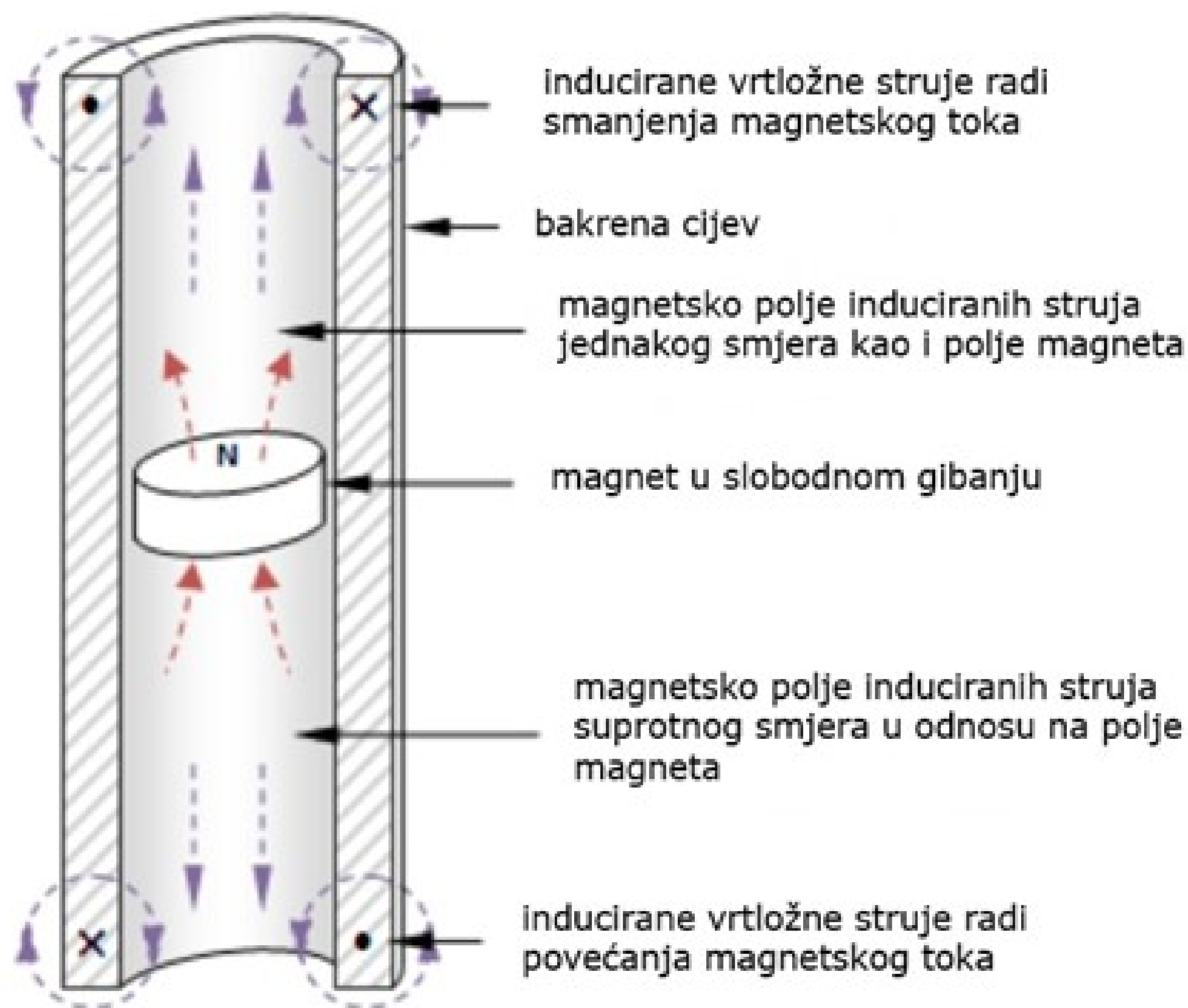


Teorijski okvir

Faradayev zakon - Promjena magnetskog toka kroz metalni vodič uzrokuje indukciju električnog napona, što u punom metalu pokreće vrtložne struje.

Lentzovo pravilo - Inducirana električna struja uvijek ima takav smjer da svojim magnetskim poljem nastoji poništiti uzrok koji ju je stvorio.



Slika 1. Prikaz smjerova induciranih vrtložnih struja

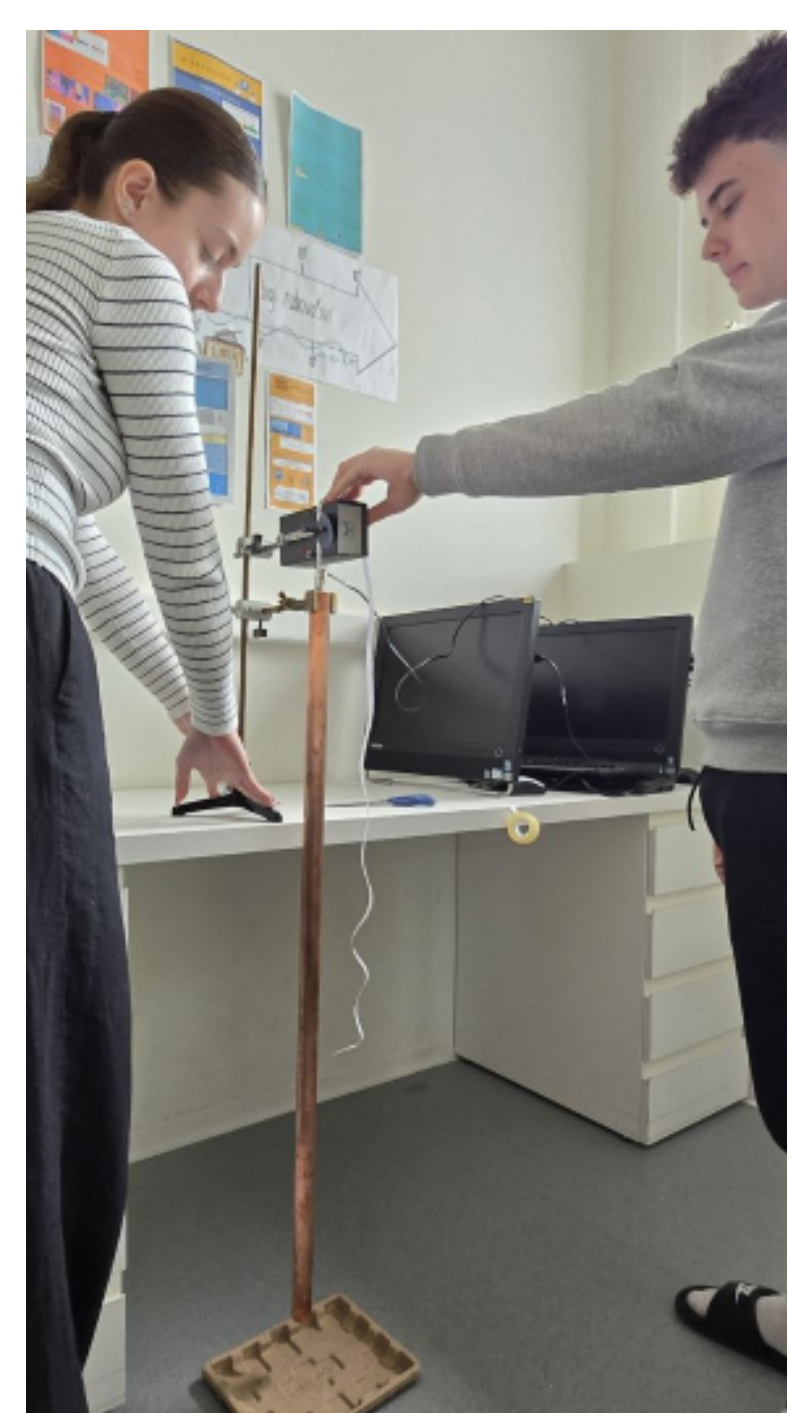
Istraživačka pitanja

- O čemu ovisi srednja sila elektromagnetskog kočenja pri prolasku magneta kroz bakrenu cijev i kako?
- Kako sila elektromagnetskog kočenja ovisi o brzini gibanja magneta i postiže li se tijekom slobodnog gibanja magneta terminalna brzina?

Ciljevi istraživanja: Utvrditi o čemu ovisi sila elektromagnetskog kočenja (duljina, promjer, materijal cijevi, broj magneta, brzina) te postiže li se terminalna brzina.

Eksperimentalni postav

Pribor: bakrene cijevi različitih dimenzija, plastična i inox cijev, permanentni magneti, laboratorijski stalak, elektromagnetsko tipkalo, metar, vaga, pomična mjerka, ravnalo, pametni telefon.



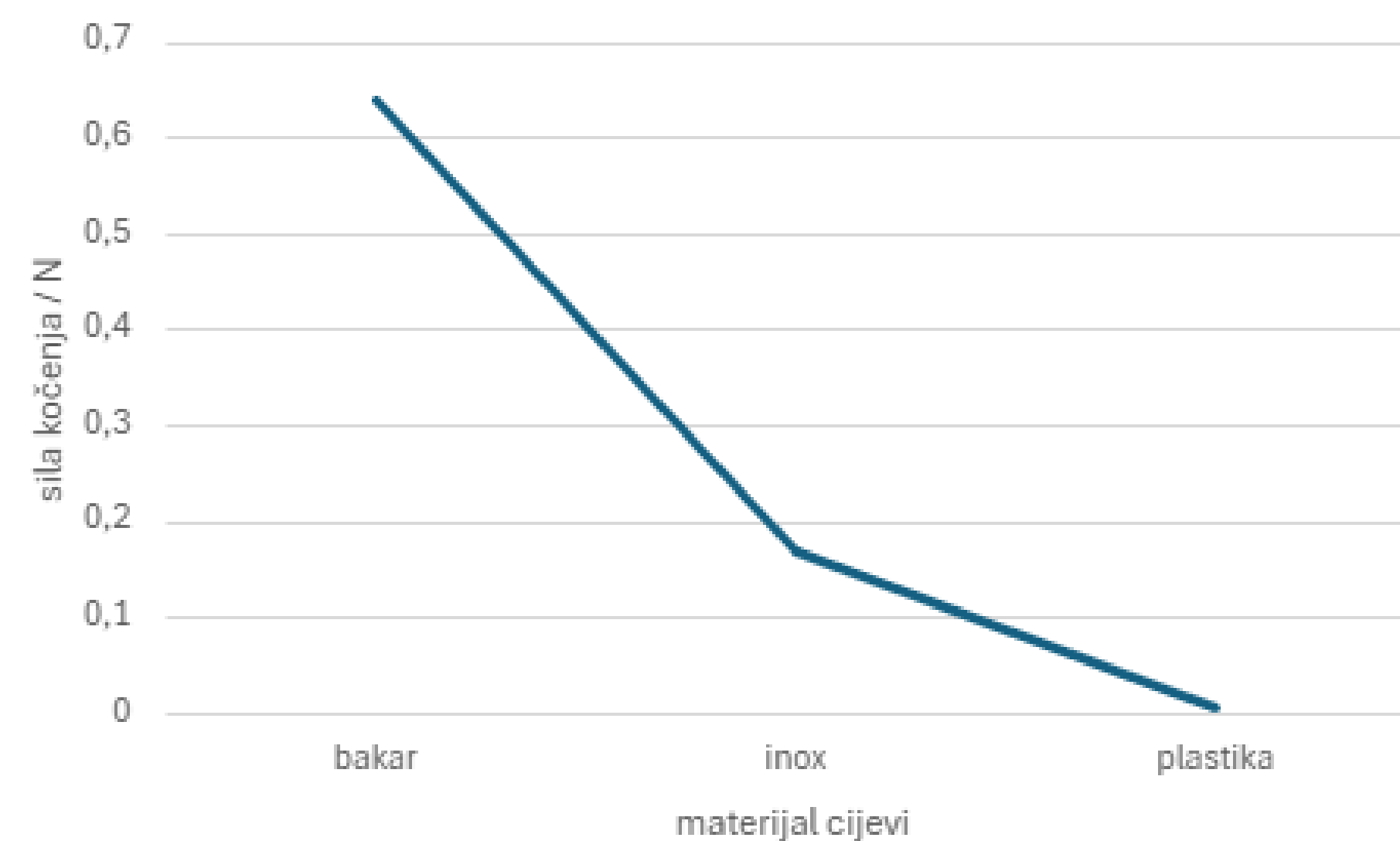
Slika 2. Eksperimentalni postav

Metode mjerenja:

- Metoda uspoređivanja** (masa magneta - laboratorijska vaga i dimenzije - pomična mjerka, metarska vrpca, ravnalo).
- Analiza videozapisa** (ukupno vrijeme gibanja magneta - pametni telefon).
- Analiza zapisa tipkala na papirnoj vrpici** (vrijeme između dva traga 0,02 s, i mjerenje puta ravnalom).

Rezultati i diskusija

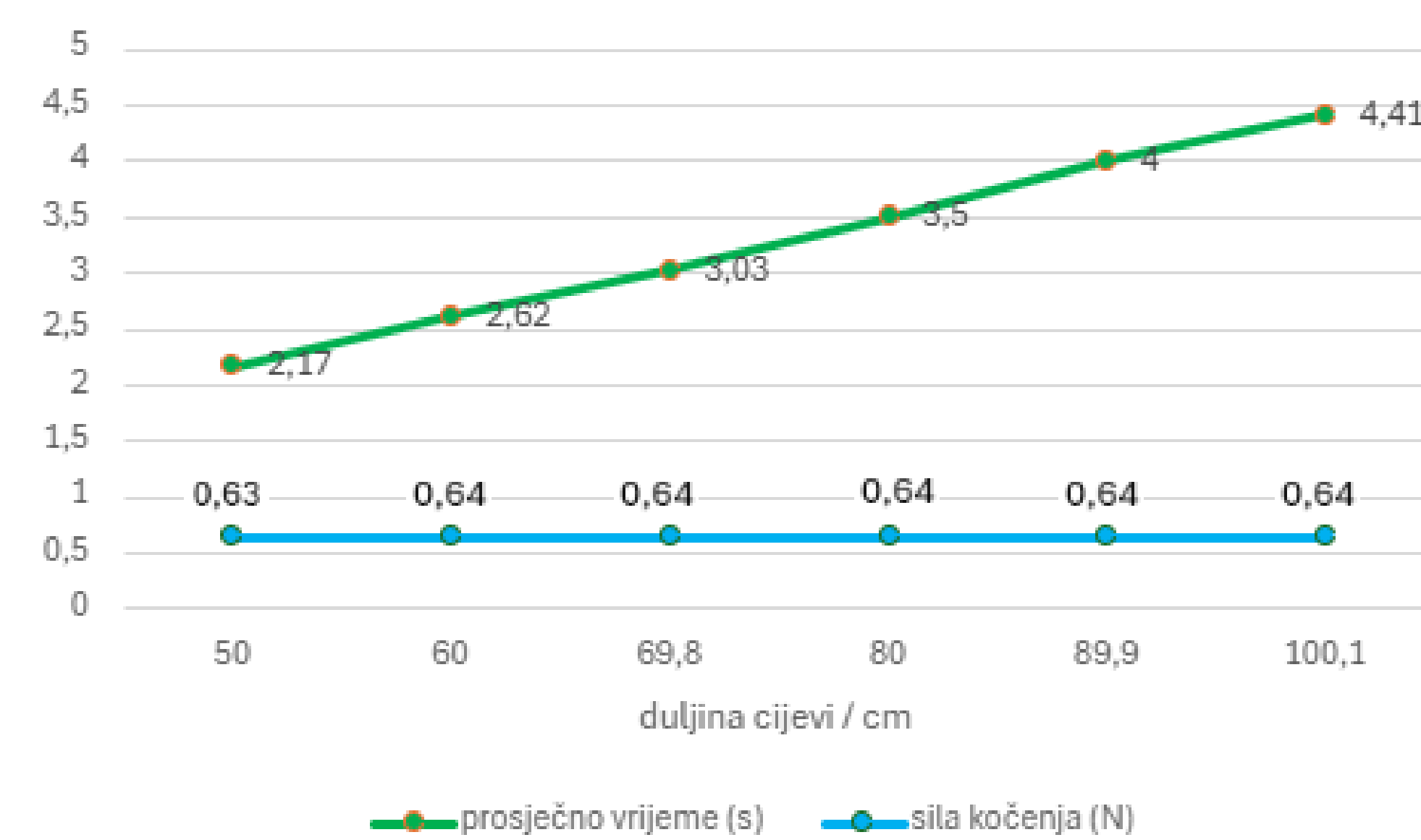
H0 (Materijal): U bakrenoj cijevi kočenje je najjače, a vrijeme pada je znatno dulje nego u plastici ili inoxu.



Graf 1. Ovisnost sile EM kočenja o materijalu cijevi

Usporedba materijala potvrđuje da bakar kao izvrstan vodič pruža najjači otpor gibanju, dok u plastičnom izolatoru sila elektromagnetskog kočenja ne postoji. **Hipoteza H0 je potvrđena.**

H1 (Duljina): Duljina cijevi povećava ukupno vrijeme pada, ali ne mijenja iznos sile kočenja.



Graf 2. Ovisnost prosječnog trajanja slobodnog gibanja i srednje sile EM kočenja o duljini cijevi

Rezultati pokazuju da duljina cijevi ne utječe značajno na silu kočenja niti na srednju brzinu, već prvenstveno na ukupno vrijeme gibanja magneta kroz bakrenu cijev. **Hipoteza H1 je potvrđena.**

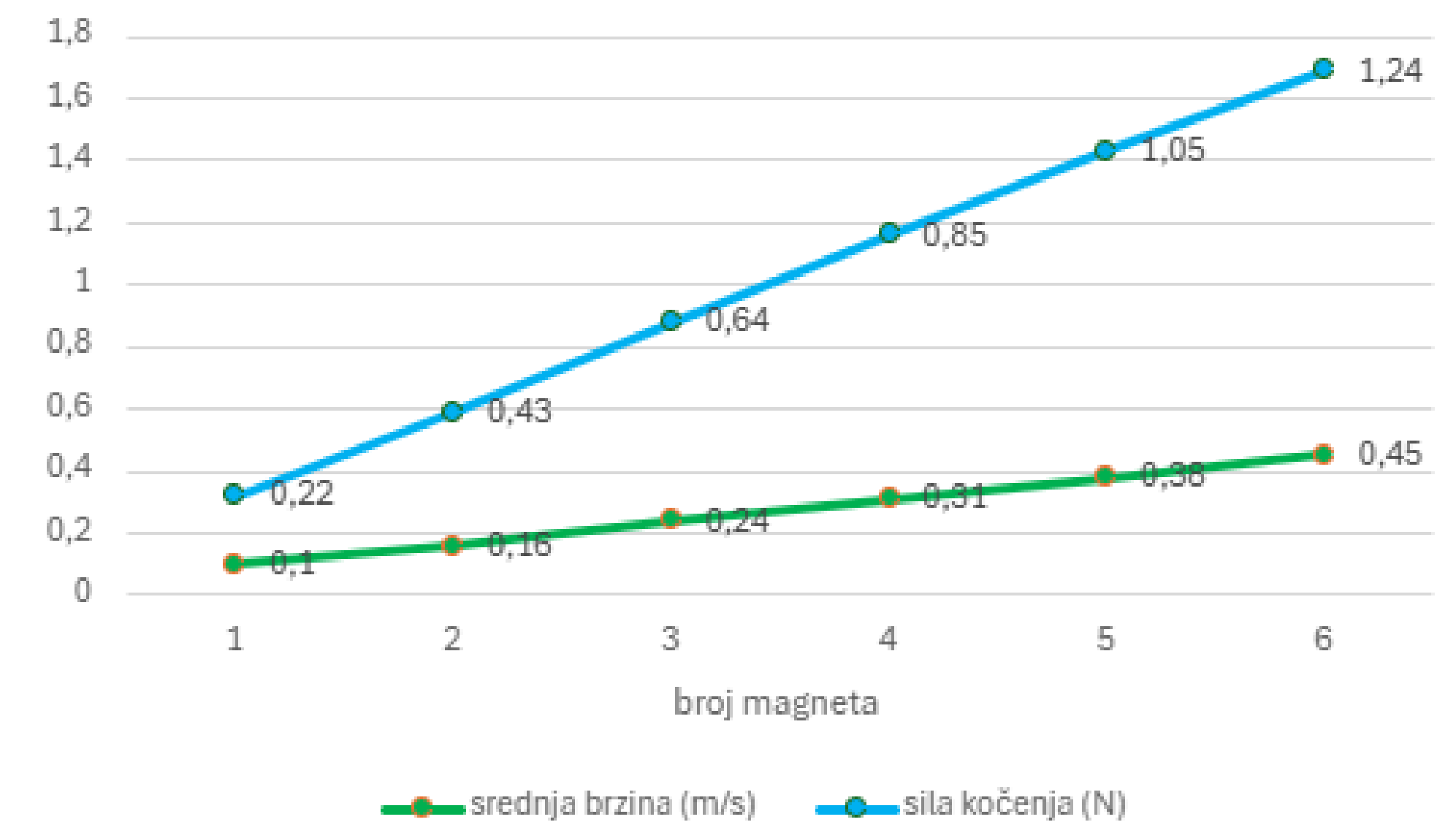
H2 (Promjer): Manji promjer (manja udaljenost magneta i cijevi) rezultira snažnijom silom i sporijim padom.

2r / mm	\bar{v} / ms ⁻¹	\bar{a} / ms ⁻²	F _{EM} / N
18	0.313	0.188	0.640
22	0.237	0.108	0.635
27	0.567	0.616	0.607

Tablica 1. Ovisnost sile EM kočenja o promjeru cijevi

Sila kočenja opada s povećanjem promjera cijevi jer veća udaljenost magneta od stijenki vodiča slabi intenzitet induciranih vrtložnih struja. **Hipoteza H2 je potvrđena.**

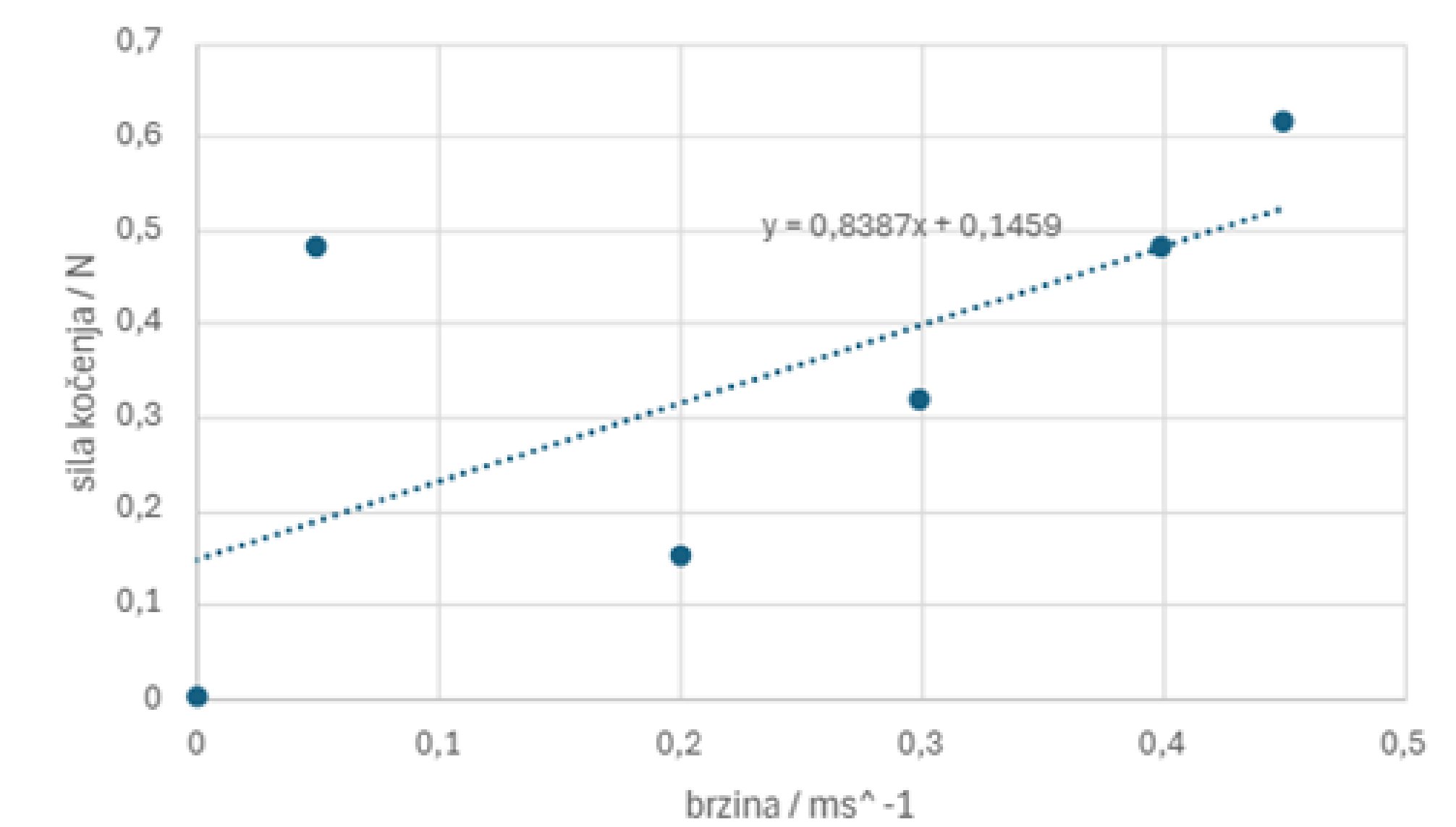
H3 (Broj magneta): Više magneta povećava i silu kočenja i srednju brzinu pada.



Graf 3. Ovisnost srednje brzine gibanja magneta i sile EM kočenja o broju magneta

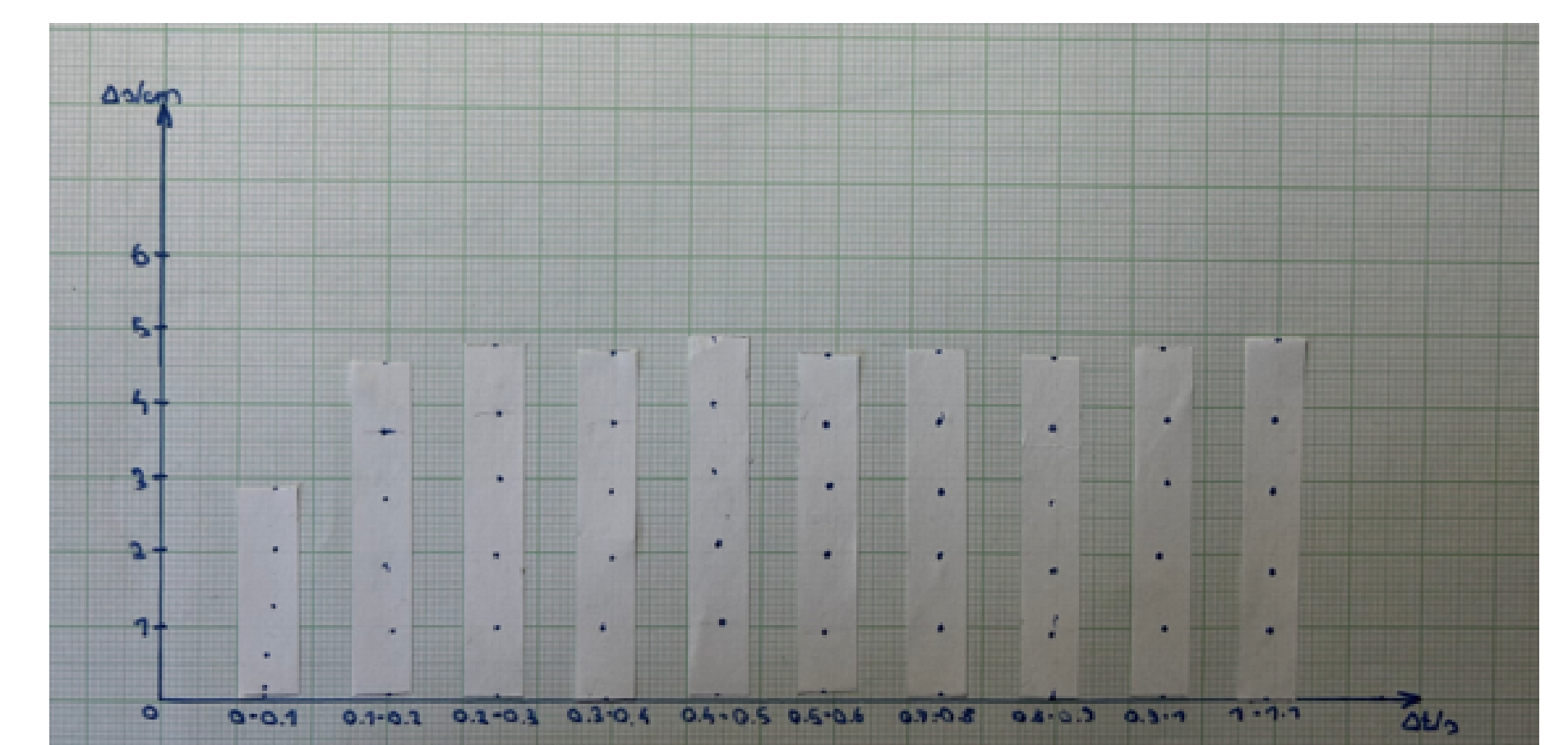
Povećanje broja magneta uzrokuje linearni porast sile kočenja, no sustav se unatoč tome giba brže jer porast mase nadjačava magnetsko kočenje. **Hipoteza H3 je potvrđena.**

H4 (Ovisnost o brzini): Sila kočenja je izravno proporcionalna brzini magneta.



Graf 4. Ovisnost sile EM o brzini gibanja magneta duž cijevi promjera 22 mm

H5 (Terminalna brzina): Sila kočenja se povećava duž većeg dijela cijevi te magnet stalnu brzinu postiže tek u zadnjoj trećini.



Slika 3. Histogram slobodnog gibanja magneta duž cijevi promjera 22 mm

Hipoteza H5 je opovrgnuta jer se terminalna brzina postiže vrlo brzo, već nakon nekoliko centimetara pada, dok je **hipoteza H4 potvrđena** prema podacima analize zapisa gibanja i linije trenda porasta sile kočenja s brzinom gibanja magneta na Grafu 4.

Zaključak i primjena

Sila kočenja ovisi o električnim svojstvima (vodljivost) i geometriji vodiča (promjer, debljina stijenke) dok duljina cijevi utječe samo na vrijeme gibanja, ali ne i na samu silu. Brže micanje magneta ili jači magnet uzrok su indukcije jačih vrtložnih struja i snažnijeg kočenja. Sila elektromagnetskog kočenja može se primijeniti u sustavima za kočenje dizala (failsafe), za određivanje magnetskog dipolnog momenta permanentnog magneta te inovativno iskorištavanje topline Jouleovog zagrijavanja.



Literatura