

Uporaba instrumentiranega Charpyja pri razvoju jekel

Application of Instrumented Charpy Tester in Developing Steels

D. Dobi, Železarna Ravne, Ravne na Koroškem

Prikazana je uporaba instrumentiranega preizkušanja na Charpyjevem kladivu pri industrijskem razvoju novega cementacijskega jekla sestave: 0.22–0.27% C, 0.15–0.35% Si, 1.20–1.50% Cr, 2.50–3.00% Ni, 0.50–0.70% Mn, 0.15–0.25% Mo.

Za različno toplotno obdelana stanja (sredstvo, temperatura popuščanja) kot tudi za različne smeri izreza preizkušancev so prikazani rezultati preizkušanja na instrumentiranem Charpyju v obliki diagramov F-t-s-E.

Na osnovi teh diagramov so podane možnosti posameznih analiz za boljše spoznavanje jekla oziroma za pravilnejšo izbiro toplotne obdelave glede na končno uporabo.

Paper presents the application of instrumented Charpy tester in industrial development of a new case-hardenable steel with the composition: 0.22–0.27% C, 0.15–0.35% Si, 1.20–1.50% Cr, 2.50–3.00% Ni, 0.50–0.70% Mn, and 0.15–0.25% Mo.

Testing results with instrumented Charpy tester of variously heat treated (various media, tempering, temperatures), and in various directions cut samples are presented in F-t-s-E plots.

These plots enable the analyses in order of better knowing of steel characteristics and choose more adequate heat treatment in the regard to final use.

1 Uvod

Z določanjem žilavosti (udarnega dela) jekel želimo klasificirati posamezne oblike lomov. Največ pozornosti posvečamo tistim lomom, ki so popolnoma nasprotni. Govorimo namreč o krhkem in žilavem lomu.

Krhki lom nastaja pri deformacijah, ki imajo čisto elastični karakter. Lom nastaja izključno s cepljenjem in ustreza ravninskemu stanju deformacij. V mikroskopskem področju lom nima plastičnih deformacij, površina loma je svetlikasta. Za krhki lom je karakteristično, a to je tudi najnevarnejši moment, da nastopi pri napetosti, ki je nižja od statično določene dogovorjene napetosti tečenja. Ta napetost je rezultat različnih vplivnih faktorjev (geometrijske oblike, napetostna stanja, temperatura, hitrost deformacije, okolje ...).

Boj proti krhkemu lomu se dejansko začne leta 1901, ko so se na posameznih seminarjih prvič prikazali sistemi za preizkušanje na Charpyjevem kladivu, danes dobro znano metodo za preizkušanje žilavosti.

2 Preizkušanje na Charpyjevem kladivu

Klasična preizkušanja na Charpyjevem kladivu so v rednem preizkušanju jekel. Pri tem dobimo le odgovor na vprašanja, katero preizkušano jeklo je boljše: jeklo A ali jeklo B, tj. dobimo le informacijo o porabljeni energiji KV (KU) za zlom žilavostnega preizkušanca¹.

Da povečamo sposobnost prikaza udarnega dela, je potrebno delo razčleniti na sestavne komponente: na silo in deformacijo. V teku preizkušanja je treba te komponente kontinuirano zapisovati. Ta zapis je možen le z instrumentiranjem, oziroma z opremo kladiva z ustrezno elektroniko^{2,3,4,5}. Poenostavljen prikaz sodobnega instrumentiranega Charpyeva kladiva prikazuje slika 1.

Številke se nanašajo na: (0)—kladivo, (1)—merilnik kota, (2)—ojačevalnik, (3)—sekalo z merilnikom sile, (4)—merilnik poti, (5)—ojačevalnik, (6)—tranzientni osciloskop, (7)—računalnik, (8)—pomnilniki, (9)—risalnik, (10)—tiskalnik. Takšna konfiguracija je instalirana v laboratoriju za preizkušanje mehanskih lastnosti v Železarni Ravne.

Za izvedbo instrumentiranja obstajajo posamezni predpisi in priporočila⁶.

Z merjenjem dveh veličin: F —sila in s —pot določamo energijo, potrebna za zlom preizkušanca, oziroma tako imenovano "žilavost", kot sledi:

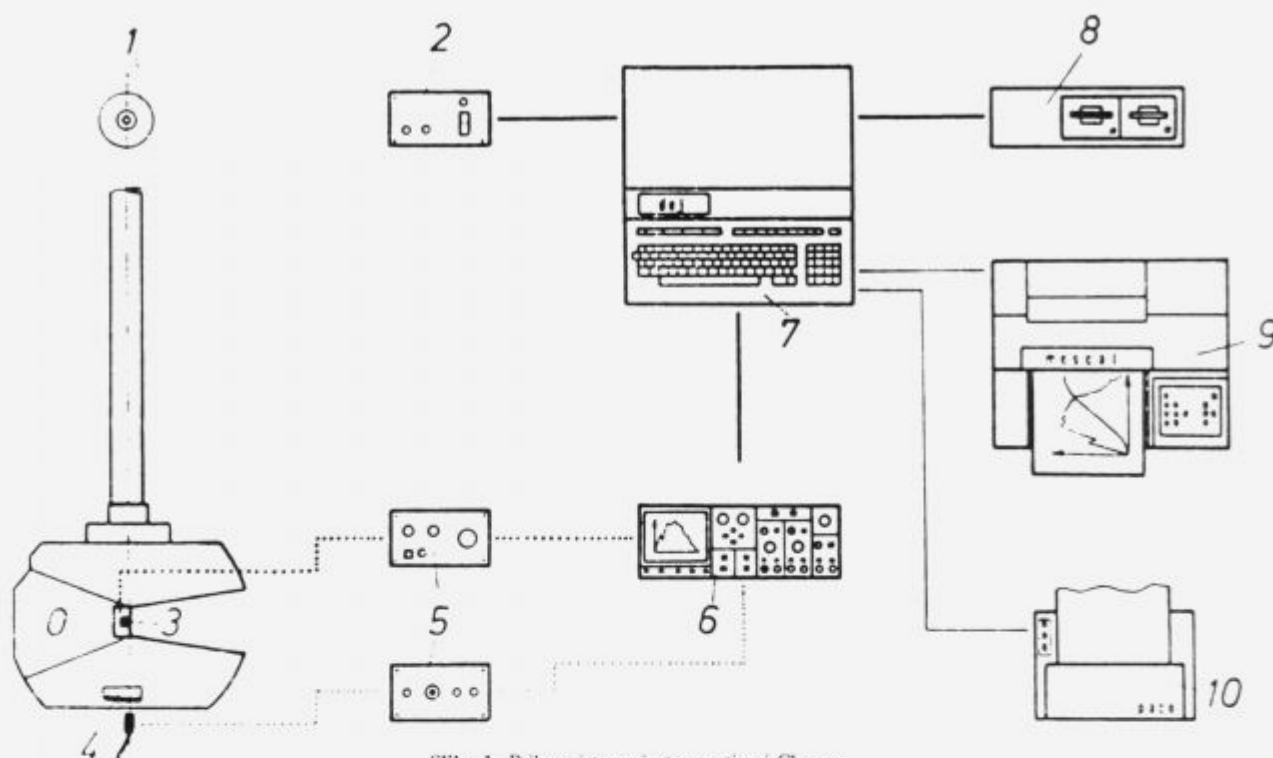
$$KV = \int_0^s F ds$$

Zgoraj prikazan integral predstavlja površino pod krivuljo, ki je prikazana na sliki 2.

Ta prikaz je zapis realnega poteka merjene sile v odvisnosti od poti⁷. V diagram so vrisane karakteristične točke: F_{gy} —sila na meji tečenja, F_m —maksimalna sila, F_u —sila loma, F_a —sila aretiranja. Na osnovi takšnih diagramov se določajo posamezne komponente sile, poti, časa in energij. Odvisno od kvalitete jekla, toplotne obdelave in pogojev okolja lahko dobimo zelo različne diagrame sila-pot. Nekatere oblike prikazuje slika 3⁷.

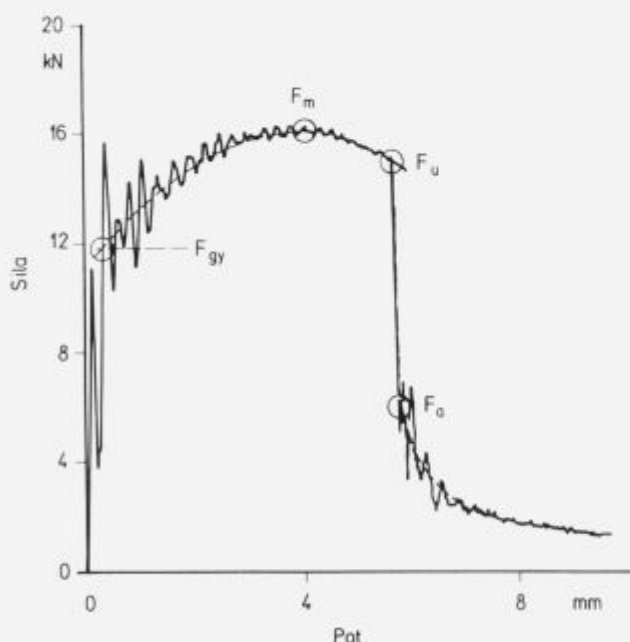
3 Eksperimentalno preizkušanje na instrumentiranem Charpyju

Za eksperimentalno preizkušanje smo izbrali jeklo CT 198 (interna označba Železarne Ravne). To je Ni-Cr-Mo jeklo z nizko vsebnostjo P in S, ki se v večini primerov uporablja



Slika 1. Prikaz sistema instrumentiranega Charpyja.

Figure 1. Presentation of the instrumented Charpy tester system.



Slika 2. Izrez preizkušancev.

Figure 2. Cutting of test samples.

kot cementacijsko jeklo, zaradi nekoliko povišane vsebnosti C pa ga lahko zelo uspešno uporabimo tudi kot jeklo za poboljšanje⁸.

Kemijska sestava jekla šarže 45119 je bila: 0,26% C, 0,012% S, 0,26% Si, 1,28% Cr, 0,02% V, 0,6% Mn, 0,17% Mo, 0,008% P, ostanek Fe.

Kot izhodiščni material je bila valjana palica ϕ 80 mm. Shema izrezov trgalnih in žilavostnih preizkušancev (tipa KU 300/3) je prikazana na sliki 4. Vzdolžni preizkušanci so bili izrezani iz površinskih (P) in središčnih (S) plasti, medtem ko so bili prečni preizkušanci (A) izrezani le iz središčnih plasti. Preizkušanci so bili izrezani iz toplotno obdelanih kosov.

Toplotna obdelava je bila:

- temperatura avstenitizacije: 850°C, kaljenje v olju,
- temperatura popuščenja: od 100 do 700°C v trajanju 1 uro.

Rezultati določanja mehanskih lastnosti so prikazani v popuščenem diagramu na sliki 5.

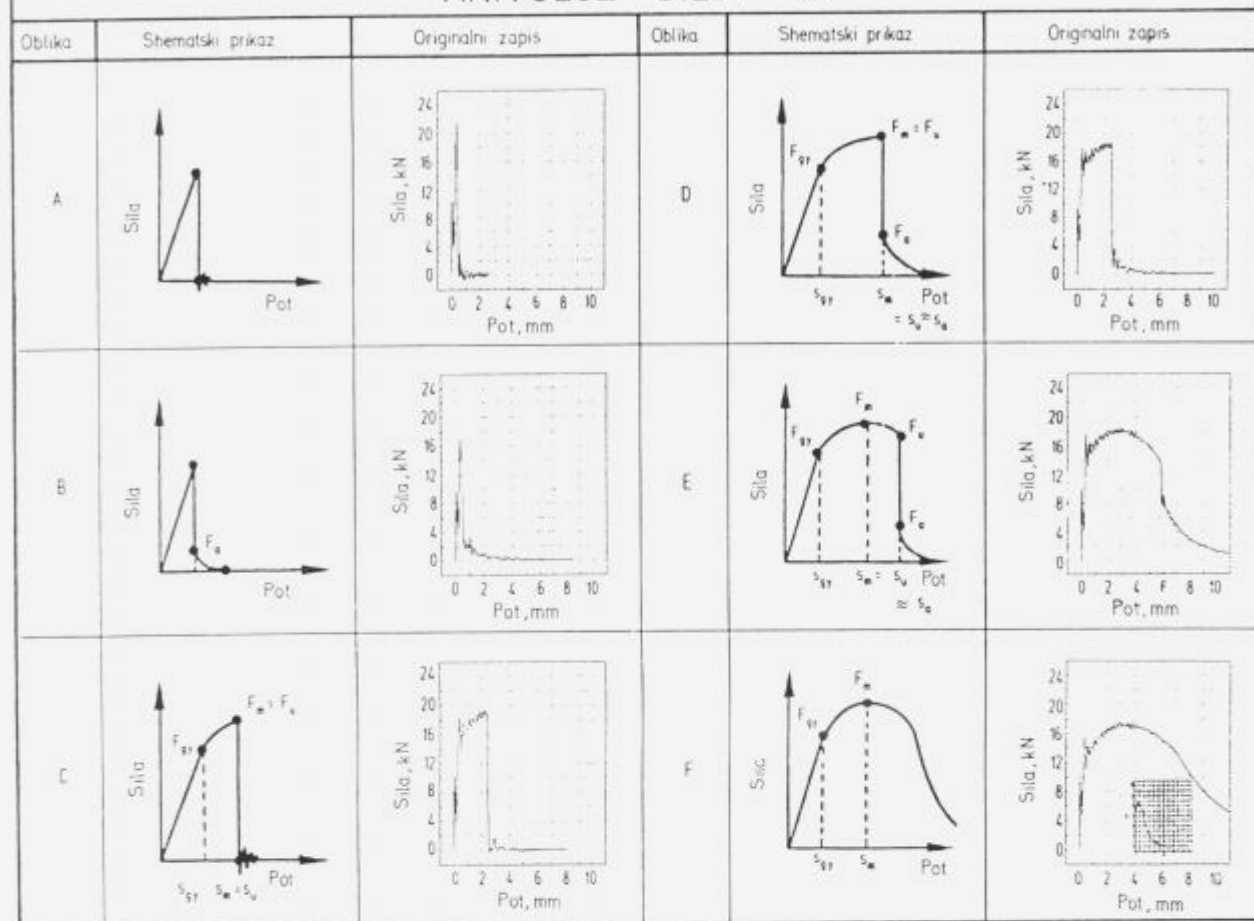
4 Analiza preizkušanja

V diagramu na sliki 5 so pri krivuljah vpisane številke od 1 do 6, kar predstavlja možne analize. V tem članku je prikazana analiza, ki je označena s številko 3. To je dejansko horizontalni presek krivulje poteka žilavosti v odvisnosti od temperature popuščenja.

Za analizo so izbrane točke, oziroma temperature popuščenja, pri katerih so vrednosti energije udarca približno enake. Na slikah od 6 do 12 so prikazani diagrami sila-pot-čas za sledeča toplotno obdelana stanja.

Mehanizem loma na slikah 6 in 7 je popolnoma enak, le da ima preizkušane OS nekaj višjo silo aretacije. Sile za zlom preizkušancev so okrog 28 kN, a KU 300/3—vrednost se v vseh primerih suče med 45 J in 49 J. Vpliv popuščenja pri temperaturi 250°C se v prvi vrsti vidi v povečanju sile aretacije, kar velja za oba preizkušanca (sliki 8 in 9). Zgornji del krivulje je malo deformiran, tj. prihaja do formiranja tako imenovanega platoa.

KRIVULJE SILA-POT



Slika 3. Popušni diagram za jeklo CT 198.

Figure 3. Tempering plot for CT 198 steel.

Nadaljnje povečanje temperature popušanja (450°C) je karakterizirano z zniževanjem maksimalne sile zaradi plastične deformacije, tj. oblikovanja večjega platoa in nadaljnjim povišanjem sile aretacije. Preizkušane 8S (slika 10) ima večjo silo aretiranja kot preizkušane 8P (slika 11). Diagrami imajo drugačen karakter kot diagrami, ki so bili obravnavani prej.

Popolnoma drugačno obliko ima diagram na sliki 12, ki prikazuje rezultat preizkušanja na prečnem preizkušancu (10A), popuščanem pri temperaturi 550°C . Maksimalna sila je relativno majhna. Padec sile je praktično kontinuiran, lahko rečemo, da je lomljenje sestavljeno iz več nivojev aretacij.

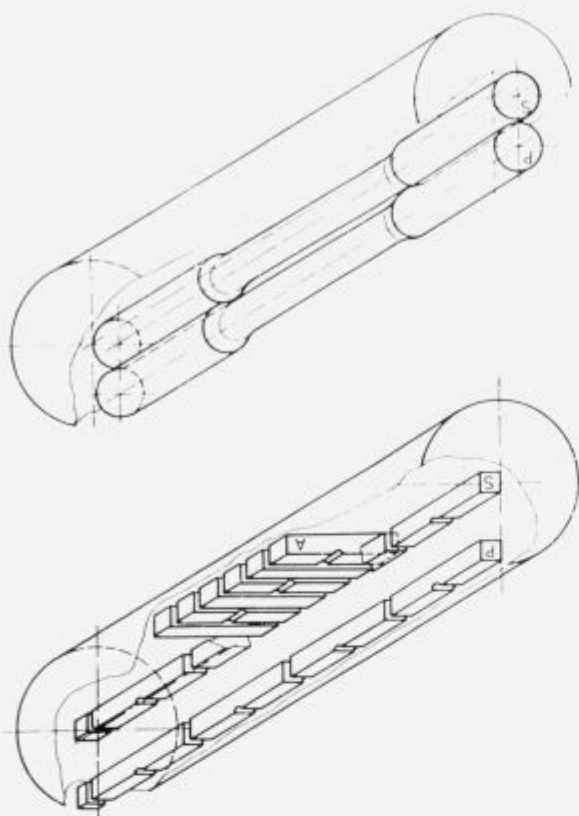
5 Sklep

Na osnovi prikazanih diagramov lahko rečemo, da je zelo pomembno poznavanje poteka sile med samim lomljenjem žilavostnih preizkušancev in ne le samo vrednost porabljene energije udarca za zlom preizkušanca, oziroma žilavost. To zaradi tega, ker ni vseeno, ali po doseženi maksimalni sili pride do zloma hitro ali pa je ta zlom bolj počasen!

6 Literatura

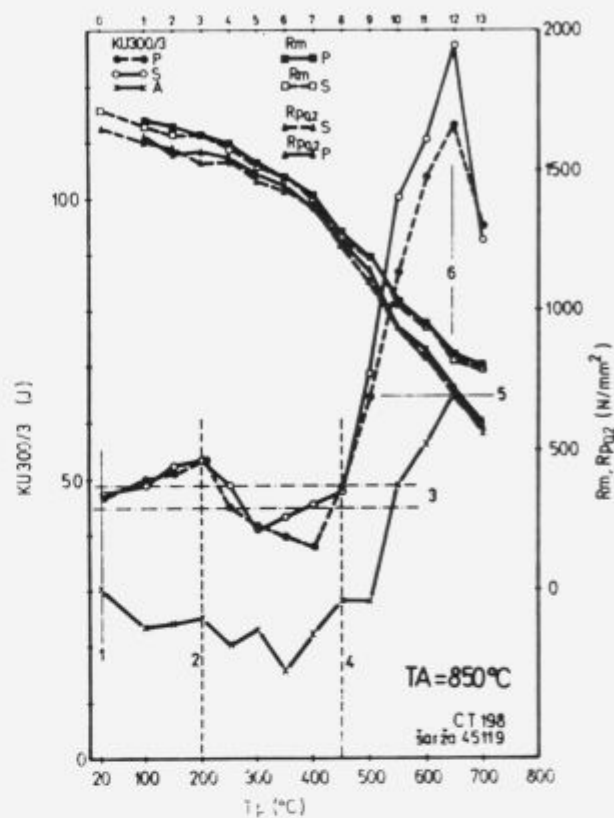
- ¹ D. Dobi: "Utjecaj strukturnog stanja čelika na pukotinsku osjetljivost", doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Zagreb 1988.

- ² G. Vasoukis: "Fraktographie und Analyse des Kerbschlagbiegeversuchs, ein Beitrag zur Frage des Sprödebruchs und zur Bruckmechanik der unlegierten Stählen", Techn.-wiss. Ber.MPA Stuttgart (1971), Heft 71-01.
- ³ K.H. Döttinger: "Analyse der Kerbschlagarbeit mit Hilfe von Kraft-Weg-Diagrammen", doktorska disertacija Universität Stuttgart (TH), Stuttgart 1968.
- ⁴ R. Helms, H. Kühn, S. Ledworski: "Zur werkstoffmechanische Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuchs-Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test", BAM Forschungsbericht 82, Berlin 1982.
- ⁵ G. Hofer, Ü. Günes: "Instrumentierter Kerbschlagbiegeversuch", Werkstoffprüfung 1984, s. 283-295.
- ⁶ "Messtechnische Anforderungen beim instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch", DVM Merkblatt 0001, Entwurf 3.86, DVM-Verlag, Berlin 1986.
- ⁷ "Kerbschlagbiegeversuch mit Ermittlung von Kraft und Weg; Empfehlungen zur Durchführung und Auswertung", Stahl-Eisen-Prüfblatt, SEP 1315, Entwurf 9.86, Stahleisen Verlag Düsseldorf, Düsseldorf 1986.
- ⁸ D. Dobi: "Analiza preizkušanja na instrumentiranem Charpyu", Tehnično poročilo TP-RC-P-141/1, interno poročilo Železarne Ravne, Ravne 11.1990



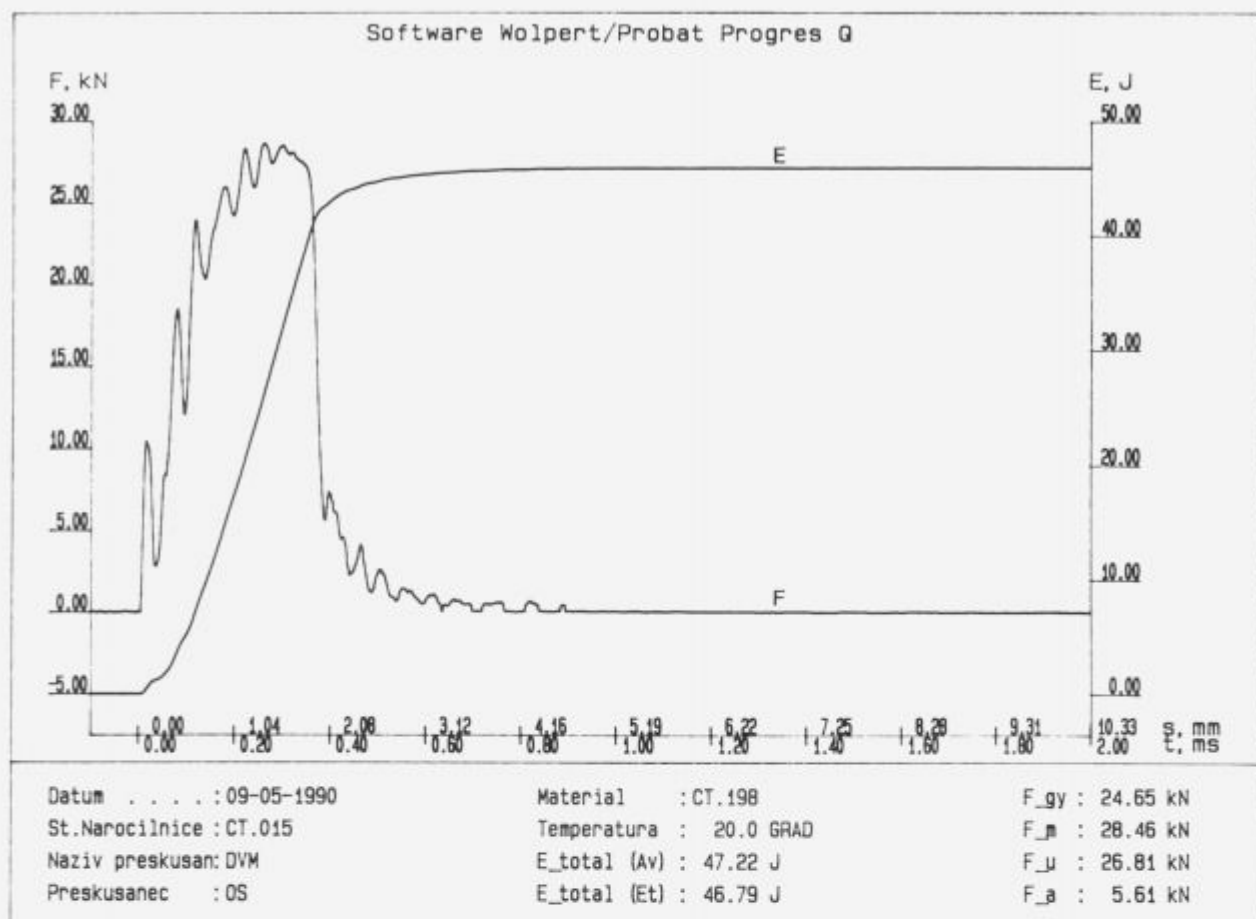
Slika 4. Realni diagram sila—pot.

Figure 4. Real plot force—displacement.



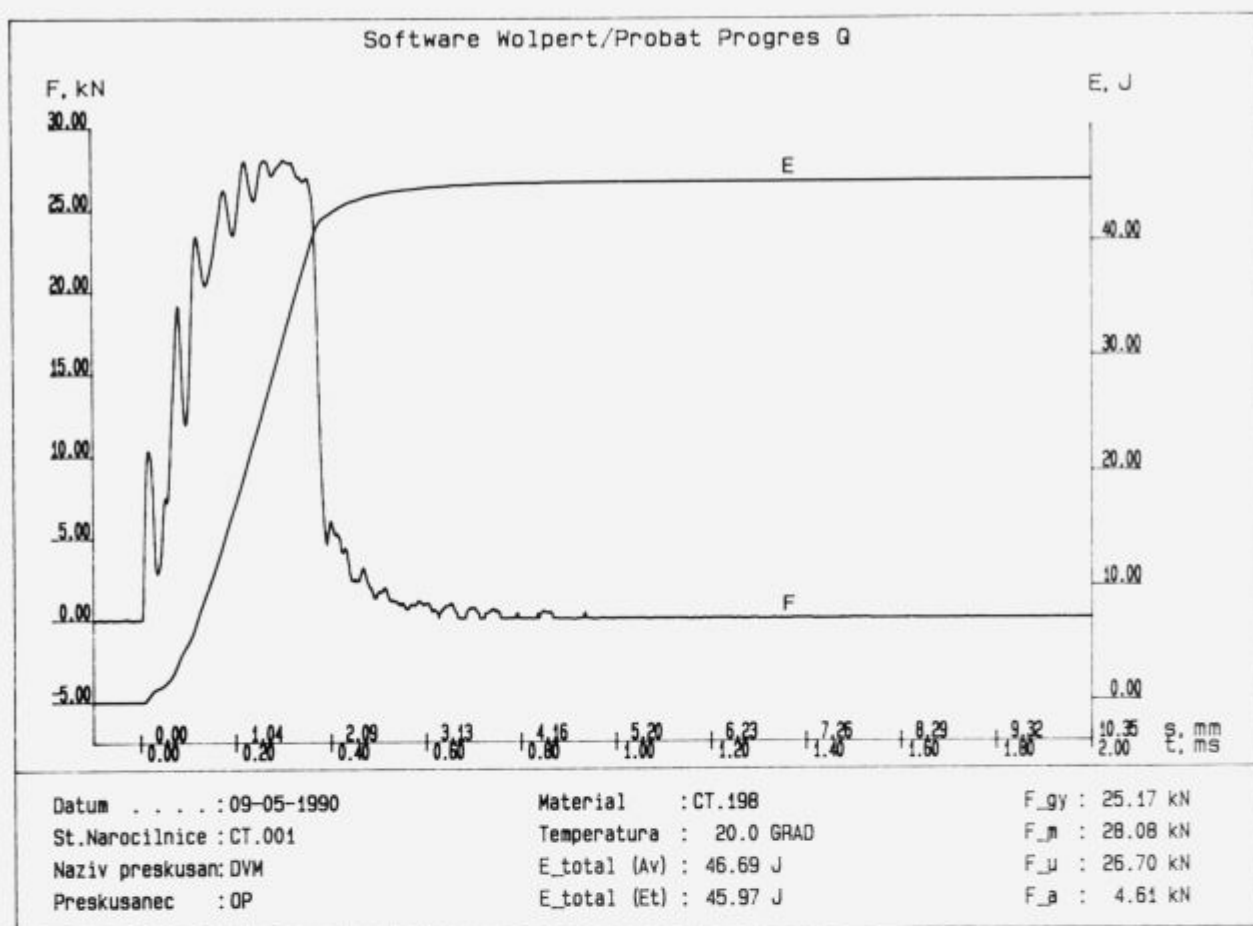
Slika 5. Različne oblike krivulj sila—pot.

Figure 5. Various shapes of force-displacement curves.



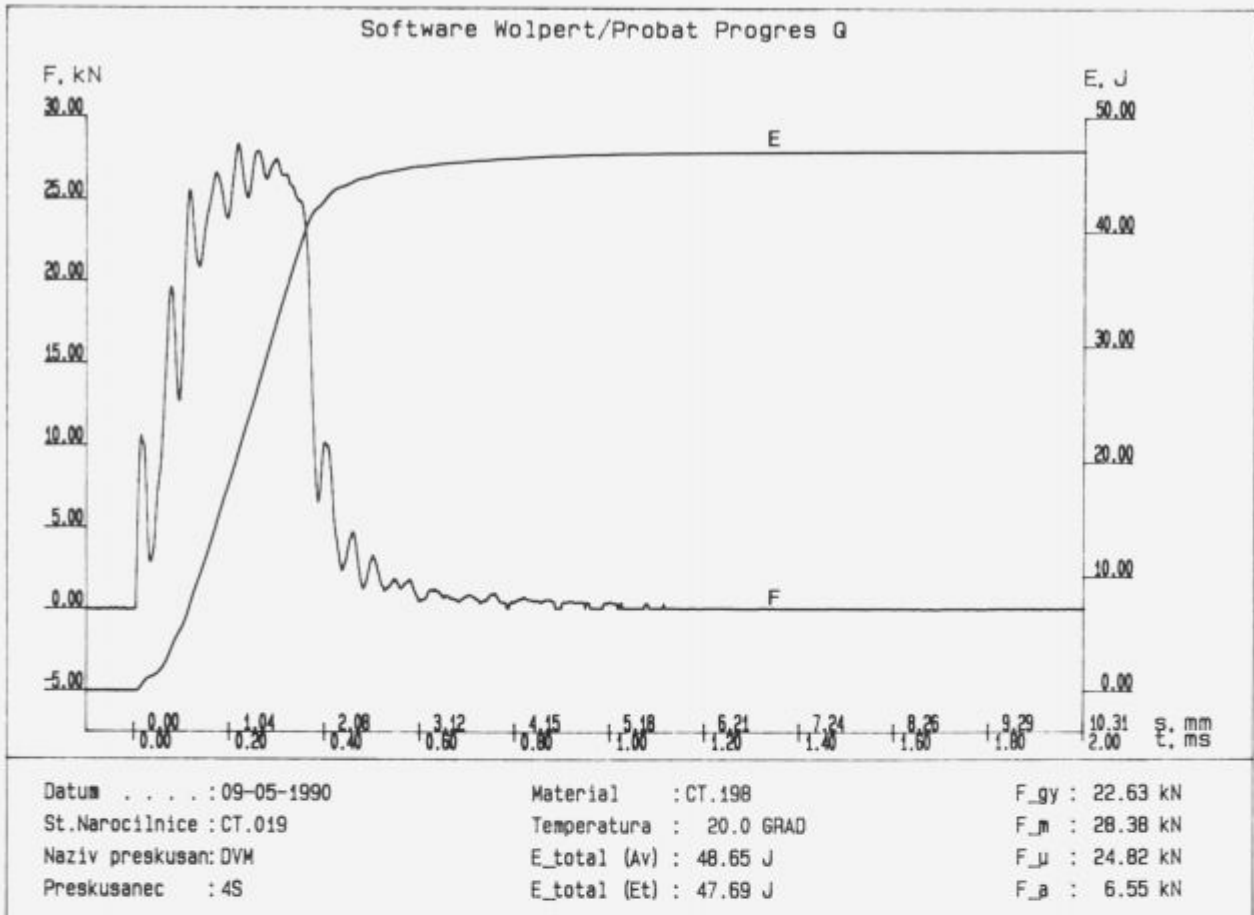
Slika 6. Originalni zapis sile(F)-poti(s)-časa(t)-energije(E).

Figure 6. Original record of force(F)-displacement(s)-time(t)-energy(E).



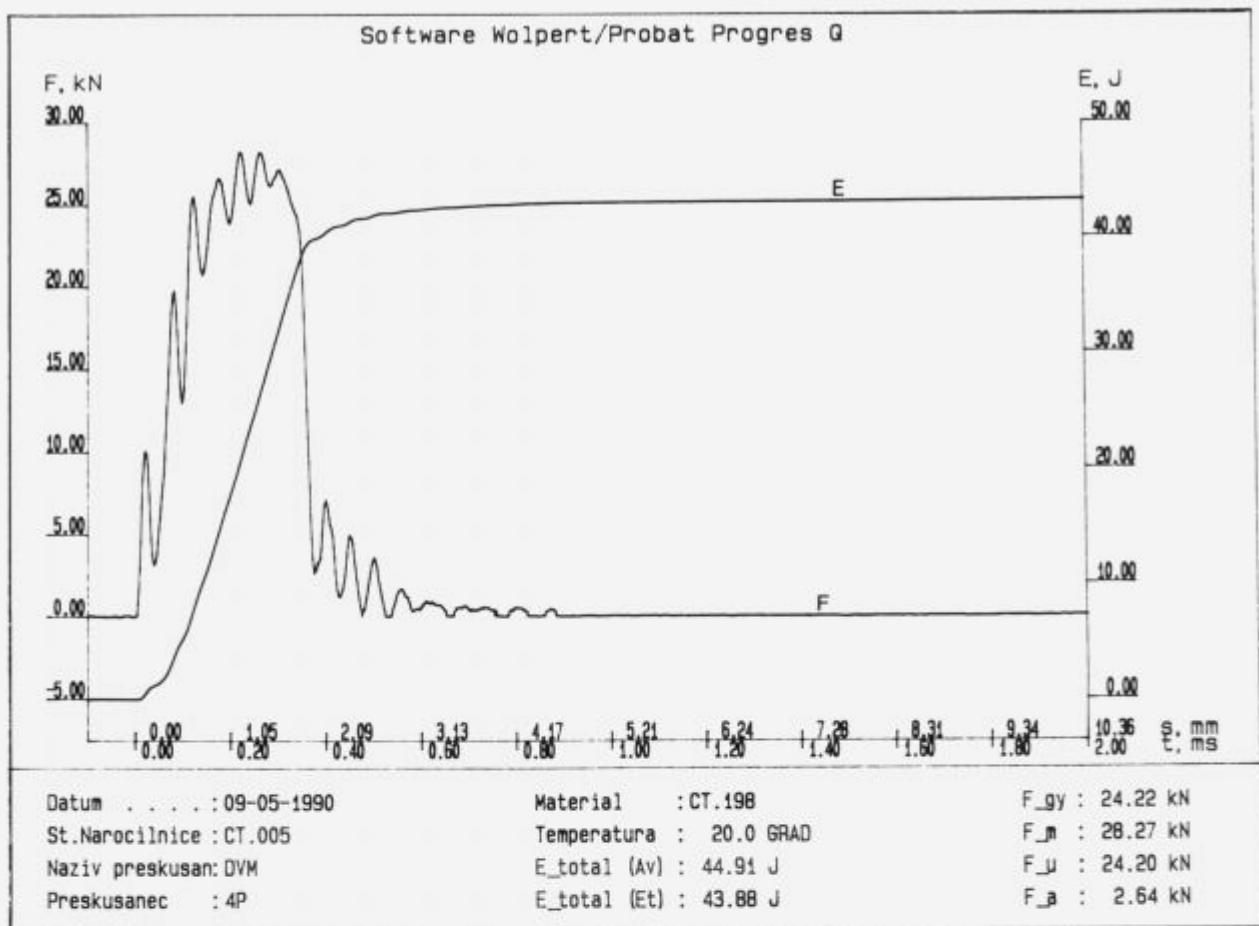
Slika 7. Originalni zapis sile(F)-poti(s)-časa(t)-energije(E).

Figure 7. Original record of force(F)-displacement(s)-time(t)-energy(E).



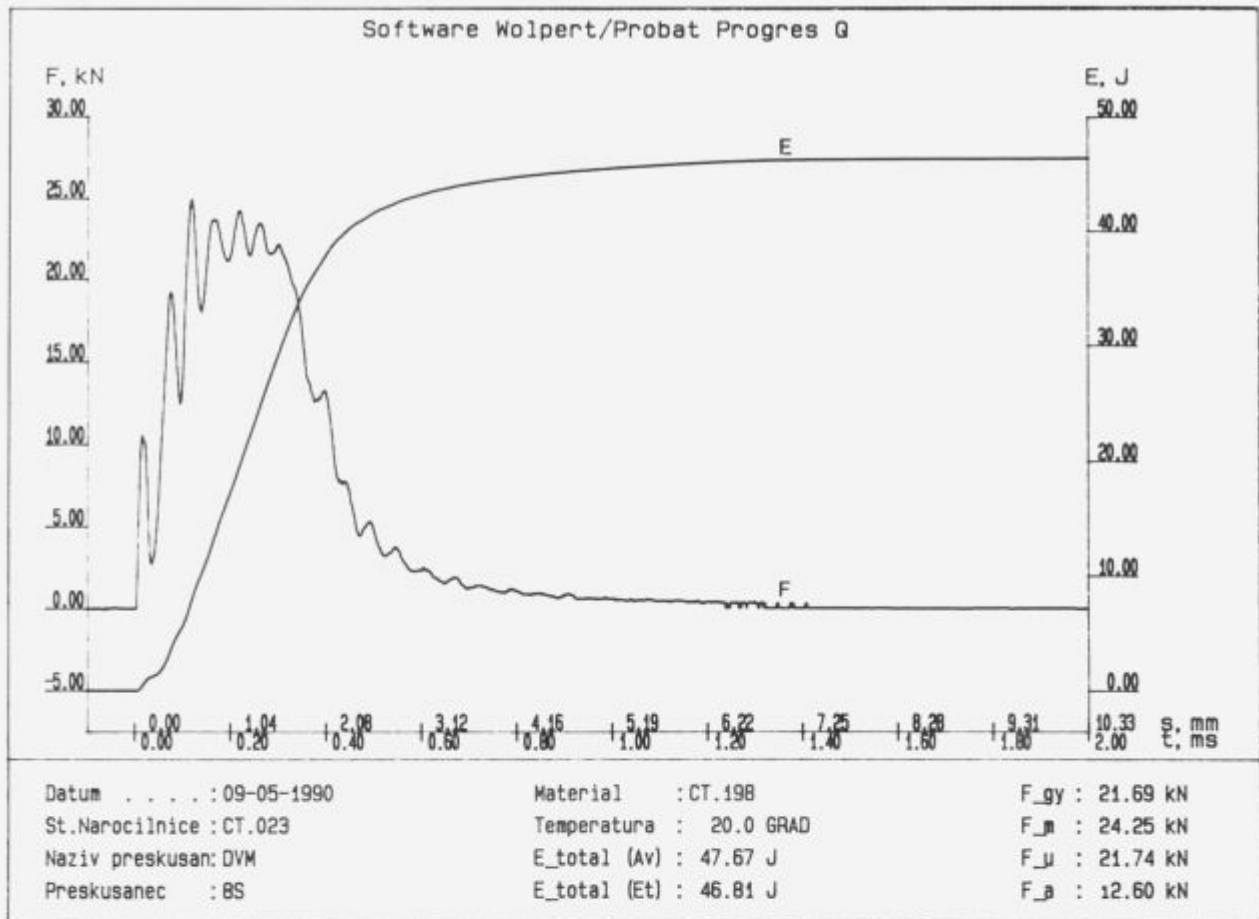
Slika 8. Originalni zapis sile(F)-poti(s)-časa(t)-energije(E).

Figure 8. Original record of force(F)-displacement(s)-time(t)-energy(E).



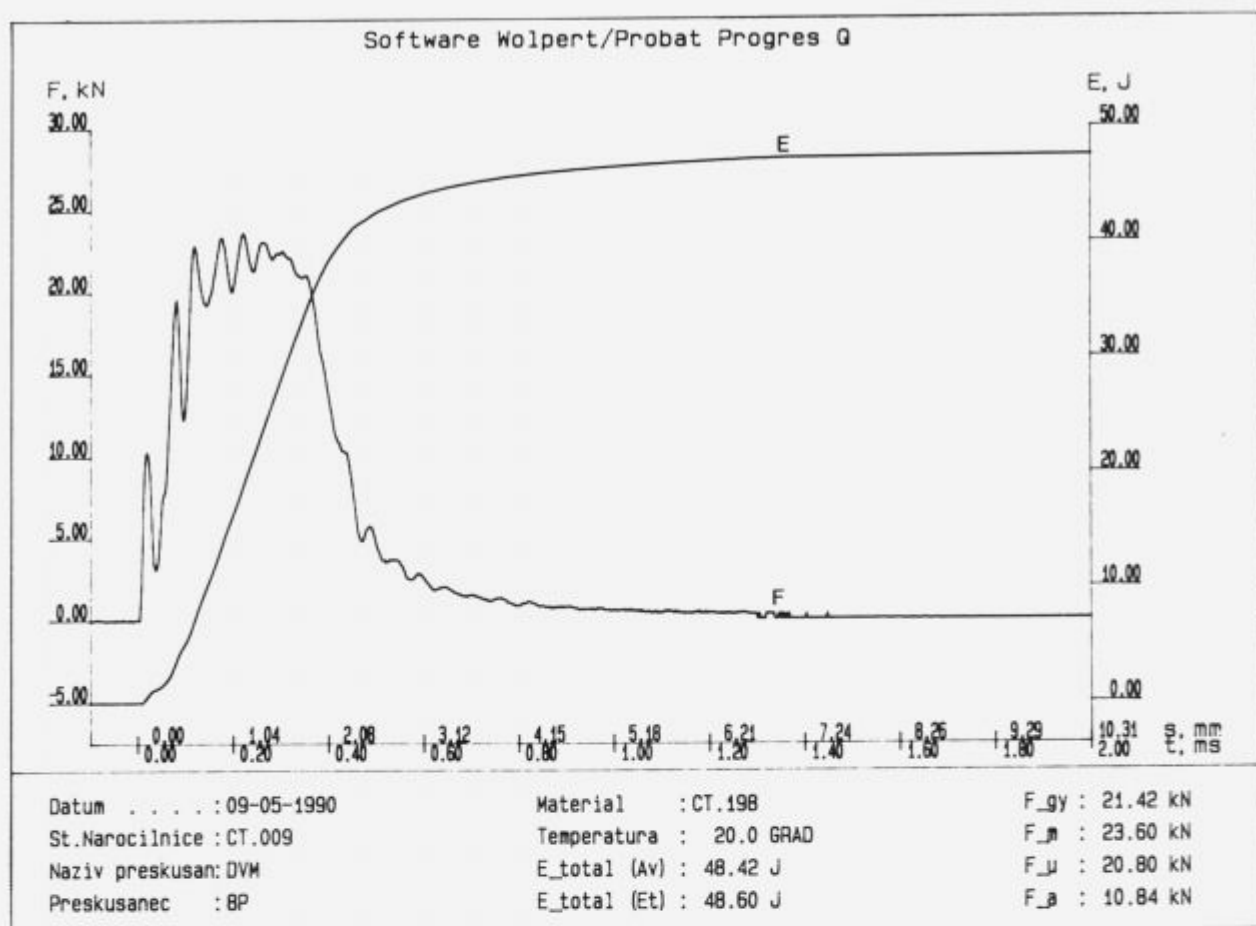
Slika 9. Originalni zapis sile(F)-poti(s)-časa(t)-energije(E).

Figure 9. Original record of force(F)-displacement(s)-time(t)-energy(E).



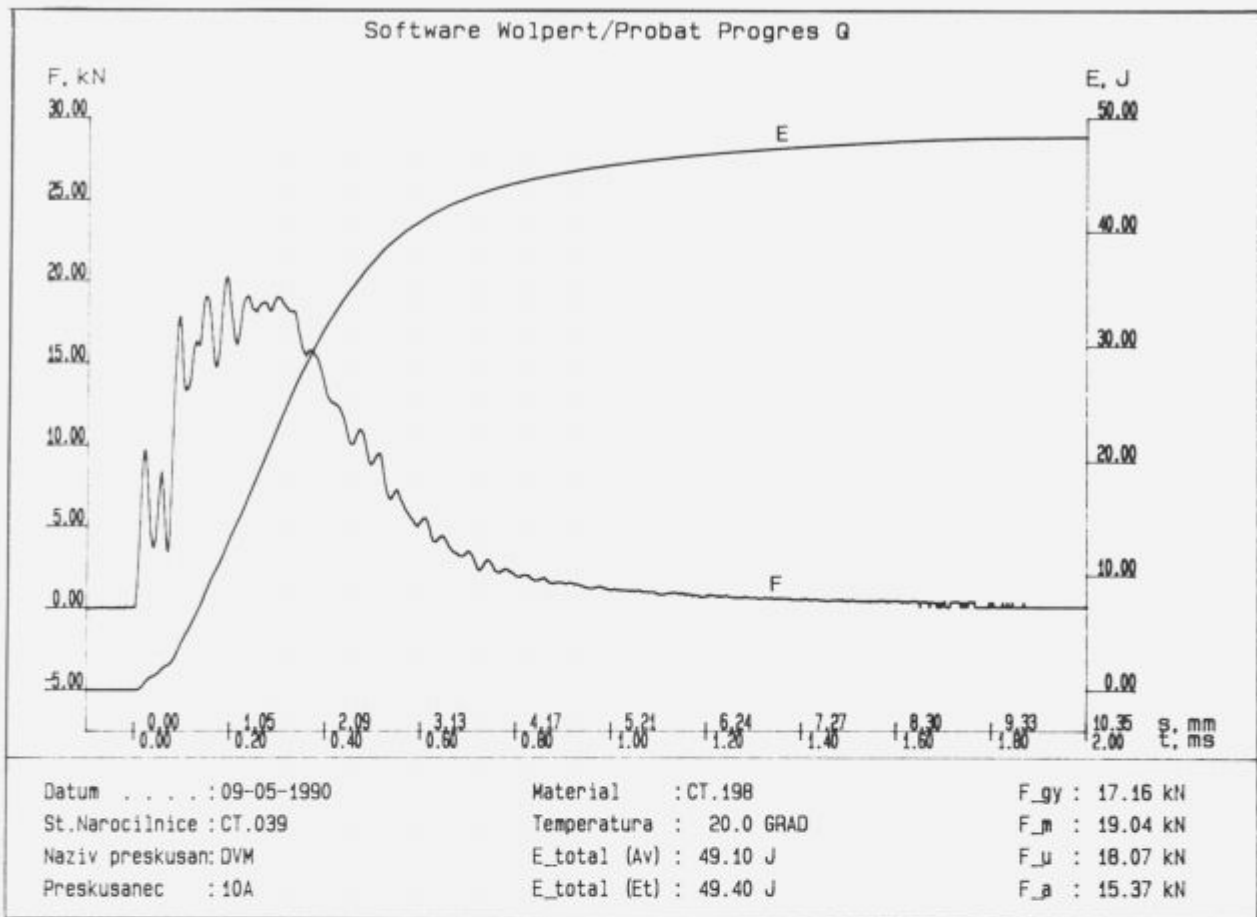
Slika 10. Originalni zapis sile(F)-poti(s)-časa(t)-energije(E).

Figure 10. Original record of force(F)-displacement(s)-time(t)-energy(E).



Slika 11. Originalni zapis sile(F)-poti(s)-časa(t)-energije(E).

Figure 11. Original record of force(F)-displacement(s)-time(t)-energy(E).



Slika 12. Originalni zapis sile(F)-poti(s)-časa(t)-energije(E).

Figure 12. Original record of force(F)-displacement(s)-time(t)-energy(E).