

Ocena vpliva odboja svetlobe od fotonapetostnih modulov SE ZOOP na varnost odvijanja letalskega prometa Letališča Edvarda Rusjana Maribor

Izdelovalec: **HSE Invest d.o.o., Obrežna 170, 2000 Maribor, Slovenija**

Št. projekta: **HIDP-8480/2023**


Id. ozn. dokum.: **HIDP-0P0001**

Datum: **maj 2025**

Direktor: **mag. Jure Šimic, univ.dipl.inž.grad.**

Sodelavci: **David Galinec, mag.inž.el.
Robert Gselman, dipl.inž.el.
Alenka Sever Keršinar, univ.dipl.geog.
Goran Mandžuka, univ.dipl.inž.grad.**

Revizija: 1.0


ROBERT GSELMAN
dipl.inž.el.
IZS E-1781

Kazalo vsebine

1. Uvod.....	3
2. Predmet obdelave in namen študije.....	4
3. Metoda dela.....	5
3.1 Zavezujoči predpisi	5
3.1.1 Uredba EU 2018/1139, ki se nanaša na skupna pravila na področju civilnega letalstva[3]	5
3.1.2 Evropska agencija za varnost v letalstvu – Certifikacijske specifikacije in navodila za načrtovanje letališč (CS-ADR-DSN issue 6, marec 2022)[5]	5
3.2 Nezavezujoči predpisi	6
3.2.1 FAA predpisi	6
3.2.2 Nemški državni organ za nadzor emisij LAI[8]	7
3.3 Uporabljena programska oprema.....	7
3.4 Pojavnost odbojev svetlobe	8
3.5 Fotometrični izračuni odbojev svetlobe.....	9
3.5.1 Svetlost bleščanja	10
3.5.2 Jakost svetlobnega obsevanja.....	11
3.5.3 Vpliv bleščanja	12
3.6 Pregrade.....	14
4. Analiza potencialnega vpliva bleščanja zaradi SE ZOOP	15
4.1 Območje obravnave	15
4.2 Osnovni podatki simulacije	15
4.3 Analiza rezultatov simulacije in ocena vpliva.....	24
5. Zaključek	27
6. Viri.....	28
7. Priloge	28

1. Uvod

Dravske elektrarne Maribor d.o.o., skupaj z Mestno občino Maribor in Snago d.o.o., pripravljajo projekt izgradnje fotonapetostne elektrarne na zaprtem odlagališču nenevarnih odpadkov Pobrežje (v nadaljevanju SE ZOOP).

SE ZOOP se bo nahajala na vplivnem območju letališča Edvarda Rusjana Maribor (oznaka letališča LJMB), oziroma v njegovi kontrolirani coni.

Na podlagi aktualne zakonodaje dopisa Agencije za civilno letalstvo (CAA) št. 351-193/2025/3-0503 z dne 15. 4. 2025 izhaja poziv za dopolnitev vloge za izdajo mnenja k projektni dokumentaciji. In sicer je dokumentacijo treba dopolniti s študijo, ki bo analizirala vpliv odboja svetlobe od fotonapetostnih modulov SE ZOOP na izvajanje letalskih operacij na letališču.

Zahtevana dopolnitev je podkrepljena z ugotovitvami CAA, in sicer, da je poseg predviden na vplivnem območju letališča Edvarda Rusjana Maribor, izven območja pod konično omejitveno ravnino, v območju Kontrolirane cone (CTR) Maribor, približno 7 km severno od referenčne točke (ARP) letališča, da je skladno z določbami 114. člena Zakona o letalstvu (Uradni list RS, št. 81/10, 46/16, 47/19 in 18/23; v nadaljevanju: ZLet) potrebno za postavitve in delovanje naprav ali sistemov v coni letališča, ki bi utegnile povzročati elektromagnetne, svetlobne ali druge motnje na napravah za vodenje zrakoplovov, oziroma lahko ovirajo ali zavedejo posadko zrakoplova ali službe zračnega prometa, pridobiti dovoljenje Agencije in da v predloženi projektni dokumentaciji vpliv odboja svetlobe od fotonapetostnih modulov na izvajanje zračnega prometa na letališču Edvarda Rusjana Maribor ni bil ustrezno obdelan, saj obstaja možnost, da bi od sončne elektrarne odbita svetloba motila ali zavedla posadke zrakoplovov ali službe zračnega prometa na letališču.

Študija mora nedvoumno dokazati, da vpliva SE ZOOP na izvajanje letalskih operacije ne bo oz. da bo zagotovljeno varno odvijanje letalskega prometa.

Namen predmetne študije je preučitev potencialnega vpliva odboja svetlobe oz. sončnih odsevov od modulov SE ZOOP na zagotavljanje varnega odvijanja letalskega prometa in opredelitev morebiti potrebnih ukrepov za zagotovitev ustrezne varnosti.

2. Predmet obdelave in namen študije

Predmet obdelave je preveritev odboja svetlobe od fotonapetostnih modulov SE ZOOP ter posledično pojav bleščanja kot motnje v zaznavanju, ki nastane zaradi premočne svetlobe v vidnem polju.

Bleščanje lahko predstavlja tveganje ter oviro za ljudi med izvajanjem različnih dejavnosti, na primer v cestnem, železniškem in letalskem prometu. Odboj svetlobe od fotonapetostnih modulov je odvisen od površine stekla vgrajenega v panele. Bolj gladko je steklo, večja je njegova odbojnost svetlobe. Pri hrapavi (teksturirani) površini stekla je odboj svetlobe manjši in bolj difuzen.

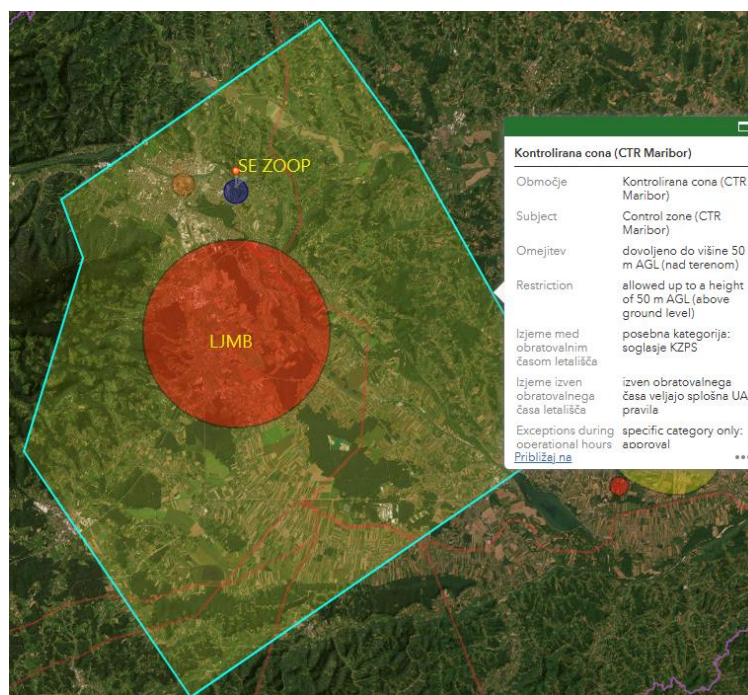
V letalskem prometu je dobra vidljivost ključnega pomena. Bleščanje lahko ovira vidljivost pilota med pristajanjem, ko je na voljo zelo malo časa in prostora za izvedbo manevrov. Prav tako predstavlja težavo, kadar bleščanje ovira vid kontrolorja pri nadzoru zračnega prometa na letališču.

Ker se SE ZOOP načrtuje v vplivnem območju letališča Edvarda Rusjana Maribor (slika 1), je na podlagi zahteve mnenjedajalca s področja letalskega prometa in določila 114. člena Zakona o letalstvu potrebno preveriti morebitni pojav odboja svetlobe od fotonapetostnih modulov ter oceniti njegov potencialni vpliv na varnost odvijanja letalskega prometa.

V okviru predmetne študije bo analiziran odboj sončne svetlobe od predvidene SE ZOOP:

- proti kontrolnemu stolpu,
- med premikanjem letala po vzletno-pristajalni stezi (pri pristanku ali vzletu),
- v zaključnem delu pristajanja letala,
- pri priletu v zgodnjih fazah pristajanja na eni izmed značilnih poti.

Namen študije je preveriti in oceniti vpliv odboja svetlobe od fotonapetostnih modulov, načrtovanih v sklopu SE ZOOP, na varnost odvijanja letalskega prometa na Letališču Edvarda Rusjana Maribor (LJMB), zlasti proti kontrolnemu stolpu, premikanje letala po vzletno - pristajalni stezi ter v zaključni fazi pristajanja.



Slika 1: Prikaz vplivnega območja letališča E. Rusjana Maribor in lokacije SE ZOOP

3. Metoda dela

3.1 Zavezujoči predpisi

Skladno s 114. členom Zakona o letalstvu (Uradni list RS, št. 81/10 - UPB, 46/16, 47/19 in 18/23 – ZDU-1O; v nadaljevanju: ZLet) je potrebno za postavitve in delovanje naprav ali sistemov v coni letališča, ki bi utegnile povzročati elektromagnetne, svetlobne ali druge motnje na napravah za vodenje zrakoplovov, oziroma lahko ovirajo ali zavedejo posadko zrakoplova ali službe zračnega prometa, pridobiti dovoljenje Agencije.

3.1.1 Uredba EU 2018/1139, ki se nanaša na skupna pravila na področju civilnega letalstva[3]

V prilogi VII, vezano na območja letališč in njihovo okolico, uredba določa nevarnosti, povezane s človeškimi dejavnostmi in uporabo zemljišča. **Uredba zahteva oceno tveganj, ki jih povzročajo:**

- vsak razvoj ali sprememba uporabe zemljišča na območju aerodroma;
- možnost turbulence, ki bi jo povzročila ovira;
- uporaba nevarnih, nejasnih in zavajajočih luči;
- **zaslepitev, ki bi jo povzročile velike in visoko odsevne površine;**
- ustvarjanje območij, ki bi lahko spodbudila dejavnost divjih živali v okolici območja gibanja na aerodromu, ali
- viri nevidnega sevanja ali prisotnost premikajočih se ali pritrdjenih predmetov, ki lahko motijo delovanje aeronavtičnih komunikacijskih, navigacijskih in nadzornih sistemov ali ogrožajo njihovo delovanje.

Zgoraj navedena tveganja je tako potrebno oceniti in po potrebi ustrezno zmanjšati.

3.1.2 Evropska agencija za varnost v letalstvu – Certifikacijske specifikacije in navodila za načrtovanje letališč (CS-ADR-DSN issue 6, marec 2022)[5]

Na uporabo dokumenta »CS-ADR-DSN« napotuje Pravilnik o letališčih[4] (Uradni list RS št. 86/16).

CS-ADR-DSN v poglavju M, ki obravnava vizualne pripomočke za navigacijo, v točkah h do l navaja:

Ocena zaslepitev v bližini letališča:

Človeški vid je kompleksen mehanizem, ki vključuje oči in možgane. Čeprav je oko dobro raziskano, še vedno primanjkuje znanja o tem, kako možgani interpretirajo vidne dražljaje. Zato se vid med posamezniki razlikuje.

Vidno polje je opredeljeno kot območje, ki ga zaznavajo oči. Percepcija podrobnosti temelji na razmerju svetlosti med objekti, pri čemer se upošteva prostorska porazdelitev. Svetlost in kontrast sta ključna elementa mehanizma vida.

V vidnem polju je mogoče opredeliti štiri sektorje:

- Polje zaznave, ki ustreza absolutnim mejam vidnega polja; odpira se približno 90° na vsako stran od smeri oči;

- Polje vidljivosti, ki je ožje in omogoča zaznavo predmeta; odpira se do 60°;
- Polje opaznosti, ki omogoča prepoznavo; odpira se do 30°;
- Delovno polje opaznosti, ki je tesno osredotočeno na smer oči (1° do 2°); omogoča identifikacijo in je delovno področje vida.

Varnostna ocena se izvaja z namenom prepoznavanja situacij, **v katerih tveganje zaslepitve postane nesprejemljivo**. Zaslepitev predstavlja takšno tveganje v naslednjih situacijah:

- **pri priletu**, še posebej ko se je letalo spustilo pod višino odločitve, pilot ne sme izgubiti nobenega vizualnega znaka;
- **ob dotiku tal** pilot ne sme biti presenečen zaradi svetlobnega bliska;
- **med premikanjem po stezi** (pristanek ali vzlet) mora pilot zaznati svoje okolje in opaziti vsako odstopanje od središčne linije, pilot ne sme izgubiti nobenega vizualnega znaka.

Iz tega sledi:

- **škodljiva zaslepitev zaradi svetlobe ne sme nastopiti med priletnim postopkom (rahlo pred višino odločitve) in med premikanjem po stezi;**
- **presenečenje zaradi zaslepitve ne sme nastopiti ob dotiku tal.**

Glede kontrolorjev zračnega prometa je bilo ugotovljeno, da zaslepitev zaradi svetlobnega učinka ne sme zmanjšati vizualne percepcije operacij letal na in v bližini vzletno-pristajalne steze.

Zgornji elementi se lahko uporabijo za fotonapetostne module ob naslednjih predpostavkah:

- da so sončni paneli nagnjeni tako, da učinkovito zajamejo sončno svetlobo, kar pomeni različne kote presečne površine;
- največja dopustna vrednost svetlosti je določena na 20.000 cd/m²;
- površine se gibljejo od 100 m² do več hektarjev.

Predvideva se, da letalo natančno sledi svoji poti, vendar se v resnici prilet izvaja znotraj stožčaste ovojnice okoli pričakovane poti.

3.2 Nezavezujoči predpisi

Pri nezavezujočih predpisih velja poudariti, da ti niso pravno zavezujoči v Sloveniji, temveč so vključeni za širši pregled. Kljub temu njihova vsebina predstavlja koristne smernice ali dobre prakse, ki se lahko smiselno uporabijo.

3.2.1 FAA predpisi

ZDA, 2013 – Začasni predpis FAA[7]

Sistem fotonapetostne elektrarne mora izpolnjevati naslednje standarde:

1. Brez možnosti bleščanja ali odseva v obstoječi ali načrtovani **kabini stolpa** za kontrolo zračnega prometa.
2. Brez možnosti bleščanja ali z »nizko možnostjo za zakasnele slike« **vzdolž poti končnega prileta** za vse pragove pristanka. Pot končnega prileta je opredeljena kot dve (2) milj in petdeset (50) čevljev nad pragom pristanka, pri čemer se uporablja standardna drsna pot treh (3) stopinj.

Vpliv na vid je treba analizirati za celotno koledarsko leto v enominutnih intervalih, od trenutka, ko sonce vzide nad obzorje, do trenutka, ko sonce zaide pod obzorje. Vpliv na vid je treba oceniti v skladu z grafičnim prikazom analize nevarnosti sončnega bleščanja.

ZDA, 2021 – Predpis FAA[6]

Leta 2021 je prišlo do posodobitve FAA pravilnika glede bleščanja fotonapetostnih elektrarn na oz. v neposredni okolici letališč.

Na začetku je FAA menila, da bi sončni energetske sistemi lahko povzročili nov učinek bleščanja in odboja za pilote v zaključni fazi prileta. FAA je nato ugotovila, da je bleščanje in odboj od sončnih energetskih sistemov za pilote v zaključni fazi prileta v večini primerov podoben bleščanju in odboju, ki ga piloti rutinsko doživljajo na vodnih površinah, stavbah s steklenimi fasadami, parkiriščih in podobnih objektih.

FAA se je zato odločila, da se politika agencije osredotoči zlasti na vpliv bleščanja fotonapetostnih elektrarn na kontrolne stolpe.

FAA prav tako umika zahtevo, da se za vpliv bleščanja uporabi orodje SGHAT (ForgeSolar). Lahko se uporabljajo tudi druga orodja dostopna na trgu. Analizo bleščanja ni potrebno opraviti, če direktni pogled med stolpom in sončno elektrarno zakriva druga struktura.

Iz predpisa izhaja, da v primeru:

- sistemov fotonapetostnih elektrarn na letališčih, ki nimajo kontrolnega stolpa,
 - letališč, ki niso zvezna, ali
 - **sistemov fotonapetostnih elektrarn, ki se ne nahajajo na letališču,**
- ni potrebno preverjati bleščanja.**

3.2.2 Nemški državni organ za nadzor emisij LAI[8]

Na temo pojava bleščanja, zaradi odboja sončne svetlobe od fotonapetostnih modulov, so izdane tudi smernice nemškega državnega organa za nadzor emisij LAI[8]. Te smernice se bolj kot na same letalske poti osredotočajo na objekte, ki so lahko izpostavljeni bleščanju. Dodatek 2 v omenjenem dokumentu vsebuje priporočila za ugotavljanje, ocenjevanje in zmanjševanje bleščanja velikih fotonapetostnih elektrarn. Natančneje določajo predvsem časovno mejo trajanja bleščanja. Splošne predpostavke izračuna v skladu z LAI so:

- sonce se obravnava kot točkovni sevalni vir,
- vir bleščanja je modeliran kot popolnoma odbojen,
- sonce sveti od zore do mraka (brez upoštevanja oblakov),
- kot med virom bleščanja in soncem je najmanj 10°,
- prekomerno bleščanje je časovno določeno nad 30 min na dan in 30 h na leto.

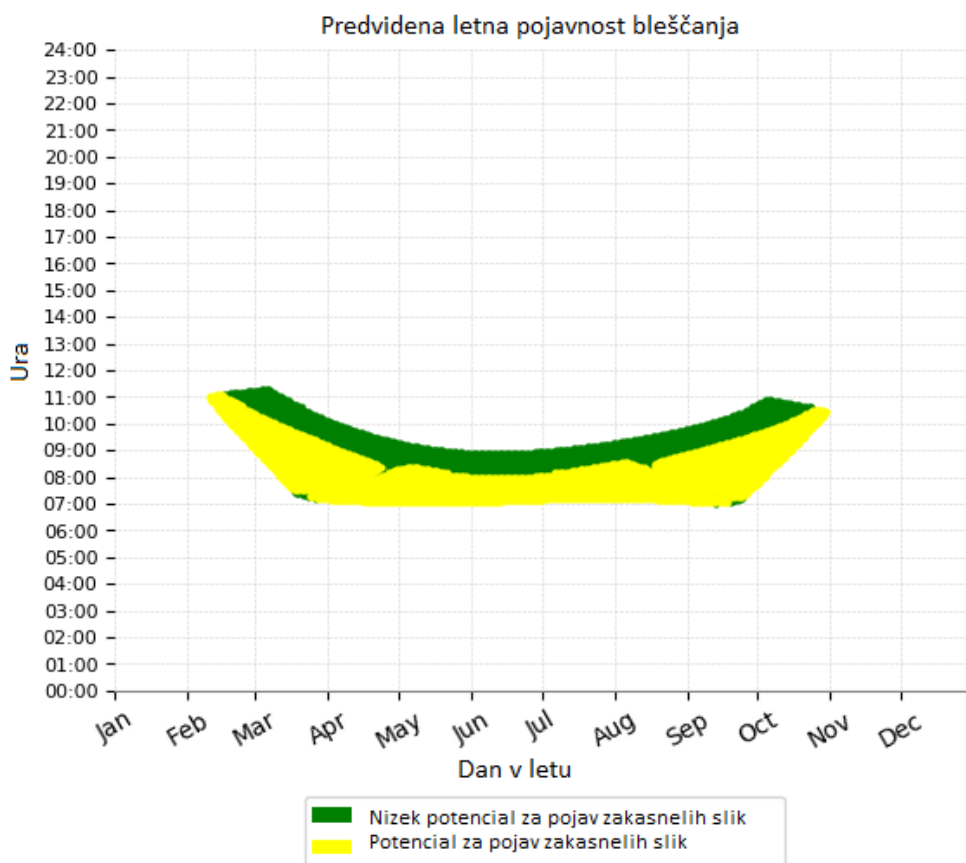
3.3 Uporabljena programska oprema

Za simulacijo bleščanja fotonapetostnih modulov ni na voljo veliko komercialnih programov. Pri tej študiji je uporabljen programski paket ForgeSolar[1]. ForgeSolar je bil razvit na podlagi orodja za analizo nevarnosti sončnega bleščanja SGHAT, licenciranega s strani ameriškega nacionalnega laboratorija SANDIA[2].

Program zagotavlja izračun **kje in kdaj se bo pojavilo bleščanje ter koliko časa bo trajalo. Določi svetlost, jakost in ovrednoti učinke bleščanja na človeško oko.** Izračun letne proizvodnje energije upošteva, da je vsaki dan leta sončen. Takšen izračun je uporaben pri medsebojni primerjavi različnih variant za namen povečanja proizvodnje in hkratno ublažitev bleščanja. ForgeSolar uporablja pri določitvi izhodiščnih podatkov aplikacijo Google (google elevation, zemljevidi), tako da se potrebni geografski podatki samodejno določijo. Za natančnejšo določitev katerega od podatkov je možen ročen vnos.

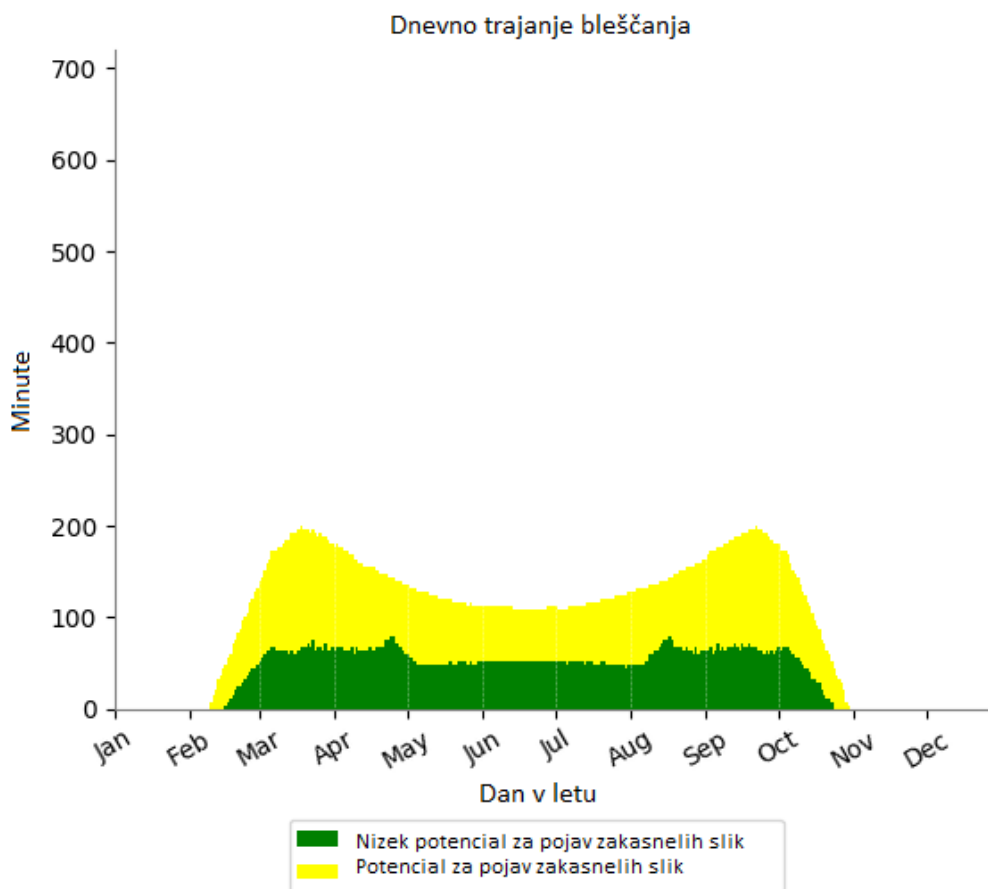
3.4 Pojavnost odbojev svetlobe

Izračuni pojavnosti odbojev svetlobe, v programskem orodju ForgeSolar, upošteva najekstremnejši scenarij (previdnostno načelo). Predpostavlja se **sončno vreme brez oblaka vsak dan v letu**. Odboji se izračunajo za vsako točko oz. pot opazovanja posebej, z akumulacijo odbojev iz posamezne fotonapetostne elektrarne. Rezultat nam pove **kdaj se bleščanje pojavi in koliko časa traja** (vzorčna grafa 1 in 2 spodaj). Obarvanost točk (rdeča, rumena in zelena) pa določa območje jakosti bleščanja in njegovih posledic na človeško oko. Sama jakost bleščanja je podrobneje predstavljena v poglavju 3.5.



Graf 1: Čas pojavnosti bleščanja na posamezen dan v letu (vzorčni primer)[1]

Vzorčni graf 1 prikazuje predvideno letno pojavnost bleščanja, kjer je na osi X prikazan dan v letu, na osi Y pa ura dneva. Zelena barva označuje nizek potencial za pojav zakasnelih slik, medtem ko rumena barva predstavlja potencial za njihov pojav. Iz tega vzorčnega grafa je razvidno, da je bleščanje najbolj izrazito v dopoldanskih urah, predvsem v spomladanskih, poletnih in jesenskih mesecih. Pojav bleščanja je močno odvisen od letnega časa in solarnih pogojev.



Graf 2: Čas trajanja bleščanja na posamezen dan v letu (vzorčni primer)[1]

Vzorčni graf 2 prikazuje dnevno trajanje bleščanja v minutah glede na dan v letu. Na osi X je ponovno prikazan dan v letu, na osi Y pa čas trajanja v minutah. Enako kot pri grafu 1, rumena barva označuje čas z potencialom za pojav zakasnelih slik, zelena pa čas z nizkim potencialom. Rezultati kažejo, da je trajanje bleščanja najdaljše v pomladnih in jesenskih mesecih in nekoliko krajše v poletnih mesecih. Pozimi se bleščanje ne pojavlja.

Oba grafa skupaj omogočata analizo, kdaj in kako dolgo lahko pričakujemo bleščanje za določene točke ali poti opazovanja.

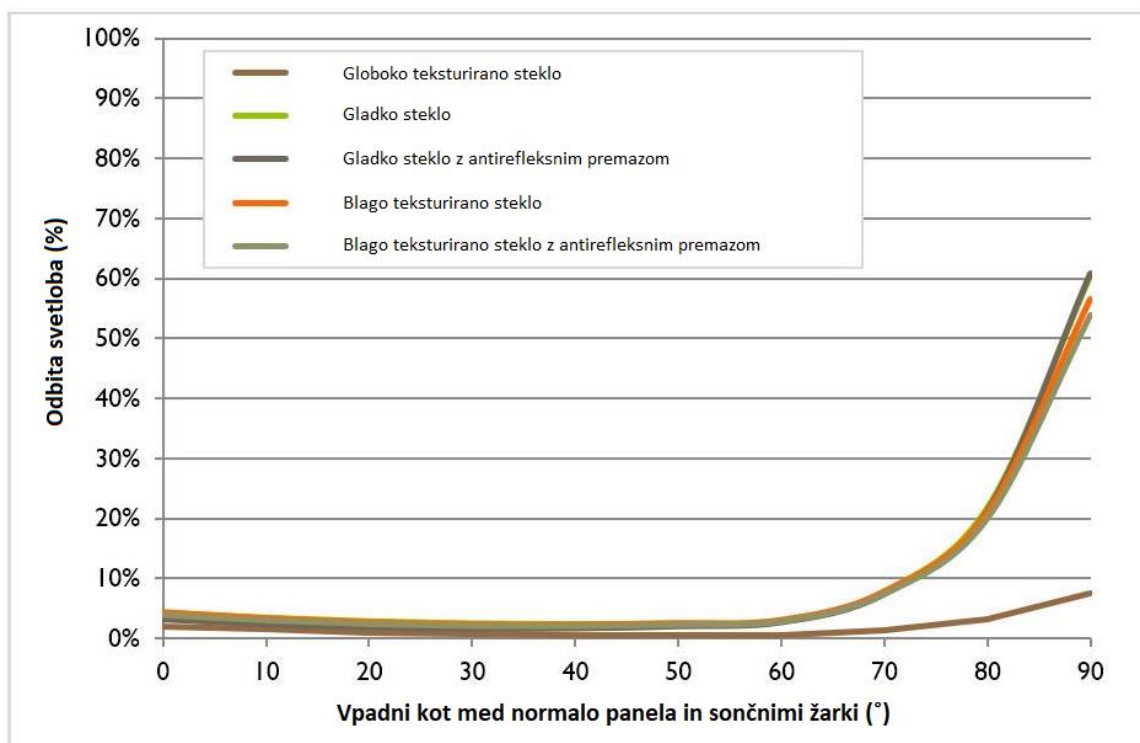
3.5 Fotometrični izračuni odbojev svetlobe

Pri fotometričnih izračunih odbojev svetlobe je potrebno upoštevati odbojne lastnosti snovi. S strani proizvajalca podan odbojni koeficient modulov ni zadosten za željene fotometrične izračune. Potrebujemo podatek o smerni odbojnosti glede na vpadni kot žarkov. Za veliko večino modulov na trgu ta podatek ni poznan.

Opravili smo pregled tehničnih podatkov in merilnih poročil nekaterih modulov, ki so na trgu dostopni, ter se predstavljajo kot manj bleščeči ali globoko teksturirani. V večini primerov je meritev odbojnosti izvedena le pri enem, bolj ugodnem, vpadnem kotu, kar ni relevanten podatek. V nekaterih primerih je bila meritev izvedena v celotnem območju med 0° in 90°, vendar je bilo iz rezultatov razvidno, da vrednosti pri kotih nad 50° ne ustrezajo krivulji, ki predstavlja globoko teksturirane fotonapetostne module.

Za potrebe predmetne naloge se uporabi ustrezen generični profil odbojnosti, ki ga je na podlagi analiziranih panelov, določil ameriški nacionalni laboratorij SANDIA in je vgrajen v uporabljeno programsko orodje ForgeSolar.

Izračuni v naših analizah temeljijo oz. veljajo za **odbojne lastnosti povprečnega fotonapetostnega modula z blago teksturiranim steklom in antirefleksno prevleko** (graf 3), ki so danes standardni pri gradnji sončnih elektrarn po svetu. Kot je razvidno iz grafa 3 se najmanj sončne svetlobe odbije od globoko teksturiranih sončnih panelov.



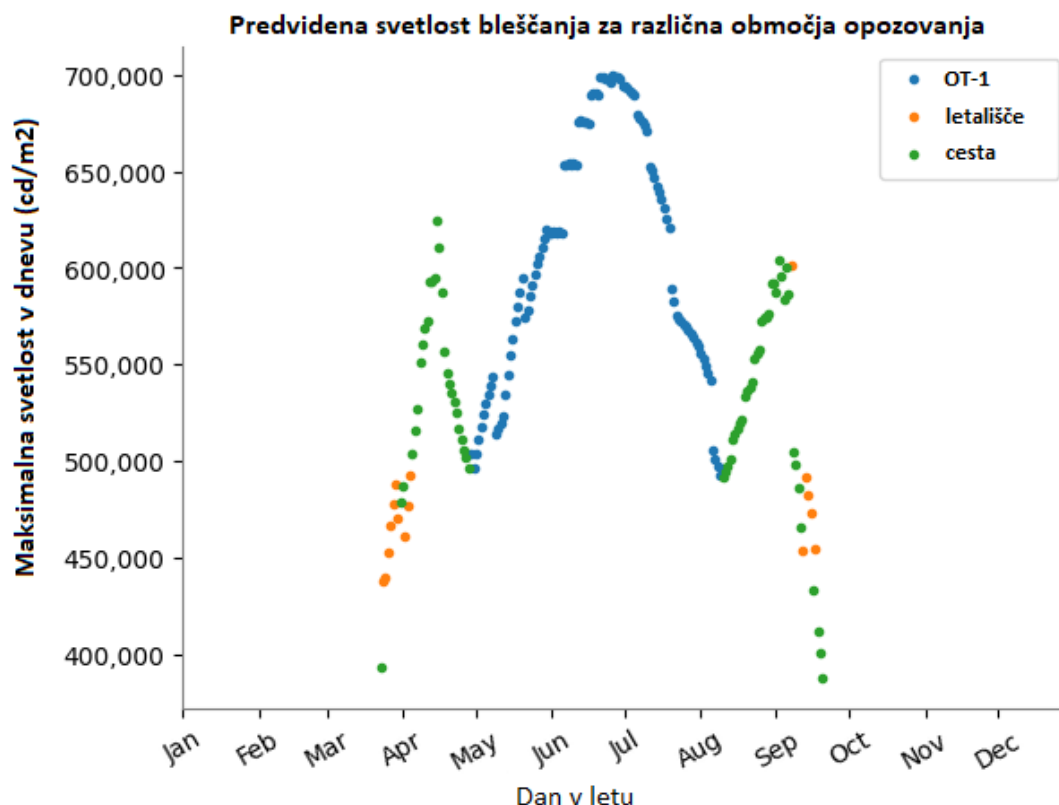
Graf 3: Odbojni profili tipičnih fotonapetostnih modulov[1]

3.5.1 Svetlost bleščanja

Svetlost (bleščanja) opisuje svetlobni tok, ki ga oddaja enota površine znotraj prostorskega kota. Svetlost odboja svetlobe sama po sebi ni ključna, ko želimo ovrednotiti vpliv na človeško oko.

Na primer sonce kot vir visoke svetlosti cca $1,6 \cdot 10^9$ cd/m² ni moteče, če ga nimamo v svojem vidnem polju. Lahko pa se pojavi neprijetnost za naše oči, kljub nižji svetlosti vira, ob neposrednem gledanju v vir za dlje časa. Pomembni dejavniki so tudi kontrast med virom svetlosti in okolico, vidni kot, čas izpostavljenosti.

V večini realnih primerov, ki se pojavijo v neposredni bližini virov bleščanja (kot so sončne elektrarne, stekleni objekti, jezera itd.), pri večjih vpadnih kotih svetlobe glede na normalo na ploskev objekta, vrednosti svetlosti bleščanja hitro dosežejo visoke ravni, na primer več 100.000 cd/m². "Absolutno bleščanje" je po smernicah LAI definirano s svetlostjo 10^5 cd/m². Vse svetlosti, ki presegajo to mejo, bi naj bile ob neposrednem pogledu zaznane kot moteče, ne glede na njihovo natančno vrednost. **V skladu s smernicami CS-ADR-DSN je za bleščeče objekte v neposredni bližini letališč določena dopustna vrednost svetlosti do 20.000 cd/m². Ta vrednost se nanaša predvsem na fazo prileta, premikanja po letališki stezi ter na delovanje v kontrolnem stolpu.**



Graf 4: Maksimalna dnevna svetlost bleščanja (vzorčni primer)[1]

Vzorčni graf 4 prikazuje dnevne maksimume svetlosti bleščanja, izražene v cd/m^2 , za tri različna opazovalna območja proti katerim se svetloba odbija: opazovalno točko v naravi (OT-1), letališče oz. letalsko pristajalno pot in cesto. Na osi X so prikazani dnevi v letu, na osi Y pa maksimalna svetlost bleščanja v dnevno. Svetlost bleščanja v OT-1 dosega najvišje vrednosti predvsem v juniju in juliju ter se gibljejo do približno 700.000 cd/m^2 . Na cesti se najvišje vrednosti pojavijo v aprilu in septembru ter dosega vrednosti do 630.000 cd/m^2 . Podobno velja za letališko pristajalno pot, le da so vrednosti nekoliko nižje. Različne vrednosti svetlosti za vsako opazovalno točko so posledica različnih geometrijskih postavitev opazovalnih točk glede na vir bleščanja in sonce.

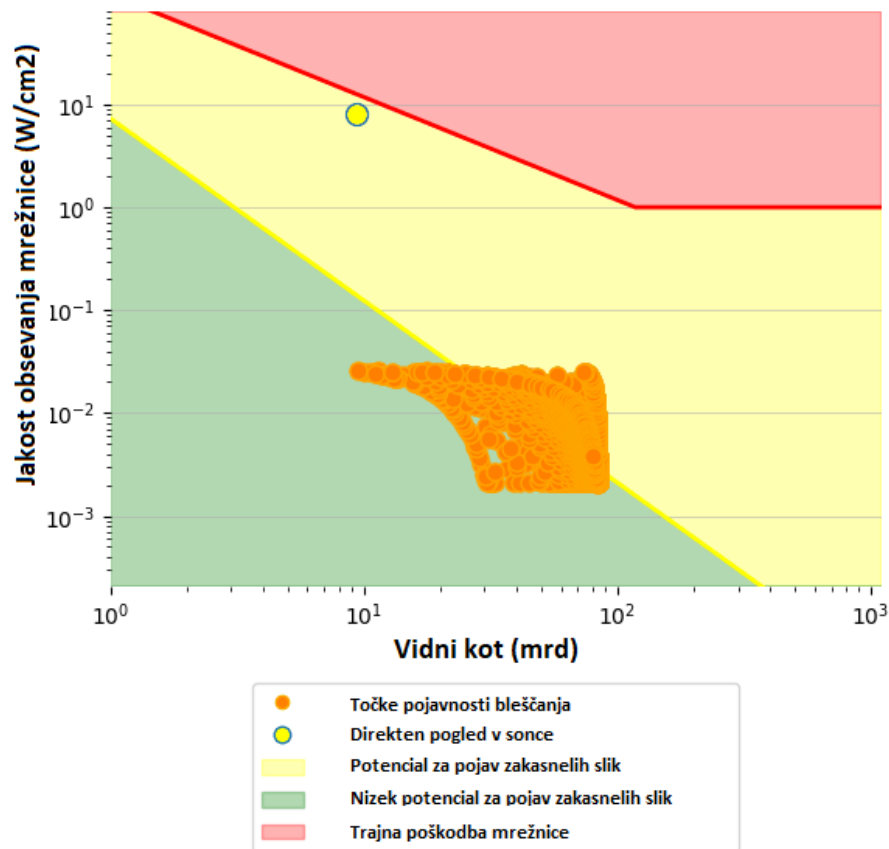
3.5.2 Jakost svetlobnega obsevanja

Pri izračunu jakosti svetlobnega obsevanja na ravni mrežnice v W/cm^2 [6] se upošteva anatomija povprečnega človeškega očesa [6].

Pri vrednotenju rezultatov se upoštevajo standardno določena območja vpliva na oči. V rdečem območju je možna trajna poškodba oči. V rumenem območju obstaja možnost za povzročitev zakasnelih slik. V zelenem območju je možnost za povzročitev zakasnelih slik zelo majhna.

Za primerjavo je na grafu 5 prikazana rumena točka, ki ponazarja direkten pogled v opoldansko sonce. Jakost obsevanja človeške mrežnice je v tem primeru cca $8,5 \text{ W/cm}^2$. Vidni kot sonca ob pogledu iz zemlje znaša $9,3 \text{ mrad}$. Takšna izpostavljenost je blizu rdečemu območju, ki predstavlja veliko možnost za trajno poškodbo oči. Potencial za pojav zakasnelih slik pa je zelo visok.

Kot je opazno iz vzorčnega grafa 5, ima pri ovrednotenju vpliva bleščanja na človeško oko, poleg jakosti obsevanja pomembno vlogo tudi vidni kot vira bleščanja.



Graf 5: Vpliv bleščanja na človeško oko (vzorčni primer)[1]

Vzorčni graf 5 na X-osi prikazuje vidni kot vira bleščanja iz točke opazovanja v mrad. Vrednosti, ko se pojavi bleščanje, se gibljejo od 10 mrad do 100 mrad. Najvišje vrednosti jakosti obsevanja človeške mrežnice dosežejo cca 0,03 W/cm². Točke pojavnosti bleščanja v področju s potencialom za pojav zakasnelih slik se prej pojavijo pri večjih vidnih kotih in večjih jakostih obsevanja mrežnice.

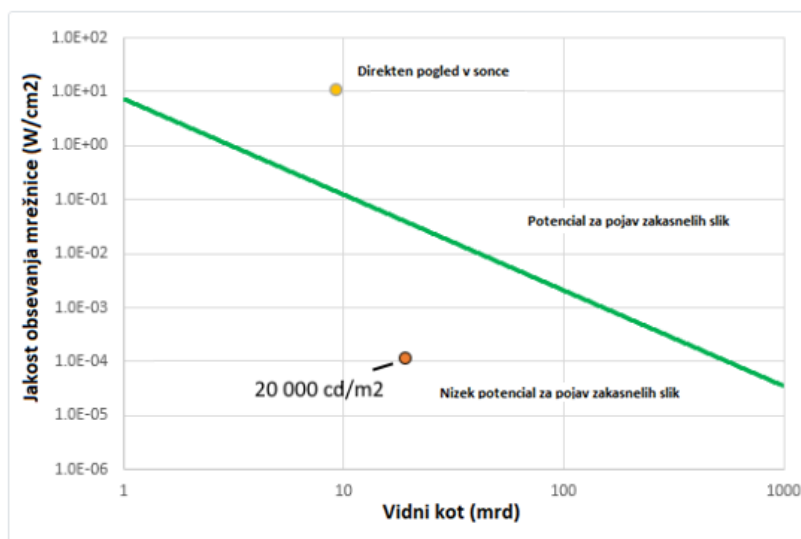
3.5.3 Vpliv bleščanja

Vpliv odboja svetlobe/bleščanja od fotonapetostne elektrarne na človekovo zaznavanje je odvisen od:

- odbojnosti uporabljenega stekla fotonapetostnih modulov,
- razdalje in vidnega kota med točko opazovanja in fotonapetostnimi moduli,
- kota med fotonapetostnimi moduli in soncem,
- objektov, ki zastirajo pogled proti fotonapetostnim modulom.

Pomembni parametri pri ocenjevanju vpliva bleščanja so **čas izpostavljenosti**, **vidni kot vira** glede na točko opazovanja, **svetlost vira bleščanja** in **jakost obsevanja** očesne mrežnice. Bleščanje izven delovnega vidnega polja očesa je občutno manj moteče kot v samem središču. Glede na zahteve zakonodaje s področja letalskega prometa je pomembno da pri ključnih letalskih operacijah (kontrolni stolp,

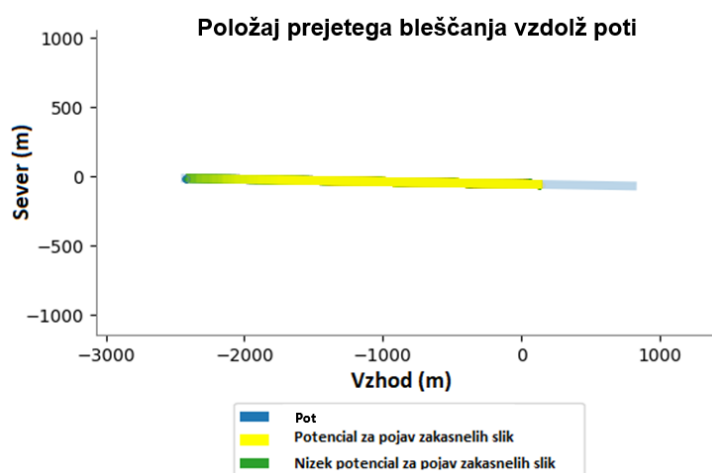
premikanje po vzletno-pristajalni stezi, zaključna faza pristanka) ne pride do zaznave bleščanja s svetlostjo nad 20 000 cd/m².



Graf 6: Ponazoritev mejne vrednosti svetlosti (20 000 cd/m²) za ključne letališke operacije v kontekstu vpliva na človeško oko [1]

Graf 6 enako kot predhodni graf prikazuje razmerja med vidnim kotom in jakostjo obsevanja mrežnice. Prikazano ima še svetlost bleščanja v velikosti mejne vrednosti dovoljene za letališke operacije (20.000 cd/m²). Omenjena točka se pričakovano nahaja znotraj območja nizkega potenciala za pojav zakasnelih slik.

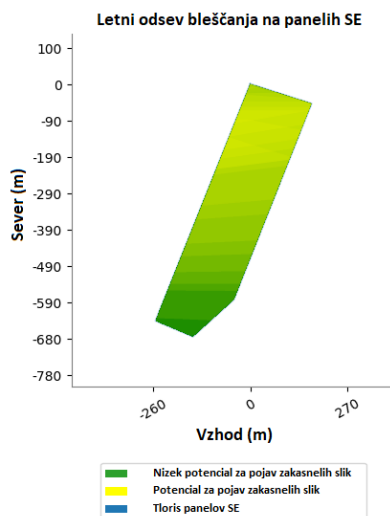
S simulacijo je mogoče prikazati tudi vpliv bleščanja glede na lokacijo opazovanega območja. Vzorčni graf 7 prikazuje vpliv bleščanja na območju analizirane poti npr. ceste ali pristajalne poti letala.



Graf 7: Vpliv bleščanja glede na območje ceste ali pristajalne poti letala (vzorčni primer)[1]

Na X osi vzorčnega grafa 6 je v metrih podana dolžina v smeri severa, na Y osi pa v smeri vzhoda. Razvidno je, da vzorčna opazovalna pot poteka med vzhodom in zahodom in je dolga cca 3500 m. Na zahodnem delu poti je, v dolžini 500 m, prisotno bleščanja z nizkim potencialom za pojav zakasnelih slik. Na večinskem delu, v dolžini cca 2200 m, se pojavi potencial za pojav zakasnelih slik. V zadnjih 800 m se bleščanje ne pojavi.

Vzorčni graf 8 prikazuje vpliv bleščanja glede na območje fotonapetostne elektrarne (vira bleščanja).



Graf 8: Vpliv bleščanja glede na območje FE (vzorčni primer)[1]

Na X osi vzorčnega grafa 7 je prav tako kot pri prejšnjem grafu, v metrih podana dolžina v smeri severa, na Y osi pa v smeri vzhoda. Opaziti je da se bleščanjem s potencialom za pojav zakasnelih slik producira na zgornjem severo-vzhodnem delu fotonapetostne elektrarne.

3.6 Pregrade

Pri uporabljeni metodi dela se lahko upošteva tudi objekte in reliefne oblike, ki bi potencialno lahko vplivali na senčenje ali imele funkcijo vidne pregrade/ovire.

4. Analiza potencialnega vpliva bleščanja zaradi SE ZOOP

4.1 Območje obravnave

Območje obravnave je vplivno območje letališča Edvarda Rusjana Maribor (LJMB), natančneje območje vzletno pristajalne ravnine ter del poti v fazi prileta.

Osnova za izdelavo študije je bila projektna dokumentacija za pridobitev gradbenega dovoljenja »SONČNA ELEKTRARNA ZOOP«; HSE Invest d.o.o., št. projekta HIDP-8480/2023 iz marca 2025 (v nadaljevanju DGD).

Obravnavana SE ZOOP je načrtovana na zaprtem odlagališču odpadkov Pobrežje (Maribor). Na podlagi izdelane DGD, ki je osnova za izdelavo študije, je od vzletno pristajalne steze Letališča Edvarda Rusjana Maribor oddaljena približno 7 km v smeri severa.

V okviru predmetne študije je analiziran in ocenjen potencialni vpliv odboja sončne svetlobe od predvidene SE ZOOP:

- proti kontrolnemu stolpu,
- med premikanjem letala po vzletno-pristajalni stezi ob pristanku ali vzletu,
- v zaključnem delu pristajanja letala,
- pri priletu v zgodnjih fazah pristajanja na eni izmed značilnih poti.

Potencialni vpliv bleščanja med vzpenjanjem (npr. po vzletu z vzletno-pristajalne steze) ter naključnih preletih (razen prelet v sklopu pristanka iz smeri 14) SE ZOOP nismo posebej simulirali. Pilotov pogled je v teh primerih praviloma usmerjen navzgor ali vodoravno, pri čemer ti manevri veljajo za rutinske in vizualno manj obremenjujoče. Na podlagi tega ocenjujemo, da potencialno bleščanje ne bo imelo bistvenega vpliva na varno izvajanje omenjenih aktivnosti.

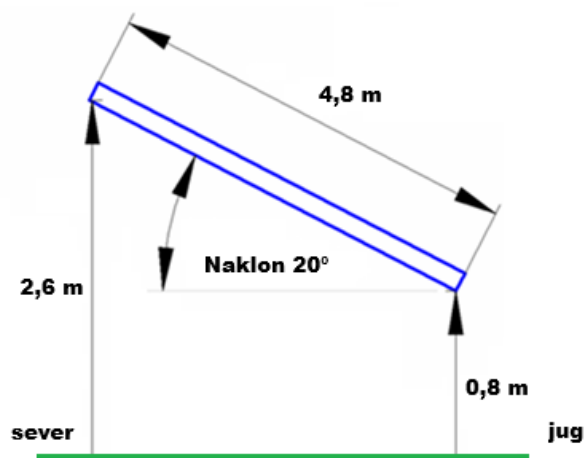
4.2 Osnovni podatki simulacije

Za potrebe simulacije se je na zemljevidu konfiguriralo območje SE ZOOP. Programska oprema upošteva celotno območje kot odbojno, brez vmesnih praznin kot so morebitni razmiki med vrstami. Območje prikazano na sliki 2 zajema vse predvidene fotonapetostne module v skladu s situacijo DGD. GPS koordinate SE ZOOP se gibljejo okrog zemljepisne točke 46,5479N; 15,6857E.



Slika 2: Območje SE ZOOP

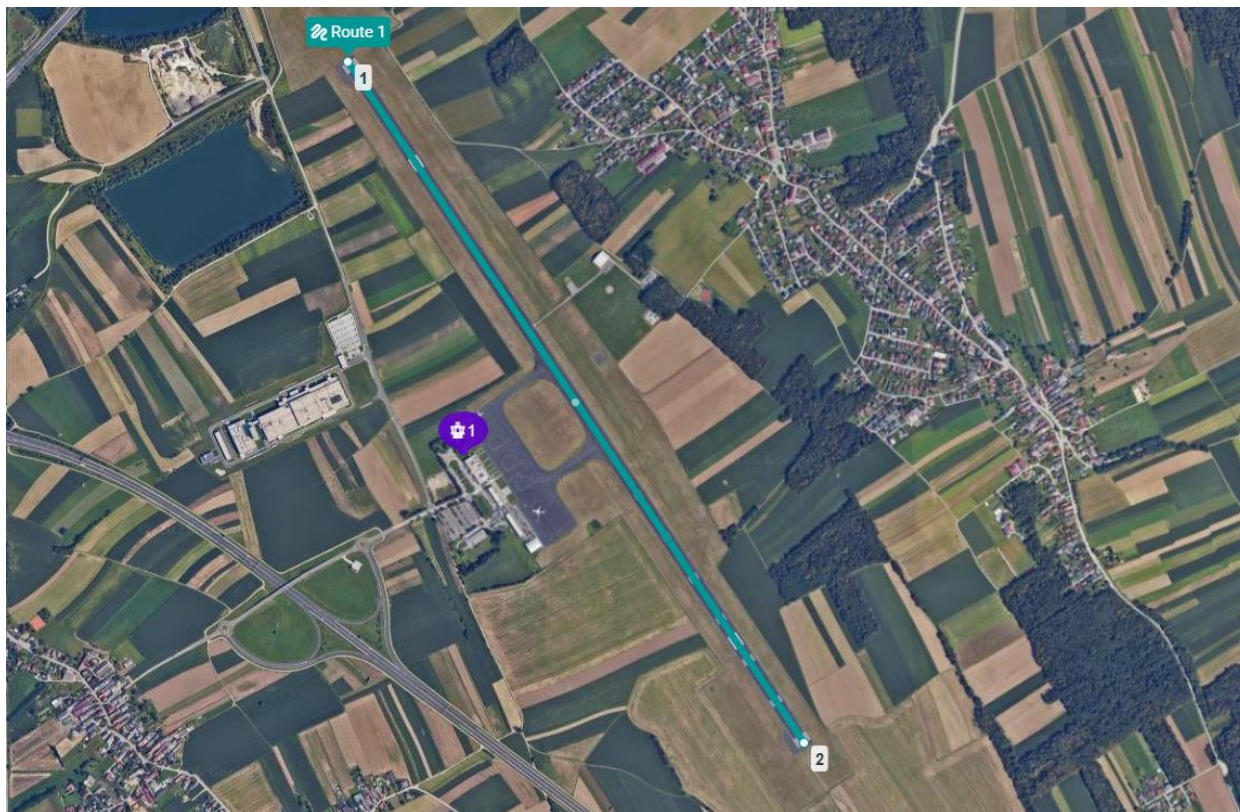
Fotonapetostni moduli bodo postavljeni na nosilno konstrukcijo s fiksnim naklonom na teren. Predvideno je temeljenje z gravitacijskimi armirano-betonskimi pasovnimi temelji, ki bodo prostostoječe položeni na predhodno izveden nasip oziroma na izravnani teren. Na spodnjem delu bodo moduli odmaknjeni od tal minimalno 0,8 m kar bo omogočalo nemoteno košnjo trave. Naklon bo znašal 20° , azimut pa 180° (jug). V simulaciji smo uporabili središčno višino modulov, ki znaša 1,7 m nad terenom.



Slika 3: Predvidena postavitev modulov SE ZOOP

Lokacijo kontrolnega stolpa je bila določena na podlagi zračnega posnetka. Višino opazovalne točke smo predpostavili na višini 20 m nad tlemi.

Kreirali smo dvosmerno opazovalno pot po celotni vzletno-pristajalni stezi s horizontalnim vidnim kotom $\pm 50^\circ$ in predpostavljeno višino opazovanja 5,5 m.



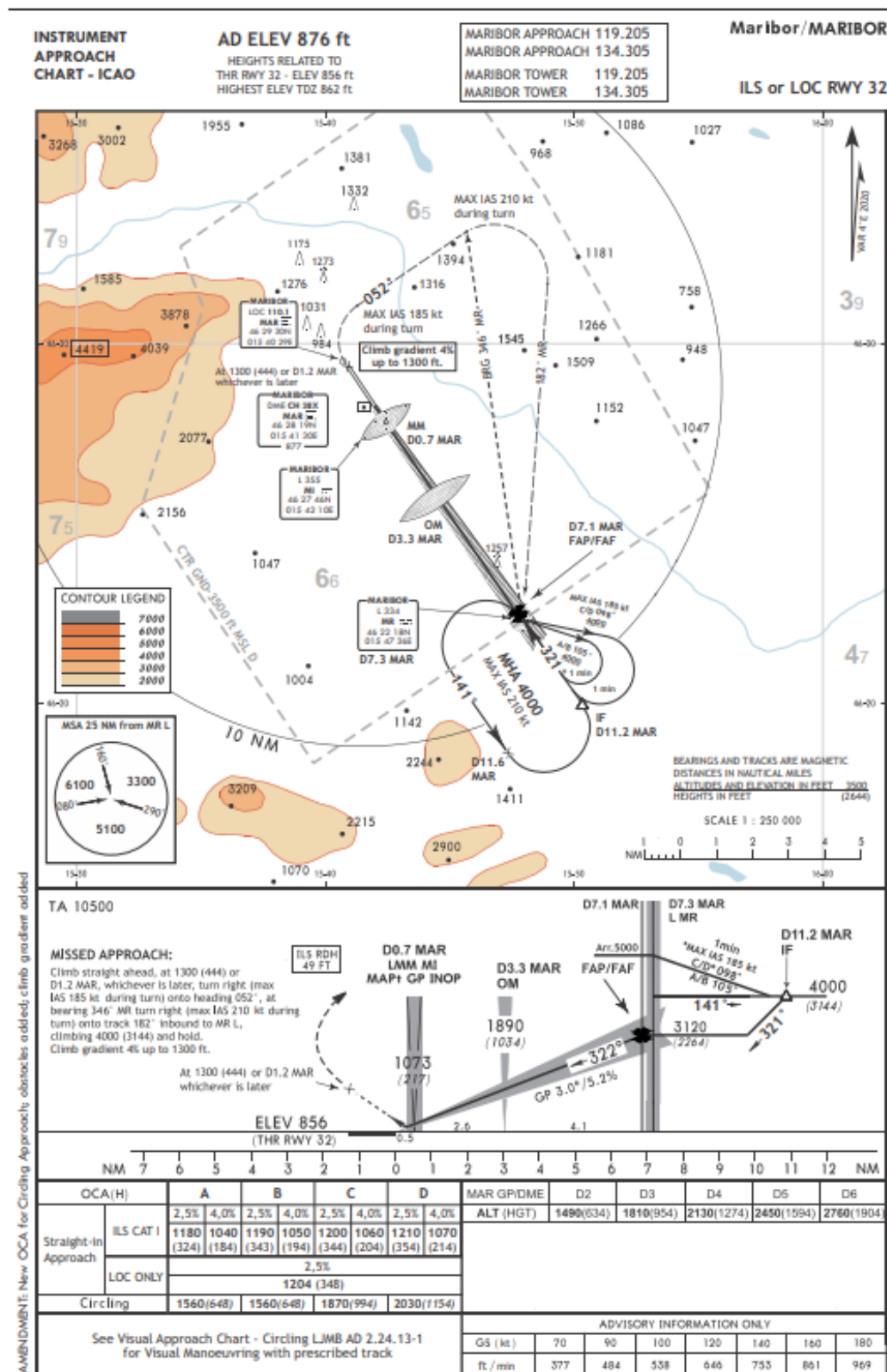
Slika 4: Kontrolni stolp (vijolična točka) in dvosmerna opazovalna pot (zelena premica)

Priletne poti za letališče LJMB smo definirali na podlagi razpoložljivih uradnih podatkov, dostopnih v času izdelave študije na portalu SLOVENIA Aeronautical Information Publication[10]. Na omenjeni spletni strani obstaja več relativno podobnih pristopnih scenarijev, predvsem v zaključnih fazah prileta. Pri simulaciji smo se usmerili na značilne priletne poti ter predvsem na zaključne faze prileta. Za smer 32 smo uporabili scenarij »Instrument Approach Chart - ICAO (ILS or LOC RWY 32)« (slika 5). Pri pristajanju smeri 14 smo uporabili »Visual Approach Chart – Circling«, kjer smo se s konfiguracijo poskušali približati C/D poti leta (slika 7). V realnem okolju lahko pri priletih prihaja do določenih odklonov, saj se prilet običajno izvaja znotraj stožčaste ovojnice oziroma tolerance okoli pričakovane poti. V simulaciji je upoštevan horizontalni vidni kot pilota $\pm 50^\circ$ od središča vidnega polja ter vertikalni vidni kot 30° v smeri navzdol.

AIP SLOVENIA

LJMB AD 2.24.12 - 1

25 JAN 2024



Slika 5: Uporabljena priletna pot za smer 32 »Instrument Approach Chart - ICAO (ILS or LOC RWY 32)«



Slika 6: Konfiguracija priletne poti 32 v programski opremi ForgeSolar

AIP SLOVENIA

LJMB AD 2.24.13 - 1

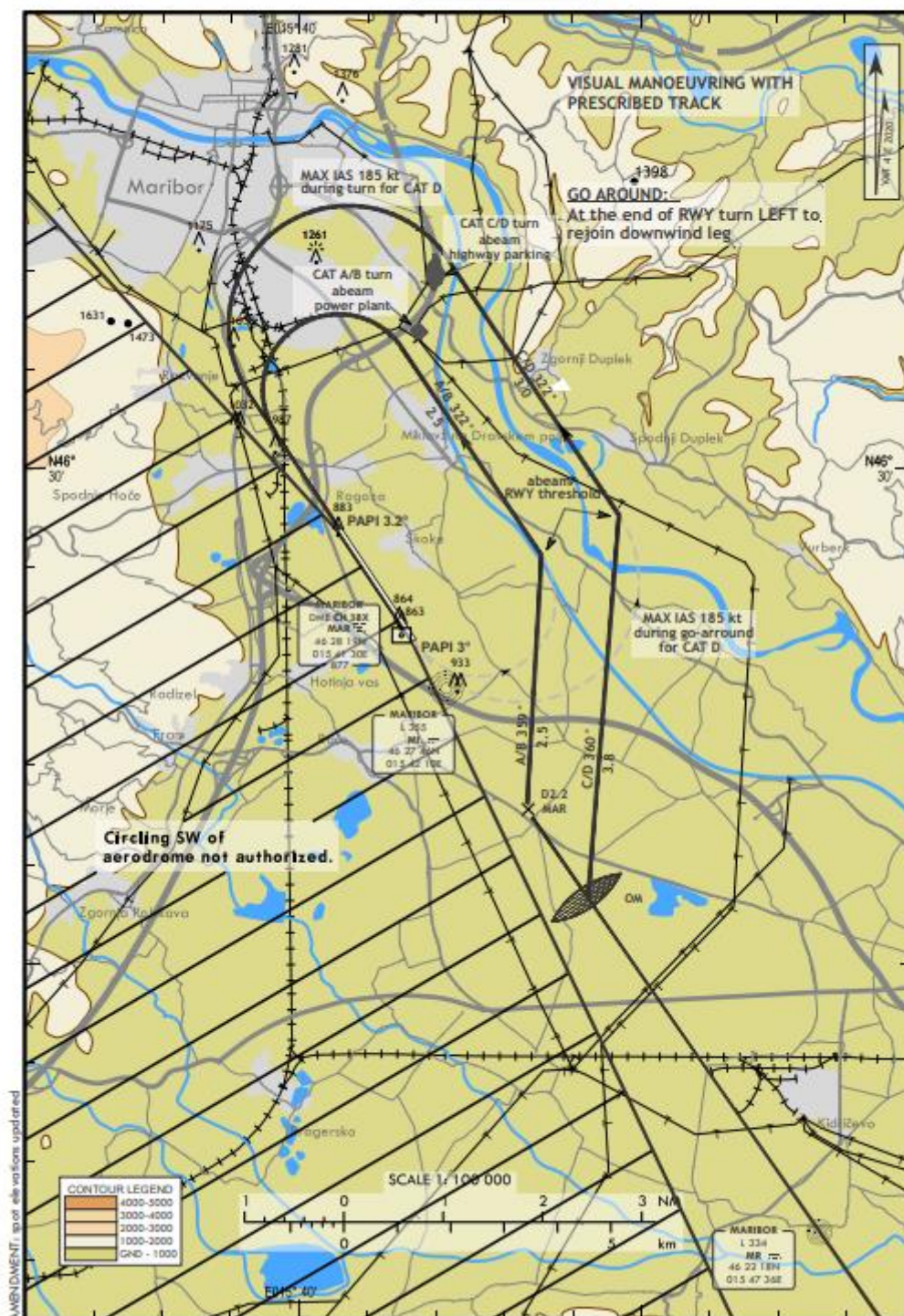
25 JAN 2024

VISUAL
APPROACH
CHART - CIRCLING

AD ELEV 876 ft

MARIBOR APP	119.205
	134.305
MARIBOR TOWER	119.205
	134.305

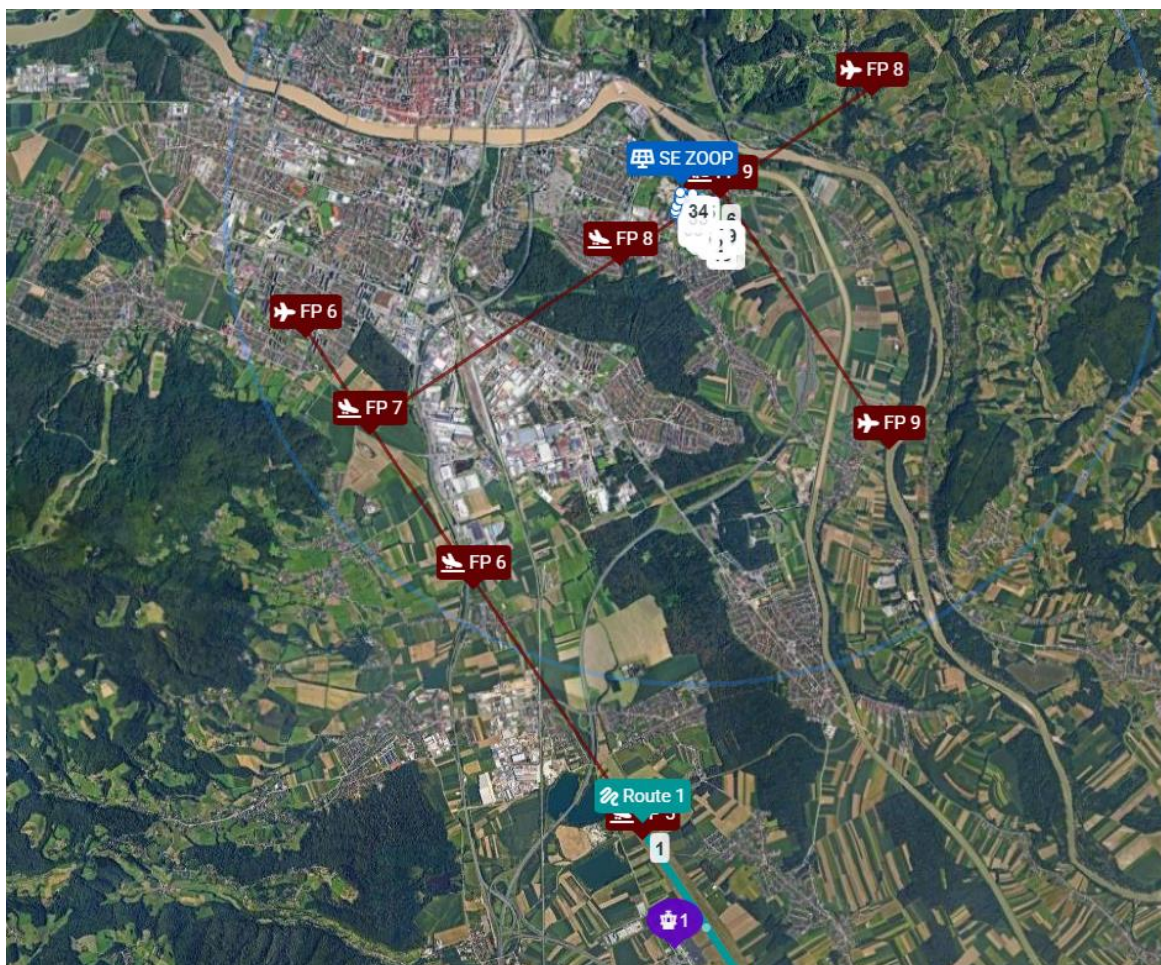
Maribor/MARIBOR



© Slovenia Control, Ltd.

AIRAC AMDT 131/2024

Slika 7: Uporabljena priletna pot za smer 14 »Visual Approach Chart – Circling«



Slika 8: Konfiguracija priletne poti 14 v programski opremi ForgeSolar (približek C/D poti leta«)

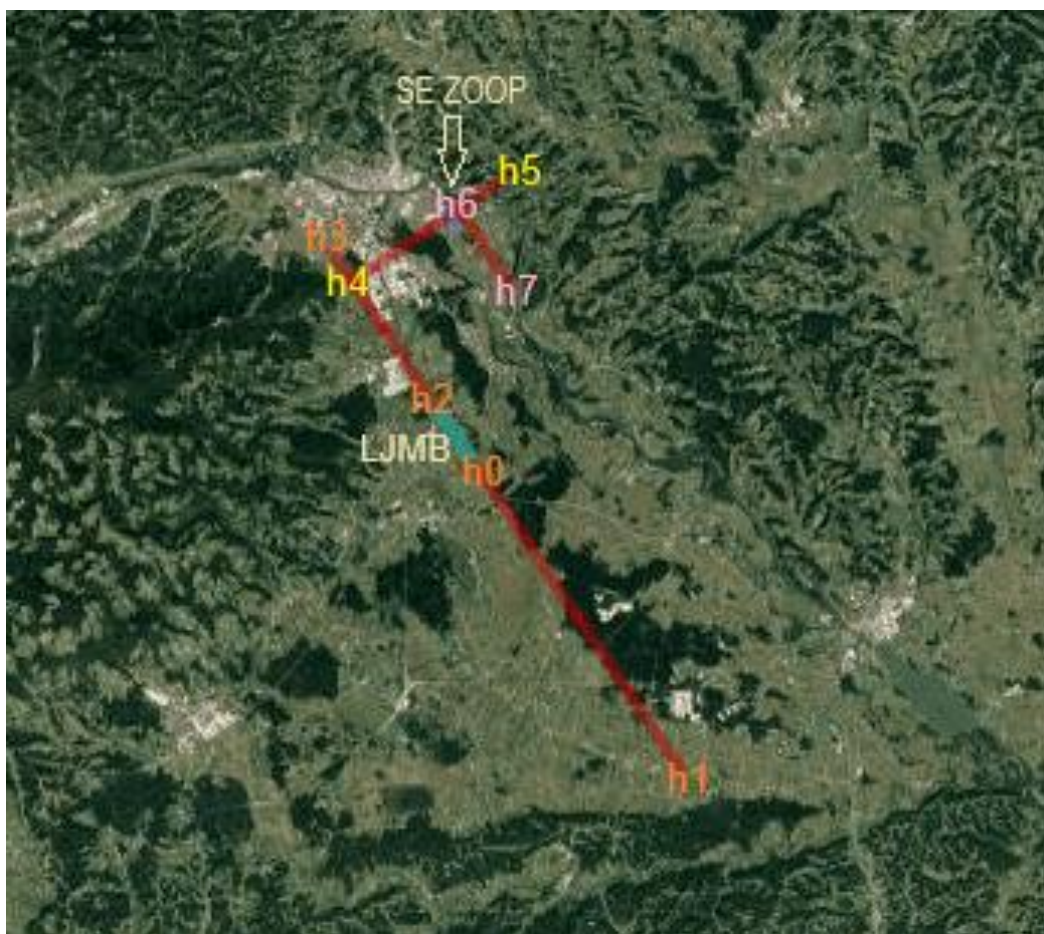


Slika 9: Konfiguracija priletne poti 14 nad območjem SE ZOOP

Programska oprema ForgeSolar ima možnost konfiguriranja le premočrtne pristajalne letalske poti v dolžini 3,2 km. Zaradi tega smo uporabili več takšnih poti in jim določili ustrezno višino ter naklon. Podatki letalskih poti so razvidni iz tabele 1. Grafični prikaz višinskih točk (nmv) je na sliki 10.

Letalska premica/pot	Smer pristanka	Smer letenja	Naklon	Točke nadmorskih višin poti	
FP 1 do FP 4	32	326,1 °	3 °	h0= 279,6 m	h1= 954 m
FP 5 in FP 6	14	146,1 °	3,2 °	h2= 283,9 m	h3= 644 m
FP 7 in FP 8	14	236,1 °	3 °	h4= 576 m	h5= 912 m
FP 9	14	326,1 °	3 °	h6= 812 m	h7= 980 m

Tabela 1: Podatki premočrtnih letalskih pristajalnih poti



Slika 10: Prikaz višinskih točk pristajalnih poti

V programsko orodje smo ročno vnesli omenjene priletne poti, kontrolni stolp, vzletno pristajalno stezo, ter smiselno upoštevali obstoječe karte in podatke objavljene na spletni strani Slovenia Aeronautical Information Publication (eAIP)[10]. Dodani so bili še ostali osnovni podatki potrebni za simulacijo.

Podatki, vključeni v simulacijo, so razvidni iz spodnje tabele:

Upoštevan čas:	UTC+1
Časovni korak simulacije	1 min
Maksimalna vrednost sončnega obsevanja:	1000 W/m ²
Očesni transmijski koeficient:	0,5
Premier zenice:	2 mm
Goriščna razdalja:	17 mm
Središčna višina panelov SE ZOOP:	1,7 m
Usmerjenost panelov SE ZOOP:	180° (jug)
Naklon panelov SE ZOOP:	20°
Višina opazovalne točke v kontrolnem stolpu (1-ATCT):	20 m
Višina opazovalne poti na stezi (Route 1)	5,5 m
Dolžina opazovalne poti na stezi (Route 1)	2,5 km
Priletna pot 32:	premice letalske priletne poti FP 1, FP 2, FP 3, FP 4
Naklon priletne poti 32	3°
Priletna pot 14:	premice letalske priletne poti FP 5, FP 6, FP 7, FP 8, FP 9
Naklon priletne poti 14	3,2° pri FP 5, FP 6 3° pri FP 7, FP 8, FP 9
Vidni horizontalni kot pilota	50°
Vidni vertikalni kot pilota	30° (10°)*
Vidni kot kontrolorja	celoten (brez omejitve)

Tabela 2: Osnovni podatki simulacije

Pri simulaciji niso bile upoštevane reliefne pregrade saj med obravnavano lokacijo in točkami opazovanja ni izrazitejših vzpetin. Prav tako v konfiguracijo območja niso bili vključeni objekti ali vegetacija (npr. drevesa). S previdnostnega načela je upoštevano sončno vreme vsak dan v letu.

V določenih primerih so možna manjša odstopanja prostorskih točk, ki ne vplivajo bistveno na celotno analizo.

Podrobnejši podatki simulacije, prostorske točke SE ZOOP, letalskih poti, kontrolnega stolpa in opazovalne poti so v priloženem poročilu opravljene simulacije.

* Pri dodatni simulaciji »SE ZOOP simulacija blescanja LP-10_50 deg FP8 FP9« je za letalski premici FP 8 in FP 9 uporabljen vertikalni vidni kot 10°

4.3 Analiza rezultatov simulacije in ocena vpliva

Prikaz rezultatov simulacije za projekt SE ZOOP je v prilogi predmetnega elaborata.

Simulacija odboja svetlobe je bila izvedena, na podlagi prej omenjenih vhodnih podatkov za kontrolni stolp, vožnjo letala po vzletno-pristajalni stezi, priletno pot 32 in 14.

Podrobnejši rezultati simulacije odboja svetlobe od SE ZOOP, ki obsega izračune in grafe, so v prilogi študije »SE ZOOP simulacija bleščanja LP«.

Dodatno je bila izvedena simulacija »SE ZOOP simulacija bleščanja LP-10_50 deg FP8 FP9«. Od osnovne simulacije se razlikuje v blažji nastavitvi vertikalnega vidnega kota (10°) pilota na priletnih premicah FP 8 in FP 9.

Na podlagi izvedene simulacije izhajajo naslednje ugotovitve:

Objekt	Rezultati simulacije
Kontrolni stolp (1-ATCT)	Ni zaznanega bleščanja
Vzletno pristajalna steza (Route 1)	Ni zaznanega bleščanja
Priletna pot 32	
FP 1 (zaključna priletna pot)	Ni zaznanega bleščanja
FP 2 (zaključna priletna pot)	Ni zaznanega bleščanja
FP 3 (zaključna priletna pot)	Ni zaznanega bleščanja
FP 4 (zaključna priletna pot)	Ni zaznanega bleščanja
Priletna pot 14	
FP 5 (zaključna priletna pot)	Ni zaznanega bleščanja
FP 6 (zaključna priletna pot)	Ni zaznanega bleščanja
FP 7	Ni zaznanega bleščanja
FP8	<p>Bleščanje pretežno v zelenem polju se lahko pojavi v obdobju oktober-marec, med cca 14.30 h in 17h. V drugem delu decembra se malo pred 16 h lahko pojavi kratkotrajnejše 20 minutno bleščanje v rumenem polju. Vrednosti svetlosti bleščanja so v omenjenih primerih višje od 20.000 cd/m².</p> <p>V primeru spremembe vertikalnega vidnega kota pilota na tem odseku s 30° na 10° se bleščanje ne pojavi.</p>
FP9	<p>Bleščanje v zelenem polju se pojavi v obdobju april-september med 15.30 h in 16.30 h. Vrednosti svetlosti bleščanja so v omenjenih primerih višje od 20.000 cd/m².</p> <p>V primeru spremembe vertikalnega vidnega kota pilota na tem odseku s 30° na 10° se bleščanje ne pojavi.</p>

Povzamemo lahko:

- **bleščanje se nikoli ne pojavi v kontrolnem stolpu (1-ATCT),**
- **bleščanje se nikoli ne pojavi med premikanjem letala po vzletno-pristajalni stezi ob pristanku ali vzletu (Route 1),**
- **bleščanje se nikoli ne pojavi na zaključku prileta iz smeri 32 (FP 1, FP 2; FP 3, FP 4),**
- **bleščanje se nikoli ne pojavi na zaključku prileta iz smeri 14 (FP 5, FP 6),**
- bleščanje se nikoli ne pojavi pred zaključnim delom prileta iz smeri 14 (FP 7),
- V določenih časovnih obdobjih so bile v zgodnejših fazah prileta iz smeri 14 (FP 8, FP 9) za krajši čas zaznane presežne vrednosti svetlosti oz. vrednosti svetlosti bleščanja nad 20.000 cd/m²,
- Pri vertikalnem vidnem kotu pilota 10° na odsekih FP 8 in FP 9 se bleščanje ne pojavi.

Sklepna ocena potencialnega vpliva:

Na podlagi simulacije izhaja, da kontrolni stolp ne bo izpostavljen bleščanju, prav tako bleščanju ne bo izpostavljen pilot v zaključni fazi prileta ali med premikanjem po letališki stezi.

Na območju obravnave je simulacija pokazala, da svetlosti bleščanja na zgodnejših fazah prileta iz smeri 14, natančneje na odsekih FP 8 in FP 9, v primeru upoštevanega vidnega vertikalnega kota pilota 30° v smeri navzdol, presegajo vrednost 20.000 cd/m². Jakosti bleščanja se v teh primerih nahajajo pretežno v zelenem polju grafa vpliva na oči, v manjšem delu pa se na odseku FP 8 pojavijo v rumenem delu grafa.

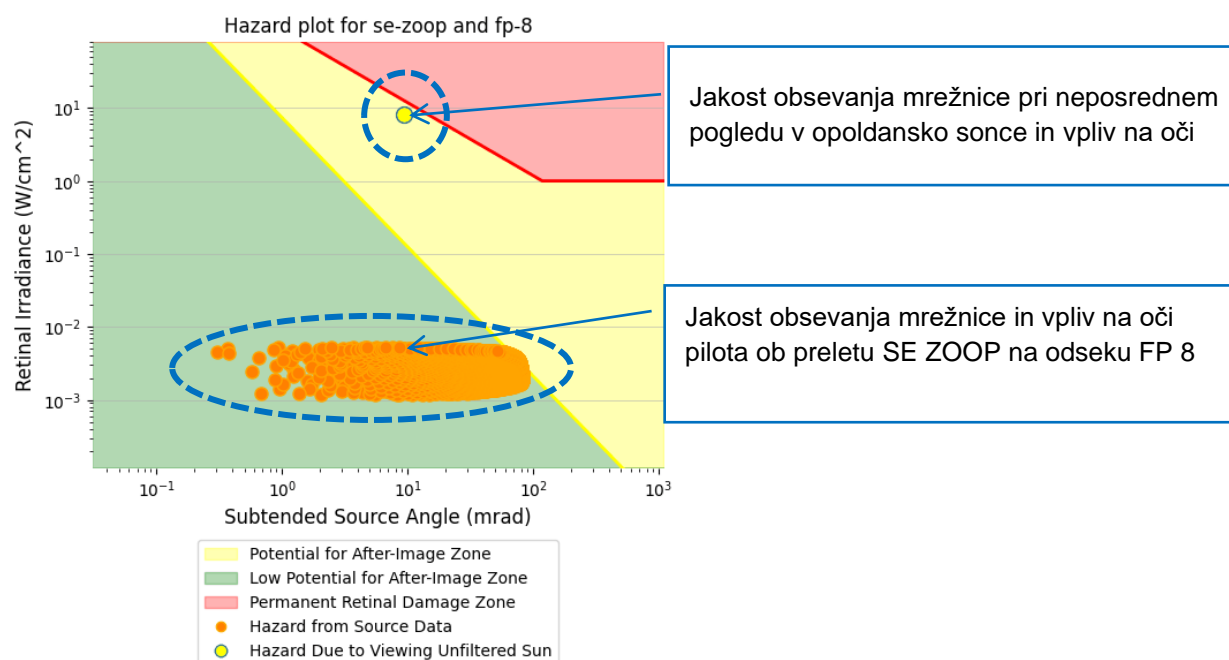
Če na odsekih FP 8 in FP 9 upoštevamo vertikalni vidni kot pilota 10°, do pojava bleščanja ne pride.

Za vrednosti, ki so v grafičnih prikazih v zelenem polju, ocenjujemo, da je potencial za povzročitev nelagodja za oči minimalen. Pri točkah v rumenem polju pa obstaja možnost za zaznavo rahlega nelagodja v očeh ter obstaja potencialna pojavnost zakasnenih slik. V teh primerih bi se lahko občasno pojavil kratkotrajni občutek blagega nelagodja, vendar ta pojav ni ključen dejavnik za oceno, da bi postavitev fotonapetostnih modulov zaradi bleščanja lahko vplivala na zagotavljanje varnosti letalskega prometa.

Ocena vpliva bleščanja ne temelji zgolj na predvideni svetlosti in jakosti bleščanja, temveč vključuje tudi druge ključne dejavnike, kot so čas izpostavljenosti, vidni kot (zlasti delovno vidno polje), ter vizualna zahtevnost opravila oz. faze leta. Zgolj celostna obravnava teh meril omogoča zanesljivo presojo vpliva bleščanja na človeško oko, oceno verjetnosti pojava zakasnelih slik in posledično presojo, ali bleščanje lahko vpliva na varno izvajanje letalskih operacij na Letališču Edvarda Rusjana Maribor.

Pri oceni smo upoštevali še naslednje:

- Jakost obsevanja očesne mrežnice pilota v najslabšem primeru (na odseku FP 8 pri vertikalnem vidnem kotu 30°) znaša približno 0,005 W/cm², kar je bistveno manj od vrednosti, ki se pojavi pri neposrednem pogledu v opoldansko sonce (približno 8,5 W/cm²). Na podlagi tega lahko ocenimo, da sam kriterij jakosti obsevanja ne predstavlja pomembnega dejavnika pri skupni oceni vpliva bleščanja.



Slika 11: Prikaz jakosti bleščanja na odseku FP 8

- Po navedbah smernic FAA je bleščanje s fotonapetostnih modulov primerljivo bleščanju z vodnih površin, ki ga piloti rutinsko izkusijo med letom.
- Posamezen pilot bo potencialnemu bleščanju izpostavljen le kratek čas, in sicer le nekaj sekund med preletom odsekov FP 8 in FP 9 oz. kot lahko sklepamo iz rezultatov simulacije med preletom območja SE ZOOP ali njene neposredne okolice.
- Dejanski delovni vidni kot človeka je precej ožji od simulacijsko privzetega $\pm 50^\circ$ horizontalno in 30° navzdol. Po CS-ADR-DSN ta kot obsega le nekaj stopinj okoli središča vidnega polja. V simulaciji z omejitvijo vertikalnega vidnega kota na 10° bleščanje ni bilo zaznano, kar pomeni, da ta vpliv ne posega v operativno pomembno območje pilotovega vidnega zaznavanja.

Upoštevajoč CS-ADR-DSN poglavje M, ocenjujemo, da s postavitvijo SE ZOOP ne bodo vzpostavljeni pogoji, na podlagi katerih bi zaradi odboja svetlobe od fotonapetostnih modulov prišlo do nesprejemljivega tveganja:

- **Prilet (rahlo pred višino odločitve):** kadar je letalo na zaključni priletni poti, poravnano z letališko stezo, v smereh 32 (odseki FP 1, FP 2, FP3, FP 4) in 14 (odseka FP 5 in FP 6) ni pojava bleščanja.
- **Dotik s tlemi:** do pristanka pride na zaključnih odsekih poti FP 1 in FP 5. Pilot v trenutku dotika s tlemi ne bo izpostavljen svetlobnemu blisku.
- **Premikanje po stezi:** na vzletno-pristajalni steze ni pojava bleščanja
- **Kontrolorji zračnega prometa:** V kontrolnem stolpu ni pojava bleščanja.
- **V nobeni od zgoraj navedenih alinej ne pride do izpostavljenosti bleščanju nad $20.000 \text{ cd}/\text{m}^2$.**

5. Zaključek

Na podlagi dopisa Agencije za civilno letalstvo (CAA) je potrebno dopolniti vlogo za izdajo mnenja k projektni dokumentaciji. Dokumentacijo je potrebno dopolniti s študijo, ki analizira vpliv odboja svetlobe od fotonapetostnih panelov SE ZOOP na izvajanje letalskih operacij na letališču Edvarda Rusjana Maribor.

Pri izdelavi študije smo se poleg predpisov s področja letališč in letalskega prometa, ki veljajo na območju države Slovenije, naslonili tudi na predpise EU in ZDA, ki podrobneje obravnavajo področje bleščanja. Pri izdelavi naloge je bila upoštevana Uredba EU 2018/1139, Zakon o letalstvu (Ur. l. RS, št. 81/10 – UPB, 46/16, 47/19 in 18/23 – ZDU-1O), Pravilnik o letališčih (Uradni list RS št. 86/16) ki napotuje na CS-ADR-DSN, ter tudi pravilnik FAA in smernice LAI.

Predmetna študija, glede na razpoložljive predpise s področja bleščanja, je pripravljena na način, da z najvišjo stopnjo upoštevanja previdnostnega načela obravnava potencialni vpliv bleščanja SE ZOOP na varnost odvijanja letalskega prometa Letališča Edvarda Rusjana Maribor.

Za simulacijo bleščanja fotonapetostnih modulov je bil uporabljen programski paket ForgeSolar, ki upošteva omenjene predpise.

Pri simulaciji pojavnosti in samega trajanja odbojev oz. bleščanja je bilo upoštevano sončno vreme za vsak dan v letu (previdnostno načelo).

Opozoriti velja, da je zakonodaja, ki ureja področje varnega odvijanja letalskega prometa, v povezavi z bleščanjem, osredotočena na zagotavljanje ustrezne varnosti pri pristajanju, premikanju po letalski stezi in nemotenemu nadzoru kontrolorjev zračnega prometa.

Na podlagi rezultatov simulacije, povzetih v predhodnem poglavju in priloženih prilog dokumenta je razvidno, da se bleščanje ne bo nikoli pojavilo na zaključnih fazah prileta smeri 32 in 14, v kontrolnem stolpu, ter pri manevriranju po letališki stezi, kar je tudi izrecna zahteva dokumenta CS-ADR-DSN, na katerega napotuje pravilnik o letalstvu. Potencialno, kratkotrajno bleščanje se lahko pojavi v zgodnjih fazah prileta smeri 14 na odsekih FP 8 in FP 9 oz. med preletom območja SE ZOOP ali njene neposredne okolice, kjer se še ne sprejema kritičnih odločitev.

Na podlagi predhodnih ugotovitev ocenjujemo, da SE ZOOP ne bo vplivala na poslabšanje varnosti letalskega prometa Letališča Edvarda Rusjana Maribor.

6. Viri

- [1] ForgeSolar help (navodila za uporabo orodja ForgeSolar). Dostopno na [Help | ForgeSolar](#), [16.5.2025]
- [2] SANDIA (ameriški nacionalni laboratorij). Dostopno na [Solar Glare and Flux Analysis Tools – Sandia National Laboratories](#), [16.5.2025].
- [3] Uredba EU 2018/1139. Dostopno na [EUR-Lex - 32018R1139 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#), [16.5.2025]
- [4] Pravilnik o letališčih (Uradni list RS št. 86/16). Dostopno na [Vsebina Uradnega lista | Uradni list](#), [16.5.2025].
- [5] Evropska agencija za varnost v letalstvu – Certifikacijske specifikacije in navodila za načrtovanje letališč. Dostopno na [CS-ADR-DSN Issue 6 - Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design \(CS-ADR-DSN\) | EASA](#), [16.5.2025].
- [6] Pravilnik FAA 2021. Dostopna na [Federal Register :: Federal Aviation Administration Policy: Review of Solar Energy System Projects on Federally-Obligated Airports](#), [16.5.2025].
- [7] Pravilnik FAA 2013. Dostopna na [Federal Register :: Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports](#), [16.5.2025].
- [8] LAI (smernice nemškega državnega organa za nadzor emisij). Dostopno na [123 LAI Anlage 11.1-1.doc \(lai-immissionsschutz.de\)](#), [16.5.2025].
- [9] Methodology to Assess Potential Glint and Glare Hazards From Concentrating Solar Power Plants: Analytical Models and Experimental Validation. Dostopno na [untitled \(forgesolar.com\)](#), [16.5.2025].
- [10] SLOVENIA Aeronautical Information Publication. Dostopno na [eAIS Package SLOVENIA](#), [16.5.2025].

7. Priloge

ForgeSolar analiza SE ZOOP:

- SE ZOOP simulacija blescanja LP
- SE ZOOP simulacija blescanja LP-10_50 deg FP8 FP9

SE ZOOP

SE ZOOP simulacija blescanja LP

Created May 15, 2025
Updated May 15, 2025
Time-step 1 minute
Timezone offset UTC1
Minimum sun altitude 0.0 deg
Site ID 149283.25033

Project type Advanced
Project status: active
Category 5 MW to 10 MW



Misc. Analysis Settings

DNI: varies (1,000.0 W/m² peak)
Ocular transmission coefficient: 0.5
Pupil diameter: 0.002 m
Eye focal length: 0.017 m
Sun subtended angle: 9.3 mrad

PV Analysis Methodology: Version 2
Enhanced subtended angle calculation: On

Summary of Results

 Glare with potential for temporary after-image predicted

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced	Peak Luminance
	deg	deg	min	min	kWh	cd/m ²
SE ZOOP	20.0	180.0	11,659	215	21,550,000.0	283,244

PV Array(s)


Name: SE ZOOP
Footprint area: 113,433 m²
Axis tracking: Fixed (no rotation)
Tilt: 20.0 deg
Orientation: 180.0 deg
Rated power: 9860.0 kW
Panel material: Light textured glass with AR coating
Vary reflectivity with sun position? Yes
Correlate slope error with surface type? Yes
Slope error: 9.16 mrad



Vertex	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
1	46.550151	15.682568	254.69	1.70	256.39
2	46.550148	15.683076	252.72	1.70	254.42
3	46.549914	15.683643	250.00	1.70	251.70
4	46.549989	15.684017	250.72	1.70	252.42
5	46.549987	15.684186	251.35	1.70	253.05
6	46.549277	15.687023	254.90	1.70	256.60
7	46.547768	15.687011	256.59	1.70	258.29
8	46.547658	15.687093	257.23	1.70	258.93
9	46.547389	15.687084	258.00	1.70	259.70
10	46.547268	15.686951	258.00	1.70	259.70
11	46.545818	15.686913	256.01	1.70	257.71
12	46.545825	15.685787	256.11	1.70	257.81
13	46.545991	15.685681	257.00	1.70	258.70
14	46.546901	15.685692	258.00	1.70	259.70
15	46.547252	15.685784	257.62	1.70	259.32
16	46.547247	15.686671	258.00	1.70	259.70
17	46.547391	15.686676	258.00	1.70	259.70
18	46.547522	15.686352	257.04	1.70	258.74
19	46.547767	15.686352	256.36	1.70	258.06
20	46.547772	15.684941	255.00	1.70	256.70
21	46.546784	15.684931	257.00	1.70	258.70
22	46.546786	15.684477	256.00	1.70	257.70
23	46.547333	15.683285	256.00	1.70	257.70
24	46.547566	15.683288	255.75	1.70	257.45
25	46.547566	15.683062	255.75	1.70	257.45
26	46.547652	15.682746	255.29	1.70	256.99
27	46.547994	15.681978	255.26	1.70	256.96
28	46.548149	15.681741	256.24	1.70	257.94
29	46.548307	15.681743	256.24	1.70	257.94
30	46.548384	15.681818	255.99	1.70	257.69
31	46.548768	15.682035	255.55	1.70	257.25
32	46.549386	15.682299	254.98	1.70	256.68
33	46.549387	15.682484	254.00	1.70	255.70
34	46.550077	15.682474	254.99	1.70	256.69


2-Mile Flight Path Receptor(s)

Name: FP 1
Description:
Threshold height : 18 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



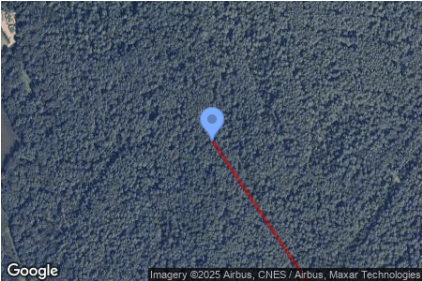
Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.470576	15.695169	261.00	18.60	279.60
2-mile point	46.446573	15.718598	251.12	197.17	448.28

Name: FP 2
Description:
Threshold height : 197 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.446570	15.718600	251.12	197.17	448.29
2-mile point	46.422567	15.742019	245.94	371.04	616.97

Name: FP 3
Description:
Threshold height : 371 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.422570	15.742020	245.94	371.04	616.98
2-mile point	46.398567	15.765429	239.74	545.92	785.66

Name: FP 4
Description:
Threshold height : 545 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.398570	15.765430	239.74	545.92	785.66
2-mile point	46.374567	15.788828	236.00	718.34	954.34

Name: FP 5
Description:
Threshold height : 17 m
Direction: 146.1 deg
Glide slope: 3.2 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.489151	15.677105	266.22	17.70	283.92
2-mile point	46.513149	15.653656	272.00	191.87	463.87

Name: FP 6
Description:
Threshold height : 191 m
Direction: 146.1 deg
Glide slope: 3.2 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



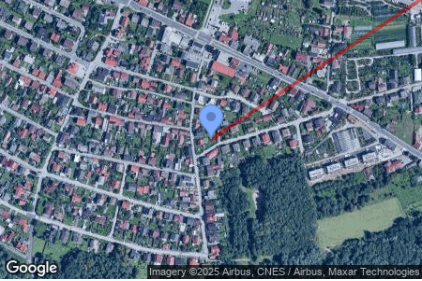
Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.513150	15.653660	272.00	191.87	463.87
2-mile point	46.537148	15.630200	280.55	363.28	643.82

Name: FP 7
Description:
Threshold height : 303 m
Direction: 236.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



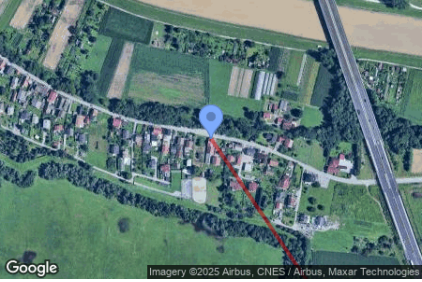
Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.527976	15.639168	272.87	303.00	575.87
2-mile point	46.544102	15.674089	259.81	484.75	744.56

Name: FP 8
Description:
Threshold height : 484 m
Direction: 236.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.544100	15.674090	259.81	484.00	743.81
2-mile point	46.560226	15.709022	301.68	610.81	912.49

Name: FP 9
Description:
Threshold height : 558 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.550507	15.687966	253.62	558.00	811.62
2-mile point	46.526503	15.711430	242.71	737.60	980.31

Route Receptor(s)

Name: Route 1
Route type Two-way
View angle: 50.0 deg



Vertex	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
1	46.489151	15.677105	266.22	5.50	271.72
2	46.470576	15.695169	261.00	5.50	266.50

Discrete Observation Receptors

Number	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total Elevation
	deg	deg	m	m	m
1-ATCT	46.478630	15.681670	264.78	20.00	284.78

1-ATCT map image



Summary of PV Glare Analysis

PV configuration and total predicted glare

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced	Peak Luminance	Data File
	deg	deg	min	min	kWh	cd/m ²	
SE ZOOP	20.0	180.0	11,659	215	21,550,000.0	283,244	

Distinct glare per month

Excludes overlapping glare from PV array for multiple receptors at matching time(s)

PV	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
se-zoop (green)	2273	959	7	202	893	1240	1099	451	6	509	2054	1966
se-zoop (yellow)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	215

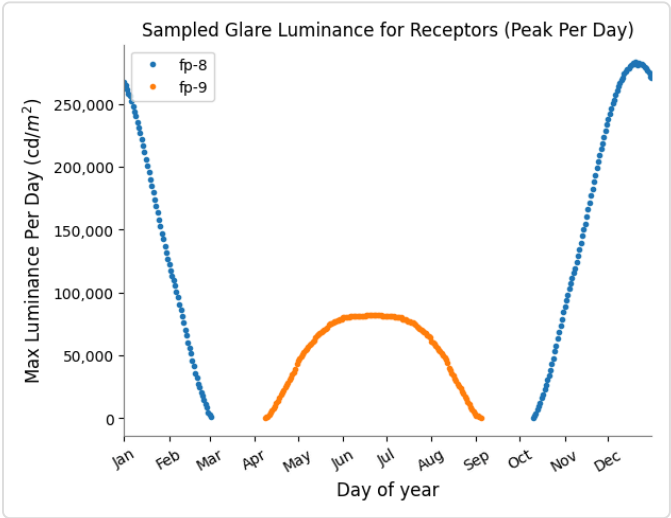
PV & Receptor Analysis Results

Results for each PV array and receptor

SE ZOOP potential temporary after-image

Predicted energy output: 21,550,000.0 kWh (assuming sunny, clear skies)

Component	Green glare (min)	Yellow glare (min)	Peak Luminance (cd/m ²)
FP: FP 1	0	0	0
FP: FP 2	0	0	0
FP: FP 3	0	0	0
FP: FP 4	0	0	0
FP: FP 5	0	0	0
FP: FP 6	0	0	0
FP: FP 7	0	0	0
FP: FP 8	7768	215	283,244
FP: FP 9	3891	0	81,798
OP: 1-ATCT	0	0	0
Route: Route 1	0	0	0



SE ZOOP: FP 1

No glare found

SE ZOOP: FP 2

No glare found

SE ZOOP: FP 3

No glare found

SE ZOOP: FP 4

No glare found

SE ZOOP: FP 5

No glare found

SE ZOOP: FP 6

No glare found

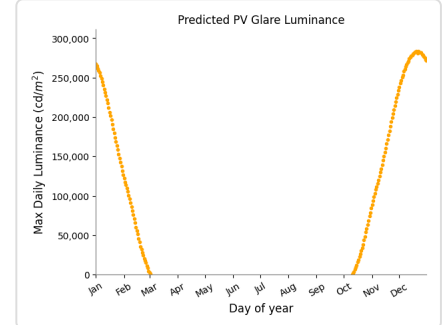
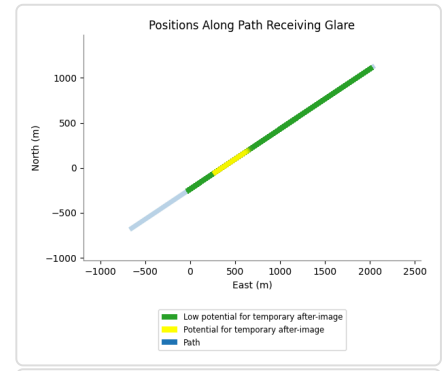
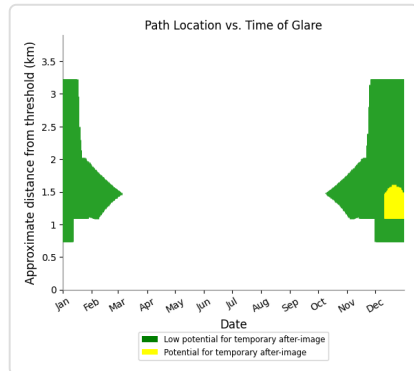
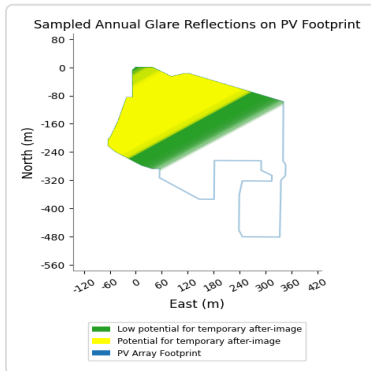
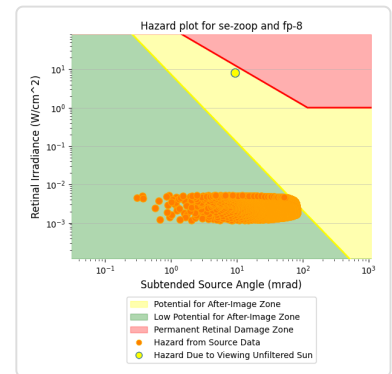
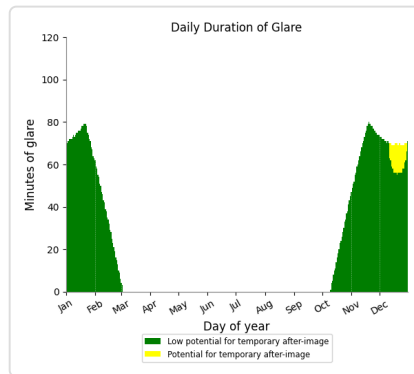
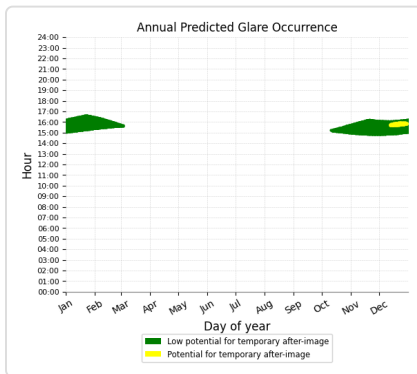
SE ZOOP: FP 7

No glare found

SE ZOOP: FP 8

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

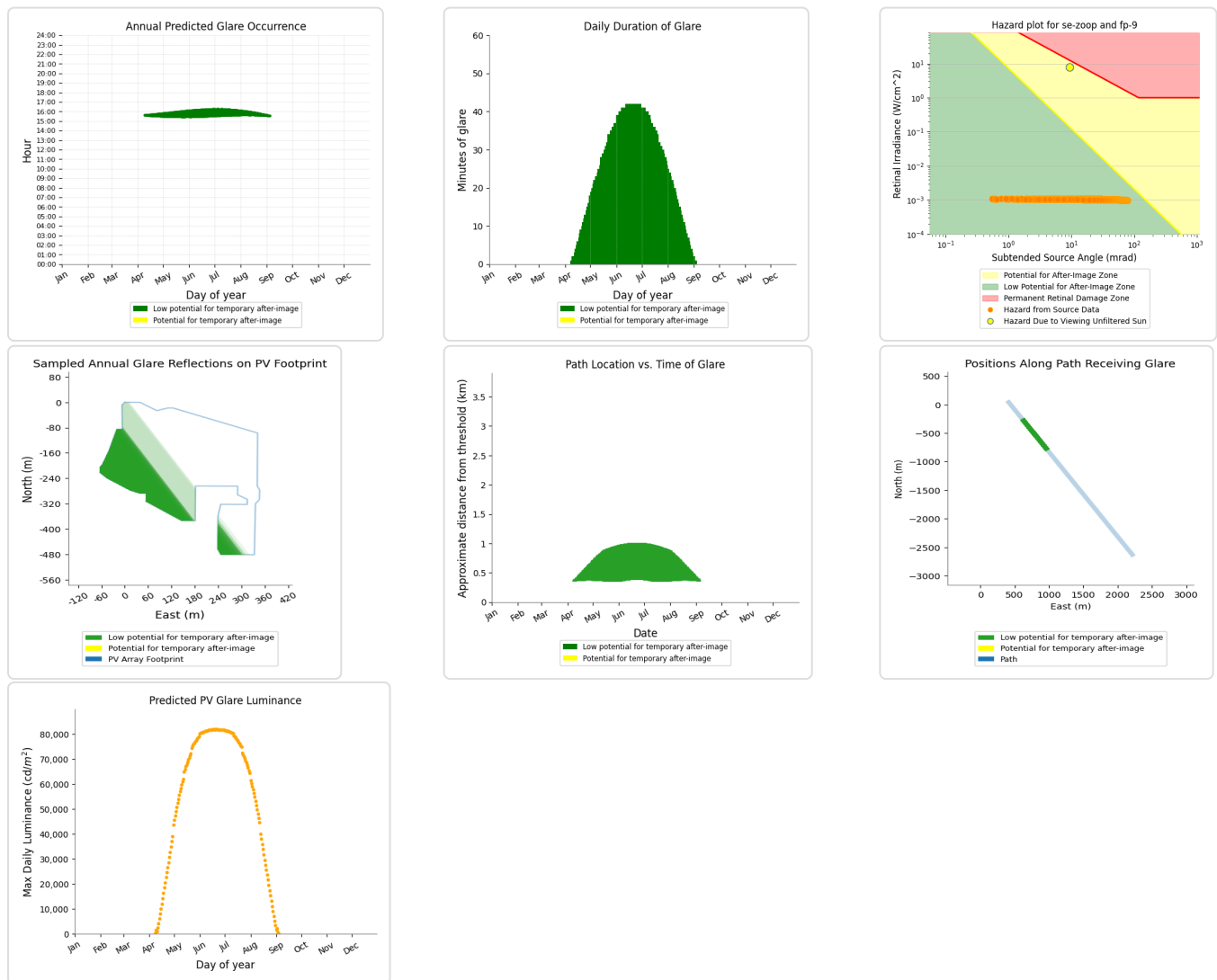
- 7,768 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 215 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



SE ZOOP: FP 9

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

- 3,891 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 0 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



SE ZOOP: 1-ATCT

No glare found

SE ZOOP: Route 1

No glare found

Summary of Vertical Surface Glare Analysis

Assumptions

- Times associated with glare are denoted in Standard time. For Daylight Savings, add one hour.
- Glare analyses do not automatically account for physical obstructions between reflectors and receptors. This includes buildings, tree cover and geographic obstructions.
- Detailed system geometry is not rigorously simulated.
- The glare hazard determination relies on several approximations including observer eye characteristics, angle of view, and typical blink response time. Actual values and results may vary.
- The system output calculation is a DNI-based approximation that assumes clear, sunny skies year-round. It should not be used in place of more rigorous modeling methods.

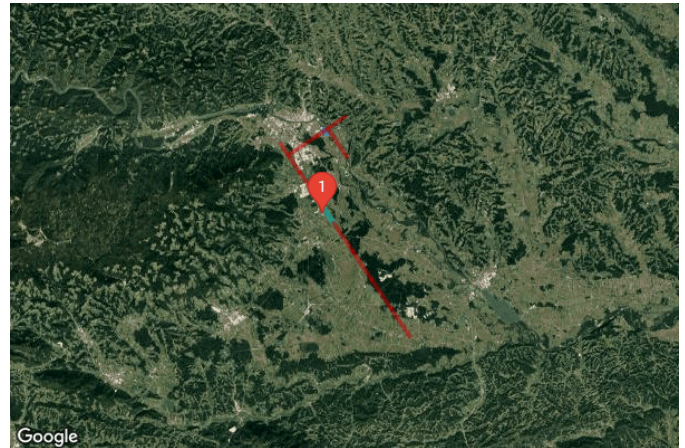
- Several V1 calculations utilize the PV array centroid, rather than the actual glare spot location, due to algorithm limitations. This may affect results for large PV footprints. Additional analyses of array sub-sections can provide additional information on expected glare.
- The subtended source angle (glare spot size) is constrained by the PV array footprint size. Partitioning large arrays into smaller sections will reduce the maximum potential subtended angle, potentially impacting results if actual glare spots are larger than the sub-array size. Additional analyses of the combined area of adjacent sub-arrays can provide more information on potential glare hazards. (See previous point on related limitations.)
- Hazard zone boundaries shown in the Glare Hazard plot are an approximation and visual aid. Actual ocular impact outcomes encompass a continuous, not discrete, spectrum.
- Glare locations displayed on receptor plots are approximate. Actual glare-spot locations may differ.
- Refer to the **Help page** for detailed assumptions and limitations not listed here.

SE ZOOP

SE ZOOP simulacija blescanja LP-10_50 deg FP8 FP9

Created May 15, 2025
Updated May 15, 2025
Time-step 1 minute
Timezone offset UTC1
Minimum sun altitude 0.0 deg
Site ID 149301.25033

Project type Advanced
Project status: active
Category 5 MW to 10 MW



Misc. Analysis Settings

DNI: varies (1,000.0 W/m² peak)
Ocular transmission coefficient: 0.5
Pupil diameter: 0.002 m
Eye focal length: 0.017 m
Sun subtended angle: 9.3 mrad

PV Analysis Methodology: Version 2
Enhanced subtended angle calculation: On

Summary of Results No glare predicted!

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced	Peak Luminance
	deg	deg	min	min	kWh	cd/m ²
SE ZOOP	20.0	180.0	0	0	21,550,000.0	0.0e+00

Component Data

PV Array(s)

Total PV footprint area: 113,433 m^2

Name: SE ZOOP

Footprint area: 113,433 m^2

Axis tracking: Fixed (no rotation)

Tilt: 20.0 deg

Orientation: 180.0 deg


Rated power: 9860.0 kW

Panel material: Light textured glass with AR coating

Vary reflectivity with sun position? Yes

Correlate slope error with surface type? Yes


Slope error: 9.16 mrad



Vertex	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
1	46.550151	15.682568	254.69	1.70	256.39
2	46.550148	15.683076	252.72	1.70	254.42
3	46.549914	15.683643	250.00	1.70	251.70
4	46.549989	15.684017	250.72	1.70	252.42
5	46.549987	15.684186	251.35	1.70	253.05
6	46.549277	15.687023	254.90	1.70	256.60
7	46.547768	15.687011	256.59	1.70	258.29
8	46.547658	15.687093	257.23	1.70	258.93
9	46.547389	15.687084	258.00	1.70	259.70
10	46.547268	15.686951	258.00	1.70	259.70
11	46.545818	15.686913	256.01	1.70	257.71
12	46.545825	15.685787	256.11	1.70	257.81
13	46.545991	15.685681	257.00	1.70	258.70
14	46.546901	15.685692	258.00	1.70	259.70
15	46.547252	15.685784	257.62	1.70	259.32
16	46.547247	15.686671	258.00	1.70	259.70
17	46.547391	15.686676	258.00	1.70	259.70
18	46.547522	15.686352	257.04	1.70	258.74
19	46.547767	15.686352	256.36	1.70	258.06
20	46.547772	15.684941	255.00	1.70	256.70
21	46.546784	15.684931	257.00	1.70	258.70
22	46.546786	15.684477	256.00	1.70	257.70
23	46.547333	15.683285	256.00	1.70	257.70
24	46.547566	15.683288	255.75	1.70	257.45
25	46.547566	15.683062	255.75	1.70	257.45
26	46.547652	15.682746	255.29	1.70	256.99
27	46.547994	15.681978	255.26	1.70	256.96
28	46.548149	15.681741	256.24	1.70	257.94
29	46.548307	15.681743	256.24	1.70	257.94
30	46.548384	15.681818	255.99	1.70	257.69
31	46.548768	15.682035	255.55	1.70	257.25
32	46.549386	15.682299	254.98	1.70	256.68
33	46.549387	15.682484	254.00	1.70	255.70
34	46.550077	15.682474	254.99	1.70	256.69


2-Mile Flight Path Receptor(s)

Name: FP 1
Description:
Threshold height : 18 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



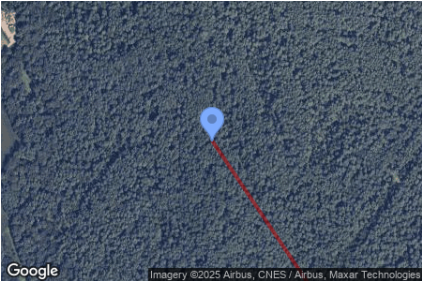
Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.470576	15.695169	261.00	18.60	279.60
2-mile point	46.446573	15.718598	251.12	197.17	448.28

Name: FP 2
Description:
Threshold height : 197 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.446570	15.718600	251.12	197.17	448.29
2-mile point	46.422567	15.742019	245.94	371.04	616.97

Name: FP 3
Description:
Threshold height : 371 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.422570	15.742020	245.94	371.04	616.98
2-mile point	46.398567	15.765429	239.74	545.92	785.66

Name: FP 4
Description:
Threshold height : 545 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.398570	15.765430	239.74	545.92	785.66
2-mile point	46.374567	15.788828	236.00	718.34	954.34

Name: FP 5
Description:
Threshold height : 17 m
Direction: 146.1 deg
Glide slope: 3.2 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.489151	15.677105	266.22	17.70	283.92
2-mile point	46.513149	15.653656	272.00	191.87	463.87

Name: FP 6
Description:
Threshold height : 191 m
Direction: 146.1 deg
Glide slope: 3.2 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



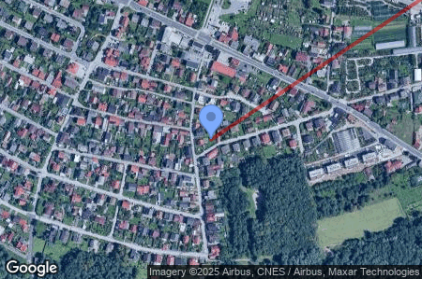
Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.513150	15.653660	272.00	191.87	463.87
2-mile point	46.537148	15.630200	280.55	363.28	643.82

Name: FP 7
Description:
Threshold height : 303 m
Direction: 236.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 30.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



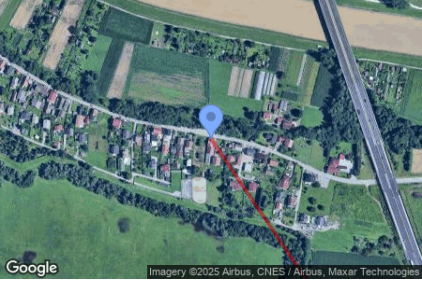
Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.527976	15.639168	272.87	303.00	575.87
2-mile point	46.544102	15.674089	259.81	484.75	744.56

Name: FP 8
Description:
Threshold height : 484 m
Direction: 236.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 10.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.544100	15.674090	259.81	484.00	743.81
2-mile point	46.560226	15.709022	301.68	610.81	912.49

Name: FP 9
Description:
Threshold height : 558 m
Direction: 326.1 deg
Glide slope: 3.0 deg
Pilot view restricted? Yes
Vertical view restriction: 10.0 deg
Azimuthal view restriction: 50.0 deg



Point	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
Threshold	46.550507	15.687966	253.62	558.00	811.62
2-mile point	46.526503	15.711430	242.71	737.60	980.31

Route Receptor(s)

Name: Route 1
Route type Two-way
View angle: 50.0 deg

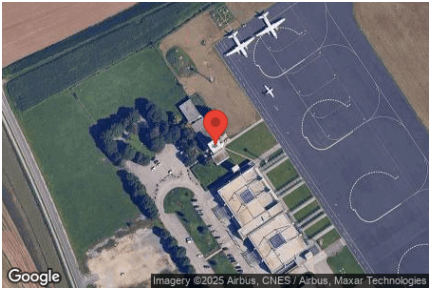


Vertex	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
1	46.489151	15.677105	266.22	5.50	271.72
2	46.470576	15.695169	261.00	5.50	266.50

Discrete Observation Receptors

Number	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total Elevation
	deg	deg	m	m	m
1-ATCT	46.478630	15.681670	264.78	20.00	284.78

1-ATCT map image



Summary of PV Glare Analysis

PV configuration and total predicted glare

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced	Peak Luminance	Data File
	deg	deg	min	min	kWh	cd/m ²	
SE ZOOP	20.0	180.0	0	0	21,550,000.0	0.0e+00	-

PV & Receptor Analysis Results

Results for each PV array and receptor

SE ZOOP no glare found

Predicted energy output: 21,550,000.0 kWh (assuming sunny, clear skies)

Component	Green glare (min)	Yellow glare (min)	Peak Luminance (cd/m ²)
FP: FP 1	0	0	0
FP: FP 2	0	0	0
FP: FP 3	0	0	0
FP: FP 4	0	0	0
FP: FP 5	0	0	0
FP: FP 6	0	0	0
FP: FP 7	0	0	0
FP: FP 8	0	0	0
FP: FP 9	0	0	0
OP: 1-ATCT	0	0	0
Route: Route 1	0	0	0

No glare found

Summary of Vertical Surface Glare Analysis

Assumptions

- Times associated with glare are denoted in Standard time. For Daylight Savings, add one hour.
- Glare analyses do not automatically account for physical obstructions between reflectors and receptors. This includes buildings, tree cover and geographic obstructions.
- Detailed system geometry is not rigorously simulated.
- The glare hazard determination relies on several approximations including observer eye characteristics, angle of view, and typical blink response time. Actual values and results may vary.
- The system output calculation is a DNI-based approximation that assumes clear, sunny skies year-round. It should not be used in place of more rigorous modeling methods.
- Several V1 calculations utilize the PV array centroid, rather than the actual glare spot location, due to algorithm limitations. This may affect results for large PV footprints. Additional analyses of array sub-sections can provide additional information on expected glare.
- The subtended source angle (glare spot size) is constrained by the PV array footprint size. Partitioning large arrays into smaller sections will reduce the maximum potential subtended angle, potentially impacting results if actual glare spots are larger than the sub-array size. Additional analyses of the combined area of adjacent sub-arrays can provide more information on potential glare hazards. (See previous point on related limitations.)
- Hazard zone boundaries shown in the Glare Hazard plot are an approximation and visual aid. Actual ocular impact outcomes encompass a continuous, not discrete, spectrum.
- Glare locations displayed on receptor plots are approximate. Actual glare-spot locations may differ.
- Refer to the **Help page** for detailed assumptions and limitations not listed here.

