



G Ł Ó W N Y
I N S T Y T U T
G Ó R N I C T W A

- **Dane teleadresowe:** Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice
telefon: 32 258 16 31 ÷ 9, fax: 32 259 65 33, e-mail: gig@gig.eu, www.gig.eu
- **Rachunek bankowy:** BRE Bank S.A.
nr 05 1140 1078 0000 3018 1200 1001
- **Regon:** 000023461 **NIP:** 6340126016 **KRS:** 0000090660
Główny Instytut Górnictwa jest płatnikiem podatku VAT

EGZEMPLARZ nr. 3 ¹⁾

Jednostka organizacyjna GIG:

ZAKŁAD OCHRONY POWIERZCHNI I OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

DOKUMENTACJA

pracy badawczo-usługowej
(finansowanej przez odbiorców rynkowych)

Zleceniodawca: BETONSTAL Sp. z o.o.
ul. Wiosenna 1, 70-807 Szczecin

Tytuł dokumentacji:

Opinia o możliwości stosowania na terenach górniczych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o średnicach DN1000, DN1200 i DN1500 z polimerobetonowych elementów prefabrykowanych o pogrubionych ściankach

Symbol PKWiU: **74.90.1**

Nr umowy/zlecenia^{*)}: Pm/21/09/10

z dnia: 21.09.2010 r.


Nr komputerowy pracy w GIG:

582 4306 0-132

Data rozpoczęcia pracy: wrzesień 2010 r.

Data zakończenia pracy: październik 2010 r.

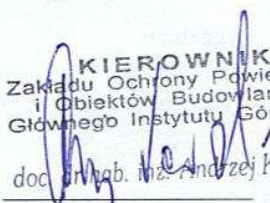
Słowa kluczowe: inżynieria cywilna, budownictwo, teren górniczy, opinia


dr inż. Piotr Kalisz

pieczęć i podpis
kierownika pracy

¹⁾ wypełniać odręcznie po wydrukowaniu

Druk GIG-PS-7.17 - zał. nr 5, wyd. 2, ważne od 02.2009 r.


KIEROWNIK
Zakładu Ochrony Powierzchni
i Obiektów Budowlanych
Głównego Instytutu Górnictwa

dr inż. Andrzej Kowalski

pieczęć i podpis kierownika
jednostki organizacyjnej GIG

Posiadamy certyfikowany
Zintegrowany System Zarządzania
spełniający wymagania norm:
PN-EN ISO 9001:2009 PN-N-18001:2004
PN-EN ISO 14001:2005



Główny Instytut
Górnictwa
jest jednostką
Notyfikowaną
nr 1453



Zintegrowany Instytut Naukowo-Technologiczny
Paliwa-Bezpieczeństwo-Srodowisko

Zespół realizujący badania:

stopień - imię i nazwisko

1. dr inż. Piotr KALISZ

Kalisz

Abstrakt (minimum 500 znaków-maksimum 1000 znaków):

W pracy dokonano oceny możliwości stosowania na terenach górniczych polimerobetonowych studzienek kanalizacyjnych i zbiorników BETONSTAL DN1000, DN1200 i DN1500 o pogrubionych ściankach. Przeprowadzono analizę zmian obciążeń na studzienki i zbiorniki, wynikających z oddziaływania podziemnej eksploatacji górniczej. Na podstawie tej analizy określono warunki stosowania przedmiotowych obiektów na terenach górniczych I, II, III i IV kategorii.

Opinię wykonano według metodyki opracowanej przez autorów pracy.

Stopień ochrony dokumentacji:*)

Ogólnodostępna	Do wykorzystania za zgodą kierownika jednostki org. GIG wiodącej w pracy	Do wykorzystania za zgodą Naczelnego Dyrektora GIG lub Zastępcę Naczelnego Dyrektora ds. Badań i Wdrożeń	Do wykorzystania za zgodą zleceniodawcy
----------------	--	--	---

Dokumentacja składa się z (wymienić elementy: publikacje, zeszyty, płyty CD itp. w sposób trwały zawarte we wspólnym opakowaniu) :

1. -
2. -

Dokumentację otrzymali:

1. Archiwum jednostki organizacyjnej GIG, egz. nr 1 - kategoria archiwalna "A"
2. Zleceniodawca, egz. nr 2

Egzemplarz dokumentacji jest przechowywany w archiwum jednostki organizacyjnej GIG:
(wypełnia archiwum jednostki organizacyjnej GIG)

Nr inwentarzowy:

Sygnatura:

*) niepotrzebne skreślić

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	4
2. Charakterystyka techniczna polimerobetonowych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o pogrubionych ściankach	6
3. Charakterystyka deformacji powierzchni na terenach górniczych	11
4. Oddziaływanie eksploatacji górniczej na zbiorniki i studzienki kanalizacyjne	12
5. Ocena możliwości i określenie warunków stosowania na terenach górniczych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o pogrubionych ściankach	16
6. Wnioski	21

1. Wprowadzenie

Opinię wykonano na zlecenie BETONSTAL Sp. z o.o. z dnia 21.09.2010 roku o numerze Pm/21/09/10. Celem opinii jest ocena możliwości stosowania na terenach górniczych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL, budowanych z prefabrykowanych elementów polimerobetonowych o średnicach DN1000, DN1200 i DN1500 o pogrubionych ściankach. Oceny tej dokonano na podstawie analizy statyczno-wytrzymałościowej z uwzględnieniem oddziaływania deformacji podłoża, wywoływanych eksploatacją górnictwem, z wykorzystaniem wcześniej wykonanych prac w Głównym Instytucie Górnictwa, dotyczących stosowania zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL na terenach górniczych.

W opinii wykorzystano następujące materiały:

- Aprobata Techniczna Instytutu Techniki Budowlanej Nr AT-15-8036/2009. Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne BETONSTAL z prefabrykowanych elementów z polimerobetonu. Warszawa, 19 czerwca 2009.
- Protokoły: nr 17/2009-K, nr 19/2009-G, nr 20/2009-G. Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu prostopadłościennych próbek klejonych. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Katedra Konstrukcji Żelbetowych i Technologii Betonu – Laboratorium.
- Protokoły: 15/2009-B, 17/2009-J, 18/2009-C, 19/2009-E, 19/2009-C, 19/2009-F, 20/2009-F, 20/2009-C, 01/2010-A. Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu prostopadłościennych próbek polimerobetonowych. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Katedra Konstrukcji Żelbetowych i Technologii Betonu.
- Badania odkształcalności polimerobetonu oraz analiza statyczna studni osadzonych na głębokości 10 m. ESPEBEPE BETONSTAL Sp. z o.o. Politechnika Szczecińska Instytut Inżynierii Lądowej Zakład Teorii Konstrukcji. Szczecin, wrzesień 1999.
- Badania modułu sprężystości i wytrzymałości przy zginaniu oraz określenie parametrów sztywności rur kanalizacyjnych wykonanych z polimerobetonu. ESPEBEPE BETONSTAL Sp. z o.o. Politechnika Szczecińska Instytut Inżynierii Lądowej Zakład Teorii Konstrukcji. Szczecin, lipiec 2000.
- Ocena przydatności studzienek kanalizacyjnych wykonanych z polimerobetonu do zastosowania w budownictwie komunikacyjnym. Instytut Badawczy Dróg i Mostów – Filia Wrocław, Ośrodek Badań Mostów, Betonów i Kruszyw, Pracownia Betonów i Kruszyw. Żmigród – Węglewo, sierpień 2001 r.
- Ekspertyza techniczna polimerobetonowych studzienek przepompowni ścieków PZ-1 i PZ-2 wykonanych w Rybniku-Zamysławie z prefabrykatów ESPEBEPE-BETONSTAL. Instytut Techniki Budowlanej.
- Badanie możliwości stosowania na terenach górniczych polimerobetonowych obudów pompowni ścieków produkcji ESPEBEPE BETONSTAL Sp. z o.o. o średnicach DN1000 mm, DN1200 mm, DN1500 mm i DN1600 mm. Dokumentacja Głównego Instytutu Górnictwa nr 42134182-132. Katowice, wrzesień 2002.

- Badanie możliwości stosowania na terenach górniczych polimerobetonowych obudów pompowni ścieków produkcji ESPEBEPE BETONSTAL Sp.z o.o. o średnicy DN2000 mm. Dokumentacja Głównego Instytutu Górnictwa nr 4214902-132. Katowice, grudzień 2002.
- Opinia o możliwości stosowania na terenach górniczych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o średnicach od DN800 do DN2000 z prefabrykowanych elementów z polimerobetonu. Dokumentacja Głównego Instytutu Górnictwa nr 58211090-132. Katowice, kwiecień 2010.
- PN-EN 14636-2. Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do bezciśnieniowej kanalizacji deszczowej i sanitarnej - Polimerobeton (PRC) - Część 2: Studzienki inspekcyjne i wjazdowe.
- *Kwiatek i inni*: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 1997.
- *Kwiatek J.*: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2007.
- *Kuliczkowski A.*: Projektowanie konstrukcji przewodów kanalizacyjnych. Politechnika Świętokrzyska. Kielce 2003.
- *Madryas C., Kolonko A., Wysocki L.*: Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych. Politechnika Wroclawska. Wroclaw 2002.
- Instrukcja nr 364/2000. Wymagania techniczne dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach górniczych. ITB. Warszawa 2007.
- Instrukcja nr 12. Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych. GIG. Katowice 2000.

2. **Charakterystyka techniczna polimerobetonowych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o pogrubionych ściankach**

Przedmiotem niniejszej opinii są zbiorniki i studzienki kanalizacyjne BETONSTAL budowane z prefabrykowanych elementów o pogrubionych ściankach, wykonanych z polimerobetonu. Obiekty te budowane są z podstawy, komory roboczej, płyty redukcyjnej w przypadku redukcji średnicy komory roboczej do średnicy komina włączowego, płyty pokrywowej lub zwężki redukcyjnej i zwieńczenia.

Podstawy zbiorników i studzienek kanalizacyjnych DN1000, DN1200 i DN1500 o pogrubionych ściankach stanowią płyty denne o symbolu PD. Płyta denna łączona jest z komorą studzienki przez klejenie. Grubość płyt dennych w przypadku średnic DN1000, DN1200 i DN1500 może wynosić 50 mm, 100 mm, 120 mm lub 150 mm. Płyty te łączone są z komorami roboczymi studzienek przez klejenie.

Komory robocze zbiorników i studzienek kanalizacyjnych o symbolu RS wykonywane są z rur studziennych o maksymalnej wysokości 3,0 m. Rury te są w zależności od wysokości komory roboczej docinane lub sklejane czołowo klejem epoksydowym. Rozpatrywane w niniejszej opinii grubości ścianek komór roboczych z rur studziennych, zwiększone w stosunku do grubości standardowych, wynoszą:

- 40 mm dla DN1000,
- 50 mm dla DN1200,
- 60 mm dla DN1500.

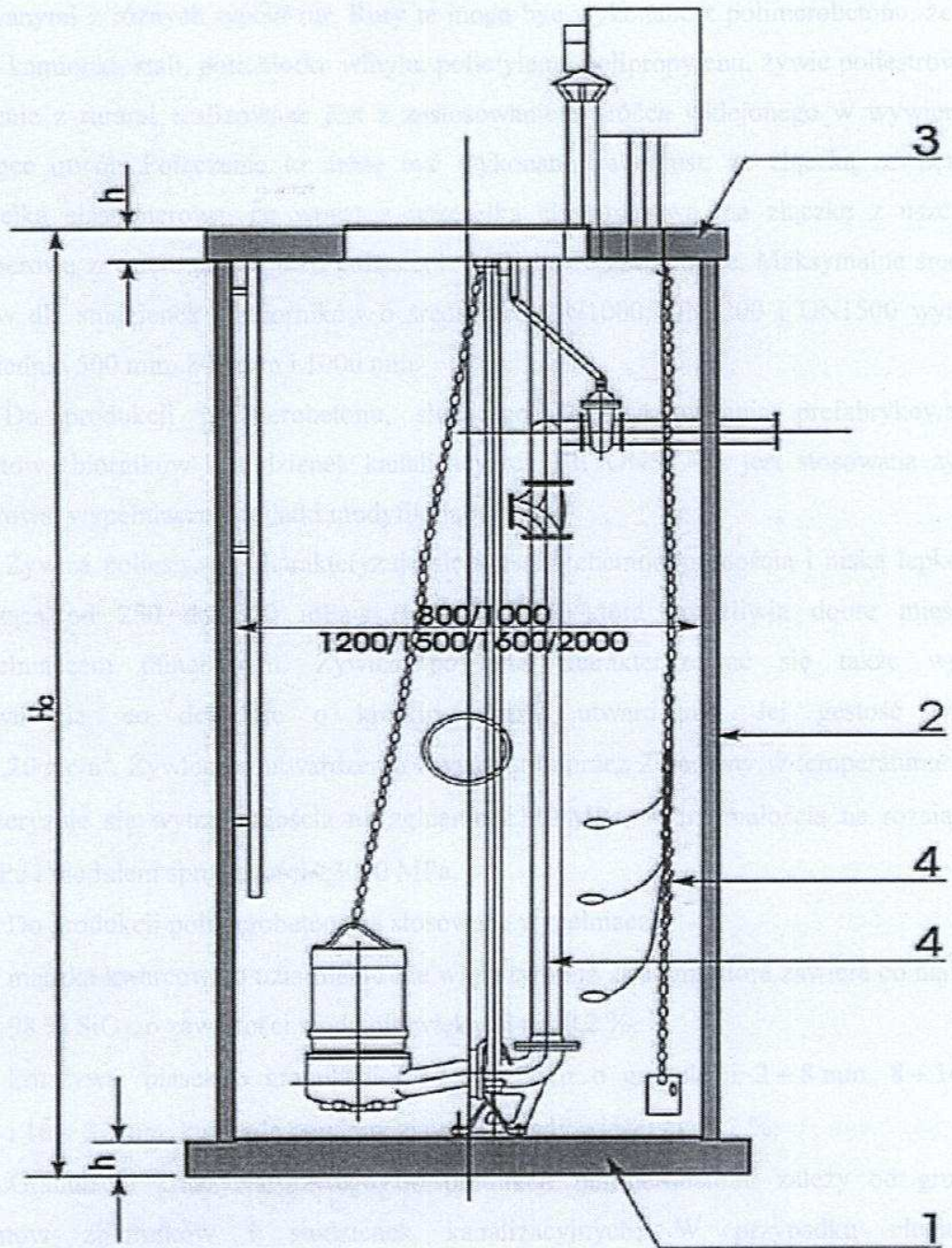
Płyty redukcyjne o symbolu PR służą do zmniejszenia średnicy komory roboczej zbiornika lub studzienki do średnicy komina włączowego. Produkowane są dla komór roboczych o średnicach DN1200 i DN1500 (redukcja do DN1000). Grubość polimerowych płyt redukcyjnych wynosi 200 mm.

Płyty pokrywowe ciężkie o symbolu PC i lekkie o symbolu PL służą do redukcji średnicy komory roboczej lub komina do średnicy otworu włączowego. Produkowane są dla wszystkich rozpatrywanych średnic DN1000, DN1200 i DN1500. Grubość płyt polimerowych typu ciężkiego wynosi 200 mm, a typu lekkiego 100 mm.

Płyty pokrywowe i redukcyjne typu ciężkiego są łączone z komorą zbiornika lub studzienki z zastosowaniem uszczelek elastomerowych, a płyty pokrywowe typu lekkiego są łączone z komorą studzienki przez sklejenie klejem epoksydowym.

Zwężki redukcyjne ciężkie o symbolu KC i lekkie o symbolu KL są stosowane do redukcji komór roboczych o średnicy DN1000 do średnicy włazu. Łączone są z komorą

roboczą z zastosowaniem uszczelek elastomerowych. Przykładową studzienkę przedstawiono na rysunku 2.1.



Rys. 2.1. Przykładowa studzienka kanalizacyjna BETONSTAL jako obudowa pompowni: 1 – płyta denna PD, 2 – komora robocza z rury studziennej RS o zwiększonej grubości do: 40 mm (DN1000), 50 mm (DN1200) i 60 mm (1500), 3 – płyta pokrywowa, 4 – wyposażenie przepompowni

Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne dostarczane są do odbiorców w postaci monolitycznej, sklejonej w zakładzie produkcyjnym lub w częściach ułatwiających transport, przygotowanych do sklejenia na budowie według instrukcji Producenta.

Podstawy zbiorników i studzienek łączone są z przewodami kanalizacyjnymi zbudowanymi z różnych typów rur. Rury te mogą być wykonane z polimerobetonu, żeliwa, betonu, kamionki, stali, polichlorku winylu, polietylenu, polipropylenu, żywicy poliestrowych. Połączenie z rurami realizowane jest z zastosowaniem króćca wklejonego w wywiercony w ścianie otwór. Połączenie to może być wykonane na wpust, ze złączką zewnętrzną, z uszczelką elastomerową, na wpust z uszczelką elastomerową, na złączkę z uszczelką elastomerową zewnętrzną lub jako połączenie kielichowe zewnętrzne. Maksymalne średnice króćców dla studzienek i zbiorników o średnicach DN1000, DN1200 i DN1500 wynoszą odpowiednio 500 mm, 800 mm i 1000 mm.

Do produkcji polimerobetonu, służącego do wykonywania prefabrykowanych elementów zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL, jest stosowana żywica poliestrowa, wypełniacze i dodatki modyfikujące.

Żywica poliestrowa charakteryzuje się wysoką chemoodpornością i niską lepkością, wynoszącą od 250 do 350 mPa·s (temp. 23°C), która umożliwia dobre mieszanie z wypełniaczem mineralnym. Żywica powinna charakteryzować się także wysoką reaktywnością, co decyduje o krótkim czasie utwardzania. Jej gęstość wynosi $1,05 \div 1,20 \text{ g/cm}^3$. Żywica po utwardzeniu i wygrzaniu przez 2 godziny w temperaturze 80°C charakteryzuje się wytrzymałością na zginanie $\geq 110 \text{ MPa}$, wytrzymałością na rozciąganie $\geq 55 \text{ MPa}$ i modułem sprężystości $\geq 3000 \text{ MPa}$.

Do produkcji polimerobetonu są stosowane wypełniacze:

- mączka kwarcowa o uziarnieniu nie większym niż 200 μm , która zawiera co najmniej 98 % SiO_2 , o zawartości wody nie większej niż 0,2 %,
- kruszywa: piasek o granulacji $0 \div 2 \text{ mm}$, żwir o granulacji $2 \div 8 \text{ mm}$, $8 \div 16 \text{ mm}$ i $16 \div 32 \text{ mm}$, które nie powinny zawierać wody więcej niż 0,2 %.

Granulacja kruszywa użytego do produkcji polimerobetonu zależy od grubości elementów zbiorników i studzienek kanalizacyjnych. W przypadku elementów prefabrykowanych o pogrubionych ściankach stosowane są dwie receptury RS1000 (DN1000 i DN1200) i RS1500 (DN1500). Granulacja stosowanego w tych recepturach żwiru wynosi odpowiednio $2 \div 8 \text{ mm}$ i $8 \div 16 \text{ mm}$.

Polimerobeton, z którego wykonywane są elementy zbiorników i studzienek kanalizacyjnych, charakteryzuje się gęstością objętościową $2,2 \div 2,4 \text{ kg/dm}^3$. Zawartość żywicy poliestrowej wynosi 10–12 %, a kruszywa 90–88 %. Określone w Aprobacie Technicznej ITB Nr AT-15-8036/2009 wymagania dotyczące właściwości wytrzymałościowych przewidują, że polimerobeton powinien charakteryzować się następującymi parametrami:

- wytrzymałość na ściskanie $\geq 80 \text{ MPa}$,
- wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu $\geq 12 \text{ MPa}$.

Wytrzymałość charakterystyczna na zginanie nie powinna być w przypadku receptury RS1500 mniejsza niż 16 MPa (rury studzienne DN1500), a w przypadku receptury RS1000 (rury studzienne DN1000 i DN1200) nie powinna być mniejsza niż 20 MPa. Wartości te określone zostały przez Producenta na podstawie dużej liczby badań wytrzymałościowych jako wartości charakterystyczne wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, z prawdopodobieństwem 0,95. Według opracowań przedstawionych przez Producenta, do obliczeń statycznych przyjmuje się częściowy współczynnik bezpieczeństwa $\gamma_f = 1,8$, analogicznie do wartości przyjmowanych dla betonu według normy PN-B-03264:2002.

Klejenie polimerowych elementów prefabrykowanych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych realizowane jest z zastosowaniem kleju na bazie żywicy epoksydowej z dodatkiem wypełniacza i utwardzacza. Klej ten powinien charakteryzować się wytrzymałością na ściskanie $\geq 75 \text{ MPa}$, wytrzymałością na rozciąganie $\geq 10 \text{ MPa}$, wytrzymałością na zginanie $\geq 40 \text{ MPa}$. Przyczepność kleju do polimerobetonu nie powinna być mniejsza niż wytrzymałość polimerobetonu na rozciąganie przy zginaniu. Potwierdzają to wyniki badań na zginanie, wykonane na próbkach łączonych klejem EPIDIAN 450 w Laboratorium Katedry Konstrukcji Żelbetowych i Technologii Betonu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne BETONSTAL z prefabrykowanych elementów polimerobetonowych przeznaczone są do budowy podziemnych sieci kanalizacyjnych pracujących bez ciśnienia wewnętrznego, o przepływie grawitacyjnym. Mogą być stosowane w kanalizacji sanitarnej, deszczowej, przemysłowej i ogólnospławnej. Obiekty te mogą być również stosowane jako zagłębione w gruncie zbiorniki przepływowe i nieprzepływowe oraz jako zbiorniki do sytuowania zestawów pomp, wodomierzy, armatury. Rozpatrywane zbiorniki i studzienki kanalizacyjne włączowe o średnicach DN1000, DN1200 i DN1500 przeznaczone są do prowadzenia prac eksploatacyjnych i pomiarowych.

Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne BETONSTAL z polimerobetonu mogą być stosowane na terenach obciążonych ruchem pieszym i kołowym, na terenach parkingowych i na poboczach z wyłączeniem pasa terenu zajętego przez torowiska kolejowe o szerokości 5 m od toru. Ich zwieńczenie powinno być dostosowane do występującego obciążenia. Głębokość posadowienia przedmiotowych zbiorników i studzienek poza terenami górniczymi nie powinna być większe niż 10 m.

Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne BETONSTAL powinny być wykonywane zgodnie z projektem technicznym, uwzględniającym odpowiednie wymagania związane z przepisami budowlanymi i wymaganiami Aprobat Technicznych oraz warunki gruntowo-wodne w miejscu zabudowy. Obiekty te powinny być posadawiane w odpowiednio przygotowanym i odwodnionym wykopie, w zależności od właściwości podłoża bezpośrednio na gruncie rodzimym, na podsypce cementowo-gruntowej, na fundamencie betonowym lub żelbetowym.

Klasa Tętna	Wymagane właściwości mechaniczne		
	Wzrost [MPa]	Prężność [MPa]	Moduł [MPa]
0	7,5	10	10000
I	10	15	15000
II	15	20	20000
III	20	25	25000
IV	25	30	30000
V	30	35	35000

Przedstawione w tabeli 3.1 wartości wskaźników defornacji odnoszą się do standardowych warunków, których nie należy przekraczać. Wskazniki te powinny rozprzestrzeniać w sposób równomierny na terenach budowlanych. Ekstremalne wartości wskaźników defornacji, jakie mogą wystąpić na terenie budowlanym, nie powinny przekroczyć wartości podanych w tabeli 3.1, co zostało wskazane w tabeli 3.1. Odchylenia standardowe wartości podanych wskaźników defornacji nie powinny przekroczyć wartości podanych w tabeli 3.1. Wskazniki defornacji mogą być wykorzystywane do oceny jakości podłoża, przy czym należy pamiętać, że wartości te nie są wskaźnikami jakości podłoża, a jedynie wskaźnikami defornacji.

3. Charakterystyka deformacji powierzchni na terenach górniczych

Podziemna eksploatacja górnicza powoduje ruchy górotworu na skutek wypełniania skałami nadległymi pustej przestrzeni, powstałej po wybraniu złoża. Deformacje powierzchni wywoływane wpływami podziemnej eksploatacji górnicznej charakteryzowane są obniżeniami i przemieszczeniami poziomymi oraz zmianami nachylenia terenu, krzywiznami wklęsłymi i wypukłymi o promieniu i odkształceniami poziomymi przypowierzchniowej warstwy górotworu, którą jest zazwyczaj warstwa gruntu. Odkształcenia poziome powodują rozluźnianie i zagęszczanie gruntu. Tereny górnicze o deformacjach ciągłych w zależności od ekstremalnych wartości wskaźników deformacji powierzchni, takich jak zmiany nachylenia T , promienie krzywizn R i odkształcenia poziome warstwy gruntu ϵ , podzielono na sześć kategorii. Wartości wskaźników deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu, odpowiadające poszczególnym kategoriom przedstawiono w tabelicy 3.1.

Tablica 3.1

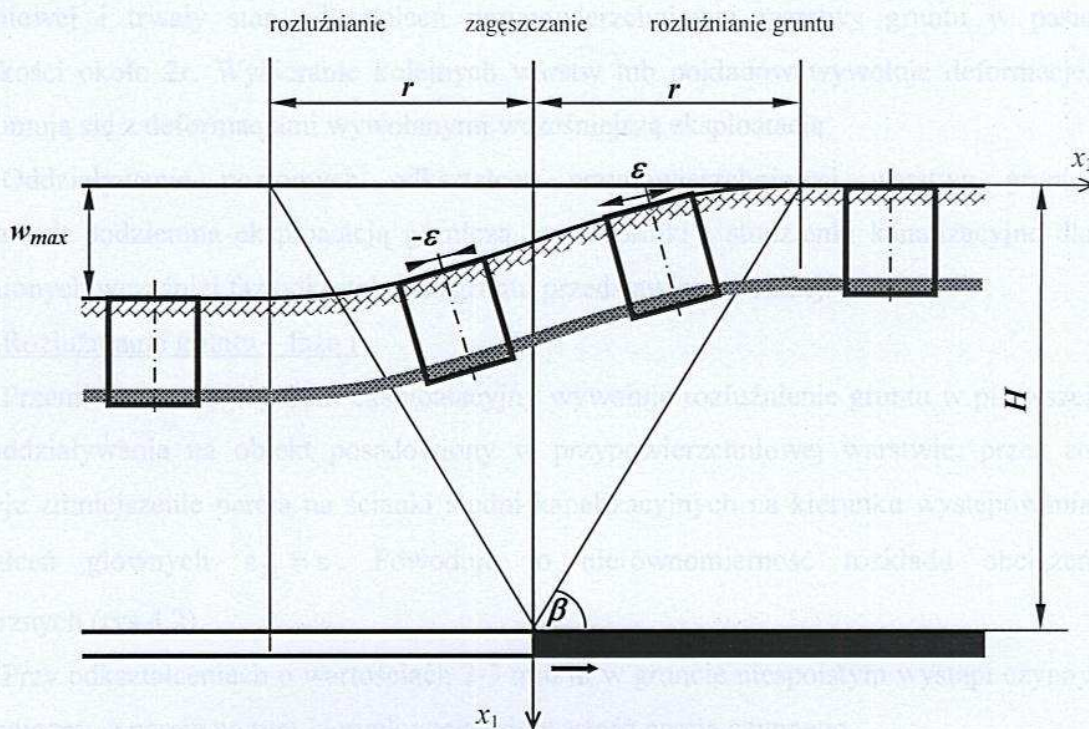
Kategoria Terenu górniczego	Kategorie terenów górniczych		
	Wartości wskaźników deformacji		
	Nachylenie mm/m	Promień krzywizny km	Odształcenie poziome mm/m
0	$T \leq 0,5$	$40 \leq R $	$ \epsilon \leq 0,3$
I	$0,5 < T \leq 2,5$	$20 \leq R < 40$	$0,3 < \epsilon \leq 1,5$
II	$2,5 < T \leq 5$	$12 \leq R < 20$	$1,5 < \epsilon \leq 3$
III	$5 < T \leq 10$	$6 \leq R < 12$	$3 < \epsilon \leq 6$
IV	$10 < T \leq 15$	$4 \leq R < 6$	$6 < \epsilon \leq 9$
V	$T > 15$	$ R < 4$	$ \epsilon > 9$

Przedstawione w tabelicy 3.1 wartości wskaźników deformacji odnoszą się do standardowych baz pomiarowych, których długości wynoszą 25 m. Wskaźniki te cechuje rozproszenie losowe, co wynika z pomiarów geodezyjnych, prowadzonych na terenach górniczych. Ekstremalne wartości wskaźników deformacji, jakie mogą wystąpić na terenie górniczym określonej kategorii, mogą być większe od wartości przedstawionych w tabelicy 3.1, co zostało wykazane między innymi w pracach AGH i GIG. Odchylenie standardowe wartości poziomych odkształceń rozciągających, powodujących rozluźnienie gruntu, od wartości przeciętnej dla standardowej długości bazy pomiarowej wynosi około $\pm 0,20\epsilon$, a poziomych odkształceń ściskających powodujących zagęszczenie gruntu około $\pm 0,30\epsilon$. Wartości wskaźników deformacji mogą być wywołane eksploatacją jednego lub wielu pokładów. Przy wielokrotnej eksploatacji następuje ich sumowanie.

4. Oddziaływanie eksploatacji górniczej na zbiorniki i studzienki kanalizacyjne

Z uwagi na rozpatrywane zagadnienie wpływu eksploatacji górniczej na zbiorniki i studzienki kanalizacyjne, istotne znacznie mają głównie poziome odkształcenia przypowierzchniowej warstwy gruntu, wywołujące zmiany ich obciążenia zewnętrznego. Ponadto rurociągi, zbiorniki i studzienki kanalizacyjne są poddawane zmianom nachylenia, które na terenach górniczych IV kategorii o wpływach ciągłych mogą dochodzić do około 15 mm/m, przy czym odchylenie standardowe tego wskaźnika wynosi $\pm 0,13T$.

Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne produkowane z prefabrykowanych elementów polimerobetonowych należą do obiektów o małej odkształcalności, to jest takiej, która nie wpływa istotnie na rozkład ich obciążeń. Obiekty te na skutek zmian parcia gruntu, wywoływanego deformacjami przypowierzchniowej warstwy górotworu, są poddawane znacznym, dodatkowym obciążeniom poziomym. Na rysunku 4.1 przedstawiono w uproszczeniu pionowy przekrój górotworu, w którym prowadzona jest eksploatacja górnicza w kierunku zaznaczonym strzałką, a na powierzchni znajduje się odcinek kanału wraz ze studzienkami kanalizacyjnymi, na które oddziałują deformacje przypowierzchniowej warstwy gruntu.



Rys. 4.1. Profil niecki obniżeniowej wywołanej podziemną eksploatacją górniczą i jej oddziaływanie na zagłębione w gruncie studzienki kanalizacyjne.

Oddziaływanie przemieszczającego się frontu eksploatacyjnego na przypowierzchniową warstwę gruntu, a tym samym na obiekty w niej zagłębione, można podzielić na trzy fazy, w których następuje zarówno zmiana wartości, jak i znaku poziomych odkształceń tej warstwy. Front eksploatacyjny zbliżając się na odległość r promienia zasięgu wpływów głównych do zbiornika lub studzienki kanalizacyjnej, powoduje rozluźnianie gruntu wokół jej ścian. Promień zasięgu wpływów głównych jest zależny od warunków geologiczno-górnicznych i dla eksploatacji prowadzonej na głębokości rzędu 1000 m może wynosić około 500 m.

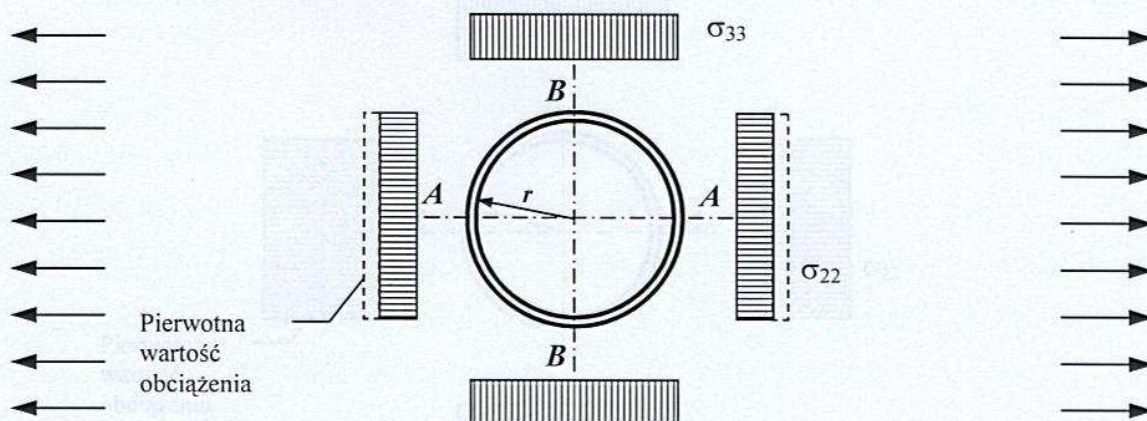
Odkształcenia gruntu w fazie rozluźniania rosną od zera do wartości maksymalnej ϵ_{\max} , występującej w odległości około $0,4r$ przed tym frontem. Dalsze przemieszczanie frontu eksploatacyjnego powoduje zagęszczanie gruntu od maksymalnej wartości odkształceń ϵ_{\max} do minimalnej wartości ϵ_{\min} , występującej w odległości około $0,4r$ za frontem. Zmienia się przy tym znak wartości odkształceń z dodatniego na ujemny. Dalszy postęp eksploatacji powoduje kolejne rozluźnianie gruntu, a wartość odkształceń zwiększa się od wartości minimalnej do początkowej wartości $\epsilon \approx 0$, dla której w gruncie występuje jednak czynny stan graniczny. W odległości promienia zasięgu wpływów głównych od stałych, nieprzemieszczających się krawędzi wybranego złoża, powstają statyczne zbocza niecki obniżeniowej i trwały stan odkształceń przypowierzchniowej warstwy gruntu w pasie o szerokości około $2r$. Wybieranie kolejnych warstw lub pokładów wywołuje deformacje, które sumują się z deformacjami wywołanymi wcześniejszą eksploatacją.

Oddziaływanie poziomych odkształceń przypowierzchniowej warstwy gruntu, wywołanych podziemną eksploatacją górniczą, na zbiorniki i studzienki kanalizacyjne dla wyróżnionych wcześniej faz odkształcania gruntu przedstawiono poniżej.

Rozluźnianie gruntu – faza I

Przemieszczający się front eksploatacyjny wywołuje rozluźnienie gruntu w pierwszej fazie oddziaływania na obiekt posadowiony w przypowierzchniowej warstwie, przez co następuje zmniejszenie parcia na ścianki studni kanalizacyjnych na kierunku występowania odkształceń głównych $\epsilon_{22} = \epsilon$. Powoduje to nierównomierność rozkładu obciążeń zewnętrznych (rys.4.2).

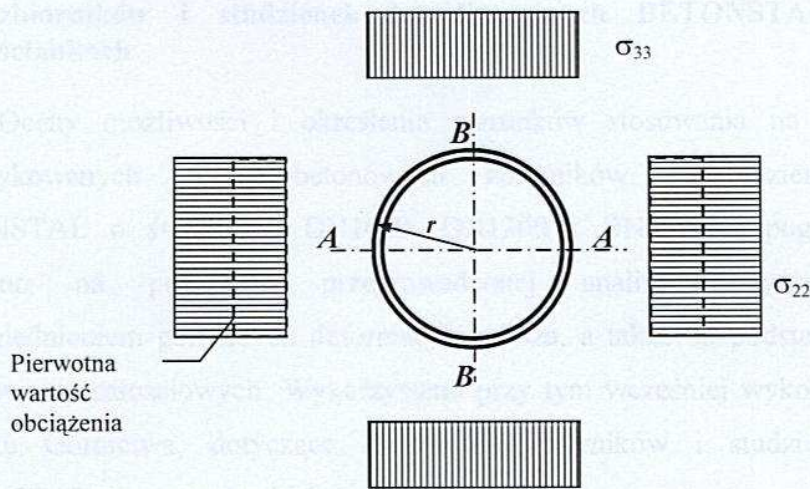
Przy odkształceniach o wartościach 2-3 mm/m w gruncie niespoistym wystąpi czynny stan graniczny, a parcie na tym kierunku osiągnie wartość parcia czynnego.



Rys. 4.2. Rozkład obciążenia zewnętrznego studni kanalizacyjnej po rozluźnieniu warstwy gruntu

Zagęszczanie gruntu – faza II

Zagęszczanie przypowierzchniowej warstwy gruntu powoduje zmianę odkształceń od wartości maksymalnej (dodatniej), odpowiadającej skrajnemu rozluźnieniu, do wartości minimalnej (ujemnej), odpowiadającej skrajnemu zagęszczeniu gruntu. W przypadku studni o małej odkształcalności dochodzi do koncentracji odkształceń ośrodka gruntowego w ich pobliżu, co może doprowadzić nawet do wystąpienia biernego stanu granicznego w strefie przylegającej do ich ścianek. Zagęszczanie powoduje znaczne zwiększenie parcia gruntu i jego nierównomierności, wskutek czego na ściany studni kanalizacyjnych i ich podstaw działają dodatkowe momenty zginające i siły osiowe, wywołujące w nich dodatkowe naprężenia. Największe parcie gruntu występuje na kierunku głównym odkształceń $\epsilon_{22} = \epsilon$, tj. prostopadłym do krawędzi eksploatacji. Na kierunku równoległym do krawędzi eksploatacji również następuje zwiększenie parcia σ_{33} gruntu, jednak jest ono znacznie mniejsze. Na rysunku 4.3 przedstawiono stan obciążenia zbiornika lub studzienki kanalizacyjnej o przekroju kołowym przy zagęszczaniu przypowierzchniowej warstwy gruntu.



Rys. 4.3. Poziome obciążenia studzienki wywołane zagęszczeniem gruntu

Rozluźnianie gruntu po uprzednim zagęszczeniu – faza III

W fazie III następuje ponowne rozluźnianie przypowierzchniowej warstwy gruntu do stanu pierwotnego, bezodkształceniowego. Zmniejsza się wtedy parcie gruntu na ściany studzienek na kierunku występowania odkształceń do wartości parcia czynnego oraz nierównomierność ich obciążeń zewnętrznych, jaka została wywołana zagęszczeniem gruntu.

5. Ocena możliwości i określenie warunków stosowania na terenach górniczych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o pogrubionych ściankach

Oceny możliwości i określenia warunków stosowania na terenach górniczych prefabrykowanych polimerobetonowych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o średnicach DN1000, DN1200 i DN1500 z pogrubionymi ściankami dokonano na podstawie przeprowadzonej analizy statyczno-wytrzymałościowej z uwzględnieniem górniczych deformacji podłoża, a także na podstawie analizy wyników badań wytrzymałościowych. Wykorzystano przy tym wcześniej wykonane prace Głównego Instytutu Górniczego, dotyczące stosowania zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL na terenach górniczych.

Obliczenia statyczne z uwagi na dodatkowe obciążenia obiektów podziemnych na terenach górniczych, wywoływane przez poziome odkształcenia przypowierzchniowej warstwy gruntu, przeprowadzono dla założonych, przykładowych warunków posadowienia. Do obliczeń tych przyjęto najbardziej niekorzystny układ obciążeń przekroju poziomego zbiorników i studzienek o przekroju kołowym, które dla tego rodzaju obiektów budowlanych na terenach górniczych od I do IV kategorii występują w przypadku zagęszczania gruntu. Największy przyrost obciążeń następuje na kierunku odkształceń głównych $\varepsilon_{22} = \varepsilon$ przypowierzchniowej warstwy gruntu, to jest na kierunku prostopadłym do krawędzi eksploatacji. Wartość tych obciążeń można określić zależnością ogólną

$$\sigma_{22} = \xi \sigma_{11} \quad (5.1)$$

gdzie:

σ_{11} – obciążenie pionowe na rozpatrywanej głębokości,

ξ – współczynnik rozporu bocznego gruntu.

Na terenach górniczych wskutek odkształcania gruntu wartość współczynnika rozporu bocznego $K = \xi$ ulega znacznym zmianom. Wartość tego współczynnika w przypadku zagęszczania gruntu niespoistego po jego uprzednim rozluźnianiu można określić z zależności 5.2-5.4 (w oparciu o *Błaszczak M.: Wpływ zagęszczania wywołanego eksploatacją górniczą na zmiany właściwości mechanicznych gruntów sypkich. Praca doktorska. GIG. Katowice 1987*):

- dla $\varepsilon_0 \leq 8 \text{ mm/m}$

$$\xi = \xi_r + 0,075(\xi_z - \xi_r)\varepsilon_0 \quad (5.2)$$

- dla $\varepsilon_0 > 8 \text{ mm/m}$ i $\varepsilon_0 \geq 15 \text{ mm/m}$

$$\xi = \xi_r + (\xi_z - \xi_r)[0,600 + 0,036(\varepsilon_0 - 8)] \quad (5.3)$$

- dla $\varepsilon_0 > 15 \text{ mm/m}$

$$\xi = \xi_r + (\xi_z - \xi_r)[0,85 + 0,01(\varepsilon_0 - 15)] \quad (5.4)$$

gdzie:

- ξ_0, ξ_z, ξ_r – współczynniki rozporu bocznego gruntu odpowiednio w spoczynku, biernym i czynnym stanie granicznym,
- ε_0 – odkształcenia obliczeniowe warstwy gruntu, $\varepsilon_0 = 2\varepsilon$ (z tabl. 3.1)

W przypadku zagęszczania gruntu bez jego uprzedniego rozluźnienia współczynnik rozporu bocznego ξ gruntów niespoistych dla odkształceń mniejszych od krytycznych, od których występuje bierny stan graniczny, z uwzględnieniem koncentracji odkształceń wokół obiektów sztywnych, opisuje zależność (na podstawie *Kwiatek J.: Obiekty budowlane na terenach górniczych. GIG. Katowice 2007*)

$$\xi = \xi_z - (\xi_z - \xi_0) \left(1 - \frac{k_0 \varepsilon}{\varepsilon_{kr}^z}\right)^m \quad (5.5)$$

gdzie:

- ε – odkształcenie gruntu wywołane eksploatacją górnictw (tabl. 3.1),
- ε_{kr}^z – odkształcenie krytyczne przy zagęszczaniu gruntu, dla gruntów niespoistych średnio $\varepsilon_{kr}^z = 31 \text{ mm/m}$,
- k_0 – współczynnik koncentracji odkształceń, dla obiektów o małej odkształcalności przyjmuje wartość $k_0 = 1,5$,
- m – współczynnik doświadczalny, dla gruntu niespoistego średnio $m = 3,1$.

Obciążenie studzienek na kierunku prostopadłym do kierunku występowania odkształceń głównych $\varepsilon_{22} = \varepsilon$ również ulega zwiększeniu, jednak przyrost $\Delta\sigma_{33}$ tych obciążeń jest mniejszy.

Oddziaływanie poziomych odkształceń warstwy gruntu powoduje zatem nierównomierny przyrost obciążeń zbiorników i studzienek kanalizacyjnych, przez co zwiększa się różnica $\Delta\sigma$ ich obciążeń na rozpatrywanych poziomych kierunkach x_2 i x_3 (rys. 4.2-4.3). Powoduje to wystąpienie momentów zginających i dodatkowych osiowych sił ściskających, działających na ściany zbiorników i studzienek. Momenty zginające wywołują rozciąganie w skrajnych włóknach ścian o ekstremalnych wartościach w punktach *A* i *B* ich przekroju

Dokonana analiza warunków posadowienia na terenach górniczych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o pogrubionych ściankach opiera się na porównaniu wartości momentów zginających, wywoływanych przez dodatkowe nierównomierne obciążenia zewnętrzne na ścianki komór roboczych, z wartościami dopuszczalnymi. Obciążenia elementów prefabrykowanych zależą od ciężaru objętościowego

gruntu i głębokości ich posadowienia oraz obciążenia naziomu. Na terenach górniczych zależą jednak głównie od wartości poziomych odkształceń gruntu wokół studzienek i zbiorników, powodujących nierównomierność poziomych obciążeń tych obiektów. Wartości momentów zginających oraz sił osiowych można obliczyć na podstawie:

$$\left. \begin{aligned} N_A &= \sigma_{33}r \\ M_B &= -M_A = 0,25\Delta\sigma r^2 \\ N_B &= \sigma_{22}r \end{aligned} \right\} \quad (5.6)$$

gdzie:

- r – promień komory roboczej,
- σ_{33} – parcie gruntu na kierunku prostopadłym do kierunku występowania odkształceń głównych ϵ ,
- $\Delta\sigma$ – różnica między parciem gruntu na kierunku występowania odkształceń ϵ a parciem na kierunku prostopadłym, $\Delta\sigma = \sigma_{22} - \sigma_{33}$,
- σ_{22} – parcie gruntu działające na kierunku występowania odkształceń ϵ .

Maksymalna wartość momentu zginającego M_A , działającego na ścianki elementów studzienek kanalizacyjnych, powinna być mniejsza od wartości dopuszczalnej M_d

$$M_A \leq M_d \quad (5.7)$$

Dopuszczalny moment zginający dla przekrojów rur studziennych określony został z uwzględnieniem charakterystycznej wartości wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu i częściowego współczynnika bezpieczeństwa $\gamma_f = 1,8$. Wartość charakterystyczna $f_{ctk} = 20$ MPa odpowiada wytrzymałości przyjętej w obliczeniach sprawdzających dla receptury RS1000, stosowanej do produkcji polimerobetonowych elementów zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o średnicach nominalnych 1000 mm i 1200 mm. Charakterystyczna wartość wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu dla receptury RS1500 wynosi $f_{ctk} = 16$ MPa (DN1500). Wartości te zostały określone przez Producenta na podstawie badań wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu dla dużej liczby próbek, z przyjętym prawdopodobieństwem 0,95. Wartości sprężystego wskaźnika wytrzymałości na zginanie W obliczono dla jednostkowej długości komory roboczej, przyjmując zwiększone grubości ścianek.

Obciążenia przedmiotowych elementów zbiorników i studzienek kanalizacyjnych wyznaczono dla odkształceń obliczeniowych przypowierzchniowej warstwy gruntu odpowiadających terenom górniczym I, II, III i IV kategorii, przyjmując ciężar objętościowy gruntu niespoistego $\gamma = 19$ kN/m³ i obciążenie naziomu równomiernie rozłożone 5 kPa. Dla wartości odkształceń wynikających z poszczególnych kategorii terenów górniczych (tablica 3.1)

obliczono wartości współczynnika rozporu bocznego ξ (większe od $\xi = K = 0,5$) oraz przyjęto wartości wskaźnika nierównomierności obciążeń przekroju poziomego zbiorników i studni dla terenów górniczych. W obliczeniach tych nie uwzględniono oddziaływania wody gruntowej, ponieważ w przypadku terenów górniczych bardziej niekorzystne warunki obciążenia występują dla poziomu wód gruntowych występującego poniżej dna studni. Na terenach górniczych może nastąpić zwiększenie wartości współczynnika rozporu bocznego do wartości $\xi > 1$ i działający na ziarna gruntu wypór wody przyczynia się do zmniejszenia parcia gruntu na ścianki studzienek. Ruch kołowy powoduje największe obciążenia w poziomie terenu, które ulegają znacznemu zmniejszeniu wraz z głębokością. Obciążenia zbiorników i studzienek kanalizacyjnych na skutek poziomego odkształcenia przypowierzchniowej warstwy gruntu, wywołwanego wpływami eksploatacji górniczej, zwiększają się od zera na poziomie terenu do maksymalnej wartości w poziomie płyty dennej. Dlatego na terenach górniczych decydujące znaczenie mają obciążenia dolnych części zbiorników i studzienek kanalizacyjnych, wywołwane deformacjami górniczymi podłoża, co ogranicza głębokość ich posadawiania.

Porównując wartości wywołwanych nierównomiernymi obciążeniami momentów zginających z wartościami momentów dopuszczalnych dla przekrojów zbiorników i studzienek kanalizacyjnych oraz założonych warunków gruntowych, określono maksymalne głębokości ich posadowienia na terenach górniczych I, II, III i IV kategorii. Wybrane, istotne wyniki obliczeń przedstawiono w załączniku.

Maksymalne głębokości posadowienia zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL zależne są od obliczeniowych wartości odkształceń przyjętych dla poszczególnych kategorii terenu górniczego. Maksymalną głębokość posadowienia studni kanalizacyjnych i obudów pompowni określono z uwzględnieniem usztywniającego działania dna. Głębokości te przedstawiono poniżej.

Prefabrykowane zbiorniki i studzienki kanalizacyjne DN1000 mm o grubości ścianki 40 mm, z polimerobetonu wykonanego według receptury RS1000, mogą być stosowane do głębokości posadowienia wynoszących:

- na terenach górniczych I kategorii – 8,0 m,
- na terenach górniczych II kategorii – 5,0 m,
- na terenach górniczych III i IV kategorii – 3,0 m.

Prefabrykowane zbiorniki i studzienki kanalizacyjne DN1200 mm o grubości ścianki 50 mm, z polimerobetonu wykonanego według receptury RS1000, mogą być stosowane do głębokości posadowienia wynoszących:

- na terenach górniczych I kategorii – 8,0 m,
- na terenach górniczych II kategorii – 5,5 m,
- na terenach górniczych III i IV kategorii – 3,5 m.

Prefabrykowane zbiorniki i studzienki kanalizacyjne DN1500 mm o grubości ścianki 60 mm, z polimerobetonu wykonanego według receptury RS1500, mogą być stosowane do głębokości posadowienia wynoszących:

- na terenach górniczych I kategorii – 7,0 m,
- na terenach górniczych II kategorii – 4,5 m,
- na terenach górniczych III i IV kategorii – 3,2 m.

W przypadku konieczności posadowienia wyżej wymienionych prefabrykowanych polimerobetonowych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o pogrubionych ściankach na głębokościach większych od podanych powyżej lub w warunkach odbiegających od przyjętych w obliczeniach, niezbędne jest przeprowadzenie analizy statyczno-wytrzymałościowej ich konstrukcji, celem dokonania indywidualnej oceny takiej możliwości. W analizie tej należy uwzględnić występujące na danym terenie warunki gruntowo-wodne oraz zmiany obciążeń poziomych i ich nierównomierność, w zależności od wartości poziomych odkształceń przypowierzchniowej warstwy górotworu. Dla zwiększenia głębokości posadowienia przedmiotowych obiektów można dokonać wzmocnienia ich konstrukcji.

Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne łączone są z przewodami kanalizacyjnymi, budowanymi z rur o różnych typach złączy, wykonanych z różnych materiałów. Stosowane połączenia są dostosowywane do określonego rodzaju rur podłączeniowych – w wykonane otwory wklejane są specjalne króćce lub wykonywane są przejścia szczelne. Przewody kanalizacyjne muszą być budowane z rur przystosowanych do pracy na terenach górniczych określonej kategorii, posiadających możliwość kompensacji przemieszczeń, wywołanych deformacjami przypowierzchniowej warstwy gruntu. Takie same warunki powinny spełniać połączenia zbiorników i studzienek z rurami podłączeniowymi, które muszą mieć możliwość kompensowania przemieszczeń i odchylenia rur, wywołanych deformacjami gruntu, bez utraty ich szczelności. Dotyczy to złączy między króćcami a rurami oraz przejść szczelnych. Na przykład w przypadku przejść szczelnych można to uzyskać przez głębsze wsunięcie bosego końca rury do zbiornika lub studzienki i jest zalecane do stosowania na terenach górniczych. Zabiegi te mają szczególne znaczenie na terenach górniczych III i IV kategorii. Ponadto odcinki rur podłączeniowych nie powinny być dłuższe niż 1,0 m.

7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy możliwości stosowania na terenach górniczych zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL, zbudowanych z prefabrykowanych elementów polimerobetonowych o pogrubionych ściankach, sformułowano następujące wnioski ogólne:

1. Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne BETONSTAL o średnicy nominalnej 1000 mm i grubości ścianki 40 mm, mogą być stosowane do głębokości posadowienia wynoszących:
 - na terenach górniczych I kategorii – 8,0 m,
 - na terenach górniczych II kategorii – 5,0 m,
 - na terenach górniczych III i IV kategorii – 3,0 m.
2. Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne BETONSTAL o średnicy nominalnej 1200 mm i grubości ścianki 50 mm, mogą być stosowane na terenach górniczych do głębokości posadowienia wynoszących:
 - na terenach górniczych I kategorii – 8,0 m,
 - na terenach górniczych II kategorii – 5,5 m,
 - na terenach górniczych III i IV kategorii – 3,5 m.
3. Zbiorniki i studzienki kanalizacyjne BETONSTAL o średnicy nominalnej 1500 mm i grubości ścianki 60 mm, mogą być stosowane na terenach górniczych do głębokości posadowienia wynoszących:
 - na terenach górniczych I kategorii – 7,0 m,
 - na terenach górniczych II kategorii – 4,5 m,
 - na terenach górniczych III i IV kategorii – 3,2 m.
4. Na terenach górniczych zaleca się stosowanie zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o budowie monolitycznej, zbudowanych z elementów klejonych o połączeniach charakteryzujących się wytrzymałością nie niższą niż wytrzymałość polimerobetonu. Połączenia studzienek i zbiorników z przewodami kanalizacyjnymi powinny umożliwiać kompensację przemieszczeń rur podłączeniowych odpowiednio do kategorii terenu górniczego.

5. W przypadku konieczności posadowienia zbiorników i studzienek kanalizacyjnych BETONSTAL o pogrubionych ściankach na głębokościach większych od podanych we wnioskach 1-3 niezbędne jest przeprowadzenie obliczeń sprawdzających z uwzględnieniem występujących na danym terenie górniczym warunków gruntowo-wodnych oraz dodatkowych, nierównomiernych obciążeń wynikających z wartości prognozowanych wskaźników deformacji przypowierzchniowej warstwy gruntu i wzmocnienie ich konstrukcji.

DN1000

Kategoria	I		II		III		IV	
	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm
1,1	0,32	2,96	0,54	2,96	0,92	2,96	1,03	2,96
1,2	0,36	2,96	0,60	2,96	1,03	2,96	1,15	2,96
1,3	0,40	2,96	0,66	2,96	1,14	2,96	1,27	2,96
1,4	0,44	2,96	0,72	2,96	1,24	2,96	1,39	2,96
1,5	0,47	2,96	0,79	2,96	1,35	2,96	1,51	2,96
1,6	0,51	2,96	0,85	2,96	1,46	2,96	1,63	2,96
1,7	0,55	2,96	0,91	2,96	1,56	2,96	1,75	2,96
1,8	0,58	2,96	0,97	2,96	1,67	2,96	1,86	2,96
1,9	0,62	2,96	1,04	2,96	1,78	2,96	1,98	2,96
2	0,66	2,96	1,10	2,96	1,88	2,96	2,10	2,96
2,1	0,70	2,96	1,16	2,96	1,99	2,96	2,22	2,96
2,2	0,73	2,96	1,22	2,96	2,10	2,96	2,34	2,96
2,3	0,77	2,96	1,28	2,96	2,20	2,96	2,46	2,96
2,4	0,81	2,96	1,35	2,96	2,31	2,96	2,58	2,96
2,5	0,85	2,96	1,41	2,96	2,42	2,96	2,70	2,96
2,6	0,88	2,96	1,47	2,96	2,52	2,96	2,82	2,96
2,7	0,92	2,96	1,53	2,96	2,63	2,96	2,94	2,96
2,8	0,96	2,96	1,60	2,96	2,74	2,96	3,06	2,96
2,9	1,00	2,96	1,66	2,96	2,84	2,96	3,18	2,96
3	1,03	2,96	1,72	2,96	2,95	2,96	3,30	2,96
3,1	1,07	2,96	1,78	2,96	3,06	2,96	3,42	2,96
3,2	1,11	2,96	1,85	2,96	3,16	2,96	3,53	2,96
3,3	1,15	2,96	1,91	2,96	3,27	2,96	3,65	2,96
3,4	1,18	2,96	1,97	2,96	3,38	2,96	3,77	2,96
3,5	1,22	2,96	2,03	2,96	3,49	2,96	3,89	2,96
3,6	1,26	2,96	2,09	2,96	3,59	2,96	4,01	2,96
3,7	1,30	2,96	2,16	2,96	3,70	2,96	4,13	2,96
3,8	1,33	2,96	2,22	2,96	3,81	2,96	4,25	2,96
3,9	1,37	2,96	2,28	2,96	3,91	2,96	4,37	2,96
4	1,41	2,96	2,34	2,96	4,02	2,96	4,49	2,96
4,1	1,44	2,96	2,41	2,96	4,13	2,96	4,61	2,96
4,2	1,48	2,96	2,47	2,96	4,23	2,96	4,73	2,96
4,3	1,52	2,96	2,53	2,96	4,34	2,96	4,85	2,96
4,4	1,56	2,96	2,59	2,96	4,45	2,96	4,97	2,96
4,5	1,59	2,96	2,65	2,96	4,55	2,96	5,09	2,96
4,6	1,63	2,96	2,72	2,96	4,66	2,96	5,21	2,96
4,7	1,67	2,96	2,78	2,96	4,77	2,96	5,32	2,96
4,8	1,71	2,96	2,84	2,96	4,87	2,96	5,44	2,96
4,9	1,74	2,96	2,90	2,96	4,98	2,96	5,56	2,96
5	1,78	2,96	2,97	2,96	5,09	2,96	5,68	2,96
5,1	1,82	2,96	3,03	2,96	5,19	2,96	5,80	2,96
5,2	1,86	2,96	3,09	2,96	5,30	2,96	5,92	2,96
5,3	1,89	2,96	3,15	2,96	5,41	2,96	6,04	2,96
5,4	1,93	2,96	3,21	2,96	5,51	2,96	6,16	2,96
5,5	1,97	2,96	3,28	2,96	5,62	2,96	6,28	2,96
5,6	2,01	2,96	3,34	2,96	5,73	2,96	6,40	2,96
5,7	2,04	2,96	3,40	2,96	5,84	2,96	6,52	2,96
5,8	2,08	2,96	3,46	2,96	5,94	2,96	6,64	2,96
5,9	2,12	2,96	3,53	2,96	6,05	2,96	6,76	2,96
6	2,16	2,96	3,59	2,96	6,16	2,96	6,88	2,96
6,1	2,19	2,96	3,65	2,96	6,26	2,96	6,99	2,96
6,2	2,23	2,96	3,71	2,96	6,37	2,96	7,11	2,96
6,3	2,27	2,96	3,78	2,96	6,48	2,96	7,23	2,96
6,4	2,31	2,96	3,84	2,96	6,58	2,96	7,35	2,96
6,5	2,34	2,96	3,90	2,96	6,69	2,96	7,47	2,96
6,6	2,38	2,96	3,96	2,96	6,80	2,96	7,59	2,96
6,7	2,42	2,96	4,02	2,96	6,90	2,96	7,71	2,96
6,8	2,45	2,96	4,09	2,96	7,01	2,96	7,83	2,96
6,9	2,49	2,96	4,15	2,96	7,12	2,96	7,95	2,96
7	2,53	2,96	4,21	2,96	7,22	2,96	8,07	2,96
7,1	2,57	2,96	4,27	2,96	7,33	2,96	8,19	2,96
7,2	2,60	2,96	4,34	2,96	7,44	2,96	8,31	2,96
7,3	2,64	2,96	4,40	2,96	7,54	2,96	8,43	2,96
7,4	2,68	2,96	4,46	2,96	7,65	2,96	8,55	2,96
7,5	2,72	2,96	4,52	2,96	7,76	2,96	8,66	2,96
7,6	2,75	2,96	4,58	2,96	7,86	2,96	8,78	2,96
7,7	2,79	2,96	4,65	2,96	7,97	2,96	8,90	2,96
7,8	2,83	2,96	4,71	2,96	8,08	2,96	9,02	2,96
7,9	2,87	2,96	4,77	2,96	8,19	2,96	9,14	2,96
8	2,90	2,96	4,83	2,96	8,29	2,96	9,26	2,96

DN1200

Kategoria	I		II		III		IV	
	Głębokość posadowienia, m	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm	Moment zginający, kNm
1,1	0,47	4,63	0,78	4,63	1,33	4,63	1,55	4,63
1,2	0,52	4,63	0,87	4,63	1,49	4,63	1,72	4,63
1,3	0,57	4,63	0,96	4,63	1,64	4,63	1,90	4,63
1,4	0,63	4,63	1,05	4,63	1,79	4,63	2,08	4,63
1,5	0,68	4,63	1,14	4,63	1,95	4,63	2,26	4,63
1,6	0,74	4,63	1,23	4,63	2,10	4,63	2,44	4,63
1,7	0,79	4,63	1,32	4,63	2,26	4,63	2,62	4,63
1,8	0,84	4,63	1,41	4,63	2,41	4,63	2,80	4,63
1,9	0,90	4,63	1,50	4,63	2,57	4,63	2,98	4,63
2	0,95	4,63	1,59	4,63	2,72	4,63	3,16	4,63
2,1	1,01	4,63	1,68	4,63	2,87	4,63	3,34	4,63
2,2	1,06	4,63	1,77	4,63	3,03	4,63	3,51	4,63
2,3	1,11	4,63	1,86	4,63	3,18	4,63	3,69	4,63
2,4	1,17	4,63	1,95	4,63	3,34	4,63	3,87	4,63
2,5	1,22	4,63	2,04	4,63	3,49	4,63	4,05	4,63
2,6	1,28	4,63	2,13	4,63	3,65	4,63	4,23	4,63
2,7	1,33	4,63	2,22	4,63	3,80	4,63	4,41	4,63
2,8	1,38	4,63	2,31	4,63	3,95	4,63	4,59	4,63
2,9	1,44	4,63	2,40	4,63	4,11	4,63	4,77	4,63
3	1,49	4,63	2,49	4,63	4,26	4,63	4,95	4,63
3,1	1,55	4,63	2,58	4,63	4,42	4,63	5,13	4,63
3,2	1,60	4,63	2,67	4,63	4,57	4,63	5,30	4,63
3,3	1,66	4,63	2,76	4,63	4,73	4,63	5,48	4,63
3,4	1,71	4,63	2,85	4,63	4,88	4,63	5,66	4,63
3,5	1,76	4,63	2,94	4,63	5,04	4,63	5,84	4,63
3,6	1,82	4,63	3,03	4,63	5,19	4,63	6,02	4,63
3,7	1,87	4,63	3,12	4,63	5,34	4,63	6,20	4,63
3,8	1,93	4,63	3,21	4,63	5,50	4,63	6,38	4,63
3,9	1,98	4,63	3,30	4,63	5,65	4,63	6,56	4,63
4	2,03	4,63	3,39	4,63	5,81	4,63	6,74	4,63
4,1	2,09	4,63	3,48	4,63	5,96	4,63	6,92	4,63
4,2	2,14	4,63	3,56	4,63	6,12	4,63	7,09	4,63
4,3	2,20	4,63	3,65	4,63	6,27	4,63	7,27	4,63
4,4	2,25	4,63	3,74	4,63	6,42	4,63	7,45	4,63
4,5	2,30	4,63	3,83	4,63	6,58	4,63	7,63	4,63
4,6	2,36	4,63	3,92	4,63	6,73	4,63	7,81	4,63
4,7	2,41	4,63	4,01	4,63	6,89	4,63	7,99	4,63
4,8	2,47	4,63	4,10	4,63	7,04	4,63	8,17	4,63
4,9	2,52	4,63	4,19	4,63	7,20	4,63	8,35	4,63
5	2,57	4,63	4,28	4,63	7,35	4,63	8,53	4,63
5,1	2,63	4,63	4,37	4,63	7,50	4,63	8,71	4,63
5,2	2,68	4,63	4,46	4,63	7,66	4,63	8,88	4,63
5,3	2,74	4,63	4,55	4,63	7,81	4,63	9,06	4,63
5,4	2,79	4,63	4,64	4,63	7,97	4,63	9,24	4,63
5,5	2,84	4,63	4,73	4,63	8,12	4,63	9,42	4,63
5,6	2,90	4,63	4,82	4,63	8,28	4,63	9,60	4,63
5,7	2,95	4,63	4,91	4,63	8,43	4,63	9,78	4,63
5,8	3,01	4,63	5,00	4,63	8,58	4,63	9,96	4,63
5,9	3,06	4,63	5,09	4,63	8,74	4,63	10,14	4,63
6	3,11	4,63	5,18	4,63	8,89	4,63	10,32	4,63
6,1	3,17	4,63	5,27	4,63	9,05	4,63	10,50	4,63
6,2	3,22	4,63	5,36	4,63	9,20	4,63	10,67	4,63
6,3	3,28	4,63	5,45	4,63	9,36	4,63	10,85	4,63
6,4	3,33	4,63	5,54	4,63	9,51	4,63	11,03	4,63
6,5	3,38	4,63	5,63	4,63	9,66	4,63	11,21	4,63
6,6	3,44	4,63	5,72	4,63	9,82	4,63	11,39	4,63
6,7	3,49	4,63	5,81	4,63	9,97	4,63	11,57	4,63
6,8	3,55	4,63	5,90	4,63	10,13	4,63	11,75	4,63
6,9	3,60	4,63	5,99	4,63	10,28	4,63	11,93	4,63
7	3,65	4,63	6,08	4,63	10,44	4,63	12,11	4,63
7,1	3,71	4,63	6,17	4,63	10,59	4,63	12,29	4,63
7,2	3,76	4,63	6,26	4,63	10,74	4,63	12,47	4,63
7,3	3,82	4,63	6,35	4,63	10,90	4,63	12,64	4,63
7,4	3,87	4,63	6,44	4,63	11,05	4,63	12,82	4,63
7,5	3,92	4,63	6,53	4,63	11,21	4,63	13,00	4,63
7,6	3,98	4,63	6,62	4,63	11,36	4,63	13,18	4,63
7,7	4,03	4,63	6,71	4,63	11,52	4,63	13,36	4,63
7,8	4,09	4,63	6,80	4,63	11,67	4,63	13,54	4,63
7,9	4,14	4,63	6,89	4,63	11,82	4,63	13,72	4,63
8	4,19	4,63	6,98	4,63	11,98	4,63	13,90	4,63

DN1500

Kategoria	I		II		III		IV	
	Głębokość posadowienia, m	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm	Moment zginający, kNm	Moment zg. dop., kNm	Moment zginający, kNm
2,1	2,29	10,67	3,82	10,67	6,55	10,67	7,60	10,67
2,2	2,46	10,67	4,10	10,67	7,03	10,67	8,16	10,67
2,3	2,63	10,67	4,38	10,67	7,51	10,67	8,72	10,67
2,4	2,80	10,67	4,66	10,67	7,99	10,67	9,27	10,67
2,5	2,97	10,67	4,94	10,67	8,47	10,67	9,83	10,67
2,6	3,14	10,67	5,22	10,67	8,96	10,67	10,39	10,67
2,7	3,30	10,67	5,50	10,67	9,44	10,67	10,95	10,67
2,8	3,47	10,67	5,78	10,67	9,92	10,67	11,50	10,67
2,9	3,64	10,67	6,06	10,67	10,40	10,67	12,06	10,67
3	3,81	10,67	6,34	10,67	10,88	10,67	12,62	10,67
3,1	3,98	10,67	6,62	10,67	11,36	10,67	13,18	10,67
3,2	4,15	10,67	6,90	10,67	11,84	10,67	13,74	10,67
3,3	4,31	10,67	7,18	10,67	12,32	10,67	14,29	10,67
3,4	4,48	10,67	7,46	10,67	12,80	10,67	14,85	10,67
3,5	4,65	10,67	7,74	10,67	13,28	10,67	15,41	10,67
3,6	4,82	10,67	8,02	10,67	13,76	10,67	15,97	10,67
3,7	4,99	10,67	8,30	10,67	14,24	10,67	16,52	10,67
3,8	5,16	10,67	8,58	10,67	14,72	10,67	17,08	10,67
3,9	5,32	10,67	8,86	10,67	15,20	10,67	17,64	10,67
4	5,49	10,67	9,14	10,67	15,68	10,67	18,20	10,67
4,1	5,66	10,67	9,42	10,67	16,16	10,67	18,75	10,67
4,2	5,83	10,67	9,70	10,67	16,65	10,67	19,31	10,67
4,3	6,00	10,67	9,98	10,67	17,13	10,67	19,87	10,67
4,4	6,17	10,67	10,26	10,67	17,61	10,67	20,43	10,67
4,5	6,33	10,67	10,54	10,67	18,09	10,67	20,98	10,67
4,6	6,50	10,67	10,82	10,67	18,57	10,67	21,54	10,67
4,7	6,67	10,67	11,10	10,67	19,05	10,67	22,10	10,67
4,8	6,84	10,67	11,39	10,67	19,53	10,67	22,66	10,67
4,9	7,01	10,67	11,67	10,67	20,01	10,67	23,22	10,67
5	7,18	10,67	11,95	10,67	20,49	10,67	23,77	10,67
5,1	7,34	10,67	12,23	10,67	20,97	10,67	24,33	10,67
5,2	7,51	10,67	12,51	10,67	21,45	10,67	24,89	10,67
5,3	7,68	10,67	12,79	10,67	21,93	10,67	25,45	10,67
5,4	7,85	10,67	13,07	10,67	22,41	10,67	26,00	10,67
5,5	8,02	10,67	13,35	10,67	22,89	10,67	26,56	10,67
5,6	8,19	10,67	13,63	10,67	23,37	10,67	27,12	10,67
5,7	8,35	10,67	13,91	10,67	23,86	10,67	27,68	10,67
5,8	8,52	10,67	14,19	10,67	24,34	10,67	28,23	10,67
5,9	8,69	10,67	14,47	10,67	24,82	10,67	28,79	10,67
6	8,86	10,67	14,75	10,67	25,30	10,67	29,35	10,67
6,1	9,03	10,67	15,03	10,67	25,78	10,67	29,91	10,67
6,2	9,19	10,67	15,31	10,67	26,26	10,67	30,46	10,67
6,3	9,36	10,67	15,59	10,67	26,74	10,67	31,02	10,67
6,4	9,53	10,67	15,87	10,67	27,22	10,67	31,58	10,67
6,5	9,70	10,67	16,15	10,67	27,70	10,67	32,14	10,67
6,6	9,87	10,67	16,43	10,67	28,18	10,67	32,70	10,67
6,7	10,04	10,67	16,71	10,67	28,66	10,67	33,25	10,67
6,8	10,20	10,67	16,99	10,67	29,14	10,67	33,81	10,67
6,9	10,37	10,67	17,27	10,67	29,62	10,67	34,37	10,67
7	10,54	10,67	17,55	10,67	30,10	10,67	34,93	10,67
7,1	10,71	10,67	17,83	10,67	30,58	10,67	35,48	10,67
7,2	10,88	10,67	18,11	10,67	31,07	10,67	36,04	10,67
7,3	11,05	10,67	18,39	10,67	31,55	10,67	36,60	10,67
7,4	11,21	10,67	18,67	10,67	32,03	10,67	37,16	10,67
7,5	11,38	10,67	18,95	10,67	32,51	10,67	37,71	10,67
7,6	11,55	10,67	19,23	10,67	32,99	10,67	38,27	10,67
7,7	11,72	10,67	19,51	10,67	33,47	10,67	38,83	10,67
7,8	11,89	10,67	19,79	10,67	33,95	10,67	39,39	10,67
7,9	12,06	10,67	20,07	10,67	34,43	10,67	39,94	10,67
8	12,22	10,67	20,35	10,67	34,91	10,67	40,50	10,67