

# Uporaba Newtonove metode pri modeliranju prostorske porazdelitve svetlobe LED z nameščenimi sekundarnimi optičnimi elementi

David Kaljun<sup>1,\*</sup> – Jože Petrišič<sup>1</sup> – Janez Žerovnik<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

<sup>2</sup>Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Slovenija

Zagotavljanje učinkovitih delovnih procesov je ključ do uspešnega in konkurenčnega podjetja. Še posebej velja to za proces razvoja svetil. Tako se v želji po hitrejšem in cenejšem razvoju velikokrat poslužujemo računalniških simulacij prostorske porazdelitve svetilnosti svetila (fotometrija), namesto realnih meritev. Simulacije namreč omogočajo testiranje svetila z različnimi optičnimi elementi v relativno kratkem času, kar omogoča preizkus več variant izdelka. Vendar pa so rezultati simulacij v celoti odvisni od vhodnih podatkov. Tako se lahko kar hitro zgodi, da se simulacijski rezultati ne skladajo z dejanskimi meritvami.

Velikokrat je za razkorak kriv prav standardni zapis fotometrije svetil, ki predvideva datoteko, katera je sestavljena iz seznama prostorskih vektorjev. Vsak vektor predstavlja žarek svetlobe z določeno svetlobno intenziteto v določeni smeri. Za natančen opis fotometrije bi tako v datoteki moralo biti zapisano več sto tisoč vektorjev, vendar jih večinoma najdemo le okoli tri do deset tisoč. Razlog za majhno število vektorjev je prenosljivost datotek, ki z večjim številom vektorjev postanejo prevelike, datoteke z majhnim številom vektorjev pa vnašajo prevelike pogreške, ki se tekom simulacije dodatno potencirajo.

Očitna rešitev je boljši zapis fotometrije, ki bi ob ohranjanju kakovosti podatkov zmanjšal število potrebnih parametrov. Leta 2008 sta Moreno in Sun predstavila fenomenološki matematični model, ki je z nekaj parametri uspešno opisal fotometrijo LED brez nameščenih leč. Avtorjema je uspelo zapisati fotometrije posameznih LED z matematičnim modelom, ki je vseboval vsega devet parametrov v nasprotju s standardnim zapisom. Model smo prevzeli in ga za apliciranje na LED z nameščenimi lečami modificirali. Podrobnosti modifikacije modela in dokaz ustreznosti smo predstavili v prejšnjih objavah. Model je sestavljen iz vsote kosinusnih funkcij. Vsaka funkcija ima tri parametre. Vsota funkcij pa je normirana z najvišjo vrednostjo svetilnosti iz obravnavane fotometrije, kar doda en parameter, ki je skupen vsem funkcijam. Dodaten parameter omogoča, da so vrednosti vseh parametrov v omejenih intervalih. Definicija modela pa je samo polovica rešitve, kajti za vsako fotometrijo je potrebno poiskati nabor parametrov, ki jo dovolj dobro opiše. Glede na velikost množice dopustnih rešitev ( $6,85 \times 10^9$  setov pri devetih funkcijskih parametrih in osnovni diskretizaciji iskalnega prostora) je smiselno uvesti iskalne algoritme. Do sedaj smo implementirali sedem različnih hevrističnih algoritmov od klasičnega preiskovanja z izbiro soseščine do genetskih algoritmov.

V članku predstavljamo implementacijo numerične metode z namenom pohitritve delovanja. Model je sestavljen iz zveznih funkcij, kar omogoča uporabo različnih numeričnih metod vendar smo se odločili za implementacijo Newtonove metode zaradi robustnosti in relativno enostavnega delovanja ter kvadratične konvergence, ki bi morala zagotavljati vidno pohitritev delovanja sistema.

Pripravili smo eksperiment, ki je vključeval iskanje parametrov za sto umetnih in trinajst realnih leč z desetimi različnimi algoritmi. Rezultate eksperimenta smo primerjali po treh kriterijih: kakovosti rešitev, računskem času in statistično obdelavo z uporabo Wilcoxon-ovega testa. Rezultati pokažejo, da je vsaj na naših primerih, posrečena rešitev, kombinacija lokalnega iskanja izbranih začetnih približkov z diskretnimi optimizacijskimi algoritmi, ki jim sledi hitra in na teh približkih zanesljiva konvergenca Newtonove metode. V primerjavi s prej objavljenimi rezultati nova metoda v krajšem času (tudi do 10 krat) najde rešitve, ki znatno zmanjšajo napako, (tudi do 60 %).

**Ključne besede: metoda najmanjših kvadratov, Newtonova metoda, diskretna optimizacija, lokalno iskanje, porazdelitev svetlobe, LED**