

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

VODNÍ A VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Vodní motory 1

Milan Bělík

Vodní motory

- **potenciální energie**
 - **kinetická energie**
 - **potenciální + kinetická**
-
- **netradiční a historické**
 - **vodní kola**
 - **vodní turbíny**
 - **vodní čerpadla v turbínovém režimu**



Netradiční a historické vodní motory

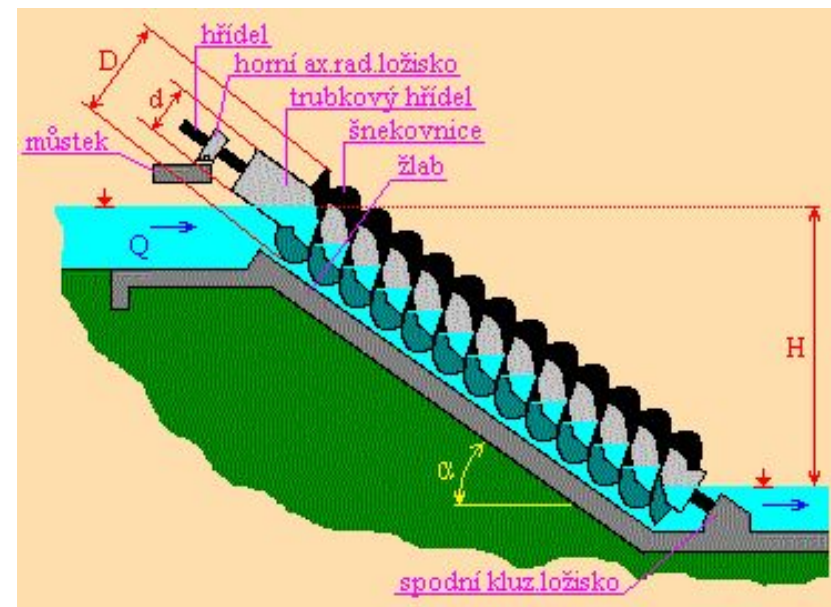
- **Archimédův šroub**
 - ◆ vícechodý šikmý šnek – původně pro čerpání
- **vodosloupcový stroj**
 - ◆ hydraulický píst – obdoba parního stroje
- **čerpací spirála**
 - ◆ pomaloběžná dutá vinutá spirála
- **vodní trompa**
 - ◆ proudový gravitační vodní píst – komprese vzduchu
- **vodní trkač**
 - ◆ využívá hydraulického rázu při prudkém uzavření

- **Savoniova turbína**
 - ◆ poloválcová turbína – obdoba větrného motoru Savonius
- **Teslova turbína**
 - ◆ využívá tření vody o plochu disků oddělených štěrbinami
- **Setur turbína**
 - ◆ využívá odvalování rotačního profilu v konfuzoru
- **Schneiderova hydrodynamická jednotka**
 - ◆ oběžné pásy s lopatkami mezi 2 kladkami
- **STO oscilátor**
 - ◆ lineární píst s přepouštěcími klapkami
- **Linear Pelton**
 - ◆ lineární Peltonova turbína



Archimédův šroub

- 3. stol. př.n.l. – Archimédes
 - ◆ původně pro čerpání
 - dvou - tříchodý šnek
 - šikmé uložení v trubce nebo kanálu
 - ◆ sklon 25 – 30 °
 - ◆ voda se nesmí přelévat do dalšího závitů
 - ◆ hladký kanál (plech, laminát, natřený beton)
 - využívá potenciální energii
 - ◆ tíhu vody na šikmou plochu šroubu
 - volný nátok k závitům
 - voda klesá dolů po šroubovici
 - volný odtok od závitů
 - poslední závit brodí v odpadu
 - necitlivost na čistotu vody
 - robustní, spolehlivý, šetrný k vodním živočichům
 - stačí malý průtok – hltnost od 15 %
 - špatná regulovatelnost
 - ◆ při ztrátě zátěže se rychle roztáčí průběžnými ot.
 - účinnost 70 – 82 %
 - MVE do 150 kW, asynchronní generátor
 - 20 ot/min (velké) – 80 ot/min (malé)
 - využití jalových přepadů
 - GESS CZ s.r.o.
-
- v zimě namrzá
 - dutý hřídel – polovina průměru šroubovice
 - velké rozměry a hmotnost, průhyb hřídele



Archimédův šroub – MVE Kaceřovský mlýn

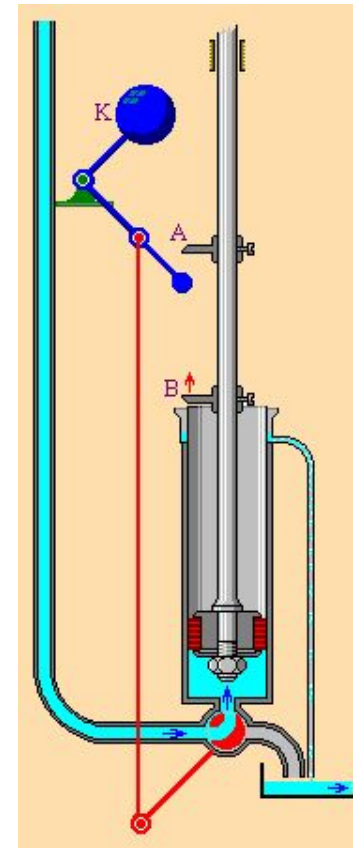
- Berounka 111,4 km
- rekonstrukce 2013
- průměr 3,5 m, 10 t, GESS CZ
- spád 1 - 1,7 m
- hltnost 20 m³/s
- návratnost 10 let

Typ vodního motoru	Plnění stroje – hltnost [%]									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Archimédův šroub	25	74	77	79	82	82	83	83	84	85
Kaplanova turbína	15	70	85	88	90	90	90	90	88	85
Francisova turbína	–	–	15	58	72	78	82	82	82	80
Bánkiho turbína	–	40	60	68	72	74	75	74	72	70



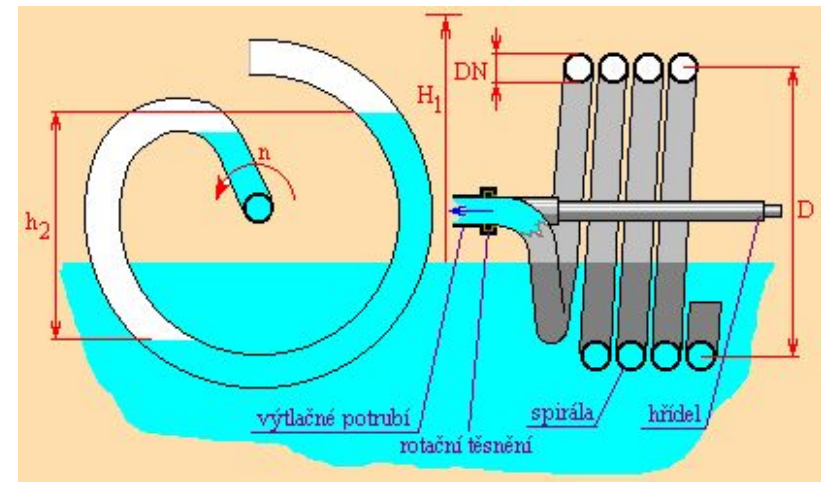
Vodosloupcový stroj

- 1749, Karol Hell (Slovensko)
 - mechanická účinnost 78 %
 - pracovní válec s pístem
 - ◆ inspirace parním strojem
 - ◆ nestlačitelná voda – přestavitelný rozvod
 - dvoucestný kohout s rozvodem
 - zvrtný mechanismus pro nulovou polohu
 - ◆ padací kladiva
 - tlaková voda se přivádí ocelovými trubkami
 - malá hltnost
 - malé otáčky (jednotky/min)
-
- 17 m vysoký čerpací stroj
 - ◆ důl Alte Mordgrube (mezi Chemnitz a Dresden)
 - ◆ 1. třetina 19. stol



Čerpací spirála

- není to pravý vodní motor
 - ◆ použití pro čerpání
- navinutá trubka na držáku
- začátek trubky otevřený
- výtlač hřídelem
- ◆ rotační ucpávka
- zanoření asi 30 %
- nesmí dojít k přelití závitů
- vychýlení vodních sloupců v závitech
- drátěný koš na vstupu proti ucpání
- před rozjezdem prázdné a odvodněné potrubí
- odvodnění zpětným chodem
- zamrzání v zimě



Průměr spirály:

$$D [m] = 2 \times H_1 [m] / Z [ks]$$

Dopravované množství:

$$S [mm^2] = 0,785 \times DN^2 [mm]$$

$$s [m] = 1,2 \times D [m]$$

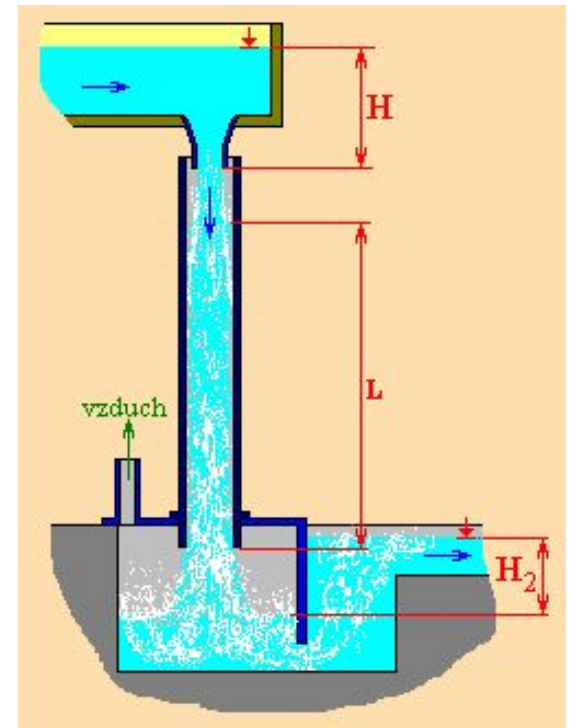
$$n [ot./min] = 5,7 / D [m]$$

$$q [litr./min] = s [m] \times n [ot./min] \times S [mm^2] / 1000$$

- D - střední průměr spirály [metry]
- H₁ - výtlačná výška [metry]
- h₂ - rozdíl hladin v závitě [metry]
- Z - počet závitů [ks]
- q₁ - vytlačené množství vody [litr./min.]
- n - počet otáček [ot./min.]
- s - dráha vstup. konce trubky pod hladinou [m]
- DN - světlost trubky [mm]
- S - plocha vnitř. otv. trubky [mm²]

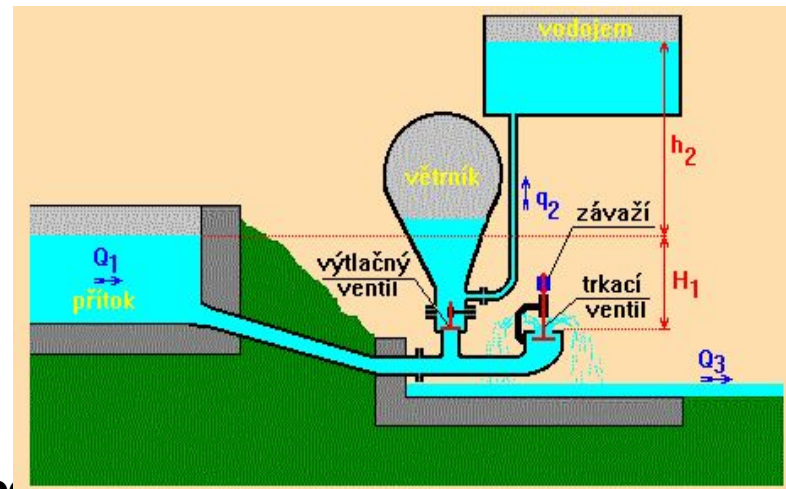
Vodní trompa

- **použití již ve středověku**
 - ◆ **použití pro dmýchání v hamrech**
- **gravitační vodní píst**
- **malá účinnost – 10 %**
- **voda volně přiváděná vantrokem**
- **jednoduchou dýzou vstřikovávána do svislé trubky**
 - ◆ **samospád**
- **strhává vzduch mezi dýzou a stěnou**
- **intenzivně víří – excentrické umístění**
- **padající voda tlačí vzduch jako píst**
- **nejde o injektor**
- **přebytečná energie se maří vířením ve vývaru**
- **spád alespoň 2 m**



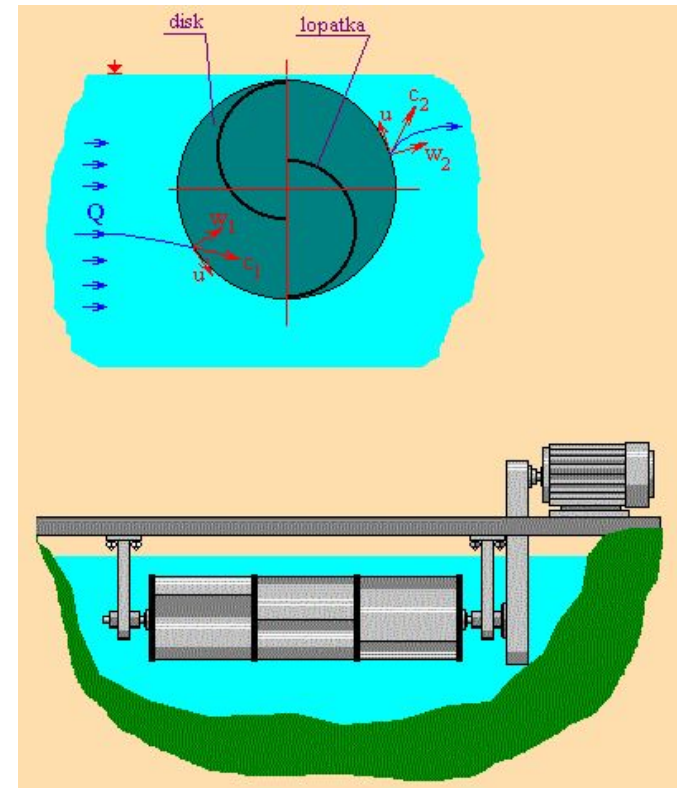
Vodní trkač

- 1796 - Joseph Michel Montgolfier
 - ❖ čerpání vody v papírně ve Voiron
- využívá hydraulický ráz při rychlém uzavření
- trkačí ventil se závažím
- při uzavření stoupne tlak
- voda proudí do větrníku (stlačuje vzduch)
- po uzavření talířového ventilu žene vzduch vodu do vodojemu
 - ❖ vodojem výše položený
- klesne hydraulický tlak
 - ❖ otevře se trkačí ventil
 - ❖ voda začíná proudit, zvyšuje rychlost
 - ❖ strhává talíř trkačího ventilu a uzavírá ho
- spád minimálně 1 m (lépe 2 m)
- výtlak do 25 násobku spádu
- citlivost sedel ventilů na nečistoty
- nutnost obnovovat vzduch ve větrníku
 - ❖ tlakem se rozpouští ve vodě
- Sigma
- samočinná čerpadla proudící vody



Savoniova turbína

- 1922 – Sigurd Johannes Savonius
 - ◆ původní větrný motor
- jednoduchá konstrukce
 - ◆ 2 poloválce
- horizontální vodní turbína (x VAWT)
- odporový princip
- použití na mělkých řekách
- malá účinnost (23 %)
- málo rozšířená



Teslova turbína

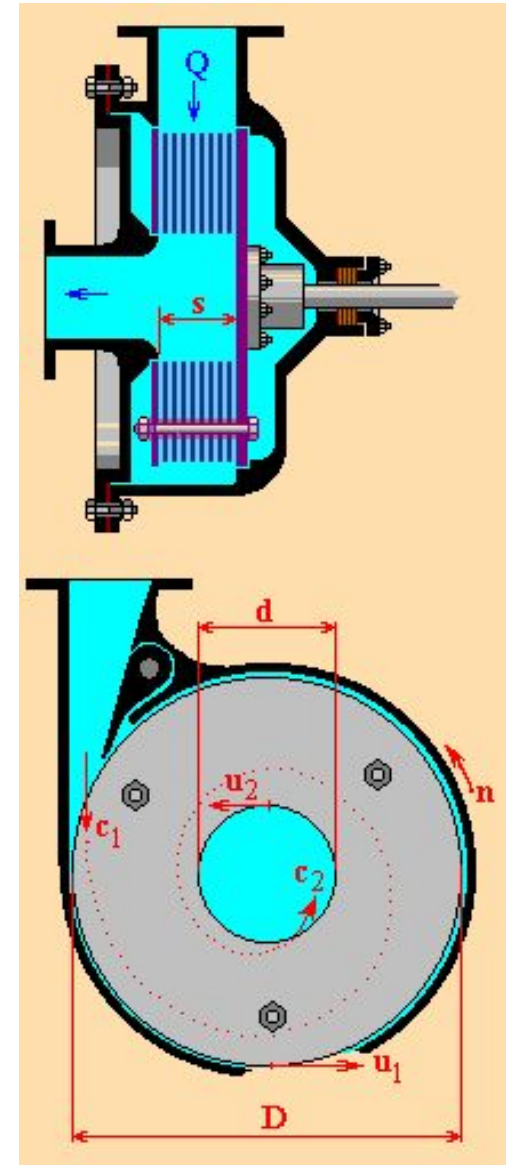
- 1913 – Nikola Tesla
- dostředivá přetlaková turbína
- oběžné kolo bez lopatek
- tření vody o povrch disků
- disky na okrajích naostřeny
- tangenciální vtok vody do středu
- odstředivá síla způsobuje dlouhou dráhu vody středem (malá obvodová rychlost) odtéká
- při odlehčení vzrůstají otáčky
 - ◆ vyšší otáčky způsobí menší průtok
 - ◆ pokles výkonu
- citlivost na nečistoty
- spíše technická rarita

$$c_1 [\text{m/sec.}] = 0,5 \times \sqrt{19,62 \times H [\text{m}]}$$

$$u_1 [\text{m/sec.}] = 0,5 \times c_1 [\text{m/sec.}]$$

$$u_2 [\text{m/sec.}] = c_2 [\text{m/sec.}] \leq 1 [\text{m/sec.}]$$

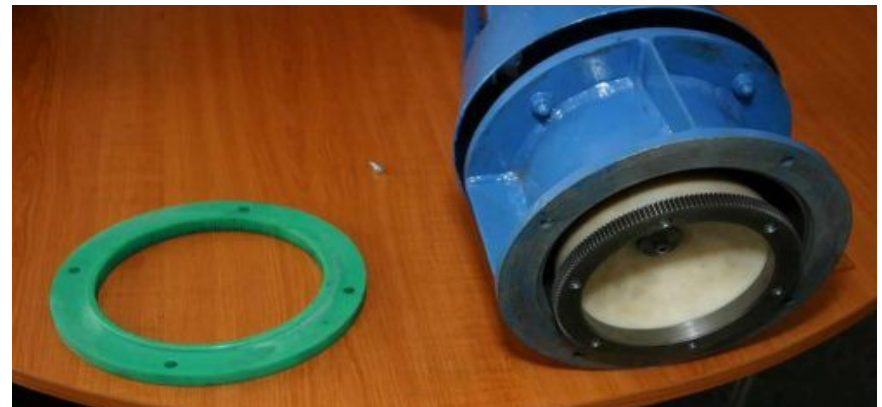
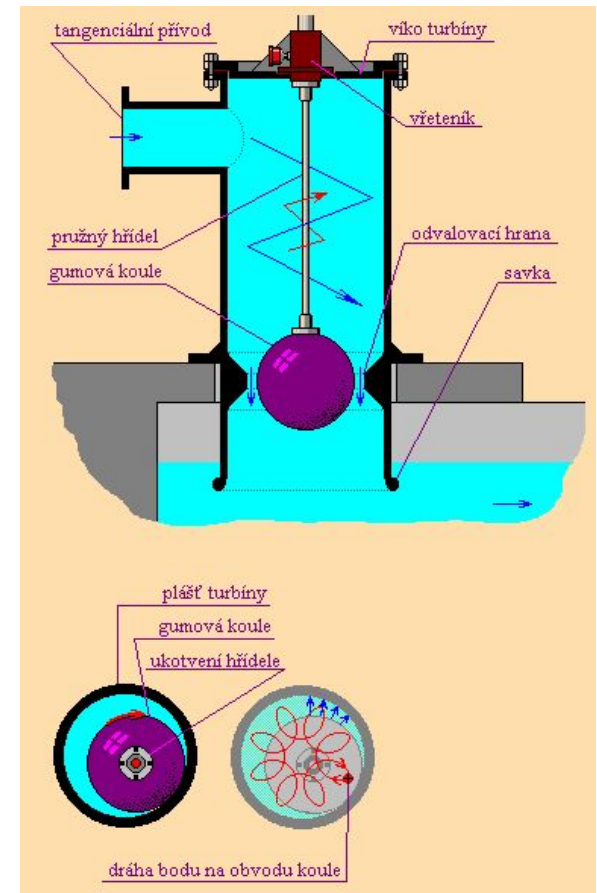
- H ... spád [m]
- Q ... průtok [litr./sec.]
- D ... vnější průměr oběžného kola [mm]
- d ... vnitřní průměr oběžného kola [mm]
- c1 ... vstupní rychlost vody [m/sec.] (na obr. se nejedná o žádný otvor ve skříni)
- c2 ... výstupní rychlost vody [m/sec.]
- u1 ... obvodová rychlost na průměru D [m/sec.]
- u2 ... obvodová rychlost na průměru d [m/sec.]
- s ... šířka oběžného kola [mm]





Setur turbína

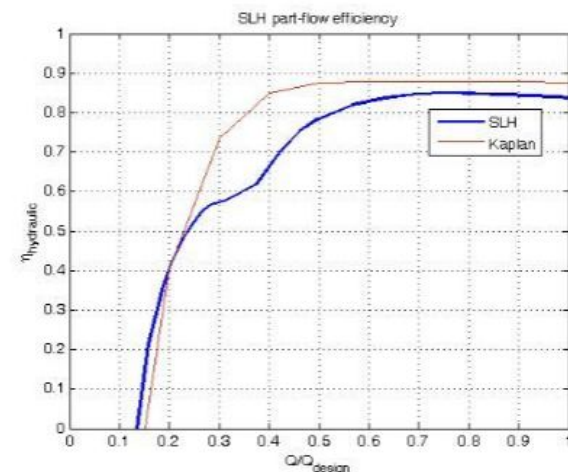
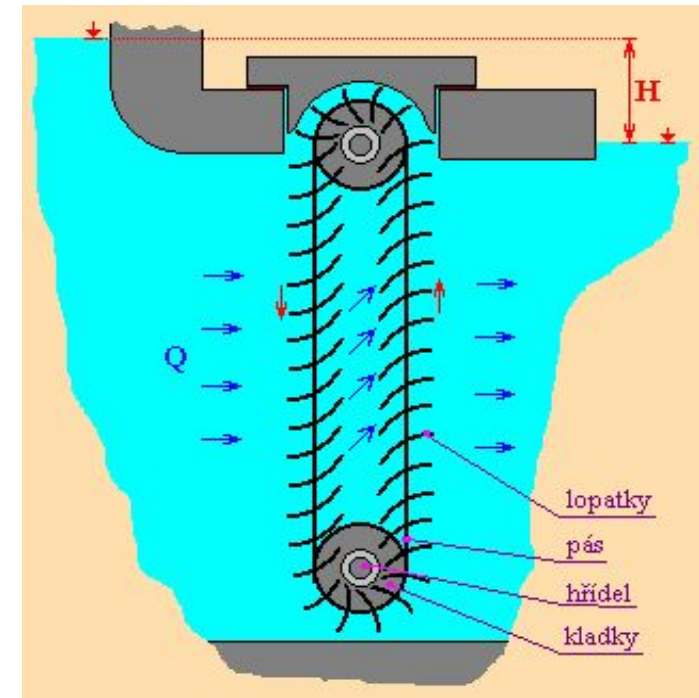
- **1994 – Miroslav Sedláček (patent)**
- **bezlopatková Sedláčkova TURbína**
- **oběžné kolo bez lopatek**
- **rotace a precese odvalujícího se tělesa**
- **tenký pružný hřídel**
 - ◆ nahrazení kardanem
- **v úzkém místě pogumovaná koule**
- **proudící voda způsobuje odvalování**
- **rychlé proudění ve štěrbině mezi stěnou a koulí**
 - ◆ přísavný efekt
- **odlehčení turbíny způsobuje zpomalení proudění**
- **citlivost na nečistoty**
 - ◆ abraze
- **jednoduchá, spolehlivá**
- **vhodná pro malé aplikace**
- **účinnost 66 %**
- **málo rozšířená**
- **Mechanika Králův Dvůr s.r.o.**





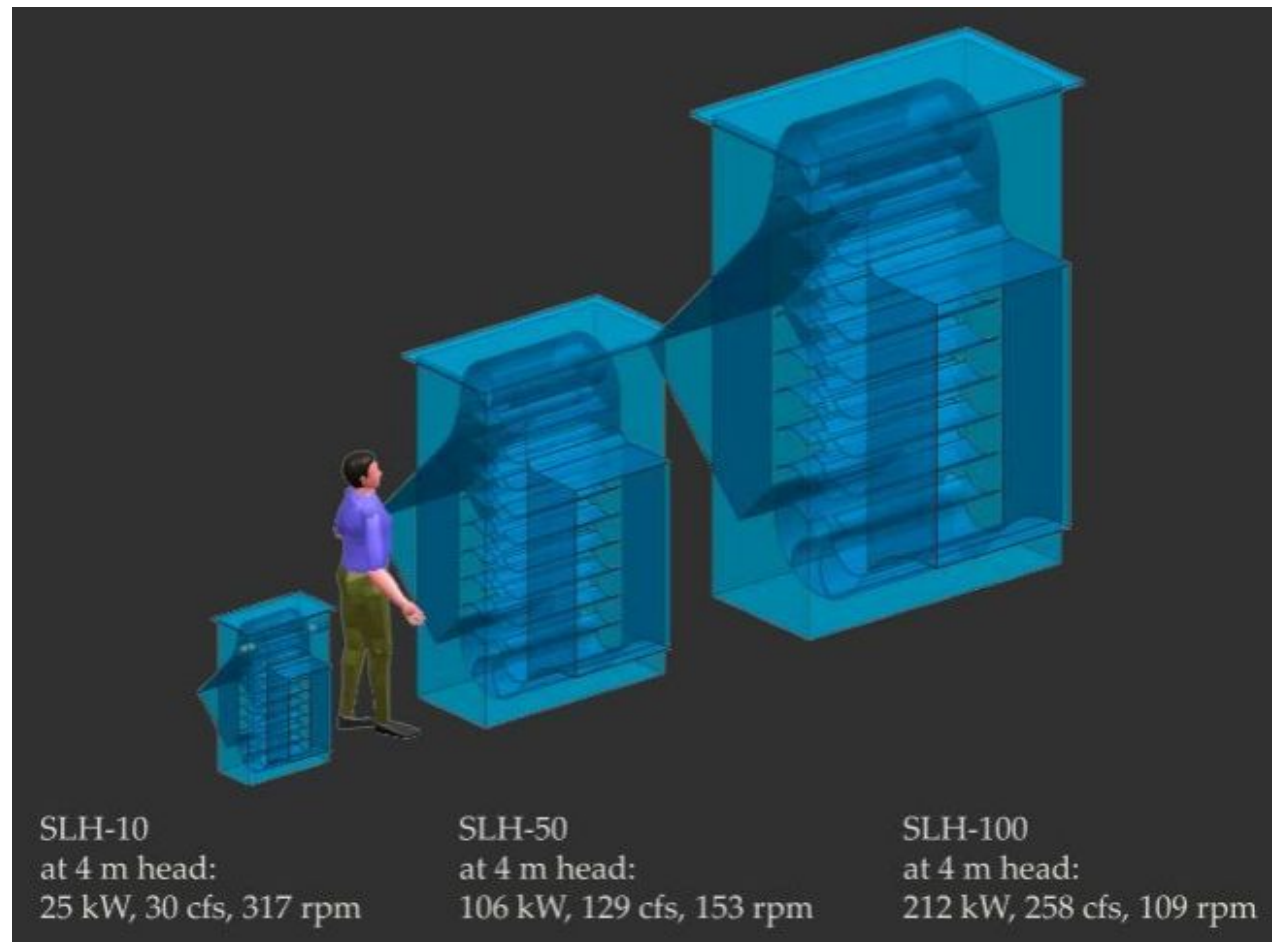
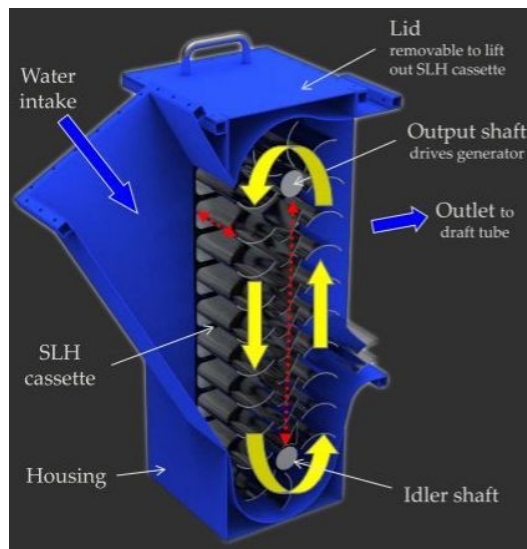
Schneiderova hydrodynamická jednotka

- 1982 – Daniel Schneider (California)
- horizontální přetlaková turbína
- využívá rychlost vody v obdélníkovém průřezu
- 2 hřídele s kladkami
- tenký pružný hřídel s ozubeným řemenem
 - ◆ pásy s úzkými dlouhými lopatkami
 - ◆ zakřivený profil konstantní tloušťky
 - ◆ zakřivený profil proměnlivé tloušťky (dokonalejší)
- lopatky jsou 2 soustavy napříč toku
- 1. strana funguje jako rozvaděč
 - ◆ zakříví proud na 2. lopatky
- 2. strana jako oběžné kolo
 - ◆ usměrní proud zpět na vodorovný
- malé spády (od 0,6 m)
- velké průtoky (závlahové kanály)
- lze použít i jako čerpadlo
- nekavituje
- snadná údržba (přístup)



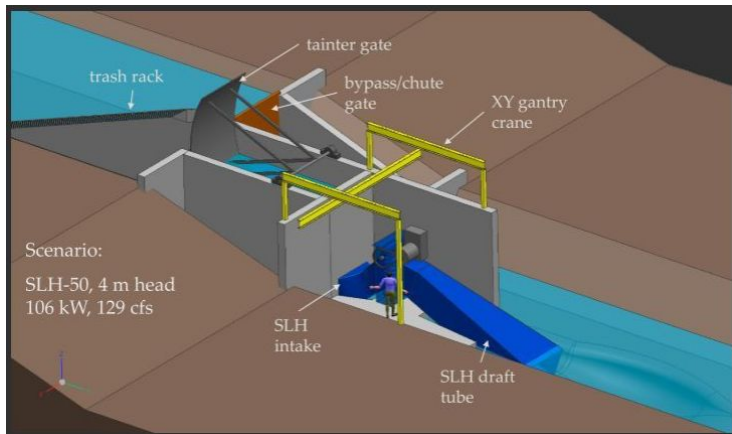
Natel Schneider linear hydroengine (SLH)

- Natel Energy Inc.



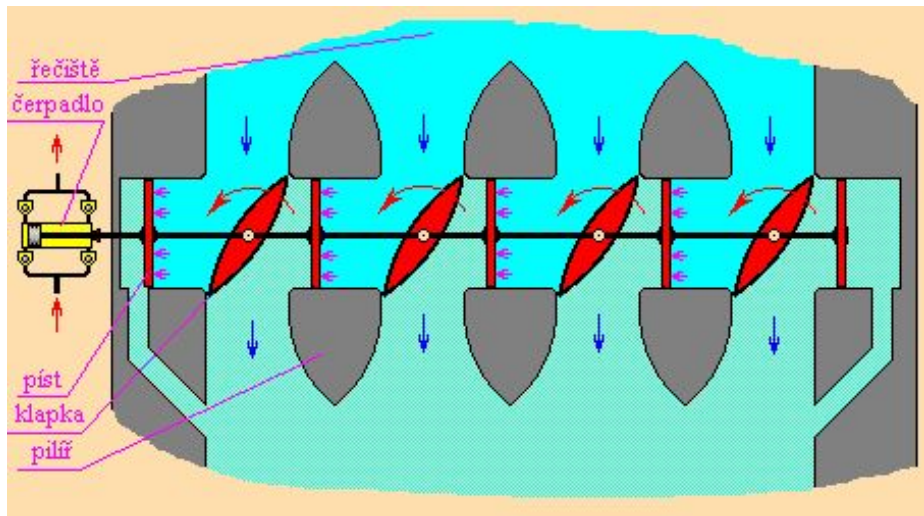
Buckey Pilot Plant

- 2010 – Buckey (Arizona)
- zavlažovací kanál
- malý spád
- Turlock irrigation canal
- spád 2,1 m, 12 m³/s
- 192 kW



STO oscilátor

- bezlopatkový motor
- soustava pilířů napříč tokem
- spojené písty
- otočné klapky
- malá účinnost (< 50 %)
- malé spády (0,5 – 3 m)
 - ◆ závlahové kanály
 - ◆ přílivové oblasti



Linear Pelton

- 2017 – Natel Energy
- spád 2 – 30 m
- do 1 MW

