



Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny
w Szczecinie

„Zachodniopomorskie Realizacje Drogowe”

Szczecin, 25-26 listopada 2010 r.

Ulepszanie gruntów spoistych - wymagana konieczność

dr inż. Stanisław Majer



Skąd problem

Dlaczego grunty spoiste przysparzają aż tylu kłopotów?



Frakcje uziarnienia

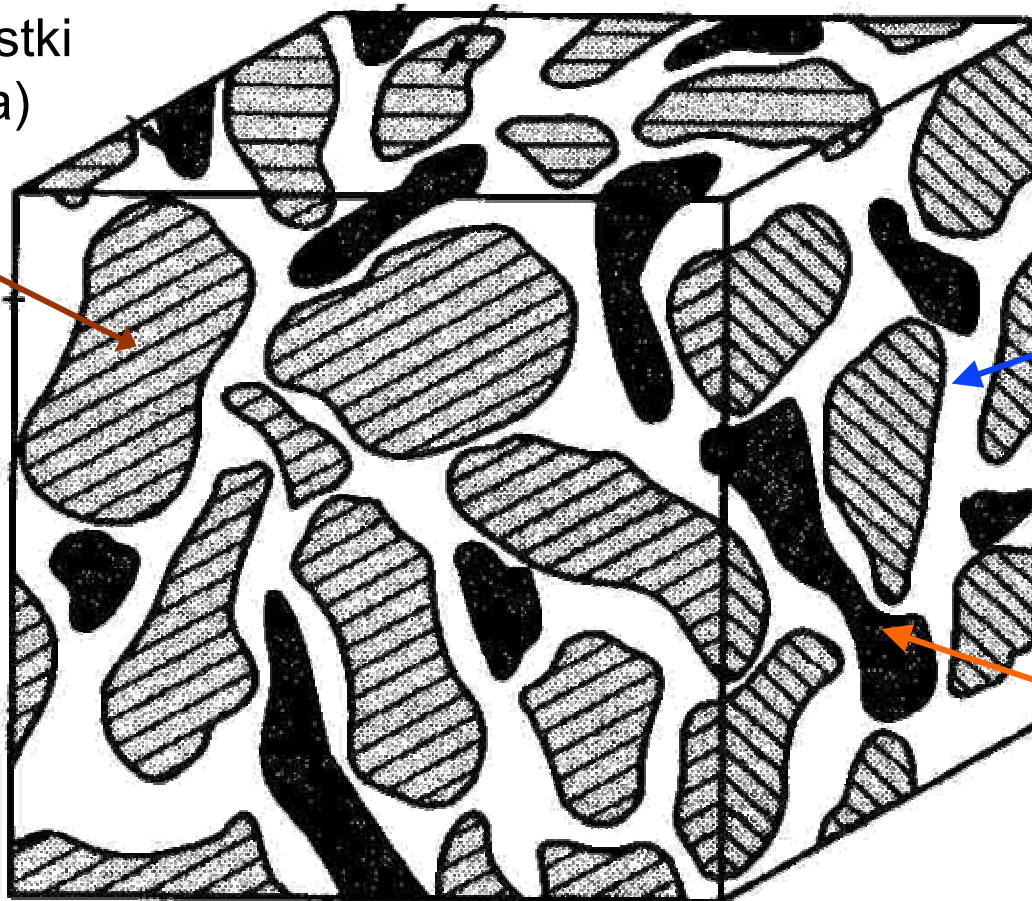
Nazwa frakcji	Symbol procentowej zawartości frakcji w masie szkieletu gruntowego	Zakres średnic zastępczych d , mm
Kamienista	f_k	$d > 40$
Żwirowa	f_z	$40 \geq d > 2$
Piaskowa	f_p	$2 \geq d > 0,05$
Pyłowa	f_{π}	$0,05 \geq d > 0,002$
Iłowa	f_i	$0,002 \geq d$

Klasyfikacja gruntów nieskalistych mineralnych wg PN-86/02480

Grunt		Nazwa gruntu	Symbol	Uziarnienie		Dodatkowe kryteria lub nazwa	
Kamienisty $d_{50} > 40 \text{ mm}$		zwietrzelina	KW	$f_i \leq 2\%$		grunty występujące w miejscu wietrzenia skały w stanie nienaruszonym	
		Zwietrzelina gliniasta	KWg	$f_i > 2\%$			
		rumosz	KR	$f_i \leq 2\%$		grunt występuje poza miejscem wietrzenia skały pierwotnej, lecz nie podlegał procesom transportu i osadzania w wodzie	
		rumosz gliniasty	KRg	$f_i > 2\%$			
		otoczaki	KO				
Gruboziarnisty $d_{50} \leq 40 \text{ mm}$ $d_{90} > 2 \text{ mm}$		żwir	Ż	$f_i \leq 2\%$	$f_k + f_z > 50\%$		
		żwir gliniasty	Żg	$f_i > 2\%$			
		pospółka	Po	$f_i \leq 2\%$	$50\% \geq f_k + f_z > 10\%$		
		pospółka gliniasta	Pog	$f_i > 2\%$			
Drobnoziarnisty $d_{90} \leq 2 \text{ mm}$	Niespoisty (syпки) $I_p \leq 1\%$			zawartość frakcji %			$d_{50} > 0,5 \text{ mm}$ $0,5 \text{ mm} \geq d_{50} > 0,25 \text{ mm}$ $d_{50} \leq 0,25 \text{ mm}$ $f_p = 68-90\%; f_{\pi} = 10-30\%; f_i = 0-20\%$
				$> 2 \text{ mm}$	$> 0,5 \text{ mm}$	$> 0,25 \text{ mm}$	
		piasek gruby	Pr	< 10	> 50	-	
		piasek średni	Ps	< 10	< 50	> 50	
		piasek drobny	Pd	< 10	< 50	< 50	
		piasek pylasty	P π	< 10	< 10	< 10	
	Spoisty $I_p > 1\%$			f_p	f_{π}	f_i	
		piasek gliniasty	Pg	60-98	0-30	2-10	mało spoiste $I_p = 1-10 \%$
		pył piaszczysty	πp	30-70	30-70	0-10	
		pył	π	0-30	60-100	0-10	
		glina piaszczysta	Gp	50-90	0-30	10-20	średnio spoiste $I_p = 10-20 \%$
		glina	G	30-60	30-60	10-20	
		glina pylasta	G π	0-30	30-90	10-20	
		glina piaszczysta zwięzła	Gpz	50-80	0-30	20-30	zwięzła spoiste $I_p = 20-30 \%$
		glina zwięzła	Gz	20-50	20-50	20-30	
		glina pylasta zwięzła	G πz	0-30	50-80	20-30	
		ił piaszczysty	Ip	50-70	0-20	30-50	bardzo spoiste $I_p > 30 \%$
		ił	I	0-50	0-50	30-100	
ił pylasty		I π	0-20	50-70	30-50		

Fazy w gruncie

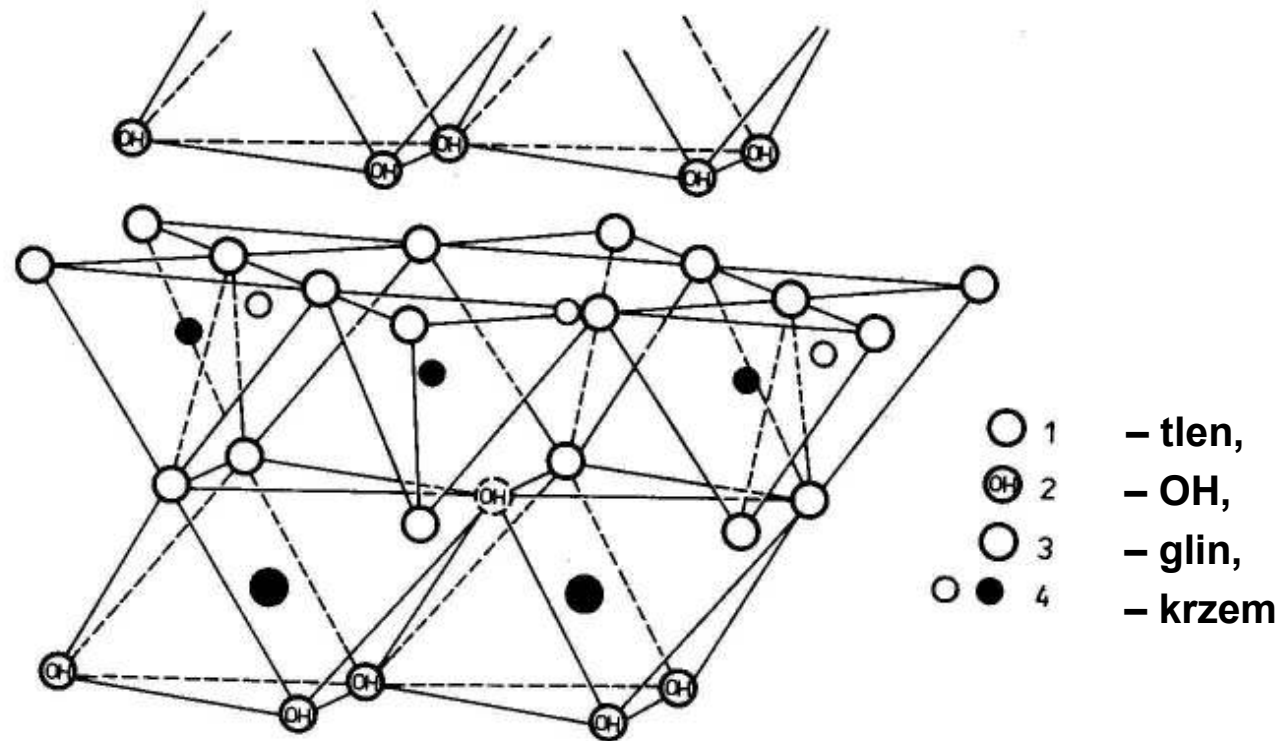
ziarna i cząstki
(faza stała)



woda
(faza ciekła)

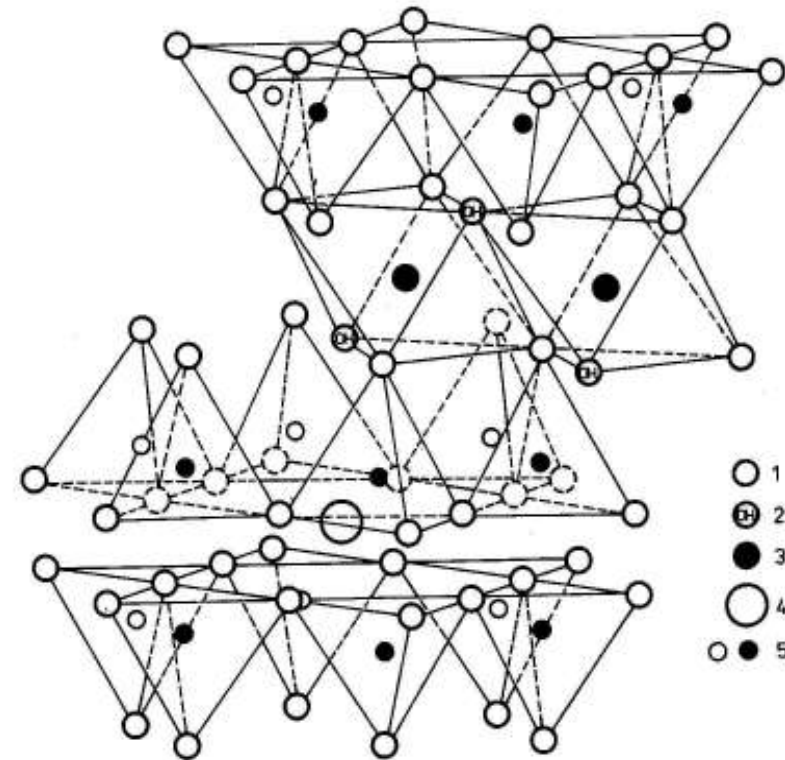
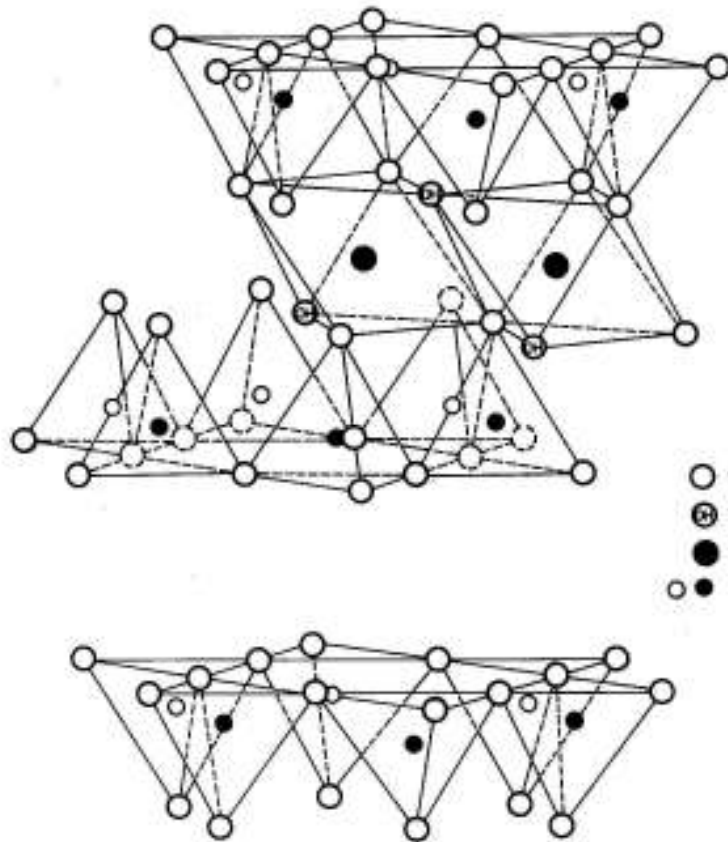
powietrze gruntowe
(faza gazowe)

Minerały ilaste



Pakiet dwuwarstwowy w strukturze kaolinitu złożony z jednej warstwy tetraedrycznej i jednej oktaedrycznej wg Grima

Minerały ilaste



Schemat struktury montmorillonitu i muskowitu wg Grima

Jakie są kłopoty

- Nośność uzależniona jest od wilgotności.
- Zjawisko skurczu i pęcznienia.
- Wysadzinowość.
- Kapilarność.
- Prowadzenie robót uzależnione jest od warunków atmosferycznych.
- Trudność przy odspajaniu - zjawisko adhezji.
- Trudność z zagęszczeniem przy wilgotności większej od optymalnej (zjawisko poduszki kauczukowej).

Efekt



Mamy błoto



Które czasami wysycha



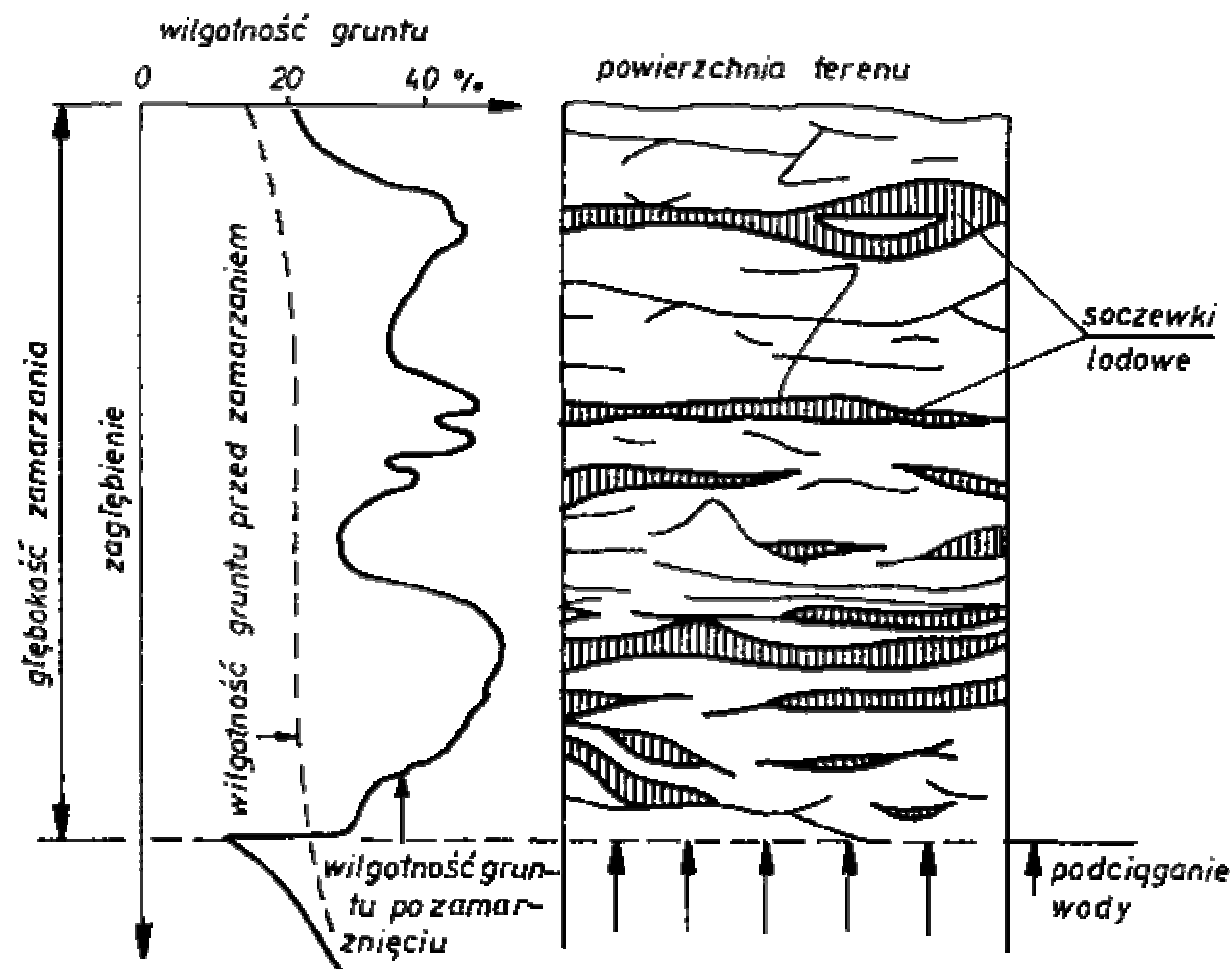
Kryteria wysadzinowości

Właściwość	Grupa gruntów		
	Niewysadzinowe	Wątpliwe	Wysadzinowe
Rodzaj gruntu	- rumosz niegliniasty - żwir - pospółka - piasek gruby - piasek średni - piasek drobny - żużel nierozpadowy	- piasek pylasty - zwiertzelina gliniasta - rumosz gliniasty - żwir gliniasty - pospółka gliniasta	mało wysadzinowe: grunty bardzo zwięzłe i bardzo spoiste bardzo wysadzinowe: piaski gliniaste, glina piaszczysta, pył, pył piaszczysty, glina
Zawartość frakcji $\leq 0,075\text{mm}$ $\leq 0,02\text{mm}$	<15% <3%	od 15 do 30% od 3 do 10%	>30% >10%
Kapilarność bierna	< 1,0 m	$\geq 1,0$ m	>1,0 m
Wskaźnik piaskowy	>35	od 25 do 35	<25

Wysadzina – Szczecin ul. 26 Kwietnia ubiegłej zimy



Powstawanie soczewek lodowych



Wysadziny



Wysadziny



Wysadziny



Przeciwdziałanie niekorzystnym zjawiskom mrozowym

- Posadowienie fundamentów budowli poniżej granicy przemarzania.
- Wymiana gruntu wysadzinowego na niewysadzinowy (do granicy przemarzania).
- Stosowanie izolacji termicznych pod komorami w chłodniach.
- Podgrzewanie gruntu pod komorami chłodni wodą obiegową lub prądem elektrycznym.
- Stosowanie zasypki za murami oporowymi, przyczółkami mostów i jazów z dobrze przepuszczalnych gruntów niewysadzinowych.
- W przypadku płytko posadowionych fundamentów w okresach mrozów należy stosować „ocieplanie” gruntu przy pomocy mat (np. słomianych) lub obsypywać gruntem.

Przeciwdziałanie niekorzystnym zjawiskom mrozowym w drogownictwie

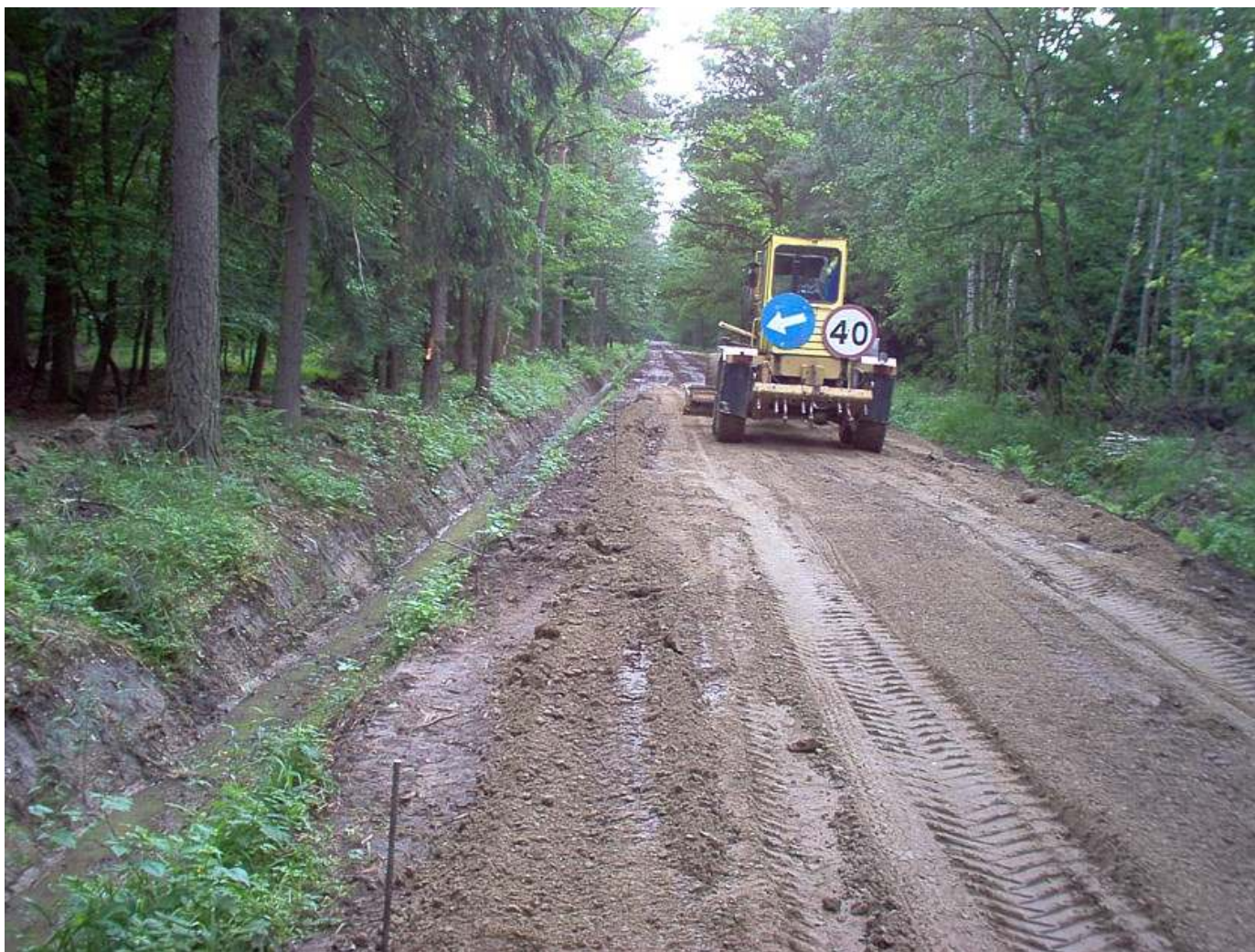
- Podwyższanie niwelety drogi przez wykonywanie nasypów na terenach o niekorzystnych warunkach wodno-gruntowych.
- Obniżanie poziomu wód gruntowych lub odcięcie ich bocznego napływu przy pomocy drenażu podłużnego (rowów przydrożnych).
- Stosowanie pod nawierzchnią podsypki żwirowej o odpowiedniej grubości (wymiana gruntu wysadzinowego na niewysadzinowy).
- Stosowanie ulepszenia gruntu stabilizacja cementem itp.
- Odwodnienie powierzchniowe nawierzchni drogowej, podłoża i poboczy.

Doprowadzenie do nośności G1

Gdy podłoże zostaje zaklasyfikowane do grupy G2 – G4, to oznacza że nie ma odpowiedniej nośności. Należy je wówczas doprowadzić do grupy nośności G1 stosując:

- a) wymianę gruntu podłoża na odpowiednią głębokość z zastosowaniem materiału niewysadzinowego
- b) wykonując wzmocnienie pod nawierzchnią:
 - układając warstwę z gruntu stabilizowanego spoiwem,
 - układając warstwę z mieszanki o ciągłym uziarnieniu (stabilizacja mechaniczna)
- c) ulepszając grunt w górnej warstwie poprzez:
 - stabilizację podłoża spoiwem na miejscu
 - ulepszając uziarnienie słabego podłoża

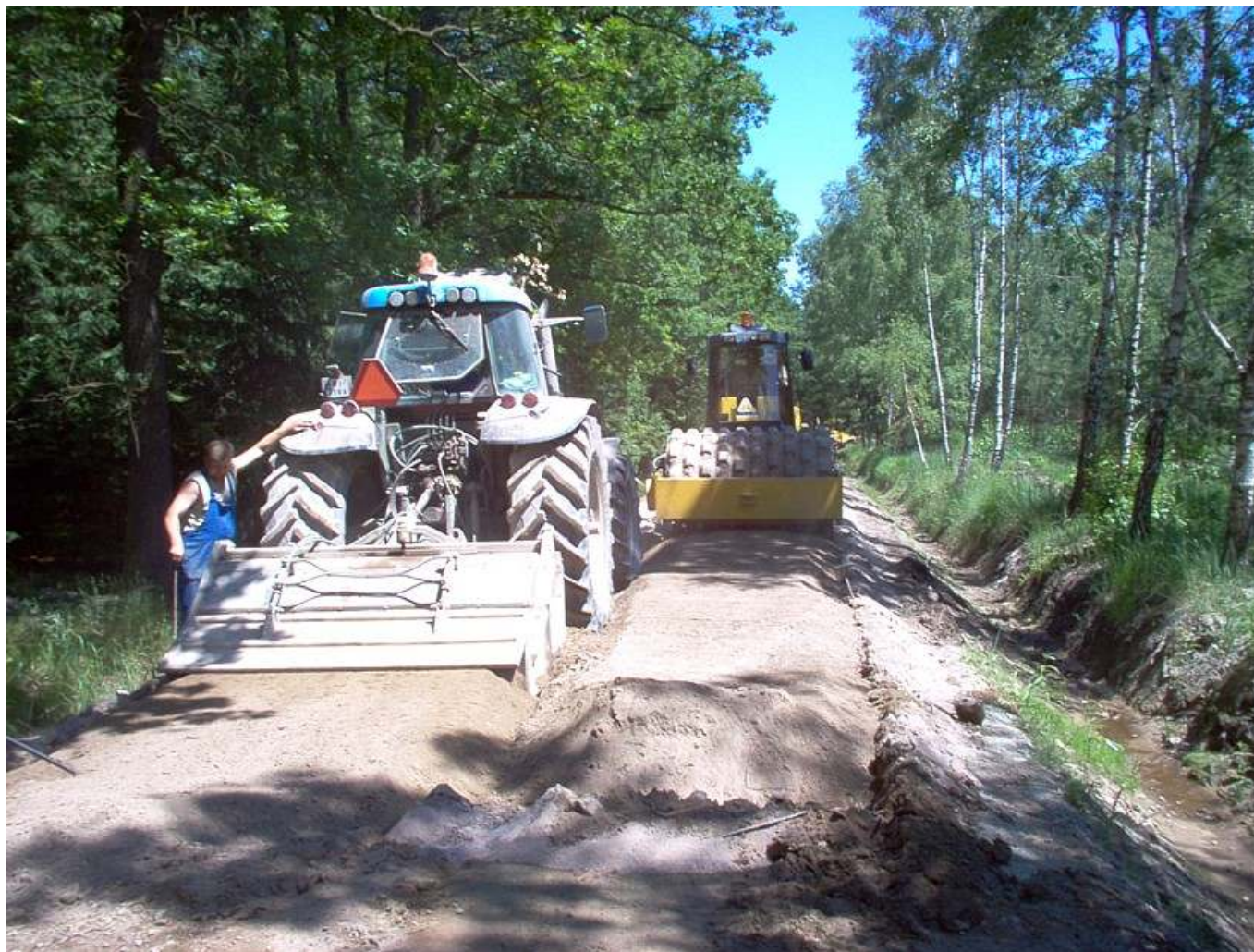
Stabilizacja na miejscu - profilowanie



Rozkładanie spoiwa



Mieszanie i zagęszczanie



Zagęszczanie i profilowanie



Efekt końcowy



Możliwości sprzętu

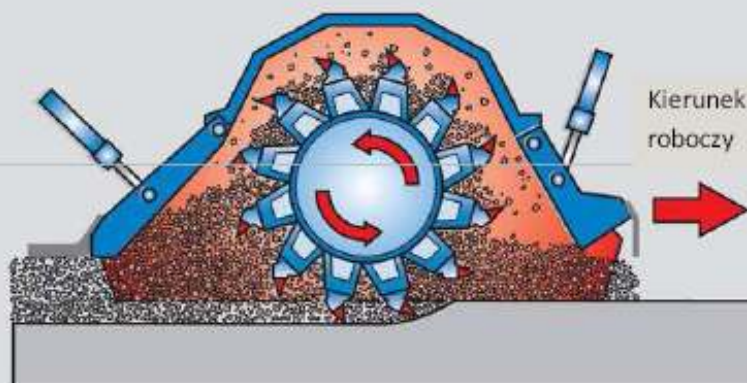


Recykler podczas pracy

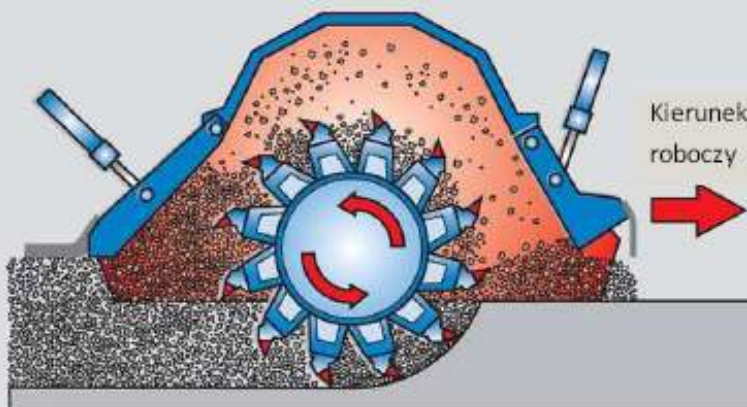


Możliwość mieszania do 50 cm

Mniejsza komora mieszająca przy mniejszych głębokościach roboczych



Większa komora mieszająca przy większych głębokościach roboczych



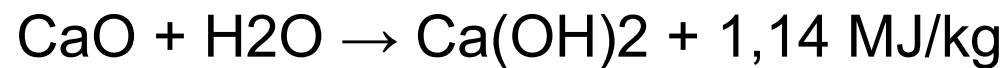
Mikser



Wapno

Do stabilizacji nadaje się grunty spoiste **zawierające minerały ilaste**. Dodatek wapna powoduje przede wszystkim zmniejszenie wilgotności gruntu: podczas gaszenia wapna palonego wapno wiąże wodę i dodatkowo w skutek reakcji egzotermicznej powoduje dodatkowe wysuszenie gruntu (1% wapna powoduje obniżenie wilgotności gruntu od 0,8% do 1,4% - przyjmuje się 1%).

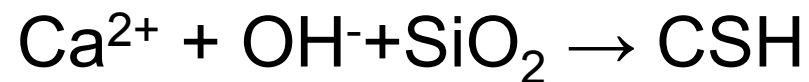
Dobrej jakości wapno palone reaguje bardzo gwałtownie z wodą z wydzieleniem dużej ilości ciepła:



Wynika z tego, że 1 kg CaO wiąże 0,3214 kg H₂O i wydziela 1140 kJ ciepła. Podana ilość ciepła jest w stanie ogrzać 2,77 kg wody od temperatury 0°C do temperatury 100°C, lub przemienić w parę 0,43 kg wody o początkowej temperaturze 0°C

Wapno

W stworzonym silnie alkalicznym środowisku (pH = 12,4) zachodzą reakcje wymiany jonowej i rozpoczyna się reakcja tworzenia uwodnionych krzemianów i glinokrzemianów (CSH):



Wymagania dla stwardniałej mieszanki wapienno-gruntowej

Lp.	Parametr lub właściwość mieszanki wapienno-gruntowej	Wartość wskaźników mieszanek przeznaczonych na:		
		Górna warstwa ulepszonego o podłoża	Podbudowa pomocnicza	Wstępne ulepszenie gruntu
1	Zwiększenie granic konsystencji w_L i w_P	$\geq 30,0\%$	$\geq 40,0\%$	$\geq 30,0\%$
2	Odczyn pH po ulepszeniu	≥ 7	≥ 7	≥ 7
3	Wytrzymałość na ściskanie: po 7 dniach po 28 dniach	$\geq 0,3$ MPa $\geq 0,4$ MPa	$\geq 0,5$ MPa $\geq 0,7$ MPa	$\geq 0,2$ MPa -
4	Mrozoodporność liczba cykli	≥ 3	≥ 5	-
5	Wskaźnik nośności	≥ 25	≥ 40	≥ 15
6	Pęcznienie	$\leq 1,0\%$	$\leq 0,5\%$	$\leq 2,0\%$

Obliczenie ilości wapna Q

Wapno palone, $w_n > w_{opt}$

$$Q = \rho_{ds} h (w_n - w_{opt}) \frac{1}{b}$$

ρ_{ds} – maksymalna gęstość szkieletu gruntu,

h - grubość osuszanej warstwy,

b – współczynnik równy 0,5,

w_n – wilgotność naturalna,

w_{opt} – wilgotność optymalna

Obliczenie ilości wody $w_n \ll w_{opt}$

Wapno hydratyzowane

$$W = \rho_{ds} h (w_{opt} - w_n) + \rho_{ds} h a w_{opt}$$

Wapno palone

$$W = \rho_{ds} (w_{opt} - w_n) + \rho_{ds} h a w_{opt} b$$

Inne tradycyjne spoiwa

- Cement
- Aktywne popioły lotne
- Beton popiołowy
- Osuszanie popiołem lotnym
- Stabilizacja żużlem granulowanym

Nowe spoiwa - Lipidur

Spoiwo złożone:

- klinkier portlandzki,
- popioły lotne z węgla kamiennego,
- wapno palone.

Zastosowanie grunty spoiste.

Dodatek od 2 do 10%.

Podwyższenie CBR i E_{v2} .

Nowe spoiwa - Solitex

Spoiwo złożone:

- cement,
- przetworzone aktywne popioły lotne z węgla kamiennego (podstawowy składnik),
- wapno palone.

Zastosowanie - grunty spoiste.

Dodatek od 2 do 10%.

Uzyskiwane wytrzymałości 5 – 22,5 MPa.

Nowe spoiwa – Silment CQ-25 i CQ-15

- Jest sproszkowanym, drobnoziarnistym spoiwem hydraulicznym o własnościach zbliżonych do cementu.
- Otrzymuje się go w wyniku wspólnego przemiału klinkieru cementowego i pucolany przemysłowej typu Q i popiołów fluidalnych.
- Wysoki udział aktywnej krzemionki powoduje, że w zaprawach mineralnych następuje relatywnie szybki przyrost fazy CSH.
- Dodatek spoiwa od 2 do 8%.
- Wodorządność 30% CQ-25, 48% CQ-15.

Consolid system – spoiwo?

- **Uniemożliwienie zwilżalności cząstek gruntu po zastosowaniu technologii CONSOLID**
- chemiczna stabilizacji gruntów: Kombinacją trzech podstawowych komponentów systemu - chemicznych dodatków: **CONSOLID 444, SOLIDRY i CONSERVEX,**
- **CONSOLID 444** płynny roztwór powierzchniowo czynnych polimerów i katalizatorów doprowadza do zmiany potencjału elektrokinetycznego na granicy faz ciekłej i stałej, zmiana potencjału elektrokinetycznego na granicy faz ciekłej i stałej, rozbite warstwy wody błonkowej i dyfuzyjnej, aglomeracja (zlepianie) drobnych frakcji, dzięki czemu wyraźnie obniża się powierzchnia właściwa wystawiona na oddziaływanie wody
- **SOLIDRY** (ewent. **CONSERVEX**) powoduje zmniejszenia kapilar

Korzyści Consolid System

- 3 – 5 krotny wzrost nośności,
- brak podciągania kapilarnego,
- spadek filtracji
- mrozoodporność,
- brak skurczu,
- Parametry zwiększają się w czasie,
- Tylko i wyłącznie grunty spoiste

Dodatki do cementu

- UPD
- Stabidrox
- GeoCrete ST
- GEOSTA
- ROADBOND EN-1

Wnioski

- Występowanie gruntu spoistego w podłożu nie musi się wiązać od razu z jego wymiana.
- Jest dużo nowych spoiw i dodatków do cementów, nie tylko wapno palone.
- Bardziej istotna z punktu widzenia nośności nawierzchni jest grubość stabilizacji a nie jej marka.
- Można z powodzeniem stabilizować (mieszać grunty na głębokość do 50 cm.
- Można budować nasypy z gruntów spoistych lecz należy przewidzieć ich częściowe uzdatnienie.
- W niektórych przypadkach stosowanie spoiw nowej generacji to jedyna możliwość zakończenia robot w terminie.



Koniec

