

# The September 9, 2016 underground nuclear test carried out by North Korea

## Észak Korea 2016 szeptember 9-i földalatti atomrobbantása

István Bondár, Bálint Süle and Csenge Czanik

Hungarian Academy of Sciences  
Research Centre for Astronomy and Earth Sciences  
Geodetic and Geophysical Institute  
Kövesligethy Radó Seismological Observatory

Magyar Tudományos Akadémia  
Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont  
Geodéziai és Geofizikai Intézet  
Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium



Technical Report, MTA CSFK GGI KRSZO 2016/2

2016 September 15

North Korea has carried out an underground nuclear explosion at its test site, Punggye-ri on 2016-09-09 00:30:00 UTC. Seismic records confirm that an underground nuclear explosion indeed took place.

Figure 1 shows the underground nuclear tests carried out by North Korea so far, and Figure 2 shows the locations in the IDC REB. The DPRK tests are summarized in the table below.

Origin time Kipattanási idő	Latitude Szélesség	Longitude Hosszúság	mb	MS	Yield Töltet	Author Forrás
2006-10-09 01:35:27	41.2867	129.0902	4.1	2.9	1 kT	IASPEI <sup>1</sup>
2009-05-25 00:54:45	41.2925	129.0657	4.8	3.9	4 kT	IASPEI <sup>1</sup>
2013-02-12 02:57:51	41.3143	129.0933	5.1	4.0	7 kT	ISC <sup>2</sup>
2016-01-06 01:30:01	41.308	129.049	5.1	4.0	5-8 kT	USGS <sup>3</sup>
2016-09-09 00:30:01	41.298	129.015	5.3	4.2	10-25 kT	USGS <sup>4</sup>

<sup>1</sup> IASPEI Reference Event List (Bondár and McLaughlin, 2009; Bennett et al., 2010).

<sup>2</sup> International Seismological Centre, *On-line Bulletin*, <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2016.

<sup>3</sup> US Geological Survey National Earthquake Information Center  
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2016/20160106.php>

<sup>4</sup> US Geological Survey National Earthquake Information Center  
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2016/20160909.php>

The seismological stations belonging to the Hungarian National Seismological Network (Figure 3) have recorded not only the 2016-09-09 underground nuclear test, but also the previous tests by North Korea that were conducted in 2006-10-09, 2009-05-25, 2013-02-12 and 2016-01-06. The Hungarian component of the temporary AlpArray network stations is operational since 2016 January and has also recorded the 2016-09-09 event.

Figures 4-8 show the ground displacements recorded at the Hungarian stations for the 2006-10-09, 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 and the 2016-09-09 underground nuclear tests. The waveforms are bandpass filtered between 1 and 5Hz and ordered by the distance from the source. The closest station, Tarpa (TRPA) is at 69.9° (7,750 km) and the farthest station, Sopron (SOP) is at 74.2° (8,250 km) away from the Punggye-ri test site. Note that TRPA was down on 2016-09-09 and therefore it has not recorded the North Korean test. Also note that the signals from the 2006-10-09 test are obscured by the background noise at the Hungarian stations. Figure 9 shows the waveforms of the 2016-09-09 tests aligned on the first-arriving P phase on both permanent and temporary stations of the Hungarian National Seismological Network.

Assuming that the source mechanisms of the five underground tests are similar, thus they will produce similar signals that only differ in amplitudes, we can perform waveform cross-correlation to detect the smaller events embedded in noise using the signal of a larger event with higher signal-to-noise ratio. This is illustrated in Figure 10. The signal recorded at Mórág (MORH; PKSM until 2012) from the 2016-01-06 event (top) is slidden over a longer window that presumably

contains the signal of the 2009-05-25 event (middle). The cross-correlation between the waveforms at each relative window position is calculated to produce the cross-correlation trace (bottom). The clear peak in the correlation trace represents the detection of the smaller event in the noisy waveform.

Figures 11-13 show the signals from the 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 and the 2016-09-09 underground nuclear explosions recorded at Piskéstető, Mórággy and Sopron. The waveforms are shifted by the differential time obtained from the waveform cross-correlation between the traces using the 2016-01-06 event as template. This optimally aligns the waveforms on the first-arriving P phase. The bottom figures show the waveforms plotted in the same frame. The remarkable similarity between the waveforms of the four underground tests suggests that the source mechanisms must have been very similar.

## References

Bennett, T.J., V. Oancea, B.W. Barker, Y-L. Kung, M. Bahavar, B.C. Kohl, J.R. Murphy and I.K. Bondár, The Nuclear Explosion Database (NEDB): A new database and web site for accessing nuclear explosion source information and waveforms, *Seism. Res. Let.*, **81**, 12-25, 2010.

Bondár, I. and K. McLaughlin, A new ground truth data set for seismic studies, *Seism. Res. Let.*, **80**, 465-472, 2009.



Észak-Korea egy földalatti atomrobbantást hajtott végre 2016-09-09 00:30:01 UTC szerint a Punggye-ri kísérleti telepen. A szeizmikus felvételek igazolják, hogy valóban történt egy földalatti atomrobbantás.

Az 1. ábra az Észak-Korea által végrehajtott földalatti atomrobbantások helyét mutatja, a 2. ábra pedig az IDC REB meghatározásait mutatja. Az Észak-Korea által végrehajtott atomrobbantásokat az alábbi táblázatban soroljuk fel.

Origin time Kipattanási idő	Latitude Szélesség	Longitude Hosszúság	mb	MS	Yield Töltet	Author Forrás
2006-10-09 01:35:27	41.2867	129.0902	4.1	2.9	1 kT	IASPEI <sup>1</sup>
2009-05-25 00:54:45	41.2925	129.0657	4.8	3.9	4 kT	IASPEI <sup>1</sup>
2013-02-12 02:57:51	41.3143	129.0933	5.1	4.0	7 kT	ISC <sup>2</sup>
2016-01-06 01:30:01	41.308	129.049	5.1	4.0	5-8 kT	USGS <sup>3</sup>
2016-09-09 00:30:01	41.298	129.015	5.3	4.2	10-25 kT	USGS <sup>4</sup>

<sup>1</sup> IASPEI Reference Event List (Bondár and McLaughlin, 2009; Bennett et al., 2010).

<sup>2</sup> International Seismological Centre, *On-line Bulletin*, <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2016.

<sup>3</sup> US Geological Survey National Earthquake Information Center  
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2016/20160106.php>

<sup>4</sup> US Geological Survey National Earthquake Information Center  
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2016/20160909.php>

A Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat állomásai (3. ábra) nemcsak a 2016-09-09 földalatti atomrobbantást, hanem Észak-Korea többi nukleáris tesztjét (2006-10-09, 2009-05-25, 2013-02-12 és 2016-01-06) is regisztrálták. Az AlpArray hálózat magyarországi komponense 2016 január óta működik és ezek az állomások is regisztrálták a 2016-09-09 robbantást.

A 4-8. ábrák a 2006-10-09, 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 és a 2016-09-09 földalatti atomrobbantások során mért talajelmozdulásokat mutatják a magyar állomásokon. A hullámformákat az 1-5 Hz tartományban szűrtük, és a forrástól számított távolság alapján rendeztük. A legközelebbi állomás Tarpa (TRPA) 69.9° (7,750 km), a legtávolabbi pedig Sopron (SOP) 74.2° (8,250 km) távolságra van a Punggye-ri kísérleti teleptől. Megjegyezzük, hogy TRPA nem működött 2016-09-09-én, ezért nem regisztrálta az eseményt. A legkisebb teszt, 2006-10-09 által keltett jeleket elnyomja a háttérzaj. A 9. ábra 2016-09-09-i atomrobbantás hullámformáit mutatja a Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat permanens és ideiglenes állomásain.

Feltételezhetjük, hogy az öt atomrobbantás forrásmechanizmusa hasonló, ezért hasonló, csak amplitúdóban különböző jeleket generálnak. Így a kisebb, ezáltal zajosabb események detektálására hullámforma keresztkorrelációt végezhetünk a nagyobb, jobb jel/zaj arányú robbantások jeleit mintaként használva. Ezt a 10. ábra szemlélteti. A 2016-01-06 robbantás Mórágyn (MORH, PKSM 2012 előtt) regisztrált jelét (felső ábra) végigfuttatjuk azon a hosszabb időablakon ami feltehetően tartalmazza a kisebb, 2009-05-25 esemény által generált jelet

(középső ábra). Az egymáson elcsúszó két időablak minden egyes relatív pozíciójánál kiszámítjuk a korrelációs együttható értékét, ami a keresztkorrelációs csatornát eredményezi (alsó ábra). Az egyértelműen kimagasló csúcs a korrelációs csatornán azt jelzi, hogy sikeresen detektáltuk a kisebb esemény jelét a zajos felvételen.

A 11-13. ábrák a 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 és a 2016-09-09 földalatti atomrobbantások Pizskéstetőn, Mórágynon és Sopronban regisztrált jeleit mutatja. A hullámformákat a 2016-01-06 esemény keresztkorrelációjából nyert időkülönbségekkel toltuk el; ez optimálisan fedésbe hozza a hullámformákat az első P beérkezéseket. Az alsó ábrákon a hullámformákat egymásra rajzoltuk. A jelek közti szembeötlő hasonlóság arra utal, hogy a négy földalatti atomrobbantás forrásmechanizmusa nagyon hasonló kellett, hogy legyen.

#### Hivatkozások

Bennett, T.J., V. Oancea, B.W. Barker, Y-L. Kung, M. Bahavar, B.C. Kohl, J.R. Murphy and I.K. Bondár, The Nuclear Explosion Database (NEDB): A new database and web site for accessing nuclear explosion source information and waveforms, *Seism. Res. Let.*, **81**, 12-25, 2010.

Bondár, I. and K. McLaughlin, A new ground truth data set for seismic studies, *Seism. Res. Let.*, **80**, 465-472, 2009.



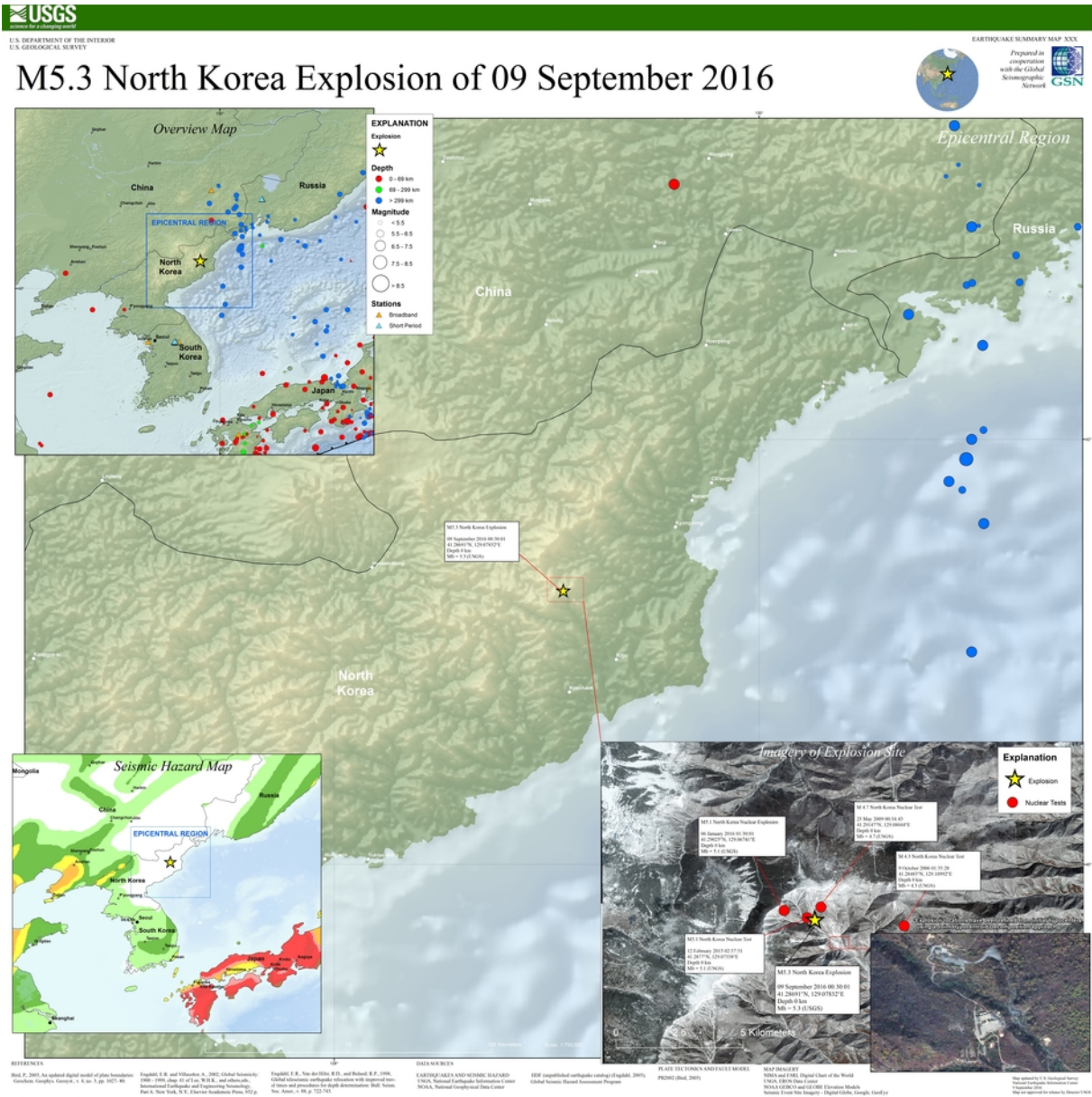


Figure 1. The USGS NEIC event summary poster shows the locations of the underground nuclear tests carried out by North Korea. (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2016/20160909.php>)

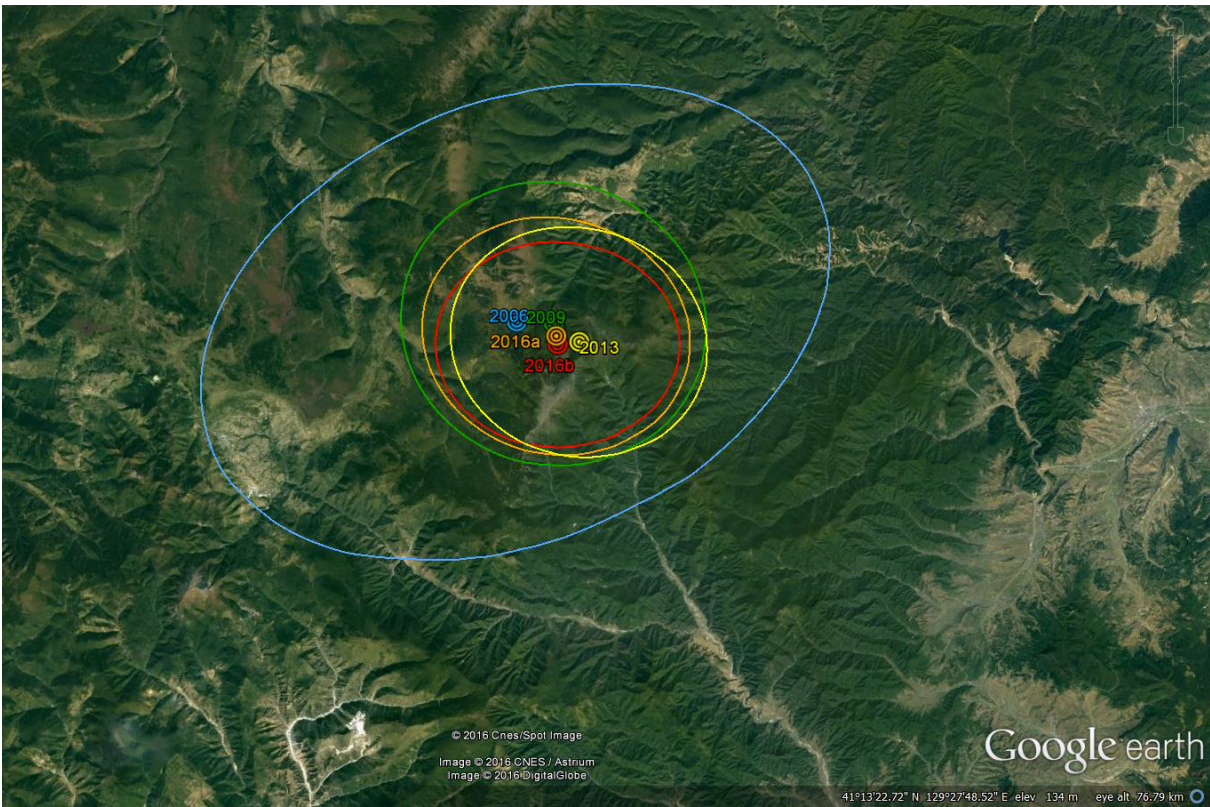


Figure 2. IDC REB locations of North Korean underground nuclear explosions.

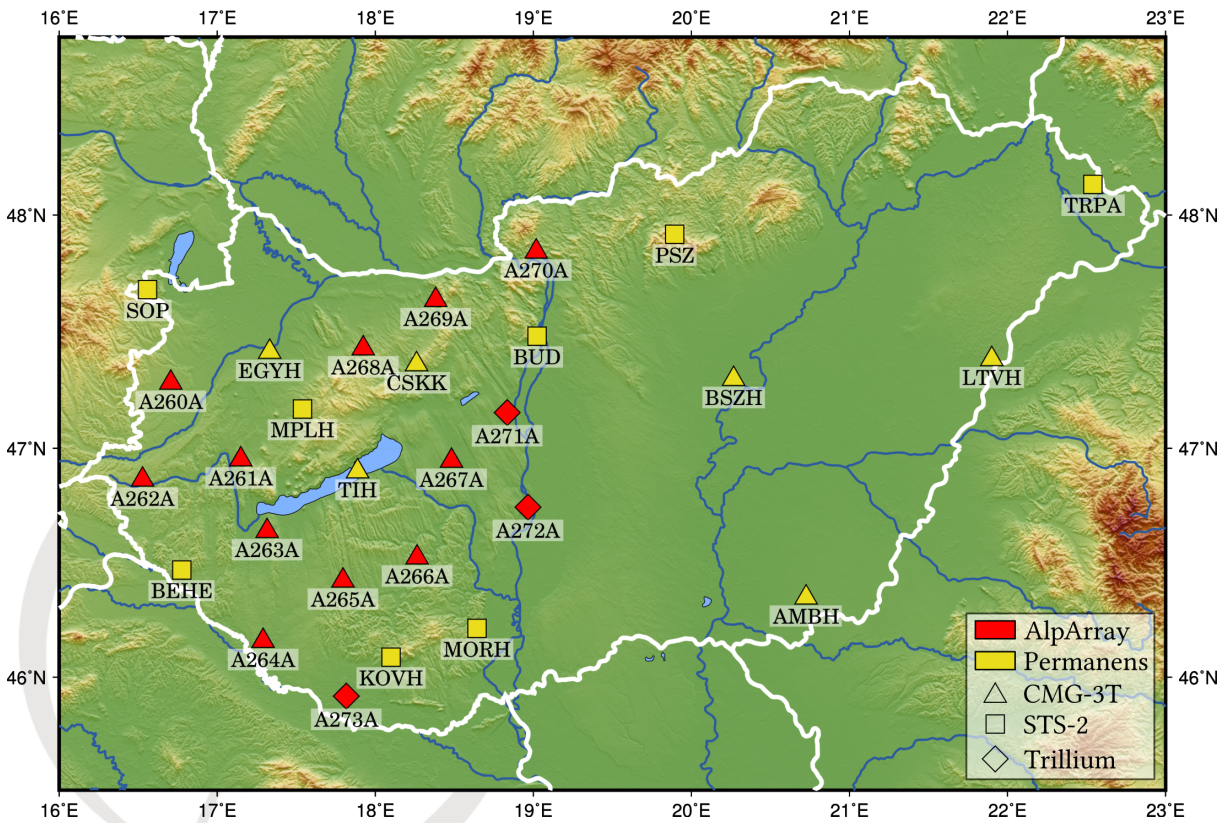
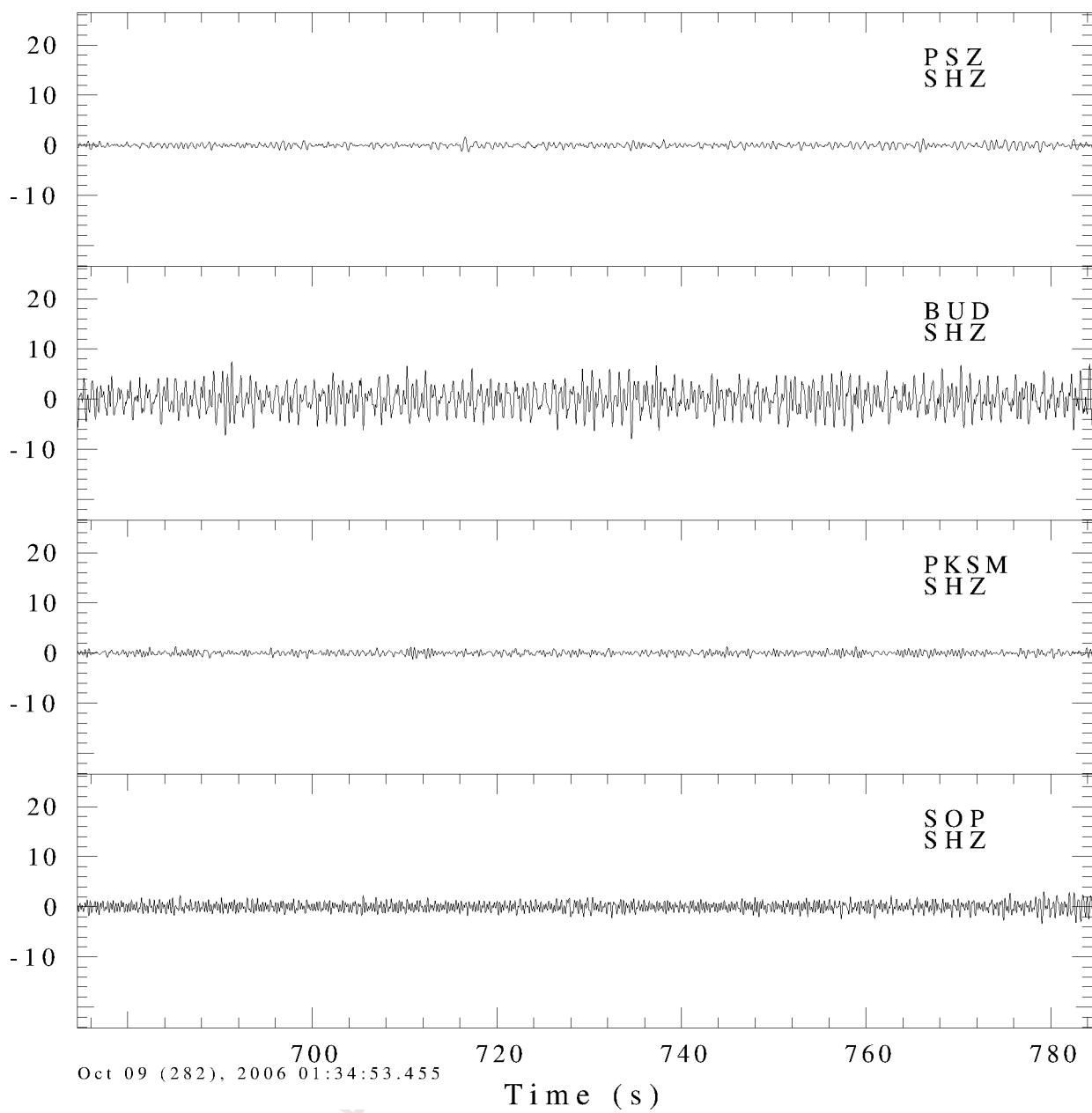
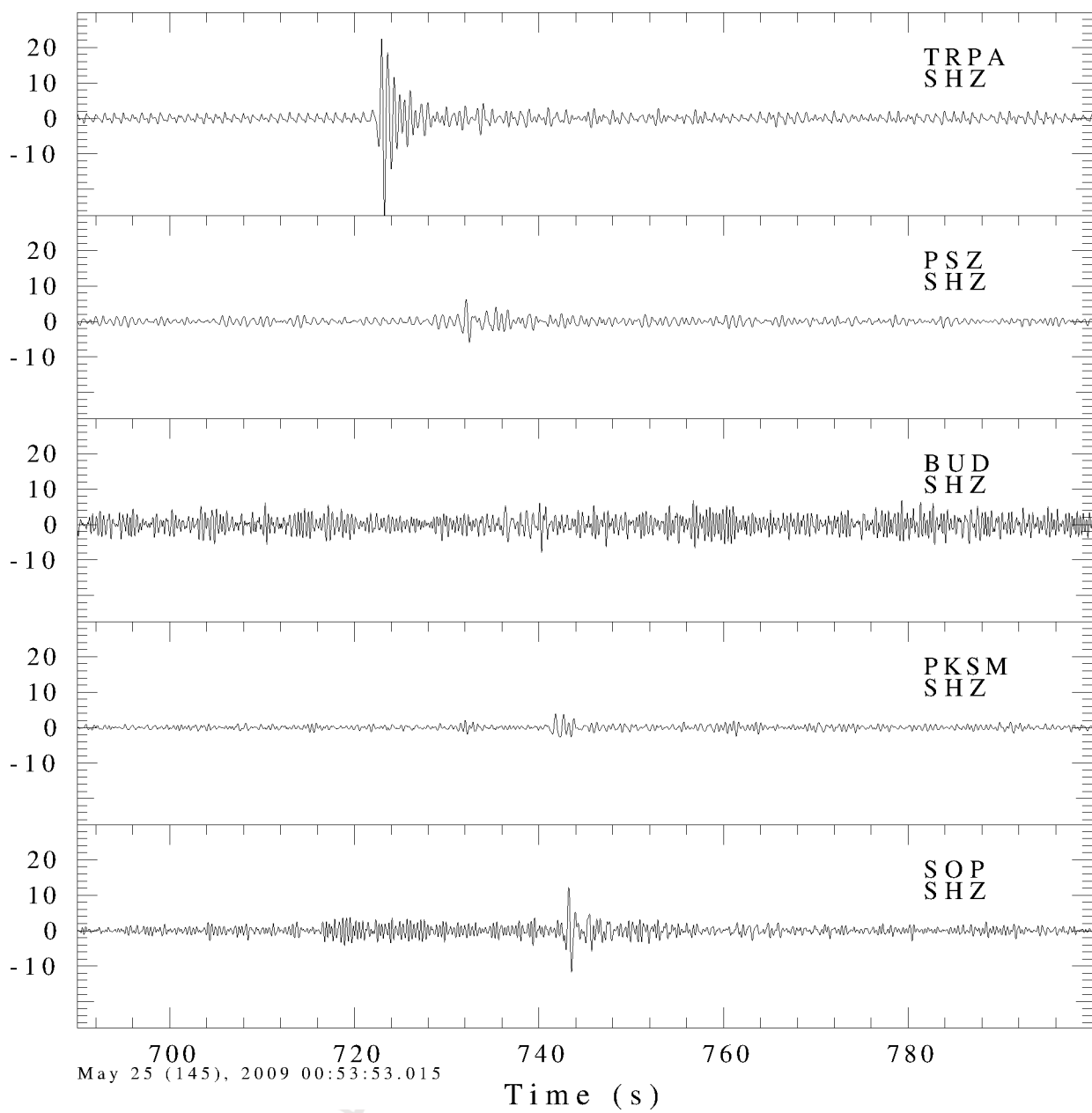


Figure 3. The stations of the Hungarian National Seismological Network. Yellow symbols represent the permanent stations, red symbols denote the Hungarian component of the AlpArray network.

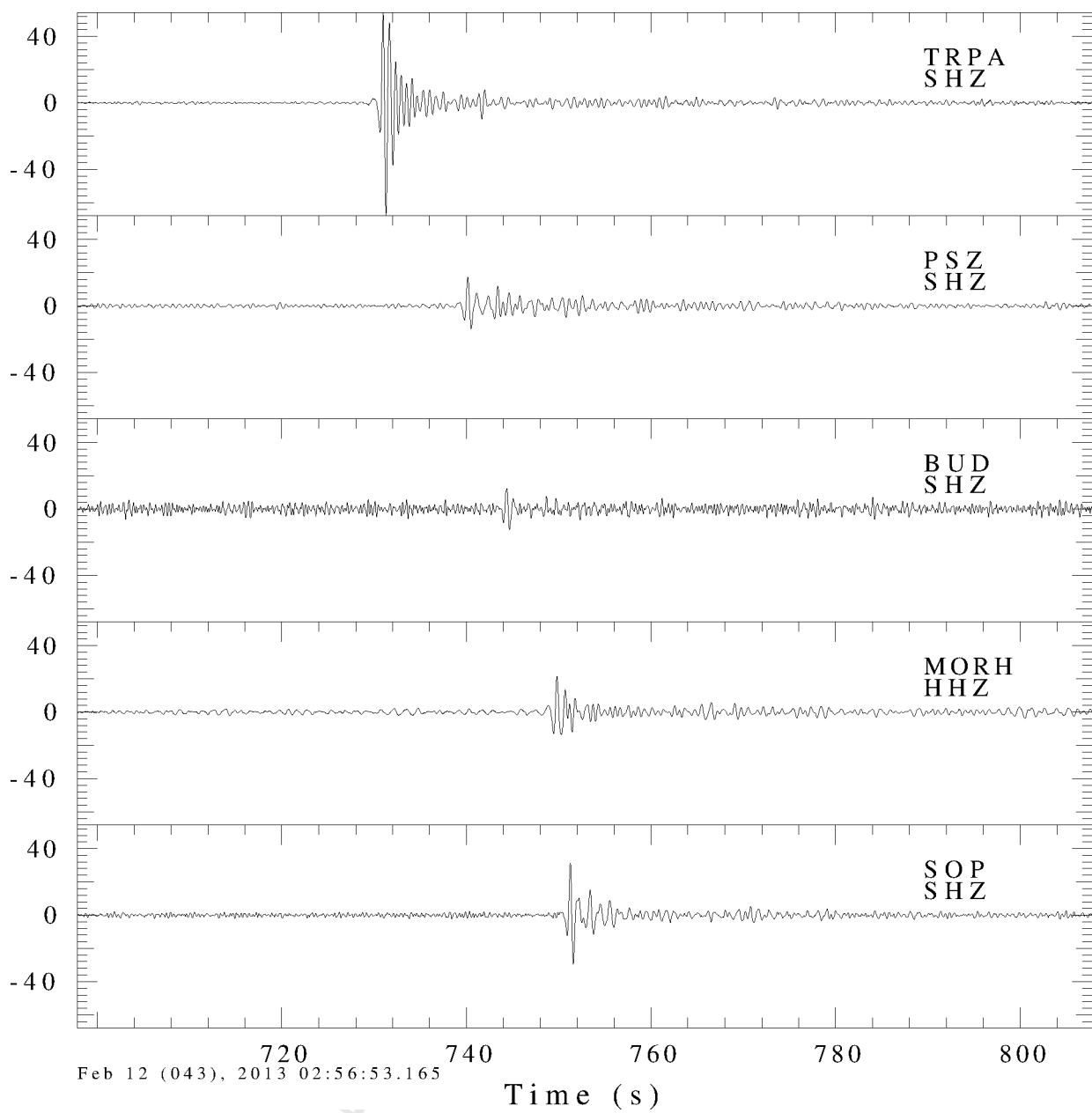


**Figure 4. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2006-10-09 01:35:27 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.**

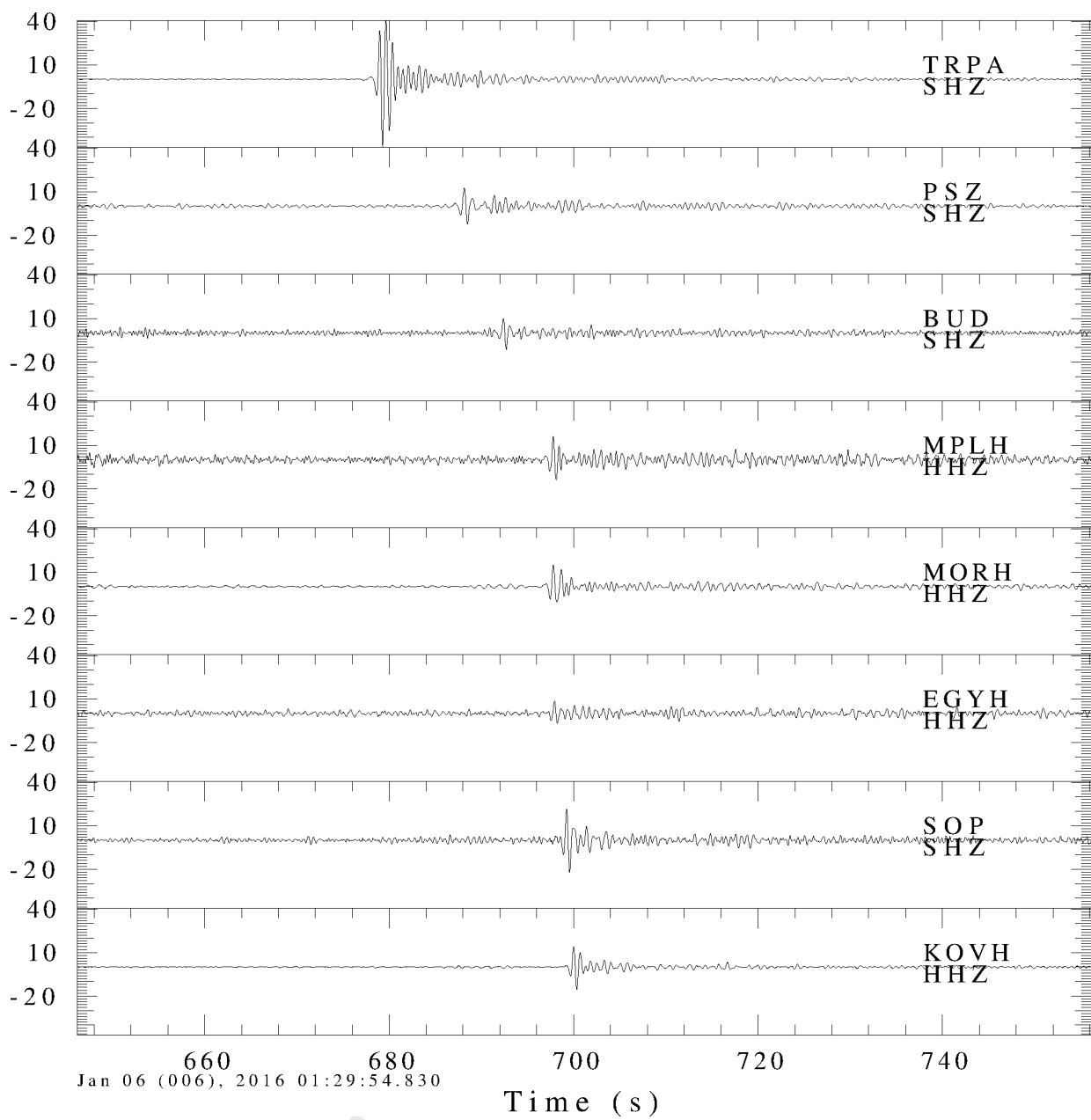




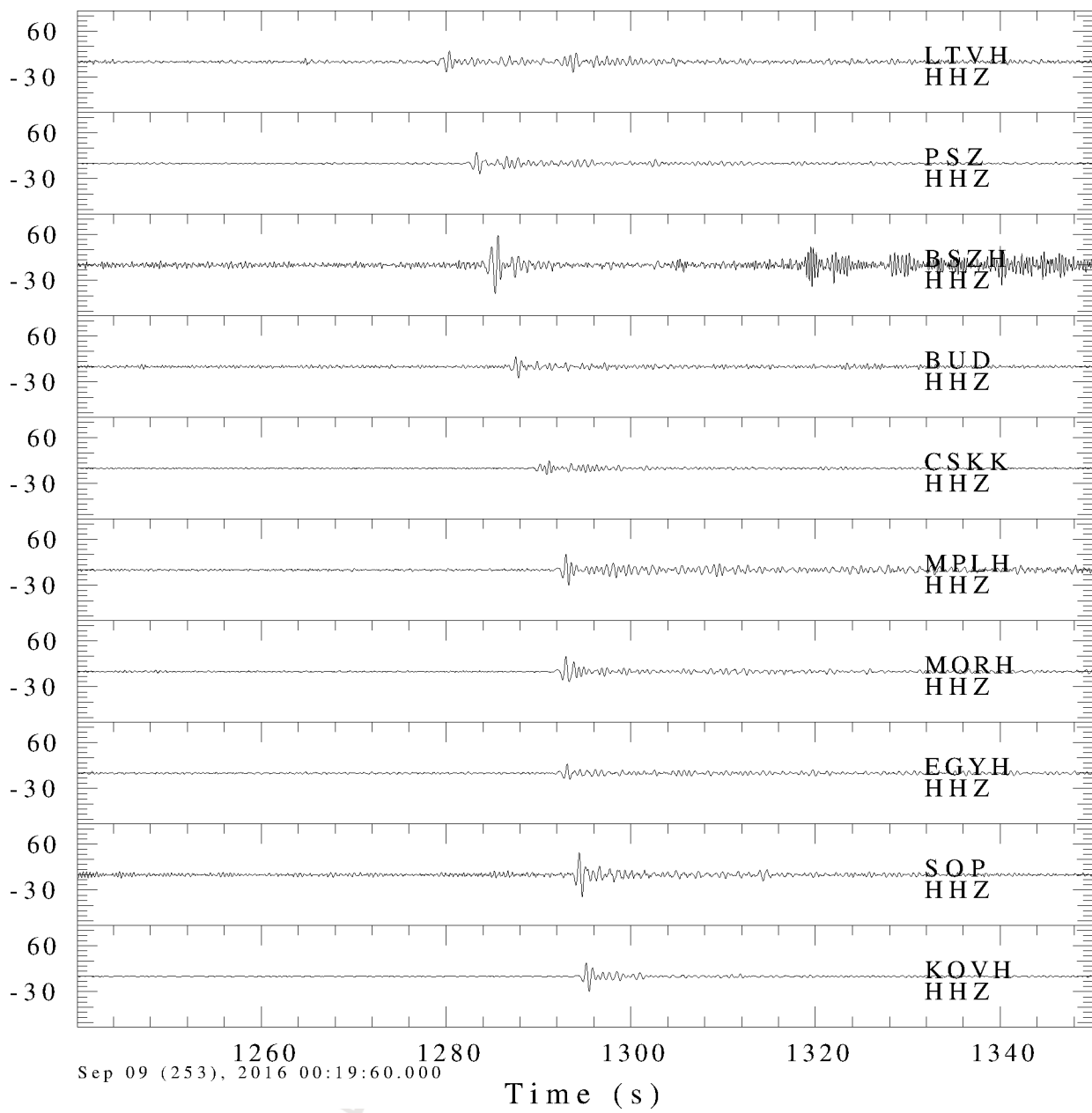
**Figure 5. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2009-05-25 00:54:45 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.**



**Figure 6. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2013-02-12 02:57:51 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.**



**Figure 7. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2016-01-06 01:30:01 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.**



**Figure 8. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2016-09-09 00:30:01 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.**

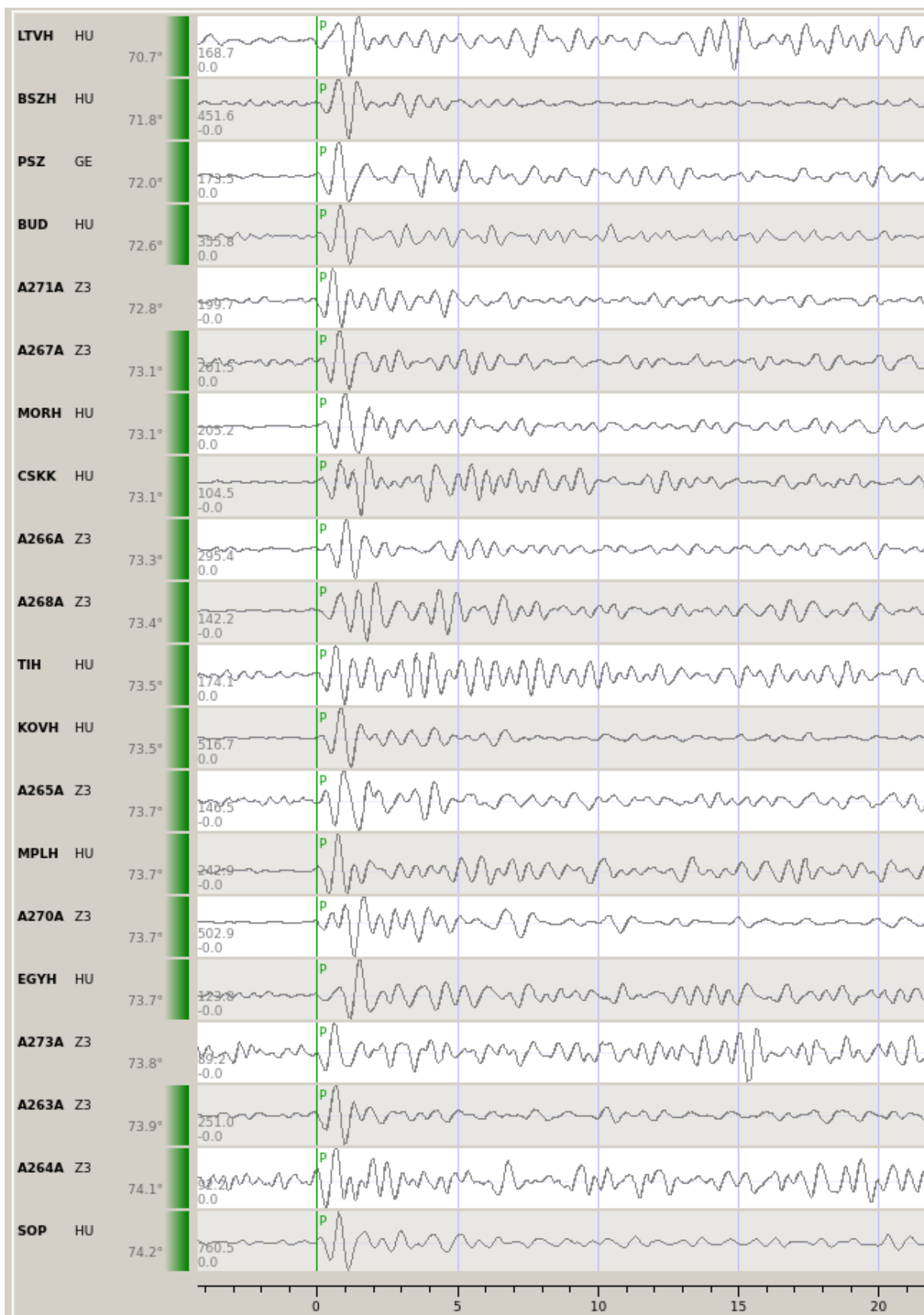


Figure 9. Waveforms of the 2016-09-09 00:30:01 underground nuclear explosion recorded at the permanent and temporary stations of the Hungarian National Seismological Network.

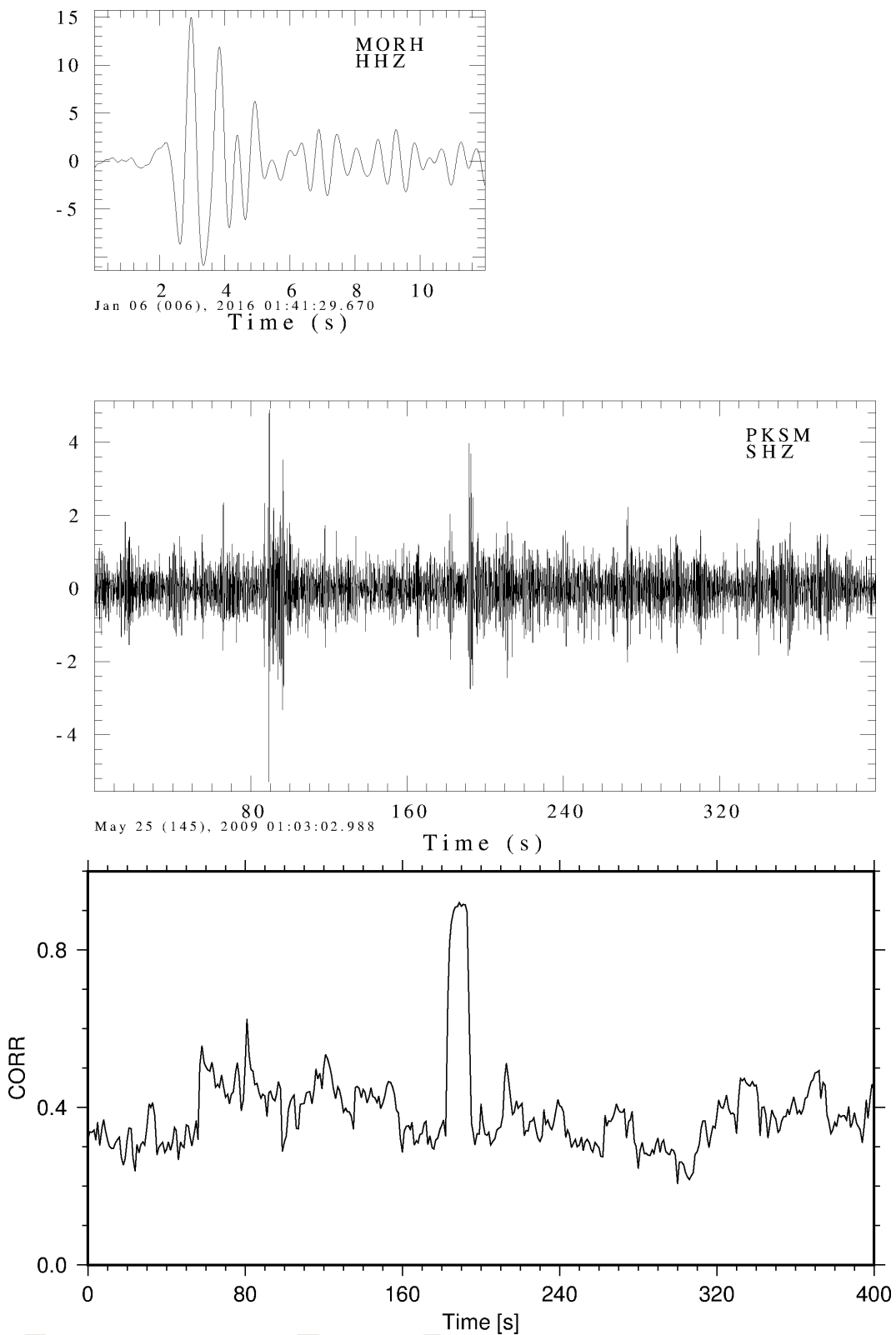


Figure 10. Correlation detection of the 2009-05-25 event using the 2016-01-06 event as template at Mórágý. The template window (top) is slid over the target (middle) window and the cross-correlation is calculated at each position (bottom). The peak in the correlation trace shows a clear detection of the template signal in the target waveform.

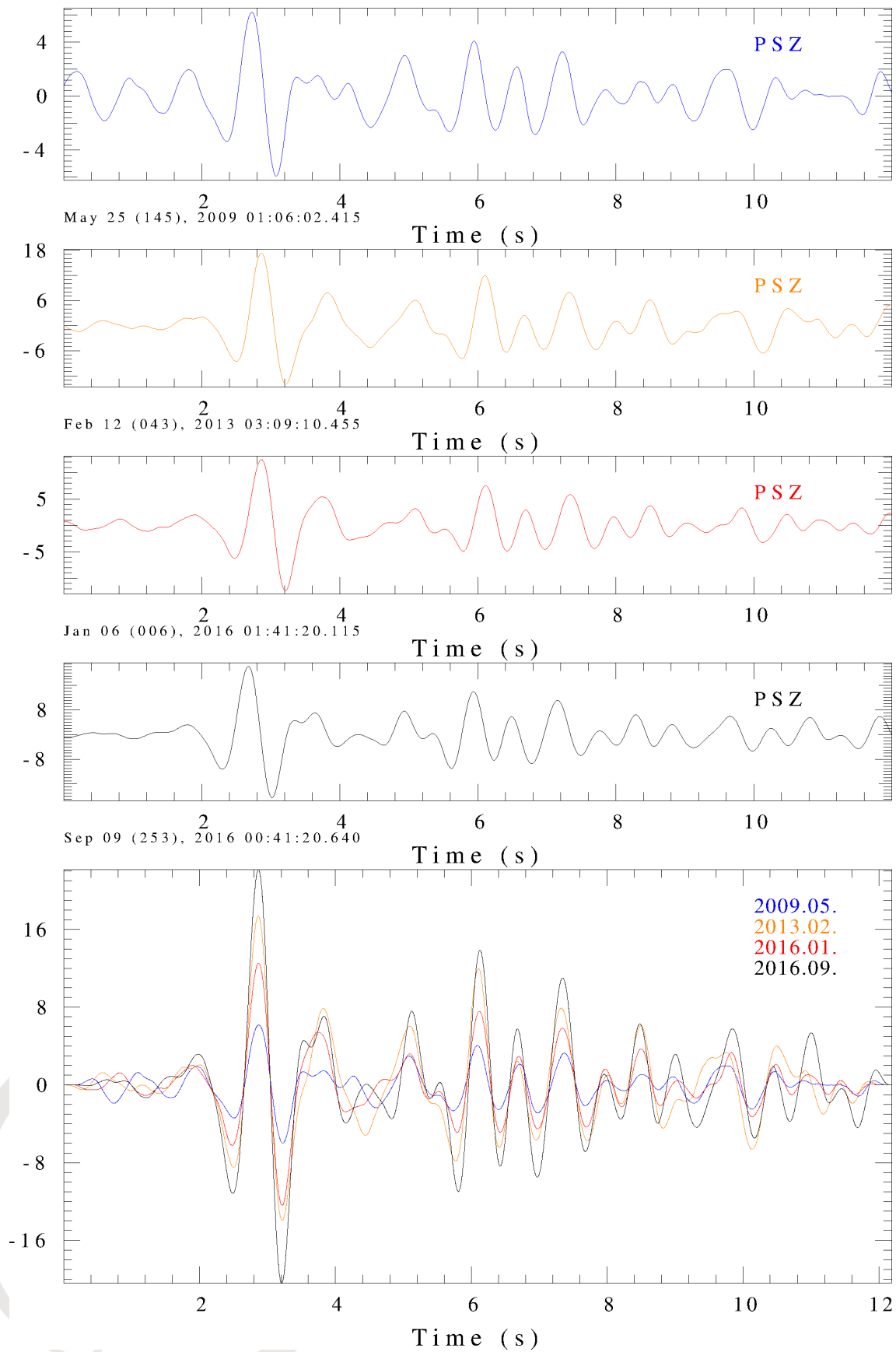


Figure 11. Signals from the 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 and 2016-09-09 events aligned on the first-arriving P phase at the station Piszkéstető.

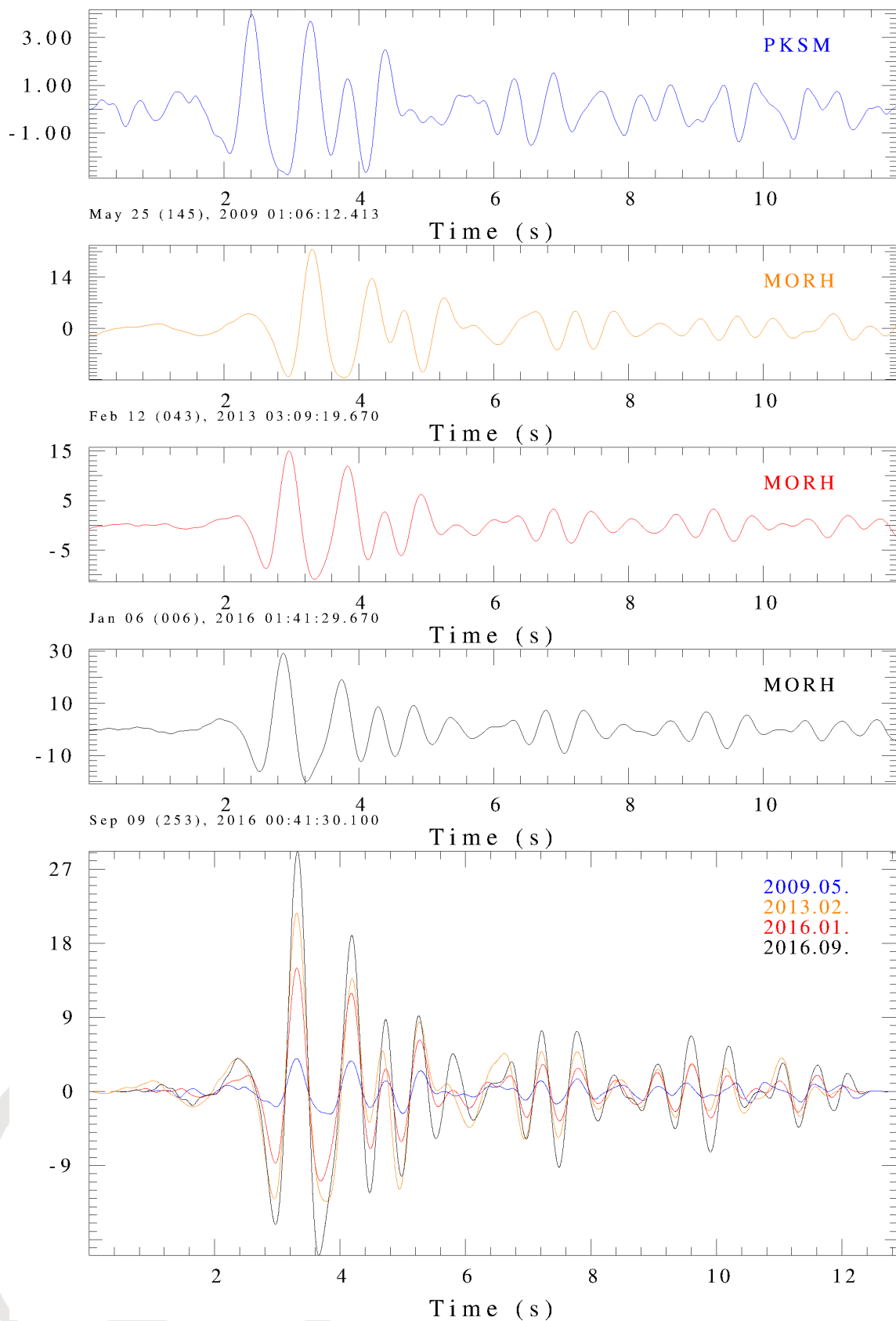


Figure 12. Signals from the 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 and 2016-09-09 6 events aligned on the first-arriving P phase at the station Mórág.



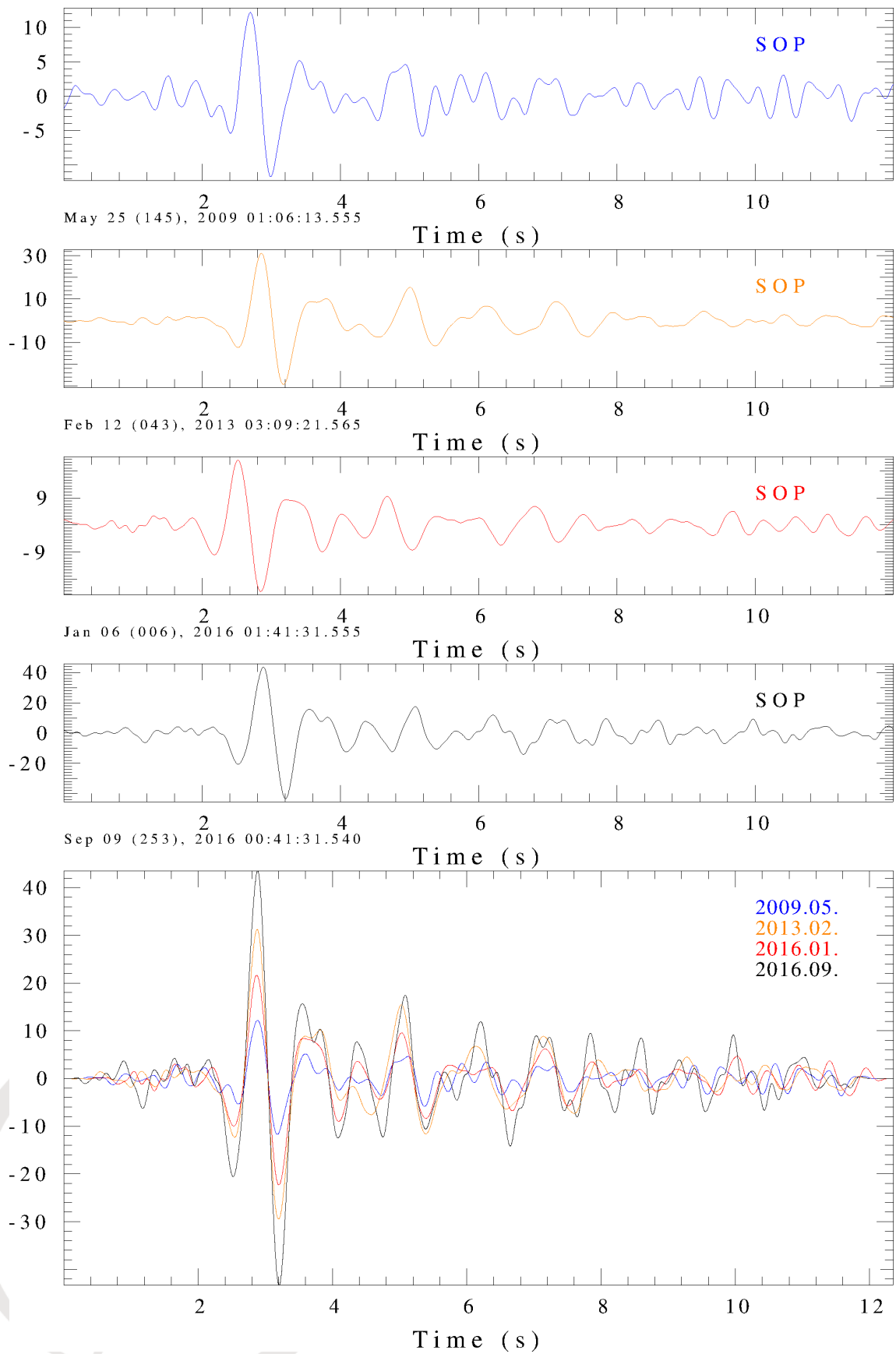


Figure 13. Signals from the 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 and 2016-09-09 events aligned on the first-arriving P phase at the station Sopron.