

## Efektivní obrábění nástrojových materiálů laserem

**Doktorský program:** Strojní inženýrství  
**Studijní obor:** Strojírenská technologie  
**Ústav:** Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie  
**Akademický rok:** 2022/2023  
**Školitel:** Prof. Dr. Ing. František Holešovský  
**Školitel specialista:** doc. Ing. Pavel Zeman, Ph.D.  
**Klíčová slova:** Laserové mikroobrábění, slinutý karbid, komplexní přístup, zvyšování efektivity, tepelné ovlivnění

Tato disertační práce se zabývá metodami pro zvyšování efektivity mikroobrábění laserem. Výzkum je věnován hybridní technologii, v práci nazvané komplexní přístup, kombinující výhody nanosekundového a femtosekundového laserového obrábění. V navrženém a otestovaném postupu je nanosekundový laser použit pro intenzivní odebrání většího objemu materiálu v procesu hrubování, následně pak femtosekundový laser pro odebrání tepelného ovlivnění a dokončení povrchu. Vhodnost komplexního přístupu byla otestována při vytvoření utvařečů třísek na slinutém karbidu a jejich následné otestování při obrábění podélným soustružením a přímým porovnáním s lisovaným utvařečem. Z naměřené trvanlivosti nástrojů, utváření třísek a generovaných sil při obrábění vyplynulo, že laserem vytvořené utvařeče a konkrétně utvařeč vytvořený navrženým komplexním přístupem, mají srovnatelnou řezivost s nástrojem s lisovaným utvařečem třísek.

### CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

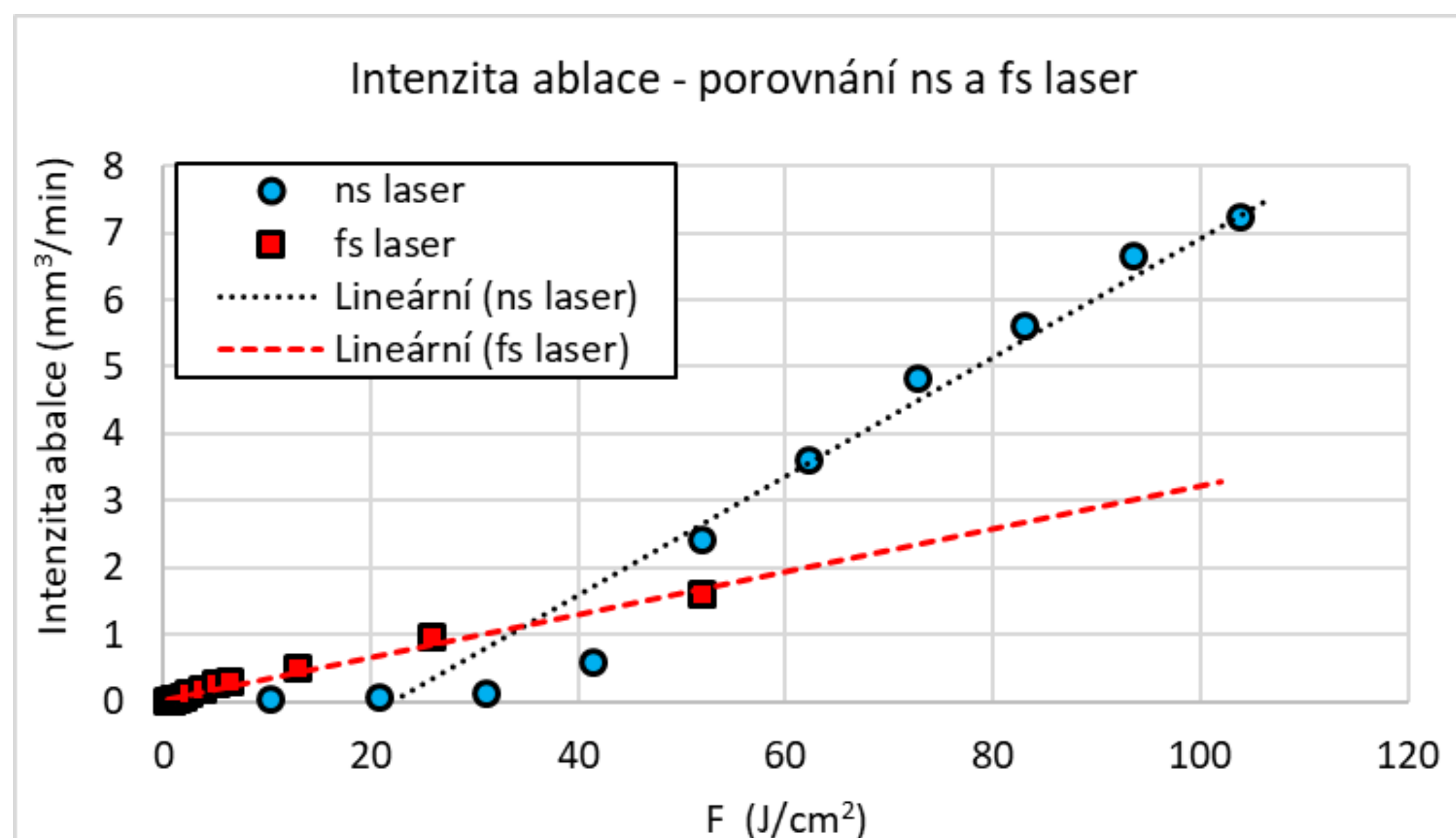
Cílem disertační práce je vytvoření a následně ověření metodiky laserového obrábění slinutého karbidu pro vyšší produktivitu procesu při zachování požadované kvality povrchu a řezivosti nástroje. Klíčovým aspektem řešení je návrh a ověření inovativního přístupu k mikroobrábění slinutého karbidu laserem, který spočívá ve vhodné kombinaci hrubovacích a dokončovacích strategií a podmínek.

### Komplexní přístup

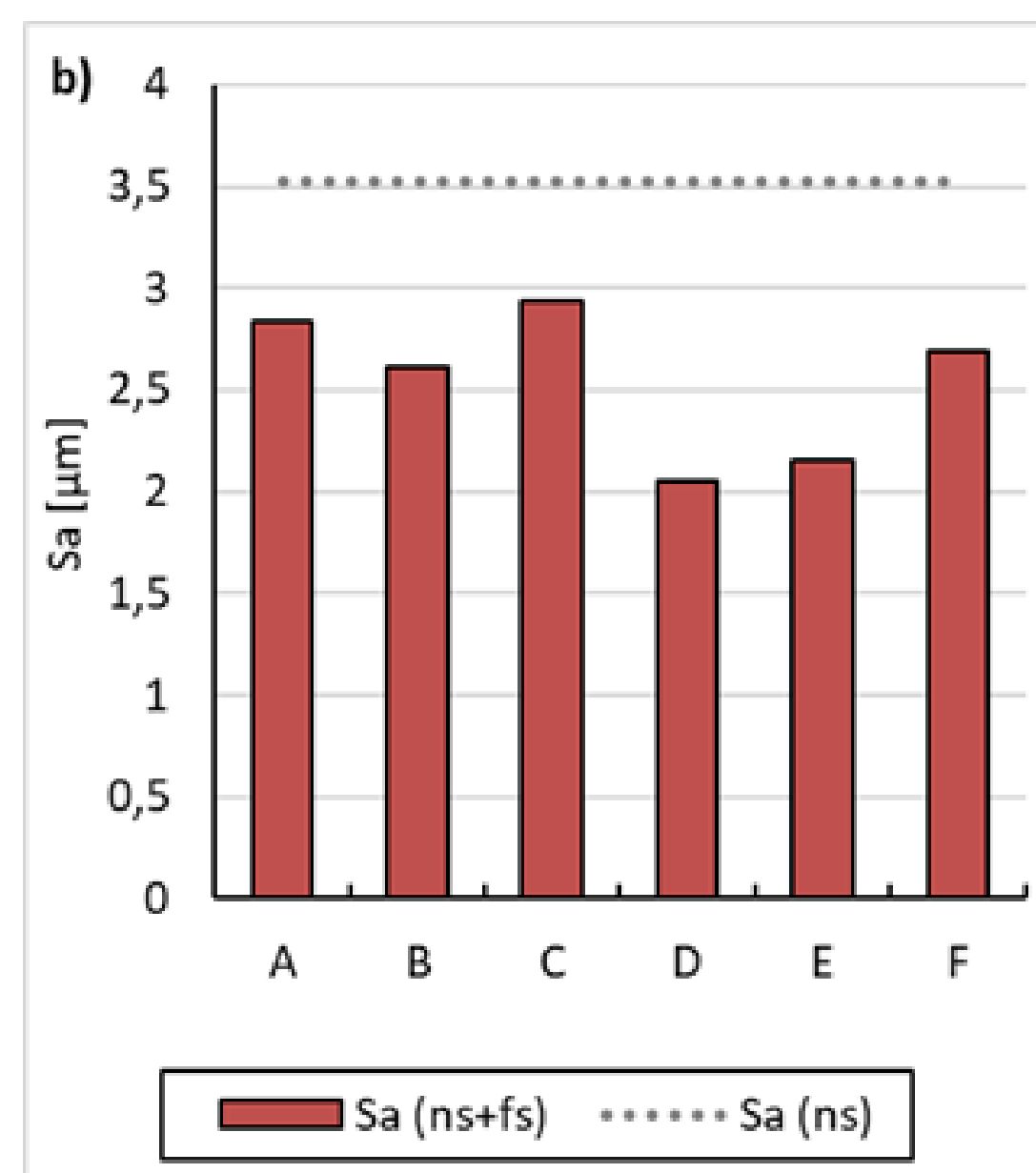
Součástí návrhu vlastního řešení metodiky pro efektivní mikroobrábění laserem je i inovativní komplexní přístup. Hlavní myšlenkou tohoto přístupu je vhodné zkombinování nanosekundového laseru pro proces hrubování a femtosekundového laseru pro dokončování. Pro hrubování je použito laserové zařízení s krátkými pulsy v řádech nanosekund, pro které je možné dosáhnout velmi vysoké intenzity ablace. Pro dokončování je navrženo použití laseru s ultrakrátkými pulsy (UKP) s délkou pulsu ve stovkách femtosekund.

### VÝSLEDKY

Z testů interakce obou laserů se slinutým karbidem byla potvrzena původní myšlenka, a to že většího odebraného objemu materiálu v čase je možné dosáhnout pro nanosekundové pulsy viz Obr. 2.

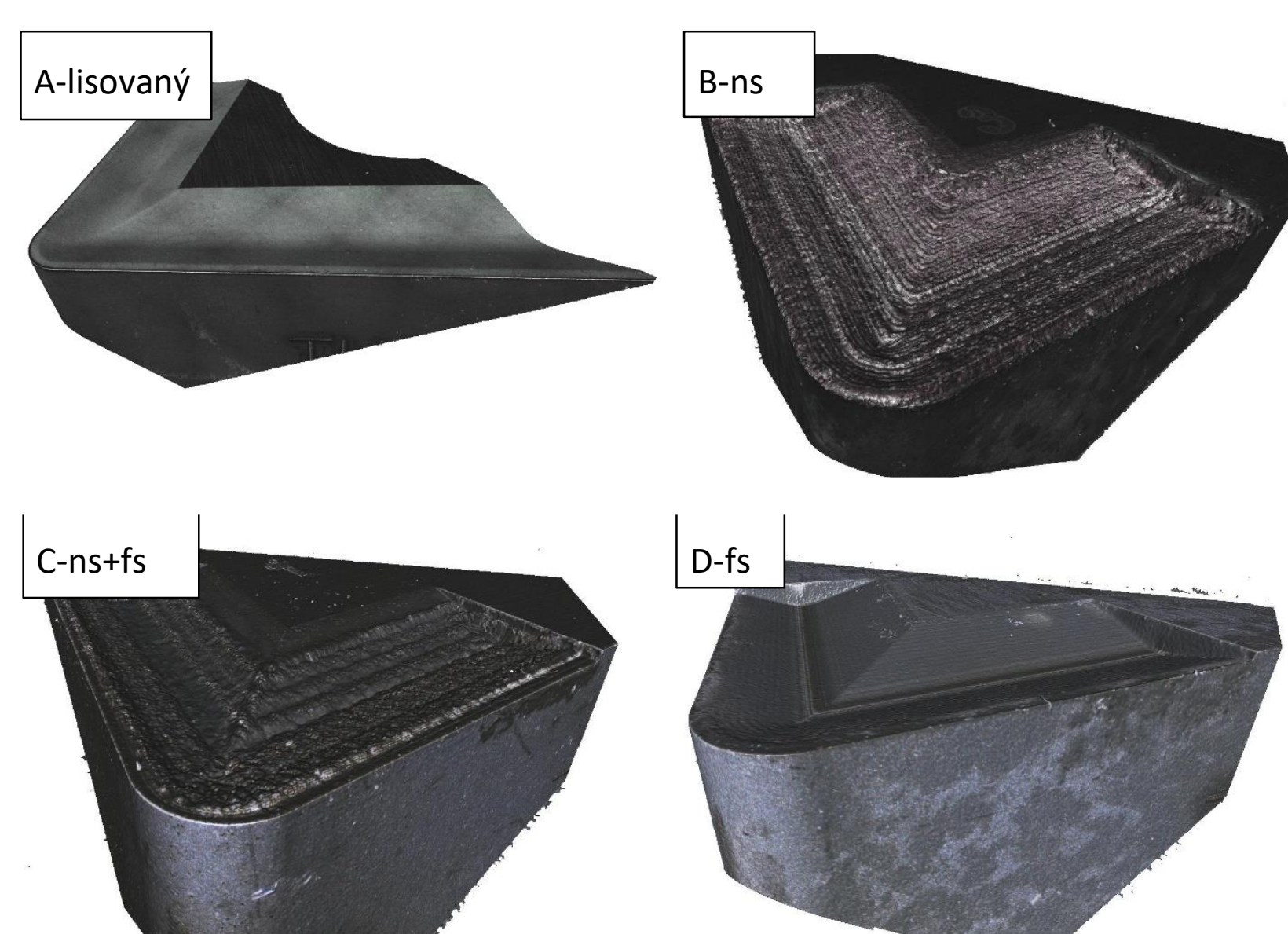


Obr. 2: Porovnání intenzity ablace ns a fs laseru při fundamentálním nastavení



Obr. 3: Dosahovaná drsnost povrchu po prvním experimentu dokončování hrubovaného povrchu fs laserem

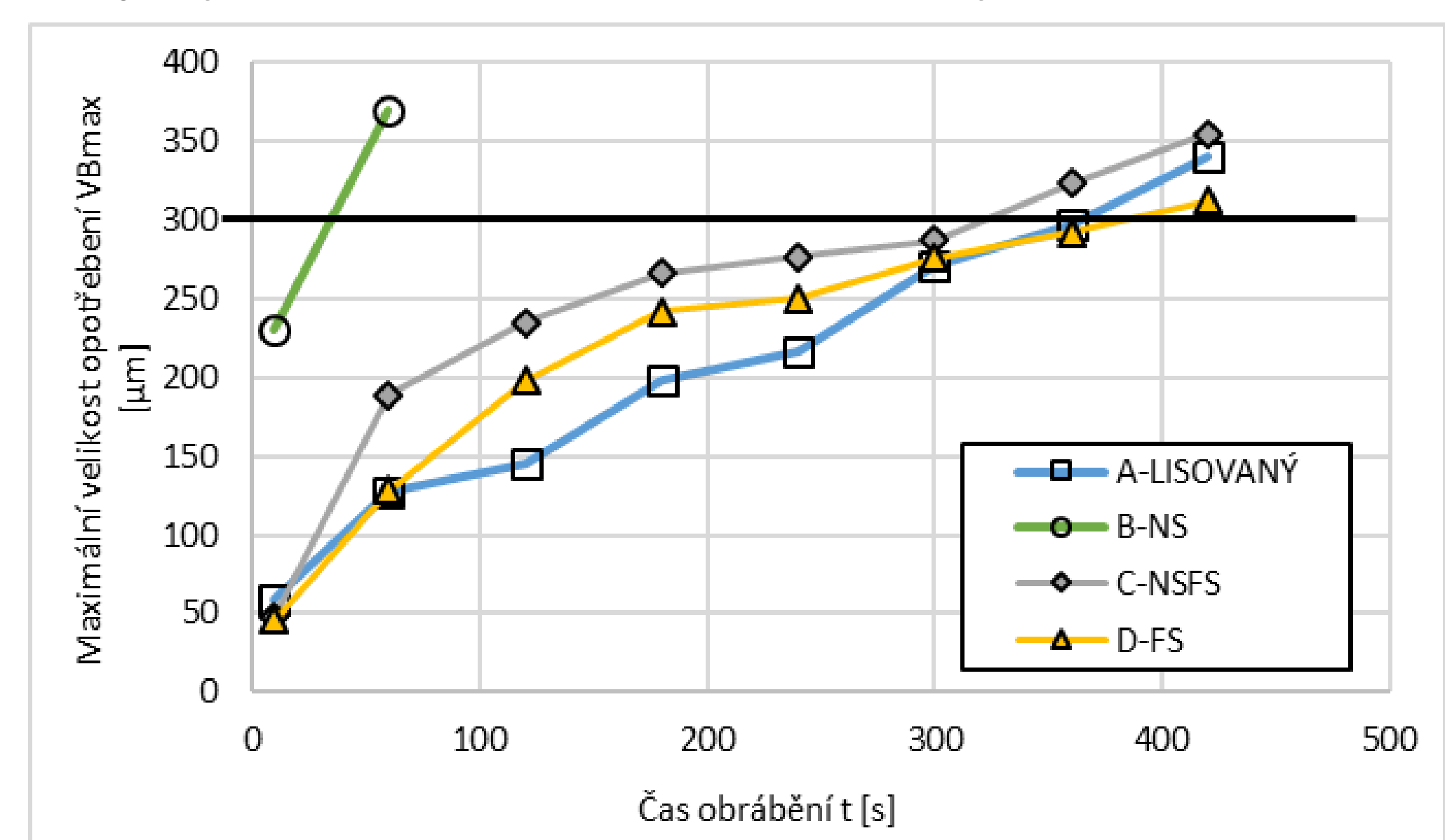
Do komerčně dostupných nástrojů ze slinutého karbidu (TH10) byly vytvořeny utvařeče třísek metodou komplexního přístupu, a pouze femtosekundovým a nanosekundovým laserem. Pro porovnání byl vybrán nástroj s lisovaným utvařečem se stejnou geometrií, která byla vytvářena laserem. K výrobě utvařeče třísek komplexním způsobem byly použity procesní parametry a strategie obrábění z předchozích experimentů, aby byl ověřen celkový postup navržené metodiky. Laserem modifikované nástroje byly v dobré shodě s referenčním nástrojem viz Obr. 4.



Obr. 4: 3D skeny utvařečů třísek pro referenční (A) a laserem vytvořené vzorky (C-D)

### Testy řezivosti nástrojů

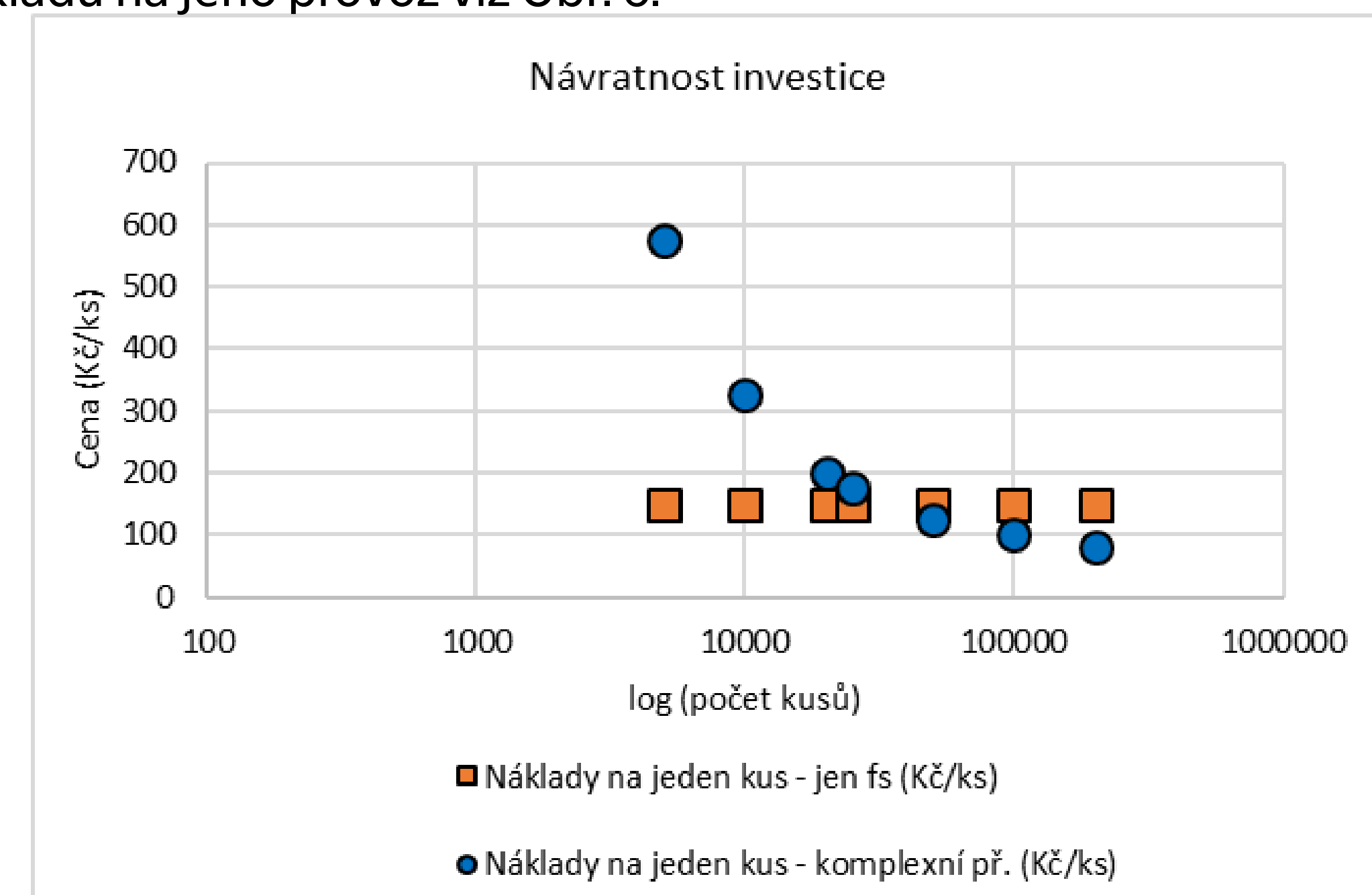
Pro popsání řezivosti laserem modifikovaných nástrojů byly provedeny experimenty podélného soustružení oceli 1.1191. Výstupem řezných zkoušek bylo srovnání trvanlivostí, mechanismů opotřebení, tvorby třísky, řezných sil a drsnosti obrobeneho povrchu. Ukázalo se, že nástroj vytvořený pouze nanosekundovým laserem nedokáže svojí trvanlivostí ( $T = 60$  s) konkurovat ostatním laserem modifikovaným nástrojům ( $T = 360$ , resp.  $T = 420$  s). U nástroje s utvařečem vytvořeným komplexním přístupem byla řezivost srovnatelná s lisovaným nástrojem, včetně řezných sil a utváření třísky. Pro příklad je zde ukázán graf maximálního opotřebení na hřbetě řezného nástroje  $VB_{max}$  (Obr. 5), kde je patrná shoda mezi laserem vytvořenými nástroji a lisovaným utvařečem, kromě nástroje vytvořeného pouze nanosekundovým laserem.



Obr. 5: Závislost maximální velikosti opotřebení na hřbetě  $VB_{max}$  na čase obrábění  $t$

### Ekonomické zhodnocení

V závěru experimentální části této práce byly vytvořeny ekonomické kalkulace představeného komplexního přístupu, a to zejména započtení vícenákladů spojených s pořízením dvou laserových zařízení místo jednoho. Bylo spočítáno, že při provozu strojů na 85 % kapacity v jednosměnném provozu a při odpisové době strojů 10 let bude cena výroby utvařeče třísek komplexním přístupem téměř o polovinu nižší (72 Kč oproti 134 Kč), oproti výrobě pouze femtosekundovým laserem. Následné kalkulace ukázaly, že výhodnost komplexního přístupu roste s objemem vytvářeného utvařeče. Pro malý objem utvařeče třísek je odebíraná vrstva pro hrubování tak malá, že se nevyplatí druhý laser používat. Na závěr byl vypočítán limitní objem dávky, při aktuálních cenách energií a laserových zdrojů, pro který se vyplatí pořízení druhé laserového zařízení pouze pro účely výroby utvařečů třísek včetně nákladů na jeho provoz viz Obr. 6.



Obr. 6: Graf závislosti ceny za jeden kus při různém počtu kusů v dávce při použití pouze fs laseru a komplexního přístupu.

### ZÁVĚR

V práci prezentované přístupy k jednotlivým laserovým technologiím vytváří metodiku pro nastavení optimálního procesu mikroobrábění při využití kombinace dvou laserových zařízení. Navržená unikátní metodika byla následně uplatněna pro výrobu utvařeče třísek na nástroji ze slinutého karbidu. Experimenty obrábění ukázaly, že laserem vytvořené utvařeče třísek dokáží plnohodnotně replikovat vlastnosti lisovaného utvařeče. Navíc výroba utvařeče laserem je flexibilní z hlediska jeho tvaru. Odpadá tak potřeba výroby lisovací formy a jejího následného testování. Výroba nástrojů laserem proto může najít své místo v prototypování utvařečů třísek před finální výrobou lisovací formy. Komplexní přístup je možné využít i při výrobě samotných lisovacích forem, které se také často právě ze slinutého karbidu vyrábí. Využití komplexního přístupu tak povede ke snížení procesních nákladů a času výroby, dle dosažených výsledků v této práci až o 60 - 70%. Ukázalo se, že metoda komplexního přístupu vede k ušetření nákladů na jeden kus až o polovinu při maximálním využitím laserových zařízení pro sériovou produkci utvařečů třísek.