

The September 3, 2017 underground nuclear test carried out by North Korea

Észak-Korea 2017. szeptember 3-i földalatti atomrobbantása

István Bondár and Bálint Süle

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 2017/1

2017 September 6

North Korea has claimed to have successfully tested a nuclear bomb at its test site, Punggye-ri on 2017-09-03 03:30:00 UTC. Seismic records confirm that an underground nuclear explosion indeed took place. So far this was the largest nuclear test North Korea has carried out with a magnitude 6.3. Some 8.5 minutes after a smaller, magnitude 4.1 event occurred, which was most likely a tunnel collapse in the mountain. Satellite images indicate that the explosion caused landslides near Mt Mantap, the highest point at the test site.

Figure 1 shows the underground nuclear tests carried out by North Korea so far. These 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 ¹
2009-05-25 00:54:45	41.2925	129.0657	4.8	3.9	4 kT	IASPEI ¹
2013-02-12 02:57:51	41.3143	129.0933	5.1	4.0	7 kT	ISC ²
2016-01-06 01:30:01	41.308	129.049	5.1	4.0	5-8 kT	USGS ³
2017-09-03 03:03:01	41.343	129.036	6.3	5.9	~100 kT	USGS ⁴

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

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

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

⁴ US Geological Survey National Earthquake Information Center
<https://earthquake.usgs.gov/realtime/product/poster/20170903/us/1504650999857/poster.medium.jpg>

The seismological stations belonging to the Hungarian National Seismological Network (Fig. 2) have recorded not only the 2017-03-03 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 stations did not record the much smaller, ML=4.1 tunnel collapse 8.5 minutes after the explosion.

Figures 3-7 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 2017-03-03 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 Kövágóttös (KOVH) is at 73.5° (8,150 km) away from the Punggye-ri test site. Note that the signals from the 2006-10-09 are obscured by the background noise at the Hungarian stations.

Assuming that the source mechanisms of the four 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 8. The signal recorded at Mórág (MORH; PKSM until 2012) from the 2016-01-06 event (top) is slid 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. Figure 9 shows the waveform cross-correlation between the 2016-01-06 (top) and the 2006-10-09 events (middle) at Mórágý. In this case the correlation trace (bottom) shows no indication of the presence of the template signal in the target window. We conclude that the 2006-10-09 test did not produce large enough signals to be detected at the Hungarian National Seismological Network.

Figures 10-12 show the signals from the 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 and the 2017-09-03 underground nuclear explosions recorded at Piskéstető, Mórágý 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 three 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 hivatalosan bejelentette, hogy sikeres atomrobbantást hajtott végre 2017-09-03 03:30:01 UTC szerint a Punggye-ri kísérleti telepen. A szeizmikus felvételek igazolják, hogy valóban történt egy földalatti atomrobbantás. Eddig ez volt Észak-Korea legnagyobb erejű kísérleti atomrobbantása, a Richter skála szerinti 6.3-as magnitúdóval. Mintegy 8.5 perccel később egy kisebb, 4.1 magnitúdójú eseményt is regisztráltak, amit nagy valószínűséggel a hegy gyomrába fúrt alagút beomlása okozott. A legújabb úrfelvételek azt mutatják, hogy a robbantás földcsuszamlásokat is okozott Mt Mantap, a kísérleti telep legmagasabb pontja környékén.

Az 1. ábra az Észak-Korea által végrehajtott földalatti atomrobbantások helyét mutatja, amelyeket az alábbi táblázatban sorolunk 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 ¹
2009-05-25 00:54:45	41.2925	129.0657	4.8	3.9	4 kT	IASPEI ¹
2013-02-12 02:57:51	41.3143	129.0933	5.1	4.0	7 kT	ISC ²
2016-01-06 01:30:01	41.308	129.049	5.1	4.0	5-8 kT	USGS ³
2017-09-03 03:03:01	41.343	129.036	6.3	5.9	~100 kT	USGS ⁴

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

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

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

⁴ US Geological Survey National Earthquake Information Center
<https://earthquake.usgs.gov/realtime/product/poster/20170903/us/1504650999857/poster.medium.jpg>

A Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat állomásai (2. ábra) nemcsak a 2017-09-03 földalatti atomrobbantást, hanem Észak-Korea többi nukleáris tesztjét, 2006-10-09, 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 is regisztrálták. A magyar állomások nem regisztrálták a jóval kisebb, ML=4.1 magnitúdójú alagút beomlást 8.5 perccel a robbantás után.

A 3-7. ábrák a 2006-10-09, 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 és a 2017-09-03 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 Kővágótöttös (KOVH) 73.5° (8,150 km) távolságra van a Punggye-ri kísérleti teleptől. A legkisebb teszt, 2006-10-09 által keltett jeleket elnyomja a háttérzaj.

Feltételezhetjük, hogy a négy 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 8. ábra szemlélteti. A 2016-01-06 robbantás Mórágynon (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 9. ábra a 2016-01-06 esemény (felső ábra) és a 2006-10-09 robbantás (középső ábra) regisztrátumait mutatja Mórágyon. Ebben az esetben a korrelációs csatorna (alsó ábra) nem utal a kisebb esemény jelének jelenlétére a zajos felvételen, emiatt arra következtetünk, hogy a 2006-10-09 nukleáris teszt nem produkált elég nagy jelet ahhoz, hogy detektálni lehessen a Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat állomásain.

A 10-12. ábrák a 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 és a 2017-09-03 földalatti atomrobbantások Pizskés-tetőn, Mórágyon 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 három 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.



M6.3 North Korea Explosion of 03 September 2017

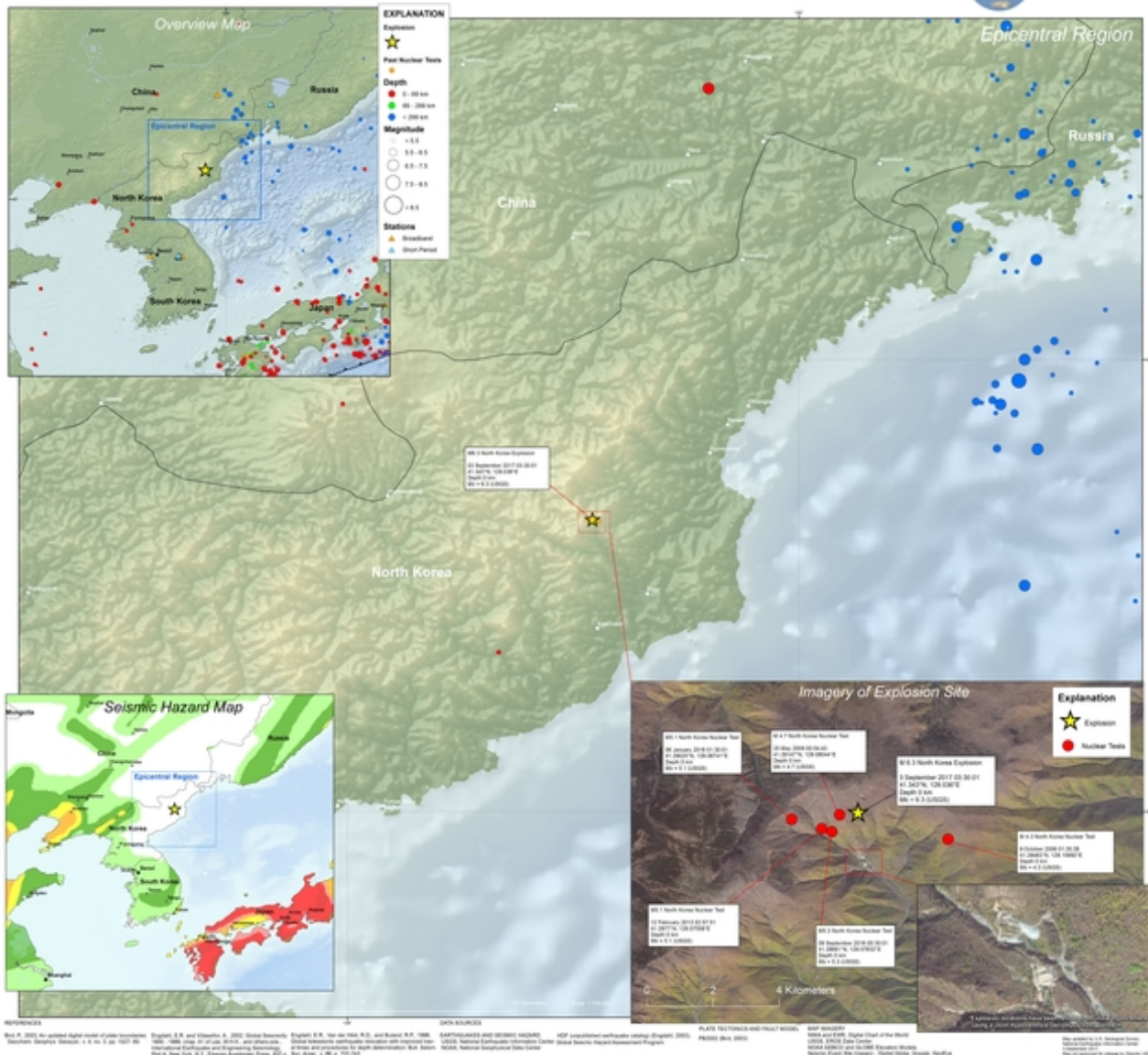


Figure 1. The USGS NEIC event summary poster shows the locations of the underground nuclear tests carried out by North Korea. (<https://earthquake.usgs.gov/realtime/product/poster/20170903/us/1504650999857/poster.jpg>)

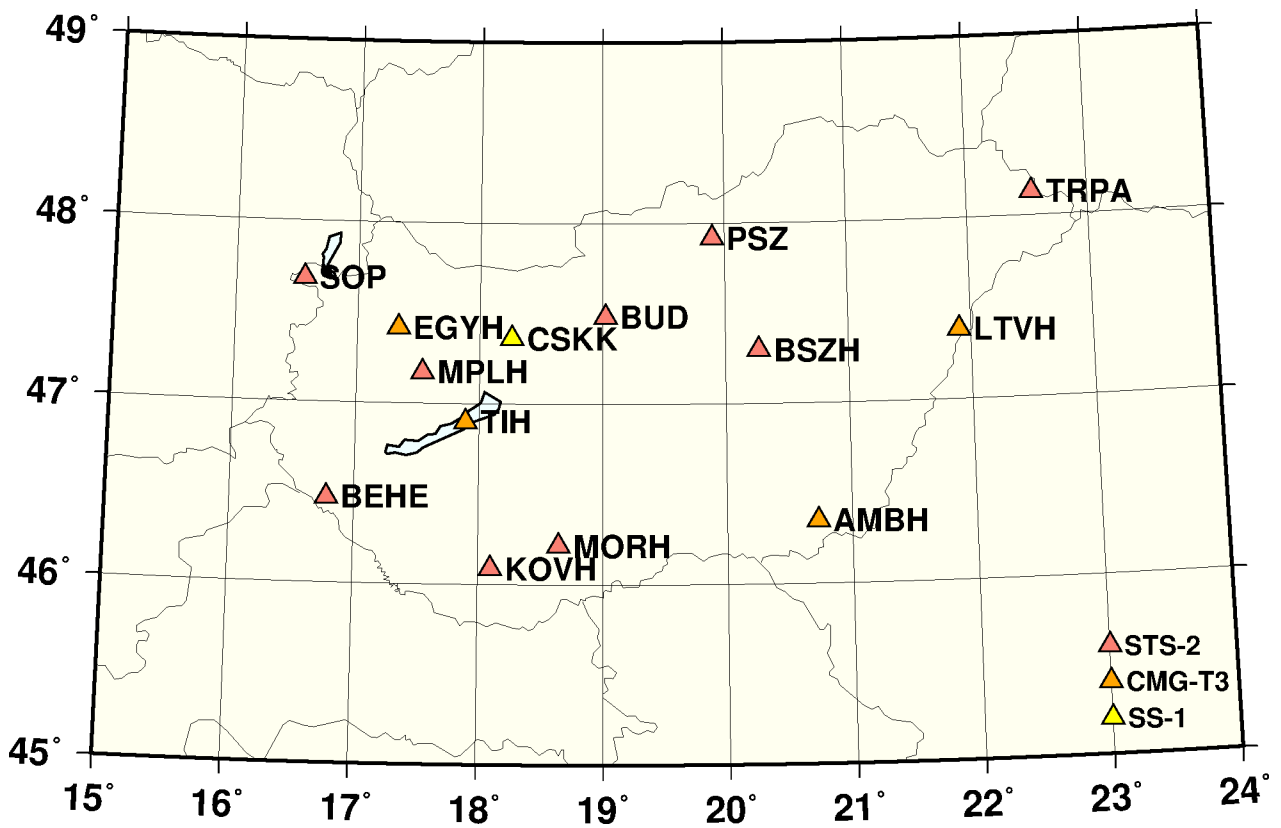


Figure 2. The permanent stations of the Hungarian National Seismological Network.



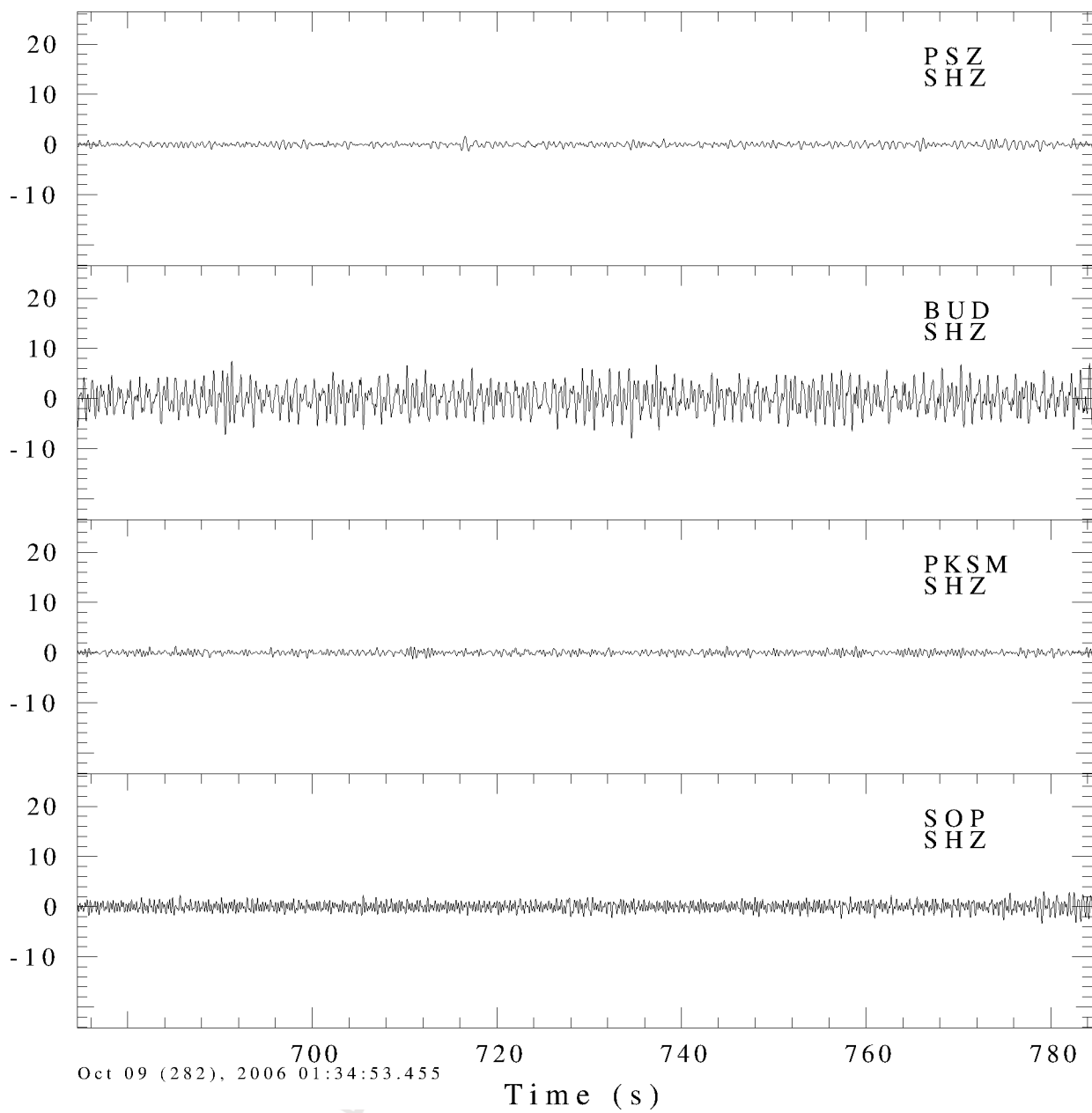


Figure 3. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2006-10-09 01:35:27 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.

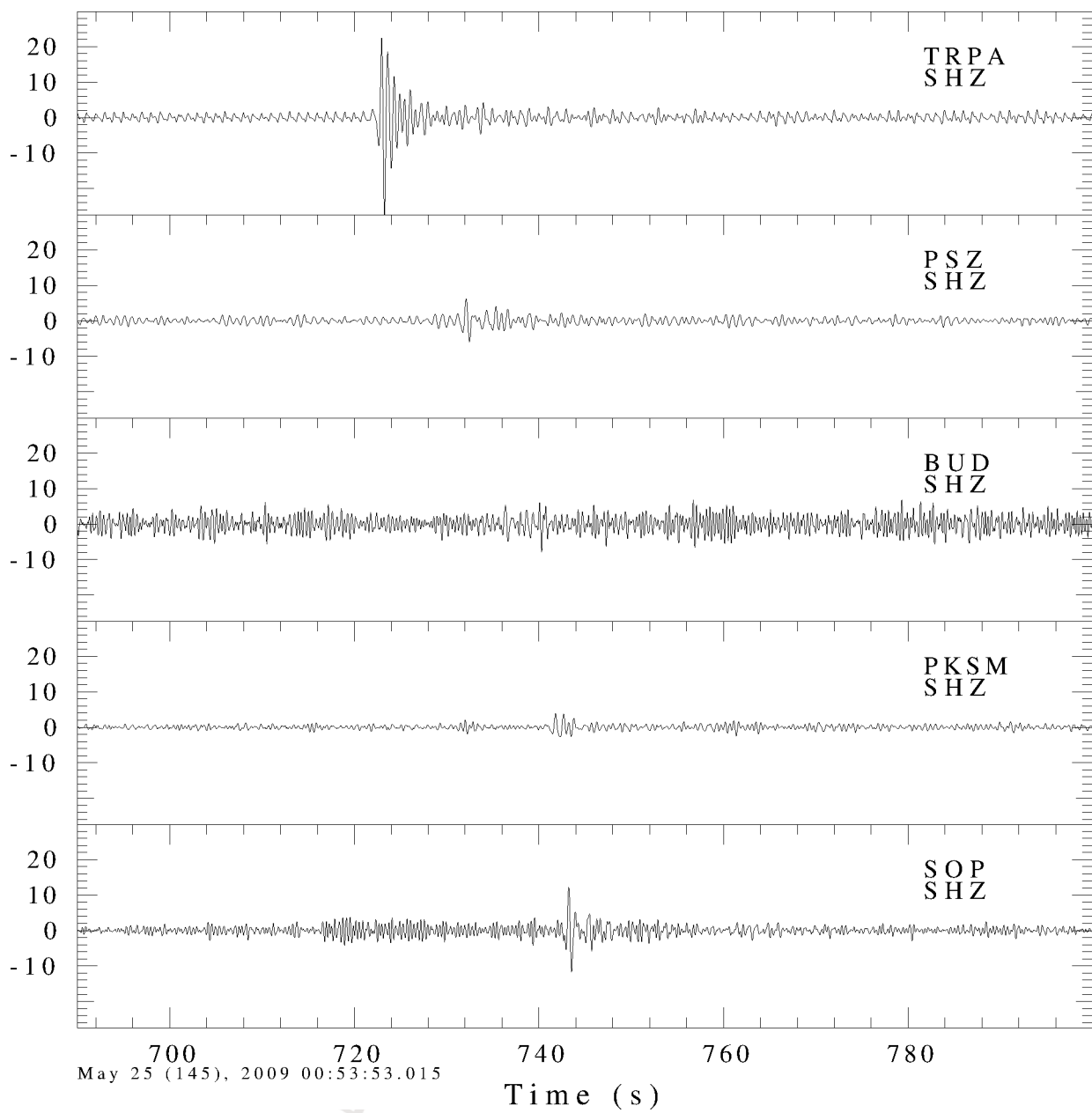


Figure 4. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2009-05-25 00:54:45 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.

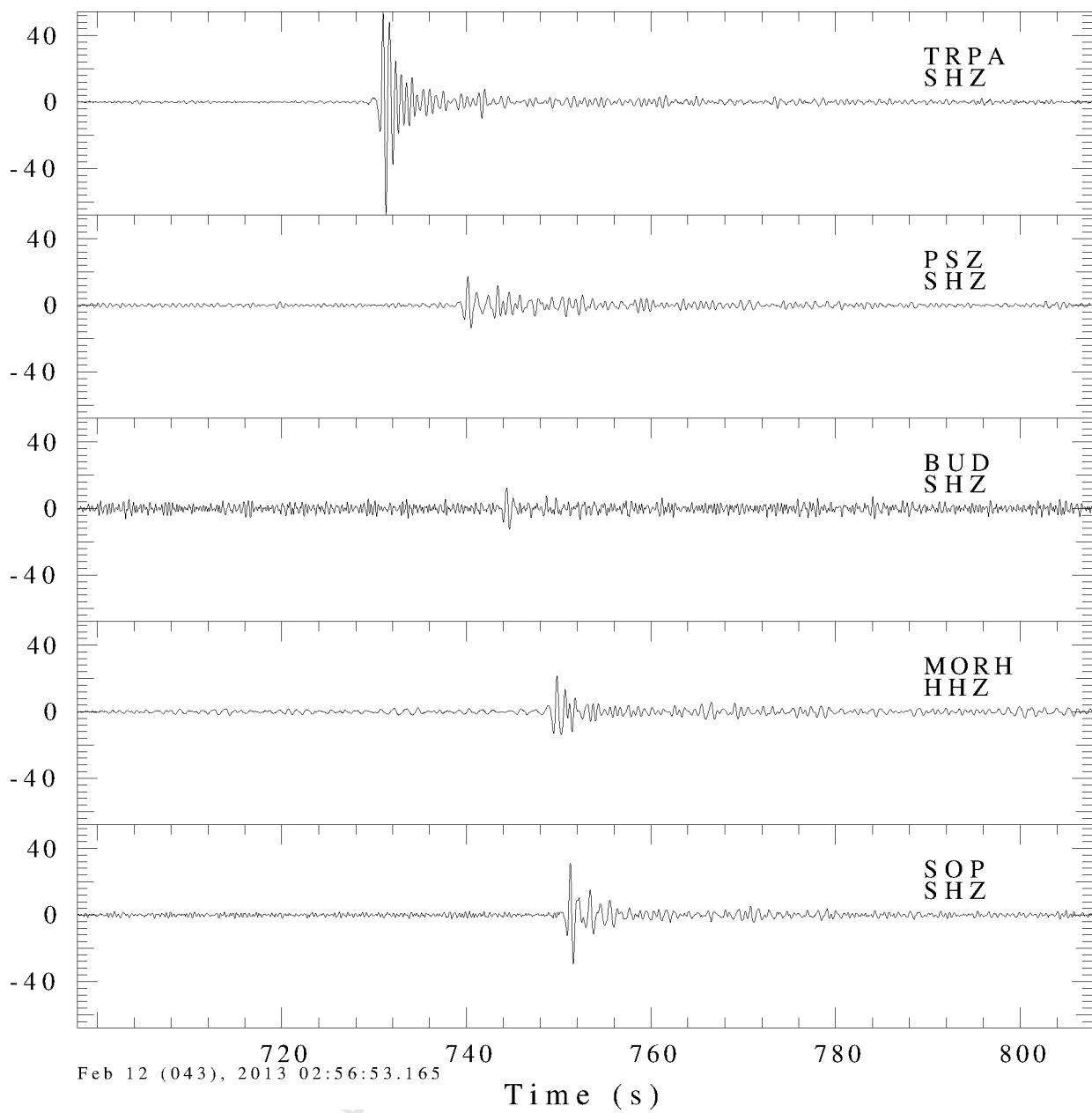


Figure 5. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2013-02-12 02:57:51 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.

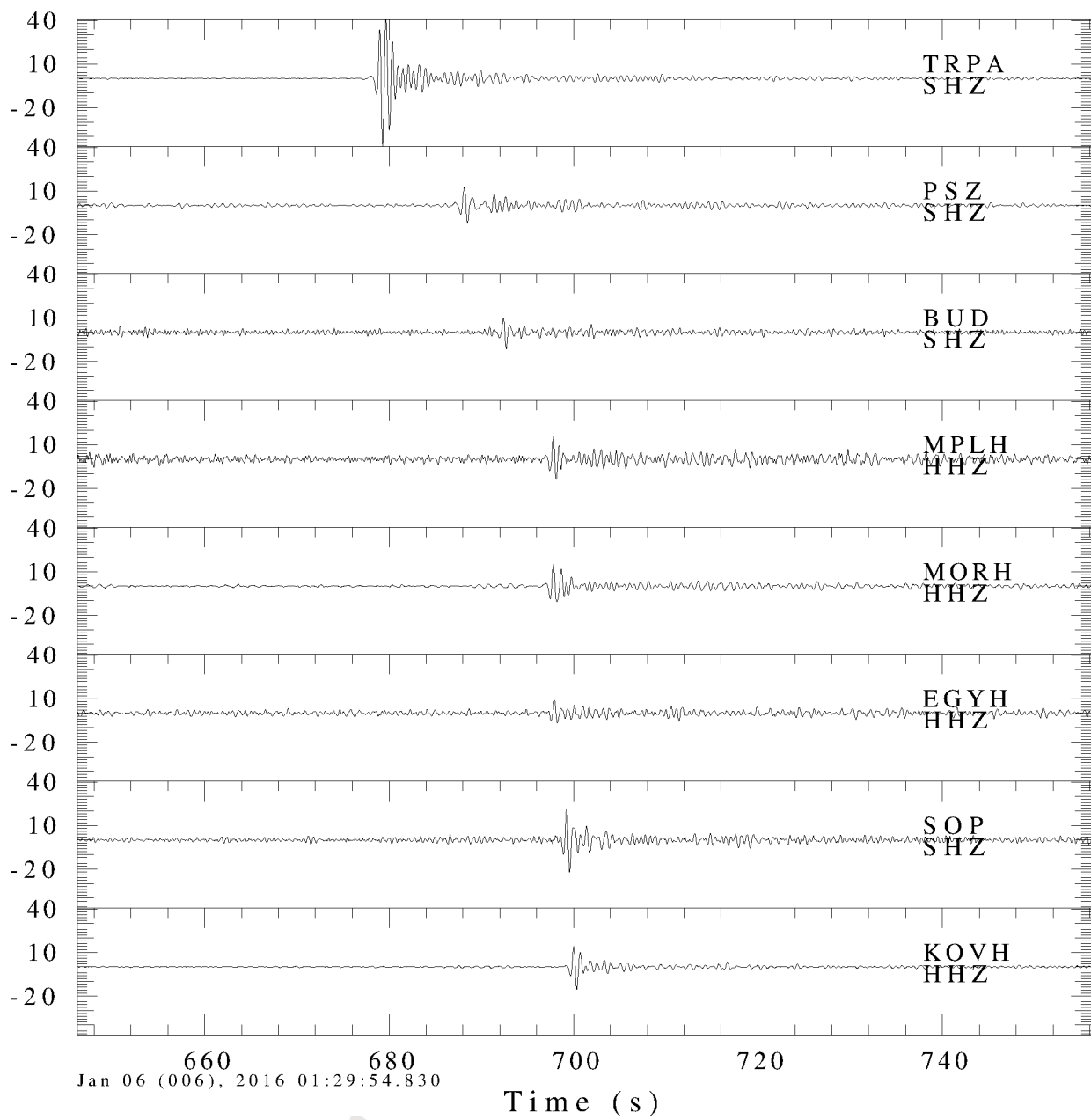


Figure 6. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2016-01-06 01:30:01 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.

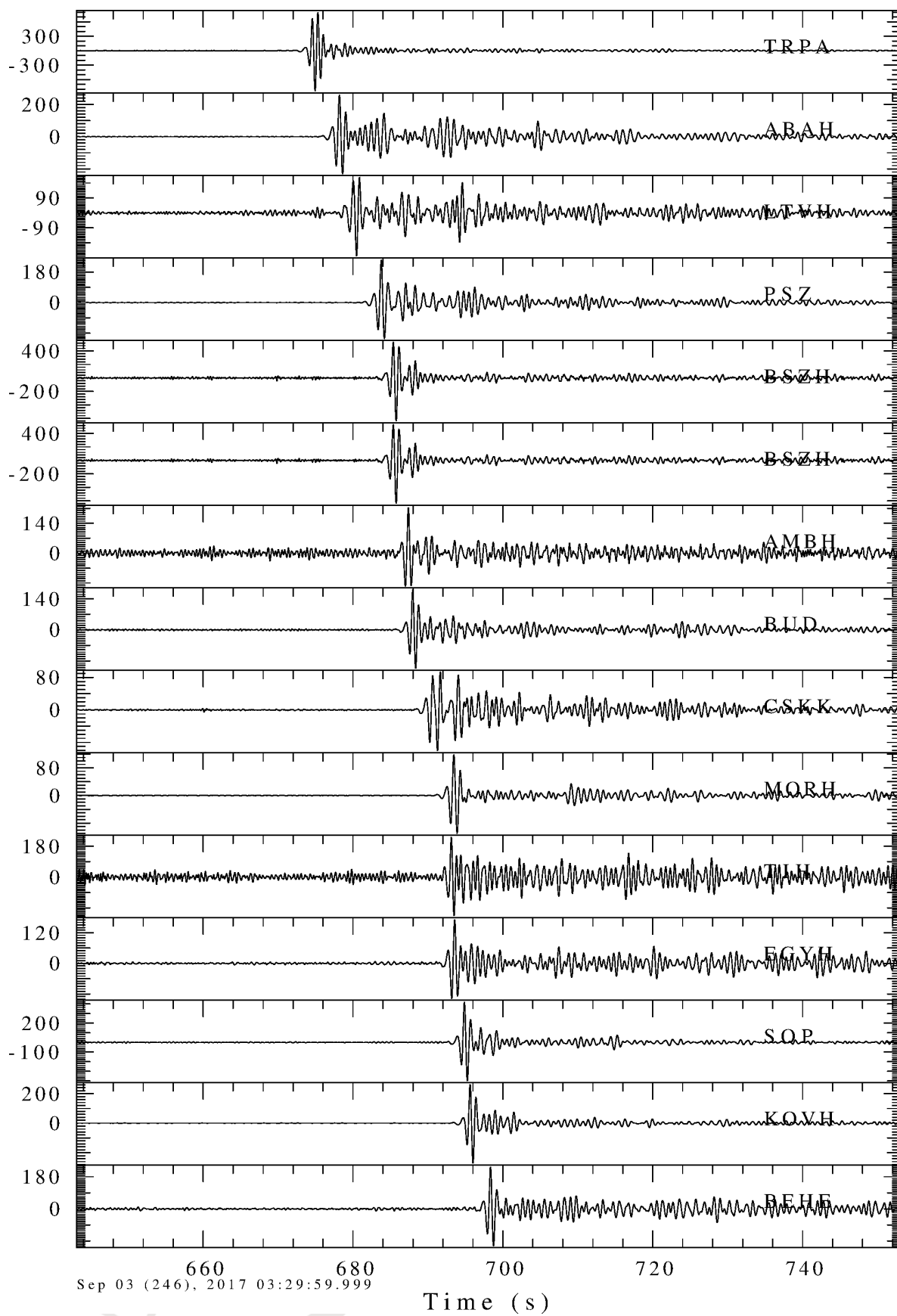


Figure 7. Waveforms in the time window of the expected arrivals from the 2017-03-03 03:30:01 underground nuclear explosion recorded at the stations of the Hungarian National Seismological Network.

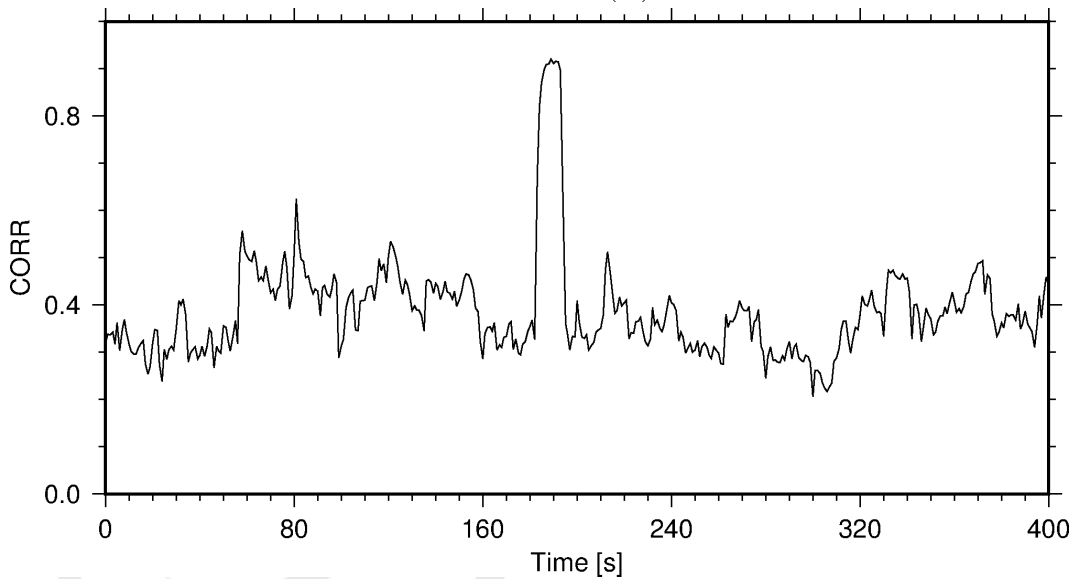
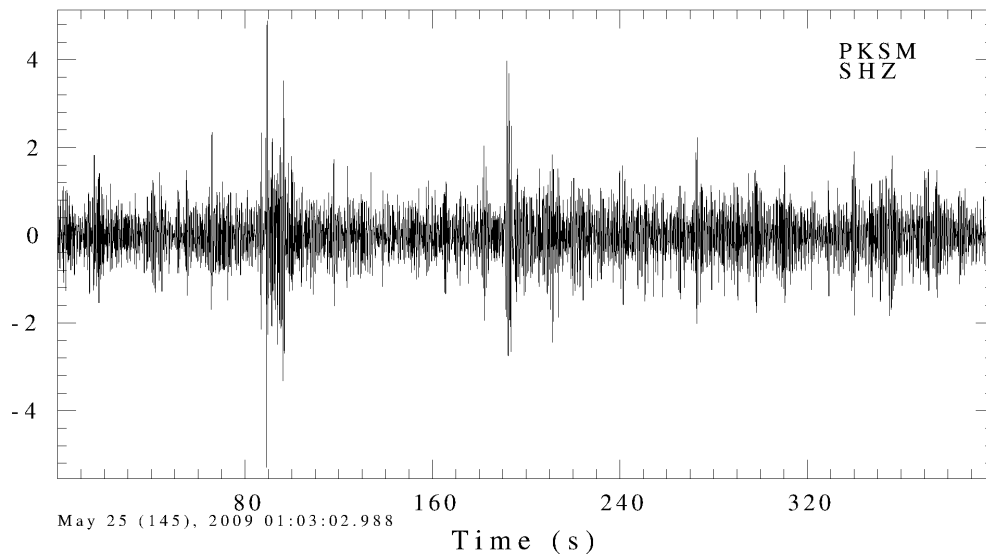
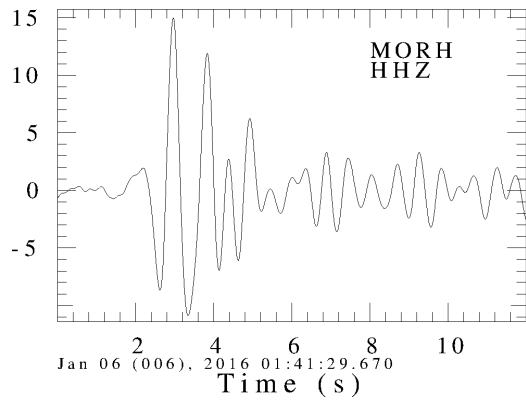


Figure 8. Correlation detection of the 2009-05-25 event using the 2016-01-06 event as template at Mórágý. The template window (top) is slid over the target (middle) window and the cross-correlation is calculated at each position (bottom). The peak in the correlation trace shows a clear detection of the template signal in the target waveform.

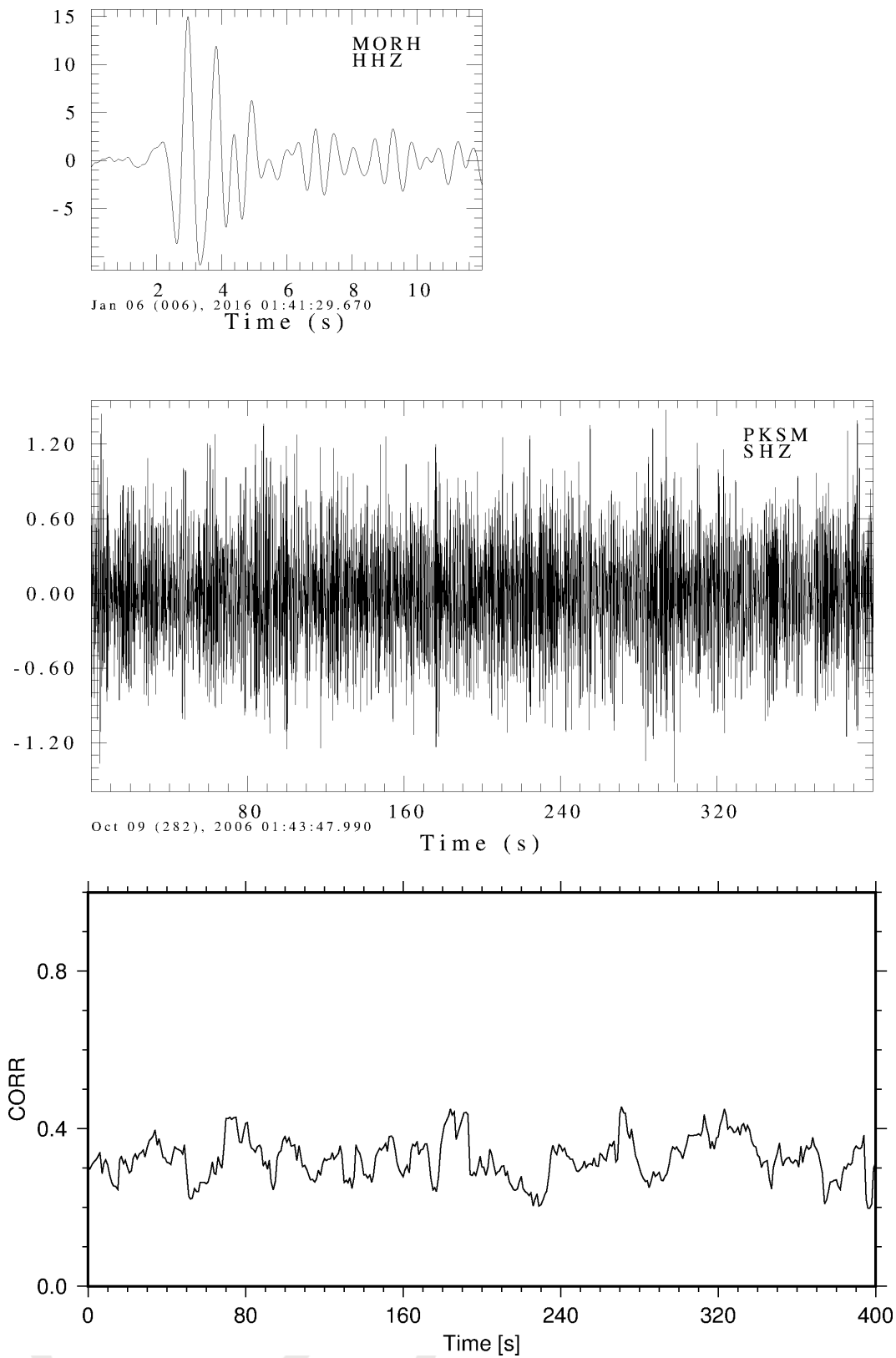


Figure 9. Correlation detection of the 2006-10-09 event using the 2016-01-06 event as template at Mórágý. The template window (top) is slid over the target (middle) window and the cross-correlation is calculated at each position (bottom). The correlation trace shows no indication of presence of the template signal in the target waveform.

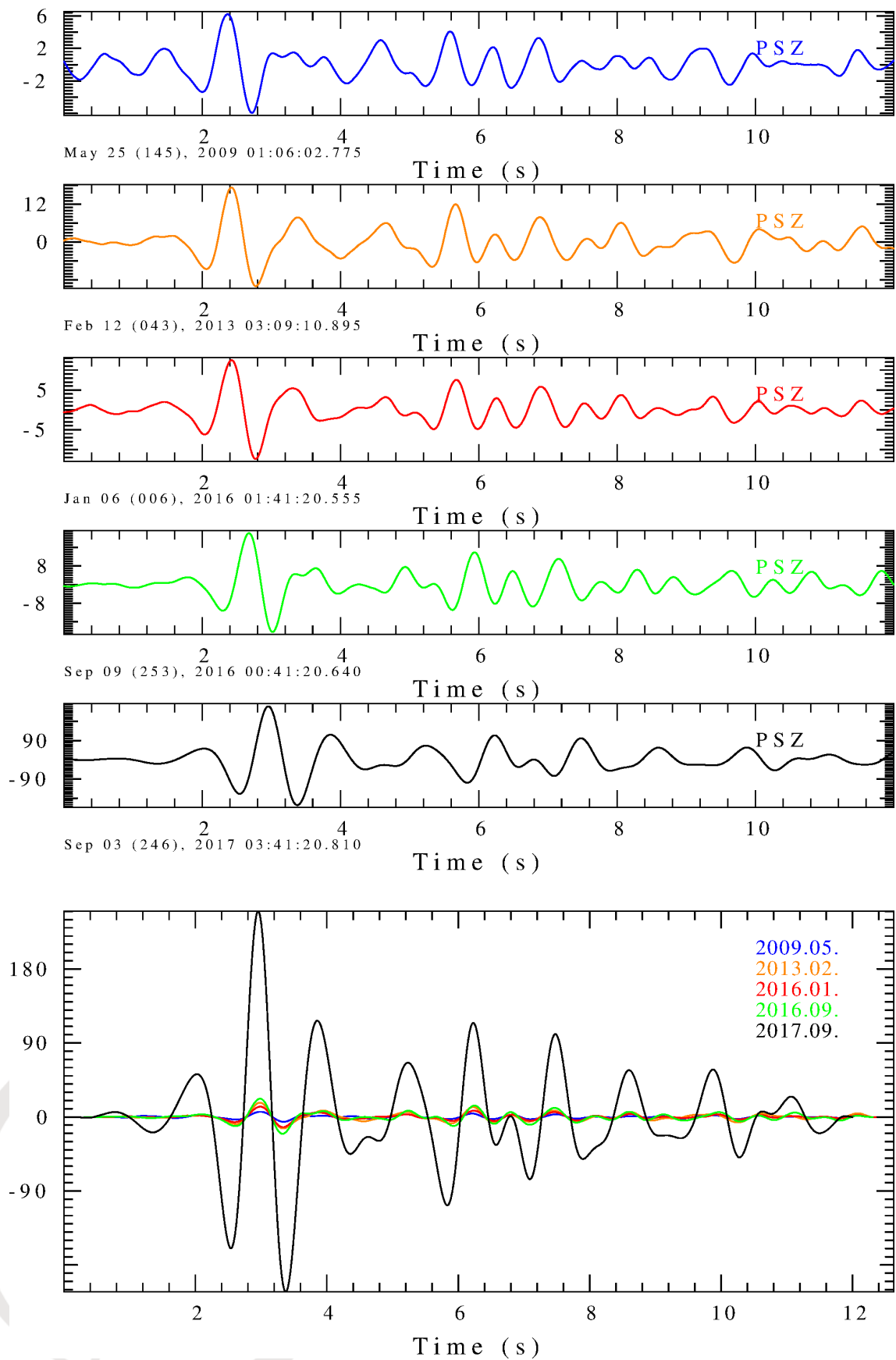


Figure 10. Signals from the 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 and 2017-09-03 events aligned on the first-arriving P phase at the station Piszkés-tető.

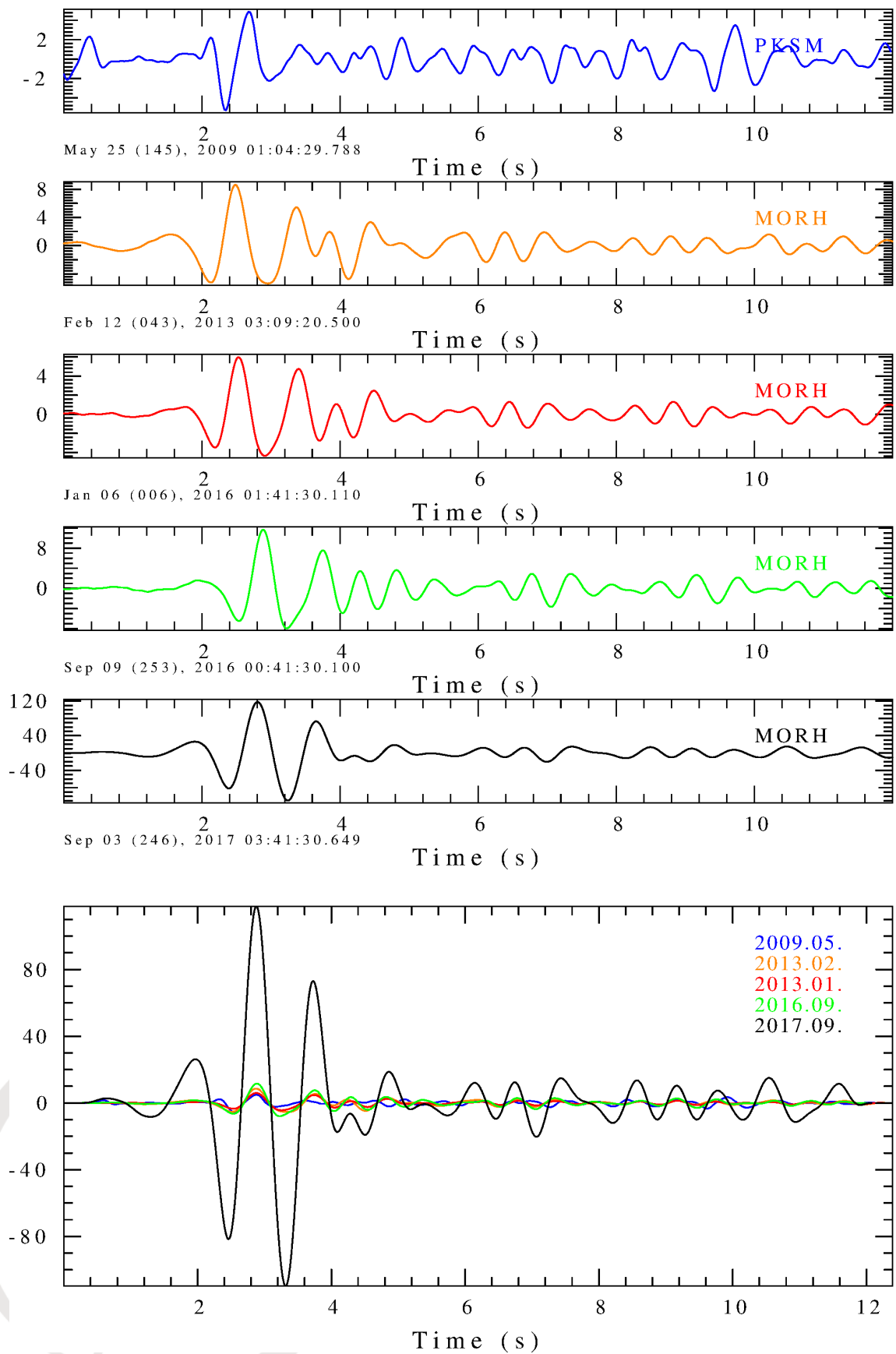


Figure 11. Signals from the 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 and 2017-03-03 events aligned on the first-arriving P phase at the station Mórág.

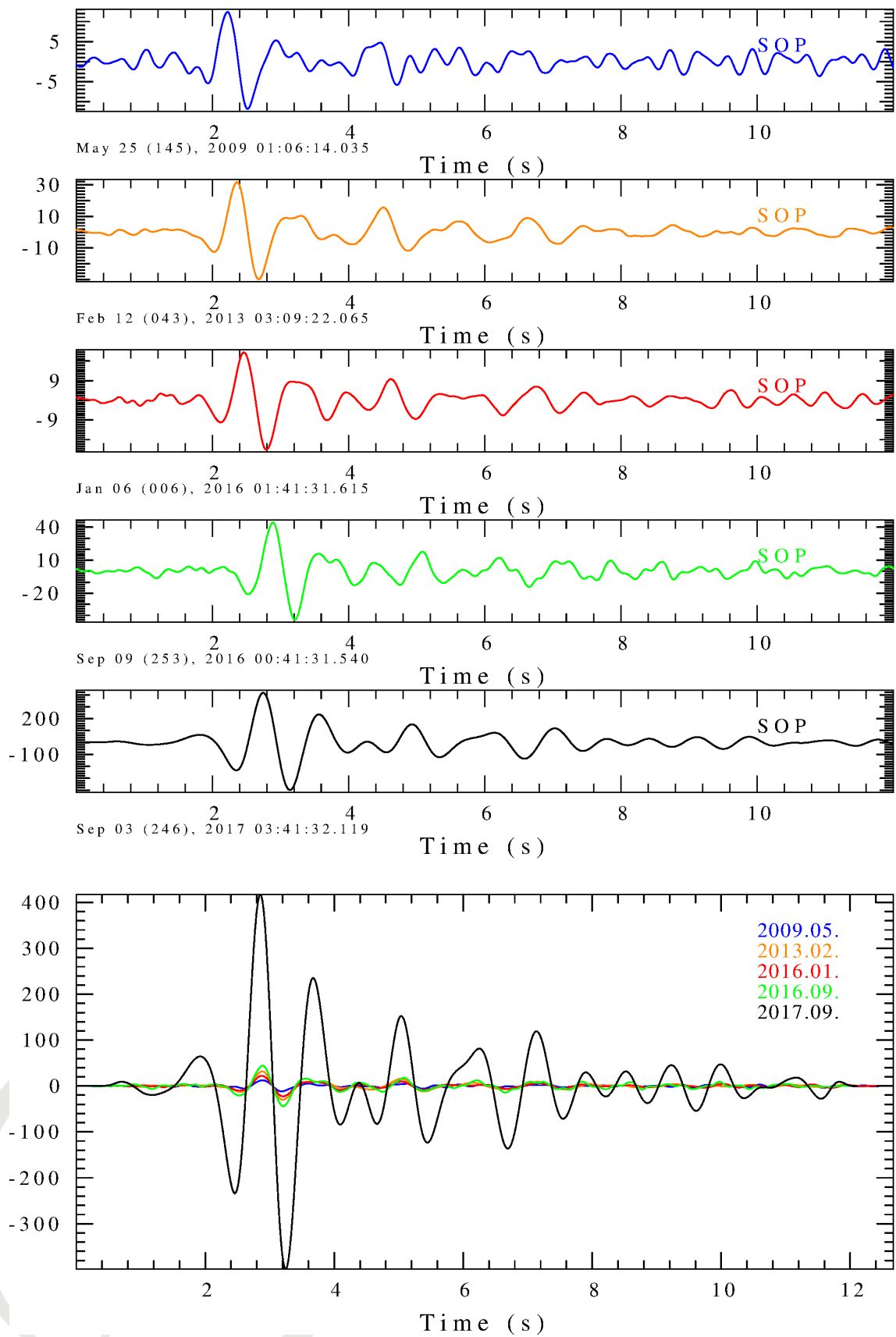


Figure 12. Signals from the 2009-05-25, 2013-02-12, 2016-01-06 and 2017-09-03 events aligned on the first-arriving P phase at the station Sopron.