadowionego na ile plioceńskim. Inżynieria i Budownictwo, nr 10, 1984, s. 372-375.
4. Grabowska-Olszewska B. i Siergiejew J.M. (red.): Gruntoznawstwo. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1977.
5. Kézdi Á.: Handbook of soil mechanics. Soil testing. Akadémiai Kiadó, Budapest 1980.
6. Madej J., Najder J., Werno M.: Awarie budynków mieszkalnych dzielnicy Bielawki w Bydgoszczy. Inżynieria i Budownictwo nr 6, 1966, s. 211-213.
7. Siergiejew J.M. (red.): Gruntowiedzenie. Izd. Moskowskiego Uniwersytetu. Moskwa 1983.
8. Siergiejew J.M. (red.): Teoreticzeskoje osnovy inżeniernoj geologii. Fiziko-chimiczeskije osnovy. Izd. Niedra, Moskwa 1985.
9. Széchy K.: Błędy posadowienia. Wyd. Arkady, Warszawa 1976.

10. Terzaghi K., Peck. R.: Soil mechanics in engineering practice. New York-London 1948.
11. Wilk Z.: Wpływ zmian warunków hydrogeologicznych spowodowanych działalnością górnictwem na wielkość deformacji powierzchni. W: „Ochrona powierzchni przed uszkodzeniami górnictwem”.Wyd. Śląsk, Katowice 1980.
12. Wilun Z.: Zarys geotechniki. WKŁ, Warszawa 1987.
13. Wróblewski T.: Uszkodzenia budynków na skutek katastrofalnie niskich stanów wód w rzekach w 1969 r. Zeszyty Naukowe AGH. Geodezja, z. 20, 1972, s. 61-70.
14. Zaruba Q., Mencil V.: Engineering geology. Academia Prague 1976.

Recenzent: Prof.zw.dr hab.inż. Erast Konstantynowicz

Wpłynęło do Redakcji 25.05.1996 r.

Abstract

The paper presents the process of cohesive soils shrinkage as a result of reduced moisture content. Interdependence functional variation markings of the linear strain and the volumetric strain with the water content at drying time of cohesive soils. Formulas were made and qualifying the quantity of the land-surface settlement caused by shrinking of cohesive soils in the foundation depositions were derived.

The quantity of the land-surface subsidence as a result of cohesive soils shrinkage depends on: susceptibility of soils expressed by volumetric-shrinkage coefficient β_s , value of moisture content change (w) and active zone depth (m). Subsidence value may be calculated by formula (8) when the water content change comprises in the interval of the plastic consistency or by formula (9) when the water content change of the soil includes the hard consistency interval.

The apartment building failure caused by the shrinkage of drying cohesive soils in the foundation was presented.