

UVAJANJE TRAJNOSTNIH METOD HLAJENJA IN MAZANJA PRI TEHNOLOŠKIH PROCESIH ODREZAVANJA

ŠTEFAN ŽUN

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
stefan.zun@guest.um.si

Proizvodni sektor odrezavanja kovin močno vpliva na svetovno gospodarstvo in s tem tudi na svetovne naravne vire in ekosisteme. Naraščajoče povpraševanje po blagu in storitvah je povzročilo paradigmo linearne proizvodnje in potrošnje, ki je ni mogoče vzdrževati na dolgi rok. Potreba po prehodu v trajnostno proizvodnjo vključuje tudi zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu, upoštevanje zakonodaje, zagotavljanje primernih delovnih okolij za zaposlene ter ustrezno ravnanje z odpadki (prekomerna uporaba hladilno mazalnih sredstev v procesu odrezavanja kovin). Konvencionalna raba hladilno mazalnih sredstev (HMS) v procesih odrezavanja je netrajnostna z vidika vpliva na okolje in zdravje zaposlenih. Za ovrednotenje učinkovitosti različnih načinov hlajenja in mazanja v procesu odrezavanja vrednotimo pet kazalcev trajnostne proizvodnje: poraba energije, varnost in zdravje zaposlenih, ravnanje z odpadki, stroški obdelave in vpliv na okolje. Za določitev ogljičnega odtisa (ali ekoloških sledi) izdelkov je bistvena poraba energije in snovi, učinkovitost strojne obdelave (življenjska doba orodja), ter ocena življenjskega cikla snovnih tokov. Analiziramo tudi organizacijske pristope in morebitne ovire pri uvajanju trajnostne proizvodnje (trajnostne strategije hlajenja in mazanja).

Ključne besede:

trajnostna proizvodnja, tehnološki procesi odrezavanja, hlajenje in mazanje, življenjski cikel izdelka, varnost in zdravje zaposlenih

INTRODUCTION OF SUSTAINABLE METHODS OF COOLING AND LUBRICATION IN TECHNOLOGICAL CUTTING PROCESSES

ŠTEFAN ŽUN

University of Maribor, Faculty of organizational sciences, Kranj, Slovenia
stefan.zun@guest.um.si

The metal cutting manufacturing sector has a strong impact on the global economy and thus also on the world's natural resources and ecosystems. The increasing demand for goods and services has resulted in a paradigm of linear production and consumption that cannot be sustained in the long term. The need to transition to sustainable production also includes ensuring safety and health at work, complying with legislation, ensuring suitable working environments for employees and proper waste management (excessive use of coolants and lubricants in the metal cutting process). Conventional use of cooling lubricants (HMS) in cutting processes is unsustainable from the point of view of impact on the environment and the health of employees.

In order to evaluate the efficiency of different methods of cooling and lubrication in the cutting process, we evaluate five indicators of sustainable production: energy consumption, employee safety and health, waste management, processing costs and environmental impact. In order to determine the carbon footprint (or ecological footprint) of products, the consumption of energy and materials, the efficiency of machining (tool life), and the assessment of the life cycle of material flows are essential. Also analyzed were organizational approaches and possible obstacles in the introduction of sustainable production (sustainable cooling and lubrication strategies).

Keywords:

sustainable
production,
technological
processes of
cutting,
cooling and
lubrication,
product
life
cycle,
safety and
health of
employees

1 Uvod

Razvoj vsakega ekonomskega sistema temelji na njegovi proizvodni uspešnosti. Koncept trajnostne proizvodnje, ki je usmerjena k integraciji sistemov upravljanja dobavne verige z ekonomskimi, okoljskimi in družbenimi dejavniki pomembno vpliva razvoj opazovanega ekonomskega sistema (Hegab H, 219).

Koncept trajnostne proizvodnje je mogoče interaktivno analizirati na treh glavnih ravneh: izdelek, proces in sistem (Korkmaz 2023). Na ravni izdelka, se osredotočamo na pristop 6R (zmanjšanje porabe, ponovna uporaba, popravilo, ponovno oblikovanje izdelka, predelava, recikliranje, angleško: reduce, reuse, recover, redesign, remanufacture, recycle), tak pristop predstavlja zaključen življenjski krog (Hegab, 219). Na procesni ravni aktivnosti usmerjamo v zmanjšanje porabe energije, obvladovanje nevarnosti in odpadkov. Sistem dobavne verige naj upošteva vse faze življenjskega kroga.

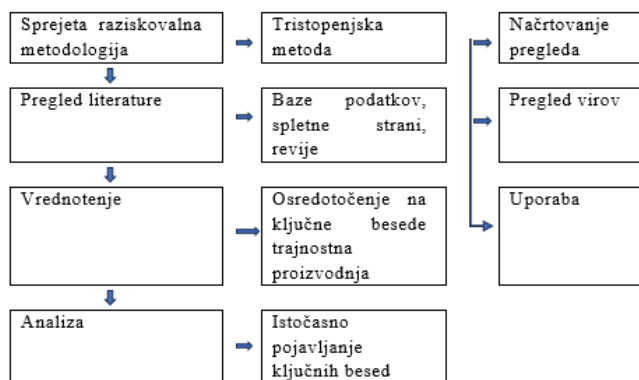
Poglavitni vir negativnih vplivov na okolje in zdravje zaposlenih pri obdelovalnih procesih odrezavanja je povezan z uporabo HMS. V literaturi (Klocke, 1997, Byrne 1993, Pušavec, 2010 Simpson, 2003, Hallock, 1994) je mogoče zaslediti, da uporaba HMS povzroča tveganje za različna zdravstvena tveganja, zato aktivnosti usmerjamo v zmanjševanje porabe HMS.

2 Raziskovalna metodologija

Za vrednotenje uporabljenih načinov hlajenja in mazanja uporabljamo v tabeli 1 prikazane kazalce. Za vsak način, vrednotimo kazalce s točkami 1 do 5 (1 zelo slabo, 5 odlično), nato točke seštejemo in razvrstimo posamezne načine hlajenja in mazanja (več točk - boljše).

Pri uvajanju trajnostne proizvodnje se osredotočamo na učinkovito rabo energije, zmanjševanje količine odpadkov in učinkovitejša masna tokova ter vrednotenje življenjskega kroga izdelka (Korkmaz, 2023), ob upoštevanju ogljičnega odtisa ali ekoloških sledi. Za vrednotenje trajnostnega izdelka je potrebno upoštevati: čas izdelave in priprave izdelka, porabo energije, stroške in porabo energije za transport. Vitka proizvodnja in trajnost sta povezani, saj z zmanjšanje porabe energije na enoto časa vodi do zmanjšanja časa proizvodnje na enoto izdelka.

Pri vrednotenju trajnostnih postopkov uporabe HMS upoštevamo parametre odrezavanja in učinkovitost obdelave. Podatke analiziramo s pomočjo literature kot prikazuje slika 1. Za trajnostno analizo upoštevamo tudi analizo življenjskega kroga.



Slika 1: Prikaz raziskovalne metodologije

Vir. lasten

3 Trajnostni dejavniki pri odrezavanju

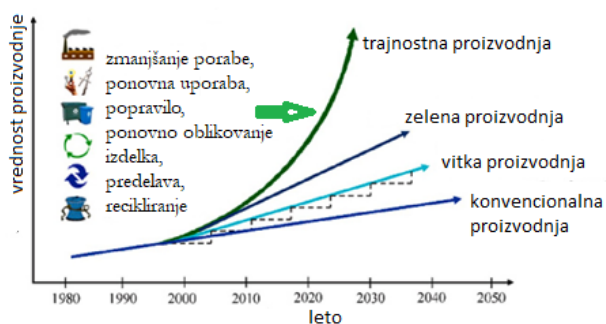
Proizvodni sektor odrezavanja kovin je v središču gospodarstev industrijskih držav, zato je zagotavljanje trajnostne proizvodnje ključno za ohranjanje visokega standarda življenja, ki ga je vzpostavila industrializirana družba, ključne elemente trajnostne proizvodnje so predstavljamo na sliki 2.

Na sliki 3 je prikazan razvoj od konvencionalne do vitke, zelene in končno trajnostne proizvodnje v več generacijah. Nova strategija, imenovana pristop 6R, nadomešča tradicionalni pristop 3R (recycling, reuse, remanufacturing).

Ob upoštevanju rezultatov raziskav (Yilmaz, 2020, Zhou, 2016, Zhao, 2017) najmanjšo **porabo energije** dosegamo ob povečanju odstranjenega materiala na enoto časa, z uporabo ustreznih rezilnih orodij in optimalnimi rezalnimi parametri.



Slika 2: Ključni dejavniki trajnostne proizvodnje
(Korkmaz, 2023)



Slika 3: Prehod na trajnostno proizvodnjo
(prirejeno po Korkmaz, 2023)

Izpostavljenost aerosolom, škodljivim plinom in kovinskim delcem pri odrezavanju predstavlja tveganje za **zdravje zaposlenih** (Shokoohi, 2015). Uporaba konvencionalnih HMS in HMS na osnovi vode (razvoj bakterij in plesni) negativno vpliva na zdravje zaposlenih.

Optimiziranje HMS, rezalnih orodij in parametrov odrezavanja omogoča ustrežnejše **upravljanje z odpadki** (Biron, 2020). Pri postopku odrezavanja nastajajo odrezki, izrabljena HMS in izrabljeno rezilno orodje. Odrezke lahko ponovno uporabimo (3-D tisk kovin, prašnata metalurgija), recikliranje odrezkov, ponovna uporaba ali recikliranje HMS in v nekaterih primerih tudi ostrenje rezalnega orodja (Günan, 2020). Recikliranje HMS je mogoče izvesti s fizikalnimi, kemičnimi in biološkimi postopki (Wu, 2021).

4 Vrednotenje postopkov hlajenja in mazanja pri procesih odrezavanja

4.1 Odrezavanje brez uporabe HMS

Odrezavanje brez uporabe HMS zmanjšuje okoljska tveganja. Povečuje se obraba orodja in slabša kakovost površine, povečuje se poraba energije in temperatura v rezalni coni. Kljub temu tak način odrezavanja glede porabe energije in stroškov strojne obdelave ocenjeno kot učinkovito (Hegab, 2018). Odrezavanje brez uporabe HMS opredeljujemo kot okolju prijazen način obdelave z odrezavanjem.

4.2 Kriogeni način

Kriogeno odrezavanje je postopek, ki znižuje temperaturo rezalne cone z uporabo utekočinjenih plinov (CO_2 , N_2), zmanjša se obraba orodja in ni kemičnih reakcij, ki so posledica povišanja temperature (Pušavec, 210). Boljša je učinkovitost rezalnih procesov in manjša poraba energije. Oprema je zahtevnejša in dražja, zaradi česar ta način ocenjujemo kot srednje učinkovit glede porabe energije. Stroški rezalnega orodja so nižji. Uporaba okolju in zaposlenim nenevarnih plinov prispeva k trajnostnemu načinu odrezavanja, nizke temperature pa predstavljajo nevarnost omrzlin. Kriogeno odrezavanje vrednotimo kot srednje učinkovito glede varnosti in zdravja zaposlenih, ravnanja z odpadki ter vplivov na okolje.

4.3 Minimalna količina uporabe HMS (MQL)

Pri MQL načinu se optimalna količina HMS v meglici razprši v cono rezanja, pri tem načinu dosegamo boljšo učinkovitost postopka odrezavanja (manjše rezalne sile v primerjavi brez uporabe HMS). MQL ima slabše hladilne sposobnosti, saj se bolj

osredotoča na mazalne zahteve (Günan, 2020). Način odrezavanja MQL glede porabe ocenjujemo kot srednje učinkovit, potrebno je dodatno vlaganje za reševanje težav, ki so posledica odvajanja nastale toplote. MQL način je okoljsko prijazen in zmanjšuje negativne vplive na zdravje zaposlenih, kljub temu meglica HML slabo vpliva na okolje. Srednjo stopnjo učinkovitosti upoštevamo pri vplivu na varnost in zdravje zaposlenih, visoko stopnjo pa pri ravnanju z odpadki.

4.4 Nano rezalne tekočine

Pri uporabi nano rezalnih tekočin v tehnoloških procesih odrezavanja dosegamo dobre rezultate pri toplotnih in triboloških lastnostih, zmanjšajo se rezalne sile, zmanjša se obraba orodja ter temperatura v coni rezanja (Sharma, 2015). Pojavljajo se težave zaradi turbulentnega toka, stabilnosti disperzije nano tekočine in visokih stroškov nano tekočine. Poraba energije se zmanjša, vendar je priprava nano tekočine energijsko intenzivna, zaradi tega tek način vrednotimo kot srednje učinkovito. Zaradi visokih stroškov priprave in predelave nano tekočin je takšen način odrezavanja stroškovno nizko učinkovit. Uporaba nano tekočin pri konvencionalnem načinu hlajenja predstavlja negativne vplive na okolje. Tak način postopka odrezavanja na področju ravnanja z odpadki, vlivov na okolje in varnosti in zdravja zaposlenih, ocenjujemo kot nizko učinkovito.

4.5 MQL nano rezalne tekočine

Uporaba nano rezalnih tekočin po načinu MQL v tehnoloških procesih odrezavanja je učinkovita na področju toplotne prevodnosti in zmanjšanju okoljskih vplivov. Porabo energije vrednotimo kot srednje učinkovito, ker ostanejo potrebe po energiji za pripravo nano tekočin enake kot pri konvencionalnem postopku uporabe nano rezalnih tekočin. MQL metoda uporabe nano rezalnih na področju ravnanja z odpadki, vlivov na okolje in varnosti in zdravja zaposlenih, ocenjujemo kot srednje učinkovito. Skupni stroški obdelave so zaradi manjše porabe nano rezalnih tekočin ocenjeni kot srednje učinkoviti.

5 Rezultati trajnostnih postopkov hlajenja in mazanja pri tehnoloških postopkih odrezavanja

Na podlagi vrednotenja za vsak način hlajenja in mazanja pri tehnoloških procesih odrezavanja izračunamo skupno število točk. Postopke vrednotimo na podlagi učinkovitosti, upoštevamo teoretične izračune in praktične izkušnje, rezultate prikazujemo v tabeli 2. Hlajenje in mazanje brez uporabe HMS in kriogeni način izkazujeta najboljše trajnostne načine hlajenja in mazanja pri odrezavanju, najslabša pa je metoda z uporabo nano tekočin. V naslednjem koraku smo pri oceni upoštevali učinkovitost obdelave pri izračunanih parametrih rezanja v laboratorijskih pogojih. Najdaljšo obstojnost orodja je bila dosežena pri hlajenju in mazanju z MQL načinom. Optimalne pogoje rezanja smo določili na podlagi teoretičnih izračunov in praktičnih izkušenj. Učinkovitost merimo z kvocientom med časom rezanja in celotnim časom. Najboljšo učinkovitost smo ugotovili in zasledili v literaturi (Hssan, 2022) pri tehnologiji MQL.

Tabela 1: Vrednotena matrika vrednotenja kazalcev trajnostnega hlajenja in mazanja pri postopkih odrezavanja ob upoštevanju učinkovitosti obdelave (Hegab 219, lastni izračuni)

		Načini hlajenja in mazanja pri postopkih odrezavanja				
		Odrezavanje brez HMS	Kriogeno odrezavanje	MQL	Nano-tekočine	MQL-nano-tekočina
Kazalci trajnostnega odrezavanja	Poraba energije	1	2	2	3	3
	Stroški obdelave	1	2	3	2	3
	Varnost in zdravje zaposlenih	4	3	3	2	3
	Ravnanje z odpadki	5	5	3	2	3
	Vpliv na okolje	5	5	4	2	3
Učinkovitost obdelave		1	5	3	4	4
Skupaj		17	23	18	15	19

Največja poraba energije je pri postopku brez HMS, najučinkovitejša je tehnologija MQL (Hassan,, 2022). Poraba energije povečuje CO₂ odtis (Pavar, 2021), vendar samo kazalec porabe energije ne moremo sprejeti za osnovni kazalec trajnostne proizvodnje. Kot dopolnilo je lahko analiza življenjskega kroga izdelka (LCA) v naslednjih korakih:

- določitev namena in obsega presoje, opis obravnavanega izdelka in vire za izvedbo LCA,
- določitev in analiza snovnih tokov za izdelek, ki vključuje tudi vodo, transport in energijske tokove
- analiza LCA, ki vključuje tudi vpliv na zdravje zaposlenih.

Kot dopolnilo lahko uporabimo metodo ekoloških sledi prikazano v tabeli 3. Pri metodi ekoloških sledi vrednotimo energijske in snovne tokove ter transport. Za vrednotenje ogljičnega odtisa upoštevamo energijske površine (Global Footprint Network, 2024).

Tabela 3: Parametri za določitev ekoloških (Žun, 2004, Global Footprint Network,, 2024)

vrste bioproduktivne površine	energijske	kmetijske	pašniki	gozdovi	vodne	pozidane
	Utežni faktorji za določitev ekoloških sledi različnih tehnologij za proizvodnjo električne energije iz fosilnih goriv in jedrske energije					
	(gha / GWh) opomba: gha = globalni hektari					
termoelektrarne na premog	161					
termoelektrarne na tekoča fosilna goriva	150					
termoelektrarne na plinasta fosilna goriva	94					
jedrske termoelektrarne	161					
	Utežni faktorji za določitev ekoloških sledi , ki nastanejo pri proizvodnji električne energije iz obnovljivih virov energije					
hidroelektrarne						18

vrste bioproduktivne površine	energijske	kmetijske	pašniki	gozdovi	vodne	pozidane
toplotne elektrarne na biomaso				30		
vetrne elektrarne	4					1
geotermalna energija	20					
PV elektrarne						24
	Utežni faktorji za določitev ekoloških stopinj, ki so posledica transportnih sredstev					
	(gha/t km)					
železniški tovorni transport	$0,01 \cdot 10^{-3} \cdot 0,98$					$0,01 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02$
cestni tovorni transport	$0,07 \cdot 10^{-3} \cdot 0,99$					$0,07 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01$
letalski tovorni transport	$0,07 \cdot 10^{-3}$					
ladijski tovorni transport	$0,01 \cdot 10^{-3}$					
Utežni faktorji za transport so izračunani glede na povprečno porabo goriva, povprečno zasedenost transportnih sredstev, izdelave in vzdrževanja ter potrebno površino cest. Pri letalskem prometu so upoštewane le emisije v troposferi.						
	Pretvorbeni faktorji za določitev ekoloških sledi materiala (uporabe, odpadki, recikliranje)					
	(gha/t)					
surovine						
jeklo in jeklene zlitine	0,8*0,81					0,8*0,19
aluminij in ostale barvne kovine	9,8*0,81					9,8*0,19
odpadki						
aluminij in ostale barvne kovine						9,4*0,19
ostale kovine						5*0,09
ponovna uporaba snovi						
jeklo	0,8*0,81*0,15					-0,8*0,19
surovina za aluminij in ostale barvne kovine	9,8*0,81*0,95					-9,8*0,19
voda	Vodo obravnavamo kot lokalni vir, vso vodo iz hladilno mazalnega sistema je potrebno prečistiti in kot tako vrniti v vodotoke					

Pri tej metodi izračunamo porabo posamezne dobrine (energenti in snovi), to porabo nato pomnožimo z utežnim faktorjem. Ekološke sledi porazdelimo na šest različnih tipov bioproduktivnih površin prostora.

$$ES = \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^6 k_{j,l} r_{j,l} \quad (1)$$

- l , vrsta energenta ali snovi (),
- j , vrsta bioproduktivne površine (),
- r , raba posamezne dobrine (GWh/leto ali t/leto),
- kl_j , pretvorbeni faktor za posamezno dobrino, razdeljeno po tipih bioproduktivne površine

Ugotovimo, da sta metodi MQL uporabe nano tekočine in kriogeni način hlajenja in mazanja pri postopkih obdelave z odrezavanjem najbolj trajnostna načina obdelave, pri teh metodah dosežemo najboljše razmerje trajnostne proizvodnje in učinkovitosti obdelave. Metodi MQL in obdelava brez uporabe HML sta trajnostni proizvodnji, kar je potrebno upoštevati pri spremenjenih pogojih proizvodnje (delavniška proizvodnja, malo število kosov).

6 Sklepi

Pričakuje se, da bodo proizvodna podjetja prevzela trende uvajanja zelene trajnostne proizvodnje tudi pri tehnoloških procesih odrezavanja. Uvajanje trajnostnega pristopa v tehnoloških procesih odrezavanja ponuja usmeritve za določitev rezalnih parametrov za vsako specifično tehnološko operacijo odrezavanja posebej. Uporaba umetne inteligence omogoča kreiranje podatkovnih zbirk ustreznih podatkov, ki bi bile dostopne brez dodatnih stroškov in na ta način pripomogle k uvajanju trajnostne proizvodnje.

V raziskavi primerjalne študije je predstavljen pregled ocene trajnosti in učinkovitosti različnih strategij hlajenja in mazanja pri tehnoloških postopkih odrezavanja: odrezavanje brez HMS, kriogeno odrezavanje, MQL, nano-tekočine, MQL-nano-tekočina. Za merjenje učinkovitosti teh strategij so uporabljeni kazalci trajnosti proizvodnje: poraba energije, stroški obdelave, varnost in zdravje zaposlenih, ravnanje z odpadki, vpliv na okolje ter učinkovitost obdelave. Rezultati raziskav so

pokazali, da sta rezanje brez HMS in MQL najustreznejša načina hlajenja in mazanja v smislu trajnosti. Kriogeni način in MQL-nano-tekočine pa sta izkazali enakovredno trajnostno učinkovitost glede na preučevane trajnostne vidike. Najslabši rezultati so bili opaženi pri uporabi nano-rezalnih tekočin. Ob upoštevanju učinkovitosti obdelave sta se MQL-nano tekočine in kriogena obdelava izkazali kot najbolj trajnostna načina hlajenja in mazanja pri odrezavanju, ki združujeta ravnovesje interesov glede trajnosti proizvodnje in učinkovitosti obdelave.

Za nadaljnje delo se je potrebno osredotočiti na podrobnejšo razpravo glede vsakega trajnostnega kazalca in na možnost uporabe prilagojene metode ekoloških sledi, predvsem zaradi njene razširjenosti

References

- Biron M., An overview of sustainability and plastics: a multifaceted, relative, and scalable concept, in: *A Pract. Guid. to Plast. Sustain*, Elsevier, 2020, pp. 1–43, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012821539500001X?via%3Dihub>, 29.12.202
- Byrne, G. and E. Scholta, Environmentally clean machining processes—a strategic approach. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 1993. 42(1): p. 471-474,
- Global Footprint Network, <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>, 4.1.2024
- Günan F., Kıvık T., Yıldırım Ç.V., M. Sarıkaya M., Performance evaluation of MQL with Al₂O₃ mixed nanofluids prepared at different concentrations in milling of Hastelloy C276 alloy, *J. Mater. Res. Technol.* 9, 2020, 10386–10400, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.018>. 30.12.2023
- Hallock, M. F., Smith, T. J., Woskie, S. R., & Hammond, S. K. (1994). Estimation of historical exposures to machining fluids in the automotive industry. *American journal of industrial medicine*, 26(5), 621-634.
- Hassan K., Comparative life cycle analysis of environmental and machining performance under sustainable lubrication techniques, *Hybrid Advances*, Volume 1, December 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773207X22000045> 25.12.2023
- Hegab H., H A. Kishawya H.A., B. Darrasb B., Sustainable Cooling and Lubrication Strategies in Machining Processes: A Comparative Study, 16th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Sustainable Manufacturing for Global Circular Economy, 2019
- Hegab, H. A., Darras, B., & Kishawy, H. A. ,2018, Towards sustainability assessment of machining processes. *Journal of Cleaner Production*, 170, 694-703.
- Klocke, F. and G. Eisenblätter, Dry cutting. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 1997. 46(2): p. 519-526.
- Korkmaz M.E., Gupta M.K., Sworna Ross N., Sivalingam V., Implementation of green cooling/lubrication strategies in metal cutting industries: A state of the art towards sustainable future and challenges, *Sustainable Materials and Technologies*, Volume 36, July 2023, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993723000763?via%3Dihub> , 25.12.2023
- Pusavec, F., Kramar, D., Krajnik, P., Kopac, J., 2010, Transitioning to sustainable production—part II:

- evaluation of sustainable machining technologies. *Journal of Cleaner Production*, 18(12), 1211-1221. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652610000260>, 30.12.2023
- Sharma, A.K., A.K. Tiwari, and A.R. Dixit, Progress of nanofluid application in machining: a review. *Materials and Manufacturing Processes*, 2015. 30(7): p. 813-828, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10426914.2014.973583?scroll=top&needAccess=true>, 30.12.2023
- Shokoohi Y., Khosrojerdi E., Rassolian Shiadhi B.H., Machining and ecological effects of a new developed cutting fluid in combination with different cooling techniques on turning operation, *J. Clean. Prod.* 94, 2015 330–339, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615000591?via%3Dihub> 30.12.2023
- Simpson, A. T., Stear, M., Groves, J. A., Piney, M., Bradley, S. D., Stagg, S., & Crook, B. (2003). Occupational exposure to metalworking fluid mist and sump fluid contaminants. *Annals of Occupational Hygiene*, 47(1), 17-30.
- Wu X., Li C., Zhou Z., Nie X., Chen Y., Zhang Y., Cao H., Liu B., Zhang N., Said Z., Debnath S., Jamil M., Ali H.M, Sharma S., Circulating purification of cutting fluid: an overview, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 117, 2021, 2565–2600, <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07854-1>. 30.12.2023
- Yilmaz, S. , Karabulut, A. Güllü, A review of the chip breaking methods for continuous chips in turning, *J. Manuf. Process.* 49, 2020, 50–69, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1526612519303664?via%3Dihub> (29.12.2023)
- Zhao G.Y., Liu Z.Y., He Y., Cao H.J., Guo Y.B., Energy consumption in machining: classification, prediction, and reduction strategy, *Energy.* 133, 2017, 142–157, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217308666?via%3Dihub> 29.12.2023
- Zhou, L., J. Li, F. Li, Q. Meng, J. Li, X. Xu, Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review, *J. Clean. Prod.* 112 (2016) 3721–3734, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615006617?via%3Dihub> 19.12.2023
- Žun, Š., Ekološko sledenje razvoja lokalnih skupnosti = Ecological follow-up of the development of local communities : magistrsko delo, Ljubljana, 2004

