

## 8. cvičení z PSt — 4.–8.4.2022

- $Exp(\lambda)$  má hustotu  $\lambda e^{-\lambda x}$ , střední hodnotu  $1/\lambda$  a rozptyl  $1/\lambda^2$ .
- $N(0, 1)$  má hustotu  $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-x^2/2}$ , střední hodnotu 0 a rozptyl 1.
- $N(\mu, \sigma^2)$  má hustotu  $\frac{1}{\sigma}\varphi(\frac{x-\mu}{\sigma})$ , střední hodnotu  $\mu$  a rozptyl  $\sigma^2$ .

$x$	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$\Phi(x)$	0.00003	0.00135	0.02275	0.15866	0.500000	0.84135	0.97725	0.99865	0.99997

Další hodnoty viz [https://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_normal\\_table](https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_normal_table) – sekce Cumulative.

Z každé kapitoly zkuste aspoň jeden příklad! Pokud se zaseknete, na konci jsou některé nápovědy.

### Exponenciální rozdělení

1. Předpokládejme, že u poštovní přepážky trvá vyřízení jednoho zákazníka čas, který má exponenciální rozdělení a střední hodnotu 4 minuty.

- Jaký je parametr  $\lambda$ , jaká je distribuční funkce?
- Jaká je pravděpodobnost, že budeme čekat více než 4 minuty?
- Jaká je pravděpodobnost, že budeme čekat něco mezi 3 a 5 minutami?

2. Říkáme, že náhodná veličina  $X$  (resp. její rozdělení) *nemá paměť*, pokud

$$P(X > s + t \mid X \geq s) = P(X > t)$$

pro  $s, t \geq 0$ . Jinými slovy, doba, kterou jsme již čekali, nemá vliv na dobu, kterou budeme ještě čekat. Na třetím cvičení jsme viděli, že geometrické rozdělení nemá paměť. Ukažte, že ani exponenciální rozdělení nemá paměť. Platí dokonce, že je to jediné spojité rozdělení na kladných čísel bez paměti (a geometrické je jediné diskrétní bez paměti), ale to dokazovat nemusíte.

3. Doba trvání ústní zkoušky má exponenciální rozdělení se střední hodnotou 20 minut. Objednání jsou dva studenti, Adam na 10:00, Blanka na 10:20. Pokud se zkoušení Adama protáhne, zkoušení Blanky začne až bude Adam hotový, jinak začne přesně v 10:20.

- Jaká je pravděpodobnost, že když Blanka přijde, bude Adam už vyzkoušený?
- Jaká je střední hodnota času, po který bude muset Blanka čekat na dozkoušení Adama, pokud při jejím příchodu ještě Adam nebyl vyzkoušený?
- Jaká je střední hodnota času, kdy bude Blanka vyzkoušená?

### Normální rozdělení

4. Nechť  $Z \sim N(0, 1)$ . Pomocí tabulky funkce  $\Phi$  ověřte pravidlo  $3\sigma$ , neboli spočtete

- $P(|Z| \leq 1)$
- $P(|Z| \leq 2)$
- $P(|Z| \leq 3)$
- Přepište, co to znamená pro n.v.  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ .

5. Budeme modelovat množství sněhu, který bude na Silvestra v lyžarském areálu Ještěd, pomocí normálního rozdělení se střední hodnotou 40 (centimetrů) a směrodatnou odchylkou 10.

- Jaká je pravděpodobnost, že nám model určí zápornou hodnotu sněhové pokrývky?
- Jaká je pravděpodobnost, že sněhu napadne 50–70 cm?

## Práce s distribuční funkcí

6. Metrový klacek rozložíme na dva kusy – lomem v uniformně náhodném bodě. Buď  $X$  délka delší části.
- Jaké je rozdělení  $X$ ?
  - Určete  $\mathbb{E}(X)$ .
7. Pro jistý problém máme k dispozici dva algoritmy, A a B. Algoritmus C spočívá v tom, že si náhodně vybereme, který z algoritmů A, B spustíme – A bude mít pravděpodobnost  $p$ , B pravděpodobnost  $1 - p$ . Doba běhu  $A, B, C$  chápeme jako náhodné veličiny, označíme je  $X, Y, Z$ .
- Určete  $F_Z$  pomocí  $F_X, F_Y$ .
  - Pokud jsou  $X, Y$  spojité, určete  $f_Z$  pomocí  $f_X, f_Y$ .

## K procvičení

8. Medián životnosti harddisku je 7 let – po 7 letech se jich přibližně polovina porouchá. Předpokládejme, že tato doba je popsána náhodnou veličinou s exponenciálním rozdělením. (To není realistický předpoklad, viz např. <https://www.backblaze.com/blog/how-long-do-disk-drives-last/>.)
- Jaká je pravděpodobnost, že disk selže během prvních tří let?
  - Jaká je pravděpodobnost, že vydrží alespoň 10 let?
  - Po jaké době se rozbije 10 % disků?
9. Plutonium-238 má poločas rozpadu 87.7 let. Jeho rozpad budeme modelovat pomocí exponenciálního rozdělení: pro každý atom budeme čas, za který se rozpadne, považovat za náhodnou veličinu s rozdělením  $Exp(\lambda)$ .
- Jaké je  $\lambda$ ?
  - Jaká je střední doba života atomu plutonia-238?
  - Po jaké době se rozpadne 90 % atomů?
  - Kolik procent atomů se rozpadne po 50 letech? (Některé kardiostimulátory používají plutonium-238 jako zdroj energie. [https://en.wikipedia.org/wiki/Plutonium-238#Nuclear\\_powered\\_pacemakers](https://en.wikipedia.org/wiki/Plutonium-238#Nuclear_powered_pacemakers))
10. Doba, za kterou uvidíme meteor, je exponenciálně rozdělená se střední hodnotou 1 (minuta).
- Jaká je pravděpodobnost, že budeme muset čekat více než 5 minut?
  - Jaká je pravděpodobnost, že se dočkáme za nejvýše jednu minutu?
  - \* Jaké je rozdělení času, kdy uvidíme druhý meteor? Třetí, ... (Předpokládáme, že jednotlivé meteory jsou navzájem nezávislé.)
11.  $X \sim N(0, 1), Y \sim N(1, 4)$ .
- Najděte lineární funkci  $f(t) = a \cdot t + b$ , aby  $f(Y)$  měla stejnou distribuci jako  $X$ .
  - Spočtěte  $P(X \leq 1), P(X > 2)$ .
  - Spočtěte  $P(Y < 0), P(Y > 2)$ .
12. Frantovi jsme ve skoku do dálky naměřili 9 metrů, což překonává světový rekord o 5 cm. Při měření jsme se ovšem dopustili chyby s rozdělením  $N(0, 0.01)$ . Jaká je pravděpodobnost, že byl rekord skutečně překonán?
13. Nechť  $X \sim N(0, 1)$  a  $Y = |X|$ . Určete  $\mathbb{E}(Y)$  a  $\text{var}(Y)$ .
14. Najděte analogii „pravidla  $3\sigma$ “, neboli spočtěte  $P(|X - \mathbb{E}(X)| < c \cdot \sigma_X)$  ( $c = 1, 2, 3$ ), pokud
- $X$  má uniformní rozdělení,
  - $X \sim Exp(1)$ ,
  - $X \sim Exp(2)$ .

## Nápovědy

- 1, 2: použijte vzorec pro distribuční funkci exponenciálního rozdělení.
- 3: Použijte příklad 2.
- 4: Potřebujete vždy odečíst dvě vhodné hodnoty v tabulce.
- 5: Převedte na tvrzení o náhodné veličině  $N(0, 1)$ .
- 6: Spočtěte napřed distribuční funkci  $X$ , pak její hustotu.
- 7: Věta z poslední přednášky (nebo obecněji věta o celkové pravděpodobnosti).