

ENERGETSKA TRANZICIJA U PODRUČJU GRAFIČKE TEHNOLOGIJE

Zdenka Bolanča¹, Ivana Bolanča Mirković^{1,2}

¹Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Kačićeva 28, 10000 Zagreb

²Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Getaldićeva 2, 10000 Zagreb

Sažetak: Zelene i digitalne tehnologije mogu se smatrati podrškom energetske tranzicije. Energetski fosilni bazni sustavi prelaze u pametne i održive energetske sustave uz podršku digitalne i energetske tranzicije. U radu se diskutiraju potrošnja i ušteda energije, rješenja i inovacije u domeni mehaničkih i digitalnih tehnika tiska te medija. Mehaničke tiskarske tehnike uglavnom troše više energije po toni otisnutog proizvoda u odnosu na neke digitalne. U tisku novina veća je potrošnja energije, veća emisija plinova koji doprinose klimatskim promjenama od e- novina na tabletu. Ovisno o korištenim sirovinama industrija tiska i ambalaže ima mogućnost uštede energije i resursa. Posebni je naglasak na papiru i kartonu, kao najviše korištenim tiskovnim podlogama. Osim toga prikazuje se kumulativna potrebna energija po pročitanoj e-knjizi korištenjem čitača za e-knjigu i uspoređuje s utroškom energije za tiskanu knjigu kroz LCA uz komentar za emisiju stakleničkih plinova i njihov utjecaj na vrijeme i klimu.

Ključne riječi: potrošnja energije, mehanički tisak, digitalni tisak, hibridni tisak, e-knjiga

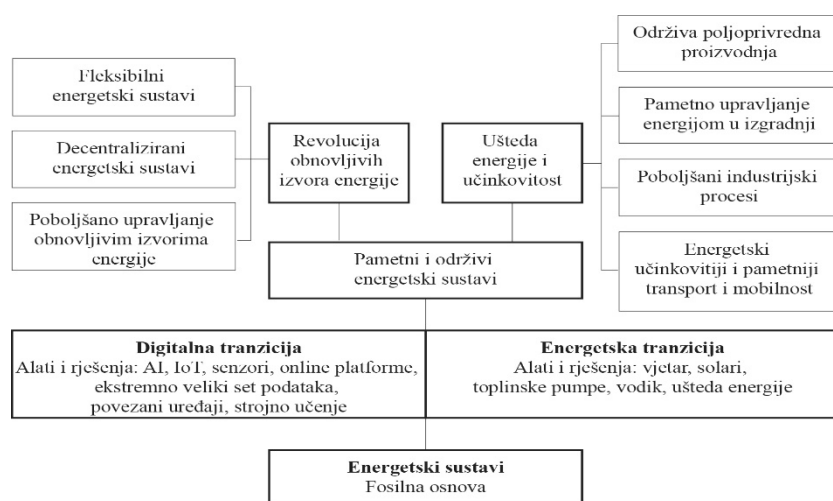
1. Uvod

Energetska tranzicija je proces transformacije energetskog sektora s ciljem prelaska s fosilnih goriva na obnovljive, ekološko prihvatljive izvore energije [1]. Taj proces obuhvaća smanjenje emisije stakleničkih plinova, digitalizaciju, uvođenjem pametnih tehnologija za bolje upravljanje potrošnjom i proizvodnjom energije, optimizaciju potrošnje energije u industriji i transportu, te prelazak gdje je to moguće s centraliziranih na distribucijske izvore energije [2].

Glavni cilj energetske tranzicije je osigurati održivu, sigurnu i gospodarski prihvatljivu energiju, usporiti klimatske promjene i smanjiti ovisnost o fosilnim gorivima. Istraživanja na tom području bitna su za razumijevanje procesa tranzicije, a ovisne

o tome kako će energetska politika modelirati energetske tranzicije i prilagoditi se povezanim transformacijama [3]. Istraživanja potvrđuju da će nadolazeće energetske tranzicije imati poželjnu energetske budućnost [4]. Teorije tranzicije i održivosti javljaju se uglavnom kao najčešće primjenjivi konceptualni okviri, a važnost u rješavanju problematike je u domeni identifikacije čimbenika koji pokreću prijelaz. Pokretači zelene energetske tranzicije su politički, ekonomski, tehnološki, socijalni i okolišni. [5].

Održivi i pametni energetske sustavi (Slika 1) kombiniraju obnovljive izvore energije, digitalne tehnologije i napredne upravljačke mehanizme kako bi osigurali stabilnu, učinkovitu i ekološki prihvatljivu opskrbu energijom [6]. Ključni elementi održivog energetske sustava su dekarbonizacija, energetska učinkovitost, lokalna proizvodnja i kružno gospodarstvo. U domeni održivog energetske sustava naglasak je na istraživanju optimizacije potrošnje energije i kružnom gospodarstvu [7,8].



Slika 1: Održivi i pametni energetske sustavi (modificirano prema [6])

Pametni energetske sustavi koriste digitalizaciju, koja ima važnu ulogu u energetskej tranziciji omogućujući efikasnije i održivije upravljanje energetske sustavima [9-14]. Digitalne tehnologije, poput pametnih mreža, IoT, umjetne inteligencije, pomažu u optimizaciji, distribuciji, proizvodnji i potrošnji energije. Pametne mreže koriste senzore i umjetnu inteligenciju za praćenje i optimizaciju distribucije električne energije u stvarnom vremenu, olakšavaju uključivanje energije iz obnovljivih izvora i omogućavaju dvosmjernu komunikaciju [15-19]. Implementacija pametnih mreža predstavlja ključni korak prema modernizaciji elektroenergetskih sustava, omogućujući sigurniju, učinkovitiju i održiviju distribuciju električne energije.

Pametni energetske sustavi koriste digitalizaciju, koja ima važnu ulogu u energetskej tranziciji omogućujući efikasnije i održivije upravljanje energetskim sustavima [9-14]. Digitalne tehnologije, poput pametnih mreža, I_0T , umjetne inteligencije, pomažu u optimizaciji, distribuciji, proizvodnji i potrošnji energije. Pametne mreže koriste senzore i umjetnu inteligenciju za praćenje i optimizaciju distribucije električne energije u stvarnom vremenu, olakšavaju uključivanje energije iz obnovljivih izvora i omogućavaju dvosmjernu komunikaciju [15-19]. Implementacija pametnih mreža predstavlja ključni korak prema modernizaciji elektroenergetskih sustava, omogućujući sigurniju, učinkovitiju i održiviju distribuciju električne energije.

Pohrana električne energije ključna je za osiguranje stabilnosti i fleksibilnosti elektroenergetskog sustava, posebno s rastućim udjelom obnovljivih izvora energije. Oni omogućuju pohranu viška proizvedene energije za kasniju upotrebu, čime se smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima i povećava pouzdanost opskrbe. Postoji nekoliko tehnologija pohrane koje se razlikuju prema obliku energije u kojem se električna energija pohranjuje kao što su: baterijski sustavi, mehanički sustavi, toplinski sustavi i kemijski sustavi. Hrvatska elektroprivreda ima u pogonu baterijske sustave za skladištenje energije u Zagrebu, Vukovoj Gorici i na Visu uz sunčanu elektranu. Prednosti sustava za pohranu energije su: povećana energetska učinkovitost za skladištenje (skladištenje viška energije tijekom niske potražnje i korištenje tijekom vršnih sati), smanjenje troškova energije (korištenje tijekom vršnih sati smanjuje potrebu dodatne proizvodnje ili smanjuje kupnje iz mreže), integracija obnovljivih izvora energije (obnovljivi izvori, solari i vjetroelektrane su povremeni i varijabilni), povećava stabilnost mreže, smanjuje rizik od nestanka struje [20-24]. Implementacija sustava za skladištenje energije ključna je za tranziciju prema održivom i pouzdanom energetskom sustavu, omogućujući bolje iskorištavanje obnovljivih izvora energije i povećanja energetske neovisnosti.

Prelazak na obnovljive izvore je važan za očuvanje okoliša, ekonomski razvoj i poboljšanje kvalitete života, čime se osigurava održiva budućnost za nadolazeće generacije. Obnovljivi izvori energije igraju ključnu ulogu u energetskej tranziciji EU. Udio ukupne potrošnje električne energije iz obnovljivih izvora u zemljama EU u 2023 iznosio je 24,5% što je u porastu u odnosu na 2022 godinu. Udio obnovljive energije se gotovo utrostručio kada se promatra razdoblje između 2004 i 2023 godine [25]. Podaci uzimaju u obzir slijedeće izvore obnovljive energije: energiju vjetera, solarnu energiju (toplinska, fotonaponska i koncentrirana), hidroenergiju, energiju plime i oseke, geotermalnu energiju, toplinu okoline prikupljene dizalicama topline, energiju dobivenu od biogoriva i obnovljivog dijela otpada [26]. Vjetera i voda daju većinu obnovljive električne energije, a solarna energija je najbrži rastući izvor energije. Obnovljivi izvori energije trebali bi činiti 69% ukupne energije EU do 2030 godine, od čega 55% samo od sunca i vjetera [27] Nova solarna energija proizvodi najjeftiniju struju prema IEA (International Energy Agency) [28]. Solarni fotonaponski PV (Phptovoltaic) moduli su postali najjeftiniji iz razloga koji slijede: masovna pro-

izvodnja, napredne tehnologije, korištene u proizvodnji, smanjenje cijene sirovina, subvencije i politike podrške u obnovljivim izvorima energije, veliki broj proizvođača stvara tržišni pritisak koji dovodi do smanjenja cijena, duži vijek trajanja i niži troškovi održavanja, te brži povrat investicije [29-34].

2. Karakteristike i izazovi tiskarske industrije

Tiskarska industrija prolazi kroz impresivne tehnološke promjene. Napredak u području elektronike i računarstva revolucionira procesa ispisa, a nastavak slijedi uz podršku AI, I₀T, *online* platformi, povezanih uređaja i strojnog učenja. Održavanje koraka s tempom tehnoloških promjena stalan je izazov za tiskarsku industriju.

Potrošnja električne energije u domeni mehaničkog tiska raspodijeljena je kako slijedi: oko 32,9% troši se u tisku radom pogona stroja, zatim slijede pogon strojeva u post presu 19,4% i u pripremi tiska 11%. [35]. Specifični pokazatelji za tiskarsku industriju usredotočeni su na potrošnju energije i materijala. Međutim, potrošnja energije je ipak glavni pokazatelj za ocjenu Tiskarska industrija prolazi kroz impresivne tehnološke promjene. Napredak u području elektronike i računarstva revolucionira procesa ispisa, a nastavak slijedi uz podršku AI, I₀T, *online* platformi, povezanih uređaja i strojnog učenja. Održavanje koraka s tempom tehnoloških promjena stalan je izazov za tiskarsku industriju.

Tablica 1: Energetski i materijalni utrošci u nekim mehaničkim i digitalnim tehnikama tiska [36]

Indikator	Jedinica	Coldset web ofset	Heatset Web ofset	Ofset na arke	Bakrotisak	Elektro- fotografija	Inkjet
Utrošak energije	kWh/ tona	420-500	750-850	800-1040	590-650	300-700	450-800
Utrošak boje CMYK	kg/tona	14-20	26-32	5-8	22-50	11-39	10-40
Utrošak papira	tona/tona	1,06-1,10	1,20-1,24	1,10-1.30	1,09-1,14	1,05-1,17	1,06-1,11

Na osnovi rezultata prikazanih u Tablici 1 može se zaključiti da digitalni tiskarski strojevi troše manje energije u odnosu na mehaničke [36]. Proučavanjem životnog ciklusa proizvoda mogu se proširiti spoznaje za poboljšanje energetske učinkovitosti tiska. Pihkola i suradnici smatraju da ukupan udio ugljičnog otiska koji pripada fazi ispisa u LCA od kolijevke do groba varira 13-46 % u ovisnosti o otisnutom proi-

zvodu: novinama, časopisu, knjigama, što u stvari daje informaciju i o energetskejoj potrošnji [36]. Kada se promatraju materijalni izvori emisije najveći je proizvodnja papira, koji se koristi kao tiskovna podloga.

Industrija celuloze i papira predstavlja energetske intenzivan sektor, koji je činio približno 6% globalne industrijske potrošnje energije u 2017. godini, da bi se u 2022. to smanjilo na nešto manje od 2% [37].

Industrija celuloze i papira predstavlja energetske intenzivan sektor, koji je činio približno 6% globalne industrijske potrošnje energije u 2017 godini, da bi u 2022 to smanjio na nešto manje od 2% [37]. Predviđa se daljnja ukupna proizvodnja papira do 2030, a uložiti će se napor i za smanjenje emisije. Taj cilj se može postići smanjenjem korištenja fosilnih goriva i poboljšanjem energetske učinkovitosti. Da bi se to postiglo treba primijeniti inovacije u tehnologijama u smjeru smanjenja količine topline, primjenom industrijskih dizalica topline. Pristup je neophodan, jer je poznato da udio reciklaže sve više raste, a ta proizvodnja se oslanja na fosilna goriva.

Tiskarska industrija suočava se s izazovima strukture i tržišta, rastućim troškovima materijala, otežavanju profitabilnosti, ekološkim trendovima i održivošću, te implementacijom energetske učinkovitijih tehnologija. Prema predviđanjima Gamprellisa i suradnika, te saznanja FEP (Federation of European Publisher) samo tiskane novine bilježe pad naklade od – 1,00%, dok najmanje povećanje naklade je u sektoru knjiga 0,90%, a najveće u tisku ambalažnih proizvoda +4,24 % (Tablica 2) [38].

Tablica 2: Predviđeni godišnji hod različitih sektora tiskarske industrije [38]

Sektori tiskarske industrije	2020	2025	Određen godišnji rast (%)
Tisak novina milioni	157,57	149,15	-1,00
Publikacije-knjige milijarde	117,07	122,44	+0,90
Komercijalni tisak milijarde	409,40	460,28	+2,24
Tisak ambalaže milijarde	352.10	433,40	+4,20
Tisak etiketa milijarde	42,70	51,89	+4,00
Sigurnosni tisak milijarde	29,50	36,00	+4,10

Prema podacima Agencije za zaštitu tržišnog natjecanja u 2023. godini u Hrvatskoj je prodana naklada svih opće informativnih dnevnih novina iznosila nešto manje od 28 milijuna primjeraka, što predstavlja pad od 15% u odnosu na 2022. godinu [39].

Smanjenje prodane naklade u 2023. godini iznosi 15% u odnosu na 2022. godinu. To smanjenje je jače izraženo nego kada se usporedi 2022. u odnosu na 2021., koje iznosi 11%. Obzirom na prikazane vrijednosti proizlazi da u promatranom četverogodišnjem periodu se radi o kontinuiranom padu prodane naklade. Treba naglasiti da je najveće smanjenje prodane naklade općeinformativnih dnevnih novina bilo 2021. u odnosu na 2020. godinu.

Prodaja opće informativnih tjednika smanjena je za 8% u 2023. godini u odnosu na 2022., a ukupno prodanih je 1,7 milijuna primjeraka [39]. U 2022. godini prodano je 1,9 miliona primjeraka, pa u odnosu na 2021. pad je iznosio 15%. Smanjenje naklada općeinformativnih novina i časopisa uzrokovano je kombinacijom ekonomskih, tehnoloških i društvenih faktora. Brz razvoj internetskih medija omogućio je besplatan i lakši pristup vijestima putem web portala, društvenih mreža i mobilnih aplikacija. Sve češće se konzumiraju informacije putem digitalnih uređaja umjesto tiskanih izdanja. Posebno mlade generacije rijetko kupuju tiskane novine, jer su navikle na brze i ažurne informacije dostupne *online*. Povećana upotreba pametnih telefona i tableta smanjuju također potrebu za tiskanim medijima. Tiskanim novinama su konkurencija alternativni mediji: Podcasti, You Tube kanali i blogovi.

S druge pak strane zapažen je rast potražnje za ambalažnim proizvodima. Etikete i fleksibilna ambalaža postaju bitna područja rasta za tiskarske tvrtke. Ključne karakteristike ambalažnog tiska su: velika potražnja, napredne tehnologije, personalizacija i ekološki standardi. Tehnologije ambalažnog tiska su: fleksotisak-velike naklade, niski troškovi, fleksibilni materijali; ofsetni tisak-kartonska ambalaža i etikete visoke kvalitete; digitalni tisak-personalizirana ambalaža i duboki tisak-vrlo velike naklade. Izazovi i trendovi u ambalažnom tisku su ekološka ambalaža, pametna ambalaža, integracija QR kodova, NFC tehnologija i senzora za interakciju s potrošačima; automatizacija proizvodnje-napredni tiskarski strojevi i robotika; personalizacije-kroz male serije i digitalni tisak.

3. Ambalažni tisak, tisak etiketa i ušteda energije

3.1 Fleksografski tisak

Fleksografski tisak sve više koristi LEAN proizvodne principe i AI kako bi smanjio utrošak energije, resurse, poboljšao učinkovitost i smanjio otpad [40]. Osim toga to omogućuju tiskarama povećanje produktivnosti, smanjenje troškova i poboljšanje kvalitete ispisa.

Faktori za smanjenje potrošnje energije su:

1. UV LED sušenje nema zagrijavanja i hlađenja zraka

- 2. Automatizirana kontrola viskoznosti boje - AI sustavi mogu precizno regulirati debljinu sloja boje, što smanjuje prekomjernu potrošnju, manje je otpada i manja je potreba za ponovnim tiskom
- 3. Prediktivno održavanje AI sustavi mogu optimizirati radne brzine i tlak valjaka, čime se smanjuje potrošnja električne energije
- 4. Optimizacija sustava za prijenos boje - korištenjem keramičkih anilox valjaka visoke preciznosti višak boje se uklanja i smanjuje se potreba za intenzivnim sušenjem. Poboljšanjem sustava miješanja i distribucije boje smanjuje se trenje, time se troši manje energije
- 5. Korištenje energetski učinkovitijih motora i regenerativnog napajanja - servo motori s niskom potrošnjom, troše manje energije u odnosu na stare. Regenerativni sustavi omogućuju ponovnu upotrebu energije generirane kočenjem valjaka i motora. Integracija I₀T senzora omogućava prilagodbu snage stroja prema potrebama proizvodnje

U fleksografskom tisku najveća ušteda energije se može postići u procesu UV LED sušenja (Tablica 3). Abusaq i suradnici u istraživanju su primjenu LEAN principe i strojno učenja/ML u fleksografskom tisku na dva stroja. Utvrdili su uštedu energije od 34,198% odnosno 38,635% po proizvodnom metru u ovisnosti o vrsti stroja [41]. Kombinacija strojnog učenja AI/ML i LEAN metodologije omogućava značajno smanjenje potrošnje u tiskarskoj industriji.

Tablica 3: Fleksografski tisak i ušteda energije [41]

Metodologija/metoda	UV LED sušenje	Automatizirana kontrola boje	AI optimizacija brzine rada stroja	Prediktivno održavanje	Optimizirani prijenos boje	Servo motor, regeneracija energije	Ukupna moguća ušteda energije
Procjena uštede energije %	40-50	10-20	10-25	15-30	10-20	20-40	30-40

Prediktivni algoritmi omogućuju tvrtkama smanjenje troškova, veću produktivnost i uštedu energije. U fleksografskom tisku oni se koriste za predviđanje kvarova strojeva, optimizaciju potrošnje energije i smanjivanje otpada.

3.2 Ofsetni tisak

Proizvođač tiskarskih strojeva, Heidelberger Druckmaschine AG povećao je energetsku učinkovitost svojih strojeva tijekom godina. Tako usporedba modela Speedmastera CD 102-6+ L iz 1990. godine i najnovijeg modela Speedmastera B1 XL 106-sa osam jedinica pokazuje smanjenje potrošnje energije za više od 40% [42]. Potrošnja energije za 1000 listova u najučinkovitijem načinu rada smanjena je sa 13,5 kWh na 8 kWh. Kod najveće brzine stroja od 18000 sph koristi se 144 kW po satu neprekidnog rada. Stroj može kontinuirano pokazivati potrošnju energije na Wallscrenu. Ušteda energije je postignuta inovacijama i optimizacijom detalja, kao što je povrat energije koja nastaje kočenjem motora. Učinkovitost energije povećana je s 35% do 70%.

AirStar Pro opskrbljivač vakuumom i sušilo vrućim zrakom s optimiziranom mlaznicom štedi 35% na 70% što može uštediti do 140 000 kW s istim formatom listova od 36 m. Ta vrijednost znači dvostruku učinkovitost u odnosu na prethodne generacije. DryStar Combination sušilo na topli zrak može uštediti 27000 kW godišnjom nakladom od 36 miliona listova u usporedbi s modelima prijašnjih generacija sušila. Takvi rezultati se postižu optimiranjem mostova, vodenim hlađenjem, zračnim pumpama s optimiziranim napajanjem.

Na DRUPI 2024 je predstavljen novi Speedmaster XL sa smanjenjem potrošnje energije od 30% kod sušenja, automatiziranim preuzimanjem što smanjuje vrijeme pripreme za 30% i s impresivnim povećanje brzine tiska od 21000 listova na sat [43,44]. Što je veća brzina sušenja, manja je potrošnja energije na 1000 listova. Povećanjem ispisa s 18000 na 21000 smanjuje se potrošnja energije za 4,5%. Osim toga prisutan je visoki stupanj automatizacije podržan AI, koji štedi vrijeme, smanjuje troškove i čine ofsetni tisak konkurentnijim. Visoko automatiziran proces pakiranja pokazuje kako se robotikom i automatizacijom u postpresu može postići revolucionarna industrijska proizvodnja.

Specijalna konfiguracija za tisak ambalaže koja omogućuje autonomne opcije za PUSH to STOP, povećava neto učinak do 20% u usporedbi s prethodnom generacijom i smanjenu potrošnju energije za sušenje do 30% s novom DryStarCombination Eco [45,46]. Može se postaviti pitanje da li ofsetna tehnika tiska može postati konkurentna digitalnom tisku? Potrošnja energije od 144 kW kod najveće brzine stroja po satu neprekidnog rada najnovijeg ofsetnog stroja mnogo je veća od potrošnje digitalnih tiskarskih strojeva. Međutim Heidelbergov Speedmaster 106 XL ispisuje znatno više površina A4 stranica, nego što proizvode digitalni strojevi u jednom satu. Osim toga ofsetni i fleksografski strojevi troše dodatnu električnu energiju u procesu izrade tiskovnih ploča, pa i za dodatni potrošni materijal koji digitalnim strojevima nije potreban.

Potrošnja energije za izradu ofsetnih i fleksografskih tiskovnih ploča ovisi o više faktora: vrsta tehnologije, materijala, veličina ploče i vrsta lampi. CTP tehnologija

eliminira potrebu za filmovima, smanjujući materijalne troškove i potencijalno potrošnju energije. Kodakovi novi uređaji kao što su Trendsetter i Achive novi Platteseteri tijekom rada troše 43% energije od prethodnih modela. Energetska učinkovitost ne samo da smanjuje troškove u fazi proizvodnje, već i potrošnju energije u fazi grafičke pripreme, što je u skladu s konceptom zelene i ekološki prihvatljive proizvodnje. Tradicionalna mokra proizvodnja ploča uključuje složenu kemijsku obradu, korištenjem velike količine energije i vode, popraćeno nastankom opasnog otpada. Bez procesne ploče donose slijedeće prednosti: smanjenje korištenja kemikalija, veliku uštedu energije i vode, smanjenje potrošnje komunalnih usluga i smanjenje nastajanje otpada.

UV LED tehnologija u odnosu na fluorescentnu ima slijedeće prednosti: bolja izloženost flexo ploča, veća učinkovitost na stroju, trajnost veća od 6 puta i manja potrošnju električne energije [47]. UV LED diode mogu više električne energije pretvoriti u svjetlosnu nego u toplinsku, što znači da pri istom osvjetljenju smanjuje se potrošnja energije UV LED dioda Tablica 4 [48] Korištenjem UV LED diode smanjuje se emisija CO₂ za 50%, ne dolazi do emisije ozona, a eliminirani su problemi vezani za živu. Konvencionalne živine žarulje potrebno je mijenjati svakih 1000-1500 sati rada, dok UV LED diode se mijenjaju nakon više od 60000 sati ako se pravilno održavaju [49] Za potrebe produktivnosti na tržište su se integrirale inherentno ravne formulacije.

Tablica 4: Ušteda energije UV LED tehnologije u odnosu na tradicionalnu [48]

Proces izrade ploče	Tradicionalna tehnologija	UV LED tehnologija	Ušteda energije UV LED %
Ekspozicija ploče	5-10kW/h	2-4kW/h	40-60
Sušenje i otvrdnjavanje	Termalno sušenje 7-15 kw/h	UV LED dioda 2-4kW/h	50-70
Hlađenje	potrebno	nije potrebno	20-30
Cjelokupni proces	100% potrošnje	40-60 % potrošnje	40-80

3.3 Digitalni tisak

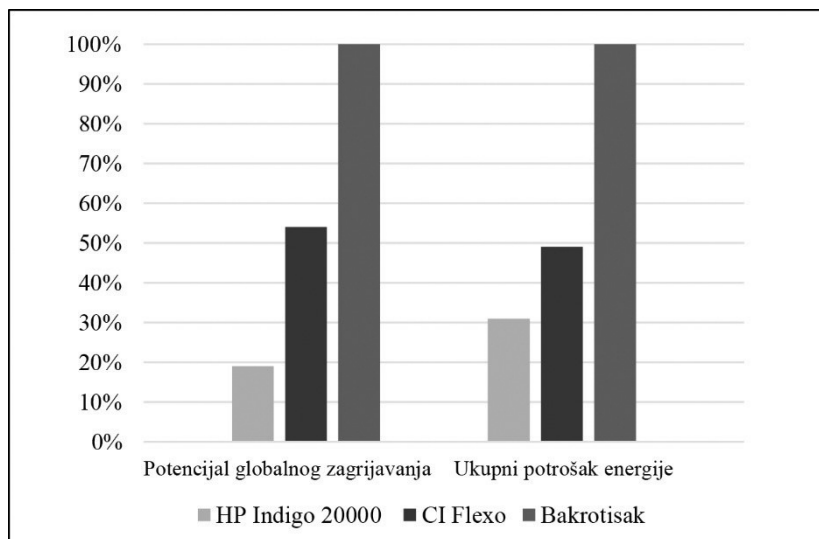
Prednosti digitalnog tiska su: brzina, isplativost za male naklade, ispis se po kvaliteti gotovo ne razlikuje od ofsetnog, veća fleksibilnost u pogledu prilagodbe, personalizacija, smanjenje materijala i otpada, ekološka prihvatljivost i manja potrošnja energije. Ušteda energije u kratkoročnim poslovima je oko 0,15-0,3 kWh za 1000 ispisa. Tvrtke poput Xeroxa proizvode emulzijski agregacijski toner, a pri tome je utrošak energije manji za 30%. Digitalna tehnika s obzirom na nabrojeno više pridonosi tranziciji energije i održivosti u odnosu na ofsetni i fleksografski tisak

Konvencionalni ofsetni strojevi su potrošači energije u slučaju korištenja aluminijskih ofsetnih ploča. Većina ofsetnih strojeva koriste online proces sušenja, koji je veliki potrošač energije [50]. Fleksografski tisak u procesu sušenja koristi visoku razinu energije upotrebom vrućeg zraka, IR-a ili obje mogućnosti, kada koristi boje na osnovi vode i otapala, tako da je UV sušenje još jedan veliki potrošač energije. LED UV koristi 30% manje energije, a i emisije karakterističnih zagađivala su manje.

U usporedbi s prije rečenim digitalni tisak je održiva metodom ispisa za male naklade. Međutim digitalni ispis može biti skup, ako se u obzir uzme kapitalna oprema, pa ispisne glave, što ga čini neprikladnim za veće naklade.

Strojevi za digitalni tisak etiketa i ambalaže posljednjih godina značajno su unaprijeđeni, kako bi smanjili potrošnju energije i što više zadovoljili kriterije održivosti. Neki od vodećih proizvođača digitalnih strojeva za tisak ambalaže su: HP indigo, Canon, Konica Minolta, Xeikon i Durst. Prototip Canonovog LabelStream LS 4000 stroja na osnovi Inkjeta i tinte na osnovi vode prikazan je na DRUPI 2024 [51]. To je određen doprinos tržištu obzirom da se radi o tisku etiketa, proizvodu koji je uz ambalažu najbrže rastuće područje (Tablica 2). Tinta za LS 2000 s je polimerima na osnovi vode, razvio ju je Canon, a ona ispunjava uvjete za indirektan kontakt s hranom. Automatizacijom i inovacijom se utječe na povećanje produktivnosti, smanjenje potrošnje energije i emisije stakleničkih plinova. Konica Minolta AccurioJet 400 je digitalno rješenje za tisak etiketa [52] Nova tehnologija Elektro fotografski suhi toner Simitri® V pogoduje širokom rasponu tiskovnih podloga. Jedna od prednosti je niska potrošnja energije.[53]. Xeikon XP3300HD LED UV inkjet digitalni stroj s rezolucijom od 1200dpi namijenjen je segmentu tiska vrhunskih etiketa. Xeikon je razvio PX-Cure LED HD tinte. Nova PX Cure HD tehnologija ima prednost i u području održivosti s naglaskom na energetska tranziciju [53]. To uključuje značajne uštede u potrošnji energije, trenutno zagrijavanje, deset puta duži vijek LED UV dioda u odnosu na tradicionalne UV žarulje, što rezultira i manjim otpadom. Toneri su bez mirisa otporni na sunčevu svjetlost, vodu i migracije. Rješenja su povezana s oblakom, a sučelje je čovjek-stroj i stroj -stroj. Eko toner tehnologija LX 3000 koristi naprednu tehnologiju vida i umjetnu inteligenciju za kontinuirani nadzor i automatsko podešavanje postavki proizvodnje ispisa [53].

HP Indigo predstavljen je tržištu fleksibilne ambalaže 2014 godine. Proizvodnja fleksibilne ambalaže je u porastu i ima prognozu uspješne budućnosti. Utrošak energije promatran je kroz životni ciklus proizvoda od kolijevke do vrata. Utvrđeno je da najveći utrošak energije pripada fazi tiska, slijedi proizvodnja ElectroInka, a na trećem mjestu je energija koja se koristi u pripremi tiska [55]. Smanjenje potroška energije tijekom ispisa moguće je primjenom EPM (Enhanced Productivity Moda) koja povećava propusnost proizvodnje i smanjuje ukupnu potrošnju energije.



Slika 2: Potencijal globalnog zagrijavanja i ukupni potrošak energije za 3000 m² otiska digitalnog stroja HP Indigo 20000 [54]

Rezultati prikazani na Slici 2 dobiveni su na osnovi LCA analize, a odnose se na globalni potencijal zagrijavanja i ukupni potrošak energije za otisak 3000 m², namijenjen izradi vrećica za kavu. Pri tome su korištene, tri tehnike tiska koje se upotrebljavaju za tisak ambalaže: digitalna LEP tehnologija (Liquid Electrophotography Printing), analogne tehnike: flexo i bakrotisak. Ukupni potrošak energije u tisku za 3000 m² fleksibilne podloge za vrećice za kavu strojevima: Indigo HP, CI fleksotisak i duboki tisak prikazan je na Slici 2. Dani rezultati pokazuju da HP Indigo u usporedbi sa bakrotiskom tiskom koristi za isprint oko 70% manje energije, a u usporedbi s CI fleksotiskom oko 23 % manje [54]. Ukupni potencijal zagrijavanja odnosi se slično kao utrošak energije, tako da Indigo HP u usporedbi s bakrotiskom ima oko 72% manji potencijal globalnog zagrijavanja, a u usporedbi s CI fleksotiskom za oko 34% manji [54].

3.4 Hibridni tisak

Hibridni tisak je integracija jedne analogne i digitalne tehnike tiska unutar jednog stroja. Modularni sustavi omogućuju kombinaciju različitih tehnologija prema potrebama proizvodnje. Prednosti takovog odabira su višestruke. Njihova struktura omogućuje modularne jedinice za fleksibilnost, a korisno je za male i srednje naklade kada je potreban velik stupanj prilagodbe i kvaliteta koja zadovoljava standarde modernog ispisa. Ovime se smanjuju višestruke proizvodne serije, skraćuje vrijeme pripreme, troškovi rada i materijala, optimizira utrošak resursa i smanjuje otpad. To je tehnika

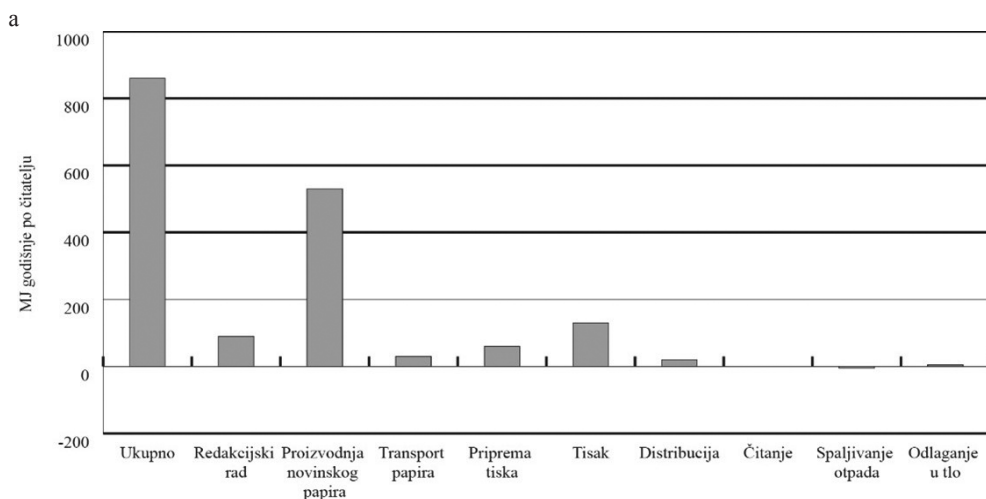
kojoj se prognozira razvoj u budućnost uz inovacije u formulacijama tinti, automatizaciji, integraciji s drugim digitalnim tehnikama, I₀T, AR površinama stvarnosti.

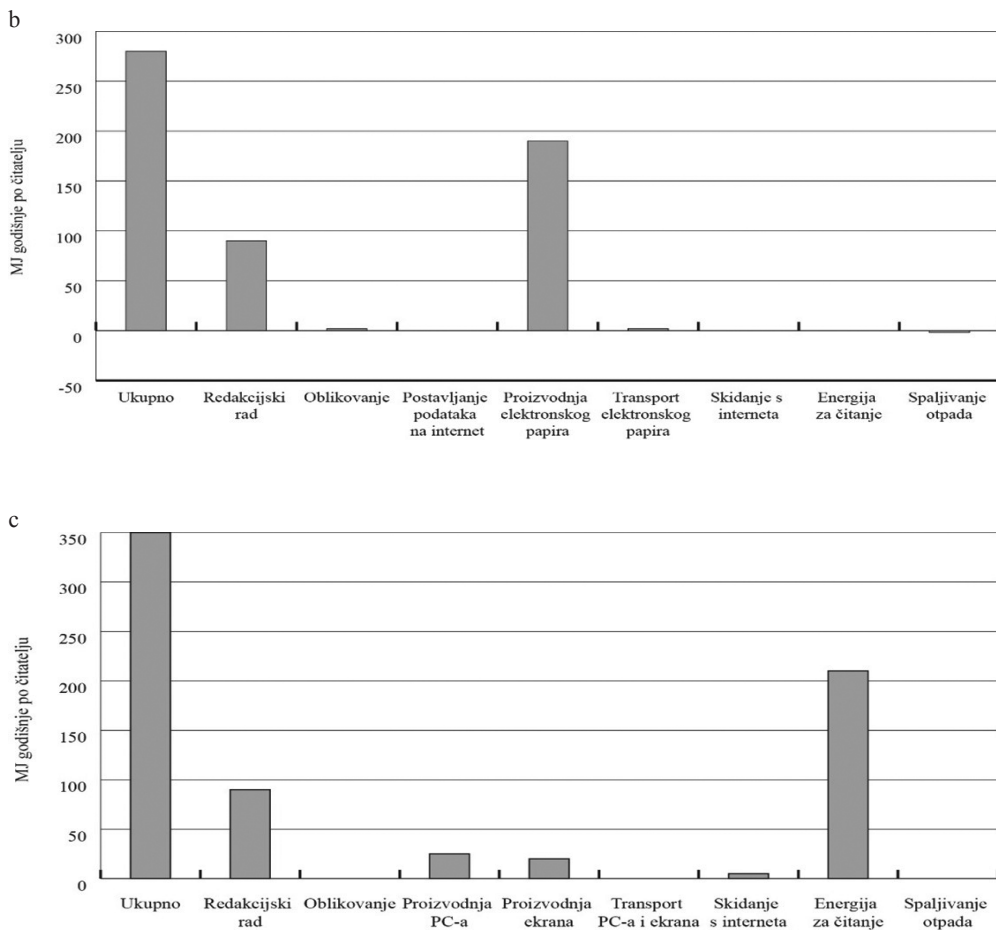
Koncept sve u jednom pokrenuo je BOBST DM5 kao flekso M5 s digitalnim modulom 2019. godine [55]. Koncept je unapređen u DM 340 DM 2022 s kategorijom strojeva potpuno modeliranih nadograđivanih strojeva. Na DRUPI 2024 prikazan je MASTER DM 340/510 koji ima modularnu arhitekturu flexo i inkjet u jednom toku rada, obuhvaća pripremu, isprint, završnu obradu i rezanje etiketa sve u jednom prolazu s jednim operatorom [55].

Primjeri nekih hibridnih tiskarskih strojeva u područje ambalažnog tiska, tiska etiketa su: Heidelberg Gallus Laelfire, Mark Andy Series HD, Domino N610i Hybrid, Nilpeter Panorama Hybrid, i OMET XJet. Svi oni nude fleksibilnost i visoku kvalitetu tiska uz optimiziranu potrošnju energije. Oni omogućuju kombinaciju digitalnih i fleksografske tehnologije, automatizirane procese i inline doradu, čime se postiže maksimalna učinkovitost u proizvodnji.

4. LCA tiskanih, on line i elektronskih novina u odnosu na utrošak energije

Tradicionalne dnevne novine dugo vremena bile su pouzdan izvor informacija. Digitalna tranzicija je revolucionirala medijsku industriju, preobličujući način na koji se komuniciraju informacije dovodeći u pitanje dominaciju tradicionalnih tiskanih publikacije. Novinsko tržište u Europi je poput mnogih drugih u Svijetu u istoj situaciji, da digitalizacija štetno djeluje na nakladu, prodaju i čitanost.





Slika 3: Godišnja potrošnja energije za tri proizvoda u MJ kroz životni ciklus: a - tiskane novine, b - digitalne novine, c - elektroničke novine [57]

Prema STATIST-i u EU prodaja dnevnih novina smanjila se 21% za 2022. godinu. Interesan je primjer Nizozemske, gdje dobna skupina od 60-65 godina svakodnevno čita tiskane novine, dok ona od 50-64 godine čita u iznosu od 40% [56].

Imajući na umu energetska tranziciju, prednosti, trendove i izazove na Slici 3 prikazuje se utrošak energije kroz životni ciklus tiskanih novina, online i elektroničkih novina. Na Slici 3a je prikazan utroška energije u životnom ciklusu od kolijevke do vrata prema fazama za tiskane novine. Ova analiza obuhvaća slijedeće ključne korake: redakcijski rad, proizvodnju novinskog papira, transport papira, pripremu tiska, proces tiska, distribuciju, čitanje, spaljivanje otpada i odlaganje. Najveći utrošak energije u MJ godišnje po čitatelju je u fazi proizvodnje novinskog papira.

Tijekom proizvodnje papira koristi se velika količina vode, ovisno o tehnologiji i može iznositi 30-70 m³ po toni papira proizvedenog iz drveta dok proizvodnja reciklažom troši 8-10 m³ po toni [58]. Reciklažom se može uštedjeti energija i ona iznosi 19,083 GJ po toni recikliranog papira. Proizvodnja papira je karakteristična po emisiji CO₂ od oko 851 kg po toni proizvedenog papira. Novine se uglavnom tiskaju na papiru načinjenom od sto postotnog udjela recikliranih vlakana. Po utrošku energije slijedi tisak [59]. Za tisak novina uglavnom se koriste mehaničke tehnike tiska. Prosječna potrošnja energije po satu tiska je 100-200 kWh, ako se koristi ofsetna rotacija, a ako se koristi fleksotisak utrošak energije je nešto manji, iznosi 50-150 kWh. Smanjiti utrošak energije u tisku moguće je optimizacijom strojeva, korištenjem energetski učinkovitijih motora i elektronike. Treći po utrošku energije u životnom ciklusu je redakcijski rad, slijedi priprema tiska. Ukupni utrošak energije za pripremu tiska novina ovisi o veličini naklade. Male naklade, ispod 50.000 primjeraka troše energiju od 50-150 kWh, a velike naklade preko 200000 primjeraka troše preko 500 kWh [60]. Potrošak energije u pripremi tiska može se smanjiti automatiziranim sustavom postavljanja ploča i optimizacijom papirnih rola, misli se na pravilno balansiranje što smanjuje potrebu za dodatnim kalibracijama. Manji utrošak energije je utvrđen transportom papira i distribucijom novina, koja uključuje transport od tiskare do distribucijskih centara, prodajnih mjesta i pretplatnika te povratak remitende.

Na Slici 3b prikazan je godišnja potrošnja energije u MJ po čitaču za digitalne novine. Životni ciklus obuhvaća: redakcijski rad, oblikovanje, proizvodnju PC, proizvodnju ekrana, transport PC i ekrana skidanje s interneta, energiju za čitanje i spaljivanje otpada. U ovom slučaju energetski najzahtjevnije je čitanje. Utrošak energije proizlazi iz nekoliko ključnih komponenata: potrošnja energije uređaja, prijenos podataka putem interneta i rad podatkovnih centara. Stolna računala obično troše između 60 i 250 W tijekom rada, a prijenosna računala između 15 i 60 W ovisno o modelu i opterećenju [60]. Prosječna energetska potrošnja tableta kreće se od 3-7 W tijekom aktivnog korištenja. Prijenos podataka s web poslužitelja do uređaja primatelja također troši energiju. Prema dostupnim podacima, globalna potrošnja električne energije mreža za prijenos podataka činila je između 1,1 % i 1,4 % ukupne svjetske potrošnje električne energije u 2020. godini [61]. Web stranice novina hostiraju se u podatkovnim centrima koji rade neprekidno kako bi osigurali dostupnost sadržaja. Ti centri troše značajne količine energije za rad sustava hlađenja servera. U 2020. godini potrošnja električne energije podatkovnih centara činila je oko 1% ukupne globalne potrošnje energije [62].

Iako čitanje novina na webu smanjuje potrebu za papirom, tiskom i fizičkom distribucijom, važno je biti svjestan energetske potrošnje povezane s korištenjem elektroničkih uređaja, prijenosom podataka i radom podatkovnih centara. Odabir energetski učinkovitih uređaja, optimizacija postavki poput smanjene svjetline zaslona, te racionalno korištenje interneta mogu doprinijeti smanjenu ukupne potrošnje pri čitanju.

Na Slici 3c prikazan je utrošak energije u životnom ciklusu elektroničkih novina. Energetski najzahtjevnija je proizvodnja e-čitača. Održiva alternativa za tiskane novine dostupna je prije više od dvadesetak godina, a kroz povijest je mijenjala naziv: elektronički papir, e papir, i konačno e-čitač, naziv koji je aktualan i danas. Karakteristika e-čitača je vrlo niski potrošak energije kod čitanja, za razliku od tradicionalnih tehnologija zaslona kao što su LCD, CRT ili plazma ekrani. Iako su detaljni podaci o potrošnji energije u proizvodnji ograničeni, dostupne analize životnog ciklusa e-čitača pružaju određene uvide. Proizvodnja e-čitača uključuje nekoliko energetskih intenzivnih procesa: ekstrakcija sirovina dobivanje rijetkih metala i plastike zahtjeva znatnu količinu energije, zatim proizvodnja komponenti, izrada elektroničkih dijelova uključujući zaslone i baterije su također energijski zahtjevni procesi i na kraju sklapanje uređaja, montaža svih komponenti doprinosi ukupnoj potrošnji energije. Iz prikaza godišnje potrošnje energije kroz životni ciklus elektroničkih novina (Slika 3) vidljivo je da energija za čitanje godišnje po čitatelju gotovo zanemariva što pokazuje i neka naša istraživanja [63, 64]

5. E- knjiga

Digitalizacijom knjige mijenjaju gotovo svaki aspekt stvaranja knjige, počevši od formata, prirode autorstva, vlasništva, čitatelja te poslovnog modela u izdavaštvu. U Tablici 5 prikazan je udio stanovnika EU koji kupuje tiskane knjige, te onih koji se odlučuje za e-knjige u razdoblju 2021.-2023. godina prema EUROSTAT-u [65]. Udio stanovnika koji kupuju tiskanu knjigu je veći u odnosu na one koji kupuju e-knjigu. Pitanje je: zašto tiskane knjige imaju poseban status? One imaju estetsku, emocionalnu i dugoročnu vrijednost, pružaju taktilni doživljaj. E-knjige karakterizira sadašnjost i praktičnost, a okrenute su budućnosti

Tablica 5: Online kupovina tiskanih i e-knjiga u EU [65]

Godine	Tiskane knjige %	E-knjige %
2021.	14,5	Nema podataka
2022.	12,7	6,6
2023.	13,4	7,2

Za održivost i energetske učinkovitost pojava E ink zaslona smatra se izvanrednom tehnologijom. Ovi zaslone se koriste u e-pisačima i nude značajne prednosti u e-čitačima i drugim digitalnim uređajima. E ink koristi tehnologiju elektroforetskog prikaza. Mikro kapsule sadrže crne i bijele čestice suspendirane u tekućini. Kada se promijeni električno polje, čestice se pomiču gore ili dolje stvarajući tekst ili sliku. E ink zaslone troše do 99% manje energije od LCD zaslona [66].

Kang i suradnici su proveli sustavni pregled literature kako bi predložili ekološke učinkovitosti tiskanog i digitalnog čitanja [67]. Pregled otkriva da oba formata imaju prednosti i nedostatke te da postoji potreba za daljnjim istraživanjem i međusobnim nadopunjavanjem. Trebalo bi razmotriti sada prevladavajući stav da je ekološki prihvatljivije-čitanje. Bitne činjenice koje utječu na ekološku prihvatljivost tiskanih knjiga su: dulji vijek trajanja, prenose među korisnicima, da bi vlakanca nakon reciklaže papira zadovoljila kvalitetom za izradu sekundarnog materijala za tisak mogu se reciklirati do 7 puta čime se dodatno smanjuje ekološki otisak. Elektronički otpad se reciklira u daleko manjem opsegu.

Emisija stakleničkih plinova za tiskane knjige iznosi 1,24 kg CO₂, a smanjuje se na 1,11 kg CO₂ e/knjiga kada se uzme u obzir učinak recikliranog papira [68]. Rezultati za e-knjigu u uvjetima prosječnog vremena korištenja kreću se od 0,25-0,91 kg CO₂, pri čemu tablet s e-tintom ima najniže emisije. Kada se primjeni prosječno vrijeme korištenja svakog uređaja za e-knjigu, tiskana knjiga ima veći utjecaj od svih e-knjiga. Međutim, utjecaj tiskanih knjiga može biti manji od utjecaja e-knjiga za uređaje s većim ekranom.

6. Zaključak

Zelene i digitalne tehnologije mogu se smatrati podrškom energetske tranzicije. Alati i rješenja za energetska tranziciju su: vjetar, solari, vodik, toplinske pumpe, štednja energije i mjerenje energetske učinkovitosti. Alati i rješenja digitalne tranzicije su: AI, ekstremno veliki set podataka, IoT, senzori, online platforme, povezani uređaji i algoritmi strojnog učenja. Energetski fosil bazni sustavi prelaze u pametne i održive energetske sustave uz podršku digitalne i energetske tranzicije. Zelena tranzicija i digitalna transformacija daju održivi energetski sustav, uključujući kružnu ekonomiju, zelenu elektroniku, nultu zagađenost, održivu mobilnost, održiv izgrađen okoliš, održiv prehrambeni sustav i očuvan i obnovljen ekosustav, te bioraznost.

Energetska tranzicija u tiskarskoj industriji je u tijeku, s naglaskom na održivost, smanjenje otpada i prelazak na obnovljive izvore energije. Iako tisak ostaje važan dio medijske i izdavačke djelatnosti digitalizacija i tehnološke inovacije potpuno mijenjaju način proizvodnje i potrošnje energije i materijala.

7. Literatura

- [1] Lamnatou, Cristofary, C.; Chemisana, D.: Renewable energy sources as a catalyst for the energy transition, *Renewable Energy*, **221** (2024) 11060, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.11960>

- [2] Dekeyrel, S.; Fessler, M.: Digitalisation: Enabler for clean Energy transition, *Journal of Energy & Natural Resources Law*, **42** (2024) 185-209, <https://doi.org/10.1080/02646811.2023.2254103/>
- [3] Gielen, D.; Boshell, F.; Saygind, D.; Bazilian, M. D.; Wagner, N.; Gorini, R.: The role of renewable energy in the global Energy transition, *Energy Strategy, Reviews*, **24** (2019) 38-50, <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.01.006>
- [4] Getto, A.: Futures we want and policy agenda for Energy transition, *Energy Research & Social Energy Science*, **89** (2022) 11, 102639, <https://doi.org/10.1016/j.erss.102639>
- [5] Muhre, F.; Turyareeba, D.; Muiywas, I.; Adaramola, S.; Nantongo, M.: Drivers of green energy transition: A review, *Green Energy and Resources*, **2** (2024) 2, 100105, <https://doi.org/10.1016/j.grr.2024.100105>
- [6] EPC EU., Digitalization: An enabler for the clean Energy transition, Dostupan na http://www.epc.eu/content/PDF/2023/Vodafone_DP_final, *Pristupljeno*: 2025-01-12
- [7] Renna, P.; Materi, S.: A literature review of energy efficiency and sustainability in Manufacturing Systems, *Applied Science*, **11** (2021) 16, 7366, <https://doi.org/10.3390/app 11167366>
- [8] Dulge K.; Azis, R.; Lund, P. D., Blumberga, D.: Importance of energy efficient manufacturing industries for climate and competitiveness, *Environmental and Climate Technologies*, **25** (2021) 1, 306-317, <https://doi.org/102478/truce 2021-0022>
- [9] Sarkis, J.; Kouhizadel, M.; Zhu Q. S.: Digitalization and the greening of supply chains, *Industry Management& Data Systems*, **121** (2021) 1, 65-68, <https://doi.org/10.1108/IMDS-08-2020-0450>
- [10] Lange, S.; Pohl, I.; Santarivs, T.: Digitalization and Energy consumption does ICT reduce Energy demand? *Ecology Economic*, **176** (2020) 176, 10676, <https://doi.org/10.1016/j.ace/econ.2020.106760>
- [11] Zhao, X.; Xu, S.; Lio, B.: Digital economy's impact on green innovation efficiency: bottom-up or top-down? *Clean Technology And Environment Policy*, **22** (2025) 1, 367-388, <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02753-x>
- [12] Huang, S.; Tan, H.: Evolution of the effects of green supply chain digital Technologies and Energy prices on renewable energy innovations: A way forward for an emerging economy, *Energy Economics*, **141** (2025) 108038, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108038>
- [13] Kuzmin, E.; Vlasov, M.; Strielkowski, W.; Faminskay, M.; Kharchenko, K.; Faminskaya, M.; Kharchenko, K.: Digitalization of the energy sector in its transition towards renewable energy: A role of ICT and human capital, *Energy Strategy Reviews*, **53** (2024) 101418, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101418>
- [14] Look, M.: Unlocking the value of digitalisation for the European energy transition: A typology of business models, *Energy Research & Social Science*, **69** (2020) 101740, <https://doi.org/101016/j.erss.2020.1017402020>
- [15] Butt, O. M.; Zulqarnain, M.; But, T. M.: *Recent advancements in smart grid Technology: Future prospects in the electrical power network*, *Ain Shams Engineering Journal*, **12** (2021) 1, 686-695, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.004vers>

- [16] Jacobson, T.: The cost of grid stability with 100% clean, renewable energy for purposes when countries are isolated, versus interconnected, *Renewable Energy*, **179** (2020) 1065, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.115>
- [17] Sharma P.; Salkuti, S. R.; Kim, S.: Advancement in energy storage technologies for smart grid development, *Journal of Electrical and Computer Engineering*, **12** (2022) 4, 3421-3429, <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i4-pp3421-3429>
- [18] Kumar, A.: Beyond Technical smartness: rethinking the development and implementation of sociotechnical smart grids in India, *Energy Research and Social Science*, **40** (2019) 158-178, <https://doi.org/10.1016/erss.2018.10.026>
- [19] Javed, M. S.; Jurasz J.; Mc Pherson, M.; Dai, Y.; Tao, M. A.: Quantitative evaluation of renewable energy based remote microgrids: curtailment, load shifting and reliability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **164** (2022) 11, 2516, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112516>
- [20] Olushola, A.: Energy storage system technologies, evolution and applications, *Energy and Power Engineering*, **16** (2024) 2, 97-119, <https://doi.org/10.4236/epe.2024.162005>
- [21] Izzati, L.; Zain, A. S. M.; Ariffin W. U. S. F. W.; Zain A. S. M.; Nordin, N.; Saad, N. S.: Comparative study of energy storage system, *Journal of Physics Conference Series*, **1962** (2022) 1, 012035, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1962/1/012035>
- [22] Badea, I.-C. C.; Serban, B. A.; Anasiei, I.; Matrica, D.: The energy storage technology revolution to achieve climate neutrality, *Energies*, **17** (2023) 1, 140, <https://doi.org/10.3390/en17010140>
- [23] Elalfy, D. A.; Kotb, M. F.; Bureš, V.; Sedhorn, B.: Comprehensive review of energy storage systems technologies, objectives, challenges, and future trends, *Energy Strategy Reviews*, **54** (2024) 101482, <https://doi.org/10016/j.esr.2024.101482>
- [24] Amir M.; Deshmukh, R. G.; Khalid, H. M.; Said, Z.; Raza, A.; Muyeen, S. M.; Nizami, A. S.; Elavarasan, R. M.; Saidur, R.; Sopian, K.: Energy storage technologies: an integrated survey of developments, global economic/ Environmental effects, optimal scheduling model, and sustainable adaption policies, energy storage, *Journal of Energy Storage*, **72** (2023) E30, 108694, <https://doi.org/1016/j.est.2023.108694>
- [25] European Commission, Review analyses full-year electricity generation and data for 2023 in all EU countries, Dostupan na: <http://ember-energy>, *Pristupljeno*: 2024-02-15
- [26] European Commission, Shedding light energy in the EU-2023 edition, Dostupno na: <https://www.ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/ddn-20250221-3>, *Pristupljeno*: 2025-02-15
- [27] European Commission, 2023: record-breaking increase in renewable electricity, Dostupno na: <https://www.ec.europa.eu/energy>, *Pristupljeno*: 2025-02-15
- [28] IEA, Solar, Dostupno na: <https://www.iea.org/solar-pv>, *Pristupljeno*: 2025-02-27
- [29] IEA-PUPS, Trend in photovoltaic applications 2024, Dostupno na: <https://www.iea-pvps.org/uploads/iea.org>, *Pristupljeno*: 2025-02-15

- [30] ICA. ORG Reports What is the impact of increasing commodity and energy prices on solar PV, wind and biofuels? Dostupno: ica.org/articles/what-is-important-of-increasing-commodity-and-energy-prices-on-solar-PV-and-biofuels, *Pristupljeno*: 2025-03-01
- [31] IEP-PVPS Trend in photovoltaic applications 2024, Dostupno na: <https://www.ica-pups.org/2024/10>IEA>, <https://doi.org/10.1023.10.022> , *Pristupljeno*: 2025-03-05
- [32] Hamed H. Pourasl, H. H.; Barenji, R. V.; Khojastehnezhad, V.M.: Solar energy status in the world: A comprehensive review, *Energy Reports*, 10 (2023) 3474-3493, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.022>
- [33] Eurostat, European Commission share of energy from renewable sources-Statistic/Eurostat, Dostupno na: <https://ac.europe.eu>view>table>, *Pristupljeno*: 2025-03-01
- [34] Breyer, C.: Low-cost solar power enables a sustainable energy industry system, *Proceedings of the National Academy of Science*, **118** (2023) e 2116940118, <https://doi.org/10.1073/pnas.2116940118>
- [35] Murgolis, G. N.; Pellegrino, J. L.: Energy efficiency in the printing and publishing Industries, Dostupno na: www.aceee.org/files/data/papers, *Pristupljeno*: 2025-03-05
- [36] Pihkola, H.; Nors, M.; Kujanpää, M.; Helin, T.; Kariniemi, M. P.: *Carbon footprint and environmental impacts of print products from cradle to grave*, VTT Technical Research Centre of Finland, ISBN 978-951-38-7669-2, 2010
- [37] IEA, Tracking Pulp and Paper, Dostupno na: <https://www.iea.org./energy-sistem/industry/paper>, *Pristupljeno*: 2025-03-08
- [38] Gamprellis, G.; Politis, A. E.; Sofias, A. E.; Tsigonias A.; Vonitsanas, G.; Tsiganias, M.; Marco K.: Challenges for the printing industry in the modern digital and meta pandemic area, Proceedings of the 47th International Research Conference of IARIGAI, Politis, A., E., 10-28, ISBN 978-3-948039, Athens, Greece, September 2021, IARIGAI, Darmstadt, 2021
- [39] AZTN, Istraživanje tržišta tiska za 2023, Dostupno na: <https://www.hr>uploads>2024/07>, *Pristupljeno*: 2025-03-07
- [40] Powel, D. J.: Artificial intelligence in lean manufacturing: Digitalization with a human touch? *International Journal of Lean SixSigma*, **15** (2024) 3, 719-729, <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2024-256>
- [41] Abusaq, Z.; Zahor, S.; Habib, S.; Rehman, M.: Improving energy performance in flexographic printing process through lean and AI techniques: A Case study, *Energies*, **16** (2023) 4, 1972, <https://doi.org/10.3390/en16041972>
- [42] Heidelberg Druckmaschinen: Energy efficiency as standard, Dostupno na <https://www.heidelberg.com>Products>offset-printing>, *Pristupljeno*: 2025-03-01
- [43] Print Weak Heidelberg launches New generation Speedmaster SX, <http://www.printerweekmena.com>, *Pristupljeno*: 2025-03-05
- [44] DRUPA 2024, UV dryers: conventionals and LED, <https://www.drupacom>cataloge>, *Pristupljeno*: 2025-03-01

- [45] Heidelberg Druckmaschine AG, Speedmaster: Energy efficiency as standard, https://www.global/en/products/offset_printing/energy_efficiency/speedmaster_ener_efficien, *Pristupljeno*: 2025-03-06
- [46] DRUPA, Heidelberg DRUPA 2024, http://www.innovation/in/printing/and/packaging_machinery, *Pristupljeno*: 2025-03-10
- [47] Goodiuv, LED UV curing: data: Analysis LED versus traditional methods, https://inovation-of-UV-technology-UV_flexo_printing-analysis-led-uv.-vs-traditional-methods, *Pristupljeno*: 2025-03-11
- [48] Zhang, H.; Wang, Z.; Li, W.; Feng, Y.: Printing and CtP-trends and Technology, part 2., Computer-to-plate, *Graphix*, **9** (2010) 3, 31-35
- [49] Flexographic Technical Association, UV LED & photopolymer Technology: The future of flexographic plate making, <http://www.flexography.org/industry-news/uv/led-photo-polymer-technology-flexographic-plate-making-future>, *Pristupljeno*: 2025-03-10
- [50] DRUPA American Council for an Energy-Efficient Economy, Energy efficiency in the Printing, https://www.waceee.org/SS05_paper_24.pdf, *Pristupljeno*: 2025-03-10
- [51] Canon, Label Stream LS 4000, <https://www.cpn.Canon/product>, *Pristupljeno*: 2025-03-24
- [52] DC Market Note, Konica Minolta Accurio Label 400 Brochure bmy2023, <https://konicaminolta.com.my/uploads/2023/05.pdf>, *Pristupljeno*: 2025-03-24
- [53] Xeikon, Engine XEIKON PX 3300HD, <http://xeikon.com/en/Products/px>, *Pristupljeno*: 2025-03-10
- [54] DRUPA, Bobst hybrid label press: all-in-one all-in-line model, <https://www.drupa.com>, *Pristupljeno*: 2025-03-15
- [55] HP Indigo Low environmental impact printing with HP Indigo Digital Presses, http://h20195www2.hp.com/V2/Get_Document.aspx?docname-A4AA7-5259ENW, *Pristupljeno*: 2025-03-10
- [56] STATISTA, Newspaper market in Europa-statistic & fakt, <https://www.statista.com/topics>, *Pristupljeno*: 2025-03-25
- [57] Moberg, A.; Johansson, M.; Finnveden, G.; Jonsen, A.: Screening environmental life based cycle assessment of printed, web-based and tablet e-paper newspaper, Reports from the KTH Centre for Sustainable Communications Stockholm, www.sus.kth.se, *Pristupljeno*: 2025-03-10
- [58] Bajpai, P.: *Recycling and Deinking of recovered paper*, Elsevier, ISBN, 978-12-416998, Amsterdam, 2014
- [59] Vasquez, L. C.; Espina-Romero, L. C.; Vera J. R. R.; Cristel, L. C.: Energy management in the newspaper production process, *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, **14** (2021) 2150-2158
- [60] Econnex, Laptop vs desktop: A showdown of energy consumption Dostupno na <http://www.econnex.com>, *Pristupljeno*: 2025-03-01

- [61] Kamiya, G., Bertoldi, P., Energy consumption in data centres and broad Communications networks in the EU, European Commission [interacdc.com/JRC135926_01](https://interactions.jrc.ec.europa.eu/JRC135926_01) Dostupno na <https://interactions.jrc.ec.europa.eu>> Pristupljeno: 2025-03-10
- [62] EU Science Hub, European code of conduct for energy efficiency in data, <https://joint-research-centre.ec.europa.eu>>, Pristupljeno: 2025-03-10
- [63] Kong, A.; Lu, J.,; Xu, J.: Is e-reading environmentally more sustainable than conventional reading? Evidence from a systematic literature review, *Library & Information Science Research*, **43** (2021) 3, 101105, <https://doi.org/10.1016/j.lisr.202110.1105>
- [64] Bolanča Mirković, I.; Bolanča, Z.: Calculation of the carbon footprint of books and e-readers through the stage of the product life cycle, International Symposium on graphic engineering and design, Grid, Novi Sad, 2024, <https://doi.org/10.24867/grid-2024-p70>
- [65] EUROSTAT: online purchases: printed books are preferred over e-books, europa.eu/web7products-eurostat-news/w/ddn-2024423-2, Pristupljeno: 2025-03-10
- [66] Paperslate, How e-ink screens contribute to reduced energy, paperslate.io/en/user-well-being/how-e-ink-screens-contrbute-to-reduced-energy-consumption, Pristupljeno: 2025-03-10
- [67] Kang, Q.; Lu, J.; Xu, J.: Is e-reading environmentally more sustainable than conventional reading? Evidence from a systematic literature review, *Library & Information Science Research*, **43** (2021) 101105, <https://doi.org/10.1016/j.lisr.2021.101105>
- [68] Amasava, E.; Thara, T.; Hanaki, K.: Live-ciclle greenhouse gas *emissions* of e-books vs. paper books: A Japanese case study, *Journal of Cleaner Production*, **186** (2018) 59-66, <https://doi.org/10.1016/j.jelepro.2018.03321>