

VODIČ ZA

# EKODIZAJN Z ADITIVNO PROIZVODNJO

Interreg



Co-funded by  
the European Union

Slovenia – Austria

ADDCIRCLES



# ZAHVALE

**Ta vodič je plod sodelovanja, raziskav in podpore, ki so jih zagotovile nekatere ključne evropske pobude, namenjene spodbujanju trajnosti in naprednih proizvodnih praks.**

**Posebej se želimo zahvaliti za temeljno delo, podatke in strokovno znanje, ki so jih prispevali partnerji projekta ADDCIRCLES.**

**TRAJANJE PROJEKTA:** 1. 11. 2023 – 31. 10. 2026

**FINANCIRANJE:** Interreg Slovenia - Austria

**PARTNERJI:**

Fakulteta za tehnologijo polimerov, Slovenija (coordinator)

FH Kärnten, Avstrija

TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije, Slovenija

WoodKPlus, Austria

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Slovenija

“GPS-Kärnten” Gemeinnütziges Personalservice Kärnten GmbH, Austria

Projekt ADDCIRCLES, financiran s strani Evropskega sklada za regionalni razvoj (ERDF) v okviru programa Interreg Slovenija - Avstrija, je zagotovil ključne vpogleds v trenutno stanje in prihodnji potencial aditivne proizvodnje (AP) v regiji. Njegova osredotočenost na mapiranje kompetenc in spodbujanje okolja za sodelovanje pri prenosu tehnologije je bila ključnega pomena pri oblikovanju tehničnih smernic v tej publikaciji.

Projekt je zagotovil tudi kritične informacije o vključevanju načel krožnega gospodarstva v AP. Predanost projekta razvoju komponent in izdelkov, optimiziranih za krožno gospodarstvo, je neposredno vplivala na načela ekološkega oblikovanja in razmišljanja o življenjskem ciklu, ki so predstavljena tukaj.

Iskreno se zahvaljujemo vsem partnerjem, raziskovalcem in sodelujočim organizacijam za njihovo predanost trajnostnim inovacijam.

Več znanja in informacij o projektu je na voljo tukaj: [www.ammmap.eu](http://www.ammmap.eu)

**NAMEN VODIČA ..... 6**

Ključna vloga aditivne proizvodnje (AP) pri prehodu na krožno gospodarstvo.

**EKODIZAJN IN ŽIVLJENJSKI CIKEL: HITER PREGLED ..... 8**

Opredelitev načel ekodizajna in predstavitev faz življenjskega cikla izdelka za celovit pristop k trajnosti.

**KAKO APLICIRATI NAČELA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA V ADITIVNI PROIZVODNJI ..... 14**

Praktični koraki za vključitev načel življenjskega cikla v proces načrtovanja AP z namenom optimizacije učinkovitosti virov in zmanjšanja vplivov na okolje v vsaki fazi.

**SMERNICE GLEDE TEHNOLOGIJ, MATERIALOV IN OPTIMIZACIJE PROCESOV .....28**

Smernice za ocenjevanje ustreznosti materialov, presojo okoljske učinkovitosti in izkoriščanje trajnostnih tokov materialov za AP.

---

## **POGOSTE PASTI IN NERAZUMEVANJA ..... 44**

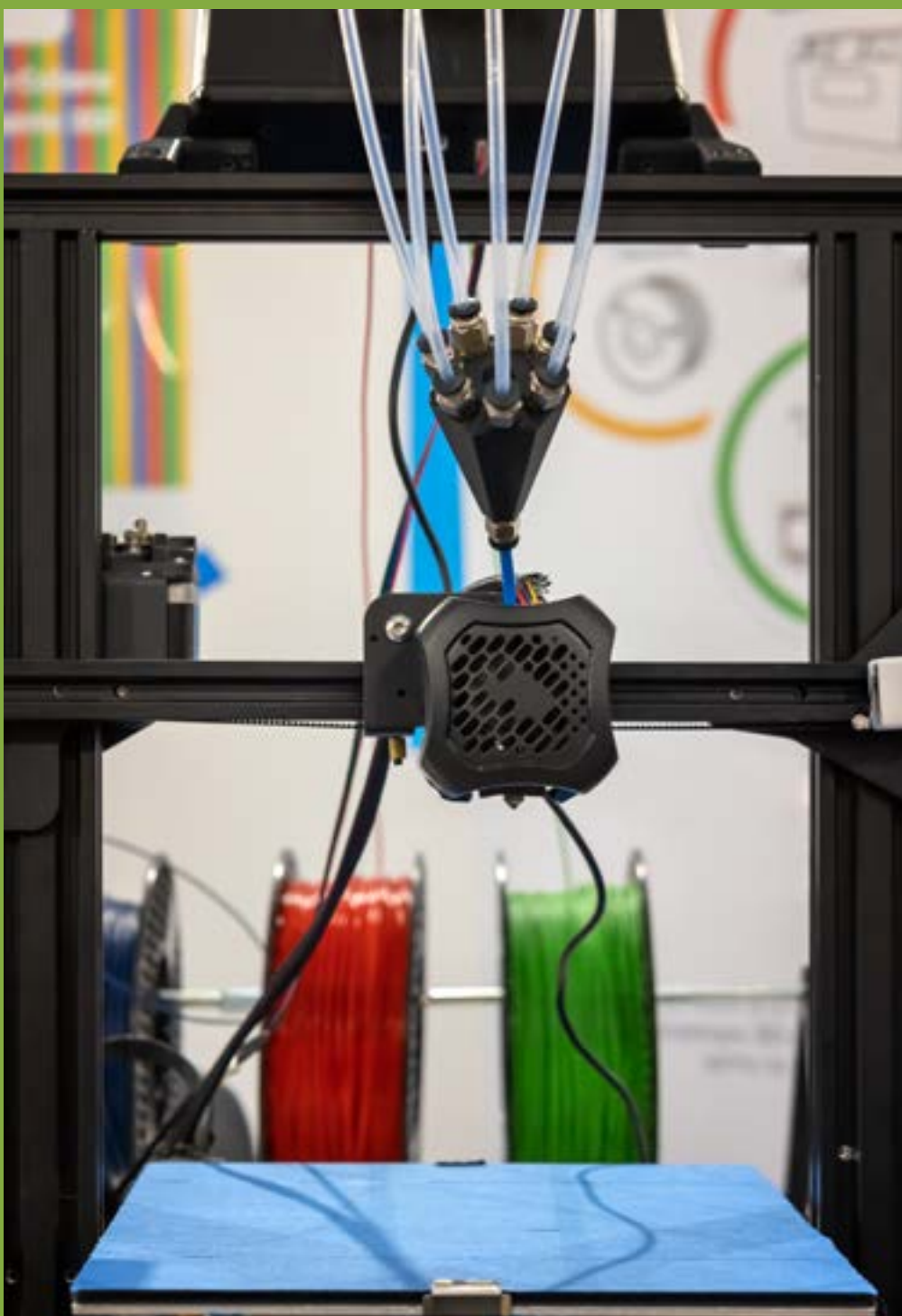
Obravnavanje pogostih izzivov, kot so miti o porabi energije in prekomerno načrtovanje (over-designing), za zagotovitev resnično trajnostnih rezultatov.

## **ŠTUDIJE PRIMEROV ..... 48**

Primeri iz resničnega sveta, ki prikazujejo uspešno uporabo ekodizajna in AP za oprijemljive okoljske in gospodarske koristi.

01

[www.ammmap.eu](http://www.ammmap.eu)



Namen vodiča

# 01

## NAMEN VODIČA

*Ta kratek in praktičen vodnik je namenjen podjetjem, ki tipajo Aditivno Proizvodnjo (AP) kot način, kako narediti oblikovanje, proizvodnjo in življenjski cikel izdelka:*

- učinkovit: proces uporablja metode, pristope in tehnologije, ki so najbolj primerne za poslovni primer, in*
- okoljsko trajnosten: poraba virov, poraba energije in nastajanje odpadkov so minimalizirani vzdolž celotnega življenjskega cikla.*

AP lahko omogoči inovativne proizvodne sisteme in poslovne modele, ki prinašajo tako tehnične koristi (kot je zmožnost tiskanja kompleksnih geometrij in delov, ki nudijo enake strukturne lastnosti z veliko manj materiala) kot netehnične koristi (kot je omogočanje prilagojenih in distribuiranih poslovnih modelov tiskanja na zahtevo (print-on-demand), ki se izognejo logističnim obremenitvam). AP prav tako nalaga manj omejitev za oblikovanje izdelkov, s čimer daje oblikovalcem večji ustvarjalni prostor za razvoj inovativnih rešitev.

Namen tega vodiča je zagotoviti izvedljive smernice in načela za uporabo ekodizajna z AP, ter opozoriti na pasti in pogoste napačne predstave, ki se jim je treba izogniti pri gradnji trajnostnih poslovnih modelov. Uporabljamo celovit pristop, ki zajema tako tehnični vidik (kot so materiali in tehnologije) kot vidik življenjskega cikla (kako zgraditi regenerativne sisteme in poslovne modele z AP).

02

[www.ammmap.eu](http://www.ammmap.eu)



Ekodizajn in življenjski  
cikel: hiter pregled

# 02

## EKODIZAJN IN ŽIVLJENJSKI CIKEL: HITER PREGLED

*Ker postajajo posledice vpliva globalnega gospodarstva na naravno okolje vsako leto bolj zaskrbljujoče, je odgovornost vseh podjetij, da okoljske vidike vključijo v jedro svojega razvoja izdelkov in odločanja.*

80 % vpliva izdelka na okolje je pod vplivom odločitev, sprejetih v fazi načrtovanja [1]. Vse, od izbire materialov in proizvodnih metod do možnosti popravila in pričakovane življenjske dobe, je določeno ali vsaj močno omejeno z načinom, kako je izdelek zasnovan. Tu vstopi v igro ekodizajn.

Ključna sprememba miselnosti pri ekodizajnu je razmišljanje o življenjskem ciklu. To pomeni, da na izdelek ne gledamo kot na izoliran predmet, temveč kot na del večjega sistema materialnih in energetskih tokov. V mnogih primerih sama proizvodnja prispeva le majhen delež celotnega okoljskega vpliva izdelka – večina se zgodi med uporabo ali v drugih fazah življenjskega cikla, ki so izven nadzora proizvajalca.



Ekodizajn je vključevanje okoljskih vidikov v proces razvoja izdelkov z uravnoteženjem ekoloških in gospodarskih zahtev. Ekodizajn upošteva okoljske vidike na vseh stopnjah procesa razvoja izdelkov, pri čemer si prizadeva za izdelke, ki imajo najnižji možni okoljski vpliv skozi celoten življenjski cikel izdelka.

Slovar evropske okoljske  
agencije (EEA)

*Zato nima smisla govoriti o trajnosti na ravni izdelkov  
– gledati moramo na celoten življenjski cikel in glavne  
sisteme, v katerih izdelek sodeluje.*

To spodbuja oblikovalce k razmišljanju o funkcionalnosti in uporabniški izkušnji za vse deležnike, ki se srečajo z izdelkom med njegovim življenjskim ciklom – ne samo za

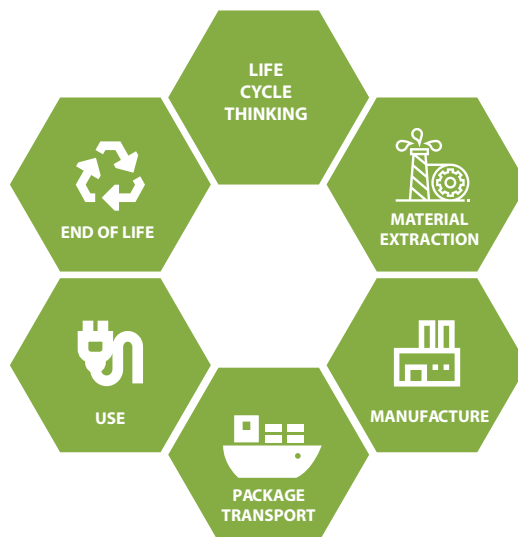
uporabnika, ampak na primer tudi za tiste, ki izvajajo popravila, ali tiste, ki razstavljajo izdelek ob koncu njegove življenjske dobe z namenom recikliranja materialov ali komponent.

## Primer

*Stopnja, do katere bo izdelek recikliran, je odvisna od oblikovalskih premislekov s celotnim življenjskim ciklom v mislih – uporaba reciklabilnih materialov, na primer, ni dovolj, če je izdelek zasnovan na način, ki ne omogoča učinkovitega ločevanja in obdelave materialov ali komponent, in če predvidena uporaba izdelka ne upošteva ustreznega zbiranja odpadkov.*

## TIPIČNI ŽIVLJENJSKI CIKEL VSEBUJE FAZE:

- Pridobivanje in predelava materialov
- Proizvodnja
- Distribucija
- Faza uporabe (delovanje, vzdrževanje...)
- Konec življenjske dobe (ponovna uporaba, recikliranje, odstranjevanje...)



Z identifikacijo kritičnih točk v teh fazah lahko oblikovalci sprejemajo premišljene odločitve, ki zmanjšajo celoten vpliv. Tisti, ki ne uporabljajo takega celostnega pristopa k trajnosti, tvegajo, da se ujamejo v past prenosa bremena (burden-shifting) – “reševanje” problema s tem, da ga premaknemo izven svojega področja.

## Primeri pasti prenosa bremena:

Zmanjšanje emisij toplogrednih plinov z uporabo drugega materiala, vendar je ta material na koncu bolj toksičen.

Prehod na model, ki temelji na storitvah in zahteva manj materiala, vendar se izkaže, da ima poraba energije večji vpliv.

Izboljšanje okoljskega odtisa izdelkov, ki so že v osnovi popolnoma nepotrebni.

*Znanstveno orodje, ki je osrednjega pomena za razmišljanje o življenjskem ciklu, je Ocena življenjskega cikla (LCA). Gre za kompleksen, podatkovno usmerjen proces definiranja obravnavanega sistema, mapiranja vhodov, izhodov, emisij in tokov odpadkov na vsakem koraku življenjskega cikla ter izračunavanja kumulativnega odtisa vzdolž številnih kategorij okoljskega vpliva. LCA sledi standardiziranemu okviru, ki ga urejata standarda ISO 14040:2006 in ISO 14044:2006.*

Izdelava LCA zahteva izkušnje in jo izvajajo strokovnjaki, ki so specializirani na tem področju. Vendar pa lahko načela in logiko, ki stoji za LCA, zelo dobro

uporabljajo oblikovalci izdelkov in menedžerji za usmerjanje svojega razvojnega procesa in za oceno, na kateri točki in za kakšen namen bi morali investirati v celotno LCA.

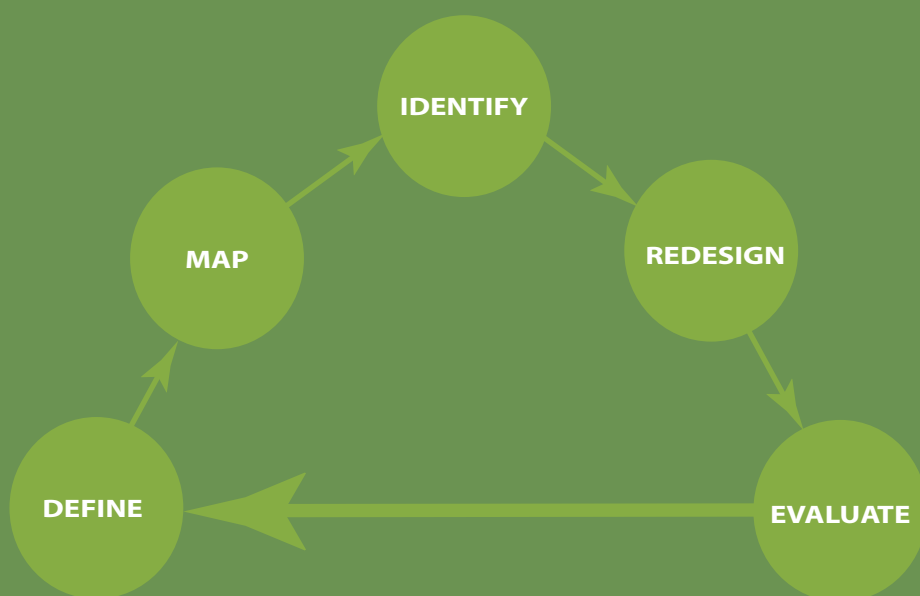


## Kaj o ekodizajnu pravi EU?

*Uredba o ekodizajnu za trajnostne izdelke (ESPR) je začela veljati v EU 18. julija 2024. ESPR omogoča določitev pravil glede učinkovitosti in informacij – znanih kot 'zahteve ekodizajna' – za skoraj vse kategorije fizičnega blaga, kar vključuje:*

- Izboljšanje trajnosti, ponovne uporabnosti, možnosti nadgradnje in popravljivosti izdelkov
- Izboljšanje možnosti vzdrževanja in obnove izdelkov
- Osnove, da so izdelki energetsko in materialno učinkovitejši
- Obravnavanje prisotnosti snovi, ki ovirajo krožnost
- Povečanje vsebnosti recikliranega materiala
- Olajšanje ponovne predelave in recikliranja izdelkov
- Določitev pravil o ogljičnem in okoljskem odtisu
- Omejevanje nastajanja odpadkov
- Izboljšanje razpoložljivosti informacij o trajnosti izdelka

*V naslednjih nekaj letih bodo uvedeni regulativni ukrepi za skupine izdelkov na prednostnih področjih. ESPR bo vplivala na vse člane vrednostnih verig podjetij, ki delujejo v EU.*



Kako aplicirati načela  
življenjskega cikla v adi-  
tivni proizvodnji

# 03

## KAKO APLICIRATI NAČELA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA V ADITIVNI PROIZVODNJI

### Korak 1: Definiraj

*Začnite z definicijo sledečih treh zadev:*

#### 1. CILJI:

Zakaj izvajate ta proces in kakšni so vaši pričakovani rezultati? Ali načrtujete nov izdelek ali želite izboljšati okoljski odtis obstoječega? Če imate KPI-je za trajnost in/ali poslovanje, kakšni so? Odgovori na tovrstna vprašanja vas bodo vodili skozi proces in vam pomagali določiti obseg vplivov, ki jih obravnavate (glejte točko 3 spodaj).

#### 2. FUNKCIONALNA ENOTA:

Enota omogoča primerjavo različnih možnosti in vplivov ter postavitev teh vplivov v kontekst. Z vidika življenjskega cikla je zelo pomembno izbrati enoto na podlagi funkcije, ki naj bi jo izdelek opravljal, in ne na podlagi izdelka samega. Na primer: Pri preučevanju življenjskega cikla avtomobila bi lahko bila enota en človek, prepeljan en kilometer. Samo na tak način lahko primerjamo skupni vpliv

različnih avtomobilov ali različnih načinov prevoza ter vključimo vzorce uporabe (večina avtomobilov je zgrajena za 5 ljudi, medtem ko jih v povprečju prenašajo le 1,3 [3]).

## Pomembno

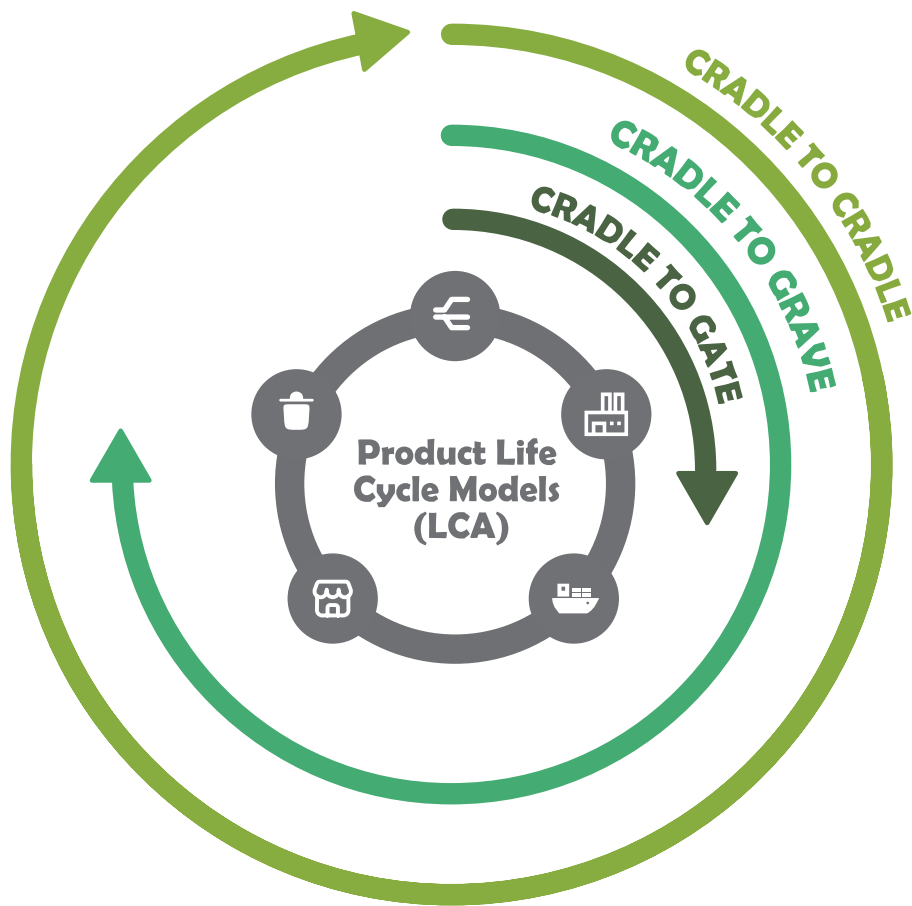
*Bistvo ekodizajna je doseganje zelene funkcije z najmanjšo možno okoljsko škodo. Zato moramo oceniti vpliv na funkcionalno enoto in ne na izdelek. Lahko se na primer izkaže, da je isto funkcijo mogoče doseči z radikalno drugačnim izdelkom ali celo z odpravo potrebe po fizičnem izdelku.*

### 3. OBSEG IN MEJE SISTEMA:

Jasno določite, katere procese in dele življenjskega cikla upoštevate in katerih ne. Če na primer načrtujete popolnoma nov izdelek, boste morda želeli razširiti svojo mejo na vse procese v življenjskem ciklu, da bi dobili jasnost glede širšega obsega vplivov. Če pa si prizadevate izboljšati okoljski odtis obstoječega izdelka, ne da bi drastično spremenili njegovo funkcionalnost, se lahko osredotočite samo na proizvodnjo.

## Pomni

*Pogoste (vendar ne vse) kategorije obsega, ki se uporabljajo v LCA, so 'od zibelke do vrat' (Cradle to Gate - upošteva vplive do točke, ko izdelek zapusti tovarniška vrata), 'od zibelke do groba' (Cradle to Grave - celoten življenjski cikel, vključno z odstranitvijo) in 'od zibelke do zibelke' (Cradle to Cradle - celoten življenjski cikel, kjer pa se materiali ali komponente namesto odstranitve vrnejo v uporabo).*



## Korak 2: Mapiraj

Ustvarite Zemljevid življenjskega cikla za izdelek z identifikacijo:

- Vhodnih materialov in njihovega izvora
- Virov energije in porabe v procesih AP
- Logistike in embalaže
- Pogojev uporabe (vzdrževanje, poraba energije)
- Poti izdelka ob koncu življenjske dobe

Naslednji okvir [4] vam lahko zagotovi strukturiran niz vodilnih vprašanj za mapiranje življenjskega cikla.

# KONTROLNI SEZNAM ZA EKODIZAJN

## Analiza potreb

Kako sistem izdelka dejansko izpolnjuje družbene potrebe?

- Katere so glavne in pomožne funkcije izdelka?
- Ali izdelek te funkcije izpolnjuje učinkovito in uspešno?
- Katere uporabniške potrebe izdelek trenutno izpolnjuje?
- Ali se lahko funkcije izdelka razširijo ali izboljšajo, da bi bolje izpolnjevale potrebe uporabnikov?
- Ali se bo ta potreba sčasoma spremenila?
- Ali lahko to predvidimo z (radikalno) inovacijo izdelka?

Strategija ekodizajna: Razvoj novih konceptov

- Dematerializacija
- Souporaba izdelka
- Integracija funkcij
- Funkcionalna optimizacija izdelka (komponent)

## Faza življenjskega cikla 1: Proizvodnja in dobava materialov in komponent

Katere težave nastanejo pri proizvodnji in dobavi materialov in komponent?

- Koliko in katere vrste plastike in gume so uporabljene?
- Koliko in katere vrste dodatkov (aditivov) so uporabljene?
- Koliko in katere vrste kovin so uporabljene?
- Koliko in katere druge vrste materialov (steklo, keramika, itd.) so uporabljene?
- Koliko in katera vrsta površinske obdelave je uporabljena?
- Kakšen je okoljski profil komponent?
- Koliko energije je potrebne za transport komponent in materialov?

Strategija ekodizajna: Izbira materialov z majhnim vplivom

- Čisti materiali
  - Obnovljivi materiali
  - Materiali z nizko energijsko vsebnostjo
  - Reciklirani in reciklabilni materiali
- Strategija ekodizajna: Zmanjšanje porabe materiala
- Zmanjšanje teže
  - Zmanjšanje (transportnega) volumena

## Faza življenjskega cikla 2: Lastna proizvodnja

Katere težave lahko nastanejo v proizvodnem procesu v vašem lastnem podjetju?

- Koliko in katere vrste proizvodnih procesov so uporabljene? (vključno s povezavami, površinskimi obdelavami, tiskanjem in označevanjem)
- Koliko in katere vrste pomožnih materialov so potrebne?
- Kako visoka je poraba energije?
- Koliko odpadkov nastane?
- Koliko izdelkov ne izpolnjuje zahtevanih norm kakovosti?

Strategija ekodizajna: Optimizacija proizvodnih tehnik

- Alternativne proizvodne tehnike
- Manj proizvodnih korakov
- Nizka/čista poraba energije
- Manj proizvodnih odpadkov
- Malo/čisti proizvodni potrošni material

## Faza življenjskega cikla 3: Distribucija

Katere težave lahko nastanejo pri distribuciji izdelka do kupca?

- Kakšna vrsta transportne embalaže, embalaže za razsuti tovor in maloprodajne embalaže je uporabljena (volumen, teža, materiali, ponovna uporabnost)?
- Katera prevozna sredstva so uporabljena?
- Ali je transport učinkovito organiziran?

Strategija ekodizajna: Zmanjšanje porabe materiala

- Zmanjšanje teže
  - Zmanjšanje (transportnega) volumna
- Strategija ekodizajna: Optimizacija distribucijskega sistema
- Manj/čista/ponovno uporabna embalaža
  - Energetsko učinkovit transport

## Faza življenjskega cikla 4: Uporaba

Katere težave nastanejo pri uporabi, delovanju, servisiranju in popravilu izdelka?

- Koliko in kakšna vrsta energije je potrebna, neposredna ali posredna?
- Koliko in kakšne vrste potrošnega materiala so potrebne?
- Kakšna je tehnična življenjska doba?
- Koliko vzdrževanja in popravil je potrebnih?
- Kateri in koliko pomožnih materialov in energije je potrebnih za delovanje, servisiranje in popravilo?
- Ali lahko izdelek razstavi laik?
- Ali so deli, ki pogosto zahtevajo zamenjavo, snemljivi?
- Kakšna je estetska življenjska doba izdelka?

Strategija ekodizajna: Zmanjšanje vpliva v fazi uporabe

- Nizka poraba energije
  - Čist vir energije
  - Malo potrošnega materiala
  - Čist potrošni material
  - Brez izgube energije ali potrošnega materiala
- Strategija ekodizajna: Optimizacija začetne življenjske dobe
- Zanesljivost in trajnost
  - Enostavno vzdrževanje in popravilo
  - Modularna struktura izdelka
  - Močna povezanost med izdelkom in uporabnikom

## Faza življenjskega cikla 5: Konec življenjske dobe

Katere težave lahko nastanejo ob koncu življenjske dobe?

- Kako se izdelek trenutno odstranjuje?
- Ali se komponente ali materiali ponovno uporabijo?
- Katere komponente bi se lahko ponovno uporabile?
- Ali je mogoče komponente ponovno sestaviti brez poškodb?
- Kateri materiali so reciklabilni? Ali so prepoznavni? Ali jih je mogoče hitro sneti?
- Ali so uporabljene kakšne nezdružljive barve, površinske obdelave ali nalepke?
- Ali je mogoče nevarne komponente zlahka sneti?
- Ali se pojavljajo težave pri sežiganju delov izdelka, ki jih ni mogoče ponovno uporabiti?

Strategija ekodizajna: Optimizacija sistema ob koncu življenjske dobe

- Ponovna uporaba izdelka (komponent)
- Ponovna predelava/obnova (Remanufacturing/refurbishing)
- Recikliranje materialov
- Varno sežiganje

## Korak 3: Identificiraj

Identificirajte kritične točke, kjer se pojavljajo največji vplivi. Pogoste kritične točke in ozka grla v AP vključujejo:

- Proizvodnja in priprava materialov (npr. energetsko intenzivna proizvodnja kovinskih prahov, kot sta titan ali aluminij)
- Poraba energije med tiskanjem (zlasti pri visokotemperaturnih ali visoko zmogljivih procesih, kot sta lasersko sintranje ali taljenje)
- Naknadna obdelava (Post-processing)
- Odstranjevanje večmaterialnih delov ob koncu življenjske dobe

Na tej točki boste morda želeli razmisliti o enem od naslednjih pristopov:

### a) LCA študija

Prednosti:

- Vpogledi so podrobni, zanesljivi in temeljijo na znanstvenih podatkih
- Standardiziran pristop – rezultati se lahko uporabljajo tudi za komunikacijo
- V nekaterih primerih, kot je poročanje o trajnosti ali javni razpisi, je to zahtevano ali prinaša višjo oceno

Slabosti:

- Vključuje zunanje strokovnjake

### b) Uporaba spletnih LCA orodij

Raziščite orodja, kot so SimaPro, Ecochain ali Sphera. Za hitre in grobe ocene lahko uporabite brezplačno orodje, kot je [Kalkulator emisij TGP](#), ki smo ga razvili v projektu Interreg SI-AT ADDCIRCLES.

#### Prednosti:

- Lahko se opravi interno
- Nekatera orodja ponujajo dober približek celotne študije LCA

#### Slabosti:

- Krivulja učenja
- Razumno dobra orodja zahtevajo licence ali naročnine

### **c) Naslavljanje očitnih možnosti za izboljšavo**

Pogosto lahko najdete nekaj očitnih področij za izboljšave brez podrobne kvantitativne ocene. Stvari, kot so zmanjšanje ali opustitev izdelkov in embalaže za enkratno uporabo, podaljšanje življenjske dobe izdelka ali modularno oblikovanje, ki omogoča ponovno uporabo in recikliranje komponent, so nekateri primeri takih področij. Vendar pa morate biti previdni glede pasti prenosa bremena (glejte poglavje 2). Še vedno je najbolje, da svoje predpostavke vedno preverite z zanesljivimi podatki.

#### Prednosti:

- Lahko se opravi brez zunanjih strokovnjakov ali programske opreme
- Ni potrebe po podrobnem zbiranju podatkov
- Potencial za vključitev ekipe v agilni razvojni proces

#### Slabosti:

- Nagnjenost k napačnim predpostavkam in pasti prenosa bremena
- Potrebujete solidno razumevanje trajnosti
- Kvalitativni pristop vas lahko pripelje do vlaganja veliko truda v marginalne izboljšave, medtem ko glavni vplivi ležijo drugje

## Korak 4: Preoblikuj

Ko identificirate kritične točke, preoblikujte svoj izdelek ali poslovni model s poudarkom nanje. Za usmerjanje oblikovanja in strategije okoli kritičnih točk okoljskega vpliva je izjemno koristen okvir krožnega gospodarstva 9R [5]. Predstavlja seznam 9 strategij, razvrščenih od tistih z visoko zadržano materialno in energetske vrednostjo na vrhu do tistih z nizko zadržano vrednostjo na dnu. Kadarkoli razmišljamo o oblikovanju, proizvodnji in postavitvi poslovnega modela, bi morali začeti na vrhu in implementirati strategije visoke vrednosti, preden se premaknemo navzdol k tistim z nižjo vrednostjo.

### Primer:

## Kaj pomeni kroženje izdelkov in materialov pri njihovi najvišji možni vrednosti?

Recikliranje opekača za kruh vključuje razstavljanje na komponente, uničenje le-teh za pridobivanje materialov in predelavo teh materialov, da postanejo primerni za naslednjo uporabo. To uniči vgrajeno energijo, ki je šla v proizvodnjo izdelka, koristi veliko materiala v procesu in zahteva veliko dodatne energije, opreme in kemikalij. Pogosto (odvisno od zasnove izdelka) je zaradi tega recikliranje ekonomsko in okoljsko nesmiselno. Če pa izdelek recirkuliramo pri njegovi najvišji vrednosti – npr. zamenjamo poškodovano komponento ali ponovno uporabimo obstoječe komponente v novem izdelku – se izognemo večini teh težav. AP, s svojo zmožnostjo prilagojene, lokalne proizvodnje v majhnih serijah, lahko olajša takšne procese – npr. tiskanje novega dela za zamenjavo poškodovanega.

Krožno gospodarstvo



Večja krožnost

Linearno gospodarstvo

Pametnejša uporaba in proizvodnja izdelkov

Podaljšanje življenjske dobe izdelkov in komponent

Uporaba materialov

**R0 Refuse**

Odstranite potrebo po izdelku z opustitvijo njegove funkcije ali s ponujanjem iste funkcije z radikalno drugačnim izdelkom

**R1 Rethink**

Naredite uporabo izdelka bolj intenzivno, na primer z deljenjem izdelka

**R2 Reduce**

Povečajte učinkovitost v proizvodnji ali uporabi izdelka z manjšo porabo naravnih virov in materialov

**R3 Reuse**

Ponovna uporaba s strani drugega potrošnika zavrženega izdelka, ki je še vedno v dobrem stanju in izpolnjuje svojo prvotno funkcijo

**R4 Repair**

Popravilo in vzdrževanje okvarjenega izdelka, da se lahko uporablja s svojo prvotno funkcijo

**R5 Refurbish**

Obnovite star izdelek in ga posodobite

**R6 Remanufacture**

Uporaba komponent zavrženega izdelka v novem izdelku z isto funkcijo

**R7 Repurpose**

Uporaba zavrženega izdelka ali njegovih delov v novem izdelku z drugačno funkcijo

**R8 Recycle**

Predelava materialov za pridobitev iste visoke kakovosti ali nižje kakovosti

**R9 Recover**

Sežig za pridobivanje energije

## R0 Refuse:

Digitalna dobava namesto fizičnih izdelkov (npr. namesto vzdrževanja zaloge rezervnih delov in njihovega fizičnega pošiljanja se lahko 3D-modeli pošljejo strankam in natisnejo lokalno).

## R1 Rethink:

Skupna (Shared) ali po naročilu (on-demand) AP proizvodna vozlišča, ki zagotavljajo skupen dostop do proizvodnih zmogljivosti za dele po meri.

## R2 Reduce:

- Optimizacija topologije in orientacije, celične/mrežaste zasnove – zagotavljanje enake funkcionalnosti izdelka in strukturnih lastnosti z manj materiala.
- Zmanjšanje časa tiskanja na minimum.
- Povečanje gostote pakiranja in konsolidacija delov v enem tiskanju.
- Povečanje življenjske dobe izdelka s simulacijo tipičnih vzorcev uporabe in optimizacijo zasnove za maksimalno trajnost.

## R3 Reuse:

- Skupni repozitoriji 3D-modelov, kjer se jih lahko ponovno uporabi in prilagodi.
- Oblikovanje uporabniške izkušnje in trženja na način, ki spodbuja ponovno uporabo.
- Aktivacija trga rabljenih izdelkov za vašo kategorijo izdelkov.

## R4 Repair:

- Uporaba AP za lokalno tiskanje nadomestnih delov za popravilo izdelka.
- Oblikovanje izdelkov na način, ki omogoča enostavno popravilo in zamenjavo komponent – npr. modularna zasnova za enostavno zamenjavo komponent.

## R5 Refurbish:

Preoblikovanje in tiskanje novega ohišja za obnovo funkcionalnega izdelka z obrabljenim ohišjem.

## R6 Remanufacture:

Uporaba funkcionalnih rabljenih/zavrženih komponent starih izdelkov v novem izdelku in tiskanje manjkajočih.

## R7 Repurpose:

Oblikovanje komponent tako, da jih je mogoče uporabiti v več kot enem izdelku/funkciji.

## R8 Recycle:

- Ponovna predelava prahu ali filamenta v sistemih zaprte zanke.
- Izbira surovin, ki so reciklabilne ali iz obnovljivih virov.
- Oblikovanje za razstavljanje ali mono-materialnost za omogočanje enostavnega in učinkovitega recikliranja.
- Uporaba digitalnih vodnih žigov ali QR kod za identifikacijo AP materialov.

## R9 Recover:

Uporaba AP odpadkov za pridobivanje energije, če recikliranje ni mogoče.

Za podrobnejše smernice za optimizacijo tehnologije in procesov glejte naslednje poglavje.

## Korak 5: Evaluiraj in iteriraj

Ekodizajn (kot vsako oblikovanje) je iterativen – ko pridete do rešitev in izboljšav, ponovno ocenite vplive vaših rešitev na življenjski cikel, da vidite, kako izboljšave v eni kritični točki vplivajo na preostali del življenjskega cikla. Morda boste ugotovili, da izboljšava v enem delu življenjskega cikla vodi do slabšega vpliva v drugem – ali v drugi kategoriji vpliva (npr. zmanjšana poraba materiala na račun večje porabe energije ali nižje emisije CO<sub>2</sub> na račun večje toksičnosti). Ponovite postopek, dokler ne dosežete splošne izboljšave.





*Največja grožnja našemu planetu je prepričanje, da ga bo rešil nekdo drug.*

Robert Swan



Smernice glede tehnologij, materialov in optimizacije procesov

# 04

## SMERNICE GLEDE TEH- NOLOGIJ, MATERIALOV IN OP- TIMIZACIJE PROCESOV

AP ponuja pomembne priložnosti za izboljšanje okoljske učinkovitosti z zmanjšanjem teže (lightweighting), učinkovitostjo materiala, zmanjšano orodno obdelavo (tooling) in lokalizirano proizvodnjo. Vendar pa so te koristi odvisne od pravilne izbire tehnologije in materiala, upravljanja z energijo, optimizacije procesov in principov ekodizajna, ki se uporabljajo že v najzgodnejših fazah razvoja izdelka. Smernice v tem poglavju vam bodo pomagale:

- Izbrati najboljšo AP tehnologijo in material za okoljske in zmogljivostne potrebe
- Razumeti kompromise glede trajnosti med AP procesi
- Uporabiti oblikovanje za aditivno proizvodnjo (DfAM) za izboljšanje funkcije in okoljskega odtisa
- Optimizirati AP procese za manjšo porabo energije, manj odpadnega materiala in splošni okoljski vpliv

# Izbira prave AP tehnologije za trajnost in zmogljivost

Izbira ustrezne tehnologije je ena najbolj daljnosežnih odločitev ekodizajna v AP. Tehnologije se močno razlikujejo glede na energijsko intenzivnost, učinkovitost materiala, površinsko obdelavo, trdnost in potrebe po naknadni obdelavi – vse to vpliva na okoljsko učinkovitost. V tem razdelku si bomo ogledali prednosti in slabosti glavnih AP tehnologij.

## Material Extrusion (FDM/FFF)

Pri ekstruziji materiala (Material Extrusion) se surovina (običajno filament iz termoplastičnega polimera) potiska skozi segreto šobo, kjer se stopi. Tiskani deli se izdelujejo z nanašanjem stopljenega materiala plast za plastjo.

### Prednosti:

- Relativno nizka poraba energije (lahko se dodatno zmanjša z namestitvijo zaprte komore ali izolacijo grelne plošče za zmanjšanje disipacije toplote) in malo odpadnega materiala.
- Predelava termoplastičnih polimerov, ki jih je mogoče dobro reciklirati.
- Razpoložljivost recikliranih in biološko osnovanih polimerov.

### Slabosti:

- Slaba površinska obdelava (deli lahko zahtevajo naknadno obdelavo)
- Visoka anizotropija delov zaradi šibkih medplastnih vezi
- Potreba po podpornih strukturah (nanos dodatnega materiala)



### Najboljše za:

- Prototipe,
- pritrdilne elemente (fixtures),
- osnovne funkcionalne komponente.

## Vat Photopolymerization (SLA/DLP/LCD)

Uporablja fotopolimerno smolo, ki se strdi, ko je izpostavljena UV svetlobi. UV laser se uporablja za selektivno strjevanje fotopolimera plast za plastjo.

Prednosti:

- Tipično najnižja poraba energije za predelavo (proces poteka pri sobni temperaturi)
- Zelo visoka natančnost in gladka površina – minimalna strojna obdelava
- Dobro za konsolidirane dele in votle strukture

Slabosti:

- Fotostrdljive smole so lahko toksične
- Termoseti imajo slabo reciklabilnost (običajno se sežigajo ali meljejo za polnilo)
- Deli so lahko krhki (omejuje mehansko trajnost)

Najboljše za:

- Vizualni modeli z visokimi detajli,
- kalupi,
- mikrofluidika,
- medicinski/zobni kalupi.

Slika: Formlabs



## Powder Bed Fusion (SLS for polymers / LPBF for metals)

Prah (kovinski ali polimerni) se selektivno zlije ali stopi (plast za plastjo) z uporabo usmerjenega vira toplote, kot je laser ali elektronski žarek.

Prednosti:

- Brez podpor - omogoča prihranek materiala
- Deli z visokimi zmogljivostmi omogočajo dolgo življenjsko dobo
- Možna ponovna uporaba polimernega prahu (preverite priporočene stopnje osveževanja, da uravnotežite učinkovitost materiala in kakovost; če je mogoče, izberite material, ki omogoča nizke stopnje osveževanja)
- Učinkovito za lahke dele z visoko trdnostjo

#### Slabosti:

- Visoka energetska zahtevnost procesa – običajno največja poraba energije med AP tehnologijami (optimizirajte gostoto tiska, da zmanjšate porabo energije na izdelek in preostali prah)
- Omejene možnosti glede materialov, ki jih je mogoče obdelati
- Za kovine je potreben inertni plin
- Visoko tveganje za odpad, če pride do termičnih odstopanj



#### Najboljše za:

- Vesoljska in letalska industrija,
- medicinski vsadki,
- funkcionalni polimerni deli.

Slika: Beamlar

## Directed Energy Deposition (DED / LMD)

Surovina (prah ali žica) se stopi z elektronskim žarkom ali laserjem. Šoba in vir energije sta skupaj nameščena na večosnem robotu, kar omogoča, da nanos materiala sledi želeni geometriji. Ta metoda omogoča učinkovito dodajanje materiala obstoječim modelom, zaradi česar je uporabna za popravila.

#### Prednosti:

- Idealno za popravila – veliko podaljšanje življenjske dobe komponent
- Visoke hitrosti nanosa – dobra energetska/volumenska učinkovitost
- Primerno za velike dele, ki jih PBF ne more obdelati

#### Slabosti:

- Hrapava površina pomeni, da je potrebna strojna obdelava
- Visoka poraba energije na del

Najboljše za:

- Popravila/prenova,
- velike kovinske strukture,
- hibridna proizvodnja

Slika: Trumpf



## Binder Jetting

Ta tehnologija deluje tako, da se tanka plast prahu razporedi po platformi, tekoče vezivo se vbrizga v zelenem vzorcu in postopek gradnje se ponovi plast za plastjo. Ključna prednost veznega brizganja (Binder Jetting) je zmožnost dodajanja barve tekočemu vezivu, kar omogoča večbarvno tiskanje.

Prednosti:

- Najhitrejši AP proces
- Nizka poraba energije – ne vključuje segrevanja ali taljenja
- Večbarvno tiskanje
- Prahovi so primerni za ponovno uporabo

Slabosti:

- Potrebuje naknadno obdelavo, ki je lahko energetsko intenzivna
- Krčenje lahko povzroči odpad
- Ni primerno za vse geometrije ali velike polne odseke
- Mešanje surovine in vezivnega sredstva povzroča težave pri recikliranju tiskanih delov

Najboljše za:

- Kovinsko serijsko proizvodnjo,
- pečene kalupe,
- keramiko.

Slika: ExOne



## Material Jetting (PolyJet / Multijet)

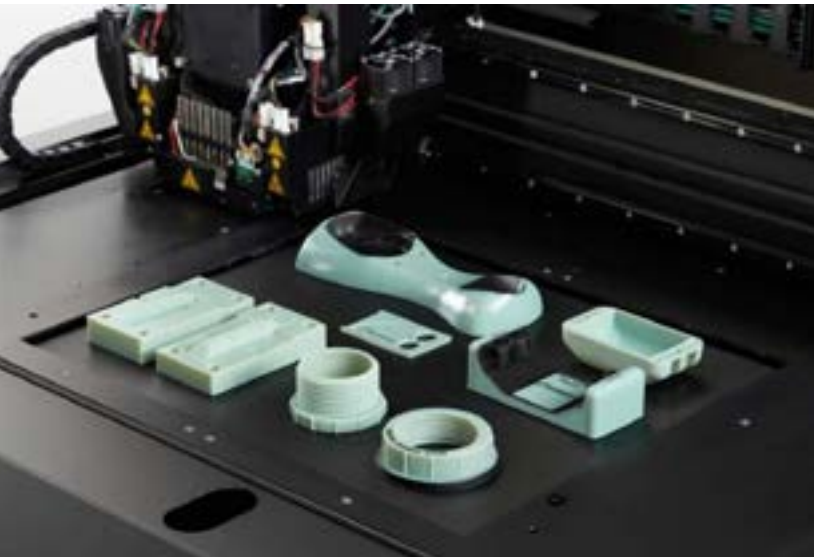
Pri brizganju materiala (Material Jetting) se kapljice tekočega fotoobčutljivega materiala brizgnejo in strdijo z UV svetlobo. Izdelek je zgrajen z nanašanjem in strjevanjem materiala plast za plastjo.

Prednosti:

- Visoka natančnost, preciznost in gladka površina – minimalna strojna obdelava in končna obdelava, zmanjšan odpad
- Zmožnost uporabe več materialov in barv, kar omogoča konsolidacijo delov

Slabosti:

- Fotopolimerni materiali imajo slabo reciklabilnost
- Podporni materiali pogosto zahtevajo kemično odstranjevanje
- Kartuše s smolo in strjevanje dodajajo okoljsko breme in težave s toksičnostjo
- Večmaterialni tiski lahko ovirajo recikliranje ob koncu življenjske dobe



Najboljše za:

- Vrhunski prototipi,
- medicinski modeli,
- mikrofluidne naprave,
- funkcionalno testiranje z več materiali,
- vizualna/ergonomska ocena.

Slika: Danish Technologic Institute

## Sheet Lamination (LOM, UAM)

Laminacija listov (Sheet Lamination) ali proizvodnja laminiranih objektov (Laminated Object Manufacturing – LOM) vključuje izrezovanje 2D vzorcev iz tankih listov materiala in nato spajanje teh plasti skupaj, da se ustvari 3D objekt.

#### Prednosti:

- Malo odpadkov — neuporabljen material v obliki listov se pogosto lahko ponovno uporabi
- Nizka poraba energije
- Hitre stopnje izdelave in veliki volumni izdelave
- Na voljo so nestrupeni materiali (papir)

#### Slabosti:

- Omejena mehanska zmogljivost
- Deli se običajno uporabljajo le za prototipe ali vizualne modele
- Odpadne plošče so včasih prevlečene z lepili, zato jih je težko reciklirati

#### Najboljše za:

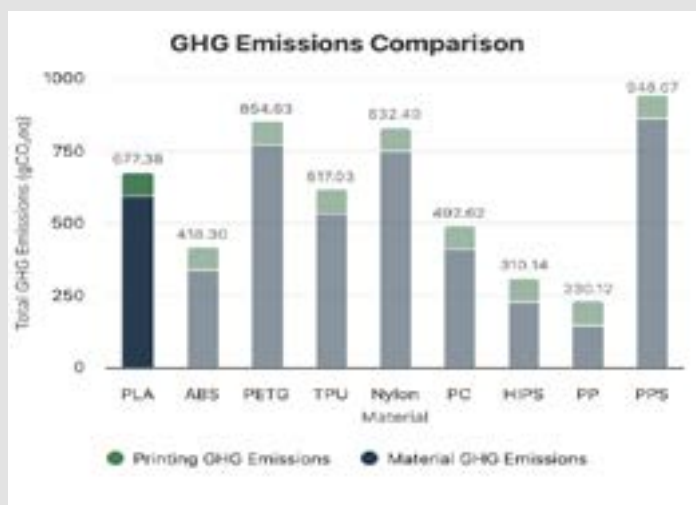
- Arhitekturni modeli
- Vizualni prototipi
- Velike makete

Slika: MCor Technologies



### Preizkusite orodje za ocenjevanje emisij CO<sub>2</sub> pri aditivni proizvodnji

Splošne smernice imajo svoje omejitve — veliko je odvisno od posameznega primera. Zato smo razvili brezplačno spletno orodje za ocenjevanje emisij CO<sub>2</sub> in porabe energije za najpogostejše polimerne tehnologije in materiale aditivne proizvodnje. Orodje vam lahko pomaga oceniti emisije na podlagi nekaj osnovnih lastnosti in tiskalnih parametrov. Preizkusite ga na [.www.am-map.eu/emissions-calculator](http://www.am-map.eu/emissions-calculator).



# Izbira materiala

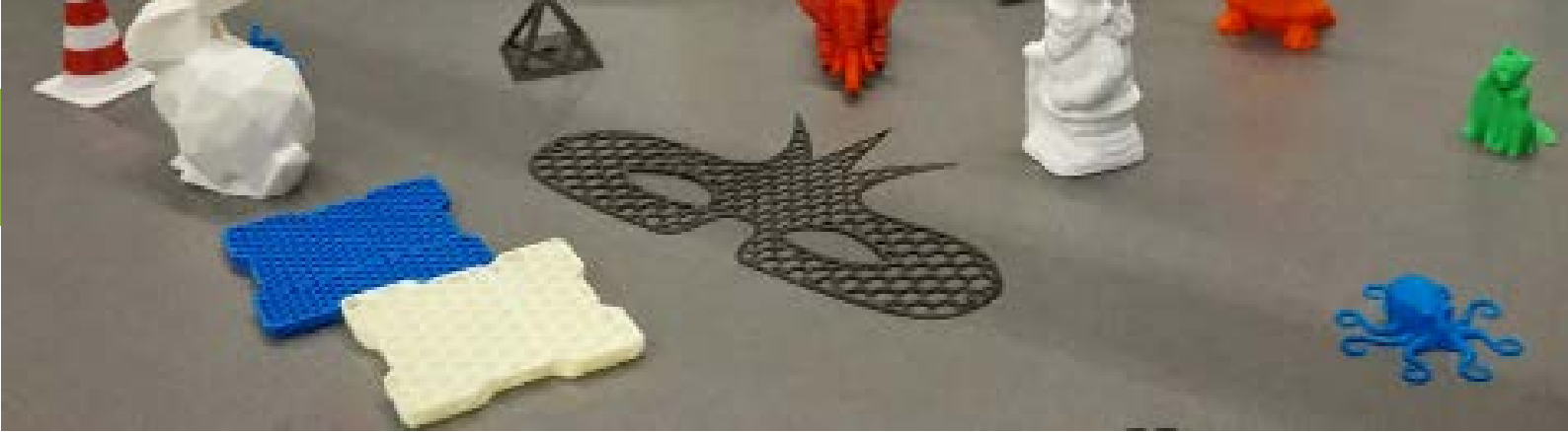
Na voljo je širok nabor materialov z različnimi mehanskimi lastnostmi in okoljskim odtisom. Izbira vedno pomeni kompromis, redko pa obstaja samo ena najboljša možnost. Ta razdelek ponuja nekaj smernic za sprejemanje informiranih odločitev in ocenjevanje kompromisov.

## Ocenite materiale, ki so združljivi z vašimi zahtevami

Na podlagi predvidene uporabe izdelka določite želene lastnosti materiala. To je pomembno tudi z vidika življenjskega cikla – če izberete material z nižjim vgrajenim okoljskim vplivom, a neustreznimi lastnostmi (na primer trdnostjo), bo izdelek verjetno prej potekel ali pa bo med uporabo imel slabše okoljske učinke. To lahko vodi do večjega skupnega vpliva skozi življenjski cikel. Nasprotno pa včasih izbira materiala z nekoliko slabšim vgrajenim vplivom lahko pripelje do nižjega skupnega vpliva skozi življenjski cikel (npr. lahki material z nekoliko višjo vgrajeno energijo lahko zmanjša energetske potrebe med uporabo, kar vodi do neto izboljšave). Razmislite o lastnostih, kot so:

- Zahtevana mehanska zmogljivost (trdnost, togost, utrujenost)
- Okoljski pogoji (toplota, UV, kemikalije, vlaga)
- Zahteve glede dimenzijske natančnosti in površinske obdelave
- Pričakovana življenjska doba in trajnost
- Varnost, regulativne in certificirne zahteve





## Zberite podatke o materialih

- Parametri, potrebni za zanesljivo tiskanje (npr. hitrost in temperature pri FFF – temperatura grelnice in šobe so glavni dejavniki porabe energije)
- Vgrajeni okoljski vplivi (npr. emisije toplogrednih plinov, ki nastanejo pri pridobivanju in predelavi surovin)
- Možnost recikliranja in ponovne uporabe (npr. stopnje osvežitve prahu), vključno z razpoložljivostjo infrastrukture za recikliranje
- Tveganje odpadka (materiali, nagnjeni k destabilizaciji, krivljenju itd., povzročajo več odpadkov)
- Potrebna dodatna obdelava (vključno s porabo energije in uporabo kemikalij)
- Varnost za zdravje (npr. toksičnost, tveganja vdihavanja delcev)

Nekateri podatki so na voljo od proizvajalcev, nekateri iz neodvisnih virov in študij, za nekatere pa boste morda morali izvesti LCA ali uporabiti eno od spletnih LCA orodij, omenjenih v Poglavju 3.

Naše [orodje za ocenjevanje emisij CO<sub>2</sub>](#) vključuje podatke za nekatere pogosto uporabljene polimere. Naslednja tabela povzema te podatke in prikazuje primer matrike za podporo odločanju (viri podatkov in reference so navedeni na spletni strani orodja za ocenjevanje [6]).

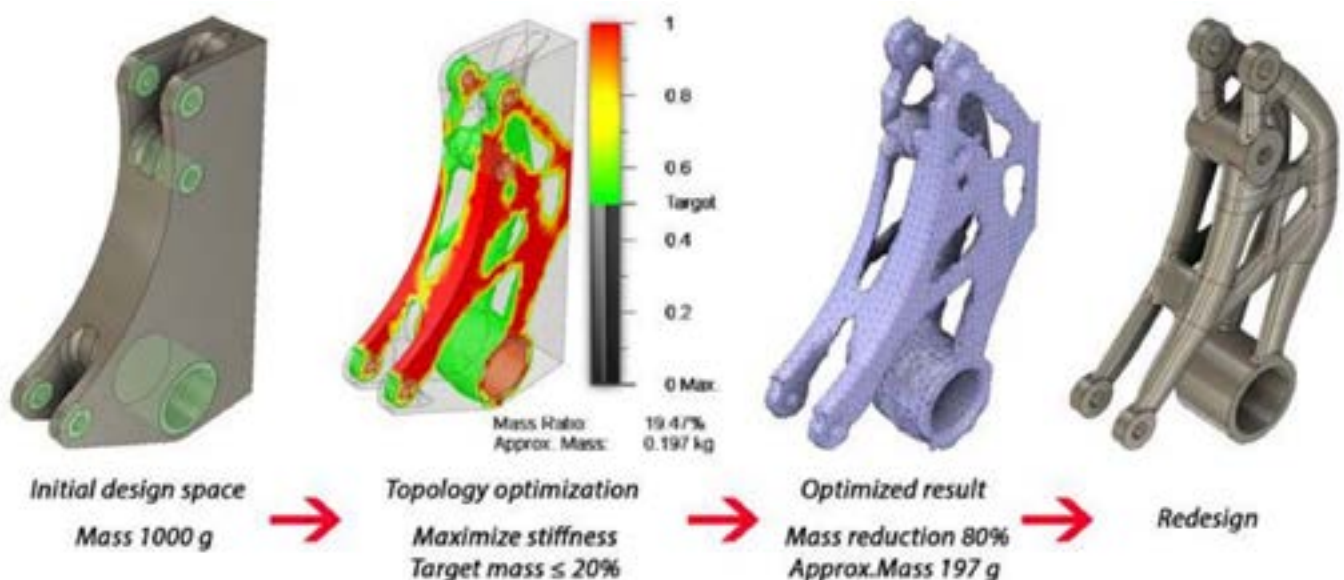
Material	Izvir	Global warming potential [gCO <sub>2</sub> eq/g]	Konec življenjske dobe
PLA	Organski	4.79	Biorazgradljiv (v industrijskih pogojih)
ABS	Fosilni	3.22	Reciklabilen, vendar hitro razpada
PETG	Fosilni + organski	6.27	Redko se reciklira
TPU	Fosilni	4.41	Reciklabilen
Nylon	Fosilni	6.57	Reciklaža je draga
PC	Fosilni	3.41	Reciklabilen, vendar je infrastruktura za reciklažo slaba
HIPS	Fosilni	2.18	Reciklabilen
PP	Fosilni	1.63	Reciklabilen
PPS	Fosilni	6.39	Reciklaža je zahtevna
Fotoobčutljiva smola	Fosilni	3.85	V splošnem ni reciklabilna

Primer matrike za podporo odločanju z okoljsko pomembnimi podatki za pogosto uporabljene polimere pri aditivni proizvodnji

# Dizajn za AP (DfAM) in optimizacija procesov

V tem razdelku predstavljamo splošni kontrolni seznam načel DfAM, ki se prekrivajo z ekodizajnom. Za tehnično razumevanje DfAM in oblikovalske programske opreme pa je potrebno poglobljeno znanje, za kar priporočamo naslednje vire:

- Additive Manufacturing in a Nutshell: certificiran tečaj, razvit v sklopu ADDCIRCLES projekta ([ammap.eu/am-certificate-course-for-senior-experts/](http://ammap.eu/am-certificate-course-for-senior-experts/))
- Moodle Course on Green Additive Manufacturing: spletni tečaj, razvit v sklopu ADDCIRCLES projekta ([ammap.eu/moodle-course-on-am-technologies-for-educators/](http://ammap.eu/moodle-course-on-am-technologies-for-educators/))
- Additive Manufacturing: Process Optimization, MDPI, Special Issue Reprint ([mdpi-res.com/bookfiles/book/9206/Additive\\_Manufacturing\\_\\_Process\\_Optimisation.pdf](http://mdpi-res.com/bookfiles/book/9206/Additive_Manufacturing__Process_Optimisation.pdf))



Primer optimizacije topologije za prenovo titanskega dela, s katerim je bilo doseženo 80-odstotno zmanjšanje mase [8]

## Glavni DfAM Principi

DfAM je zbirka orodij in metod, ki upoštevajo posebne zmogljivosti AP v procesu oblikovanja. Gre za večplastno področje raziskovanja, ki vključuje različne teme, kot so ustvarjalnost, bio-inspiracija, materiali, optimizacija in validacija, vse z namenom izboljšanja oblikovanja AP z integriranimi pristopi [7]. Osnovna načela so:

- Konsolidacija več delov: Zmanjšajte število pritrdil, spojev in montažnega dela, znižajte porabo materiala in odpravite orodja.
- Oblikovanje za minimalno podporo: Orientirajte dele tako, da se izognete nepodprtih površin nad 45°, vključite samonosilne funkcije.
- Uporaba mrež in optimizacije topologije: Mreže zmanjšujejo težo, a povečujejo čas tiskanja. Uravnajte kompromise in se izogibajte ultra-fini mreži, ki zadržuje prah.
- Oblikovanje za učinkovito rabo materiala: Kjer je mogoče, uporabite votle preseke. Dodajte notranje kanale za hlajenje ali zmanjšanje teže. Izogibajte se nepotrebno velikim trdnim blokom.
- Vključitev funkcij, ki poenostavijo dodatno obdelavo: Dodajte odmero za strojno obdelavo le tam, kjer je potrebna. Zagotovite kanale za odstranjevanje prahu. Vključite površine za samopoložitev in samopritrditev.

Kot vedno – kadar uvajate oblikovalske prijeme, ponovno preglejte celoten življenjski cikel in preverite, kakšne posledice imajo na skupni vpliv. Na primer:

- Optimizacija topologije lahko ustvari strukture, ki zahtevajo več podpor.
- Ultra-tanke stene lahko zmanjšajo vzdržljivost in skrajšajo življenjsko dobo izdelka.
- Če je faza uporabe zelo kratka in ne zahteva velike porabe energije, morda povečana poraba energije zaradi optimizacije topologije ni upravičena.

## Optimizacija topologije in generativni dizajn

AM odpravlja številne omejitve tradicionalne substraktivne proizvodnje, kar omogoča realizacijo geometrij, ki so bile prej nemogoče. V nasprotju s tradicionalnim pristopom k oblikovanju, kjer se CAD sistemi uporabljajo za ustvarjanje podrobne geometrije po navodilih oblikovalca, uvajanje orodij za optimizacijo topologije in generativno oblikovanje omogoča oblikovalcem, da se osredotočijo predvsem na funkcijo, namesto na obliko, pri čemer optimizacijska orodja generirajo alternativne zasnove [8].

Optimizacija topologije je računalniška metoda oblikovanja, ki s pomočjo metode končnih elementov omogoča ustvarjanje optimalne porazdelitve materiala v določenem področju oblikovanja ob upoštevanju danih omejitev, obremenitev in robnih pogojev.

Generativno oblikovanje pa uporablja umetno inteligenco za ustvarjanje več različnih oblikovalskih rešitev, ki izpolnjujejo vnaprej določena merila. Ta tip oblikovanja je usmerjen k doseganju boljše zmogljivosti na načine, o katerih oblikovalci, ki sledijo tradicionalnim pristopom, ne bi razmišljali. Ključne smernice za optimizacijo oblikovanja z uporabo teh načel so:

- Začnite z ustreznimi obremenitvami: Napačni robni pogoji ustvarjajo neveljavne geometrije.
- Določite realne proizvodne omejitve: Minimalne velikosti značilnosti (npr. 0,4–0,6 mm za LPBF), omejitve previsov (30–45° glede na material)
- Obdelajte model optimizacije topologije: Zgladite prehode, dodajte radije za zmanjšanje koncentracij napetosti, pretvorite organske oblike v strukturirane mreže
- Validirajte s simulacijo (Finite Element Analysis): Topološko optimizirani deli lahko vsebujejo koncentracije napetosti, ki zahtevajo izboljšave
- Ocenite vpliv na trajnost: Preverite zmanjšano maso v primerjavi s povečanjem časa tiskanja, dodano prostornino podpor in ujet prah v kanalih

## Optimizacija procesov

Vse te pristope lahko združimo v sklop splošnih smernic, katerih cilj je optimizirati celoten proces oblikovanja in proizvodnje z namenom maksimiranja tako funkcionalne kot okoljske učinkovitosti.

### Učinkovitost materiala:

- Ponovno uporabite preostali prah in uporabite priporočene stopnje osvežitve prahu, da zmanjšate odpadke ob ohranjanju kakovosti materiala
- Zmanjšajte podporne strukture s pravilno orientacijo
- Uporabite orodja, kot sta optimizacija topologije in generativno oblikovanje, za zmanjšanje potrebnega materiala
- Uporabite strategije polnjenja (infill), ki uravnotežijo zmanjšanje uporabe materiala, čas tiskanja in trdnost

### Optimizacija energije:

- Maksimalno izkoristite prostornino tiska
- Za dodatno obdelavo (strjevanje, pranje) uporabite obdelavo v serijah
- Če je mogoče, načrtujte gradnje v obdobjih nizke porabe energije
- Zmanjšajte čas tiskanja znotraj sprejemljivih parametrov tiskanja
- Temperatura močno vpliva na porabo energije – kadar je mogoče, uporabite izolacijo za zmanjšanje izgube toplote in izberite materiale ter tiskalne parametre, ki omogočajo nižje temperature

### Kakovost tiska in zmanjšanje odpadkov:

Uporabite in-situ nadzor, kjer je na voljo

Validirajte enakomernost temperature v komorah

Redno kalibrirajte laserje, ekstruderje in razmaščevalnike

Nadzorujte vlago za higroskopske materiale (PA, TPU, PLA)

## Zmanjšanje dodatne obdelave:

- Ciljajte na procese z nizkim okoljskim vplivom (nekateri procesi imajo visoko porabo energije ali uporabljajo strupene snovi)
- Optimizirajte odstranjevanje podpor (npr. uporabite vodotopne materiale, kjer je mogoče)
- Izogibajte se pretiranemu brušenju in poliranju, razen če je to nujno potrebno

“

*Kompleksnost je pri  
aditivni proizvodnji  
brezplačna – izkoristite jo!*

05

[www.ammmap.eu](http://www.ammmap.eu)



Pogoste pasti in  
nerazumevanja

# 05

## POGOSTE PASTI IN NERAZUMEVANJA

### *Trajnostni produkti ali materiali*

Noben izdelek ali material sam po sebi ne more biti označen kot trajnosten – pomembno je, kako krožijo skozi svoj življenjski cikel in kakšna je stopnja njihove porabe (in regeneracije). Na primer, les je lahko trajnosten, če se pridobiva odgovorno in počasi – ali pa zelo netrajnosten, če naraščajoče povpraševanje vodi do degradacije gozdnih ekosistemov.

#### **Kaj storiti namesto tega:**

- Ustvarite ekosisteme s deležniki, ki pokrivajo celoten življenjski cikel.
- Analizirajte in izboljšajte regenerativne sposobnosti vključenih virov.
- Izobrazite uporabnike vaših izdelkov o okoljsko odgovorni uporabi izdelkov in o postopkih ob koncu življenjske dobe.

### *Predpostavka, da je AP avtomatsko trajnostna*

AP lahko zmanjša potrebo po orodjih in zmanjša odpadke, vendar lahko poraba energije ali funkcionalnost izdelka prevlada nad temi prednostmi. Brez ocene življenjskega cikla so trditve o trajnosti lahko zavajajoče.

#### **Kaj storiti namesto tega:**

- Izvedite primerjalno LCA oceno AP v primerjavi z drugimi proizvodnimi metodami, da ugotovite, v kakšnih okoliščinah obstaja skupna korist
- Oblikujte življenjske cikle, ne samo izdelkov

## *Mišljenje, da naravno, obnovljivo, biorazgradljivo ali reciklabilno pomeni trajnostno*

To, da je material reciklabilen ali biorazgradljiv, še ne pomeni, da bo dejansko recikliran ali razgrajen. Mnogi biopolimeri zahtevajo specifične industrijske kompostne procese (niso primerni za domači kompost) in lahko v odlagališčih proizvajajo metan. Nekateri reciklažni procesi so lahko tudi energetsko intenzivni ali vključujejo kemične postopke, ki ustvarjajo odpadne tokove. To pomeni, da je pravilno recikliranje materiala močno odvisno od razpoložljivosti in upravljanja reciklačne infrastrukture. Tudi obnovljivi viri imajo svoje regenerativne meje, kar pomeni, da obnovljivost ni dovoljenje za neomejeno porabo.

### **Kaj storiti namesto tega:**

- Preučite regenerativne meje in pogoje za biorazgradnjo/recikliranje materialov, ki jih uporabljate, in zagotovite, da se upoštevajo.
- Postavite svojo vrednostno verigo in poslovni model tako, da omogočata krožne procese. Vključite partnerje, ki vam lahko pomagajo zapreti zanko (npr. objekti za biorazgradnjo), že v proces oblikovanja.
- Osredotočite se na maksimalno podaljšanje uporabne življenjske dobe vaših izdelkov.

## *Neupoštevanje faze uporabe*

Oblikovalci se pogosto osredotočajo na učinkovitost materiala, hkrati pa spregledajo vedenje uporabnika in porabo virov med fazo uporabe izdelka, na primer porabo energije, vode ali baterije. To lahko pomembno vpliva na skupni okoljski vpliv.

### **Kaj storiti namesto tega:**

- Oblikujte uporabniško izkušnjo, ki spodbuja trajnostne vzorce uporabe
- Omogočite enostavna popravila in postopke ob koncu življenjske dobe

## *Kompleksnost namesto funkcionalnosti*

AP omogoča geometrijsko svobodo, vendar lahko nepotrebna kompleksnost poveča čas tiskanja, potrebo po dodatni obdelavi in porabo energije. Z vidika uporabniške izkušnje in analize potreb se pogosto izkaže, da so izdelki prenapredno zasnovani in ponujajo nepotrebne funkcije.

### **Kaj storiti namesto tega:**

Posvetite dovolj časa analizi potreb in se osredotočite na strategije RO (Zavrni) in R1 (Premisli), da ustvarite inovacije, ki dosežejo željeno funkcijo z minimalno kompleksnostjo.

## *Odsotnost načrtovanja za konec življenjske dobe*

Mnogi AM deli mešajo polimere, smole in polnila, ki jih pozneje ni mogoče ločiti. Trajnost je treba vključiti že v fazi izbire materiala.

### **Kaj storiti namesto tega:**

- Oblikujte modularno in z enotnimi materiali, da omogočite ločevanje materialov
- Izberite materiale, ki uravnotežijo trajnost in možnost recikliranja
- Zagotovitev, da se izdelki dejansko reciklirajo ali na kak drug način ponovno uporabijo, je tudi odgovornost proizvajalca – oblikujte uporabniško izkušnjo s tem v mislih in vzpostavite partnerstva v vrednostni verigi, da se zanka zapre

## *Zanašanje le na povečanje učinkovitosti*

Čeprav so rešitve, učinkovite glede virov in energije, del trajnostne proizvodnje, same po sebi nikoli ne morejo biti rešitev. Brez temeljito drugačnih poslovnih modelov lahko učinkovitost v najboljšem primeru le odloži dosego regenerativnih meja, v najslabšem primeru pa vodi do še večje porabe, kar imenujemo Jevonsov paradoks (npr. bolj ekonomična proizvodnja pomeni več denarja za širitev, kar na koncu vodi do večje porabe).

### **Kaj storiti namesto tega:**

- Zagotovite, da pridobljena učinkovitost ne povzroča širjenja obstoječih aktivnosti, če te aktivnosti imajo visok okoljski vpliv – to bo izničilo kakršno koli okoljsko korist in privedlo do večje rabe virov.
- Gradite sinergijske industrijske sisteme.

06

[www.ammmap.eu](http://www.ammmap.eu)



Študije primerov

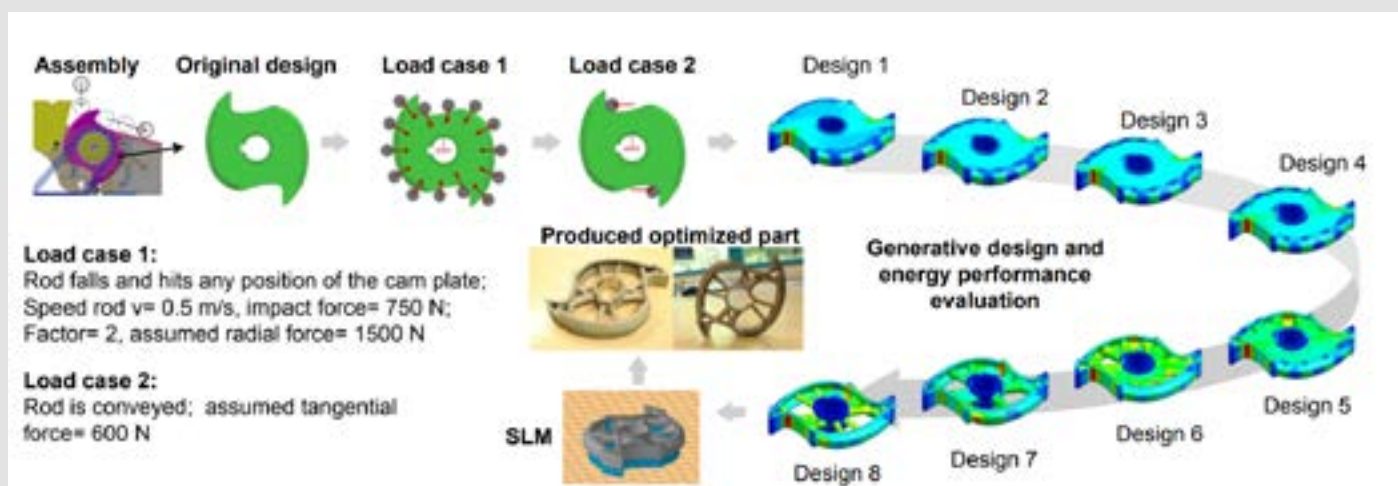
# 06

## ŠTUDIJE PRIMEROV

### 1) Lahka zasnova (zmanjšanje mase)

Projekt se je osredotočil na optimizacijo jeklene gredi, uporabljene v transportnem sistemu [9]. Izvirno zasnovana kot popolnoma trden obdelan del, je komponenta nudila velik potencial za zmanjšanje mase in porabe virov z novim dizajnom. Z uporabo generativnega oblikovanja je bilo ustvarjenih osem geometrijskih različic z naraščajočimi faktorji zmanjšanja mase. Vsaka zasnova je bila ocenjena z realistično mehansko obremenitvijo, da se zagotovi strukturna celovitost, tudi ob udarcih in tangencialnih silah. Rezultati simulacij so potrdili, da je mogoče doseči zmanjšanje mase do 64 % brez preseganja dovoljene trdnosti materiala.

Za oceno okoljskih zmogljivosti je ekipa uporabila oceno energetske učinkovitosti (EPA), prilagojeno za aditivno proizvodnjo. Za izračun ključnih kazalnikov, kot so skupna poraba energije, faktor varnosti na enoto porabljene energije in razmerje deformacije proti energiji, so bile uporabljene podrobne energetske simulacije procesa selektivnega taljenja z laserjem (SLM). Po normalizaciji in tehtanju teh kazalnikov je bila izbrana najbolje uspešna zasnova, ki je nudila najnižjo porabo energije in najvišjo funkcionalno učinkovitost, ter uspešno izdelana z uporabo SLM.



## Ključni izvlečki

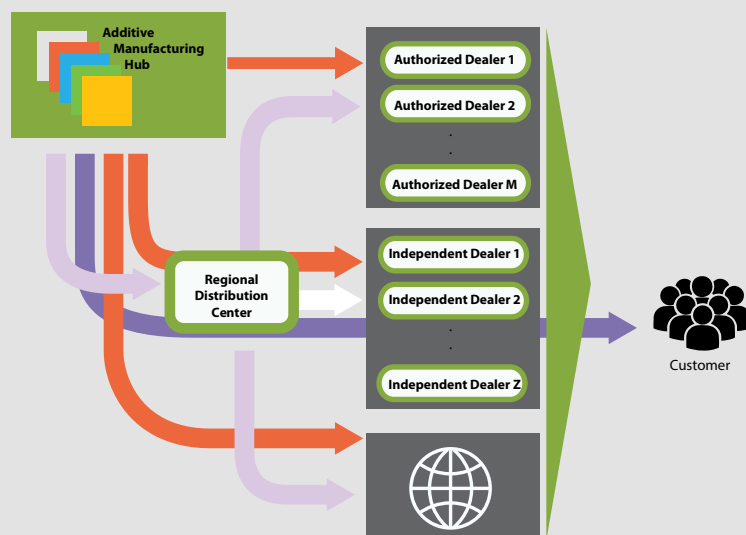
- Znatni prihranki materiala: Z generativnim oblikovanjem je bilo doseženo do 64 % zmanjšanje teže brez kompromisa pri trdnosti ali funkcionalnosti.
- Energetsko optimizirana proizvodnja: Energetske simulacije so identificirale geometrijske različice z najnižjo porabo energije med SLM proizvodnjo.
- Odločanje na podlagi podatkov: EPA je omogočila kvantitativno oceno okoljskega vpliva že med procesom oblikovanja – ne šele po njem.
- Izboljšana trajnost: Zmanjšana poraba materiala in nižja poraba energije v postopku se neposredno odražata v manjšem okoljskem odtisu.
- Uspešna implementacija AP: Optimiziran del je bil proizveden z visoko gostoto (98,5–99,5 %), kar potrjuje pristop k oblikovanju in ocenjevanju.

### 2) Distribucija rezervnih avtodelov

Ta študija primera se osredotoča na srednje veliko avtomobilsko blagovno znamko v Španiji [10]. Raziskava uporablja celosten pristop z oceno gospodarskih, okoljskih in družbenih vidikov trajnosti vključevanja AP v proizvodnjo rezervnih delov. AP omogoča izdelavo delov z natančnimi oblikami in materiali brez odpadkov, kar lahko zmanjša proizvodne stroške in okoljski vpliv.

Študija je analizirala dejanske podatke o prodaji od julija 2018 do julija 2019, pri čemer so bili upoštevani le deli, primerni za AP glede na kompleksnost, količino in druge kriterije. Razvit je bil model ocenjevanja stroškov, ki je bil preverjen s ponudbami evropskih ponudnikov AP. Trenutni model dobavne verige, za katerega je značilna centralizirana proizvodnja in distribucija, je v nasprotju s predlaganim decentraliziranim modelom, ki temelji na AP in vključuje razpršene dobavitelje, organizirane v avtomatizirana "AP vozlišča".

Gospodarska analiza je pokazala, da bi uporaba AP za dele z nizko kompleksnostjo in majhno količino lahko povečala dobičkonosnost blagovne znamke za 15,12 %. Z okoljskega vidika bi lahko zmanjšali porabo materiala za 12,3 % in prihranili energijo ter emisije CO<sub>2</sub> pri transportu za 9,2 %. Študija zaključuje, da že v zgodnji fazi industrijske uporabe AP obstajajo sinergijske koristi za trajnost in izboljšana dobičkonosnost, čeprav je potrebna nadaljnja raziskava tveganj intelektualne lastnine, možnosti popravila in širitve na globalne trge.



Shema distribucije rezervnih delov z uporabo aditivne proizvodnje [10]

## Ključni izvlečki

- Študija se je osredotočila na rezervne dele z nizko kompleksnostjo in nizko prodajo, kjer je AP trenutno najbolj izvedljiva.
- Nov decentraliziran model dobavne verige z "AP vozlišči" lahko nadomesti tradicionalne centralizirane dobavitelje.
- Ocenjena povečana dobičkonosnost blagovne znamke za 15,12 % z uvedbo AP pri izbranih delih.
- Zmanjšanje porabe materiala za 12,3 % in prihranki energije pri transportu za 9,2 %, kar znižuje emisije CO<sub>2</sub>.
- Model ocenjevanja stroškov za AP je bil preverjen z dejanskimi ponudbami AP ponudnikov, pri čemer so odstopanja znašala med 4,3 % in 16,2 %.
- Izzivi ostajajo v zvezi z intelektualno lastnino, odgovornostjo in možnosti širitve na trg.

### 3) Preoblikovanje kljuka

Ta študija primera predstavlja prenovo kljuka za vrata z uporabo načel dolgoročne proizvodnje (LLM) v pohištvenem sektorju, pri čemer je uporabljena AP s PLA, biorazgradljivim polimerom [11]. Primer se osredotoča na izboljšanje optimizacije izdelka, možnosti popravila in podaljšanje življenjske dobe z omogočanjem, da potrošniki 3D-tiskajo in zamenjajo dele.

Prenova je vključevala mrežne strukture in zaščitne premaze za optimizacijo trdnosti, teže in videza. Modularna zasnova in AP proces sta omogočila tudi prilagoditev in lažje popravilo, kar povečuje personalizacijo in s tem motivacijo, da izdelek ne bo odvržen.

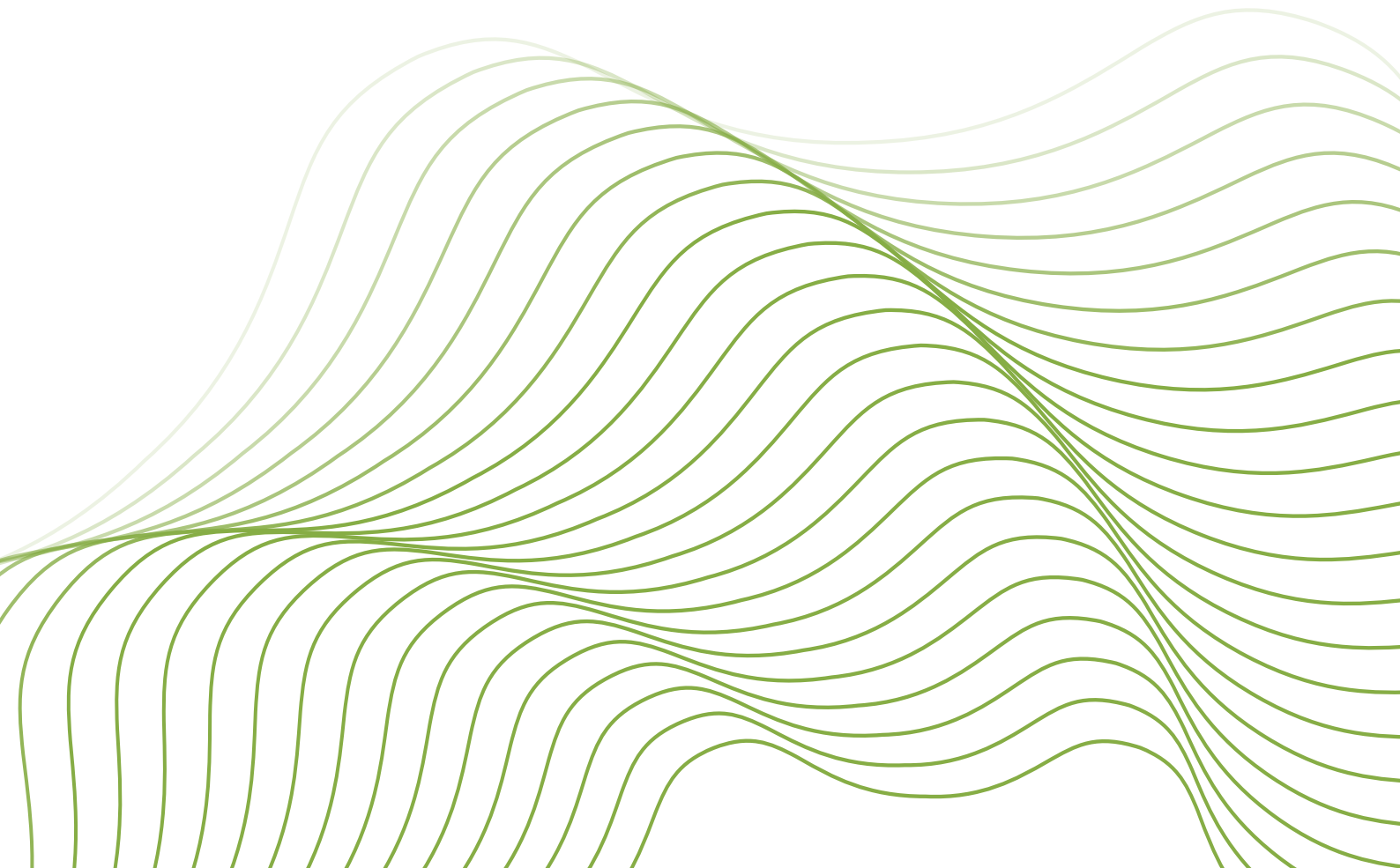
PLA kljuka za vrata so bile podvržene testom razgradnje, ki so simulirali dejanske okoljske pogoje, vključno z izpostavljenostjo UV-B sevanju in termičnim pogojem. Rezultati so pokazali znatno zmanjšanje mase za več kot 50 % v primerjavi s tradicionalnimi kovinskimi kljukami, ob tem pa je po 14 dneh UV-B in termičnega cikliranja ostalo več kot 95 % začetne natezne trdnosti. Stabilnost barve je bila zadovoljiva, še posebej pri belih pobarvanih vzorcih, kar kaže na dobro ohranjanje estetike.



CAD dizajn in natisnjen prototip [11]

## Ključni izvlečki

- Prenovljena PLA kljuka za vrata je dosegla več kot 50-odstotno zmanjšanje teže v primerjavi s kovinskimi kljukami.
- Mehanske in estetske lastnosti so po testih staranja v okoljskih pogojih (UV-B in termično cikliranje) ostale zadovoljive.
- Mrežne strukture in modularna zasnova so omogočile prihranek materiala in možnost popravila.
- AP omogoča potrošnikom lokalno tiskanje nadomestnih delov, kar podaljšuje življenjsko dobo izdelka in zmanjšuje odpadke.
- Personalizacija z uporabo AP povečuje pripadnost uporabnika izdelku, kar spodbuja vzdrževanje namesto odlaganja.



# Note

---

A large white rectangular area containing horizontal lines for writing notes. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page, providing a template for taking notes.

# VIRI

- [1] <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/news/an-introduction-to-circular-design>
- [2] [https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation\\_en](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en)
- [3] [https://unece.org/sites/default/files/2022-06/3%20DGMOVE%20UNECE\\_EU%20Transport%20Policy.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2022-06/3%20DGMOVE%20UNECE_EU%20Transport%20Policy.pdf)
- [4] Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption; Brezet, Van Hemel, 1997
- [5] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919303015>
- [6] <https://www.ammmap.eu/emissions-calculator/>
- [7] [https://mdpi-res.com/bookfiles/book/9206/Additive\\_Manufacturing\\_\\_Process\\_Optimisation.pdf](https://mdpi-res.com/bookfiles/book/9206/Additive_Manufacturing__Process_Optimisation.pdf)
- [8] <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/4/2106>
- [9] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121000822>
- [10] <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/20/8461>
- [11] <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/11/4969>

