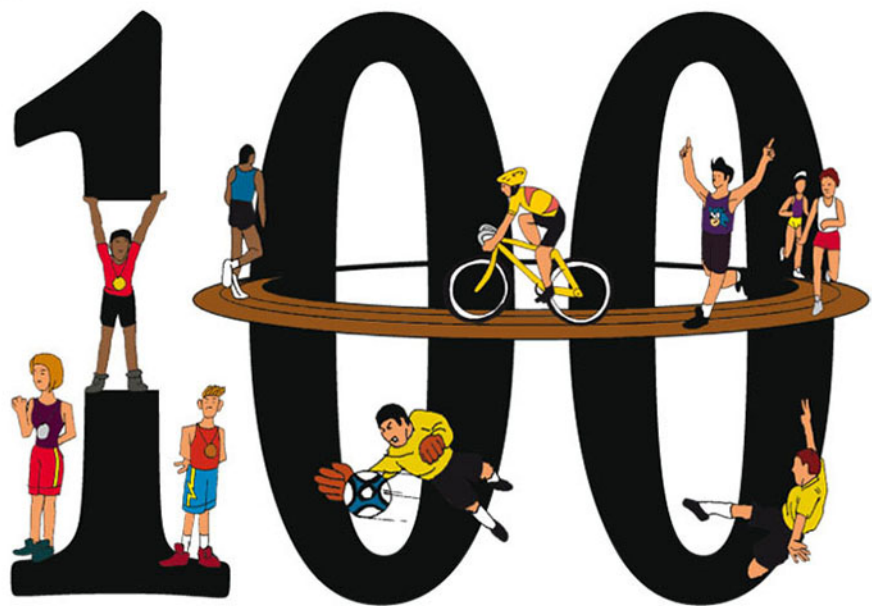


John D. Barrow



Sto důležitých věcí
O SPORTU,
které nevíte
(a ani nevíte, že je nevíte)

Matematika sportu

DOKORÁN

John D. Barrow

**Sto důležitých věcí o sportu, které nevíte
(a ani nevíte, že je nevíte)**

Copyright © John D. Barrow 2012

First published as 100 Essential Things You Didn't Know

You Didn't Know About Sport by Bodley Head.

John Barrow has asserted his right under the Copyright, Designs
and Patents Act 1988 to be identified as the author of this work.

Translation © Lukáš Georgiev, 2015

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí
být rozmnožována a rozšiřována jakýmkoli způsobem bez
předchozího písemného svolení nakladatele.

Druhé vydání v českém jazyce (první elektronické).

Z anglického originálu *100 Essential Things You Didn't Know*

You Didn't Know About Sport vydaného nakladatelstvím

The Bodley Head přeložil Lukáš Georgiev.

Několik kapitol této knihy vyšlo v mírně pozměněné podobě
v knize Johna D. Barrowa *Sto důležitých věcí, které nevíte (a ani
nevíte, že je nevíte)*, Dokořán 2013, v překladu Jaroslava Drahoše.
Odpovědný redaktor Zdeněk Kárník.

Redakce Marie Černá.

Obálka David Greguš.

Sazba Karel Horák.

Konverze do elektronické verze Michal Puhač.

V roce 2016 vydalo nakladatelství Dokořán, s. r. o.,

Holečkova 9, 150 00 Praha 5,

dokoran@dokoran.cz, www.dokoran.cz,

jako svou 818. publikaci (224. elektronická).

ISBN 978-80-7363-757-6

DOKORÁN

John D. Barrow

100

**Sto důležitých věcí
O SPORTU,
které nevíte
(a ani nevíte, že je nevíte)**

Matematika sportu

Dokořán

*Mahlerovi,
který již umí běhat
a brzy se naučí i počítat*

„Krucí, a k čemu jsou zlaté medaile vlastně dobré?“

Eric Heiden

Obsah

Předmluva	11
1. Jak může Usain Bolt bez většího úsilí překonat vlastní světový rekord	13
2. Univerzální sportovci	17
3. Lukostřelci	18
4. Vada průměrů	21
5. Běhání do zatáčky	23
6. Otázka rovnováhy	26
7. Má někdo chuť na baseball, tenis nebo kriket?	29
8. Bayesovo přísné očko	32
9. Utkání na tři branky	35
10. Skok do výšky	37
11. Správně načasované narozeniny	40
12. Doba letu	42
13. Na kajaku	45
14. Možná přijde i kormidelník	49
15. V kartách	52
16. Ohnivá kola	55
17. Bodové hodnocení	57
18. Skoky do vody	63
19. Nejextrémnější sport ze všech	67
20. Když klouzá, klouzá nožka po parketách	69
21. Genderové úvahy	72
22. Trochu fyziky pro údržbáře hřišť	75
23. Co se dostane do výšky, musí zase spadnout	77

24. Leváci a praváci	81
25. Skoky o tyči pro pokročilé	83
26. Návrat Karate Kida	86
27. Pákový efekt	89
28. Dotknout se nebe	92
29. Maratonský běh	95
30. Není všechno zlato, co se třpytí	99
31. Hlavně nemrknout první	101
32. Ping-pong opět na scéně	103
33. Divoká chůze	106
34. Dostihové jistoty	110
35. Jaká je pravděpodobnost diskvalifikace?	113
36. I veslování má své momenty	115
37. Ragby a relativita	119
38. Otázka tempa růstu skóre	121
39. Squash – velmi zvláštní pravidlo	124
40. Náhodné podvrhy	127
41. Smysl pro proporce	130
42. Kulečnickové variace	133
43. Prsaři	135
44. Pověstný zlomový moment	139
45. Hodit oštěp do větru	141
46. Liga o dvou koncích	144
47. Raketové bádání	146
48. Na velikosti záleží	149
49. Opravdu ztřeštěné fotbalové utkání	152
50. Kola se točí dál	154
51. Vrtošivý vítr	156
52. Windsurfing	161
53. Honba za medailemi	165
54. Proč nepadají světové rekordy v ženských atletických disciplínách?	168
55. Kličkovaná	171

56. Popelky mezi sporty	174
57. Závody na vozících	177
58. Vyvážený triatlon	181
59. Davové šílenství	184
60. Plavky z nesmáčivého polyuretanu	187
61. Moderní pětiboj	190
62. Zachovat chladnou (nejen) hlavu	194
63. Rychlosti závodních vozíků pro hendikepované atlety	197
64. Boj s nepřesností	201
65. Tíživé otázky zemské gravitace	204
66. Google a kriketový pohár – o možnostech matice	206
67. Krasobruslařský paradox	210
68. Hod diskem	213
69. Gólové rozdíly	216
70. Je Premier League náhodná?	221
71. K čemu jsou dobré módní dresy	224
72. Trojúhelníky ve vodě	227
73. Iluze vznášení se	231
74. Potlačení Matoušova efektu	234
75. Rozpisy turnajů	238
76. Manipulace s rozpisy turnajů	241
77. Maratony s podporou větru	242
78. Do kopce	245
79. Psychologická setrvačnost	248
80. Góly, góly a zase góly	252
81. Úplné ponoření	254
82. Velkobritský fotbalový tým	258
83. Kdo se povyšuje, bude ponížen	262
84. Blade Runner	265
85. Vytváření dvojic	269
86. Prodejci vstupenek	271

87. Skydiving	273
88. Opravdu vysoké výkony	277
89. Lukostřelecký paradox	281
90. Zatočit to jako Beckham	285
91. Taktika zastavit – zrychlit	289
92. Při potápění jde hlavně o plyny	292
93. Taková přirozená rezonance	295
94. Házení mincí	298
95. Jaké sporty by měly být na olympiádě?	301
96. Kočičí paradox	303
97. Co létá vzduchem nejlépe?	306
98. Někdo to rád horké	309
99. Odrazy superelastického míčku	312
100. Raději si nestát na svém	316
Poznámky	318

Předmluva

V tomto olympijském roce jsem se rozhodl využít příležitosti a předvést čtenářům některé z nečekaných postupů, jakými může jednoduchá matematika a ostatní vědy osvětlit principy mnoha sportovních disciplín. V následujících kapitolách se podíváme očima vědce a z různých hledisek na lidský pohyb, bodovací systémy a překonávání rekordů. Na paškál si vezmeme silové sporty, paralympijské disciplíny, dopingové zkoušky, skoky do vody, jezdeckví, běh, skoky, hody a vrhy. Věnujete-li se sportu z pozice trenéra nebo jako aktivní sportovci, získáte představu o tom, jak může matematika přispět k hlubšímu porozumění principům disciplíny vašeho zájmu. Diváci a komentátoři mohou zase snáze přijít na kloub tomu, co se vlastně děje v bazénu, tělocvičně, na stadionu, závodní dráze nebo na silniční trati. Učitelé a pedagogové zde najdou příklady k odlehčení výuky fyziky nebo matematiky a k rozšíření obzorů těch, podle nichž má matematika se sportem sotva co společného. A nejednoho matematika jistě potěší poznání, jak důležitý je jeho obor v další z lidských činností. Sbírká ukázkových příkladů, kterou máte před sebou, pokrývá hezkou řádku sportovních odvětví a snaží se zaměřit na témata, která dosud stála stranou širšího zájmu. Nahlédneme do olympijských dějin, ale stranou neponecháme ani sporty, které se ještě na žádné olympiádě neobjevily. Zájemci o hlubší studium problematiky zde naleznou odkazy na zdroje, které by jim mohly pomoci.

Chtěl bych poděkovat Katherine Ailesové, Davidu Aliciatoremu, Philipu Astonovi, Billu Atkinsonovi, Henrymu Bakerovi, Melisse Brayové, Jamesi Cranchovi, Pchengu Čaoovi, Marianne Freibergrové, Franzi Fussovi, Johnu Haighovi, Jörgu Hensgenovi, Stevu Hewsonovi, Seanu Lipovi, Justinu

Mullinsovi, Kay Peddleové, Stephenu Ryanovi, Jeffreyemu Shallitovi, Owenu Smithovi, Davidu Spiegelhalterovi, Ianu Stewartovi, Willu Sulkinovi, Rachel Thomasové, Rogeru Walkerovi a Peteru Weyandovi za pomoc, debaty a užitečné rozhovory, které pomohly téhle knize na svět. Některá z uváděných témat jsem probíral v přednáškách na Gresham College v Londýně a během akce Matematický projekt tisíci-letí pro londýnské olympijské hry v roce 2012. Posluchačům z těchto akcí jsem nesmírně vděčný za jejich zájem, otázky a náměty. Musím také poděkovat svým blízkým Elizabeth, Davidovi, Rogerovi a Louise za jejich nadšení – které se později proměnilo v nedůvěru, když se dozvěděli, že jim tahle knížka nezajistí vstupenky na olympiádu.

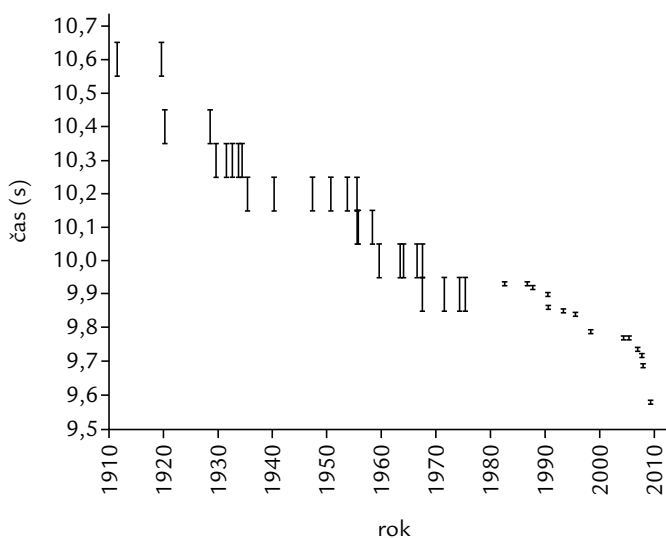
John D. Barrow
Cambridge 2012

Jak může Usain Bolt bez většího úsilí překonat vlastní světový rekord

Usain Bolt je nejlepším lidským sprinterem všech dob. Když však v dorosteneckém věku začínal s tratěmi 400 a 200 metrů, jen málokdo by tušil, že bude jednou tak rychlý zrovna na stovce. Trenér ho původně chtěl přeradit na kratší trať jen na jednu sezonu, aby si vylepšil základní sprinterskou výbušnost. Nikoho nenapadlo, že v tom bude nějak vynikat. Na sprintera-stovkaře byl podle všeobecného mínění totiž moc velký. Ale chyba lávky – jak se všichni mylili! Nikdy nepatřil k těm, kteří z rekordu tu a tam uždibnou nějakou tu setinku, ale ukusoval po poměrně velkých porcích. Začal tím, že v květnu roku 2008 v New Yorku stáhl rekord Asafy Powella z 9,74 s na 9,72 s a ve stejném roce na olympiádě v Peking se dostal až na 9,69 s (přesně 9,683). Následujícího roku se na mistrovství světa v Berlíně v roce 2009 výrazně zlepšil až na 9,58 sekundy (přesně 9,578). Jeho zlepšování na trati 200 metrů bylo ještě impozantnější – rekord 19,32 s Michaela Johnsona z roku 1996 zlepšil v Peking na 19,30 s (přesně 19,296) a poté v Berlíně na 19,19 s. Ta zlepšení jsou natolik výrazná, že odborníci se začali zabírat výpočty a prognózami, k jakému maximu se Bolt může až dostat. Nikomu však bohužel nepřišly na mysl dva klíčové faktory, které by Boltovi umožnily dosáhnout podstatně rychlejších časů i bez dalšího zvýšení tréninkového úsilí nebo zlepšení výkonnosti. Asi si říkáte, jak by něco takového šlo zařídit.

Naměřený čas sprintera-stovkaře se skládá ze dvou částí –

z času reakce na startovní výstřel a času potřebného na uběhnutí stometrové vzdálenosti. Za předčasné vyběhnutí je považován takový start, kdy se běžec při odrazu zapře nohama do startovních bloků dříve než 0,1 sekundy po výstřelu startovní pistole. Bolt má přitom mezi špičkovými sprintery jeden z nejdelších reakčních časů – v Pekingu byl na startu druhý nejpomalejší ze všech finalistů a v Berlíně, kde dosáhl času 9,58 s, třetí nejpomalejší. Přihlédneme-li k těmto skutečnostem, byla Boltova průměrná rychlost v Pekingu 10,5 m/s a v Berlíně (kde reagoval rychleji) dokonce 10,6 m/s. Bolt již tedy běhá rychleji než 10,55 m/s, což je maximální rychlost, kterou pro něj ve své prognóze stanovil tým specialistů na lidskou biologii na Stanfordově univerzitě.¹



Bolt	$0,146 + 9,434 = 9,58$	Thompson	$0,119 + 9,811 = 9,93$
Gay	$0,144 + 9,566 = 9,71$	Chambers	$0,123 + 9,877 = 10,00$
Powell	$0,134 + 9,706 = 9,84$	Burns	$0,165 + 9,835 = 10,00$
Bailey	$0,129 + 9,801 = 9,93$	Patton	$0,149 + 10,191 = 10,34$

V olympijském finále v Pekingu, kde měl Bolt při celkovém čase 9,69 s reakční čas 0,165 s, reagovalo zbývajících sedm finalistů za 0,133, 0,134, 0,142, 0,145, 0,147, 0,165 a 0,169 sekundy.

Z těchto časů je jasně vidět největší Boltova slabina – má velmi pomalou reakci na startovní výstřel. To není totéž jako mít pomalý start. Výrazně vytáhlý atlet s delšími končetinami a větším momentem setrvačnosti musí obecně vynaložit větší úsilí na to, aby se dostal z kleku do stoje.² Kdyby Bolt dokázal svůj reakční čas zkrátit na 0,13 s, což je čas velmi dobrý, ale ne výjimečný, zlepšil by svůj rekord z 9,58 na 9,56 sekundy. Kdyby zareagoval za vynikajících 0,12 s, přiblížil by se k 9,55. A kdyby dokonce zareagoval v minimálním povoleném čase 0,1 s, měl by v kapse stovku za 9,53 sekundy. A vůbec by nemusel běžet rychleji.

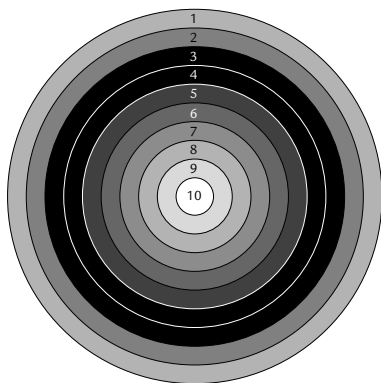
To je první z faktorů opomenutých při prognózách Boltova běžeckého potenciálu. Jaké další faktory ještě připadají v úvahu? Sprinteri mohou běžet s podporou větru, jehož rychlost nesmí překročit 2 m/s. Z toho těží mnoho světových rekordů, přičemž nejpodezřelejší sada světových rekordů ve sprintech a skocích pochází z olympiády v Mexiku, kdy při dosahování rekordních výkonů anemometry často znamenávaly rychlost 2 m/s. To ale rozhodně není případ Boltových rekordních běhů. V Berlíně dosáhl času 9,58 s s větrem 0,9 m/s v zádech a v Pekingu vládlo bezvětří. S pomocí silnějšího větru tedy stále může výrazně zrychlit. Před mnoha lety jsem zjišťoval, nakolik vítr ovlivňuje nejlepší časy na sprinterské stovce.³ Vítr 2 m/s v zádech znamená ve srovnání s bezvětřím zisk přibližně 0,11 sekundy. Vítr v zádech o rychlosti 0,9 m/s zlepší atletům časy o 0,06 sekundy. Oboje na místech s malou nadmořskou výškou. Pokud by tedy měl Bolt štěstí na nejpříznivější povolený vítr a navíc by reagoval v minimálním možném čase, zlepšil by se jeho

berlínský čas z 9,53 sekundy na 9,47 s a čas z Pekingů by měl hodnotu 9,51 s. Kdyby navíc běžel ještě ve vysokohorském klimatu, jaké je například v Mexico City, zvládl by trať ještě rychleji a bez námahy by získal dalších 0,07 s.⁴ Svůj čas by tedy mohl zlepšit na úžasných 9,4 sekundy. A nemusel by ani zrychlovat.⁵

V médiích se často objevuje srovnání lidského druhu s šampiony z říše zvířat, které pro člověka obvykle nevyznívá příliš lichotivě – gepard běžící tryskem hravě překročí rychlost povolenou na dálnicích, mravenci unesou mnohonásobně víc, než sami váží, veverky a opice předvádějí fantastické sestavy ve vzdušné akrobacii, v plavání strčí tuleň člověka do kapsy a draví ptáci dokážou dostat letícího holuba bez jediného výstřelu z pušky. Člověk si pak snadno může připadat neschopný. To ale není nutné. Žádný z těchto zvířecích přeborníků není ani zdaleka tak výborným atletem jako člověk. Vynikají vždy v jediné specializované disciplíně, protože evoluce vypílovala jejich schopnosti k dokonalosti, a tak mohou ve velmi úzké oblasti dominovat. V tom se člověk podstatně liší. Dokáže plavat dlouhé tratě, uběhne maraton, 100 metrů zvládne pod 10 sekund, svede salto, jezdí na kole i na koni, je v jeho silách vyskočit do dvouapůlmetrové výšky, umí přesně střílet z pušky nebo luku, malý předmět dokáže vrhnout do vzdálenosti téměř sta metrů, dovede bez přestávky ujet na kole stovky kilometrů, veslovat a také zdvihnout nad hlavu mnohem víc, než sám váží. Rozsah tělesných schopností člověka je výjimečný. Často zapomínáme, že se nám žádný jiný živý tvor nedokáže vyrovnat co do různorodosti fyzických schopností. Člověk je zkrátka nejuniverzálnějším sportovcem na Zemi.

Olympijská lukostřelba nabízí dramatické soupeření, soutěže není ale jednoduché sledovat, pokud nemáte k dispozici dalekohled nebo velkoplošnou obrazovku schopnou opakovat záběry. Lukostřelci vystřelí celkem 72 šípů na kruhový terč vzdálený 70 metrů. Terč má průměr 122 cm a tvoří jej 10 soustředných kruhů s roztečemi 6,1 cm.

Dva nejvnitřnější kruhy mají zlatou barvu a hodnotu 10 a 9 bodů. Další dva směrem k vnějšímu obvodu jsou červené a mají hodnotu 8 a 7 bodů. Dále jsou dva modré za 6 a 5 bodů. Následující dva jsou černé za 4 a 3 body. A poslední dva mají bílou barvu a hodnotu 2 a 1 bod. Pokud zasáhnete vnější okraj terče – nebo terč minete – nezískáte žádný bod. Terč s barevnými kruhy je vytištěn na čtvercovém papíru s délkou strany 125 cm. Papír je ze spodní strany



potažen ochrannou vrstvou, která šípům brání prolétnout na druhou stranu.

Nejlepší světovou lukostřelkyní je Jihokorejka Park Sung-Hyun. Na athénské olympiádě v roce 2004 nasbírala ze 72 ran 682 bodů a získala zlatou v jednotlivcích i družstvech.¹ Pokud by zasahovala pouze desítky a devítky a nikdy by neminula, můžeme vypočíst, jak by tohoto skóre dosáhla. Pokud by počet šípů D představoval desítky a zbývajících $72 - D$ šípů devítky, můžeme sestavit rovnici $10D + 9(72 - D) = 682$. Vyjde nám počet desítek $D = 34$. Počet devítek musí být $72 - 34$, tedy 38. Pokud by zasahovala pouze desítky, devítky a osmičky, můžeme lehce vypočíst, že by musela zasáhnout například pětatřicetkrát desítku, šestatřicetkrát devítku a jednou osmičku.

Obtížnost dosažení konkrétního počtu bodů jedním výstřelem je dána plochou mezikruží, které musíte zasáhnout. Poloměry jednotlivých kružnic v centimetrech směrem od středu jsou po řadě 6,1, 12,2, 18,3, 24,4, 30,5, 36,6, 42,7, 48,8, 54,9, 61. Protože plochu kruhu lze vypočíst pomocí vzorce π krát poloměr na druhou, lze snadno zjistit plochu jednotlivých mezikruží. Stačí od plochy vnějšího kruhu vždy odečíst plochu vnitřního kruhu. Například plocha mezikruží hodnoceného 9 body je $\pi(12,2^2 - 6,1^2) = 350,7 \text{ cm}^2$. Nebudeme zde vypočítávat plochy všech mezikruží, každý si je může snadno vypočítat stejným postupem. Pravděpodobnost, že šípem zasáhnete konkrétní mezikruží, závisí na tom, jaký podíl z celkové plochy terče toto mezikruží zabírá. Plocha celého terče je $\pi \times 61^2 = 11\,689,9 \text{ cm}^2$. Pravděpodobnost zasažení devítky náhodně vystřeleným šípem, který zasáhne plochu terče, je dána poměrem plochy mezikruží za 9 bodů a celkové plochy. V tomto případě tedy $350,7/11\,689,9 = 0,03$, neboli 3 %. Kdybychom tyto poměry vypočetli pro všechna mezikruží, získali bychom hodnoty

pravděpodobnosti pro zasažení jednotlivých mezikruží náhodně vystřeleným šípem. Míra pravděpodobnosti se řídí jednoduchým vzorcem. Pravděpodobnost zásahu s každým mezikružím roste o 2 % směrem od středu k vnějšímu okraji. Nejméně pravděpodobný je zásah středového kruhu, který trefíte v 1 % případů (tedy s pravděpodobností 0,01), nejsnazší je skórovat za jediný bod zásahem vnějšího prstence, a to s pravděpodobností 19 % (0,19).

Spočteme-li průměr, vyjde nám 3,85 bodu na jeden náhodný zásah terče. Pokud bychom náhodně zasáhli terč 72 ranami, vyšlo by nám celkové průměrné skóre 277,2 bodu, což pro jednoduchost zaokrouhlíme na 277 bodů. Podle očekávání je to podstatně méně než světový rekord 682 bodů. Výsledku 277 bychom totiž dosáhli zcela náhodnou střelbou bez jakékoli zkušenosti (kromě schopnosti zasáhnout plochu terče).

V předchozích výpočtech jsme předpokládali, že náhodně mířící lukostřelec vždy zasáhne kruhový terč. Zkusme nyní předpokládat, že není ani natolik přesný a dokáže zaručit jen trefu do čtvercového papíru (o rozměrech 125×125 cm), na němž je terč vytištěn. Jeho obsah činí $15\,625\text{ cm}^2$. Zasáhnete-li plochu mimo kruh terče o poloměru 61 cm, získáváte 0 bodů. V tomto případě jsou všechny míry pravděpodobnosti poníženy součinitelem odpovídajícím poměru kruhové plochy terče a celkové čtvercové plochy, na níž je vytištěn, tedy hodnotou $11\,689,9/15\,625 = 0,75$. Průměrné skóre dosažené při náhodném vystřelení 72 šípů, které vždy zasáhnou čtvercový papír s terčem, tak poklesne na 207,4.

Chcete-li si procvičit své počtářské schopnosti, můžete naprosto stejným způsobem vypočítat skóre pro náhodné hody šipkami. Mělo by vám vyjít, že průměrné skóre jednoho zásahu bude 13 bodů, což při hodu třemi šipkami dává výsledek 39 bodů.²

Průměry jsou ošemetné. Zeptejte se na to statistika, který se utopil v jezeře o průměrné hloubce 3 centimetry. Ano, jsme na statistiky hodně zvyklí a ony jsou zdánlivě zcela neúprosně pravdivé, takže jim beze zbytku důvěřujeme. Ale měli bychom? Představme si dva hráče kriketu, říkejme jim Anderson a Warne. Střetnou se v klíčovém utkání, které rozhodne o výsledku celé série. Sponzoři vypsali vysoké peněžní odměny pro nejlepšího nadhazovače a pro nejlepšího pálkaře utkání. Anderson ani Warne neusilují o titul nejlepšího pálkaře, ani jeden však nechce, aby se tato cena dostala do rukou soupeře. Naopak oba velice touží po velké ceně pro nadhazovače.

V první směně Anderson získá zpočátku několik branek, ale pak ztrácí v řadě velmi opatrných nadhozů a skončí se třemi brankami ze sedmnácti běhů, což dává průměr 5,67. Nadhazuje pak Andersonova strana a Warne ve vrcholné formě zvládne 7 branek ze 40 běhů, průměr 5,71 běhu na získanou branku. Přesto má Anderson lepší (tedy nižší) nadhazovací průměr a po první směně vede 5,67 : 5,71.

Ve druhé směně Anderson zpočátku ztrácí, ale pak se ukáže, že je pro slabší nadhazovače nepřekonatelný a získává 7 branek ze 110 běhů, průměr 15,71 za druhou směnu. Warne pak v poslední směně střetnutí nadhazuje Andersonovu mužstvu. Není tak úspěšný jako v první směně, ale přesto získává 3 branky ze 48 běhů, v průměru 16,0. Takže

Anderson má i ve druhé směně lepší průměr v nadhazování, a sice 15,71 : 16,0.

Nad- hazovač	1. směna počty	1. směna průměr	2. směna počty	2. směna průměr	Celkem počty	Celkem průměr
Anderson	3 ze 17	5,67	7 ze 110	15,71	10 ze 127	12,7
Warne	7 ze 40	5,71	3 ze 48	16	10 z 88	8,8

Kdo má obdržet cenu nadhazovače utkání za nejlepší počty? Anderson měl lepší průměr v první i druhé směně. Je určitě jediným vítězem. Ale sponzor je jiného názoru a počítá celkové počty z utkání. Za obě směny získal Anderson 10 branek ze 127 běhů při průměru 12,7 běhu na branku. Oproti tomu Warne získal 10 branek z 88 běhů a průměr 8,8. Má jasně lepší průměr a získává cenu nadhazovače, navzdory tomu, že Anderson má lepší průměr jak v první, tak i ve druhé směně.

Běhání do zatačky

Uvažovali jste někdy o tom, jestli je při sprintu na 200 metrů výhodnější vnitřní nebo vnější dráha? Atleti v tom mají jasno. Vyšší sprinteři se hůře potýkají s ostřejším obloukem vnitřní dráhy než s tím mírnějším u vnějšího okraje. Situace je ještě horší v některých halách s celkovou délkou dráhy jen 200 metrů. Zatačky jsou ještě ostřejší a jednotlivé dráhy mají místo 1,22 metru šířku pouhý 1 metr. Bylo to vnímáno jako výrazné omezení, takže se pak běžně stávalo, že atlet, na nějž ve finále připadla vnitřní dráha (jako na posledního, kdo postoupil z kvalifikace na čas), rovnou účast v halovém finále vzdal. Na vítězství měl totiž jen mizivou naději, zato riziko zranění bylo značné. V důsledku toho se tento závod na programu většiny halových mítinků již neobjevuje.

Jak je to však na venkovních drahách, kde není zakřivení oblouku tak výrazné? Většina atletů nemá v oblibě dráhu u vnějšího okraje, protože z ní v první polovině trati nevidí žádného ze soupeřů (pokud je některý nepředběhne), a nemohou se tak řídit rychlostí ostatních. Vnitřní dráhu lemují kovový obrubník, a ne jen bílá čára, která odděluje ostatní dráhy. Běžec má proto tendenci držet se od něj v bezpečnější vzdálenosti. Nejrychlejší běžci z kvalifikace jsou zpravidla nasazováni do dvou či tří prostředních drah, dá se tedy soudit, že ty jsou nejvýhodnější. Svou roli hraje i stavba těla sprintera. Habánům s dlouhýma nohama nevyhovují vnitřní dráhy, protože je nutí měnit krok nebo je vytlačují dál k vněj-

šímu okraji. Pravděpodobně ještě významnější roli hraje vítr. Pokud vane kolmo k cílové rovině proti sprinterům probíhající zatačkou, je výhodnější běžet u vnějšího okraje, protože u vnějších drah je startovní čára posunuta blíže k zatačce, a atlet tedy běží proti větru kratší dobu ve srovnání s těmi ve vnitřních drahách.

Navíc lze celkem jednoduše vypočítat, že běh ve vnitřních drahách je namáhavější. Kratší strany atletické dráhy tvoří půlkružnice. Poloměr půlkružnice vnitřní dráhy je 36,5 metru a každá dráha má šířku 1,22 metru. Půlkružnice vnějších drah jsou tedy výrazně větší a síla, kterou je třeba vyvinout při zatáčení, nemusí být tak velká. Poloměr zatačky osmé dráhy je $36,5 + 7 \times 1,22 = 45,04$ m. Síla, kterou musí vyvinout běžec o hmotnosti m při běhu po kruhové dráze o poloměru r rychlostí v , je rovna $m \times v^2 / r$, takže čím je r větší¹ a zatačka méně prudká, tím je síla potřebná k udržení rychlosti menší. Pokud dva stejně zdatní sprinteři poběží v první a osmé dráze a vyvinou na prvních 100 metrech dvoustetmetrového závodu stejnou sílu, běžec v první dráze dosáhne rychlosti zhruba o 10 % nižší než stejně výkonný atlet v dráze číslo 8, který tak stejnou vzdálenost urazí o 10 % dříve. To je velmi vysoká hodnota – celá sekunda na polovině dvoustetmetrového závodu, pokud ho uběhnete za 20 sekund. V praxi ovšem nepředstavuje běh ve vnějších drahách tak výraznou objektivní výhodu a závodník při sprintu vydává na kompenzaci silového působení v zatačce jen zlomek vynaložené síly.²

Pokud by tento jednoduchý model opravdu fungoval, museli by všichni sprinteři na 200 metrů zaběhnout své osobní rekordy na vnější dráze. Ve skutečnosti k překonání většiny rekordů dochází ve třetí nebo čtvrté dráze. I tento údaj je nicméně poněkud zatížen mimofyzikálními faktory, protože na významných závodech jsou právě do těchto drah

nasazování nejrychlejší atleti z kvalifikačních rozběhů. Velkou roli zde pravděpodobně hraje i psychologická a taktická výhoda, protože možnost sledovat aktuální výkon soupeřů z dráhy dále od vnitřku může převážit nad fyzikálními výhodami běhu po mírnějším poloměru.

Na závěr uvedeme srovnání, které nejlépe vyjádří účinek zatáčky na dvousetmetrové trati – porovnáme rekordy dosažené na rovné dráze s těmi, které padly na oválné dráze. Rovných dvousetmetrových drah je dnes jen poskrovnu. Jedna například bývala na Oxfordské univerzitě na Iffley Road (v roce 1954 na ní Roger Bannister zaběhl míli poprvé pod 4 minuty), a to ještě v roce 1974, kdy jsem tam začal studovat. Když jsem v roce 1977 promoval, byla již minulostí. Když Tommie Smith v roce 1968 na mexické olympiádě zaběhl na oválné dráze rekord na 200 metrů časem 19,83 s, měl již na kontě pozoruhodný čas³ 19,5 s z roku 1966 z přímé škvárové dráhy v San Jose. Tento druhý rekord překonal až v roce 2010 Tyson Gay na Městských hrách v Birminghamu časem 19,41 s. Jedním z diváků v hledišti byl tehdy i pětadesátiletý Smith. Nejlepším Gayovým časem na oválné dráze je 19,58 s. Uvedené rozdíly v časech potvrzují významné zpomalení způsobené během do zatáčky. Na rovné trati na 200 metrů můžete mít štěstí a běžet s podporou větru celou vzdálenost. Mnozí sprinteři se ale cítí nesví, když mají běžet tak dlouho bez vizuální opory v podobě orientačních bodů v zatáčce a soupeřů, podle nichž mohou během závodu regulovat své tempo.