

Obciążenia obudowy szybów pełniących funkcje studni głębinowych i zbiorników retencyjno-dozujących

W przypadku szybów pełniących funkcję studni głębinowej i zbiornika retencyjno-dozującego, narażonych na oddziaływanie wód kopalnianych, należy się liczyć z występowaniem zaawansowanych procesów korozyjnych obudowy. W analizie nośności obudowy takich szybów należy uwzględnić zarówno obciążenie obudowy szybu od górotworu z uwzględnieniem zawodnienia, jak i ze strony słupa wód gromadzonych w szybie oraz zmian własności odkształceniowych i wytrzymałościowych betonu wzdłuż grubości pierścienia obudowy. Analizę stateczności obudowy można wykonywać stosując metodę analityczną lub metody numeryczne pozwalające na uwzględnianie lokalnych zmian własności materiału obudowy z uwzględnieniem przedstawionych schematów obciążenia obudowy.

1. WPROWADZENIE

Ze względu na występowanie połączeń hydraulicznych między sąsiadującymi ze sobą kopalniami głównie poprzez stare wyrobiska górnicze, w niektórych zlikwidowanych zakładach górniczych zachodzi konieczność ciągłego odwadniania wyrobisk górniczych i utrzymywania poziomu wody na bezpiecznej wysokości w celu niedopuszczenia do gwałtownego i niekontrolowanego wdarcia się wód do sąsiednich czynnych kopalń.

Owadnianie w zlikwidowanych zakładach górniczych odbywa się przy wykorzystaniu części wyrobisk górniczych – między in. szybów. Odwadnianie górotworu prowadzi się zasadniczo głównie dwoma systemami – stacjonarnym i głębinowym. W przypadku systemu stacjonarnego konieczne jest utrzymanie czynnych szybów, wyrobisk korytarzowych i komorowych wraz z infrastrukturą elektromaszynową. Głębinowy system odwadniania oparty jest na pracy agregatów pompowych zabudowanych w szybie – studni głębinowej. W wyniku pracy agregatów pompowych utrzymywany jest poziom odwadniania

na rzędnej eliminującej przelewanie się wód do czynnych kopalń. Obecnie system stacjonarny stosowany jest w 6 rejonach, a system głębinowy stosowany jest w 8 rejonach zlikwidowanych kopalń [3] w Górnos Śląskim Zagłębiu Węglowym.

W ostatnich latach Kompania Węglowa S.A. Oddział KWK PIAST rozpoczęła realizację systemu hydrotechnicznej ochrony Górnej Wisły przed zasalaniem wodami dołowymi, w którym wyrobiska i zroby poeksploatacyjne są wykorzystane jako zbiornik retencyjno-dozujący dla zasolonych wód, a szyb zlikwidowanego rejonu wydobywczego pełni funkcję studni głębinowej.

Stan techniczny obudowy szybu w podstawowym stopniu nie tylko warunkuje bezpieczne prowadzenie działalności wydobywczej kopalni, ale również w przypadku wykorzystania szybu, jako studni głębinowej w rejonach nieczynnych kopalń, umożliwi funkcjonowanie systemu odwadniania głębinowego.

W artykule omówiono główne czynniki oddziałujące na stan obudowy szybów pełniących funkcje studni głębinowych oraz przedstawiono sposób ustalania obciążenia obudowy takich szybów.

2. CZYNNIKI ODDZIAŁUJĄCE NA STAN OBUDOWY SZYBÓW PEŁNIĄCYCH FUNKCJĘ STUDNI GŁĘBINOWYCH

Obudowa betonowa szybów pełniących funkcję studni głębinowych jest narażona na działanie szeregu niszczących czynników środowiskowych o różnym nasileniu, do których można przede wszystkim zaliczyć:

- agresję chemiczną wód gromadzonych w szybie,
- ruch wody – zmienność położenia lustra wody w szybie,
- parcie słupa wody,
- agresję gazów obecnych w powietrzu,
- zmiany temperatury,
- wilgotność powietrza.

Beton jest materiałem konstrukcyjnym uzyskiwanym przez związanie kruszywa za pomocą zaczynu cementowego, a o odporności betonu na ujemne wpływy środowiska decyduje głównie stwardniały zaczyn cementowy. Cement portlandzki, z użyciem którego dotychczas wykonywano beton na obudowy szybowe, składa się z krzemianów, glinianów i żelazianów wapnia, które reagując z wodą, w czasie procesu wiązania, ulegają wewnętrznej przebudowie i powodują tworzenie stwardniałego zaczynu złożonego z uwodnionych związków wypełniających przestrzenie międzyciastkowe kruszywa. W wyniku reakcji powstaje wodorotlenek wapnia, szereg uwodnionych krzemianów o różnym stosunku CaO: SiO₂, uwodnione gliniany wapniowe z wbudowaną różną ilością CaSO₄ i Ca(OH)₂, uwodnione żelaziany. W stwardniałym zaczynie pozostaje jeszcze pewna ilość nieuwodnionych minerałów krzemianowych i glinianowych podatnych na dalsze reagowanie z wodą [4].

Wodorotlenek wapnia, będący silną zasadą, nadaje betonowi odczyn silnie zasadowy o wskaźniku pH w granicach 12–13,5. Fakt ten ma decydujące znaczenie w stabilizowaniu wytrzymałości betonu, kształtowaniu jego podatności na korozję i trwałość. W czasie działania wody lub roztworów wodnych na związany cement, jako pierwszy jest rozpuszczany i wymywany Ca(OH)₂. W konsekwencji tego zjawiska następuje zakłócenie równowagi chemicznej, rozkład uwodnionych składników o wyższej zawartości wapnia z wydzieleniem nowych ilości Ca(OH)₂ i utworzenie związków uwodnionych o niższej zawartości wapnia. W krańcowym przypadku, przy działaniu nadmiernej ilości wody, dalsze usuwanie z betonu Ca(OH)₂ prowadzi do wydzielenia całego wapnia z uwodnionych krzemianów,

glinianów i żelazianów i rozłożenia ich odpowiednio do żelu kwasu krzemowego, wodorotlenku glinu lub żelaza wykazujących znikomą wytrzymałość mechaniczną. Proces ten pociąga za sobą zniszczenie spoiwa i wypadanie kruszywa z betonu.

Destrukcja betonu może też nastąpić w przypadku, gdy jego składniki reagują z czynnikami zewnętrznymi z wytworzeniem związków o znacznie zwiększonej objętości. W wyniku tego typu reakcji następuje rozsadzanie betonu obudowy.

O korozji chemicznej betonu decyduje przede wszystkim struktura porów, która bezpośrednio wpływa na przepuszczalność oraz wielkość podciągania kapilarnego. Obciążenia mechaniczne, którym poddawany jest beton, są o tyle groźne, o ile mają wpływ na wzrost jego porowatości. Związane to jest przede wszystkim z powstawaniem mikropęknięć, które stają się drogami szybkiej dyfuzji jonów z gromadzonej wody do wnętrza betonu. Przyjmuje się, że transport reagujących jonów do wnętrza betonu może odbywać się za pomocą dwóch mechanizmów, a mianowicie [6, 7]:

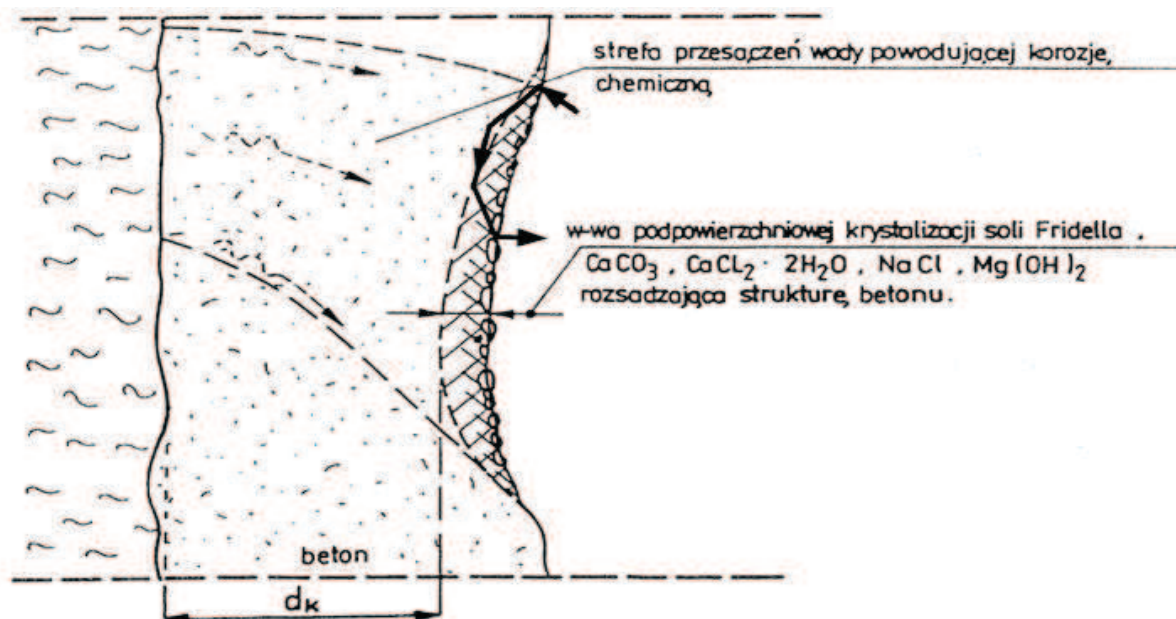
- przepływu roztworu do wnętrza betonu pod ciśnieniem lub w wyniku podciągania kapilarnego,
- dyfuzji jonów w roztworze obecnym w porach betonu, spowodowanej gradientem stężeń w różnych jego obszarach.

Pierwszy z tych mechanizmów powoduje szybszy postęp korozji, natomiast mechanizm dyfuzyjny jest znacznie wolniejszy.

W świetle doświadczeń z szybów, które były okresowo zatopione, stwierdzono, że po ich odtopieniu występował postępujący proces degradacji obudowy betonowej szybu [4, 5].

W praktyce najczęściej spotykanymi uszkodzeniami obudowy betonowej jest rozsadzanie powierzchni betonu przez ciśnienie krystalizacji produktów korozji betonu zwiększających swoją objętość w stosunku do objętości substratów od kilku do kilkuset procent, zwłaszcza dla produktów korozji siarczanowej. Makroskopowo widoczne jest to w postaci stopniowego odpajania i odpadania warstwy powierzchniowej obudowy (rys. 1). W przypadku obudowy murowej uszkodzenia spowodowane korozją głównie widoczne są w postaci ubytków zaprawy w spoinach [11].

Z tych względów można przyjąć, że w przypadku szybów pełniących funkcję studni głębinowych szczególnie narażonym odcinkiem obudowy na destrukcyjne wpływy środowiskowe będzie odcinek szybu, na którym występuje poziom horyzontu wody, zmienny w czasie.



Rys. 1. Przykład korozyjnych uszkodzeń powierzchni betonu [9, 11]

3. OBCIĄŻENIE OBUDOWY SZYBU PEŁNIĄCEGO FUNKCJĘ STUDNI GŁĘBINOWEJ

Podstawowe znaczenie dla funkcji, jaką pełni obudowa, posiada jej obciążenie, wytrzymałość i ewentualne uszkodzenia. Stosowana obecnie metodyka obliczenia obciążenia obudowy szybów oparta jest na normie PN-G-05016:1997 „Szyby górnicze. Obudowa. Obciążenie”, a przy wymiarowaniu obudowy szybu – rurę szybową traktuje się jako samodzielną konstrukcję (PN-G-05015:1997 „Szyby górnicze – Obudowa – Zasady projektowania”), która przejmuje oddziaływanie od strony górotworu tzw. ciśnienie obliczeniowe (PN-G-05016:1997 „Szyby górnicze – Obudowa – Obciążenia”).

Podstawowym warunkiem zapewniającym utrzymanie stateczności wyrobisk górniczych jest ich obudowa o wymaganej nośności. W przypadku obudowy szybów o jej nośności decydują przede wszystkim: konstrukcja obudowy, materiał użyty do jej wykonania oraz grubość obudowy. Jako nośność obudowy szybu można przyjąć wartość maksymalnego jej obciążenia, jakie może przejść obudowa, w której naprężenia maksymalne nie spowodują przekroczenia stanu granicznego materiału obudowy. Kryterium nośności obudowy można określić za pomocą współczynnika pewności przeniesienia obciążeń obudowy z wzoru:

$$n = \frac{\sigma_{oc}}{\sigma_{zred}} \quad (1)$$

gdzie:

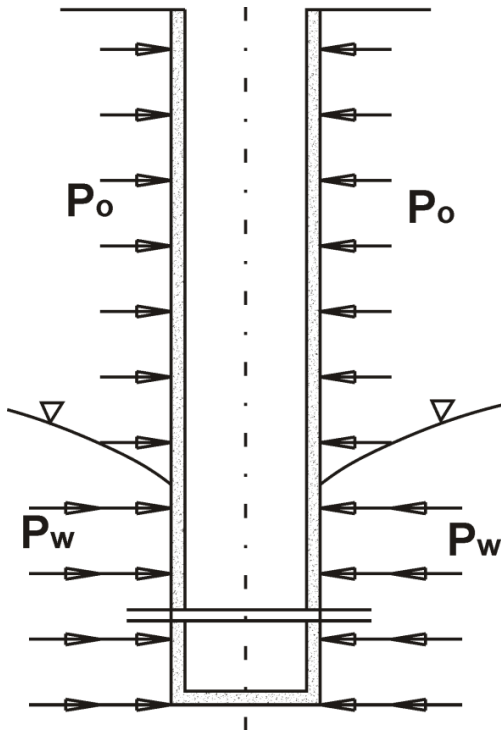
σ_{oc} – naprężenie dopuszczalne w obudowie betonowej szybu, przyjmowane jako wytrzymałość obliczeniowa f_{cd} betonu,

σ_{zred} – naprężenia zredukowane w obudowie, określone dla aktualnych obciążeń obudowy i aktualnego stanu deformacji obudowy.

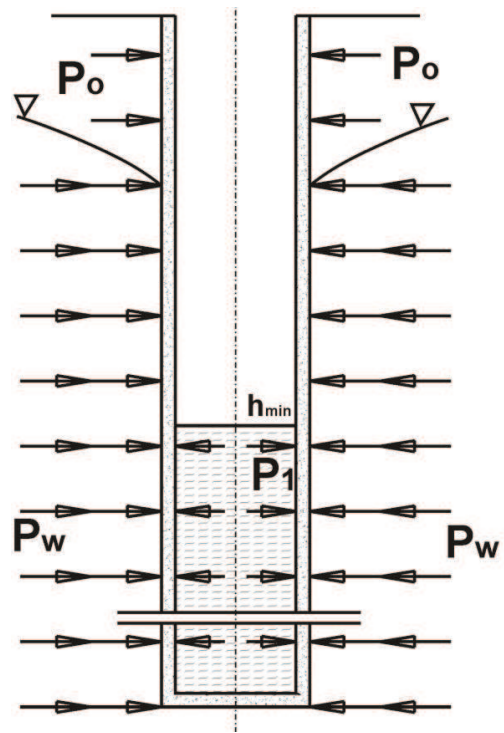
Obudowa spełnia wymagania kryterium nośności obudowy, gdy współczynnik pewności przeniesienia obciążeń spełnia warunek $n \geq 1,0$.

Z uwagi na gromadzenie się wód w szybie pełniącym funkcję studni głębinowej i zbiornika retencyjno-dozującego, należy uwzględnić zarówno obciążenie obudowy szybu od górotworu z uwzględnieniem zawodnienia, jak i obciążenia ze strony słupa wód gromadzonych w szybie; można więc wyróżnić następujące schematy obciążeniowe obudowy szybu:

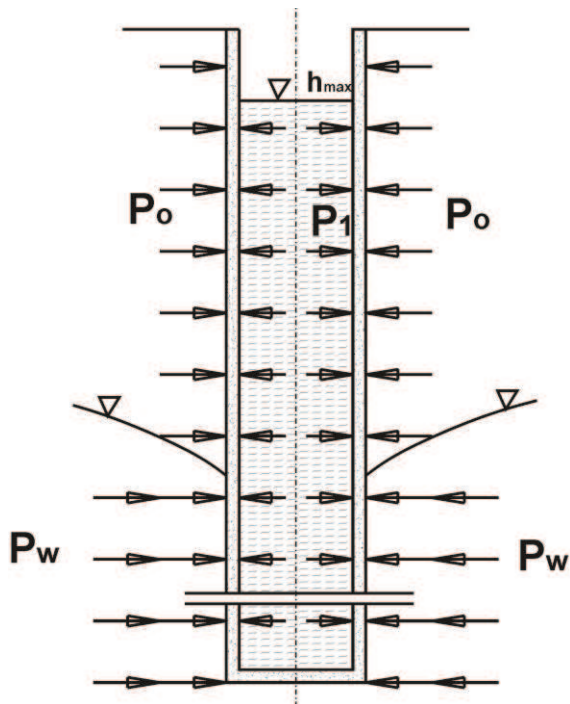
- schemat obciążeniowy I obudowy (rys. 2a) – obciążenie ze strony skał i odbudowujących się horyzontów wodnych,
- schemat obciążeniowy II obudowy (rys. 2b) – obciążenie ze strony skał i odbudowujących się horyzontów wodnych oraz słupa gromadzącej się wody w szybie przy maksymalnym jej spiętrzeniu,
- schemat obciążeniowy III obudowy (rys. 2c) – obciążenie ze strony skał i odbudowanych horyzontów wodnych oraz słupa wody gromadzącej się wody w szybie przy minimalnym jej spiętrzeniu.
- schemat obciążeniowy IV obudowy (rys. 2d) – obciążenie ze strony skał i odbudowanych horyzontów wodnych oraz słupa wody gromadzącej się wody w szybie przy maksymalnym jej spiętrzeniu,



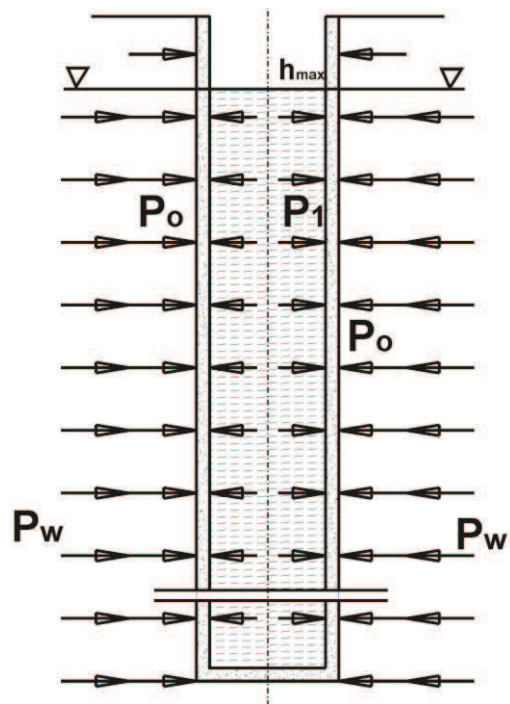
a) schemat obciążeniowy I obudowy



c) schemat obciążeniowy III obudowy



b) schemat obciążeniowy II obudowy



d) schemat obciążeniowy IV obudowy

Rys. 2. Schematy obciążeń obudowy szybu pełniącego funkcję studni głębinowej i zbiornika dozująco-retencyjnego (p_0 – obciążenie od skał, p_w – obciążenie od odbudowujących się horyzontów wodnych, p_1 – obciążenie od słupa wody w szybie)

Z uwagi na postępujące pogorszenie się stanu technicznego obudowy szybu wynikające m.in. z postępującej korozji betonu, powodującej często znaczne różnice w wytrzymałości betonu wzdłuż grubości obudowy, ocenę nośności obudowy należy wykonać z uwzględnieniem zmienności – gradientu własności odkształceniowych i wytrzymałościowych wzdłuż grubości obudowy.

Składowe stanu naprężenia w obudowie szybu pełniącemu funkcję studni głębinowej dla schematów jej obciążenia (rys. 2a, b, c i d) można określać z uwzględnieniem postępującej korozji obudowy, wydzielając w obudowie strefy pierścienie o zbliżonych własnościach wytrzymałościowych, przy czym składowe stanu naprężenia w wydzielonych pierścieniach w obudowie można obliczyć przy założeniu zmienności naprężeń radialnych według zależności:

$$\begin{aligned}\sigma'_{r(i-1)} &= K_{0(i)} \cdot p_{0(i-1)} \\ \sigma''_{r(i-1)} &= K_{0(i)} \cdot p_{w(i-1)} \\ \sigma'''_{r(i-1)} &= K_{0i}^* \cdot p_{1(i-1)}\end{aligned}\quad (2)$$

gdzie:

$K_{0(i)}$ – współczynnik przekazywania obciążeń od skał i odbudowujących się horyzontów wodnych na kolejne wyodrębnione pierścienie (i) w obudowie [1],

K_{0i}^* – współczynnik przekazywania obciążeń od słupa zgromadzonej wody w szybie, na kolejne wyodrębnione pierścienie (i) w obudowie,

4. PODSUMOWANIE

Obudowy wyrobisk podziemnych zarówno murowe jak i betonowe po kilkudziesięciu latach pracy ulegają silnym procesom destrukcji powierzchni, głównie korozyjnej.

W przypadku szybów pełniących funkcję studni głębinowej i zbiornika retencyjno-dozującego, narażonych na oddziaływanie wód kopalnianych, często charakteryzujących się wysokim stopniem zanieczyszczenia, którymi najczęściej są chlorki oraz aniony siarczanowe i azotowe należy się liczyć z występowaniem zaawansowanych procesów korozyjnych obudowy. W takich przypadkach korozji betonu, mogą występować istotne spadki wytrzyma-

łości obudowy szybu, a nawet lokalnie całkowita degradacja materiału obudowy. W analizie nośności obudowy takich szybów konieczne jest uwzględnianie zmian własności odkształceniowych i wytrzymałościowych betonu wzdłuż grubości obudowy. Analizę stanu naprężenia w obudowie można wykonywać posługując się przedstawionym sposobem analitycznym lub stosując metody numeryczne pozwalające na uwzględnianie lokalnych zmian własności materiału obudowy, z uwzględnieniem schematów obciążenia obudowy szybów pełniących funkcję studni głębinowej i zbiornika retencyjno-dozującego.

Literatura

1. *Aldorf J.*: Mechanika podziemnych konstrukcji. VSB – Technická univerzita Ostrava, 1999.
2. *Chudek M.*: Mechanika górotworu z podstawami zarządzania ochroną środowiska w obszarach górniczych i pogórnich. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2009.
3. *Czapnik A., Janson E., Jasińska A.*: Wybrane problemy monitoringu w zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Biuletyn PIG nr 436, Warszawa 2009, str. 55-60.
4. *Dukowicz A., Kleta H., Żyliński R.*: Ocena warunków geotechnicznych w otoczeniu szybu po jego odtopieniu. I Czesko-polskie geomechaniczne sympozjum. Ostrava, 1997.
5. *Duży S., Kleta H., Żyliński R.*: Ocena stateczności i zakres rekonstrukcji obudowy szybu „Julia” w aspekcie budowy pompowni głębinowej. Budownictwo Górnicze i Tunelowe 2000, nr 2.
6. *Fiertak M.*: Środki materiałowo-strukturalnego zabezpieczenia betonu cementowego przed korozją. XVII ogólnopolska konferencja warsztat pracy projektanta konstrukcji. Ustroń, 20÷23.02. 2002.
7. *Kilian W.*: Jakość betonu cementowego w budowach hydrotechnicznych w świetle wymagań normowych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej. Seria Konferencje, Wrocław, 2002.
8. *Kleta H.*: Badania numeryczne obudowy szybu dla potrzeb jej przystosowania do funkcji studni głębinowej. Międzynarodowa Konferencja „IV Szkoła Geomechaniki”, Gliwice- Ustroń, 1999.
9. *Kleta H., Witosiński J.*: Monitoring wglębny wytrzymałości obudowy szybu podstawą oceny jej nośności. Kwartalnik AGH, Górnictwo i Geoinżynieria, z. 3-4, Kraków, 2003.
10. *Kleta H., Witosiński J.*: Nośność obudowy szybu w świetle obliczeń numerycznych z wykorzystaniem wglębnych badań jej wytrzymałości. Budownictwo Górnicze i Tunelowe 2004, nr 1.
11. *Witosiński J.*: Uszkodzenia obudów szybowych oraz celowość ich defektoskopii metodami nieniszczącymi dla optymalizacji podstawowych technologii zabezpieczenia. Budownictwo Górnicze i Tunelowe 2002, nr 1.

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Miroslaw Chudek