



Pomurska Obzorja

POMURSKA OBZORJA

Odgovorni urednik	Mitja Slavinec (Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Slovenija)
Glavni urednik:	Milan Svetec (Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Slovenija)
Tehnična urednika	Petra Cajnko (Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Slovenija)
	Leon Vratar (Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Slovenija)
Oblikovanje naslovnice	Tilen Žbona
Vrsta publikacije	E-publikacija (spletna izdaja)
Dostopno na	https://journals.um.si/index.php/pomurska-obzorja

UREDNIŠKI SVET

Damir Josipovič, Albina Nečak Lük, Vesna Kondrič Horvat, Darja Senčur-Peček, Petra Cajnko, Mirjam Sepesy Maučec, Rafael Mihalič, Igor Emri

NASLOV UREDNIŠTVA

Združenje Pomurska akademsko znanstvena unija, Uredništvo revije POMURSKA OBZORJA

Lendavska 15a, SI-9000 Murska Sobota, Slovenija

e-pošta: pazu@pazu.si, <https://www.pazu.si/publikacije-pazu/pomurska-obzorja/>

ZALOŽNIK / PUBLISHED BY

Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba

Slomškov trg 15, 2000 Maribor, Slovenija

e-mail: zalozba@um.si, <https://press.um.si/>, <https://journals.um.si/>

ISSN 2350-6113 (tiskana izdaja)

ISSN 2820-3658 (spletna izdaja)

Članki se referirajo v: Cobiss, dLib.si (Digitalna knjižnica Slovenije)

Članki v reviji niso recenzirani. Revija POMURSKA OBZORJA je strokovna tiskana periodična publikacija Pomurske akademije – PAZU. Glavni namen izdajanja revije je objavljanje strokovnih prispevkov z naravoslovno, tehnično, biotehnično, medicinsko, humanistično in družboslovno vsebino ter tako seznanjati strokovno kakor tudi laično javnost z dogajanjem in novostmi na teh področjih. Posebna pozornost je namenjena objavljanju strokovnih prispevkov, ki bodo obravnavali teme povezane s Pomurjem.

Za dodatne informacije obiščite spletno stran: <https://journals.um.si/index.php/pomurska-obzorja>

Revija POMURSKA OBZORJA ima prosti spletni dostop (Open Access Journal).



© Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba

/ University of Maribor, University Press

Besedilo / Text © Authors, 2023

To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav 4.0 Mednarodna. / *This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0 International License.*

Uporabnikom je dovoljeno reproduciranje brez predelave avtorskega dela, distribuiranje, dajanje v najem in priobčitev javnosti samega izvirnega avtorskega dela, in sicer pod pogojem, da navedejo avtorja in da ne gre za komercialno uporabo. / *This license allows users to copy and distribute the material in any medium or format in unadapted form only, for noncommercial purposes only, and only so long as attribution is given to the creator.*

Vsa gradiva tretjih oseb v tej knjigi so objavljena pod licenco Creative Commons, razen če to ni navedeno drugače. Če želite ponovno uporabiti gradivo tretjih oseb, ki ni zajeto v licenci Creative Commons, boste morali pridobiti dovoljenje neposredno od imetnika avtorskih pravic. / *Any third-party material in this book is published under the book's Creative Commons licence unless indicated otherwise in the credit line to the material. If you would like to reuse any third-party material not covered by the book's Creative Commons licence, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.*

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Prispevke pošljite na naslov uredništva ali po e-pošti na naslov: pazu@pazu.si



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

POMURSKA OBZORJA

Letnik
10

Številka
19

avgust 2023

Prispevki	Stran
Kapljice vode na spolzkih tekočerkristalnih površinah Uroš Tkalec	1
Radiološke spremembe pljuč pri COVID-19 pljučnici Marija Šantl Letonja in Anamarija Meolic	9
Vzroki za curke plazme v Zemljinem magnetnem ovoju Primož Kajdič	19
Reciklabilnost tiskane RFID antene na digitalnem odtisu Diana Gregor Svetec, Andreja Pogačar in Ivana Bolanča Mirković	39

KAPLJICE VODE NA SPOLZKIH TEKOČEKRISTALNIH POVRŠINAH

UROŠ TKALEC

Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Inštitut za biofiziko Ljubljana, Slovenija.

Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija.

Institut Jožef Stefan, Odsek za fiziko trdne snovi, Ljubljana, Slovenija.

E-pošta uros.tkalec@mf.uni-lj.si

Sprejeto

22. 6. 2022

Izdano

18. 8. 2023

DOPISNI AVTOR

E-pošta: uros.tkalec@mf.uni-lj.si

Povzetek V prispevku so predstavljeni rezultati raziskav o kemijski aktivnosti mikrolitrskih kapljic vode na spolzkih poroznih površinah, ki temeljijo na anizotropnih lastnostih tekočih kristalov. Spolzke, s tekočinami impregnirane mikroporozne površine, ki odbijajo tako vodo kot olje, so zadnje desetletje v ospredju interdisciplinarnih raziskav [1-3]. Zaradi izjemnih fizikalnih lastnosti, kot so odpornost na zmrzal, samoceljenje, optična prosojnost in funkcionalnost pri visokih tlakih, take površine obetajo številne možnosti uporabe, med drugim v medicini, pri dezinfekciji in čiščenju embalaže, prevlekah površin in pri preciznem zaznavanju kemikalij. Lani so bili izdelani prvi primerki takih površin na osnovi tekočih kristalov [4, 5], ki omogočajo selektivno spreminjanje kemijske sestave kapljic vode glede na temperaturno nastavljivo mezofazo. Izkazuje se, da na drsenje kapljic prvenstveno vpliva pozicijski red tekočekristalnih molekul ob stični plasti, medtem ko je prenos kemikalij med nemešljivima tekočinama odvisen od orientacijske urejenosti mezofaze. Polzeče kapljice vode na takih površinah lahko izjemno učinkovito odstranjujejo ione težkih kovin, kar nakazuje možnosti uporabe pri varovanju okolja, v biomedicinski diagnostiki in kemijski sintezi

Ključne besede:

kapljice,
tekoči kristali,
fazni prehodi,
mikrofluidika,
odzivne površine



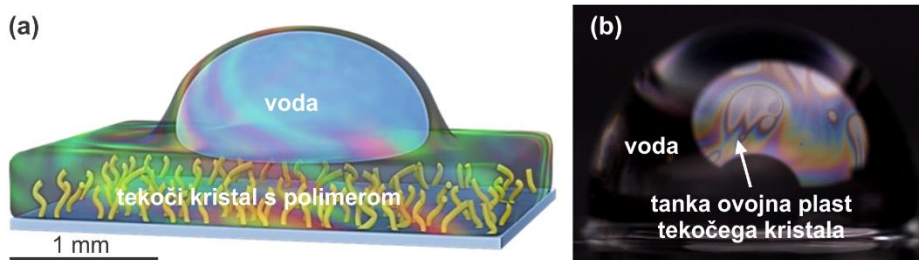
1 Uvod

Spolzke, s tekočino impregnirane mikroporozne površine, ki odlično preprečujejo močenje različnim tekočinam, so bile pred desetletjem prvič zasnovane po zgledu rastline vrčnice, ki najbolje uspeva v tropskih predelih Azije [1]. Površina njenih listov je zaradi enakomerno razporejenih mikroskopskih por, ki so napolnjene s tanko plastjo lubrikanta, izjemno spolzka in zato neugodna za pobeg različnih insektov, ki pristanejo na njej. Umetno narejene spolzke površine so običajno sestavljene iz gosto prepletene mreže nanovlaken, ki tvorijo spužvasto ogrodje, v katero se zaradi kapilarnih sil ujame mazalna tekočina oziroma repelent. Tako pripravljene površine so relativno poceni in enostavne za izdelavo, izjemno robustne in odporne na poškodbe ter obenem dovolj gladke in spolzke, da preprečijo oprijem najrazličnejšim vrstam tekočin. Dovolj je že naklon nekaj stopinj, da kapljice zdrsnejo in slej ko prej padejo čez rob, zato imajo izreden potencial za samo-čiščenje, preprečevanje zmrzali in mikrofluidične aplikacije na odprtih površinah [2]. Doslej so bile takšne spolzke površine izdelane iz polimernih in trdnih materialov, za omočenje pa so se skoraj izključno uporabljala mazivna olja različnih gostot in viskoznosti. V sodelovanju z ameriško skupino raziskovalcev sem se zato lotil izdelave in testiranja novega tipa mehkih spolzkih površin, ki temeljijo na anizotropnih lastnostih tekočih kristalov.

2 Opis problema

Na področju mikrofluidike se v zadnjem času pojavlja trend raziskav odprtih površin, ki za razliko od prostorsko ograjenih kanalčkov in kapilar omogočajo bolj neodvisno kontrolo premikanja tekočin in spreminjanje njihove kemijske sestave. Težave pri tem pristopu temeljijo na adsorpciji površinsko aktivnih snovi, ki zmanjšujejo mobilnost kapljic in jih slej ko prej zalepijo na podlago. V tem pogledu predstavljajo neizkoriščen potencial tekoči kristali, ki so oljem podobne tekočine, a imajo zaradi notranje orientacijske in deloma translacijske urejenosti več temperaturno nastavljivih mezofaz. Kljub temu pa uporaba tekočih kristalov v stiku z vodo na milimetrski skali ni trivialna, saj kapljice vode na površini v hipu odlepijo tekočekristalne plasti in onemogočijo tovrstne poskuse. Zato je bila zasnova ustrezno strukturiranih poroznih podlag (slika 1), ki preprečijo razvlaževanje tankih

tekočokristalnih plasti z vodo, ključen korak k raziskavam drsenja, prenosa mikrodolcev in samo-čiščenju na takih podlagah [4].



Slika 1: (a) Kapljica vode na porozni tekočokristalni površini, ki je stabilizirana s polimerom podobne oblike kot so molekule tekočega kristala. Nanos tankega filma tekočega kristala na tako pripravljeno podlago je stabilen in ob stiku z vodo tvori tanko ovojno plast (b), ki ne ovira premikanja kapljice po površini.

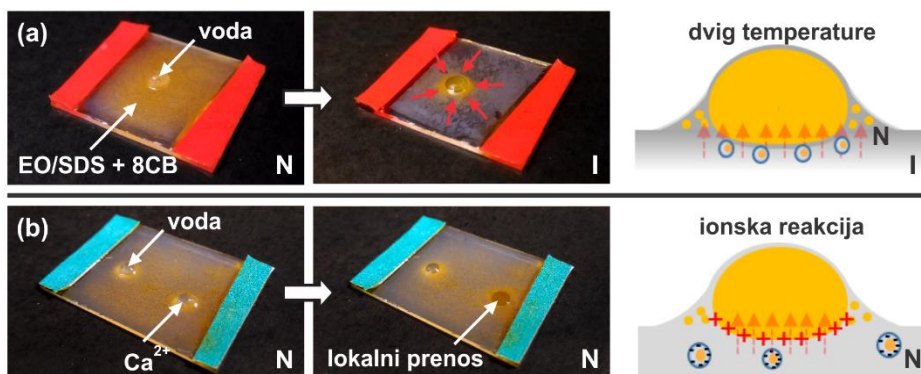
Vir: lasten

3 Eksperimentalni pristop

Spolzke in porozne tekočokristalne površine smo pripravili z mešanjem 90 % nereaktivnega mezogena 8CB in 10 % reaktivnega monomera RM257. Mešanica je bila na tanko nanešena na silanizirane koščke stekla, dodana pa je bila še majhna količina fotoiniciatorja DMPAP, ki je po 20 minutnem obsevanju z UV svetlobo z RM257 tvoril gobasto nanoporozno strukturo, na katero smo nazadnje nalili 100 μL čistega 8CB. Tako je nastala okoli 70 μm debela plast tekočega kristala, na katero smo s pipeto nanašali nekaj mikrolitrov velike kapljice deionizirane vode. Poskusi so potekali pri sobni temperaturi, temperatura podlage in fazni prehodi med mezofazami tekočega kristala 8CB pa so bili nadzorovani z laboratorijskim grelcem. Pri nekaterih poskusih smo v 8CB primešali vodne mikrokapljice z barvilom etiloranž (EO) in tako nastalo emulzijo stabilizirali s surfaktantom SDS. Na podoben način so bili dodani tudi kalcijevi ioni Ca^{2+} . Posnetki so bili narejeni z digitalnim fotografskim aparatom Canon EOS 750D in obdelani z grafičnim orodjem CorelDRAW.

4 Rezultati

V tem sklopu eksperimentov s kapljicami vode na spolzkih tekočokristalnih površinah smo se osredotočili na manipulacijo kemijske sestave sedečih vodnih kapljic. Izkoristili smo možnost prenosa mikrodelcev med tekočokristalno podlago in vodo, ki se je nedavno izkazala za še eno izmed izjemnih lastnosti tekočokristalnih kompozitov [6]. Z zaporedjem temperaturno sproženih faznih prehodov med orientacijsko urejeno nematsko (N) fazo in vodi podobno izotropno (I) fazo je namreč mogoče sproščati mikrodelce, ki so ujeti v tekočem kristalu v čisto vodo, ki meji na tekočokristalno plast. Elastične sile dolgega dosegga, ki so zaradi orientacijskega reda molekul prisotne v nematiku, z dvigom temperature čez N-I fazni prehod izginejo in omogočijo prenos koloidnih delcev čez vmesno plast.

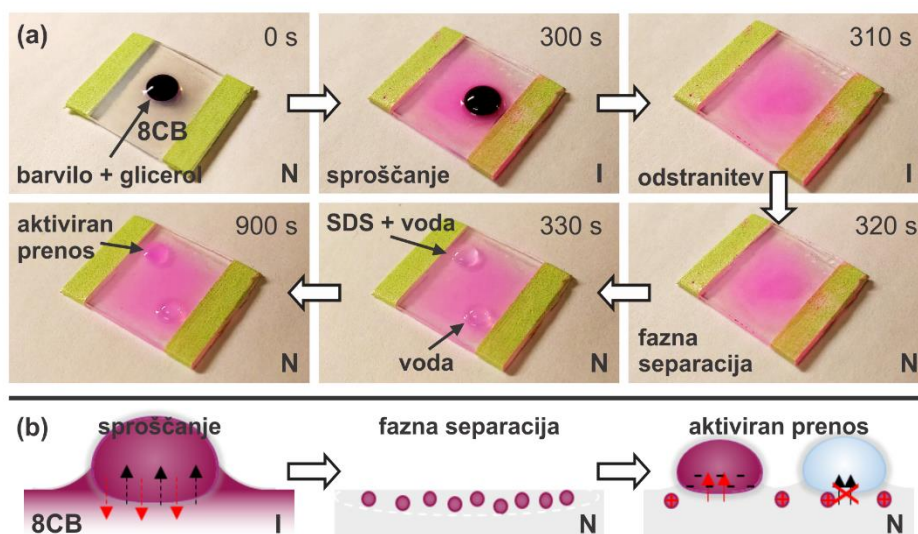


Slika 2: (a) Temperaturno aktiviran prenos mikrokapljič vode s surfaktantom SDS in barvilom EO iz tekočega kristala 8CB v čisto kapljico vode na površini. (b) Podoben prenos mikrodelcev je mogoče doseči z uporabo nasprotno nabitih ionov, ki jih predhodno dodamo v kapljico vode na površini. Taka kapljica se v nekaj minutah napolni z barvilom.

Vir: lasten

Primer takega prenosa mikrokapljič vode z barvilom EO iz tekočega kristala 8CB v čisto kapljico vode je prikazan na sliki 2(a). Prenos se zgodi v nekaj minutah in oranžno obarvano barvilo se skoncentrira v sedeči kapljici vode in njeni neposredni

okolici. Večina mikrokapljic se prenese s pomočjo kapilarnih sil preko meniskusa, ki se nadaljuje v tanek tekočokristalni ovoj okoli kapljice in na ta način je mogoče prenesti do 90 % razpršenih delcev iz segrete podlage [4]. Podobno učinkovitost in hitrost prenosa obarvanih mikrokapljic je mogoče doseči tudi z uporabo ionov, ki jih dodamo v sedečo kapljico vode. Na sliki 2(b) je prikazan lokalni prenos z SDS-om stabiliziranih mikrokapljic vode z etiloranžem iz nematske faze tekočega kristala 8CB v sedečo kapljico vode z dodanimi kationi Ca^{2+} . V tem primeru segrevanje v izotropno fazo ni potrebno, saj poskrbi za preboj elastične bariere elektrostatska sila, ki nastane med ionsko reakcijo negativno nabitih anionov v surfaktantu SDS in pozitivno nabitimi kationi Ca^{2+} v makroskopski kapljici vode.



Slika 3: (a) Časovno zaporedje korakov reverzibilnega prenosa barvila iz kapljice glicerola v tekočokristalno podlago in zajem tega dispergirane barvila iz tekočega kristala v nematski fazi v kapljico vode z dodanimi anioni. (b) Shematski prikaz kombiniranega temperaturno in ionsko aktiviranega reverzibilnega sproščanja barvila iz glicerola v tekoči kristal in iz tekočega kristala nazaj v kapljico vode.

Vir: lasten

V nadaljevanju smo poskusili izvesti še reverzibilni prenos obarvanih mikrokapljic med izotropno tekočino in tekočerkristalno podlago. Najprej smo na čisto plast 8CB nanegli kapljico glicerola z barvilom rodamin B, nato smo tekočerkristalno površino segreti v izotropno fazo in s tem povzročili sproščanje tega barvila v podlago. Tekoči kristal se je obarval vijolično in ostal tak tudi po ohlajanju v nematsko fazo. Med tem procesom je na mikroskopskem nivoju prišlo do fazne separacije barvila in kondenzacijo glicerola v mikrokapljice, saj se glicerol dobro raztaplja v segreti izotropni fazi 8CB, kar je omogočilo dokaj homogeno obarvanje tekočerkristalne podlage. Ker se je podlaga nato ohladila v nematsko fazo, avtomatsko sproščanje obarvanih mikrokapljic glicerola iz 8CB nazaj v dodano čisto kapljico vode ni bilo mogoče. Vseeno pa smo lahko izvedli tak reverzibilni prenos raztopljenega glicerola z barvilom, če smo v kapljico vode dodali anionski surfaktant SDS. Zaporedje korakov tega poskusa je prikazano na sliki 3(a), postopek pa smo lahko ponovili nekajkrat zapored, brez vidnih sprememb oziroma poškodb spolzke tekočerkristalne površine. Shematska razlaga tega mehanizma je dodatno prikazana na sliki 3(b).

Podobno zaporedje poskusov je mogoče izvesti tudi z drugimi makromolekulami in ioni težkih kovin [4]. Aplikativno zanimiva je recimo razgradnja organskih primesi oziroma razstrupljanje v vodi z uporabo večkratnega temperaturno aktiviranega prenosa TiO_2 nanodelcev v vodni medij ob osvetljevanju z UV svetlobo. Na ta način je mogoče sprožiti fotokatalitsko razgradnjo makromolekul, ki so morebiti prisotne v na terenu odvzetih vzorcih vode. S podobnim pristopom lahko zaznavamo tudi zelo majhne količine ionov težkih kovin v vodi, ki se ob primerni uporabi nasprotno nabitih ionov v tekočem kristalu oborijo na vmesni površini. V preliminarnih poskusih [4] so namreč pokazali, da je prag zaznave ionov težkih kovin na tak način nižji od enega delca na milijon molekul vode.

5 Zaključek

V prispevku sem na kratko predstavil nov tip spolzkih mikroporoznih tekočin na osnovi tekočih kristalov, ki jih lahko s pridom uporabimo za molekularne prenose snovi v kombinaciji z vodnim medijem. Zanimiva je predvsem specifična razklopitev funkcionalnosti molekularne urejenosti tekočega kristala, ki po eni strani skrbi za

nemoteno drsenje kapljic vode po podlagi tako v nematski kot tudi v izotropni fazi, po drugi strani pa omogoča premostitev elastične bariere in relativno enostaven prenos makromolekul in mikrodelcev med sicer nemešljivima tekočinama. Prihodnje raziskave bodo zato usmerjene v širšo uporabnost takih površin in v njihov razvoj na področju mikroreaktorjev, biokompatibilnosti in mikrofluidičnih aplikacij z odprtimi odzivnimi površinami.

Literatura

- T.-S. Wong, S. H. Kang, S. K. Y. Tang, E. J. Smythe, B. D. Hatton, A. Grinthal, J. Aizenberg, Bioinspired self-repairing slippery surfaces with pressure-stable omniphobicity. *Nature* 477, 443 (2011).
- J. D. Smith, R. Dhiman, S. Anand, E. Reza-Garduno, R. E. Cohen, G. H. McKinley, K. K. Varanasi, Droplet mobility on lubricant-impregnated surfaces. *Soft Matter* 9, 1772 (2013).
- M. A. Samaha, M. Gad-el-Hak, Slippery surfaces: A decade of progress. *Physics of Fluids* 33, 071301 (2021).
- Y. Xu, A. M. Rather, Y. Yao, J.-C. Fang, R. S. Mamtani, R. K. Bennett, R. G. Atta, S. Adera, U. Tkalec, X Wang, Liquid crystal based open surface microfluidics manipulate liquid mobility and chemical composition on demand. *Science Advances* 7, eabi7607 (2021).
- H. Agarwal, K. E. Nyffeler, U. Manna, H. E. Blackwell, D. M. Lynn, Liquid crystal infused polymer surfaces: A slippery soft material platform for the naked-eye detection and discrimination of amphiphilic species. *ACS Applied Materials & Interfaces* 13, 33652 (2021).
- Y.-K. Kim, X. Wang, P. Mondkar, E. Bukusoglu, N. L. Abbott, Self-reporting and self-regulating liquid crystals. *Nature* 557, 539 (2018).

RADIOLOŠKE SPREMEMBE PLJUČ PRI COVID-19 PLJUČNICI

MARIJA ŠANTL LETONJA¹ IN ANAMARIJA MEOLIC²

Sprejeto

3. 8. 2022

Izdano

18. 8. 2023

¹Splošna bolnišnica Murska Sobota, Radiološki oddelek, Murska Sobota, Slovenija.

²Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Ljubljana, Slovenija.

E-pošta: marija.santl@gmail.com

DOPISNI AVTOR

marija.santl@gmail.com

Ključne besede:

COVID-19,
COVID-19 pljučnica,
računalniška
tomografija,
radiogram pljuč in srca,
spremembe pljuč

Povzetek Radiogram pljuč in srca (RTG PC) in slikanje prsnih organov z računalniško tomografijo (CT) imata pomembno vlogo pri diagnosticiranju, prikazu začetnih sprememb in sledenju bolnikov, ki so okuženi z virusom SARS-CoV-2. RTG PC je manj občutljiva preiskava, a je hitra, enostavna in jo lahko opravimo ob bolniški postelji, obenem pa predstavlja zlati standard za kontrolo sprememb v pljučih bolnikov z COVID-19 pljučnico. CT ima visoko občutljivost v diagnosticiranju COVID-19 pljučnice. Infiltrati mlečnega stekla in konsolidacija pljučnega parenhima so glavne spremembe, ki so vidne na CT. Razporeditev infiltratov je tipično obojestranska in periferna. Manj tipične spremembe so plevralni izliv, kavitacije, pnevmomediastinum in pnevmotoraks.



1 Uvod

COVID-19 je zelo infektivna bolezen, ki jo povzroča SARS-CoV-2 iz skupine koronavirusov. O bolezni so prvič poročali v Wuhanu, na Kitajskem decembra 2019 (1). Marca 2020 je Svetovna zdravstvena organizacija razglasila pandemijo COVID-19. Bolezen, za katero sta značilni velika obolevnost in visoka smrtnost, je dosegla globalne razsežnosti. SARS-CoV-2 najpogosteje prizadene dihalni sistem, bolezen pa lahko poteka s prisotnostjo blagih znakov kot npr. vročina in kašelj, lahko pa se pojavijo tudi resni znaki, kot so dihalna stiska, pljučnica, bakterijska superinfekcija, motnje strjevanja krvi s tromboemboličnimi dogodki in multiorganska odpoved ter smrt (2).

Okužbo s SARS-CoV-2 potrdimo z RT-PCR testom, ki je zelo specifičen za SARS-CoV-2, vendar ima nižjo senzitivnost (65–95 %), kar pomeni, da je test lahko lažno negativen, čeprav je bolnik v resnici okužen. Drugi problem pa predstavlja čakanje na rezultat testa, kar v povprečju traja 24 ur. Pogoste laboratorijske najdbe so zmanjšana raven limfocitov in povišana vrednost visoko senzitivnega C-reaktivnega proteina (3).

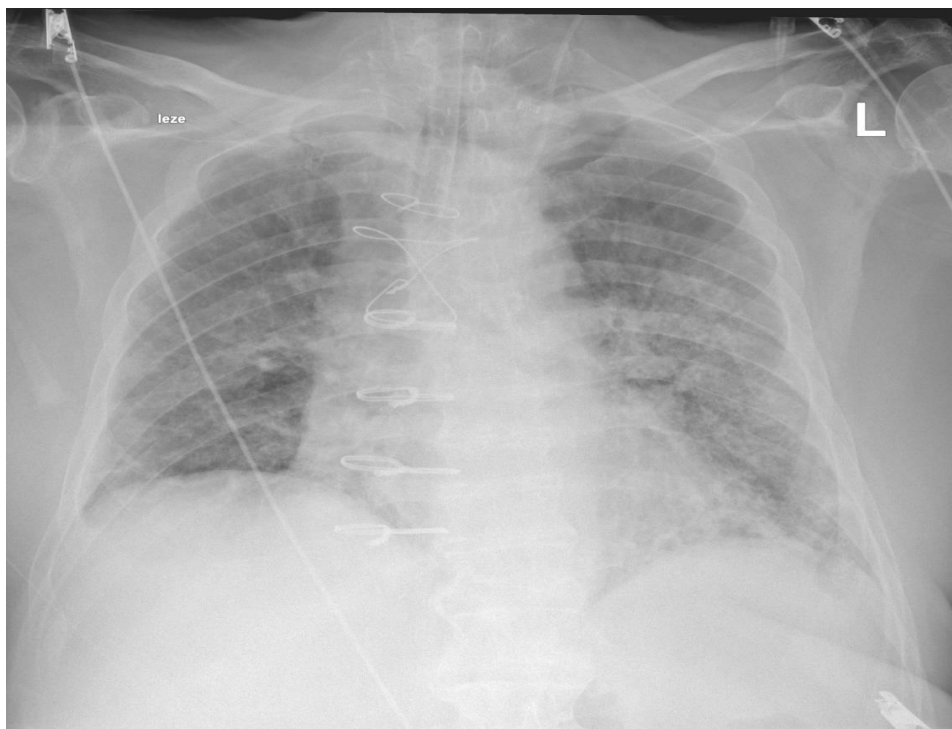
Slikovne diagnostične metode imajo pomembno vlogo pri diagnostiki in spremljanju COVID-19 pljučnice. Radiogram pljuč in srca (RTG PC) opravimo ob sprejemu bolnika v bolnišnico, vendar ta ni senzitiven za začetne bolezenske spremembe, kot so infiltrati mlečnega stekla, in je v prvi fazi bolezni lahko odčitana kot normalna. Z računalniško tomografijo (CT) prikažemo zgodnje spremembe pljuč in napredovanje bolezni (4). S preiskavo CT torej ne le, da prikažemo znake COVID-19 pljučnice, ki na RTG PC niso vidni, temveč lahko identificiramo bolnike, okužene s SARS-CoV-2, pri katerih je izhodiščni RT-PCR test še negativen (5).

2 Radiološke spremembe COVID-19 pljučnice na RTG PC

RTG PC je manj občutljiva modaliteta za prikaz sprememb COVID-19 pljučnice v začetni fazi, Wong s sodelavci namreč poroča o 69 % občutljivosti (6). Najpogostejši izvidi so infiltrati mlečnega stekla in konsolidacija (7). Infiltrate mlečnega stekla pogosto obkrožajo retikularni infiltrati. V nekaterih primerih je zaradi zabrisanih infiltratov ocena otežena.

Bakterijska pljučnica je običajno unilateralna in prizadene en lobus, COVID-19 pljučnica in ostale virusne pljučnice pa prizadenejo več kot en lobus. Identifikacija multifokalne pljučnice na RTG PC je značilna za COVID-19 pljučnico. Razporeditev infiltratov je običajno v spodnjih pljučnih režnjih in bilateralno (8).

Unikatna in specifična značilnost COVID-19 pljučnice je pogosta prizadetost perifernih delov pljuč, Ming-Yen s sodelavci ugotavlja 86 % pojavnost perifernih infiltratov (3). Periferni infiltrati so multifokalni, nepovezani ali konfluirajoči v napredovalem stadiju. Difuzni pljučni infiltrati imajo podoben izgled kot ostala vnetja ali sindrom akutnega respiratornega distresa. Pljučni infiltrati lahko hitro preidejo v difuzne ali v konsolidacijo po 1 do 3 tednih trajanja bolezni, pogosto so najizrazitejši od 6. do 12. dne po izbruhu bolezenskih znakov (9). Ko vnetni proces zajame večji del pljučnega parenhima, so bolniki hipoksični in potrebujejo mehansko predihavanje. Pojav plevralnega izliva pri COVID-19 pljučnici je redek, pojavlja pa se v poznem stadiju bolezni (10).



Slika 1: Napredovale spremembe COVID-19 pljučnice

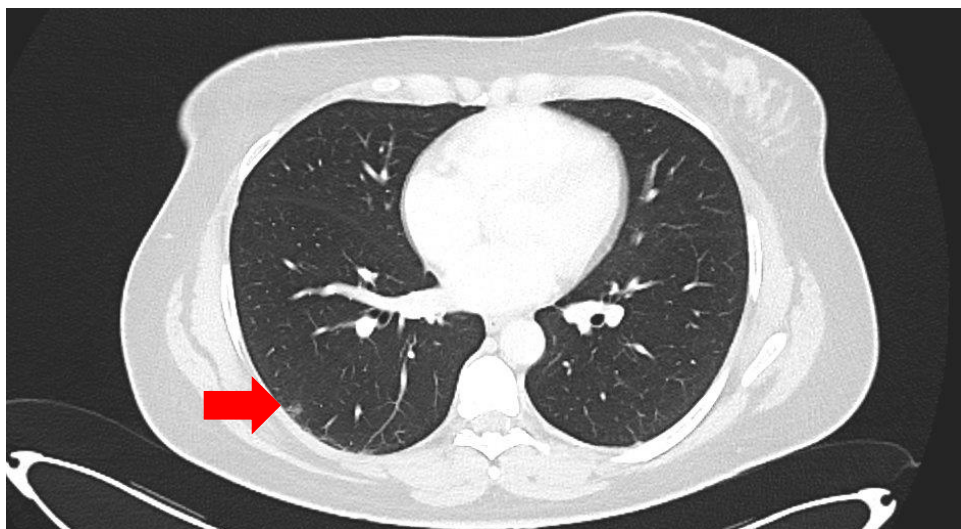
Vir: lasten

Na RTG PC lahko zasledimo kavitacije v pljučih in pnevmotoraks, redka zapleta COVID-19 pljučnice pa sta lahko tudi difuzni podkožni emfizem in pnevmomediastinum. Posledica poškodbe alveolov je njihova ruptura in vdor zraka v subplevralni prostor in mehka tkiva (11).

RTG PC ima pomembno vlogo pri spremljanju bolnikov s COVID-19 pljučnico, saj z njegovo pomočjo primerjamo radiograme in sledimo dinamiki sprememb v pljučih. Preiskavo opravimo v rdeči coni ali v enoti intenzivne medicine, kar zmanjša možnost razsoja infekcije (12).

3 CT spremembe COVID-19 pljučnice

Infiltrati mlečnega stekla so prve spremembe, ki jih vidimo na CT in so značilni za COVID-19 pljučnico (13). Razporejeni so periferno in subplevralno. Pri večini bolnikov je zajetih več lobusov, predvsem spodnji lobusi. V začetni fazi bolezni je areal unifokalen, najpogosteje je lokaliziran v spodnjem lobusu desnih pljuč (14). Infiltrati mlečnega stekla imajo večjo denziteto kot okolni zdravi parenhim. Nekoliko so zabrisane konture žil in bronhusov. Izgled je posledica delnega izpodrivanja zraka iz zračnih poti in zadebelitve intersticija (15).



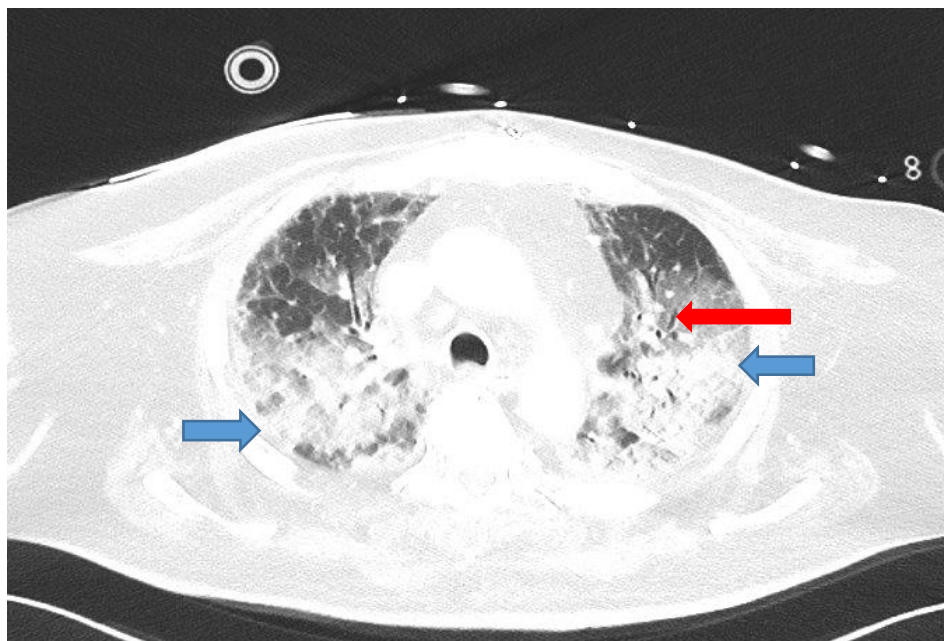
Slika 2: Začetne spremembe Covid-19 pljučnice, sprememba je označena z rdečo puščico

Vir: lasten

Kombinacija arealov mlečnega stekla in zadebeljenih intralobarnih in interlobarnih sept je znana tudi kot t. i. »crazy paving« vzorec. V arealih mlečnega stekla so žile razširjene, značilne so trakcijske bronhiektazije. Pojavljajo se lahko tudi subpleuralne zadebelitve in porušena struktura parenhima.

Konsolidacija pljučnega parenhima v začetni fazi bolezni je opisana pri manjši skupini bolnikov (10). Nastanek konsolidacije je posledica tekočine, vezivnega tkiva ali celic, ki zapolnijo dihalne poti. Avtorji pojav konsolidacije opisujejo v 5–63 % primerov, najpogosteje pa jo zasledimo 2 tedna po izbruhu bolezni (16).

Zračni bronhogram je posledica ujetega zraka v bronhusih, ki jih obkroža vnetno spremenjeni parenhim. O tem pojavu pri bolnikih s COVID-19 pljučnico poročajo v 80 % primerov (17). Zračne bule predstavlja zrak, ki je ujet v majhnih prostorih, pri čemer lahko gre za patološko dilatacijo fiziološkega prostora ali raztrganih bronhiektazij ali tudi posledico resorpcije konsolidacije (18).



Slika 3: Napreduvala Covid-19 pljučnica s konsolidacijami in zračnim bronhogramom. Konsolidacije so označene z modrimi puščicami, zračni bronhogram je označen z rdečo puščico

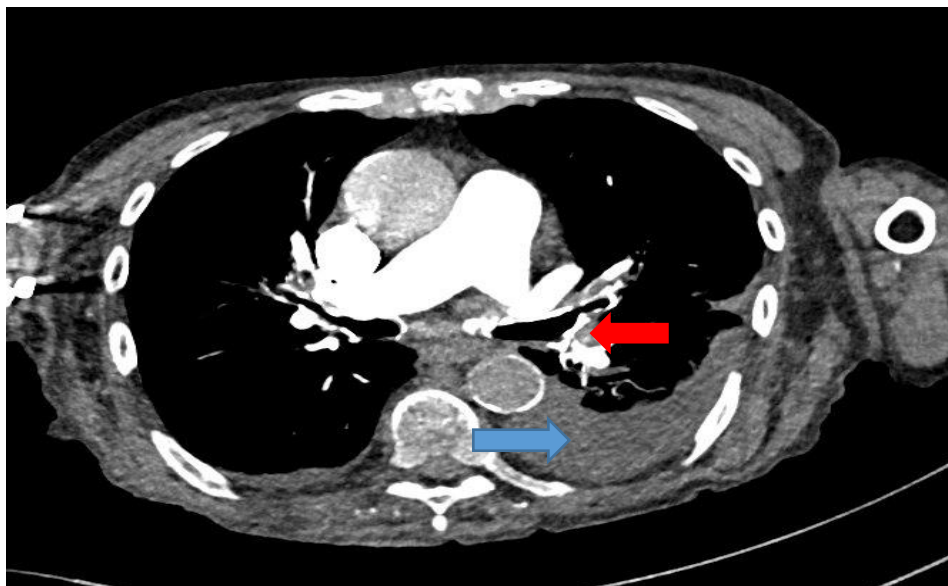
Vir: lasten

Plevralni izliv, perikardialni izliv in patološko povečane bezgavke v mediastinumu so pri bolnikih s COVID-19 pljučnico redko opisani. Spontani pnevmotoraks in pnevmomediastinum lahko predstavljata zaplet tako pri bolnikih z mehansko ventilacijo kot tudi pri tistih, ki so prejeli kisik preko dihalne maske (19).

CT znake COVID-19 pljučnice razdelimo v 4 faze:

1. Zgodnja faza, ki traja od 0–4 dni: infiltrati mlečnega stekla, vzorec »crazy paving«, manjše število prizadetih lobusov;
2. Progresivna faza, ki traja 5–8 dni: Razširitev infiltratov;
3. 10–13 dni: Konsolidacija;
4. Več kot 14 dni: Faza absorpcije (15).

Pri bolnikih, kjer se klinična slika slabša in poslabšanja ni mogoče pojasniti s spremembami parenhima, se priporoča opravljanje CT angiografije pljučnih arterij za diagnozo pljučne embolije. Povišana vrednost D-dimerja ni povedna, saj sama infekcija s SARS-CoV-2 zvišuje vrednost tega parametra (20).



Slika 4: Pljučna embolija in plevralni izliv pri COVID-19 pljučnici. Plevralni izliv je označen z modro puščico, polnitveni defekt v pljučni arteriji, značilen za pljučno embolijo pa z rdečo puščico

Vir: lasten

Centrilobularni nodusi, mukoidna impaktacija in unilateralna segmentacija ali lobarna konsolidacija so posledice bakterijske superinfekcije (21).

4 Zaključek

RTG PC je manj senzitivna preiskava, vendar je še zmeraj zlati standard za sledenje COVID-19 pljučnice, saj je preiskava hitra in poceni, opravimo pa jo lahko kar ob bolnikovi postelji.

V času epidemije ima CT pomembno vlogo za zgodnjo identifikacijo pljučnice pri okužbi s SARS-CoV-2. Tipični znaki COVID-19 pljučnice, vidni ob preiskavi CT, so infiltrati mlečnega stekla, ki so razporejeni multifokalno in nato preidejo v infiltrate organizirajoče pljučnice. CT izvid ima napovedno vrednost za prognozo bolezni. Bolniki s slabo prognozo imajo več infiltratov, ki so bolj konsolidirani. S preiskavo CT prikažemo zaplete COVID-19 pljučnice.

Literatura

1. Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zhao, X., Huang, B., Shi, W., Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, G. F., Tan, W., & China Novel Coronavirus Investigating and Research Team (2020). A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *The New England journal of medicine*, 382(8), 727–733. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>
2. Estrada E. (2020). Fractional diffusion on the human proteome as an alternative to the multi-organ damage of SARS-CoV-2. *Chaos (Woodbury, N.Y.)*, 30(8), 081104. <https://doi.org/10.1063/5.0015626>
3. Ng, M. Y., Lee, E., Yang, J., Yang, F., Li, X., Wang, H., Lui, M. M., Lo, C. S., Leung, B., Khong, P. L., Hui, C. K., Yuen, K. Y., & Kuo, M. D. (2020). Imaging Profile of the COVID-19 Infection: Radiologic Findings and Literature Review. *Radiology. Cardiothoracic imaging*, 2(1), e200034. <https://doi.org/10.1148/ryct.2020200034>
4. Chen, X., Zhang, G., Hao, S. Y., Bai, L., & Lu, J. J. (2020). Similarities and Differences of Early Pulmonary CT Features of Pneumonia Caused by SARS-CoV-2, SARS-CoV and MERS-CoV: Comparison Based on a Systemic Review. *Chinese medical sciences journal = Chung-kuo i hsueh k'o hsueh tsa chih*, 35(3), 254–261. <https://doi.org/10.24920/003727>
5. Xie, X., Zhong, Z., Zhao, W., Zheng, C., Wang, F., & Liu, J. (2020). Chest CT for Typical Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pneumonia: Relationship to Negative RT-PCR Testing. *Radiology*, 296(2), E41–E45. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200343>
6. Wong, H., Lam, H., Fong, A. H., Leung, S. T., Chin, T. W., Lo, C., Lui, M. M., Lee, J., Chiu, K. W., Chung, T. W., Lee, E., Wan, E., Hung, I., Lam, T., Kuo, M. D., & Ng, M. Y. (2020). Frequency

- and Distribution of Chest Radiographic Findings in Patients Positive for COVID-19. *Radiology*, 296(2), E72–E78. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020201160>
7. Chung, M., Bernheim, A., Mei, X., Zhang, N., Huang, M., Zeng, X., Cui, J., Xu, W., Yang, Y., Fayad, Z. A., Jacobi, A., Li, K., Li, S., & Shan, H. (2020). CT Imaging Features of 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV). *Radiology*, 295(1), 202–207. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200230>
 8. Vilar, J., Domingo, M. L., Soto, C., & Cogollos, J. (2004). Radiology of bacterial pneumonia. *European journal of radiology*, 51(2), 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2004.03.010>
 9. Bernheim, A., Mei, X., Huang, M., Yang, Y., Fayad, Z. A., Zhang, N., Diao, K., Lin, B., Zhu, X., Li, K., Li, S., Shan, H., Jacobi, A., & Chung, M. (2020). Chest CT Findings in Coronavirus Disease-19 (COVID-19): Relationship to Duration of Infection. *Radiology*, 295(3), 200463. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200463>
 10. Salehi, S., Abedi, A., Balakrishnan, S., & Gholamrezaezhad, A. (2020). Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Systematic Review of Imaging Findings in 919 Patients. *AJR. American journal of roentgenology*, 215(1), 87–93. <https://doi.org/10.2214/AJR.20.23034>
 11. Poston, J. T., Patel, B. K., & Davis, A. M. (2020). Management of Critically Ill Adults With COVID-19. *JAMA*, 323(18), 1839–1841. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.4914>
 12. Orsi, M. A., Oliva, G., Toluian, T., Valenti Pittino, C., Panzeri, M., & Cellina, M. (2020). Feasibility, Reproducibility, and Clinical Validity of a Quantitative Chest X-Ray Assessment for COVID-19. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 103(2), 822–827. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0535>
 13. Cheng, Z., Lu, Y., Cao, Q., Qin, L., Pan, Z., Yan, F., & Yang, W. (2020). Clinical Features and Chest CT Manifestations of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in a Single-Center Study in Shanghai, China. *AJR. American journal of roentgenology*, 215(1), 121–126. <https://doi.org/10.2214/AJR.20.22959>
 14. Wang, Y., Dong, C., Hu, Y., Li, C., Ren, Q., Zhang, X., Shi, H., & Zhou, M. (2020). Temporal Changes of CT Findings in 90 Patients with COVID-19 Pneumonia: A Longitudinal Study. *Radiology*, 296(2), E55–E64. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200843>
 15. Zhou, S., Wang, Y., Zhu, T., & Xia, L. (2020). CT Features of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pneumonia in 62 Patients in Wuhan, China. *AJR. American journal of roentgenology*, 214(6), 1287–1294. <https://doi.org/10.2214/AJR.20.22975>
 16. Pan, Y., Guan, H., Zhou, S., Wang, Y., Li, Q., Zhu, T., Hu, Q., & Xia, L. (2020). Initial CT findings and temporal changes in patients with the novel coronavirus pneumonia (2019-nCoV): a study of 63 patients in Wuhan, China. *European radiology*, 30(6), 3306–3309. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06731-x>
 17. Song, F., Shi, N., Shan, F., Zhang, Z., Shen, J., Lu, H., Ling, Y., Jiang, Y., & Shi, Y. (2020). Emerging 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV) Pneumonia. *Radiology*, 295(1), 210–217. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200274>
 18. Colombi, D., Villani, G. D., Maffi, G., Risoli, C., Bodini, F. C., Petrini, M., Morelli, N., Anselmi, P., Milanese, G., Silva, M., Sverzellati, N., & Michieletti, E. (2020). Qualitative and quantitative chest CT parameters as predictors of specific mortality in COVID-19 patients. *Emergency radiology*, 27(6), 701–710. <https://doi.org/10.1007/s10140-020-01867-1>
 19. Iuorio, A., Nagar, F., Attianese, L., Grasso, A., Torretta, G., Fusco, P., Ferrara, M., & Ferraro, F. (2021). Spontaneous Pneumomediastinum and Pneumothorax in Nonintubated COVID-19

- Patients: A Multicenter Case Series. *The American journal of case reports*, 22, e933405. <https://doi.org/10.12659/AJCR.933405>
20. Tang, N., Li, D., Wang, X., & Sun, Z. (2020). Abnormal coagulation parameters are associated with poor prognosis in patients with novel coronavirus pneumonia. *Journal of thrombosis and haemostasis : JTH*, 18(4), 844–847. <https://doi.org/10.1111/jth.14768>
21. Langlet, B., Dournes, G., & Laurent, F. (2019). CT features of pulmonary interstitial emphysema. *Diagnostic and interventional imaging*, 100(12), 825–826. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2019.04.004>

VZROKI ZA CURKE PLAZME V ZEMLJINEM MAGNETNEM OVOJU

PRIMOŽ KAJDIČ

Geofizikalni Inštitut, UNAM, Oddelek za vesoljske znanosti, Mehika.
E-pošta: kajdic@gmail.com

Sprejeto
8. 9. 2022

Izdano
18. 8. 2023

DOPISNI AVTOR
kajdic@gmail.com

Povzetek Curki plazme v Zemljinem magnetnem ovoju so trenutno pomembna tema na področju veje znanosti, ki se ukvarja s procesi interakcije Zemlje in Sonca. Ti curki lahko popačijo magnetopavzo, zato nam poznavanje pogojev, pod katerimi nastajajo, omogoča razumevanje njihovega vpliva na magnetosfero. Trenutno prevladuje mnenje, da 97 % curkov nastane kot posledica nagubanega površja sekcije Zemljinega udarnega vala s kvazi-vzporedno geometrijo. Nedavno izvedene obsežne statistične študije teh curkov so pokazale njihov obstoj tudi dolvodno od kvazi-pravokotne sekcije Zemljinega udarnega vala, vendar zeankrat še ni jasno kateri mehanizmi vodijo k njihovemu nastanku. Tukaj analiziram štiri dogodke v kvazi-pravokotnem magnetnem ovoju, ki izpolnjujejo enega glavnih kriterijev za curke plazme in sicer povečani dinamični tlak. Ti curki niso nastali zaradi nagubanega površja udarnega vala, temveč so jih povzročili: 1) cev magnetnega pretoka v stiku s kvazi-paralelno sekcijo udarnega vala, 2) tokovna plast v odsotnosti magnetnega prevezovanja 3) izpuh povezan z magnetnin prevezovanjem in 4) zrcalni valovi.

Ključne besede:

curki plazme,
cevi magnetnega
pretoka,
tokovna plast,
magnetno prevezovanje,
zrcalni valovi



1 Uvod

Interakcija Sončevega vetra (SV) z magnetosfero našega planeta povzroči, da gorvodno od Zemlje nastane superkritični (Tremann, 2009) udarni val (npr. Tsurutani & Stone, 1985). Glede na kot, ki ga tvorita lokalna normala na površje udarnega vala in gorvodno medplanetarno magnetno polje (MMP), θ_{BN} , lahko udarni val razdelimo na kvazi-vzporeden (»quasi-parallel«, Q_{par} , $\theta_{BN} < 45^\circ$) ali kvazi-pravokoten (»quasi-perpendicular«, Q_{per} , $\theta_{BN} > 45^\circ$). Gorvodno od Q_{par} udarnega vala nastane predudar (»foreshock«, Eastwood et al., 2005), zaradi česar je tam njegova površina nagubana in sicer na prostorskih skalah $\leq 100 d_i$, kjer je d_i inercijska dolžina ionov gorvodno od udarnega vala (glej npr. Burgess, 1989b; Krauss-Varban & Omidi, 1991).

Dolvodno od Zemljinega udarnega vala leži magnetni ovoj (npr. Luček et al., 2005), ki ga prav tako lahko razdelimo na Q_{per} in Q_{par} , glede na sekcijo udarnega vala, dolvodno od kater se nahaja (Raptis et al, 2020a). Sekciji magnetnega ovoja se razlikujeta v tem, da v Q_{par} magnetnem ovoju najdemo močnejše fluktuacije magnetnega polja polji in plazme ter ione z višjimi energijami in sicer do ~ 30 keV.

V magnetnem ovoju najdemo tudi curke plazme (Plaschke et al., 2018). Hietala et al. (2009) so predlagali, da ti curki nastanejo zaradi različnega procesiranja SVja na različnih lokacijah Q_{par} udarnega vala, kar je posledica gubanja njegovega površja. Hietala et al. (2013) so ocenili, da je nagubano površje vzrok za nastanek 97 % vseh curkov. Po drugi strani so Archer et al. (2012) predlagali, da curki nastanejo zaradi interakcije Zemljinega udarnega vala z rotacijskimi nezveznostmi MMPja, medtem ko je Savin et al. (2012) njihov nastanek povezal z anomalijami vročega toka (»Hot Flow Anomalies«, Lucek et al. 2004). Karlsson et al. (2012) so predlagali drugačen mehanizem, po katerem naj bi določeni tip curkov, t.i. plazmoidi, nastali zaradi prečkanja struktur iz predudara imenovanih SLAMS (npr. Giacalone et al. 1993), čez Zemljin udarni val v magnetni ovoj.

V preteklosti je bilo zvedenih veliko študij, v katerih so analizirali lastosti curkov plazme v Zemljinem magnetnem ovoju. Med njimi je bilo več statističnih študij (Plaschke et al. 2013; Plaschke et al., 2016; Archer & Horbury 2013; Raptis et al. 2020a; Raptis et al. 2020B; Liu et al. 2020). Kljub temu vzroki za nastanek curkov plazme še vedno niso zadovoljivo pojasnjeni.

Poznavanje vzrokov za curke plazme v magnetnem ovoju je pomembno, saj je so pretekle študije pokazale, da ti pojavi lahko zmotijo geomagnetno polje. Blanco-Cano et al., (2020) so pokazali, da med drugim curki lahko nastanejo kot posledica magnetnega prevezovanja («magnetic reconnection») v magnetopavzi. Nekateri od teh curkov lahko prispejo do in včasih prodrejo skozi magnetopavzo (Hietala et al., 2018; Wang et al., 2018; Shue et al. 2009; Plaschke et al., 2011; Savin et al., 2012; Dmitriev & Suvorova 2012; Plaschke et al., 2016) ter celo zmotijo ionosfero (Hietala et al. 2012; Archer & Horbury 2013; Wang et al., 2018). Archer & Horbury (2013) so ugotovili, da lahko so curki plazme lahko vzrok kompresijskim in poloidnim valovom Pc5 (2–7~mHz) v magnetosferi. Njihovi podpisi so bili zaznani celo v podatkih zemeljskih magnetnih observatorijev, o čemer so poročali Dmitriev & Suvorova (2012) ter Archer & Horbury (2013).

V tem delu pokažem, da določeni pojavi v Qper magnetnem ovoju lahko povzročijo podpise v podatkih vesoljskih plovil, npr. povečan dinamični tlak P_{dyn} , ki so značilni za curke plazme v magnetnem ovoju. Med temi pojavi so cevi magnetnega pretoka (magnetic flux tubes), ki se nahajajo v Qper magnetnem ovoju, vendar so povezane s Qpar sekcijo Zemljinega udarnega vala, tokovne plasti v odsotnosyi magnetnega prevezovanja, izpuhi povezani z magnetnim prevezovanjem ter zrcalni valovi (mirror mode waves, MM).

2 Podatki in inštrumenti

Poslužujem se opazovalnih podatkov treh vesoljskih misij, od katerih vsaka sestoji iz treh ali štirih identičnih sodnd: Cluster (Escoubet et al., 1997), THEMIS (Angelopoulos et al., 2008) in Magnetospheric Multiscale Mission (MMS, Sharma et al., 2005). Sonde Cluster imajo več instrumentov, vključno z magnetometrom FGM (Balogh et al., 2001) in spektrometrom CIS (Reme et al., 2001). Tukaj sem uporabil meritve vektorja magnetnega polja ter momente plazme s časovno ločljivostjo 0,2 s oziroma 4 s. Podatki misije THEMIS, uporabljeni v tem delu, so bili pridobljeni z magnetometrom FGM (Auster et al., 2008) in ionski elektrostatičnim analizatorjem iESA (Mcfadden et al. 2008) z ločljivostjo 0,25~s in 3~s.

Uporabil sem tudi meritve magnetnega polja misije MMS s časovno ločljivostjo 1/128 s in 1/16 s. Podatke o ionih zagotavlja inštrument FPI (Pollock et al., 2016), imajo pa časovno ločljivost 150 ms oziroma 4 s.

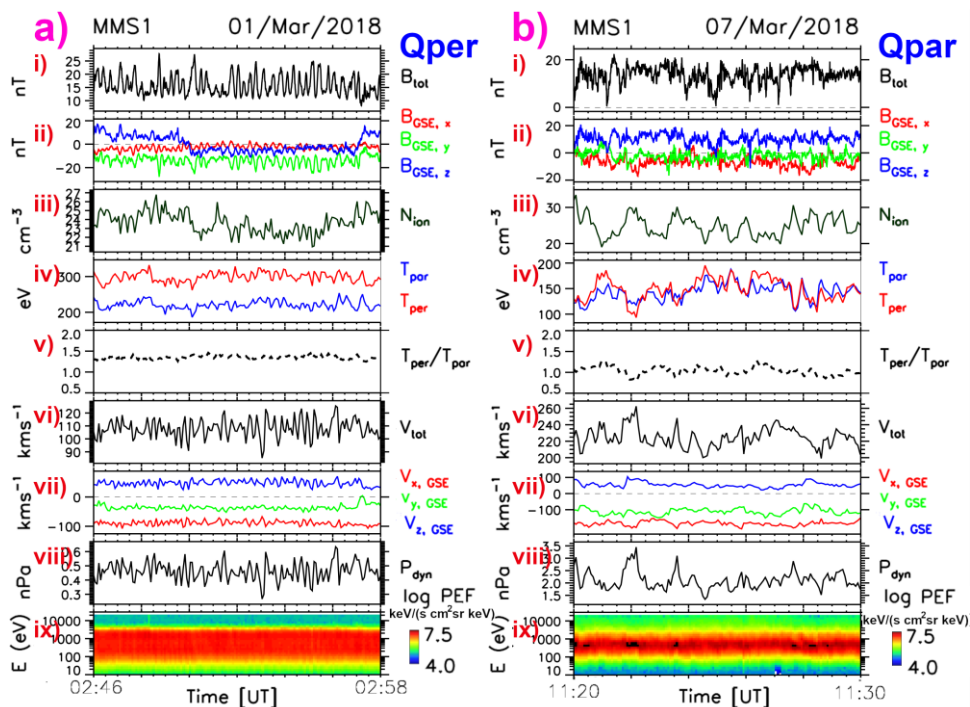
3 Meritve

V tej sekciji prikažem dogodke, ki so bili izbani zaradi znatno povečanega P_{dyn} v Q_{per} magnetnem ovoju. Ti dogodki izpolnjujejo vsaj nekatera merila, opisana v pretekli literaturi. Na primer, izbrali smo jih, če so povzročili povečanje P_{dyn} za $\geq 50\%$ v primerjavi s povprečjem v 10 minutnem časovnem intervalu centriranem na samih dogodkih, tako kot v Gutynska et al. (2015). Dva dogodka, potujoča cev magnetnega pretoka in tokovna plast (»current sheet«), izpolnjujeta merila uporabljena v Archer et al. (2012), da mora P_{dyn} preseči prag 1 nPa. Zrcalni valovi so presegli prag opisan v Karlsson et al. (2012), da mora biti gostota plazme znotraj 50 % višja v primerjavi z okoliškimi vrednostmi.

3.1 Cevi magnetnega pretoka v stiku s Q_{par} udarnim valom

Najprej razjasnimo, kaj pomenita izraza Q_{par} in Q_{per} v primeru magnetnega ovoja. Slika 1 prikazuje meritve sonde MMS1 med dvema časovnima intervaloma, 1. marca 2018 (a) in 7. marca 2018 (b). Paneli i) do ix) prikazujejo: jakost magnetnega polja in njegove komponente v enotah nT ter v koordinatah GSE (os X kaže od Zemlje proti Soncu, os Y leži v ravnini ekliptike in kaže v smeri proti večeru, os Z dopolnjuje desnoročni sistem), gostoto ionov (v enotah cm^{-3}), vzporedno (T_{par}) in pravokotno (T_{per}) temperaturo (eV), temperaturno anizotropijo, definirano kot $T_{\text{per}}/T_{\text{par}}$, hitrost ionov in njene komponente v koordinatah GSE (kms^{-1}), dinamični tlak (nPa) in ionski spektrogram z barvami, ki predstavljajo logaritem energijskega pretoka delcev (PEF) v enotah $\text{keV}/(\text{s cm}^2 \text{sr keV})$.

Ključni paneli so tisti, oštevilčene z rimskimi številkami iv), v) in ix). V primeru Q_{per} magnetnega ovoja (slika 1a) je T_{per} (rdeča krivulja) večja od T_{par} (modra). Tako ima $T_{\text{per}}/T_{\text{par}}$ vrednosti večje od 1. Zaradi velike T_{per} je rdeča sled SVja v ionskem spektrogramu na panelu ix zelo široka. Zelo malo ionov ima energije nad 2500 eV. Te panele lahko primerjamo s tistimi na sliki 1b, ki prikazuje Q_{par} magnetni ovoj. Zdaj imata T_{par} in T_{per} zelo podobne vrednosti, kar pomeni, da je temperaturna anizotropija $T_{\text{per}}/T_{\text{par}} \sim 1$. Ker sta ti temperaturi nižji od T_{per} v Q_{per} magnetnem ovoju, je rdeča sled na panelu ix) zdaj ožja, intenzivnost PEF pri energijah nad 2500 eV pa je veliko višja.



Slika 1: Qper (a) in Qpar (b) magnetni ovoj v podatkih sonde MMS1. Paneli prikazujejo: i) jakost magnetnega polja, ii) komponente magnetnega polja v koordinatnem sistemu GSE, iii) številčno gostoto ionov, iv) vzporedno (modra krivulja) in pravokotno (rdeča) temperaturo ionov, v) temperaturno anizotropijo, vi) hitrost ionov, vii) komponente hitrosti ionov v sistemu GSE, viii) dinamični tlak in ix) ionski spektrogram.

Vir: lasten

Usmerimo zdaj pozornost na sliko 2a). Format te slike je praktično enak formatu slike 1. Skozi večino prikazanega časovnega intervala se je sonda Cluster-3 nahajala v Qper magnetnem ovoju. Obstaja pa kratko časovno obdobje med 21:20:30-21:21:45 UT, ko lahko opazimo ione z $E \leq 30$ keV. V tem času se vrednosti jakosti magnetnega polja B_{tot} , ionske gostote N_{ion} , $T_{\text{per}}/T_{\text{par}}$ ter hitrosti V_{tot} zmanjšajo, medtem ko T_{par} in T_{per} narasteta. Te lastnosti so zelo podobne tistim, ki jih opazimo v Qpar magnetnem ovoju.

Izpostavljeni interval je omejen z roboma, kjer so vrednosti B_{tot} , N_{ion} in V_{tot} okrepljene, temperatura pa je znižana. V gorvodnem robu se smer magnetnega polja spreminja v času 4 s, kar sovпада s približnim trajanjem tega roba v podatkih B_{tot} .

Rotacija magnetnega polja v dolvodnem robu je veliko daljša in traja ~ 30 s. Med tema rotacijama se pojavijo (gorvodni rob) ali izginejo (dolvodni rob) ioni z visokimi energijami. Vidimo lahko tudi, da so vrednosti P_{dyn} v dolvodnem robu močno povišane, saj dosežejo 2,9 nPa, kar predstavlja 107 % povečanje v primerjavi z povprečno okoljno vrednostjo 1,4 nPa.

Ta struktura je bila ponešena mimo vesoljskega plovila Cluster. To se lahko vidi na sliki 2b), ki prikazuje profile B_{tot} vseh štirih sond Cluster. Prva sonda, ki je zaznala strukturo, je bila C3, sledile pa so C2, C4 in C1. Ta vrstni red je enak vrstnemu redu, v katerem se njihove X_{GSE} koordinate zmanjšujejo (slika 3c).

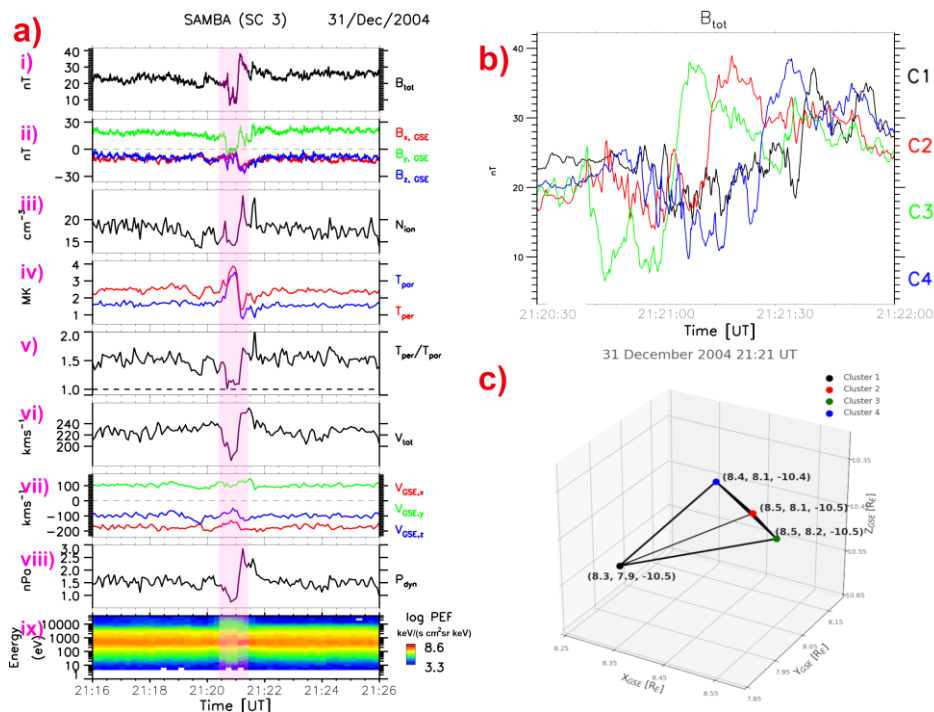
Ta struktura se razlikuje od "tipičnih" curkov, ki jih najdemo v Qpar magnetnem ovoju. Tukaj trdimo, da so podpisi, prikazani na sliki 2, posledica cevi magnetnega pretoka, ki je bila konvektirana mimo sond Cluster. Ta cev je imela majhen prečni radij ali pa je bila široka in jo je vesoljsko plovilo prečkalo blizu njenega roba.

Podobni pojavi so bili v preteklosti opaženi gorvodno od Qper sekcije Zemljinega udarnega vala. Tam se pogosto pojavljajo t.i. votline («cavities», Sibeck et al., 2002; Billingham et al., 2008), ki jih obdaja neokrnjen SV, vendar so lastnosti MMPja in plazme v njih enake tistim, ki jih običajno najdemo v Zemljinem predударu. V primerjavi s svojo okolico sta v votlinah gostota plazme ter jakost magnetnega polja manjši, medtem ko ti količini narasteta v robovih, ki obdajajo votline. Znotraj votlin se močno poveča tok supertermičnih ionov. Omidi et al. (2013) in Kajdič et al. (2017b) so pokazali, da so votline podrazred potujočih predударov, ki v podatkih vesoljskih plovil trajajo le nekaj minut. Predlagano je bilo, da le-te nastanejo zaradi cevi magnetnega pretoka MMPja, ki jih zaznamo gorvodno od Qper Zemljinega udarnega vala, vendar so povezane z Qpar odsekom tega udarnega vala.

Razlog, zakaj vemo, da je opazovani dogodek povzročila magnetna pretočna cev in ne premikanje meje med Qper in Qpar magnetnim ovojem, je v tem, da cevi magnetnega pretoka MMPja v podatkih vesoljskih misij puščajo tako imenovane konveksijske podpise, medtem ko premikanje omenjene meje ustvarja ugnezdene podpise (glej Kajdič et al. 2017).

Na sliki 2b) lahko vidimo, da je zaporedje, v katerem vesoljska plovila Cluster vstopijo v cev magnetnega pretoka, enako zaporedju, v katerem izstopijo iz nje. Če bi vesoljsko plovilo opazovalo gibanje meje med Qper in Qpar magnetnim ovojem,

bi sonde Cluster vstopile v Qpar magnetni ovoj v določenem zaporedju, vendar bi bilo zaporedje, v katerem bi iz njega izstopile, obrnjeno.

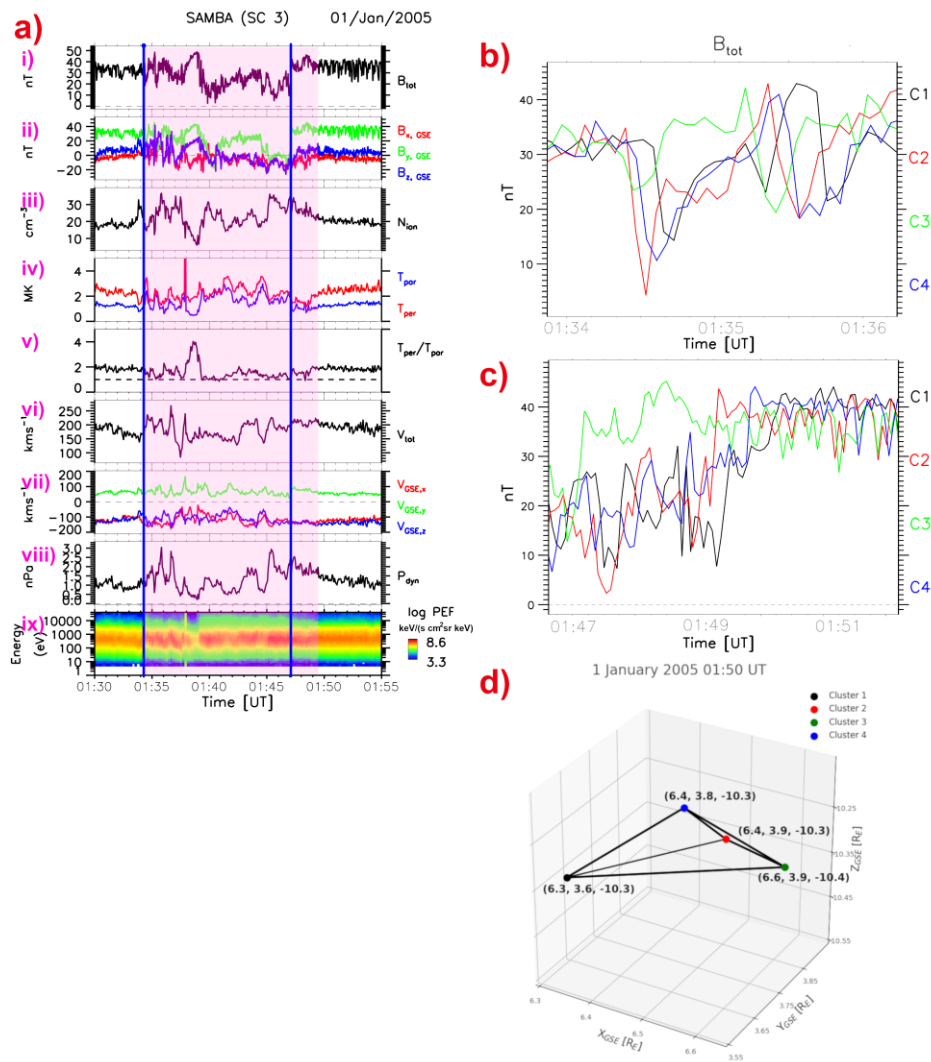


Slika 2: a) Podatki sonde Cluster 3 opazovanja. Format je enak kot na sliki 1a). b) Jakost magnetnega polja med intervalom, ki je osenčen na panelu a). Prikazane so meritve vseh štirih sond Cluster. c) Konfiguracija skupka Cluster 31. decembra 2004.

Vir: lasten

Poglejmo kako je videti v podatkih prehod dolgotrajnejše pretočne cevi. Tak dogodek je prikazan na sliki 3. Opazimo lahko da se je sonda Cluster 3 pred in po dogodku (osenčeno z vijolično barvo), nahajala v Qper magnetnem ovoju, medtem ko med samim dogodkom MMP in plazma kaže lastnosti, značilne za plazmo v Qpar magnetnem ovoju. Sonda Cluster 3 je dogodek opazovala ~15 minut. Med dogodkom kažejo lastnosti plazme ter MMPja veliko fluktuacij, kar povzroči več maksimumov P_{dyn} (panel viii), ki doseže vrednosti do 3 nPa. Te maksimume lahko smatramo za curke, saj vrednosti P_{dyn} presegajo močno presegajo vrednost 1 nPa v okolišnji plazmi. Osenčeni interval na sliki 3a) omejujeta dve rotaciji MMPja. Za časovno analizo dogodka sem naprej v podatkih magnetnega polja

poiskal dve strukturi, ki sta prepoznavni v podatkih vseh sond Cluster. Ena struktura je bila opažena približno na začetku, druga pa proti koncu osenčenega intervala na Sliki 3a) in sta označeni z modrima črtama. Siki 3b) in 3c) prikazujeta obse strukturi od blizu. Črna, rdeča, zelena in modra krivulja prikazujejo podatke sond Cluster 1, 2, 3 in 4. Vidimo lahko, da je vesoljsko plovilo C3 prvo zaznal obe strukturi, sledile pa so mu Cluster 2, 4 in 1. Ker je ta vrstni red vesoljskega plovila enak za obe strukturi, lahko sklepamo, da je bila tudi ta dogodek mimo sond Cluster ponesel SV s konvekcijo, zato se spet gre za cev magnetnega pretika, ki je v stiku s Qpar udarnim valom.



Slika 3: a) Podatki sonde Cluster 3. Format je enak kot na sliki 1a) . b) in c) Jakost magnetnega polja v strukturah blizu gorvodnega in dolvodnega roba cevi magnetnega pretoka (modri navpični črti na panel a) v podatkih vseh štirih vesoljskih plovil Cluster. d) Konfiguracija misije Cluster 1. januarja 2005.

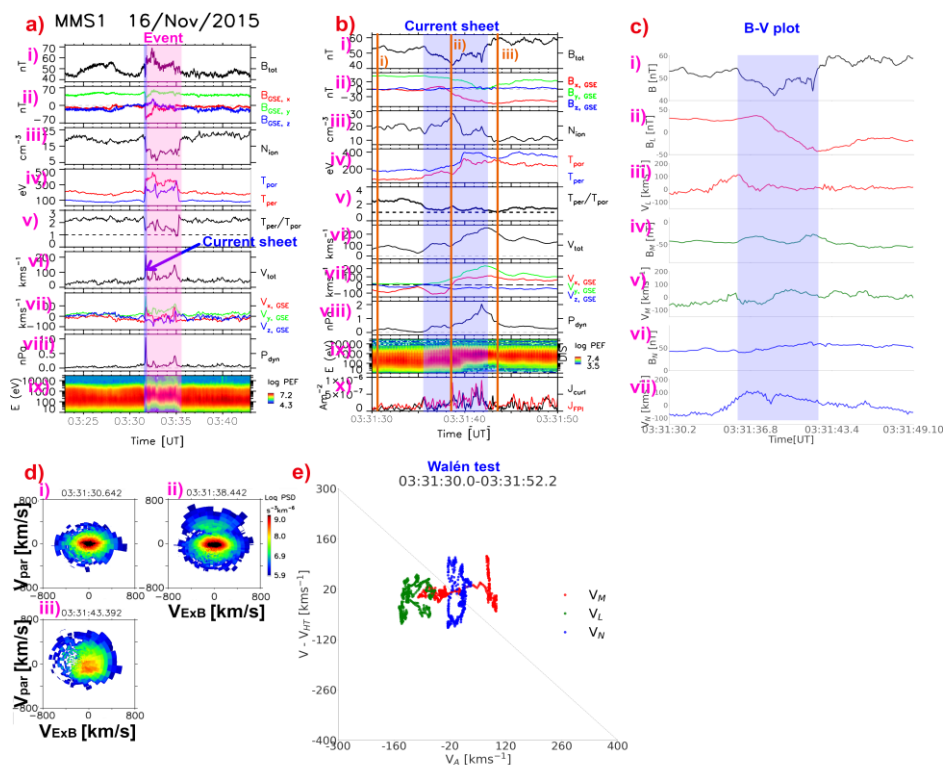
Vir: lasten

3.2 Tokovna plast brez magnetnega prevezovanja

Slika 4a) prikazuje podatke sonde MMS1 v 20-minutnem časovnem intervalu 16. novembra 2015. GSE koordinate vesoljskega plovila so bile (10,5, 0,02, -0,54) R_E (Zemljinih polmerov). Parametri MMPja in plazme kažejo, da je bil v tem času MMS1 v Qper magnetnem ovoju, razen med 03:31:35-03:35:02 UT (osenčeno z vijolično), ko ga je prešla struktura. Ta dogodek bi lahko bil še ena cev magnetnega pretoka, čeprav se razlikuje od prejšnjih primerov, saj je manj turbulenten in je tok energije ionov z $E \leq 30$ keV v njej precej nizek. Druga možnost je, da gre za tako imenovani FTE (»flux transfer event«, Paschmann et al., 1982). Na to kaže povečana jakost magnetnega polja, zmanjšana gostote, povišana temperatura, prisotnost ionov z $E \leq 30$ keV in proti negativne vresnosti Z_{GSE} komponente MMPja (glej Petrinec et al., 2020). Argument proti FTEju je pomanjkanje bipolarnega podpisa MMPja. Taista struktura je podobna tudi curkom plazme, ki nastanejo zaradi magnetnega prevezovanja v magnetopavzi (Blanco-Cano et al., 2020), vendar so ti avtorji pokazali, da v imajo takšnih dogodkih porazdelitve ionov v faznem prostoru dve različni populaciji, kar tukaj ne drži (slika 4c), panel iii). Ker nedvoumna identifikacija dogodka ni mogoča, ga bom imenoval preprosto „struktura“.

Osredotočimo se sedaj na tokovno plast (slika 4a), kjer je viden visok maksimum P_{dyn} (~ 1 nPa) na gorvodnem robu strukture (navpična modra črta). Kratek časovni interval, ki prikazuje podrobnosti tokovne plasti, je prikazan na sliki 4b). Ti podatki imajo boljšo časovno ločljivost in na tej sliki P_{dyn} doseže ~ 2 nPa. Na sliki 4b) obstaja dodaten panel x), ki prikazuje gostoto električnega toka, izračunano z metodo rotometra (»curlometer method«, črna črta) in iz momentov delcev (rdeča barva). Tokovna plast kaže nekatere znake, ki spominjajo na izpuhe magnetnega prevezovanja, kot je padec B_{tot} , povečanje gostote in hitrosti ionov ter rotacije magnetnega polja in vektorja hitrosti. Na sliki 4d), ki prikazuje porazdelitev ionov v faznem prostoru pred, med in po tokovni plasti, vidimo, da sta znotraj plasti prisotni dve populaciji - ena iz zunanjega magnetnega ovoja in druga, ki glede na prvo potuje s hitrostjo > 200 km s⁻¹ in sicer vzdolž magnetnega polja. Čeprav bi se ti ioni lahko pospešili v sami tokovni plasti, pa lahko opazimo, da ioni s podobnimi hitrostmi v referenčnem okviru plazme obstajajo tudi dolvodno od plasti, torej znotraj "strukture" in bi lahko preprosto od tam ušli v tokovno plast. Dokazi proti temu, da je v tokovni plasti prisotno magnetno prevezovanje, so predstavljeni na sliki 4c). Tam je prikazana magnituda MMPja (panel i), ter komponente magnetnega polja in hitrosti plazme (ii-vii) v koordinatah NLM. Ti so bili pridobljeni z analizo minimalne

variance (»minimum variance analysis«, MVA, Ssonnerup, 1998), pri čemer so za vhodne podatke bile uporabljene meritve vektorja magnetnega polja. Prikazana hitrost je delni moment navidezno pospešene komponente v porazdelitveni funkciji ionov, in sicer za delce z energijami med med 210 eV in 3300 eV, katerih vektorji hitrosti z magnetnim poljem oklepajo kot $\leq 45^\circ$. Vidimo lahko, da komponente magnetnega plja in hitrosti ne zadostujejo kriterijem za magnetno prevezovanje, da torej ni zahtevanih (anti)korelacij na robovih tokovne plasti. Poleg tega Walénov test (glej Paschmann, 2000) na sliki 4e) prav tako kaže, da pri tem dogodku ne gre za izpuh zaradi magnetnega prevezovanja.



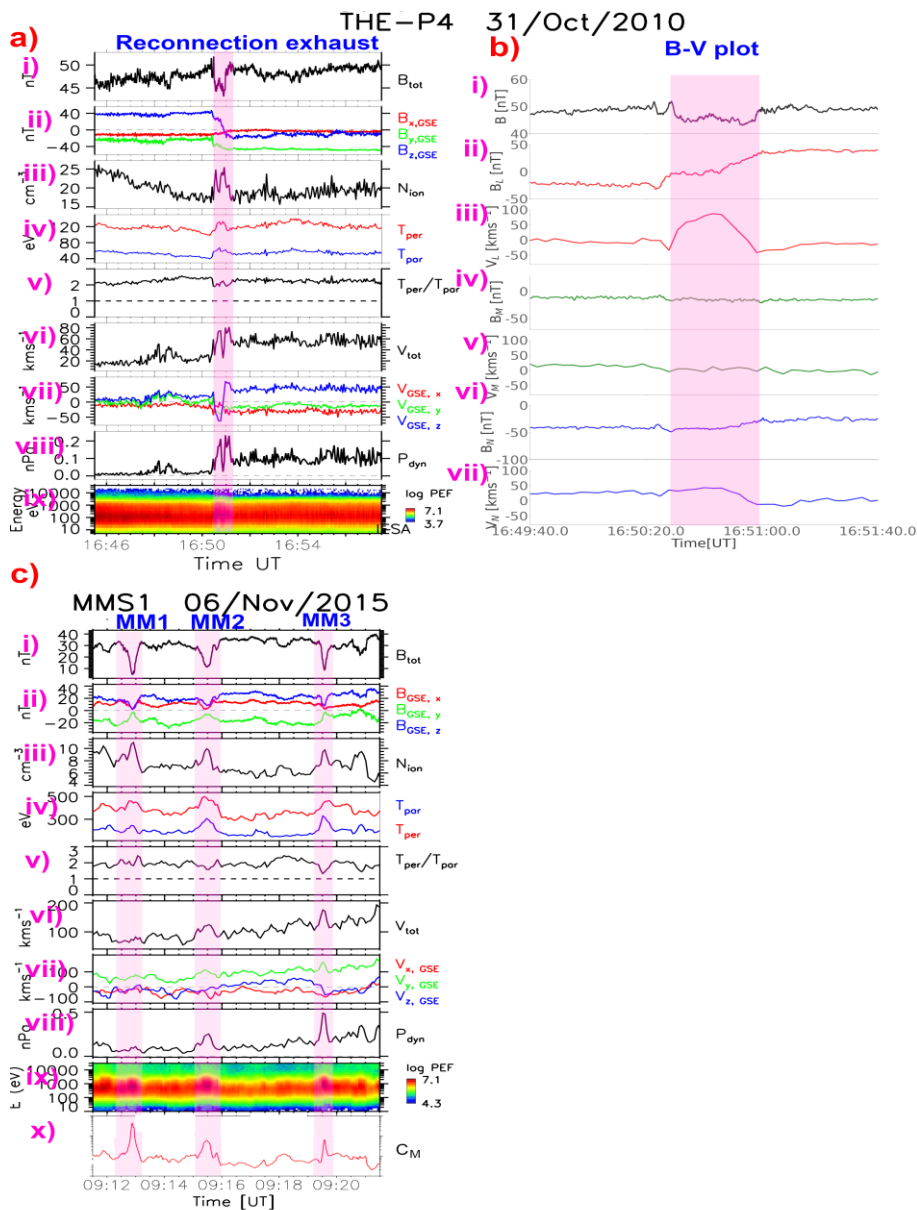
Slika 4: Podatki sonde MMS1. a) Dogodek, ki je povzročil tokovno plast. b) Podroben pregled tokovne cevi. Navpične črte označujejo čase porazdelitve ionov prikazanih na sliki 4d. b) i) Magnituda MMPja, (ii-vii) kpmponente MMPja in hitrostji plazmev koordinatah N, L, M. d) Porazdelitve ionov v faznem prostoru pred, med in po tokovni plasti. Na osi x (y) je komponenta hitrosit pravokotna (vzporedna) na magnetnopolje. d) Walénov test. Na osi x y je hitrost ionov v deHoffman-Tellerjevem sistemu, na osi x pa je Alfvénova hitrost. Podstki prikazujejo komponente hitrostui v koordinatah LMN (npr. Voros et al., 2017).

Vir: lasten

3.3 Izpuh zaradi magnetnega prevezovanja

Izpuhi zaradi magnetnega prevezovanja so pogost pojav v neokrnjenem SVju (npr. Gosling et al., 2005). V Qpar magnetnem ovoju je magnetno prevezovanje pogosto opaženo, ne pa tudi z njim povezani izpuhi. Temu naj bi botrovalo dejstvo, da se v Qpar magnetnem ovoju ne razvijejo ionski curki, kot je to primer v SVju, kar naj bi bilo posledica močne turbulence v tej regiji (Phan et al., 2018). Po drugi strani je Qper magnetni ovoj veliko manj turbulenten, zato se tam izpuhi lahko pojavijo (npr. Phan et al., 2007; Oieroset et al., 2017; Eastwood et al., 2018). V tej sekciji je prikazan izpuh, ki ga je zaznamoval visok porast vrednosti P_{dyn} .

Ta dogodek se je zgodil 31. oktobra 2010 (slika 5) kot posledica nezveznosti v MMPju. Najden je bil v podatkih vesoljskega plovila THEMIS-E. Dogodek je bil izvorno predstavljen v Oieroset et al. (2017), vendar v drugačnem kontekstu kot tukaj. Med predstavljenim časovnim intervalom se je THEMIS-E nahajalo na (11.0, -11.6, 2.4) R_E v koordinatah GSE. Vektorja MMPja pred in po izpuhu v koordinatah GSE sta bila (-15,2, -25,8, -6,0) R_E oziroma (-1,9, -52,3, 20,5) R_E , kar pomeni, da je kot med njima $\sim 43^\circ$. Dogodek je trajal ~ 32 sekund (osenčeno z vijolično). Na panelu viii) lahko vidimo, da se je med dogodkom močno povišal P_{dyn} . Njegove vrednosti pred, med in po izpuhu so bile 0,01 nPa, 0,23 nPa in 0,1 nPa. Tako je P_{dyn} znotraj izpuha narstel za 2200 % oziroma 130 % glede na vrednosti v gorvodnem in dolvodnem območju. Slika 5b) prikazuje jakost magnetnega polja ter komponente polja ter hitrosti plazme v koordinatah GSE. Opazimo lahko, da so spremembe komponent B in V korelirane na eni strani izpuha in antikorelirane na drugi strani, kot se pričakuje za izpuhe.



Slika 5: a) Podatki sonde THEMIS-E. Prikazan je izpuh zaradi magnetnega prevezovanja (osenčeno v vijolično) 31. oktobra 2010. Format te slike je enaka kot na sliki 1a). b) B-V graf, ki prikazuje i) magnitudo MMPja, (ii-vii) komponente MMPja in hitrosti v koordinatah N, L, M. c) Podatki sonde MMS1 kjer so prikazani zrcani valovi MM1, MM2 in MM3 (osenčeno) 6. novembra 2015.

Vir: lasten

3.4 Zrcalni valovi

Zrcalni načini valovanja je pogosto prisoten v Qper magnetnem ovoju (npr. Dimmock et al., 2015). Glavna značilnost teh valov je antikorelacija jakosti magnetnega plja in gostote plazme. V podatkih se zrcalni valovi lahko pojavljajo v obliki vrhov ali dolin. Magnetne doline zaradi antokorelacije pomenijo vrhove gostote, kar načeloma pomeni porast dinamičnega tlaka.

Tukaj prikazujem opazovalne podatke sonde MMS1 na sliki 5c) med 10 minutnim časovnim intervalom na dan 6. novembra 2015. Takrat se je plovilo MMS1 nahajalo na GSE koordinatah (11,0, 4,7, -0,8) R_E . Na panelu x) je prikazan parameter $C_M = \beta_{i,perp}(T_{i,perp}/(T_{i,para}-1))$ (Genot et al., 2009), kjer je β razmerje med termičnim tlakom izračunanim s $T_{i,perp}$ in magnetnim tlakom. Indeks »i« omeni, da se gre za momente ionov. Vrednosti $C_M > 1$ ($C_M < 1$) označujejo plazmo, ki je zrcalno nestabilna (stabilna). Vidimo, da je plazma, ki obdaja valove MM, zrcalno stabilna, medtem ko znotraj valov MM kaže vrednosti $C_M >> 1$). Zrcalni valovi so zelo stabilne strukture, ki se lahko pojavijo daleč od območja, kjer so dejansko nastali. To je možen vzrok zakaj jih v tem primeru najdemo obdane s plazmo, ki je zrcalno stabilna. Trije dominantni valovi so osenčeni v rožnati barvi in označeni kot MM1, MM2 in MM3. Ta opazovanja so bila izvedena zelo blizu magnetopavze, ki je bila zaznana skoraj takoj po predstavljenem časovnem intervalu (ni prikazano). V podatkih magnetnega polja so trije zrcalni valovi prikazani kot doline, kjer se jakost magnetnega polja zmanjša za med 72 % in 93 % v primerjavi z vrednostmi v okolici. V njih lahko opazimo povečano gostoto in temperaturo. Temperaturna anizotropija je rahlo povečana v primeru MM1. Vrednosti anizotropije v MM2 so podobne tistim v okolici ($\sim 1,8$), v primeru MM3 pa so manjše od okolišnjih vrednosti ($\sim 1,2$).

Hitrost plazme v MM1 je približno enaka kot v okolici, medtem ko je znotraj MM2 in MM3 povečana (za ~ 50 % oz. ~ 116 %). Variacije vrednosti gostote in hitrosti povročijo spremembe dinamičnega tlaka znotraj zrcalnih valov. V primerjavi z njihovo neposredno sosesčino je dinamični tlak MM1 nespremenjen, medtem ko so v MM2 in MM3 njegove vrednosti za ~ 270 % ~ 250 % višje od okolišnjih. Zaradi dejstva, da so vrednosti P_{dyn} v okolici valov najvišje okoli MM3, ta struktura izstopa na panleu viii). Ta dogodek izpolnjuje opazovalne kriterije za tip curkov plazme, imenovanih diamagnetni plazmoidi (Karlsson et al. 2012; Karlsson et al. 2015), katerih glavni značilnosti sta večja gostote plazme in nižja jakost magnetnega polja.

4 Zaključek

V tem delu sem pokazal, da imajo lahko curki plazme v Qper magnetnem ovoju drugačen izvor kot tisti v Qpar magnetnem ovoju. To je posledica dejstva, da površje Qper udarnega vala Zemlje ni nagubano na prostorskih skalah nekaj deset do $\sim 100 d_i$, zaradi česar tam ne prihaja do razlik pri procesiranju SVja, ko ta prečkajo udarni val.

Curki v magnetnem ovoju lahko se lahko pojavijo zaradi cevi magnetnega pretoka, ki jih SV ponese v Qper magnetni ovoju, ki pa so povezane s Qpar sekcijo udarnega vala. Znotraj teh cevi so lastnosti MMPja in plazme enake tistim v Qpar magnetnem ovoju. Do povišanj P_{dyn} lahko pride v robovih in/ali v notranjosti teh cevi.

Drugi primer curka plazme je povezan s tokovno cevjo, ki se nahaja na gorvodnem robu strukture, ki bi lahko bila FTE. Znotraj tokovne plasti P_{dyn} naraste na 2 nPa, kar v primerjavi z okoljno vrednostjo 0,5 nPa predstavlja $\sim 300\%$ povečanje. Ker znotraj tokovne plasti ni opaziti dokazov za prisotnost magnetnega prevezovanja, predlagam, da je povišana hitrost dela ionov in posledično in P_{dyn} v njej posledica gradienta in/ali ukrivljenosti magnetnega polja.

Tretji primer curka plazme je povezan z izpuhom zaradi magnetnega prevezovanja. Med tem dogodkom se P_{dyn} poveča za 1200 % oziroma 270 % v primerjavi z vrednostmi v okolju pred in po dogodku.

Zadnji primer curka se zgodi zaradi zrcalnih valov. Predvsem v notranjosti enega takega vala, ki ga je zaznala sonda MMS1, je prišlo do povečanja gostote in hitrosti plazme, zaradi česar je v njem močno narastel P_{dyn} .

Eden od razlogov, zakaj je pomembno preučevati curke plazme v magnetnem ovoju, je ta, da ti pojavi lahko povzročijo motnje geomagnetnega polja, kar so v preteklosti zaznali celo observatoriji na Zemljo (npr. Dmitriev & Suvorova 2012; Archer & Horbury 2013). Različni fizikalni pogoji v medplanetarnem prostoru lahko privedejo do curkov, ki so različnega izvora. Kakšen je vpliv razločnih curkov na geomagnetno polje, bo nedvomno tema bodočih raziskav.

Literatura

- Angelopoulos, V. (2008, December). The THEMIS Mission. *Space Science Reviews*, 141 (1-4), 5-34. doi:10.1007/s11214-008-9336-1
- Archer, M. O., & Horbury, T. S. (2013, February). Magnetosheath dynamic pressure enhancements: occurrence and typical properties. *Ann. Geophys.*, 31, 319-331. doi:10.5194/angeo-31-319-2013
- Archer, M. O., Horbury, T. S., & Eastwood, J. P. (2012, May). Magnetosheath pressure pulses: Generation downstream of the bow shock from solar wind discontinuities. *J. Geophys. Res.*, 117, A05228. doi:10.1029/2011JA017468
- Auster, H. U., Glassmeier, K. H., Magnes, W., Aydogar, O., Baumjohann, W., Constantinescu, D., Wiedemann, M. (2008, December). The THEMIS Fluxgate Magnetometer. *Space Science Reviews*, 141 (1-4), 235-264. doi:10.1007/s11214-008-9365-9
- Balogh, A., Carr, C. M., Acuña, M. H., Dunlop, M. W., Beek, T. J., Brown, P., Schwingschuh, K. (2001). The cluster magnetic field investigation: overview of in-flight performance and initial results. *Annales Geophysicae*, 19 (10/12), 1207-1217. Retrieved from <https://www.ann-geophys.net/19/1207/2001/> doi:10.5194/angeo-19-1207-2001
- Billingham, L., Schwartz, S. J., & Sibeck, D. G. (2008, November). The statistics of foreshock cavities: results of a Cluster survey. *Ann. Geophys.*, 26, 3653-3667. doi:10.5194/angeo-26-3653-2008
- Blanco-Cano, X., Preisser, L., Kajdič, P., & Rojas-Castillo, D. (2020, September). Magnetosheath Microstructure: Mirror Mode Waves and Jets during Southward IP Magnetic Field. *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 125 (9), e27940. doi:10.1029/2020JA027940
- Burgess, D. (1989). Cyclic behavior at quasi-parallel collisionless shocks. *Geophysical Research Letters*, 16 (5), 345-348. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1029/GL016i005p00345> doi:10.1029/GL016i005p00345
- Dimmock, A. P., Osmane, A., Pulkkinen, T. I., & Nykyri, K. (2015, Jul). A statistical study of the dawn-dusk asymmetry of ion temperature anisotropy and mirror mode occurrence in the terrestrial dayside magnetosheath using THEMIS data. *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 120 (7), 5489-5503. doi:10.1002/2015JA021192
- Dmitriev, A. V., & Suvorova, A. V. (2012, August). Traveling magnetopause distortion related to a large-scale magnetosheath plasma jet: THEMIS and ground-based observations. *J. Geophys. Res.*, 117, A08217. doi:10.1029/2011JA016861
- Eastwood, J. P., Balogh, A., Lucek, E. A., Mazelle, C., & Dandouras, I. (2005). Quasi-monochromatic ulf foreshock waves as observed by the four-spacecraft cluster mission: 1. statistical properties. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 110 (A11), n/a-n/a. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1029/2004JA010617> (A11219) doi:10.1029/2004JA010617

- Eastwood, J. P., Mistry, R., Phan, T. D., Schwartz, S. J., Ergun, R. E., Drake, J. F., Russell, C. T. (2018, May). Guide Field Reconnection: Exhaust Structure and Heating. *Geophysical Research Letters*, 45 (10), 4569-4577. doi: 10.1029/2018GL077670
- Escoubet, C., Schmidt, R., & Goldstein, M. (1997, Jan 01). Cluster – science and mission overview. *Space Science Reviews*, 79 (1), 11–32. Retrieved from <https://doi.org/10.1023/A:1004923124586> doi:10.1023/A:1004923124586
- Génot, V., Budnik, E., Hellinger, P., Passot, T., Belmont, G., Trávníček, P. M., Dandouras, I. (2009, February). Mirror structures above and below the linear instability threshold: Cluster observations, fluid model and hybrid simulations. *Annales Geophysicae*, 27 (2), 601-615. doi:10.5194/angeo-27-601-2009
- Giacalone, J., Schwartz, S. J., & Burgess, D. (1993). Observations of suprathermal ions in association with slams. *Geophys. Res. Lett.*, 20 (2), 149–152. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1029/93GL00067> doi:10.1029/93GL00067
- Gosling, J. T., Eriksson, S., McComas, D. J., Skoug, R. M., & Forsyth, R. J. (2005, Dec). Reconnection Exhausts in the Solar Wind Well Beyond 1 AU: Ulysses. In *Agu fall meeting abstracts* (Vol. 2005, p. SM13C-04).
- Gutynska, O., Sibeck, D. G., & Omid, N. (2015, September). Magnetosheath plasma structures and their relation to foreshock processes. *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 120, 7687-7697. doi:10.1002/2014JA020880
- Hietala, H., Laitinen, T. V., Andr´eev´a, K., Vainio, R., Vaivads, A., Palmroth, M., Réme, H. (2009, December). Supermagnetosonic Jets behind a Collisionless Quasiparallel Shock. *Phys. Rev. Lett.*, 103 (24), 245001. doi: 10.1103/PhysRevLett.103.245001
- Hietala, H., Partamies, N., Laitinen, T. V., Clausen, L. B. N., Facsk´o, G., Vaivads, A., Lucek, E. A. (2012, January). Supermagnetosonic subsolar magnetosheath jets and their effects: from the solar wind to the ionospheric convection. *Ann. Geophys.*, 30, 33-48. doi:10.5194/angeo-30-33-2012
- Hietala, H., Phan, T. D., Angelopoulos, V., Oieroset, M., Archer, M. O., Karlsson, T., & Plaschke, F. (2018, Feb). In Situ Observations of a Magnetosheath High-Speed Jet Triggering Magnetopause Reconnection. *Geophysical Research Letters*, 45 (4), 1732-1740. doi:10.1002/2017GL076525
- Hietala, H., & Plaschke, F. (2013, November). On the generation of magnetosheath high-speed jets by bow shock ripples. *J. Geophys. Res.*, 118, 7237-7245. doi: 10.1002/2013JA019172
- Kajdič, P., Blanco-Cano, X., Omid, N., Rojas-Castillo, D., Sibeck, D. G., & Billingham, L. (2017). Traveling foreshocks and transient foreshock phenomena. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 122 (9), 9148–9168. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1002/2017JA023901> (2017JA023901) doi: 10.1002/2017JA023901
- Karlsson, T., Brenning, N., Nilsson, H., Trotignon, J.-G., Vallières, X., & Facsko, G. (2012, March). Localized density enhancements in the magnetosheath: Three-dimensional morphology and possible importance for impulsive penetration. *J.*

- Geophys. Res., 117, A03227. doi:10.1029/2011JA017059
- Karlsson, T., Kullen, A., Liljeblad, E., Brenning, N., Nilsson, H., Gunell, H., & Hamrin, M. (2015, September). On the origin of magnetosheath plasmoids and their relation to magnetosheath jets. *J. Geophys. Res.*, 120, 7390-7403. doi:10.1002/2015JA021487
- Katircio ğlu, F. T., Kaymaz, Z., Sibeck, D. G., & Dandouras, I. (2009). Magnetosheath cavities: case studies using cluster observations. *Annales Geophysicae*, 27 (10), 3765–3780. Retrieved from <https://angeo.copernicus.org/articles/27/3765/2009/> doi:10.5194/angeo-27-3765-2009
- Krauss-Varban, D., & Omidi, N. (1991). Structure of medium mach number quasi-parallel shocks: Upstream and downstream waves. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 96 (A10), 17715–17731. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1029/91JA01545> doi:10.1029/91JA01545
- Liu, T. Z., Hietala, H., Angelopoulos, V., Omelchenko, Y., Vainio, R., & Plaschke, F. (2020). Statistical study of magnetosheath jet-driven bow waves. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125 (7), e2019JA027710. Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019JA027710> (e2019JA027710 2019JA027710) doi:<https://doi.org/10.1029/2019JA027710>
- Lucek, E. A., Constantinescu, D., Goldstein, M. L., Pickett, J., Pin çon, J. L., Sahraoui, F., Walker, S. N. (2005, Jun). The Magnetosheath. *Space Science Reviews*, 118 (1-4), 95-152. doi:10.1007/s11214-005-3825-2
- Lucek, E. A., Horbury, T. S., Balogh, A., Dandouras, I., & Réme, H. (2004). Cluster observations of hot flow anomalies. *J. Geophys. Res.*, 109, A06207. doi:10.1029/2003JA010016
- McFadden, J. P., Carlson, C. W., Larson, D., Ludlam, M., Abiad, R., Elliott, B., Angelopoulos, V. (2008, December). The THEMIS ESA Plasma Instrument and In-flight Calibration. *Space Science Reviews*, 141 (1-4), 277-302. doi:10.1007/s11214-008-9440-2
- Øieroset, M., Phan, T. D., Shay, M. A., Haggerty, C. C., Fujimoto, M., Angelopoulos, V., Mozer, F. S. (2017, August). THEMIS multispacecraft observations of a reconnecting magnetosheath current sheet with symmetric boundary conditions and a large guide field. *Geophysical Research Letters*, 44 (15), 7598-7606. doi:10.1002/2017GL074196
- Omidi, N., Sibeck, D., Blanco-Cano, X., Rojas-Castillo, D., Turner, D., Zhang, H., & Kajdić, P. (2013, February). Dynamics of the foreshock compressional boundary and its connection to foreshock cavities. *J. Geophys. Res.*, 118, 823-831. doi:10.1002/jgra.50146
- Paschmann, G., Haerendel, G., Papamastorakis, I., Scokopke, N., Bame, S. J., Gosling, J. T., & Russell, C. T. (1982, April). Plasma and magnetic field characteristics of magnetic flux transfer events. *Journal of Geophysical Research*, 87 (A4), 2159-2168. doi:10.1029/JA087iA04p02159
- Paschmann, G., & Sonnerup, B. U. O. (2008, January). Proper Frame Determination and Walen Test. *ISSI Scientific Reports Series*, 8, 65-74.

- Petrinec, S. M., Burch, J. L., Chandler, M., Farrugia, C. J., Fuselier, S. A., Giles, B. L., Zhao, C. (2020, July). Characteristics of Minor Ions and Electrons in Flux Transfer Events Observed by the Magnetospheric Multiscale Mission. *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 125 (7), e27778. doi:10.1029/2020JA027778
- Phan, T. D., Eastwood, J. P., Shay, M. A., Drake, J. F., Sonnerup, B. U. Ö., Fujimoto, M., Magnes, W. (2018, May). Electron magnetic reconnection without ion coupling in Earth's turbulent magnetosheath. *Nature*, 557 (7704), 202-206. doi:10.1038/s41586-018-0091-5
- Phan, T. D., Paschmann, G., Twitty, C., Mozer, F. S., Gosling, J. T., Eastwood, J. P., Lucek, E. A. (2007, July). Evidence for magnetic reconnection initiated in the magnetosheath. *Geophysical Research Letters*, 34, L14104. doi:10.1029/2007GL030343
- Plaschke, F., & Glassmeier, K.-H. (2011, October). Properties of standing Kruskal-Schwarzschild-modes at the magnetopause. *Ann. Geophys.*, 29, 1793-1807. doi:manuscript submitted to *Geophysical Research Letters* 10.5194/angeo-29-1793-2011
- Plaschke, F., Hietala, H., & Angelopoulos, V. (2013, October). Anti-sunward high-speed jets in the subsolar magnetosheath. *Ann. Geophys.*, 31, 1877-1889. doi:10.5194/angeo-31-1877-2013
- Plaschke, F., Hietala, H., Angelopoulos, V., & Nakamura, R. (2016). Geoeffective jets impacting the magnetopause are very common. *J. Geophys. Res.*, 121 , 3240-3253. doi:10.1002/2016JA022534
- Plaschke, F., Hietala, H., Archer, M., Blanco-Cano, X., Kajdič, P., Karlsson, T., Sibeck, D. (2018, Aug). Jets Downstream of Collisionless Shocks. *Space Science Reviews*, 214 (5), 81. doi:10.1007/s11214-018-0516-3
- Pollock, C., Moore, T., Jacques, A., Burch, J., Gliese, U., Saito, Y., Zeuch, M. (2016). Fast plasma investigation for magnetospheric multiscale. *Space Science Reviews*, 199 (1), 331-406. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11214-016-0245-4> doi:10.1007/s11214-016-0245-4
- Raptis, S., Aminalragia-Giamini, S., Karlsson, T., & Lindberg, M. (2020). Classification of magnetosheath jets using neural networks and high resolution omni (hro) data. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 7, 24. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fspas.2020.00024> doi:10.3389/fspas.2020.00024
- Raptis, S., Karlsson, T., Plaschke, F., Kullen, A., & Lindqvist, P.-A. (2020). Classifying magnetosheath jets using mms: Statistical properties. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125 (11), e2019JA027754. Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019JA027754> (e2019JA027754 10.1029/2019JA027754) doi: <https://doi.org/10.1029/2019JA027754>
- Réme, H., Aoustin, C., Bosqued, J. M., Dandouras, I., Lavraud, B., Sauvaud, J. A., Sonnerup, B. (2001, October). First multispacecraft ion measurements in and near the Earth's magnetosphere with the identical Cluster ion spec-

- trometry (CIS) experiment. *Annales Geophysicae*, 19, 1303-1354. doi: 10.5194/angeo-19-1303-2001
- Russell, C. T., Anderson, B. J., Baumjohann, W., Bromund, K. R., Dearborn, D., Fischer, D., Richter, I. (2016). The magnetospheric multiscale magnetometers. *Space Science Reviews*, 199 (1), 189–256. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11214-014-0057-3> doi:10.1007/s11214-014-0057-3
- Savin, S., Amata, E., Zelenyi, L., Nemecek, Z., Borodkova, N., Buechner, J., Lezhen, L. (2012). Super fast plasma streams as drivers of transient and anomalous magnetospheric dynamics. *Ann. Geophys.*, 30, 1-7. doi:10.5194/angeo-30-1-2012
- Sharma, A. S., & Curtis, S. A. (2005). Magnetospheric multiscale mission. In W. Burton et al. (Eds.), *Nonequilibrium phenomena in plasmas* (pp. 179–195). Dordrecht: Springer Netherlands. Retrieved from https://doi.org/10.1007/1-4020-3109-2_8 doi:10.1007/1-4020-3109-2_8
- Shue, J.-H., Chao, J.-K., Song, P., McFadden, J. P., Suvorova, A., Angelopoulos, V., Plaschke, F. (2009, September). Anomalous magnetosheath flows and distorted subsolar magnetopause for radial interplanetary magnetic fields. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L18112. doi:10.1029/2009GL039842
- Sibeck, D. G., Kudela, K., Lepping, R. P., Lin, R., Nemecek, Z., Nozdrachev, M. N., Yermolaev, Y. (2000, November). Magnetopause motion driven by interplanetary magnetic field variations. *J. Geophys. Res.*, 105, 25155-25170. doi: 10.1029/2000JA900109
- Sibeck, D. G., Phan, T.-D., Lin, R., Lepping, R. P., & Szabo, A. (2002, October). Wind observations of foreshock cavities: A case study. *J. Geophys. Res.*, 107 , 1271. doi:10.1029/2001JA007539
- Sonnerup, B. U. Ö., & Scheible, M. (1998). Minimum and maximum variance analysis. In G. Paschmann & P. Daly (Eds.), *Analysis methods for multi-spacecraft data* (p. 185-220). Noordwijk: ESA. Retrieved from <http://adsabs.harvard.edu/abs/1998ISSIR...1..185S>
- Treumann, R. A. (2009, December). Fundamentals of collisionless shocks for astrophysical application, 1. Non-relativistic shocks. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 17 (4), 409-535. doi:10.1007/s00159-009-0024-2
- Tsurutani, B. T., & Stone, R. G. (1985, Jan). Collisionless shocks in the heliosphere: Reviews of current research. Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series, 35 . doi:10.1029/GM035
- Voros, Z., Yordanova, E., Varsani, A., Genestreti, K. J., Khotyaintsev, Y. V., Li, W., Saito, Y. (2017, Nov). MMS Observation of Magnetic Reconnection in the Turbulent Magnetosheath. *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 122 (11), 11,442-11,467. doi:10.1002/2017JA024535
- Wang, B., Nishimura, Y., Hietala, H., Lyons, L., Angelopoulos, V., Plaschke, F., Weatherwax, A. (2018). Impacts of magnetosheath high-speed jets on the magnetosphere and ionosphere measured by optical imaging and satellite observations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123 (6), 4879-4894. Retrieved from <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2017JA024954> doi:https://doi.org/10.1029/2017JA024954

RECIKLABILNOST TISKANE RFID ANTENE NA DIGITALNEM ODTISU

¹DIANA GREGOR SVETEC, ²ANDREJA POGAČAR, ³IVANA
BOLANČA MIRKOVIĆ

Sprejeto

21. 11. 2022

Izdano

18. 8. 2023

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, OTGO, Ljubljana, Slovenija.

²DodoPack, d.o.o., Trbovlje, Slovenija.

³Univerza v Zagrebu, Grafična fakulteta, Zagreb, Hrvaška.

E-pošta: diana.gregor@ntf.uni-lj.si, hello@dodopack.com, ivana.bolanca@grf.hr

DOPISNI AVTOR

diana.gregor@ntf.uni-lj.si

Povzetek Naraščanje uporabe digitalnega tiska in povečana prisotnost tiskane elektronike vplivata na reciklabilnost papirja in kakovost papirja za recikliranje. Namen naše raziskave je bil preučiti reciklabilnost digitalno tiskanih etiket opremljenih s tiskano RFID anteno. Etiketni papir smo potiskali z magenta tiskarsko barvo v elektrofotografskem postopku tiska s suhim tonerjem. Na hrbtno, nepotiskano stran papirja smo v naslednjem koraku natisnili komercialno UHF RFID anteno s funkcionalno kovinsko barvo. Ocena reciklabilnosti je bila izvedena v skladu z Ingede metodo 11 s katero se izvaja preiskus odstranitve tiskarske barve. Na recikliranih vzorcih so bile določene optične lastnosti: svetlost, ISO belina, barvometrične lastnosti in ERIC vrednost ter število in površina nečistoč. Raziskava je potrdila dobro reciklabilnost elektrografskega tiska s suhim tonerjem in izboljšanje učinka razsivitve s flotacijo. Izkazalo se je, da prisotnost RFID oznak ne vpliva na sam postopek recikliranja in da ima zanemarljiv vpliv na optične lastnosti recikliranih vzorcev.

Ključne besede:

reciklabilnost,
razsivitev,
etiketni papir,
digitalni tisk,
tiskana elektronika



<https://doi.org/10.18690/po.10.19.39-47.2023>

Besedilo © Gregor Svetec, Pogačar in Bolanča
Mirković, 2023



1 Uvod

Elektrofotografski proces tiska, znan tudi kot xerografija, je iznašel Chester Carlson leta 1938. Začetki industrijskega digitalnega tiska segajo v leto 1975, ko je podjetje Siemens high performance printing javnosti predstavilo prvi laserski tiskalnik (Hoffmann-Falk, 2005) in podjetje Xerox PARC v sedemdesetih začelo izdelovati tiskalnike za pisarne. Od prvotnega namena, tisk seznamov, se je iz kopirnih strojev tisk razvil v več tehnik in za različne namene. Digitalne tiskarske tehnike zajemajo elektrofotografski, termografski, ionografski in magnetografski tisk, najbolj razširjena načina upodabljanja pa sta elektrografija in kapljični tisk (Kipphan, 2001). Prednosti digitalnega tiska v primerjavi z analognim tiskom so v kratkem času priprave, možnosti spreminjanja tiskovne forme med procesom tiska, personalizaciji, hitri produkciji in nižji ceni za majhne naklade. Omogoča tisk na zahtevo (Print on Demand), brez potrebe po skladiščenju, obenem so arhiviranje, komunikacija in transport digitalnih podatkov preprosti (Goldman, 2004). Med slabostmi lahko navedemo, da je hitrost tiska dokaj nizka in cena za posamezen odtis visoka ter da se pogosto zahteva posebne lastnosti površine tiskovnega materiala za doseg kakovostnega odtisa. Digitalni tisk danes dopolnjuje in širi možnosti klasičnega tiska, kot je ofsetni tisk. Je eden izmed najhitreje rastočih segmentov tiska, s predvideno rastjo 6,6 % do leta 2027 (Mordor Intelligence, 2021) oz. 7,4 % do leta 2030 (Emergen Research, 2022). K predvideni rasti bo najbolj doprineslo naraščanje uporabe digitalnih tehnologij pri tisku embalaže, etiket, in tekstila ter sektor potrošniške elektronike.

Tiskana elektronika pomeni tiskanje pasivnih in aktivnih elektronskih struktur na toge in gibke tiskovne materiale, kot so papir, karton, plastika, tekstil, itd. z uporabo digitalnih in klasičnih tehnologij tiska (Vidmar et al., 2011). Začetki segajo v leto 1976, ko so iznašli prvi prevodni polimer (Heeger, 2002). Tehnologija tiskane elektronike se odlikuje po nizkih proizvodnih stroških izdelkov, tiskanih na fleksibilnih podlagah, ki pa v kakovosti (integracija, hitrost, življenska doba) zaostajajo za konvencionalno elektroniko na togih substratih (Blayo and Pineaux, 2005). Tehnologija je zaenkrat razširjena pri raznih izdelkih za enkratno rabo, kot so RFID oznake, E-časopisi in revije ter pametna embalaža (Pivar et al., 2016). Tiskane RFID antene so vse bolj prisotne zaradi hitrejše, bolj ekonomične in ekološke izdelave RFID oznak v primerjavi s postopkom jedkanja.

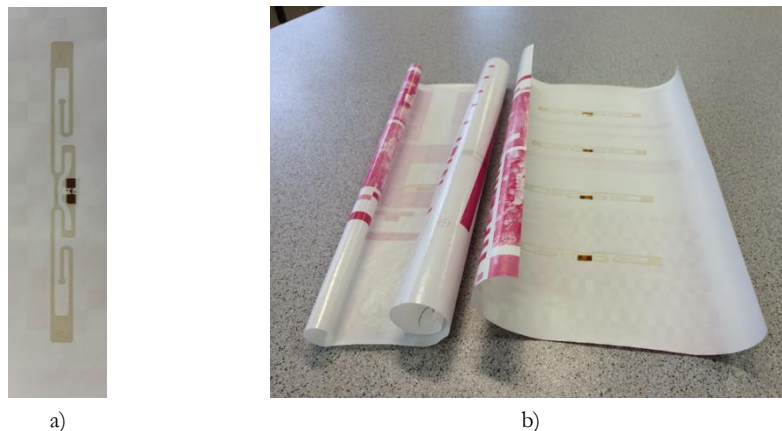
Okoljski vidik je pomemben del vsakega izdelka in postopka izdelave. Papir in karton sta najbolj reciklirana materiala v Evropi in predstavljata lep primer krožnega gospodarjenja. Leta 2021 je bila stopnja recikliranja v državah CEPI 71,4 %, leta 2020 pa 73,3 % (CEPI, 2021). Kljub visoki stopnji recikliranja pa so opazni nekateri megatrendi, ki kažejo na rahel upad v stopnji recikliranja in kakovosti papirja za recikliranje (Grossmann, 2015). Eden izmed trendov je naraščanje uporabe digitalnega tiska, ki je v primerjavi z ofsetnim tiskom bolj trajnosten, vendar pa so odtisi slabše reciklabilni (Vukoje et al., 2022). Vzrok zato je v večji količini tiskarske barve, ki se v postopku flotacije pri recikliranju ne odstrani, in s tem poslabša optične lastnosti tiskovin izdelanih iz recikliranih vlaken (Faul, 2010). Drug trend kaže na povečano prisotnost tiskane elektronike pri izdelkih iz papirja in kartona, kar lahko vpliva na reciklabilnost in kakovost recikliranih vlaken.

Namen raziskave je bil preučiti reciklabilnost digitalno tiskanih etiket opremljenih s tiskano RFID anteno. Ocena reciklabilnosti je bila izvedena v skladu z Ingede metodo številka 11. Metoda opisuje postopek ocene učinkovitosti razsvitve tiskanih izdelkov po alkalnem flotacijskem procesu (Gregor Svetec et al., 2016). Razsvitveni postopek je kemijsko-mehanski postopek odstranjevanja tiskarskih barv s potiskane površine papirja. Stopnjo razsvitve ocenimo s tremi parametri kakovosti razsvitenih vlaken in dvema procesnima parametroma. Kakovostni parametri so svetlost, barvni odtenek, nečistoče (v dveh različnih velikostnih območjih), procesna parametra pa sta odstranitev barve in potemnitev filtrata.

2 Eksperimentalni del

2.1 Material in tisk

Tiskovni material, ki smo ga uporabili v raziskavi je komercialni izdelek proizvajalca Papirnica Vevče. Izjemno bel, sijajen papir z gramaturo 80 g/m² je namenjen za gibko embalažo in etikete. Papir smo potiskali z magenta tiskarsko barvo v elektrofotografskem postopku tiska. Na hrbtno, nepotiskano stran papirja smo v naslednjem koraku natisnili komercialno UHF RFID anteno. Tisk je bil izveden na polavtomatskem sitotiskarskem stroju RokuPrint SD 05 s prevodno funkcionalno barvo SunChemical CRSN2442 ink. Po sušenju natisnjene antene smo s prevodnim lepilom prilepili čip in preverili delovanje RFID antene s IDS RFID čitalcem. Na sliki 1 je prikazana RFID oznaka ter izdelan odtis brez in z RFID oznako.



Slika 1 a) RFID oznaka; b) odtis brez (levo) in z RFID oznako (desno)

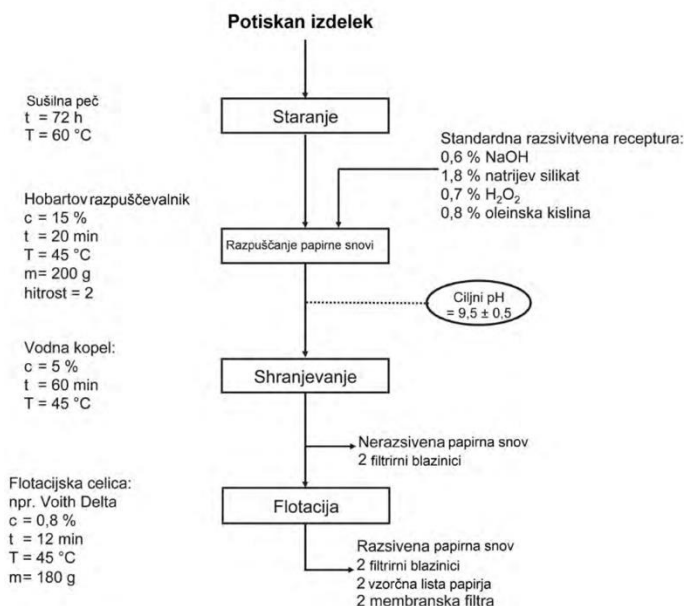
Vir: lasten

2.2 Postopek recikliranja

Recikliranje odtisov je potekalo po postopku opisanem v Ingede metodi št. 11 - Vrednotenje reciklabilnosti potiskanega papirja – Preizkus odstranitve tiskarske barve. Posamezne faze postopka so prikazane na sliki 2. Po staranju odtisov je sledilo razpuščanje v alkalnem mediju, odležanje v vodni kopeli in flotacija. Flotacija je bila izvedena v laboratorijski flotacijski celici. Iz suspenzije recikliranih vlaken so bile po postopku shranjevanja oz. odležanja v vodni kopeli izdelane filtrirne blazinice (FB) in po flotaciji vzorčni listi papirja (VLP). Filtrirne blazinice so bile izdelane z Buchnerjevimi lijakom, vzorčni listi papirja z oblikovalnikom Rapid-Köthen Sheet Machine, PTL.

Na filtrirnih blazinicah in vzorčnih listih papirja so bile izmerjene optične lastnosti s Technidyne Color Touch 2 spektrofotometrom. Določene so bile sledeče lastnosti svetlost, belina, barvne vrednosti (L^* , a^* , b^*) in ERIC vrednost v skladu s standardnimi metodami, ter iz ERIC vrednosti izračunan delež odstranitve tiskarske barve (IE). Število delcev nečistoč in njihova površina smo določili s slikovno analizo z uporabo Spec Scan 2000 (Apogee Systems Inc.)

Vzorce, ki smo jih analizirali smo označili na sledeč način: reciklirani digitalni odtis (TONER), reciklirani digitalni odtis z RFID oznako (TONER+RFID) in reciklirani nepotiskan papir z RFID oznako (RFID).

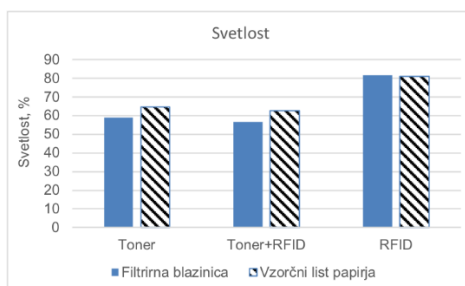


Slika 2: Prikaz postopka recikliranja in razsvitve

Vir: lasten

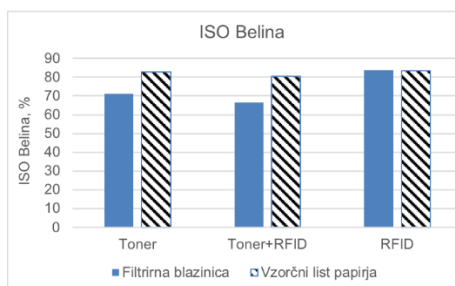
3 Rezultati

Optične lastnosti izmerjenje na filtrirnih balznicah in vzorčnih listih papirjih so prikazane na slikah 3 do 6: svetlost (slika 3), ISO belina (slika 4), barvne vrednosti (slika 5), ERIC vrednost (slika 6), delež odstranjene tiskarske barve (IE) (slika 7) ter število in površina nečistoč (slika 8).



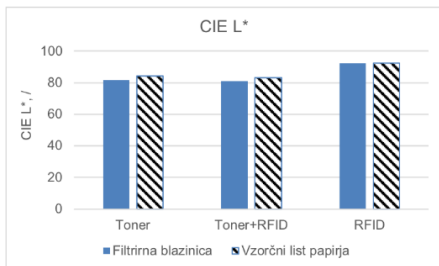
Slika 3: Svetlost filtrirne blazinice in vzorčnega lista papirja pri recikliranih vzorcih

Vir: lasten

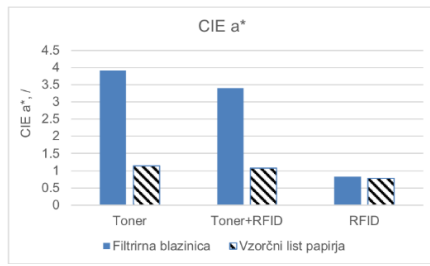


Slika 4: ISO belina filtrirne blazinice in vzorčnega lista papirja pri recikliranih vzorcih

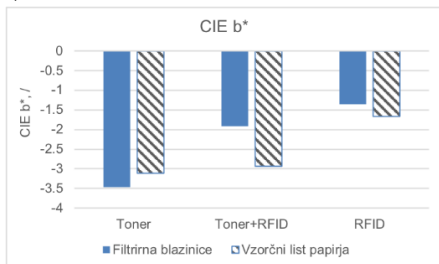
Vir: lasten



a)



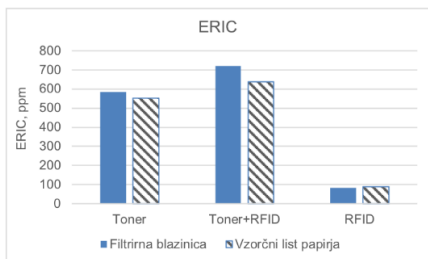
b)



c)

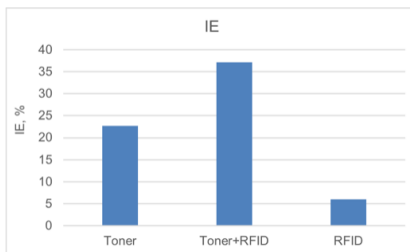
Slika 5: Barvnometrične lastnosti CIE L*a*b* filtrirne blazinice in vzorčnega lista papirja pri recikliranih vzorcih: a) L*, b) a*, c) b*

Vir: lasten



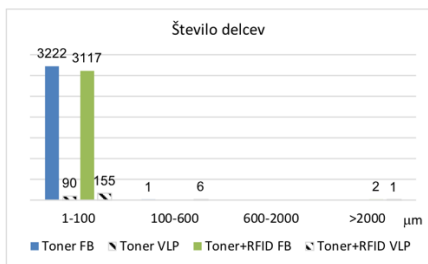
Slika 6: ERIC vrednost filtrirne blazinice in vzorčnega lista papirja pri recikliranih vzorcih

Vir: lasten

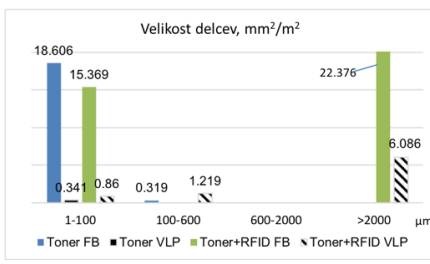


Slika 7: Delež odstranjene tiskarske barve IE pri recikliranih vzorcih

Vir: lasten



a)



b)

Slika 8: Prisotnost nečistoč pri filtrirni blazinici in vzorčnem listu papirja pri recikliranih vzorcih a) število delcev, b) površina delcev

Vir: lasten

4 Razprava

Reciklabilnost je določena s karakteristikami materiala, ki imajo uporabne fizikalne in kemijske lastnosti po koncu njihove uporabe, in ki se lahko ponovno uporabijo in predelajo v nov izdelek. Za postopek recikliranja in kakovost recikliranega papirja je reciklabilnost določena z razpadom papirja na posamezna vlakna, zmožnostjo odstranitve neželenih snovi in odstranitve tiskarske barve. Zaželeno je, da se optične lastnosti ohranijo v čim večji meri. V postopku čiščenja in flotacije se odstranijo manjše nečistoče in tiskarska barva, pri čemer pa je učinkovitost odstranjevanja odvisna od postopka tiskanja. Tiskarske barve uporabljene pri ofsetnem in globokem tisku ter suhi toner pri elektrofotografskem tisku se dobro odstranijo medtem, ko so fleksografske tiskarske barve na osnovi vode, tekoči toner in črnila pri kapljičnem tisku težko odstranljivi (Gregor Svetec et al., 2013; Faul, 2010b). Naša raziskava je bila osredotočena na elektrografski tisk s suhim tonerjem s prisotno tiskano elektroniko. Ovrednotili smo vpliv postopka flotacije in vpliv funkcionalne barve na optične lastnosti recikliranih vzorcev.

Meritve svetlosti (slika 3), ISO beline (slika 4) in barvnometričnih lastnosti (slika 5) kažejo, da se večina tiskarske barve odstrani že pred postopkom flotacije in da prisotnost funkcionalne barve nima večjega vpliva na optične lastnosti. Kljub manjšemu vplivu, pa postopek flotacije pri recikliranju digitalnih odtisov še nadalje izboljša optične lastnosti recikliranih vzorcev in doprinese k boljšemu učinku razsvitve. Razlika v svetlosti je tako 10%, v ISO belini pa 15%. Razvidne so tudi razlike v barvnometričnih vrednostih a^* in b^* , medtem ko vrednost L^* ne kaže bistvenih razlik.

Med recikliranimi vzorci, kjer je bila prisotna RFID oznaka (TONER+RFID) in vzorcih brez RFID oznake (TONER) so opazne majhne razlike v svetlosti 4% in ISO belini 6,5%, v barvnometričnih komponentah a^* in b^* pa večje, preko 20%. Po flotaciji ni opaziti več razlik v svetlosti in ISO belini, v barvnometričnih komponentah pa se razlika zmanjša na manj kot 5%. Pri recikliranem vzorcu nepotiskanega papirja, kjer je bila prisotna samo funkcionalna barva (RFID) pa sam postopek flotacije ni imel vpliva. Te ugotovitve potrjujeta tudi obe vrednosti, ERIC in IE. Efektivna koncentracija ostanka barve (ERIC) je višja pred flotacijo in se po flotaciji zmanjša in je višja pri recikliranem vzorcu, kjer je bila prisotna funkcionalna barva (TONER+RFID). Tudi delež odstranjene barve (IE) je najvišji pri tem vzorcu.

Prisotnost nečistoč, delcev tiskarske in funkcionalne barve je ovrednotena s številom delcev v več velikostnih razredih in njihovo skupno površino. Iz slike 8 je razvidno, da je največ prisotnih delcev majhnih, s premerom do 100 μm , in le zanemarljivo število večjih delcev. Pri recikliranih vzorcih pred flotacijo (FB) je bilo večje število delcev z večjo skupno površino določeno pri vzorcih, ki niso vsebovali funkcionalne barve (TONER), se je pa pri teh vzorcih po flotaciji odstranilo več delcev, kot pri vzorcih, ki so vsebovali funkcionalno barvo (TONER+RFID). To je v skladu z optičnimi lastnostmi recikliranih vzorcev, kjer so kljub majhnim razlikam le-te nekoliko slabše pri odtisih z RFID oznako.

5 Zaključek

Raziskava je potrdila dobro reciklabilnost elektrografskega tiska s suhim tonerjem in izboljšanje učinka razsvitve s flotacijo. Izkazalo se je, da prisotnost RFID oznak ne vpliva na sam postopek recikliranja in da ima zanemarljiv vpliv na optične lastnosti recikliranih vzorcev. Svetlost, ki opisuje povprečno spektralno občutljivost vidnega zaznavanja beline, preko 60 % in ISO belina, ki podaja količino odbite modre svetlobe s površine papirja, z vrednostjo preko 80 %, omogočajo uporabo recikliranih vlaken za izdelavo časopisnega papirja in nepremazanega revijskega papirja. Ker je bil odtis izveden samo z magenta barvo leži barvnometrična vrednost a^* v rdečem območju in je z vrednostjo 1 na zgornji dovoljeni meji. Število delcev in njihova skupna površina pred flotacijo so relativno visoki, po flotaciji pa se bistveno znižajo, pri čemer več delcev ostane pri recikliranem vzorcu, ki je vseboval funkcionalno barvo.

Literatura

- Blayo, A., Pineaux, B. (2005). Printing Processes and Potential for RFID Printing. Joint sOc-EUSAI conference. Grenoble, 27-30.
- CEPI Key statistics 2021 European pulp & paper industry. CEPI, (2022) 32 p.
- Emergen Research, (2022). Digital Printing Market, By Ink (Aqueous, Solvent, UV-Cured, Others), By Print Head (Inkjet and Laser), By Application (Books, Commercial Printing, Textile, Packaging, Others), and By Region Forecast to 2030, <https://www.emergenresearch.com/industry-report/digital-printing-market>
- Faul, A. (2010). Quality requirements in graphic paper recycling. *Cellulose Chem. Technol.*, 44, 451-460.
- Faul, A. M. (2010b). The recyclability of graphic paper products as a key feature for their re-use in paper production. *Symposium proceedings / 5th International Symposium on Novelties in Graphics*. Ljubljana, 617–623.

- Goldmann, G. (2004). The World of Printers, Oce Printing Systems, 2-3.
- Gregor-Svetec, D., König, S., Možina, K. (2013). Reciklirani papirji in projekt "Ecopaperloop" 10. znanstvena konferenca Pomurske akademsko znanstvene unije Pomurska akademija Pomurju, Murska Sobota, 30. november in 1. december 2012. Združenje PAZU, 12-14.
- Gregor-Svetec, D., Muck, D., Pivar, M., Ravnjak, D., Bolanča-Mirković I. (2016). Recyclability of label papers with integrated UHF RFID printed antenna. Proceedings : joint conference of PTS and COST Action. PTS Innovative Packaging Symposium 2016, April 6th - 7th, 2016, Munich, PTS, 127-140.
- Grossmann, H. (2015), Strategies for the collection of paper for recycling. Optimising Paper Products, Packaging and Collection Systems. Outcome – Guidelines and Recommendation, V-29-V-50.
- Heeger, A. J. (2002). Semiconducting and metallic polymers: the fourth generation of polymeric materials. Synthetic Metals, 125, 23-42.
- Hoffmann-Falk, M. (2005). Digital Printing, Oce Printing Systems, 4-8.
- Kipphan, H. (2001). Handbook of Print Media, Springer.
- Mordor Intelligence, (2021). Digital Printing Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact and Forecasts (2022-2027), <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/digital-printing-market>
- Pivar, M., Muck, D., Gregor-Svetec, D. (2016). Primernost recikliranih papirjev za tisk UHF RFID anten, Anali PAZU. 5, 20-25.
- Vidmar, T., Muck, T., Klanjšek-Gunde, M. (2011). Določitev optimalnih lastnosti tiskovnih materialov za tisk elektronike. Papir, 39, 43-46.
- Vukoje, M., Bolanča Mirković, I., Bolanča, Z. (2022). Influence of Printing Technique and Printing Conditions on Prints Recycling Efficiency and Effluents Quality. Sustainability, 14, 335.

