

Aplikace kompozitních materiálů v energetice

Ing. Bohuslav Cabrnach, Ph.D.
Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s.

Seminář Odborné skupiny Mechanika kompozitních materiálů a konstrukcí ČSM
Praha, 23. listopadu 2023

Úvod

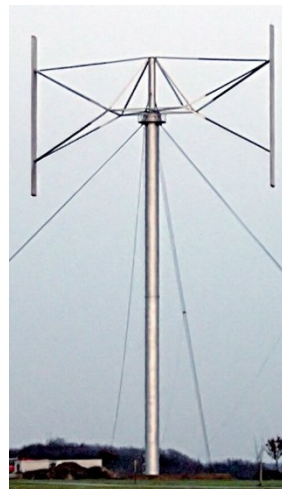
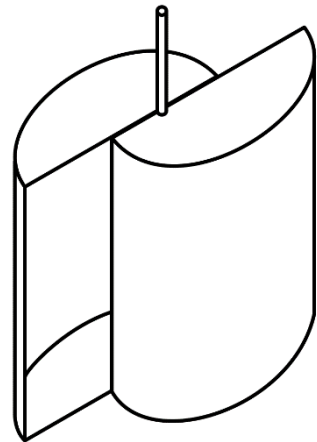
Aplikace kompozitních materiálů v energetice

- Elektrická energie
 - Větrné elektrárny
 - Přílivové elektrárny
 - Uhelné tepelné elektrárny
 - Elektrotechnika
- Distribuce energie
- Ukládání energie
 - Tlakové nádoby
 - Setrvačnick

Větrné elektrárny

Přehled

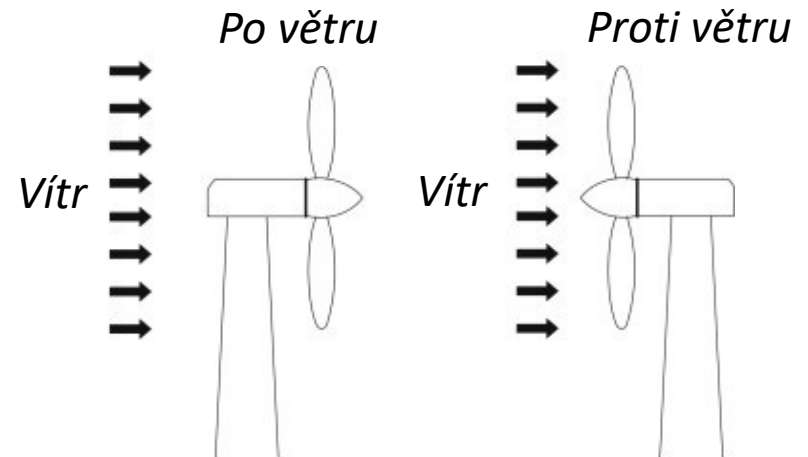
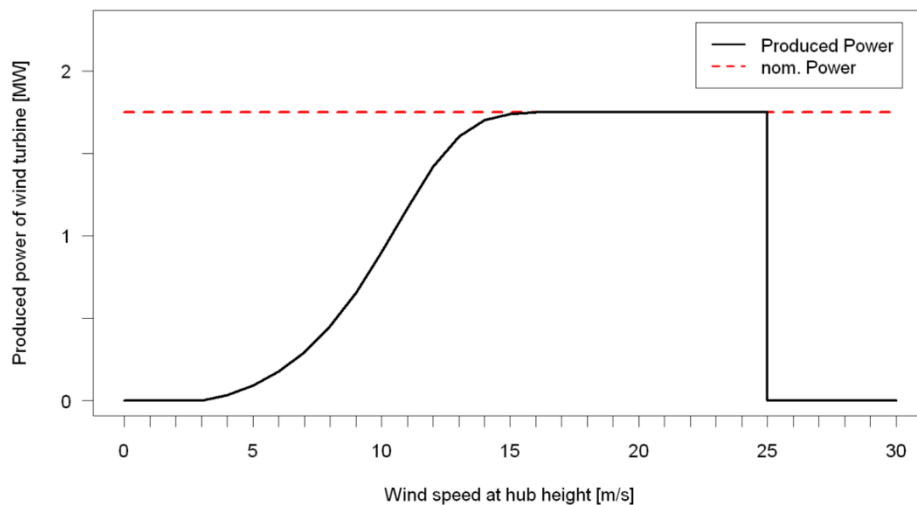
- Přeměna kinetické energie větru na elektrickou energii
 - Vodorovná osa otáčení lopatek
 - Svislá osa otáčení lopatek
 - Darrieusova turbína
 - Savoniusova turbína



Větrné elektrárny

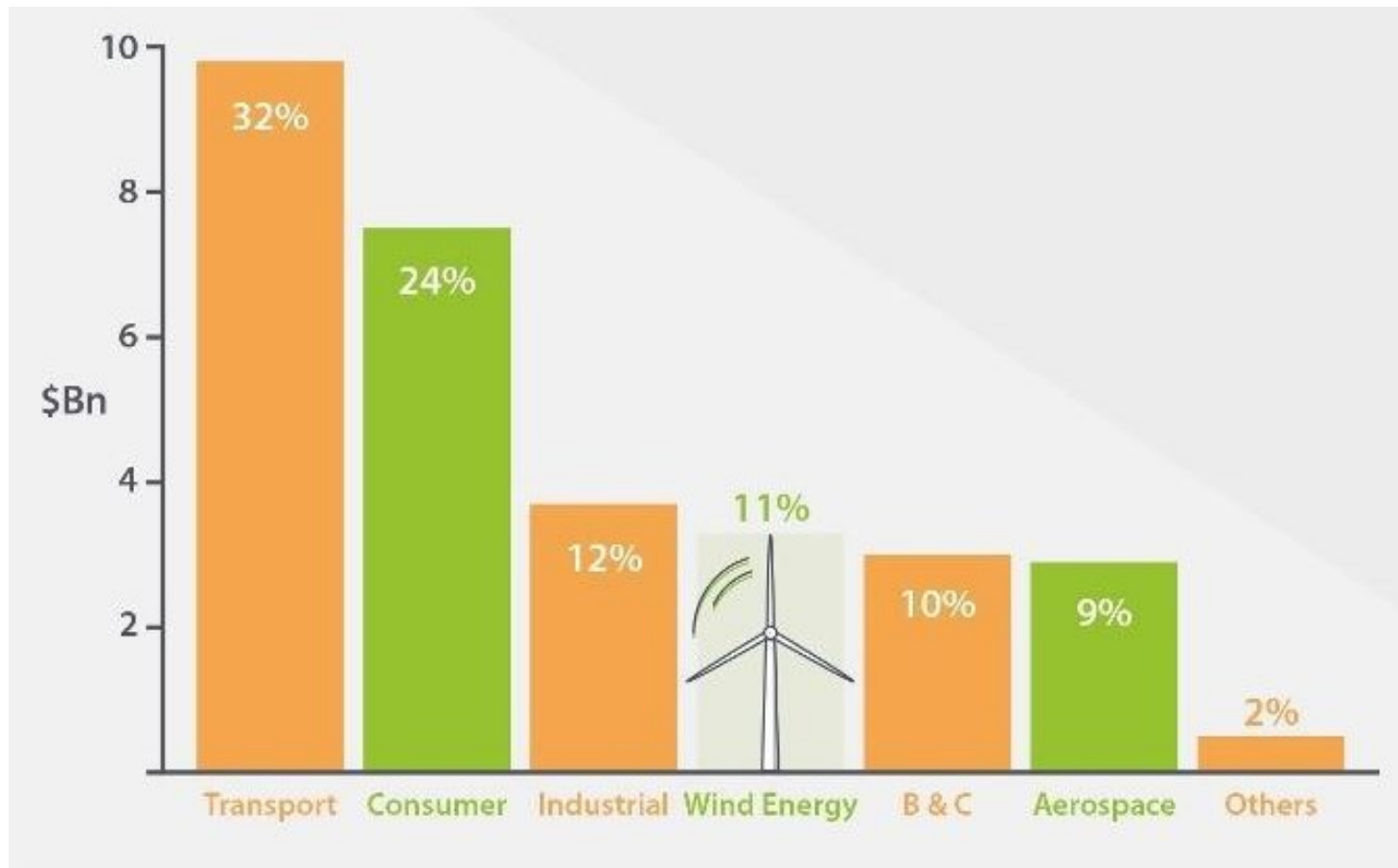
Vodorovná osa otáčení

- Převážně třílisté nebo dvoulisté rotory
 - Proti větru – natáčecí mechanismus
 - Po větru – natáčí se sama, vyšší únava od oscilací větru
- Vnitrozemské a pobřežní instalace, délky lopatek dle výkonu (8MW 80 m, 12MW 107 m, 15 MW 118 m)



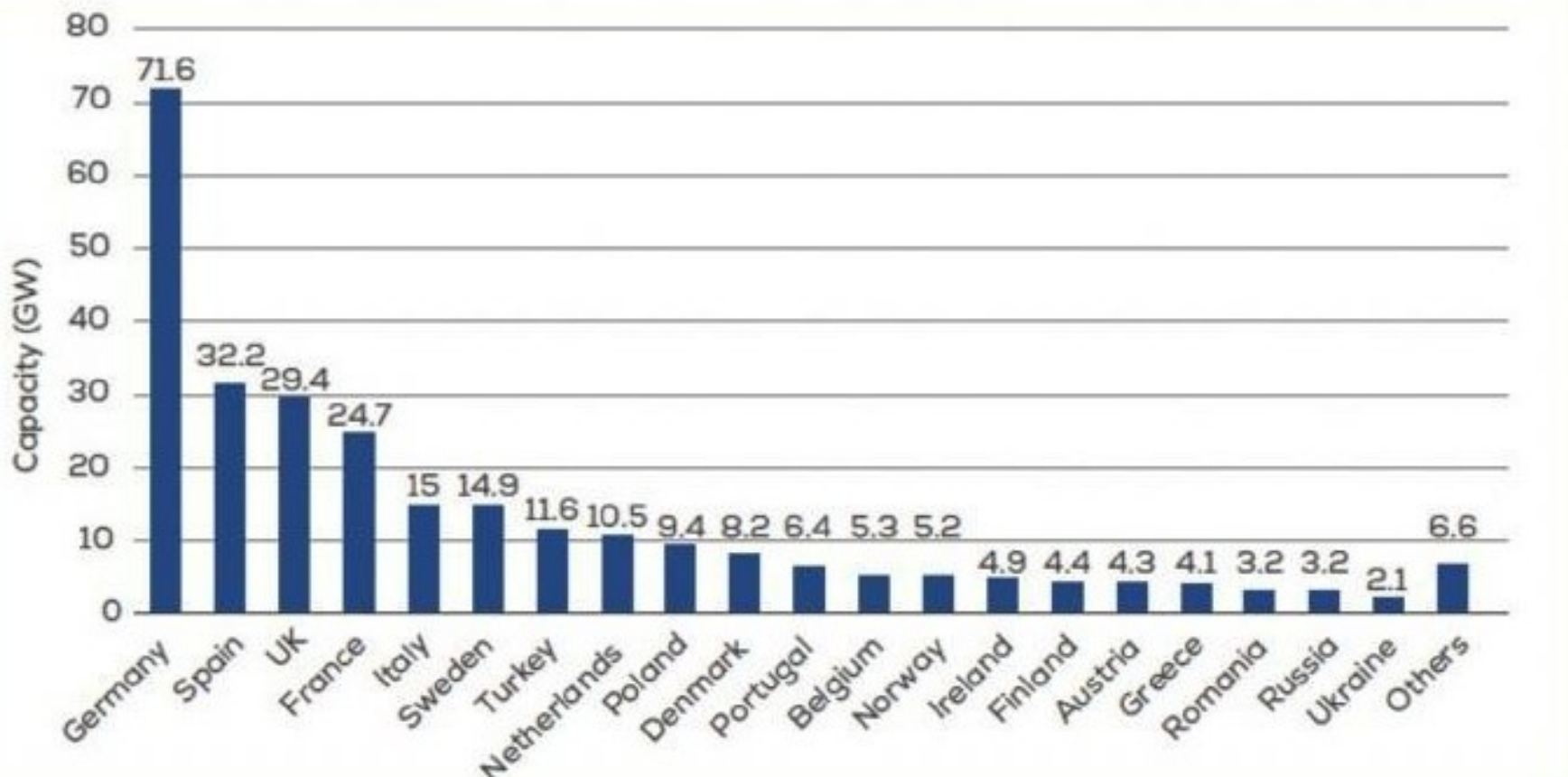
Větrné elektrárny

Podíl na trhu s kompozitními materiály [1]



Větrné elektrárny

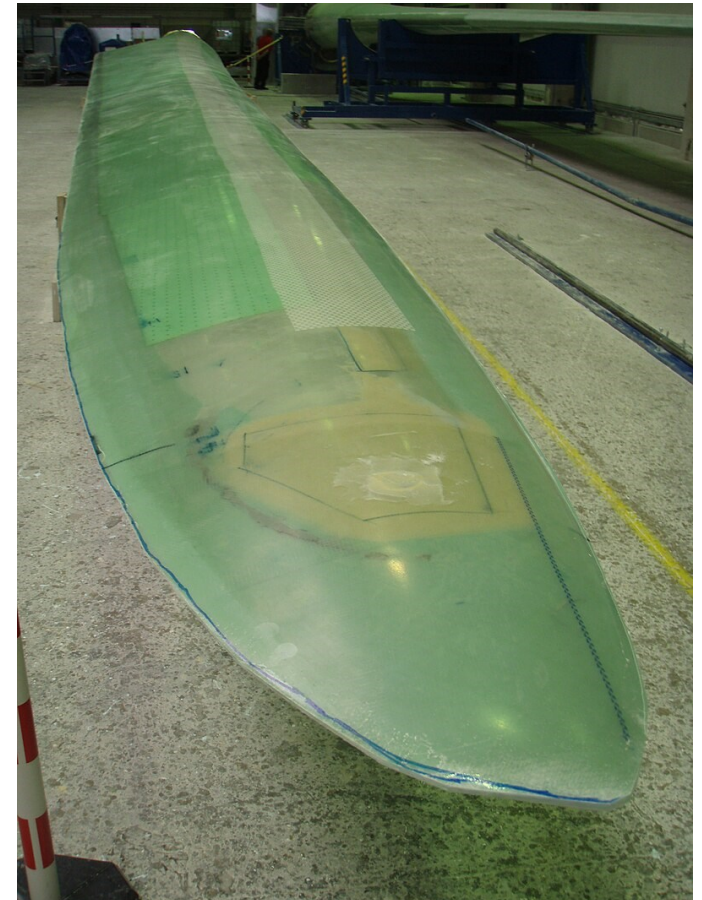
Instalovaný výkon v Evropě [2]



Větrné elektrárny

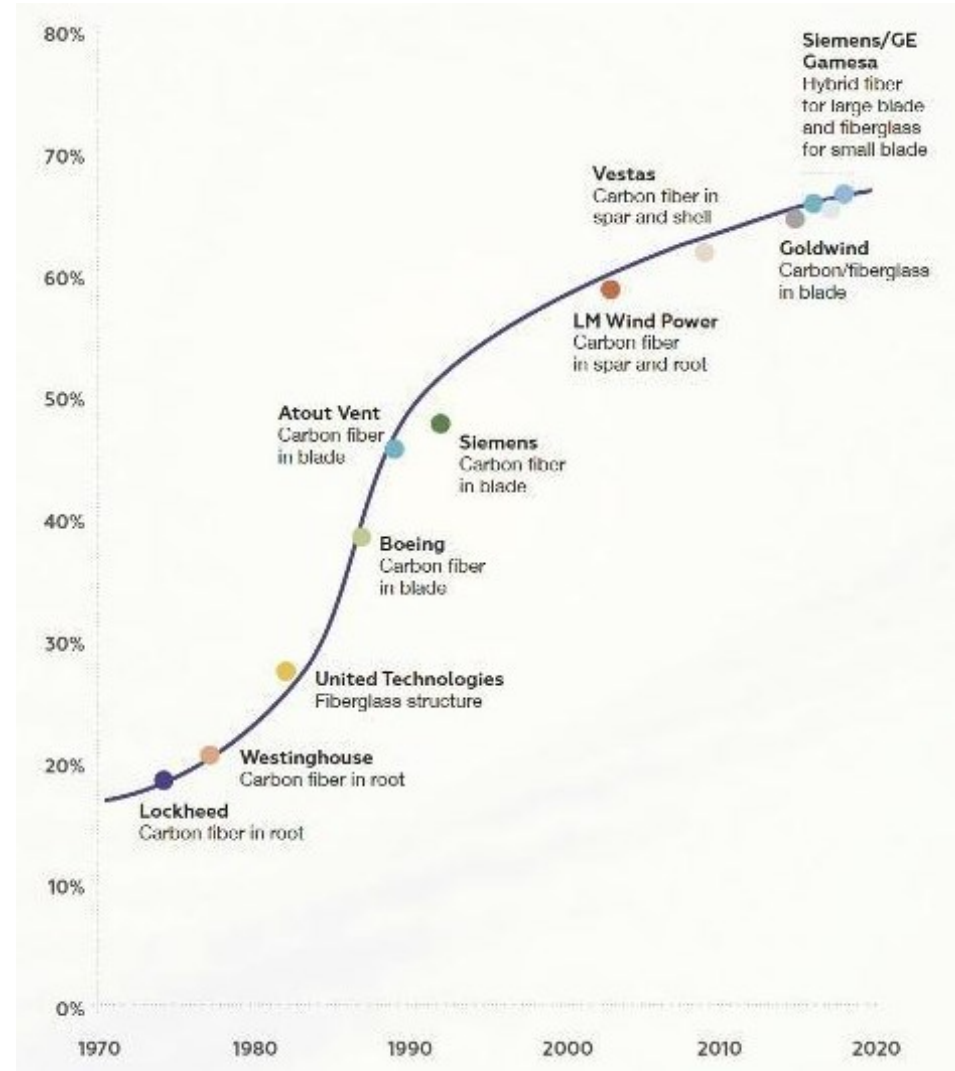
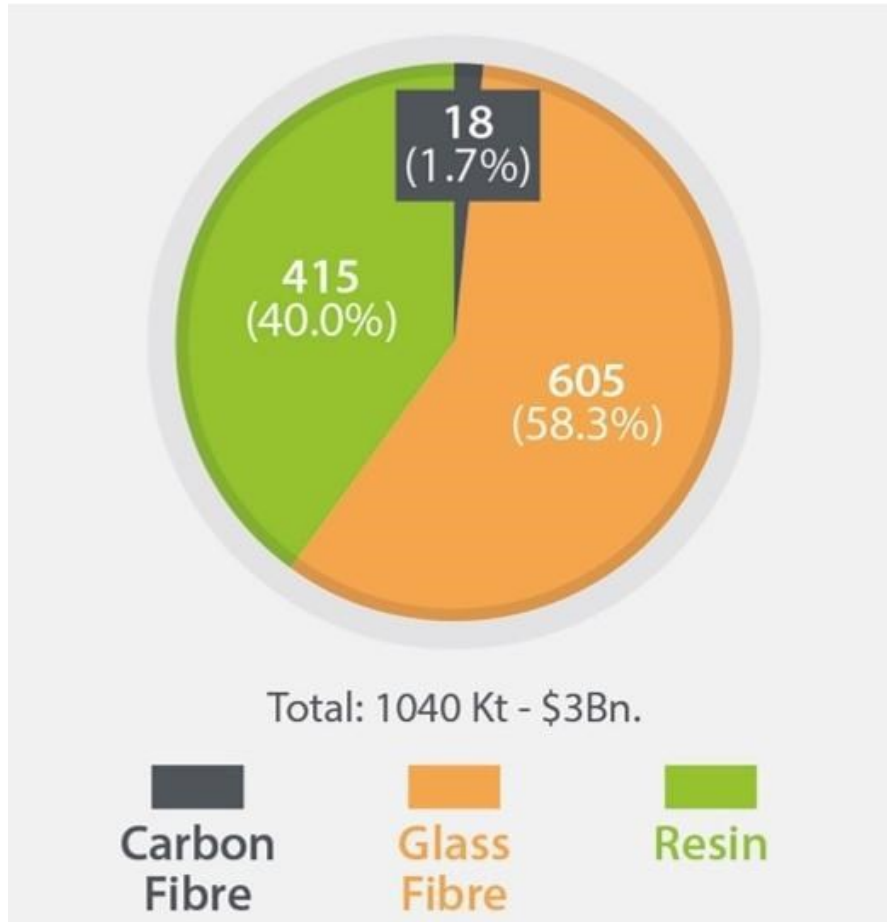
Konstrukce listů

- Převážně stavitelné listy
- Materiály GFRP, CFRP, epoxidové pryskyřice
- Listy nad 50 m s uhlíkovými pásnicemi, výrazná úspora materiálu/hmotnosti vyváží vyšší cenu uhlíku



Větrné elektrárny

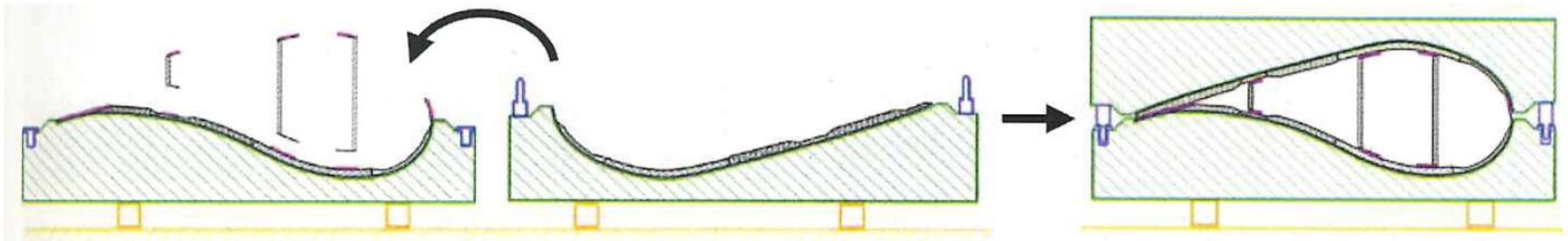
Používané materiály [1], [3]



Větrné elektrárny

Technologie výroby listů [1]

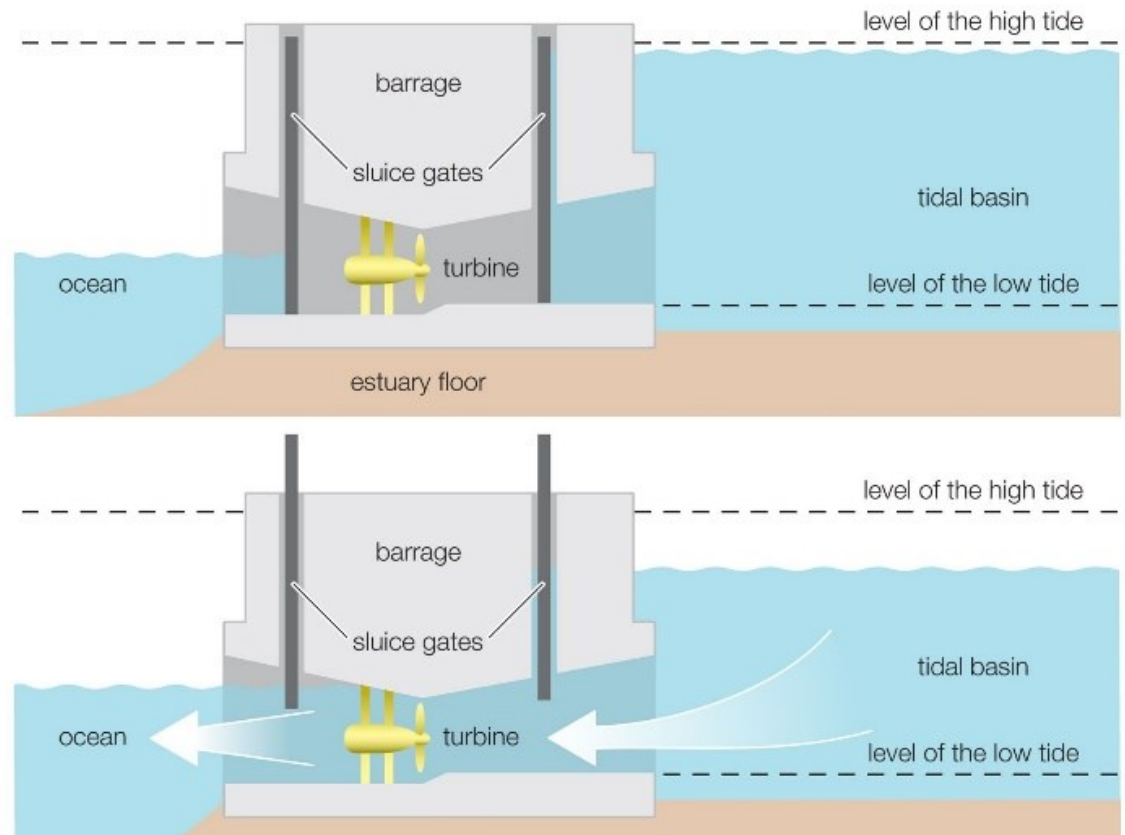
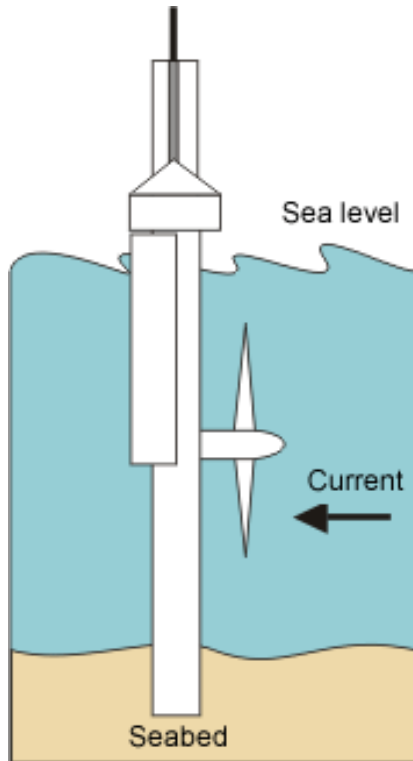
- Infuze VIP/VAP
- Prepregy
- Pultruze



Přílivové elektrárny

Přehled

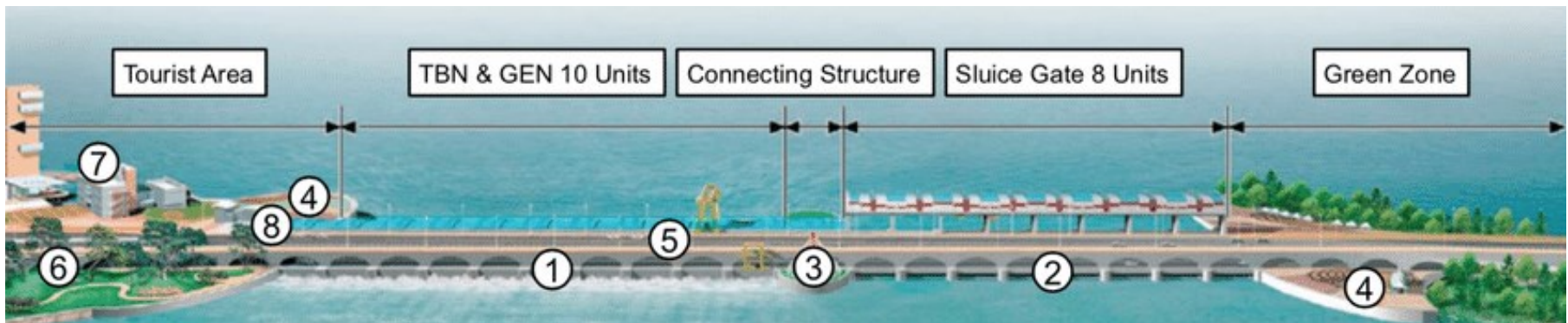
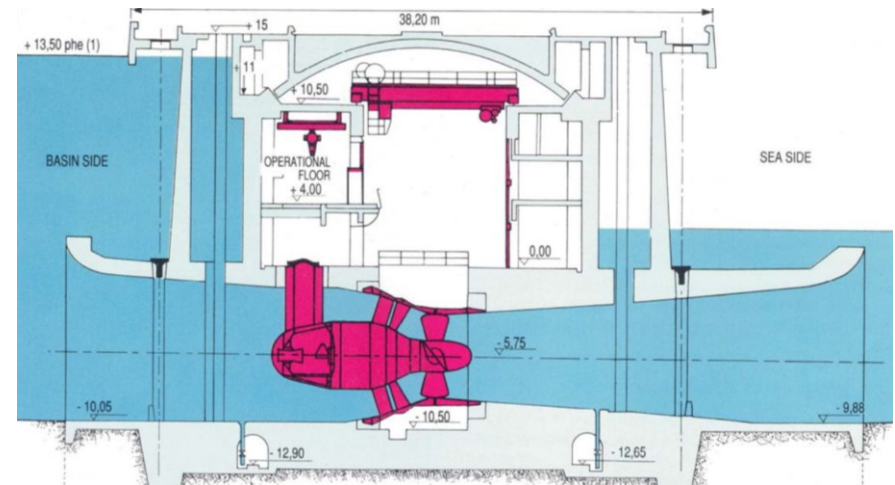
- Generátory přílivového proudu
- Přílivové přehrady



Přílivové elektrárny

Přílivové přehrady

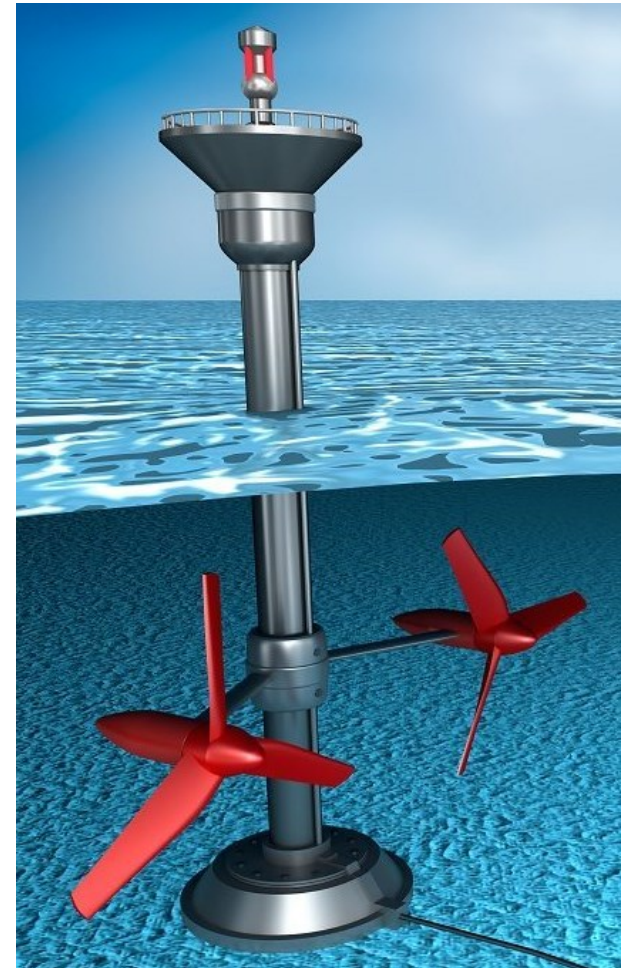
- La Rance, Francie, 1966,
 - 240 MW, 24 turbín, pr. 5,35 m
- Sihwa Lake, Jižní Korea, 2012,
 - 254 MW, 10 turbín, pr. 7,5 m



Přílivové elektrárny

Generátory přílivového proudu

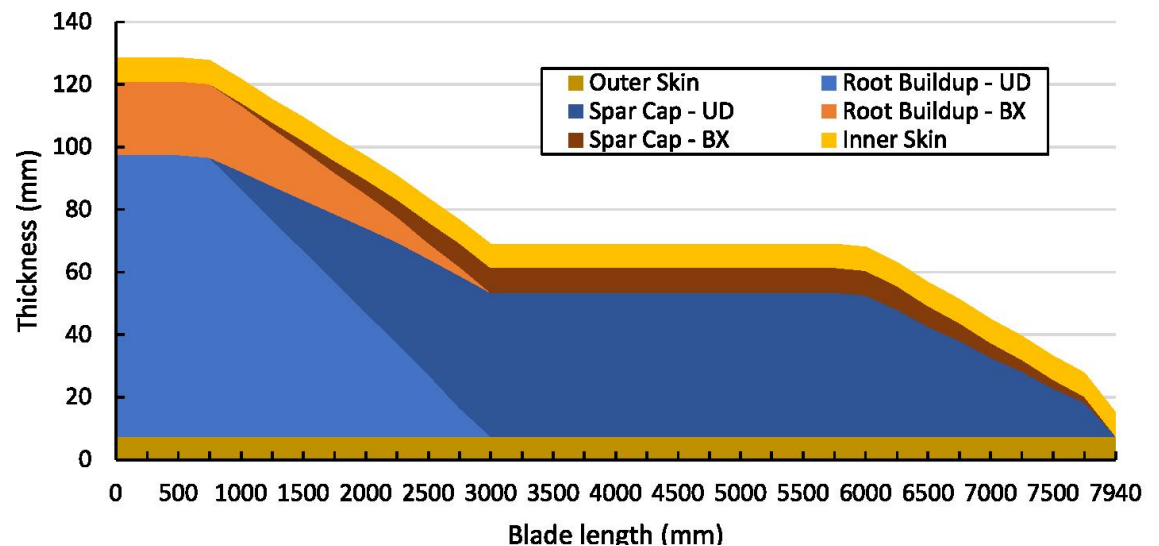
- Většina elektráren má turbínu s vodorovnou osou
- Funkce obdobná větrným elektrárnám s převodovkou a generátorem
- Větší rozběhový moment, menší nároky na vyvažování rotorů
- Natáčení lopatek pro omezení špičkového výkonu generátoru
- Problémy s kavitací, větší ohybový moment, odolnost korozi, abrazi a znečištění povrchu
- Materiály GFRP, CFRP a kovové vložky



Přilivové elektrárny

Demonstrátor 1 MW lopatky [6]

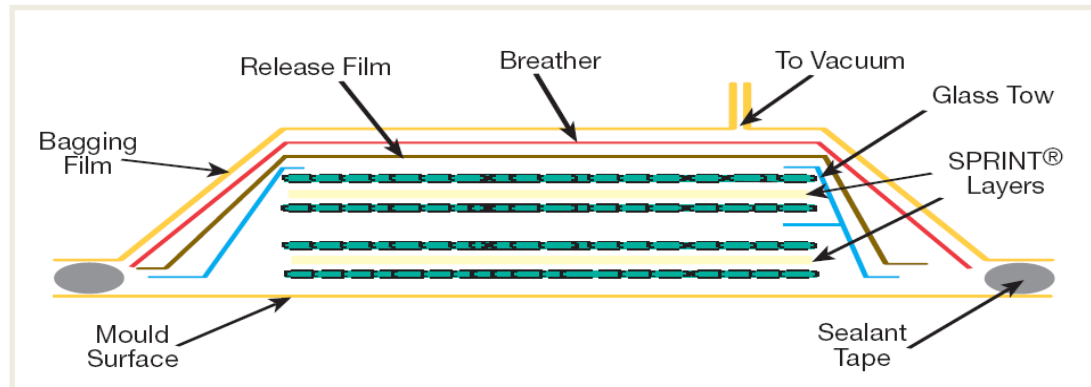
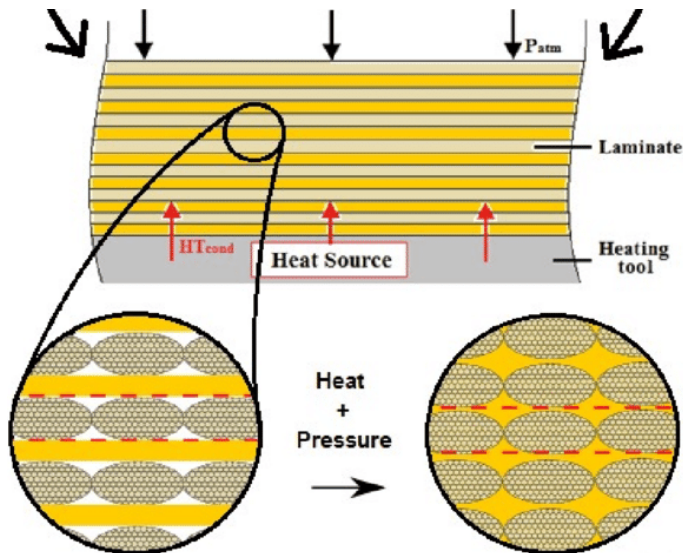
- Délka lopatky 8 m, tl. v kořenové části 130 mm
- GFRP, ocelové vložky
- Composites Powder Epoxy Technology (CPET)



Přilivové elektrárny

Demonstrátor 1 MW lopatky [6, 7]

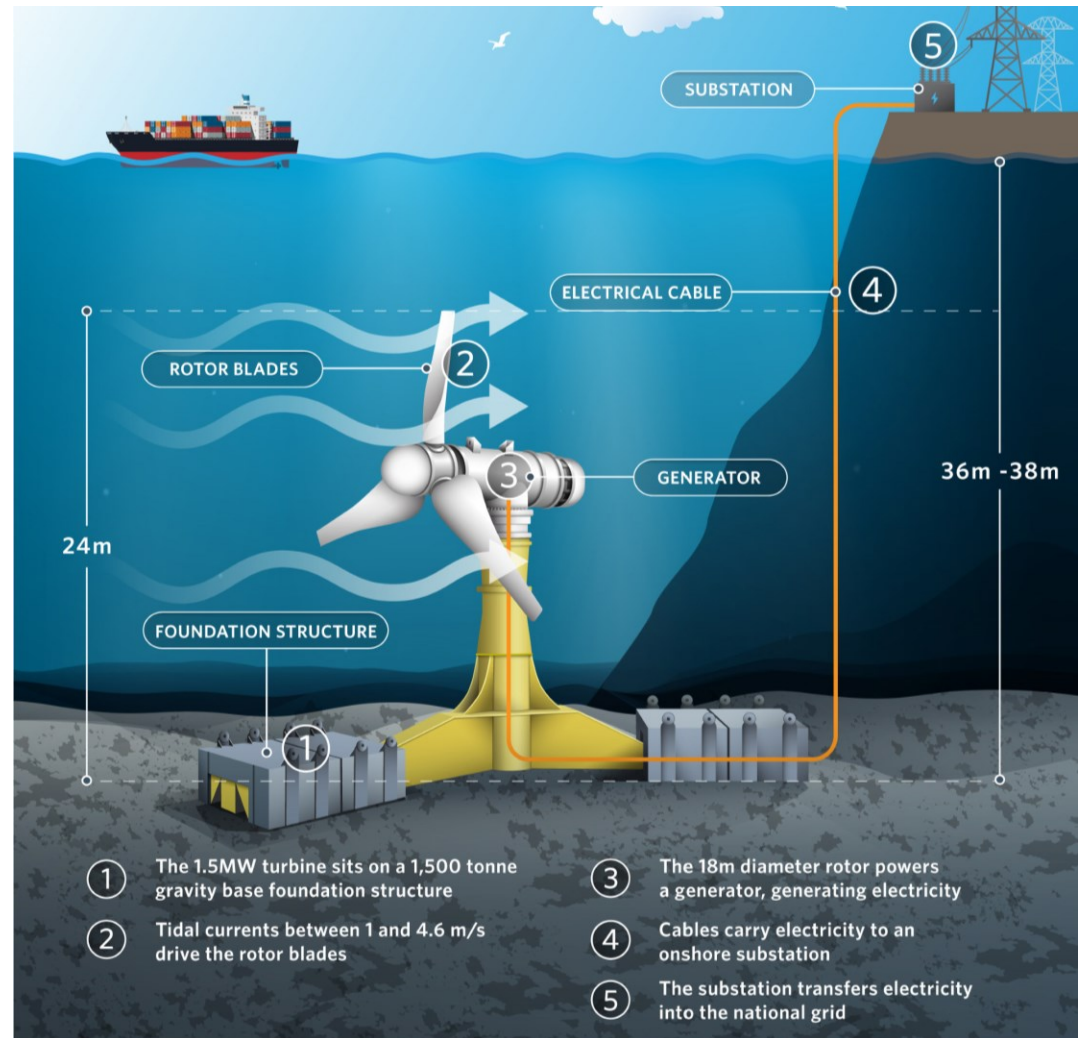
- Composites Powder Epoxy Technology (CPET), vyvinuto firmou ÉireComposites (IR) v rámci projektu PowderBlade (H2020)
- Obdoba technologie RFI (Resin Film Infusion)
- Vytvrzováno v peci pod vakuem. Plné vytvrzení při 185 °C s kroky při 55 °C a 120 °C.



Přílivové elektrárny

Projekt MeyGen [8]

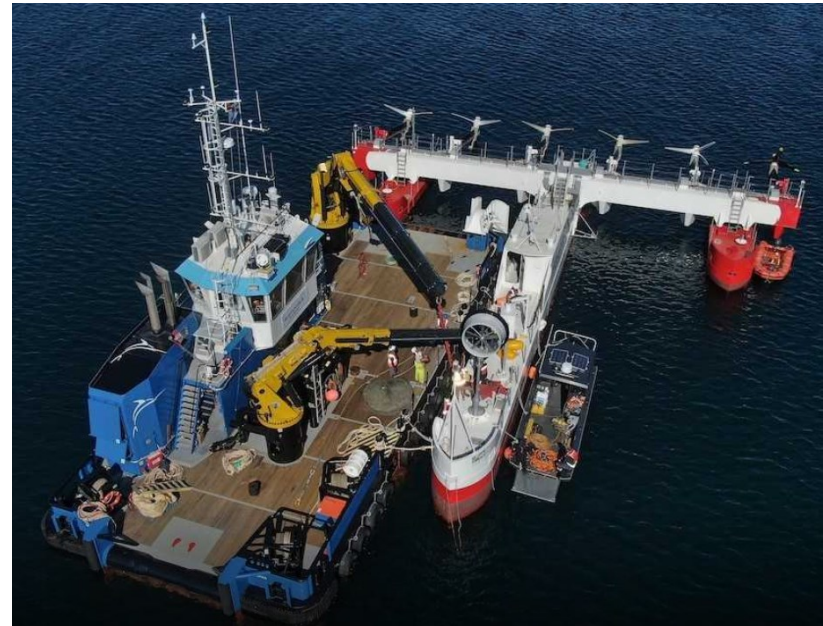
- Severní Skotsko, 2020
- Turbína 1,5 MW (3 m/s)
- Průměr rotoru 18 m
- Hmotnost lopatky 3,5 t
- Lockheed Martin
- CFRP



Přílivové elektrárny

Plovoucí přílivová elektrárna [9]

- Sustainable Marine, 420kW PLAT-I 6.40
- Projekt Evo-Foil (Kanada + Německo)
- Rotory s pevnými lopatkami pr. 4,3 m
- Lopatka CFRP, nové řešení kořene bez masivní kovové vložky



Kouřovody

Kouřovody čistých spalin

- Elektrárna Tušimice II (ETU II), čtyři 200 MW bloky
- Zahájení provozu 1974 – 1975, komplexní modernizace 2007 - 2012
- Odvod odsířených spalin do chladicích věží



Kouřovody

Kouřovody čistých spalin

- Průměr DN 6 700 mm, tl. stěny 30 mm, délka > 150 m
- Vinylester / E-CR sklo



Průmyslové ventilátory

Multi wing

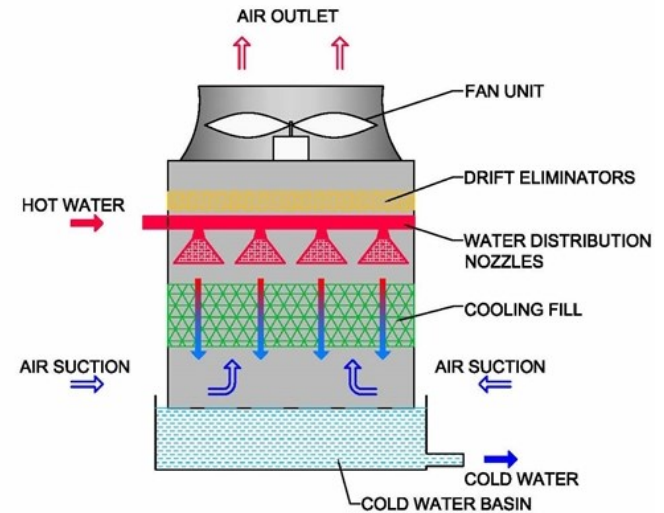
- Axiální ventilátory chladících věží, chlazení strojoven větrných elektráren
- Průměry rotorů 980 – 2 746 mm
- Polypropylen vyztužený krátkými skleněnými vlákny (PPG)
- Polyamid vyztužený krátkými skleněnými vlákny (PAG), antistatická varianta (PAGAS)



Průmyslové ventilátory

Howden, FANS

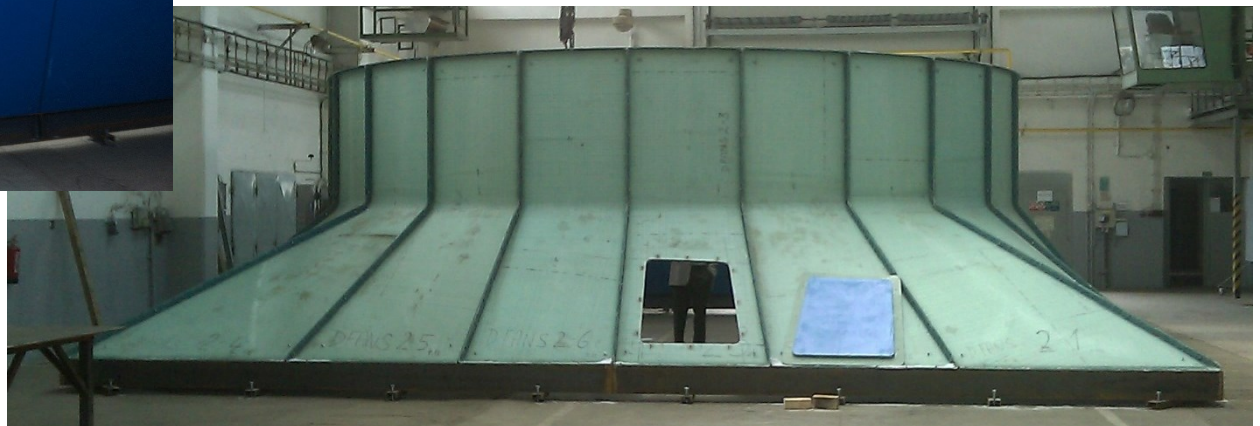
- Lopatky, difuzory
- Průměry rotorů až 11 m, stavitelné lopatky
- GFRP, kontaktní laminace, VIP
- Integrovaný kovový kořen kruhového průřezu



Průmyslové ventilátory

Howden, FANS

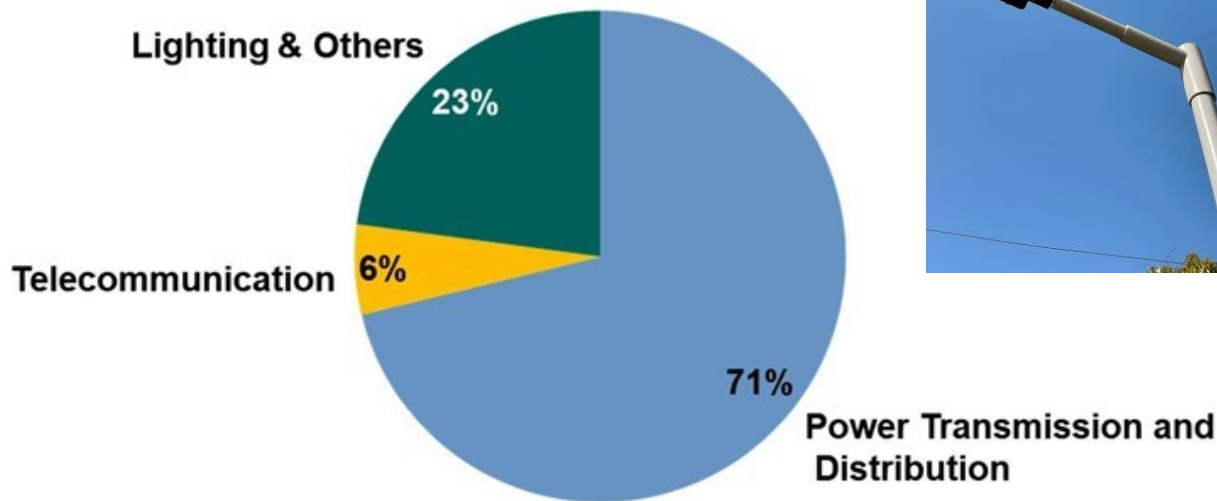
- Lopatky, difuzory



Distribuce energie

Stožáry [10]

- Rozvody el. energie, pouliční osvětlení, telekomunikace
- Délka až 12 m, průměr až 800 mm
- GFRP, UP nebo epoxid, výjimečně CFRP
- Přesné navíjení, pultruze



Distribuce energie

Strohm

- Trubky pro těžbu ropy a zemního plynu, přeprava vodíku
- Souvislá délka 3 až 6 km
 - Glass – HDPE (60°C, 345 bar)
 - Carbon – PA12 (80°C, 689 bar)
 - Carbon – PVDF (121°C, 689 bar)

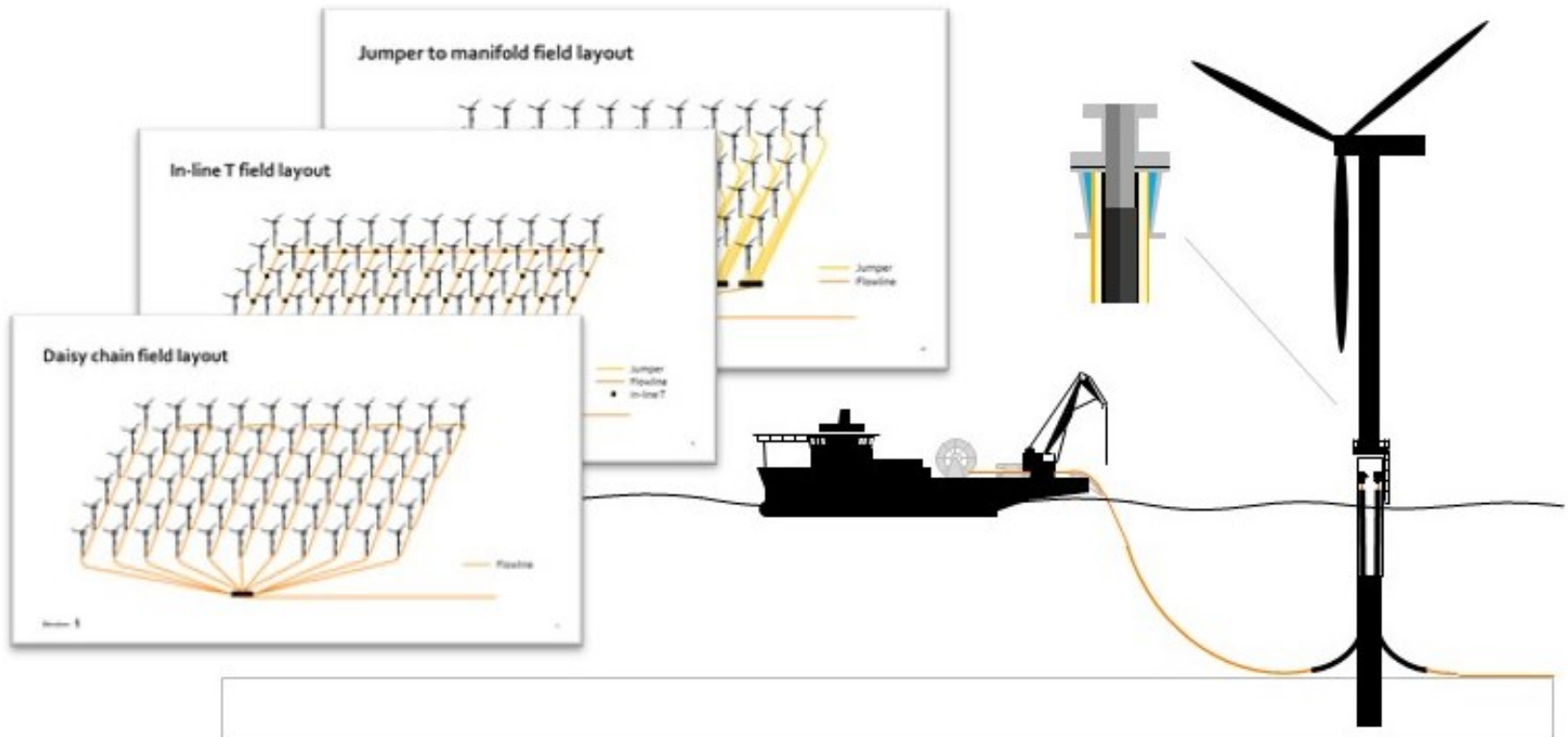


Distribuce energie

Strohm

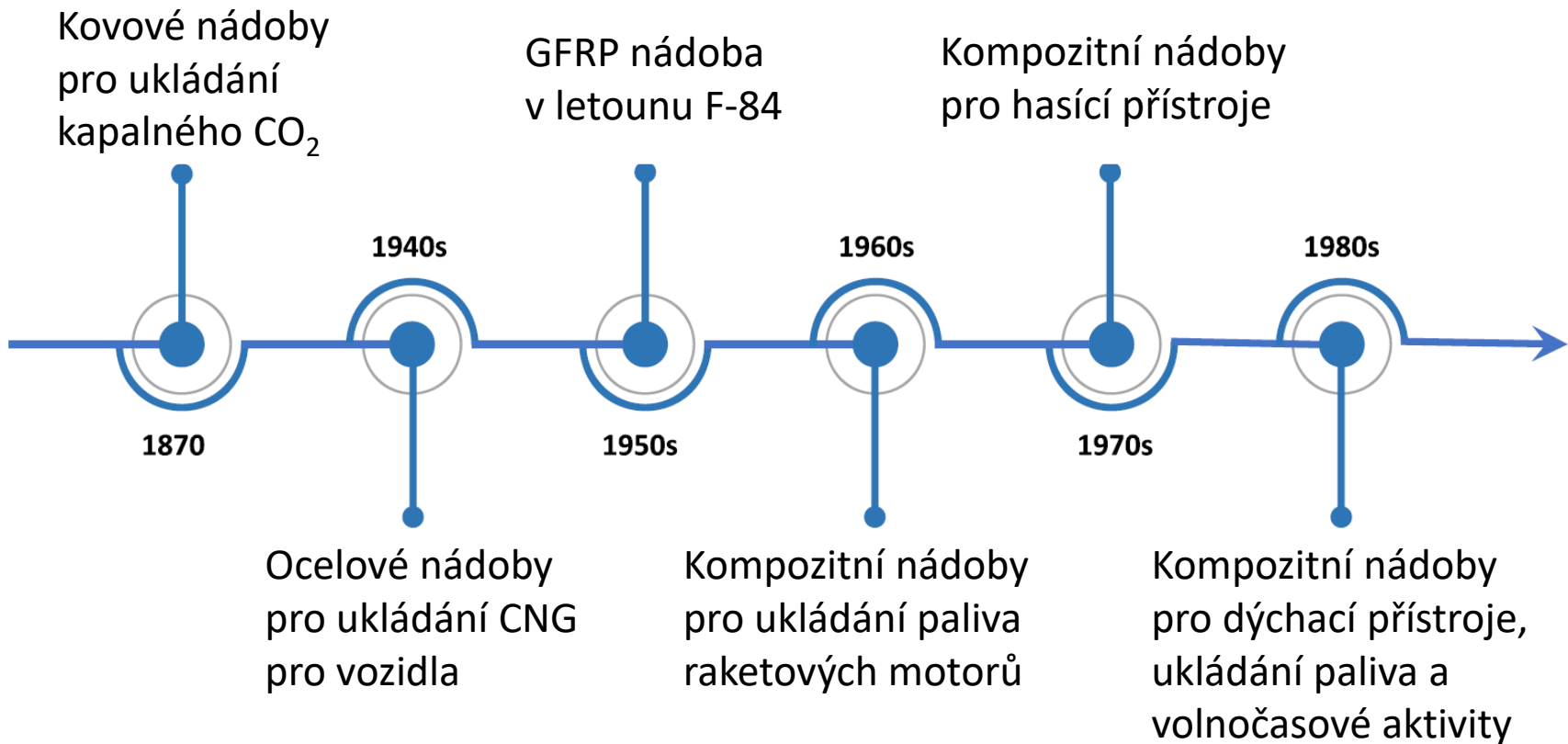
TCP enables distributed hydrogen generation offshore

For infield as for export, TCP result in lowest LCOE for the pipeline infrastructure



Tlakové nádoby

Časová osa vývoje tlakových nádob [11]



Tlakové nádoby

Typy tlakových nádob [11]

Typ nádoby	Popis	Hmotnost Kg/Litr	Cena/Litr	Podíl kompozitu na únosnosti
Typ 1	Celokovová <i>Max. tlak 500 bar</i>	0,80 – 1,40	\$3 - \$5	-
Typ 2	Kompozitní obvodový návin kovového lineru <i>Max. tlak bez omezení</i>	0,50 – 0,68	\$5 - \$7	45%
Typ 3	Kompozitní ovin kovového lineru <i>Max. tlak 450 bar / 700 bar (staticky)</i>	0,41 – 0,45	\$9 - \$14	80%
Typ 4	Kompozitní ovin plastového lineru <i>Max. tlak 1000 bar</i>	0,25 – 0,39	\$11 - \$18	100%
Typ 5	Celokompozitní (bez lineru) <i>Max. tlak 500 bar</i>	0,20 – 0,35s	-	100%

Tlakové nádoby

Aplikace [12]

- Skladování kapalného propanu (LPG), stlačeného zemního plynu (CNG) a vodíku (H₂). Zatímco nádrže na LPG lze používat ve vozidlech, v rozvojových zemích roste také trh pro vaření a vytápění.
- Palivové nádrže s CNG a H₂ dopravních prostředků
- Typ 1 drží více než 90 % trhu.
- Prodej nádob typu III a typu IV se zvyšuje díky použití v dopravní technice.
- Typ V je stále v počátcích a většinou se používá ve vesmírných aplikacích.

Tlakové nádoby

Aplikace [12]

- Typ 4, palivové nádrže s H₂ pro automobily
- Průměr 500 mm, délka 2 200 mm, max. tlak 350 bar.



Tlakové nádoby

Aplikace [12]

- Víceprvkového plynového kontejneru (MEGC) pro přepravu vodíku. Největší MEGC mají až 81 nádrží.

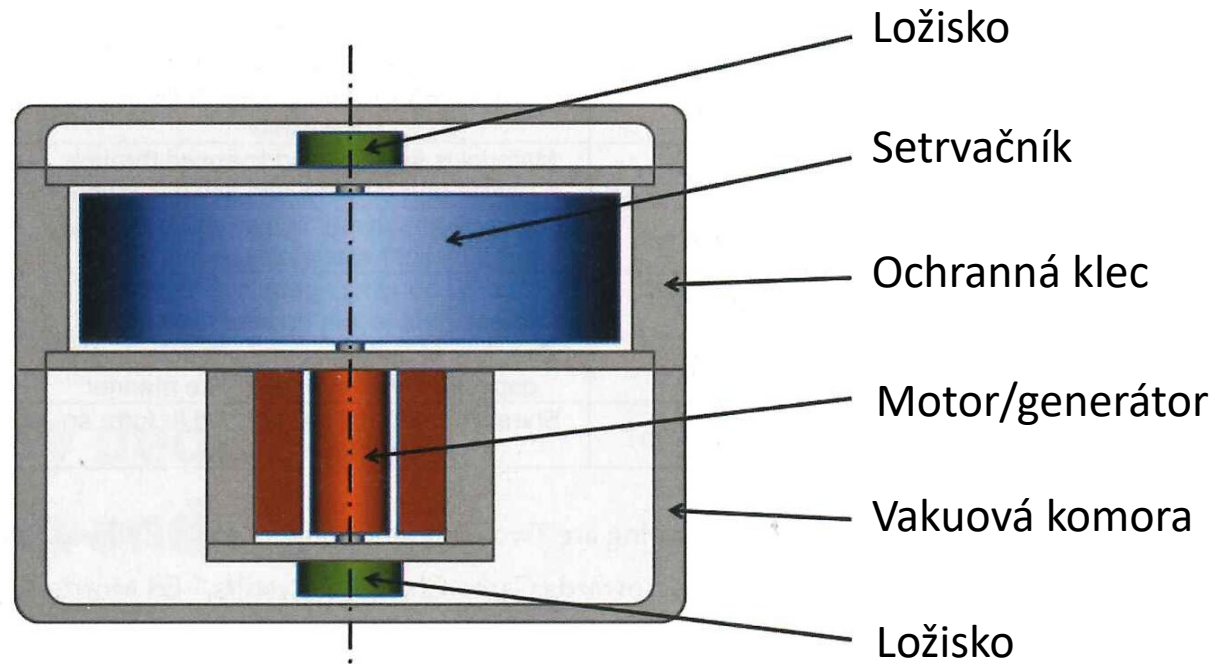


Setrvačnick

Setrvačnick [13]

- Ukládání energie, obousměrný převod mezi kinetickou a elektrickou energií

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

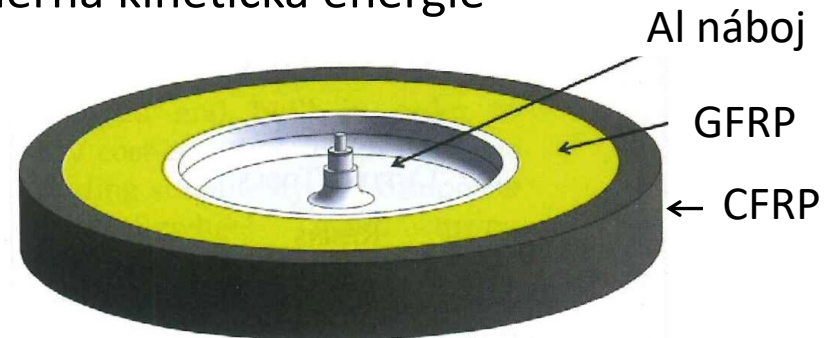


Setrvačník

Setrvačník

- Použití kompozitů – vysoká měrná kinetická energie
- 30 000 ot/min

$$\frac{E_{\text{kin,max}}}{m} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{\text{max}}}{\rho}$$



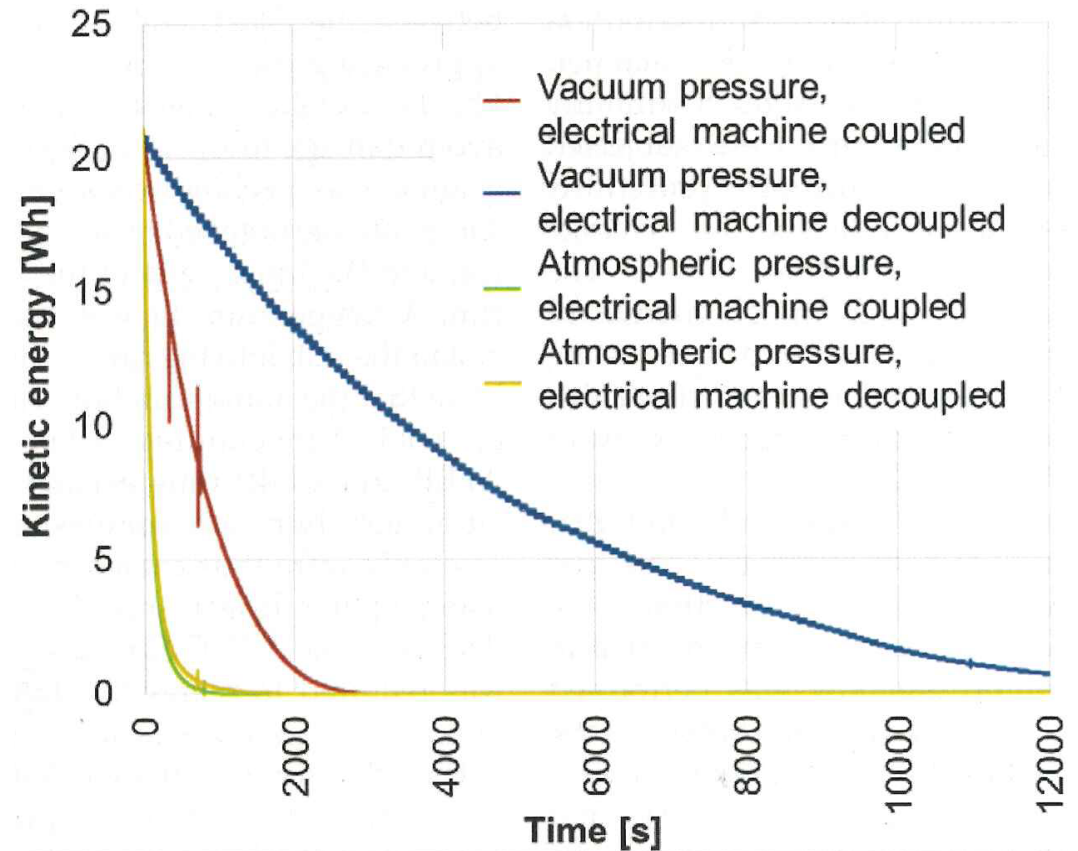
Maximální měrné kinetické energie obručových setrvačnicků

Material	Density [g/cm ³]	Strength [GPa]	Energy density [Wh/kg]
Aluminum 7075-T651	2.80	0.47	23.3
Steel 4340	7.70	1.50	27.1
E-glass fiber / epoxy	2.15	1.68	108
AS4 carbon fiber / epoxy	1.61	2.11	182

Setrvačník

Setrvačník

- Pasivní odpory - rotace ve vakuu, magnetická ložiska, odpojitelná el. jednotka
- Vhodné pouze pro krátkodobé uložení energie
- Předpětí obručí – tahové radiální napětí



Reference

- [1] Soorghali H.: „Strong pressure on the wind energy supply chain in a period of growth“, pp. 30-32, JEC composites magazine / N°132 January - February 2020
- [2] Hofmann I.: „Wind energy outlook to 2023 – Energy targets for 2030 will be difficult to meet“, pp. 33-36, JEC composites magazine / N°132 January - February 2020
- [3] Hofmann I.: „Where will Wind Energy be in 2025?“, pp. 29, JEC composites magazine / N°132 January - February 2020
- [4] Lauter C., Jaquemotte K-P., Pantelelis N.: „Improvement of productivity and quality in wind energy industry through use of advance sensor systems“, pp. 6- 10, SAMPE Journal, Volume 53, No. 6, November/December 2017
- [5] Wind Power Monthly. How to Service and Maintain a Wind Turbine Blade. Availableonline: [How to service and maintain a wind turbine blade | Windpower Monthly](#) (accessed on 9 September 2021).
- [6] Finnegan, W., Allen, R., Glennon, C. et al. Manufacture of High-Performance Tidal Turbine Blades Using Advanced Composite Manufacturing Technologies. Appl Compos Mater 28, 2061–2086 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10443-021-09967-y>
- [7] Mamalis D., Murray J. J., McClements J., Tsikritsis D., Koutsos V., McCarthy E. D. , Ó Brádaigh, C. M. Novel carbon-fibre powder-epoxy composites: Interface phenomena and interlaminar fracture behaviour, Composites Part B: Engineering, Volume 174, 2019, 107012, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107012> .

Reference

- [8] [MeyGen Lessons Learnt Executive Summary.pdf \(bv.com\)](#)
- [9] „Aerospace and wind energy technology adopted for tidal turbine foils“. Available online: [Aerospace and wind energy technology adopted for tidal turbine foils](#) (accessed on 22 April 2021)
- [10] „Filament wound utility poles offer design flexibility “. Available online: [Filament wound utility poles offer design flexibility | CompositesWorld](#) (accessed on 23 July 2019)
- [11] Azeem M. et al.: „Application of Filament Winding Technology in Composite Pressure Vessels and Challenges: A Review, Journal of Energy Storage, Volume 49, 2022, 103468, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103468>
- [12] „Composites end markets: Pressure vessels (2023)“. Available online: [Composites end markets: Pressure vessels \(2023\) | CompositesWorld](#) (accessed on 11 January 2023)
- [13] Ertz G., Hrynik T., Lafleur D., Mertiny P., Secanell M., Wagner N.: „Design of low-cost flywheel energy storage systems“, pp. 18-26, SAMPE Journal, Volume 53, No. 6, November/December 2017

Děkuji za pozornost