

Instructions for translators

1. Open this file on GitHub server. If you see `https://um.mendelu.cz/...` in URL, click View on GitHub to open this file on github.com.
2. If you see this file on GitHub server, you can edit the content of the file. Open the file in an editor. You can use simple editor (press e on GitHub). However, an advanced VS Code editor (press . on GitHub) is better, since it provides preview how the Markdown code renders. Alternatively press pencil for simple editor or press triangle next to the pencil to get access to VS Code described as github.dev.
3. Fix the keywords in the preamble.
4. Depending on which language version you want to use as a source for your translation, delete either English or Czech version below.
5. Translate to your language. Keep Markdown marking and math notation. If you use a tool to get first version of the translation, make sure that the markup is preserved.
6. In VS Code you can open the preview in another window by pressing `Ctrl+V` and `K`. Keep the preview open as you work, or close using a mouse.
7. Instead of saving, you have to commit and push the changes to the repository. Fill the Message under Source control (describe your changes, such as “Polish translation started”) and then press Commit&Push.
8. Make sure that your changes appear in the commit history. In rare cases (if you work with simultaneously with someone else) you have to download /Pull/ and merge his and yours changes. Usually Sync (Pull & Push) should work.
9. When you finish the translation, change `is_finished: False` in header to `is_finished: True`.

Instrukce pro překladatele

1. Otevřete tento soubor na serveru GitHub. Pokud máte soubor otevřen na `https://um.mendelu.cz/...`, otevřete jej na serveru github.com.
2. Pokud tento soubor vidíte na serveru GitHub, můžete obsah souboru upravit. Otevřete soubor v editoru. Můžete použít jednoduchý editor (stiskněte e na GitHubu). Lepší je však pokročilý editor VS Code (stikněte . na GitHubu), protože poskytuje náhled, jak se kód Markdown interpretuje. Případně stiskněte tužku pro jednoduchý editor nebo stiskněte trojúhelníček vedle tužky, abyste získali přístup k editoru VS Code popsany jako github.dev.
3. Opravte klíčová slova v preambuli.
4. V závislosti na tom, kterou jazykovou verzi chcete použít jako zdrojový kód pro svůj překlad, odstraňte níže uvedenou anglickou nebo českou verzi.
5. Přeložte do svého jazyka. Ponechte značení Markdown a matematický zápis. Pokud použijete nástroj typu DeepL pro získání první verze překladu, ujistěte se, že zápis matematických výrazů byl zachován.
6. Ve VS Code můžete náhled otevřít v jiném okně stisknutím `Ctrl+V`. a `K`. Během práce nechte náhled otevřený nebo jej zavřete pomocí myši.
7. Místo uložení musíte změny zaregistrovat a odeslat do úložiště. Vyplňte zprávu v poli Zpráva (popište své změny, např. “Zahájen překlad do polštiny”) a poté stiskněte tlačítko Commit&Push.

8. Ujistěte se, že se vaše změny objeví v historii revizí. Ve výjimečných případech (pokud pracujete současně s někým jiným) musíte stáhnout /Pull/ a sloučit jeho a vaše změny. Obvykle by synchronizace (Pull & Push) měla fungovat.
9. Po dokončení překladu změňte `is_finished: False` v záhlaví na `is_finished: True`.

Czech source

Round robin

Keywords: combinatorics, probability and statistics, combinatorics

Představte si, že pořádáte školní turnaj ve stolním tenise, šachu, e-sportu nebo třeba futsale. Chcete, aby byl co nejspravedlivější – aby každý hráč měl možnost utkat se se všemi ostatními. Právě k tomu slouží systém každý s každým, známý také jako round robin.

Jeho hlavní výhodou je férovost: výsledné pořadí závisí jen na výkonech hráčů nebo týmů, ne na náhodném losu soupeřů. Na druhou stranu, počet zápasů rychle roste s počtem účastníků – naplánovat takový turnaj může být docela výzva. A právě zde přichází ke slovu kombinatorika – matematika počítání možností.

Futsalový turnaj

Úloha 1. Na turnaj ve futsalu se přihlásilo 9 týmů. Je vedený systémem round robin, tzn. každý tým hraje s každým jeden zápas. Tým za každou výhru v zápase dostává 2 body, za remízu 1 bod a za prohru 0 bodů. O celkovém umístění týmu rozhodne závěrečný součet bodů za všechny zápasy. Kolik zápasů je nutné na turnaji odehrát? Kolika způsoby je možné sestavit rozvrh turnaje, je-li k dispozici jediné hřiště, na kterém se zápasy postupně odehrávají?

Řešení. Celkový počet odehraných zápasů odpovídá počtu všech neuspořádaných dvojic vytvořených z devíti týmů. Jinými slovy odpovídá počtu všech dvoučlenných kombinací bez opakování vytvořených z devíti prvků. Těch je celkem

$$\binom{9}{2} = 36.$$

Pro určení počtu způsobů sestavení turnaje hledáme vlastně počet všech seřazení 36 zápasů, proto je všech možných rozvrhů turnaje celkem

$$36! = 371\,993\,326\,789\,901\,217\,467\,999\,448\,150\,835\,200\,000\,000 \doteq 3,72 \cdot 10^{41}.$$

Poznamenejme, že kdybychom shromáždili srovnatelný počet zrněk písku, z nichž každé bude mít objem řádově 10^{-13} m^3 , celá hromada by měla objem v řádech 10^{28} m^3 , což je přibližně desetinasobek objemu Slunce. Spíše než o hromadu by se proto jednalo o relativně hmotné vesmírné těleso.

Úloha 2. Ukažte, že jestliže některý tým v turnaji z předchozí úlohy získal celkem 13 bodů, pak nutně patří mezi čtyři nejlepší týmy turnaje.

Řešení. Úlohu budeme řešit sporem. Pripusťme, že by 5 týmů získalo 13 nebo více bodů. Protože jsou v každém zápase mezi dva týmy rozděleny 2 body, je v celém turnaji rozděleno celkem $2 \cdot 36 = 72$ bodů. Přitom je mezi 5 týmů rozděleno alespoň 65 bodů, mezi zbývajících čtyři týmy tak musí být rozděleno nejvýše 7 zbylých bodů.

Ale tyto čtyři týmy navzájem mezi sebou odehrají celkem $\binom{4}{2} = 6$ zápasů a musí si proto rozdělit celkem 12 bodů, dohromady by se tedy muselo rozdělit alespoň 77 bodů, což není možné, dostáváme tedy spor.

Týmů s 13 nebo více body tak může být nejvýše čtyři.

Férovejší soutěž

Na další ročník futsalového turnaje z předchozích úloh se tentokrát přihlásilo 7 týmů. Při sestavování rozvrhu turnaje si však organizátor dal novou podmínku, že žádný tým nesmí hrát ve dvou zápasech těsně za sebou, aby hráči nemuseli hrát unavení a turnaj byl férovější.

Libor vymyslel algoritmus, jak požadovanou posloupnost zápasů sestavit. Vychází z následující tabulky.

tým 2	D_1					
tým 3	D_2	D_1				
tým 4	D_3	D_2	D_1			
tým 5	D_4	D_3	D_2	D_1		
tým 6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1	
tým 7		D_5	D_4	D_3	D_2	D_1
	tým 1	tým 2	tým 3	tým 4	tým 5	tým 6

Figura 1: Tabulka pro tvorbu programu férového turnaje

Její každé pole v i -tém řádku a j -tém sloupci odpovídá zápasu $(i + 1)$ -tého a j -tého týmu. Hledaná posloupnost zápasů bude odpovídat pořadí polí, která Libor postupně vybírá. Pro přehlednost budeme tato pole značit dle týmů, jejichž zápas reprezentuje, tj. $[1; 2]$, $[3; 5]$ atd. Dále označíme nejdelší diagonálu začínající polem $[1; 2]$ a končící polem $[6; 7]$ jako D_1 , kratší diagonálu začínající polem $[1; 3]$ a končící polem $[5; 7]$ jako D_2 apod.

Liborův algoritmus vypadá následovně: - jako první vybereme pole v prvním sloupci a posledním řádku, tj. $[1; 7]$; - dále vybíráme po řadě pole diagonály D_1 v sudých sloupcích zleva doprava; - dále vybíráme po řadě zbylá pole diagonály D_1 v lichých sloupcích zleva doprava; - dále vybíráme zleva doprava všechna pole diagonály D_2 ; - dále vybíráme zleva doprava všechna pole diagonály D_3 , následně D_4 atd.

Pro turnaj o sedmi týmech tak dostaneme následující pořadí zápasů

$[1; 7]$, $[2; 3]$, $[4; 5]$, $[6; 7]$, $[1; 2]$, $[3; 4]$, $[5; 6]$,
 $[1; 3]$, $[2; 4]$, $[3; 5]$, $[4; 6]$, $[5; 7]$, $[1; 4]$, $[2; 5]$,

$[3; 6], [4; 7], [1; 5], [2; 6], [3; 7], [1; 6], [2; 7].$

Úloha 3. Vypište užitím Liborova algoritmu posloupnost zápasů pro turnaj, kterého se účastní 9 týmů a ověřte, že v ní nedojde k výskytu stejného týmu ve dvou po sobě jdoucích zápasech.

Řešení. Užitím algoritmu dostáváme následující posloupnost 36 polí a je zřejmé, že každá dvě po sobě jdoucí pole mají všechny složky různé.

$[1; 9], [2; 3], [4; 5], [6; 7], [8; 9], [1; 2], [3; 4], [5; 6], [7; 8], [1; 3], [2; 4], [3; 5],$
 $[4; 6], [5; 7], [6; 8], [7; 9], [1; 4], [2; 5], [3; 6], [4; 7], [5; 8], [6; 9], [1; 5], [2; 6],$
 $[3; 7], [4; 8], [5; 9], [1; 6], [2; 7], [3; 8], [4; 9], [1; 7], [2; 8], [3; 9], [1; 8], [2; 9].$

Úloha 4. Platí Liborův algoritmus obecně pro libovolný počet přihlášených týmů? Pokud ne, tak pro které? A dokážete sestavit pro tyto případy požadovanou posloupnost sami?

Řešení. Označme n počet přihlášených týmů (z kontextu úlohy je přitom zřejmé, že $n > 1$). Z Liborova algoritmu odvodíme následující posloupnost polí, kterou rozdělíme do několika navazujících sekcí dle jejich výskytu v tabulce (u diagonály D_1 přitom musíme rozlišit mezi paritou n):

$[1; n],$	(1. pole)
$[2; 3], [4; 5], \dots, [n-1; n],$	(1. část diagonály D_1 , liché n)
$[1; 2], [3; 4], \dots, [n-2; n-1],$	(2. část diagonály D_1 , liché n)
$[2; 3], [4; 5], \dots, [n-2; n-1],$	(1. část diagonály D_1 , sudé n)
$[1; 2], [3; 4], \dots, [n-1; n],$	(2. část diagonály D_1 , sudé n)
$[1; 3], [2; 4], \dots, [n-2; n],$	(diagonála D_2)
$[1; 4], [2; 5], \dots, [n-3; n],$	(diagonála D_3)
$\vdots$	
$[1; i+1], [2; i+2], \dots, [n-i; n],$	(diagonála D_i , kde $i \leq n-2$)
$[1; i+2], [2; i+3], \dots, [n-(i+1); n],$	(diagonála D_{i+1})
$\vdots$	
$[1; n-1], [2; n].$	(diagonála D_{n-2})

Dvě po sobě jdoucí pole, které patří do stejné sekce, stejné číslo obsahovat nemohou. V obou částech diagonály D_1 můžeme totiž libovolná dvě po sobě jdoucí pole zapsat ve tvaru $[j, j+1]$ a $[j+2, j+3]$ a v libovolné diagonále D_i pro $i > 1$ mají zase libovolná dvě po sobě jdoucí pole tvar $[j, j+i]$ a $[j+1, j+i+1]$. Stačí proto ověřit, za jakých podmínek může poslední člen jedné sekce obsahovat stejné číslo jako první člen následující sekce. Tyto speciální případy pak posoudíme zvlášť.

1. pole – 1. část diagonály D_1 . Pole $[2; 3]$ navazuje nezávisle na paritě n na pole $[1; n]$. Požadovaná podmínka různosti všech čtyř složek tak není splněna pro $n = 2$ a $n = 3$.

1. část – 2. část diagonály D_1 . Pro lichá n navazuje pole $[1; 2]$ na pole $[n-1; n]$, odkud dostáváme již řečené případy $n = 2$ a $n = 3$. Pro sudá n na sebe navazují pole $[n-2; n-1]$ a $[1; 2]$, zde musíme navíc vyjmout případ $n = 4$.

2. část diagonály D_1 – diagonála D_2 . Pro lichá n na sebe navazují pole $[n-2; n-1]$ a $[1; 3]$. Podmínka různosti složek tak není splněna pro $n \in \{2; 3; 4; 5\}$. Jestliže je n sudé, navazuje na sebe pole $[n-1; n]$ a pole $[1; 3]$. Všechna dosud nevyjmutá čísla n zkoumané podmínce vyhovují.

Diagonála D_i – diagonála D_{i+1} . Pole $[1; i+2]$ navazuje na pole $[n-i; n]$. Dostáváme tak čtyři možné rovnosti, za kterých nebude daná podmínka splněna:

$$n-i=1, \quad n-i=i+2, \quad n=1, \quad n=i+2.$$

Třetí z rovností jistě platit nemůže. První rovnost by znamenala, že $i = n-1$, ale i může nabývat nejvýše hodnoty $n-2$. Pokud by platila čtvrtá rovnost, i nabývá hodnoty právě $n-2$; diagonála D_{n-2} je však poslední sekcí, kterou je posloupnost ukončena, jelikož žádná další diagonála nenavazuje. Konečně druhou rovnost lze přepsat do tvaru $i = \frac{n-2}{2}$. Pokud je n liché, nemůže platit; pro libovolné sudé n však existuje dokonce jednoznačné i takové, že platit bude. Algoritmus proto selže pro libovolné sudé n ; např. pro $n = 14$ je $i = 6$, poslední člen diagonály D_6 je $[8; 14]$ a první člen diagonály D_7 je $[1; 8]$.

Liborův algoritmus tak bez výhrad funguje pro lichá n s výjimkou 3 a 5. Dodejme však, že zřejmě triviálně funguje také pro $n = 2$ (dva týmy odehrají jediný zápas celého turnaje). Pro zbylá sudá n , $n = 3$ a $n = 5$ bychom se nyní měli pokusit najít požadované posloupnosti jinak. Konstatujeme však nejdříve, že pro $n = 3$ a $n = 4$ je to nemožné, protože

- pro $n = 3$ musíme seřadit tři pole $[1; 2]$, $[1; 3]$, $[2; 3]$, ale každé takové seřazení nespĺňuje zadanou podmínku;
- pro $n = 4$ zvolíme bez újmy na obecnosti první pole $[1; 2]$, následovat nutně musí pole $[3; 4]$ a dále pak opět $[1; 2]$, což není možné.

Pro ostatní n již najít posloupnosti požadovaných vlastností umíme. Protože je jich (a algoritmů, kterými je můžeme nalézt) více, udejme alespoň některé příklady, které dostaneme úpravou původního Liborova algoritmu. Pro $n = 5$ jej modifikujeme následovně:

- jako první vybereme pole v prvním sloupci a posledním řádku, tj. $[1; 5]$;
- dále vybíráme po řadě pole diagonály D_1 v sudých sloupcích zleva doprava;
- dále vybíráme po řadě zbylá pole diagonály D_1 v lichých sloupcích zleva doprava;
- dále vybíráme zprava doleva všechna pole diagonály D_3 ;
- dále vybíráme zprava doleva všechna pole diagonály D_2 .

Výsledná posloupnost je tvaru

$$[1; 5], \quad [2; 3], \quad [4; 5], \quad [1; 2], \quad [3; 4], \quad [2; 5], \quad [1; 4], \quad [3; 5], \quad [2; 4], \quad [1; 3].$$

Pro sudá n různá od 2 a 4 spočítáme číslo $k = \frac{n-2}{2}$. (Právě toto číslo totiž bylo v diskuzi obecného případu “problematické”.) Následovně aplikujeme Liborův algoritmus s tím rozdílem, že při výběru polí zaměníme pořadí diagonál D_{k+1} a D_{k+2} . S ohledem na to, že je zbytek algoritmu stejný, zkontrolujeme pouze rozdílná napojení dotčených sekcí.

Diagonála D_k – diagonála D_{k+2} . Na pole $[n-k; n]$ navazuje pole $[1; k+3]$. Dosazením za k , úpravou a porovnáním možných shodných složek dostáváme čtyři rovnosti

$$\frac{n+2}{2} = 1, \quad \frac{n+2}{2} = \frac{n+4}{2}, \quad n = 1, \quad n = \frac{n+4}{2}.$$

Druhá a třetí z rovností platit nemůže a první (resp. čtvrtá) rovnost je splněna právě tehdy, když $n = 0$ (resp. $n = 4$), což také neplatí.

Results matter!

Diagonála D_{k+2} – diagonála D_{k+1} . Na pole $[n - (k + 2); n]$ navazuje pole $[1; k + 2]$. Dosazením a úpravou odvodíme opět čtyři rovnosti, jejichž platnost by porušila zadanou podmínku:

$$\frac{n-2}{2} = 1, \quad \frac{n-2}{2} = \frac{n+2}{2}, \quad n = 1, \quad n = \frac{n+2}{2}.$$

Žádná z uvedených rovností však platit nemůže, protože n nemůže být 4, 1 ani 2.

Diagonála D_{k+1} – diagonála D_{k+3} . Na pole $[n - (k + 1); n]$ navazuje pole $[1; k + 4]$. Obdobně jako v předchozích dvou případech můžeme odvodit čtveřici rovností

$$\frac{n}{2} = 1, \quad \frac{n}{2} = \frac{n+6}{2}, \quad n = 1, \quad n = \frac{n+6}{2}.$$

První tři z uvedených rovností platit nemohou již z dříve uvedených důvodů. Čtvrtá rovnost platí pro $n = 6$; pro toto číslo však neexistuje diagonála D_{k+3} , neboť $k + 3 = \frac{6-2}{2} + 3 = 5$. (Připomeňme, že pro $n = 6$ jsou definovány pouze diagonály D_1 – D_4 .) Algoritmus pro $n = 6$ tak končí výběrem členů diagonály $D_{k+1} = D_3$.

Upravený algoritmus tak pro sudá n různá od 2 a 4 sestojí požadovanou posloupnost polí. Jediná přirozená $n > 1$, pro která žádná posloupnost zadaných vlastností neexistuje, jsou proto 3 a 4.

English source

Not available on July 10. If you want to start from English translation, wait until it appears on <https://um.mendelu.cz/math4u/site/> and copy the English text by hand.