

Wybrane problemy geologiczno- inżynierskie łątów mio- plioceniówkich i ich skutki geotechniczne





Bydgoszcz położona jest w obrębie Pradoliny Toruńsko – Eberswaldzkiej, gdzie polodowcowa działalność erozyjna wód doprowadziła, **około 20 000 lat temu**, do odsłonięcia starszego (**liczącego około 35 milionów lat**) podłoża, mio-pliocenijskich (neogeńskich) iłów serii poznańskiej.

Na tym podłożu o wybitnych cechach ekspansywnych, *„... W środę oktawy Wielkanocy [19 IV] Roku Pańskiego 1346”. „Kazimierz Wielki król polski nadaje Janowi zwanemu Kyesselhuth i Konradowi równinę położoną opodal zamku zwanego potocznie Bydgoszcz, aby w tym miejscu założyli miasto, które ma się nazywać Królówgród, ..., ...aby stworzyć emporium handlu polskiego...”*

Tutaj posadowiono też większość miejskich budynków i współczesnych obiektów inżynierskich.

PLAN PREZENTACJI

1. Wstęp
2. Omówienie przypadku geotechnicznego
3. Problemy geotechniczne i naruszenie stanu równowagi podłoża
4. Przykład awarii geotechnicznej z przyczyn dzikiej niwelacji terenu
5. Próba naprawy i skutki prawne
6. Podsumowanie

Wstęp

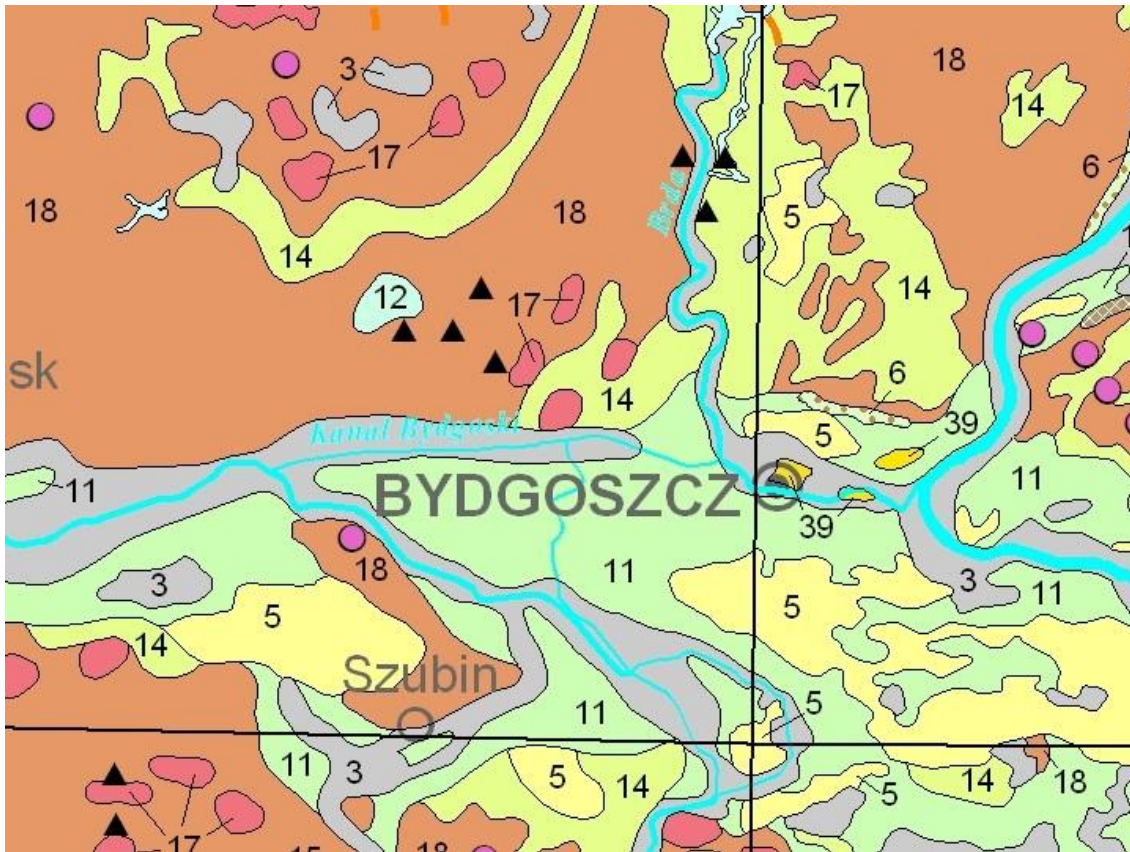
Położenie geograficzne, geomorfologia i geologia

Miasto Bydgoszcz położone jest w dolnym biegu rzeki Brdy przy ujściu jej do Wisły. Według regionalizacji fizyczno-geograficznej Kondrackiego z modyfikacjami Dysarza, leży w:

- makroregionie – Pojezierze Wielkopolskie – jednostka 315;
- mezoregionie – Kotlina Toruńska – jednostka 315.35;
- mikroregionie podstawowym – Terasa Bydgoska – jednostka 315.352.

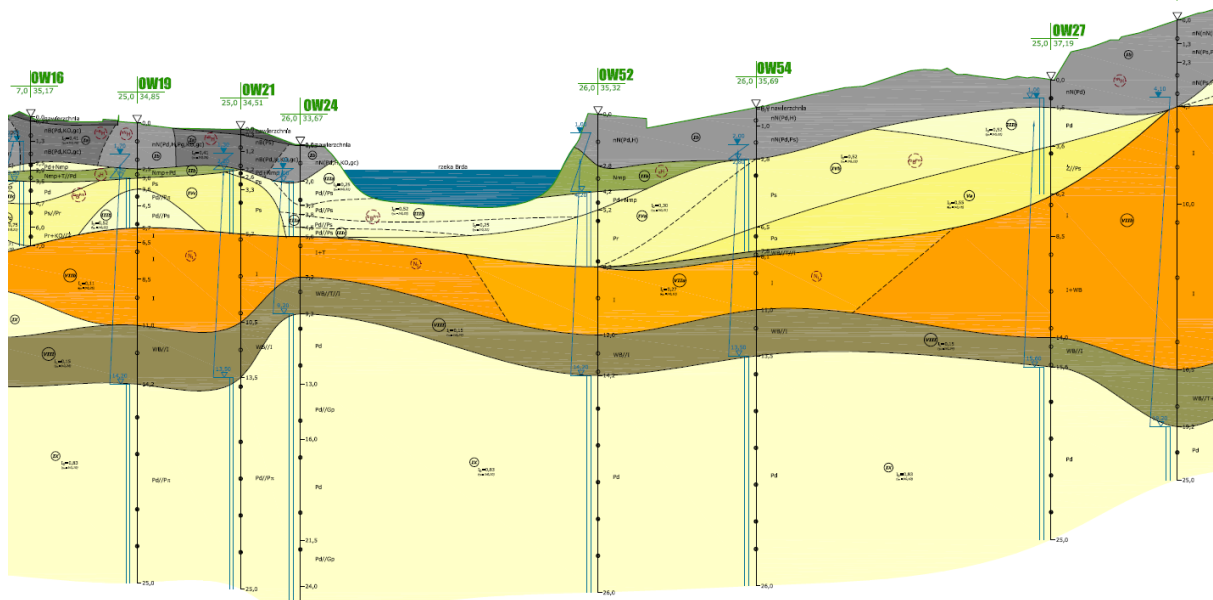
Kotlina Toruńska jest częścią rozległej pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej. Rozciąga się od Nieszawy do Nakła.

Forma ta powstała w okresie ostatniego zlodowacenia i swój ostateczny kształt uzyskała w fazie pomorskiej. Terasa Bydgoska stanowi najniższy poziom pradolinowego odpływu wód i ma charakter erozyjno-akumulacyjny.



NEOGEN – (N) - odsłonięty został głównie wzdłuż dolin rzecznych Wisły, Odry, Brdy, Drwęcy i Warty. Wykształcony jest w postaci ekspansywnych iłów mio-plioceńskich (N_1+N_2 , ility serii poznańskiej) lokalnie rozmytych oraz porozrywanych. **MIOCEN** to głównie osady piaszczyste przewarstwione węglem brunatnym i wkładkami słabo spojonego piaskowca.

Wycinek z Mapy Geologicznej Polski – rejon Bydgoszcz

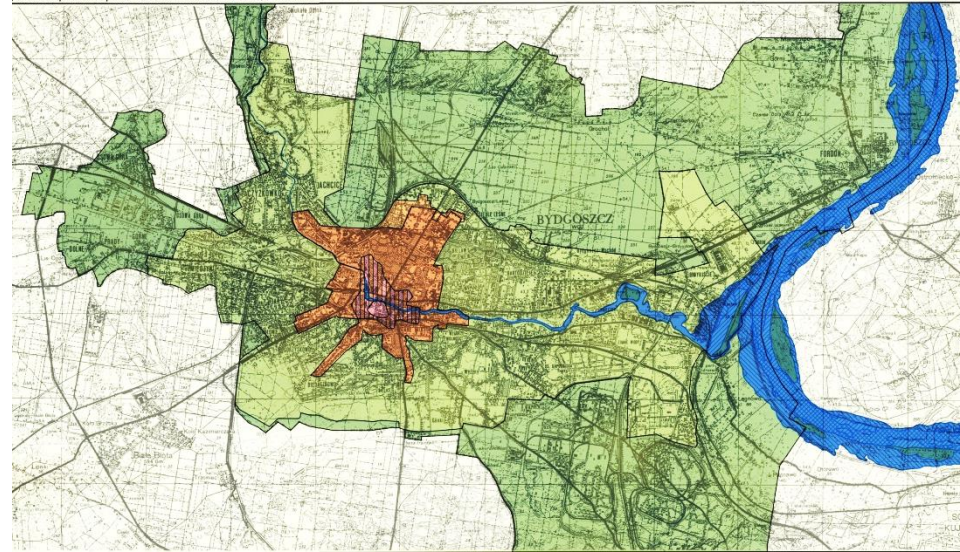


Czwartorzęd w rejonie Bydgoszczy występuje w postaci osadów wodno-łodowcowych: glin zwałowych i piasków ze żwirami.

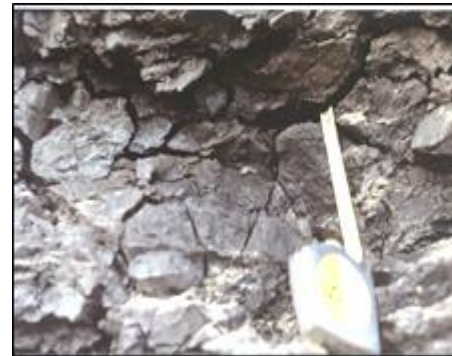
Mięszość osadów czwartorzędowych waha się od ok. 100 m (w rejonie dolin kopalnych wypełnionych **szarą gliną zwałową** fazy leszczyńskiej) do kilku metrów w osadach teras Brdy. Gliny zwałowe tworzą ciągłe, głębokie i wydłużone struktury, rozcinające osady czwartorzędowe.

Stratygrafia	Opis litologiczno-genetyczny		
CZWARTORZĘD - Q	HOLOCEN - Q ₂	Antropogeniczne	Grunty próchniczne (H) Nasypy niekontrolowane (nN) Nasypy budowlane (NB)
		Rzeczne (f) Rzeczno-zastoiskowe (f-li)	Piaski (P _d , P _s , P _o) Namuły (Nmp, Nmg) Torfy (T), gytie (Gy)
	PLEJSTOCEN - Q ₁ - Rzeczno-lodowcowe (f-g)		Piaski i żwiry (P _r , P _s , P _d , P _p , Ż, P _o) Gliny (G _p , G _g , G _p , G _{pz} , P)
NEOGEN - N	PLIOCEN N ₂ - Osady zbiornika epikontynentalnego (li-m)		Iły, mułki (I _p , I, I _p , G _p , G _{pz} , G _z , G _{pz} , P, P _d)
	MIOCEN N ₁ - Osady zamkniętych zbiorników słodkowodnych (li)		Piaski (P _s , P _r , P _d), Węgiel brunatny (WB)

Stratygrafia utworów ekspansywnego typowa podłoża budowlanego Bydgoszczy



*Występowanie wychodni mio-pleceńskich iłów
ekspansywnych serii poznańskiej w podłożu
budowlanym rejonu Bydgoszczy na tle utworów
ekspansywnych w Polsce*



Wody podziemne występują w Bydgoszczy w utworach:

- czwartorzędowym
- neogeńskich,
- kredowym (dolnokredowym)

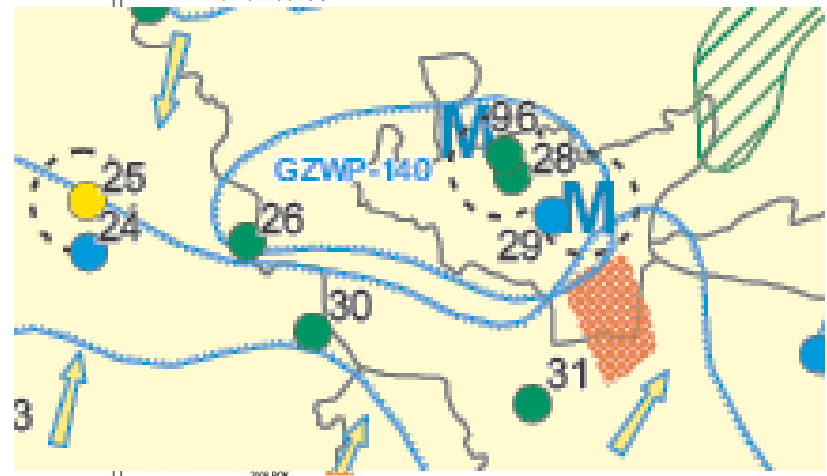


WODY PODZIEMNE I POWIERZCHNIOWE

0 1km 2km

LEGENDA

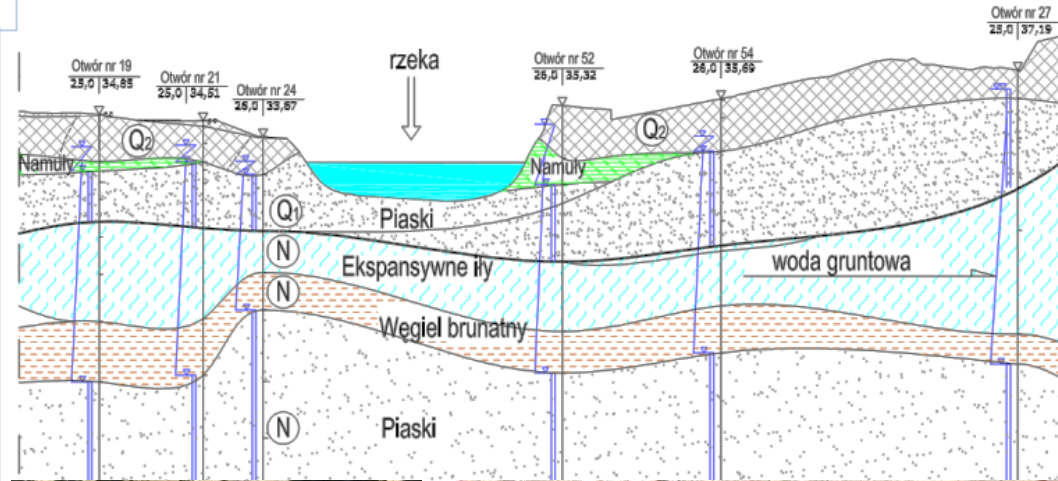
- wody stojące
- rzeki i rowy melioracyjne
- granica Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 140
- wysokość wody na Vistule raz na 100 lat
- obszary o sezonowym zagrożeniu zanieczyszczenia wód podziemnych na głębokości do 1 m p.p.l.
- obszar strefy ochrony bezpośredniej ujęć wód powierzchniowych i podziemnych
- strefa ochrony pośredniej ujęcia wód podziemnych LAS GDANSKI - teren produkcyjny
- strefa ochrony pośredniej ujęcia wód podziemnych LAS GDANSKI - teren strefy krajoznawczej wysozczyzny



Główny Zbiornik Wód Podziemnych Bydgoszcz 140 i kierunki przepływu wód podziemnych poziomu użytkowego

CHARAKTERYSTYKA WÓD PODZIEMNYCH

- trzy różne poziomy wód podziemnych o **charakterze naporowym, subartezyjskim i swobodnym,**
- istnieniem **związku hydraulicznego pomiędzy tymi trzema poziomami,** występowaniem nawodnionych przewarstwień pylasto-piaszczystych i soczewek piaszczystych w masywie ilastym,
- istnieniem spękań glaciektonicznych, oraz **okien hydraulicznych** wykluczających możliwość traktowania masywu jako naturalnej bariery całkowicie nieprzepuszczalnej, szczelnej.



Warunki geologiczno-inżynierskie oraz zjawiska geodynamiczne

Do najistotniejszych zagrożeń geologiczno-inżynierskich i niekorzystnych zjawisk geodynamicznych należy zaliczyć:

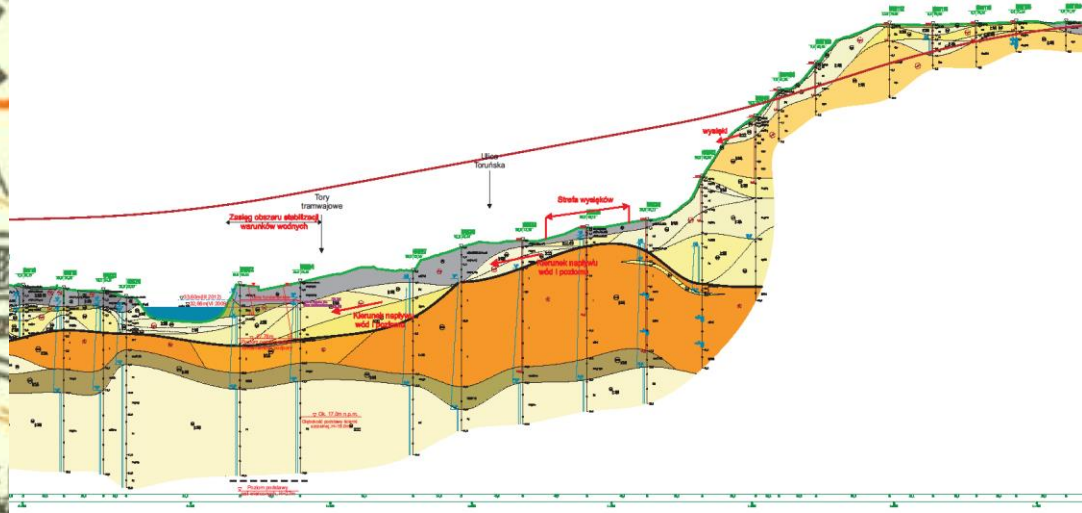
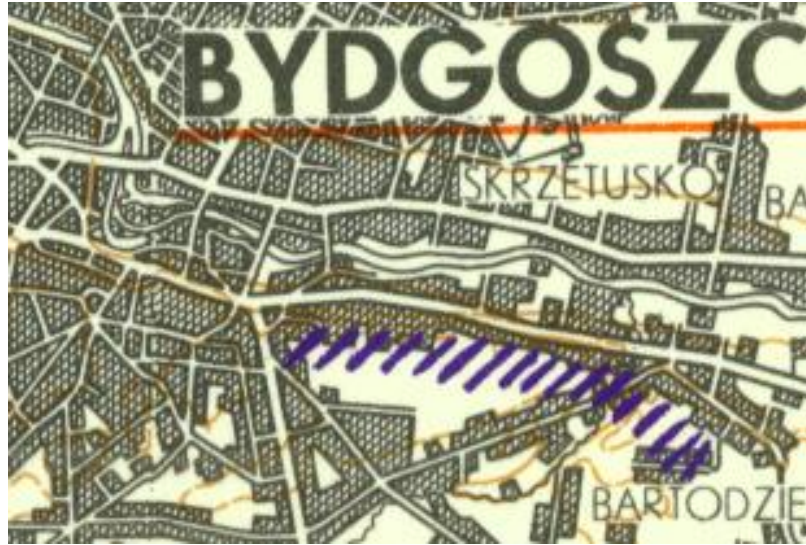
- ❑ **płytkie występowanie ekspansywnych iłów serii poznańskiej,**
- ❑ **niską stateczność zboczy** zwłaszcza o nachyleniu większym niż 15% – tereny zagrożone ruchami masowymi ziemi,
- ❑ **występowanie gruntów słabonośnych** i o wysokim poziomie wód gruntowych oraz terenów wydm śródlądowych.

Ekspansywne łąy.

Występują na terenie całego miasta, największy wpływ na bezpieczną realizację obiektów budowlanych oraz podziemnych sieci mają łąy serii poznańskiej **zalegające od 0,0 do 3,5 m p.p.t.**

Wydziela się trzy strefy w podłożu, o zróżnicowanych wartościach parametrów wodących:

- ❑ przypowierzchniowa I — od 0,0 do 3,50 m p.p.t,
- ❑ przejściowa II — od 3,51 do 6,00 m p.p.t,
- ❑ głęboka III — od 6,01 do 12,0 m p.p.t i głębiej.



Obszary miasta o predyspozycjach do inicjowania osuwisk

Procesy geologiczno-dynamiczne w serii poznańskiej wywołane są głównie, zmianami w wyniku wahań wody gruntowej. Spękania powstałe wskutek przesuszenia obserwowano w do **głębokości ponad 2 m od stropu ładu**. Stanowią one potencjalne powierzchnie osłabień wzdłuż, których inicjowane są procesy osuwiskowe.

Pojęcie ekspansywności gruntów w geotechnice najczęściej wiąże się z definicją pęcznienia.

Jak wiadomo ekspansywność obejmuje szersze zjawiska pęcznienia i skurczu gruntów.

- **Skurcz** – *jest to proces zmniejszania się objętości gruntów na skutek ubytku wody porowej; cecha charakterystyczna gruntów spoistych ze znaczną zawartością frakcji iłowej.*
- **Pęcznienie** *gruntów spoistych jest procesem odwrotnym do skurczu.*

WPROWADZENIE

Z praktycznego punktu widzenia, grunty ekspansywne są gruntami, **które wykazują wzrost początkowej objętości w kontakcie z wodą i skurcz jako rezultat przesychnania.**

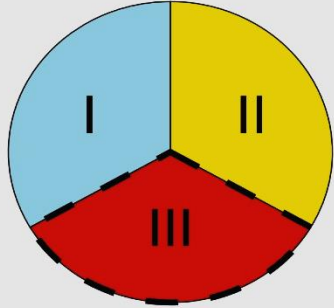
*Charakterystyczną właściwością jest wystąpienie zawsze przy zmianach wilgotności zróżnicowanych faz: **skurczu i pęcznienia.***

Ocena stopni skomplikowania warunków gruntowych (Dz.U. 2012, poz. 463)

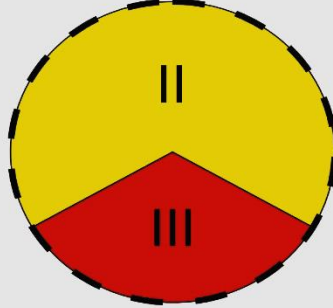
Warunki Stopień skomplikowania	GRUNTOWE	WODNE	NIEKORZYSTNE PROCESY I ZJAWISKA GEOLOGICZNE
PROSTE	jednородne, warstwy zalegające poziomo, wszystkie grunty poza gruntami mineralnymi słabonośnymi, organicznymi oraz nasypami niekontrolowanymi	poniżej projektowanego poziomu posadowienia	brak
ZŁOŻONE	niejednorodne, warstwy nieciągłe, zmienne litologicznie i genetycznie, grunty mineralne słabonośne, grunty organiczne i nasypy niekontrolowane	w poziomie lub ponad poziomem projektowanego posadowienia	brak
SKOMPLIKOWAN E	grunty ekspansywne (np. ility), grunty zapadowe (np. lessy), grunty obszarów dolinnych i deltowych, grunty na obszarach morskich, nieciągłe deformacje górotworu	ponad poziomem projektowanego posadowienia	Kras osuwiska, sufozja glacitektonika procesy kurzawkowe obszary szkód górniczych

Stopień skomplikowania warunków gruntowych uzależniony jest od trzech czynników: ułożenia i wykształcenia warstw gruntów w podłożu, położenia zwierciadła wody gruntowej oraz możliwości wystąpienia niekorzystnych procesów i zjawisk geologicznych.

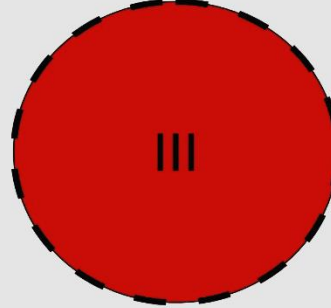
warunki proste



warunki złożone



warunki skomplikowane



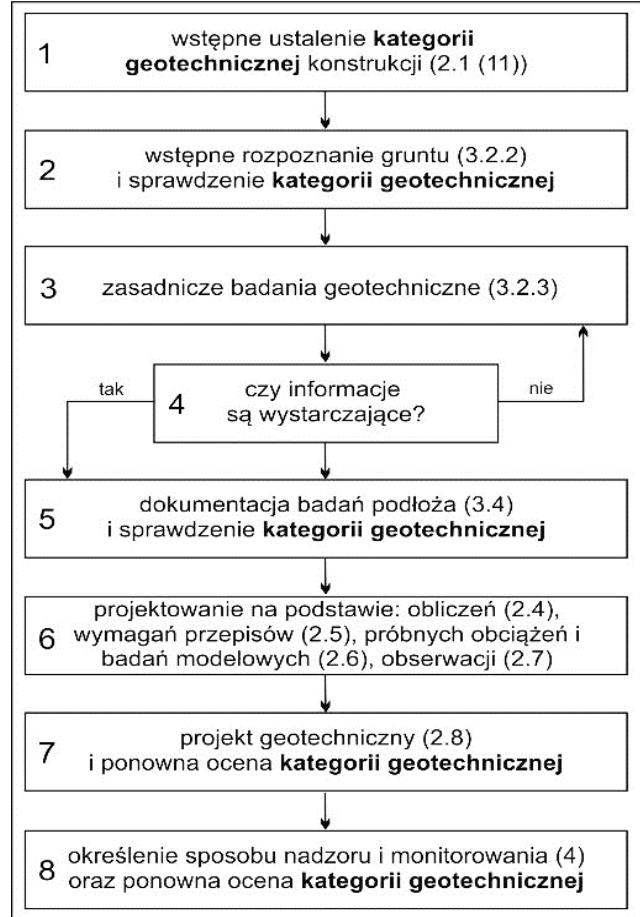
I - III kategorie geotechniczne

[- -] konieczność sporządzenia dokumentacji geologiczno-inżynierskich

I opinia geotechniczna

II opinia geotechniczna + dokumentacja badań podłoża + projekt geotechniczny

III opinia geotechniczna + dokumentacja badań podłoża + projekt geotechniczny



Wymagane formy opracowań badań podłoża gruntowego w zależności od stopnia skomplikowania warunków gruntowych oraz kategorii geotechnicznej obiektu budowlanego, wg (8).

Biorąc pod uwagę właściwości fizyczne i mechaniczne łąw ekspansywnych, **należy rozpatrywać dwa czynniki w istotne w badaniach identyfikacyjnych i rozwiązaniach praktycznych:**

- **stopień ekspansywności gruntu,**
- **techniczne możliwości zabezpieczenia gruntu przed czynnikami uaktywniającymi ekspansywność.**

*Inżynierskie i ekonomiczne uwarunkowania wskazują na stosowanie **posadowień bezpośrednich** z **jednoczesnym zabezpieczeniem podłoża przed zmianami wilgotności.***

W literaturze dotyczącej klasyfikacji gruntów ekspansywnych np.: Chen (1988), Seed i inni (1962), Sorochan (1974), van der Merwe (1964) i inni, uwagę zwraca się głównie na proces pęcznienia.

Klasyfikacje przyjmują przede wszystkim następujące parametry:

- **Granica płynności – w_L ,**
- **Granica skurczalności – w_s ,**
- **Wskaźnik plastyczności – $I_p = w_L - w_p$,**
- **Wilgotność – w_o ,**
- **Powierzchnia właściwa – S .**

Nieliczne w praktyce są klasyfikacje ekspansywności ilów wprowadzające do kryteriów parametry skurczu, np.: Holtz (1959), Rangantham i Satanarayana (1965), Niedzielski (1993).

W klasyfikacji ekspansywności polskich gruntów opracowanej przez Niedzielskiego wprowadzono tzw. **przedział skurczalności** ($w_L - w_s$) (%), charakteryzujący skurcz.

Wydzielono na jego podstawie cztery stopnie ekspansywności:

- **Wysoki:** $35 \% < (w_L - w_s) < 50 \%$,
- **Średni:** $20 \% < (w_L - w_s) < 35 \%$,
- **NBardzo wysoki:** $(w_L - w_s) > 50 \%$,
- **iski:** $(w_L - w_s) < 20 \%$.

Powierzchnie genetyczne anizotropowe
wydzielające podczas suszenia brekcje masywu
ekspansywnych iłłów serii poznańskiej

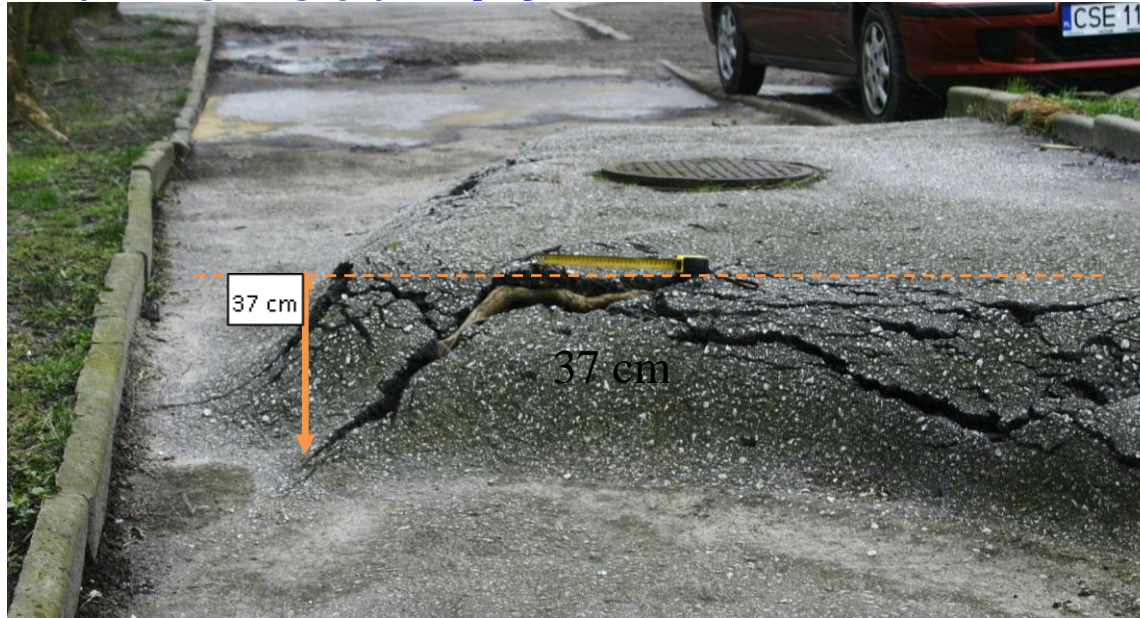


Z inżynierskiego punktu widzenia, osiadanie podłoża w fazie skurczu po pęcznieniu, jest największym zagrożeniem konstrukcji.

□ **Skurcz powoduje post-konsolidacyjne osiadanie** podłoża ekspansywnego, które w polskich warunkach geotechnicznych **jest zasadniczą przyczyną niemal wszystkich uszkodzeń i awarii budynków.**



Bardzo istotnym jest łączne określenie charakterystyki iłów ekspansywnych ujmujących **pęcznienie i skurcz**.



- ❑ Skurcz iłów występuje sezonowo, zwykle **latem i jesienią** w czasie wegetacji drzew lub po wielkoobszarowym osuszeniu terenu np.: ułożeniu nowej kanalizacji.

CHARAKTERYSTYKA IŁÓW EKSPANSYWNYCH

Iły charakteryzują się wysoką zmiennością składu granulometrycznego i mineralnego.

Minerałem przeważającym w iłach o cechach ekspansywnych są *beidelite*, *montmorillonite*.

Typowy skład mineralogiczny jest następujący:

- **smectite:** 11 % to 23 %, with the exchangeable ion **Ca⁺⁺, Na⁺,**
- **illite:** 5 % to 9 %,
- **kaolinite:** 6% to 11 %,
- other minerals, **chlorite, silica.**

Wartości parametrów ekspansywności

	Max.	Medium	Min.
<input type="checkbox"/> Czas pęcznienia - t_p (h)	>340	24-36	6-8
<input type="checkbox"/> Ciśnienie pęcznienia - p_c (kPa)	1200	200-400	~12
<input type="checkbox"/> Skurcz - v_o [%]	44.1	32-34	~5
<input type="checkbox"/> Wilgotność pęcznienia - w_c [%]	137.0	80-99	38.2
<input type="checkbox"/> Granica skurczu - w_s [%]	18.5	13.7	12.8
<input type="checkbox"/> Granica płynności - w_L [%]	148.5	82.1	45.6
<input type="checkbox"/> Wskaźnik pęcznienia - v_p [%]	62.0	~21.7	5.6

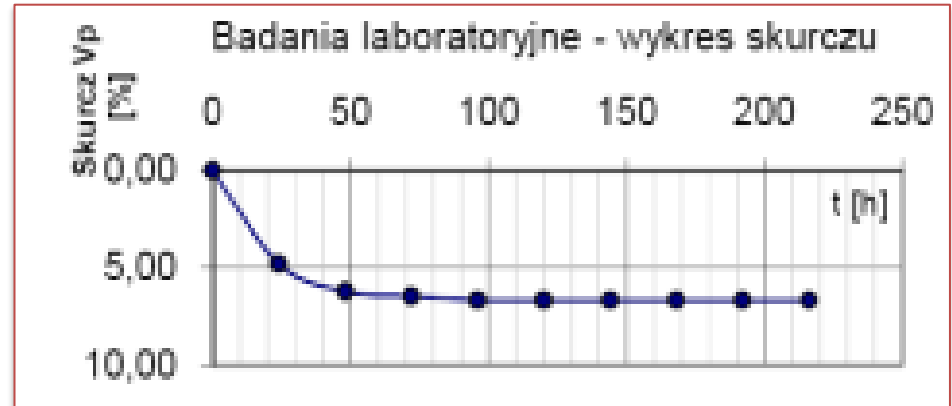
Parametry stanu i mechaniczne iltów ekspansywnych

- ❑ Stopień plastyczności – $IL (1)$ – **< 0,0 do 0,10**
- ❑ Spójność - $c [kPa]$ – **57 to 180**
- ❑ Kąt tarcia wewnętrznego - $F [o]$ – **6 to 25**
- ❑ Moduł edometryczny - $Mo [MPa]$ – **4,4 to 15,0**

Proces przesychnania (skurczu) łu.

- ❑ **Proces przesychnania** (skurczu) łu charakteryzuje się skurczem objętościowym i powstaniem **struktury brekcyjowej** z licznymi odseparowanymi ziarnami i głębokimi szczelinami skurczowymi.

- Czas skurczu - t_s (h) 50-96
- Skurcz objętościowy- V_s [%] 23-24
- Granica skurczu- w_s [%] 18.2-18.9



- ❑ Efektem geotechnicznym niepożądanym, **jest lokalnie różna sztywność i odkształcalność ekspansywnego podłoża.**
- ❑ Monitorując osiadania stwierdzono różnice od **$D_s = 0,0$ mm** (strefa przesuszona) do **$D_s = 30,0$ mm**, w strefach nawilgoconego łu.

Postać funkcji pomiędzy **względnym skurczem objętościowym** - (V_s), a **wilgotnością** iltu ekspansywnego jest liniowa :

$$V_s = -3,5731 + 0,783 * w \quad (3)$$

gdzie:

- V_s – skurcz objętościowy [%],
- w – wilgotność, $> w_s$ [%].

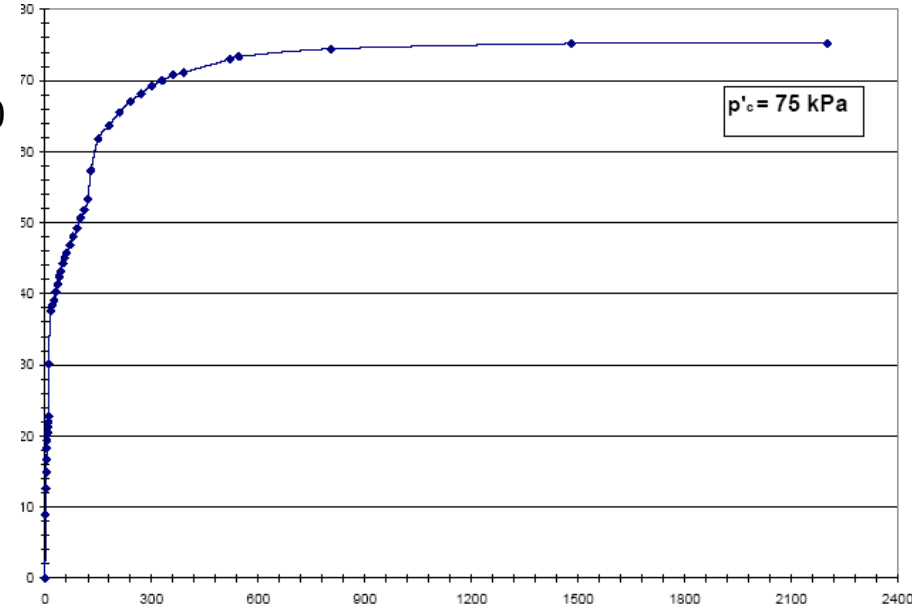
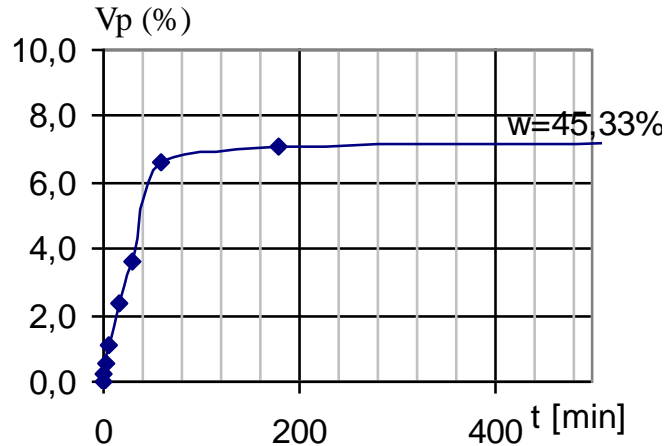
W procesie przesuszania i przy obniżeniu wilgotności o wartość $-Dw = (w_o - w_k)$, wielkość względnego skurczu objętościowego ma istotne znaczenie w prognozowaniu osiadań pokonsolidacyjnych nowo wznoszonych, a także w zapobieganiu awarii wieloletnio użytkowanych budynków.

Parametry geotechniczne opisujące procesy **skurczu**, jak również **pęcznienia**, są indywidualnymi **stałymi materiałowymi**, każdego gruntu ekspansywnego.

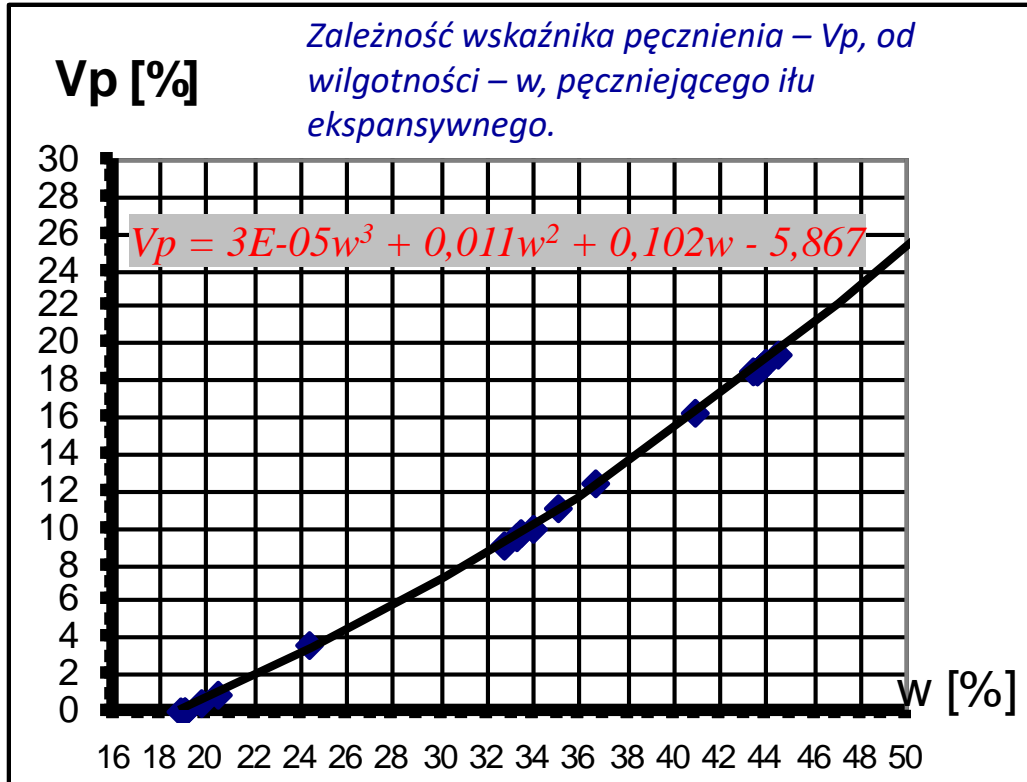
□ **Faza pęcznienia**

Parametry pęcznienia iłów ekspansywnych

- Czas pęcznienia- t_p (h) >340
- **Ciśnienie pęcznienia - p_c (kPa) 1200**
- **Wskaźnik pęcznienia- V_p [%] 44,1**
- Wilgotność pęcznienia- w_c [%] 137,0
- Granica skurczu- w_s [%] 18,5



Podsumowanie cech ekspansywności



❑ Iły ekspansywne Północnej Polski zaliczyć można ($w_L - w_s$) = **82,1% > 50 %**, do gruntów bardzo spoistych o **wysokim stopniu ekspansywności**.

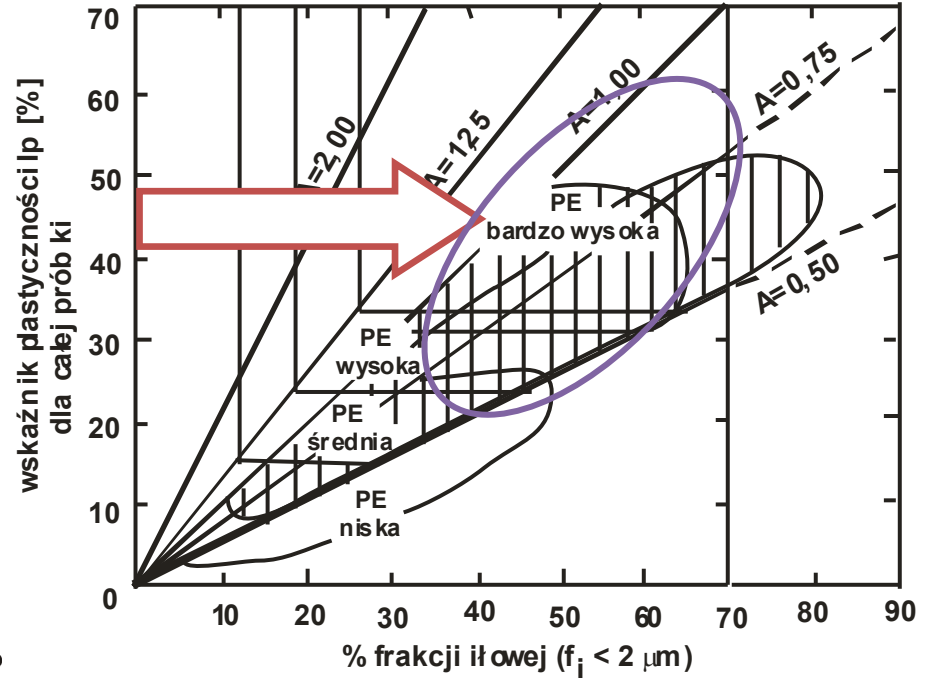
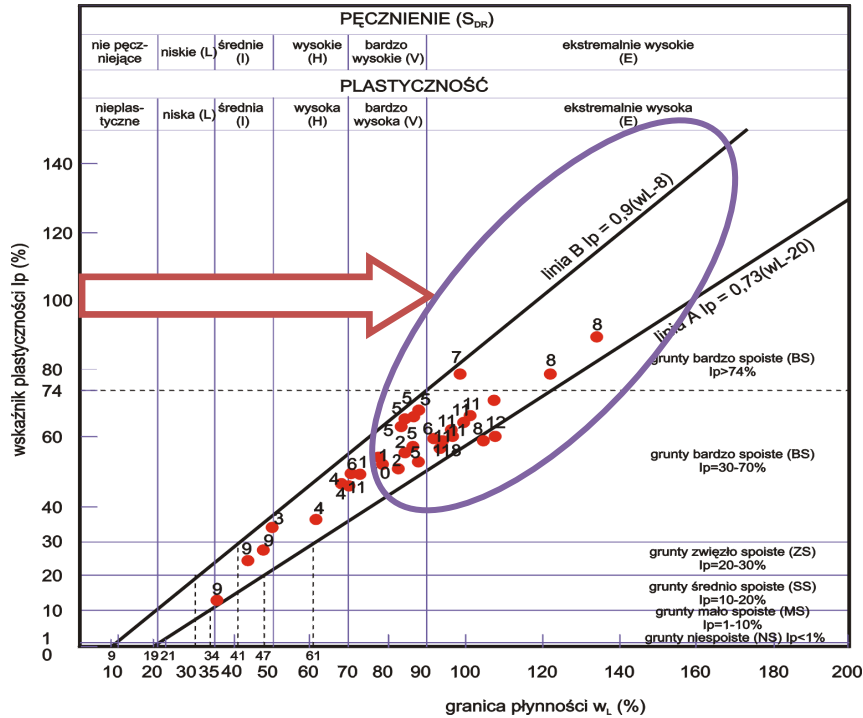
❑ Wyniki badań wskazują na potrzebę **indywidualnego określenia charakterystyk potencjalnej ekspansywności** różnych typów iltów w zależności od wilgotności, składu mineralnego, oraz czasu i chemizmu środowiska.



Szczeliny skurczowe i dezintegracja granularna łu w wyniku suszenia, po 24 godzinach.



Występowanie łuów ekspansywnych na terenie Polski



Iły ekspansywne serii poznańskiej na diagramie klasyfikacyjnym Casagrandego, zmodyfikowanym przez Grabowską-Olszewską



Potencjalna ekspansywność (PE) (wg nomogramu Van der Merwe, zmodyfikowanego przez B. Grabowską-Olszewską)

Ekspansywność łąw nie jest stała, zależy od temperatury i zwiększa się z jej wzrostem.

- ❑ **W realnych warunkach geologicznych**, spotykamy zawsze zróżnicowanie właściwości, tj. genetyczne strefy nawilgoconych lub przesuszonych gruntów w wyniku działania czynników zewnętrznych.

Na skutek zachwiania **naturalnych warunków Ziemi**, np.: **klimatu**, grupą czynników uaktywniających ekspansywność w podłożu, są również **czynniki środowiskowe w tym antropogeniczne**.

Następują wielkoobszarowych przemieszczeń pionowych podłoża budowlanego zarówno w górę jak i w dół na skutek skurczu bądź pęcznienia.

Powodują one przekazanie naprężenia i odkształceń podłoża na fundamenty budowli, wymuszając deformację konstrukcji.

Czynniki uaktywniające cechy ekspansywne łąw

Ogólna postać funkcji zmian wilgotności gruntów ilastych, prowadzących do zmian odkształceń, jest następująca:

$$\Delta w_n = f(I_p, K, R, L, \sigma_n, n_w, t)$$

w_n – natural water content

PI – Plasticity Index

n_w – porosity

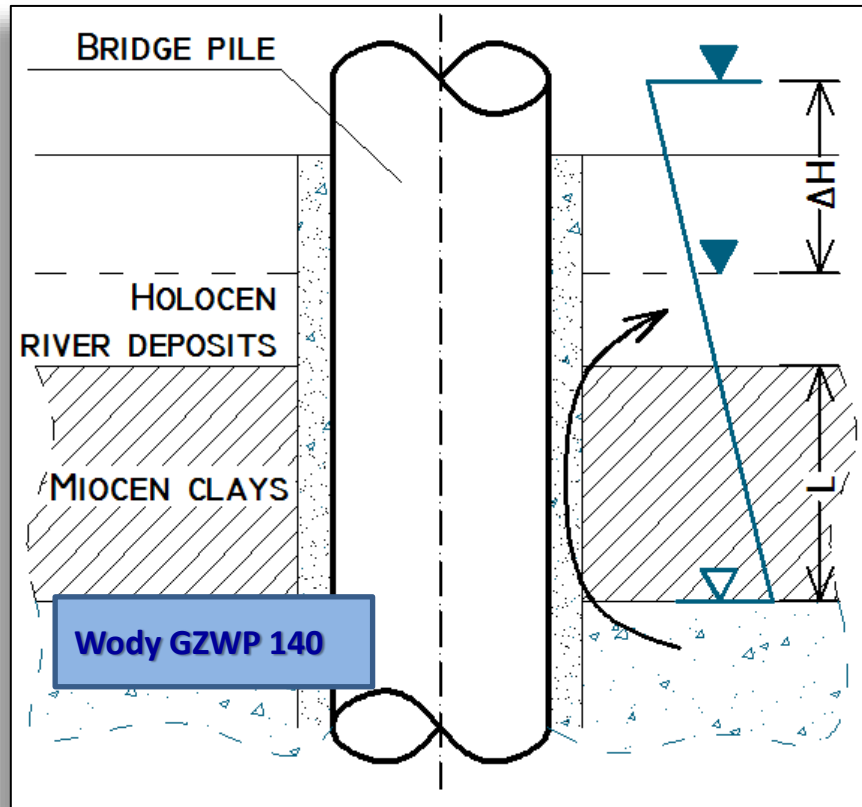
<i>Material factors</i>	<i>Environmental factors</i>	<i>Other</i>
<ul style="list-style-type: none">soil genesis (G)mineral composition (M)expansiveness of soil (EX)soil caving (Z)soil tixotropy (T)	<ul style="list-style-type: none">climate (K)vegetation (R)outside load of soil (σ_n)groundwater level (h_w)anthropogenic processes (L)natural humidity of massif (w_n)	<ul style="list-style-type: none">depth (h)time (t)type of foundation (F)character of loads (Q)procedural (P)

- ❑ Zasadniczym stwierdzeniem tej części wystąpienia odnośnie do specyfiki łąw ekspansywnych, z terenu Polski, są **generalnie dobre ich właściwości geotechniczne** do posadowienia konstrukcji.
- ❑ Jednocześnie, **stają się one zbyt groźne nie tylko dla profesjonalistów, którzy zignorują ich naturalne cechy geologiczno-inżynierskie.**



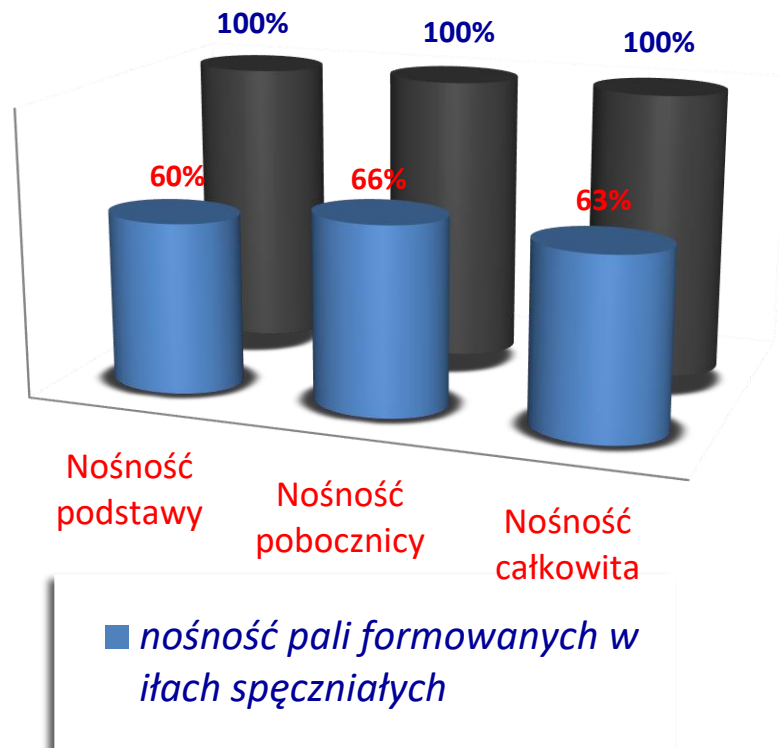
Następują wielkoobszarowe przemieszczenia pionowe podłoża gruntowego na skutek skurczu bądź pęcznienia. Naprężenia podłoża wymuszają deformację konstrukcji.





- ☐ *Seria I, fluwialne piaski czwartorzędowe*
- ☐ *Seria II, limniczno-morskie iły trzeciorzędowe*
- ☐ *Seria III, mioceńskie piaski i węgiel brunatny, limniczno-morskie*

Zalanie wodą dna i ścian otworów formowanych w łożach ekspansywnych trzeciorzędowych, powoduje znaczną utratę ich nośności. Dotyczy to nośności zarówno pobocznic jak i podstawy pała.



- ❑ W większości znanych przypadków awarii budowli, posadowionych na podłożu ekspansywnym, **obiekty zachowywały się poprawnie przez ponad 50 - 100 i więcej lat użytkowania.**
- ❑ W podobnych przypadkach monitoring planowany zapewne już dawno będzie zakończony.

Eurokod – 7, nie przewiduje potrzeby obserwacji typowych konstrukcji powyżej 10 lat.

Jako przykłady awarii obiektów i budowli odnotowanych po czterdziestu latach bezpiecznego użytkowania można podać kilkadziesiąt przykładów z terenów zalegania iłów ekspansywnych w Polsce.

WYBRANE AWARIE GEOTECHNICZNE BUDOWLI Z REJONU BYDGOSZCZY

Przedstawiono charakterystyczne przypadki, w czterdziestopięcioletniej praktyce zawodowej odnotowane na terenie kraju.

- Przykład poważnego uszkodzenia budynku w wyniku pęcznienia i wyparcia spod fundamentu spęczniałego iltu w trakcie realizacji obiektu, stan 09.2015, po 40 latach użytkowania.

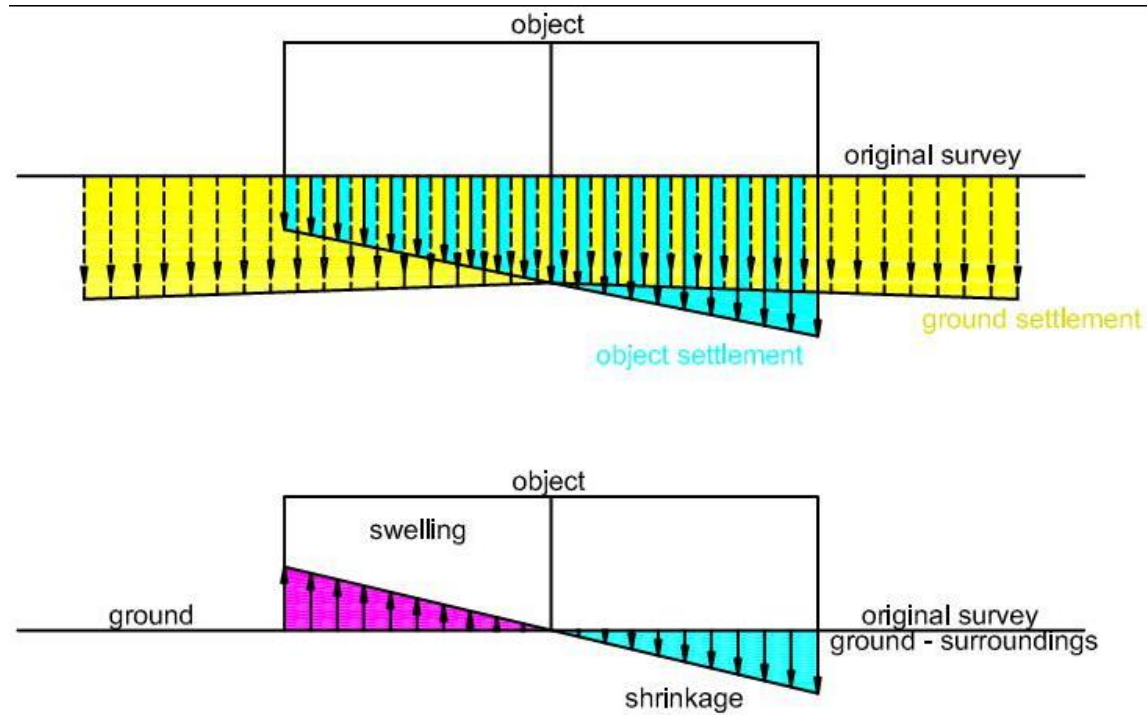


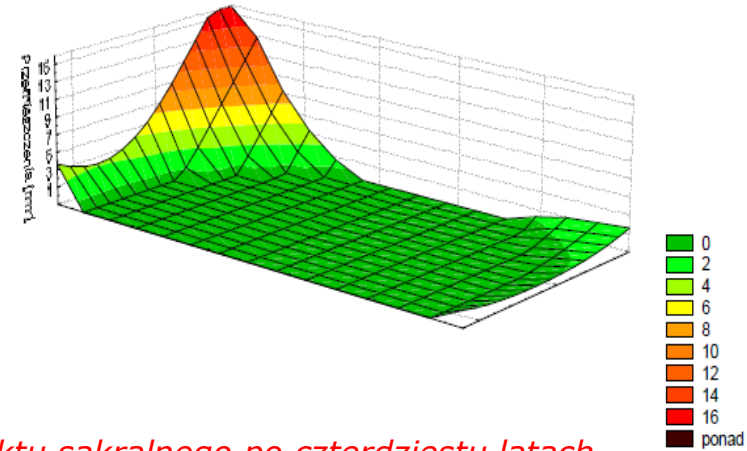
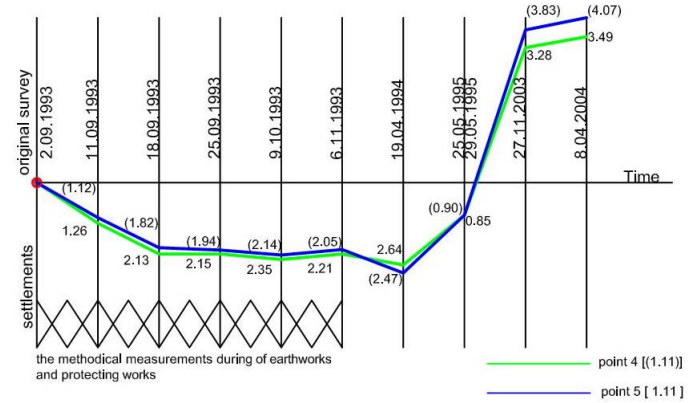


Przykład poważnej deformacji przestrzennej części budynku w strefie spęczniałego ładu.

Liczne awarie budowli, wynikające z ekspansywności iłłów, odnotowano w Bydgoszczy już **przed końcem XIX wieku**. Problemy rozwiązywano przy udziale wybitnych ówczesnych geologów.



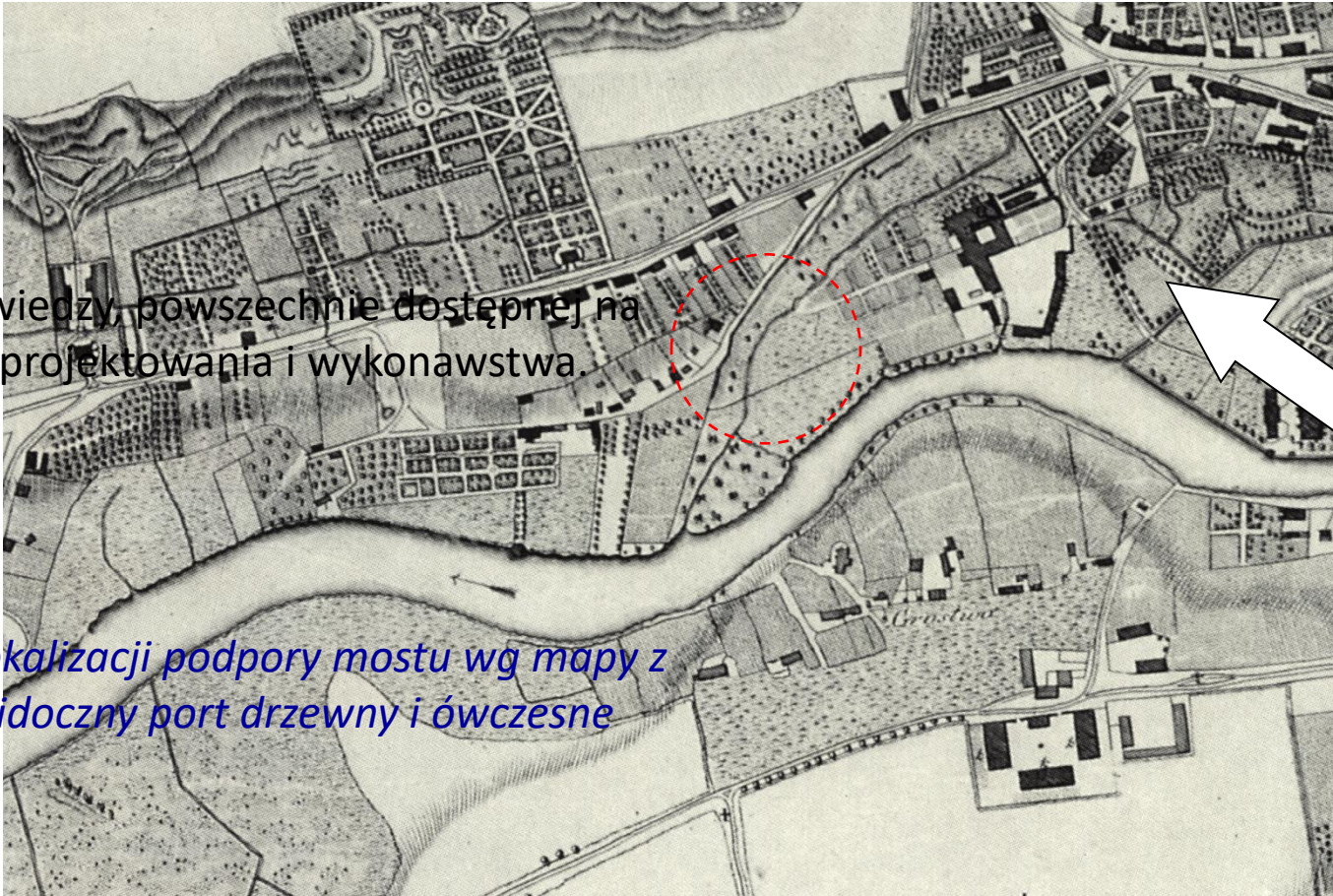




Awaria obiektu sakralnego po czterdziestu latach bezpiecznego użytkowania.

Ad. Brak wiedzy, powszechnie dostępnej na etapie projektowania i wykonawstwa.

Obszar lokalizacji podpory mostu wg mapy z 1800 r. Widoczny port drzewny i ówczesne ciek.



- Polskie przepisy budowlane **nie obligują inwestorów** do rozpoznania warunków gruntowo-wodnych **na terenach sąsiednich**. Często w bezpośrednim otoczeniu działek zabudowanych, wykonuje się roboty geotechniczne ze zmianami użytkowania terenu.
- Nierzadko obserwuje się dużą dowolność działań graniczącą z **samowolą budowlaną w terenie przygranicznym**, np. pod własne przedsięwzięcia. Działania dokonuje się **z pominięciem prawa**, bez prób ukrywania się przed sprawnym okiem administracji budowlanej.



Dziękuję Państwu za uprzejmą uwagę i wysłuchanie wykładu.

