

Uticaj uslova umrežavanja na svojstva livenog termobaričnog PBX eksploziva

The effect of curing conditions on properties of cast thermobaric PBX explosive

Danica BAJIĆ, Ivan DIMITRIJEVIĆ, Bojana FIDANOVSKI, Jelena RUSMIROVIĆ, Slavko MIJATOV, Tihomir KOVAČEVIĆ,
Military Technical Institute, Belgrade

Maja MILIĆ

TRAYAL CORPORATION - Factory of explosives and pyrotechnics, Kruševac

PBX eksplozivi

- PBX eksplozivi su široko primenjivani zahvaljujući nižoj osetljivosti u poređenju sa konvencionalnim TNT eksplozivima, termo-mehaničkoj otpornosti i većoj bezbednosti pri procesiranju, rukovanju i skladištenju.
- Mogu se proizvoditi različitim tehnologijama u zavisnosti od sastava i primene: granulisani/presovani, liveni, plastični, ekstrudovani PBX eksplozivi.
- Pri izradi livenih PBX eksploziva, termobarična smeša sadrži oktogen (HMX), amonijum-perhlorat (AP), i polimerno vezivo na bazi hidroksiterminiranog polibutadiena i izoforon diizocijanata (HTPB/IPDI).
- Odabir tehnologije izrade i procesni parametri mogu uticati na svojstva krajnjeg proizvoda: pot-life prilikom izrade (promena viskoziteta nakon homogenizacije), gustina umreženog eksploziva, mehaničke karakteristike, ali i na detonacione parametre.

Izrada livenih PBX eksploziva se sastoji iz sledećih faza:

- Priprema ulaznih sirovina,
- Homogenizacija komponenti na planetarnom mešaču,
- Livenje pastozne eksplozivne smeše u košuljice mina i kalupove za izradu uziraka za ispitivanja
- Umrežavanje na relevantnoj temperaturi u određenom vremenu da bi reakcija polimerizacije vezivne komponente bila završena pri čemu se dobija čvrst, umrežen eksploziv.



- Tokom serijske proizvodnje, a sa ciljem da se održi ponovljiv kvalitet PBX eksploziva i neophodno je održavati procesne parametre kao što su temperatura i vreme umrežavanja konstantnim.
- Održavanje konstantnih procesnih parametara u industrijskih proizvodnji nije uvek apsolutno izvodljivo usled neočekivanih promena/otkaza na procesnoj opremi, problema sa stabilnošću sistema za napajanje, vakuumskih instalacija i dr.
- Cilj ovog istraživanja se odnosi na određivanje uticaja procesnih parametara na kvalitet i performanse livenih PBX eksplozivnih punjenja u cilju prilagodjavanja proizvodnje različitim uslovima uz istovremenu uštedu vremena i povećanje proizvodnih kapaciteta.

Eksperimentalni deo

Priprema PBX eksploziva

Uzorci termobaričnog PBX eksploziva su dobijeni šaržnim postupkom, na vertikalnom mešaču/homogenizatoru na 60°C pod vakuumom, korišćenjem sledećih sirovina:

- HMX klase 1 (*Prva Iskra Namenska, Barič*),
- AP (nabavljen od *Trayal d.o.o Kruševac*),
- Prah aluminijuma (*Alcan Toyo, Japan*),
- Prah magnezijuma (nabavljen od *Catena NET*),
- i polimerno vezivo na bazi HTPB i umreživača IPDI.



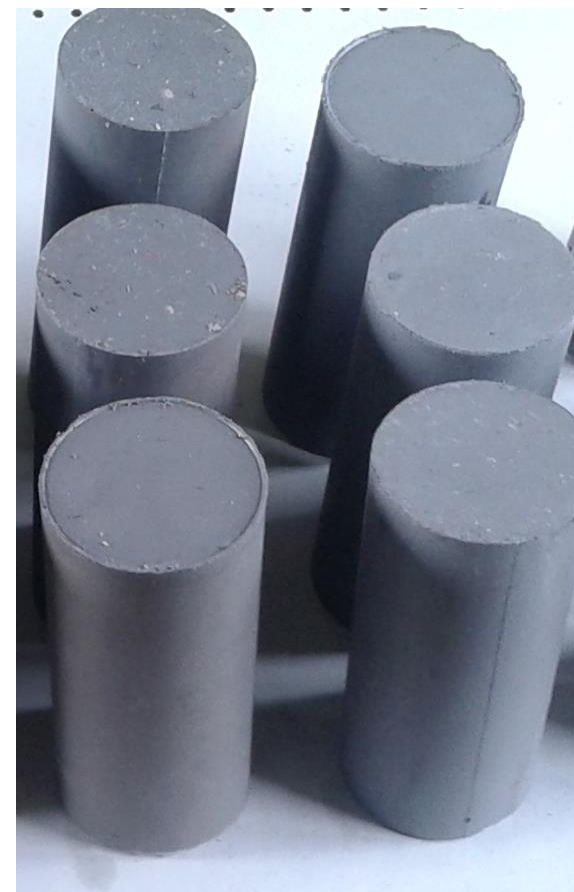
Vertikalni mešač radne zapremine 4.5 kg

Dve grupe uzoraka su pripremljene iz iste šarže koje su potom umrežavane u različitim toplotnim komorama na 70°C tokom 5 dana

(A) grupa uzoraka umrežavana konstantno tokom 5 dana

(B) Grupa uzoraka umrežavana tokom 5 dana režimom 12h umrežavanje/12h postepeno hladjenje gašenjem komore

Nakon 5 dana umrežavanja uzorci su ispitivani primenom različitih testova sa ciljem da se uporede performanse dobijenih PBX eksploziva.



Uzorci za određivanje brzine detonacije

Karakterizacija neumreženog PBX eksploziva

- Definisanje pot-life-a neumreženog eksploziva tokom procesiranja/livenja izvršeno je određivanjem promene viskoziteta sa vremenom na određenoj temperaturi
- Viskozitet je određivan na Brookfield rotacionom viskozimetru RVT, primenom T-C spindle koja rotira brzinom 5 o/m, na 60°C. Merenje viskoziteta je obavljeno 7 puta, na svakih 15 min nakon završetka homogenizacije.
- Viskoznost raste tokom vremena što dokazuje rekaciju polimerizacije HTPB/IPDI



Karakterizacija umreženog PBX eksploziva

- Nakon umrežavanja, brzina detonacije je određena meračem Pendulum CNT 91[5] na uzorcima dijametra 50 mm.
- Gustina je određena na Mohr-ovoj vagi, prema standardu MIL 286 C, u izopropanolu, na 25 °C.
- FTIR spektrofotometar Thermo Nicolet iS10, sa ATR dodatkom je korišćen da bi se pratila kinetika umrežavanja PBX eksploziva. Snimani su FTIR spektri uoraka iz svake grupe (A i B) tokom 5 dana umrežavanja koji su vađeni iz komore za umrežavanje svakog dana u isto vreme.

Mehaničke karakteristike umreženih uzoraka su određene primenom testa jednoosnog istezanja na univerzalnoj kidalici marke INSTRON 1122 na standardnim epruvetama tipa JANNAF

Brzina kretanja klema bila je 50 mm/min a testovi su radjeni na 20°C.

Svi uzorci su se pokidali na odgovarajućem/propisanom mestu, na vratu epruvete što ukazuje da se svi rezultati mogu uzimati u obzir prilikom obrade



Uzorci PBX eksploziva za određivanje mehaničkih karakteristika

Rezultati i diskusija

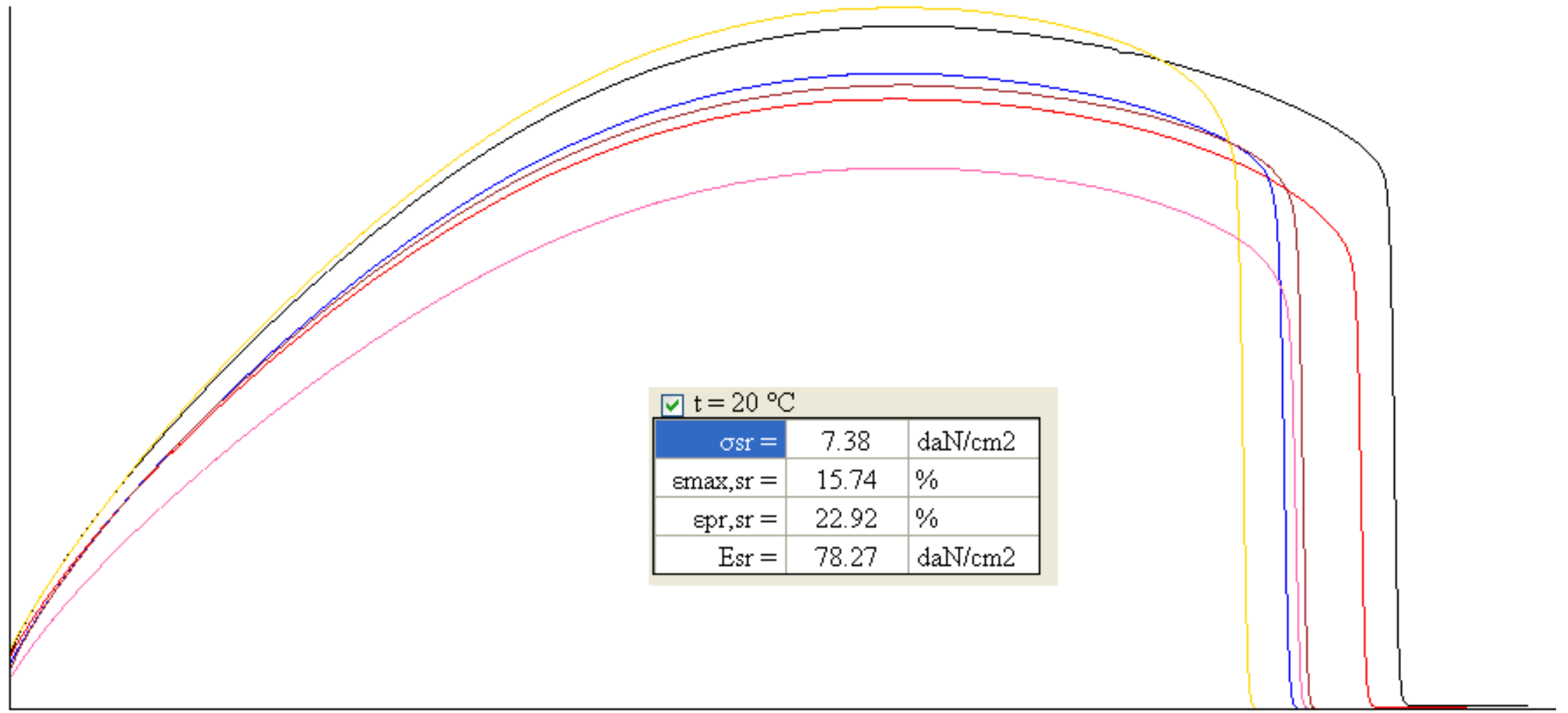
Određene vrednosti viskoziteta sa vremenom

Vreme [min]	15	30	45	60	75	90	105
Viskoznost [Pas]	144000	152000	155200	160000	163200	168000	169600

Vrednosti gustine i brzine detonacije

Sample	A	B
Gustina [g/cm^3]	1.665	1.652
Brzina detonacije [m/s]	7684.2	7679.8

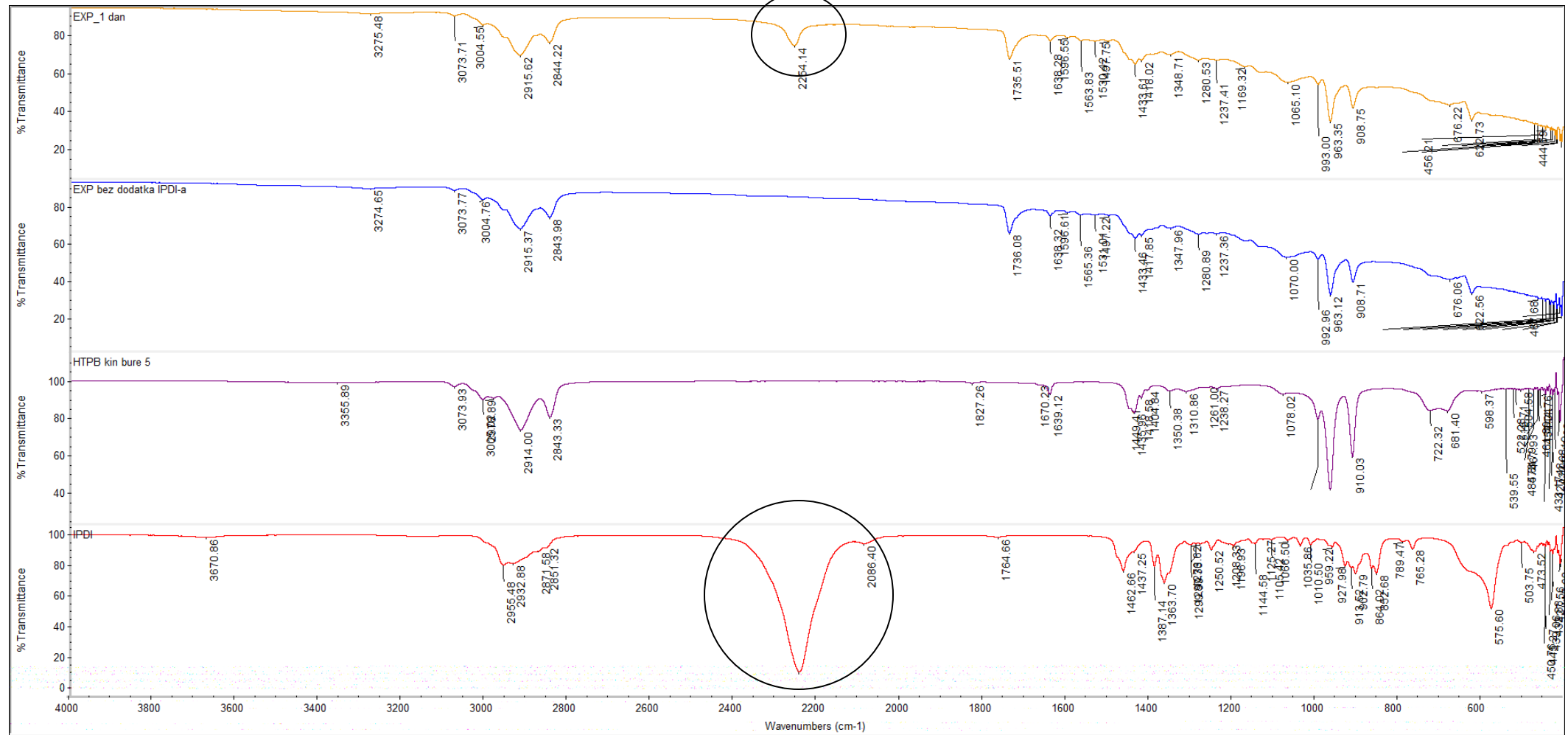
Rezultati testa jednoosnog istezanja uzorka PBX eksploziva A



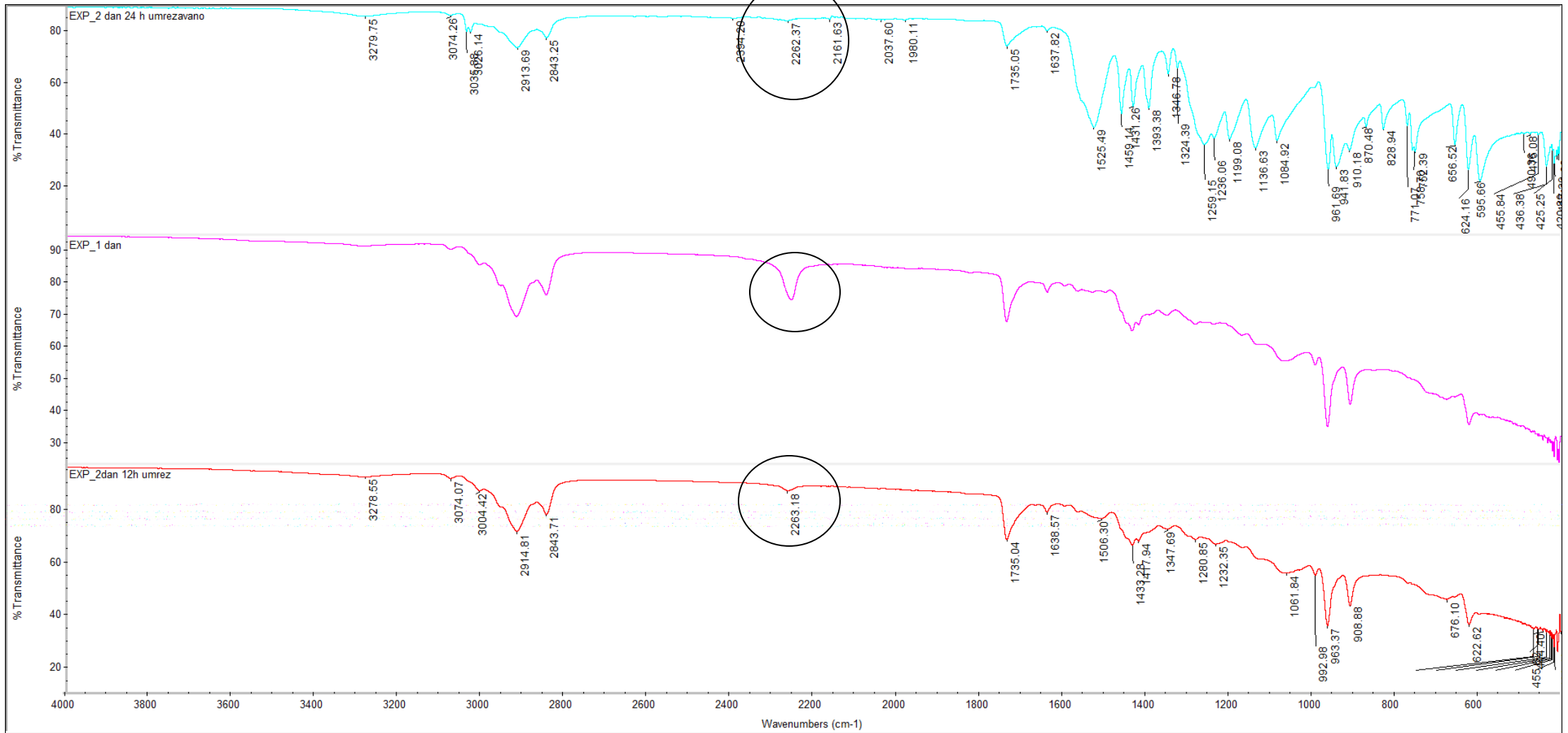
Rezultati testa jednoosnog istezanja uzorka PBX eksploziva B



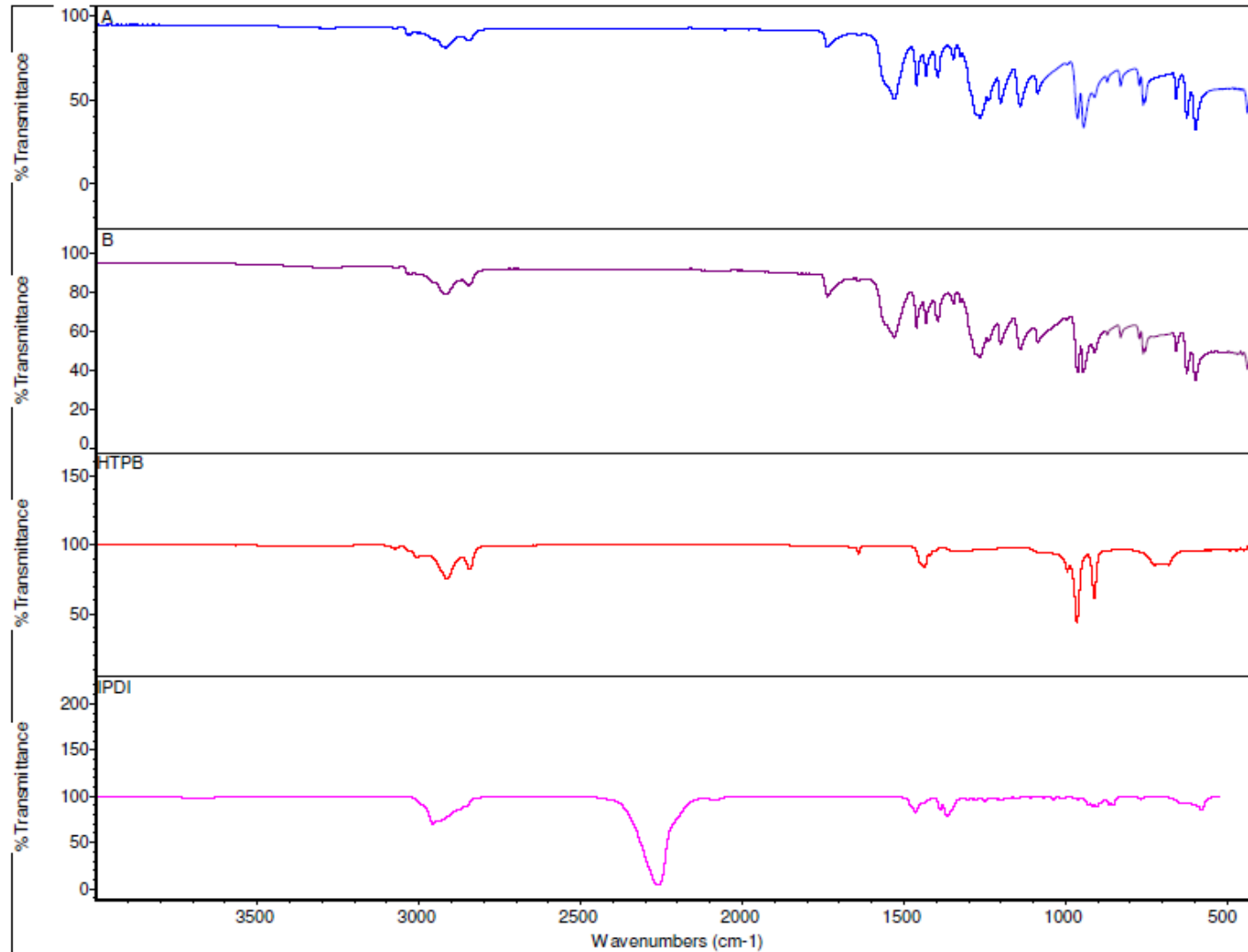
FTIR spektri HTPB, IPDI, neumreženog eksploziva i eksploziva koji je umrežavan jedan dan (1. dan)



FTIR spektri uzoraka A i B (2. dan)



FTIR spektri HTPB, IPDI, i uzoraka eksploziva A i B (5. dan)



Zaključak

Da bi se posmatrao efekat uslova umrežavanja na kvalitet livenog termobaričnog PBX eksploziva, dva seta uzoraka iz iste šarže su sušena u odvojenim grejnim komorama - jedan kontinualno, a drugi u režimu grejanja/hlađena 12h/12h, tokom pet dana. Posle ovog perioda sprovedene su serije ispitivanja i rezultati su pokazali sledeće: kontinualno sušeni uzorci imali su nešto veću gustinu i bolja mehanička svojstva. Detonacione brzine uzoraka bile su približno iste. FTIR analiza je pokazala da reakcija umrežavanja u početku ima bržu kinetiku za grupu uzoraka A, ali na kraju su nakon 5 dana FTIR spektri A i B praktično jednaki, pa je umrežavanje završeno u obe grejne komore. To znači da u slučaju strogih zahteva za mehaničkim karakteristikama eksploziv treba neprekidno umrežavati pod definisanim uslovima, ali ako ne postoje tako visoki zahtevi, čak bi i režim uključivanja/isključivanja grejne komore (ili neke slične neočekivane pauze u umrežavanj) obezbedio zadovoljavajući kvalitet eksploziva.

Hvala na pažnji

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci istraživanju kroz Ugovor br. 451-03-9/2021-14/200325