

JHS 197 EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmät, niihin liittyvät muunnokset ja karttalehtijako

Liite 6: EUREF-FIN:n ja KKJ:n välinen kolmiulotteinen yhdenmuotoisuusmuunnos ja sen tarkkuus

Versio: 1.0 / 3.2.2016

Julkaistu: 5.4.2016

Voimassaoloaika: toistaiseksi

Muunnosmenetelmän tausta

EUREF-FIN- ja KKJ-koordinaattijärjestelmien välinen likimääräinen valtakunnallinen koordinaattimuunnos ratkaistiin Bursa-Wolf -mallin mukaisen yhdenmuotoisuusmuunnoksen avulla. Muunnoksen avulla lähtökoordinaattijärjestelmästä oleviin koordinaatteihin lisätään koordinaattijärjestelmän origon siirron, koordinaattiakselien ympäri tapahtuvien kiertojen sekä mittakaavamuutoksen aiheuttamat korjaukset. On huomattava, että yhdenmuotoisuusmuunnos säilyttää parametrien ratkaisemiseen käytetyn pisteverkon muodon muuttumattomana. Jos muunnoksen ratkaisemiseen käytettyjen pisteverkkojen muoto poikkeaa toisistaan, näkyvät muodon muutokset jäännösvirheinä. Nämä antavat luotettavan kuvan siitä, kuinka suuria eroja muunnettujen ja ”oikeiden” koordinaattien välillä tulee esiintymään.

Seuraavassa käytetään nimitystä KKJ-XYZ kolmiulotteisesta karteesisesta koordinaattijärjestelmästä, jonka datumi on KKJ ja KKJ-Hayford-h kolmiulotteisesta ellipsoidisesta koordinaattijärjestelmästä, jonka datumi on KKJ.

Koordinaattimuunnos määritettiin EUREF-FIN-XYZ- ja KKJ-XYZ-koordinaattijärjestelmien välille 90 I luokan kolmiopisteen avulla. Koska KKJ-datumi on määritelty tasokoordinaattijärjestelmässä, tarvitaan pisteiden KKJ-koordinaattien lisäksi korkeudet. Kolmiopisteiden ortometriset korkeudet on määritetty joko vaaitsemalla tai trigonometrisellä menetelmällä N60-korkeusjärjestelmässä. Muunnosparametrien ratkaisemista varten kolmiopisteiden ortometriset korkeudet on muunnettava vertausellipsoidista lasketuiksi korkeuksiksi. Muunnos voidaan suorittaa, jos tunnetaan geoidin korkeudet vertausellipsoidista. KKJ:n yhteydessä käytettiin astro-geodeettisesti määritetyn ”Bomford 70” -geoidimallin mukaisia geoidin korkeuksia. Nämä geoidin korkeudet on määritetty kaikille I luokan kolmiopisteille astro-geodeettisten luotiviivan poikkeamien avulla. Astro-geodeettisen geoidin korkeudet on laskettu Kansainvälisestä vertausellipsoidista 1924 (Hayford), jota käytettiin I luokan kolmiomittauksen laskennassa ja kolmioverkon tasoituksessa v. 1966. Kun KKJ:n määrittelemisessä käytettiin v. 1966 tasoituksen tuloksena saatuja I luokan kolmioverkon koordinaatteja, voidaan sanoa KKJ:ään liitetyn vertausellipsoidin olevan Kansainvälinen vertausellipsoidi 1924. Geoidin korkeudet on laskettu samasta vertausellipsoidista. Geoidin lähtötaso on määritelty I luokan kolmiopisteellä no. 176 Korkatti, missä geoidin korkeus ellipsoidista on 5.60 m.

N60- ja geoidin korkeuksien avulla saadut korkeudet Hayfordin ellipsoidista lisättiin YKJ-tasokoordinaatteihin, ja nämä konvertoitiin kolmiulotteisiksi geodeettisiksi koordinaateiksi (KKJ-Hayford-h). Suorakulmaiset koordinaatit (KKJ-XYZ) saatiin *JHS196*:ssä esitetyillä kaavoilla.

Muunnoskaava

Koordinaattimuunnos EUREF-FIN-XYZ-koordinaateista KKJ-XYZ-koordinaatteihin voidaan esittää seuraavan yhtälön avulla:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{kkj}} = (1+m) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{EUREF-FIN}} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

missä ΔX , ΔY , ΔZ ovat koordinaattijärjestelmien origojen väliset koordinaattierot, $(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$ koordinaattiakselien väliset kiertokulmat ja m ilmoittaa koordinaattijärjestelmien välisen mittakaavaeron miljoonasosina. Kiertokulmien $(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$ yksikkö kaavassa on radiaani. Päinvastaiseen suuntaan muunnos voidaan suorittaa vaihtamalla koordinaattien paikat kaavassa ja päivittämällä parametrit alla olevan taulukon *1* mukaan.

Muunnoksen parametrit ja tarkkuus

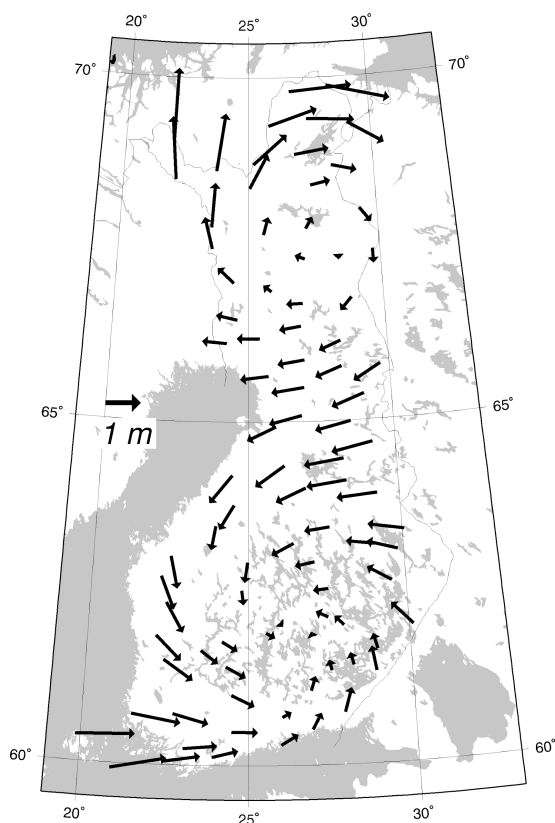
EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmän realisoinnin yhteydessä mitattiin 90 vastinpisteen koordinaattien arvot. Näiden pisteiden pohjalta laskettiin pienimmän neliösumman menetelmällä muunnoskaavan parametreille arvot. *Taulukko 1* sisältää parametrien arvot ja näiden keskivirheet.

Taulukko 1. EUREF-FIN:n ja KKJ:n välisen 7-parametrin yhdenmuotoisuusmuunnoksen parametrien arvot ja keskivirheet.

	EUREF-FIN → KKJ	KKJ → EUREF-FIN	Keskivirhe	Yksikkö
ΔX	96,0610	-96,0617	1,614	m
ΔY	82,4298	-82,4278	3,111	m
ΔZ	121,7485	-121,7535	1,141	m
ε_x	4,80109	-4,80107	0,093	kaarisek.
ε_y	0,34546	-0,34543	0,049	kaarisek.
ε_z	-1,37645	1,37646	0,056	kaarisek.
M	-1,49651	1,49640	0,176	ppm

Kaarisekunnit voidaan muuttaa radiaaneiksi edellä esitettyyn muunnoskaavaan jakamalla kaarisekunnit luvulla 206 264,8 ($=60 \cdot 60 \cdot 180/\pi$).

Koko maan yli ulottuvasta pisteistöstä johdetun yhdenmuotoisuusmuunnoksen jäännösvirheet näyttävät selvästi KKJ:n vääristymät (*Kuva 1*). Suurimmassa osassa maata jäännösvirheiden itseisarvo on pienempi kuin 0,5 m, mutta Pohjois-Suomessa ja Ahvenanmaan saaristossa esiintyy jopa 2 m:n suuruisia jäännösvirheitä. Kyseinen koordinaattimuunnos muuttaa siis koordinaatit datumista toiseen, mutta ei oikaise KKJ:n vääristymiä. Koordinaattimuunnoksen avulla saadaan koordinaateille likiarvoja, joiden tarkkuus on 1 metrin kertaluokkaa.



Kuva 1. 7-parametrin yhdenmuotoisuusmuunnoksen jäännösvirheet EUREF-FIN:n ja KKJ:n välillä.

Muunnospisteet

Seuraavissa taulukoissa 2 ja 3 esitetään siirtoparametrien ratkaisemiseen käytetyt koordinaatit EUREF-FIN- ja KKJ-koordinaattijärjestelmissä.

Taulukko 2. 3-D siirtoparametrien ratkaisemiseen käytettyjen pisteiden geodeettiset koordinaatit (ϕ, λ, h) EUREF-FIN-GRS80h-koordinaattijärjestelmässä.

No.	ϕ			λ			h
	o	'	"	o	'	"	m
4	60	23	6.38474	19	50	53.29237	118.3092
9	59	55	21.90272	20	55	35.77597	50.4765
17	60	2	30.00060	22	25	42.11416	80.8663
21	60	14	28.38025	23	3	1.74531	103.9726
25	60	7	15.35692	23	54	27.00023	105.3758
29	60	29	23.91906	24	28	39.48694	175.0098
36	60	17	44.99620	25	57	31.66375	51.3428
37	60	42	15.40251	26	0	13.30283	115.0001
42	60	31	15.86470	26	54	25.76350	71.2135
46	60	45	34.09136	27	53	45.09317	98.6580
56	61	20	32.26114	28	54	11.16204	178.2721
59	61	39	36.04377	28	58	44.78647	163.2722
63	61	59	27.40569	30	7	34.63359	189.6849
67	62	38	42.25620	29	32	36.03085	184.6760
69	63	5	39.80772	29	48	31.81134	364.7044
71	63	10	57.20787	29	5	1.02189	331.7479
76	62	57	27.87417	27	6	22.75542	254.7832
79	63	13	48.98781	26	27	3.70908	198.1053

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

84	62	57	25.14015	24	57	44.06068	246.0776
92	63	2	8.60453	22	29	40.08228	81.5269
93	62	44	30.95243	22	12	35.73658	178.9884
104	60	44	32.51677	22	42	45.12368	122.3209
110	61	31	48.83204	22	22	38.49769	121.6072
113	61	52	45.11149	22	7	12.33885	109.5812
117	62	21	40.41718	22	24	15.21189	214.9653
123	61	40	15.02710	23	31	8.25403	178.5775
126	61	26	5.33976	24	17	25.67949	199.0184
131	61	55	36.32944	25	32	1.04996	211.4850
133	62	4	29.36214	25	57	39.56393	244.8505
137	61	52	17.58574	26	58	30.76364	185.8995
158	63	29	3.99290	23	55	11.12311	159.4207
162	63	47	14.48776	24	30	28.22579	156.4837
165	64	13	17.12456	24	26	36.56570	90.8865
171	64	55	37.09353	25	55	51.48243	110.4269
177	64	21	45.16362	26	11	58.95025	142.0042
180	64	1	47.87567	26	53	20.02442	249.7605
183	64	26	53.39867	28	12	27.20344	342.4437
184	64	7	39.39243	28	16	5.43926	344.1392
188	63	55	24.41885	29	15	41.29253	267.0042
192	63	22	34.73779	30	4	2.73772	246.3995
197	61	1	20.26996	24	28	10.70628	206.7360

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Taulukko 2. (jatk.)

No.	ϕ			λ			h
	o	'	"	o	'	"	m
200	61	48	8.40294	24	9	53.98877	236.4471
205	62	33	2.23268	24	46	14.30773	261.5026
208	61	5	6.72530	26	53	38.04931	152.2002
211	61	22	14.52137	27	32	26.69776	163.7990
212	62	1	42.55571	27	57	50.93436	174.6824
213	62	9	.60850	27	28	42.00202	192.6802
215	62	33	41.08978	27	31	7.34959	228.6559
221	65	39	50.33418	25	41	34.58840	123.3555
224	66	12	25.21517	25	23	21.67453	243.1469
228	66	28	56.44644	24	34	38.32455	281.7959
229	66	8	26.95297	24	11	51.63982	209.3392
231	63	27	24.02102	27	37	59.03283	244.1344
235	65	53	41.12447	26	59	.21646	269.5269
238	65	47	30.53041	28	18	1.54739	440.5557
240	65	22	56.14174	29	2	10.91322	306.1658
243	64	59	20.94682	28	31	10.33661	319.7328
246	64	40	26.12540	29	13	00.01117	274.5954
250	66	53	45.21851	25	50	9.33018	345.1395
251	67	1	22.91426	24	25	52.26109	393.7049
254	67	43	19.23685	25	33	41.92680	603.9764
257	66	9	31.77211	28	17	59.85137	435.1747
261	66	46	53.11486	28	48	2.76972	496.6819
264	67	21	42.59662	27	6	58.99008	475.2660
265	67	24	49.90306	28	23	52.75601	428.4301
267	67	48	21.22879	27	11	45.94099	427.9432
271	68	23	37.61417	25	1	33.07846	487.7678
273	68	38	57.82977	23	42	43.16461	672.6516
275	68	26	2.91308	27	26	38.47320	460.7686
278	68	42	50.49142	28	18	16.31886	433.4041
281	69	24	14.31490	27	22	56.30041	328.6997
283	69	19	31.30268	29	3	27.06328	358.6955
287	69	18	12.05886	25	48	55.31663	540.1193
291	60	43	34.94529	21	28	47.11319	60.0369
301	66	42	56.17969	26	59	10.75410	358.7482
303	66	23	7.64600	26	53	59.56490	378.2132
309	67	31	3.19230	23	35	46.16879	277.2217
311	67	49	53.87867	23	33	36.69901	395.0387
314	68	30	40.03384	22	5	46.75116	552.5990
318	69	3	44.26415	21	56	41.47263	687.2497
320	65	5	17.96299	26	49	55.76410	183.1637
321	65	29	40.70208	26	56	47.64183	180.2727
329	65	48	5.76000	29	40	35.32522	487.9580
334	67	28	15.36527	29	42	42.58294	608.7199
336	68	4	24.96465	29	18	54.97015	505.7781
338	61	26	35.21065	28	13	12.77149	158.8963
340	69	52	28.15206	28	15	32.36188	458.2091
342	69	47	52.30233	26	41	3.90880	483.7084
345	68	44	35.01547	25	11	17.10192	567.0305
347	68	53	1.51162	26	50	16.63688	442.9687

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Taulukko 3. 3-D-siirtoparametrien ratkaisemiseen käytettyjen pisteiden geodeettiset KKJ-koordinaatit (ϕ , λ), ortometriset korkeudet N60-korkeusjärjestelmässä (H) sekä ”Bomford 70” -geoidimallin mukaiset geoidin korkeudet (N).

No.	ϕ			λ			H	N
	o	'	''	o	'	''	m	m
4	60	23	6.24353	19	51	5.58844	98.4	-7.68
9	59	55	21.71015	20	55	47.70240	31.59	-8.42
17	60	2	29.64537	22	25	53.85241	60.	-7.06
21	60	14	27.93759	23	3	13.45600	84.23	-6.66
25	60	7	14.84540	23	54	38.52012	86.5	-6.86
29	60	29	23.30526	24	28	51.04224	156.01	-6.73
36	60	17	44.26138	25	57	42.87768	35.1	-9.12
37	60	42	14.60851	26	0	24.67874	97.95	-8.82
42	60	31	15.00386	26	54	36.89196	55.95	-9.64
46	60	45	33.09876	27	53	56.11721	83.	-9.45
56	61	20	31.09194	28	54	22.22086	161.6	-6.77
59	61	39	34.82891	28	58	55.95150	145.45	-5.89
63	61	59	26.03520	30	7	45.71491	172.5	-5.80
67	62	38	40.84434	29	32	47.50905	166.4	-5.60
69	63	5	38.30902	29	48	43.43181	347.2	-5.54
71	63	10	55.76337	29	5	12.83958	314.	-5.29
76	62	57	26.64863	27	6	34.89149	236.7	-5.23
79	63	13	47.78773	26	27	16.11504	179.78	-5.36
84	62	57	24.12931	24	57	56.61968	227.48	-5.67
92	63	2	7.83238	22	29	53.16595	64.	-6.88
93	62	44	30.25409	22	12	48.72490	160.7	-6.76
104	60	44	32.04568	22	42	57.09522	103.03	-6.77
110	61	31	48.28755	22	22	50.87462	102.36	-6.66
113	61	52	44.54441	22	7	24.92651	90.39	-6.54
117	62	21	39.75434	22	24	27.97708	196.2	-6.58
123	61	40	14.34275	23	31	20.49460	159.6	-6.42
126	61	26	4.61394	24	17	37.66413	179.5	-6.31
131	61	55	35.40671	25	32	13.01365	192.8	-5.85
133	62	4	28.37570	25	57	51.51363	226.26	-5.79
137	61	52	16.52859	26	58	42.42884	167.327	-5.60
158	63	29	3.00488	23	55	24.15292	141.2	-6.52
162	63	47	13.39652	24	30	41.29989	138.6	-6.42
165	64	13	15.97551	24	26	49.88793	73.02	-6.26
171	64	55	35.68044	25	56	4.85042	92.45	-5.57
177	64	21	43.82010	26	12	11.96828	124.	-5.63
180	64	1	46.51371	26	53	32.72543	231.3	-5.42
183	64	26	51.84510	28	12	39.82622	324.1	-5.15
184	64	7	37.88297	28	16	17.89504	326.28	-5.12
188	63	55	22.85143	29	15	53.42456	248.8	-4.92
192	63	22	33.17578	30	4	14.43160	229.1	-5.37
197	61	1	19.58842	24	28	22.48063	187.6	-6.60
200	61	48	7.63299	24	10	6.16213	217.4	-6.33
205	62	33	1.29669	24	46	26.71282	242.61	-5.66
208	61	5	5.78421	26	53	49.40468	136.25	-8.61
211	61	22	13.48243	27	32	38.04645	146.7	-7.44
212	62	1	41.38132	27	58	2.47146	156.31	-5.30

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Taulukko 3. (jatk.)

No.	ϕ			λ			H	N
	o	'	"	o	'	"	m	m
213	62	8	59.46287	27	28	53.69754	174.01	-5.27
215	62	33	39.88487	27	31	19.21571	210.15	-5.16
221	65	39	48.81760	25	41	48.40878	104.7	-4.86
224	66	12	23.63760	25	23	35.86515	223.5	-3.56
228	66	28	54.89853	24	34	52.86910	261.1	-2.41
229	66	8	25.49861	24	12	6.07678	188.62	-2.95
231	63	27	22.67056	27	38	11.28942	225.77	-5.02
235	65	53	39.45185	26	59	13.85455	251.1	-4.67
238	65	47	28.75986	28	18	14.80630	421.9	-4.38
240	65	22	54.37265	29	2	23.78903	287.916	-4.42
243	64	59	19.28249	28	31	23.14460	301.5	-4.93
246	64	40	24.44951	29	13	12.50874	256.15	-4.49
250	66	53	43.48299	25	50	23.79148	324.15	-2.45
251	67	1	21.28430	24	26	7.16519	370.8	-0.94
254	67	43	17.38317	25	33	56.95279	579.8	-0.53
257	66	9	29.94165	28	18	13.29962	416.82	-4.40
261	66	46	51.14236	28	48	16.41881	477.6	-4.72
264	67	21	40.66826	27	7	13.42050	454.8	-3.06
265	67	24	47.85713	28	24	6.85973	410.2	-3.98
267	67	48	19.21352	27	12	.59296	407.8	-2.15
271	68	23	35.68733	25	1	48.66894	462.99	1.68
273	68	38	55.96792	23	42	59.30286	645.	3.59
275	68	26	.77818	27	26	53.44281	437.84	-0.11
278	68	42	48.24061	28	18	31.22707	410.8	-0.66
281	69	24	12.03098	27	23	11.90269	304.7	0.58
283	69	19	28.89655	29	3	42.15509	336.6	-1.61
287	69	18	9.92199	25	49	11.28278	514.1	1.74
291	60	43	34.59802	21	28	59.27959	40.63	-7.07
301	66	42	54.37189	26	59	24.83885	339.67	-3.84
303	66	23	5.90195	26	54	13.48975	359.22	-4.07
309	67	31	1.55136	23	36	1.58573	252.441	1.31
311	67	49	52.18499	23	33	52.32752	369.200	2.48
314	68	30	38.35069	22	6	3.22695	524.028	5.38
318	69	3	42.49665	21	56	58.39089	656.1	5.61
320	65	5	16.43586	26	50	9.01599	165.41	-5.42
321	65	29	39.09709	26	57	1.08303	162.4	-5.16
329	65	48	3.87090	29	40	48.24751	468.7	-4.26
334	67	28	13.20133	29	42	56.36787	590.1	-4.18
336	68	4	22.73663	29	19	9.20910	486.2	-2.62
338	61	26	34.09825	28	13	24.00948	141.8	-6.82
340	69	52	25.71998	28	15	48.02213	434.95	-.50
342	69	47	50.01076	26	41	19.97230	458.21	1.63
345	68	44	33.01973	25	11	32.86226	541.66	1.81
347	68	52	59.35749	26	50	32.04820	418.66	.93