

Praktyczne możliwości realizacji elektrowni szczytowo-pompowych w likwidowanych kopalniach głębinowych.

Dr inż. Grzegorz Peczkis
Gliwice XI 2020

- W artykule przedstawiono podstawy teoretyczne funkcjonowania elektrowni szczytowo-pompowej (w skrócie ESP).
- Opisano warunki pracy maszyn hydraulicznych dla tych obiektów, przytoczono przykłady.
- Scharakteryzowano badania Czeskie i analizy teoretyczne Niemiec możliwości realizacji magazynowania energii w wodzie w kopalniach głębinowych.
- Określono warunki rzeczywistej możliwości budowy ESP w Polskich KWK, w tym likwidowanych.
- Przedstawiono analizę parametrów pracy na charakterystykach pracy równolegle połączonych wielostopniowych pomp wirowych produkowanych i eksploatowanych powszechnie w Polsce.
- Przedstawiono wyniki obliczeń gabarytów układu przepływowego dedykowanej na wybrane parametry wielostopniowej pompy wirowej na moce 12 i 24 MW.
- Określono zagrożenia dla pracy ESP np. z uwagi na występowanie uderzenia hydraulicznego w rurociągach.

„+”

- **Sprawność Elektrowni Szczytowo-Popowych dochodzi do 75%.**
- Czynnikiem na który pracuje ESP (woda) jest neutralny środowiskowo i nie ulega degradacji w wyniku pracy ESP.
- Obecnie technologia pracy ESP jest już dobrze znana, realizowane jest zdalne uruchomienie ESP.
- 95% udział ESP w światowym masowym magazynowaniu energii nie ulega zmianie.

„-”

- Koszty budowy indywidualnych ESP nie znajdują uzasadnienia w obecnych cenach (różnicach cen) energii.
- ESP nie jest uznawane za element OZE. Brak: dotacji, świadectw pochodzenia i umorzeń.
- Wszelkie działania w kopalniach podlegają wymogom (ograniczeniom) Prawa Górniczego. Brak spójnych przepisów dla ESP w KWK.

Podstawy teoretyczne:

$$\eta_{SP} = \frac{E_w}{E_d} * 100\% \quad (1)$$

$$N_{uż} = \gamma Q H, W \quad (2)$$

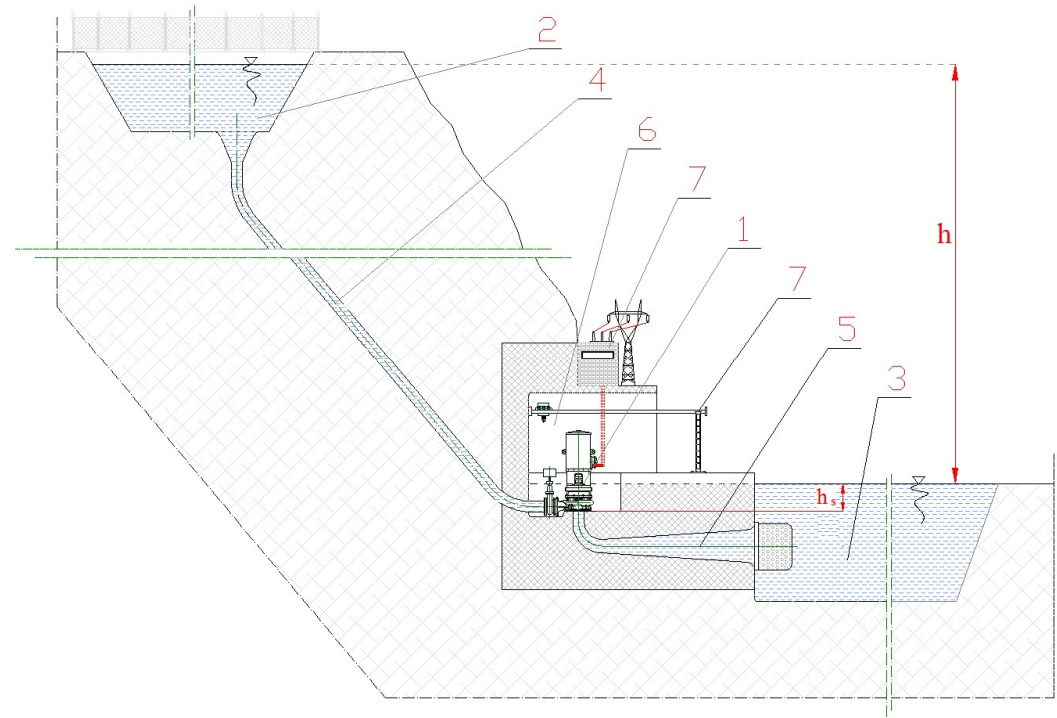
$$E_{uż} = N_{uż} \cdot t, Wh \quad (3)$$

$$N_t = \frac{\gamma Q H}{\eta_t} \quad (4)$$

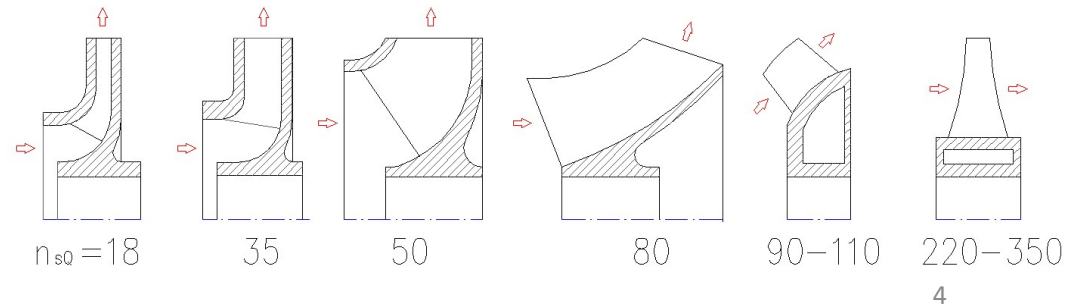
$$N_p = \frac{\gamma Q H}{\eta_p} \quad (5)$$

$$H_{s max} \leq \frac{p_d - p_v}{\gamma} - \sum \Delta h_s - NPSH + \frac{v_s^2}{2g} \quad (6)$$

$$NPSH = H \cdot 1,216 \cdot 10^{-3} \cdot n_Q^{\frac{4}{3}} \quad (7)$$



$$n_Q = n Q^{\frac{1}{2}} H^{-\frac{3}{4}} \quad (8)$$



Badawcza elektrownia wodna w KWK Jeremenko, Ostrawa, Czechy

Uruchomiono pilotażowo 17 lipca 2015 roku, po 4,5 letnim okresie prac przygotowawczych.

Elektrownia została utworzona ze znacznym udziałem finansowym Państwa Czeskiego (52,4 z 79mln korun czeskich)

Turbina wodna typu Peltona na poziomie ok. 580 metrów poniżej zrębu. Wydajność $Q = 0,14m^3/s$, prędkość obrotowa turbiny $n = 1500 obr/m$. Wypompowywanie wody istniejącym układem głównego Odwadniania.

Możliwe włączanie zdalne przez operatora spoza kopalni.

Układ z założenia miał pracować na mocy 732 kW, uzyskano ok 680 kW mocy elektrycznej (napięcie 400V).

W układzie krążyła woda kopalniana, zasolona o temperaturze ok. 26 stopni.

Zbiornik powierzchniowy miał objętość ok. $4000 m^3$ z czego objętość robocza wynosiła $3000 m^3$ a rurociąg prowadzący wodę do turbiny średnicę DN 300



W zestawieniu wniosków określono moc docelowej elektrowni szczytowo-pompowej w zależności od warunków kopalni na **5-10 MW** oraz wielkość zbiorników górnych na powierzchni około 20 tys. m^3 .

Analizy Niemieckie.

Obecny potencjał niemieckich elektrowni szczytowo-pompowych o łącznej mocy ok. 5 GW

W ramach projektu „**Magazynowanie energii wiatrowej poprzez ponowne wykorzystanie zlikwidowanych kopalń**”, finansowanego przez **Federalne Ministerstwo Środowiska**, grupa naukowców z **Clausthal University of Technology (Clausthal-Zellerfeld, Dolna Saksonia, Niemcy)** oraz przedstawiciele przemysłu wyznaczyła 104 obiekty podziemne, które nadają się na elektrownie szczytowo-pompowe.

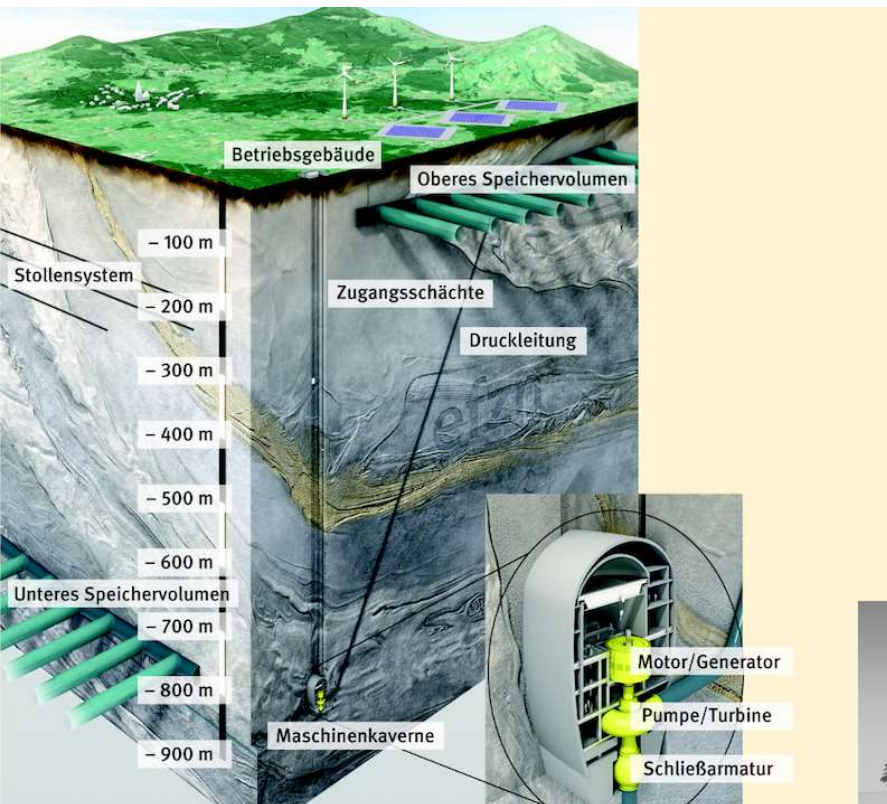
Informacje o prowadzonych pracach podawano od początku lat 2010 zakładając docelowe rozpoczęcie prac na wyznaczonych obiektach pokopalnianych na lata 2015-2018. Okres ten nie został dotrzymany.

Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono, że najwłaściwszymi będą być kopalnie rud metali.

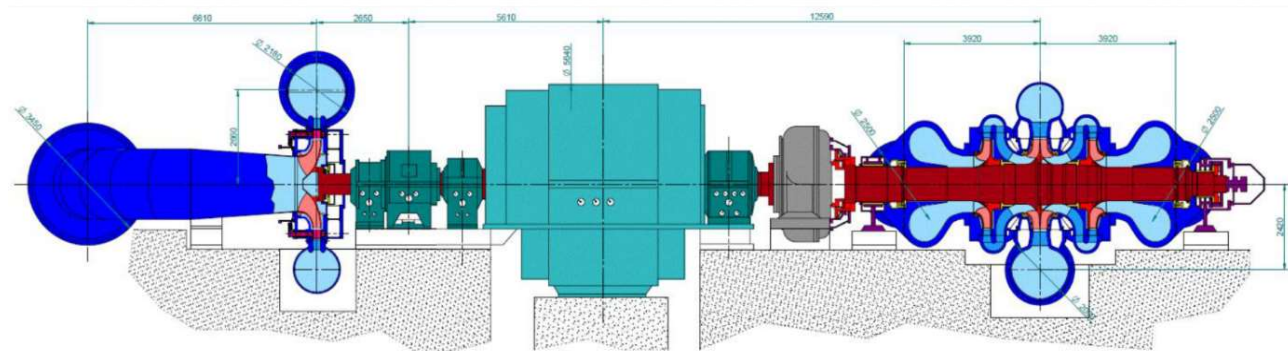
Jako kopalnie pilotażowe wskazano dawną kopalnię rudy Pöhla w Erzgebirge oraz szyb Wiemann nieczynnej kopalni rudy Grund w górach Harz.

W zunifikowanym systemie każda w elektrowni ma dysponować mocą 100 MW oraz zbiornikami wodnymi umożliwiającymi produkcję 400MWh energii elektrycznej rocznie.

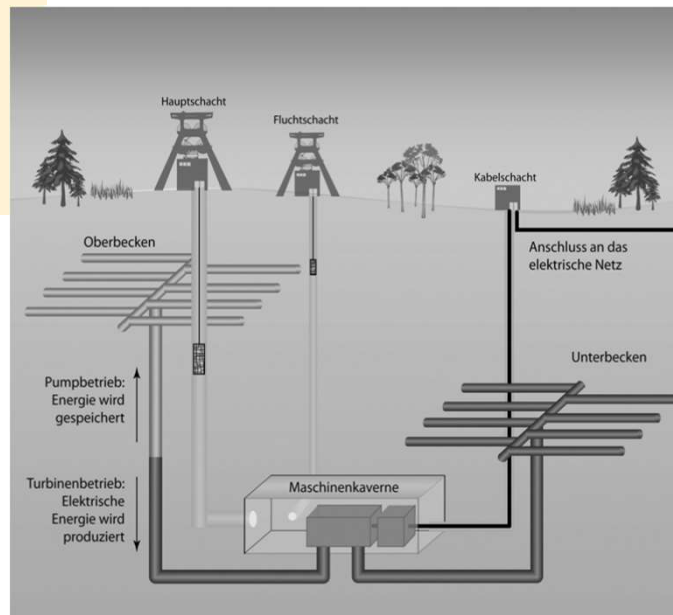
Założono spad o wysokości 700m oraz objętość możliwych do wykorzystania/wykonania podziemnych tuneli i kanałów 240 ÷ 260 tys. m³.



Oryginalny schemat elektrowni szczytowo-pompowej w zlikwidowanej kopalni rud metali. Energie-Forschungszentrum Niedersachsen. Autor dr Franz Meyer.



Zespół turbiny wodnej, generatora/silnika i pompy dwustrumieniowej, dwustopniowej dedykowany do pracy w kopalni. Moc generacji 90 MW. Źródło Voith AG)



Schemat podziemnej elektrowni szczytowo-pompowej. Katedra i Instytut Hydrotechniki i Gospodarki Wodnej, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen Univ.-Professor Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf.

W dniach 20 i 21 listopada 2014 na II konferencji magazynów pompowych EFZN (Goslar) inżynier Stephan Hloucal zaprezentował prace pilotażowego projektu badawczego elektrowni szczytowo-pompowej kopalni węgla kamiennego Am Petersenschacht (Sondershausen, Niemcy).

Układ turbiny **Peltona** współpracował z pompami odwadniania kopalni, która pozostawała w ruchu. Potencjał dolnych zbiorników wodnych w istniejącym systemie wynosił 10 tys. m³ wody.

Różnica poziomów względem powierzchniowego zbiornika górnego przekraczała 700m.

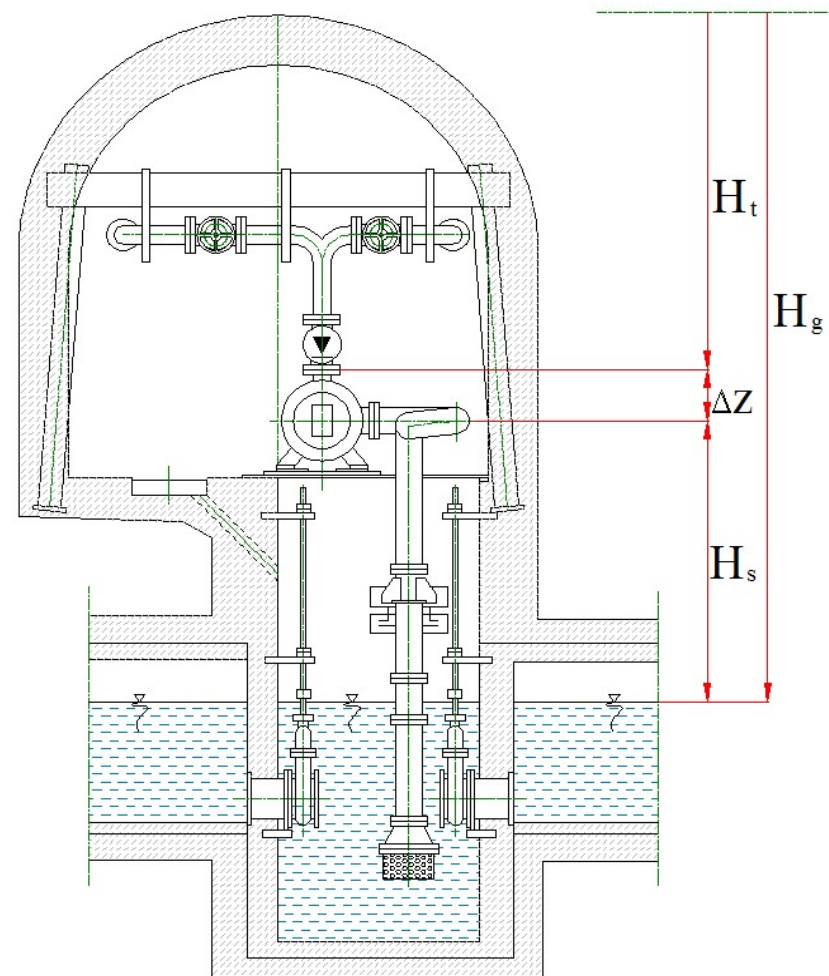
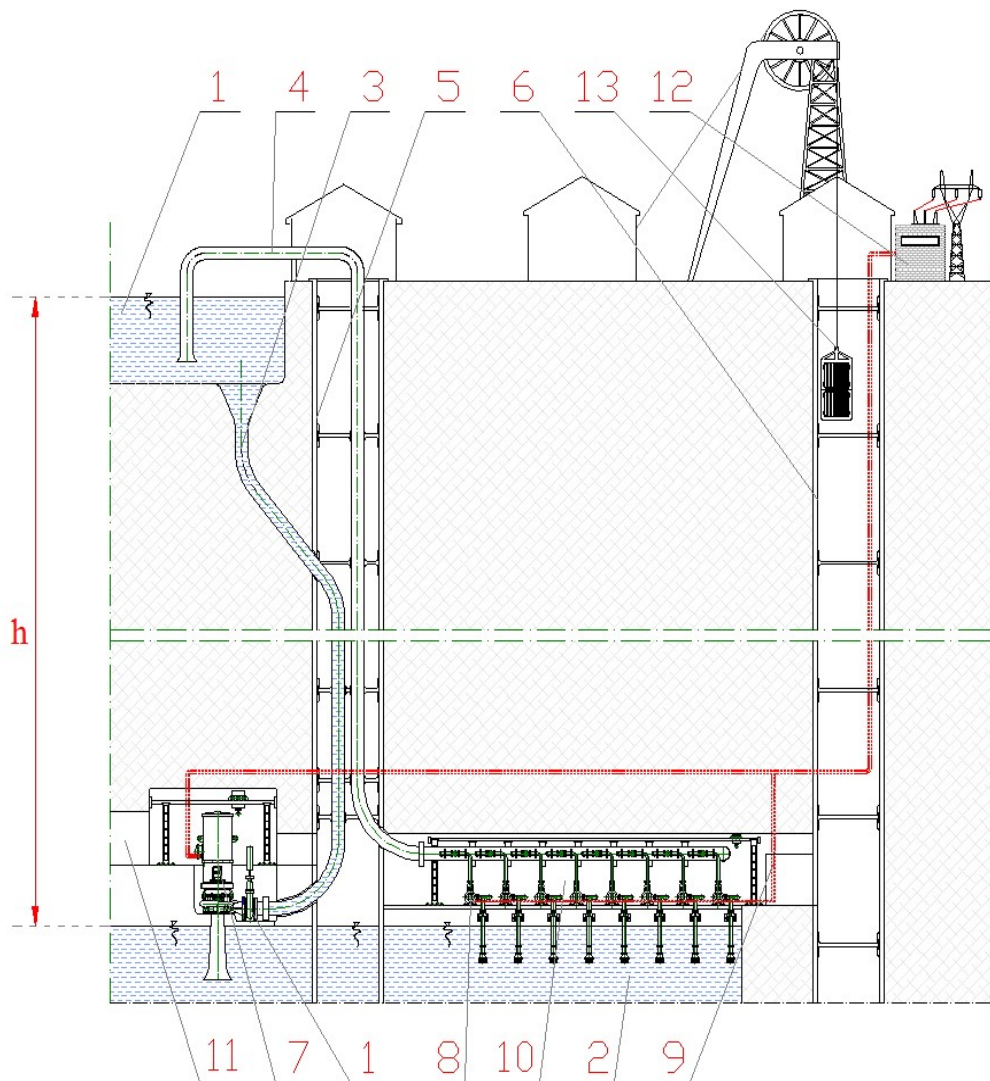
Moc maszyn hydraulicznych możliwą do zabudowy określono w zakresie 1,5-1,8 MW. Przepływ 250 l/s realizowano 4 rurociągami DN200.



Ograniczenia techniczne budowy ESP w KWK (Polska).

1. Średnica szybu (max 9,6 m bez obudowy, realnie 4,6 x 4 m)
2. Metan na głębokościach w KWK
3. Wyłukiwanie chodników nie będących skałą
4. Minerale i drobinki kwarcu w wodzie pompowanej
5. Zasolenie wody
6. Prawo górnicze i wynikające z niego ograniczenia np. godzin pompowania
7. URE nie definiuje Elektrowni Szczytowo Pompowych jako wsparcie OZE

Koncepcje ESP w likwidowanych KWK w Polsce z wykorzystaniem istniejących pomp głównego odwadniania.



Próby z pompą głębinową.

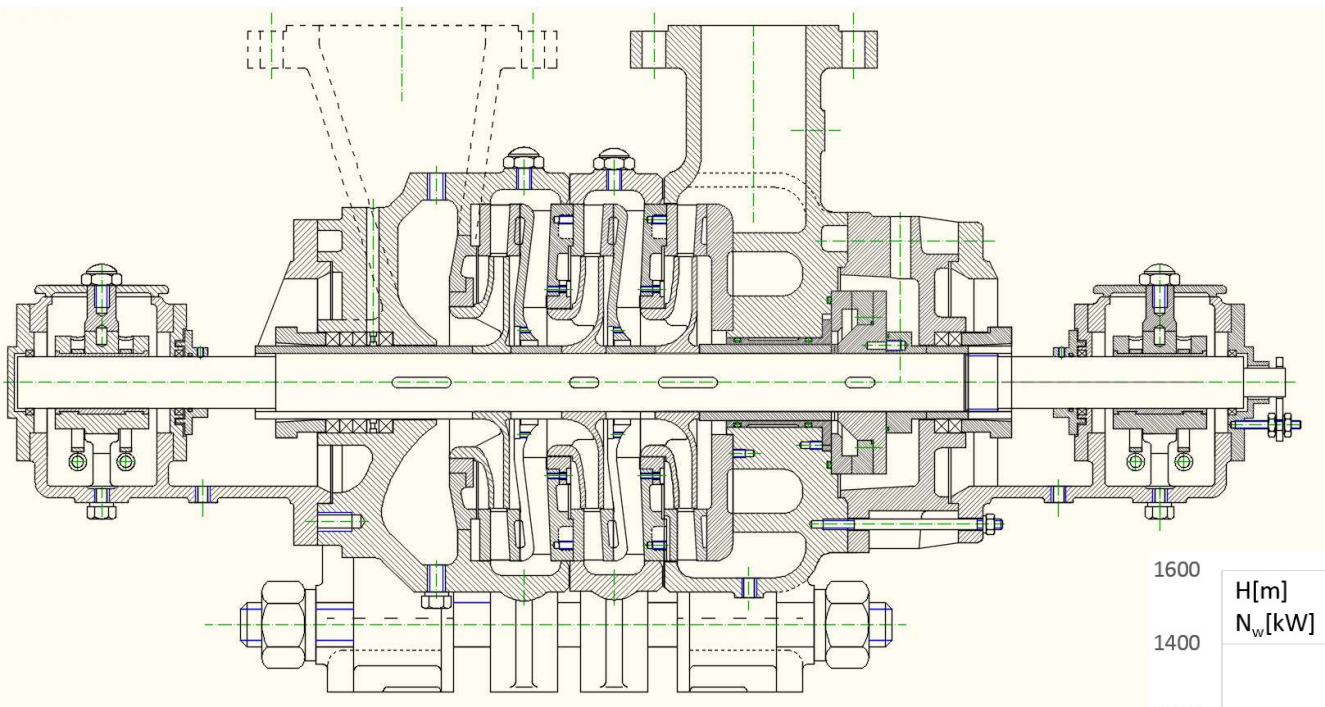
Pompa głębinowa jest zawieszona na rurociągu tłocznym

Podczas wyciągania pompy do remontów rozłącza się kolejne odcinki rurociągu i odstawia je.

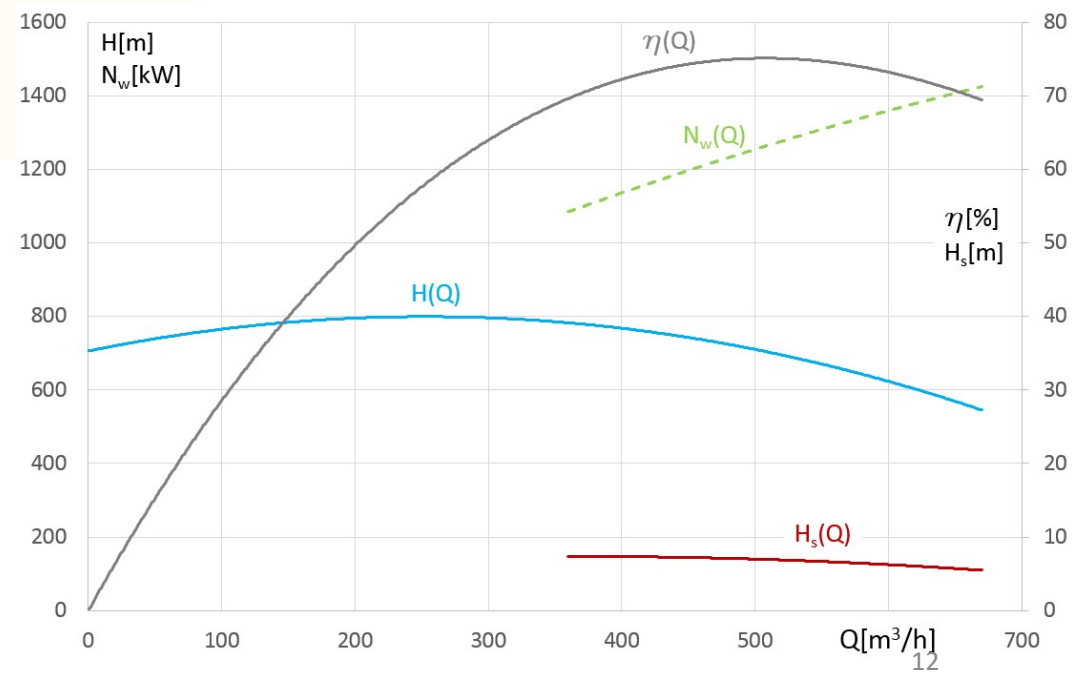
W ten sposób postępując zbyt szybko do chodzi do rozkołysania pompy na „wiotkim rurociągu”

Problemy z osadzaniem minerałów tzw. „Kamień”

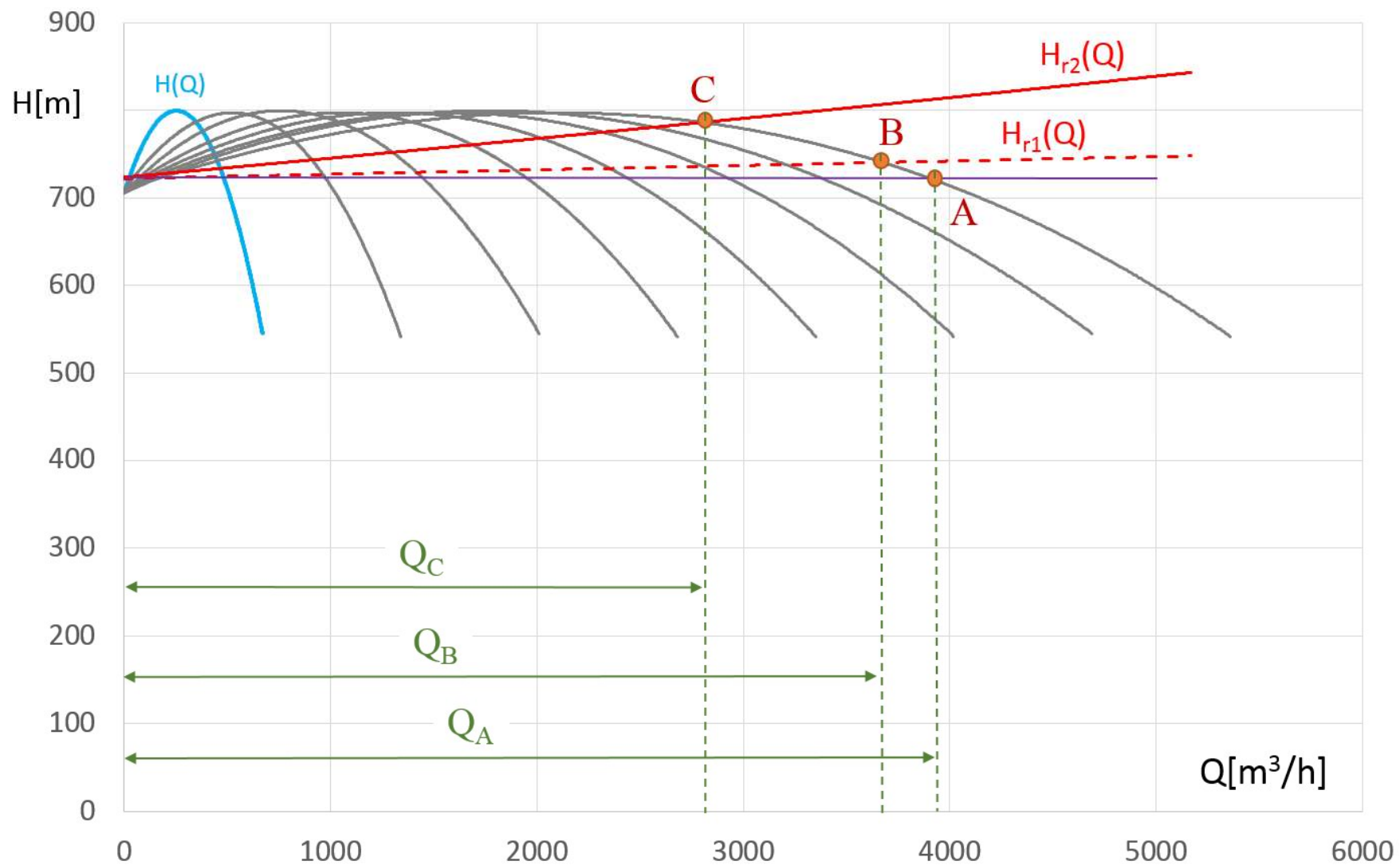
Problemy z korozją w wodzie zasolonej.



Pompa głównego odwadniania kopalń 3 stopnie.



Ch-ka pompy głównego odwadniania - 10 stopni.



Charakterystyka współpracy równoległe połączonych pomp z rurociągiem.

Obliczenia dedykowanego układu przepływowego pompy (10-12 stopni).

Obliczenia wykonano według algorytmów: Tadeusz Troskoleński, Waldemar Jędral oraz Andrzej Korczak.

~12 MW (10stopni)

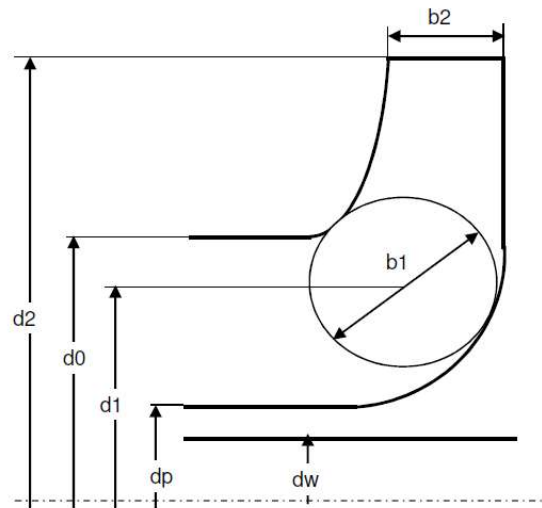
Q= 4500 [m³/h]
 H= 73 [mH₂O]
 n= 1450 [obr/min]
 n_{sQ}= 64,91
 η_p= 88,00 [%]

d_w= 140 [mm]
 d_p= 165 [mm]
 d₁= 385 [mm]
 d₀= 472 [mm]
 d₂= 590 [mm]

K_cm₁= 0,24
 K_cm₂= 0,19
 c_{m1}= 9,083
 c_{m2}= 7,191
 c₀= 8,3

b₁= 0,1204
 b₂= 0,0980

β₁piasta= 76,63
 β₁= 20,26
 β₁szyja= 62,41
 β₂= 28
 z= 5



~24 MW (8stopni)

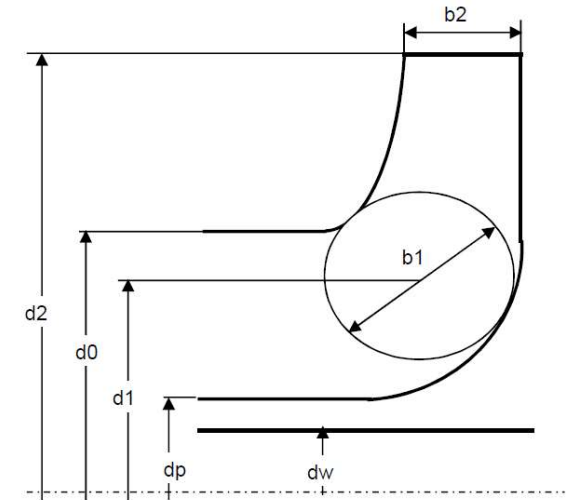
Q= 10000 [m³/h]
 H= 100 [mH₂O]
 n= 960 [obr/min]
 n_{sQ}= 50,60
 η_p= 80,00 [%]

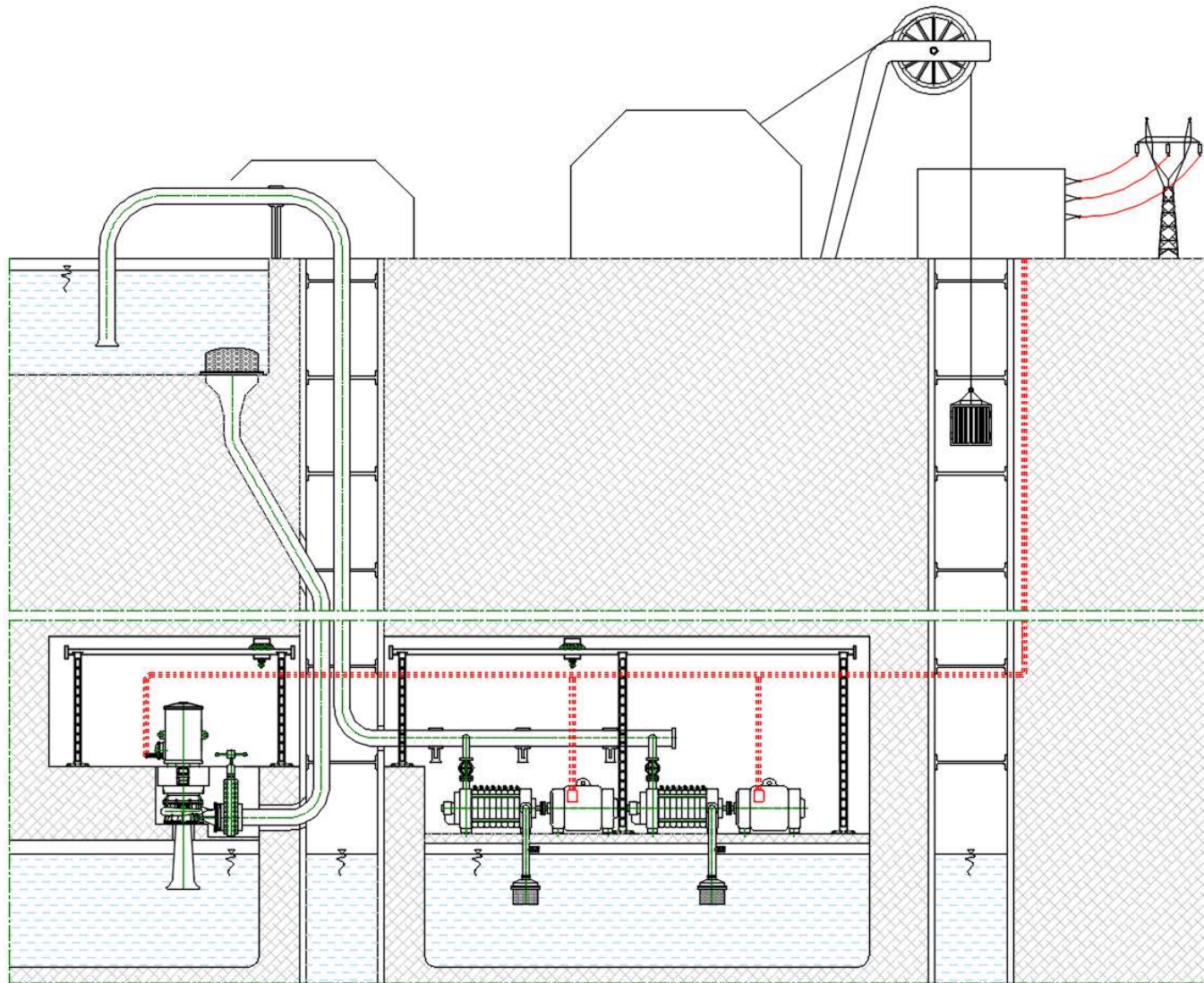
d_w= 140 [mm]
 d_p= 165 [mm]
 d₁= 480 [mm]
 d₀= 660 [mm]
 d₂= 925 [mm]

K_cm₁= 0,21
 K_cm₂= 0,17
 c_{m1}= 9,302
 c_{m2}= 7,530
 c₀= 8,8

b₁= 0,2071
 b₂= 0,1315

β₁piasta= 82,25
 β₁= 24,08
 β₁szyja= 72,09
 β₂= 28
 z= 5





Schemat ESP z rozdziałem pracy: turbiny wodnej i dwóch nowych pomp wirowych.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra biologie



STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA SDĚLOVACÍ TECHNIKY
110 00 Praha 1, Panská 856/3
☎ 221 002 111, 📠 221 002 666
URL: <http://www.panska.cz>
E-mail: sekretariat@panska.cz

H.-P. Beck, M. Schmidt (Hrsg.)

Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke

Abschlussbericht

Goslar, 31.08.11

Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
Am Stollen 19
38640 Goslar
Telefon: +49 5321 3816 8000
Telefax: +49 5321 3816 8009
<http://www.efzn.de>

Bakalářská práce

Petr Sláčala

Environmentální aspekty vodních elektráren

v České republice

OLOMOUC 2015

Vedoucí práce: Mgr. Monika Morris, PhD.

PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY

PRAKTICKÁ MATURITNÍ ZKOUŠKA Z ODBORNÝCH PŘEDMĚTŮ

Studijní obor 78-42-M/001
Technické lyceum
Třída 03K
Školní rok 2006/2007

Daniel Lukeš
Jméno a příjmení autora

Ukázka práce

- [1] Łazarkiewicz S. Troskolański A.T. “Pompy Wirowe” Wydawnictwa naukowo-Techniczne, Warszawa 1973
- [2] A. Lohrengel, G. Schäfer, N. Nagler, L. Meier Nindenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke, Berichtsteil: Voith AG & Institut für Maschinenwesen (IMW), Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen, Goslar, 31. März 2011, p.278-334
- [3] Michaela Mužíková MOŽNOSTI VYUŽITÍ DŮLNÍCH DĚL JAKO PŘEČERPÁVACÍ ELEKTRÁRNY, DIPLOMOVÁ PRÁCE, VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava 2016
- [4] “Snapshots of Pumped-Storage Projects” Hydro Review, Issue 6 and Volume 16. 12.01.2008
- [5] H.-P. Beck, M. Schmidt “Kurzfassung für Entscheider” Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, Goslar, 31.08.11,p. 8-32
- [6] Steller Janusz “Hydropower and its development” Acta Energetica 3/16 (2013) | 7–20
- [7] Petr Slácala Environmentální aspekty vodních elektráren v České republice” Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc 2015, 70 p.
- [8] Daniel Lukes „Precepavaci vodni elektrarny” Pracicka Maturitni Zkouska, Stredni Prumyslova Skola Sdelovaci Techniky, 2007 Praha, 19 p.
- [9] Stephan Hloucal “Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien” Vortrag anlässlich der 2. Pumpspeichertagung des EFZN, 20. & 21. November 2014, Goslar
- [10] Steffen B., 2011. Prospects for pumped-hydro storage in Germany. Chair for Management Science and Energy, Economics, University of Duisburg-Essen.
- [11] Rodolfo Alvarado Montero, Andre Niemann, Timo Wortberg “Underground Pumped-Storage Hydroelectricity Using Existing Coal Mining Infrastructure” *E-proceedings of the 36th IAHR World Congress 28 June – 3 July, 2015, The Hague, the Netherlands*
- [12] Uddin N., 2003. Preliminary design of an underground reservoir for pumped storage. Geotechnical and Geological, Engineering 21; Kluwer Academic Publishers.
- [13] Jęrdal Waldemar “Pompy wirowe” Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014, p. 478
- [14] H Luick , A Niemann , E Perau , U Schreiber Coalmines as Underground Pumped Storage Power Plants (UPP) – A Contribution to a Sustainable Energy Supply? Geophysical Research Vol. 14, EGU2012-4205, 2012 EGU General Assembly 2012
- [15] André Niemann “Main concepts for construction of pump storage system using coal mining infrastructures Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management” University of Duisburg-Essen, Project, November 2017
- [16] Reinhard Madlener, Jan Martin Specht “An Exploratory Economic Analysis of Underground Pumped-Storage Hydro Power Plants in Abandoned Deep Coal Mines” Energies, 28 October 2020
- [17] Madlener, R.; Specht, J.M. An Exploratory Economic Analysis of Underground Pumped-Storage Hydro Power Plants in Abandoned Coal Mines; FCN Working Paper No. 2/2013; Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior: Aachen, Germany, 2013
- [18] Florian Havranek “Pumpspeicherkraftwerke als zentraler Baustein der Energiewende: Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für das deutsche und österreichische Marktgebiet”, Diplomarbeit, University of Natural Resources and Life Sciences, Wien, November 2012
- [19] [Xing Luo](#), [Jihong Wang](#), [Mark Dooner](#), [Jonathan Clarke](#) „Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation” [Applied Energy Volume 137](#), 1 January 2015, Pages 511-536
- [20] Borden, E. Expert Views on the Role of Energy Storage for the German Energiewende. In Final Report Alexander von Humboldt Foundation German Chancellor Fellowship “Energy Storage Technology and Large-Scale Integration of Renewable Energy”; German Institute for Economic Research (DIW): Berlin, Germany, 2014
- [21] Andrzej Korczak, Jerzy Rokity „Pompy i układy pompowe” Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997r.