

## Úloha VIII.3 ... Hrad z písku

10 bodů; (chybí statistiky)

Výfuček se na pláži pustil do stavby hradu z písku. Vadilo mu, že toho jeho pískové věže moc neunesou, a tak ho napadlo proložit je papírovými kapesníčky. Experimentálně zjistíte, jak kapesníčky ovlivňují nosnost pískových věží. Změřte závislost maximální hmotnosti, kterou unese věž z písku, na počtu prokladů z papírových kapesníčků.

Jelikož se jedná o experiment, nezapomeňte provést více měření, popis jejich průběhu a stručnou diskuzi výsledků.



### Teorie

Naším cílem je změřit nosnost pískové věže v závislosti na počtu kapesníčků, kterými ji proložíme. Rozmysleme si nejdříve, jak proklady nosnost ovlivní. Tíha závaží působí kolmo k zemi na vrchní vrstvu pískových zrn, která následně působí na zrnka pod sebou. Protože věž nemá žádné vnitřní uspořádání, vytlačují se zrnka do stran a propadají se níž. Proložíme-li věž kapesníkem, znovu rovnoměrně rozprostřeme sílu působící na jednotlivá zrnka, čímž snížíme možnost přetížení jedné části. Zároveň zabráníme propadu zrněk písku mezi dvěma takto oddělenými patry věže.

V praxi se na stejném principu uplatňují geotextilie. Jedná se o vrstvu látky, kterou se prokládá půda pod konstrukcemi, u nichž se očekává, že budou vystaveny velkému tlaku a je nežádoucí, aby se povrch pod nimi deformoval. Typickými příklady takových konstrukcí jsou vozovky, železnice, násypy, přehrady či budovy.

Dalším využitím je například železobeton. Betonový překlad by sám nevydržel tak vysoké zatížení, začal by se prohýbat, a protože není dostatečně odolný v tahu, vznikaly by v něm trhliny. Ocelová struktura sloužící jako výztuž tahové síly přenesla daleko snáz a beton tím zpevní.

### Měření

Pískovou věž budeme stavět na rovném povrchu, například desce. Písek o hmotnosti  $m = 1560\text{ g}$  jsme formičkou vytvarovali do válce s průměrem podstavy  $d = 10\text{ cm}$  a výšce  $h = 11\text{ cm}$ . Na věž jsme poté postavili kyblík a do něj postupně opatrně přisypávali písek, abychom věži nepředávali i jeho kinetickou energii, dokud se věž nezhroutila. Následně jsme pomocí kuchyňské váhy (s nepřesností  $1\text{ g}$ ) změřili hmotnost použitého závaží – to byla naše hledaná nosnost. Pro každý zvolený počet kapesníčků jsme měření opakovali dvakrát, abychom snížili chyby zapříčiněné různou stavbou věže. Všechna měření probíhají v těsné časové blízkosti, aby se snížil vliv změny vlhkosti písku.

Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 1.

### Diskuze a závěr

Z naměřených dat vidíme, že proklady skutečně významně zvýšily maximální zatížení věže. S počtem kapesníčků nosnost rostla, a to dokonce až čtyřnásobně oproti věži bez kapesníčků, což byl v našem případě přibližně 12násobek vlastní váhy. Zároveň je z naměřených dat více než zřejmé, že nosnost ovlivnily i jiné faktory, ne však natolik výrazně. Přibližně 1 až 2 kilogramy

$n$	počet kapesníků	$\frac{\text{nosnost}}{\text{kg}}$
1	0	5,406
2	0	3,656
3	2	5,672
4	2	7,392
5	4	10,677
6	4	12,682
7	6	13,504
8	6	15,961
9	8	20,189
10	8	19,456

Tab. 1: Změřená nosnost pískové věže v závislosti na počtu kapesníků.

nosnosti byly závislé na vtěsnání písku do formičky a následném vyndání z ní, při kterém mohlo dojít k nějakému poškození, nebo například na různorodosti zrn používaného písku.

*Michaela Urbanová*  
urbanova@vyfuk.mff.cuni.cz

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.