

# **přednáška 03: další pravidla pro výpočet pstí**

# Jeden princip součtu je třetím axiomem v definici psti, a sice pro neslučitelné jevy:

**Axiom 3:  $P(A_1 \cup A_2 \cup \dots) = P(A_1) + P(A_2) + \dots$  pro navzájem neslučitelné jevy (axiom součtu pravděpodobností konečně mnoha nebo nekonečně mnoha neslučitelných jevů)**

- **Musíme se ovšem zabývat ještě situací, kdy jevy  $A_i$  NEJSOU neslučitelné, tj. nějaké elementární výsledky experimentu leží v jejich průniku**

# Začněme obecnou situací dvou jevů:

**Větička 3:  $P(A_1 \cup A_2) = P(A_1) + P(A_2) - P(A_1 \cap A_2)$  pro libov.  $A_1, A_2 \in \mathcal{A}$ .**

**Důkaz:** Pokud existují nějaké prvky v průniku obou množin, lze sjednocení  $A_1 \cup A_2$  rozložit na tři disjunktní podmnožiny:  $A_1 - A_2$ ,  $A_2 - A_1$  a  $A_1 \cap A_2$ .

• Pak podle axiomu 3 platí:

$$P(A_1 \cup A_2) = P(A_1 - A_2) + P(A_1 \cap A_2) + P(A_2 - A_1) \text{ (ax. 3 pro tři disjunkt. množiny)}$$

$$P(A_1) = P(A_1 - A_2) + P(A_1 \cap A_2) \text{ (ax. 3 pro dvě disjunkt. množiny)}$$

$$P(A_2) = P(A_1 \cap A_2) + P(A_2 - A_1) \text{ (ax. 3 pro dvě disjunkt. množiny)}$$

Dosažením těchto tří vztahů do levé a pravé strany rovnice ve větě 3 vidíme:

$$L = P(A_1 \cup A_2) = P(A_1 - A_2) + P(A_1 \cap A_2) + P(A_2 - A_1)$$

$$P = P(A_1) + P(A_2) - P(A_1 \cap A_2) = P(A_1 - A_2) + P(A_1 \cap A_2) + P(A_1 \cap A_2) + \quad +$$

$$P(A_2 - A_1) - P(A_1 \cap A_2) = P(A_1 - A_2) + P(A_1 \cap A_2) + P(A_2 - A_1)$$

Obě strany se rovnají, tvrzení platí.

# Lze dožádat větu o psí sjednocení n jevů (otázka č. 11):

$$\begin{aligned} P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) &= P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n) - \\ &- P(A_1 \cap A_2) - P(A_1 \cap A_3) - \dots - P(A_{n-1} \cap A_n) + \\ &+ P(A_1 \cap A_2 \cap A_3) + P(A_1 \cap A_2 \cap A_4) + \dots + P(A_{n-2} \cap A_{n-1} \cap A_n) - \\ &\dots \\ &+ (-1)^{n-1} P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \dots \cap A_n) \end{aligned}$$

pro libov. náhodné jevy  $A_1, A_2, \dots, A_n \in \mathcal{A}$ .

(této větě se říká **věta o součtu psí**)

# Lze dožádat větu o pasti sjednocení n jevů (otázka č. 11):

- a) *Důkaz pro 3 jevy: jeden obrázek*
- b) *Důkaz pro 4 jevy: viz jeden obrázek, kde vzniká hvězdice vzájemných průniků každých tří množin ... ale tento obrázek je zkreslený (protože budí zdání, jako by průniky dvojic množin byly čtyři, ale ono jejich šest), vhodný obrázek by byl čtyři koule se středy ve vrcholech čtyřstěnu*

# Příklad: Elektrikář vytiskl štítky na zvonky domy se 4 byty a zapojuje je náhodně, protože jeho parťák onemocněl

**Jaká je pst, že**

**a) Všechny zvonky zapojí ke správným bytům**

**b) Aspoň jeden zvonek zapojí správně?**

**c) Žádný zvonek nezapojí správně?**

○

**$A_1$  ... zvonek k bytu č. 1 bude zapojen správně**

**$A_2$  ... zvonek k bytu č. 2 bude zapojen správně**

**$A_3$  ... zvonek k bytu č. 3 bude zapojen správně**

**$A_4$  ... zvonek k bytu č. 4 bude zapojen správně**

Řešení: všech možných připojení zvonků k bytům je ...

(řešíme pomocí modelu klasické psťi ... každá varianta připojení zvonků je stejně pravděpodobná)

o a)  $P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4) = \frac{1}{1} =$



Řešení: všech možných připojení zvonků k bytům je 24

$$a) P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4) = \frac{1}{24} = 0,04166666\dots$$

$$b) P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + P(A_4) -$$

$$- P(A_1 \cap A_2) - P(A_1 \cap A_3) - \dots - P(A_3 \cap A_4) +$$

$$+ P(A_1 \cap A_2 \cap A_3) + P(A_1 \cap A_2 \cap A_4) + P(A_1 \cap A_3 \cap A_4) + P(A_2 \cap A_3 \cap A_4) - P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4) =$$

$$= \frac{1}{24} (\dots)$$

$$a) P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4) = \frac{1}{24} = 0,04166666\dots$$

$$b) P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + P(A_4) -$$

$$- P(A_1 \cap A_2) - P(A_1 \cap A_3) - \dots - P(A_3 \cap A_4) +$$

$$+ P(A_1 \cap A_2 \cap A_3) + P(A_1 \cap A_2 \cap A_4) + P(A_1 \cap A_3 \cap A_4) + P(A_2 \cap A_3 \cap A_4) - P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4) =$$

$$= \frac{1}{24} (3! + 3! + 3! + 3! - 2! - 2! - 2! - 2! - 2! - 2! + 1 + 1 + 1 + 1 - 1) = 0,625$$

Jaká je pst, že

a) Všechny zvonky zapojí ke správným bytům

b) Aspoň jeden zvonek zapojí správně?

c) Žádný zvonek nezapojí správně?

$$1 - P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4) = 1 - 0,625 = 0,375$$

## Otázka 12: Stochastická nezávislost jevů

stocazomai = tuším, domnívám se, odhaduji

stocastikoj = důvtipný, bystý (o lidech)

stocastikoj = odhadovaný, náhodný

Stochastické metody = odhadové metody, přibližné metody

Definice: (Králová, Budíková, Maroš, str. 59)

jevy  $A_1, A_2 \in \mathcal{A}$  se naz. stochasticky nezávislé, když

$$P(A_1 \cap A_2) = P(A_1) \cdot P(A_2)$$

jevy  $A_1, A_2, \dots, A_n \in \mathcal{A}$  se naz. stochasticky nezávislé, když

(i)  $P(A_i \cap A_j) = P(A_i) \cdot P(A_j)$  pro  $1 \leq i < j \leq n$

(ii)  $P(A_i \cap A_j \cap A_k) = P(A_i) \cdot P(A_j) \cdot P(A_k)$  pro  $1 \leq i < j < k \leq n$

(iii) ...

(iv)  $P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \dots \cap A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n)$

(tedy ověřujeme celkem  $2^n - n - 1$  vztahů)

## *Příklad: Házíme dva hody mincí, padá líc nebo rub*

A ... v prvním hodu padne líc

B ... ve druhém hodu padne rub

C ... v obou hodech padne stejná strana

Ověřte, zda jsou jevy A, B, C stochasticky nezávislé

**$\Omega = \{LL, LR, RL, RR\}$  ... všechny element výsl nastávají stejně často**

**A ... v prvním hodu padne líc**

**$A = \{LL, LR\}$**

**B ... ve druhém hodu padne rub**

**$B = \{LR, RR\}$**

**C ... v obou hodech padne stejná strana**

**$C = \{LL, RR\}$**

# Máme ověřit čtyři vztahy:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(A \cap C) = P(A) \cdot P(C)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(B \cap C) = P(B) \cdot P(C)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(A \cap B \cap C) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C)$$

????????????????



$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(A \cap C) = P(A) \cdot P(C)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(B \cap C) = P(B) \cdot P(C)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

○  $P(A \cap B \cap C) = P(A) \cdot P(B) \cdot P(C)$

$$0 \neq \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{not OK}$$

Tj jevy A, B, C nejsou stochasticky nezávislé  
(závislost je ukryta až při interakci všech tří jevů)

**Další příklad: Házíme čtyřstěnem; jsou náhodné jevy  $R, G, B$  stochasticky nezávislé?**

**stěna A ... obarvena červeně**

**stěna B ... obarvena zeleně**

**stěna C ... obarvena modře**

**stěna D ... obarvena část červeně, část zeleně, část modře**

**R ... padne aspoň část stěny červené .....  $R = \{A, D\}$**

**G ... padne aspoň část stěny zelené ....  $G = \{B, D\}$**

**B ... padne aspoň část stěny modré .....  $B = \{C, D\}$**

**$\Omega = \{A, B, C, D\}$**

# Máme ověřit čtyři vztahy:

$$P(R \cap G) = P(R) \cdot P(G)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(R \cap B) = P(R) \cdot P(B)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(G \cap B) = P(G) \cdot P(B)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(R \cap G \cap B) = P(R) \cdot P(G) \cdot P(B)$$

????????????????

$$P(R \cap G) = P(R) \cdot P(G)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(R \cap B) = P(R) \cdot P(B)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

$$P(G \cap B) = P(G) \cdot P(B)$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{OK}$$

○  $P(R \cap G \cap B) = P(R) \cdot P(G) \cdot P(B)$

$$\frac{1}{4} \neq \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \dots \text{not OK}$$

Tj jevy A, B, C nejsou stochasticky nezávislé  
(závislost je ukryta až při interakci všech tří jevů)

## Otázka 13: podmíněná pst (označení i vzorec jsou vysvětleny na příkladu)

Příklad: Uvažujme situaci, kdy zásilkový prodejce vyřizuje objednávky zboží telefonicky, emailem nebo formulářem při osobním odběru

T ... objednávka bude se děje telefonicky

E ... objednávka se děje emailem

F ... objednávka se děje formulářem při osobním odběru

---

M ... objednávka je malá

S ... objednávka je střední

V ... objednávka je velká

H ... objednávka je prioritní, HIGH PRIORITY

## Jsou známa následující data z letošního roku:

Typ obj.	Malá obj.	Střední obj.	Velká obj.	Prior. obj	celkem
Telefon	1021	216	109	14	1360
Email	86	371	308	49	814
Formulář	1497	230	86	13	1826
celkem	2604	817	503	76	4000

## Dvě otázky v tomto příkladu:

- a) Právě volá zákazník, který si chce objednat zboží. S jakou psí bude jeho objednávka prioritní?
- b) Referentka řekla, že právě vyřídila prioritní objednávku. S jakou psí jí vyřizovala se zákazníkem telefonicky?

### Charakter otázek:

1. Je nám známá část informace – víme, že nastal jev  $V$  (podmínka)
2. Situace ještě stále obsahuje náhodnost – nevíme, zda nastal  $N$

Chceme spočítat tzv. podmíněnou psí  $P(N|V)$  ... psí výskytu jevu  $N$ , pokud je známo, že nastala situace  $V$  (obr. ...  $N \subseteq V$ )

## Odpověď na první otázku:

Vzorec:  $P(N|V) = \frac{P(N \cap V)}{P(V)}$  ... platí, pokud jev  $V$  má nenulovou psť

- a) Právě volá zákazník, který si chce objednat zboží. S jakou psťí bude jeho objednávka prioritní?

Máme počítat  $P(H|T)$  ... psť, že objednávka je prioritní, pokud víme, že k ní došlo telefonicky:  $P(H|T) = \frac{P(H \cap T)}{P(T)} = \frac{14}{1360} \doteq 0,0103$



## Odpověď na druhou otázku:

Vzorec:  $P(N|V) = \frac{P(N \cap V)}{P(V)}$  ... platí, pokud jev  $V$  má nenulovou psť

- b) Referentka řekla, že právě vyřídila prioritní objednávku. S jakou psťí ji vyřizovala se zákazníkem telefonicky?

Máme počítat  $P(T|H)$  ... psť, že objednávka je telefonická, pokud víme, že je HIGH priority:  $P(T|H) = \frac{P(T \cap H)}{P(H)} = \frac{14}{76} \doteq 0,1842$

## Otázka č. 14: věta o součinu pstí

Ze vzorce pro podmíněnou pst plyne:  $P(V \cap N) = P(V) \cdot P(N | V)$

Obecně pro  $n$  jevů (věta o součinu pstí):

Pokud  $P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \dots \cap A_{n-1}) \neq 0$  (tj. jmenovatel posledního členu v následující rovnosti je nenulový), tak platí

$$P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \dots \cap A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2 | A_1) \cdot P(A_3 | A_1 \cap A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n | A_1 \cap A_2 \cap A_3 \dots \cap A_{n-1})$$

**Příklad: Ze sady 100 výrobků je 10 zmetků. Při kontrole jakosti vybereme náhodně tři výrobky z této sady.**

- a) Určete pst, že první dva výrobky budou kvalitní a třetí bude zmetek (tj. záleží na pořadí zmetku). Jen tato část a) se týká podmíněné psti, naučte se v této otázce 14 jen tu.
- b) Určete pst, že ze tří vybraných výrobků budou dva kvalitní a jeden zmetek. Nezáleží na pořadí zmetku. Počítejte podle věty o součinu.
- c) Totéž jako b), ale počítejte pomocí klasické psti (tak nějak najednou, když nezáleží na pořadí).
- d) Určete pst, že druhý výrobek bude vybrán kvalitní, bez ohledu na to, jaký byl vytažen poprvé (nevíme, jaký byl vytažen poprvé)

*Příklad: Ze sady 100 výrobků je 10 zmetků. Při kontrole jakosti vybereme náhodně tři výrobky z této sady.*

**a) Určete pst, že první dva výrobky budou kvalitní a třetí bude zmetek (tj. záleží na pořadí zmetku).**

$K_1$  ... první vybraný výrobek bude kvalitní

$K_2$  ... druhý vybraný výrobek bude kvalitní

$\overline{K_3}$  ... třetí vybraný výrobek bude zmetek

$$P(K_1 \cap K_2 \cap \overline{K_3}) = P(K_1) \cdot P(K_2 | K_1) \cdot P(\overline{K_3} | K_1 \cap K_2) = \dots$$

a) Určete pst, že první dva výrobky budou kvalitní a třetí bude zmetek (tj. záleží na pořadí zmetku).

$K_1$  ... první vybraný výrobek bude kvalitní

$K_2$  ... druhý vybraný výrobek bude kvalitní

$\overline{K_3}$  ... třetí vybraný výrobek bude zmetek

$$P(K_1 \cap K_2 \cap \overline{K_3}) = P(K_1) \cdot P(K_2 | K_1) \cdot P(\overline{K_3} | K_1 \cap K_2) = \frac{90}{100} \cdot \frac{89}{99} \cdot \frac{10}{98} \doteq 0,0826$$

- b) Určete pst (jevu B), že ze tří vybraných výrobků budou dva kvalitní a jeden zmetek. Nezáleží na pořadí zmetku.

$$P(K_1 \cap K_2 \cap \overline{K_3}) + P(K_1 \cap \overline{K_2} \cap K_3) + P(\overline{K_1} \cap K_2 \cap K_3) = \dots$$

- b) Určete pst, že ze tří vybraných výrobků budou dva kvalitní a jeden zmetek. Nezáleží na pořadí zmetku.

$$\begin{aligned} & P(K_1 \cap K_2 \cap \overline{K_3}) + P(K_1 \cap \overline{K_2} \cap K_3) + P(\overline{K_1} \cap K_2 \cap K_3) = \\ & = \frac{90}{100} \cdot \frac{89}{99} \cdot \frac{10}{98} + \frac{90}{100} \cdot \frac{10}{99} \cdot \frac{89}{98} + \frac{10}{100} \cdot \frac{90}{99} \cdot \frac{89}{98} \doteq 0,2478 \end{aligned}$$

Některé příklady lze řešit i více způsoby:

- c) Totéž jako b): Určete pst, že ze tří vybraných výrobků budou dva kvalitní a jeden zmetek, ale počítejte pomocí klasické psti (tak nějak najednou, když nezáleží na pořadí).

$$P(B) = \frac{?}{??}$$



- c) Totéž jako b): Určete pst, že ze tří vybraných výrobků budou dva kvalitní a jeden zmetek, ale počítejte pomocí klasické psti (tak nějak najednou, když nezáleží na pořadí).

$$P(B) = \frac{|B|}{|\Omega|} = \frac{??}{???$$

- c) Totéž jako b): Určete pst, že ze tří vybraných výrobků budou dva kvalitní a jeden zmetek, ale počítejte pomocí klasické psti (tak nějak najednou, když nezáleží na pořadí).

$$P(B) = \frac{|B|}{|\Omega|} = \frac{\binom{10}{1} \cdot \binom{90}{2}}{\binom{100}{3}} \doteq 0,2478 \dots \text{stejný výsledek!!}$$

d) Určete pst, že druhý výrobek bude vybrán kvalitní, bez ohledu na to, jaký byl vytažen poprvé

$$P(K_2) = P(K_1 K_2) + P(\overline{K_1} K_2) = \frac{90}{100} \cdot \frac{89}{99} + \frac{10}{100} \cdot \frac{90}{99} \doteq 0,9 \dots \text{paradox!!}$$

(bez ohledu na pořadí tahaneho výrobku – pst, že vytáhneme výrobek kvalitní, je pořád stejná a rovná  $\frac{90}{100}$ )

# Rekapitulace otázek – přednáška 3:

11. Věta o součtu pstí.
12. Stochasticky nezávislé jevy.
13. Podmíněná pst
14. Věta o součinu pstí