

Richard ČAPEK

GLOBALNÍ STŘEDNÍ ZKRESLENÍ V MAPÁCH SVĚTA

Čapek Richard: **The Global Mean Distortion in World Map Projections.** Kartografické listy, 1997, 5, 2 tabs., 1 ref.

Abstract: The paper deals with computation of the so called "global mean distortion" of conventional and cylindrical projections. The determination of availability of the one-sheet -world-map projections was made on the basis of computed distortion values.

Key words: evaluation of map projections, global mean distortion, world map projection.

Úvod

Ve světové literatuře se problémem hodnocení kartografických zobrazení zabývalo více autorů, převážně však jen na základě jediného kritéria a u menšího počtu zobrazení. Z těchto prací se zcela vymyká vynikající dílo Frank Canters a Hugo Decler (1989). Autoři určili pro každý průsečík obrazu zeměpisné sítě s krokem $2,5^\circ$ **lokální zkreslení** plošné, maximální úhlové a délkové celkem pro 63 kartografických zobrazení. Jednotlivá zkreslení v každém zobrazení **vážili plochou**, příslušející danému průsečíku a vypočítali **střední zkreslení** plošné, maximální úhlové a délkové všech zobrazení.

Hodnoty charakteristik středního zkreslení sice ještě nepřirazují každému zobrazení jediné číslo zkreslení, jsou však nesmírně cenným materiálem, s nímž je možno dále pracovat.

U plochojevných a úhlojevných zobrazení jde o dvě a u vyrovnávacích dokonce už o tři různé charakteristiky zkreslení, které většinou navzájem působí protichůdně. Pořadí zobrazení podle jediné charakteristiky je jasné, ovšem problémem zůstává jak určit celkové pořadí podle všech najednou? Považujme každé z dílčích zkreslení za samostatnou charakteristiku a přisudme jí stejnou váhu. Za výsledné **globální střední zkreslení** Z pak bude přijata hodnota, vypočtená dohodnutým způsobem z dílčích zkreslení.

Nejprve zjistíme, jakých průměrných hodnot dosahují koeficienty dílčích zkreslení, určené pro 63 různých zobrazení celého světa:

a) **Plošné zkreslení:** Odchylka středního plošného zkreslení $\Delta\bar{K}$ činí v průměru 0,33; střední plošné zkreslení $\bar{K} = \Delta\bar{K} + 1$ pak odpovídá 1,33.

b) **Délkové zkreslení:** Odchylka středního délkového zkreslení činí $\Delta\bar{k}$ činí v průměru 0,38; střední délkové zkreslení $\bar{k} = \Delta\bar{k} + 1$ je tedy rovno 1,38.

c) **Úhlové zkreslení:** Střední maximální úhlové zkreslení 2ω činí v průměru $25,8^\circ$. Úhlovou hodnotu je třeba převést na číslo, které bude srovnatelné s koeficienty plošného a délkového zkreslení.

Analýza zobrazení

Odchylky středního **plošného** a středního **délkového zkreslení** mají v průměru velm blízké hodnoty. Pro další výpočty připadá v úvahu vztáhnout obě odchylky ke střední hodnotě 0,355, která rozpůlí interval průměrné odchylky $\Delta\bar{K} = 0,33$ a $\Delta\bar{k} = 0,38$. Poté je zvětšit o 1;

nepůjde ovšem již přímo o střední zkreslení, nýbrž o substituční koeficienty, které je nahradí pro účel dalších výpočtů: $subst.\bar{K}$ a $subst.\bar{k}$.

Podstatně problematičtější je přepočítání středního maximálního **úhlového zkreslení**. Průměrné hodnotě $2\bar{\omega} = 25,8^\circ$ přiřadíme stejně jako u plošného a délkového zkreslení základní hodnotu 0,355:

$$\frac{2\bar{\omega}}{n} = 0,355 \qquad \frac{25,8^\circ}{n} = 0,355 \qquad n = 72,676^\circ$$

Vzhledem k tomu, že nezkresleným plochám a nezkresleným délkám odpovídá $K = 1$ a $k = 1$, je k nulovému úhlovému zkreslení třeba připočítat jedničku, aby pro nezkreslené úhly bylo také rovno jedné: $subst.2\bar{\omega} = 1$.

Vlastní náhradní koeficient středního maximálního úhlového zkreslení určíme ze vztahu

$$subst.2\bar{\omega} = \frac{2\bar{\omega}}{n} + 1 = \frac{2\bar{\omega}}{72,676^\circ} + 1,$$

kde $2\bar{\omega}$ v čitateli je konkrétní hodnota určitého zobrazení a n zůstává konstantní.

Postup výpočtu substitučních koeficientů:

$$subst.\bar{K} = (0,355 : 0,33) \cdot \Delta\bar{K} + 1 = 1,0757\Delta\bar{K} + 1$$

$$subst.\bar{k} = (0,355 : 0,38) \cdot \Delta\bar{k} + 1 = 0,9342\Delta\bar{k} + 1$$

$$subst.2\bar{\omega} = (2\bar{\omega} : 72,676^\circ) + 1$$

Z trojice koeficientů dílčích zkreslení pro každé zobrazení se určí globální střední zkreslení **postupným průměrováním**:

Tab. 1 Globální střední zkreslení **Z** pro 63 zobrazení.

hodnoty zkreslení Canters - Decleir			zobrazení	vlast nost	A	B	C	D	E	F	pořadí podle Z
$\Delta\bar{K}$	$\Delta\bar{k}$	$2\bar{\omega}$			subst. \bar{K}	subst. \bar{k}	subst. $2\bar{\omega}$	$\sqrt[3]{ABC}$	$\frac{A+B+C}{3}$	$Z = \sqrt[3]{D.E}$	
0,23	0,47	36	Adams	P	1	1,439	1,495	1,291	1,311	1,301	35.-36.
0,23	0,36	30,2	Aitow		1,247	1,336	1,416	1,331	1,333	1,332	45.
0,33	0,26	21,2	Aitow - Wagner		1,355	1,243	1,292	1,296	1,297	1,296	32.
0,23	0,30	24,2	Apian II.		1,247	1,280	1,333	1,286	1,287	1,286	24.
0,21	0,31	24,2	Arago		1,226	1,290	1,333	1,282	1,283	1,282	21.-23.
0	0,44	26,8	Behrmann válcový	P	1	1,411	1,369	1,245	1,260	1,252	7.
0	0,44	35	Boggs	P	1	1,411	1,482	1,279	1,298	1,288	26.-27.
0	0,60	43,2	Bonne	P	1	1,561	1,594	1,355	1,385	1,370	50.
0,96	0,35	10,3	Braun II. válcový		2,033	1,327	1,142	1,455	1,501	1,478	58.
0	0,47	35,8	Briesemeister	P	1	1,439	1,493	1,290	1,311	1,300	34.
0,73	0,28	9	BSAM válcový		1,785	1,262	1,124	1,363	1,390	1,377	51.
0,49	0,29	20,3	CNIIGAiK 1944 = Ginzburg VIII.		1,527	1,271	1,279	1,354	1,359	1,356	49.

0	0,48	37	Craster = Putninš P4	P	1.	1,448	1,509	1,298	1,319	1,308	39.-40.
0,55	0,27	16,8	Čtvercové válcové			1,592	1,252	1,231	1,349	1,358	48.
0,28	0,35	30,3	Eckert I.			1,301	1,327	1,417	1,347	1,348	46.-47.
0	0,46	38,2	Eckert II.	P	1	1,430	1,526	1,297	1,319	1,308	39.-40.
0,36	0,28	18,2	Eckert III.			1,387	1,262	1,248	1,298	1,299	33.
0	0,35	28,7	Eckert IV.	P	1	1,327	1,395	1,228	1,241	1,234	1.
0,28	0,30	23,4	Eckert V.			1,301	1,280	1,322	1,301	1,301	35.-36.
0	0,39	32,4	Eckert VI.	P	1	1,364	1,446	1,254	1,270	1,262	16.
0	0,45	35,5	Eckert VII.	P	1	1,420	1,488	1,283	1,303	1,293	29.
0,70	0,29	10,6	Gall válcový			1,753	1,271	1,146	1,367	1,390	52.-53.
1,87	0,67	7,7	Grinten I.			3,012	1,626	1,106	1,756	1,915	62.
0	0,43	35,7	Hammer	P	1	1,402	1,491	1,279	1,298	1,288	26.-27.
0	0,38	30,5	Kavrajiskij V.	P	1	1,355	1,420	1,244	1,258	1,251	6.
0	0,38	31,9	Kavrajiskij VI. = Wagner I.	P	1	1,355	1,439	1,249	1,265	1,257	12.-13.
0,27	0,23	19,1	Kavrajiskij VII.			1,290	1,215	1,263	1,256	1,256	10.-11.
1,38	0,49	0	Lagrange I.			2,484	1,458	1	1,536	1,647	60.
0	0,55	30,9	Lambert válcový	P	1	1,514	1,425	1,292	1,313	1,302	37.
0	0,41	33,7	Mc Bryde – Thomas III.	P	1	1,383	1,464	1,265	1,282	1,274	19.
0	0,39	32,1	Mc Bryde – Thomas IV.	P	1	1,364	1,442	1,253	1,269	1,261	14.-15.
0	0,42	35,1	Mc Bryde – Thomas V.	P	1	1,392	1,483	1,273	1,292	1,282	21.-23.
3,40	0,55	0	Mercator válcový			4,657	1,514	1	1,918	2,390	63.
1,23	0,38	7,6	Miller I. válcový			2,323	1,355	1,105	1,515	1,594	59.
0,93	0,34	10,8	Miller II. válcový		2	1,318	1,149	1,447	1,489	1,468	57.
0	0,39	32,3	Mollweide	P	1	1,364	1,444	1,254	1,269	1,261	14.-15.
0	0,42	30,9	Nell - Hammer	P	1	1,392	1,425	1,256	1,272	1,264	17.
0,50	0,25	20,2	Obdélníkové vál. $\varphi_0 = \pm 37,5^\circ$			1,538	1,234	1,278	1,344	1,350	46.-47.
0,39	0,29	21,6	Ortelius			1,420	1,271	1,297	1,328	1,329	44.
0,31	0,33	21,5	Pavlov válcový			1,333	1,308	1,296	1,312	1,312	42.
0	0,45	33	Peters Arno válcový	P	1	1,420	1,454	1,273	1,291	1,282	21.-23.
0,10	0,39	30,8	Putninš P1			1,106	1,364	1,424	1,290	1,298	30.

0	0,50	34,9	Putninš P2	P	1	1,467	1,480	1,295	1,316	1,305	38.
0,04	0,45	35,4	Putninš P3			1,043	1,420	1,487	1,301	1,317	41.
0	0,48	37	Putninš P4 = Craster	P	1	1,448	1,509	1,298	1,319	1,308	39.-40.
0,27	0,26	20,4	Putninš P1'			1,290	1,243	1,281	1,271	1,271	18.
0	0,37	30,4	Putninš P2' = Wagner IV.	P	1	1,346	1,418	1,240	1,255	1,247	4.-5.
0,26	0,27	22,1	Putninš P3'			1,280	1,252	1,304	1,278	1,279	20.
0	0,38	31,5	Putninš P4'	P	1	1,355	1,433	1,248	1,263	1,255	9.
0,21	0,26	21,4	Robinson			1,226	1,243	1,294	1,254	1,254	8.
0	0,51	39	Sanson	P	1	1,476	1,537	1,314	1,338	1,326	43.
1,84	0,51	5,4	Urmajev III. válcový			2,979	1,476	1,074	1,678	1,843	61.
0	0,38	31,9	Wagner I. = Kavrajiskij VI.	P	1	1,355	1,439	1,249	1,265	1,257	12.-13.
0,11	0,31	26,9	Wagner II.			1,118	1,290	1,370	1,255	1,259	12.-13.
0,29	0,28	22,6	Wagner III.			1,312	1,262	1,311	1,295	1,295	31.
0	0,37	30,4	Wagner IV. = Putninš P2'	P	1	1,346	1,418	1,240	1,255	1,247	4.-5.
0,11	0,30	25,4	Wagner V.			1,118	1,280	1,349	1,245	1,249	4.-5.
0,33	0,26	20,4	Wagner VI.			1,355	1,243	1,281	1,292	1,293	28.
0	0,36	30,7	Wagner VII.	P	1	1,336	1,422	1,239	1,253	1,246	3.
0	0,64	45,7	Werner – Stab I.	P	1	1,598	1,629	1,376	1,409	1,392	56.
0,31	0,40	31,5	Werenskiold I.			1,333	1,374	1,433	1,379	1,380	54.
0,30	0,40	31,9	Werenskiold II.			1,323	1,374	1,439	1,378	1,379	52.-53.
0,34	0,39	30,4	Werenskiold III.			1,366	1,364	1,418	1,382	1,383	55.
0,22	0,29	25,8	Winkel I.			1,237	1,271	1,355	1,287	1,288	25.
0,29	0,22	18,4	Winkel II.			1,312	1,206	1,253	1,256	1,257	10.-11.
0,17	0,25	23,4	Winkel III. $\varphi_0 = \pm 50,46^\circ$			1,183	1,234	1,322	1,245	1,246	2.

Tab. 2 Hodnocení zobrazení podle globálního středního zkreslení Z

pořadí	zobrazení	zkreslení
1.	Eckert IV.	1,234
2.	Winkel III. $\varphi_0 = \pm 50,46^\circ$	1,245

3.	Wagner VII.	1,246
4. – 5.	Putninš P2' = Wagner IV.	1,247
	Wagner IV. = Putninš P2'	1,247
	Wagner V.	1,247

6.	Kavrajiskij V.	1,251
7.	Behrmann válcový	1,252
8.	Robinson	1,254
9.	Putniš P4'	1,255
10.-11.	Kavrajiskij VII.	1,256
	Winkel II.	1,256
12.-13.	Kavrajiskij VI. = Wagner I.	1,257
	Wagner I. = Kavrajiskij VI.	1,257
	Wagner II.	1,257
14.-15.	Mc Bryde – Thomas IV.	1,261
	Mollweide	1,261
16.	Eckert VI.	1,262
17.	Nell- Hammer	1,264
18.	Putniš P1'	1,271
19.	Mc Bryde – Thomas III.	1,274
20.	Putniš P3'	1,278
21.-23.	Arago	1,282
	Mc Bryde - Thomas V.	1,282
	Peters Arno válcový	1,282
24.	Apian II.	1,286
25.	Winkel I.	1,287
26.-27.	Boggs	1,288
	Hammer	1,288
28.	Wagner VI.	1,292
29.	Eckert VII.	1,293
30.	Putniš P1	1,294
31.	Wagner III.	1,295
32.	Aitow - Wagner	1,296
33.	Eckert III.	1,298
34.	Briesemeister	1,300
35. – 36.	Adams	1,301
	Eckert V.	1,301

37.	Lambert válcový	1,302
38.	Putniš P2	1,305
39. – 40.	Craster = Putniš P4	1,308
	Eckert II.	1,308
	Putniš P4 = Craster	1,308
41.	Putniš P3	1,309
42.	Pavlov válcový	1,312
43.	Sanson	1,325
44.	Ortelius	1,328
45.	Aitow	1,332
46. – 47.	Eckert I.	1,347
	Obdélníkové $\varphi_0 = \pm 37,5^\circ$ válcové	1,347
48.	Čtvercové válcové	1,353
49.	CNIIGAIK 1944 = Ginzburg VIII. válcové	1,356
50.	Bonne	1,370
51.	BSAM válcový	1,377
52. – 53.	Gall válcový	1,378
	Werenskiold II.	1,378
54.	Werenskiold I.	1,379
55.	Werenskiold III.	1,382
56.	Werner – Stab I.	1,392
57.	Miller II. válcový	1,468
58.	Braun II. válcový	1,478
59.	Miller I. válcový	1,554
60.	Lagrange I.	1,591
61.	Urmajev III. válcový	1,759
62.	Grinten I.	1,834
63.	Mercator válcový	2,141

Závěr

Jako **nejkvalitnější** vychází plochojevné paválcové eliptické zobrazení **Eckert IV.**, které se v praxi vyskytuje jen u vedlejších tematických map americké provenience. Další v pořadí jsou vyrovnávací pseudoazimutální zobrazení **Winkel III.** a plochojevné pseudoazimutální zobrazení **Wagner VII.** Obě se trvale uplatňují jako hlavní zobrazení v německých mapách světa.

Zobrazení Wagner V. a Wagner IV. = Putninš P2' jsou téměř neznámá, stejně jako jméno lotyšského autora R.V. Putninše. Soudě však podle globálního středního zkreslení mají stejnou kvalitu, jako používané zobrazení Wagner VII., nejlepší Kavrajského V. zobrazení anebo Američany propagované zobrazení Robinson či jiné neznámé zobrazení Putninš P4'.

Z klasických všeobecně známých obecných zobrazení se nejlépe umístilo zobrazení Mollweide (14.-15.), historická zobrazení Arago (21.-23.), Apian (24.) a Hammer (26.-27.). Naopak na předposledním místě zůstalo zobrazení Grinten I.

Z válcových zobrazení obsadilo překvapivě dobré 7. místo plochojevné zobrazení Behrmann a slušné 21.-23. plochojevné zobrazení Arno Peters. Úplně poslední bylo úhlojevné zobrazení Mercator.

Mezi zobrazeními na předních místech mírně převažují plochojevná nad vyrovnávacími, ne však razantně: z prvních dvaceti je 12 plochojevných a 8 vyrovnávacích. To svědčí o vyvážení vlivu plošného a úhlového zkreslení vhodnou volbou postupu při výpočtu substituta úhlového zkreslení.

Globální střední zkreslení jakožto součtové kritérium charakterizuje zobrazení podle průměrného zkreslení na celé ploše mapy. To je pro mapy světa na jednom listu velmi užitečné, a proto lze velikost globálního středního zkreslení považovat za důležitý ukazatel při výběru zobrazení pro novou mapu.

LITERATURA

Canters, F. a Declair, H. (1989). *the world in perspective. A directory of world map projections.* 1. ed. Chichester - New York..., John Wiley and Sons 1989, 181 s.

S u m m a r y

The Global Mean Distortion in World Map Projections

The values of mean areal, linear and maximum angular distortion in 63 conventional and cylindrical projections have been originally published by CANTERS and DECLEIR (1989). These values (Tab. 1) have been obtained by averaging of local distortions over all points of 2.5° graticule weighted with the respect to the quadrangle surrounding each point.

Three different sequences of projections can be obtained:

- according to mean areal distortion,
- according to mean linear distortion,
- according to mean maximum angular distortion.

However, three sequences are too much for geographers and cartographers. They would rather get only one sequence incorporating all the three partial mean distortions together. That is why the global mean distortion Z of each projection from corresponding trio partial mean distortions was computed and consecutively quite new general sequence of projections was arranged (Tab. 2).

The best places had been taken by pseudocylindrical equal area projection Eckert IV and pseudoazimuthal arbitrary projection Winkel III, Wagner VII, IV and V, Kavrajškij V and Robinson followed. The worst projections - on the contrary - proved to be Grinten I and Mercator (cylindrical).

After this paper had been finished and given away for print, a different method of computing was used. Owing to this method the influence of extreme partial distortions was strengthened. Naturally the sequence of projections has been changed too, but not very much:

1 Winkel III, 2-3 Eckert IV and Wagner V, 4 Robinson, 5 Kavrajškij VII, 6 Winkel II, 7 Wagner II, 8 Wagner VII, 9 Wagner VI = Putninš P2, 10 Putninš P1', 11 Kavrajškij V, 12 Berhmann (cylindrical) ...

Grinten I and Mercator projections keep the last places again.

It is evident that differences in both sequences do not exceed five places. That gives an evidence in favour to computation methods objectivity.

Lektoroval

RNDr. Jaromír Kaňok, CSc.,
Ostravská univerzita
Ostrava