

9.1.13 Kombinace s opakováním

Předpoklady: 9107, 9108, 9111, 9112

Pedagogická poznámka: Tato hodina zabere opět minimálně 70 minut. Asi ji čeká rozšíření na dvě hodiny.

Netradiční začátek. Nemáme žádné příklady, ale rovnou definici.

Definice kombinace bez opakování

k -členná kombinace z n prvků je **neuspořádaná** k -tice sestavená z těchto prvků tak, že každý se v ní vyskytuje nejvýše jednou.

Př. 1: Sestav definici k -členné kombinace s opakováním z n prvků.

k -členná kombinace z n prvků je **neuspořádaná** k -tice sestavená z těchto prvků tak, že každý se v ní vyskytuje nejvýše k -krát.

Příkladem vytváření takových kombinací je například známý příklad na výpočet počtu částek, které je možné zaplatit pomocí tří jedno, dvou a pětikorunových mincí.

Př. 2: Vypiš všechny částky, které je možné zaplatit třemi mincemi, pokud máš k dispozici tři jednokorunové, tři dvojkorunové a tři pětikorunové mince.

Budeme vypisovat jednotlivé trojice mincí a jejich celkovou hodnotu:

1,1,1 \Rightarrow 3 1,1,2 \Rightarrow 4 1,1,5 \Rightarrow 7 1,2,2 \Rightarrow 5 1,2,5 \Rightarrow 8
1,5,5 \Rightarrow 11 2,2,2 \Rightarrow 6 2,2,5 \Rightarrow 9 2,5,5 \Rightarrow 12 5,5,5 \Rightarrow 15
 \Rightarrow celkem 10 možných částek {3;4;5;6;7;8;9;11;12;15}

V předchozím příkladu jsme vytvářeli skupiny, ve kterých nezáleželo na pořadí (šlo pouze o to, že ve skupině máme dvě koruny a jednu dvojkorunu. Ne o to, kterou minci jsme vybrali jako první), jednotlivé prvky se mohly opakovat \Rightarrow **vytvářeli jsme tříčlenné kombinace ze tří prvků s opakováním.**

Náš přístup nebyl příliš kombinatorický. Všechny možnosti jsme nejdříve vypsali a pak je spočítali (dosud jsme to vždycky dělali obráceně). Takový postup nepůjde aplikovat u kombinací z většího počtu prvků.

\Rightarrow musíme vymyslet postup, který umožňuje určit počet kombinací s opakováním podobně jako jsme to udělali v jiných případech

Trik: kombinace s opakováním nahradíme permutacemi s opakováním takto:

tři prvky, ze kterých sestavujeme naše kombinace, budeme dávat do tří přihrádek, podle toho ve které přihrádce se prvek nachází znamená buď 1 2 nebo 5.

Konkrétně to vypadá takto:

1,1,1 \Leftrightarrow $\underbrace{\circ\circ\circ}_1 \parallel \underbrace{\parallel}_2 \parallel \underbrace{\parallel}_5$ 1,1,2 \Leftrightarrow $\underbrace{\circ\circ}_1 \parallel \underbrace{\circ}_2 \parallel \underbrace{\parallel}_5$ 1,1,5 \Leftrightarrow $\underbrace{\circ\circ}_1 \parallel \underbrace{\parallel}_2 \parallel \underbrace{\circ}_5$
1,2,2 \Leftrightarrow $\underbrace{\circ}_1 \parallel \underbrace{\circ\circ}_2 \parallel \underbrace{\parallel}_5$ 1,2,5 \Leftrightarrow $\underbrace{\circ}_1 \parallel \underbrace{\circ}_2 \parallel \underbrace{\circ}_5$ 1,5,5 \Leftrightarrow $\underbrace{\circ}_1 \parallel \underbrace{\parallel}_2 \parallel \underbrace{\circ\circ}_5$

$$2,2,2 \Leftrightarrow \underbrace{\text{||}}_1 \underbrace{\text{|| } \text{○○○}}_2 \underbrace{\text{||}}_5$$

$$2,2,5 \Leftrightarrow \underbrace{\text{||}}_1 \underbrace{\text{|| } \text{○○}}_2 \underbrace{\text{|| } \text{○}}_5$$

$$2,5,5 \Leftrightarrow \underbrace{\text{||}}_1 \underbrace{\text{|| } \text{○}}_2 \underbrace{\text{|| } \text{○○}}_5$$

$$5,5,5 \Leftrightarrow \underbrace{\text{||}}_1 \underbrace{\text{||}}_2 \underbrace{\text{|| } \text{○○○}}_5$$

\Rightarrow každé kombinaci s opakováním odpovídá jeden obrázek s kolečky a přihrádkami a naopak
 \Rightarrow obrázku i kombinací je stejně

Kolik obrázků můžeme sestavit? Jde o uspořádané pětice ze tří koleček a dvou přepážek \Rightarrow

$$\text{permutace s opakováním: } P'(3;2) = \frac{5!}{3! \cdot 2!} = \frac{5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1} = 5 \cdot 2 = 10.$$

Výsledek odpovídá počtu kombinací, které jsme vytvořili.

Př. 3: Urči počet pětičlenných kombinací s opakováním ze tří prvků, pomocí předchozího modelu s kolečky a přepážkami.

pětičlenné kombinace \Rightarrow pět koleček
ze tří prvků \Rightarrow tři přihrádky \Rightarrow dvě přepážky

\Rightarrow vytváříme permutace s opakováním z pěti koleček a dvou přepážek $\Rightarrow \frac{7!}{2! \cdot 5!}$ možností

Poznámka: Je dobré si uvědomit, že pětičlenné kombinace ze tří prvků bez opakování není možné sestavit.

Pedagogická poznámka: Občas se objeví někdo, kdo si neuvědomí, že sestavujeme kombinace s opakováním a právě kvůli faktu z předchozí poznámky považuje předchozí příklad za nesmyslný.
Nejčastější chyby:
prohození významu k a n
nerozlišování mezi přihrádkami a přepážkami a tudíž dosazování větší hodnoty do výsledného zlomku

Př. 4: Urči počet tříčlenných kombinací s opakováním z pěti prvků, pomocí modelu s kolečky a přepážkami.

tříčlenné kombinace \Rightarrow tři kolečka
z pěti prvků \Rightarrow pět přihrádek \Rightarrow čtyři přepážky

\Rightarrow vytváříme permutace s opakováním ze tří koleček a čtyř přepážek $\Rightarrow \frac{7!}{3! \cdot 4!}$ možností

Postřeh: Je nutné dávat pozor, na čísla n a k , protože při jejich záměně můžeme získat špatný výsledek.

Př. 5: Urči počet k -členných kombinací s opakováním z n prvků (číslo $K'_k(n)$).

Postupujeme stejně jako s konkrétními čísly:

k -členné kombinace $\Rightarrow k$ koleček
z n prvků $\Rightarrow n$ přihrádek $\Rightarrow n-1$ přepážek

\Rightarrow vytváříme permutace s opakováním z k koleček a $n-1$ přepážek $\Rightarrow \frac{(k+n-1)!}{k! \cdot (n-1)!}$ možností

Platí: $K'_k(n) = P'(k; n-1) = \frac{(n+k-1)!}{k! \cdot (n-1)!}$

Všechny výsledky připomínají kombinační čísla. Bylo by hezké mít počet kombinací s opakováním napsaný ve formě kombinačního čísla:

$$K'_k(n) = P'(k; n-1) = \frac{(n+k-1)!}{k! \cdot (n-1)!} = \frac{(n+k-1)!}{k! \cdot [(n+k-1)-k]!} = \binom{n+k-1}{k}$$

Počet $K'_k(n)$ všech k -členných kombinací s opakováním z n prvků je

$$K'_k(n) = \binom{n+k-1}{k}.$$

Pedagogická poznámka: Existuje značné procento studentů, kterým přijde přechod na kombinační číslo zbytečný. Nenutím je.

Př. 6: Kolika způsoby je možné nakoupit 15 oplatků, pokud mají v obchodě k dispozici pět druhů oplatků, všechny v dostatečném množství (alespoň 15 kusů).

Kupujeme 15 oplatků, nehraje roli, který jsme vybrali jako první, zajímá nás pouze to, kolik oplatků, kterého druhu budeme mít \Rightarrow sestavujeme neuspořádanou 15-tici z pěti prvků s opakováním \Rightarrow jde o kombinaci s opakováním

vybíráme 15 prvků z 5 $\Rightarrow K'_{15}(5) = \binom{5+15-1}{15} = \binom{19}{15}$

Př. 7: Urči kolika způsoby je možné rozdat mariášové karty z plného balíčku:

- pro 1 hráče na prší (při hře rozlišujeme jak barvu, tak hodnotu)
- pro 1 hráče na sedmu (při hře rozlišujeme pouze hodnoty karet, jejich barva nehraje roli)

a) pro 1 hráče na prší (při hře rozlišujeme jak barvu, tak hodnotu)

\Rightarrow vybíráme 4 karty ze 32 (žádné dvě karty nejsou stejné \Rightarrow při výběru se nemůžeme opakovat), nezáleží na pořadí \Rightarrow sestavujeme čtyřčlenné kombinace ze 32 bez opakování \Rightarrow

počet možností: $K_4(32) = \binom{32}{4}$

b) pro 1 hráče na sedmu (při hře rozlišujeme pouze hodnoty karet, jejich barva nehraje roli)

\Rightarrow vybíráme z osmi různých karet (osm různých hodnot) a každou hodnotu máme k dispozici čtyřikrát (při výběru se můžeme opakovat), nezáleží na pořadí \Rightarrow sestavujeme čtyřčlenné

kombinace z 8 s opakováním \Rightarrow počet možností: $K'_4(8) = \binom{11}{4}$

Pedagogická poznámka: Většina studentů se nachytá a neuvědomí si, že v bodě a) se jedná o kombinace bez opakování, protože není možné rozdat například dvě zelená esa.

Př. 8: Kolik trojic mohou dát počty ok na čtyřech nerozlišitelných, naráz hozených hracích kostkách na člověče nezlob se?

kostky jsou nerozlišitelné a házíme je naráz \Rightarrow nemůžeme říct, která z kostek je první, nerozlišujeme, kolik na které kostce padlo, pouze kolikrát máme 1, kolikrát 2 ... \Rightarrow vytváříme neuspořádané čtveřice ze šesti čísel \Rightarrow sestavujeme čtyřčlenné kombinace z 6 s

opakováním \Rightarrow počet možností: $K'_4(6) = \binom{9}{4}$

Př. 9: V sáčku jsou červené, modré a zelené kuličky. Kuličky téže barvy jsou nerozlišitelné. Urči kolika způsoby je možné vybrat pět kuliček (bez rozlišení pořadí, ve kterém byly vytaženy) jestliže v sáčku je:

- a) alespoň pět kuliček od každé barvy
- b) pět červených, čtyři modré a čtyři zelené
- c) pět červených, pět modrých a tři zelené

a) alespoň pět kuliček od každé barvy
nerozlišujeme v jakém pořadí jsme táhli, pouze kolik máme červených, modrých a zelených \Rightarrow vytváříme neuspořádané pětičky ze tří barev \Rightarrow sestavujeme pětičlenné kombinace ze tří s

opakováním \Rightarrow počet možností: $K'_5(3) = \binom{7}{5}$

b) pět červených, čtyři modré a čtyři zelené
nemůžeme vytáhnout všechny kombinace (pět modrých a pět zelených) \Rightarrow musíme tyto dvě kombinace odečíst

$$K'_5(3) - 2 = \binom{7}{5} - 2$$

c) pět červených, pět modrých a tři zelené
opět nemůžeme vytáhnout všechny kombinace \Rightarrow spočteme je a pak je odečteme nejde vytáhnout:

pět zelených \Rightarrow 1 možnost

čtyři zelené a jednu další barvu \Rightarrow 2 možnosti (jak si vybrat zbývající barvu)

\Rightarrow celkem možností: $K'_5(3) - 3 = \binom{7}{5} - 3$

Př. 10: Urči kolika způsoby je možné rozdat mariášové karty z plného balíčku:

- a) pro 4 hráče na prší (při hře rozlišujeme jak barvu, tak hodnotu)
- b) pro 4 hráče na sedmu (při hře rozlišujeme pouze hodnoty karet, jejich barva nehraje roli)

a) pro 4 hráče na prší (při hře rozlišujeme jak barvu, tak hodnotu)
 \Rightarrow vybíráme postupně

1. hráč: 4 karty ze 32 $\Rightarrow K_4(32) = \binom{32}{4}$ možností

2. hráč: 4 karty ze 28 $\Rightarrow K_4(28) = \binom{28}{4}$ možností

3. hráč: 4 karty ze 24 $\Rightarrow K_4(24) = \binom{24}{4}$ možností

4. hráč: 4 karty ze 20 $\Rightarrow K_4(20) = \binom{20}{4}$ možností

možnosti mezi sebou násobíme: \Rightarrow celkem $\binom{32}{4} \cdot \binom{28}{4} \cdot \binom{24}{4} \cdot \binom{20}{4}$ možností

b) pro 4 hráče na sedmu (při hře rozlišujeme pouze hodnoty karet, jejich barva nehraje roli) řešení tohoto příkladu autor učebnice nezná. Na rozdíl od bodu a) nemůžeme při vybírání karet pro druhé hráče postupovat podobně jako v bodě a), protože nevíme, jak dopadlo rozdávání pro prvního hráče (všechny čtyři rozdané karty mohly mít stejnou hodnotu \Rightarrow pak už vybíráme pouze ze sedmi hodnot atd..)

Př. 11: Petáková:

strana 148/cvičení 74

strana 148/cvičení 75

Shrnutí: