



ENERGIJSKA UČINKOVITOST STROJNEGA ORODJA

Avtorji:

Alexander Steinert – Laboratorij za strojna orodja WZL, RWTH Aachen
dr. inž. Marcel Fey – WZL Aachen GmbH

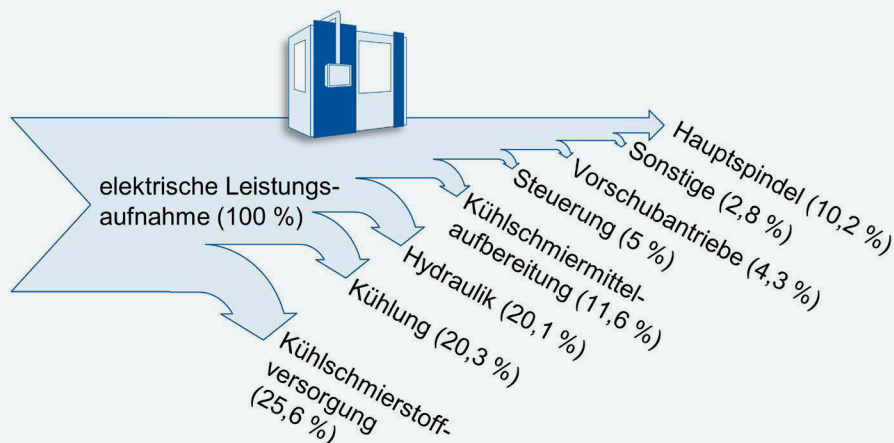
ENERGIJSKA UČINKOVITOST STROJNEGA ORODJA

Zmanjšana ponudba na trgu primarnih virov energije, kot sta nafta in plin, je v zadnjem času, zlasti pa leta 2022, povzročila precejšnjo rast cen električne energije v Zvezni republiki Nemčiji. Cena električne energije (vključno z davkom na električno energijo) za industrijo se je od leta 2019 zvišala za 44 % [1]. Ta drastični in razmeroma kratkoročni razvoj dogodkov predstavlja velike izzive za nemško predelovalno industrijo, zato lahko kratkoročni ukrepi za varčevanje z energijo pomembno prispevajo k stabilizaciji ekonomskega položaja podjetij.

V številnih podjetjih na področju strojogradnje štejejo strojna orodja med največje porabnike električne energije, zato se tu skriva precejšen potencial za prihranke. Vendar pa podjetja pogosto nimajo izkušenj, ki bi omogočile na eni strani oceno teh potencialov, na drugi strani pa oceno možnih učinkov možnih protiukrepov na proizvodnjo. Ta članek je namenjen osvetlitvi teme s konkretnimi številkami za nekaj primerov strojnih orodij.

VPLIV OSNOVNE OBREMENITVE

Upoštevač celoten življenjski cikel strojnega orodja je delež stroškov električne energije že pred omenjenim precejšnjim povečanjem cen električne energije dosegal približno 16,8 % skupnih stroškov (2019) [2]. Ta vrednost bi utegnila biti za leto 2022 še bistveno višja. Prihranki pri električni energiji na strojnih orodjih torej niso le pomemben prispevek k povečanju trajnosti industrijske proizvodnje, temveč tudi precej olajšajo finančno poslovanje podjetja. Za delovanje sodobnega strojnega orodja je značilna uporaba večjega števila glavnih in pomožnih enot. V laboratoriju WZL tehniške visoke šole RWTH Aachen so bile opravljene raziskave o trenutni porabi najpomembnejših enot na primeru centra obdelave, kar prikazuje sl. 1 [3]. V tem primeru lahko glavnemu vretenu, ki zagotavlja rezalno moč, ki zadostuje za potek postopka rezkanja, pripišemo le okrog 10 % porabe električne energije.



Slika 1: Poraba električne energije posameznih enot strojnega orodja, ki temelji na [3]

Velik del porabljene moči in s tem porabe energije gre pripisati pomožnim enotam. Medtem ko glavno vreteno pretvarja električno energijo v mehansko le med procesom obdelave, večina enot deluje v stalnem neuravnavanem delovanju. Po zasuku glavnega stikala in vklopu glavnih pogonov delujejo te enote v stalnih in od potreb neodvisnih razmerah, rezultat česar je lahko ustrezno visok delež osnovne obremenitve. Prave porabnike energije v strojnih orodjih predstavljajo dovod hladilnega maziva, aktivni hladilni sistemi in hidravlične napajalne enote. Neuporabljena naprava ob vklopu lahko hitro postane skriti dejavnik stroškov.

Preglednica 1 prikazuje izmerjene vrednosti povprečne porabe energije in posledične stroške na letni ravni porabljene električne energije 5-osnega sistema obdelave WZL za različne načine delovanja. Navedene cene električne energije ob tem temeljijo na dvoizmenskem obratovanju 300 dni na leto. Če ostanejo osi strojnega orodja med nezasedeno nočno izmeno v teku, npr. iz termičnih razlogov, pomeni to 2.741,47 EUR letnih stroškov. Pri večjem strojnem parku lahko hitro nastanejo temu sorazmerno večje vsote. Izklop strojnih orodij torej je vsekakor potencial za zmanjšanje porabe energije med delovanjem.

Preglednica 1: Srednja poraba moči in stroški električne energije strojnega orodja [4]

Št.	Opis	Poraba moči	Letni stroški električne energije*
1	Stroj vklopljen	0,50 kW	320,33 €
2	Stroj in glavni pogoni vklopljeni	4,29 kW	2.741,47 €
3	Stroj, glavni pogoni in KSS vklopljeni	8,27 kW	5.290,21 €

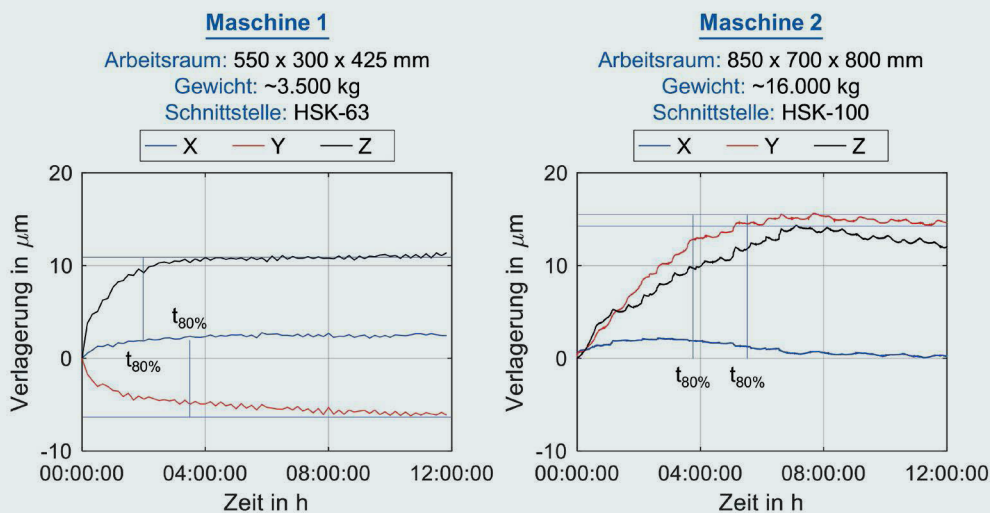
*pri 26,64 ct/kWh [2], 8 h mirovanja stroja dnevno in 300 obratovalnih dneh letno

Redno izklapljanje strojnega orodja pa ne vpliva le na porabo energije, temveč utegne imeti vpliv tudi na dve drugi pomembni točki.

- 1) Energijska učinkovitost strojnega orodja
- 2) Življenjska doba elektronskih komponent

Pri strojnih orodjih z visokimi zahtevami glede natančnosti lahko čezmerna ohladitev strukture v fazah mirovanja pripelje do tega, da med zagonom proizvodnje ni mogoče dosežati zahtevane kakovosti komponent. Številni uporabniki si zato prizadevajo, da bi stroj ves čas deloval v stanju toplotnega ravnovesja. To pa je vselej posledica mejnih toplotnih razmer v stanju mirovanja. Zato ni mogoče podati splošne izjave o tem, koliko ohladitev stroja vpliva na natančnost dela med zagonom proizvodnje. Zato je bilo toplotno obnašanje v vklopljenem stanju raziskano na dveh primerih strojnega orodja (gl. sl. 2). Grafikona prikazujeta bistveno različni toplotni časovni konstanti za dosego 80 % izmenjave v stanju ravnovesja. Medtem ko je mogoče pri stroju 1 (gre za 5-osni stroj majhne skupne mase) razmeroma hitro doseči stanje ravnovesja, potrebuje stroj 2 (4-osni stroj velike skupne mase) zaradi svoje precej večje toplotne kapacitete bistveno daljši čas. Medtem ko lahko redno zaustavljanje sistema

pri izredno velikih strojih ali aplikacijah s posebnimi zahtevami glede natančnosti moti toplotno ravnovesje, obstajajo številne aplikacije, pri katerih ostajajo učinki rednih zaustavitev obratovanja v razumnih mejah.



Slika 2: Potek termo-elastične izmenjave pri dveh strojnih orodjih v vklopljenem stanju (brez premikov osi) [4]

Redno vklapljanje in izklapljanje lahko vpliva tudi na življenjsko dobo elektronskih komponent, kot so polprevodni elementi ali kondenzatorji. Pri vklopu lahko za kratek čas stečejo zagonski tokovi, ki pomenijo večkratnik poznejšega nazivnega toka. Na trgu dostopni pretvorniki so zato serijsko opremljeni z omejevalnikom zagonskega toka, tako imenovanim mehkim stikalom, s katerim brez škode dosegajo frekvence preklopa 120 s.

VPLIV OBREMENITVENIH KONIC

Visoki osni pospeški pri številnih operacijah omogočajo produktivno obdelavo, hkrati pa zahtevajo ustrezno velike zmogljivosti pogona. Strme krivulje hitrosti za kratek čas povzročijo velike osne hitrosti, imenovane tudi obremenitvene konice. V sodobnih krmilnih sistemih je mogoče največji pospešek posameznih osi stroja relativno preprosto spreminjati prek specifikacij stroja. Pri preizkusih na WZL je bil raziskan vpliv obremenitvenih konic na porabo električne energije strojnega orodja (gl. tab. 2). Pri tem je bila opazovana izdelava dveh komponent. Izdelava komponente 1, aluminijastega impelerja, zahteva kompleksno 5-osno obdelovanje s številnimi hitrimi gibi podajalnih osi in uporabo hladilnega maziva. Pri komponenti 2 gre po drugi strani za 3-osni sestavni del iz jekla. Pri poskusih so bile obravnavane tri stopnje pospeška – 100 %, 75 % in 50 %. Medtem ko pri komponenti 2

ni bilo zaznati nobenega vpliva pospeška na produktivnost in porabo energije, je pokazala komponenta 1 povsem drugo sliko. Zmanjšanje pospeška osi pomeni nezanimljivo povečanje časa izdelave vsakega sestavnega dela. V smislu porabe električne energije nastopi zanimiv scenarij. Zmanjšanje vpliva obremenitvenih konic sprva prinaša zmanjšanje porabe energije na komponento. Nadaljnje zmanjšanje pospeška pa povzroči bistven obrat tega učinka. To je mogoče pojasniti s tem, da je vpliv obremenitvene konice na tej točki še razmeroma nizek. Hkrati pa pomeni podaljšanje procesnega časa tudi večji vpliv pomožnih enot v porabi električne energije na izdelano komponento. Na splošno imajo obremenitvene konice kot posledica visokih osnih pospeškov razmeroma majhen vpliv na porabo energije. Zato velja za vsak posamezni primer posebej pretehtati, koliko lahko hitro zmanjšanje pospeška pripomore k doseganju cilja.

Preglednica 2: Vpliv osnega pospeška na procesni čas in porabo energije na podlagi primera dveh komponent

Osni pospešek	Obdelovanec 1 – 5-osni		Obdelovanec 2 – 3-osni	
	100 %	0,804 kWh	3:56 min	1,163 kWh
75 %	0,795 kWh	4:03 min	1,163 kWh	13:07 min
50 %	0,853 kWh	4:15 min	1,163 kWh	13:07 min

Na splošno obstajajo različni ukrepi za povečanje energetske učinkovitosti strojnih orodij. Tudi najpreprostejše meritve tokov na strojnih orodjih lahko prispevajo k preglednosti in tako tvorijo podlago za varčevanje z energijo. Res je tudi, da ukrepi za povečanje produktivnosti na koncu pozitivno vplivajo na porabo električne energije. Dodatna poraba glavnih enot je običajno nesorazmerna s pravimi porabniki električne energije, pomožnimi enotami.

- [1] M. Dehli: Stroški življenjskega cikla strojev in sistemov. V: Energijska učinkovitost v industriji, storitvah in trgovini: Energietechnische Optimierungskonzepte für Unternehmen [Z energijo povezani koncepti optimizacije za podjetja], Wiesbaden, Springer Vieweg, 2019, str. 81–95.
- [2] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252029/umfrage/industriestrompreise-inkl-stromsteuer-in-deutschland/>
- [3] C. Brecher: Effizienzsteigerung von Werkzeugmaschinen durch Optimierung der Technologien zum Komponentenbetrieb [Povečanje učinkovitosti strojnih orodij z optimizacijo tehnologij za delovanje komponent] – EWOTeK, Aachen, založba Apprimus, 2012.
- [4] Laboratorij za strojna orodja WZL Tehniške visoke šole RWTH Aachen