

Eksploatacja ujęć głębinowych

Hydraulika studzienna

dr inż. Krzysztof Polak
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Laboratorium Hydrologii
i Hydrauliki Geoinżynierskiej

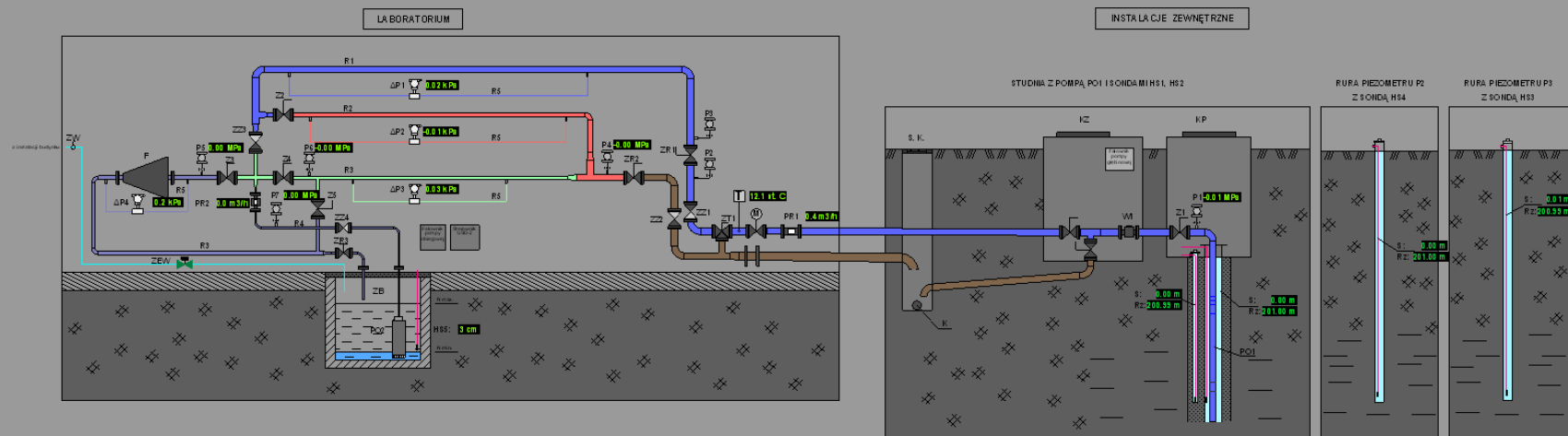
kpolak@agh.edu.pl

Hydraulika studzienna

1. Ujmowanie wody podziemnej
2. Hydraulika podziemna
3. Dopływ do studni
4. Filtry studzienne

Hydraulika studzienna

SCHEMAT IDEOWY INSTALACJI POMIARÓW HYDROGEOLOGICZNYCH I HYDROTECHNICZNYCH



CHARAKTERYSTYKA RUROCIĄGU

ZESKOK HYDRAULICZNY NA FILTRZE STUDZIENNYM

ZESKOK HYDRAULICZNY - STANOWISKO PREFABRYKATÓW FILTROWYCH

MONITORING WJĘCIA WODY

LEGENDA

LABORATORIUM		INSTALACJE ZEWNĘTRZNE	
R1	Rurociąg DN 65	OT	Odniesienie głębokości (H = 0,0 m)
R2	Rurociąg DN 65	KP	Komora chłodni pompy głębinowej
R3	Rurociąg DN 40	KZ	Komora zaizolacji zaworów
R4	Rurociąg DN 35	POI	Pompa głębinowa (Q = 0-30 m³/h)
R5	Rury impulsove DN 8	SK	Składowisko instalacji elektrycznej (10 kV)
Z1 - Z4	Zawory odbojowe	H51 - H54	Hydrostatyczne sondy głębinowe (10 kV)
Z11 - Z14	Zawory zaworowe	Z1	Zawór odbojowy pompy głębinowej (10 kV)
ZP1 - ZP3	Zawory regulacyjne	P1	Przebiegielnie głębinowe
ZT1	Zawór 10-letniowy ręczny	ZT1	Zawór 10-letniowy z dwumiejscem elektrycznym
P1 - P7	Przebiegielnie głębinowe	W1	Wzrost pompy wody (10 kV)
PR1 - PR2	Przebiegielnie	SE	Sonda elektryczna
T	Termometr cyfrowy	PP	Fala woda pompy
ΔP1 - ΔP4	Przebiegielnie różnicy ciśnień		
P	Pompa głębinowa (Q = 0-30 m³/h)		
POI	Pompa głębinowa (Q = 0-30 m³/h)		
H51	Hydrostatyczna sonda w składowisku		
WB	Obrotowa studnia (V = 0,5 m³/h) × 1,0 m		
ZB	Zawór odbojowy wody (10 kV) bud. 10		
ZB1	Zawór elektryczny odbojowy wody		
SL	Sonda elektryczna laboratoryjna		
SPC2	Sonda głębinowa pompy		

Hydraulika studzienna

Ujmowanie wody podziemnej

Dopływ do studni grawitacyjnej

Ruch wody wywołany przez siłę grawitacji

- warunek:

$$d_e \geq 0,05 \text{ [mm]}$$

$$k \geq 1 \cdot 10^{-5} \text{ [m/s]}$$

- d_e - średnica efektywna uziarnienia
- K – współczynnik filtracji



Średnica efektywna ziarn

- d_e - według **Hazena** średnica d_{10}
10% wagowych ziarn ma średnicę mniejszą, a
90% wagowych większą

Miarodajna średnica ziarn

- *współczynnik nierównomierności uziarnienia*

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

gdzie:

d_{60} - średnica ziarn, która wraz z mniejszymi stanowi 60% wagowych badanej próbki

d_{10} - średnica ziarn, która wraz z mniejszymi stanowi 10% wagowych badanej próbki (średnica miarodajna)

Wartości d_{60} i d_{10} odczytuje się z krzywej uziarnienia

Miarodajna średnica ziarn

- Średnica miarodajna ziarna d_e
(inaczej: średnica efektywna, średnica zastępcza)
 - Przyjmuje się najczęściej, że jest to średnica ziarn kulistych skały fikcyjnej, idealnie jednorodnej, która wykazuje taką samą przepuszczalność jak skała rzeczywista i stawia taki sam opór przepływającej wodzie jak skała rzeczywista. Odczytuje się ją z krzywej uziarnienia.
 - Jest to średnica ziarn, która wraz z mniejszymi stanowi 10% ciężaru badanej próbki skały (d_{10}). Ś. m. wykorzystuje się przy określaniu *współczynnika filtracji* wzorami empirycznymi i *współczynnika nierównomierności uziarnienia*

Miarodajna średnica ziarn

$U < 5$ - uziarnienie równomierne

$5 < U < 15$ - uziarnienie nierównomierne

$U > 15$ - bardzo nierównomierne uziarnienie

- *Frakcje gruntu:*

- *kamienista $> 25 \text{ mm}$*
- *żwirowa $25 - 2 \text{ mm}$*
- *piaskowa $2 - 0,05 \text{ mm}$*
- *pyłowa $0,05 - 0,002 \text{ mm}$*
- *iłowa $< 0,002 \text{ mm}$*

Dopływ do studni próżniowej

- Ruch wody wywołany przez siłę grawitacji oraz dodatkowo **podciśnienie**

warunek:

$$0,003\text{mm} < d_e < 0,03 \text{ mm}$$

$$1 \cdot 10^{-7} < k < 1 \cdot 10^{-5}$$

Dopływ do studni próżniowej



Dopływ do studni próżniowej



Dopływ do studni elektroosmotyczny

- Ruch wody wywołany przez siły oddziaływania elektrostatycznego powodujące przemieszczanie cząstek wody (dipolów) ku katodzie

$$d_e \leq 0,003 \text{ mm}$$

$$k \leq 1 \cdot 10^{-7}$$



Hydraulika podziemna

Podstawowe prawa

Równanie ciągłości

$$Q = F_1 \cdot V_1 = F_2 \cdot V_2 = \dots = F_n \cdot V_n$$

Równanie zachowania energii (Bernoulliego)

$$Z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} = \text{const}$$

Prawo Darcy

$$Q = F k l / F$$

$$v = k l$$

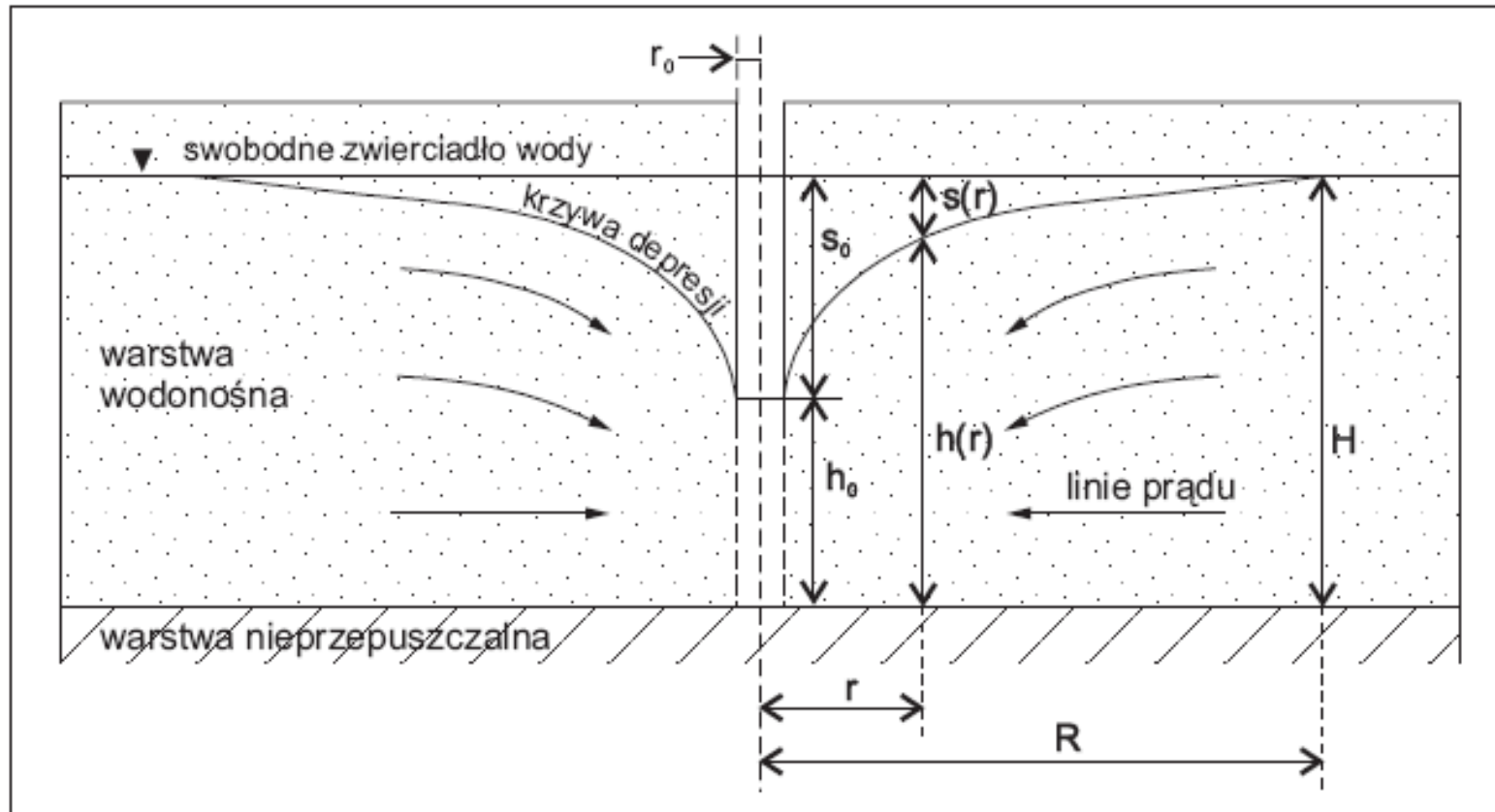
Równania dopływu wód podziemnych

Ustalane warunki dopływu wód podziemnych do ujęcia

Równania krzywej depresji przy ustalonym dopływie wody do otworów studziennych wyprowadził J. Dupuit (1863). Wzory te są słuszne przy następujących założeniach:

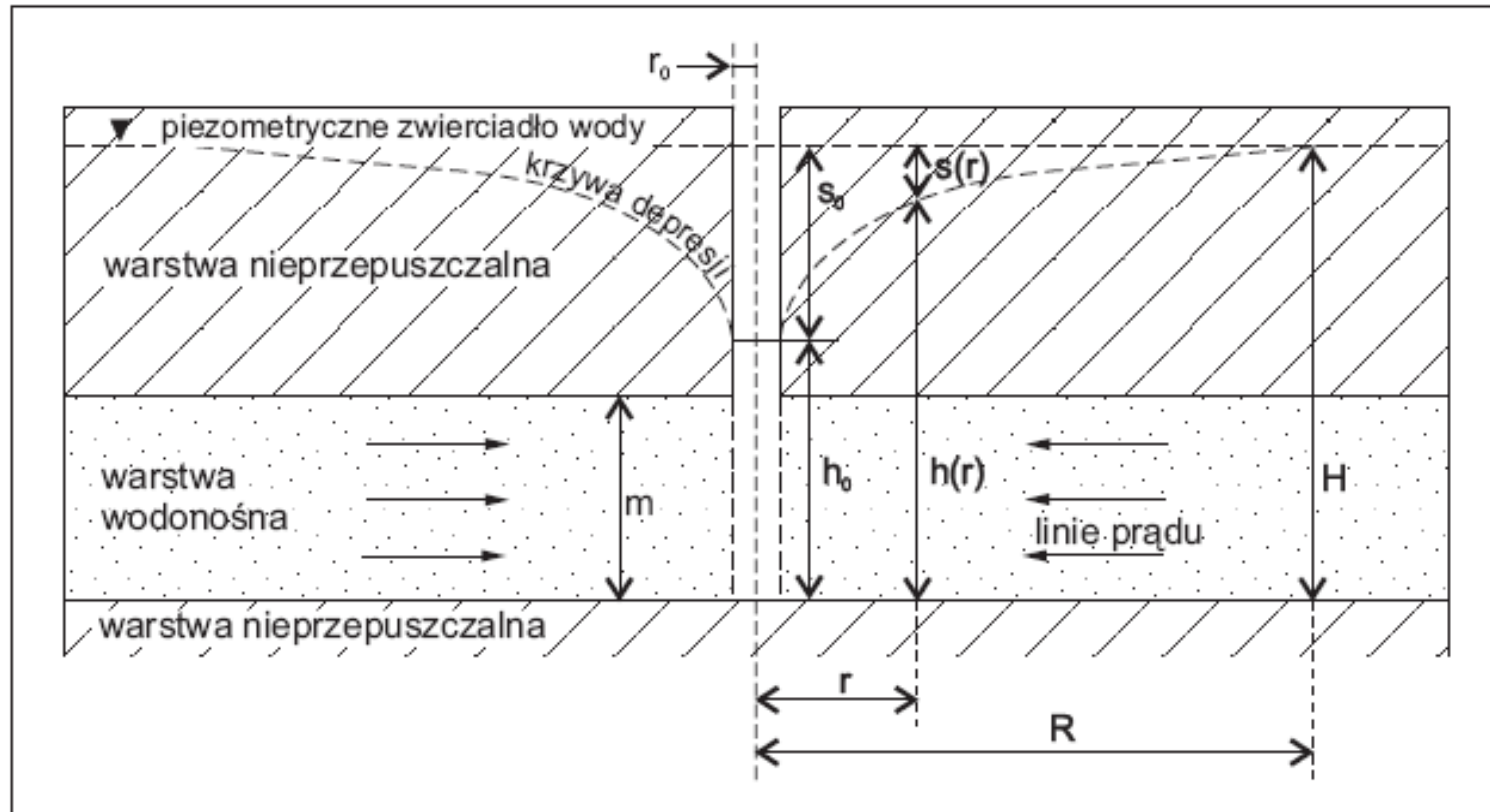
- 1) przepływ jest ustalony,
- 2) woda i skała są nieściśliwe,
- 3) ośrodek filtracyjny jest jednorodny i izotropowy; $k_x = k_y = k_z = \text{const}$,
- 4) filtracja odbywa się w warstwie nieograniczonej,
- 5) spąg warstwy jest poziomy,
- 6) filtracja jest zgodna z prawem Darcy'ego,
- 7) dopływ do otworu jest płasko-radialny, tj. składowa pionowa prędkości filtracji może być pominięta,
- 8) studnia jest idealna, tzn. nie występują dodatkowe opory hydrauliczne pomiędzy studnią i warstwą wodonośną.

Warstwa swobodna



$$H^2 - h_0^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{r_0}$$

Warstwa naporowa



$$s_0 = H - h_0 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_0}$$

Wydatek dopuszczalny

$$Q_{dop} = 2\pi r_o l v_{dop}$$

$$V_{dop} = 9,8\sqrt{k_d} \text{ [m/d]}$$

studnie ujęciowe

$$V_{dop} = 19,6\sqrt{k_d} \text{ [m/d]}$$

awaryjne

$$V_{dop} = 65\sqrt[3]{k_d} \text{ [m/d]}$$

odwodnieniowe

Warunki stosowalności

- Prędkość filtracji musi być dostatecznie mała - ruch laminarny
- Ośrodek porowaty musi być dostatecznie duży w porównaniu z jego strukturą wewnętrzną (strumień w jego przekroju rozłożony jest równomiernie i obejmuje cały przekrój)
- Wartości liczby Reynoldsa, będą miarą stosunku siły bezwładności do sił tarcia wewnętrznego, są małe - *górna granica stosowalności*:

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}$$

v - prędkość linowa

l - długość dowolnego elementu (drogi przepływu)

ν - lepkość kinematyczna

Warunki stosowalności

- dla przewodów rurowych $Re < 2300$
- w ośrodku porowatym:

$$Re = \frac{v \cdot d_e}{\nu}$$

- ν [cm/s]
 - d_e - średnica efektywna cząstek gruntu w mm,
 - ν - wsp. lepkości kinematycznej cm^2/s
-
- Re - przyjmuje wartości od 1 do 10

Warunki stosowalności

- dla ośrodków porowych (N. N. Pawłowski):

$$Re = \frac{v_{gr} \cdot d_e}{\nu \cdot \eta_p^{1/3}}$$

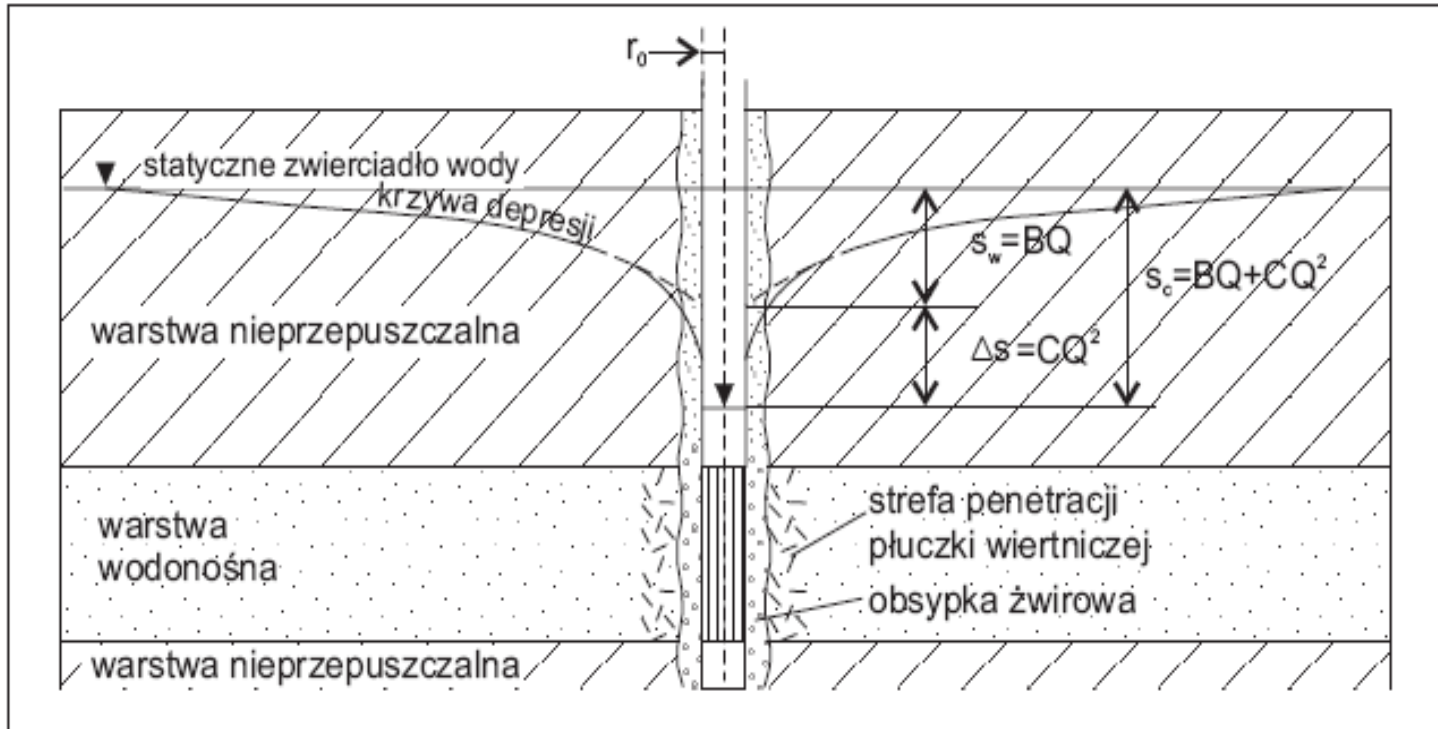
- dla ośrodków szczelinowych (Szczelkaczew):

$$Re = \frac{10}{\eta_p^{2/3}} \frac{k}{\nu} v_{gr}$$

Warunki stosowalności

- Dla wartości $Re < 10$, pomimo że strumień ma charakter laminarny (do ok. $Re = 100-200$ strumień mieszany), obowiązuje nieliniowe prawo Darcy
- W hydrogeologii warunki, przy których ruch cieczy przestaje być laminarny występują bardzo rzadko.
 - Duże gradienty hydrauliczne
 - filtry studzienne
 - kras i skały szczelinowe lub gruboziarniste

Opory przepływu w studni



$$S = S_w + \Delta S = BQ + CQ^2$$

Warunki stosowalności

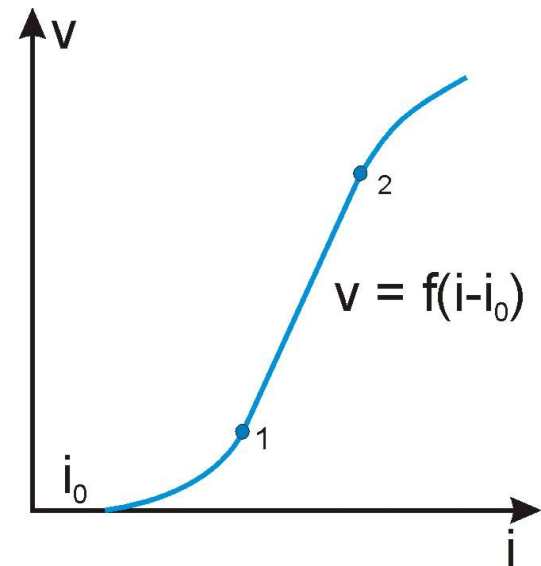
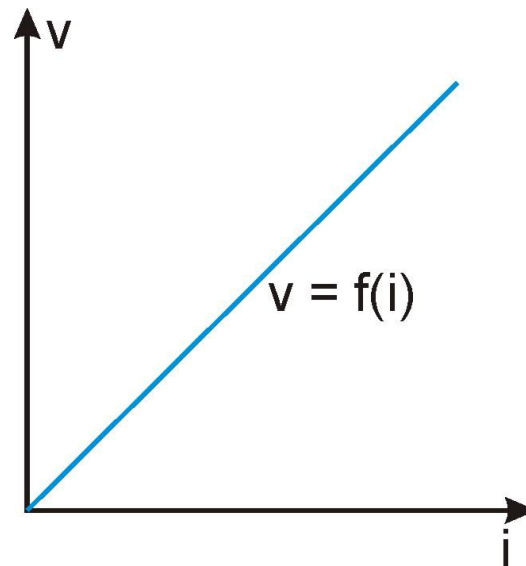
- Dolna granica stosowalności - skały i grunty słabo przepuszczalne

- przepływ nieliniowy
- występowanie sił molekularnych pomiędzy wodą i skałą
- przepływ (przesączanie) odbywa się gdy:

$$i > i_0$$

i_0 - min spadek początkowy

$$v = k (i - i_0)$$



Filtracja nieliniowa

- Zależność Prony'ego (filtracja liniowa, mieszana, turbulentna (fluacja))

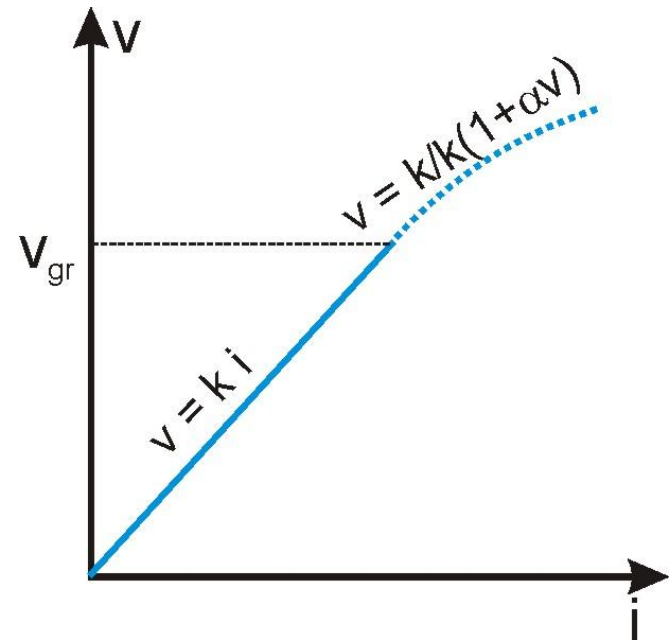
$$i = av + bv^2$$

$$a = 1/k$$

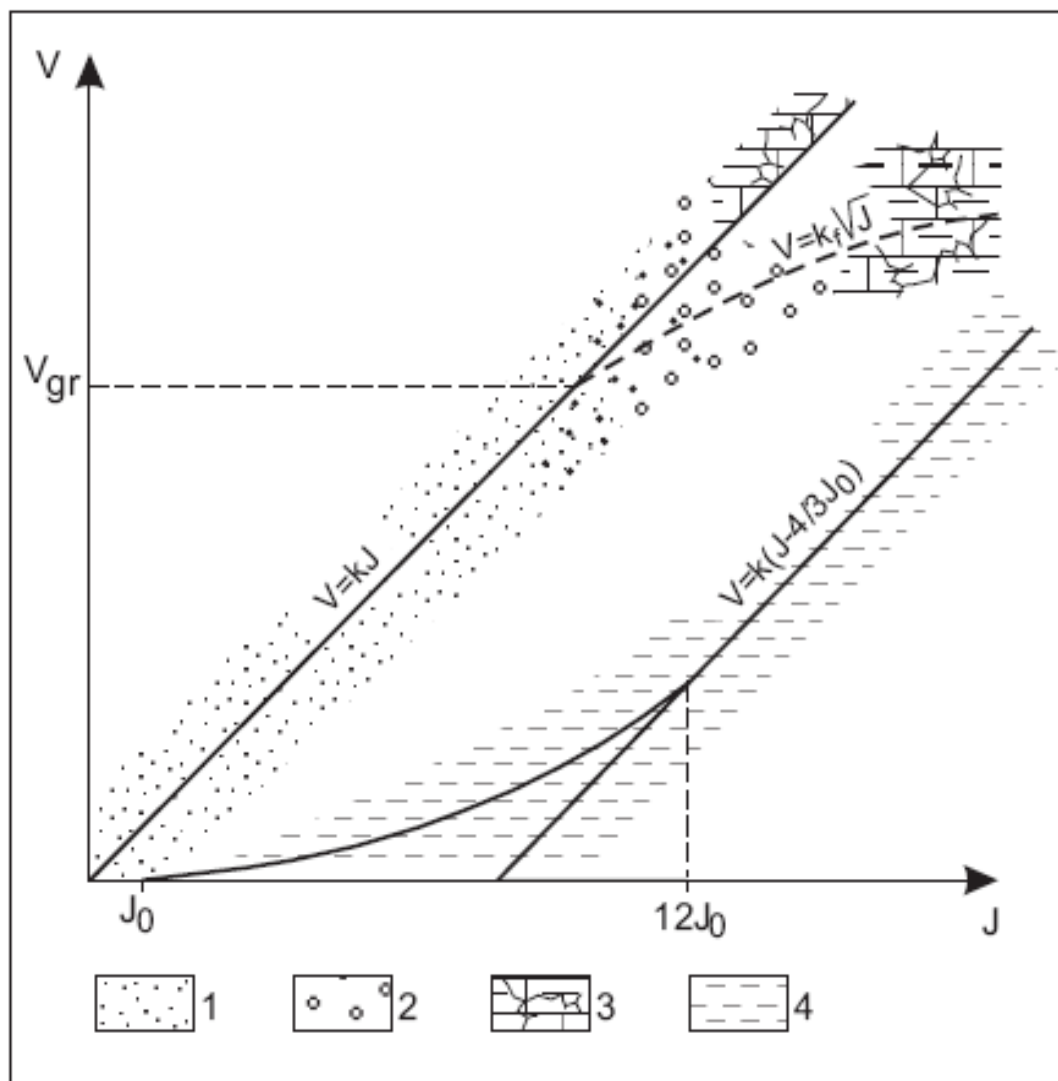
lub:

$$i = \frac{v}{k} (1 + \alpha_n \cdot v)$$

α_n - współczynnik nieliniowości filtracji



Zależność $v=f(J)$ w skałach o różnej przepuszczalności



1- piaski, 2 - żwiry, 3 . wapienie szczelinowo-
krasowe, 4 . gliny, iły,
 J_0 - początkowy gradient
hydrauliczny,
 J - gradient hydrauliczny w czasie przepływu
wymuszonego drenażem

Lej depresji *cone of depression, depression cone*

- Depresja (obniżenie) powierzchni zwierciadła wody podziemnej wokół studni, ujęcia, kopalni itp. wywołana pompowaniem,
- L. d. przedstawia się z pomocą linii jednakowej depresji,
- Przy pompowaniu studni w warstwie jednorodnej l. d. wykazuje symetrię walcową (linie jednakowej depresji są okręgami) i charakteryzuje się go depresją w studni i promieniem l. d.,
- W ruchu ustalonym promień l. d. ma nieskończoną wartość lub odpowiada odległości do granic warstwy wodonośnej,
- W praktycznych obliczeniach dopływu do studzien wykorzystuje się liczne wzory doświadczalne i metody graficzne określania promienia l. d.

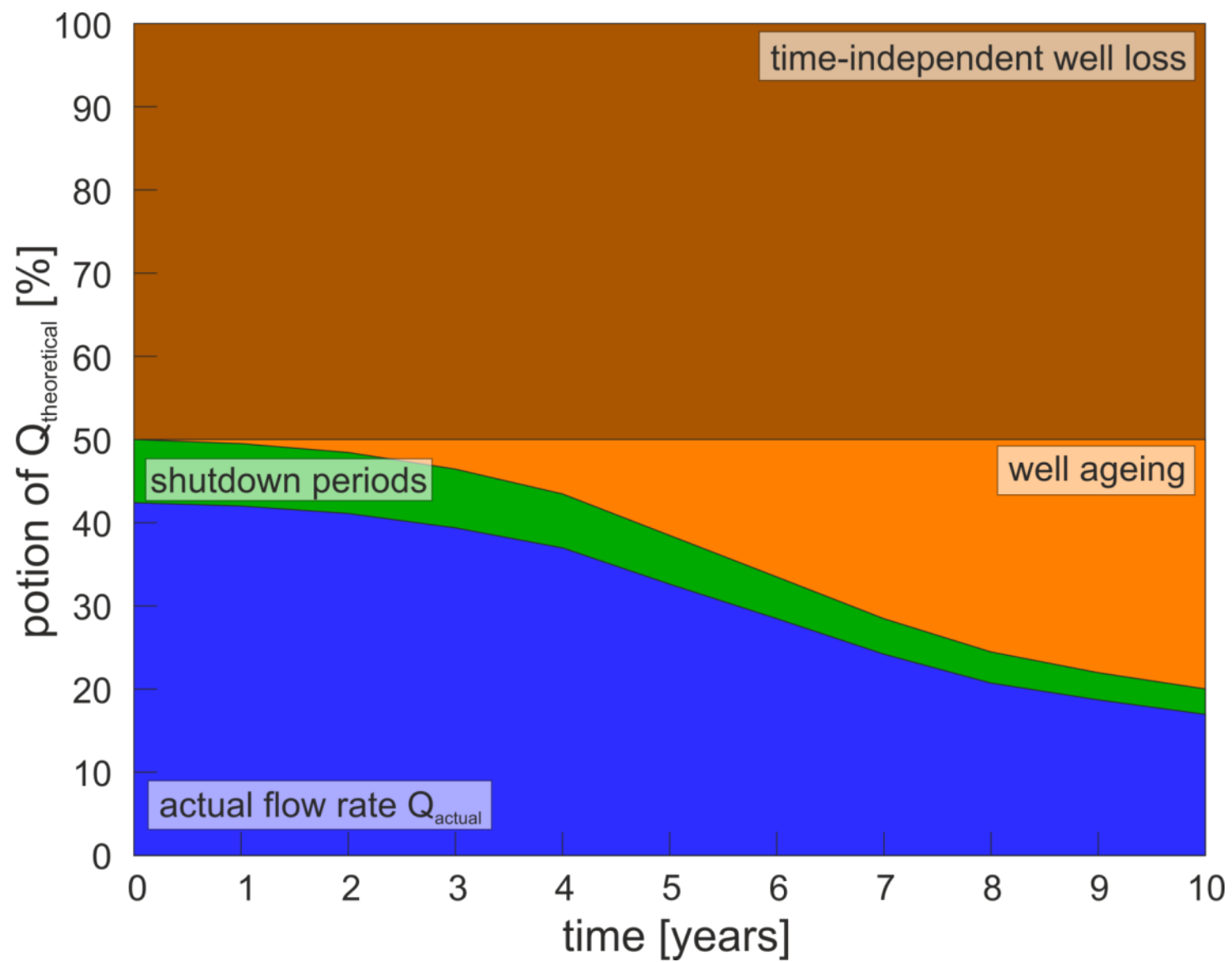
Lej depresji

- Fazy tworzenia
 - rozpoczęcie pompowania
 - s i R powiększają się
 - szczyptywanie wód statycznych, w miarę zwiększania depresji także wód dynamicznych
 - ruch wody nieustalony
 - ustalenie maksymalnej depresji
 - wolniej rosnący zasięg leja
 - rosnący dopływ dynamiczny i malejący wód statycznych
 - ruch nieustalony $\rightarrow$ ustalony
 - stabilizacja dopływu dynamicznego i szczypanie wód statycznych
 - ustalony charakter dopływu

- Kształt i rozmiary zależą od:
 - wymiarów warstwy wodonośnej
 - depresji
 - własności hydrogeologicznych skał budujących w-wy wodonośnej
 - czasu odwadniania
 - warunków zasilania

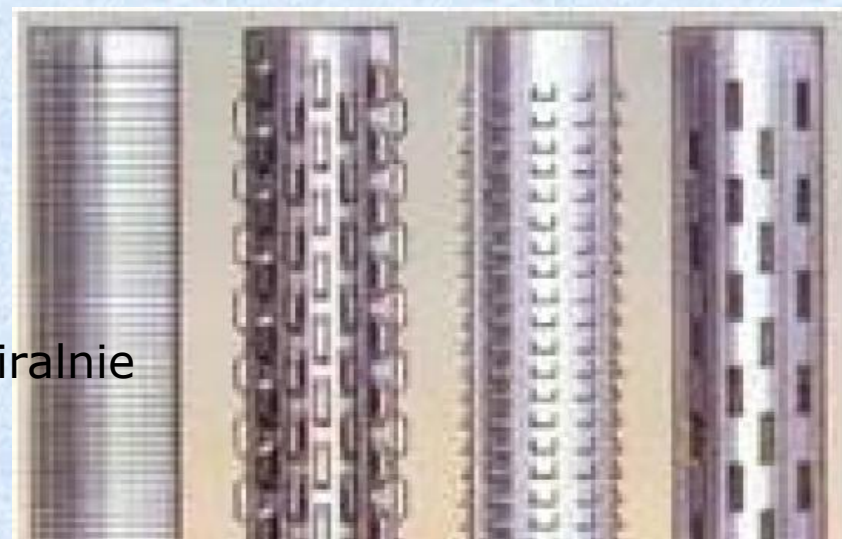


Filtry studzienne



Filtr szkieletowy

- **Filtry z nieprzerwanymi szczelinami**
 - **Filtry z szczelinami mostkowymi**
 - **Filtry perforowane**
- wykonuje się najczęściej z rur stalowych, PCV perforowanych otworami lub szczelinami
 - z drutu o profilu V nawiniętego precyzyjnie i spiralnie na pręty stalowe
 - perforacja tych filtrów za każdym razem jest dostosowywana do uziarnienia warstwy wodonośnej
 - filtry rurowe perforowane służą również jako szkielet do budowy innych rodzajów filtrów

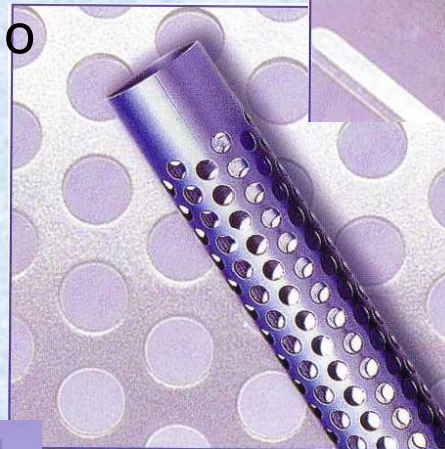
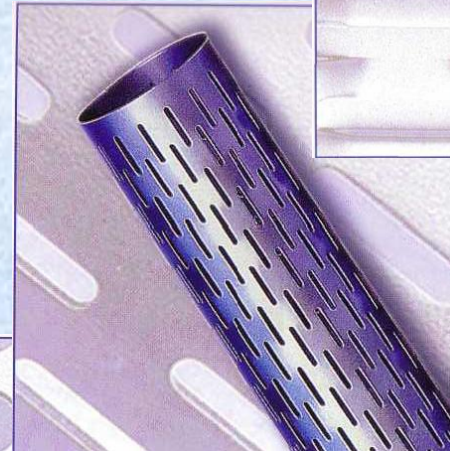
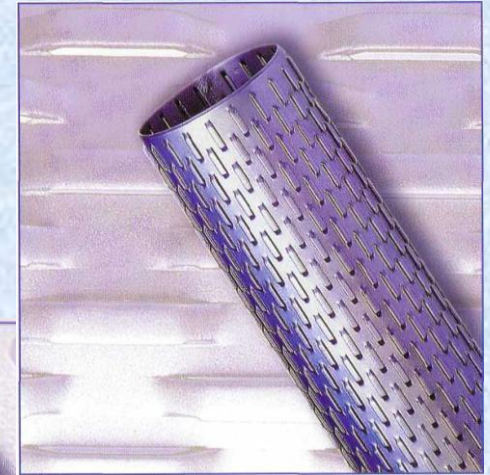


Zastosowanie

Filtry te instaluje się w spękanych skałach zwięzłych lub luźnych zbudowanych z gruboziarnistych żwirów

Zalecany dla warstw osadowych o dużej miąższości

Do średnich i małych prędkości przepływu



Filtry szkieletowe z ciągłą szczeliną ze stali szlachetnej charakteryzują się nieporównywalnie dużą przepustowością

Filtry z PCV stanowią doskonałą alternatywę dla filtrów ze stali nierdzewnej:

- odporne na agresywne substancje chemiczne i powodujące korozję,
- dobre własności mechaniczne
- mały ciężar
- łatwe w instalacji
- znacznie tańsze od filtrów stalowych.

Sz szczególnie zalecane jest stosowanie filtrów PCV w otworach płytkich.



Filtr PCV z naciętymi otworami

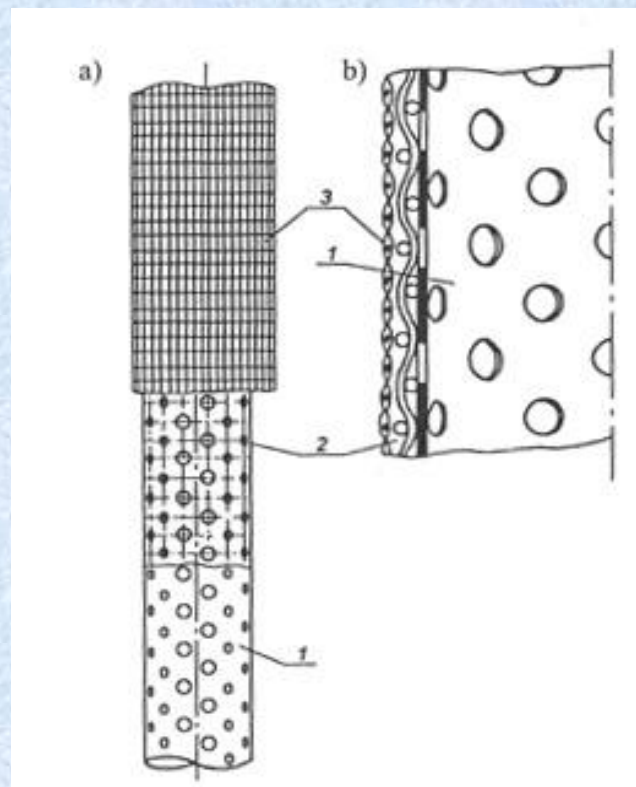
Filtry siatkowe

- Filtry siatkowe stosowane są do ujmowania wód podziemnych z luźnych warstw wodonośnych takich, jak piaski i żwiry.



Są one wykonywane z rury perforowanej, na którą odpowiednio nawinięta jest siatka filtracyjna spełniająca funkcję filtra właściwego.

- Wymiary otworów siatki filtracyjnej są dostosowywane do uziarnienia warstwy wodonośnej.



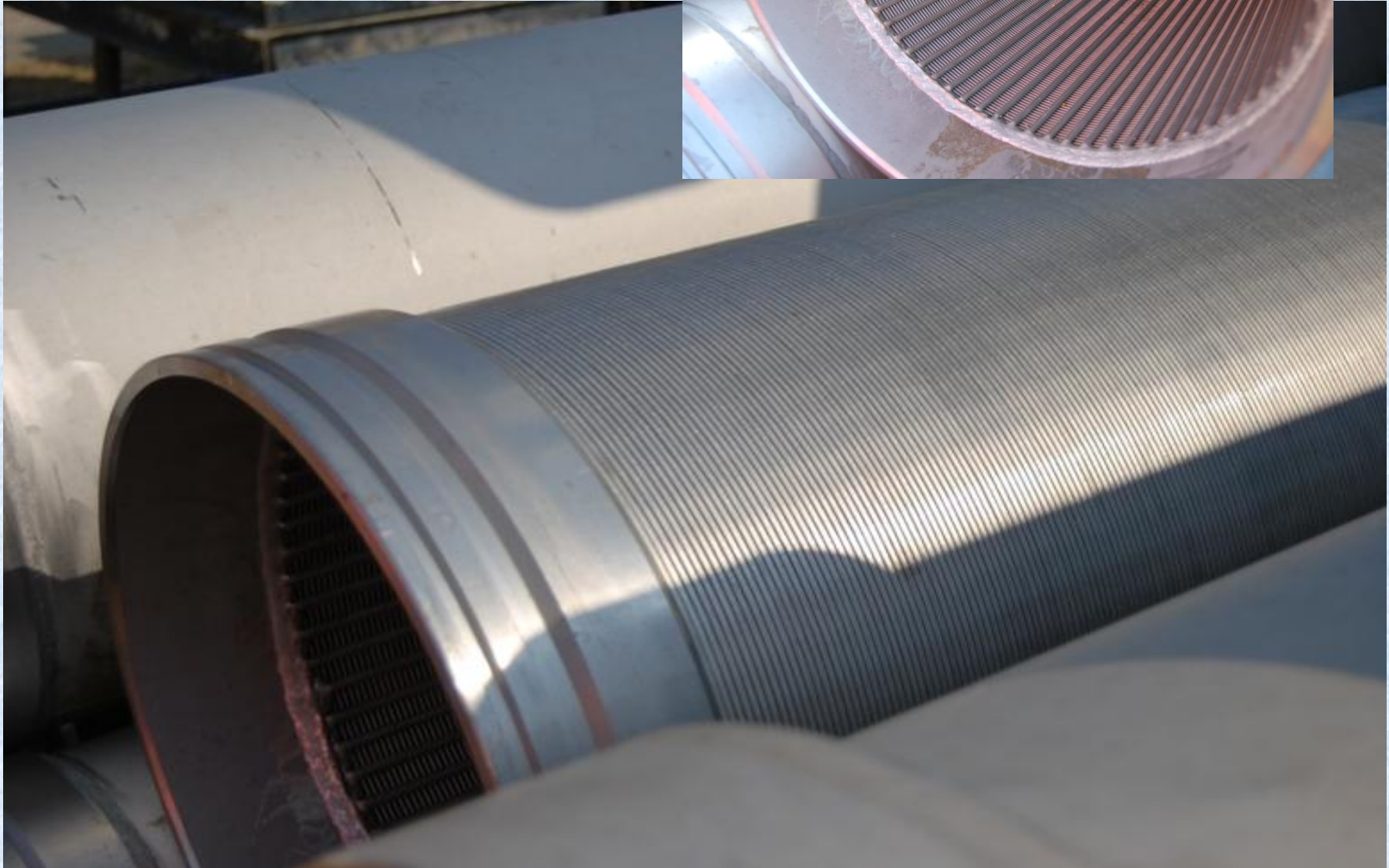
Filtr żwirowy

- Filtr żwirowy zbudowany jest z rury szkieletowej perforowanej, obsypanej lub obłożonej jedną lub kilkoma warstwami obsypki filtracyjnej o granulacji dostosowanej do istniejących warunków hydrogeologicznych
- Stosuje się je do ujmowania wody z warstw drobnoziarnistych,
- Posiadają małe opory hydrauliczne i umożliwiają powstanie w strefie przyfiltrowej naturalnego filtra. Wpływa to na poprawę warunków filtracji wokół otworu i podnosi sprawność studni.
- Stosuje się różne konstrukcje filtrów żwirowych. Mogą być wykonywane wprost w otworze wiertniczym lub na powierzchni w postaci gotowych elementów.

- Zaletą tych filtrów jest ich dokładne przygotowanie na powierzchni
- ograniczenie ilości zabiegów oczyszczających i uaktywniających
- mniejsze ryzyko zniszczenia filtra w czasie zabudowy kolumny filtrowej w studni
- pewność, że każda warstwa wodonośna jest prawidłowo nafiltrowana
- Wadą jest natomiast zmniejszenie porów przez wypełnienie ich w części żywicą użytą do klejenia, utrudnianie tworzenia się naturalnego filtra w strefie trzyotworowej oraz zatykanie porów filtra przez przepływające ziarna piasku z warstwy wodonośnej do wnętrza studni



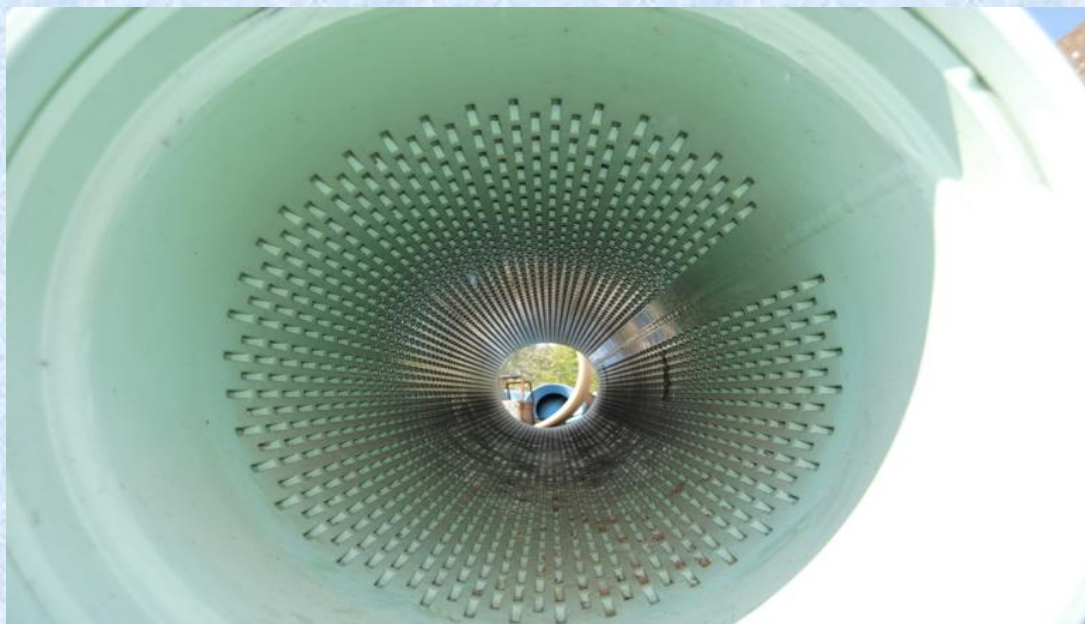
Filtr szkieletowy



Filtr szkieletowy podwójny



Filtr szkieletowy - mostkowy z okładziną naklejaną



Szkieletowy perforowany z okładziną naklejaną



Żwirowy z ożebrowaniem



Żwirowy z żebrowaniem



Filtr dyskowy (obręczowy)



Żwirowy z ożebrowaniem



Filtr dyskowy (obręczowy)



Filtr dyskowy (obręczowy)

