

# Rakety nad Jeseníky

Garant: Martin Švanda

Badatelé: Tomáš Čajan, Lukáš Filip, Tomáš Michal, Patrik Štencel

Pedagog: David Pišek

## Úvod

Vodní rakety jsou známe především jako hračky, ale jsou také předmětem mnoha vědeckých článků a možná i praktická metoda pro snímkování země. Zkoumali jsme je právě z těch dvou pohledů: vědeckého a praktického.

## Loňský výzkum

Prozkoumali jsme základní vztahy (tlak, objem, množství vody, průměr trysky), ale odhalili další otázky: Je průběh polohy hladiny lineární? Jak se chovají větší trysky a tlaky? Jaký je průběh zrychlení? Nyní na některé odpovíme.

## Teorie

Hlavním faktorem ovlivňujícím let rakety je výtoková rychlost, kterou určujeme pomocí upravené Bernoulliho rovnice (níže) [1]. Výtoková rychlost přímo určuje sílu, která raketu v daném bodě urychluje, a zároveň rychlost ztráty vody a úbytek tlaku. Jev můžeme považovat za adiabatický, ale kondenzace vody vzduch ohřívá, používá se tedy upravená Poissonova konstanta, která je 1,22 [2]. Reynoldsovo číslo nabývá hodnot v řádu  $10^5$ , což odpovídá newtonovskému odporu vzduchu. Rovnice byly numericky integrovány v čase.

$$u_e^2 = \frac{2(P - P_e + P_g)}{\rho \left[ 1 - \left( \frac{\alpha S_e}{S_w} \right)^2 \right]}$$

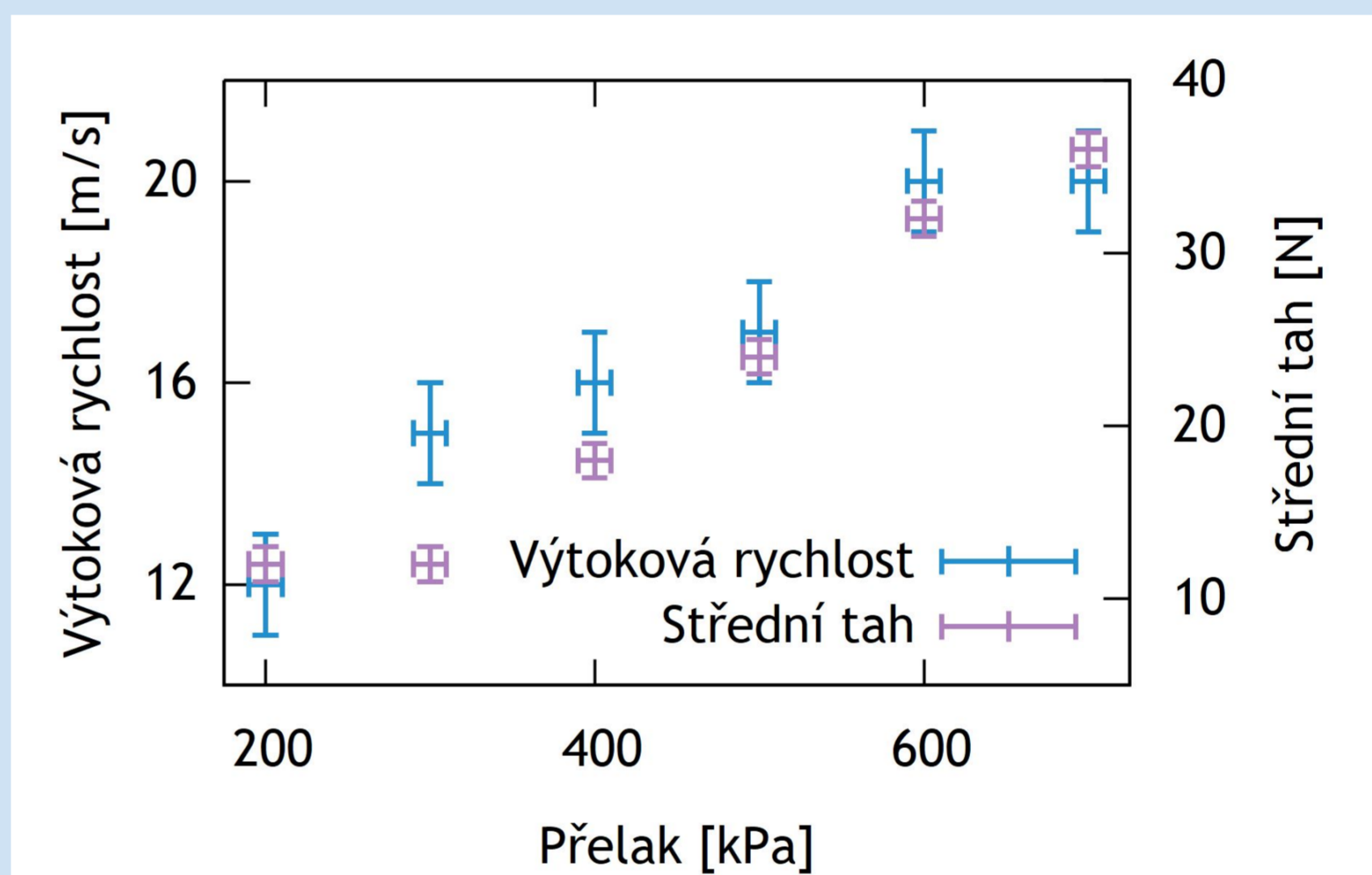
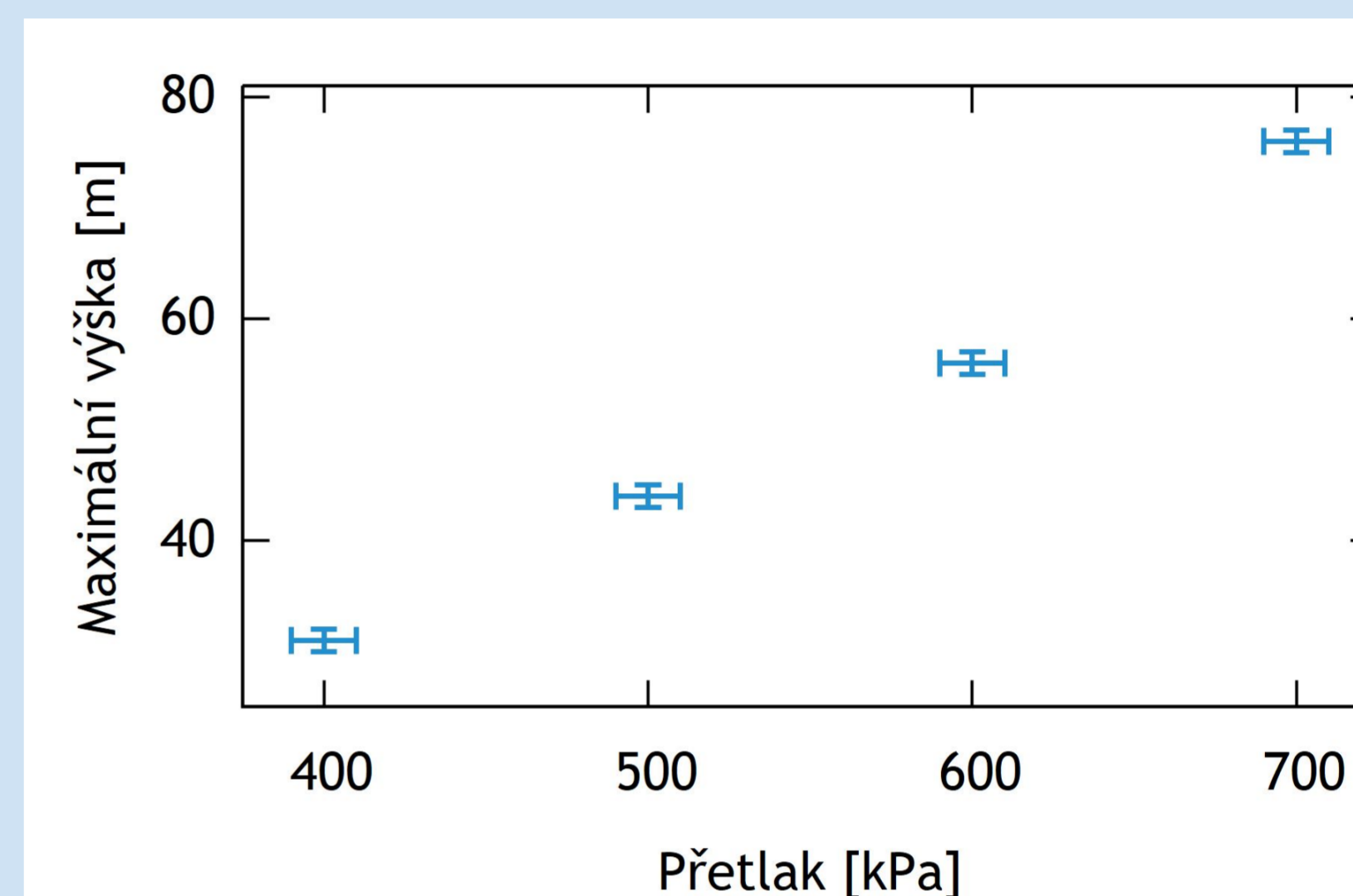
$u_e$  - Výtoková rychlost  
 $P_e$  - Vnější tlak  
 $P^g$  - Hydrostatický tlak  
 $P$  - Vnitřní tlak  
 $S_w$  - Průřez lahve  
 $S_e$  - Průřez trysky  
 $\rho$  - Hustota vody  
 $\alpha$  - Účinnost trysky

[1] Watanabe, Rikio & Tomita, Nobuyuki & Takemae, Toshiaki. (2003). Thrust Characteristics of Water Rocket and Their Improvement. Journal of The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences. 51. 314-320. 10.2322/jssass.51.314.

[2] Romanelli, Alejandro & Bove, Italo & Gonzalez Madina, Federico. (2012). Air expansion in a water rocket. American Journal of Physics. 81. 10.1119/1.4811116.

## Experimenty

Vyšší tlaky výrazně vylepšují dolet rakety. Při dosažení max. možného tlaku, který PET lahev vydrží (1 MPa) bychom teoreticky dosáhli 110 metrů.

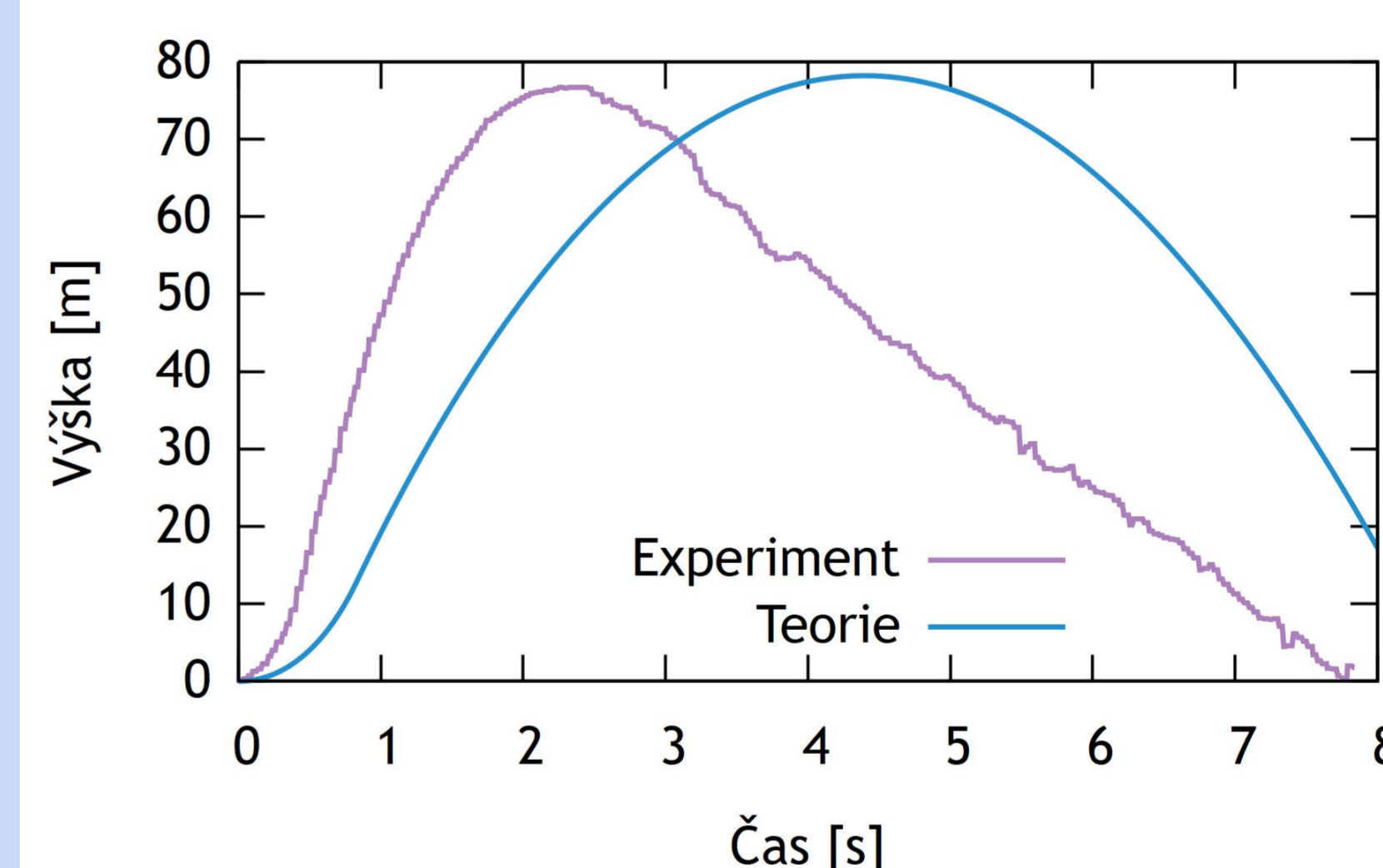
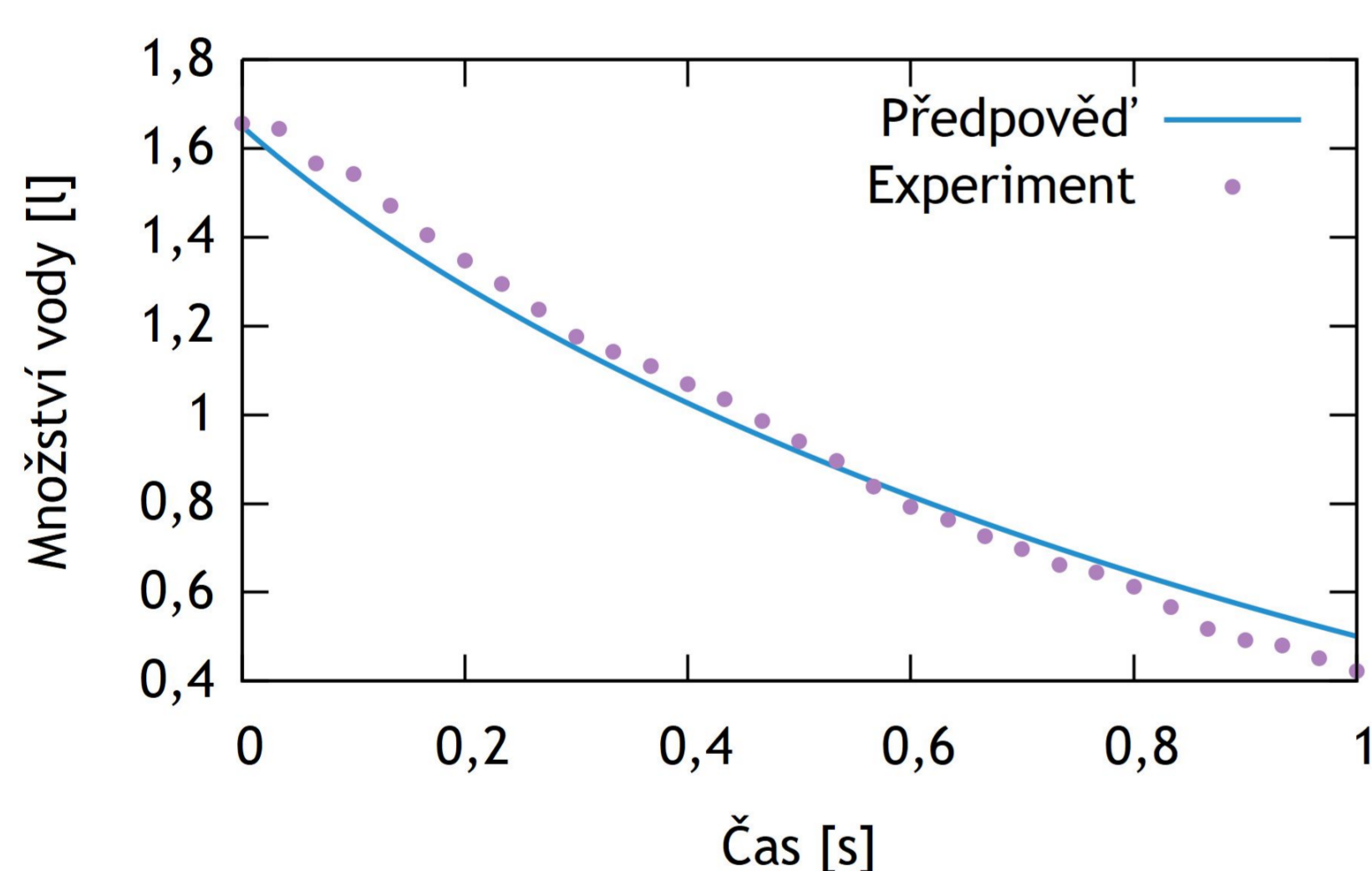


Měření vyšších tlaků potvrzuje, že výtoková rychlost i tah výrazně stoupají s tlakem. Tento výsledek se shoduje s loňskými závěry.

## Porovnání

Vlevo: statický zážeh. Rychlost výtoku vody by měla postupně klesat, což naše experimenty naznačují.

Vpravo: let rakety Theseus. Naměřená data se shodují s předpovědí, ale je potřeba škálovat osu x. Příčina je, že data měřil počítač, který neumí přesně měřit čas. Měřicí jednotku můžeme kalibrovat na volném pádu.



## Praktické využití - snímkování

Drony jsou často využívány pro snímkování země, ale jsou značně legislativně omezené (například nemohou létat v noci). Rakety mají v tomto výhodu a mohou konkurovat i nízkou cenou. Naše testy ukazují, že snímkování by vyžadovalo zvýšení spolehlivosti padáku a maximální výšky.

## Závěr

Navázali jsme na náš minulý výzkum a výrazně jsme ho posunuli. Postavili jsme raketu s čtyřnásobným objemem, sestavili měřicí jednotku a otestovali padákový systém. Získali jsme měření maximální výšky, průběhu letu i zrychlení a rozšířili jsme loňský výzkum velikosti trysek a tlaků.



vlasti  
vědné muzeum  
jesenícka

Jeseník  
město v srdci přírody

Děkujeme našemu pedagogovi za pomoc v sekci a organizátorům, kteří nám umožnili tuto akci vůbec realizovat, především Pavlu Rušarovi a Muzeu Jesenícka. Dále děkujeme za finanční i další podporu a zastřešení dalších organizací, které zde vidíte.

npi | Národní pedagogický institut  
České republiky

